

คู่มือเรียนรายวิชา กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์
ตามหลักสูตรแกนกลาง พ.ศ. 2551
(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)

เพิ่มเติม



ฟิสิกส์

เรียบเรียงโดย

นิรันดร์ สุวรัตน์

กค.บ. (ฟิสิกส์), ก.ม. (ฟิสิกส์)

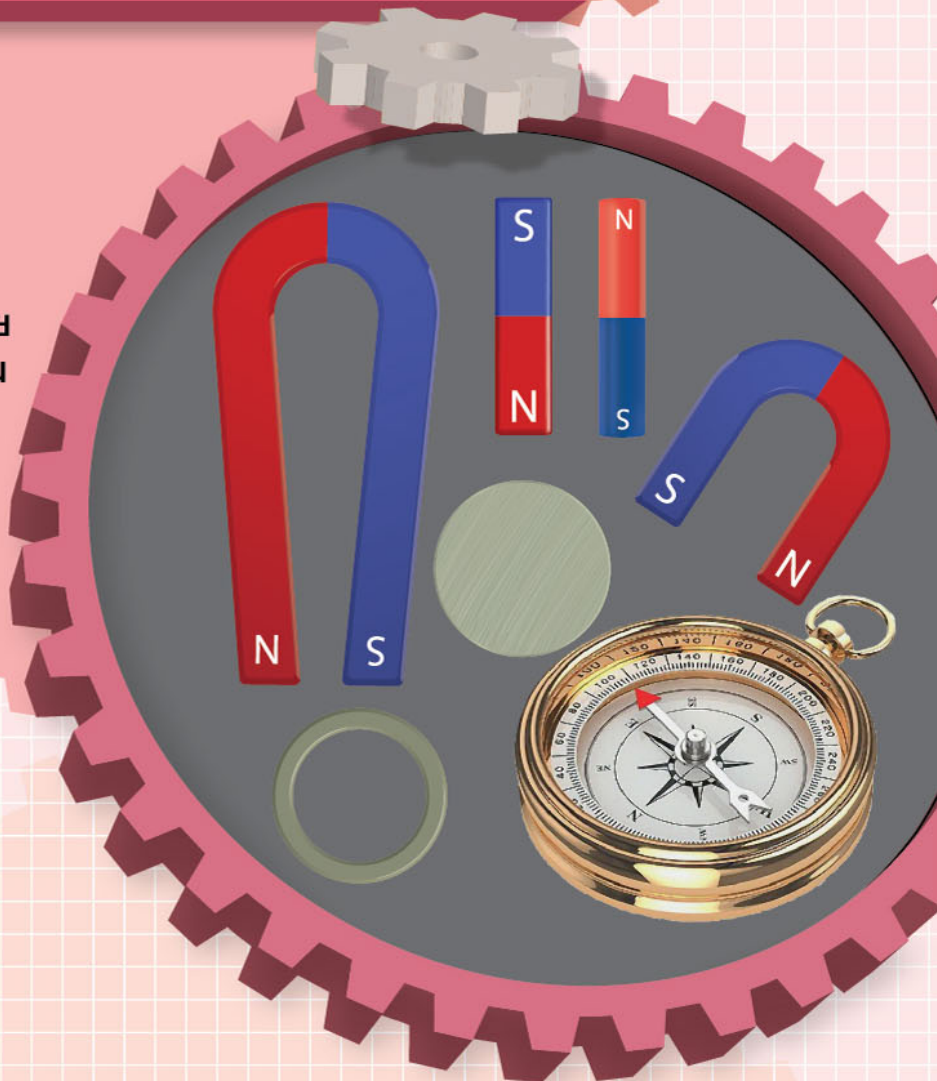
ม.6 เล่ม 5

สรุปเนื้อหาสำคัญ

- แม่เหล็กและไฟฟ้า
- ความร้อนและแก๊ส
- ของแข็งและของไหล

แบบทดสอบท้ายบท

ข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัย
พร้อมเฉลยครบถ้วน



คู่มือรายวิชา



เพิ่มเติม

ฟิสิกส์

ม.6 เล่ม 5

สรุปเนื้อหาสำคัญ

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์
ตามหลักสูตรแกนกลาง พ.ศ. 2551
(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)



แม่เหล็กและไฟฟ้า



ความร้อนและแก๊ส



ของแข็งและของไหล



สำนักพิมพ์ พ.ศ.พัฒนา

เรียบเรียงโดย นรินทร์ สุวรัตน์ กศ.บ. (ฟิสิกส์), ค.ม. ฟิสิกส์ (จุฬา)

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ (ฉบับเพิ่มเติม) พ.ศ.2558

คู่มือเรียนรัฐาษาวิชา **พีสิกส์** ม. 6 เล่ม 5

ผู้เขียน **นิรันดร์ สุวรัตน์**

บรรณาธิการ **อรศรี โรจน์พจนรัตน์**

ผู้ช่วยบรรณาธิการ (ศิลปกรรม) **อมรศักดิ์ บุญเรือง**

พิสูจน์อักษร **นิรันดร์ สุวรัตน์**

พิสูจน์วิชา **ใบสุวรรณ**

รูปเล่ม **อุไรพรรณ บุญเรือง**

ศิลปกรรม **สิทธิินนท์ สกุลชัยสิริวิช**

ปก **อมรศักดิ์ บุญเรือง**



หนังสือเล่มนี้พิมพ์ด้วย **กระดาษรีไซเคิล** เอ
กระดาษจากไม้ปลูก ไม่รบกวนไม้ธรรมชาติ



สำนักพิมพ์นี้เป็นสมาชิกสมาคมผู้จัดพิมพ์
และผู้จำหน่ายหนังสือแห่งประเทศไทย
แนะนำหรือวิจารณ์หนังสือเล่มนี้ได้ที่

www.thaibookrecommend.com

จัดพิมพ์ : บริษัทสำนักพิมพ์ พ.ศ. พัฒนา จำกัด

12 ซอยหม่อมแก้ว แยก 3 ถนนพระราม 6 (ซอย 41) แขวงสามเสนใน เขตพญาไท
กรุงเทพมหานคร โทร. 02-279-6222 (อัตรา 15 คู่สาย) โทรสาร 02-279-6203

พิมพ์ที่ : เพ็ชรทรัพย์ การพิมพ์

117/22 หมู่ 5 ซอยบางไผ่พัฒนา ถนนนครินทร์ ต. บางไผ่
อ. เมือง จ. นนทบุรี 11000
(ธนพัฒน์ สุขมงคลกุล ผู้พิมพ์ผู้โฆษณา)

คำนำ



ฟิสิกส์ ม.6 เล่ม 5

เนื่องด้วยในปี พ.ศ. 2551 กระทรวงศึกษาธิการได้ประกาศให้ใช้หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน โดยวิชาฟิสิกส์จัดอยู่ในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ และในปี พ.ศ. 2560 ได้มีการปรับปรุงเนื้อหาฟิสิกส์ โดยจัดเรียงเนื้อหาสาระใหม่ โดยในรายวิชาเพิ่มเติมฟิสิกส์ เล่ม 5 เพื่อใช้ในระดับมัธยมศึกษาปีที่ 6 เป็นการศึกษาเกี่ยวกับแม่เหล็กไฟฟ้า ความร้อนและแก๊ส ของแข็งและของไหล โดยละเอียดประกอบด้วย

1. เนื้อหาครบสมบูรณ์ครอบคลุม
2. มีตัวอย่างต่อจากทฤษฎีทุกทฤษฎี
3. มีข้อสรุปที่สำคัญเป็นระยะๆ
4. มีการวิเคราะห์โจทย์ตัวอย่าง เพื่อฝึกหัดการวิเคราะห์โจทย์ของนักเรียน ให้ความเข้าใจอย่างถ่องแท้
5. แบบทดสอบตามบทเรียน เพื่อช่วยทบทวนและประเมินตนเอง
6. เฉลยแบบทดสอบอย่างละเอียด
7. ข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัยปี 2518 - ปัจจุบัน เพื่อให้นักเรียนเห็นแนวข้อสอบ
8. เฉลยข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัยอย่างละเอียด

ผู้เขียนได้อาศัยประสบการณ์จากการสอนฟิสิกส์มากกว่า 30 ปี ทำการเรียบเรียงหนังสือคู่มือฟิสิกส์ ม.6 เล่ม 5 เล่มนี้ขึ้นมา เพื่อช่วยให้นักเรียนมีความเข้าใจในเนื้อหาครบตามหลักสูตร และเป็นพื้นฐานในการศึกษาขั้นสูงต่อไป หวังว่านักเรียนที่ได้อ่านและศึกษาจากคู่มือเล่มนี้จะประสบความสำเร็จในการเรียนวิชาฟิสิกส์ต่อไป

ด้วยความปรารถนาดี

(นิรันดร์ สุวรรตน์)

สารบัญ



บทที่ 15	แม่เหล็กและไฟฟ้า	1
15.1	แม่เหล็กและสนามแม่เหล็ก	1
15.1.1	สมบัติของแท่งแม่เหล็ก	1
15.1.2	สนามแม่เหล็ก	3
15.1.3	สนามแม่เหล็กโลก	3
15.1.4	ฟลักซ์แม่เหล็ก	4
15.1.5	จุดสะเทิน	7
15.1.6	การคูณเวกเตอร์แบบ Vector product	9
15.2	แรงกระทำต่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า ซึ่งเคลื่อนที่ในบริเวณ ที่มีสนามแม่เหล็ก	10
15.3	แรงที่กระทำต่อลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านเมื่อวางอยู่ในบริเวณ ที่มีสนามแม่เหล็ก	24

15.4	สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าผ่านลวดตัวนำ	31
15.4.1	สนามแม่เหล็กจากกระแสไฟฟ้าผ่านในลวดตรงยาว	31
15.4.2	สนามแม่เหล็กจากกระแสไฟฟ้าในขดลวดวงกลม	33
15.4.3	สนามแม่เหล็กจากกระแสไฟฟ้าผ่านในโซเลนอยด์	34
15.5	แรงระหว่างลวดตัวนำสองเส้นที่มีกระแสไฟฟ้าและขนานกัน	37
15.6	แรงกระทำต่อขดลวดที่อยู่ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก	40
15.7	แกลเวนอมีเตอร์	44
15.8	มอเตอร์กระแสตรง	46
15.9	กระแสเหนี่ยวนำ	47
15.9.1	กระแสเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นบนเส้นลวดตัวนำที่เคลื่อนที่ ตัดเส้นแรงแม่เหล็ก	47
15.9.2	กระแสเหนี่ยวนำที่เกิดในขดลวดตัวนำ	50
15.9.3	การเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดที่หมุนอยู่ใน สนามแม่เหล็กคงที่	55
15.9.4	แรงเคลื่อนไฟฟ้าดันกลับในมอเตอร์กระแสตรง	57
15.10	การผลิตพลังงานไฟฟ้าและการส่งกำลังไฟฟ้า	59
15.10.1	ไดนาโมกระแสตรง	59
15.10.2	ไดนาโมกระแสสลับ	60
15.10.3	การผลิตไฟฟ้ากระแสสลับในระบบ 3 เฟส	61
15.10.4	การส่งกำลังไฟฟ้าและการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในสายไฟ	62
15.11	หม้อแปลง	63
15.12	การแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง	72
15.13	ปริมาณที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้ากระแสสลับ	73
15.13.1	กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าของกระแสสลับ	73
15.13.2	มิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์กระแสสลับ และค่ายังผล	74

15.13.3	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสูงสุดกับค่ามีเตอร์หรือ RMS	74
15.13.4	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ส่วนประกอบของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ	76
15.14	วงจร RCL ที่ต่อแบบอนุกรม	85
15.14.1	การเขียนแผนภาพเฟเซอร์	85
15.14.2	การหาความต้านทานรวมของวงจร RCL	86
15.14.3	รีโซแนนซ์ในวงจร RCL แบบอนุกรม	91
15.15	วงจร RCL แบบขนาน	94
■	แบบทดสอบบทที่ 15	100
■	เฉลยแบบทดสอบบทที่ 15	115
✱	ข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัยบทที่ 15	131
✱	เฉลยข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัยบทที่ 15	152
บทที่ 16	ความร้อนและแก๊ส	181
16.1	ความร้อน	181
16.1.1	อุณหภูมิ	181
16.1.2	เทอร์โมมิเตอร์	181
16.1.3	การเปลี่ยนรูปพลังงานกลเป็นพลังงานความร้อน	183
16.1.4	พลังงานความร้อนกับการเปลี่ยนอุณหภูมิของสาร	184
16.1.5	พลังงานความร้อนกับการเปลี่ยนสถานะของสาร	188
16.1.6	สมดุลความร้อน	192
16.1.7	การถ่ายโอนความร้อน	199
16.2	แก๊สอุดมคติ	199
16.2.1	การทดลองของบอยล์	200
16.2.2	การทดลองของชาร์ล	201
16.2.3	การหาค่า n ของแก๊ส	206

16.3	แบบจำลองของแก๊ส	213
16.4	ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส	214
16.4.1	ความดันตามทฤษฎีจลน์ของแก๊ส.	214
16.4.2	อุณหภูมิกับพลังงานจลน์เฉลี่ยของโมเลกุล	218
16.4.3	การหาอุณหภูมิผสมและความดันผสมจากทฤษฎีจลน์ของแก๊ส.	226
16.5	พลังงานภายในระบบ	229
16.5.1	กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์	231
16.5.2	งานที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของแก๊ส.	233
16.5.3	การหางาน (ΔW) จากกราฟความดันกับปริมาตร.	233
16.5.4	กระบวนการต่างๆ ตามกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์.	235
16.5.5	ความจุความร้อนจำเพาะของแก๊ส เมื่อปริมาตรคงที่	236
16.6	การประยุกต์.	244
16.6.1	เครื่องยนต์แก๊สโซลีนหรือเบนซิน	244
16.6.2	เครื่องยนต์ดีเซล	245
16.6.3	ไอน้ำในอากาศและความดันไอ	245
16.6.4	ความชื้นสัมพัทธ์.	246
■	แบบทดสอบบทที่ 16	247
■	เฉลยแบบทดสอบบทที่ 16	259
✱	ข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัยบทที่ 16	276
✱	เฉลยข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัยบทที่ 16	286
บทที่ 17	ของแข็งและของไหล	300
17.1	สภาพยืดหยุ่น	300
17.1.1	แรงที่ทำให้วัตถุผิดรูป	302
17.1.2	ความเค้นและความเครียด	302
17.1.3	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด	304
17.1.4	ความทนแรงของวัตถุ	311

17.2	ความหนาแน่น	311
17.3	ความดัน	313
17.4	ความดันของแข็ง	314
17.5	ความดันในของเหลว	317
17.6	ความดันเกจและความดันสัมบูรณ์ของของเหลว	319
17.7	แรงที่ของเหลวกระทำต่อผนังภาชนะ	321
17.8	แรงดันของน้ำเหนือประตูน้ำหรือเขื่อน	324
17.9	เครื่องมือวัดความดันของของไหล	328
17.10	ความดันบรรยากาศกับชีวิตประจำวัน	335
17.11	กฎของพาสคัล	337
17.12	แรงพุงและหลักของอาร์คิมิดีส	341
17.13	ความตึงผิว	348
17.14	ความหนืด	354
17.15	พลศาสตร์ของของไหล	357
17.15.1	ของไหลในอุดมคติ	357
17.15.2	การไหลของของไหลอุดมคติ	358
17.15.3	สมการความต่อเนื่อง	358
17.15.4	หลักการของแบร์นูลลี	360
17.15.5	สมการของแบร์นูลลี	360
17.15.6	การประยุกต์สมการของแบร์นูลลี	361
■	แบบทดสอบบทที่ 17	366
■	เฉลยแบบทดสอบบทที่ 17.	381
✱	ข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัยบทที่ 17.	401
✱	เฉลยข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัย บทที่ 17.	412

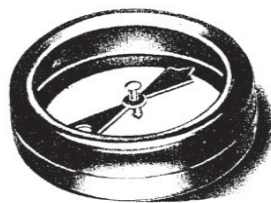
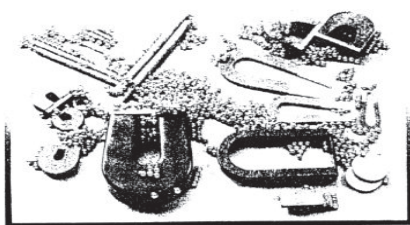
บทที่ 15

แม่เหล็กและไฟฟ้า

แม่เหล็กและไฟฟ้า เป็นวิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับสมบัติ และปรากฏการณ์ของแม่เหล็กธรรมชาติ และแม่เหล็กที่เกิดจากการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า อิทธิพลของสนามแม่เหล็กที่มีต่อประจุไฟฟ้า และความสัมพันธ์ระหว่างไฟฟ้าและแม่เหล็ก นอกจากนี้จะมีการศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

15.1 แม่เหล็ก และสนามแม่เหล็ก

แม่เหล็ก (Magnet) โดยทั่วไปจะหมายถึง **แม่เหล็กธรรมชาติ** (ซึ่งมีส่วนผสมส่วนใหญ่ คือ Fe_3O_4) ซึ่งมีคุณสมบัติสามารถดูดเหล็ก และนิเกิลขาวกริกโบราณพบว่ามีความสามารถดึงดูดเหล็กได้ เรียกแร่ชนิดนี้ว่า แมกนีไทต์ (Magnetite) แม่เหล็กนอกจากจะเป็นแม่เหล็กธรรมชาติแล้วอาจเป็นแม่เหล็กที่สร้างขึ้นเองซึ่งมีรูปร่างต่างๆ กัน เรียกว่า **แท่งแม่เหล็ก** รูปร่างของแท่งแม่เหล็กมีได้ต่างๆ กัน เช่น เป็นแท่งสี่เหลี่ยม, แท่งทรงกระบอก, รูปเกือกม้า หรือเป็นแผ่นเล็กบางๆ ที่เรียกว่า **เข็มทิศ (compass)** ดังรูป 15.1

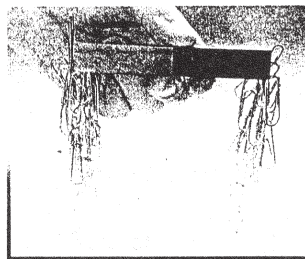


รูป 15.1 แท่งแม่เหล็กแบบต่างๆ

15.1.1 สมบัติของแท่งแม่เหล็ก

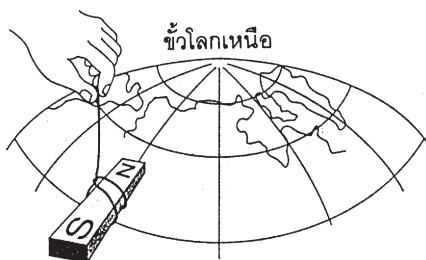
แท่งแม่เหล็กโดยทั่วไป จะมีสมบัติดังนี้

1. **ขั้วแม่เหล็ก (magnetic pole)** แท่งแม่เหล็กโดยทั่วไป เมื่อนำเอาไปดูดผงตะไบเหล็ก พบว่าผงตะไบเหล็กจะถูกดูดติดส่วนต่างๆ ของแท่งแม่เหล็กในปริมาณเล็กน้อยต่างกัน โดยบริเวณปลายๆ แท่งทั้งสองข้างของแท่งแม่เหล็กจะมีผงตะไบเหล็กติดมากที่สุด เราจึงทราบว่า อำนาจแม่เหล็กจะแรงมากที่สุดที่บริเวณปลายทั้งสองของแท่งแม่เหล็กซึ่งบริเวณดังกล่าว เรียกว่า **ขั้วแม่เหล็ก** ดังรูป 15.2



รูป 15.2 แสดงบริเวณขั้วแม่เหล็ก ซึ่งมีผงตะไบเหล็กติดอยู่หนาแน่น

2. **ชนิดของขั้วแม่เหล็ก** เมื่อนำแท่งแม่เหล็กมาแขวน ห้อยด้วยเส้นด้าย โดยให้แท่งแม่เหล็กวางตัวอยู่ในแนวราบ จะพบว่าแท่งแม่เหล็ก จะรักษาแนวแกนให้อยู่ในแนวทิศเหนือ-ใต้ตลอดเวลา เราเรียกขั้วแม่เหล็กที่ชี้ไปทางทิศเหนือว่า **ขั้วเหนือ (north pole “N”)** และเรียกขั้วแม่เหล็กที่ชี้ไปทางทิศใต้ว่า **ขั้วใต้ (south pole “S”)** ดังรูป 15.3

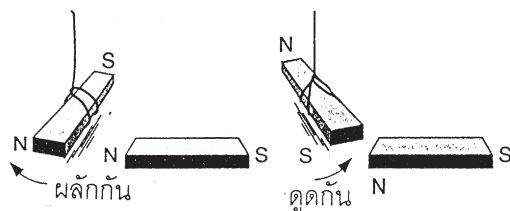


รูป 15.3 แสดงการวางตัวของแท่งแม่เหล็ก

หมายเหตุ โดยปกติแม่เหล็กจะมีเพียง 2 ขั้ว แต่ในทางปฏิบัติเราอาจสร้างแม่เหล็กให้มีขั้วมากกว่า 2 ขั้ว แต่เป็นเพียง แม่เหล็กชั่วคราวเท่านั้น

3. **แรงกระทำระหว่างขั้วแม่เหล็ก มี 2 แบบ**

- **แรงดูดกัน** เกิดจากการนำขั้วแม่เหล็กต่างชนิดกันมาวางใกล้กัน
- **แรงผลักกัน** เกิดจากการนำขั้วแม่เหล็กชนิดเดียวกันมาวางใกล้กัน



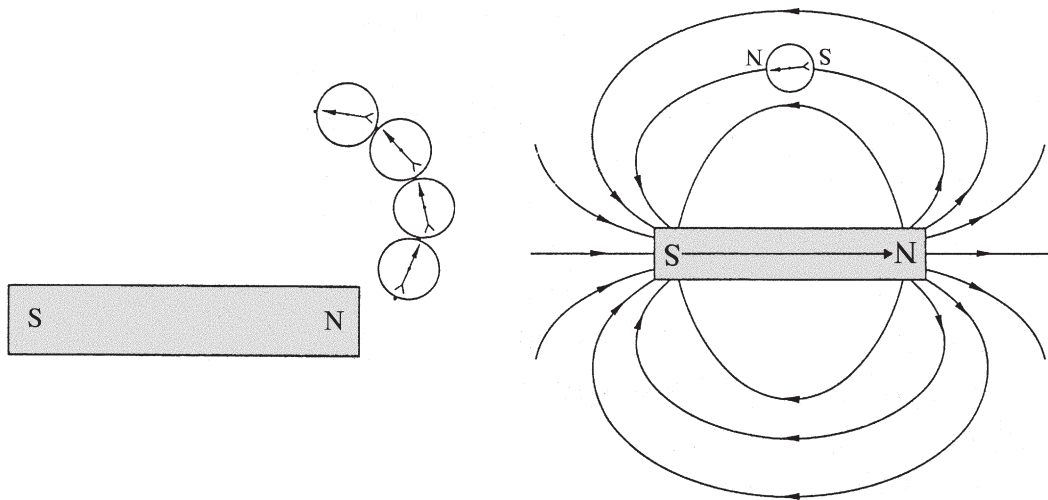
รูป 15.4 แสดงแรงกระทำต่อขั้วแม่เหล็ก



15.1.2 สนามแม่เหล็ก (Magnetic field)

เมื่อนำเข็มทิศวางใกล้ๆ แท่งแม่เหล็กพบว่าทิศทางของเข็มทิศจะเปลี่ยนไปจากแนวปกติเหนือ-ใต้ แสดงว่ามีแรงเนื่องจากแท่งแม่เหล็กมากระทำต่อเข็มทิศ เรากล่าวว่าเข็มทิศวางตัวอยู่ใน **สนามแม่เหล็ก**

ดังนั้นการตรวจดูว่าบริเวณใดมีสนามแม่เหล็กหรือไม่โดยใช้เข็มทิศวางในบริเวณดังกล่าว ถ้ามีแรงกระทำต่อเข็มทิศ (ดูจากการเปลี่ยนทิศทางของเข็มทิศ) แสดงว่าบริเวณนั้นมีสนามแม่เหล็ก ทิศทางของสนามแม่เหล็กที่บริเวณดังกล่าวถือว่าเป็นทิศเดียวกับทิศที่หัวเหนือของเข็มทิศชี้ดังรูป 15.5



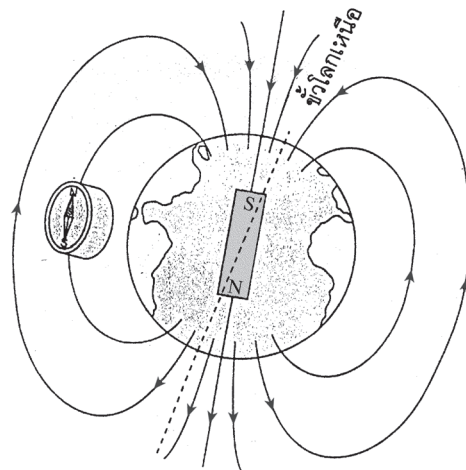
รูป 15.5 แสดงเส้นแรงแม่เหล็ก

จากรูป 15.5 เมื่อวางเข็มทิศใกล้แท่งแม่เหล็ก ทิศทางของเข็มทิศจะเปลี่ยนอย่างต่อเนื่อง จากหัวเหนือไปหัวใต้ได้เป็นเส้นโค้งเรียกเส้นที่เกิดจากแนวเข็มทิศหรือแนวแรงกระทำต่อเข็มทิศเนื่องจากสนามแม่เหล็กว่า **เส้นแรงแม่เหล็ก (magnetic line of force)** หรือ **เส้นสนามแม่เหล็ก (magnetic field lines)** ซึ่งมีลักษณะดังนี้

1. ภายนอกแท่งแม่เหล็ก เส้นแรงแม่เหล็กจะมีทิศพุ่งออกจากหัวเหนือ (N) เข้าสู่หัวใต้ (S)
2. ภายในแท่งแม่เหล็ก เส้นแรงแม่เหล็กจะมีทิศพุ่งจากหัวใต้ (S) ไปยังหัวเหนือ (N)

15.1.3 สนามแม่เหล็กโลก (Earth's magnetic field)

เมื่อวางเข็มทิศ ณ ตำแหน่งหนึ่งตำแหน่งใดบนผิวโลก จะพบว่า แนวการวางตัวของเข็มทิศจะอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ แสดงว่ามีแรงกระทำต่อเข็มทิศ ทำให้สรุปได้ว่าตำแหน่งต่างๆ บนผิวโลกมีสนามแม่เหล็ก ซึ่งเรียกว่า **สนามแม่เหล็กโลก** จากการศึกษาค้นคว้าพบว่าโลกประพจน์ตัวเสมือนกับมีแท่งแม่เหล็กขนาดใหญ่อยู่ใจกลางโลก ซึ่งเรียกว่า **แม่เหล็กโลก** โดยมีเส้นแรงแม่เหล็กโลกพุ่งจากบริเวณซีกโลกใต้ไปยังบริเวณซีกโลกเหนือ และแนวเหนือ-ใต้ของสนามแม่เหล็กจะทำมุมประมาณ 17° กับแนวเหนือ-ใต้ ทางภูมิศาสตร์ของโลก ดังรูป 15.6



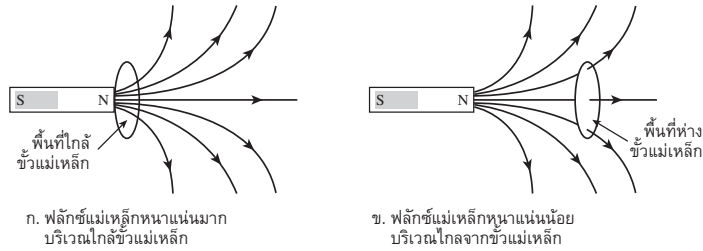
รูป 15.6 แสดงเส้นแรงแม่เหล็กโลก

ประโยชน์ของสนามแม่เหล็กโลก

1. ใช้บอกทิศทาง โดยอาศัย**เข็มทิศ** (compass) ซึ่งเป็นแท่งแม่เหล็กขนาดเล็กจะวางตัวในแนวเหนือ - ใต้เสมอ
2. ช่วยป้องกันลมสุริยะ (solar wind) ซึ่งเป็นอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า (ส่วนใหญ่เป็นโปรตอนอิเล็กตรอนและนิวเคลียสของฮีเลียม) ที่พุ่งออกมาจากดวงอาทิตย์ เมื่อผ่านเข้าใกล้โลกจะถูกสนามแม่เหล็กโลกเบี่ยงเบนให้เคลื่อนที่อ้อมโลก โดยอันตรกิริยาระหว่างสนามแม่เหล็กโลก กับลมสุริยะทำให้สนามแม่เหล็กด้านตรงข้ามดวงอาทิตย์ลุ้ไปคล้ายหางของดาวหาง ซึ่งเรียกว่า **แมกนีโตสเฟียร์** (magnetosphere) นอกจากอนุภาคจากลมสุริยะที่ถูกเบี่ยงเบนดังกล่าวแล้วยังมีอนุภาคบางส่วนถูกสนามแม่เหล็กโลกผลักให้เข้าสู่ชั้นบรรยากาศ บริเวณขั้วแม่เหล็กโลก เมื่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเหล่านี้ชนกับอะตอมของออกซิเจน และไนโตรเจนก็จะเปล่งแสงออกมาที่เรียกว่า **ออโรรา** (aurora) โดยออโรราที่เกิดบริเวณขั้วโลกเหนือเรียกว่า **แสงเหนือ** (northern lights หรือ aurora borealis) ส่วนออโรราที่เกิดบริเวณขั้วโลกใต้ เรียกว่า **แสงใต้** (southern lights หรือ aurora australis)
3. นักวิทยาศาสตร์พบว่า สนามแม่เหล็กโลก ยังมีอิทธิพลต่อพฤติกรรมอพยพของนก เต่าทะเล และสัตว์ทะเลบางชนิด

15.1.4 ฟลักซ์แม่เหล็ก

เมื่อพิจารณาเส้นแรงแม่เหล็กของแท่งแม่เหล็กแท่งหนึ่ง พบว่าบริเวณใกล้กับขั้วแม่เหล็กจะมีเส้นแรงแม่เหล็กอยู่หนาแน่น เรากล่าวว่าบริเวณนั้นมี **ฟลักซ์แม่เหล็ก** (magnetic flux) หนาแน่นมาก หรือเป็นบริเวณที่สนามแม่เหล็กมีค่ามากส่วนบริเวณที่อยู่ห่างออกไปจะมีเส้นแรงแม่เหล็กอยู่ห่างๆ กัน เรากล่าวว่าบริเวณนั้นมีฟลักซ์แม่เหล็ก หนาแน่นน้อยหรือเป็นบริเวณที่สนามแม่เหล็กมีค่าน้อย ดังรูป 15.7



รูป 15.7 ฟลักซ์แม่เหล็ก

จากรูป 15.7 จึงมีการกำหนดนิยามของฟลักซ์แม่เหล็ก หมายถึง จำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก ที่ทะลุผ่านพื้นผิวในแนวตั้งฉากกับพื้นผิวนั้นและใช้สัญลักษณ์ “ ϕ ” แทนฟลักซ์แม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เวเบอร์ (Weber) “Wb”

จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่เส้นแรงแม่เหล็กตั้งได้ฉาก เรียกว่า ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (magnetic flux density) ซึ่งในระบบเอสไอ กำหนดให้มีค่าเท่ากับขนาดของสนามแม่เหล็ก (B) โดยสนามแม่เหล็กเป็นปริมาณเวกเตอร์ ความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์แม่เหล็กและสนามแม่เหล็ก เป็นดังนี้

$$B = \frac{\phi}{A} \quad \dots\dots (15.1)$$

เมื่อ ϕ เป็นจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กหรือฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านพื้นที่ ในแนวตั้งฉาก มีหน่วยเป็น เวเบอร์ (Wb)

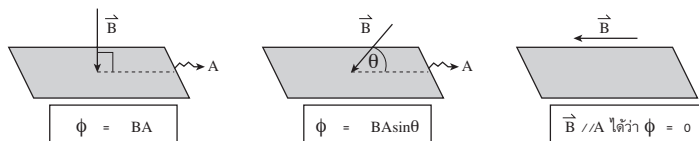
A เป็นพื้นที่ตั้งฉากที่ฟลักซ์แม่เหล็กผ่านมีหน่วยเป็น ตารางเมตร (m^2)

B เป็นความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กซึ่งมีค่าเท่ากับขนาดของสนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เวเบอร์ต่อตารางเมตร หรือเทสลา (T)

บทแทรก การหาฟลักซ์แม่เหล็ก (ϕ)

$$\text{จาก } B = \frac{\phi}{A} \text{ หรือ } \phi = BA$$

โดย B ต้องมีทิศทางตั้งฉากกับพื้นที่ (A) จึงจะหา ϕ ได้



- จากการวัดฟลักซ์แม่เหล็กที่ตกกระทบพื้นที่ 4 ตารางเมตรในแนวตั้งฉากได้ 20 เวเบอร์ อยากทราบว่าสนามแม่เหล็กบนพื้นที่นี้มีค่ากี่เทสลา

วิเคราะห์โจทย์ เมื่อรู้ $A = 4 \text{ m}^2$, $\phi = 20 \text{ Wb}$ ต้องการหา B

$$\begin{aligned} \text{จาก } B &= \frac{\phi}{A} \\ &= \frac{20}{4} \\ \therefore B &= 5 \text{ T} \end{aligned}$$

ดังนั้น สนามแม่เหล็ก มีค่า 5 เทสลา



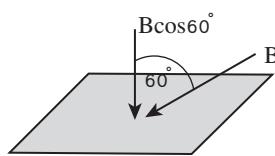
2. เมื่อมีสนามแม่เหล็ก 0.3 เทสลา ตั้งฉากกับขดลวดวงกลมรัศมี 7 ซม. จะมีจำนวนฟลักซ์แม่เหล็กเท่าไร
วิเคราะห์โจทย์ เมื่อรู้ $B \perp A$ โดย $B = 0.3 \text{ T}$, $r = 7 \times 10^{-2} \text{ m}$ ต้องการหา ϕ

$$\begin{aligned}\text{จาก } \phi &= BA \quad (A = \pi r^2) \\ &= 0.3 \times \frac{22}{7} \times (7 \times 10^{-2})^2 \\ \therefore \phi &= 4.62 \times 10^{-3} \text{ Wb}\end{aligned}$$

ดังนั้นฟลักซ์แม่เหล็กมีค่า 4.62×10^{-3} เวเบอร์

3. เมื่อมีสนามแม่เหล็ก ขนาด 4×10^{-2} เทสลา พุ่งลงบนโต๊ะสี่เหลี่ยมกว้าง 50 ซม. ยาว 60 ซม. ในแนวทำมุม 60° กับแนวดิ่ง จงหาฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านโต๊ะตัวนี้มีค่าเท่าใด

วิเคราะห์โจทย์ เขียนรูปแสดงทิศทางของสนามแม่เหล็ก ต้องการหา ϕ ต้องหา $B \perp A$ ก่อน

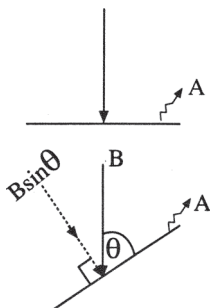


$$\begin{aligned}\text{จาก } \phi &= B \times A \quad (B \perp A) \\ \text{หรือ} &= B \cos 60^\circ \times A \\ &= 4 \times 10^{-2} \times \frac{1}{2} \times 50 \times 60 \times 10^{-4} \\ \therefore \phi &= 6 \times 10^{-3} \text{ Wb}\end{aligned}$$

ดังนั้น ฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านโต๊ะ ตัวนี้มีค่า 6×10^{-3} เวเบอร์

4. ระนาบของขดลวดจะต้องเอียงทำมุมเท่าใดกับสนามแม่เหล็กจึงจะทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านขดลวดลดเป็นครึ่งหนึ่งของฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุด

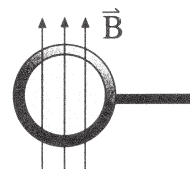
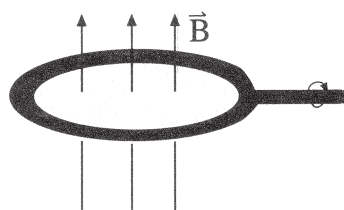
วิเคราะห์โจทย์ ϕ สูงสุดเมื่อ $B \perp A$ ต้องการหามุมระหว่าง A กับ B เมื่อ $\phi = \frac{\phi_{(\max)}}{2}$



$$\begin{aligned}\text{จาก } \phi &= B.A \\ \text{ได้ว่า } \phi_{(\max)} &= B.A \quad \dots\dots ① \\ \text{และ } \phi &= B \sin \theta.A \quad \dots\dots ② \\ \text{②/① } \frac{\phi}{\phi_{(\max)}} &= \sin \theta \\ \frac{1}{2} &= \sin \theta \\ \therefore \theta &= 30^\circ\end{aligned}$$

ดังนั้น ระนาบของขดลวดจะต้องเอียงทำมุม 30° กับสนามแม่เหล็ก

5. ขดลวดขดหนึ่งประกอบด้วยลวด 200 รอบมีพื้นที่หน้าตัด 10 ตารางเซนติเมตร วางอยู่ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก ขนาดสม่ำเสมอ 0.5 เทสลา และมีทิศทางตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดของขดลวด จงหาค่าการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็กในหน่วยเวเบอร์ที่ผ่านทุกรอบของขดลวด เมื่อบิดขดลวดไป 90° ตามทิศทางลูกศรดังรูป





วิเคราะห์โจทย์ ต้องการหา $\Delta\phi$ ต้องหา ϕ_1 และ ϕ_2 ก่อน โดยจำนวนรอบของขดลวดไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าฟลักซ์แม่เหล็ก

$$\text{จาก } \phi = B \cdot A \quad (B \perp A)$$

$$\phi_1 = 0.5 \times 10 \times 10^{-4}$$

$$\phi_1 = 5 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

$$\text{และ } \phi_2 = B \cdot A \quad (B \parallel A)$$

$$\phi_2 = 0$$

$$\begin{aligned} \text{จาก } \Delta\phi &= \phi_2 - \phi_1 \\ &= 0 - 5 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

$$\therefore \Delta\phi = -5 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

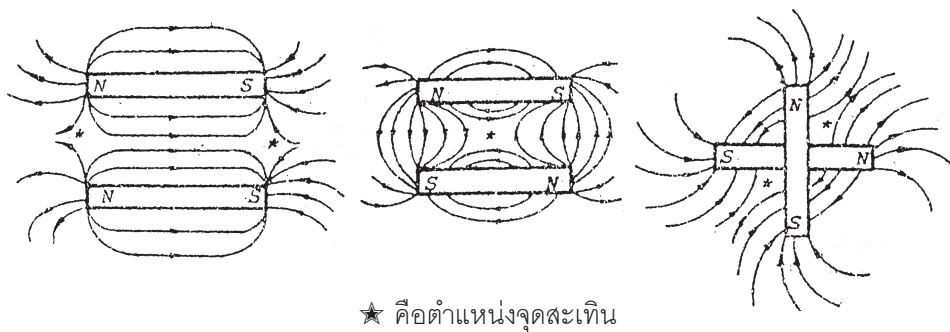
ดังนั้น ฟลักซ์แม่เหล็กลดลง (เครื่องหมายลบ) 5×10^{-4} เวเบอ์

15.1.5 จุดสะเทิน (neutral point)

จุดสะเทิน คือ จุดที่อยู่ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กมากกว่าหนึ่งสนาม โดยมีความเข้มสนามแม่เหล็กหักล้างกันจนเป็นศูนย์ ถ้านำเข็มทิศเล็กๆ ไปวางไว้ที่จุดสะเทิน เข็มทิศจะชี้ในแนวอิสระ คือ ชี้ในแนวใดๆ ก็ได้ ไม่แน่นอน

จุดสะเทินที่เราพิจารณา จะแบ่งเป็น 2 กรณี

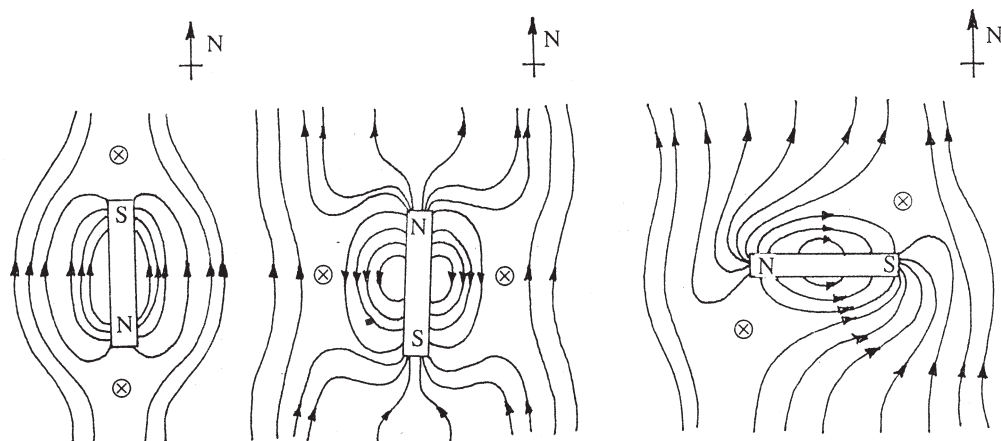
กรณีที่ 1 จุดสะเทินที่เกิดจากแท่งแม่เหล็กด้วยกัน เมื่อมีแท่งแม่เหล็กมากกว่า 1 แท่ง มาวางใกล้กันจะเกิดจุดสะเทินดังรูป 15.8



รูป 15.8 จุดสะเทินจากแท่งแม่เหล็กด้วยกัน

ข้อสังเกต จุดสะเทินที่เกิดจากแท่งแม่เหล็กด้วยกัน จะอยู่ระหว่างขั้วเหมือนกัน

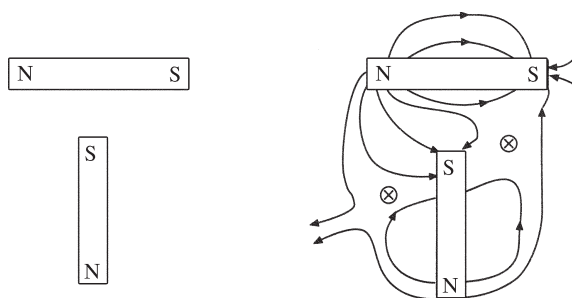
กรณีที่ 2 จุดสะเทินเกิดจากแท่งแม่เหล็กวางในสนามแม่เหล็กโลก เมื่อมีแท่งแม่เหล็กแท่งเดียววางอยู่ในสนามแม่เหล็กโลกจะเกิดจุดสะเทินดังรูป 15.9



รูป 15.9 จุดสะเทินจากแท่งแม่เหล็กวางในสนามแม่เหล็กโลก

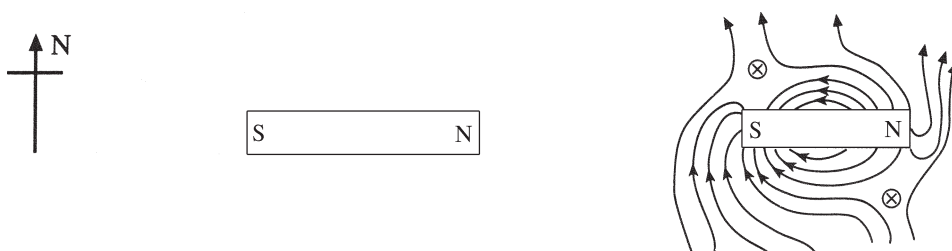
ข้อสังเกต จุดสะเทินที่เกิดจากแท่งแม่เหล็ก แท่งเดียววางในสนามแม่เหล็กโลก จะเกิดจุดสะเทิน 2 จุด ในลักษณะสมมาตรกัน

6. แท่งแม่เหล็กเหมือนกันทุกประการ 2 แท่ง วางดังรูป จงหาดำแหน่งจุดสะเทินที่เกิด



วิเคราะห์โจทย์ เส้นแรงแม่เหล็กจะพุ่งออกจากขั้วเหนือ (N) เข้าหาขั้วใต้ (S) พบว่าจะเกิดจุดสะเทิน 2 จุด ระหว่างขั้ว N กับ N 1 จุด และระหว่างขั้ว S กับ S อีก 1 จุด

7. เมื่อนำแท่งแม่เหล็กขนาดสม่ำเสมอวางในสนามแม่เหล็กโลกดังรูป จงหาดำแหน่งจุดสะเทินที่เกิด





วิเคราะห์โจทย์

จุดสะเทินที่เกิดจากแท่งแม่เหล็ก วางในสนามแม่เหล็กโลกจะเกิดจุดสะเทิน 2 จุด ในลักษณะสมมาตรกันดังรูป

15.1.6 การคูณเวกเตอร์แบบ Vector product หรือ Cross product

เป็นการคูณเวกเตอร์ แล้วได้ผลคูณออกมาเป็นเวกเตอร์ โดยใช้กฎการ Cross ของเวกเตอร์
ข้อกำหนด

$$\vec{A} \times \vec{B} = \vec{C}$$

อ่านว่า $\vec{A}$ cross $\vec{B}$ เท่ากับ $\vec{C}$

โดย $\vec{C}$ เป็นปริมาณเวกเตอร์ ขนาดของ

$$|\vec{C}| = AB \sin \theta \quad (\theta \text{ เป็นมุมระหว่าง } \vec{A} \text{ กับ } \vec{B})$$

อาจสรุปได้ว่า

$$\vec{C} = \vec{A} \times \vec{B}$$

$$\therefore C = AB \sin \theta$$

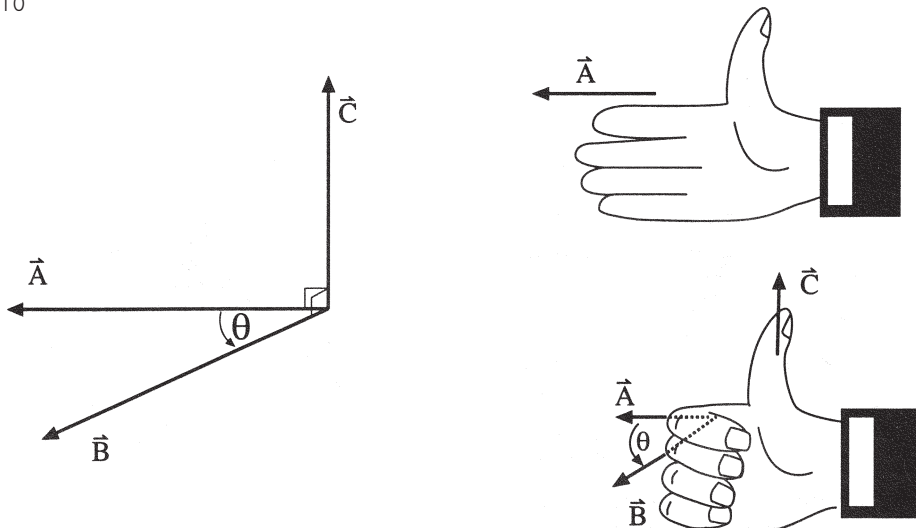
ทิศของ $\vec{C}$ จะต้องตั้งฉากกับระนาบ AB หรือ $\vec{C} \perp \vec{A}$ และ $\vec{C} \perp \vec{B}$

การหาทิศของ $\vec{C}$

จาก $\vec{A} \times \vec{B} = \vec{C}$ เราถือว่า $\vec{A}$ เป็นตัวตั้งและ $\vec{B}$ เป็นตัวคูณ

การหาทิศทางของเวกเตอร์ลัพธ์ ($\vec{C}$) โดยใช้กฎมือขวาซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ให้แก่มือขวาออกโดย นิ้วทั้งสี่เรียงชิดติดกัน นิ้วหัวแม่มือชี้ขึ้นตั้งฉากกับนิ้วทั้งสี่แล้วให้นิ้วทั้งสี่ไปในทิศของเวกเตอร์ตัวตั้ง แล้วกำนิ้วทั้งสี่เข้าหาเวกเตอร์ตัวคูณ นิ้วหัวแม่มือจะชี้ทิศของเวกเตอร์ลัพธ์ ($\vec{C}$)
ดังรูป 15.10



รูป 15.10 การหาเวกเตอร์ลัพธ์ จากการ cross vector โดยใช้กฎมือขวา



15.2 แรงกระทำต่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า ซึ่งเคลื่อนที่ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก

เมื่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่เข้าไปในสนามแม่เหล็ก ปรากฏว่าทิศทางของอนุภาคนี้จะเปลี่ยนไปจากเดิม แสดงว่ามีแรงเนื่องจากสนามแม่เหล็กกระทำต่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้านี้

กำหนดให้อนุภาคมวล m มีประจุไฟฟ้า q เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว $\vec{v}$ เข้าไปในสนามแม่เหล็ก $\vec{B}$ ปรากฏว่าเกิดแรง $\vec{F}$ กระทำต่อประจุเนื่องจากสนามแม่เหล็ก ซึ่งอาจหาความสัมพันธ์ได้จาก

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} \quad \text{..... (15.2)}$$

จากการ cross vector ได้ว่า

$$F = qvB\sin\theta \quad \text{..... (15.3)}$$

เมื่อ F = แรงที่กระทำต่อประจุ q หน่วยเป็น N

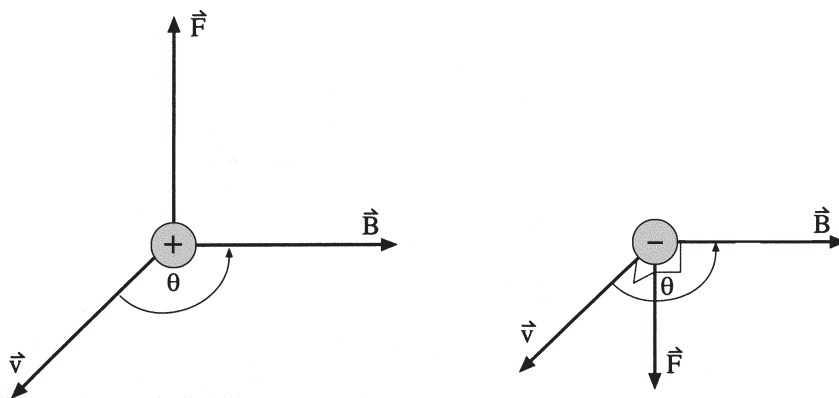
q = ประจุไฟฟ้าบนอนุภาคที่เคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็ก หน่วยเป็น C

v = ความเร็วของอนุภาค หน่วยเป็น m/s

B = สนามแม่เหล็ก หน่วยเป็น T

θ = มุมระหว่าง $\vec{v}$ กับ $\vec{B}$

การหาทิศทางของแรง ($\vec{F}$) โดยใช้กฎการ cross ของเวกเตอร์ จาก $\vec{v}$ cross $\vec{B}$ (โดยใช้กฎการกำมือขวาที่กล่าวมาแล้ว โดยกำมือขวาจาก $\vec{v}$ ไปยัง $\vec{B}$ นิ้วหัวแม่มือชี้ทิศของ $\vec{F}$ ถ้าเป็นประจุลบให้กลับทิศหัวแม่มือเป็นตรงกันข้ามหรือใช้มือซ้ายแทนมือขวาดังรูป 15.11



รูป 15.11 การใช้มือขวาหาทิศของแรง $\vec{F}$

จากหลักการ cross vector พบว่า $\vec{F} \perp \vec{v}$ และ $\vec{F} \perp \vec{B}$ แต่ $\vec{v}$ และ $\vec{B}$ อาจไม่ตั้งฉากกันก็ได้

หมายเหตุ เมื่ออนุภาคที่มีประจุเคลื่อนที่เข้าไปในสนามแม่เหล็กอาจเกิดแรงหรือไม่เกิดแรงก็ได้ขึ้นอยู่กับมุม θ



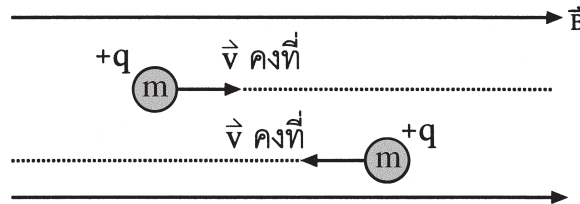
เมื่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กอาจแบ่งแนวการเคลื่อนที่ได้ 3 ลักษณะ คือ

1. เมื่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ตามสนามแม่เหล็กหรือสวนทางกับสนามแม่เหล็ก ($\theta = 0^\circ$ หรือ 180°)

$$\begin{aligned} \text{จาก } F &= qvB \sin\theta \\ \text{ได้ว่า } F &= qvB \sin 0^\circ \quad (\sin 0^\circ = 0) \\ \therefore F &= 0 \\ \text{หรือ } F &= qvB \sin 180^\circ \quad (\sin 180^\circ = 0) \\ \therefore F &= 0 \end{aligned}$$

ดังนั้นไม่เกิดแรงกระทำต่ออนุภาคนี้ ทางเดินของอนุภาคเป็นเส้นตรงด้วยความเร็วคงที่

ดังรูป 15.12



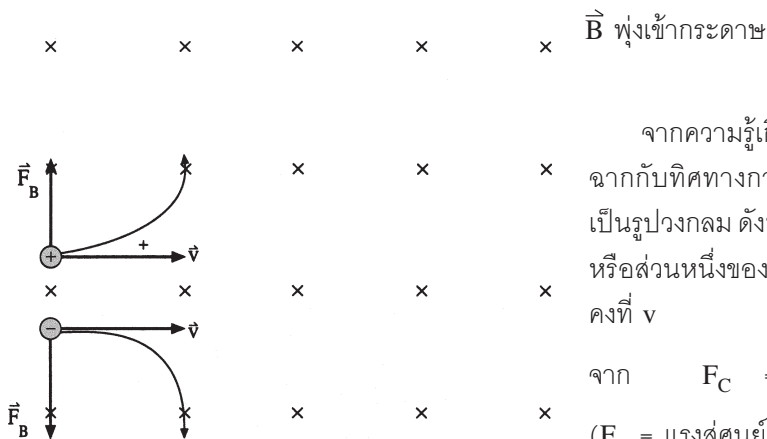
รูป 15.12 อนุภาคที่มีประจุเคลื่อนที่ขนานกับสนามแม่เหล็ก

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

$$\begin{aligned} \text{จาก } F &= qvB \sin\theta \\ \text{ได้ว่า } F &= qvB \sin 90^\circ \quad (\sin 90^\circ = 1) \\ \therefore F &= qvB \end{aligned}$$

แรงกระทำมีค่าสูงสุด เพราะ $\sin 90^\circ$ มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 1

เมื่อให้อนุภาคมวล m มีประจุไฟฟ้า $+q$ เคลื่อนที่เข้าสู่สนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ $\vec{B}$ ซึ่งมีทิศพุ่งเข้ากระดาษด้วยความเร็ว $\vec{v}$ แรงที่สนามแม่เหล็กกระทำต่ออนุภาค คือ $\vec{F}_B$ โดย $\vec{F}_B \perp \vec{v}$ ตลอดเวลา ทำให้ทางเดินของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า $+q$ นี้มีทางเดินเป็นส่วโค้งแบบวงกลมดังรูป 15.13



รูป 15.13 อนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก

$\vec{B}$ พุ่งเข้ากระดาษ

จากความรู้เกี่ยวกับแรงกระทำต่อวัตถุ ถ้าแรงตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ตลอดเวลา ทางเดินจะเป็นรูปวงกลม ดังนั้นอนุภาคจะเคลื่อนที่เป็นรูปวงกลมหรือส่วนหนึ่งของวงกลม ซึ่งมีรัศมี R มีอัตราเร็วคงที่ v

$$\text{จาก } F_C = \frac{mv^2}{R} \quad \dots \textcircled{1}$$

(F_C = แรงสู่ศูนย์กลาง)

$$\text{และ } F_B = qvB \quad \dots \textcircled{2}$$

(F_B = แรงเนื่องจากสนามแม่เหล็ก)



๒=๑

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

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

** สูตรสำคัญจำแน่นๆ.....(15.4)

สรุป เมื่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าวิ่งเข้าสู่สนามแม่เหล็กในแนวตั้งฉากจะเคลื่อนที่เป็นวงกลม ด้วยอัตราเร็วคงที่ สามารถหารัศมีได้ทันทีจากสูตรดังกล่าว

การหาคาบ (T) ของการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าในสนามแม่เหล็ก (เมื่อ $\vec{v} \perp \vec{B}$)

$$\text{จาก } v = \frac{2\pi R}{T}$$

$$T = \frac{2\pi R}{v} \quad (R = \frac{mv}{qB})$$

$$\text{ดังนั้น } T = \frac{2\pi(\frac{mv}{qB})}{v}$$

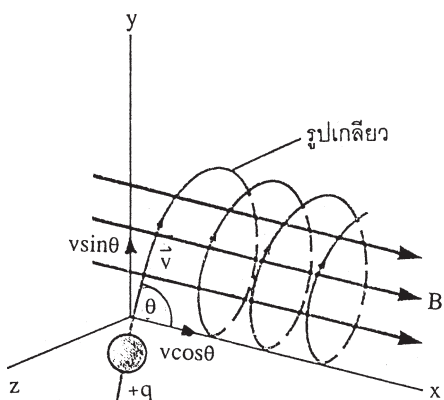
$$T = \frac{2\pi m}{qB}$$

.....(15.5)

นอกจากนี้ยังอาจหาความถี่ (f) ได้จาก $f = \frac{1}{T}$

หรืออาจหาอัตราเร็วเชิงมุม (ω) ได้จาก $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$

3. เมื่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ทำมุม θ กับสนามแม่เหล็ก



$$\text{ได้ว่า } F = qvB \sin\theta$$

เมื่อให้อนุภาคมวล m มีประจุไฟฟ้า $+q$ เคลื่อนที่เข้าสู่สนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ B ด้วยความเร็ว v ทำมุม θ กับสนามแม่เหล็ก ดังรูป 15.14 จากความรู้เรื่องการแยกเวกเตอร์ สามารถแยก ความเร็ว v ออกเป็น 2 แนว โดยแนวหนึ่งให้อยู่ในแนวขนานกับสนามแม่เหล็ก อีกแนวหนึ่งอยู่ในแนวตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กได้ความเร็วมีขนาด $v \cos \theta$ และ $v \sin \theta$ ตามลำดับ

รูป 15.14 อนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ทำมุม θ กับสนามแม่เหล็ก



จากรูป 15.14 สนามแม่เหล็กออกแรงกระทำต่ออนุภาคในแนวตั้งฉากกับ $v \sin \theta$ ทำให้ทางเดินโค้ง ส่วน $v \cos \theta$ ทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ทางเดียวกับสนามแม่เหล็กทำให้ทางเดินของอนุภาคเป็นรูปเกลียว ซึ่งสามารถหาปริมาณต่าง ๆ ของการเคลื่อนที่ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จาก } F_B &= F_C \\ qvB \sin \theta &= \frac{m(v \sin \theta)^2}{R} \\ \boxed{R} &= \frac{mv \sin \theta}{qB} \end{aligned} \quad \dots\dots(15.6)$$

การหาคาบของเกลียว

$$\begin{aligned} \text{จาก } T &= \frac{2\pi R}{v} \\ T &= \frac{2\pi}{v \sin \theta} \left(\frac{mv \sin \theta}{qB} \right) \\ \boxed{T} &= \frac{2\pi m}{qB} \end{aligned} \quad \dots\dots(15.7)$$

การหาระยะห่างระหว่างเกลียว (S)

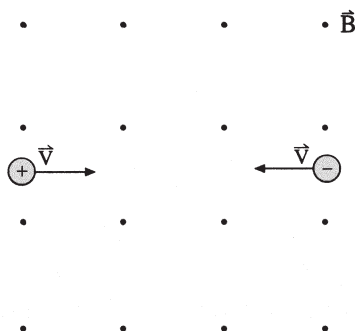
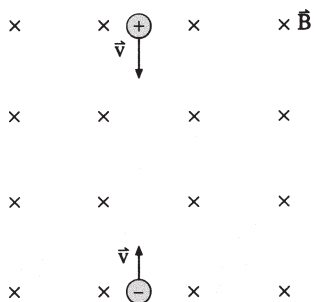
$$\begin{aligned} S &= (v \cos \theta) T \\ S &= v \cos \theta \left(\frac{2\pi m}{qB} \right) \\ \boxed{S} &= \frac{2\pi m v \cos \theta}{qB} \end{aligned} \quad \dots\dots(15.8)$$

สรุปทางเดินของอนุภาคที่มีประจุในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ

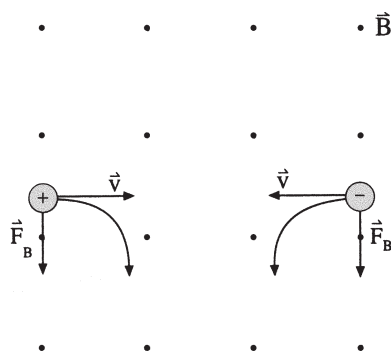
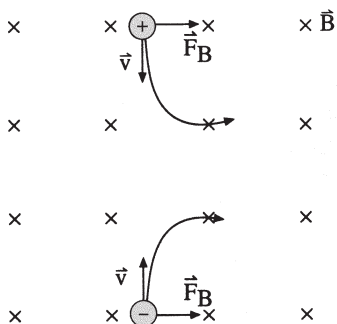
1. ถ้าอนุภาคเคลื่อนที่ขนานกับสนามแม่เหล็ก ($\theta = 0^\circ$ หรือ 180°) ทางเดินเป็นเส้นตรงมีความเร็วคงที่
2. ถ้าอนุภาคเคลื่อนที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก ($\theta = 90^\circ$) ทางเดินเป็นส่วนโค้งของวงกลมมีอัตราเร็ว คงที่
3. ถ้าอนุภาคเคลื่อนที่ทำมุม θ กับสนามแม่เหล็ก ($0^\circ < \theta < 90^\circ$) ทางเดินเป็นรูปเกลียวมีอัตราเร็วคงที่



8. จงเขียนทางเดินของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าในสนามแม่เหล็ก



วิเคราะห์โจทย์ แรงที่กระทำต่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าจะมีทิศตั้งฉากกับ $\vec{v}$ และ $\vec{B}$ ทำให้ทางเดินเป็น ส่วนโค้งของวงกลมมี $\vec{v}$ เป็นเส้นสัมผัส ดังรูป

9. อิเล็กตรอนวิ่งด้วยความเร็ว 10^6 เมตร/วินาที เข้าไปในทิศตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ 10^{-2}

เทสลา เมื่ออิเล็กตรอนมีประจุ -1.6×10^{-19} คูลอมบ์ และมีมวล 9×10^{-31} กิโลกรัม จงหา

ก. แรงที่สนามแม่เหล็กกระทำต่ออิเล็กตรอน

ข. รัศมีการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน

ค. คาบของการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน

ง. ความถี่ของการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน

จ. อัตราเร็วเชิงมุมของการเคลื่อนที่

วิเคราะห์โจทย์ เมื่ออิเล็กตรอนซึ่งมีประจุลบ วิ่งเข้าไปในสนามแม่เหล็กจะถูกแรงกระทำ ทำให้ทางเดินเป็นรูปวงกลม เมื่อรู้ $q = -1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$, $v = 10^6 \text{ m/s}$, $B = 10^{-2} \text{ T}$, $m = 9 \times 10^{-31} \text{ kg}$, $\theta = 90^\circ$

$$\begin{aligned} \text{ก. ต้องการหา } F_B ; \text{ จาก } F_B &= qvB \sin\theta \quad (\theta = 90^\circ) \\ &= 1.6 \times 10^{-19} \times 10^6 \times 10^{-2} \\ \therefore F_B &= 1.6 \times 10^{-15} \text{ N} \end{aligned}$$

ดังนั้น แรงที่สนามแม่เหล็กกระทำต่ออิเล็กตรอนมีค่า 1.6×10^{-15} นิวตัน

$$\begin{aligned} \text{ข. ต้องการหา } R ; \text{ จาก } R &= \frac{mv}{qB} \\ &= \frac{9 \times 10^{-31} \times 10^6}{1.6 \times 10^{-19} \times 10^{-2}} \\ \therefore R &= 5.625 \times 10^{-4} \text{ m} \end{aligned}$$

ดังนั้น รัศมีการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนมีค่า 5.625×10^{-4} เมตร



$$\begin{aligned} \text{ค. ต้องการหา } T ; \quad \text{จาก} \quad T &= \frac{2\pi m}{qB} \\ &= \frac{2 \times \frac{22}{7} \times 9 \times 10^{-31}}{1.6 \times 10^{-19} \times 10^{-2}} \\ \therefore T &= 3.54 \times 10^{-9} \text{ s} \end{aligned}$$

ดังนั้น คาบของการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนมีค่า 3.54×10^{-9} วินาที

$$\begin{aligned} \text{ง. ต้องการหา } f ; \quad \text{จาก} \quad f &= \frac{1}{T} \\ \therefore f &= 2.8 \times 10^8 \text{ Hz} \end{aligned}$$

ดังนั้น ความถี่ของการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนมีค่า 2.8×10^8 เฮิรตซ์

$$\begin{aligned} \text{จ. ต้องการหา } \omega ; \quad \text{จาก} \quad \omega &= \frac{2\pi}{T} \\ &= \frac{2\pi}{2\pi m/qB} = \frac{qB}{m} \\ &= \frac{1.6 \times 10^{-19} \times 10^{-2}}{9 \times 10^{-31}} \\ \therefore \omega &= 1.78 \times 10^9 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

ดังนั้น อัตราเร็วเชิงมุมของการเคลื่อนที่มีค่า 1.78×10^9 เรเดียน/วินาที

10. อนุภาคมีประจุ 1×10^{-16} คูลอมป์ มีมวล 4.0×10^{-25} กิโลกรัม เคลื่อนที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก ด้วยความเร็ว 10^6 เมตร/วินาที ปรากฏว่าทางเดินเป็นรูปวงกลม มีรัศมี 10 เซนติเมตร จงหาขนาดของสนามแม่เหล็กมีค่ากี่เทสลา

วิเคราะห์โจทย์ เมื่อรู้ $q = 1 \times 10^{-16} \text{ C}$, $m = 4 \times 10^{-25} \text{ kg}$, $v = 10^6 \text{ m/s}$, $R = 10^{-1} \text{ m}$
ต้องการหา B

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad R &= \frac{mv}{qB} \\ B &= \frac{mv}{qR} \\ &= \frac{4 \times 10^{-25} \times 10^6}{10^{-16} \times 10^{-1}} \\ \therefore B &= 4 \times 10^{-2} \text{ T} \end{aligned}$$

ดังนั้น ขนาดของสนามแม่เหล็กมีค่า 0.04 เทสลา

11. อนุภาคอิเล็กตรอนมวล 9.1×10^{-31} กิโลกรัม และอนุภาคโปรตอนมวล 1.6×10^{-27} กิโลกรัม เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเท่ากันเข้าไปในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอในทิศตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก จงหาอัตราส่วนของ

- รัศมีความโค้งของอิเล็กตรอนต่อโปรตอน
- คาบของการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนต่อโปรตอน



วิเคราะห์โจทย์ อิเล็กตรอนและโปรตอนมีประจุเท่ากันขนาด $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ และรู้ $m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$, $m_p = 1.6 \times 10^{-27} \text{ kg}$, v กับ B เท่ากัน

ก. ต้องการหา $\frac{R_e}{R_p}$

$$\text{จาก } R = \frac{mv}{qB}$$

$$\text{ได้ว่า } \frac{R_e}{R_p} = \frac{m_e}{m_p} = \frac{9.1 \times 10^{-31}}{1.6 \times 10^{-27}}$$

$$\therefore \frac{R_e}{R_p} = 5.7 \times 10^{-4}$$

ดังนั้น รัศมีความโค้งของอิเล็กตรอนต่อโปรตอนมีค่า 5.7×10^{-4}

ข. ต้องการหา $\frac{T_e}{T_p}$

$$\text{จาก } T = \frac{2\pi m}{qB}$$

$$\text{ได้ว่า } \frac{T_e}{T_p} = \frac{m_e}{m_p}$$

$$\therefore \frac{T_e}{T_p} = 5.7 \times 10^{-4}$$

ดังนั้น คาบของการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนต่อโปรตอนมีค่า 5.7×10^{-4}

12. อนุภาคมวล $2 \times 10^{-22} \text{ กิโลกรัม}$ มีประจุ $3 \times 10^{-16} \text{ คูลอมป์}$ เคลื่อนที่ในแนวตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กคงที่ขนาด 10^{-3} เทสลา อยากทราบว่านานเท่าใด อนุภาคนี้จะเคลื่อนที่ในทิศตรงข้ามกับตอนเริ่มเข้าสู่สนามแม่เหล็ก

วิเคราะห์โจทย์ อนุภาคมีทางเดินเป็นรูปวงกลม เมื่อทิศทางตรงข้ามกับตอนเริ่มเข้าสู่สนามแม่เหล็ก จะเคลื่อนที่ได้ครึ่งรอบพอดี เวลาที่ใช้เป็น $\frac{T}{2}$

$$\text{จาก } T = \frac{2\pi m}{qB}$$

$$\text{ได้ว่า } \frac{T}{2} = \frac{\pi m}{qB}$$

$$= \frac{22}{7} \times \frac{2 \times 10^{-22}}{3 \times 10^{-16} \times 10^{-3}}$$

$$\therefore \frac{T}{2} = 2.1 \times 10^{-3} \text{ s.}$$

ดังนั้น ใช้เวลานาน $2.1 \times 10^{-3} \text{ วินาที}$

13. อนุภาคหนึ่งวิ่งทำมุม 90° ongs กับสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอความเข้ม $2 \times 10^{-3} \text{ เทสลา}$ ถ้าอัตราส่วนของประจุต่อมวลของอนุภาคนี้มีค่าเท่ากับ $4.4 \times 10^{10} \text{ คูลอมป์ต่อกิโลกรัม}$ ความถี่ของการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของอนุภาคนี้มีค่า กี่เมกะเฮิรตซ์



วิเคราะห์โจทย์ เมื่อรู้ $\theta = 90^\circ$, $B = 2 \times 10^{-3} \text{ T}$, $\frac{q}{m} = 4.4 \times 10^{10} \text{ C/kg}$ ต้องการหา f

$$\begin{aligned} \text{จาก } f &= \frac{1}{T} \quad (T = \frac{2\pi m}{qB}) \\ &= \frac{qB}{2\pi m} \\ &= \frac{4.4 \times 10^{10} \times 2 \times 10^{-3}}{2 \times \frac{22}{7}} \\ &= 14 \times 10^6 \text{ Hz} \end{aligned}$$

$$\therefore f = 14 \text{ MHz}$$

ดังนั้น ความถี่ของอนุภาคมีค่า 14 เมกะเฮิรตซ์

14. ถ้ายิงอิเล็กตรอนให้เคลื่อนที่เข้าสู่สนามแม่เหล็กคงที่ 4×10^{-3} เทสลา ในแนวตั้งฉาก ปรากฏว่า อิเล็กตรอนเคลื่อนที่เป็นวงกลมมีรัศมี 20 เซนติเมตร จงหาอัตราเร็วของอิเล็กตรอน

วิเคราะห์โจทย์ เมื่อรู้ $m = 9 \times 10^{-31} \text{ kg}$, $q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$, $B = 4 \times 10^{-3} \text{ T}$, $R = 0.2 \text{ m}$, $\theta = 90^\circ$ ต้องการหา v

$$\begin{aligned} \text{จาก } R &= \frac{mv}{qB} \\ v &= \frac{RqB}{m} \\ &= \frac{0.2 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 4 \times 10^{-3}}{9 \times 10^{-31}} \\ \therefore v &= 1.42 \times 10^8 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ดังนั้น อิเล็กตรอนมีอัตราเร็ว 1.42×10^8 เมตร/วินาที

15. อนุภาคไฟฟ้าบวามีประจุ 2.4×10^{-18} คูลอมบ์ เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 10^7 เมตร/วินาที เข้าไปในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ 2 เทสลา ปรากฏว่าทางเดิมเป็นรูปวงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 เซนติเมตร จงหามวลของอนุภาคไฟฟ้านี้

วิเคราะห์โจทย์ เมื่อรู้ $q = 2.4 \times 10^{-18} \text{ C}$, $v = 10^7 \text{ m/s}$, $B = 2 \text{ T}$, $R = 0.3 \text{ m}$ ต้องการหา m

$$\begin{aligned} \text{จาก } R &= \frac{mv}{qB} \\ m &= \frac{RqB}{v} \\ &= \frac{0.3 \times 2.4 \times 10^{-18} \times 2}{10^7} \\ \therefore m &= 1.44 \times 10^{-25} \text{ kg} \end{aligned}$$

ดังนั้น มวลของอนุภาคไฟฟ้ามีค่า 1.44×10^{-25} กิโลกรัม



16. อิเล็กตรอนตัวหนึ่งวิ่งด้วยความเร็ว 10^6 เมตร/วินาที เข้าไปในสนามแม่เหล็กคงที่ 10^{-3} เทสลา โดยทำมุม 53° ต่อกัน

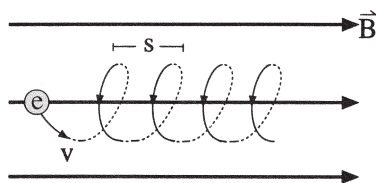
ก. จงอธิบายลักษณะการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน

ข. รัศมีของการเคลื่อนที่

ค. ระยะห่างระหว่างเกลียว

วิเคราะห์โจทย์ เมื่อรู้ $m = 9 \times 10^{-31}$ kg, $q = 1.6 \times 10^{-19}$ C, $v = 10^6$ m/s, $B = 10^{-3}$ T, $\theta = 53^\circ$

ก. เมื่ออิเล็กตรอนวิ่งเข้าสู่สนามแม่เหล็ก โดยทำมุม 53° ทางเดินจะเป็นรูปเกลียว ดังรูป

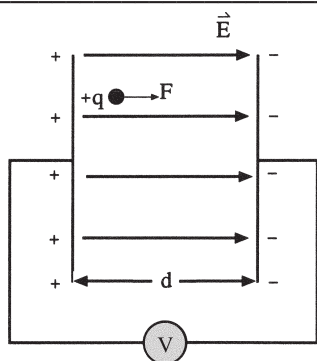


$$\begin{aligned} \text{ข. ต้องการหา } R ; \quad \text{จาก } R &= \frac{mv \sin \theta}{qB} \\ &= \frac{9 \times 10^{-31} \times 10^6}{1.6 \times 10^{-19} \times 10^{-3}} \times \frac{4}{5} \\ \therefore R &= 4.5 \times 10^{-3} \text{ m} \end{aligned}$$

ดังนั้น รัศมีของอิเล็กตรอนมีค่า 4.5×10^{-3} เมตร

$$\begin{aligned} \text{ค. ต้องการหา } s ; \quad \text{จาก } s &= v \cos 53^\circ \times T \\ &= v \cos 53^\circ \cdot \left(\frac{2\pi m}{qB} \right) \\ &= 10^6 \times \frac{3}{5} \times 2 \times \frac{22}{7} \times \frac{9 \times 10^{-31}}{1.6 \times 10^{-19} \times 10^{-3}} \\ \therefore s &= 2.12 \times 10^{-2} \text{ m} \end{aligned}$$

ดังนั้น ระยะห่างระหว่างเกลียวมีค่า 2.12 เซนติเมตร



ทบทวน ประจุไฟฟ้าในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ

เมื่ออนุภาคมวล m มีประจุไฟฟ้า $+q$ วางอยู่ระหว่างแผ่นคู่ขนาน ซึ่งมีความต่างศักย์ไฟฟ้า V เมื่อแผ่นขนานทั้งสองห่างกันเป็นระยะ d ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอระหว่างแผ่นคู่ขนานเป็น E ดังรูป 15.15

รูป 15.15 อนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ



จากรูป 15.15 จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

1. แรงกระทำต่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า เนื่องจากสนามไฟฟ้า (F_E) ได้ว่า

$$F_E = qE$$

2. ขณะประจุไฟฟ้าเกิดการเคลื่อนที่มีการเปลี่ยนรูปพลังงานจากพลังงานศักย์ไฟฟ้า (E_p) เป็นพลังงานจลน์ (E_k) ได้ว่า

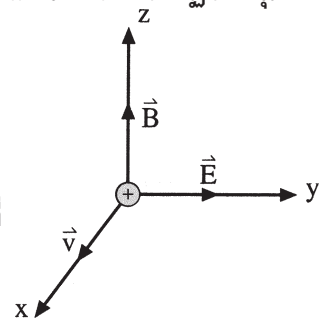
$$\begin{aligned} E_k &= E_p \\ \frac{1}{2}mv^2 &= qV \\ v &= \sqrt{\frac{2qV}{m}} \end{aligned}$$

3. สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอที่เกิดระหว่างแผ่นคู่ขนานที่มีความต่างศักย์ไฟฟ้าจะมีความสัมพันธ์กันดังนี้

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

17. ประจุบวกอนุภาคหนึ่งมีมวล 6.4×10^{-27} กิโลกรัม และมีประจุไฟฟ้า 3.2×10^{-19} คูโลมบ์ เคลื่อนที่ไปตามแกน x ด้วยอัตราเร็ว v ถ้ามีสนามไฟฟ้าคงที่ขนาด 2×10^5 นิวตัน/คูโลมบ์ มีทิศขนานไปตามแกน y และมีสนามแม่เหล็กขนาด 0.2 เทสลา มีทิศขนานไปตามแกน z ถ้าปรากฏว่าอนุภาคบวกนี้เคลื่อนที่ไปตามแกน x โดยทิศทางไม่เปลี่ยนแปลงจงหา

- ขนาดของแรงไฟฟ้าที่เกิดขึ้นและทิศทาง
- ขนาดของแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นและทิศทาง
- อัตราเร็วของอนุภาคนี้
- ถ้าความเข้มสนามไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์ จงหาความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่



วิเคราะห์โจทย์ เมื่อรู้ $m = 6.4 \times 10^{-27}$ kg, $q = 3.2 \times 10^{-19}$ C, $E = 2 \times 10^5$ N/C, $B = 0.2$ T

ก. ต้องการหา F_E

$$\begin{aligned} \text{จาก } F_E &= qE \\ &= 3.2 \times 10^{-19} \times 2 \times 10^5 \\ \therefore F_E &= 6.4 \times 10^{-14} \text{ N} \end{aligned}$$

เนื่องจาก อนุภาคมีประจุไฟฟ้าบวก แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้า จะมีทิศทางเดียวกันกับสนามไฟฟ้า ได้ว่าแรงไฟฟ้ามีทิศไปทางแกน y

ดังนั้น แรงไฟฟ้ามีขนาด 6.4×10^{-14} นิวตัน ไปทางแกน y

ข. ต้องการหา F_B

เนื่องจากอนุภาคเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงโดยถูกแรงกระทำเนื่องจากสนามแม่เหล็ก (F_B) และแรงกระทำเนื่องจากสนามไฟฟ้า (F_E) โดยแรงทั้งสองต้องมีขนาดเท่ากัน และมีทิศทางตรงข้ามกัน



$$\text{จาก } \Sigma F = 0$$

$$F_B = F_E$$

$$\therefore F_B = 6.4 \times 10^{-14} \text{ N (ไปทางแกน -y)}$$

ดังนั้น แรงแม่เหล็ก มีขนาด 6.4×10^{-14} นิวตันไปทางแกน -y

ค. ต้องการหา v

$$\text{จาก } F_B = qvB$$

$$6.4 \times 10^{-14} = 3.2 \times 10^{-19} \times v \times 0.2$$

$$\therefore v = 10^6 \text{ m/s}$$

ดังนั้น อัตราเร็วของอนุภาคนี้นี้มีค่า 10^6 เมตร/วินาที

ง. ต้องการหา R ถ้า $E = 0$ แรงกระทำต่ออนุภาคนี้นี้จะมีเฉพาะ F_B ทำให้อนุภาคนี้นี้เคลื่อนที่ในแนววงกลม มีรัศมี R

$$\text{จาก } R = \frac{mv}{qB}$$

$$= \frac{6.4 \times 10^{-27} \times 10^6}{3.2 \times 10^{-19} \times 0.2}$$

$$\therefore R = 0.1 \text{ m}$$

ดังนั้น รัศมีของการเคลื่อนที่ที่มีค่า 0.1 เมตร

18. อิเล็กตรอนวิ่งเข้าสู่บริเวณที่มีสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าตั้งฉากกัน โดยมีทิศของการเคลื่อนที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า ถ้าความเข้มของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าเท่ากับ 2×10^{-4} เทสลา และ 4×10^2 โวลต์/เมตร ตามลำดับ จงหาอัตราเร็วของอิเล็กตรอนที่สามารถเคลื่อนที่ในบริเวณนี้ได้โดยไม่เบี่ยงเบนไปจากเดิม

วิเคราะห์โจทย์ เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า จะถูกแรงกระทำเนื่องจากสนามแม่เหล็ก (F_B) และแรงกระทำเนื่องจากสนามไฟฟ้า (F_E) แล้วอิเล็กตรอน เคลื่อนที่เป็นเส้นตรง

$$\text{จาก } \Sigma F = 0$$

$$F_B = F_E$$

$$qvB = qE$$

$$v = \frac{E}{B}$$

$$= \frac{4 \times 10^2}{2 \times 10^{-4}}$$

$$\therefore v = 2 \times 10^6 \text{ m/s}$$

ดังนั้น อัตราเร็วของอิเล็กตรอน มีค่า 2×10^6 เมตร/วินาที



19. อนุภาคไฟฟ้ามีมวล m และมีประจุไฟฟ้า q ถูกเร่งจากจุดหยุดนิ่งด้วยความต่างศักย์ไฟฟ้า V จนมีความเร็ว v แล้ววิ่งเข้าไปในสนามแม่เหล็ก B ในแนวตั้งฉาก

ก) จงหารัศมีของการเคลื่อนที่ (ให้ตอบติดค่า m , q , V และ B เท่านั้น)

ข) ถ้าอนุภาคไฟฟ้าคืออิเล็กตรอน โดยมี $V = 500$ โวลต์ และ $R = 0.1$ เมตร จงหาค่าสนามแม่เหล็ก B

วิเคราะห์โจทย์ เมื่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าถูกเร่งด้วยความต่างศักย์ไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนรูปจาก E_p เป็น E_k แล้วเข้าสู่สนามแม่เหล็กในแนวตั้งฉากทำให้ทางเดินเป็นรูปวงกลม

ก) ต้องการหา R

$$\text{จาก } R = \frac{mv}{qB} \quad \dots\dots ①$$

$$\begin{aligned} \text{และ } E_k &= E_p \\ \frac{1}{2} mv^2 &= qV \\ v &= \sqrt{\frac{2qV}{m}} \quad \dots\dots ② \end{aligned}$$

$$\text{แทน } ② \text{ ใน } ① ; \quad R = \frac{m}{qB} \sqrt{\frac{2qV}{m}}$$

$$\therefore R = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mV}{q}}$$

$$\text{ดังนั้น อนุภาคเคลื่อนที่เป็นวงกลมมีรัศมี } \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mV}{q}}$$

ข) ต้องการหา B

$$\text{เมื่อรู้ } V = 500 \text{ V, } R = 0.1 \text{ m, } q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C, } m = 9 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\text{จากข้อ (ก) } R = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mV}{q}} \text{ หรือ } B = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{2mV}{q}}$$

$$B = \frac{1}{0.1} \sqrt{\frac{2 \times 9 \times 10^{-31} \times 500}{1.6 \times 10^{-19}}}$$

$$\therefore B = 7.5 \times 10^{-4} \text{ T}$$

ดังนั้น สนามแม่เหล็กมีค่า 7.5×10^{-4} เทสลา

20. อิเล็กตรอนตัวหนึ่งมีพลังงาน 4.5×10^{-19} จูล เคลื่อนที่เป็นวงกลมในระนาบที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กขนาด 10^{-3} เทสลา จงหา

ก) รัศมีของการเคลื่อนที่ ข) จำนวนรอบของการเคลื่อนที่ในเวลา 0.1 วินาที

วิเคราะห์โจทย์ เมื่อรู้ $m = 9 \times 10^{-31} \text{ kg}$, $q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$, $E_k = 4.5 \times 10^{-19} \text{ J}$.
 $B = 10^{-3} \text{ T}$

ก. ต้องการหา R อิเล็กตรอนเคลื่อนที่เข้าไปในสนามแม่เหล็กในแนวตั้งฉากทางเดินเป็นรูปวงกลมมีรัศมี R

$$\text{จาก } R = \frac{mv}{qB} \quad \dots\dots ①$$

$$\text{และ } E_k = \frac{1}{2} mv^2$$



$$v = \sqrt{\frac{2E_k}{m}} \quad \dots\dots ②$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า ② ใน ① ; } R &= \frac{m}{qB} \sqrt{\frac{2E_k}{m}} \\ &= \frac{1}{qB} \sqrt{2mE_k} \\ &= \frac{1}{1.6 \times 10^{-19} \times 10^{-3}} \sqrt{2 \times 9 \times 10^{-31} \times 4.5 \times 10^{-19}} \end{aligned}$$

$$\therefore R = 5.625 \times 10^{-3} \text{ m}$$

ดังนั้น รัศมีของการเคลื่อนที่มีค่า 5.625×10^{-3} เมตร

ข. ต้องการหาจำนวนรอบใน 0.1 วินาที

$$\begin{aligned} \text{จาก } f &= \frac{qB}{2\pi m} \\ &= \frac{1.6 \times 10^{-19} \times 10^{-3}}{2 \times \frac{22}{7} \times 9 \times 10^{-31}} \\ f &= 2.8 \times 10^7 \text{ Hz} \end{aligned}$$

ได้ว่า ในเวลา 1 วินาที อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้ 2.8×10^7 รอบ

ถ้า 0.1 วินาที อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้ 2.8×10^6 รอบ

ดังนั้น ในเวลา 0.1 วินาที อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้ 2.8×10^6 รอบ

21. อนุภาคมีประจุถูกเร่งผ่านความต่างศักย์ไฟฟ้า 10^6 โวลต์ แล้วจึงผ่านเข้าไปในสนามแม่เหล็กที่มีค่าคงที่ขนาด 2.0 เทสลา โดยที่ทิศทางของอนุภาคตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก ถ้าอนุภาคนี้มีมวล 1.5×10^{-27} กิโลกรัมและรัศมีทางเดินของอนุภาคในสนามแม่เหล็กมีค่า 0.5 เซนติเมตร จำนวนประจุบนอนุภาคมีกี่คูลอมบ์

วิเคราะห์โจทย์ เมื่อรู้ $V = 10^6 \text{ V}$, $B = 2 \text{ T}$, $m = 1.5 \times 10^{-27} \text{ kg}$, $R = 5 \times 10^{-3} \text{ m}$ ต้องการหา q

$$\text{จาก } R = \frac{mv}{qB} \quad \dots\dots ①$$

$$\text{และ } v = \sqrt{\frac{2qV}{m}} \quad \dots\dots ②$$

$$\text{แทนค่า ② ใน ① ; } R = \frac{m}{qB} \sqrt{\frac{2qV}{m}}$$

$$\text{หรือ } R^2 = \frac{m^2}{q^2 B^2} \left(\frac{2qV}{m} \right)$$

$$\begin{aligned} q &= \frac{2mV}{R^2 B^2} \\ &= \frac{2 \times 1.5 \times 10^{-27} \times 10^6}{(5 \times 10^{-3})^2 (2)^2} \end{aligned}$$



$$\therefore q = 3 \times 10^{-17} \text{ C}$$

ดังนั้น จำนวนประจุบนอนุภาคมีค่า 3×10^{-17} คูลอมป์

22. อิเล็กตรอนตัวหนึ่งถูกเร่งจากหยุดนิ่งด้วยสนามไฟฟ้าในสุญญากาศเข้าไปในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอในทิศตั้งฉากกับทิศของสนามแม่เหล็กพบว่าอิเล็กตรอน เคลื่อนที่เป็นวงกลมรัศมี 7×10^{-3} เมตร และมีคาบเท่ากับ 6×10^{-10} วินาที ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้เร่งมีค่าเท่าไร

วิเคราะห์โจทย์ อิเล็กตรอนขณะเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก ทางเดินเป็นรูปวงกลมมีอัตราเร็ว v คงที่
 เมื่อรู้ $m = 9 \times 10^{-31} \text{ kg}$, $q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$, $R = 7 \times 10^{-3} \text{ m}$, $T = 6 \times 10^{-10} \text{ s}$
 ต้องการ หา ความต่างศักย์ที่ใช้เร่ง (V) ต้องหา v ก่อน

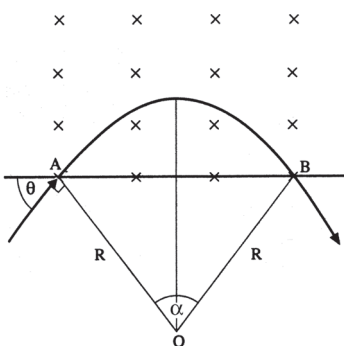
$$\begin{aligned} \text{จาก } v &= \frac{2\pi R}{T} \\ &= 2 \times \frac{22}{7} \times \frac{7 \times 10^{-3}}{6 \times 10^{-10}} \\ v &= \frac{22}{3} \times 10^7 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หา } V ; \text{ จาก } E_p &= E_k \\ qV &= \frac{1}{2} mv^2 \\ V &= \frac{mv^2}{2q} \\ &= \frac{9 \times 10^{-31} \times \left(\frac{22}{3} \times 10^7\right)^2}{2 \times 1.6 \times 10^{-19}} \end{aligned}$$

$$\therefore V = 1.51 \times 10^4 \text{ V}$$

ดังนั้น ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้เร่งมีค่า 1.5×10^4 โวลต์

23. จากรูปเป็นการทดลองยิงอนุภาคมวล m กิโลกรัม ซึ่งมีประจุไฟฟ้า $-q$ คูลอมป์ เข้าไปในสนามแม่เหล็ก ขนาดสม่ำเสมอ B เทสลา ด้วยความเร็ว v เมตร/วินาที โดยใช้มุมต่างๆ กัน พบว่าอนุภาคใช้เวลาเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กมากที่สุด $\frac{\pi m}{3qB}$ วินาที จงหาว่า อนุภาคนี้จะเคลื่อนที่เข้าไปในสนามแม่เหล็กได้ไกลเท่าไร



วิเคราะห์โจทย์ จากโจทย์ห้ามุม α ซึ่งอนุภาคเบนไปจากแนวเดิมก่อน จะทำให้หาระยะ AB ตามต้องการได้โดยเทียบกับรัศมี R



$$\text{จาก } t = \frac{\pi m}{3qB} \quad \dots\dots ①$$

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

$$①/② \quad \frac{t}{T} = \frac{1}{6}$$

$$\text{ได้ว่า } t = \frac{T}{6}$$

จาก ในเวลา T วินาที มุมเปลี่ยนไป 360°

ถ้าเวลา $\frac{T}{6}$ วินาที มุมจะเปลี่ยนไป 60°

จะได้ว่ามุม α มีค่า 60° ดังนั้น ΔAOB เป็น Δ ด้านเท่า

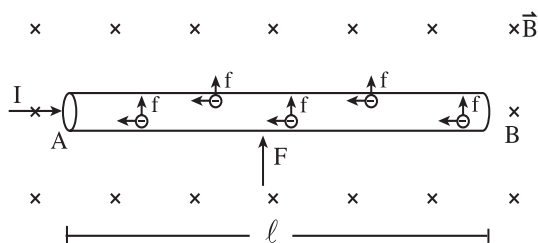
$$AB = R$$

$$\therefore AB = \frac{mv}{qB}$$

ดังนั้น อนุภาคนี้อ่อนที่เข้าไปในสนามแม่เหล็กได้ไกล $\frac{mv}{qB}$

15.3 แรงที่กระทำต่อลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน เมื่อ วางอยู่ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก

จากความรู้ที่ว่า เมื่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่เข้าไปในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก จะเกิดแรงกระทำกับอนุภาคนั้น และจากความรู้ที่ว่ากระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระด้วยความเร็วลอยเลื่อน ดังนั้น ถ้าวางเส้นลวดตัวนำในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก แล้วผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในเส้นลวดตัวนำนั้น ดังรูป 15.16



รูป 15.16 แรงกระทำต่อลวดตัวนำ

จากรูป 15.16 เมื่อนำลวด AB ยาว l วางตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก B โดยมีกระแสไฟฟ้าผ่านจาก A ไป B หรือมีกระแสอิเล็กตรอนเคลื่อนที่จาก B ไป A ดังนั้นจึงมีแรงกระทำต่ออิเล็กตรอน หรือกระทำต่อลวด AB นั้นเองในทิศทางพุ่งขึ้น (อาศัยการหาทิศทางจาก $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$)

กำหนดให้ N = จำนวนอิเล็กตรอนทั้งหมด

n = จำนวนอิเล็กตรอนใน 1 หน่วยปริมาตร (อนุภาค/ m^3)

e = ประจุของอิเล็กตรอน (C)

v = ความเร็วลอยเลื่อน (m/s)



- A = พื้นที่หน้าตัดของลวดตัวนำ (m^2)
 ℓ = ความยาวของเส้นลวด (m)
 f = แรงที่กระทำต่ออิเล็กตรอนแต่ละตัว (N)
 F = แรงที่กระทำต่อเส้นลวดหรืออิเล็กตรอนทั้งหมด (N)
 I = กระแสไฟฟ้าที่ผ่านลวด (A)

ได้ว่า $F = Nf$

จาก $N = n\ell A$ ①

และ $f = qvB = evB$ ②

ดังนั้น $F = (n\ell A)(evB)$

หรือ $F = (nevA)\ell B$

และ $I = nevA$

ได้ว่า $F = I\ell B$

ดังนั้น แรงแม่เหล็กที่กระทำต่อกระแสไฟฟ้า I ในลวดตัวนำยาว ℓ ที่วางตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก $\vec{B}$ มีขนาด

$$\boxed{F = I\ell B} \quad \text{.....(15.9)}$$

ถ้ากระแสไฟฟ้า I หรือความยาว ℓ ของเส้นลวดตัวนำ วางทำมุม θ กับสนามแม่เหล็ก $\vec{B}$ เราอาจพิสูจน์ได้ว่า

$$\boxed{F = I\ell B \sin\theta} \quad \text{.....(15.10)}$$

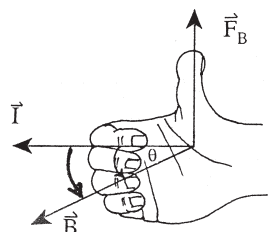
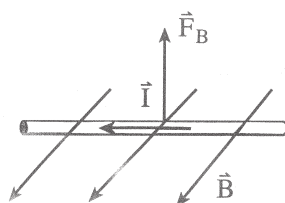
การหาทิศทางของแรง $\vec{F}$ พบว่า จะตั้งฉากกับทิศทางของกระแสไฟฟ้า I และสนามแม่เหล็ก $\vec{B}$ เสมอ ดังนั้น อาจหาทิศทางและขนาด แรง F จาก

$$\boxed{\vec{F} = \ell \vec{I} \times \vec{B}} \quad \text{.....(15.11)}$$

หรือ

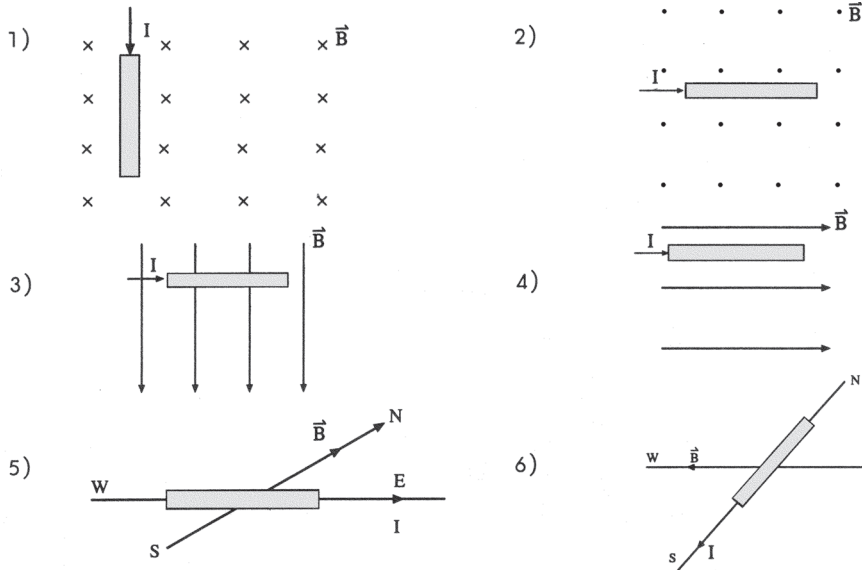
$$\boxed{F = \ell I B \sin\theta} \quad \text{.....(15.12)}$$

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

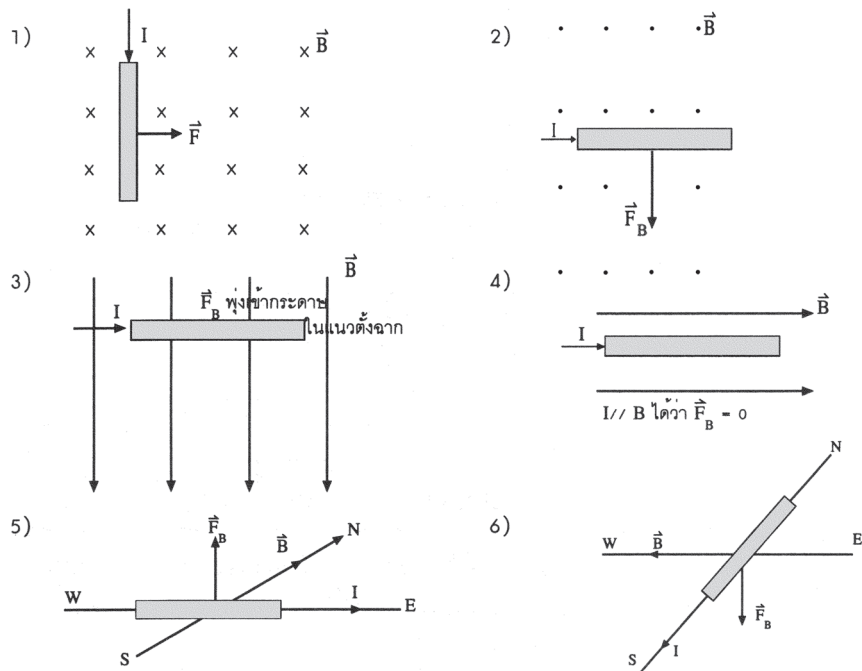




24. จากรูป จงเติมทิศทางการกระทำต่อเส้นลวด



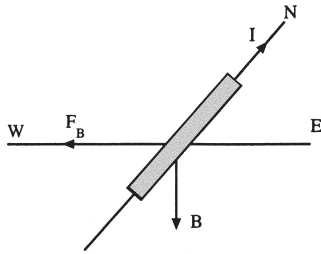
วิเคราะห์โจทย์ เมื่อรู้ทิศทางของ I และ $\vec{B}$ สามารถหาทิศทางของแรงที่กระทำต่อเส้นลวดเนื่องจากสนามแม่เหล็กได้จาก หลักการ cross vector จาก I ไป $\vec{B}$



25. ลวดตัวนำเส้นหนึ่งยาว 40 เซนติเมตร วางในแนวเหนือใต้ มีกระแสไฟฟ้าผ่านจากทิศใต้ไปทิศเหนืออย่างสม่ำเสมอ 10 แอมแปร์ ถ้ามีสนามแม่เหล็กดักกระทบลวดในทิศพุ่งลงในแนวตั้งขนาด 0.1 เทสลา จงหาขนาดและทิศทางของแรงที่เกิดขึ้นบนลวดเส้นนี้



วิเคราะห์โจทย์ เมื่อนำลวดตัวนำวางในสนามแม่เหล็ก แล้วผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในลวดจะเกิดแรงกระทำต่อลวด เมื่อรู้ $\ell = 0.4 \text{ m}$, $I = 10 \text{ A}$, $B = 0.1 \text{ T}$, $\theta = 90^\circ$



ต้องการหา F_B

$$\begin{aligned} \text{จาก } F_B &= I\ell B \sin\theta \\ &= 10 \times 0.4 \times 0.1 \times 1 \\ \therefore F_B &= 0.4 \text{ N} \end{aligned}$$

ดังนั้น แรงที่เกิดบนลวดมีขนาด 0.4 นิวตันมีทิศไปทางตะวันตก

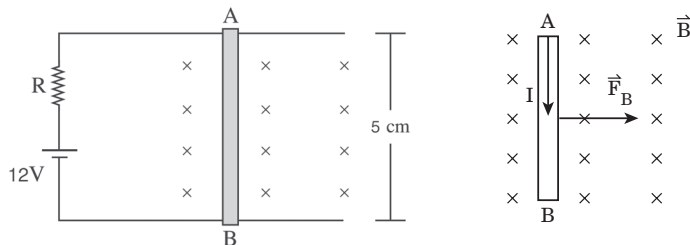
26. ลวดตัวนำเส้นหนึ่งยาว 20 เซนติเมตร มีกระแสผ่าน 20 แอมแปร์ และวางทำมุม 30 องศา กับสนามแม่เหล็กคงที่ 2×10^{-3} เทสลา จงหาขนาดของแรงกระทำต่อลวดนี้

วิเคราะห์โจทย์ เมื่อรู้ $\ell = 0.2 \text{ m}$, $I = 20 \text{ A}$, $\theta = 30^\circ$, $B = 2 \times 10^{-3} \text{ T}$ ต้องการหา F_B

$$\begin{aligned} \text{จาก } F_B &= I\ell B \sin\theta \\ &= 20 \times 0.2 \times 2 \times 10^{-3} \times \frac{1}{2} \\ \therefore F_B &= 4 \times 10^{-3} \text{ N} \end{aligned}$$

ดังนั้น แรงกระทำต่อลวดมีค่า 4×10^{-3} นิวตัน

27. เส้นลวดตัวนำ AB แข็งตรง วางพาดอยู่บนรางโลหะที่มีความต้านทานน้อยมาก และต่อเป็นวงจรกับความต้านทาน 4 โอห์ม ดังรูป ลวดเส้นนี้อยู่ในสนามแม่เหล็กคงที่ 0.1 เทสลา และมีทิศตั้งฉากกับลวดเส้นนี้ จงหาขนาดและทิศทางของแรงที่กระทำบนลวดเส้นนี้



วิเคราะห์โจทย์ จากโจทย์เมื่อรู้ $R = 4 \Omega$, $E = 12 \text{ V}$, $\ell = 5 \times 10^{-2} \text{ m}$, $B = 0.1 \text{ T}$ ทิศทางของ $\vec{F}_B$ หาได้จาก $\vec{I} \times \vec{B}$ ได้ว่า $\vec{F}_B$ มีทิศไปทางขวามือ

$$\text{จาก } F_B = I\ell B \sin\theta \quad \dots \textcircled{1}$$

$$\begin{aligned} \text{ต้องหา } I \text{ ก่อน ; จาก } I &= \frac{E}{R} \\ \therefore I &= \frac{12}{4} = 3 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\text{แทนค่าใน } \textcircled{1} \quad F_B = 3 \times 5 \times 10^{-2} \times 0.1 \times 1$$

$$\therefore F_B = 1.5 \times 10^{-2} \text{ N}$$

ดังนั้น แรงกระทำบนลวดมีขนาด 1.5×10^{-2} นิวตัน มีทิศไปทางขวามือ

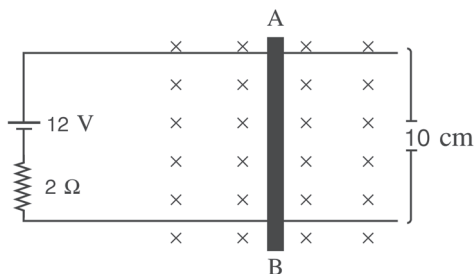


28. ลวดตัวนำ AB มวล 20 กรัม วางพาดอยู่บนรางตัวนำ ซึ่งต่อกับแบตเตอรี่ 12 โวลต์ และความต้านทาน 2 โอห์ม ดังรูปและ AB อยู่ในสนามแม่เหล็กขนาด 0.2 เทสลา จงหา

ก. ขนาดของแรงกระทำต่อลวดตัวนำ ข. นานเท่าไรลวดจึงเคลื่อนที่ได้ทาง 10 เซนติเมตร

วิเคราะห์โจทย์ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านลวดจาก A ไป B ทำให้เกิดแรงกระทำต่อลวดทำให้ลวด AB เคลื่อนที่ด้วยความเร่ง ดังรูป

ก. ต้องการหา F เมื่อรู้ $E = 12 \text{ V}$, $R = 2 \Omega$, $B = 0.2 \text{ T}$, $\ell = 0.1 \text{ m}$, $\theta = 90^\circ$



$$\text{หา } I \text{ ก่อน ; จาก } I = \frac{E}{R + r}$$

$$\therefore I = \frac{12}{2 + 0} = 6 \text{ A}$$

$$\text{หา } F_B ; \text{ จาก } F_B = I\ell B \sin \theta$$

$$= 6 \times 0.1 \times 0.2 \times 1$$

$$\therefore F_B = 0.12 \text{ N}$$

ดังนั้น ขนาดของแรงกระทำต่อลวดตัวนำมีค่า 0.12 นิวตัน

ข. ต้องการหา t เมื่อรู้ $m = 2 \times 10^{-2} \text{ kg}$, $u = 0$, $s = 0.1 \text{ m}$ ต้องการหา a ก่อน

$$\text{จาก } F = ma$$

$$0.12 = 2 \times 10^{-2} a$$

$$a = 6 \text{ m/s}^2$$

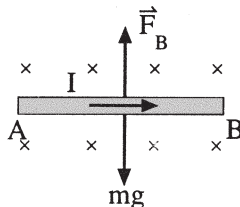
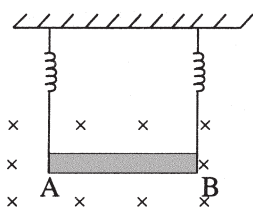
$$\text{หา } t ; \text{ จาก } s = ut + \frac{1}{2} at^2$$

$$0.1 = 0 + \frac{1}{2} (6) t^2$$

$$\therefore t = 0.18 \text{ s}$$

ดังนั้น ลวดใช้เวลาในการเคลื่อนที่ 0.18 วินาที

29. เส้นลวดตัวนำยาว 40 เซนติเมตร มีมวล 10 กรัม ปลายทั้งสองยึดอยู่ด้วยสปริง และห้อยแขวนอยู่ในสนามแม่เหล็กขนาด 0.2 เทสลา จงหาขนาดและทิศทางของกระแสไฟฟ้าเพื่อให้แรงในสปริงเป็นศูนย์



วิเคราะห์โจทย์ เมื่อแรงในสปริงเป็นศูนย์ และแรงลัพธ์มีค่าเป็นศูนย์เพื่อให้แรงกระทำต่อลวดซึ่งมี mg ลงในแนวตั้ง ดังนั้น แรงเนื่องจากสนามแม่เหล็ก F_B ต้องมีทิศพุ่งขึ้น และมีขนาดเท่ากับ mg จากกฎมือขวาจะได้กระแสไฟฟ้าต้องผ่านจาก $A \rightarrow B$

$$\text{จาก } \Sigma F = 0$$

$$F_B = mg$$



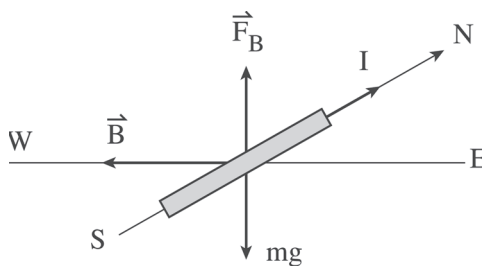
$$\begin{aligned} I\ell B &= mg \\ I &= \frac{mg}{\ell B} \\ &= \frac{10 \times 10^{-3} \times 10}{0.4 \times 0.2} \end{aligned}$$

$$\therefore I = 1.25 \text{ A}$$

ดังนั้น ขนาดของกระแสไฟฟ้ามีค่า 1.25 แอมแปร์ มีทิศจาก A ไป B

30. เมื่อนำลวดตัวนำยาว 10 เซนติเมตร มวล 0.05 กิโลกรัม มาวางในแนวเหนือ-ใต้ ซึ่งบริเวณนั้นมีสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอในแนวตะวันออก-ตะวันตก เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าขนาด 25 แอมแปร์ เข้าไปในลวดตัวนำจากทิศใต้ไปทิศเหนือ ปรากฏว่าลวดตัวนำนี้สามารถลอยนิ่งอยู่ในสนามแม่เหล็กจงหาขนาดและทิศทางของสนามแม่เหล็กนี้

วิเคราะห์โจทย์ เขียนรูป แล้วใส่แรงกระทำต่อลวดตัวนำ ขณะลอยนิ่งแรงเนื่องจากสนามแม่เหล็กต้องมีทิศพุ่งขึ้นในแนวตั้ง



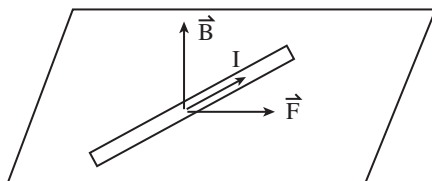
จากกฎมือขวา ถ้า I ไปทางทิศเหนือ $\vec{F}_B$ พุ่งขึ้นในแนวตั้ง $\vec{B}$ ต้องมีทิศจากตะวันออกไปตะวันตก

$$\begin{aligned} \text{จาก } \Sigma F &= 0 \\ F_B &= mg \\ I\ell B &= mg \\ B &= \frac{mg}{I\ell} \\ &= \frac{0.05 \times 10}{25 \times 0.1} \end{aligned}$$

$$\therefore B = 0.2 \text{ T}$$

ดังนั้น สนามแม่เหล็กมีขนาด 0.2 เทสลา มีทิศจากตะวันออกไปตะวันตก

31. ลวดตัวนำยาว 0.2 เมตร มวล 0.06 กิโลกรัม วางอยู่บนโต๊ะราบเกลี้ยงมีสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ $\vec{B}$ ขนาด 0.08 เทสลา มีทิศพุ่งขึ้นตามแนวตั้ง เมื่อให้กระแสไฟฟ้าจำนวนหนึ่งแก่ลวด พบว่าลวดเคลื่อนที่จากหยุดนิ่งไปได้ไกล 1.6 เมตรในเวลา 2 วินาที จงหากระแสไฟฟ้าที่ให้แก่ลวดมีค่ากี่แอมแปร์
- วิเคราะห์โจทย์** วาดรูปแล้วใส่แรงกระทำต่อลวดเนื่องจากสนามแม่เหล็กทำให้ลวดเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง



หา a ก่อน (เมื่อรู้ $u = 0$, $s = 1.6 \text{ m}$, $t = 2 \text{ s}$)

$$\begin{aligned} \text{จาก } s &= ut + \frac{1}{2} at^2 \\ 1.6 &= 0 + \frac{1}{2} a(2)^2 \\ a &= 0.8 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

หา I (เมื่อรู้ $\ell = 0.2 \text{ m}$, $m = 0.06 \text{ kg}$, $B = 0.08 \text{ T}$)

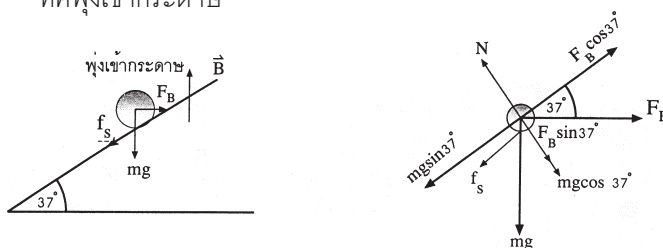


$$\begin{aligned}\text{จาก } F &= ma \\ I\ell B &= ma \\ I &= \frac{ma}{\ell B} \\ &= \frac{0.06 \times 0.8}{0.2 \times 0.08} \\ \therefore I &= 3 \text{ A}\end{aligned}$$

ดังนั้น กระแสไฟฟ้ามีค่า 3 แอมแปร์

32. นำแท่งโลหะทรงกระบอกขนาดสม่ำเสมอมวล 200 กรัม ยาว 10 เซนติเมตร มาวางบนพื้นเอียงทำมุม 37° กับพื้นราบโดยอยู่ในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอที่มีทิศพุ่งขึ้นในแนวดิ่ง และมีขนาด 10 เทสลา ถ้าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างแท่งโลหะกับพื้นเอียงมีค่า 0.2 จงหากระแสไฟฟ้าทั้งขนาดและทิศทางที่ทำให้แท่งโลหะเริ่มเคลื่อนที่ขึ้นตามพื้นเอียง

วิเคราะห์โจทย์ เขียนรูปแล้วใส่แรงกระทำต่อแท่งโลหะซึ่งอยู่ในสภาพสมดุล เมื่อ mg มีทิศลงในแนวดิ่ง แม่เหล็ก F_B ต้องดึงให้แท่งโลหะเริ่มเคลื่อนที่ขึ้น จากกฎมือขวา กระแสไฟฟ้าต้องมีทิศพุ่งเข้ากระดาษ



$$\text{จาก } \Sigma F = 0$$

$$\text{ได้ว่า } N = mg \cos 37^\circ + F_B \sin 37^\circ \quad \dots\dots ①$$

$$\text{และ } F_B \cos 37^\circ = mg \sin 37^\circ + f_s$$

$$F_B \cos 37^\circ = mg \sin 37^\circ + \mu (mg \cos 37^\circ + F_B \sin 37^\circ)$$

$$\frac{4}{5} F_B = \frac{3}{5} (2) + 0.2 \left[\left(2 \times \frac{4}{5} \right) + \frac{3}{5} F_B \right]$$

$$4 F_B = 6 + 1.6 + 0.6 F_B$$

$$3.4 F_B = 7.6$$

$$F_B = \frac{7.6}{3.4} \text{ N}$$

$$\text{จาก } F = I\ell B$$

$$\frac{7.6}{3.4} = I \times 0.1 \times 10$$

$$\therefore I = 2.24 \text{ A}$$

ดังนั้น กระแสไฟฟ้ามีขนาด 2.24 แอมแปร์ และมีทิศทางพุ่งเข้าหากระดาษ

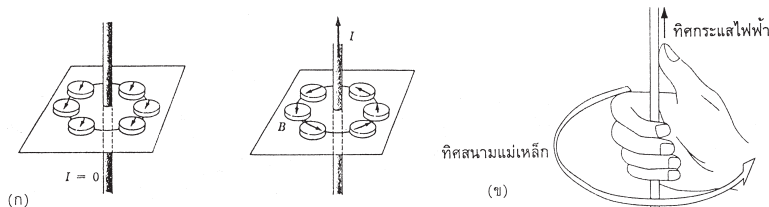


15.4 สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าผ่านลวดตัวนำ

จากการศึกษาเกี่ยวกับเส้นลวดที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านวางอยู่ในสนามแม่เหล็ก จะเกิดแรงกระทำต่อเส้นลวดนั้น แต่ถ้าไม่มีสนามแม่เหล็กจะเกิดอะไรขึ้นเมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านลวดตัวนำ ในปี พ.ศ. 2363 Hans Christian Oersted พบว่าเมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านในลวดตัวนำ จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กรอบ ๆ ลวดตัวนำนั้น ซึ่งแยกพิจารณาตามลักษณะของลวดตัวนำดังนี้

15.4.1 สนามแม่เหล็กจากกระแสไฟฟ้าผ่านในลวดตรงยาว

เมื่อนำเข็มทิศไปวางใกล้ลวดตรงที่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน พบว่าแนวเข็มทิศมีการเปลี่ยนแปลงไปจากแนวเหนือ-ใต้เดิม แสดงว่ารอบ ๆ ลวดมีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้น การหาทิศของสนามแม่เหล็กรอบลวดตรงหาได้โดยใช้กฎมือขวา ซึ่งทำได้โดยใช้มือขวากำรอบเส้นลวดตัวนำ ในลักษณะให้นิ้วหัวแม่มือชี้ตามทิศของกระแสไฟฟ้า ทิศทางการวนของปลายนิ้วทั้งสี่จะแสดงทิศของสนามแม่เหล็กรอบ ๆ ลวดตัวนำนั้น ดังรูป 15.17



รูป 15.17 ก. กระแสไฟฟ้าและทิศทางของสนามแม่เหล็ก

ข. การใช้กฎมือขวหาทิศทางของสนามแม่เหล็ก

ลักษณะของสนามแม่เหล็กที่เกิดรอบ ๆ เส้นลวดตรง

1. สนามแม่เหล็กจะมีทิศทางวนรอบเส้นลวด โดยสนามแม่เหล็ก ณ จุดใด ๆ จะอยู่ในแนวเส้นสัมผัสกับเส้นแรงแม่เหล็กที่จุดนั้น ๆ เสมอ
2. สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบ ๆ เส้นลวดจะมีความเข้มแตกต่างกันโดยสามารถคำนวณได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad \text{.....(15.13)}$$

เมื่อ μ_0 คือค่า permeability ของตัวกลางที่ลวดอยู่ สำหรับในสุญญากาศ $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$ (ในอากาศถือว่า μ_0 มีค่าเท่ากับของสุญญากาศ) ดังนั้นเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้า เข้าไปในเส้นลวดตรงที่วางในอากาศสนามแม่เหล็กรอบ ๆ เส้นลวดตรงมีค่า

$$B = 2 \times 10^{-7} \frac{I}{r} \quad \text{.....(15.14)}$$

- เมื่อ
- I = กระแสไฟฟ้าที่ผ่านในลวด
 - r = ระยะห่างในแนวตั้งฉากกับลวด
 - B = ความเข้มสนามแม่เหล็ก



33. เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้า 2 แอมแปร์ เข้าไปในลวดตัวนำเส้นตรง จงหาความเข้มสนามแม่เหล็กที่จุด ห่างจากลวดเป็นระยะ 1 เซนติเมตร

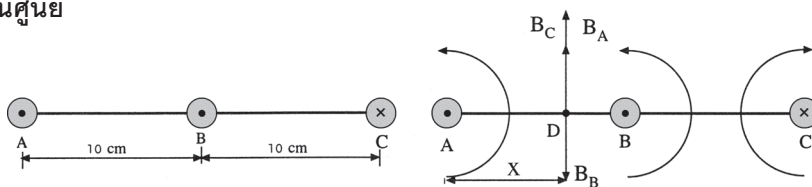
วิเคราะห์โจทย์ เมื่อรู้ $I = 2 \text{ A}$, $r = 10^{-2} \text{ m}$ ต้องการหา B

$$\begin{aligned} \text{จาก } B &= 2 \times 10^{-7} \frac{I}{r} \\ &= \frac{2 \times 10^{-7} \times 2}{10^{-2}} \end{aligned}$$

$$\therefore B = 4 \times 10^{-5} \text{ T}$$

ดังนั้น ความเข้มสนามแม่เหล็กมีค่า 4×10^{-5} เทสลา

34. จากรูป แสดงหน้าตัดของลวดโลหะยาวมาก 3 แท่งวางตั้งฉากกับกระดาษและมีกระแสไฟฟ้าผ่าน ลวดทั้งสามขนาดเท่ากัน จงหาตำแหน่งที่อยู่ในแนวเส้นตรงระหว่าง A, C ซึ่งมีความเข้มสนามแม่เหล็กเป็นศูนย์



วิเคราะห์โจทย์ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านลวดทั้งสามจะเกิดสนามแม่เหล็กรอบๆ ลวดทั้งสาม (หาทิศทางจากกฎมือขวา) ได้ดังรูป โดยตำแหน่งที่จะมี $B_{\text{ลัพธ์}} = 0$ ต้องอยู่ระหว่างจุด A กับ B ในที่นี้คือจุด D ซึ่งอยู่ห่างจาก A = $x \text{ cm}$

$$\text{จาก } B = 2 \times 10^{-7} \frac{I}{r}$$

$$B_D = 0$$

$$B_B = B_A + B_C$$

$$\frac{2 \times 10^{-7} I}{10-x} = \frac{2 \times 10^{-7} I}{x} + \frac{2 \times 10^{-7} I}{20-x}$$

$$\frac{1}{10-x} = \frac{1}{x} + \frac{1}{20-x}$$

$$\frac{1}{10-x} = \frac{20-x+x}{x(20-x)}$$

$$x(20-x) = 20(10-x)$$

$$20x - x^2 = 200 - 20x$$

$$x^2 - 40x + 200 = 0$$

$$x = \frac{40 \pm \sqrt{1600 - 800}}{2}$$

$$= \frac{40 \pm 28.28}{2}$$

$$x = 5.86, 34.14$$

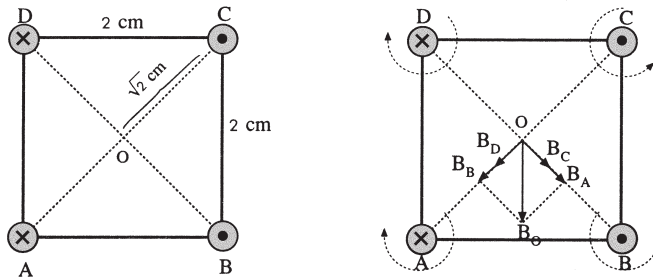
จากโจทย์บอกว่า เป็นตำแหน่งที่อยู่ระหว่างจุด A, C



$$\therefore x = 5.86 \text{ cm}$$

ดังนั้น ตำแหน่งที่มีความเข้มสนามแม่เหล็กเป็นศูนย์อยู่ห่างจากจุด A เท่ากับ 5.86 เซนติเมตร

35. เส้นลวดยาวมาก 4 เส้น วางขนานกันในแนวตั้งฉากกับกระดาษ เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในลวด ดังรูป มีขนาด 10 แอมแปร์ เท่ากันหมดทุกเส้นถ้าวางเส้นลวดทั้งสี่ที่มุมของสี่เหลี่ยมจัตุรัสซึ่งมีด้านยาวด้านละ 2 เซนติเมตรจงหาความเข้มสนามแม่เหล็ก และทิศทางของสนามแม่เหล็กที่จุดตัดของเส้นทแยงมุม



วิเคราะห์โจทย์ ใช้กฎมือขวาหาทิศทางของสนามแม่เหล็กที่จุด O เนื่องจากกระแสไฟฟ้าผ่านลวดที่ A, B, C และ D

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad B &= 2 \times 10^{-7} \frac{I}{r} \\ \text{ได้ว่า} \quad B_A = B_B = B_C = B_D &= 2 \times 10^{-7} \times \frac{10}{\sqrt{2} \times 10^{-2}} \\ B_A &= \sqrt{2} \times 10^{-4} \text{ T} \end{aligned}$$

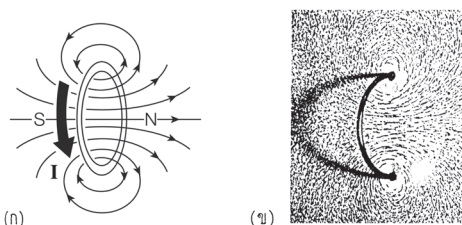
หา B_0

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad B_{0B} &= B_A + B_C = 2\sqrt{2} \times 10^{-4} \text{ T} \\ \text{และ} \quad B_{0A} &= B_B + B_D = 2\sqrt{2} \times 10^{-4} \text{ T} \\ \text{จาก} \quad B_0 &= \sqrt{B_{0A}^2 + B_{0B}^2} \\ &= \sqrt{2} B_{0A} \\ &= \sqrt{2} (2\sqrt{2} \times 10^{-4}) \end{aligned}$$

$$\therefore B_0 = 4 \times 10^{-4} \text{ T}$$

ดังนั้น ความเข้มสนามแม่เหล็กที่จุดตัดของเส้นทแยงมุมมีขนาด 4×10^{-4} เทสลามิทิศลง

15.4.2 สนามแม่เหล็กจากกระแสไฟฟ้าผ่านในขดลวดวงกลม



เมื่อนำเส้นลวดมาขดเป็นวงกลม แล้วผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวดนั้น จะเกิดสนามแม่เหล็ก ดังรูป 15.18

รูป 15.18 ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กและขั้วแม่เหล็ก จากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดวงกลม



จากการตรวจสอบทิศของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดกับทิศทางของกระแสไฟฟ้า พบว่าจะเป็นไปตามกฎมือขวาโดยทิศทางของกระแสไฟฟ้าตามแนวโค้งของเส้นลวดแทนด้วยนิ้วทั้งสี่ แล้วทิศนิ้วหัวแม่มือชี้ทิศของขั้วเหนือหรือแนวเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิด

การหาความเข้มสนามแม่เหล็ก เนื่องจากกระแสไฟฟ้าผ่านในขดลวดวงกลม ณ จุดศูนย์กลางของขดลวด จากกฎของ Savart และ Biot ได้ว่า

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2a} \quad \text{.....(15.15)}$$

ถ้าขดลวดวางอยู่ในสุญญากาศหรืออากาศ $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$

$$\text{ได้ว่า } B = 4\pi \times 10^{-7} \frac{NI}{2a}$$

$$\text{หรือ } B = 2\pi \times 10^{-7} \frac{NI}{a} \quad \text{.....(15.16)}$$

เมื่อ N = จำนวนรอบของขดลวด

I = กระแสไฟฟ้าที่ผ่านในขดลวด

a = รัศมีของขดลวดวงกลม

36. ขดลวดวงกลมรัศมี π เซนติเมตร จำนวน 50 รอบ มีกระแสไฟฟ้าผ่าน 0.5 แอมแปร์ จงหาความเข้มสนามแม่เหล็กที่จุดศูนย์กลางของขดลวด

วิเคราะห์โจทย์ เมื่อรู้ $a = \pi \times 10^{-2} \text{ m}$, $N = 50$ รอบ, $I = 0.5 \text{ A}$ ต้องการหา B

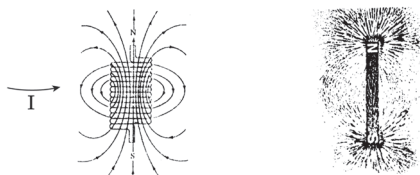
$$\begin{aligned} \text{จาก } B &= 2\pi \times 10^{-7} \frac{NI}{a} \\ &= \frac{2\pi \times 10^{-7} \times 50 \times 0.5}{\pi \times 10^{-2}} \end{aligned}$$

$$\therefore B = 5 \times 10^{-4} \text{ T}$$

ดังนั้น ความเข้มสนามแม่เหล็กที่จุดศูนย์กลางของขดลวดมีค่า 5×10^{-4} เทสลา

15.4.3 สนามแม่เหล็กจากกระแสไฟฟ้าผ่านในโซเลนอยด์

โซเลนอยด์ คือ ขดลวดที่ขดเป็นรูปร่างคล้ายสปริง จากการศึกษ พบว่าเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวดโซเลนอยด์จะเกิดสนามแม่เหล็กรอบๆ ขดลวดโซเลนอยด์ ดังรูป 15.19 ซึ่งเปรียบเทียบกับเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดโซเลนอยด์ คล้ายกับเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากแท่งแม่เหล็ก



รูป 15.19 ขั้วแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดตัวนำโซเลนอยด์