คู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติม

ฟิสิกส์ เล่ม ๔

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔-๖

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

กระทรวงศึกษาธิการ

สสวท

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

๒๕๙.-

สสวท

คู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม ๔

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ – ๖

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

จัดทำโดย

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงศึกษาธิการ

ISBN 978-974-01-9829-1
พิมพ์ครั้งที่หนึ่ง ๓,๐๐๐ เล่ม
พ.ศ. ๒๕๕๕

องค์การค้าของ สกสค. จัดพิมพ์จำหน่าย

พิมพ์ที่โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว
๒๒๔๙ ถนนลาดพร้าว วังทองหลาง กรุงเทพมหานคร
มีลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติ

สสวท

ประกาศสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน
เรื่อง อนุญาตให้ใช้สื่อการเรียนรู้ในสถานศึกษา

ด้วยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้จัดทำโครงสร้างหลักสูตรรายวิชาเพิ่มเติมและจัดทำคู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม ๔ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔–๖ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน ได้พิจารณาแล้วอนุญาตให้ใช้ในสถานศึกษาได้

ประกาศ ณ วันที่ ๒๘ ธันวาคม พ.ศ. ๒๕๕๔

(นายชินภัทร ภูมิรัตน)
เลขาธิการคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

คำนำ

คู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม ๔ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ – ๖ นี้ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้จัดทำขึ้นสำหรับให้ครูผู้สอนเลือกใช้ประกอบการเรียนการสอนควบคู่กับหนังสือเรียนโครงสร้างตามหลักสูตรรายวิชาเพิ่มเติมที่ประกอบด้วยคำอธิบายรายวิชาที่มีทั้งผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม โดยให้พิจารณาเทียบเคียงกับหลักสูตรของสถานศึกษาและเลือกใช้ประกอบการเรียนการสอนเพื่อเป็นแนวทางสำหรับครูในการวางแผนจัดการเรียนรู้ การวัดและประเมินผล รวมทั้งข้อเสนอแนะในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนและแหล่งเรียนรู้ต่างๆ ในการจัดทำคู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมเล่มนี้ได้รับความร่วมมือจากคณาจารย์ ผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์จากสถาบันต่างๆ ทั้งภาครัฐและเอกชนเป็นอย่างดี

สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือครูเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการเรียนรู้เพื่อประยุกต์ใช้พัฒนาการเรียนรู้ได้อย่างเหมาะสม ขอขอบคุณสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตลอดจนบุคคลและหน่วยงานอื่นๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการจัดทำไว้ ณ โอกาสนี้

(นายชินภัทร ภูมิรัตน)
เลขาธิการคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน
๒๘ ธันวาคม ๒๕๕๔

คำชี้แจง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้รับมอบหมายจากกระทรวงศึกษาธิการ ให้ดำเนินการจัดทำหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ ของกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ซึ่งประกอบด้วยสาระหลัก ๘ สาระ คือ สิ่งมีชีวิตกับกระบวนการดำรงชีวิต ชีวิตกับสิ่งแวดล้อม สารและสมบัติของสาร แรงและการเคลื่อนที่ พลังงาน กระบวนการเปลี่ยนแปลงของโลก ดาราศาสตร์และอวกาศ ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี รวมทั้งมาตรฐานการเรียนรู้วิทยาศาสตร์สำหรับการศึกษาขั้นพื้นฐาน ตัวชี้วัดชั้นปีและตัวชี้วัดช่วงชั้น ซึ่งเป็นเป้าหมายสำหรับผู้เรียนทุกคนที่จะได้รับการพัฒนาทั้งด้านความรู้ กระบวนการคิด กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ การแก้ปัญหา ความสามารถในการสื่อสาร การตัดสินใจ การนำความรู้ไปใช้ในชีวิตประจำวัน ตลอดจนมีจิตวิทยาศาสตร์ คุณธรรมและค่านิยมที่ถูกต้องเหมาะสม โดยมุ่งเน้นความเป็นไทยควบคู่กับความเป็นสากล ตั้งแต่ปีการศึกษา ๒๕๕๓ เป็นต้นไป โรงเรียนจะต้องใช้หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช ๒๕๕๑ จึงจำเป็นต้องมีสื่อการเรียนการสอนที่ได้รับการพัฒนาอย่างเหมาะสมและเป็นไปตามเป้าหมายของหลักสูตรดังกล่าว

คู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม ๔ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔–๖ สำหรับครูที่จัดการเรียนการสอนฟิสิกส์เพิ่มเติม ซึ่งคู่มือครูเล่ม ๔ นี้ ได้พัฒนาขึ้นให้สอดคล้องกับมาตรฐานการเรียนรู้ สาระที่ ๔ แรงและการเคลื่อนที่ และสาระที่ ๕ พลังงาน เพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางสำหรับครูในการวางแผนการจัดการเรียนรู้ การวัดและประเมินผลการเรียนรู้ของนักเรียน รวมทั้งข้อเสนอแนะในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนและแหล่งเรียนรู้ต่างๆ ในการจัดทำคู่มือครูเล่มนี้ได้รับความร่วมมืออย่างดียิ่งจากคณาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิ นักวิชาการอิสระ และครูผู้สอนจากสถาบันต่างๆ ทั้งภาครัฐและเอกชน จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่มนี้ จะเป็นประโยชน์แก่นักเรียนและผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ที่จะช่วยให้การจัดการศึกษาวิทยาศาสตร์มีประสิทธิภาพและประสิทธิผล หากมีข้อเสนอแนะใดที่จะทำให้คู่มือครูเล่มนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น โปรดแจ้ง สสวท. ทราบด้วยจักขอบคุณยิ่ง

(นางพรพรรณ ไวทยางกูร)
ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงศึกษาธิการ

สสวท

คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

ฟิสิกส์ เล่ม 4 **กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์**
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 **เวลา 80 ชั่วโมง จำนวน 2 หน่วยกิต**

ศึกษาหลักการของไฟฟ้าและแม่เหล็กในเรื่อง กฎของคูลอมบ์ สนามไฟฟ้า ศักย์ไฟฟ้า ความจุและตัวเก็บประจุ กฎของโอห์ม สภาพต้านทานและสภาพนำไฟฟ้า การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสตรงอย่างง่าย การหาพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องใช้ไฟฟ้า สนามแม่เหล็ก ความสัมพันธ์ระหว่างแม่เหล็กและไฟฟ้า หลักการของมอเตอร์ กฎการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าของฟาราเดย์และกฎของเลนซ์ หลักการของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ไฟฟ้ากระแสสลับ การแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง แนวคิดทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การสืบค้นข้อมูล การสำรวจตรวจสอบ เพื่อให้เกิดความรู้ ความเข้าใจ ความคิด มีความสามารถในการสื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ การตัดสินใจ การนำความรู้ไปใช้ในชีวิตประจำวัน มีจิตวิทยาศาสตร์ จริยธรรม คุณธรรมและค่านิยมที่เหมาะสม

ผลการเรียนรู้

1. อธิบายการเหนี่ยวนำไฟฟ้า
2. อธิบายแรงกระทำระหว่างอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า
3. อธิบายสนามไฟฟ้า สนามไฟฟ้าของจุดประจุ และสนามไฟฟ้าของตัวนำทรงกลม
4. อธิบายพลังงานศักย์ไฟฟ้า ศักย์ไฟฟ้า และความต่างศักย์ระหว่างสองตำแหน่ง
5. อธิบายความจุ หลักการทำงานของตัวเก็บประจุ และผลการต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรมหรือขนาน
6. อธิบายหลักการทำงานของอุปกรณ์บางชนิดโดยใช้ความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าสถิต
7. อธิบายการเกิดกระแสไฟฟ้าในตัวกลางและวิเคราะห์หากระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำโลหะ
8. อธิบายกฎของโอห์ม ความต้านทาน และการใช้กฎของโอห์ม
9. อธิบายความหมายของแรงเคลื่อนไฟฟ้าและความต่างศักย์ระหว่างขั้ว
10. อธิบายพลังงานไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าในวงจร
11. วิเคราะห์และหาปริมาณทางไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงอย่างง่าย
12. อธิบายแรงกระทำต่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่เข้าไปในสนามแม่เหล็กและแรงกระทำต่อลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านและอยู่ในสนามแม่เหล็ก

13. อธิบายการหมุนของขดลวดที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านและอยู่ในสนามแม่เหล็ก และการนำหลักการนี้ไปสร้างและอธิบายการทำงานของแกลแวนอมิเตอร์ และมอเตอร์ไฟฟ้า
14. อธิบายแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ กฎของฟาราเดย์ และการนำหลักการนี้ไปสร้างและอธิบายการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
15. อธิบายลักษณะของไฟฟ้ากระแสสลับ การผลิตไฟฟ้ากระแสสลับ และปริมาณที่เกี่ยวข้อง
16. อธิบายหลักการทำงานของหม้อแปลง
17. อธิบายการเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
18. อธิบายโพลาไรเซชันของแสง แสงโพลาไรส์ และแสงไม่โพลาไรส์

รวมทั้งหมด 18 ผลการเรียนรู้

สารบัญ

	หน้า
ข้อแนะนำในการจัดการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6	1
จำนวนหน่วยกิตและผลการเรียนรู้	10
หน่วยการเรียนรู้และเวลาสอนแต่ละบท	10
ผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้	10
สาระสำคัญ	16
ผังมโนทัศน์ ฟิสิกส์ เล่ม 4 (ไฟฟ้าและแม่เหล็ก)	19

บทที่ 13 ไฟฟ้าสถิต

เนื้อหาและเวลาที่ใช้สอน	20
จุดประสงค์การเรียนรู้	21
สรุปสาระสำคัญ	23
ผังมโนทัศน์	26
13.1 ปรากฏการณ์ธรรมชาติของไฟฟ้า	27
13.2 ประจุไฟฟ้า	27
13.3 กฎการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า	30
13.4 การเหนี่ยวนำไฟฟ้า	31
13.5 แรงระหว่างประจุและกฎของคูลอมบ์	38
13.6 สนามไฟฟ้า	39
13.7 เส้นสนามไฟฟ้า	40
13.8 ศักย์ไฟฟ้า	48
13.8.1 ศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุ	52
13.8.2 ศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากประจุบนตัวนำทรงกลม	56
13.8.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ	58
13.9 ตัวเก็บประจุและความจุ	58
13.9.1 การถ่ายโอนประจุระหว่างตัวนำทรงกลม	60
13.9.2 การต่อตัวเก็บประจุ	61
13.10 การนำความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าสถิตไปใช้ประโยชน์	63
เฉลยแบบฝึกหัดบทที่ 13	64

สารบัญ

บทที่ 14 ไฟฟ้ากระแส

	หน้า
เนื้อหาและเวลาที่ใช้สอน	91
จุดประสงค์การเรียนรู้	92
สรุปสาระสำคัญ	94
ผังมโนทัศน์	97
14.1 กระแสไฟฟ้า	98
14.1.1 การนำไฟฟ้า	99
14.1.2 กระแสไฟฟ้าในตัวนำไฟฟ้า	102
14.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์	103
14.2.1 กฎของโอห์มและความต้านทาน	103
14.2.2 สภาพต้านทานไฟฟ้าและสภาพนำไฟฟ้า	107
14.2.3 ผลของอุณหภูมิต่อสภาพต้านทาน	108
14.3 พลังงานในวงจรไฟฟ้า	111
14.3.1 แรงเคลื่อนไฟฟ้าและความต่างศักย์	111
14.3.2 พลังงานไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า	115
14.4 การต่อตัวต้านทานและแบตเตอรี่	115
14.4.1 การต่อตัวต้านทาน	115
14.4.2 การต่อแบตเตอรี่	122
14.5 การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสตรงเบื้องต้น	124
14.6 เครื่องวัดไฟฟ้า	124
14.6.1 แอมมิเตอร์	125
14.6.2 โวลต์มิเตอร์	126
14.6.3 โอห์มมิเตอร์	127
14.7 การคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน	128
14.8 วงจรไฟฟ้า เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน และการใช้ไฟฟ้าอย่างปลอดภัย	129
14.8.1 วงจรไฟฟ้าในบ้าน	130
14.8.2 อุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน	131
14.8.3 การใช้ไฟฟ้าอย่างปลอดภัย	132
เฉลยแบบฝึกหัดบทที่ 14	133

สารบัญ

บทที่ 15 ไฟฟ้าและแม่เหล็ก

	หน้า
เนื้อหาและเวลาที่ใช้สอน	168
จุดประสงค์การเรียนรู้	169
สรุปสาระสำคัญ	171
ผังมโนทัศน์	176
15.1 แม่เหล็กและสนามแม่เหล็ก	177
15.1.1 สนามแม่เหล็ก	177
15.1.2 สนามแม่เหล็กโลก	179
15.1.3 ฟลักซ์แม่เหล็ก	179
15.1.4 การเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าในสนามแม่เหล็ก	180
15.2 กระแสไฟฟ้าทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก	186
15.3 แรงกระทำต่อลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านและอยู่ในสนามแม่เหล็ก	193
15.4 แรงระหว่างลวดตัวนำสองเส้นที่ขนานกันและมีกระแสไฟฟ้าผ่าน	196
15.5 แรงกระทำต่อขดลวดที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านและอยู่ในสนามแม่เหล็ก	201
15.6 การประยุกต์ผลของสนามแม่เหล็กต่อตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน	202
15.7 กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำและแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	205
15.8 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	208
15.9 หม้อแปลง	215
15.10 ค่าของปริมาณที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้ากระแสสลับ	218
15.11 การนำความรู้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าไปใช้ประโยชน์	230
เฉลยแบบฝึกหัดบทที่ 15	232

สารบัญ

บทที่ 16 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

	หน้า
เนื้อหาและเวลาที่ใช้สอน	256
จุดประสงค์การเรียนรู้	257
สรุปสาระสำคัญ	258
ผังมโนทัศน์	260
16.1 ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์และการทดลองของเฮิรตซ์	261
16.2 การแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายอากาศ	263
16.3 สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	264
16.3.1 คลื่นวิทยุ	264
16.3.2 คลื่นโทรทัศน์	268
16.3.3 คลื่นไมโครเวฟ	278
16.3.4 รังสีอินฟราเรด	279
16.3.5 แสง	280
16.3.6 รังสีอัลตราไวโอเลต	282
16.3.7 รังสีเอกซ์	283
16.3.8 รังสีแกมมา	284
16.4 โพลาไรเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	284
16.4.1 โพลาไรเซชันของแสง	285
เฉลยแบบฝึกหัดบทที่ 16	290
บรรณานุกรม	304
คณะกรรมการดำเนินการพัฒนาคู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 4	305

ข้อแนะนำในการจัดการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6

1. จุดประสงค์การสอนวิชาฟิสิกส์

ในการสอนวิชาใดๆ ก็ตาม ครูผู้สอนจะต้องเข้าใจถึงเหตุผลที่ว่า ทำไมต้องสอนวิชานั้นเสียก่อน เพราะความเข้าใจดังกล่าวจะเป็นสิ่งกำหนดแนวทางในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนที่ครูผู้สอนต้องรับผิดชอบ ดังนั้นครูฟิสิกส์จึงต้องศึกษาให้เข้าใจในจุดประสงค์ของวิชาฟิสิกส์ เพื่อการตัดสินใจเลือกดำเนินกิจกรรมการเรียนการสอนให้สอดคล้องกับสภาพของแต่ละชั้นเรียน

ก่อนที่จะพิจารณาจุดประสงค์ของวิชาฟิสิกส์ ขอให้ครูผู้สอนทำความเข้าใจกับจุดประสงค์รวมของหลักสูตรวิทยาศาสตร์ ดังต่อไปนี้

1. เพื่อให้เกิดความเข้าใจหลักการและทฤษฎีที่เป็นพื้นฐานของวิชาวิทยาศาสตร์
2. เพื่อให้เกิดความเข้าใจในลักษณะ ขอบเขตและข้อจำกัดของวิทยาศาสตร์
3. เพื่อให้เกิดทักษะที่สำคัญในการศึกษาค้นคว้าและคิดค้นทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
4. เพื่อพัฒนากระบวนการคิดและจินตนาการ ความสามารถในการแก้ปัญหาและการจัดการ ทักษะในการสื่อสารและความสามารถในการตัดสินใจ
5. เพื่อให้ตระหนักถึงความสัมพันธ์ระหว่างวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี มวลมนุษย์และสภาพแวดล้อมในเชิงที่มีอิทธิพลและผลกระทบซึ่งกันและกัน
6. เพื่อให้นำความรู้ ความเข้าใจในเรื่องของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไปใช้ประโยชน์ต่อสังคมและการดำรงชีวิตอย่างมีคุณค่า
7. เพื่อให้มีจิตวิทยาศาสตร์ มีคุณธรรม จริยธรรมและค่านิยมในการใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์อย่างสร้างสรรค์

จุดประสงค์ข้อแรก ต้องการให้มีความรู้ในเนื้อหาที่เป็นพื้นฐานของวิทยาศาสตร์ เพื่อใช้เป็นฐานในการศึกษาระดับสูงต่อไป อย่างไรก็ดีจุดประสงค์ข้อนี้ยังมิได้มุ่งการเตรียมตัวนักเรียนให้เป็นนักวิทยาศาสตร์

จุดประสงค์ข้อสอง ต้องการให้นักเรียนเข้าใจในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ ซึ่งมีความแตกต่างจากศาสตร์อื่นๆ ในหลายด้าน เช่น นักวิทยาศาสตร์จะสนใจแต่ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ นักวิทยาศาสตร์จะเชื่อในสิ่งที่ตรวจสอบยืนยันความเป็นจริงได้ด้วยประสาทสัมผัสหรือเครื่องมือที่ขยายขอบเขตประสาทสัมผัสของมนุษย์เท่านั้น ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ต้องเป็นความจริงสากล นั่นคือสามารถทดสอบได้ทุกเมื่อไม่จำกัดสถานที่หรือตัวบุคคล ความรู้ทางวิทยาศาสตร์อาจเปลี่ยนแปลงได้เมื่อมีข้อมูลหรือหลักฐานที่พบขึ้นใหม่เป็นต้น

จุดประสงค์ข้อสาม ต้องการให้นักเรียนมีทักษะที่จำเป็นในการศึกษาค้นคว้า คิดค้นและแก้ปัญหา โดยเน้นฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ด้วยการให้ลงมือปฏิบัติจริงในการทำกิจกรรมและการทดลองทางวิทยาศาสตร์ ได้แก่ การไม่เชื่อคำกล่าวที่เลื่อนลอย การใช้คำอธิบายที่มีเหตุผลหรือมีหลักฐานยืนยันที่เหมาะสม การยอมรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น และยอมเปลี่ยนความคิดเห็น เมื่อได้ข้อมูลหรือหลักฐานใหม่ที่เหมาะสมกว่าเดิม มีความซื่อตรงไม่บิดเบือนข้อมูลหรือหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ ฯลฯ

จุดประสงค์ข้อสี่ ต้องการให้นักเรียนพัฒนากระบวนการคิดและมีจินตนาการในเชิงสร้างสรรค์ สามารถแก้ปัญหา สามารถสื่อสารสิ่งที่ค้นพบจากการเรียนรู้ให้ผู้อื่นเข้าใจได้ และสามารถตัดสินใจด้วยการใช้ข้อมูลอย่างมีเหตุผล

จุดประสงค์ข้อห้า ต้องการให้นักเรียนเข้าใจและระมัดระวังในผลกระทบของเทคโนโลยีต่อชีวิตความเป็นอยู่ของมนุษย์ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว รวมทั้งเข้าใจถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงในสังคมมนุษย์ที่มีต่อการพัฒนาทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

จุดประสงค์ข้อหก ต้องการให้นักเรียนสามารถใช้ประโยชน์จากความรู้ทางวิทยาศาสตร์กับชีวิตความเป็นอยู่ได้ เช่น รู้จักดูแลรักษาสุขภาพร่างกาย รู้จักเลือกรับประทานอาหารที่เหมาะสม งดเว้นสิ่งที่จะบั่นทอนสุขภาพ รู้จักใช้พลังงานอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพ รู้จักเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ทางวิทยาศาสตร์อย่างเหมาะสม เป็นต้น

จุดประสงค์ข้อเจ็ด ต้องการปลูกฝังให้นักเรียนมีจิตวิทยาศาสตร์ซึ่งได้แก่ การไม่เชื่อคำกล่าวที่เลื่อนลอย และคำอธิบายที่ไม่มีเหตุผลหรือหลักฐานยืนยันที่เหมาะสม การยอมรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่นและยอมเปลี่ยนความคิดเห็น เมื่อได้ข้อมูลหรือหลักฐานใหม่ที่เหมาะสมกว่าเดิม มีความซื่อตรงไม่บิดเบือนข้อมูลหรือหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ มีคุณธรรมจริยธรรมและค่านิยมในการใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์อย่างสร้างสรรค์

จากจุดประสงค์รวมของหลักสูตรวิทยาศาสตร์ เมื่อนำมากำหนดเป็นจุดประสงค์เฉพาะของกลุ่มวิชาฟิสิกส์อาจเขียนได้ดังต่อไปนี้

1. เพื่อให้เข้าใจในปรากฏการณ์ธรรมชาติ หลักการ ทฤษฎีและกฎที่เป็นพื้นฐานของวิชาฟิสิกส์
2. เพื่อให้เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่สังเกตได้จากปรากฏการณ์จริงกับคำอธิบายทางทฤษฎี
3. เพื่อให้เข้าใจและยอมรับในขอบเขตของข้อมูลที่ได้ ว่าขึ้นกับขีดความสามารถของเครื่องมือวัด
4. เพื่อให้เกิดทักษะในการศึกษาค้นคว้าและแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
5. เพื่อให้สามารถใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในการนำหลักการทางฟิสิกส์ไปประยุกต์ในด้านต่างๆ ทั้งเชิงความคิดและเชิงการปฏิบัติ

6. เพื่อให้มีความสนใจใฝ่รู้ในเรื่องราวทางวิทยาศาสตร์
7. เพื่อให้มีความใจกว้าง คิดและปฏิบัติอย่างมีเหตุผล
8. เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ ผลดีและผลเสียต่อสังคมในการนำความรู้ทางฟิสิกส์และเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ
9. เพื่อให้ตระหนักในอิทธิพลของสังคมที่มีต่อการพัฒนาทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน ครูจะต้องพิจารณาว่า กิจกรรมนั้นๆ มุ่งให้บรรลุตามจุดประสงค์ข้อใดบ้าง โดยพยายามให้ครอบคลุมจุดประสงค์เท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งขึ้นกับเนื้อหาแต่ละหัวข้อ

2. ลักษณะทั่วไปของหลักสูตรวิชาฟิสิกส์

หลักสูตรวิชาฟิสิกส์ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 พุทธศักราช 2551 ประกอบด้วย 6 รายวิชา แบ่งเป็นรายวิชาพื้นฐาน 1 รายวิชา และรายวิชาเพิ่มเติม 5 รายวิชา แต่ละรายวิชามีหน่วยกิตดังนี้

รายวิชาพื้นฐาน

รายวิชาพื้นฐาน ฟิสิกส์	1.5	หน่วยกิต	3	ชั่วโมงต่อสัปดาห์

รายวิชาเพิ่มเติม

ฟิสิกส์ เล่ม 1	2	หน่วยกิต	4	ชั่วโมงต่อสัปดาห์
ฟิสิกส์ เล่ม 2	2	หน่วยกิต	4	ชั่วโมงต่อสัปดาห์
ฟิสิกส์ เล่ม 3	2	หน่วยกิต	4	ชั่วโมงต่อสัปดาห์
ฟิสิกส์ เล่ม 4	2	หน่วยกิต	4	ชั่วโมงต่อสัปดาห์
ฟิสิกส์ เล่ม 5	2	หน่วยกิต	4	ชั่วโมงต่อสัปดาห์

อย่างไรก็ตาม สถานศึกษาอาจปรับลดจำนวนหน่วยกิตของแต่ละรายวิชาได้ตามความเหมาะสมของแต่ละสถานศึกษา

รายวิชาพื้นฐาน ฟิสิกส์ ประกอบด้วยความรู้วิทยาศาสตร์พื้นฐาน ตามมาตรฐานการเรียนรู้ สาระที่ 4 แรงและการเคลื่อนที่ และสาระที่ 5 พลังงาน ส่วนรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 1 ถึงฟิสิกส์ เล่ม 5 จัดแบ่งเนื้อหาตามแขนงของวิชาฟิสิกส์ กล่าวคือ ฟิสิกส์ เล่ม 1 และฟิสิกส์ เล่ม 2 มีเนื้อหาเกี่ยวกับกลศาสตร์ ฟิสิกส์ เล่ม 3 มีเนื้อหาเกี่ยวกับคลื่น ฟิสิกส์ เล่ม 4 มีเนื้อหาเกี่ยวกับไฟฟ้าและแม่เหล็ก และฟิสิกส์ เล่ม 5 มีเนื้อหาเกี่ยวกับสสารและฟิสิกส์แผนใหม่

สำหรับหนังสือเรียนรายวิชาพื้นฐาน ฟิสิกส์ เป็นรายวิชาซึ่งนักเรียนที่ต้องการเรียนเน้นทางวิทยาศาสตร์ต้องเรียนทุกคน เนื้อหาความรู้ที่จัดไว้ประกอบด้วย การเคลื่อนที่แนวตรง สนามของแรง ปรากฏการณ์คลื่น กัมมันตภาพรังสีและพลังงานนิวเคลียร์ เพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมและให้นักเรียนได้คุ้นเคยกับฟิสิกส์ซึ่งจะศึกษาในรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ ต่อไป

3. ลักษณะของหนังสือเรียนและคู่มือครู

3.1 หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ ตามหลักสูตร 2551 มิได้มุ่งหวังให้เป็นแหล่งสะสมความรู้สำหรับให้นักเรียนท่องจำ แต่มุ่งกระตุ้นให้นักเรียนมีความอยากรู้ อยากเห็นอยากทดลองเพื่อหาข้อเท็จจริงต่างๆ ด้วยตัวของนักเรียนเอง โดยใช้ความคิดหาเหตุผลค้นหาคำตอบด้วยตัวเอง หรือบางครั้งอาจค้นหาผลสรุปจากการทำการทดลอง ดังนั้นครูจึงมีบทบาทเป็นผู้ช่วยให้นักเรียนได้รู้จักพึ่งตัวเองให้มากขึ้นโดยพยายามสนับสนุนให้นักเรียนได้ฝึกการใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในการตอบปัญหาและการทำการทดลอง ครูควรใช้การบอกโดยตรงให้น้อยลงและใช้คำถามที่กระตุ้นให้นักเรียนใช้ความคิดเพิ่มมากขึ้น

คำถาม ? ที่สอดแทรกไว้ในบทเรียน คำถามเหล่านี้นักเรียนควรตอบได้โดยอาศัยพื้นความรู้ที่เรียนผ่านมาแล้ว จุดมุ่งหมายของคำถามเหล่านี้ก็เพื่อนำไปสู่ข้อสรุปที่ต้องการให้นักเรียนทราบโดยไม่ต้องบอกข้อสรุปนั้นตรงๆ

การเรียนรู้ภาคปฏิบัติ จะมีสองรูปแบบ คือกิจกรรมและการทดลอง ในการทำกิจกรรมนักเรียนจะได้ลงมือปฏิบัติจริงเพื่อสังเกตปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นและบันทึกสิ่งที่สังเกตได้เพื่อนำมาอภิปรายหรือสรุป แต่ในการทำการทดลอง นักเรียนจะได้ฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ โดยการทดลองแต่ละเรื่องจะบอกวิธีทดลองโดยระบุขั้นตอนการทดลองเป็นลำดับ แต่นักเรียนต้องออกแบบตารางบันทึกผลการทดลองด้วยตัวเองให้เหมาะสมและสอดคล้องกับจุดประสงค์ของการทดลองนั้นๆ เพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ต่อไป นักเรียนจะได้ฝึกการลงข้อสรุปจากการทำการทดลอง และการอภิปรายร่วมกันตามแนวคำถาม ? ท้ายการทดลอง

สรุปสาระสำคัญ (summary) เนื่องจากหนังสือเรียนนี้มุ่งหวังให้นักเรียนสามารถทำความเข้าใจได้ด้วยตนเอง จึงเพิ่ม "สรุปสาระสำคัญ" ไว้ตอนท้ายของบทเรียนด้วยทุกบท ครูควรเน้นกับนักเรียนว่า สรุปสาระสำคัญที่ปรากฏตอนท้ายของแต่ละบทในหนังสือเรียนเป็นภาพรวมของเนื้อหาหรือความรู้ในบทเท่านั้น สรุปสาระสำคัญไม่สามารถทดแทนเนื้อหาทั้งหมดหรือทำให้เกิดความเข้าใจทั้งบทได้ การเรียนรู้ในแต่ละบทจะประสบผลสำเร็จได้นั้นต้องศึกษาในรายละเอียด (รวมทั้งการทำการทดลองและกิจกรรม) อย่างครบถ้วนเท่านั้น

แบบฝึกหัด (exercises) ในท้ายบทแต่ละบทแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ**คำถาม** (questions) และ**ปัญหา** (problems) ของหัวข้อนั้นๆ "คำถาม" จะมุ่งตรวจสอบความเข้าใจในเนื้อหาหัวข้อนั้นๆ โดยการเขียนตอบ หรือครูอาจเลือกมาบางข้อให้นักเรียนตอบภายในชั้นเรียนก็ได้ถ้ามีเวลาเหลือเพียงพอ ส่วน "ปัญหา" มีไว้เพื่อให้นักเรียนฝึกฝนและตรวจสอบความสามารถในการแก้ปัญหาโดยการเขียนตอบเช่นกัน นอกจากนี้ครูอาจหาแบบฝึกหัดอื่นๆ ที่เห็นว่าเหมาะสมมาให้นักเรียนทำเพื่อเพิ่มพูนประสบการณ์ของนักเรียนอีกก็ได้

3.2 คู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์

คู่มือครูมีไว้เพื่อช่วยเหลือครูในการดำเนินการสอนแต่ละบทเรียน ดังนั้นเพื่อให้การสอนวิชาฟิสิกส์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ครูผู้สอนควรศึกษาคู่มือแต่ละเล่มอย่างละเอียดและปฏิบัติให้สอดคล้องกับคำแนะนำที่ให้ไว้ อย่างไรก็ตามครูผู้สอนอาจพิจารณาดัดแปลงหรือเพิ่มเติมได้ตามที่เห็นสมควร คู่มือครูแต่ละบทเรียนจะประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

1. เนื้อหาและเวลาที่ใช้สอนของทั้งบทและแต่ละหัวข้อ
2. จุดประสงค์การเรียนรู้ของบทเรียน
3. สรุปสาระสำคัญของบทเรียน
4. ผังมโนทัศน์ของบทเรียน
5. รายละเอียดของแต่ละหัวข้อ ประกอบด้วย
   - 5.1 จุดประสงค์การเรียนรู้
   - 5.2 แนวการจัดการเรียนรู้ ประกอบด้วย 3 ส่วน
     1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน
     2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน
     3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน
   - 5.3 ความรู้เพิ่มเติมสำหรับผู้สอน (เป็นความรู้ที่นอกเหนือไปจากหลักสูตร แต่เพิ่มเติมไว้เพื่อความรู้ของครู)
6. ในกรณีที่มีการทดลอง รายละเอียดของการทดลองอาจประกอบด้วย
   - 6.1 ชื่อการทดลอง
   - 6.2 จุดประสงค์การเรียนรู้
   - 6.3 เวลาที่ใช้
   - 6.4 วัสดุอุปกรณ์
   - 6.5 การเตรียมล่วงหน้า
   - 6.6 แนะนำก่อนการทดลอง
   - 6.7 ตัวอย่างผลการทดลอง
   - 6.8 อภิปรายหลังการทดลอง
   - 6.9 ข้อแนะนำเพิ่มเติมสำหรับผู้สอน (เกี่ยวกับเทคนิค วิธีการต่างๆ หรือเป็นสิ่งที่ครูควรนำไปปฏิบัติในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนเพิ่มเติมจากที่แนะนำไว้ในหนังสือเรียน)
7. เฉลยแบบฝึกหัด ประกอบด้วย
   - 7.1 แนวคำตอบของคำถาม
   - 7.2 เฉลยปัญหา

4. จุดประสงค์การเรียนรู้

จุดประสงค์การเรียนรู้ที่ให้ไว้ในแต่ละบทนั้นมุ่งหมายเพื่อช่วยให้ครูได้ทราบว่าเมื่อนักเรียนเรียนจบบทเรียนนั้นแล้ว จะได้พฤติกรรมอะไรบ้าง หรือสามารถทำอะไรได้บ้าง อย่างไรก็ดี ครูผู้สอนควรตระหนักไว้ว่า จุดประสงค์การเรียนรู้เหล่านี้กำหนดขึ้นตามขอบเขตของเนื้อหาในหลักสูตร โดยมุ่งให้เป็นแนวทางสำหรับการสอนเท่านั้น มิได้มุ่งหมายให้นำไปใช้เป็นเกณฑ์ในการวัดผลการเรียนรู้ ซึ่งกรณีเช่นนั้นครูผู้สอนจำเป็นต้องระบุจุดประสงค์เพิ่มเติมอีก โดยเฉพาะอย่างยิ่งจุดประสงค์การเรียนรู้ที่เกี่ยวกับด้านความรู้สึกและด้านการปฏิบัติ

ในกรณีที่ครูต้องการแจ้งจุดประสงค์การเรียนรู้ของบทเรียนให้นักเรียนทราบควรหลีกเลี่ยงการบอกในลักษณะที่เป็นการสรุปเนื้อหาวิชาในบทนั้นๆ เพราะเมื่อนักเรียนได้ทราบสาระสำคัญของบทเรียนตั้งแต่เริ่มต้นแล้ว ก็อาจจะไม่มีความสนใจต่อขั้นตอนการเรียนการสอน

5. การดำเนินการสอน

ในการดำเนินการสอนเพื่อให้บรรลุตามจุดประสงค์การเรียนรู้ที่กำหนดไว้ จำเป็นต้องใช้วิธีการสอนหลายแบบผสมผสานกันไป จะใช้วิธีใดเพียงวิธีเดียวย่อมไม่ประสบผลสำเร็จ วิธีการสอนที่แนะไว้ ได้แก่

5.1 การใช้คำถาม

เนื่องจากจุดมุ่งหมายของหลักสูตรนอกจากจะมุ่งหวังให้นักเรียนจดจำเนื้อหาที่เป็นความรู้พื้นฐานทางฟิสิกส์ได้แล้ว ยังต้องการให้นักเรียนสามารถอธิบาย เปรียบเทียบ วิเคราะห์ความสัมพันธ์ คาดคะเนผลสรุป ฯลฯ ได้อีกด้วย ในการฝึกให้มีความสามารถดังกล่าวหรือที่เรียกว่า ให้คิดเป็นนั้น ครูต้องให้โอกาสนักเรียนได้ฝึกคิด โดยครูเป็นผู้ป้อนคำถามต่างๆ คอยช่วยกระตุ้นให้กำลังใจ และชี้แนะแนวทางในการตอบปัญหาให้เป็นไปตามขั้นตอนของกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

ครูควรเตรียมตั้งคำถามสำหรับแต่ละตอนของบทเรียนล่วงหน้า โดยคำนึงถึงพื้นฐานประสบการณ์เดิมของนักเรียนเป็นสำคัญ ถ้าครูมานึกคำถามอย่างเร่งรีบระหว่างการสอนอาจทำให้ได้คำถามที่ไม่เหมาะสม เช่น ยากเกินไป ง่ายเกินไป หรือมีลักษณะไม่ยั่วยุให้นักเรียนสนใจคิดหาคำตอบ ครูผู้สอนจะต้องอดทนในการรอคอยคำตอบขณะที่นักเรียนกำลังคิดและพึงระลึกไว้เสมอว่า ปฏิกิริยาของครูที่มีต่อคำตอบของนักเรียนจะมีส่วนอย่างมากในการเสริมสร้างหรือทำลายความกระตือรือร้นที่จะตอบปัญหาของนักเรียน

ถ้าครูใช้คำถามบ่อยๆ และพยายามศึกษาปรับปรุงการใช้คำถามอยู่เสมอจะมีผลให้คำถามของครูมีคุณค่าต่อการเรียนรู้ของนักเรียนเพิ่มมากขึ้น และบรรยากาศของการเรียนการสอนจะมีชีวิตชีวาไม่น่าเบื่อทั้งสำหรับครูและนักเรียน

5.2 การทดลอง กิจกรรมและการสาธิต

การสอนวิชาฟิสิกส์บางตอนอาจเริ่มด้วยการให้นักเรียนได้ทำกิจกรรมหรือการทดลอง และสังเกตผลการทดลองตามขั้นตอนต่างๆ แล้วครูใช้คำถามเพื่อนำไปสู่ข้อสรุปของการทดลองนั้นๆ แทนที่ครูจะเล่าการทดลองและบอกผลสรุปโดยตรง ซึ่งใช้เวลาในการสอนน้อยกว่าวิธีแรกมาก แต่วิธีสอนแบบบอกผลสรุปโดยตรง นักเรียนจะไม่มีโอกาสได้ฝึกการสังเกต ฝึกบันทึกข้อมูล ไม่มีโอกาสได้หยิบจับอุปกรณ์ทำการทดลอง ซึ่งเป็นประสบการณ์ส่วนหนึ่งที่เสริมสร้างทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้การฝึกให้นักเรียนได้วิเคราะห์ข้อมูล นัยหนึ่งก็คือ การสรุปอย่างมีเหตุมีผลนั่นเอง ก็เป็นการปลูกฝังเจตคติทางวิทยาศาสตร์ให้แก่นักเรียนทางหนึ่ง

ผลที่ได้จากการทดลองของนักเรียนอีกประการหนึ่งก็คือ จากการพบปัญหาในการทดลอง และหาวิธีแก้ปัญหาเหล่านั้นเพื่อให้การทดลองสัมฤทธิ์ผล **นักเรียนจะได้เรียนรู้แนวการคิดแก้ปัญหาที่สอดคล้องตามกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ด้วยการปฏิบัติ มิใช่ด้วยการท่องจำขั้นตอนเป็นข้อๆ** ดังนั้นนักเรียนจะมีความมั่นใจในการนำวิธีการแก้ปัญหาที่ได้เรียนรู้โดยตรงไปใช้แก้ปัญหาที่ประสบในชีวิตประจำวันได้อย่างเหมาะสม

5.2.1 การตรวจสอบการทดลอง

ครูควรทำการทดลองทุกการทดลองก่อน เพื่อตรวจสอบว่ามีข้อบกพร่องหรือปัญหาในเรื่องใดบ้าง และผลที่ได้เป็นอย่างไร อันจะทำให้ครูมีความมั่นใจในการดำเนินการสอนในชั้นเรียน ยิ่งไปกว่านั้นยังจะได้ทราบด้วยว่าแต่ละการทดลองมีอะไรบ้างที่ต้องเตรียมไว้ล่วงหน้าจะได้จัดไว้ให้เรียบร้อยก่อนถึงเวลาสอน

5.2.2 การแบ่งกลุ่มนักเรียนเพื่อทำการทดลอง

ในการทดลองให้แบ่งนักเรียนเป็นกลุ่มๆ ละ 5 คน ใช้เครื่องมือกลุ่มละ 1 ชุด ครูควรแนะนำให้นักเรียนรู้จักการใช้เครื่องมือต่างๆ อย่างถูกต้องและปลอดภัยก่อนทำการทดลอง ควรย้ำถึงความเป็นระเบียบและความรับผิดชอบต่อเครื่องมือที่นำไปใช้ด้วย ในบางการทดลองครูอาจให้นักเรียนแต่ละกลุ่มแบ่งกันทำกลุ่มละตอน แล้วนำข้อมูลทั้งหมดมารวมกันเพื่อประหยัดเวลาก็ได้

5.2.3 การรายงานผลการทดลอง

ให้นักเรียนแต่ละคนเขียนรายงานผลการทดลอง ครูควรตรวจรายงานของนักเรียน แล้วนำสิ่งที่ยังบกพร่องมาชี้แจงในชั้นเรียนให้เข้าใจทั่วกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งควรเน้นความซื่อสัตย์ในการทดลอง การบันทึกผล การสรุปผล และการอภิปรายผลมากกว่าการเน้นความถูกต้องของผลการทดลอง เพื่อปลูกฝังความเข้าใจและการยอมรับในขอบเขตและขีดจำกัดของการทดลองทางวิทยาศาสตร์

ครูอาจใช้การสาธิตเพื่อจูงใจนักเรียนให้เกิดความสนใจ ใคร่รู้ในเนื้อหาที่จะดำเนินการสอนต่อไป โดยให้นักเรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมหรือทำนายผลที่จะเกิดขึ้น อันจะมีผลให้นักเรียนรู้สึกว่าการเรียนมีชีวิตชีวา ไม่น่าเบื่อหน่าย ในบางการทดลองซึ่งนักเรียนไม่มีโอกาสได้ทดลองด้วยตัวเอง ครูควรทำการสาธิตการทดลองนั้นๆ ให้นักเรียนดู แต่ครูจะต้องระลึกไว้เสมอว่า **การสาธิตไม่อาจทดแทนการทดลองของนักเรียนได้ และครูควรให้นักเรียนได้ทำการทดลองด้วยตัวนักเรียนเองให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้**

5.3 การอภิปราย

การสอนวิชาฟิสิกส์ที่มุ่งปลูกฝังให้นักเรียนมีความเชื่อมั่นในตนเอง ยอมรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่นอย่างมีเหตุผล กล้าแสดงความคิดเห็น ไม่เชื่ออะไรง่ายๆ ซึ่งจัดว่าเป็นการปลูกฝังเจตคติทางวิทยาศาสตร์นั้น ครูควรดำเนินการสอนโดยให้เด็กได้มีโอกาสอภิปรายร่วมกัน โดยครูเป็นผู้คอยแนะนำและควบคุมมิให้ออกนอกทาง การสอนเช่นนี้จะมีส่วนสร้างเสริมเจตคติทางวิทยาศาสตร์ดังกล่าวโดยตรง

ครูอาจใช้การอภิปรายเพื่อนำเข้าสู่เนื้อหาที่ต้องการจะสอนต่อไป หรืออภิปรายเพื่อนำไปสู่การสังเกต การทดลอง และที่จำเป็นที่สุดก็คือ ใช้การอภิปรายเพื่อสรุปผลการทดลอง อย่างไรก็ดี ครูต้องคำนึงถึงเวลาที่มีอยู่ด้วย โดยพยายามจัดแบ่งเวลาและควบคุมการอภิปรายให้อยู่ในขอบเขตของเวลาที่กำหนดให้

6. เวลาในการสอน

ช่วงเวลาที่กำหนดไว้ของบทเรียน รวมทั้งช่วงเวลาที่ระบุในแต่ละการทดลอง ครูผู้สอนอาจปรับยืดหยุ่นได้ตามความเหมาะสม เพราะตามที่เสนอแนะไว้เป็นการประมาณช่วงเวลาสำหรับกรณีไม่มีกิจกรรมพิเศษหรือปัญหาอื่นๆ ที่ทำให้เวลาในการสอนบทเรียนต้องลดน้อยลง

7. การวัดผลและประเมินผล

การวัดผลการเรียนรู้ในบทเรียนแต่ละบทนั้น ครูควรพิจารณาจุดประสงค์การเรียนรู้ของบทเรียนก่อนว่า ครอบคลุมทั้งเนื้อหาและพฤติกรรมการเรียนรู้ทุกๆ ด้านหรือยัง ครูควรกำหนดจุดมุ่งหมายของบทเรียนนั้นๆ เพิ่มเติมอีกตามความเหมาะสม และพึงระวังไว้เสมอว่า **พฤติกรรมการเรียนรู้ที่พึงประสงค์ในวิชาวิทยาศาสตร์มิได้มีแต่ด้านความรู้ความจำเท่านั้น แต่ยังมีด้านความเข้าใจ ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ด้านการนำความรู้และวิธีการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ รวมทั้งด้านเจตคติและความสนใจอีกด้วย** การระบุจุดประสงค์ของบทเรียนจึงควรพิจารณาอย่างรอบคอบ เพื่อให้การวัดผลตามจุดประสงค์เหล่านั้นครอบคลุมทั้งเนื้อหาและพฤติกรรมการเรียนรู้ ทุกๆ ด้านตามจุดมุ่งหมายของหลักสูตร

การวัดผลการเรียนรู้อาจกระทำได้หลายทาง เช่น ให้นักเรียนทำแบบทดสอบ ซึ่งอาจมีทั้งที่เป็นข้อเขียนและภาคปฏิบัติ หรือครูสังเกตพฤติกรรมที่นักเรียนแสดงออกขณะเรียน เป็นต้น ข้อมูลที่ได้จากการวัดผลดังกล่าวจะเชื่อถือได้มากน้อยเพียงใด นอกจากขึ้นกับจำนวนครั้งที่ทำการวัดแล้ว ยังขึ้นกับคุณภาพของแบบทดสอบและความสามารถในการสังเกตของครูอีกด้วย การศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับหลักการและวิธีการสร้างแบบทดสอบ รวมทั้งฝึกหัดสร้างแบบทดสอบอยู่เสมอ จะทำให้ได้แบบทดสอบที่มีคุณภาพ สำหรับการประเมินผลการเรียนการสอนนั้นครูควรพิจารณาอย่างละเอียดถี่ถ้วนและยุติธรรม ซึ่งครูสามารถศึกษาได้จาก **คู่มือวัดผลประเมินผลวิทยาศาสตร์** ที่จัดทำโดยสาขาประเมินมาตรฐาน สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หรือสืบค้นได้ที่เว็บไซต์ http://www3.ipst.ac.th/sa/images/book/science_assessment.pdf

จำนวนหน่วยกิตและผลการเรียนรู้
รายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 4 (ไฟฟ้าและแม่เหล็ก)

หน่วยการเรียนรู้ 2 หน่วยกิต

บทที่ 13 ไฟฟ้าสถิต	22	ชั่วโมง
บทที่ 14 ไฟฟ้ากระแสตรง	22	ชั่วโมง
บทที่ 15 ไฟฟ้าและแม่เหล็ก	26	ชั่วโมง
บทที่ 16 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	10	ชั่วโมง
รวม	80	ชั่วโมง

ผลการเรียนรู้	สาระการเรียนรู้
1. อธิบายการเหนี่ยวนำไฟฟ้า	การนำวัตถุที่เป็นกลางทางไฟฟ้ามาถูกัน จะทำให้วัตถุมีประจุไฟฟ้า เนื่องจากอิเล็กตรอนจะถูกถ่ายโอนจากวัตถุหนึ่งไปอีกวัตถุหนึ่ง โดยการถ่ายโอนประจุเป็นไปตาม**กฎการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า** เมื่อนำวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าไปใกล้ตัวนำไฟฟ้า จะทำให้เกิดประจุชนิดตรงข้ามบนตัวนำทางด้านที่ใกล้วัตถุ การทำให้เกิดประจุในหลักการนี้ เรียกว่า**การเหนี่ยวนำไฟฟ้า**
2. อธิบายแรงกระทำระหว่างอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า	อนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าจะมีแรงกระทำซึ่งกันและกันตาม**กฎของคูลอมบ์** กล่าวคือ แรงระหว่างจุดประจุแปรผันตรงกับผลคูณของขนาดของประจุทั้งสองและแปรผกผันกับกำลังสองของระยะทางระหว่างประจุ
3. อธิบายสนามไฟฟ้า สนามไฟฟ้าของจุดประจุ และสนามไฟฟ้าของตัวนำทรงกลม	เมื่อนำประจุไปวางไว้ ณ ตำแหน่งใด แล้วมีแรงไฟฟ้ากระทำต่อประจุนั้นกล่าวได้ว่า ตำแหน่งนั้นมี**สนามไฟฟ้า** แรงที่กระทำต่อประจุบวกหนึ่งหน่วยที่ตำแหน่งใดๆ คือสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งนั้น สนามไฟฟ้าลัพธ์เนื่องจากจุดประจุหลายจุดประจุเท่ากับผลรวมแบบเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุแต่ละจุดประจุ

ผลการเรียนรู้	สาระการเรียนรู้
	ในกรณีของไฟฟ้าสถิต สนามไฟฟ้าภายในตัวนำทรงกลมเป็นศูนย์ สนามไฟฟ้าบนตัวนำมีทิศทางตั้งฉากกับผิวตัวนำนั้น และสนามไฟฟ้าเนื่องจากประจุบนตัวนำทรงกลมที่ตำแหน่งห่างจากผิวออกไป มีลักษณะเช่นเดียวกับสนามไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุซึ่งอยู่ที่ศูนย์กลางของทรงกลม โดยขนาดของประจุเท่ากับผลรวมของประจุทั้งหมดที่ผิวของทรงกลม
4. อธิบายพลังงานศักย์ไฟฟ้า ศักย์ไฟฟ้า และความต่างศักย์ระหว่างสองตำแหน่ง	ประจุที่อยู่ในสนามไฟฟ้าจะมีพลังงานศักย์ไฟฟ้า พลังงานศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งใดๆ ต่อหนึ่งหน่วยประจุ เรียกว่า **ศักย์ไฟฟ้า**ที่ตำแหน่งนั้น ความต่างศักย์ระหว่างสองตำแหน่ง คือ งานในการเคลื่อนประจุบวก 1 หน่วย จากตำแหน่งหนึ่งไปอีกตำแหน่งหนึ่งในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้า
	และศักย์ไฟฟ้ารวมเนื่องจากจุดประจุหลายจุดประจุ คือ ผลบวกทางพีชคณิตของศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุแต่ละจุดประจุ
	ศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากประจุบนตัวนำทรงกลมที่ตำแหน่งใดๆ นับจากผิวเข้าไปมีค่าเท่ากับศักย์ไฟฟ้าที่ผิวซึ่งแปรผันตรงกับขนาดของประจุและแปรผกผันกับรัศมีของทรงกลม
	ความสัมพันธ์ของความต่างศักย์ระหว่างตำแหน่งใดๆ ในแนวขนานกับสนามไฟฟ้าที่ห่างกันเป็นระยะ d กับขนาดของสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ E เป็นไปตามสมการ $E = \frac{\lvert V_B - V_A \rvert}{d}$

ผลการเรียนรู้	สาระการเรียนรู้
5. อธิบายตัวเก็บประจุ ความจุ หลักการทำงานของตัวเก็บประจุและผลการต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรมหรือขนาน	ตัวเก็บประจุประกอบด้วยตัวนำสองชิ้น คั่นด้วยไดอิเล็กทริก จำนวนประจุที่เก็บได้ขึ้นอยู่กับความต่างศักย์คร่อมตัวเก็บประจุและความจุของตัวเก็บประจุ ตัวเก็บประจุจะมีพลังงานสะสมเมื่อต่อกับความต่างศักย์ เมื่อนำตัวเก็บประจุมาต่อกันแบบอนุกรม ความจุสมมูลมีค่าลดลง เมื่อต่อแบบขนาน ความจุสมมูลมีค่าเพิ่มขึ้น
6. อธิบายหลักการทำงานของอุปกรณ์บางชนิดโดยใช้ความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าสถิต	ความรู้เรื่องไฟฟ้าสถิตอธิบายการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าบางประเภทได้ เช่น เครื่องกำจัดฝุ่นในอากาศ เครื่องพ่นสี เครื่องถ่ายลายนิ้วมือ เครื่องถ่ายเอกสาร เป็นต้น
7. อธิบายการเกิดกระแสไฟฟ้าในตัวกลาง และวิเคราะห์หากระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำโลหะ	เมื่อต่อลวดตัวนำกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้า ประจุอิสระที่อยู่ในลวดตัวนำจะเคลื่อนที่ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าที่มีทิศทางเดียวกับสนามไฟฟ้า โดยทิศทางการเคลื่อนที่จากจุดของอนุภาคที่มีประจุบวกมีทิศทางจากจุดที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงไปยังจุดที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่า และกระแสไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนอิสระ จำนวนประจุและพื้นที่หน้าตัดของลวดตัวนำ
8. อธิบายกฎของโอห์ม ความต้านทาน และการใช้กฎของโอห์มหากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ระหว่างสองจุดใดๆ ในวงจรไฟฟ้า	เมื่ออุณหภูมิคงตัว กระแสไฟฟ้าในตัวนำโลหะ ความต่างศักย์ที่ปลายทั้งสองและความต้านทานของตัวนำนั้นมีความสัมพันธ์กันตาม**กฎของโอห์ม** ความต้านทานของวัตถุแต่ละชิ้นขึ้นกับรูปร่างและชนิดของวัตถุ ความต้านทานของวัสดุหนึ่งๆ จะเปลี่ยนไปเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน ส่วน**สภาพต้านทาน**เป็นสมบัติของสารแต่ละชนิด เมื่อนำตัวต้านทานค่าคงตัวมาต่อกันแบบอนุกรม ความต้านทานสมมูลมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อต่อแบบขนาน ความต้านทานสมมูลมีค่าลดลง

ผลการเรียนรู้	สาระการเรียนรู้
9. อธิบายความหมายของแรงเคลื่อนไฟฟ้าและความต่างศักย์ระหว่างขั้ว	แรงเคลื่อนไฟฟ้าเป็นค่าที่แสดงถึงพลังงานที่แบตเตอรี่ให้ต่อ 1 หน่วยประจุที่ผ่านแบตเตอรี่นั้น ความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่ในวงจรเปิดจะเท่ากับ**แรงเคลื่อนไฟฟ้า** (ร.ค.ฟ.) ของแบตเตอรี่นั้น
10. อธิบายพลังงานไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าในวงจร	พลังงานไฟฟ้าที่สิ้นเปลืองในเครื่องใช้ไฟฟ้าขึ้นอยู่กับความต่างศักย์ กระแสไฟฟ้าและเวลาที่ใช้
11. วิเคราะห์และหาปริมาณทางไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงอย่างง่าย	ความรู้เกี่ยวกับกฎของโอห์ม การต่อตัวต้านทาน การต่อแบตเตอรี่พลังงานไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า นำไปแก้ปัญหาวงจรไฟฟ้ากระแสตรงที่ประกอบด้วยแบตเตอรี่และตัวต้านทาน
12. อธิบายแรงกระทำต่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่เข้าไปในสนามแม่เหล็ก แรงกระทำต่อลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านและอยู่ในสนามแม่เหล็ก	อนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่เข้าไปในสนามแม่เหล็กจะมีแรงกระทำต่ออนุภาคนั้นและสามารถหาทิศทางของแรงได้จากกฎมือขวา ส่วนลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านและอยู่ในสนามแม่เหล็ก จะเกิดแรงกระทำต่อลวดตัวนำนั้นเช่นกัน โดยมีทิศทางของแรงตามกฎมือขวา และถ้าให้กระแสไฟฟ้าผ่านลวดตัวนำสองเส้นที่วางขนานกัน จะเกิดแรงกระทำระหว่างลวดตัวนำทั้งสอง ซึ่งเป็นผลจากสนามแม่เหล็กที่ลวดแต่ละเส้นสร้างขึ้น
13. อธิบายการหมุนของขดลวดที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านและอยู่ในสนามแม่เหล็ก และการนำหลักการนี้ไปสร้างและอธิบายการทำงานของแกลแวนอมิเตอร์และมอเตอร์ไฟฟ้า	เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านขดลวดตัวนำรูปสี่เหลี่ยมที่อยู่ในสนามแม่เหล็กจะมีโมเมนต์ของแรงคู่ควบกระทำต่อขดลวดทำให้ขดลวดหมุน ซึ่งเป็นหลักการของแกลแวนอมิเตอร์ และหลักการนี้นำไปสร้างมอเตอร์ไฟฟ้า

ผลการเรียนรู้	สาระการเรียนรู้
14. อธิบายแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ กฎของฟาราเดย์ และการนำหลักการนี้ไปสร้างและอธิบายการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	ขดลวดตัวนำรูปสี่เหลี่ยมที่เคลื่อนที่ตัดฟลักซ์แม่เหล็กจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดตัวนำ อธิบายได้โดยใช้**กฎของฟาราเดย์** ซึ่งสามารถนำไปอธิบายการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ความรู้เกี่ยวกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำใช้อธิบายการทำงานของแบลลัสต์แบบเดิมของหลอดฟลูออเรสเซนต์ และการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับในมอเตอร์ไฟฟ้า
15. อธิบายลักษณะของไฟฟ้ากระแสสลับ การผลิตไฟฟ้ากระแสสลับ และปริมาณที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้ากระแสสลับ	ไฟฟ้ากระแสสลับมีความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาในรูปของฟังก์ชันไซน์ การวัดความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าสลับใช้ค่ายังผลหรือค่ามิเตอร์
	เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส มีขดลวดตัวนำ 3 ชุด แต่ละชุดวางทำมุม 120 องศา ซึ่งกันและกัน ไฟฟ้ากระแสสลับที่ออกมาจากขดลวดแต่ละชุดจึงมีเฟสต่างกัน 120 องศา ซึ่งช่วยให้มีประสิทธิภาพในการผลิตและการส่งพลังงานไฟฟ้า
16. อธิบายหลักการทำงานของหม้อแปลง	เมื่อไฟฟ้ากระแสสลับผ่านขดลวดปฐมภูมิจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลง โดยแรงเคลื่อนไฟฟ้าในขดลวดทุติยภูมิขึ้นอยู่กับแรงเคลื่อนไฟฟ้าในขดลวดปฐมภูมิและจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ และชนิดของวัสดุที่ใช้เป็นแกนของขดลวด

ผลการเรียนรู้	สาระการเรียนรู้
17. อธิบายการเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำต่อเนื่องขึ้นระหว่างสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าและทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจากแหล่งกำเนิด คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความถี่ต่อเนื่องกันเป็นช่วงกว้าง เรียกว่า **สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า** ได้แก่ คลื่นวิทยุ ไมโครเวฟ รังสีอินฟราเรด แสง รังสีอัลตราไวโอเลต รังสีเอกซ์ และรังสีแกมมา
18. อธิบายโพลาไรเซชันของแสง แสงโพลาไรส์ และแสงไม่โพลาไรส์	คลื่นแสงที่แผ่ออกจากแหล่งกำเนิดโดยมีสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กกระจายรอบทิศทางในแนวตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของแสง เรียกว่า **แสงไม่โพลาไรส์** เช่น แสงจากหลอดไฟ แสงจากดวงอาทิตย์ เมื่อแสงนั้นผ่านแผ่นโพลารอยด์ สนามไฟฟ้า (หรือสนามแม่เหล็ก) จะมีทิศทางอยู่ในระนาบเดียวเรียกว่า **คลื่นโพลาไรส์** สมบัติของแสงลักษณะนี้เรียกว่า **โพลาไรเซชัน**

สรุปสาระสำคัญ

ประจุไฟฟ้ามี 2 ชนิด คือ บวกและลบ แรงระหว่างประจุเป็นไปตาม**กฎของคูลอมบ์** $F = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$ ประจุชนิดเดียวกันผลักกันและประจุต่างชนิดกันดึงดูดกัน ประจุไม่สามารถสร้างขึ้นใหม่หรือทำลายได้ ผลรวมของประจุของระบบก่อนการเปลี่ยนแปลงจึงเท่ากับผลรวมของประจุหลังการเปลี่ยนแปลง จึงมี**กฎการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า** การนำวัตถุที่มีประจุเข้าใกล้ตัวนำใดๆ จะมี**การเหนี่ยวนำไฟฟ้า**เกิดขึ้น โดยอุปกรณ์สำหรับตรวจสอบประจุเรียกว่า**อิเล็กโทรสโคป**

สนามไฟฟ้า คือ บริเวณที่ประจุมีแรงทางไฟฟ้าไปถึง มีค่าเท่ากับแรงที่กระทำต่อจุดประจุบวกขนาดหนึ่งหน่วยซึ่งวาง ณ ตำแหน่งใดๆ ตามสมการ $\bar{E} = \frac{\bar{F}}{+q}$ สนามไฟฟ้าจะมีทิศทางพุ่งออกจากประจุบวกและพุ่งเข้าหาประจุลบ สนามไฟฟ้าภายในตัวนำรูปทรงใดๆ มีค่าเป็นศูนย์และสนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งติดกับผิวของตัวนำจะมีทิศทางตั้งฉากกับผิวเสมอ โดยเส้นที่ใช้เขียนเพื่อแสดงทิศทางของสนามไฟฟ้าบริเวณรอบๆ ประจุไฟฟ้าเรียกว่า**เส้นสนามไฟฟ้า**

พลังงานศักย์ เกิดขึ้นเมื่อประจุ q อยู่ที่ตำแหน่ง ที่มีสนามไฟฟ้าและได้รับแรงกระทำจากสนามไฟฟ้า พลังงานศักย์มีค่าเท่ากับงานของแรงไฟฟ้าที่นำประจุ q จากระยะอนันต์มายังจุดนั้น หรือ $E_P = \frac{kQq}{r}$ โดยพลังงานศักย์ไฟฟ้าต่อ 1 หน่วยประจุที่ตำแหน่งนั้น เป็น**ศักย์ไฟฟ้า**ที่ตำแหน่งนั้น $V = \frac{E_P}{q} = \frac{kQ}{r}$

ความต่างศักย์ คือ ผลต่างของศักย์ไฟฟ้าระหว่างสองจุด หรือเป็นงานที่เกิดขึ้นในการเคลื่อนที่ประจุ +1 หน่วยจากตำแหน่ง A ไปยังตำแหน่ง B ภายในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้า เมื่อมีการนำประจุจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ **ความต่างศักย์ระหว่างสองจุดนั้นในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ**หาได้จากสมการ $E = \frac{V_B - V_A}{d}$

ความจุ คือ ความสามารถในการเก็บประจุของตัวเก็บประจุ มีค่าเท่ากับประจุไฟฟ้าต่อศักย์ไฟฟ้า เมื่อศักย์ไฟฟ้าของทรงกลมตัวนำสองลูกไม่เท่ากัน ประจุจะถูก**ถ่ายโอน**จากทรงกลมตัวนำที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าไปยังทรงกลมตัวนำที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าได้เมื่อถูกเชื่อมด้วยตัวนำ และการถ่ายโอนจะหยุดเมื่อศักย์ไฟฟ้าของทรงกลมตัวนำทั้งสองเท่ากัน

การต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรมจะทำให้ประจุของตัวเก็บประจุแต่ละตัวมีค่าเท่ากันและความจุสมมูลลดลง **การต่อตัวเก็บประจุแบบขนาน** จะทำให้ความต่างศักย์ที่คร่อมตัวเก็บประจุทุกตัวมีค่าเท่ากันและความจุสมมูลมีค่าเพิ่มขึ้น

กระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นเมื่อมีการถ่ายโอนประจุไฟฟ้าผ่านตัวนำระหว่างปลายของตัวนำเชื่อมต่อกับความต่างศักย์ กระแสไฟฟ้าในตัวนำมีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ โดยมีค่าขึ้นกับความหนาแน่น n และความเร็วลอยเลื่อน v_d ของอิเล็กตรอนอิสระ ตามสมการ $I = nev_d A$

ความต้านทานไฟฟ้า R ของลวดตัวนำยาว ℓ พื้นที่หน้าตัด A เป็นไปตามสมการ $R = \dfrac{\rho\ell}{A}$ โดยค่า ρ เป็น**สภาพต้านทานไฟฟ้า** มีหน่วยเป็น โอห์มเมตร (Ω m)

ผลของอุณหภูมิมีต่อสภาพต้านทาน โดยฉนวนจะมีค่าสภาพต้านทานลดลงเล็กน้อยที่อุณหภูมิสูงๆ สารกึ่งตัวนำจะมีสภาพต้านทานลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ตัวนำโลหะบริสุทธิ์จะมีค่าสภาพต้านทานแปรผันตรงกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ และตัวนำยิ่งยวดภาพต้านทานเป็นศูนย์ที่อุณหภูมิวิกฤตหรือต่ำกว่า

แรงเคลื่อนไฟฟ้า คือ พลังงานไฟฟ้าของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยประจุที่เคลื่อนที่ผ่านแหล่งกำเนิดไฟฟ้า $\left(E = \dfrac{W}{Q}\right)$ และ**ความต่างศักย์** คือ พลังงานไฟฟ้าที่ชิ้นส่วนต่างๆ ของวงจรใช้ต่อหนึ่งหน่วยประจุไฟฟ้า $\left(V = \dfrac{W}{Q}\right)$

พลังงานไฟฟ้า (W) ที่ให้เครื่องใช้ไฟฟ้าในเวลา t มีค่าเป็น $W = ItV = I^2Rt = \dfrac{V^2}{R}t$ โดยพลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้หรือเปลี่ยนไปต่อหนึ่งหน่วยเวลา คือ **กำลังไฟฟ้า** (P)

แอมมิเตอร์ โวลต์มิเตอร์และโอห์มมิเตอร์เป็นเครื่องวัดไฟฟ้าที่ดัดแปลงจากแกลแวนอมิเตอร์ชนิดขดลวดเคลื่อนที่ เมื่อนำตัวต้านทานค่าน้อยๆ (ชันต์) มาต่อขนานกับแกลแวนอมิเตอร์จะได้แอมมิเตอร์ การนำตัวต้านทานค่ามากมาต่ออนุกรมจะได้โวลต์มิเตอร์ ส่วนการดัดแปลงเป็นโอห์มมิเตอร์ต้องนำชันต์มาขนานกับแกลแวนอมิเตอร์แล้วต่ออนุกรมกับตัวต้านทานอีกตัวหนึ่งและแบตเตอรี่

สนามแม่เหล็กโลก มีทิศทางพุ่งออกจากบริเวณขั้วใต้ทางภูมิศาสตร์ไปยังขั้วเหนือทางภูมิศาสตร์ สังเกตได้จากแนวการวางตัวของเข็มทิศ

ฟลักซ์แม่เหล็ก คือเส้นสนามแม่เหล็กที่ผ่านพื้นที่ที่พิจารณา

เมื่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กจะมีแรงกระทำต่ออนุภาคเป็น $F = qvB\sin\theta$ (โดยทิศทางของแรงหาได้จากกฎมือขวา)

ลวดตัวนำตรงยาวที่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน ขณะวางในสนามแม่เหล็กจะเกิดแรงกระทำต่อลวดเป็น $F = I\ell B\sin\theta$ และทิศทางของแรงหาได้จากกฎมือขวา

ลวดตัวนำสองเส้นที่ขนานกันและมีกระแสไฟฟ้าผ่าน จะมีแรงกระทำระหว่างลวดตัวนำทั้งสอง โดยจะเป็นแรงดูดถ้ากระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำทั้งสองมีทิศทางเดียวกัน แต่จะเป็นแรงผลักถ้ากระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำทั้งสองมีทิศทางตรงข้ามกัน

กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นเมื่อฟลักซ์แม่เหล็กเปลี่ยนแปลงผ่านขดลวดตัวนำและลวดตัวนำที่ต่อเป็นวงจรปิด จะมีกระแสไฟฟ้าในวงจร เรียกว่า กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ และปลายทั้งสองของลวดตัวนำที่มีฟลักซ์แม่เหล็กเปลี่ยนแปลงผ่านจะทำหน้าที่เสมือนเป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่ให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าได้ เรียกว่า **อีเอ็มเอฟเหนี่ยวนำ** ซึ่งอธิบายด้วยกฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ และกฎของเลนซ์

ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความต่างศักย์ของแหล่งกำเนิดเป็น $v = V_m \sin \omega t$ จะมีความสัมพันธ์กับกระแสไฟฟ้า i ในวงจร คือ กรณีวงจรตัวต้านทาน กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์มีเฟสเดียวกัน กรณีตัวเก็บประจุ กระแสไฟฟ้ามีเฟสนำความต่างศักย์เป็นมุม $\frac{\pi}{2}$ เรเดียน และกรณีตัวเหนี่ยวนำ กระแสไฟฟ้ามีเฟสตามความต่างศักย์เป็นมุม $\frac{\pi}{2}$ เรเดียน

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดจากการเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่องของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่ตั้งฉากกันและตั้งฉากกับทิศทางของความเร็วของการเคลื่อนที่ของคลื่น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีความเร็วในสุญญากาศเท่ากับ 3×10^8 เมตรต่อวินาที แต่มีความถี่ต่างๆมากมายต่อเนื่องกันเป็นช่วงกว้าง ที่เรียกรวมกันว่า**สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า**

โพลาไรเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกไป ถ้าสนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงทิศทางกลับไปกลับมาในระนาบเดียว จะกล่าวได้ว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้เป็น**คลื่นโพลาไรส์**

โพลาไรเซชันของแสง แหล่งกำเนิดคลื่นแสงโดยทั่วไป เช่น ดวงอาทิตย์ หลอดไฟ จะปล่อยคลื่นแสงโดยสนามไฟฟ้าของแสงที่ส่งออกมามีทิศทางต่างๆ กันมากมาย เรียกว่า **แสงไม่โพลาไรส์**

แสงไม่โพลาไรส์ถูกทำให้เป็นแสงโพลาไรส์ได้ด้วย**โพลาไรเซชันโดยการดูดกลืน โพลาไรเซชันโดยการสะท้อน โพลาไรเซชันโดยการหักเห** หรือ**โพลาไรเซชันโดยการกระเจิง**

ผังมโนทัศน์
ฟิสิกส์ เล่ม 4 ไฟฟ้าและแม่เหล็ก

- **ไฟฟ้าสถิต**
  - ประจุไฟฟ้า
  - กฎการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า
  - การเหนี่ยวนำไฟฟ้า
  - กฎของคูลอมบ์
  - สนามไฟฟ้า
  - ศักย์ไฟฟ้า
  - ตัวเก็บประจุและความจุ
  - การประยุกต์ใช้ไฟฟ้าสถิต
- **ไฟฟ้ากระแสตรง**
  - กระแสไฟฟ้า
  - กฎของโอห์มและความต้านทาน
    - สภาพต้านทานและสภาพนำไฟฟ้า
    - ผลของอุณหภูมิต่อความต้านทาน
  - พลังงานในวงจรไฟฟ้า
  - การต่อตัวต้านทานและแบตเตอรี่
  - เครื่องวัดไฟฟ้า
    - แอมมิเตอร์
    - โวลต์มิเตอร์
    - โอห์มมิเตอร์
- **ไฟฟ้าและแม่เหล็ก**
  - แม่เหล็ก
    - สนามและฟลักซ์แม่เหล็ก
    - การเคลื่อนทของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าในสนามแม่เหล็ก
  - กระแสไฟฟ้าทำให้เกิดสนามแม่เหล็กและแรงแม่เหล็กกระทำต่อลวดที่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน
  - แกลแวนอมิเตอร์และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
  - กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำและแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ
  - หม้อแปลง
  - ปริมาณที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้ากระแสสลับ
    - ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ
    - กำลังไฟฟ้าและตัวประกอบกำลัง
- **คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า**
  - ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์และการทดลองของเฮิรตซ์
  - การแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายอากาศ
  - สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
  - โพลาไรเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
    - แสงไม่โพลาไรส์และแสงโพลาไรส์
    - การทำให้เกิดแสงโพลาไรส์
      - การดูดกลืน
      - การสะท้อน
      - การหักเห
      - และการกระเจิง

13

บทที่ 13 ไฟฟ้าสถิต

เนื้อหาและเวลาที่ใช้สอน

13.1 ปรากฏการณ์ธรรมชาติของไฟฟ้า	1	ชั่วโมง
13.2 ประจุไฟฟ้า	2	ชั่วโมง
13.3 กฎการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า	1	ชั่วโมง
13.4 การเหนี่ยวนำไฟฟ้า	1	ชั่วโมง
13.5 แรงระหว่างประจุและกฎของคูลอมบ์	4	ชั่วโมง
13.6 สนามไฟฟ้า	4	ชั่วโมง
13.7 เส้นสนามไฟฟ้า	1	ชั่วโมง
13.8 ศักย์ไฟฟ้า	4	ชั่วโมง
13.8.1 ศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุ		
13.8.2 ศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากประจุบนตัวนำทรงกลม		
13.8.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ		
13.9 ตัวเก็บประจุและความจุ	4	ชั่วโมง
13.9.1 การถ่ายโอนประจุระหว่างตัวนำทรงกล		
13.9.2 การต่อตัวเก็บประจุ		
13.10 การนำความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าสถิตไปใช้ประโยชน์	2	ชั่วโมง
	รวม	**24 ชั่วโมง**

บทที่ 1

จุดประสงค์การเรียนรู้

เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. บอกความหมายเกี่ยวกับปรากฏการณ์ธรรมชาติของไฟฟ้าได้
2. ทำกิจกรรมเพื่อศึกษาชนิดของแรงระหว่างประจุไฟฟ้า และชนิดของประจุไฟฟ้า
3. บอกการเกิดชนิดของประจุไฟฟ้าบนวัตถุที่นำมาถูกัน เมื่อกำหนดลำดับของการเกิดชนิดประจุไฟฟ้าจากการถูมาให้
4. อธิบายการทำให้วัตถุมีประจุไฟฟ้า โดยใช้กฎการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้าได้
5. บอกความหมายของตัวนำไฟฟ้าและฉนวนไฟฟ้าได้
6. ทำกิจกรรมเพื่อศึกษาวิธีการทำให้วัตถุมีประจุไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำ และอธิบายผลที่เกิดขึ้นได้
7. บอกวิธีการตรวจสอบประจุไฟฟ้าของวัตถุและชนิดของประจุไฟฟ้าโดยใช้อิเล็กโทรสโคป และอธิบายผลที่เกิดขึ้นได้
8. บอกความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำต่อประจุไฟฟ้า ระยะระหว่างประจุไฟฟ้า และปริมาณประจุไฟฟ้า ซึ่งเป็นกฎของคูลอมบ์ได้ และนำกฎของคูลอมบ์ไปคำนวณหาปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องได้
9. บอกความหมายของสนามไฟฟ้าและหาค่าของสนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งที่อยู่ห่างจากจุดประจุไฟฟ้าที่ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าได้
10. หาขนาดและทิศทางของสนามไฟฟ้าที่เกิดจากหนึ่งจุดประจุและหลายจุดประจุที่เป็นประจุชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันได้
11. หาขนาดและทิศทางของแรงที่กระทำต่อประจุไฟฟ้าที่อยู่ในสนามไฟฟ้า
12. บอกความหมายของเส้นสนามไฟฟ้า
13. เขียนรูปแสดงเส้นสนามไฟฟ้าของสนามไฟฟ้าจากหนึ่งจุดประจุ สองจุดประจุที่มีประจุไฟฟ้าต่างชนิดกัน แผ่นตัวนำขนานที่มีประจุไฟฟ้าต่างชนิดกัน และตัวนำวงกลมซ้อนกันที่มีประจุไฟฟ้าต่างชนิดกัน
14. บอกได้ว่าขนาดของสนามไฟฟ้า ณ บริเวณหนึ่งจะมีค่ามาก ถ้าเส้นสนามไฟฟ้า ณ บริเวณนั้นมีความหนาแน่นมาก
15. บอกได้ว่าสนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งต่างๆ ในที่ว่างภายในตัวนำทรงกลมใดๆ มีค่าเป็นศูนย์และสนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งต่างๆ จากผิวทรงกลมออกไป จะมีลักษณะเหมือนกับสนามไฟฟ้าของจุดประจุที่เสมือนว่าประจุไฟฟ้าทั้งหมดของตัวนำทรงกลมไปรวมกันอยู่ที่ศูนย์กลางของทรงกลมนั้น
16. บอกได้ว่าสนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งที่ติดกับผิวของตัวนำจะมีทิศทางตั้งฉากกับผิวเสมอ

17. บอกความหมายของพลังงานศักย์ไฟฟ้า ศักย์ไฟฟ้า และความต่างศักย์ไฟฟ้าได้
18. อธิบายวิธีหาศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุ และคำนวณหาศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่างๆ เนื่องจากหนึ่งจุดประจุหรือหลายจุดประจุได้
19. บอกได้ว่าศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในตัวนำทรงกลมมีค่าเท่ากันและเท่ากับศักย์ไฟฟ้าที่ผิว ศักย์ไฟฟ้า ณ ตำแหน่งใดๆ ที่อยู่นอกผิวทรงกลมจะมีค่าเท่ากับศักย์ไฟฟ้า ณ ตำแหน่งนั้นเนื่องจากประจุไฟฟ้าบนผิวทรงกลมเสมือนไปรวมกันอยู่ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลม
20. บอกความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าและสนามไฟฟ้า และใช้ความสัมพันธ์ดังกล่าวคำนวณหาปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องได้ เมื่อกำหนดสถานการณ์ให้
21. บอกความหมายของตัวเก็บประจุและความจุไฟฟ้า
22. บอกได้ว่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวและภายในตัวนำทรงกลมที่เป็นตัวเก็บประจุมีค่าขึ้นกับปริมาณประจุไฟฟ้าและรัศมีของทรงกลม
23. บอกความสัมพันธ์ระหว่างความจุของตัวเก็บประจุรูปทรงกลมกับรัศมีของทรงกลมได้
24. บอกได้ว่าพื้นที่ใต้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่ต่อกับขั้วของตัวเก็บประจุกับประจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ คือ พลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ
25. บอกความสัมพันธ์ของความจุสมมูลกับความจุของตัวเก็บประจุแต่ละตัวเมื่อนำมาต่อแบบอนุกรมและแบบขนาน และหาปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเมื่อกำหนดสถานการณ์ให้
26. ยกตัวอย่างการนำความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าสถิตไปอธิบายการทำงานของเครื่องใช้บางประเภทได้

สรุปสาระสำคัญ

ประจุไฟฟ้า

ประจุไฟฟ้ามี 2 ชนิด คือ ประจุบวกและประจุลบ อนุภาคที่เล็กที่สุดที่มีประจุลบ คือ อิเล็กตรอน และอนุภาคที่เล็กที่สุดที่มีประจุบวก คือ โปรตอน

แรงไฟฟ้า

เป็นแรงระหว่างประจุไฟฟ้าสองประจุ ประจุชนิดเดียวกันผลักกัน และประจุต่างชนิดกันดึงดูดกัน ขนาดของแรงเป็นไปตามกฎของคูลอมบ์

กฎการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า

ประจุไม่สามารถสร้างขึ้นใหม่หรือทำลายได้ ดังนั้นในการเปลี่ยนแปลงใดๆ ผลรวมของประจุของระบบก่อนการเปลี่ยนแปลงต้องเท่ากับผลรวมของประจุหลังการเปลี่ยนแปลง

ตัวนำ

เป็นวัตถุที่สามารถนำไฟฟ้าได้

ฉนวน

เป็นวัตถุที่นำไฟฟ้าได้ไม่ดี

การเหนี่ยวนำไฟฟ้า

การนำวัตถุที่มีประจุเข้าใกล้ตัวนำใดๆ จะทำให้เกิดประจุชนิดตรงข้ามบนตัวนำตรงส่วนด้านที่ใกล้วัตถุ และการเกิดประจุชนิดเดียวกันบนตัวนำด้านที่ไกลวัตถุ เรียกว่า การเหนี่ยวนำไฟฟ้า

อิเล็กโทรสโคปลูกพิท

เป็นอุปกรณ์สำหรับตรวจสอบประจุไฟฟ้า ประกอบด้วยลูกพิทที่แขวนด้วยเส้นด้ายให้ห้อยในแนวดิ่ง เมื่อนำวัตถุที่ต้องการตรวจสอบเข้าใกล้ลูกพิทที่แขวนอยู่ ถ้าลูกพิทถูกดึงดูดให้เข้าหาวัตถุ แสดงว่าวัตถุมีประจุไฟฟ้า

อิเล็กโทรสโคปแผ่นโลหะ

เป็นอุปกรณ์สำหรับตรวจสอบประจุไฟฟ้า ประกอบด้วยแผ่นโลหะบางติดกับก้านโลหะซึ่งต่อมาจากจานโลหะของอิเล็กโทรสโคป เมื่อนำวัตถุที่ต้องการตรวจสอบมาใกล้จานโลหะของอิเล็กโทรสโคป ถ้าแผ่นโลหะบางกางออกแสดงว่าวัตถุนั้นมีประจุ นอกจากนี้ยังสามารถตรวจสอบชนิดของประจุที่อยู่บนวัตถุว่าเป็นประจุบวก ลบ หรือเป็นกลางทางไฟฟ้าได้

การต่อสายดิน

การต่อสายดินเป็นการทำให้จุดที่ต่อนั้นมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้าเช่นเดียวกับโลก

กฎของคูลอมบ์

กฎของคูลอมบ์กล่าวถึงแรงระหว่างจุดประจุสองจุดประจุ สามารถคำนวณหาขนาดของแรงได้ ทั้งในกรณีแรงผลักและแรงดึงดูดระหว่างจุดประจุ ตามสมการ $F = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$

สนามไฟฟ้า

แรงที่กระทำต่อจุดประจุบวกขนาดหนึ่งหน่วย ซึ่งวาง ณ ตำแหน่งใดๆ คือสนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งนั้น สนามไฟฟ้าเป็นปริมาณเวกเตอร์ โดยกำหนดทิศทางของสนามไฟฟ้าอยู่ในทิศทางเดียวกับทิศทางของแรงที่กระทำต่อประจุทดสอบ $+q$ เป็นไปตามสมการ $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{+q}$ จึงสรุปได้ว่าสนามไฟฟ้ามีทิศทางพุ่งออกจากประจุบวกและพุ่งเข้าหาประจุลบในทุกทิศทาง สนามไฟฟ้าของตัวนำ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในที่ว่างภายในตัวนำรูปทรงใดๆ มีค่าเป็นศูนย์ และสนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งติดกับผิวของตัวนำจะมีทิศทางตั้งฉากกับผิวเสมอ

เส้นสนามไฟฟ้า

เส้นที่ใช้เขียนเพื่อแสดงทิศทางของสนามไฟฟ้าในบริเวณรอบๆ ประจุไฟฟ้า บริเวณที่มีเส้นสนามไฟฟ้าหนาแน่นมาก สนามไฟฟ้าที่บริเวณนั้นมีค่ามาก บริเวณที่มีเส้นสนามไฟฟ้าหนาแน่นน้อย สนามไฟฟ้ามีค่าน้อย เส้นสนามไฟฟ้าที่มีความหนาแน่นสม่ำเสมอ สนามไฟฟ้าในบริเวณดังกล่าวจะมีค่าสม่ำเสมอ สนามไฟฟ้าเนื่องจากแผ่นตัวนำที่ขนานกันที่มีประจุไฟฟ้าต่างชนิดกันเป็นสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ

จุดสะเทินในสนามไฟฟ้า

หมายถึงจุดใดๆ ในสนามไฟฟ้า ซึ่งมีค่าของสนามไฟฟ้าลัพธ์เป็นศูนย์ เนื่องจากจุดนั้นอาจปรากฏมีสนามไฟฟ้าอย่างน้อยที่สุดสองสนามที่มีค่าของสนามไฟฟ้าเท่ากัน แต่ทิศทางตรงกันข้าม หรือ ณ จุดนั้นมีสนามไฟฟ้ามากกว่าสองสนาม แต่ค่าของสนามไฟฟ้าและทิศทางของสนามไฟฟ้าเหล่านั้นอยู่ในลักษณะที่ทำให้สนามไฟฟ้าหักล้างกันหมด

พลังงานศักย์ไฟฟ้า

เมื่อประจุ q อยู่ที่ตำแหน่งต่างๆ ที่มีสนามไฟฟ้า จะมีพลังงานศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากประจุ q ได้รับแรงกระทำจากสนามไฟฟ้า ในกรณีสนามไฟฟ้าเนื่องจากประจุ Q จะทำให้ประจุ q มีพลังงานศักย์ไฟฟ้าเท่ากับงานของแรงไฟฟ้าที่นำประจุจากระยะอนันต์มายังจุดนั้น จึงได้ $E_p = \frac{kQq}{r}$ เมื่อ r เป็นระยะระหว่างประจุทั้งสอง

ศักย์ไฟฟ้า

เมื่อนำประจุ q ไปไว้ที่ตำแหน่งหนึ่งทำให้มีพลังงานศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากประจุ Q เป็น E_p พลังงานศักย์ไฟฟ้าต่อ 1 หน่วยประจุที่ตำแหน่งนั้นจะมีค่าเป็น $\frac{E_p}{q}$ เมื่อให้ V เป็นศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งนั้น จะได้ $V = \frac{E_p}{q} = \frac{kQ}{r}$

ความต่างศักย์

คือผลต่างของศักย์ไฟฟ้าระหว่างสองจุด หรือกล่าวได้ว่าถ้าให้งานในการเคลื่อนประจุ $+q$ จากจุด A ไปยังจุด B ด้วยอัตราเร็วคงตัวเป็น $W_{A\to B}$ งานในการเคลื่อนประจุ +1 หน่วย จาก A ไป B จะมีค่าเท่ากับ $\frac{W_{A\to B}}{q}$ แสดงว่าศักย์ไฟฟ้าที่ B ต่างจากศักย์ไฟฟ้าที่ A เท่ากับ $\frac{W_{A\to B}}{q}$ จึงกล่าวได้ว่างานที่เกิดขึ้นในการเคลื่อนที่ประจุ +1 หน่วยจากตำแหน่ง A ไปยังตำแหน่ง B ภายในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้า คือ ความต่างศักย์ระหว่างสองตำแหน่งนั้น เขียนเป็นสมการได้ว่า $V_B - V_A = \frac{W_{A\to B}}{q}$

ศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากประจุบนตัวนำทรงกลม

ศักย์ไฟฟ้าที่จุดใดๆ ภายในตัวนำทรงกลมมีค่าเท่ากันและเท่ากับศักย์ไฟฟ้าที่ผิว ความต่างศักย์ระหว่างสองจุดใดๆ ภายในตัวนำทรงกลมจนถึงผิวมีค่าเป็นศูนย์

ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ

เมื่อมีการนำประจุจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ ความต่างศักย์ระหว่างสองจุดนั้นในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอหาได้จากสมการ $E = \frac{V_B - V_A}{d}$

ความจุ

ความสามารถในการเก็บประจุของตัวเก็บประจุ เรียกว่าความจุ หาได้จากอัตราส่วนของประจุไฟฟ้าต่อความต่างศักย์ เมื่อให้ C เป็นสัญลักษณ์แทนความจุ จะได้ว่า $C = \frac{Q}{V}$

การถ่ายโอนประจุ

ถ้าศักย์ไฟฟ้าของทรงกลมตัวนำสองลูกไม่เท่ากัน เมื่อถูกเชื่อมด้วยลวดตัวนำจะเกิดการถ่ายโอนประจุ ซึ่งการถ่ายโอนจะหยุดเมื่อศักย์ไฟฟ้าของทรงกลมตัวนำทั้งสองเท่ากัน

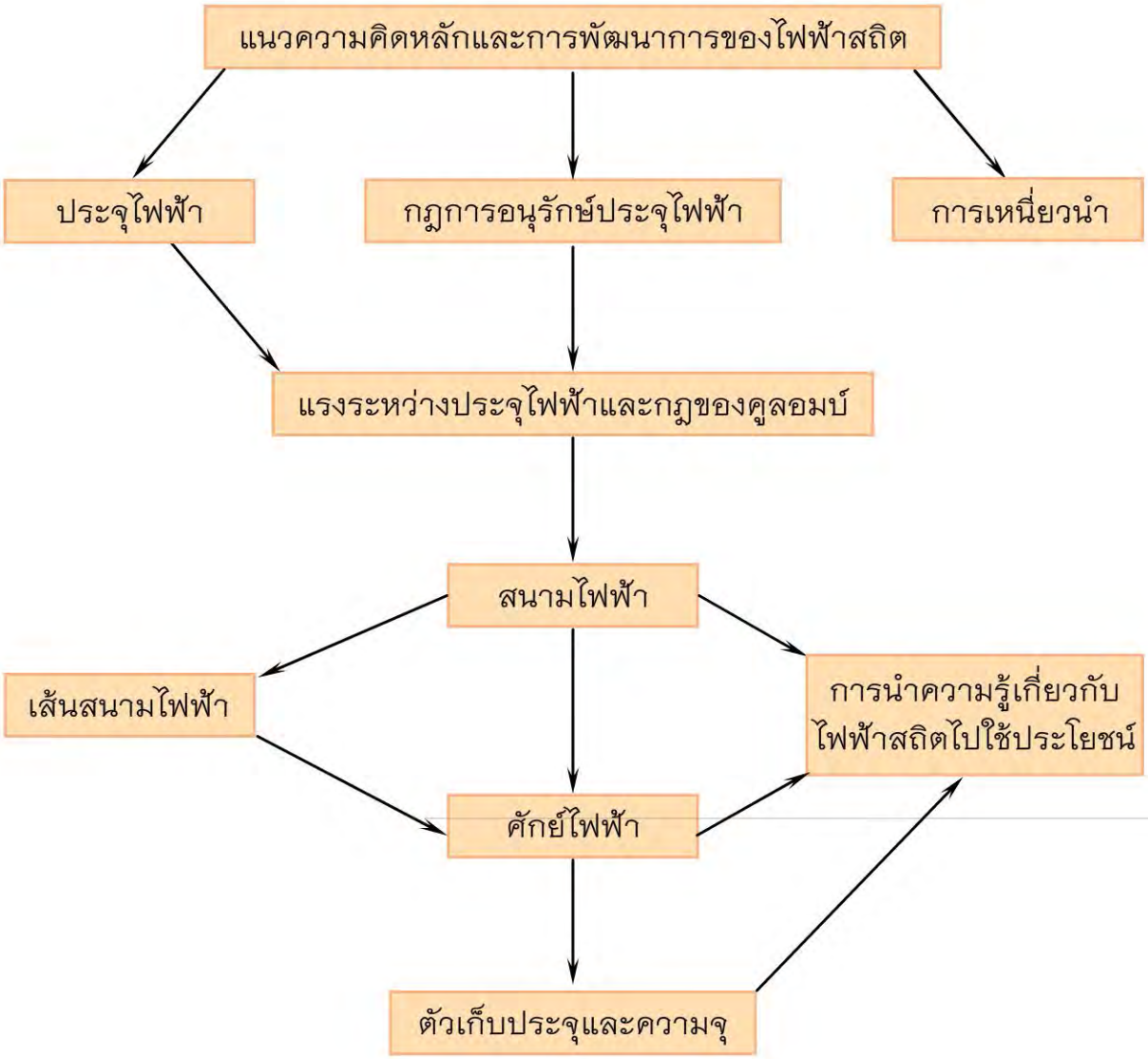
การต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรม

เป็นการต่อตัวเก็บประจุที่ทำให้ประจุของตัวเก็บประจุแต่ละตัวมีค่าเท่ากันและความจุสมมูลลดลง

การต่อตัวเก็บประจุแบบขนาน

เป็นการต่อตัวเก็บประจุที่ทำให้ความต่างศักย์ที่คร่อมตัวเก็บประจุทุกตัวมีค่าเท่ากันและความจุสมมูลมีค่าเพิ่มขึ้น

ผังมโนทัศน์ : บทที่ 13 ไฟฟ้าสถิต



13.1 ปรากฏการณ์ธรรมชาติของไฟฟ้า

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถบอกปรากฏการณ์ธรรมชาติเกี่ยวกับไฟฟ้าสถิตได้

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

1.1 นักเรียนช่วยกันบอกปรากฏการณ์ธรรมชาติต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้าสถิตที่พบได้ในชีวิตประจำวัน

1.2 ครูยกตัวอย่าง การเกิดฟ้าแลบ ฟ้าผ่า แสงเหนือและแสงใต้ ฯลฯ โดยใช้รูปภาพหรือฉายภาพบน LCD โปรเจกเตอร์ หรือโดยวิธีอื่นๆ

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

นักเรียนศึกษาตัวอย่างปรากฏการณ์ธรรมชาติของไฟฟ้าเพิ่มเติมจากหนังสือเรียน ครูชี้ให้เห็นว่า ปรากฏการณ์เหล่านี้ นักปราชญ์ชาวกรีกชื่อ ทาลีส ได้สังเกตพบมาก่อนตั้งแต่ 60 ปี ก่อนพุทธศักราช

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

ครูอาจให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายประโยชน์หรือโทษของปรากฏการณ์ธรรมชาติเกี่ยวกับไฟฟ้า เช่น ปรากฏการณ์ฟ้าผ่า และแนะนำวิธีป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า

13.2 ประจุไฟฟ้า

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. บอกวิธีการทำให้วัตถุที่เป็นกลางมีประจุไฟฟ้า และวิธีการทดสอบได้
2. บอกความหมายของวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าและแรงระหว่างประจุไฟฟ้าได้
3. ทำกิจกรรมเพื่อสังเกตชนิดของแรงระหว่างประจุ และสรุปชนิดของแรงระหว่างประจุ
4. บอกได้ว่าประจุไฟฟ้ามี 2 ชนิด เรียกว่า ประจุบวกและประจุลบ
5. เขียนทิศทางของแรงระหว่างอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าได้

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

1.1 ครูสาธิต โดยนำเศษผ้าหรือผ้าสักหลาดมาถูที่ปลายข้างหนึ่งของไม้บรรทัดที่ทำด้วยพีวีซีหรือพลาสติก แล้วนำเข้าใกล้กระดาษเยื่อชิ้นเล็กๆ จะเห็นว่ากระดาษถูกดูดติดปลายของแผ่นไม้บรรทัด ก่อนสาธิตครูควรทำความสะอาดไม้บรรทัดก่อน และเศษผ้าหรือผ้าสักหลาดจะต้องแห้ง

1.2 อภิปรายผลจากการสาธิตของครู จนได้ข้อสรุปว่า ภายหลังถูพีวีซีด้วยผ้าสักหลาดแล้วนำพีวีซีเข้าใกล้กระดาษเยื่อชิ้นเล็กๆ พบว่าเศษกระดาษถูกพีวีซีดึงดูด แสดงว่าพีวีซีมีแรงกระทำกับเศษกระดาษ และต้นเหตุที่ทำให้เกิดแรงนี้คือ **ประจุไฟฟ้า** หรือเรียกสั้นๆ ว่า**ประจุ** เรียกแรงนี้ว่า **แรงระหว่างประจุไฟฟ้า**

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

แรงระหว่างประจุไฟฟ้าที่ได้ทราบมาแล้วเป็นแรงดึงดูด นอกจากนี้ยังมีแรงระหว่างประจุไฟฟ้ารูปแบบอื่นอีกหรือไม่ จะสังเกตและศึกษาโดยนำวัตถุต่างชนิดกันมาถูกัน เพื่อศึกษาว่ามีประจุกี่ชนิด เมื่อใดจะเกิดประจุที่เหมือนกัน และเมื่อใดจะเกิดประจุที่ต่างกัน ตามกิจกรรม 13.1

กิจกรรม 13.1 ชนิดของแรงระหว่างประจุไฟฟ้า และชนิดของประจุไฟฟ้า

จุดประสงค์ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. บอกได้ว่าแรงระหว่างประจุไฟฟ้ามีสองชนิด คือ แรงดึงดูดและแรงผลัก
2. บอกได้ว่าในการใช้วัตถุคู่หนึ่งถูกัน ประจุที่เกิดขึ้นบนวัตถุหนึ่งจะเป็นประจุชนิดเดิมเสมอ
3. บอกได้ว่าแรงระหว่างประจุไฟฟ้าชนิดเดียวกันเป็นแรงผลัก
4. บอกได้ว่าแรงระหว่างประจุไฟฟ้าต่างชนิดกันเป็นแรงดึงดูด

เวลาที่ใช้

แนะนำก่อนการทำกิจกรรม 5 นาที
ทำกิจกรรม 25 นาที
อภิปรายหลังการทำกิจกรรม 20 นาที รวม 50 นาที

วัสดุอุปกรณ์

รายการ	จำนวนต่อกลุ่ม (5 คน)
1. แผ่นพีวีซี	2
2. แผ่นเปอร์สเปกซ์	2
3. ผ้าสักหลาด	1
4. ขาตั้ง	1
5. เส้นด้าย	ยาวประมาณ 1 เมตร

การเตรียมล่วงหน้า

1. ก่อนทำการทดลองให้นำแผ่นพีวีซีและแผ่นเปอร์สเปกซ์ไปล้างให้สะอาดด้วยน้ำผสมสบู่ เช็ดและผึ่งแดดให้แห้ง

2. สำหรับผ้าสักหลาดสะบัดฝุ่นออกให้หมด แล้วนำไปผึ่งแดด

แนะนำก่อนทำกิจกรรม

1. ใช้ด้ายยาวประมาณ 15 - 20 เซนติเมตร ผูกแผ่นพีวีซีหรือเปอร์สเปกซ์กับขาตั้ง โดยจัดให้แผ่นพีวีซีหรือเปอร์สเปกซ์แขวนนิ่งในแนวนอน

2. สำหรับแผ่นพีวีซีและเปอร์สเปกซ์ที่แขวนไว้และยังไม่ได้แขวน ให้ทำเครื่องหมายไว้ที่ปลายข้างหนึ่งของแผ่น โดยครูเน้นว่า ในการทดลองให้จับด้านปลายที่ทำเครื่องหมายไว้เท่านั้น

3. ในการถูแผ่นพีวีซี หรือแผ่นเปอร์สเปกซ์ ต้องถูที่ปลายด้านตรงกันข้ามกับที่ได้ทำเครื่องหมายไว้

4. ก่อนนำปลายที่มีประจุเข้าใกล้กัน ควรตรวจดูก่อนว่า แผ่นพีวีซีกับแผ่นเปอร์สเปกซ์มีประจุ โดยสังเกตปลายที่มีประจุดึงดูดกระดาษชิ้นเล็กๆ ได้

5. เมื่อตรวจสอบแล้วว่าแผ่นพีวีซีหรือแผ่นเปอร์สเปกซ์มีประจุ ต้องรีบทำการทดลองทันที (ถ้าทิ้งไว้นานเกินไป แผ่นพีวีซีหรือแผ่นเปอร์สเปกซ์แผ่นใดแผ่นหนึ่งอาจเป็นกลาง ทำให้ผลการตรวจสอบผิดพลาด)

6. ต้องระวังปลายที่ถูแล้วไม่ให้สัมผัสกับสิ่งอื่นๆ

ตัวอย่างผลของการทำกิจกรรม

ชนิดของวัตถุที่มีประจุ	ชนิดของแรง
พีวีซี กับ พีวีซี	ผลักกัน
เปอร์สเปกซ์ กับ เปอร์สเปกซ์	ผลักกัน
พีวีซี กับ เปอร์สเปกซ์	ดึงดูดกัน

อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

นักเรียนร่วมกันอภิปรายผล และครูให้ความรู้ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จนสรุปได้ว่า

1. แรงระหว่างประจุไฟฟ้ามี 2 ชนิด คือ แรงดึงดูด และแรงผลัก
2. ในการนำวัตถุคู่หนึ่งมาถูกัน ประจุที่เกิดขึ้นบนวัตถุหนึ่งจะเป็นประจุชนิดเดิมเสมอ
3. แรงระหว่างประจุไฟฟ้าชนิดเดียวกันเป็นแรงผลัก และแรงระหว่างประจุไฟฟ้าต่างชนิดกันเป็นแรงดึงดูด
4. ประจุไฟฟ้าที่ปรากฏบนวัตถุมี 2 ชนิด เรียกว่า ประจุบวก และประจุลบ

ข้อแนะนำเพิ่มเติมสำหรับครู

ครูอาจให้นักเรียนเปลี่ยนชนิดวัตถุที่นำมาถูกัน โดยถ้านำวัตถุนั้นไปถูกับวัตถุต่างชนิดกัน ประจุไฟฟ้าบนวัตถุนั้นอาจจะเป็นประจุต่างชนิดกับครั้งแรกก็ได้ เช่น ครั้งแรกถูพีวีซีกับผ้าสักหลาด ครั้งที่สองถูพีวีซีกับผ้าไหม ประจุที่เกิดขึ้นบนพีวีซีจากการถูทั้งสองครั้งอาจไม่ใช่ชนิดเดียวกันก็ได้ การเกิดชนิดของประจุจากการถูวัสดุคู่หนึ่งเป็นดังตาราง 13.1 ในหนังสือเรียน

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

3.1 เพื่อให้นักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับแรงระหว่างประจุไฟฟ้า ครูให้นักเรียนตอบคำถามจากคำถามในหนังสือเรียน และครูให้ความรู้ตามหนังสือเรียนเพื่อให้นักเรียนเข้าใจการเขียนทิศทางของแรงที่กระทำต่อประจุไฟฟ้า ดังรูป 13.5 ในหนังสือเรียน

3.2 ครูให้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับอะตอม ประจุไฟฟ้าของอะตอม การทำให้วัตถุมีประจุจากการถู และลำดับการเกิดชนิดประจุจากการถูวัตถุคู่หนึ่งๆ ดังตัวอย่างในตาราง 13.1

13.3 กฎการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า

จุดประสงค์ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. บอกได้ว่า การทำให้วัตถุที่เป็นกลางมีประจุไฟฟ้า เกิดจากอิเล็กตรอนถูกถ่ายเทจากวัตถุหนึ่งไปอีกวัตถุหนึ่ง
2. อธิบายความหมายของกฎการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้าได้

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูใช้คำถามว่า ก่อนนำแผ่นพีวีซีหรือแผ่นเปอร์สเปกซ์มาถูกับผ้าสักหลาด แผ่นพีวีซีหรือแผ่นเปอร์สเปกซ์ไม่เป็นกลางทางไฟฟ้า แต่ภายหลังจากการถูกับผ้าสักหลาดแล้วจะไม่

เป็นกลางทางไฟฟ้า เป็นเพราะเหตุใด การทำให้วัตถุมีประจุดังกล่าวมาแล้ว เป็นการสร้างประจุขึ้นมาใหม่หรือไม่ ให้นักเรียนวิเคราะห์

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

2.1 นักเรียนและครูอภิปรายร่วมกัน โดยใช้คำถามจากกรอบคำถามในหนังสือเรียน จนได้ข้อสรุปดังนี้

– อะตอมที่เป็นกลางทางไฟฟ้า ผลรวมของประจุไฟฟ้าในอะตอมมีค่าเป็นศูนย์ โดยมีจำนวนโปรตอนเท่ากับจำนวนอิเล็กตรอน

– ในการนำวัตถุมาถูกันจนทำให้วัตถุมีประจุไฟฟ้านั้น อธิบายได้ว่า การถูทำให้พลังงานของอิเล็กตรอนสูงขึ้น จนหลุดออกจากอะตอมของวัตถุหนึ่งไปสู่อะตอมของอีกวัตถุหนึ่ง อะตอมที่เสียอิเล็กตรอนไปจะกลายเป็นอะตอมที่มีประจุไฟฟ้าบวก เรียกว่า ไอออนบวก ส่วนอะตอมที่ได้รับอิเล็กตรอนจะกลายเป็นอะตอมที่มีประจุไฟฟ้าลบ เรียกว่า ไอออนลบ

– การทำให้วัตถุมีประจุไฟฟ้าไม่ใช่เป็นการสร้างประจุขึ้นมาใหม่ แต่เป็นการย้ายประจุ ผลรวมของจำนวนประจุทั้งหมดของระบบยังคงเท่าเดิม เรียกว่า การอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า

2.2 นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายความหมายของฉนวนไฟฟ้าและตัวนำไฟฟ้า

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

ครูให้ความรู้เกี่ยวกับการทำกิจกรรม 13.1 ที่นักเรียนได้ทำผ่านมา ในกรณีใช้แผ่นโลหะแทนแผ่นพีวีซีหรือแผ่นเปอร์สเปกซ์ตามรายละเอียดในหนังสือ (กรณีใช้แผ่นโลหะ ประจุจะถูกถ่ายโอนให้วัตถุอื่น เช่น ถ่ายโอนให้แก่มือ ทำให้แผ่นโลหะเป็นกลางตลอดเวลา)

13.4 การเหนี่ยวนำไฟฟ้า

จุดประสงค์ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. อธิบายความหมายของการเหนี่ยวนำไฟฟ้า
2. บอกวิธีการใช้อิเล็กโทรสโคปลูกพิทและอิเล็กโทรสโคปแผ่นโลหะ ตรวจสอบว่าวัตถุใดมีประจุไฟฟ้า
3. นำความรู้เรื่องการเหนี่ยวนำไฟฟ้าไปอธิบายผลที่เกิดขึ้นกับอิเล็กโทรสโคปลูกพิทและอิเล็กโทรสโคปแผ่นโลหะ ในการตรวจสอบวัตถุที่มีประจุไฟฟ้า
4. ทำกิจกรรมเพื่อแสดงวิธีการทำให้ตัวนำที่เป็นกลาง มีประจุไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำและอธิบายผลที่เกิดขึ้นได้

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

1.1 ครูใช้คำถามนำเข้าสู่บทเรียน เช่น เมื่อนำวัตถุที่มีประจุไฟฟ้ามาวางใกล้ตัวนำและฉนวน ประจุบนตัวนำและฉนวนจะเปลี่ยนแปลงอย่างไร ให้นักเรียนวิเคราะห์ โดยครูยังไม่เฉลยคำตอบ

1.2 ครูนำโฟมรูปทรงกลมเล็กๆ ที่ฉาบผิวด้วยตัวนำ เช่น อะลูมิเนียม มาแขวนด้วยเส้นด้ายที่เป็นฉนวนโดยแขวนห้อยในแนวดิ่ง จากนั้นนำแผ่นพีวีซีที่ไม่มีประจุมาใกล้ทรงกลมดังกล่าว พร้อมให้นักเรียนสังเกตผลที่เกิดขึ้น ต่อจากนั้นทำให้แผ่นพีวีซีมีประจุไฟฟ้า แล้วนำเข้าใกล้ทรงกลมข้างต้น สังเกตผลที่เกิดขึ้น

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

2.1 นักเรียนและครูอภิปรายร่วมกันจนได้ข้อสรุปว่า การนำวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าเข้าใกล้อีกวัตถุหนึ่งที่เป็นตัวนำ จะเกิดการเหนี่ยวนำขึ้น ต่อจากนั้นครูจึงให้ความรู้เกี่ยวกับการเหนี่ยวนำไฟฟ้าว่า การเหนี่ยวนำไฟฟ้า คือ การนำวัตถุที่มีประจุเข้าใกล้ตัวนำใดๆ จะทำให้เกิดประจุชนิดตรงกันข้ามบนตัวนำตรงส่วนด้านที่ใกล้วัตถุ และการเกิดประจุชนิดเดียวกันบนตัวนำด้านที่ไกลวัตถุ

2.2 ครูให้ความรู้เกี่ยวกับอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจสอบประจุอีกชนิดหนึ่ง เรียกว่า อิเล็กโทรสโคปแผ่นโลหะ โดยใช้อุปกรณ์จริงที่มีอยู่แล้ว ประกอบคำอธิบาย

2.3 ครูทำการสาธิต วิธีตรวจสอบวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าโดยใช้อิเล็กโทรสโคปแผ่นโลหะ ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้สาธิต มีดังนี้

1. อิเล็กโทรสโคปแผ่นโลหะ
2. แผ่นพีวีซี หรือแผ่นเปอร์สเปกซ์
3. ผ้าสักหลาด หรือผ้าสำลี

วิธีสาธิต

นำแผ่นพีวีซีหรือแผ่นเปอร์สเปกซ์ไปเข้าใกล้จานโลหะของอิเล็กโทรสโคป สังเกตแผ่นโลหะบางของอิเล็กโทรสโคป พบว่าไม่กางออก ต่อไปนำผ้าสักหลาดมาถูกับปลายข้างหนึ่งของแผ่นพีวีซี แล้วนำปลายที่ถูกถูไปเข้าใกล้จานโลหะของอิเล็กโทรสโคป พบว่าแผ่นโลหะบางกางออก

ต่อจากนั้นครูชี้ให้นักเรียนเห็นว่า การที่แผ่นโลหะบางของอิเล็กโทรสโคปกางออกได้นั้นเนื่องจากแผ่นพีวีซีมีประจุไฟฟ้า ซึ่งอธิบายได้โดยใช้หลักการเหนี่ยวนำตามรายละเอียดในหนังสือเรียนพร้อมทั้งใช้รูป 13.8 ประกอบการอธิบาย

ครูนำเข้าสู่กิจกรรม 13.2 ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน เพื่อให้นักเรียนได้เข้าใจถึงวิธีการทำให้วัตถุมีประจุไฟฟ้าอีกวิธีหนึ่ง

กิจกรรม 13.2 การทำให้อิเล็กโทรสโคปมีประจุโดยการเหนี่ยวนำ

จุดประสงค์ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. ทำให้อิเล็กโทรสโคปแผ่นโลหะที่เป็นกลางมีประจุไฟฟ้าได้
2. อธิบายการกางออกของแผ่นโลหะบางของอิเล็กโทรสโคปที่มีประจุไฟฟ้า

เวลาที่ใช้

แนะนำก่อนการทำกิจกรรม 10 นาที

ทำกิจกรรม 20 นาที

อภิปรายหลังการทำกิจกรรม 30 นาที รวม 60 นาที

วัสดุอุปกรณ์

รายการ	จำนวนต่อกลุ่ม (5 คน)
1. แผ่นเปอร์สเปกซ์	1 แผ่น
2. ผ้าสักหลาด	1 ผืน
3. อิเล็กโทรสโคปแผ่นโลหะ	1 ชุด

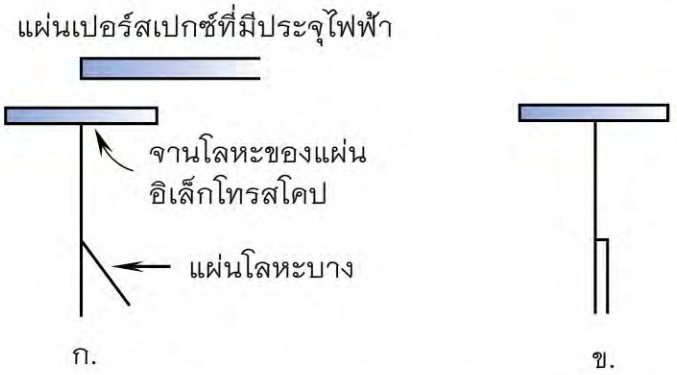
แนะนำก่อนการทำกิจกรรม

1. ให้ทำความสะอาดแผ่นเปอร์สเปกซ์ และจานโลหะของอิเล็กโทรสโคปแผ่นโลหะ ไม่ให้มีฝุ่นจับหรือมีคราบสกปรก

2. ทำความสะอาดผ้าสักหลาดโดยสะบัดให้ฝุ่นที่จับอยู่บนผ้าสักหลาดหลุดออก

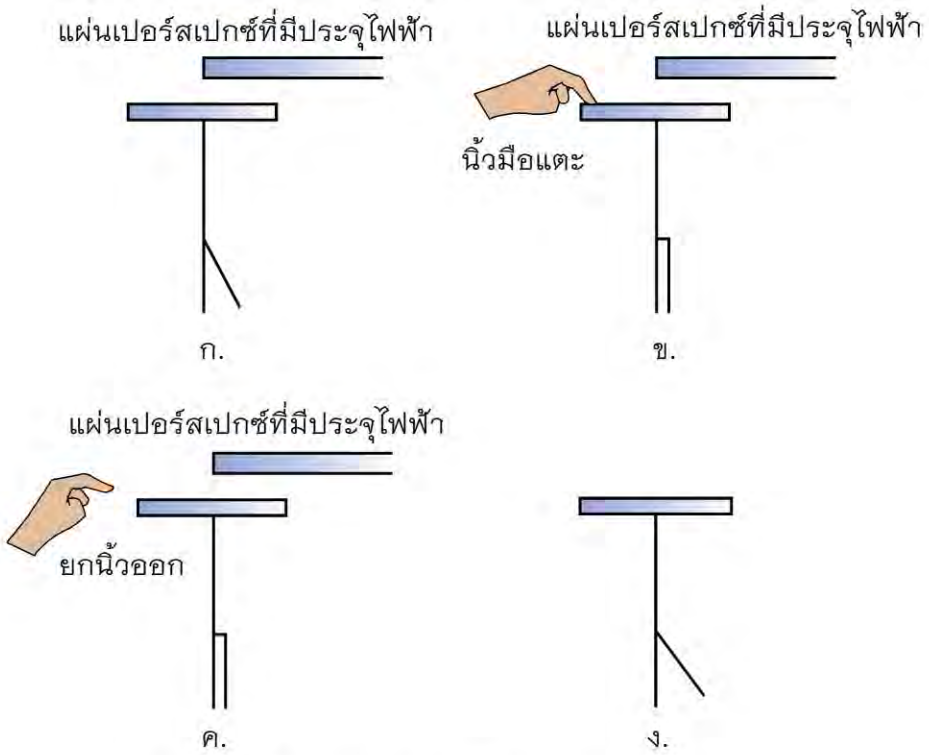
ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

1. เมื่อนำแผ่นเปอร์สเปกซ์ที่มีประจุไฟฟ้าเข้าใกล้จานโลหะ แผ่นโลหะบางจะกางออก และเมื่อดึงแผ่นเปอร์สเปกซ์ออก แผ่นโลหะบางจะหุบลง ดังรูป 13.1



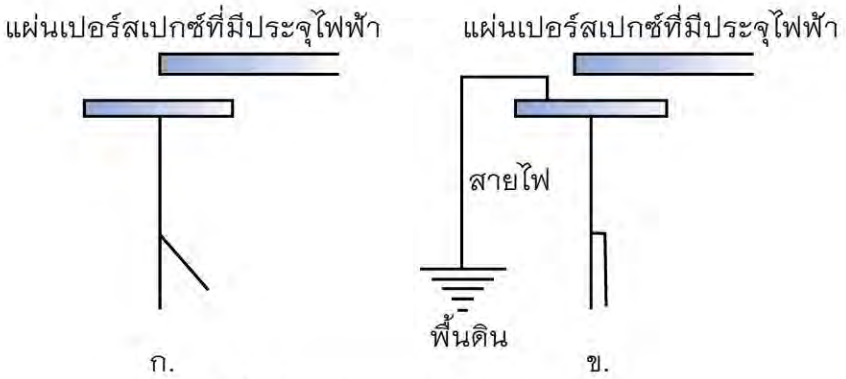
รูป 13.1 แสดงผลการทดลอง

2. เมื่อนำแผ่นเปอร์สเปกซ์ที่มีประจุไฟฟ้าเข้าใกล้จานโลหะ แผ่นโลหะบางจะกางออก ดังรูป 13.2 ก และเมื่อใช้นิ้วแตะที่จานโลหะของอิเล็กโทรสโคป แผ่นโลหะบางจะหุบเข้า ดังรูป 13.2 ข ยกนิ้วออกโดยที่แผ่นเปอร์สเปกซ์ยังคงอยู่ที่เดิม แผ่นโลหะบางของอิเล็กโทรสโคปยังคงหุบอยู่เช่นเดิม ดังรูป 13.2 ค หลังจากนั้นดึงแผ่นเปอร์สเปกซ์ออก แผ่นโลหะบางจะกางออกอีกครั้ง ดังรูป 13.2 ง

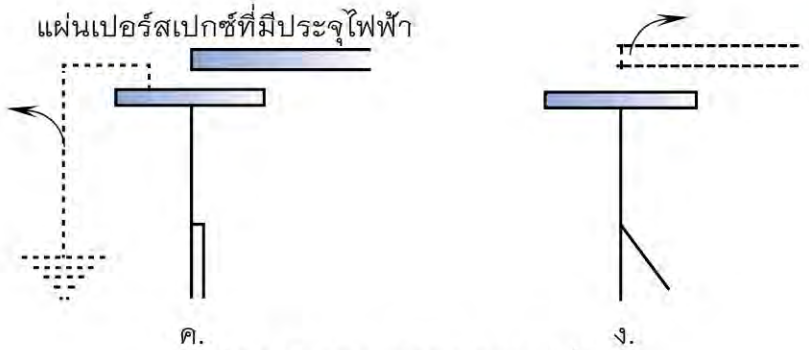


รูป 13.2 แสดงผลการทดลอง

3. เมื่อใช้สายไฟแทนการใช้นิ้วแตะ แล้วทำการทดลองซ้ำ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จะได้ผลเช่นเดียวกัน



รูป 13.3 แสดงผลการทดลอง



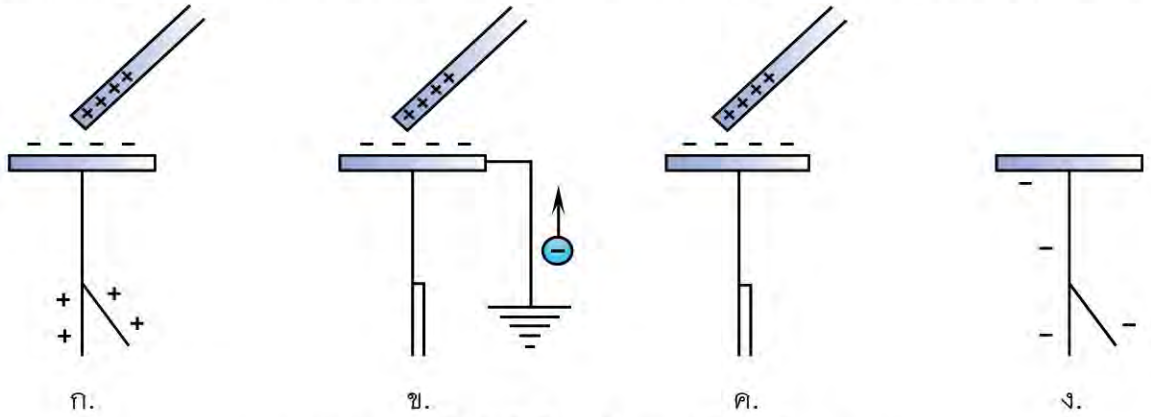
รูป 13.3 แสดงผลการทดลอง (ต่อ)

อภิปรายหลังการทดลอง

นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายผลการทดลองตามรายละเอียดในหนังสือเรียน และได้ข้อสรุปดังนี้

1. การทำให้อิเล็กโทรสโคปมีประจุไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำนั้น จะใช้การเหนี่ยวนำอย่างเดียวไม่ได้ ต้องมีการเหนี่ยวนำพร้อมทั้งใช้นิ้วแตะหรือต่อสายไฟกับพื้นดิน

2. การทำให้ประจุไฟฟ้ามีประจุดังกล่าวในข้อ 1 นั้น แสดงได้ดังรูป 13.4 ถ้านำวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าเข้าใกล้จานโลหะของอิเล็กโทรสโคป จะทำให้อิเล็กโทรสโคปมีประจุไฟฟ้าได้



รูป 13.4 การทำให้อิเล็กโทรสโคปแผ่นโลหะมีประจุลบ

รูป 13.4 ก ก่อนต่อสายดิน ประจุทั้งหมดที่พิจารณา คือ อิเล็กตรอนอิสระจากก้านโลหะและแผ่นโลหะบาง จะถูกดึงดูดให้ไปรวมกันอยู่ที่จานบริเวณด้านใกล้วัตถุที่มีประจุบวกโดยการเหนี่ยวนำ ดังนั้นบริเวณก้านโลหะและแผ่นโลหะบางจึงมีประจุบวก ส่งผลให้เกิดแรงผลักระหว่างแผ่นโลหะบางกับก้านโลหะ ทำให้แผ่นโลหะบางกางออก แต่เมื่อต่อสายดินตามรูป 13.4 ข ประจุลบจากพื้นดินจะเคลื่อนย้ายผ่านจานอิเล็กโทรสโคปไปยังแผ่นโลหะบางซึ่งมีสภาพเป็นบวกอยู่ ทำให้แผ่นโลหะบางหุบเข้า และเมื่อนำสายดินออก ดังรูป 13.4 ค

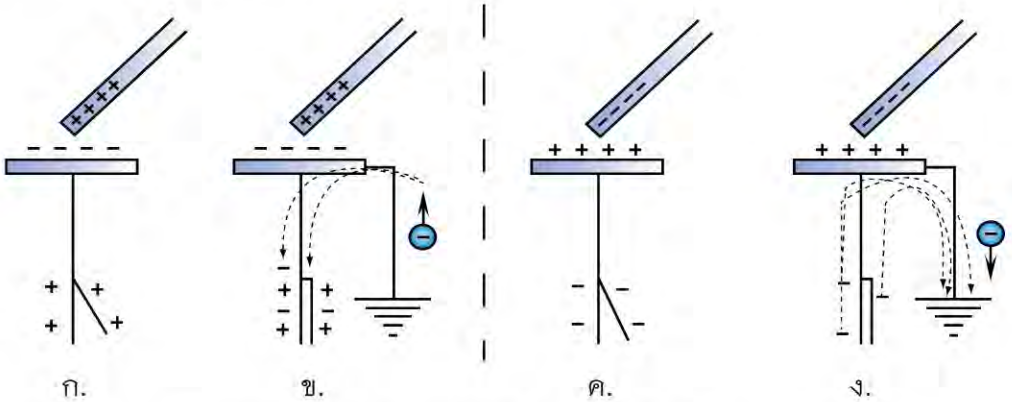
แล้วนำแผ่นเปอร์สเปกซ์ที่มีประจุบวกออกไป ประจุลบบนจานอิเล็กโทรสโคปจะเคลื่อนที่ไปยังแผ่นโลหะบาง ทำให้แผ่นโลหะบางกางออก ดังรูป 13.4 ง

ครูชี้ให้นักเรียนเห็นว่า การต่อสายดิน คือการเอานิ้วมือแตะจานโลหะของอิเล็กโทรสโคปจากการทดลองนั่นเอง เมื่อปลดสายดินออกหรือเอานิ้วมือออก แล้วเอาแผ่นเปอร์สเปกซ์ออก แผ่นโลหะของอิเล็กโทรสโคปจะมีประจุลบ จึงทำให้แผ่นโลหะของอิเล็กโทรสโคปกางอีกครั้ง ดังรูป 13.4 ง นั่นคือ อิเล็กโทรสโคปมีประจุไฟฟ้าลบ โดยการเหนี่ยวนำและต่อสายดิน

ข้อแนะนำเพิ่มเติมสำหรับครู

1. การต่อสายดิน ถ้าไม่ใช้นิ้วแตะจานโลหะ อาจใช้สายไฟที่ปลายหนึ่งต่อโยงไปยังตัวนำที่สัมผัสกับพื้นดินชื้นๆ แต่ถ้าในห้องปฏิบัติการหรือห้องเรียนที่ใช้ทดลอง อยู่สูงจากพื้นดินมากๆ อาจใช้สายไฟให้ปลายข้างหนึ่งต่อกับท่อประปาโลหะที่มีอยู่ในห้องทดลองนั้น ในกรณีที่ห้องทดลองไม่มีท่อประปาโลหะ ครูอาจให้นักเรียนยกอิเล็กโทรสโคปไปทำการทดลองในสนามที่มีพื้นดินชื้นๆ โดยใช้สายไฟที่มีหัวแจ๊คต่อลงดินได้

2. ครูควรชี้ให้นักเรียนเห็นว่าการต่อสายดินนั้นโดยทั่วไปแล้ว ควรต่อกับโลกเท่านั้น ไม่ควรต่อกับร่างกาย เพราะถ้าวัตถุนั้นมีประจุไฟฟ้ามาก จะเป็นอันตรายต่อร่างกายได้ ในการทำกิจกรรมดังกล่าวนั้น ประจุไฟฟ้าที่นำมาเหนี่ยวนำมีจำนวนน้อย เมื่อใช้นิ้วแตะจึงไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย



รูป 13.5 เมื่อต่อสายดินกับจานโลหะของอิเล็กโทรสโคป

3. กรณีที่นำวัตถุที่มีประจุบวกเข้าใกล้จานโลหะของอิเล็กโทรสโคป ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำ ดังรูป 13.5 ก ในการต่อสายดินนั้น ประจุลบจากโลกจะเคลื่อนที่ผ่านสายดินเข้าสู่อิเล็กโทรสโคป ทำให้แผ่นโลหะของอิเล็กโทรสโคปหุบลง ดังรูป 13.5 ข

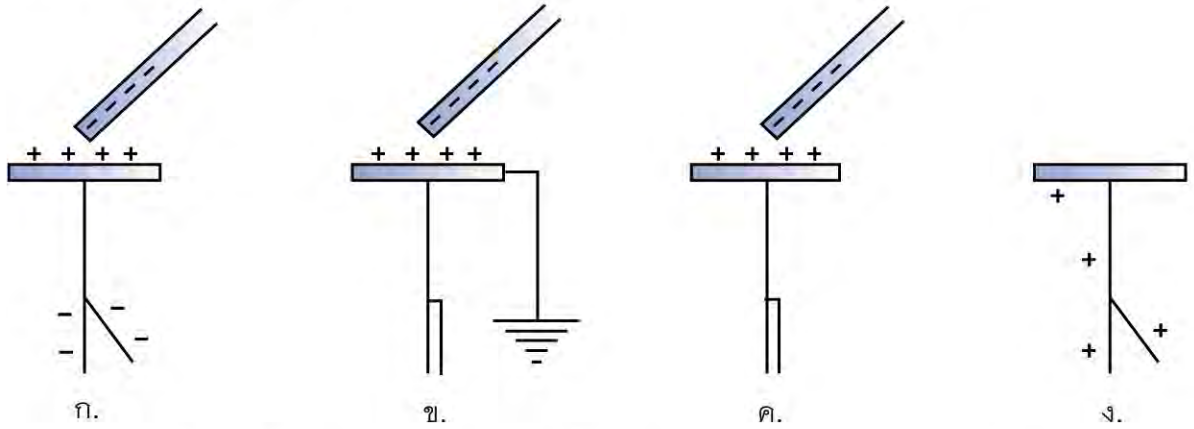
4. ถ้าทำการทดลองซ้ำในข้อ 3 แต่เปลี่ยนเป็นนำวัตถุที่มีประจุลบเข้าใกล้จานโลหะของอิเล็กโทรสโคปจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำ ดังรูป 13.5 ค เมื่อต่อสายดินประจุลบจากอิเล็กโทรสโคปจะเคลื่อนผ่านสายดินเข้าสู่โลก ทำให้แผ่นโลหะบางของอิเล็กโทรสโคปหุบลง ดังรูป 13.5 ง

5. ครูชี้ให้นักเรียนเห็นว่า โลกที่เราอาศัยอยู่นั้นมีขนาดใหญ่มาก จึงมีประจุบวกและประจุลบจำนวนมากมหาศาลด้วยปริมาณที่เท่ากัน การเพิ่มหรือลดประจุไฟฟ้าของโลหะจะไม่ทำให้ประจุไฟฟ้าของโลกเปลี่ยนแปลง โลกยังเป็นกลางทางไฟฟ้าเช่นเดิม

6. ครูชี้ให้นักเรียนเห็นว่า อิเล็กโทรสโคปนำไปใช้ตรวจสอบการมีประจุของวัตถุได้ โดยสังเกตจากการดึงดูดลูกพิทในกรณีที่ใช้อิเล็กโทรสโคปลูกพิท หรือการกางออกของแผ่นโลหะบางในกรณีที่ใช้อิเล็กโทรสโคปแผ่นโลหะบาง

ต่อจากนั้นครูให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียน เช่น ถ้าต้องการให้อิเล็กโทรสโคปมีประจุบวกโดยวิธีการเหนี่ยวนำ จะต้องทำอย่างไร ซึ่งมีแนวคำตอบดังนี้

ให้นำเอาวัตถุที่มีประจุลบเข้ามาใกล้จานโลหะของอิเล็กโทรสโคป แล้วใช้นิ้วแตะ (ต่อสายดิน) ที่จานโลหะ เมื่อเอานิ้ว (สายดิน) ออก แล้วเอาวัตถุที่มีประจุลบออก ผลจะทำให้อิเล็กโทรสโคปมีประจุบวก สังเกตได้ คือ แผ่นโลหะของอิเล็กโทรสโคปกางออก ดังรูป 13.6 ก ข ค และ ง



รูป 13.6 ก ข ค และ ง การทำให้อิเล็กโทรสโคปแผ่นโลหะมีประจุบวก

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

ให้นักเรียนทบทวนเรื่องที่เรียนมาแล้วว่า การทำให้วัตถุมีประจุไฟฟ้านั้นทำได้ 2 วิธี คือ การถูและการเหนี่ยวนำ ครูเน้นว่าทั้ง 2 วิธี ไม่ได้สร้างประจุขึ้นมาใหม่ เป็นการย้ายประจุเท่านั้น โดยจำนวนประจุทั้งหมดของระบบยังคงเท่าเดิม ซึ่งเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า

13.5 แรงระหว่างประจุและกฎของคูลอมบ์

จุดประสงค์ เพื่อให้นักเรียนสามารถบอกความสัมพันธ์ระหว่างแรงระหว่างประจุไฟฟ้า ปริมาณประจุไฟฟ้าและระยะระหว่างประจุซึ่งเป็นไปตามกฎของคูลอมบ์ และนำความสัมพันธ์นี้คำนวณหาปริมาณต่างๆ

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูทบทวนเกี่ยวกับชนิดของแรงระหว่างประจุไฟฟ้า แล้วตั้งคำถามให้นักเรียนตอบเกี่ยวกับขนาดของแรงระหว่างประจุ มีค่าขึ้นกับปริมาณอะไร

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

2.1 ครูให้ความรู้ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน เกี่ยวกับการทดลองของคูลอมบ์ จนได้กฎคูลอมบ์ในรูปสมการ

$$F = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$$

2.2 ครูให้ความรู้เกี่ยวกับหน่วยของแต่ละปริมาณในสมการ พร้อมทั้งบอกให้ทราบถึงความหมายของค่า k ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน ต่อไปครูอธิบายความหมายเกี่ยวกับทิศทางและขนาดของแรงระหว่างประจุ ทั้งในกรณีประจุเหมือนกันและประจุต่างชนิดกัน พร้อมทั้งใช้คำถามในหนังสือเรียนนำอภิปรายไปสู่คำตอบว่า แรงระหว่างประจุเป็นแรงคู่กิริยา–ปฏิกิริยา ตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน

2.3 ครูอธิบายตัวอย่าง 13.1 ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน ครูชี้ให้เห็นว่าแรงระหว่างประจุ 1.0 คูลอมบ์ ที่อยู่ห่างกัน 1.0 เมตร มีขนาด 9.0×10^9 นิวตัน ซึ่งแรงดังกล่าวมีขนาดมหาศาล โดยทั่วไปจะไม่พบวัตถุที่มีประจุขนาด 1.0 คูลอมบ์ รวมถึงทำให้เกิดขึ้นได้ยากด้วย โดยทั่วไปจะพบวัตถุที่มีประจุขนาด 10^{-6} คูลอมบ์ หรือ 10^{-3} คูลอมบ์ เท่านั้น

2.4 ครูอธิบายตัวอย่างที่ 13.2 ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน ครูชี้ให้นักเรียนเห็นว่าแรงดึงดูดระหว่างประจุของอิเล็กตรอนและโปรตอนในอะตอม มีค่ามากกว่าแรงดึงดูดระหว่างมวลของอนุภาคทั้งสองมาก ดังนั้น การศึกษาโครงสร้างอะตอม จึงพิจารณาเฉพาะแรงดึงดูดระหว่างประจุเท่านั้น ซึ่งนักเรียนจะได้ศึกษาในโอกาสต่อไป

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

ครูชี้ให้นักเรียนเห็นว่าตัวอย่าง 13.1 และ 13.2 นั้น ใช้กฎของคูลอมบ์หาแรงระหว่าง 2 จุดประจุ แต่ถ้าในบริเวณที่พิจารณามีมากกว่า 2 จุดประจุ ก็ยังคงใช้กฎของคูลอมบ์หาแรงระหว่างจุดประจุได้ ตามรายละเอียดของตัวอย่าง 13.3 ในหนังสือเรียน

13.6 สนามไฟฟ้า

จุดประสงค์ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. บอกความหมายของสนามไฟฟ้าได้
2. บอกความสัมพันธ์ระหว่างประจุไฟฟ้า สนามไฟฟ้า และแรงกระทำต่อประจุไฟฟ้า และใช้ความสัมพันธ์นี้คำนวณหาปริมาณที่เกี่ยวข้องได้
3. บอกความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้า ประจุไฟฟ้าของจุดประจุที่ทำให้เกิดสนามไฟฟ้า และระยะห่างระหว่างจุดประจุนั้นกับตำแหน่งใดๆ ที่ต้องการหาสนามไฟฟ้า และใช้ความสัมพันธ์นี้หาปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องได้
4. หาขนาดและทิศทางของสนามไฟฟ้าที่เกิดจากหนึ่งจุดประจุ และหลายจุดประจุที่มีประจุชนิดเดียวกัน หรือต่างชนิดกันได้
5. หาขนาดและทิศทางของแรงที่กระทำต่อประจุไฟฟ้าที่อยู่ในสนามไฟฟ้า

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูนำอภิปรายเกี่ยวกับความหมายของสนามไฟฟ้า ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จนได้ความหมายของสนามไฟฟ้า และประจุทดสอบ

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

2.1 ครูใช้คำถามในหนังสือเรียนนำอภิปราย จนได้สมการ $E = \frac{F}{+q}$ จากนั้นครูชี้ให้เห็นว่า สนามไฟฟ้าเป็นปริมาณเวกเตอร์ มีทิศทางเดียวกับทิศทางของแรงที่กระทำต่อประจุ (ทดสอบ) ที่เป็นประจุบวก และมีหน่วยเป็น นิวตันต่อคูลอมบ์

2.2 ครูให้ความรู้ถึงวิธีการหาขนาดของสนามไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุ $+Q$ ณ ตำแหน่งที่อยู่ห่างออกไปเป็นระยะ r ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน ซึ่งได้ความสัมพันธ์ตามสมการ 13.3 คือ $E = \frac{kQ}{r^2}$

2.3 ครูชี้ให้เห็นว่า ถ้าประจุ $+Q$ มีค่าคงตัว ขนาดของสนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งที่อยู่ห่างจากประจุ $+Q$ เป็นระยะ r จะแปรผกผันกับ r^2 นั่นคือ ขนาดของสนามไฟฟ้าจะมีค่าน้อยลงถ้าระยะห่าง r มากขึ้น ทิศทางของสนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งต่างๆ รอบประจุ $+Q$ จะมีทิศทางพุ่งออกทุกทิศทางจากประจุ $+Q$ ดังรูป 13.16 ในหนังสือเรียน ต่อจากนั้น ครูให้นักเรียนตอบคำถามในหนังสือเรียน เพื่อให้ทราบถึงทิศทางของสนามไฟฟ้าเนื่องจากประจุ $-Q$ ซึ่งทำให้ทราบว่าทิศทางของสนามไฟฟ้าเนื่องจากประจุ $-Q$ มีทิศทางพุ่งเข้าหาประจุ $-Q$ จากทุกทิศทาง

2.4 ครูให้ความรู้ต่อไปว่า สมการ $E = \frac{kQ}{r^2}$ นั้น เป็นสมการที่ใช้หาขนาดของสนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งใดๆ ที่ระยะห่าง r เนื่องจากหนึ่งจุดประจุ ครูเน้นว่าทิศทางของสนามไฟฟ้าขึ้นกับชนิดของประจุที่ทำให้เกิดสนามไฟฟ้า ดังรูป 13.16 ในหนังสือเรียนและคำตอบของคำถามในหนังสือเรียน ครูชี้ให้นักเรียนเห็นว่า ถ้ามีสนามไฟฟ้าเนื่องจากสองจุดประจุขึ้นไป สามารถหาสนามไฟฟ้าลัพธ์ได้จากการรวมเวกเตอร์ พร้อมทั้งอธิบายตัวอย่าง 13.4 ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

2.5 ครูนำอภิปรายถึงการบอกทิศทางของสนามไฟฟ้าและทิศทางของแรงที่กระทำต่อประจุ $+q$ หรือประจุ $-q$ ที่อยู่ในสนามไฟฟ้านั้น ตามรายละเอียดในหนังสือเรียนพร้อมทั้งเขียนรูป 13.18 และ 13.19 ในหนังสือเรียนประกอบคำอธิบาย สรุปได้ว่า เมื่อมีประจุ $+q$ วางอยู่ในสนามไฟฟ้าที่เกิดจากจุดประจุบวก ทิศทางของแรงที่กระทำต่อประจุ $+q$ จะมีทิศทางเดียวกับสนามไฟฟ้า แต่ถ้าให้ประจุ $-q$ อยู่ในสนามไฟฟ้าดังกล่าว ทิศทางของแรงที่กระทำต่อประจุ $-q$ จะมีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางของสนามไฟฟ้า

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

ครูให้นักเรียนตอบคำถามในกรอบคำถามท้ายหัวข้อนี้เพื่อให้เข้าใจถึงการหาขนาดและทิศทางของสนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งหนึ่งๆ

13.7 เส้นสนามไฟฟ้า

จุดประสงค์ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. บอกความหมายของเส้นสนามไฟฟ้าได้
2. บอกวิธีหาเส้นสนามไฟฟ้า โดยการโรยเกล็ดด่างทับทิมลงบนกระดาษที่ชื้นๆ และมีขั้วไฟฟ้าวางทับเพื่อให้เกิดสนามไฟฟ้า
3. เขียนรูปแสดงเส้นสนามไฟฟ้าจากหนึ่งจุดประจุ สองจุดประจุที่มีประจุต่างชนิดกัน แผ่นตัวนำขนานที่มีประจุต่างชนิดกัน และตัวนำทรงกลมซ้อนกันที่มีประจุต่างชนิดกัน
4. บอกได้ว่า ขนาดของสนามไฟฟ้า ณ บริเวณหนึ่งมีค่ามาก ถ้าเส้นสนามไฟฟ้า ณ บริเวณนั้นมีความหนาแน่นมาก
5. บอกได้ว่าสนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งต่างๆ ในที่ว่างภายในตัวนำทรงกลมใดๆ มีค่าเป็นศูนย์ ส่วนตำแหน่งอื่นๆ ที่นับจากผิวทรงกลมออกไป สนามไฟฟ้าจะมีลักษณะเช่นเดียวกับสนามไฟฟ้าของจุดประจุ ทั้งนี้ เสมือนประจุทั้งหมดของตัวนำทรงกลมไปรวมกันอยู่ที่ศูนย์กลางทรงกลม
6. บอกได้ว่าสนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในตัวนำรูปทรงใดๆ มีค่าเป็นศูนย์ และสนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งที่ติดกับผิวตัวนำจะมีทิศทางตั้งฉากกับผิวเสมอ

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูทบทวนการเขียนภาพแสดงทิศทางของสนามไฟฟ้าบริเวณรอบๆ จุดประจุ ซึ่งนำไปสู่การเขียนภาพ ดังรูป 13.20 ในหนังสือเรียน

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

ครูควรจัดการเรียนรู้โดยการสาธิตตามแนวปฏิบัติ ดังนี้

การเตรียมล่วงหน้า และความรู้พื้นฐาน

1. ครูควรฝึกการโรยด่างทับทิมให้มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ เมื่อทดลองแล้วจะได้เห็นเส้นสนามไฟฟ้าได้ชัด

2. เมื่อโรยเกล็ดด่างทับทิมลงบนกระดาษกรอง ในตอนแรกจะมองไม่ชัด ถ้าทิ้งไว้ประมาณ 1 - 2 นาที จะเห็นแนวเส้นชัด แต่ถ้าทิ้งไว้อีกระยะหนึ่ง เกล็ดด่างทับทิมจะซึมเลอะมองเห็นเส้นไม่ชัด

3. ขั้วไฟฟ้าควรเรียบเสมอกัน ก่อนทำการทดลองต้องเช็ดหรือขัดขั้วไฟฟ้าให้สะอาด ถ้าสกปรกจะไม่เกิดเส้นสนามไฟฟ้า

4. ในขณะที่กำลังสาธิต ถ้ามือเปียก อย่าจับเครื่องจ่ายไฟตรงโวลต์สูง จะเป็นอันตรายในการสาธิตนั้น **ครูควรเตรียมอุปกรณ์ดังนี้**

- เกล็ดด่างทับทิมที่บดให้ละเอียดพอควร
- กระดาษกรอง หรือกระดาษโรเนียวขนาด 15 × 15 เซนติเมตร^2 ชุบน้ำแล้วผึ่งให้แห้งพอหมาดๆ
- เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงโวลต์สูง
- แผ่นกระจกสำหรับรองแผ่นกระดาษ
- ขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ที่ติดกับแผ่นโลหะสี่เหลี่ยม ดังรูปในหนังสือเรียน
- ตัวนำทรงกลม ครูอาจใช้ท่อประปาโลหะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 - 4 เซนติเมตร มาตัดให้เป็นวงกลม
- ตัวนำขนาดเล็ก อาจใช้วงแหวนอะลูมิเนียมของชุดทดลองแม่เหล็กไฟฟ้า

วิธีการสาธิต

ก่อนการสาธิตควรเตือนนักเรียนว่า **อย่าแตะขั้วไฟฟ้า ขณะเครื่องจ่ายไฟตรงโวลต์สูงทำงาน** เพราะจะเป็นอันตรายร้ายแรงได้

ในการสาธิตนั้น ตอนแรกเป็นการหาสนามไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุ โดยใช้ขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วจี้ลงบนกระดาษกรองหรือกระดาษอัดสำเนาที่เปียกน้ำหมาดๆ ที่วางไว้บนแผ่นกระจกราบ โดยให้ขั้วทั้งสองห่างกันประมาณ 3 - 5 เซนติเมตร เสียบปลั๊กให้เครื่องจ่ายไฟตรงโวลต์สูงทำงาน แล้วโรยเกล็ดด่างทับทิมที่เตรียมไว้ให้กระจายอย่างสม่ำเสมอรอบขั้วไฟฟ้า ครูแนะนำให้นักเรียนสังเกตการแผ่กระจายของเกล็ดสีม่วงขณะที่โรยลงไปในตอนแรก และเมื่อทิ้งไว้ประมาณ 1 - 2 นาที ขณะที่เสียบปลั๊กอยู่ ให้เปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้นบนกระดาษกรองหรือกระดาษโรเนียวกับภาพในหนังสือเรียน ซึ่งจะตรงกันคือจะเห็นเกล็ดด่างทับทิมสีม่วงซึมไปทางขั้วบวก

ครูควรย้ำให้นักเรียนเข้าใจว่า ทุกๆ จุดในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้านั้น จะมีแรงกระทำต่อประจุไฟฟ้าและอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า เพียงแต่การแผ่กระจายของเกล็ดสีม่วงจะเรียงตัวตามแนวของแรงลัพธ์ที่กระทำต่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้านั้น ซึ่งเรามองเห็นเป็นเส้นตรงตามผลของการสาธิต หรือตามรูปภาพในหนังสือเรียน

ต่อไปเป็นการสาธิตการแสดงเส้นสนามไฟฟ้า ที่เกิดจากประจุต่างชนิดกันของแผ่นตัวนำที่วางขนานกัน ก่อนทำการสาธิต ควรถอดลวดตัวนำที่ติดกับแผ่นตัวนำระนาบออกก่อน วางแผ่นกระดาษกรองหรือกระดาษโรเนียวที่เปียกน้ำหมาดๆ ไว้บนแผ่นกระจกราบ จัดกระดาษให้เรียบ แล้ววางแผ่นตัวนำทั้งสองให้ห่างกันประมาณ 5 เซนติเมตร ให้ตอนล่างของแผ่นตัวนำ ทั้งสองทับบนกระดาษกรองหรือกระดาษโรเนียวให้แนบสนิท ถ้าไม่แนบสนิทตลอดแนวแสดงว่า ตอนล่างของแผ่นตัวนำไม่เรียบ ควรใช้กระดาษทรายถูให้ตอนล่างของแผ่นตัวนำเรียบ แล้วต่อแผ่นตัวนำทั้งสองเข้ากับเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงโวลต์สูง จากนั้นเปิดเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงโวลต์สูงให้ทำงาน ต่อไปโรยเกล็ดด่างทับทิมให้สม่ำเสมอระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสอง และให้นักเรียนสังเกตผลที่เกิดขึ้นบนแผ่นกระดาษกรองทันทีที่โรยเกล็ดด่างทับทิมและเมื่อเวลาผ่านไป 1 - 2 นาที โดยเปรียบเทียบกับรูป 13.24 ในหนังสือเรียน

สำหรับการสาธิตโดยใช้วงกลมโลหะขนาดต่างกัน 2 อันนั้น ให้วางวงกลมทั้งสองลงบนกระดาษกรองหรือกระดาษโรเนียวที่ชื้นๆ โดยให้จุดศูนย์กลางของวงกลมทั้งสองอยู่ที่เดียวกัน ต้องให้ตอนล่างของวงกลมโลหะแตะกระดาษกรองหรือกระดาษโรเนียวให้แนบสนิท ใช้สายไฟที่ปลายข้างหนึ่งเป็นปากคีบ คีบวงแหวนโลหะทั้งสองไว้ แล้วนำไปต่อกับเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงโวลต์สูง เมื่อเสียบปลั๊กให้ทำงาน โรยเกล็ดด่างทับทิมให้กระจายสม่ำเสมอระหว่างภายในวงแหวนโลหะทั้งสองและในที่ว่างภายในวงแหวนเล็ก ให้นักเรียนสังเกตผลที่เกิดขึ้นบนแผ่นกระดาษกรองเมื่อเวลาผ่านไป 1 - 2 นาที โดยเปรียบเทียบกับรูป 13.25 ในหนังสือเรียน

เมื่อทำการสาธิตแล้ว ครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกันตามแนวคำถามในหนังสือเรียน สรุปได้ดังนี้

1. การแผ่กระจายของสีม่วงเป็นแนวจากขั้วลบไปขั้วบวก เนื่องจากเกล็ดด่างทับทิม ($KMnO_4$) ละลายน้ำแล้วแตกตัวเป็นโพแทสเซียมไอออน (K^+) ซึ่งเป็นไอออนบวกไม่มีสี กับเปอร์แมงกาเนตไอออน (MnO_4^-) ซึ่งเป็นไอออนลบสีม่วง ครูควรเน้นให้นักเรียนเข้าใจว่า เส้นสีม่วงที่เห็นเกิดจากการเรียงตัวของไอออนลบต่อเนื่องกันไปตามทิศทางของแรงลัพธ์ ทำให้มองเห็นแนวการแผ่กระจายของไอออนลบเป็นเส้นยาวขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งแนวเหล่านั้นคือ เส้นสนามไฟฟ้า

2. ไอออนบวกคือโพแทสเซียมไอออนซึ่งไม่มีสี จึงไม่เห็นแนวการเรียงตัวของโพแทสเซียมไอออน ทิศทางของแรงลัพธ์ที่กระทำต่อไอออนลบตรงข้ามกับทิศทางของแรงลัพธ์ที่กระทำต่อไอออนบวก ดังนั้น เมื่อพิจารณาที่ไอออนบวก แนวการวางตัวจะมีลักษณะเดียวกัน

3. เมื่อลากเส้นสัมผัสกับเส้นสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งใดๆ ทิศทางของแรงที่กระทำต่อประจุบวก จะอยู่บนเส้นสัมผัสและมีทิศทางพุ่งออกจากประจุบวกเข้าหาประจุลบ ดังรูป 13.23 ในหนังสือเรียน

4. เส้นสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นตัวนำขนานเป็นเส้นขนานกันและมีความหนาแน่นสม่ำเสมอดังรูป 13.24 ในหนังสือเรียน

5. ตัวนำวงกลม 2 วง ขนาดต่างกันซ้อนกัน ภายในวงกลมไม่มีเส้นสนามไฟฟ้า แสดงว่าสนามไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์ ระหว่างวงกลมทั้งสองเส้นสนามไฟฟ้าจะอยู่ในแนวของรัศมี และมีลักษณะเช่นเดียวกับเส้นสนามไฟฟ้าของจุดประจุ ดังรูป 13.25 ในหนังสือเรียน

ต่อจากนั้นครูชี้ให้นักเรียนเห็นว่า เส้นสนามไฟฟ้าที่ทำการสาธิตนั้นเป็น 2 มิติ แต่ในการศึกษาเส้นสนามไฟฟ้าที่สมบูรณ์ ต้องพิจารณาใน 3 มิติ ดังรูป 13.26 ในหนังสือเรียน

ต่อไปครูให้นักเรียนพิจารณาเส้นสนามไฟฟ้าของจุดประจุ และอภิปรายร่วมกันจนได้ข้อสรุปว่า บริเวณใดเส้นสนามไฟฟ้ามีความหนาแน่นมาก บริเวณนั้นจะมีค่าของสนามไฟฟ้ามาก ดังนั้น เราจะพิจารณาขนาดของสนามไฟฟ้าจากความหนาแน่นของเส้นสนามไฟฟ้าได้

ครูให้ความรู้ถึงผลของการสาธิตเกี่ยวกับเส้นสนามไฟฟ้าของตัวนำขนานว่า ในบริเวณระหว่างแผ่นตัวนำขนานทั้งสองนั้น จำนวนเส้นสนามไฟฟ้ามีความหนาแน่นสม่ำเสมอ ดังปรากฏในรูป 13.24 ในหนังสือเรียน แสดงว่าสนามไฟฟ้าในบริเวณนี้ เป็น **สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ** ครูควรอธิบายความหมายของสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ ดังนี้

สนามไฟฟ้าที่กล่าวโดยทั่วไปในบทนี้ เป็นสนามไฟฟ้าที่ไม่ขึ้นกับเวลา แต่ขึ้นกับตำแหน่งเท่านั้น เช่น เมื่อพิจารณาที่ตำแหน่ง A และ B ซึ่งอยู่ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ 2 สนาม ถ้าสนามไฟฟ้าที่ A มีขนาดของสนามไฟฟ้าเป็น 8 นิวตันต่อคูลอมบ์ และที่ B เป็น

3 นิวตันต่อคูลอมบ์ และมีทิศทางดังรูป 13.7 ก และ ข เมื่อเวลาผ่านไปขนาดและทิศทางของสนามไฟฟ้า ณ จุด A และ B ยังคงเดิมเสมอไม่เปลี่ยนแปลง

รูป 13.7 สนามไฟฟ้าที่ตำแหน่ง A และ B

สรุปได้ว่า ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอที่ไม่ขึ้นกับเวลา ณ ตำแหน่งใดๆ ในสนามนั้น ขนาดและทิศทางของสนามไฟฟ้าจะคงเดิมเสมอ แม้เวลาจะเปลี่ยนไป

สนามไฟฟ้าที่กล่าวมาแล้ว เป็นสนามไฟฟ้าที่พิจารณาในระนาบใดระนาบหนึ่งเท่านั้น ครูชี้ให้เห็นว่าถ้ามีจุดประจุในสนามนี้ แรงที่กระทำต่อจุดประจุย่อมมีค่าคงตัวด้วย

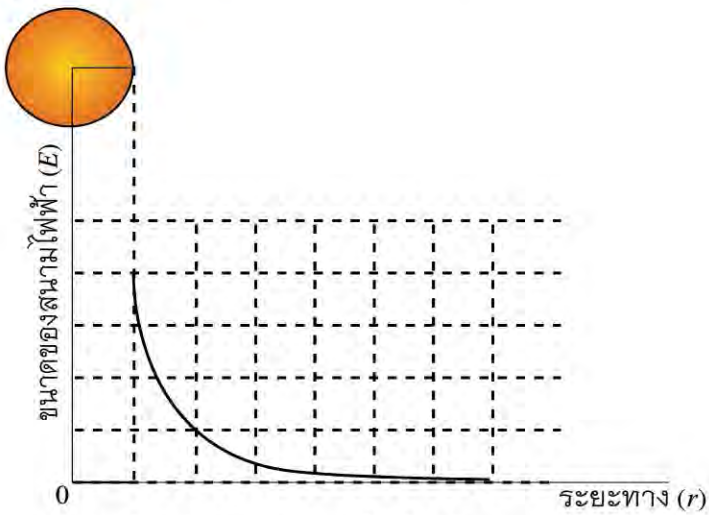
เพื่อให้นักเรียนเข้าใจสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ ครูอธิบายตัวอย่าง 13.5 ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ต่อไปครูให้ความรู้เกี่ยวกับสนามไฟฟ้าเนื่องจากประจุบนตัวนำทรงกลม ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1. สนามไฟฟ้าภายในตัวนำทรงกลมเป็นศูนย์ ส่วนภายนอกผิวตัวนำทรงกลม เส้นสนามไฟฟ้ามีลักษณะเหมือนเส้นสนามไฟฟ้าของจุดประจุ

2. สนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งถัดจากผิวตัวนำทรงกลมออกไป เสมือนเป็นสนามไฟฟ้าเนื่องจากประจุทั้งหมดของทรงกลมไปรวมกันอยู่ที่ศูนย์กลางของทรงกลม

3. ขนาดของสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่างๆ เนื่องจากประจุบนตัวนำทรงกลม แสดงได้ตามกราฟดังรูป 13.8



รูป 13.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดสนามไฟฟ้ากับระยะทางจากจุดศูนย์กลางของทรงกลม

ครูชี้แจงเพิ่มเติมว่า ตำแหน่งของขนาดสนามไฟฟ้าที่มีค่าต่ำสุดและสูงสุดใกล้ผิวตัวนำนั้นไม่ใช่ตำแหน่งเดียวกัน แต่ชิดกันมาก

ข้อสังเกต จากกราฟจะเห็นว่า

1. สนามไฟฟ้าภายในทรงกลมเป็นศูนย์
2. สนามไฟฟ้าที่ผิวทรงกลมมีค่ามากที่สุด
3. สนามไฟฟ้าเนื่องจากตัวนำทรงกลมมีค่าลดลง เมื่อตำแหน่งใดๆ อยู่ห่างจากผิวทรงกลมมากขึ้น (ระยะ r มากขึ้น)

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

ครูให้ความรู้ต่อไปอีกว่าถ้าทำการทดลองกับตัวนำรูปทรงอื่นๆ จะสรุปได้ว่า

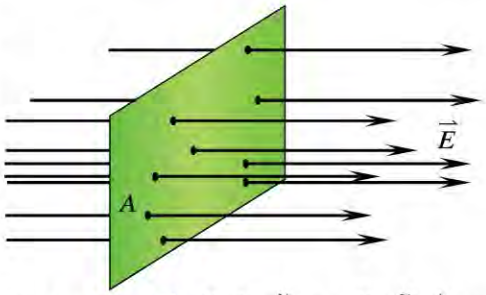
1. สนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งใดๆ ในที่ว่างภายในตัวนำนั้นมีค่าเป็นศูนย์
2. เมื่อให้ประจุแก่ตัวนำที่เป็นวัตถุตัน ประจุจะกระจายไปหยุดนิ่งที่ผิว โดยประจุจะอยู่หนาแน่นบริเวณผิวที่โค้งมากหรือปลายแหลม และสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในตัวนำเป็นศูนย์
3. สนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งที่อยู่ด้านนอกแต่ติดกับผิวของตัวนำ จะมีทิศทางตั้งฉากกับผิวเสมอ

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

ในการใช้กฎของเกาสส์พิสูจน์ว่า “เมื่อมีประจุอยู่นิ่งบนตัวนำ ประจุจะอยู่เฉพาะที่ผิวด้านนอกของตัวนำ” เราอาจพิจารณาได้ ดังต่อไปนี้

จากข้อสรุปที่ว่า “บริเวณที่มีเส้นสนามไฟฟ้าหนาแน่นมาก ขนาดของสนามไฟฟ้าที่บริเวณนั้นจะมีค่ามาก และบริเวณที่มีเส้นสนามไฟฟ้าหนาแน่นน้อย ขนาดของสนามไฟฟ้าก็จะน้อย” เราจึงอาจกล่าวได้ว่า ความหนาแน่นของเส้นสนามไฟฟ้าในบริเวณต่างๆ จะบอกให้ทราบถึงขนาดของสนามไฟฟ้าที่บริเวณนั้น

จากที่ทราบทำให้กำหนดได้ว่า ในบริเวณหนึ่งจำนวนเส้นสนามไฟฟ้าที่ผ่านหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่ตั้งฉากกับสนามไฟฟ้ามีค่าเท่ากับขนาดของสนามไฟฟ้าในบริเวณนั้น กล่าวคือ ถ้าให้ N เป็นจำนวนเส้นสนามไฟฟ้าของสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอที่ผ่านและตั้งฉากกับพื้นที่ A ดังรูป 13.9 จะเขียนได้ว่า

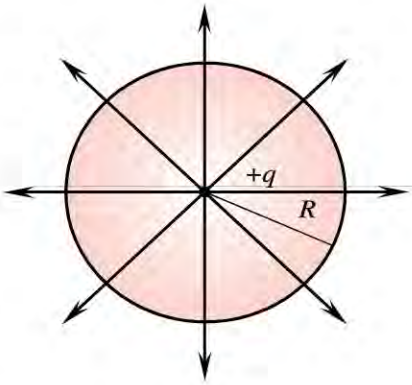


รูป 13.9 เส้นแรงไฟฟ้าตัดตั้งฉากกับพื้นที่ราบ

$$\frac{N}{A} = E$$

หรือ $$N = EA$$

ในกรณีจุดประจุ $+q$ เราทราบแล้วว่า ณ ตำแหน่งต่างๆ รอบประจุนี้ สนามไฟฟ้ามีค่าเป็น $\frac{kq}{r^2}$ เมื่อ r เป็นระยะห่างจากจุดประจุ ถ้าเราสร้างผิวทรงกลมรัศมี R ให้ปิดล้อมประจุ โดยมีศูนย์กลางอยู่ที่จุดประจุ ดังรูป 13.10 เราจะหาจำนวนเส้นสนามไฟฟ้าที่พุ่งออกจากจุดประจุและตั้งฉากกับผิวที่สร้างขึ้น ได้ดังนี้



รูป 13.10 ผิวทรงกลมปิดล้อมประจุ

จากผิวที่สร้างจะได้ว่า สนามไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุ q ณ ตำแหน่งต่างๆ บนผิวที่สร้าง มีค่าเป็น $E = \frac{kq}{R^2}$

พื้นที่ผิวที่ตั้งฉากกับสนามไฟฟ้าในกรณีนี้ คือ พื้นที่ผิวทรงกลม ซึ่งจะมีค่าเป็น $A = 4\pi R^2$ ดังนั้นจำนวนเส้นแรงที่ผ่านผิวที่สร้างจะเป็น

$$N = EA = \frac{kq}{R^2}(4\pi R^2)$$
$$N = 4\pi kq$$

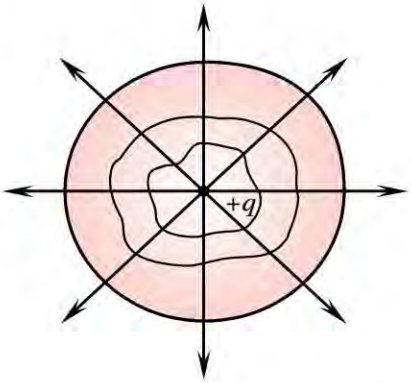
กรณีนี้จะเห็นว่า ผิวที่สร้างเป็นผิวปิดล้อมประจุ แสดงว่า จำนวนเส้นสนามไฟฟ้าที่ผ่านผิวและตั้งฉากกับผิวเป็นจำนวนเส้นสนามไฟฟ้าทั้งหมดที่พุ่งออกจากจุดประจุ

โดยพิจารณาทำนองเดียวกัน ในกรณีจุดประจุ q เป็นประจุลบ สนามไฟฟ้าที่ผิวยังคงมีขนาดเช่นเดียวกับสนามของประจุบวก แต่แตกต่างกันที่ทิศทางคือ สนามไฟฟ้าเนื่องจากประจุลบจะมีทิศพุ่งเข้าหาประจุ เราจะหาจำนวนเส้นสนามไฟฟ้าได้ คือ

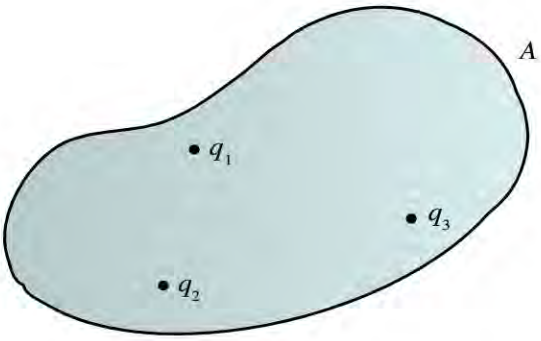
ถ้าพิจารณาผิวปิดล้อมรอบ 2 จุดประจุ ที่มีขนาดเท่ากัน แต่มีประจุต่างชนิดกัน คือ ประจุบวกและประจุลบ ประจุสุทธิภายในผิวปิดย่อมเป็นศูนย์ แต่เนื่องจากเส้นสนามไฟฟ้าของจุดประจุทั้งสองที่ผ่านผิวปิดมีจำนวนเท่ากัน แต่มีทิศทางตรงข้ามกัน แสดงว่าจำนวนเส้นสนามสุทธิกรณีนี้ก็เป็นศูนย์เช่นกัน ดังนั้นถ้ากำหนดให้เส้นสนามไฟฟ้าที่พุ่งออกจากผิวที่พิจารณามีเครื่องหมายเป็นบวก และเส้นสนามไฟฟ้าพุ่งเข้าหาผิวที่พิจารณามีเครื่องหมายเป็นลบ เราจะได้ว่า เมื่อพิจารณาผิวด้านนอกที่ปิดล้อมประจุ ถ้าปิดล้อมประจุบวก จำนวนเส้นสนามไฟฟ้าจะมีเครื่องหมายเป็นบวก ถ้าปิดล้อมประจุลบ จำนวนเส้นสนามไฟฟ้าจะมีเครื่องหมายเป็นลบ โดยใช้เครื่องหมายเช่นนี้ สมการข้างต้น $N = 4\pi kq$ ยังคงใช้ได้ ทั้งนี้การแทนค่าประจุจะต้องคิดเครื่องหมายด้วย และการรวมจำนวนเส้นสนามไฟฟ้า เราสามารถรวมกันด้วยวิธีคณิตศาสตร์ได้ ซึ่งในกรณีนี้จะรวมกันได้เป็นศูนย์

จากที่กล่าวมานั้นเป็นการพิจารณาผิวปิดที่เป็นผิวทรงกลม ซึ่งจะเห็นว่าจำนวนเส้นสนามไฟฟ้าทั้งหมดที่พุ่งผ่านผิวเท่ากับ $4\pi kq$ เมื่อ q เป็นประจุภายในผิว ในการพิจารณานี้ถ้าผิวปิดเป็นผิวรูปร่างใดๆ ปิดล้อมประจุ q ดังกล่าว ดังรูป 13.11 จะเห็นว่าจำนวนเส้น

สนามไฟฟ้าที่ผ่านผิวยังคงมีค่าเท่ากับจำนวนเส้นสนามไฟฟ้าที่ผ่านผิวทรงกลมนั่นเอง นั่นคือ สำหรับประจุ q เมื่อเราสร้างผิวปิดให้ปิดล้อมประจุ เราจะถือได้ว่าจำนวนเส้นสนามไฟฟ้าที่ผ่านผิวเท่ากับ $4\pi kq$ เสมอ ไม่ว่าผิวปิดที่สร้างจะมีรูปร่างใดๆ



รูป 13.11 ผิวปิดรอบประจุไฟฟ้า



รูป 13.12 ผิวปิดใดๆ ปิดล้อมประจุไฟฟ้า q_1, q_2, q_3

สมการในการหาจำนวนเส้นสนามไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุข้างต้น เราจะนำมาใช้หาจำนวนเส้นสนามไฟฟ้าทั้งหมดเนื่องจากจุดประจุหลายจุดได้ ดังนี้

ให้ q_1 , q_2 , q_1 เป็นจุดประจุที่อยู่ ณ ตำแหน่งต่างๆ และ A เป็นผิวปิดใดๆ ปิดล้อมประจุ ดังรูป 13.12 เส้นสนามไฟฟ้าที่ผ่านผิว A เนื่องจากแต่ละประจุมีค่าเป็น

$$N_1 = 4\pi kq_1 \quad , \quad N_2 = 4\pi kq_2 \quad \text{และ} \quad N_3 = 4\pi kq_3$$

ดังนั้น จำนวนเส้นสนามไฟฟ้าทั้งหมดที่ผ่านผิว A เนื่องจากประจุทุกประจุภายในผิว A จะเป็น

$$\begin{aligned} N = N_1 + N_2 + N_3 &= 4\pi kq_1 + 4\pi kq_2 + 4\pi kq_3 \\ &= 4\pi k(q_1 + q_2 + q_3) \\ &= 4\pi k(q_1 + q_2 + q_3) \end{aligned}$$

เมื่อ Σq เป็นผลรวมของประจุไฟฟ้าในผิวปิด เรียกว่า ประจุสุทธิ

การคำนวณ Σq ต้องแทนเครื่องหมาย +, - ของประจุด้วย

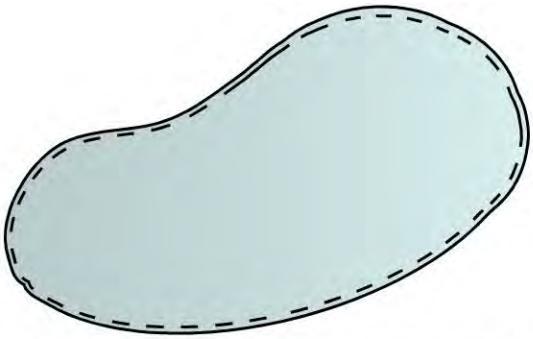
นั่นคือ จำนวนเส้นสนามไฟฟ้าทั้งหมดที่ผ่านผิวปิด ซึ่งปิดล้อมประจุหลายประจุจะมีค่าเป็น

$$N = 4\pi k\Sigma q$$

ข้อสรุปนี้เรียกว่า กฎของเกาสส์ โดยอาจกล่าวได้ว่า “จำนวนเส้นสนามไฟฟ้าที่พุ่งผ่านผิวปิดใดๆ ในสนามไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ $4\pi k$ คูณประจุไฟฟ้าสุทธิภายในผิวปิดนั้น”

จากกฎของเกาสส์ที่ได้ เราจะนำไปใช้พิสูจน์ว่า “เมื่อมีประจุอยู่นิ่งบนตัวนำ ประจุจะอยู่เฉพาะที่ผิวของตัวนำเท่านั้น” ได้ดังนี้

จากที่ทราบว่าเมื่อมีประจุอยู่นิ่งบนตัวนำใดๆ สนามไฟฟ้าภายในตัวนำนับจากผิวเข้ามามีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้น โดยสร้างผิวปิดให้อยู่ถัดจากผิวตัวนำเข้ามาอาจมีลักษณะดังรูป 13.13 ได้แก่ ผิวที่แสดงด้วยเส้นประ เราจะได้ว่าขนาดของสนามไฟฟ้า E ณ ตำแหน่งต่างๆ บนผิวที่สร้างนี้มีค่าเป็นศูนย์ และจำนวนเส้นสนามไฟฟ้า N ที่ผ่านผิวที่สร้างมีค่าเป็นศูนย์ด้วย เพราะ



รูป 13.13 การสร้างผิวปิดถัดจากผิวตัวนำเข้าไป

$$N = EA = (0)A = 0$$

จากกฎของเกาสส์ $N = 4\pi kq$

จะได้ $q = 0$

แสดงว่า ประจุที่อยู่ภายในผิวที่สร้างมีค่าเป็นศูนย์ นั่นคือ ประจุบนตัวนำจะต้องอยู่นอกผิวที่สร้าง แต่ผิวที่สร้างอยู่ถัดจากผิวตัวนำเข้าไป ดังนั้น ประจุซึ่งอยู่นอกผิวที่สร้างจะต้องอยู่เฉพาะที่ผิวตัวนำเท่านั้น

13.8 ศักย์ไฟฟ้า

จุดประสงค์ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. บอกความหมายของพลังงานศักย์ไฟฟ้า และศักย์ไฟฟ้าได้
2. บอกได้ว่าศักย์ไฟฟ้ามีหน่วยเป็น จูลต่อคูลอมบ์ เรียกว่า โวลต์
3. บอกความหมายของความต่างศักย์ไฟฟ้าได้
4. อธิบายวิธีหาศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุได้
5. คำนวณหาศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่างๆ เนื่องจากหนึ่งจุดประจุหรือมากกว่าหนึ่งจุดประจุ เมื่อกำหนดสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องให้
6. บอกได้ว่าศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในตัวนำทรงกลมมีค่าเท่ากัน และมีค่าเท่ากับศักย์ไฟฟ้าที่ผิว ศักย์ไฟฟ้า ณ ตำแหน่งที่นับจากผิวนอกออกไป มีค่าเท่ากับศักย์ไฟฟ้าของจุดประจุที่เสมือนว่าเกิดจากประจุทั้งหมดของทรงกลมไปรวมกันที่จุดศูนย์กลาง
7. บอกได้ว่าศักย์ไฟฟ้าของตัวนำทรงกลมที่มีประจุ Q และรัศมี a ที่ตำแหน่งใดๆ นับจากผิวเข้าไปมีค่าคงตัว เท่ากับ $\frac{kQ}{a}$
8. บอกความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ และใช้ความสัมพันธ์ดังกล่าวคำนวณหาปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องได้ เมื่อกำหนดสถานการณ์ให้

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูทบทวนเกี่ยวกับพลังงานศักย์โน้มถ่วง ดังนี้

1.1 เมื่อวัตถุอยู่ที่สูงจากระดับอ้างอิง วัตถุจะมีพลังงานศักย์โน้มถ่วง โดยถือว่าที่ระดับอ้างอิง วัตถุมีพลังงานศักย์โน้มถ่วงเท่ากับศูนย์

1.2 การเลือกตำแหน่งอ้างอิงเพื่อบอกค่าพลังงานศักย์โน้มถ่วง ผู้สังเกตสามารถเลือกตำแหน่งใดก็ได้

1.3 เมื่อปล่อยวัตถุให้เคลื่อนที่อย่างอิสระ วัตถุจะเคลื่อนที่จากตำแหน่งที่มีพลังงานศักย์โน้มถ่วงมากกว่าไปตำแหน่งที่มีพลังงานศักย์โน้มถ่วงน้อยกว่า

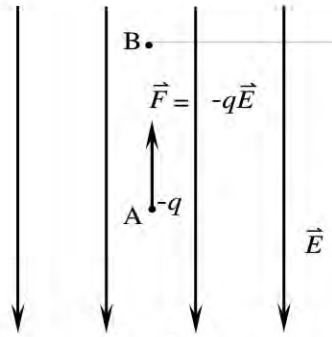
2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

2.1 ครูให้ความรู้ โดยเริ่มจากชี้ให้เห็นกรณีมวล m อยู่ในสนามโน้มถ่วง และประจุ q อยู่ในสนามไฟฟ้าว่า ต่างก็มีแรงกระทำจากสนามเช่นกัน จึงสรุปได้ว่า เมื่อประจุ q อยู่ที่ตำแหน่งต่างๆ ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้า จะมีพลังงานศักย์ไฟฟ้า E_p และพลังงานศักย์ไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยประจุที่ตำแหน่งใดๆ เรียกว่า ศักย์ไฟฟ้า V ที่ตำแหน่งนั้น ตามสมการ 13.5 คือ $V = \frac{E_p}{q}$ ศักย์ไฟฟ้าเป็นปริมาณสเกลาร์ มีหน่วยเป็นจูลต่อคูลอมบ์ (J/C) ซึ่งเรียกว่าโวลต์ (V)

2.2 ครูนำอภิปรายต่อไปถึงวิธีการหาศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่างๆ โดยใช้รูป 13.36 ในหนังสือเรียนประกอบ และชี้ให้นักเรียนเห็นว่าเมื่อประจุ $+q$ อยู่ ณ ตำแหน่ง A ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ ทิศทางของแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าที่กระทำต่อประจุ $+q$ อยู่ในทิศทางเดียวกับทิศทางของสนามไฟฟ้า ดังนั้น ต้องใช้แรง $\bar{F}$ ทำงานจึงจะทำให้ประจุเคลื่อนที่จาก A ไป B ได้ แต่ถ้าเดิมประจุ $+q$ อยู่ที่จุด B แล้วปล่อยให้เคลื่อนที่อย่างอิสระ ประจุ $+q$ จะสามารถเคลื่อนที่ไปยังจุด A ได้ โดยการทำงานของแรงไฟฟ้า $+qE$ เปรียบได้กับวัตถุที่ตกจากที่สูงภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก คือ ตกจากตำแหน่งที่มีศักย์โน้มถ่วงสูงไปยังตำแหน่งที่มีศักย์โน้มถ่วงต่ำกว่า ในกรณีนี้จึงสรุปได้ว่า ประจุบวกจะเคลื่อนที่จากตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงคือ จุด B ไปยังตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าคือ จุด A

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

ครูอธิบายเพิ่มเติมว่าจากเหตุผลอย่างเดียวกันนี้ ถ้าประจุ $-q$ อยู่ ณ ตำแหน่ง A ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ ดังรูป 13.14 แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าที่กระทำต่อประจุ $-q$ มีทิศทางดังรูป

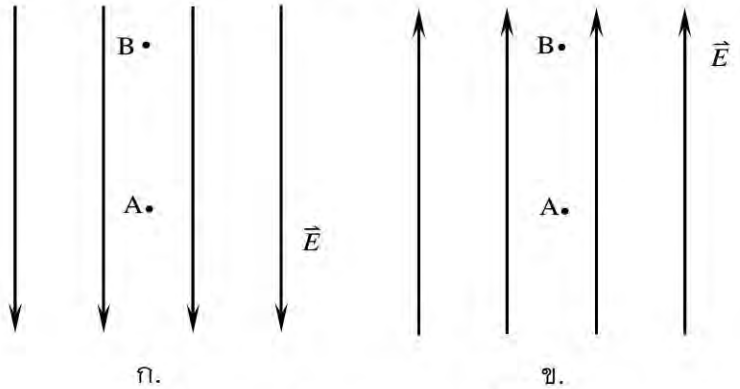


รูป 13.14 การเคลื่อนที่ของประจุจาก A ไป B

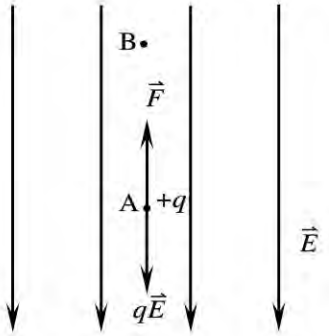
ดังนั้น ถ้าปล่อยให้ประจุ $-q$ เคลื่อนที่อย่างอิสระ แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าจะทำให้ประจุ $-q$ เคลื่อนที่จาก A ไป B ได้โดยไม่ต้องใช้แรงจากภายนอก นั่นคือ ประจุ $-q$ เคลื่อนที่จากตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำไปยังตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่า

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

สนามไฟฟ้ามีทิศทางจากตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าไปยังตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่า เช่น บริเวณที่มีสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอในรูป 13.15 ก ศักย์ไฟฟ้าที่ B สูงกว่าศักย์ไฟฟ้าที่ A แต่ในรูป 13.15 ข ศักย์ไฟฟ้าที่ B ต่ำกว่าศักย์ไฟฟ้าที่ A



รูป 13.15 ก.ข. ทิศทางของสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ



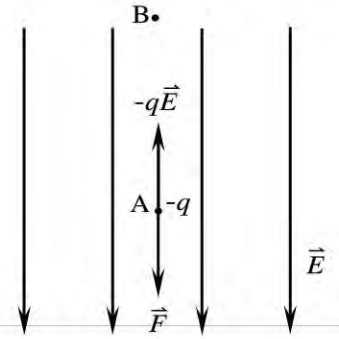
รูป 13.16 แรงที่กระทำต่อประจุ $+q$

ถ้าต้องการนำประจุไฟฟ้าจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง และต้องทำงานในการเคลื่อนประจุ ซึ่งงานที่ทำนั้นจะทำให้ประจุไฟฟ้ามีพลังงานศักย์เปลี่ยนไป เช่น เมื่อมีประจุ $+q$ อยู่ที่ A ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้า $\vec{E}$ จะมีแรง $q\vec{E}$ กระทำกับประจุ $+q$ แรงนี้มีทิศทางเดียวกับทิศทางของสนามไฟฟ้า ดังรูป 13.16

ถ้าต้องการเคลื่อนประจุ $+q$ จาก A ไป B ด้วยอัตราเร็วคงตัว ต้องออกแรง $\vec{F}$ โดย $\vec{F} = -q\vec{E}$ แรง $\vec{F}$ นี้ มีทิศทางเดียวกับทิศทางการเคลื่อนที่ของประจุ $+q$ ดังนั้น งานของแรง

$\bar{F}$ จึงมีค่าเป็นบวก ทำให้ประจุ $+q$ มีพลังงานศักย์เพิ่มขึ้น นั่นคือพลังงานศักย์ของประจุ $+q$ ที่ B สูงกว่าพลังงานศักย์ของประจุ $+q$ ที่ A ถ้าปล่อยให้ประจุ $+q$ เคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ประจุ $+q$ จะสามารถเคลื่อนที่จากตำแหน่ง B ไปยังตำแหน่ง A ได้ โดยการทำงานของแรงไฟฟ้า $q\bar{E}$ แสดงว่า ประจุ $+q$ เมื่ออยู่ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้า จะเคลื่อนที่อย่างอิสระ (ไม่ต้องออกแรงภายนอก) จากตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าไปยังตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่า

ถ้าประจุที่พิจารณาเป็นประจุลบ คือ $-q$ อยู่ที่ตำแหน่ง A ในสนามไฟฟ้ารูป 13.17 แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าที่กระทำต่อประจุ $-q$ จะมีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางของสนามไฟฟ้า ประจุ $-q$ สามารถเคลื่อนที่จากจุด A ไปจุด B ได้ โดยการทำงานของแรงไฟฟ้า $-q\bar{E}$ ไม่ต้องใช้แรงภายนอก แสดงว่าประจุ $-q$ เมื่ออยู่ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้า จะเคลื่อนที่อย่างอิสระจากตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าไปยังตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่า แต่ถ้าต้องการนำประจุ $-q$ ให้เคลื่อนจากจุด B ไปจุด A ด้วยอัตราเร็วคงตัว ต้องออกแรง $\bar{F}$ ซึ่งมีขนาดเท่ากับแรงไฟฟ้า $q\bar{E}$ แต่อยู่ในทิศทางจากจุด B ไปจุด A



รูป 13.17 แรงที่กระทำต่อประจุ $-q$

ต่อไปครูอธิบายตามรายละเอียดในหนังสือเรียนจนได้ความหมายของความต่างศักย์ดังนี้ **งานที่เกิดขึ้น (W) ในการเคลื่อนประจุ +1 หน่วยจากตำแหน่งหนึ่ง (A) ไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง (B) ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้า คือ ความต่างศักย์ระหว่างสองตำแหน่งนั้น** และเขียนเป็นสมการได้ว่า $V_B - V_A = \frac{W_{A\to B}}{q}$ ซึ่งเป็นสมการ (13.6) ในหนังสือเรียน ครูทบทวนให้นักเรียนทราบว่าศักย์ไฟฟ้าเป็นปริมาณสเกลาร์ และความต่างศักย์ก็เป็นปริมาณสเกลาร์เช่นเดียวกัน ต่อไปจึงใช้สมการ (13.6) อธิบายความหมายของศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งใดๆ ว่าคือ **ความต่างศักย์ระหว่างตำแหน่งนั้นกับตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์** (ในตอนนี้ครูยังไม่อธิบายว่าตำแหน่งใดบ้างที่กำหนดให้มีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์)

13.8.1 ศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุ

จุดประสงค์ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. อธิบายวิธีหาศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุได้
2. คำนวณหาศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่างๆ เนื่องจากหนึ่งจุดประจุ หรือมากกว่าหนึ่งจุดประจุ เมื่อกำหนดสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องให้

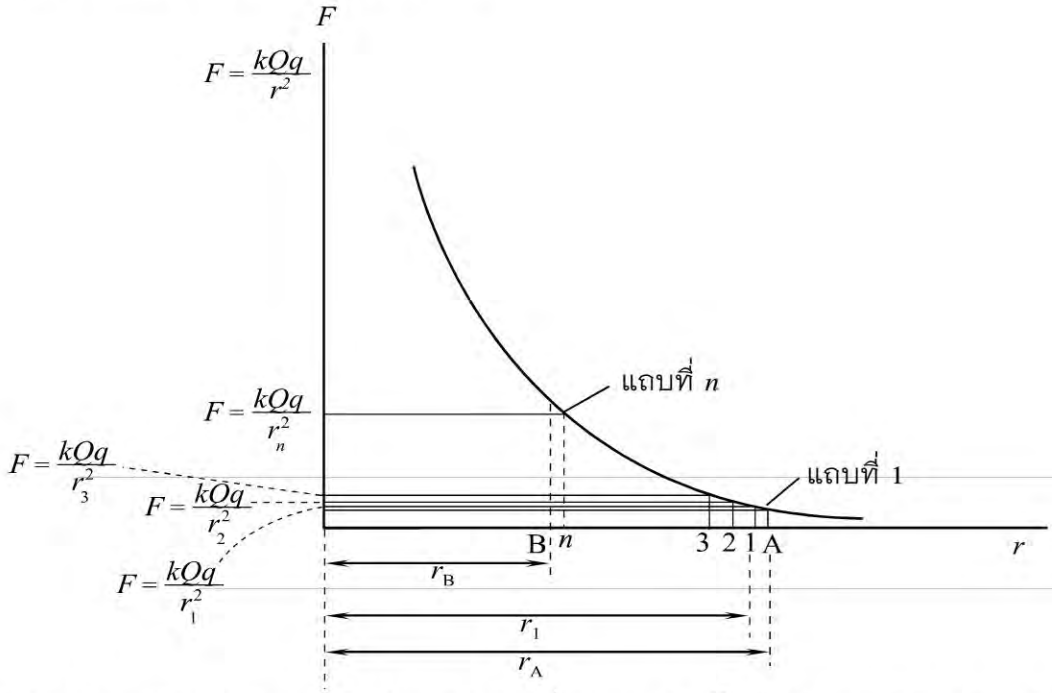
แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ทบทวนความรู้เกี่ยวกับศักย์ไฟฟ้าในหัวข้อที่ผ่านมา พร้อมทั้งชี้ให้นักเรียนเห็นว่า ในการหาศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งใดๆ คือการหางานในการนำประจุ +1 หน่วย จากตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์มายังตำแหน่งนั้น

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

ครูทบทวนการคำนวณหางานของแรงที่มีขนาดไม่คงตัวจากรูป 13.37 ในหนังสือเรียน ต่อไปให้นักเรียนพิจารณาแรงที่กระทำต่อประจุ ณ ตำแหน่งต่างๆ ซึ่งเป็นแรงมีค่าไม่คงตัว เมื่อเขียนกราฟระหว่างระยะห่างจากจุดประจุกับแรงที่กระทำต่อประจุ +1 หน่วย จะได้กราฟซึ่งควรมีลักษณะอย่างเดียวกับกราฟระหว่างระยะห่างจากศูนย์กลางของทรงกลมที่มีประจุไฟฟ้ากับขนาดของแรงดังรูป 13.18



รูป 13.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้ากับระยะห่างจากจุดประจุ

จากกราฟ ถ้าพิจารณาจาก A ถึง B จะเห็นว่าพื้นที่ใต้กราฟในช่วงนี้ คือ งานในการเคลื่อนที่ประจุ $+q$ จาก A ไป B ด้วยอัตราเร็วคงตัว ดังนั้น งานในช่วง A ถึง B คือผลบวกของพื้นที่ใต้กราฟของแถบเล็กๆ ทั้งหมดจาก 1 ถึง n แถบ ดังรูป 13.18 จากนั้นครูเปรียบเทียบรูป 13.18 กับรายละเอียดในหนังสือเรียนว่า งาน $W_{A \to 1}$ คืองานจากตำแหน่ง A ถึงตำแหน่งที่ 1 ซึ่งก็คือพื้นที่ใต้กราฟจากตำแหน่ง A ถึงตำแหน่งที่ 1 หรืองาน $W_{1 \to 2}$ คืองานจากตำแหน่งที่ 1 ถึงตำแหน่งที่ 2 ซึ่งคือพื้นที่ใต้กราฟจากตำแหน่ง 1 ถึงตำแหน่งที่ 2 นั่นเอง และต่อไปเรื่อยๆ ต่อจากนั้นครูควรชี้แจงเพิ่มเติมว่า การหางานในการเคลื่อนประจุนั้นจะพิจารณาจากแรง โดยครูเน้นว่า**แรงนั้นเป็นแรงภายนอกระบบที่ใช้เคลื่อนประจุด้วยอัตราเร็วคงตัว ซึ่งมีขนาดเท่ากับแรงภายในระบบ คือ แรงระหว่างประจุไฟฟ้าแต่ทิศทางตรงข้าม**

ต่อจากนั้นครูจึงให้ความรู้ในการหาศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งใดๆ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียนจนได้สมการ 13.7 หรือ $V = \frac{kQ}{r}$ ประจุ Q จะเป็นบวกหรือลบก็ได้ ถ้า Q เป็นประจุบวก ศักย์ไฟฟ้า V เป็นบวก ถ้า Q เป็นประจุลบ ศักย์ไฟฟ้า V เป็นลบ ดังนั้นศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งใดๆ อาจมีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้แล้วแต่ชนิดของประจุ Q ที่ทำให้เกิดสนาม ณ ตำแหน่งนั้น ครูเน้นว่าศักย์ไฟฟ้า ณ ตำแหน่งใดๆ ที่เกิดจากหลายจุดประจุ คือ ผลบวกทางคณิตศาสตร์ของศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากแต่ละจุดประจุ ดังสมการ 13.8 หรือ $V = \sum_{i=1}^{n} V_i$

ต่อไปครูอธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับการกำหนดศักย์ไฟฟ้าที่ระดับอ้างอิง สำหรับไฟฟ้าสถิตนั้นเราเลือกที่ระยะอนันต์ โดยกำหนดให้มีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์ (ในไฟฟ้ากระแสจะกำหนดที่ตำแหน่งอื่นๆ ให้มีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์ได้ เช่น โลก) ระยะอนันต์นั้นเป็นระยะเปรียบเทียบไม่จำเป็นต้องไกลมากจนวัดระยะทางไม่ได้ ระยะอนันต์ คือระยะทางที่แรงกระทำต่อประจุน้อยมาก ระยะอนันต์ของประจุแต่ละขนาดมีค่าไม่เท่ากัน

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

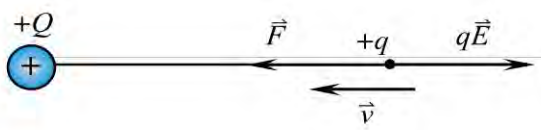
ครูอธิบายตัวอย่าง 13.6 ในหนังสือเรียน ชี้ให้เห็นผลบวกทางคณิตศาสตร์ของศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากหลายจุดประจุ พร้อมทั้งหางานในการเคลื่อนประจุ

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

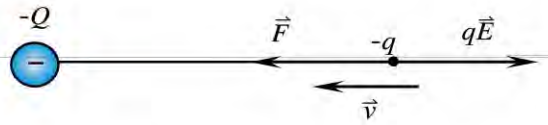
พลังงานศักย์ไฟฟ้า

พลังงานศักย์ไฟฟ้าของประจุไฟฟ้า ณ ตำแหน่งใดๆ ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้า คือ งานในการเคลื่อนประจุไฟฟ้าจากตำแหน่งที่มีพลังงานศักย์เป็นศูนย์มาถึงตำแหน่งนั้น

จากที่ทราบนี้ พิจารณากรณีเคลื่อนประจุ $+q$ จากตำแหน่งที่ระยะอนันต์เข้าไปในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าเนื่องจากประจุ $+Q$ ในกรณีนี้ จะมีแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้ากระทำกับประจุ $+q$ เป็นแรงผลัก qE ดังรูป 13.19 ดังนั้น เมื่อต้องการเคลื่อนประจุ $+q$ ให้เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว เพื่อให้พลังงานจลน์ของประจุ $+q$ ไม่เปลี่ยน จะต้องออกแรง $\vec{F}$ กระทำกับประจุ $+q$ ในทิศทางตรงข้ามกับแรง qE (ขนาดของ $\vec{F} = q\vec{E}$) ทิศทางของแรง $\vec{F}$ จะมีทิศทางเดียวกับทิศทางการเคลื่อนที่ แสดงว่า งานในการเคลื่อนประจุ $+q$ เป็นบวก งานนี้จะเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานศักย์ของประจุ $+q$ คือจะทำให้ประจุ $+q$ มีพลังงานศักย์เพิ่มขึ้น นั่นคือ **ถ้าให้ตำแหน่งที่ระยะอนันต์ ประจุ $+q$ มีพลังงานศักย์เป็นศูนย์ แล้วประจุ $+q$ ที่ถูกทำให้เคลื่อนที่จากระยะอนันต์เข้าไปในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าเนื่องจากประจุ $+Q$ จะมีพลังงานศักย์เป็นบวก**



รูป 13.19 ทิศทางของแรงที่กระทำต่อประจุ $+q$



รูป 13.20 ทิศทางของแรงที่กระทำต่อประจุ $-q$

โดยพิจารณาทำนองเดียวกัน ถ้าเคลื่อนประจุ $-q$ จากตำแหน่งที่ระยะอนันต์เข้าไปในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าเนื่องจากประจุ $-Q$ เราก็จะได้ว่าแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้ากระทำกับประจุ $-q$ เป็นแรงผลัก qE ดังรูป 13.20 ในการเคลื่อนประจุ $-q$ ในกรณีนี้ต้องออกแรง $\vec{F}$ เช่นเดียวกับข้างต้น ข้อสรุปในกรณีนี้จึงเป็นทำนองเดียวกับข้างต้น นั่นคือ ถ้าให้ตำแหน่งที่ระยะอนันต์ ประจุ $-q$ มีพลังงานศักย์เป็นศูนย์แล้ว ประจุ $-q$ ที่ถูกทำให้เคลื่อนที่จากระยะอนันต์เข้าไปในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าเนื่องจากประจุ $-Q$ จะมีพลังงานศักย์เป็นบวก

การพิจารณาข้างต้น เป็นการพิจารณาในกรณีแรงระหว่างประจุเป็นแรงผลัก ในกรณีที่แตกต่างไปคือ แรงระหว่างประจุเป็นแรงดึงดูด ได้แก่ กรณีเคลื่อนประจุ $-q$ เข้าไปในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าเนื่องจากประจุ $+Q$ และกรณีเคลื่อนประจุ $+q$ เข้าไปในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าเนื่องจากประจุ $-Q$ ในกรณีทั้งสองนี้แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าที่กระทำกับประจุ $+q$ หรือ $-q$ ได้แก่ แรง $\vec{F} = q\vec{E}$ และมีทิศดังรูป 13.21

รูป 13.21 ทิศทางของแรงที่กระทำต่อประจุ $+q$ และ $-q$

ดังนั้น ถ้าต้องการเคลื่อนประจุ $+q$ หรือ $-q$ จากระยะอนันต์ให้เคลื่อนเข้าไปในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าดังกล่าวด้วยอัตราเร็วคงตัว จะต้องออกแรงภายนอก $\bar{F}$ กระทำในทิศทางตรงข้ามกับทิศทางของแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้า $q\bar{E}$ และแรง $\bar{F}$ จะมีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่ของประจุ แสดงว่างานเนื่องจากแรง $\bar{F}$ ในการเคลื่อนประจุ $+q$ หรือ $-q$ ในกรณีที่พิจารณานี้เป็นงานลบ นั่นคือจะทำให้พลังงานศักย์ไฟฟ้าของประจุ $+q$ หรือ $-q$ ในกรณีดังกล่าวมีค่าลดลง ถ้าให้ที่ตำแหน่งระยะอนันต์มีพลังงานศักย์เป็นศูนย์ เราจะสรุปได้ว่า พลังงานศักย์ไฟฟ้าของประจุ $+q$ หรือ $-q$ ที่พิจารณานี้ต่างมีค่าเป็นลบ ซึ่งหมายความว่า **ประจุ $-q$ ที่ถูกทำให้เคลื่อนจากระยะอนันต์เข้าไปในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าเนื่องจากประจุ $+Q$ จะมีพลังงานศักย์ไฟฟ้าเป็นลบ และเช่นเดียวกันประจุ $+q$ ที่ถูกทำให้เคลื่อนจากระยะอนันต์เข้าไปในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าเนื่องจากประจุ $-Q$ จะมีพลังงานศักย์ไฟฟ้าเป็นลบ**

จากที่พิจารณาข้างต้น อาจสรุปเครื่องหมายของพลังงานศักย์ไฟฟ้าของประจุ เมื่อถูกทำให้เคลื่อนเข้าไปในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าซึ่งเกิดจากประจุแต่ละชนิดได้ดังตาราง

	ชนิดของประจุที่ทำให้เกิดสนามไฟฟ้า	
	บวก	ลบ
พลังงานศักย์ของประจุไฟฟ้า $+q$	+	-
พลังงานศักย์ของประจุไฟฟ้า $-q$	-	+

ศักย์ไฟฟ้า (V)

ศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งใดๆ อาจกล่าวได้ว่า คือ งานในการเคลื่อนประจุ +1 หน่วย จากตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์ไปยังตำแหน่งนั้น ถ้าพิจารณาการเคลื่อนประจุ +1 หน่วย จากตำแหน่งที่ระยะอนันต์ เข้าไปในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าเนื่องจากประจุบวก งานที่ทำจะเป็นบวก นั่นคือ**ถ้าให้ตำแหน่งระยะอนันต์มีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์ จะได้ว่าตำแหน่งต่างๆ ในบริเวณสนามไฟฟ้าซึ่งเกิดจากประจุบวก จะมีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก**

ถ้าเคลื่อนประจุ +1 หน่วย จากตำแหน่งระยะอนันต์เข้าไปในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าเนื่องจากประจุลบ ในกรณีนี้งานที่ทำจะเป็นลบ แสดงว่า **ถ้าให้ตำแหน่งระยะอนันต์มีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์ ตำแหน่งต่างๆ ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าเนื่องจากประจุลบจะมีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบ**

สรุปได้ว่า ณ ตำแหน่งต่างๆ ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าเนื่องจากประจุบวก จะมีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก ส่วนตำแหน่งต่างๆ ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าเนื่องจากประจุลบ จะมีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบ ซึ่งสอดคล้องกับสมการ $V = \frac{kQ}{r}$ เมื่อแทนค่า Q โดยคิดเครื่องหมายด้วย

จากความหมายของพลังงานศักย์ไฟฟ้าของประจุมีค่าเป็นบวกหรือลบ และความหมายของศักย์ไฟฟ้าที่มีค่าเป็นบวกหรือลบ ดังกล่าวมาแล้ว ถ้าพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานศักย์ของประจุใดๆ V เป็นศักย์ไฟฟ้า ณ ตำแหน่งต่างๆ ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าตามสมการ

$$V = \frac{E_P}{q} \quad \text{หรือ} \quad E_P = qV$$

เราจะได้ว่าสมการนี้ยังคงใช้ได้ ถ้าแทนค่าปริมาณต่างๆ พร้อมกับเครื่องหมาย

13.8.2 ศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากประจุบนตัวนำทรงกลม

จุดประสงค์ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. บอกได้ว่า ศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในตัวนำทรงกลมมีค่าเท่ากัน และมีค่าเท่ากับศักย์ไฟฟ้าที่ผิว ศักย์ไฟฟ้าที่นับจากผิวนอกออกไปมีค่าเท่ากับศักย์ไฟฟ้าของจุดประจุที่เสมือนว่าเกิดจากประจุทั้งหมดของทรงกลมไปรวมกันที่จุดศูนย์กลาง
2. บอกได้ว่า ศักย์ไฟฟ้าของตัวนำทรงกลมที่มีประจุ Q และรัศมี a ที่ตำแหน่งใดๆ นับจากผิวเข้าไปมีค่าคงตัว เท่ากับ $\frac{kQ}{a}$ และคำนวณหาปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เมื่อกำหนดสถานการณ์ให้

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูทบทวนความรู้เกี่ยวกับประจุที่กระจายบนผิวตัวนำทรงกลม และสนามไฟฟ้าบนผิวตัวนำทรงกลม

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จนสรุปได้ว่า ศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งใดๆ ในตัวนำทรงกลมนับจากผิวเข้าไป มีค่าเท่ากันและเท่ากับศักย์ไฟฟ้าที่ผิว หาได้ตามสมการ

$$V = \frac{kQ}{a}$$

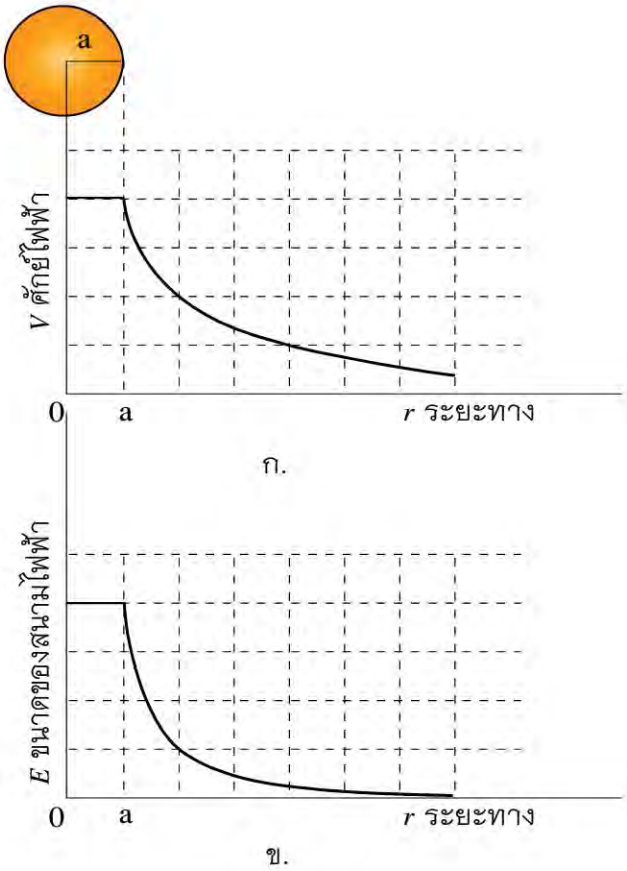
เมื่อ k คือ ค่าคงตัว

Q คือ ขนาดประจุไฟฟ้าบนตัวนำทรงกลม

a คือ รัศมีของทรงกลม

V คือ ศักย์ไฟฟ้า

ศักย์ไฟฟ้าและสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่างๆ เนื่องจากประจุไฟฟ้าบนตัวนำทรงกลม แสดงดังรูป



รูป 13.22 ก. ข. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้ากับระยะทาง และสนามไฟฟ้ากับระยะทาง

จากกราฟทั้งสองเปรียบเทียบให้เห็นว่าเส้นกราฟในรูป 13.22 ก มีความชันน้อยกว่ากราฟ 13.22 ข แสดงว่าศักย์ไฟฟ้า V ลดลงในอัตราที่น้อยกว่าอัตราลดลงของสนามไฟฟ้า

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

ครูอธิบายตัวอย่าง 13.7 ในหนังสือเรียนให้นักเรียนเข้าใจหลักการหาศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากประจุบนตัวนำทรงกลม และการหาปริมาณที่เกี่ยวข้อง

13.8.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ

จุดประสงค์ เพื่อให้นักเรียนสามารถบอกความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ และสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ และใช้ความสัมพันธ์ดังกล่าวคำนวณหาปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องได้ เมื่อกำหนดสถานการณ์ให้

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูทบทวนความรู้เกี่ยวกับความต่างศักย์ แล้วตั้งคำถามให้นักเรียนตอบเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับขนาดของสนามไฟฟ้า ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

ครูนำอภิปรายตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จนได้สมการ (13.11) พร้อมทั้งเน้นให้ทราบว่า สมการนี้ใช้ได้ในกรณี E เป็นสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอเท่านั้น

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

ให้นักเรียนทำแบบฝึกหัดท้ายบท คำถามข้อ 10-11

13.9 ตัวเก็บประจุและความจุ

จุดประสงค์ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. บอกความหมายของตัวเก็บประจุ และความจุได้
2. บอกความสัมพันธ์ระหว่างความจุของตัวเก็บประจุแบบตัวนำรูปทรงกลมกับรัศมีของทรงกลมได้
3. บอกความสัมพันธ์ระหว่างความจุของตัวเก็บประจุของแผ่นตัวนำขนานกับประจุของตัวเก็บประจุ และความต่างศักย์ที่ต่อเข้ากับขั้วของตัวเก็บประจุ
4. บอกได้ว่าพื้นที่ใต้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่ต่อกับขั้วของตัวเก็บประจุกับความจุของตัวเก็บประจุ คือ พลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ
5. บอกความสัมพันธ์ของความจุสมมูลกับความจุของตัวเก็บประจุแต่ละตัว เมื่อนำมาต่อแบบอนุกรมและแบบขนาน และหาปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง จากสถานการณ์ที่กำหนดให้ได้

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูยกตัวอย่างการใช้งานเกี่ยวกับตัวเก็บประจุ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆ และควรนำตัวอย่างของจริง พร้อมตัวอย่างตัวเก็บประจุแบบต่างๆ มาแสดงให้ผู้เรียน ดังตัวอย่างตัวเก็บประจุในหนังสือเรียน

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

2.1 ครูให้ความรู้เกี่ยวกับสัญลักษณ์ของตัวเก็บประจุ จากนั้นนำอภิปรายเกี่ยวกับตัวเก็บประจุที่เป็นตัวนำทรงกลม ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จนได้ข้อสรุป ดังนี้

1. ตัวนำทรงกลมรัศมี a เก็บประจุ Q ศักย์ไฟฟ้า V ที่ผิว และภายในตัวนำทรงกลมเท่ากับ $\frac{kQ}{a}$

2. ตัวนำทรงกลม 2 อัน รัศมี a_1 และ a_2 เก็บประจุ Q เท่ากันมีศักย์ไฟฟ้า V_1 และ V_2 ตามลำดับ ถ้า $a_2 > a_1$ จะได้ $V_2 > V_1$ แต่ถ้าทำให้ตัวนำทรงกลมทั้งสองมีศักย์ไฟฟ้าเท่ากันโดยมีค่าเท่ากับ V จะเก็บประจุได้ Q_1 และ Q_2 ถ้า $a_2 > a_1$ จะได้ว่า $Q_2 > Q_1$

3. อัตราส่วนของปริมาณประจุ (Q) กับศักย์ไฟฟ้า (V) ของตัวเก็บประจุ เรียกว่าความจุ (C) นั่นคือ $C = \frac{Q}{V}$ เมื่อ C มีหน่วยเป็น คูลอมบ์ต่อโวลต์ หรือ ฟารัด (F) โดยทั่วไปในทางปฏิบัติตัวเก็บประจุจะมีความจุน้อยมาก ดังนั้นจึงนิยมใช้หน่วยเป็นไมโครฟารัด (μF) หรือพิโกฟารัด (pF)

4. ความจุของตัวเก็บประจุรูปทรงหนึ่งๆ มีค่าคงตัว สำหรับตัวเก็บประจุที่เป็นตัวนำทรงกลมนั้น ความจุ (C) เท่ากับ $\frac{a}{k}$ เมื่อ a คือรัศมี และ k คือ ค่าคงตัว

ครูชี้ให้นักเรียนเห็นว่า จากความรู้ข้อ 4 นั้น ทำให้ทราบว่า ตัวนำทรงกลมขนาดใหญ่จะมีความจุมากกว่าตัวนำทรงกลมขนาดเล็ก สำหรับโลกถือว่าเป็นทรงกลมขนาดใหญ่มีความจุมาก ในการทดลองทางไฟฟ้าบางอย่างที่อุปกรณ์ไฟฟ้าบางประเภทมีการต่อสายดิน นั่นคือเมื่อโลกมีการรับประจุหรือให้ประจุ ศักย์ไฟฟ้าของโลกจะเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ซึ่งยังคงถือว่าโลกเป็นกลางทางไฟฟ้า คือมีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์

2.2 ครูให้ความรู้เกี่ยวกับตัวเก็บประจุบนแผ่นตัวนำขนานว่า ส่วนประกอบภายในจะเป็นแผ่นตัวนำขนานวางแยกกัน มีฉนวนกั้นกลาง ทำหน้าที่เก็บประจุ โดยตัวเก็บประจุต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์ ดังรูป 13.45 ในหนังสือเรียน ครูเน้นว่าประจุที่เก็บไว้บนแผ่นตัวนำแต่ละแผ่นเป็นประจุต่างชนิดกัน มีขนาดประจุเท่ากัน และหาได้จากสมการ $Q = CV$ ดังตัวอย่าง 13.8 ในหนังสือเรียน

2.3 ครูนำอภิปรายเกี่ยวกับการเก็บประจุของตัวเก็บประจุทั่วๆ ไป ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จนได้ข้อสรุปดังนี้

1. เมื่อตัวเก็บประจุเริ่มเก็บประจุจาก 0 จนทำให้มีประจุ Q และความต่างศักย์ที่ต่อกับขั้วของตัวเก็บประจุเพิ่มจาก 0 จนถึง V ความสัมพันธ์ระหว่างประจุกับความต่างศักย์แสดงได้จากเส้นกราฟซึ่งเป็นเส้นตรงผ่านจุดกำเนิด ดังรูป 13.47 ในหนังสือเรียน

2. พื้นที่ใต้กราฟดังกล่าว มีค่าเท่ากับพลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ

3. พลังงานสะสมในตัวเก็บประจุเท่ากับ $\frac{1}{2}QV$ หรือเท่ากับ $\frac{1}{2}CV^2$ หรือเท่ากับ $\frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}$

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

ให้นักเรียนศึกษาความรู้ในข้อ 3 จากตัวอย่าง 13.9 ในหนังสือเรียน

13.9.1 การถ่ายโอนประจุระหว่างตัวนำทรงกลม

จุดประสงค์ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. บอกได้ว่าการถ่ายโอนประจุไฟฟ้าจากการเชื่อมต่อตัวนำทรงกลมด้วยเส้นลวดตัวนำ จะหยุดถ่ายโอนเมื่อศักย์ไฟฟ้าของแต่ละทรงกลมตัวนำเท่ากัน
2. บอกได้ว่าผลรวมของประจุหลังการถ่ายโอนประจุมีค่าเท่ากับผลรวมของประจุก่อนการถ่ายโอน เป็นไปตามกฎการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า และหาประจุไฟฟ้าบนตัวนำทรงกลมหลังการถ่ายโอนประจุได้

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูตั้งประเด็นให้นักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับธรรมชาติของน้ำ น้ำย่อมไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำเนื่องจากพลังงานศักย์โน้มถ่วง ซึ่งไม่ขึ้นกับขนาดของภาชนะที่บรรจุน้ำ เช่น น้ำไหลออกจากแก้วที่เทลงสู่อ่างน้ำขนาดใหญ่ที่อยู่ต่ำกว่า และน้ำจะหยุดไหลก็ต่อเมื่ออยู่ในระดับเดียวกัน จากนั้นเชื่อมโยงเนื้อหาโดยกล่าวถึงกรณีของประจุไฟฟ้าก็เช่นเดียวกัน เมื่อทรงกลมตัวนำ 2 ลูกที่มีศักย์ไฟฟ้าไม่เท่ากัน ถูกเชื่อมด้วยตัวนำจะเกิดการถ่ายโอนประจุไม่ขึ้นกับขนาดของประจุ

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

2.1 ครูวาดรูปตัวนำทรงกลม 2 อัน ที่มีศักย์ไฟฟ้าต่างกันและวางห่างกัน แล้วตั้งคำถามนักเรียนว่า ตัวนำทรงกลมที่มีศักย์ไฟฟ้ามากกว่าจะถ่ายโอนประจุไฟฟ้าให้กับตัวนำทรงกลมที่มีศักย์ไฟฟ้าน้อยกว่าหรือไม่ จากนั้นครูสรุปให้เข้าใจตรงกันว่า โดยทั่วไปประจุไฟฟ้าจะไม่ถ่ายโอนระหว่างตัวนำทรงกลมทั้งสอง เนื่องจากช่องว่างที่เป็นอากาศ ถือได้ว่าเป็นฉนวนจึงไม่นำไฟฟ้า

2.2 ครูให้นักเรียนอภิปรายวิธีการทำให้ตัวนำทรงกลมที่มีศักย์ไฟฟ้ามากกว่าถ่ายโอนประจุสู่ตัวนำที่มีศักย์ไฟฟ้าน้อยกว่า จนได้ข้อสรุปตรงกันว่า ต้องต่อลวดตัวนำไฟฟ้าเข้ากับตัวนำทรงกลมทั้งสอง เพราะประจุไฟฟ้าต้องอาศัยตัวนำในการเคลื่อนที่

2.3 ครูให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายจนได้ข้อสรุปว่า ประจุจะหยุดถ่ายโอนเมื่อศักย์ไฟฟ้าระหว่างตัวนำทั้งสองมีค่าเท่ากัน โดยผลรวมของประจุทั้งระบบมีค่าเท่าเดิม คือ ผลรวมของประจุก่อนการถ่ายโอนมีค่าเท่ากับผลรวมของประจุไฟฟ้าหลังการถ่ายโอน นั่นคือ

$$\sum Q \text{ ก่อนการถ่ายโอนประจุ } = \sum Q \text{ หลังการถ่ายโอนประจุ}$$

2.4 ครูให้นักเรียนหาค่าประจุไฟฟ้าบนตัวนำทรงกลมหลังการถ่ายโอนประจุ จากการที่ทราบว่าศักย์ไฟฟ้าของตัวนำทั้งสองเท่ากัน คือ $V_{Q_1} = V_{Q_2}$ และจากสมการ $V = \frac{kQ}{r}$ จากนั้นให้นักเรียนตรวจสอบสมการจากหนังสือเรียน

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

ครูยกตัวอย่างตัวนำทรงกลมที่มีค่าประจุไฟฟ้าและขนาดต่างกัน และให้นักเรียนหาประจุบนตัวนำทรงกลมแต่ละตัว โดยอาศัยสมการตามหนังสือเรียน

13.9.2 การต่อตัวเก็บประจุ

จุดประสงค์ เพื่อให้นักเรียนสามารถบอกความสัมพันธ์ของความจุสมมูลกับความจุของตัวเก็บประจุแต่ละตัว เมื่อนำมาต่อแบบอนุกรมและแบบขนาน และหาปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง จากสถานการณ์ที่กำหนดให้ได้

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

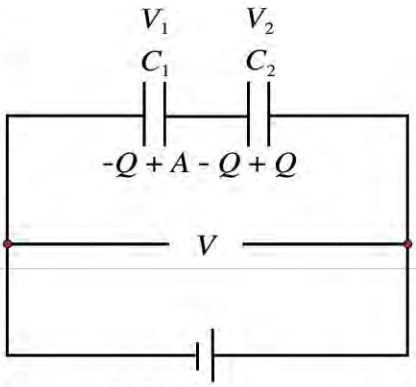
ครูนำภาพตัวเก็บประจุซึ่งเป็นอุปกรณ์เก็บประจุไฟฟ้า มาให้นักเรียนร่วมกันอธิบายเกี่ยวกับหลักการทำงานและโครงสร้างภายใน ซึ่งทำให้นักเรียนทราบว่าในการใช้งานตัวเก็บประจุ โดยทั่วไปอาจมีการต่อตัวเก็บประจุหลายๆ ตัวเข้าด้วยกัน

2. กิจกรรมระหว่างเรียน

2.1 ครูให้ความรู้และอภิปรายเกี่ยวกับการนำตัวเก็บประจุซึ่งมี 2 ตัวขึ้นไป นำมาใช้งานตามรายละเอียดในหนังสือเรียน พร้อมทั้งเขียนภาพประกอบ จนได้ความรู้ตามข้อสรุปดังนี้

1. การต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรม ดังรูป 13.23 จะได้

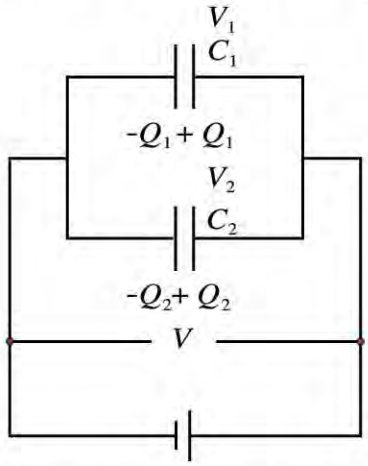
$$V = V_1 + V_2$$
$$Q = Q_1 = Q_2$$
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} = \frac{1}{C_2}$$



13.23 การต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรม

2. การต่อตัวเก็บประจุแบบขนาน ดังรูป 13.24 จะได้

$$V = V_1 = V_2$$
$$Q = Q_1 + Q_2$$
$$C = C_1 + C_2$$



13.24 การต่อตัวเก็บประจุแบบขนาน

เพื่อให้นักเรียนได้เข้าใจสมการการต่อตัวเก็บประจุ ให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 13.10 ในหนังสือเรียน

กิจกรรมเพิ่มเติม (สำหรับโรงเรียนที่มีมิเตอร์วัดความจุไฟฟ้าได้)

เพื่อเสริมความเข้าใจเกี่ยวกับการต่อตัวเก็บประจุและความจุสมมูลของตัวเก็บประจุ ก่อนให้ความรู้ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน ครูควรนำเข้าสู่บทเรียนเรื่องนี้โดยสาธิตการต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรมและแบบขนาน จากนั้นสาธิตการใช้มิเตอร์วัดความจุของตัวเก็บประจุแต่ละตัว (ใช้ 2 ตัว) แล้ววัดความจุสมมูลของตัวเก็บประจุที่ต่อกันแบบอนุกรมและแบบขนาน และให้นักเรียนสังเกตค่าที่วัดได้ แล้วนำอภิปรายจนได้ข้อสรุปว่าในการต่อตัวเก็บประจุ 2 ตัว ความจุ C_1 และ C_2 จะมีความจุสมมูล C เป็นไปตามสมการ

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$ ในกรณีต่อแบบอนุกรม

$$C = C_1 + C_2$$ ในกรณีต่อแบบขนาน

2.2 ครูให้ความรู้ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน เพื่ออธิบายผลที่ได้ในการต่อตัวเก็บประจุในแต่ละกรณี

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

ให้นักเรียนทำแบบฝึกหัดท้ายบท ปัญหาข้อ 26 - 28

13.10 การนำความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าสถิตไปใช้ประโยชน์

จุดประสงค์ เพื่อให้นักเรียนสามารถยกตัวอย่างการนำความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าสถิตไปอธิบายการทำงานของเครื่องใช้บางประเภทได้

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูทบทวนความรู้เกี่ยวกับการเกิดประจุไฟฟ้า แรงระหว่างประจุไฟฟ้า สนามไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้า ความจุไฟฟ้าและตัวเก็บประจุ ในแง่ความหมายที่เกี่ยวข้อง

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

2.1 ครูให้ความรู้โดยยกตัวอย่างเครื่องใช้ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน ในการอธิบายหลักการทำงาน ครูควรใช้คำถามนำชี้ให้เห็นการนำความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าสถิตไปใช้ในเครื่องใช้นั้นๆ

2.2 ครูให้ความรู้เพิ่มเติม โดยยกตัวอย่างเกี่ยวกับการนำตัวเก็บประจุไปใช้ประโยชน์ เช่น ตัวเก็บประจุในอุปกรณ์ไฟแฟลชของกล้องถ่ายรูป ตัวเก็บประจุในวงจรขดปฐมภูมิของคอยล์จุดระเบิด รวมทั้งตัวเก็บประจุในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

ครูควรแนะนำตัวอย่างอื่นๆ เพิ่มเติม โดยอาจมอบหมายงานให้นักเรียนไปค้นคว้าเพื่อกระตุ้นให้นักเรียนเกิดความสนใจ และเห็นคุณค่าของการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์มาใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน และควรถือโอกาสนี้ย้ำให้ผู้เรียนตระหนักว่า การศึกษาหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์นั้น ไม่ควรจำกัดอยู่เฉพาะในชั้นเรียน ควรศึกษาติดตามจากหนังสืออื่นๆ เพราะพัฒนาการทางวิทยาศาสตร์ก้าวไปข้างหน้าตลอดเวลา

เฉลยแบบฝึกหัดบทที่ 13

คำถาม

13.1 ปรากฏการณ์ธรรมชาติของไฟฟ้า

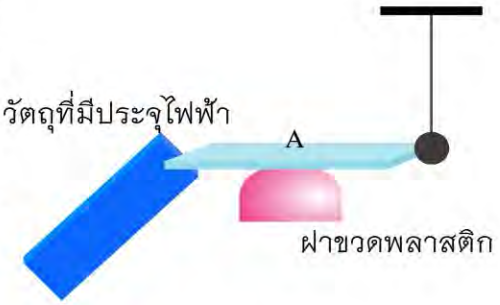
13.2 ประจุไฟฟ้า

1. A B C เป็นแผ่นวัตถุสามชนิดที่ทำให้มีประจุโดยการถู ซึ่งได้ผลดังนี้
   A และ B ดูดกัน A และ C ผลักกัน ข้อความต่อไปนี้ ข้อใดถูกต้อง
   ก. A และ C มีประจุบวก แต่ B มีประจุลบ
   ข. A และ B มีประจุลบ แต่ C มีประจุบวก
   ค. A และ C มีประจุบลบ แต่ B มีประจุบวก
   ง. B และ C มีประจุบลบ แต่ A มีประจุบวก
   <u>แนวคำตอบ</u> ข้อ ก และข้อ ค

2. เมื่อใช้มือถูลูกโป่งที่เป่าแล้วผูกปากลูกโป่งไว้ จากนั้นนำลูกโป่งเข้าใกล้เศษกระดาษชิ้นเล็กๆ หรือเม็ดโฟม ผลจะเป็นอย่างไร เพราะเหตุใด
   <u>แนวคำตอบ</u> เศษกระดาษชิ้นเล็กๆ หรือเม็ดโฟมถูกดูดเข้าหาลูกโป่ง เพราะมีแรงเนื่องจากประจุไฟฟ้าบนลูกโป่งกระทำกับวัตถุดังกล่าว

13.3 กฎการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า

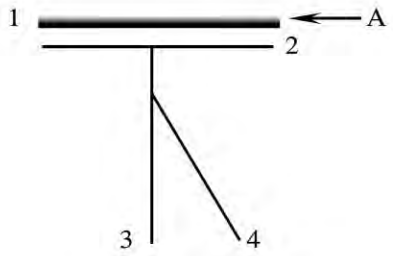
3. นำเม็ดโฟมที่เป็นทรงกลมเล็กๆ และฉาบด้วยโลหะหรือสารที่เป็นตัวนำไปแขวนด้วยเส้นด้าย แล้วปล่อยให้ห้อยอยู่ในแนวดิ่ง โดยผิวของทรงกลมเล็กๆ นั้นสัมผัสกับแท่งวัตถุ A ที่วางบนฝาขวดพลาสติก แล้วนำแท่งวัตถุที่มีประจุไฟฟ้ามาแตะอีกปลายหนึ่งของแท่งวัตถุ A ดังรูป ทรงกลมจะวางตัวอย่างไร ถ้า
   ก. วัตถุ A เป็นตัวนำ
   ข. วัตถุ A เป็นฉนวน
   <u>แนวคำตอบ</u> ก. ทรงกลมจะเบนออกจาก A
   ข. ทรงกลมจะวางตัวเช่นเดิม



รูปสำหรับคำถามข้อ 3

13.4 การเหนี่ยวนำไฟฟ้า

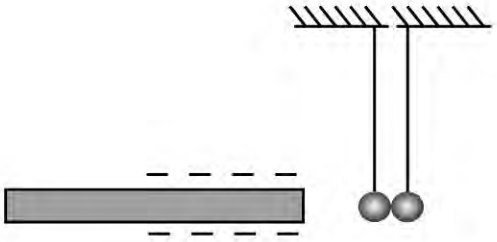
4. ถ้านำวัตถุที่มีประจุบวกไปเหนี่ยวนำ เพื่อทำให้อิเล็กโทรสโคปซึ่งเดิมเป็นกลางทางไฟฟ้ามีประจุ แล้วนำวัตถุ A เข้าใกล้ ปรากฏว่าแผ่นโลหะของอิเล็กโทรสโคปกางเพิ่มขึ้นทันที ประจุไฟฟ้าที่ตำแหน่ง 1, 2, 3 และ 4 เป็นประจุชนิดใด



รูปสำหรับคำถามข้อ 4

แนวคำตอบ ประจุไฟฟ้าที่ตำแหน่ง 1, 2, 3 และ 4 เป็นประจุลบ บวก ลบและลบตามลำดับ

5. เมื่อนำวัตถุที่มีประจุลบเข้าใกล้ทางซ้ายของโลหะทรงกลมสองลูกที่เป็นกลาง ซึ่งวางสัมผัสกัน แล้วแยกทรงกลมทั้งสองออกจากกัน ทรงกลมทางซ้ายและทางขวามือจะมีประจุชนิดใด



รูปสำหรับคำถามข้อ 5

แนวคำตอบ ทรงกลมทางซ้ายจะมีประจุบวก ทรงกลมทางขวาจะมีประจุลบ

6. เมื่อนำวัตถุที่มีประจุบวกเข้ามาใกล้ลูกพิทที่เป็นกลาง จงอธิบายลักษณะการเหนี่ยวนำไฟฟ้าที่เกิดขึ้น

แนวคำตอบ วัตถุที่มีประจุบวกจะเหนี่ยวนำทำให้ผิวลูกพิทด้านใกล้วัตถุและด้านไกลวัตถุ มีประจุลบและบวกตามลำดับ จะเกิดทั้งแรงดึงดูดและแรงผลัก แต่แรงดึงดูดมีค่ามากกว่าแรงผลัก เป็นผลให้ลูกพิทถูกดึงดูดเข้าหาวัตถุ

7. ถ้านำวัตถุที่มีประจุบวกเข้าใกล้จานโลหะของอิเล็กโทรสโคปที่เป็นกลาง ผลจะเป็นอย่างไร เหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น

แนวคำตอบ วัตถุที่มีประจุบวกจะเหนี่ยวนำทำให้จานโลหะมีประจุลบ ทำให้แผ่นโลหะบางมีประจุบวก เป็นผลให้แผ่นโลหะบางกางออก

13.5 แรงระหว่างประจุและกฎของคูลอมบ์

8. เมื่อถูลูกโป่งแล้วไปแตะกับกำแพง ลูกโป่งจะติดอยู่กับกำแพงได้ เป็นเพราะเหตุใด

แนวคำตอบ เพราะที่ผิวกำแพงด้านใกล้ลูกโป่งจะถูกเหนี่ยวนำให้เกิดประจุชนิดตรงข้าม ทำให้มีแรงดึงดูดลูกโป่งเข้าหากำแพง

9. ตัวนำทรงกลม A และ B มีขนาดเท่ากัน A มีประจุ $+2Q$ B มีประจุ $-Q$ โยง A และ B เข้าด้วยกันด้วยลวดขนาดเล็กมาก แล้วเอาลวดออก ข้อความใดต่อไปนี้ถูกต้อง

ก. จำนวนประจุบน A มีค่าเป็น $\frac{1}{2}$ เท่าของจำนวนประจุเดิม

ข. อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จาก A ไป B

ค. จำนวนประจุบน B มีค่าเป็น $\frac{1}{2}$ เท่าของจำนวนประจุเดิม

แนวคำตอบ ข้อ ค

13.6 สนามไฟฟ้า

13.7 เส้นสนามไฟฟ้า

13.8 ศักย์ไฟฟ้า

10. ประจุ $+Q$ เคลื่อนที่จากแผ่นโลหะที่มีศักย์ไฟฟ้าบวกไปยังแผ่นโลหะที่มีศักย์ไฟฟ้าลบตามแนวเส้นตรง ถ้าเขียนกราฟระหว่างแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าที่กระทำต่อประจุ $+Q$ กับระยะทางที่ประจุ $+Q$ เคลื่อนที่ได้ จะได้กราฟลักษณะอย่างไร

แนวคำตอบ กราฟที่ได้จะเป็นกราฟเส้นตรงขนานกับแกนระยะทาง ทั้งนี้ เนื่องจากสนามไฟฟ้าในบริเวณที่ประจุ $+Q$ เคลื่อนที่เป็นสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าที่กระทำต่อประจุ $+Q$ จึงมีค่าคงตัวตลอดระยะทางที่เคลื่อนที่

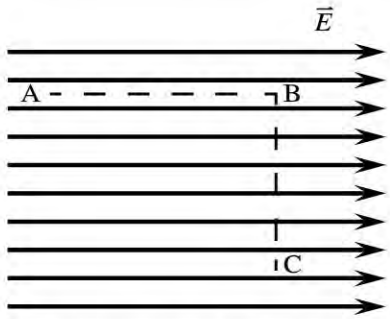
11. ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ ดังรูป ข้อความใดต่อไปนี้ถูกต้อง

ก. สนามไฟฟ้าที่จุด A, B และ C มีขนาดเท่ากัน

ข. แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าที่กระทำต่อประจุ $+q, -q, -q$ เมื่อประจุอยู่ที่ตำแหน่ง A, B และ C ตามลำดับ มีขนาดเท่ากัน

ค. ศักย์ไฟฟ้าที่ A มากกว่าศักย์ไฟฟ้าที่ B และศักย์ไฟฟ้าที่ B มากกว่าศักย์ไฟฟ้าที่ C

<u>แนวคำตอบ</u> ข้อ ก และ ข้อ ข



รูปสำหรับคำถามข้อ 11

12. ข้อความใดต่อไปนี้ถูกต้อง
    ก. เส้นสนามไฟฟ้า คือเส้นที่เขียนขึ้นเพื่อแสดงทิศทางของแรงลัพธ์ที่กระทำต่อประจุไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่างๆ ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้า
    ข. เมื่อให้ประจุไฟฟ้าจำนวนเท่ากันบนตัวนำทรงกลมขนาดต่างกัน ตัวนำทรงกลมขนาดเล็กจะมีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าตัวนำทรงกลมขนาดใหญ่
    ค. อัตราส่วนระหว่างศักย์ไฟฟ้าบนตัวนำทรงกลมกับประจุไฟฟ้าเท่ากับความจุของตัวนำ

<u>แนวคำตอบ</u> ข้อ ข

13.9 ตัวเก็บประจุและความจุ

ปัญหา

13.1 ปรากฏการณ์ธรรมชาติทางไฟฟ้า

13.2 ประจุไฟฟ้า

1. ลูกพิทลูกหนึ่งสูญเสียอิเล็กตรอนไป 10^4 ตัว ลูกพิทนี้มีประจุไฟฟ้าเท่าใด

   วิธีทำ เนื่องจากลูกพิทเสียอิเล็กตรอนไป ลูกพิทจึงมีประจุบวก หรือมีจำนวนโปรตอนเกินอยู่ 10^4 ตัว แต่โปรตอน 1 ตัวมีประจุไฟฟ้า $+1.6 \times 10^{-19}$ C

   ดังนั้น ลูกพิทมีประจุไฟฟ้า $= +1.6 \times 10^{-19} \times 10^4$ C $= +1.6 \times 10^{-15}$ C

   คำตอบ ลูกพิทมีประจุไฟฟ้าเท่ากับ $+1.6 \times 10^{-15}$ คูลอมบ์

13.3 กฎการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า

13.4 การเหนี่ยวนำไฟฟ้า

13.5 แรงระหว่างประจุและกฎของคูลอมบ์

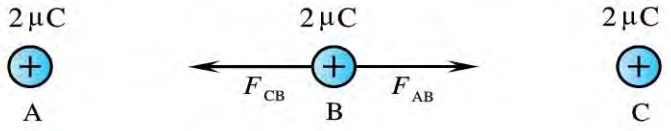
2. จุดประจุ 2 ไมโครคูลอมบ์ 3 จุดประจุ วางเรียงกันเป็นแนวเส้นตรงห่างกันช่วงละ 30 เซนติเมตร จงหาขนาดและทิศทางของแรงที่กระทำต่อประจุตรงจุดกึ่งกลาง เมื่อ

   ก. จุดประจุทั้งสามเป็นชนิดบวก

   ข. จุดประจุที่ปลายทั้งสองข้างเป็นชนิดบวกและที่ตรงจุดกึ่งกลางเป็นชนิดลบ

   ค. จุดประจุที่ปลายข้างหนึ่งเป็นชนิดลบและตรงจุดกึ่งกลางกับปลายอีกข้างหนึ่งเป็นชนิดบวก

   วิธีทำ



รูปสำหรับปัญหาข้อ 2 ก.

ก. ให้ประจุทั้ง 3 อยู่ที่ตำแหน่ง A, B และ C ดังรูป

F_{AB} เป็นแรงเนื่องจากประจุที่ A กระทำต่อประจุที่ B

F_{CB} เป็นแรงเนื่องจากประจุที่ C กระทำต่อประจุที่ B

จากสมการ $F = \dfrac{kQ_1Q_2}{r^2}$

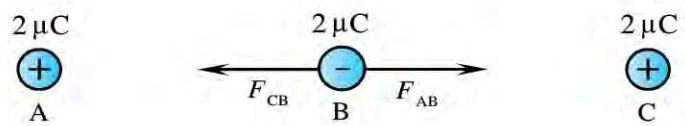
เมื่อ $k = 9.0\times10^{9}\ \mathrm{Nm^2/C^2}$, $r = 3\times10^{-1}\ \mathrm{m}$

ประจุที่จุด A, B และ C มีขนาดเท่ากันและเท่ากับ 2×10^{-6} C

แทนค่า $F_{AB} = \dfrac{(9.0\times10^{9}\,\mathrm{Nm^2/C^2})(2\times10^{-6}\,\mathrm{C})(2\times10^{-6}\,\mathrm{C})}{(3\times10^{-1})^2\,\mathrm{m^2}} = 4\times10^{-1}\ \mathrm{N}$

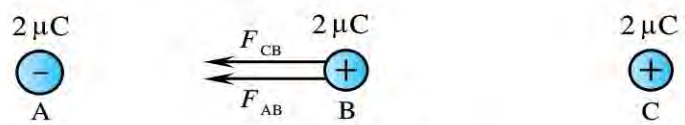
$F_{CB} = \dfrac{(9.0\times10^{9}\,\mathrm{Nm^2/C^2})(2\times10^{-6}\,\mathrm{C})(2\times10^{-6}\,\mathrm{C})}{(3\times10^{-1})^2\,\mathrm{m^2}} = 4\times10^{-1}\ \mathrm{N}$

จะเห็นว่าขนาดของแรง F_{AB} เท่ากับขนาดของแรง F_{CB} แต่มีทิศทางตรงข้าม ดังนั้น แรงลัพธ์ที่กระทำต่อจุดประจุตรงกึ่งกลาง (B) เท่ากับศูนย์



รูปสำหรับปัญหาข้อ 2 ข.

ข. เนื่องจากประจุที่จุด A, B และ C ขนาดเท่าเดิม และระยะห่าง AB และ BC เท่าเดิม จะได้ขนาดของแรง $F_{AB} = F_{CB}$ แต่ทิศทางตรงข้าม ดังนั้น แรงลัพธ์ที่กระทำต่อจุดประจุตรงจุดกึ่งกลาง (B) เท่ากับศูนย์



รูปสำหรับปัญหาข้อ 2 ค.

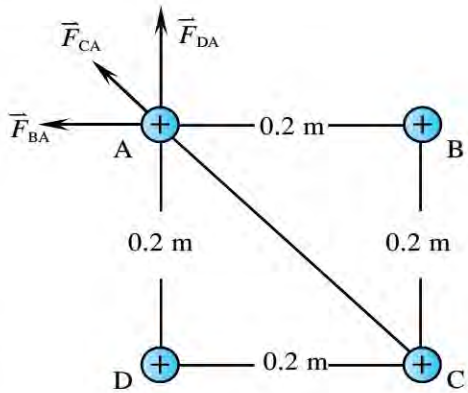
ค. ขนาดของ F_{AB} และ F_{CB} เท่าเดิม แต่มีทิศทางเดียวกัน แรงลัพธ์ที่กระทำที่จุด B จึงเท่ากับ $4\times10^{-1}\,\mathrm{N} + 4\times10^{-1}\,\mathrm{N} = 8\times10^{-1}\,\mathrm{N}$ ทิศทางพุ่งเข้าหาประจุลบ

<u>คำตอบ</u> ก. ขนาดของแรงลัพธ์ที่กระทำต่อจุดประจุตรงกึ่งกลาง (B) เท่ากับศูนย์

ข. เหมือนข้อ ก.

ค. ขนาดของแรงลัพธ์ที่กระทำต่อจุดประจุตรงกึ่งกลาง (B) เท่ากับ 8×10^{-1} นิวตัน มีทิศทางพุ่งเข้าหาประจุลบ

3. ที่แต่ละมุมของสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีความยาวด้านละ 0.2 เมตร มีจุดประจุขนาด 1.0×10^{-8} คูลอมบ์ จงหาขนาดของแรงที่กระทำต่อจุดประจุแต่ละจุดประจุ



รูปสำหรับปัญหาข้อ 3

วิธีทำ ให้ ABCD เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ยาวด้านละ 0.2 m และมีจุดประจุ 1.0×10^{-8} C อยู่ที่แต่ละมุมดังรูป จากรูป

$$\overline{AC} = \sqrt{(0.2\text{m})^2+(0.2\text{m})^2}$$

$$= \sqrt{(0.08\text{m}^2)}$$

$$= \sqrt{(8\times10^{-2}\text{m}^2)}$$

$$= 2\sqrt{2}\times10^{-1}\text{m}$$

ขนาดของแรง $F_{BA} = F_{DA} = \dfrac{kQ_1Q_2}{r^2}$

$$= \frac{(9\times10^9\,\text{Nm}^2/\text{C}^2)(1.0\times10^{-8}\,\text{C})(1.0\times10^{-8}\,\text{C})}{(0.2)^2\,\text{m}^2}$$

ขนาดของแรง $F_{BA} = F_{DA} = 2.25\times10^{-5}$ N มีทิศทางแสดงดังรูป

ขนาดของแรง $F_{CA} = \dfrac{(9\times10^9\,\text{Nm}^2/\text{C}^2)(1.0\times10^{-8}\,\text{C})(1.0\times10^{-8}\,\text{C})}{(2\sqrt{2}\times10^{-1}\,\text{m})^2}$

$F_{CA} = 1.13\times10^{-5}$ N มีทิศทางดังแสดงในรูป

ขนาดของแรง $F_{BA} = F_{DA} = 2.25\times10^{-5}$ N

ดังนั้น แรงลัพธ์ของแรงทั้งสองจะอยู่ในแนวเดียวกับแรง $\vec{F}_{CA}$ และมีทิศทางไปทางเดียวกัน

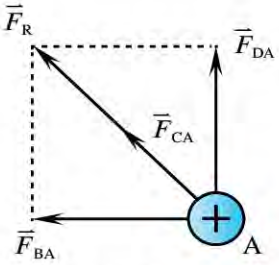
ให้ $\vec{F}_R$ เป็นแรงลัพธ์ของแรง $\vec{F}_{BA}$ กับแรง $\vec{F}_{DA}$

$$\vec{F}_R = \vec{F}_{BA} + \vec{F}_{DA}$$

$$F_R = \sqrt{F_{BA}^2 + F_{DA}^2}$$

$$= \sqrt{(2.25\times10^{-5}\text{ N})^2 + (2.25\times10^{-5}\text{ N})^2}$$

$$F_R = 3.18\times10^{-5}\text{ N}$$



รูป แสดงทิศของแรง F_{CA} และ F_R

แรง $\vec{F}_R$ มีทิศทางเดียวกับแรง $\vec{F}_{CA}$

ดังนั้นแรงลัพธ์ที่กระทำที่จุด A $= F_R + F_{CA}$

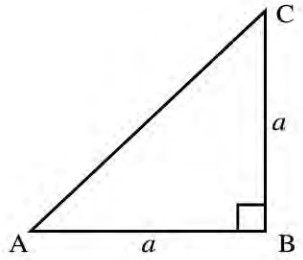
$$= (3.18\times10^{-5}\,\text{N}) + (1.13\times10^{-5}\,\text{N})$$

$$= 4.31\times10^{-5}\ \text{N}$$

ขนาดของแรงลัพธ์ที่กระทำที่จุด A เท่ากับ 4.3×10^{-5} N มีทิศทางไปทางเดียวกับ $\vec{F}_{CA}$

คำตอบ วิธีหาขนาดของแรงลัพธ์ที่กระทำที่จุด B, C และ D ทำได้เช่นเดียวกับจุด A และแรงลัพธ์มีขนาด 4.3×10^{-5} นิวตัน เช่นกัน

4. ABC เป็นสามเหลี่ยมมุมฉาก มีด้านประกอบมุมฉากยาวด้านละ a ดังรูป ถ้าที่จุด A, B และ C มีประจุไฟฟ้า $+q, +\frac{q}{2}$ และ $-q$ ตามลำดับ ขนาดของแรงที่กระทำต่อประจุที่ B มีค่าเท่าใด

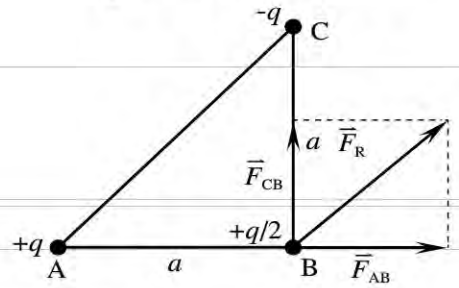


รูปสำหรับปัญหาข้อ 4

วิธีทำ พิจารณาขนาดของแรงที่กระทำต่อประจุที่ B

$$F_{AB} = \frac{k(q)(q/2)}{a^2} = \frac{kq^2}{2a^2}$$

$$F_{CB} = \frac{k(q)(q/2)}{a^2} = \frac{kq^2}{2a^2}$$



รูปสำหรับปัญหาข้อ 4

ทิศทางของ $\vec{F}_{AB}$ และ $\vec{F}_{CB}$ แสดงดังรูป

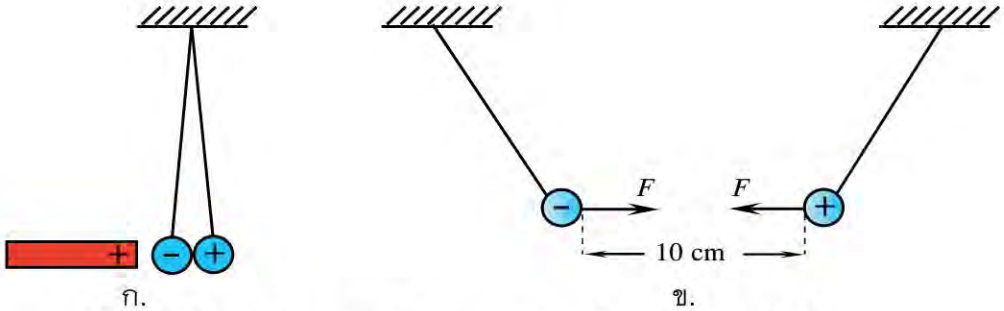
จะได้ $F_R = \sqrt{F_{AB}^2 + F_{CB}^2} = \sqrt{\left(\frac{kq^2}{2a^2}\right)^2 + \left(\frac{kq^2}{2a^2}\right)^2}$

$$F_R = \frac{1}{\sqrt{2}}\frac{kq^2}{a^2}$$

คำตอบ ขนาดของแรงลัพธ์ที่กระทำต่อประจุไฟฟ้าที่ B มีค่า $\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{kq^2}{a^2}$ มีทิศทางดังรูป

5. นำแผ่นพีวีซีที่มีประจุเข้าใกล้ลูกพิทสองลูกที่แขวนอยู่โดยผิวของลูกพิททั้งสองสัมผัสกัน ต่อมาแยกลูกพิททั้งสองออกจากกันเป็นระยะห่าง 10.0 เซนติเมตร แล้วดึงแผ่นพีวีซีออก ปรากฏว่าลูกพิททั้งสองดึงดูดกันด้วยแรง 9.0×10^{-1} นิวตัน มีอิเล็กตรอนจำนวนเท่าใดที่เคลื่อนที่จากลูกพิทลูกหนึ่งไปยังลูกพิทอีกลูกหนึ่ง (อิเล็กตรอนมีประจุ -1.6×10^{-19} คูลอมบ์)

วิธีทำ สมมติว่าแผ่นพีวีซีมีประจุไฟฟ้าบวก การเหนี่ยวนำให้เกิดประจุบนลูกพิททั้งสองเป็นดังรูป ก



รูปสำหรับปัญหาข้อ 5 ก. ข. แสดงลูกพิทแต่ละลูกมีประจุไฟฟ้า

จากสมการ $F = \dfrac{kQ_1Q_2}{r^2}$

เนื่องจากประจุที่เกิดบนลูกพิททั้งสอง เป็นประจุต่างชนิดกัน แต่มีขนาดเท่ากัน เมื่อแยกออกจากกัน จึงมีแรงดึงดูดกัน เมื่อแทนขนาดของแรงนี้ในสมการจะได้

$$9.0\times10^{-1}\ \text{N} = \frac{(9.0\times10^{9}\ \text{Nm}^2/\text{C}^2)\ Q^2}{(10^{-1})^2\ \text{m}^2}$$

$$Q^2 = \frac{(9.0\times10^{-1}\text{N})(10^{-2}\text{m}^2)}{9.0\times10^{9}\ \text{Nm}^2/\text{C}^2}$$

$$Q = 10^{-6}\ \text{C}$$

อิเล็กตรอน 1 ตัว มีประจุ 1.6×10^{-19} C

ดังนั้น จำนวนอิเล็กตรอน $= \dfrac{10^{-6}}{1.6\times10^{-19}}$ ตัว $= 0.63\times10^{13}$ ตัว

คำตอบ มีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากลูกพิทลูกหนึ่งไปยังอีกลูกหนึ่ง 6.3×10^{12} ตัว

6. เมื่อวางลูกพิทที่มีประจุห่างกัน 10.0 เซนติเมตร ปรากฏว่ามีแรงกระทำต่อกัน 10^{-6} นิวตัน ถ้าวางลูกพิททั้งสองห่างกัน 2.0 เซนติเมตร จะมีแรงกระทำระหว่างกันเท่าใด

วิธีทำ จากสมการ $F = \dfrac{kQ_1Q_2}{r^2}$ ในกรณีนี้ $Q_1 = Q_2 = Q$

เมื่อ $F = 10^{-6}$ N และ $r = 10^{-1}$ m

แทนค่าในสมการ $10^{-6}\ \text{N} = \dfrac{kQQ}{(10^{-1}\ \text{m})^2}$

เพราะฉะนั้น $kQQ = 10^{-8}\ \text{Nm}^2$

เมื่อวางลูกพิทห่างกัน 2.0 cm $= 2\times10^{-2}$ m

ดังนั้น $F = \dfrac{kQQ}{r^2} = \dfrac{10^{-8}\ \text{N.m}^2}{(2\times10^{-2}\ \text{m})^2} = 2.5\times10^{-5}$ N

คำตอบ ลูกพิททั้งสองมีแรงกระทำต่อกันเท่ากับ 2.5×10^{-5} นิวตัน

13.6 สนามไฟฟ้า

7. ที่ตำแหน่งซึ่งห่างจากจุดประจุเป็นระยะ 2.0 เซนติเมตร มีขนาดของสนามไฟฟ้าเป็น 1.0×10^5 นิวตันต่อคูลอมบ์ จงหาขนาดของสนามไฟฟ้าที่ห่างจากจุดประจุนี้ 1.0 เซนติเมตร

วิธีทำ

จากสูตร $E = \dfrac{kQ}{r^2}$

เมื่อ E คือ ขนาดของสนามไฟฟ้า $= 1.0\times10^5$ N/C

$k = 9.0\times10^9$ Nm^2/C^2

Q คือ ขนาดของประจุไฟฟ้าที่ทำให้มีสนามไฟฟ้า E

r คือ ระยะห่างจากจุดประจุ $= 2.0\times10^{-2}$ m

ดังนั้น $1.0\times10^5 \text{ N/C} = \dfrac{(9.0\times10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2)\,Q}{(2.0\times10^{-2})^2 \text{ m}^2}$

$$Q = \frac{(1.0\times10^5)(4.0\times10^{-4})}{9.0\times10^9} \text{ C}$$

โจทย์ให้หา E เมื่อตำแหน่งที่พิจารณาอยู่ห่างจากประจุ $= 1\times10^{-2}$ m

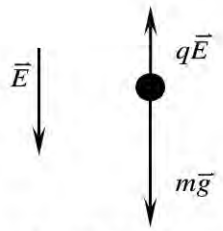
$$E = \frac{(9.0\times10^9 \text{Nm}^2/\text{C}^2)\left(\dfrac{1.0\times10^5\times4.0\times10^{-4}}{9.0\times10^9}\text{C}\right)}{(1\times10^{-2})^2 \text{m}^2} = 4.0\times10^5 \text{ N/C}$$

คำตอบ ณ ตำแหน่งที่ห่างจากประจุนี้ 1.0 เซนติเมตร สนามไฟฟ้ามีค่า 4.0×10^5 นิวตันต่อคูลอมบ์

8. สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ $\vec{E}$ มีขนาด 10^4 นิวตันต่อคูลอมบ์ มีทิศทางลงตามแนวดิ่ง และลูกพิทมวล 0.02 กรัม เคลื่อนที่ลงด้วยความเร่ง 2 เมตรต่อวินาที^{2} ลูกพิทมีประจุชนิดใดและมีประจุกี่คูลอมบ์ ($g = 9.8$ m/s^2)

วิธีทำ

เนื่องจากลูกพิทเคลื่อนที่ลงด้วยความเร่ง 2 เมตรต่อวินาที^{2} ซึ่งน้อยกว่าค่า g ดังนั้น แรงที่กระทำต่อลูกพิทต้องมีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางของสนามไฟฟ้า คือ มีทิศทางขึ้นตามแนวดิ่งประจุบนลูกพิทจึงเป็นประจุลบ



รูปสำหรับปัญหาข้อ 8
แรงกระทำต่อลูกพิท

กำหนดให้ประจุบนลูกพิทมีค่า $= q$

จากกฎข้อ 2 ของนิวตัน $\Sigma\vec{F} = m\vec{a}$

$$mg - qE = ma$$

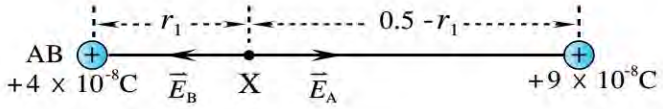
$$(0.02\times10^{-3}\ \text{kg})(9.8\ \text{m/s}^2) - q\,(1.0\times10^{4}\ \text{N/C}) = (0.02\times10^{-3}\ \text{kg})(2\ \text{m/s}^2)$$

$$q = 1.56\times10^{-8}\ \text{C}$$

คำตอบ ลูกพิทมีประจุลบ ที่มีขนาดประมาณ 1.6×10^{-8} คูลอมบ์

9. จุดประจุ $+4\times10^{-8}$ คูลอมบ์ และ $+9\times10^{-8}$ คูลอมบ์ อยู่ห่างกัน 0.5 เมตร จงหาตำแหน่งตามแนวเส้นตรงระหว่างจุดประจุทั้งสองที่มีสนามไฟฟ้าเป็นศูนย์

วิธีทำ



รูปสำหรับปัญหาข้อ 9 แสดงทิศทางของสนามไฟฟ้า ($\vec{E}$)

สมมติให้สนามไฟฟ้าเป็นศูนย์ ณ ตำแหน่ง x ซึ่งอยู่ห่างจากจุด A เป็นระยะ r_1 และระยะห่างระหว่างจุด A และ B เป็นระยะ r

$\vec{E}_A$ คือ สนามไฟฟ้าที่ x เนื่องจากประจุที่ A

$\vec{E}_B$ คือ สนามไฟฟ้าที่ x เนื่องจากประจุที่ B

โจทย์กำหนดให้ $\vec{E}_A + \vec{E}_B = 0$ นั่นคือ ขนาดของ $E_A = E_B$ แต่มีทิศทางตรงกันข้าม

จากสมการ $E = \dfrac{kQ}{r^2}$

ได้ $E_A = k\dfrac{(4\times10^{-8}\text{C})}{r_1^2}$

ได้ $E_B = k\dfrac{(9\times10^{-8}\text{C})}{(0.5-r_1)^2}$

แต่ $E_A = E_B$

ดังนั้น $k\dfrac{4\times10^{-8}}{r_1^2} = k\dfrac{9\times10^{-8}}{(0.5-r_1)^2}$

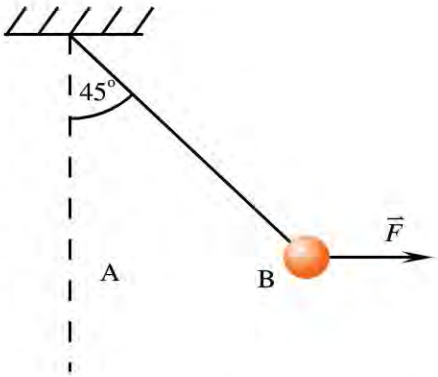
$$\frac{(0.5-r_1)^2}{r_1^2} = \frac{9}{4}$$

$$\frac{0.5-r_1}{r_1} = \frac{3}{2}$$

$$r_1 = \frac{1}{5}\ \text{m} = 0.2\ \text{m}$$

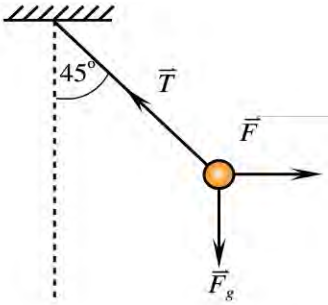
คำตอบ ตำแหน่งบนเส้นตรงที่มีขนาดสนามไฟฟ้าเป็นศูนย์ อยู่ห่างจากจุดประจุ $+4\times10^{-8}$ คูลอมบ์ เป็นระยะทาง 0.2 เมตร

10. ทรงกลมขนาดเล็กแขวนอยู่ในแนวดิ่งด้วยเชือกเบาที่เป็นฉนวน เมื่อทรงกลมหยุดนิ่งในสนามไฟฟ้าที่สม่ำเสมอ โดยมีทิศทางของแรงอยู่ในแนวระดับ ดังรูป ถ้าทรงกลมมีประจุ -2.5×10^{-6} คูลอมบ์ และมีมวล 0.015 กรัม จงหาขนาดและทิศทางของสนามไฟฟ้า



รูปสำหรับปัญหาข้อ 10

วิธีทำ จากโจทย์แรงที่กระทำต่อทรงกลมจะมีลักษณะ ดังรูป



เมื่อ T คือ แรงตึงในเชือก

$\vec{F}_g$ คือ น้ำหนักวัตถุ

$\vec{F}_E$ คือ แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้า

เมื่อทรงกลมหยุดนิ่ง จะได้

$$T\sin\theta = F \text{ และ } T\cos\theta = F_g$$

$$\therefore \quad \tan\theta = \frac{F}{F_g}$$

$$F = F_g \tan\theta$$

จาก จะได้ $F = qE$

$$qE = mg\tan\theta$$

ดังนั้น $(2.5\times10^{-6}\text{ C})\,E = (0.015\times10^{-3}\text{ kg})\,(9.80\text{ m/s}^2)\tan 45^\circ$

$$E = 59 \quad \text{N/C}$$

คำตอบ สนามไฟฟ้ามีขนาด 59 นิวตันต่อคูลอมบ์ มีทิศทางจาก B ไป A (เนื่องจากทรงกลมมีประจุลบ)

11. มีแผ่นโลหะสองแผ่นที่ขนานกันและอยู่ห่างกัน 3 มิลลิเมตร ถ้าความต่างศักย์ระหว่างแผ่นโลหะทั้งสองเท่ากับ 90 โวลต์ สนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะคู่นี้มีค่าเท่าใด

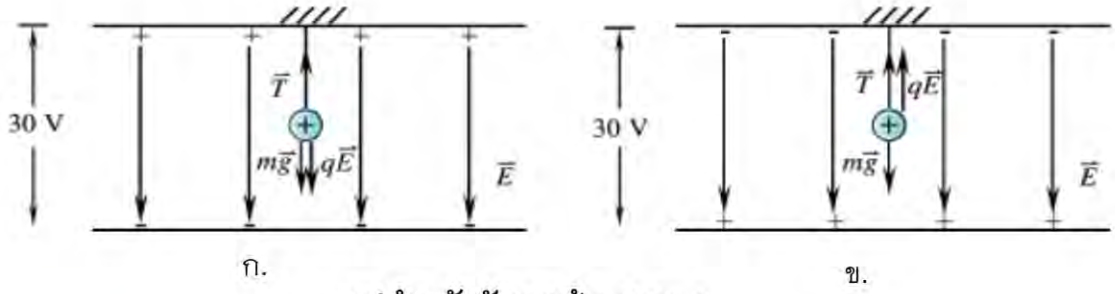
วิธีทำ หาสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะจาก $E = \dfrac{V}{d}$

เมื่อ $V = 90\text{ V}$ และ $d = 3\times10^{-3}\text{ m}$

ได้ $E = \dfrac{90\text{ V}}{3\times10^{-3}\text{ m}} = 3\times10^{4}\text{ V/m}$

คำตอบ สนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะคู่นี้มีค่า 3×10^{4} โวลต์ต่อเมตร

12. แผ่นตัวนำขนานห่างกัน 10 เซนติเมตร มีความต่างศักย์ 30 โวลต์ ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอตามแนวดิ่ง เมื่อนำลูกพิทมวล 0.60 กรัม และมีประจุ 19.6×10^{-6} คูลอมบ์ มาแขวนด้วยเส้นด้ายน้ำหนักเบาที่ยาว 5 เซนติเมตร โดยปลายหนึ่งผูกติดอยู่กับแผ่นโลหะแผ่นบน แรงดึงในเส้นด้ายจะมีค่าเท่าใด และถ้าเส้นด้ายขาดลูกพิทจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งเท่าใด



รูปสำหรับปัญหาข้อ 12 ก. ข.

วิธีทำ

ถ้าสนามไฟฟ้า $\bar{E}$ มีทิศทางดังรูป ก

มีแรงที่กระทำต่อประจุ 19.6×10^{-6} C ดังรูป เมื่อ T เป็นแรงตึงในเส้นด้ายขณะที่ลูกพิทอยู่นิ่ง

จะได้ $T - mg - qE = 0$ หรือ $T = mg + qE$

เมื่อ $m = 0.6\times10^{-3}$ kg , $g = 9.8$ m/s^2 , $q = 19.6 \times 10^{-6}$ C

เนื่องจาก $E = \dfrac{V}{d}$ โดยที่ $V = 30$ V และ $d = 1.0\times10^{-1}$ m

จะได้ $E = \dfrac{30 \text{ V}}{1.0\times10^{-1} \text{ m}} = 300$ V/m

ดังนั้น $T = mg + qE$

$$T = (0.6\times10^{-3}\text{kg})(9.8 \text{ m/s}^2) + (19.6\times10^{-6}\text{C})(300\frac{\text{V}}{\text{m}})$$

$$= 1.2\times10^{-2} \text{ N}$$

ถ้าเส้นด้ายขาด $T = 0$

ความเร่งของลูกพิท $a = \dfrac{F}{m} = \dfrac{1.2\times10^{-2} \text{ N}}{0.6\times10^{-3} \text{ kg}} = 20$ m/s^2

ถ้าสนามไฟฟ้า E และแรงที่กระทำต่อประจุ q (19.6×10^{-6} C) มีทิศทางดังรูป ข เมื่อลูกพิทอยู่นิ่ง

$$\bar{T} + q\bar{E} + m\bar{g} = 0$$

$$T + qE = mg$$

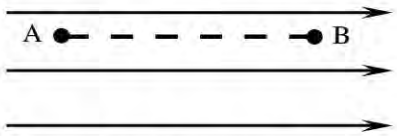
$$T = mg - qE$$

$$mg = (0.6\times10^{-3}\ \text{kg})(9.8\ \text{m/s}^2) = 5.88\times10^{-3}\ \text{N}$$
$$qE = (19.6\times10^{-6}\ \text{C})(300\ \text{N/C}) = 5.88\times10^{-3}\ \text{N}$$

จะเห็นได้ว่า $mg = qE$ นั่นคือ ความตึง $T = 0$ แสดงว่าเชือกไม่ตึง ในกรณีนี้ถ้าเส้นด้ายขาด ความเร่งจะเป็นศูนย์

คำตอบ ในรูป ก แรงดึงในเส้นด้ายเท่ากับ 1.2×10^{-2} นิวตัน เมื่อเส้นด้ายขาด ความเร่งของลูกพิทเท่ากับ 20 เมตรต่อวินาที^{2} ในรูป ข แรงดึงในเส้นด้ายเป็นศูนย์ และเมื่อเส้นด้ายขาด ความเร่งจะเป็นศูนย์

13. ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ ดังรูป ถ้าเลื่อนประจุไฟฟ้า +10 ไมโครคูลอมบ์ จากระยะอนันต์มาที่ A และ B ต้องทำงาน 100 จูล และ 60 จูล ตามลำดับ ถ้าจุด A และ B อยู่ห่างกัน 0.5 เมตร สนามไฟฟ้ามีค่าเท่าใด



รูปสำหรับปัญหาข้อ 13

วิธีทำ หา V_A และ V_B

เลื่อนประจุ 10×10^{-6} C มาไว้ที่ A ต้องทำงาน 100 J

เลื่อนประจุ 1 C มาไว้ที่ A ต้องทำงาน $\dfrac{100\text{J}}{10\times10^{-6}\text{C}} = 10\times10^{6}\ \text{J/C} = 10\times10^{6}$ V

นั่นคือ $V_A = 10\times10^{6}$ V

ดังนั้น $V_B = \dfrac{60\ \text{J}}{10\times10^{-6}\text{C}} = 6\times10^{6}\ \text{J/C} = 6\times10^{6}$ V

จากสมการ $Ed = V_A - V_B$

$$E = \frac{(10\times10^{6}\text{V})-(6\times10^{6}\text{V})}{0.5\ \text{m}} = \frac{4\times10^{6}}{0.5}\ \text{V/m} = 8\times10^{6}\ \text{V/m}$$

คำตอบ ขนาดของสนามไฟฟ้ามีค่า 8×10^{6} V/m

13.7 เส้นสนามไฟฟ้า

13.8 ศักย์ไฟฟ้า

14. ตำแหน่งซึ่งห่างจากศูนย์กลางของตัวนำทรงกลมที่มีประจุไฟฟ้าเป็นระยะ 70.0 เซนติเมตร มีสนามไฟฟ้าเท่ากับ 500 นิวตันต่อคูลอมบ์ และสนามไฟฟ้ามีทิศทางเข้าหาศูนย์กลางของทรงกลม

ก. ประจุบนผิวทรงกลมเป็นประจุชนิดใด

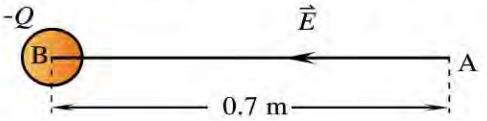
ข. ถ้านำประจุ 10^{-6} คูลอมบ์ ไปวางที่ตำแหน่งซึ่งห่างจากศูนย์กลางของทรงกลมเป็นระยะ 30.0 เซนติเมตร แรงที่กระทำต่อประจุนี้เป็นเท่าใด

ค. ศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งซึ่งห่างจากศูนย์กลางของทรงกลม 20.0 เซนติเมตร มีค่าเท่าใด

ง. ถ้านำประจุ $+2.0 \times 10^{-6}$ คูลอมบ์ จากระยะอนันต์มาไว้ที่ตำแหน่งในข้อ ค. พลังงานศักย์ของประจุนี้เป็นเท่าใด

วิธีทำ ให้ทรงกลมตัวนำอยู่ที่ตำแหน่ง B จุด A ห่างทรงกลมนี้เป็นระยะ 70.0 เซนติเมตร

ก. เนื่องจากทิศทางของสนามไฟฟ้าเข้าหาศูนย์กลางของทรงกลม แสดงว่าประจุบนผิวทรงกลมเป็นประจุลบ



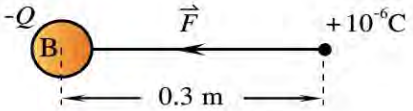
รูปสำหรับปัญหาข้อ 14 ก.

ข. หาประจุไฟฟ้า Q ที่อยู่บนผิวทรงกลมก่อน จากรูป ขนาดของสนามไฟฟ้า

$$E = \frac{kQ}{r^2}$$

จาก $E = 500 \text{ N/C}$

$r = 70 \times 10^{-2} \text{ m}$



รูปสำหรับปัญหาข้อ 14 ข.

ดังนั้น $$500 \text{ N/C} = \frac{9.0 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2 \times Q}{(0.7)^2 \text{ m}^2}$$

ขนาดของประจุ $$Q = \frac{500 \times (0.7)^2}{9.0 \times 10^9} \text{ C} = 2.7 \times 10^{-8} \text{ C}$$

เนื่องจากประจุเป็นลบ ดังนั้น $Q = -2.7 \times 10^{-8} \text{ C}$

จากสูตร $$F = \frac{kQq}{r^2}$$

$$= \frac{(9.0 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2)(2.7 \times 10^{-8} \text{C})(10^{-6} \text{C})}{(0.3)^2 \text{ m}^2}$$

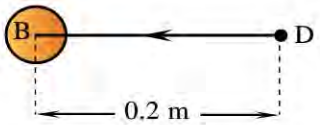
$F = 2.7 \times 10^{-3} \text{ N}$ ทิศทางพุ่งหาทรงกลม

ค. จากสมการ $$V = \frac{kQ}{r}$$

V คือ ศักย์ไฟฟ้า ณ จุด D ซึ่งอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของทรงกลมที่มีประจุ -1.9×10^{-7}C

$r = 0.2 \text{ m}$

$k = 9.0 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$



ดังนั้น $$V = \frac{(9.0 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2)(-2.7 \times 10^{-8} \text{C})}{0.2 \text{ m}}$$

รูปสำหรับปัญหาข้อ 14 ค.

$V = -1.2\times10^{3}$ Nm/C $= -1.2\times10^{3}$ V

ง. จากข้อ ค.

ถ้าประจุไฟฟ้า +1.0 คูลอมบ์ ที่ตำแหน่ง D พลังงานศักย์ของประจุนี้เป็น -8.6×10^{-3} จูล ประจุไฟฟ้า $+2.0\times10^{-6}$ คูลอมบ์ ที่ตำแหน่ง D พลังงานศักย์ของประจุนี้เป็น

$= -1.2\times10^{3}$ V $\times$ 2.0×10^{-6} C $= -2.4\times10^{-3}$ จูล

ข้อสังเกต พลังงานศักย์ของประจุ $+2.0 \times 10^{-6}$ คูลอมบ์ มีค่าลบ เมื่อเทียบจากระยะอนันต์หรือตำแหน่งอ้างอิงซึ่งมีพลังงานศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์ แสดงว่า ณ ตำแหน่งนั้น (ตำแหน่ง D) พลังงานศักย์ไฟฟ้าน้อยกว่าที่ระยะอนันต์

คำตอบ ก. ประจุบนผิวทรงกลมเป็นประจุลบ

ข. แรงที่กระทำต่อประจุ $+10^{-3}$ คูลอมบ์ มีขนาด 2.7×10^{-3} นิวตัน และเป็นแรงดึงดูด

ค. ศักย์ไฟฟ้า ณ จุด D เท่ากับ -1.2×10^{-3} โวลต์ เพราะประจุบนผิวทรงกลมเป็นประจุลบ ทิศทางของแรงเข้าหาทรงกลม

ง. พลังงานศักย์ของประจุ $+2.0 \times 10^{-6}$ คูลอมบ์ ที่ตำแหน่ง D มีค่าเท่ากับ -2.4×10^{-3}จูล

15. ในการเกิดฟ้าผ่าครั้งหนึ่ง มีประจุถ่ายโอนระหว่างเมฆและพื้นดิน 40 คูลอมบ์ และความต่างศักย์ระหว่างเมฆกับพื้นดินมีค่า 8×10^{6} โวลต์ จงหาพลังงานที่เกิดขึ้นเนื่องจากฟ้าผ่านี้ ถ้าความต่างศักย์ระหว่างเมฆกับพื้นดินมีค่าคงเดิม

วิธีทำ ความต่างศักย์ระหว่างเมฆกับพื้นดิน เท่ากับ 8×10^{6} V หมายความว่า

เมื่อประจุ 1 C เคลื่อนที่จากเมฆมายังพื้นดินทำงาน $= 8\times10^{6}$ J

เมื่อประจุ 40 C เคลื่อนที่จากเมฆมายังพื้นดินทำงาน $= \dfrac{8\times10^{6}\,\text{J}\times40\,\text{C}}{1\,\text{C}}$

$= 3.2\times10^{8}$ J

คำตอบ พลังงานที่เกิดขึ้นเนื่องจากฟ้าผ่าเท่ากับ 3×10^{8} จูล

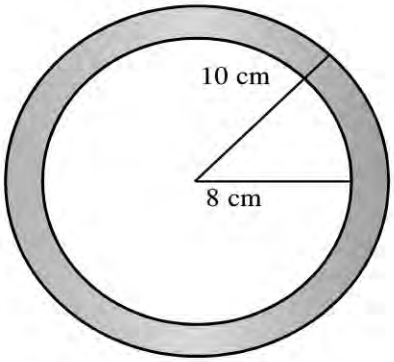
16. ในการนำประจุ 5.0×10^{-4} คูลอมบ์ จากระยะอนันต์ มายังที่จุดหนึ่งในสนามไฟฟ้าต้องทำงาน 5.0×10^{-2} จูล จุดนั้นมีศักย์ไฟฟ้าเท่าใด

วิธีทำ หาศักย์ไฟฟ้าจาก $V = \dfrac{E_p}{q}$ เมื่อ $E_p = 5.0\times10^{-2}$ J และ $q = 5.0\times10^{-4}$ C

ได้ $V = \dfrac{5.0\times10^{-2}\,\text{J}}{5.0\times10^{-4}\,\text{C}} = 1.0\times10^{2}$ V

คำตอบ จุดนั้นมีศักย์ไฟฟ้า 1.0×10^{2} โวลต์

17. ตัวนำทรงกลมลูกหนึ่งมีรัศมีผิวใน 8 เซนติเมตร รัศมีผิวนอก 10 เซนติเมตร และมีประจุไฟฟ้า 10^{-10} ไฟฟ้า คูลอมบ์
ก. สนามไฟฟ้าที่ผิวในและผิวนอกของทรงกลมเป็นเท่าใด
ข. ศักย์ไฟฟ้าภายในทรงกลมเป็นเท่าใด



รูปสำหรับปัญหาข้อ 17

วิธีทำ

ก. ที่ผิวในทรงกลม สนามไฟฟ้า มีค่าเป็น 0
ที่ผิวนอกทรงกลม สนามไฟฟ้า มีค่า

$$E = \frac{kQ}{r^2} = \frac{(9\times10^9\ \mathrm{Nm^2/C^2})}{(10\times10^{-2}\ \mathrm{m})^2}(1\times10^{-10}\ \mathrm{C}) = 90\ \mathrm{N/C}$$

คำตอบ สนามไฟฟ้าที่ผิวในมีค่าเป็น 0 นิวตัน/คูลอมบ์ และที่ผิวนอกมีค่าเป็น 90 นิวตันต่อคูลอมบ์

ข. หาศักย์ไฟฟ้าภายในทรงกลม จาก $V = \frac{kQ}{r}$

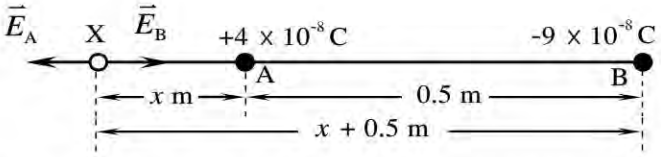
ได้ $$V = \frac{(9\times10^9\ \mathrm{Nm^2/C^2})}{(10\times10^{-2}\ \mathrm{m})}(1\times10^{-10}\ \mathrm{C}) = 9\ \mathrm{V}$$

คำตอบ ศักย์ไฟฟ้าภายในทรงกลม มีค่า 9 โวลต์

18. จุดประจุ $+4 \times 10^{-8}$ คูลอมบ์ และ -9×10^{-8} คูลอมบ์ อยู่ห่างกัน 0.5 เมตร จงหาตำแหน่งบนแนวเส้นตรงที่ผ่านจุดประจุทั้งสองและมี
ก. สนามไฟฟ้าเป็นศูนย์
ข. ศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์

วิธีทำ

ก. หาตำแหน่งบนแนวเส้นตรงที่มีสนามไฟฟ้าเป็นศูนย์ จากรูป



รูปสำหรับปัญหาข้อ 18 ก. แสดงทิศทางของสนามไฟฟ้า

ให้ตำแหน่ง X มีสนามไฟฟ้าเป็นศูนย์ ซึ่งอยู่ห่างจากตำแหน่ง A = X ดังนั้น $E_A = E_B$ แต่ทิศทางตรงข้ามกัน

จากสูตร $E = \dfrac{kQ}{r^2}$

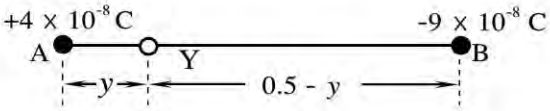
จะได้ $E_A = \dfrac{k(4\times10^{-8}\,\text{C})}{x^2}$ และ $E_B = \dfrac{k(9\times10^{-8}\,\text{C})}{(x+0.5)^2}$

ดังนั้น $\dfrac{k(4\times10^{-8})}{x^2} = \dfrac{k(9\times10^{-8})}{(x+0.5)^2}$

$$4(x+0.5)^2 = 9x^2$$

$$x = 1\ \text{m}$$

ข. หาตำแหน่งบนแนวเส้นตรงที่มีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์ จากรูป



รูปสำหรับปัญหาข้อ 18 ข. กรณีที่ 1

ให้ตำแหน่ง Y อยู่ห่างจากจุดประจุ $4 \times 10^{-8} = y$

V_1 คือ ศักย์ไฟฟ้าที่จุด Y เนื่องจากจุดประจุ 4×10^{-8} C

V_2 คือ ศักย์ไฟฟ้าที่จุด Y เนื่องจากจุดประจุ -9×10^{-8} C

ศักย์ไฟฟ้าที่จุด Y = 0

นั่นคือ $V_1 + V_2 = 0$

เมื่อ Y เป็นจุดที่อยู่บนแนวเส้นตรงระหว่างจุดประจุทั้งสอง ดังรูป 17 ข. กรณีที่ 1

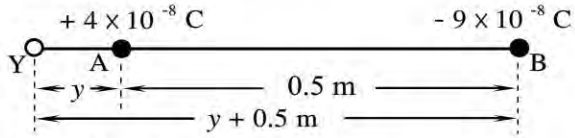
$$V_1 = \frac{kQ}{r} = \frac{(9.0\times10^9\,\text{Nm}^2/\text{C}^2)(4\times10^{-8}\,\text{C})}{y}$$

$$V_2 = \frac{(9.0\times10^9\,\text{Nm}^2/\text{C}^2)(-9\times10^{-8}\,\text{C})}{(0.5-y)}$$

$$\frac{(9.0\times10^9)(4\times10^{-8})}{y} - \frac{(9.0\times10^9)(9\times10^{-8})}{0.5-y} = 0$$

$$\frac{4}{y} - \frac{9}{0.5 - y} = 0$$

$$y = 0.15 \text{ m}$$



รูปสำหรับปัญหาข้อ 18 ข. กรณีที่ 2

เมื่อ Y เป็นจุดที่อยู่นอกเส้นตรงที่ลากระหว่างจุดประจุทั้งสอง ดังรูป 17 ข กรณีที่ 2

$$V_1 = \frac{(9.0\times10^9\,\text{Nm}^2/\text{C}^2)(4\times10^{-8}\text{C})}{y}$$

$$V_2 = \frac{(9.0\times10^9\,\text{Nm}^2/\text{C}^2)(-9\times10^{-8}\text{C})}{(0.5+y)}$$

$$\frac{(9.0\times10^9)\,(4\times10^{-8})}{y} - \frac{(9.0\times10^9)(9\times10^{-8})}{0.5+y} = 0$$

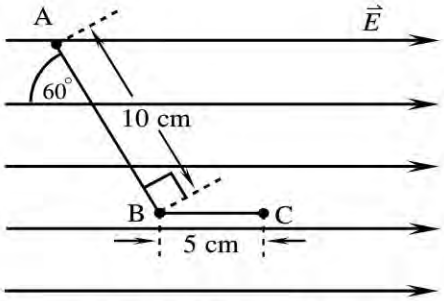
$$\frac{4}{y} - \frac{9}{0.5+y} = 0$$

$$y = 0.4 \text{ m}$$

คำตอบ ก. ตำแหน่งที่มีสนามไฟฟ้าเป็นศูนย์อยู่นอกเส้นตรงที่ลากระหว่างจุดประจุทั้งสอง และอยู่ห่างจากจุดประจุ 4×10^{-8} คูลอมบ์ เท่ากับ 1 เมตร

ข. ตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าเป็น 0 อยู่ห่างจากจุดประจุ 4×10^{-8} คูลอมบ์ เท่ากับ 1.5×10^{-1} เมตร ภายในเส้นตรงระหว่างจุดประจุทั้งสอง หรืออยู่ห่างจากจุดประจุ 4×10^{-8} คูลอมบ์ เท่ากับ 4×10^{-1} เมตร ภายนอกเส้นตรงที่ลากระหว่างจุดประจุทั้งสอง

19. จากรูป $\vec{E}$ คือสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอมีขนาด 4×10^4 โวลต์ต่อเมตร AB และ BC เท่ากับ 10 และ 5 เซนติเมตร ตามลำดับ จงหางานที่ทำในการเลื่อนประจุ $+10^{-6}$ คูลอมบ์ จาก A ผ่าน B ไป C

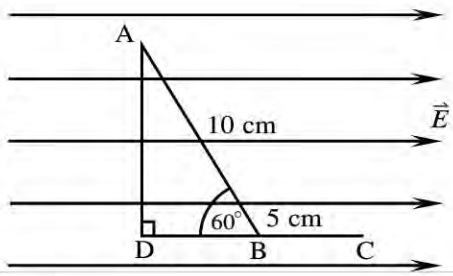


รูปสำหรับปัญหาข้อ 19

วิธีทำ โดยลากเส้นจากจุด A ตัดตั้งฉากกับแนว BC ที่จุด D ดังรูป

จากรูป หาระยะ DC

โดยหา DB จาก Δ มุมฉาก ADB



DB = (10 cm)cos 60°

DB = $10 \times \frac{1}{2}$ = 5 cm

ดังนั้น DC = 10 cm

งานในการเลื่อนประจุจาก A ไป C

$W = (V_C - V_A)q$

ขนาดของงาน = Edq

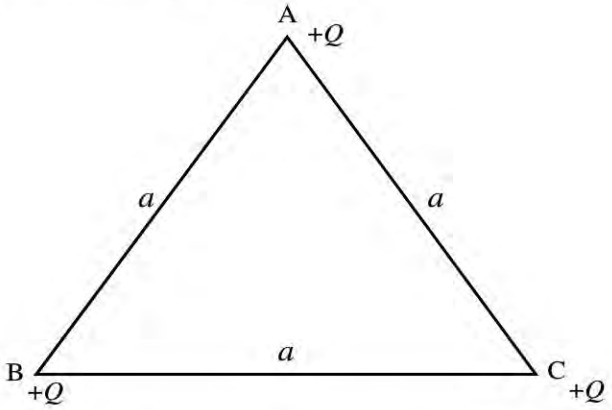
= $(4 \times 10^4 \text{ V/m})(10 \times 10^{-2} \text{ m})(10^{-6} \text{ C})$

= 4×10^{-3} J

เนื่องจาก $V_C - V_A$ เป็นลบ ดังนั้น งานในการเลื่อนประจุเป็นลบ

คำตอบ งานในการเลื่อนประจุ +10 ไมโครคูลอมบ์ จาก A ไป C มีค่า -4×10^{-3} จูล

20. จงหางานที่ทำในการนำจุดประจุ $+Q$ สามจุดจากระยะอนันต์มาไว้ที่ตำแหน่ง A, B และ C ตามลำดับทีละประจุ ดังรูป



รูปสำหรับปัญหาข้อ 20

วิธีทำ

งานในการนำ $+Q$ ไปไว้ที่ A ขณะที่ไม่มีประจุอื่นเลย = 0

พิจารณารูป ΔABC ที่มีประจุ $+Q$ ที่ A

ดังนั้น ศักย์ไฟฟ้าที่ B = $\frac{kQ}{a}$

เพราะฉะนั้นงานในการนำประจุ $+Q$ ไปไว้ที่ B = $\frac{kQ_1Q_2}{a} = \frac{kQ^2}{a}$

เมื่อพิจารณารูป ΔABC ที่มีประจุ $+Q$ ที่ A และประจุ $+Q$ ที่ B

ดังนั้น ศักย์ไฟฟ้าที่ C = $\frac{2kQ}{a}$

เพราะฉะนั้น งานในการนำประจุ $+Q$ ไปไว้ที่ C $= \dfrac{2kQ_1Q_2}{a} = \dfrac{2kQ^2}{a}$

เพราะฉะนั้นงานทั้งหมด $= 0 + \dfrac{kQ^2}{a} + \dfrac{2kQ^2}{a} = \dfrac{3kQ^2}{a}$

คำตอบ งานในการนำจุดประจุทั้งสามมาไว้ที่ตำแหน่งดังกล่าวมีค่า $\dfrac{3kQ^2}{a}$

21. แผ่นตัวนำขนานที่อยู่ห่างกัน 0.2 เซนติเมตร ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอตามแนวดิ่ง ถ้าต้องการให้อิเล็กตรอนที่มีมวล 9.1×10^{-3} กิโลกรัม และประจุ -1.6×10^{-19} คูลอมบ์ ลอยอยู่นิ่งที่ตำแหน่งหนึ่งระหว่างแผ่นตัวนำขนานนี้ ความต่างศักย์ระหว่างแผ่นตัวนำขนานต้องเป็นเท่าใด

วิธีทำ เมื่อประจุ -1.6×10^{-19} C ลอยอยู่ระหว่างแผ่นตัวนำขนาน แรงลัพธ์ที่กระทำต่อประจุนี้ $= 0$

นั่นคือ $q\bar{E} + m\bar{g} = 0$

หรือ $qE = mg$ แต่ทิศทางตรงข้ามกัน

$$(1.6\times10^{-19}\,\text{C})\,E = (9.1\times10^{-31}\,\text{kg})(9.8\ \text{m/s}^2)$$

$$E = 5.6\times10^{-11}\ \text{N/C}$$

จากสมการ $V = Ed$

เมื่อ V เป็นความต่างศักย์ระหว่างแผ่นตัวนำ และ $d = 0.2\times10^{-2}$ m

ดังนั้น $V = (5.6\times10^{-11}\ \text{N/C})\,(0.2\times10^{-2}\ \text{m})$

$$= 1.12\times10^{-13}\ \text{J/C}$$

ความต่างศักย์ระหว่างแผ่นตัวนำมีค่าเท่ากับ 1.12×10^{-13} จูลต่อคูลอมบ์

คำตอบ ความต่างศักย์ระหว่างแผ่นตัวนำเท่ากับ 1.1×10^{-13} จูลต่อคูลอมบ์

22. แผ่นโลหะขนานสองแผ่น วางห่างกัน x แต่ละแผ่นมีประจุไฟฟ้าชนิดตรงข้ามกัน อนุภาคมวล m ที่มีประจุไฟฟ้า q หลุดออกจากแผ่นลบและเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง a ไปยังแผ่นบวก แผ่นโลหะทั้งสองมีความต่างศักย์เท่าใด

วิธีทำ เมื่ออนุภาคมวล m เคลื่อนที่ด้วยความเร่ง a แสดงว่าแรงลัพธ์กระทำกับอนุภาคมีค่า

$$F = ma$$

โดยที่อนุภาคมีประจุ q แสดงว่ามีสนามไฟฟ้าในบริเวณอนุภาคเคลื่อนที่เป็น

$$E = \frac{F}{q} = \frac{ma}{q}$$

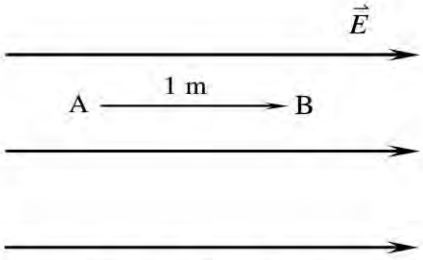
จากความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับสนามไฟฟ้าในกรณีแผ่นโลหะขนานสองแผ่น

$$V = Ed$$

จะได้ $V = \left(\dfrac{ma}{q}\right)x = \dfrac{max}{q}$

คำตอบ แผ่นโลหะทั้งสองมีความต่างศักย์ $\frac{max}{q}$

23. อนุภาคมีประจุไฟฟ้า 1.0×10^{-5} คูลอมบ์ เริ่มเคลื่อนที่จากหยุดนิ่งในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ 50 โวลต์ต่อเมตร เมื่ออนุภาคเคลื่อนที่ได้ระยะทาง 1 เมตร ในทิศทางเดียวกับสนามไฟฟ้า อนุภาคนี้มีพลังงานจลน์เท่าใด



รูปสำหรับปัญหาข้อ 23

วิธีทำ ให้อนุภาคเคลื่อนที่จาก A ไป B ดังรูป

เมื่ออนุภาคที่มีประจุอยู่ที่ตำแหน่ง A เคลื่อนที่ไปที่ B จะมีพลังงานศักย์ลดลง

$$E_p = qV$$
$$= qEd$$

ตามกฎการอนุรักษ์พลังงาน

พลังงานจลน์ของอนุภาคที่มีประจุ = พลังงานศักย์ของประจุที่ลดลง

$$E_k = qEd$$

$$E_k = (1\times10^{-5}\,\text{C})(50\,\text{V/m})(1\,\text{m}) = 5.0\times10^{-4}\ \text{J}$$

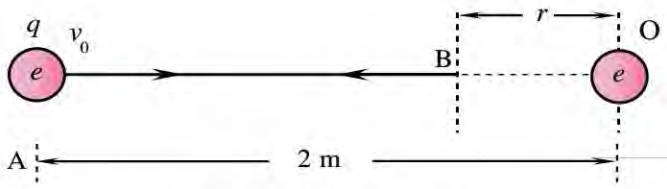
คำตอบ พลังงานจลน์ของอนุภาคเท่ากับ 5×10^{-4} จูล

24. อิเล็กตรอนตัวหนึ่งมีความเร็วต้น 10^3 เมตรต่อวินาที เคลื่อนที่ในแนวตรงเข้าหาอิเล็กตรอนอีกตัวหนึ่งที่อยู่นิ่งและอยู่ห่างออกไป 2 เมตร อิเล็กตรอนตัวแรกจะเคลื่อนที่เข้าใกล้ตัวที่หยุดนิ่งได้มากที่สุดเท่าใด ก่อนที่จะหยุดและกลับทิศทางการเคลื่อนที่ (กำหนดให้อิเล็กตรอน มีมวล 9.1×10^{-31} กิโลกรัม และประจุ -1.6×10^{-19} คูลอมบ์)

วิธีทำ

อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากจุด A วิ่งเข้าหาอิเล็กตรอนอีกตัวหนึ่งที่อยู่นิ่ง โดยอิเล็กตรอนตัวแรกจะเข้าใกล้ตัวที่หยุดนิ่งมากที่สุด เมื่อพลังงานจลน์ลดลงเป็นศูนย์ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับพลังงานศักย์ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้น

$$E_{kA} + E_{PA} = E_{kB} + E_{PB}$$
$$\frac{1}{2}mv_A^2 + qV_A = 0 + qV_B$$



รูปสำหรับปัญหาข้อ 24

ดังนั้น $qV_B - qV_A = \frac{1}{2}mv_A^2$ ..... (1)

ถ้าให้อิเล็กตรอนเข้าใกล้อิเล็กตรอนตัวที่หยุดนิ่ง มากที่สุด เมื่ออยู่ที่จุด B ห่างจาก O เป็นระยะ r

เมื่อ

$$Q = q = -1.6\times10^{-19}\,\text{C}$$

$$V_B = \frac{kQ}{r}$$

$$V_B = \frac{(9.0\times10^{9}\,\text{Nm}^2/\text{C}^2)(-1.6\times10^{-19}\,\text{C})}{r}$$

$$V_B = -\frac{1.44\times10^{-9}}{r}\ \text{Nm/C}$$

$$m = 9.1\times10^{-31}\ \text{kg}$$

$$v_A^2 = 1.0\times10^{3}\ \text{m/s}$$

แทนค่าในสมการ (1)

$$(-1.6\times10^{-19}\ \text{C})\frac{(-1.44\times10^{-9}\ \text{Nm/C})}{r} - (-1.6\times10^{-19}\ \text{C})\frac{(-1.44\times10^{-19}\ \text{Nm/C})}{2\ \text{m}}$$

$$= \frac{1}{2}\ (9.1\times10^{-31}\ \text{kg})(1.0\times10^{3}\ \text{m/s})^2$$

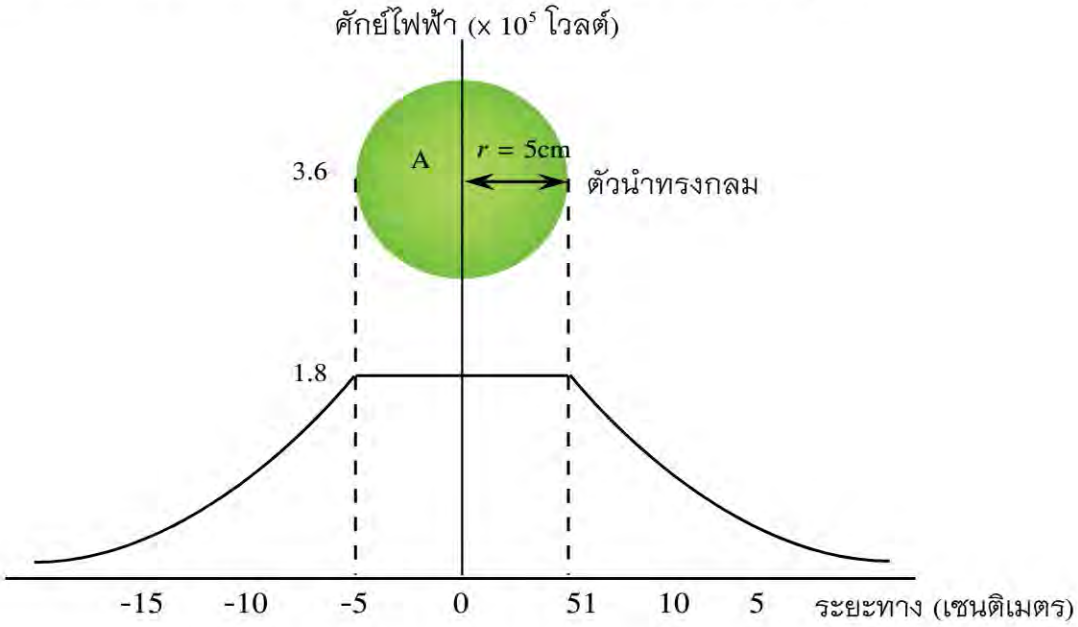
$$\frac{1}{r} - \frac{1}{2} = \frac{1}{2}\ \frac{(9.1\times10^{-31})(10^{6})}{(1.6\times10^{-19})\,(1.44\times10^{-9})}$$

$$\frac{1}{r} = 1975$$

$$r = 5.06\times10^{-4}\ \text{m}$$

คำตอบ ระยะทางที่อิเล็กตรอน 1 ตัว เข้าใกล้อนุภาคมากที่สุด เท่ากับ 5×10^{-4} เมตร

25. ตัวนำทรงกลม A รัศมี 5 เซนติเมตร มีประจุไฟฟ้าบวกและกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าของตัวนำทรงกลม A กับระยะทางเป็นดังรูป



ก. สนามไฟฟ้าที่จุดซึ่งอยู่ห่างจากศูนย์กลางทรงกลม 4 เซนติเมตร มีค่าเท่าใด

ข. ประจุไฟฟ้าบนตัวนำทรงกลม A มีค่าเท่าใด

ค. งานในการเลื่อนประจุ - 20 ไมโครคูลอมบ์ จากระยะอนันต์มาที่ศูนย์กลางทรงกลมมีค่าเท่าใด

วิธีทำ

ก. หาสนามไฟฟ้า

รัศมีของทรงกลม เท่ากับ 5 เซนติเมตร ดังนั้นจุดที่อยู่ห่างจากศูนย์กลางทรงกลม 4 เซนติเมตร อยู่ภายในทรงกลม จุดนั้นจะมีสนามไฟฟ้าเท่ากับ 0

ข. หาประจุบนทรงกลมตัวนำ A

จากกราฟ ศักย์ไฟฟ้าที่ผิวทรงกลม $= 1.8\times10^{5}$ V

$$V = \frac{kQ}{r}$$

$$(1.8\times10^{5}\ \text{V}) = \frac{(9\times10^{9}\ \text{Nm}^2/\text{C}^2)}{(5\times10^{-2}\ \text{m})}Q$$

$$Q = 1.0\times10^{-6}\ \text{C}$$

ค. หางานในการเลื่อนประจุ - 20 ไมโครคูลอมบ์ จากระยะอนันต์มาที่ศูนย์กลางทรงกลมงานในการนำ + 1 C จากระยะอนันต์มาไว้ที่ศูนย์กลาง = 1.8×10^5 J งานในการนำ -20×10^{-6} จากระยะอนันต์มาไว้ที่ศูนย์กลาง

$$= \frac{(1.8\times10^5\ \text{J})\ (-20\times10^{-6}\ \text{C})}{1\ \text{C}} = -3.6\ \text{J}$$

คำตอบ ก. สนามไฟฟ้ามีค่า 0 นิวตันต่อคูลอมบ์

ข. ประจุบนทรงกลมตัวนำ A มีค่า 1 ไมโครคูลอมบ์

ค. งานในการเลื่อนประจุ - 20 โมโครคูลอมบ์ จากระยะอนันต์มาที่ศูนย์กลางทรงกลมมีค่า - 3.6 จูล

13.9 ตัวเก็บประจุและความจุ

26. นำตัวเก็บประจุสองตัวที่มีความจุ 2 ไมโครฟารัด และ 4 ไมโครฟารัด มาต่อกันและต่อกับความต่างศักย์ 120 โวลต์ จงหาประจุทั้งหมดและพลังงานทั้งหมดที่สะสมในตัวเก็บประจุ เมื่อต่อตัวเก็บประจุ

ก. แบบอนุกรม

ข. แบบขนาน

วิธีทำ ก. ต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรม

ให้ความจุสมมูล $= C$

ความจุของตัวเก็บประจุ $C_1 = 2\ \mu\text{F}$

ความจุของตัวเก็บประจุ $C_2 = 4\ \mu\text{F}$

จากสูตร $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{(2\ \mu\text{F})} + \frac{1}{(4\ \mu\text{F})}$

$$C = \frac{4}{3}\ \mu\text{F}$$

พลังงานทั้งหมดที่สะสมในตัวเก็บประจุ $U = \frac{1}{2}CV^2$

$$U = \frac{1}{2}\left(\frac{4}{3}\times10^{-6}\ \text{F}\right)(120\ \text{V})^2 = 9.6\times10^{-3}\ \text{J}$$

หาประจุทั้งหมด $Q = CV$

$$= \left(\frac{4}{3}\times10^{-6}\ \text{F}\right)(120\ \text{V}) = 1.6\times10^{-4}\ \text{C}$$

ข. ต่อตัวเก็บประจุต่อแบบขนาน ความจุสมมูล C หาได้จากสมการ

$$C = C_1 + C_2$$

$$C = 2\ \mu\text{F} + 4\ \mu\text{F} = 6\ \mu\text{F}$$

พลังงานทั้งหมดที่สะสมในตัวเก็บประจุ $U = \frac{1}{2}CV^2$

$$U = \frac{1}{2}(6\times10^{-6}\ \text{F})(120\ \text{V})^2 = 4.32\times10^{-2}\ \text{J}$$

หาประจุทั้งหมด $Q = CV$

$$= (6\times10^{-6}\ \text{F})(120\ \text{V}) = 7.20\times10^{-4}\ \text{C}$$

คำตอบ ก. พลังงานทั้งหมดที่สะสมในตัวเก็บประจุเท่ากับ 9.6×10^{-3} จูล ประจุทั้งหมดเท่ากับ 1.6×10^{-4} คูลอมบ์ หรือเท่ากับ 160 ไมโครคูลอมบ์

ข. พลังงานทั้งหมดที่สะสมในตัวเก็บประจุเท่ากับ 4.3×10^{-2} จูล ประจุทั้งหมดเท่ากับ 7.2×10^{-4} คูลอมบ์ หรือเท่ากับ 720 ไมโครคูลอมบ์

27. จงหาจำนวนตัวเก็บประจุที่มีความจุ 140 ไมโครฟารัด ซึ่งเมื่อนำมาต่อขนานกันจะเก็บประจุได้ 1 คูลอมบ์ เมื่อต่อกับความต่างศักย์ 1000 โวลต์

วิธีทำ หาความจุเพื่อเก็บประจุ 1 คูลอมบ์ เมื่อความต่างศักย์ 1000 โวลต์

จากสูตร $C = \frac{Q}{V}$ ถ้า $Q = 1\ \text{C}$, $V = 1000\ \text{V}$ จะได้ $C = \frac{1}{1000}\ \text{F}$

ดังนั้น ความจุสมมูล $= 10^{-3}\ \text{F}$

ให้ n เป็นจำนวนตัวเก็บประจุ 140 ไมโครฟารัดที่ต้องการ

หาจำนวนตัวเก็บประจุที่นำมาต่อขนานกันเพื่อให้มีความจุ 10^{-3} ฟารัด

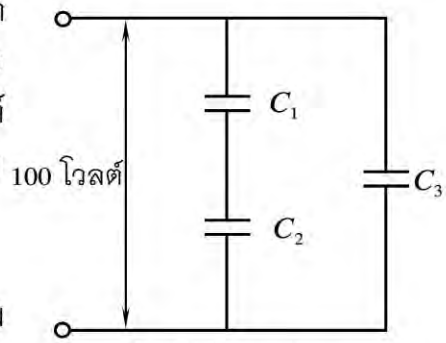
ความจุทั้งหมด $n\times140\times10^{-6}$ ฟารัด

ดังนั้น $n\times140\times10^{-6} = 10^{-3}$

$$n = \frac{10^{-3}}{140\times10^{-6}} \approx 7.1$$

คำตอบ จำนวนตัวเก็บประจุ 7 ตัว

28. ตัวเก็บประจุสามตัว คือ C_1 มีความจุ 6 ไมโครฟารัด C_2 มี ความจุ 12 ไมโครฟารัด และ C_3 มีความจุ 8 ไมโครฟารัด เมื่อนำมาต่อกับความต่างศักย์ 100 โวลต์ ดังรูป จงหาประจุ ความต่างศักย์และพลังงานสะสมบนตัวเก็บประจุแต่ละตัว



รูปสำหรับปัญหาข้อ 28

วิธีทำ

หาความจุสมมูล C ของ C_1 และ C_2 ซึ่งต่อแบบอนุกรม

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{6\,\mu F} + \frac{1}{12\,\mu F}$$

$$C = 4\,\mu F = 4\times10^{-6}\ F$$

หาประจุที่สะสมในตัวเก็บประจุที่มีความจุ C_1 และ C_2

$$Q_1 = CV$$

$$Q_1 = (4\times10^{-6}\ F)(100\ V) = 4\times10^{-4}\ C = Q_2$$

หาประจุที่สะสมในตัวเก็บประจุที่มีความจุ C_3

$$Q_3 = CV$$

$$= (8\times10^{-6}\ F)(100\ V) = 8\times10^{-4}\ C$$

หาความต่างศักย์ V ของตัวเก็บประจุแต่ละตัว $V = \frac{Q}{C}$

ตัวเก็บประจุที่ 1 $V_1 = \frac{Q_1}{C} = \frac{4\times10^{-4}\ C}{6\times10^{-6}\ F} = 66.7\ V$

ตัวเก็บประจุที่ 2 $V_2 = \frac{Q_2}{C_2} = \frac{4\times10^{-4}\ C}{12\times10^{-6}\ F} = 33.3\ V$

ตัวเก็บประจุที่ 3 $V_3 = 100\ V$

หาพลังงานสะสมในตัวเก็บประจุแต่ละตัว

ตัวเก็บประจุตัวที่ 1 พลังงาน $U_1 = \frac{1}{2}Q_1V_1 = \frac{1}{2}(4\times10^{-4}C)(66.7\ V) = 1.3\times10^{-2}J$

ตัวเก็บประจุตัวที่ 2 พลังงาน $U_2 = \frac{1}{2}Q_2V_2 = \frac{1}{2}(4\times10^{-4}C)(33.3\ V) = 6.7\times10^{-3}J$

ตัวเก็บประจุตัวที่ 3 พลังงาน $U_3 = \frac{1}{2}Q_3V_3 = \frac{1}{2}(8\times10^{-4}C)(100\ V) = 4.0\times10^{-2}J$

คำตอบ ประจุในตัวเก็บประจุ C_1 , C_2 และ C_3 เท่ากับ 4×10^{-4} คูลอมบ์ 4×10^{-4} คูลอมบ์ และ 8×10^{-4} คูลอมบ์ ตามลำดับ ความต่างศักย์ของตัวเก็บประจุ C_1 , C_2 และ C_3 เท่ากับ 67 โวลต์ 33 โวลต์ และ 100 โวลต์ ตามลำดับ และพลังงานสะสมในตัว เก็บประจุ C_1 , C_2 และ C_3 เท่ากับ 1.3×10^{-2} จูล, 6.7×10^{-3} จูล และ 4.0×10^{-2} จูล ตามลำดับ

14

บทที่ 14 ไฟฟ้ากระแส

เนื้อหาและเวลาที่ใช้สอน

14.1 กระแสไฟฟ้า

14.1.1 การนำไฟฟ้า

14.1.2 กระแสไฟฟ้าในตัวนำไฟฟ้า

14.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ 2 ชั่วโมง

14.2.1 กฎของโอห์มและความต้านทาน

14.2.2 สภาพต้านทานไฟฟ้าและสภาพนำไฟฟ้า

14.2.3 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อสภาพต้านทาน

14.3 พลังงานในวงจรไฟฟ้า 4 ชั่วโมง

14.3.1 แรงเคลื่อนไฟฟ้าและความต่างศักย์

14.3.2 พลังงานไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า

14.4 การต่อตัวต้านทานและแบตเตอรี่ 2 ชั่วโมง

14.4.1 การต่อตัวต้านทาน

14.4.2 การต่อแบตเตอรี่

14.5 การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสตรงเบื้องต้น 2 ชั่วโมง

14.6 เครื่องวัดไฟฟ้า 2 ชั่วโมง

14.6.1 แอมมิเตอร์

14.6.2 โวลต์มิเตอร์

14.6.3 โอห์มมิเตอร์

14.7 การคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน 2 ชั่วโมง

14.8 วงจรไฟฟ้า เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน และการใช้ไฟฟ้าอย่างปลอดภัย 2 ชั่วโมง

14.8.1 วงจรไฟฟ้าในบ้าน

14.8.2 อุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน

14.8.3 การใช้ไฟฟ้าอย่างปลอดภัย

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายได้ว่ากระแสไฟฟ้าในตัวนำเกิดจากการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าผ่านตัวนำ และปริมาณกระแสไฟฟ้าหาได้จากจำนวนประจุผ่านภาคตัดขวางของตัวนำในหนึ่งหน่วยเวลา
2. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า จำนวนประจุไฟฟ้า ขนาดของความเร็วลอยเลื่อน และพื้นที่ตัดขวางของตัวนำโลหะขณะที่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน และคำนวณหาปริมาณเหล่านั้น จากสถานการณ์ที่กำหนดให้ได้
3. ทำการทดลองและสรุปกฎของโอห์มได้ว่า เมื่ออุณหภูมิคงตัว กระแสไฟฟ้าในตัวนำโลหะแปรผันตรงกับความต่างศักย์ระหว่างจุด 2 จุด ในตัวนำโลหะ
4. อธิบายความหมายของความต้านทาน สภาพต้านทาน และสภาพนำไฟฟ้า
5. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทาน สภาพต้านทาน ความยาว และพื้นที่หน้าตัดขวางของลวดตัวนำที่สม่ำเสมอได้ รวมทั้งสามารถคำนวณหาปริมาณดังกล่าวจากสถานการณ์ที่กำหนดให้
6. อธิบายได้ว่าความต้านทานของตัวนำชนิดหนึ่งๆ เช่น โลหะผสม สารกึ่งตัวนำ ฉนวน จะเปลี่ยนไปเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง
7. ทำการทดลองวัดความต่างศักย์ของขั้วแบตเตอรี่ ขณะต่อกับตัวต้านทานและไม่ต่อกับตัวต้านทาน เพื่ออธิบายความแตกต่างระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้าและความต่างศักย์
8. วิเคราะห์และอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าในวงจร แรงเคลื่อนไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ความต้านทานภายในแบตเตอรี่ และความต่างศักย์ที่ขั้วของแบตเตอรี่
9. ทำการทดลองและสรุปความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ และความต้านทานสมมูลของตัวต้านทานที่ต่อกันแบบอนุกรมและแบบขนาน
10. อธิบายการใช้ตัวต้านทานเป็นตัวแบ่งศักย์และแบ่งกระแสได้
11. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ความต่างศักย์ กระแสไฟฟ้า และเวลา รวมทั้งสามารถคำนวณหาปริมาณดังกล่าว จากสถานการณ์ที่กำหนดให้
12. อธิบายการหาแรงเคลื่อนไฟฟ้าสมมูลและความต้านทานภายในสมมูลเมื่อต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม
13. อธิบายการหาแรงเคลื่อนไฟฟ้าสมมูล และความต้านทานภายในสมมูลเมื่อต่อแบตเตอรี่แบบขนาน
14. อธิบายหลักการสร้างแอมมิเตอร์ โวลต์มิเตอร์ และโอห์มมิเตอร์ จากแกลแวนอมิเตอร์

15. อธิบายการหาพลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้า
16. อธิบายระบบวงจรไฟฟ้าในบ้าน และการใช้ไฟฟ้าอย่างปลอดภัย
17. อธิบายได้ว่าการผลิตพลังงานไฟฟ้าต้องใช้ทรัพยากรธรรมชาติหลายชนิดซึ่งมีปริมาณจำกัด จึงควรประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้า

สรุปสาระสำคัญ

กระแสไฟฟ้า

เกิดขึ้นเมื่อมีการถ่ายโอนประจุไฟฟ้าผ่านตัวนำ ระหว่างปลายของตัวนำเชื่อมต่อกับความต่างศักย์

การนำไฟฟ้าในตัวกลาง

เป็นการทำให้มีกระแสไฟฟ้าในตัวกลาง และเรียกตัวกลางนั้นว่า ตัวนำไฟฟ้า การนำไฟฟ้าในโลหะเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระซึ่งปกติเคลื่อนที่อย่างไร้ระเบียบโดยมีความเร็วเฉลี่ยเป็นศูนย์ แต่เมื่อมีสนามไฟฟ้าภายในแท่งโลหะจะทำให้อิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ยไม่เป็นศูนย์ คือ ความเร็วลอยเลื่อน ทำให้มีกระแสไฟฟ้าในโลหะ

กระแสไฟฟ้าในตัวนำไฟฟ้า (ตัวกลาง)

คือ ประจุไฟฟ้าที่ผ่านภาคตัดขวางของตัวกลางนั้นในหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งมีค่า $I = \frac{Nq}{t} = \frac{Q}{t}$ เมื่อ N เป็นจำนวนอนุภาคที่มีประจุ q เคลื่อนที่ผ่านภาคตัดขวางของตัวกลางในเวลา t

กระแสไฟฟ้าในตัวกลางมีทิศทางเดียวกับทิศทางของสนามไฟฟ้า หรือมีทิศทางจากตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงไปยังตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่า

กระแสไฟฟ้าในตัวนำโลหะ มีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระหรือทิศทางของกระแสอิเล็กตรอน โดยมีค่าขึ้นกับความหนาแน่น n และความเร็วลอยเลื่อน v_d ของอิเล็กตรอนอิสระ $I = nev_dA$ เมื่อ e คือ ประจุของอิเล็กตรอน และ A คือพื้นที่หน้าตัดของลวดตัวนำ

กฎของโอห์มและความต้านทาน

กฎของโอห์ม มีใจความว่า ถ้าอุณหภูมิคงตัว กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวนำจะแปรผันตรงกับความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวนำนั้น เขียนในรูปสมการได้เป็น $\frac{I}{V} = k$ เมื่อ k เป็นความนำไฟฟ้า หรือ $\frac{V}{I} = \frac{1}{k} = R$ เมื่อ R เป็นค่าคงที่ซึ่งเป็นความต้านทานไฟฟ้า (หรือความต้านทาน) ของลวดตัวนำนั้น มีหน่วยเป็น โอห์ม (Ω)

สภาพต้านทานไฟฟ้าและสภาพนำไฟฟ้า

ความต้านทานไฟฟ้า R ของลวดตัวนำยาว ℓ พื้นที่หน้าตัด A เป็นไปตามสมการ $R = \frac{\rho\ell}{A}$ เมื่อ ρ เป็นสภาพต้านทานไฟฟ้า มีหน่วยเป็น โอห์ม เมตร (Ω m)

ความนำไฟฟ้าเป็นส่วนกลับของความต้านทานมีหน่วยเป็นซีเมนส์ (S)

สภาพนำไฟฟ้าเป็นส่วนกลับของสภาพต้านทานไฟฟ้ามีหน่วยเป็นซีเมนส์ต่อเมตร(S/m)

ผลของอุณหภูมิที่มีต่อสภาพต้านทาน

ถ้าอุณหภูมิของสารเปลี่ยนไป ความต้านทานมีค่าเปลี่ยนไปตามสภาพต้านทานของสาร ดังนี้

ฉนวนมีสภาพต้านทานสูง แต่จะมีค่าลดลงเล็กน้อยที่อุณหภูมิสูงๆ

สารกึ่งตัวนำมีสภาพต้านทานลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

ตัวนำมีสภาพต้านทานต่ำ แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

ตัวนำยวดยิ่งมีสภาพต้านทานเป็นศูนย์ที่อุณหภูมิวิกฤต (หรือต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤต)

แรงเคลื่อนไฟฟ้าและความต่างศักย์

แรงเคลื่อนไฟฟ้า คือ พลังงานไฟฟ้าของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ผ่านแหล่งกำเนิดไฟฟ้า $\left(E = \frac{W}{Q}\right)$

ความต่างศักย์ คือ พลังงานไฟฟ้าที่ชิ้นส่วนต่างๆ ของวงจรใช้ต่อหนึ่งหน่วยประจุไฟฟ้า $\left(V = \frac{W}{Q}\right)$ ความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่ (V) เกี่ยวข้องกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (E) ตามสมการ $V = E - Ir$ เมื่อ I เป็นกระแสไฟฟ้าในวงจร และ r เป็นความต้านทานภายในของแบตเตอรี่

พลังงานไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้ไปในเครื่องใช้ไฟฟ้าในเวลา t มีค่าเป็น $W = ItV = I^2Rt = \frac{V^2}{R}t$

กำลังไฟฟ้า (P) เป็นพลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้ไปหรือเปลี่ยนไปในหนึ่งหน่วยเวลา หรืออัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า มีค่าเป็น $P = IV = I^2R = \frac{V^2}{R}$

การต่อตัวต้านทานและแบตเตอรี่

การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม n ตัว จะได้ความต้านทานสมมูล R เป็น

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots + R_n$$

การต่อตัวต้านทานแบบขนาน n ตัว จะได้ความต้านทานสมมูล R เป็น

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots + \frac{1}{R_n}$$

การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม n ก้อน จะได้แรงเคลื่อนไฟฟ้าสมมูล E และความต้านทานภายในสมมูล r เป็น

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + \ldots + E_n \quad \text{และ} \quad r = r_1 + r_2 + r_3 + \ldots + r_n$$

การต่อแบตเตอรี่แบบขนานหลายก้อนที่แต่ละก้อนมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่ากันและความต้านทานภายในเท่ากัน แรงเคลื่อนไฟฟ้าสมมูลเท่ากับแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแบตเตอรี่ก้อนเดียวและความต้านทานภายในสมมูลเท่ากับความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ก้อนเดียวหารด้วยจำนวนแบตเตอรี่

การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสตรงเบื้องต้น

เป็นการนำกฎพื้นฐานทางไฟฟ้า กฎการอนุรักษ์พลังงาน กฎการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า การต่อตัวต้านทานและการต่อแบตเตอรี่ไปใช้หาปริมาณต่างๆ ในวงจรไฟฟ้าพื้นฐาน

เครื่องวัดไฟฟ้า

ได้แก่ แอมมิเตอร์ โวลต์มิเตอร์ และโอห์มมิเตอร์ ได้รับการดัดแปลงจากแกลแวนอมิเตอร์ชนิดขดลวดเคลื่อนที่ ซึ่งมีเข็มชี้เบนไปขึ้นกับกระแสไฟฟ้าในขดลวด โดยแกลแวนอมิเตอร์จะมีความต้านทานค่าหนึ่งเป็น R_G และกระแสไฟฟ้าทำให้เข็มเบนได้เต็มสเกลเป็น I_G ซึ่งจะนำไปดัดแปลงเป็นแอมมิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้าสูงสุดเกิน I_G หรือดัดแปลงเป็นโวลต์มิเตอร์วัดความต่างศักย์สูงสุดเกิน V_G ($V_G = I_G R_G$) ส่วนการดัดแปลงเป็นโอห์มมิเตอร์เพื่อวัดความต้านทานที่ไม่ทราบค่า R_x R_x จะมีค่าเป็นศูนย์เมื่อเข็มเบนเต็มสเกล และ R_x มีค่ามากๆ (∞) เมื่อเข็มไม่เบน (ไม่มีกระแสไฟฟ้า) ทั้งแอมมิเตอร์ โวลต์มิเตอร์ และโอห์มมิเตอร์ ได้รับการดัดแปลงให้เป็นมิเตอร์ในเครื่องเดียวกัน เรียกว่า มัลติมิเตอร์ ซึ่งปัจจุบันมีทั้งแสดงผลด้วยขีดสเกล เรียกว่า แอนาล็อกมัลติมิเตอร์ และแสดงผลด้วยตัวเลข เรียกว่า ดิจิทัลมัลติมิเตอร์

การคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน

เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน มีตัวเลขระบุความต่างศักย์และกำลังไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้า ในการใช้งานจะต้องต่อเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับความต่างศักย์ตามตัวเลขที่ระบุ ซึ่งสามารถนำตัวเลขที่ระบุนี้ไปคำนวณพลังงานไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ รวมทั้งค่าอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องได้

ในทางปฏิบัติสามารถหาพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องใช้ไฟฟ้าได้จาก

พลังงานไฟฟ้า (หน่วย) = กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์) × เวลาที่ใช้ไป (ชั่วโมง)

ค่านี้นำไปใช้คิดค่าไฟฟ้าต่อไป

วงจรไฟฟ้า เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านและการใช้ไฟฟ้าอย่างปลอดภัย

การจ่ายไฟฟ้าเข้าบ้านใช้สายไฟ 2 สาย คือ สายกลาง (สาย N) และสายมีศักย์ (สาย L) พร้อมทั้งต่อสายดิน (สาย E) เข้ากับสายกลาง ทั้งสายกลางและสายมีศักย์จะต่อผ่านมาตรกิโลวัตต์ ชั่วโมง เข้าบ้านแล้วต่อกับแผงควบคุมไฟฟ้า จากนั้นจึงมีสายไฟต่อไปตามส่วนต่างๆ ของบ้านพร้อมต่อสายดินอย่างมีระบบ โดยการต่อเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้าวงจรเป็นการต่อแบบขนาน การใช้ไฟฟ้าอย่างปลอดภัยจะต้องใช้อย่างระมัดระวัง ถูกวิธี เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดอันตรายจากไฟฟ้าลัดวงจร โดยติดตั้งฟิวส์หรือตัวตัดวงจรที่เหมาะสม หรือป้องกันไม่ให้เกิดอันตรายจากไฟฟ้าดูดโดยการต่อสายดิน รวมทั้งผู้ใช้ควรศึกษาจากเอกสารที่เกี่ยวข้องและนำไปปฏิบัติด้วย

ผังมโนทัศน์ : บทที่ 14 ไฟฟ้ากระแส

ความต่างศักย์ที่ปลายลวดตัวนำ ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในลวด

↓

กระแสไฟฟ้าในตัวกลางใดๆ คือจำนวนประจุไฟฟ้าที่ผ่านภาคตัดขวางนั้นในหนึ่งหน่วยเวลา หรือ $I = \frac{Q}{t}$

→ กระแสไฟฟ้าในตัวนำโลหะเกิดจากการเคลื่อนที่ของ อิเล็กตรอนอิสระด้วยความเร็วลอยเลื่อน (v_d) ผ่านพื้นที่หน้าตัด(A)และมีความสัมพันธ์ $I = nev_d A$

→ แอมมิเตอร์เป็นเครื่องวัดกระแสไฟฟ้าที่ดัดแปลงจากแกลแวนอมิเตอร์ โดยนำตัวต้านทานที่เรียกว่าชันต์ มาต่อขนานกับแกลแวนอมิเตอร์

→ แกลแวนอมิเตอร์ที่มีตัวต้านทานมากๆ ซึ่งเรียกว่า มัลติพลายเออร์ต่ออนุกรมจะได้เครื่องวัดความต่างศักย์หรือโวลต์มิเตอร์

↓

ถ้าอุณหภูมิคงตัว กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวนำจะแปรผันตรงกับความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวนำนั้น หรือเรียกว่ากฎของโอห์ม (Ohm's law)

→ ความต้านทานของลวดตัวนำที่ทำจากสารชนิดเดียวกันขึ้นอยู่กับความยาว(ℓ)พื้นที่หน้าตัด (A)ตามความสัมพันธ์ $R = \rho\frac{\ell}{A}$

↓

โอห์มมิเตอร์เป็นเครื่องวัดไฟฟ้าที่ใช้วัดความต้านทาน

↓

การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม ความต้านทานสมมูลของตัวที่ต่อกันจะเพิ่มขึ้น ความต้านทานสมมูลจะเท่ากับความต้านทานแต่ละตัวรวมกัน หรือ R รวม $R_1 + R_2 + R_3 + ...$

↓

การต่อตัวต้านทานแบบขนาน ความต้านทานสมมูลจะลดลง ความต้านทานสมมูลหาได้จาก $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + ...$ การต่อตัวต้านทานแบบขนานสามารถประยุกต์ไปใช้ในการแบ่งกระแส

↓

พลังงานไฟฟ้าต่อประจุจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าคือแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ามีหน่วยเป็นโวลต์

↓

พลังงานไฟฟ้าที่ส่วนต่างๆ ของวงจรใช้ต่อหนึ่งหน่วยประจุไฟฟ้าเรียกว่าความต่างศักย์ มีหน่วยเป็นโวลต์

↓

จากกฎการอนุรักษ์พลังงาน พลังงานไฟฟ้าที่ประจุไฟฟ้าได้รับจากแบตเตอรี่เท่ากับพลังงานไฟฟ้าที่ประจุไฟฟ้าใช้ในวงจร

↓

การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรมจะได้แรงเคลื่อนไฟฟ้าสมมูลเท่ากับผลรวมของแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแบตเตอรี่แต่ละอัน แต่ถ้านำแบตเตอรี่ที่เหมือนกันมาต่อแบบขนานแรงเคลื่อนไฟฟ้าสมมูลจะเท่ากับแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแบตเตอรี่แต่ละอัน

14.1 กระแสไฟฟ้า

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. บอกได้ว่าประจุไฟฟ้าสามารถถ่ายโอนหรือเคลื่อนที่ผ่านลวดโลหะได้
2. บอกได้ว่าเมื่อประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ในตัวนำจะเกิดกระแสไฟฟ้าในตัวนำนั้น
3. บอกได้ว่ากระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นในตัวนำ เพราะมีความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวนำ

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูสาธิตการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าโดยใช้อิเล็กโทรสโคปแผ่นโลหะสองชุดตามหนังสือเรียน ให้ผู้เรียนสังเกตลักษณะการกางของแผ่นโลหะบางในอิเล็กโทรสโคปก่อนพาดลวดโลหะ ตั้งคำถามให้นักเรียนหาคำตอบ เช่น ทำไมแผ่นโลหะในชุดแรกจึงกาง แต่อีกชุดหนึ่ง ไม่กาง ถ้าพาดลวดโลหะจะเกิดอะไรขึ้นกับแผ่นโลหะของอิเล็กโทรสโคปทั้งสอง จากนั้นพาดลวดโลหะ และให้นักเรียนสังเกตผล

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

จากกิจกรรมที่สาธิต

2.1 ให้นักเรียนพิจารณาสิ่งที่สังเกตเห็นเกี่ยวกับประจุไฟฟ้า ได้แก่ การเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้า ความต่างศักย์ เพื่อให้นักเรียนสรุปได้ว่า "ถ้าจุด 2 จุดมีศักย์ไฟฟ้าต่างกัน ประจุไฟฟ้าจะเคลื่อนที่ตามแรงลัพธ์ที่กระทำกับประจุไฟฟ้าเนื่องจากความต่างศักย์ กล่าวคือ กรณีประจุบวกเคลื่อนที่ในอิเล็กโทรไลต์หรือแก๊ส จะเคลื่อนที่จากจุดที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงไปยังจุดที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำ และอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่จากจุดที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำไปยังจุดที่ศักย์ไฟฟ้าสูง เกิดเป็นกระแสไฟฟ้าในตัวกลางนั้นขึ้น"

2.2 ครูอาจใช้ตัวอย่างที่เป็นรูปธรรม เช่น การไหลของน้ำในสายยาง เพื่อเชื่อมโยงไปสู่การอธิบายการถ่ายโอนของประจุไฟฟ้าจากตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าต่างกันได้ ดังนี้

ในสายยางที่มีน้ำอยู่เต็มและระดับปลายสายเท่ากัน น้ำจะไม่ไหล เปรียบได้กับปลายลวดตัวนำที่มีศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน ก็จะไม่มีกระแสไฟฟ้า แต่ถ้าระดับน้ำปลายสายยางต่างกัน น้ำจะไหลทันที ดังนั้น ถ้าปลายลวดตัวนำมีศักย์ไฟฟ้าต่างกัน ก็จะมีประจุลบหรืออิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำไปยังตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าเช่นกัน ด้วยเหตุนี้ เมื่อเปิดก๊อกน้ำ น้ำจะไหลทันทีตลอดสายยาง กระแสไฟฟ้าก็เช่นเดียวกัน เมื่อเปิดสวิตช์ กระแสไฟฟ้าเนื่องจากอิเล็กตรอนที่มีอย่างต่อเนื่องในตัวนำจะผ่านหลอดไฟทันที ทำให้หลอดไฟสว่างได้

2.3 ครูอธิบายเพิ่มเติมว่า การถ่ายโอนประจุไฟฟ้านี้เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่สั้นมาก กล่าวคือ ประจุไฟฟ้าจะหยุดเคลื่อนที่เมื่อศักย์ไฟฟ้าสองตำแหน่งนั้นมีค่าเท่ากัน

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

ยกตัวอย่างและตั้งคำถาม เพื่อตรวจสอบว่า นักเรียนเข้าใจเรื่องการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าจากตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าไปยังตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าหรือไม่

กรณีที่ 1 ตำแหน่ง A มีศักย์ไฟฟ้า 3 โวลต์ และตำแหน่ง B มีศักย์ไฟฟ้า 0 โวลต์ ถามนักเรียนว่า หากนำลวดตัวนำเชื่อมต่อตำแหน่งทั้งสอง กระแสไฟฟ้าจะมีทิศทางไปทางใด (จาก A ไป B)

กรณีที่ 2 ตำแหน่ง x มีศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์ และตำแหน่ง y มีศักย์ไฟฟ้า 8 โวลต์ ถ้ามีลวดตัวนำเชื่อมระหว่าง x กับ y กระแสไฟฟ้าจะมีทิศทางไปทางใด (จาก x ไป y)

14.1.1 การนำไฟฟ้า

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถบอกได้ว่า การนำไฟฟ้าในตัวกลางเกิดจากการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้า

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูต่อวงจรไฟฟ้าอย่างง่าย โดยมีชุดแบตเตอรี่ หลอดไฟ 2.5V และวัสดุที่มีทั้งฉนวนไฟฟ้าและตัวนำไฟฟ้า เช่น ลวด ยางลบ ดินสอ ให้นักเรียนสังเกตการนำไฟฟ้าของวัสดุต่างๆ จากความสว่างของหลอดไฟ

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายถึงการนำไฟฟ้าของตัวนำโลหะตามเนื้อหาในหนังสือเรียน จนได้ข้อสรุปว่า กระแสไฟฟ้าในโลหะเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระอย่างเดียว

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

ให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับการนำไฟฟ้าในตัวกลางอื่นๆ เช่น การนำไฟฟ้าในหลอดสุญญากาศ อิเล็กโทรไลต์ หลอดบรรจุแก๊ส และสารกึ่งตัวนำ โดยสืบค้นว่าการนำไฟฟ้าในตัวกลางเหล่านี้เกิดจากการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าในลักษณะใด

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

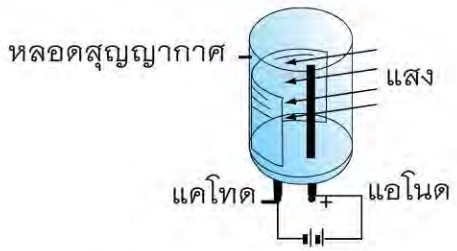
การนำไฟฟ้าในหลอดสุญญากาศ

ดังรูป 14.1 เมื่อต่อแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงกับขั้วแอโนดและแคโทดของหลอดไดโอด

โดยให้ศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วแอโนดสูงกว่าแคโทด แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าจะทำให้อิเล็กตรอนที่หลุดออกจากแคโทดเนื่องจากถูกทำให้ร้อนเคลื่อนที่ผ่านสุญญากาศไปแอโนด จึงมีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น ปัจจุบันไม่มีการใช้หลอดไดโอด

หลอดโฟโตอิเล็กทริก เป็นหลอดสุญญากาศที่มี 2 ขั้ว คือขั้วแอโนดและแคโทด ดังรูป 14.2 เมื่อต่อแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงกับขั้วแอโนดและแคโทด โดยให้ศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วแอโนดสูงกว่าแคโทด แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้า จะทำให้อิเล็กตรอนที่หลุดจากแคโทดเนื่องจากมีแสงตกกระทบ เคลื่อนที่ผ่านสุญญากาศไปยังแอโนดจึงมีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น ในอดีตมีการใช้หลอดโฟโตอิเล็กทริกเป็นส่วนประกอบของเครื่องฉายภาพยนตร์

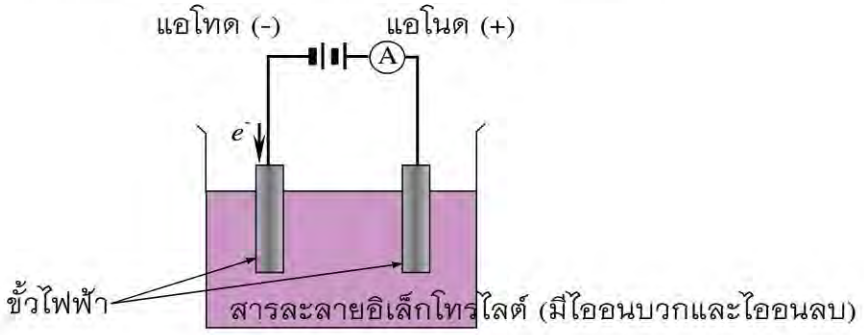
รูป 14.1 หลอดไดโอด



รูป 14.2 หลอดโฟโตอิเล็กทริก

การนำไฟฟ้าในอิเล็กโทรไลต์

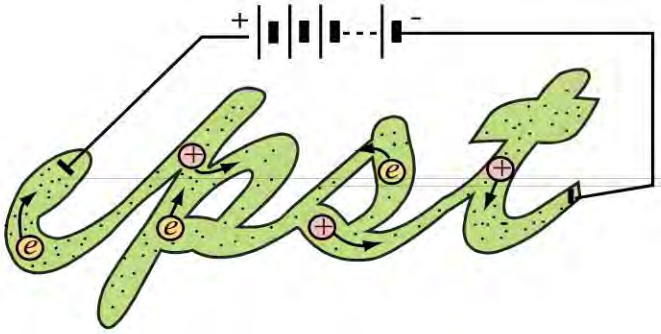
อิเล็กโทรไลต์เป็นสารละลายที่สามารถนำไฟฟ้าได้ ซึ่งอาจเป็นสารละลายของกรด เบส หรือเกลือ ตัวอย่างเช่น สารละลายกำมะถัน สารละลายเบสโซเดียมไฮดรอกไซด์ และสารละลายเกลือคอปเปอร์ซัลเฟต เป็นต้น โดยกระแสไฟฟ้าในสารละลายเกิดจากการเคลื่อนที่ของไอออนที่เกิดจากการแตกตัวของกรด เบส หรือเกลือ การนำไฟฟ้าในอิเล็กโทรไลต์ทำให้เกิดขึ้นได้โดยจุ่มแผ่นโลหะ 2 แผ่นลงในอิเล็กโทรไลต์ แล้วต่อเข้ากับขั้วของแบตเตอรี่ โดยมีแอมมิเตอร์เพื่อวัดกระแสไฟฟ้าในวงจรด้วยดังรูป 14.3 จะพบว่าเข็มของแอมมิเตอร์เบนไปจากตำแหน่งเดิม แสดงว่ามีกระแสไฟฟ้าผ่านอิเล็กโทรไลต์



รูป 14.3 การนำไฟฟ้าในสารละลายอิเล็กโทรไลต์

การนำไฟฟ้าในหลอดบรรจุแก๊ส

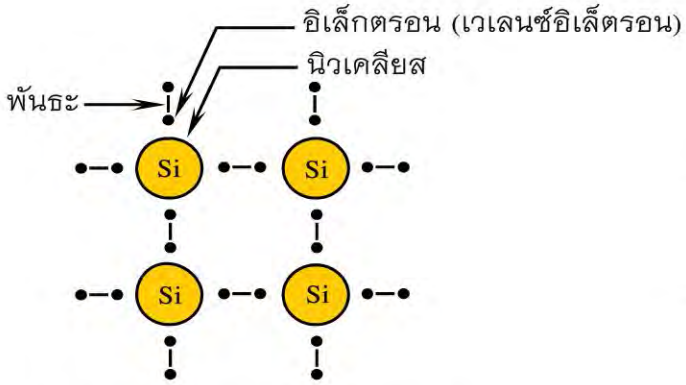
แก๊สในภาวะปกติจะนำไฟฟ้าและแตกตัวเป็นไอออนได้ยาก แต่ถ้าทำให้แก๊สอยู่ในสภาวะความดันต่ำ (ต่ำกว่าความดันบรรยากาศประมาณ 15 - 30 เท่า) และอยู่ในสนามไฟฟ้ามีค่าสูงจะแตกตัวเป็นไอออนได้ง่ายและนำไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าในหลอดบรรจุแก๊ส เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระและไอออนบวก โดยเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระเป็นหลักเพราะประจุบวกเคลื่อนที่ช้ากว่าอิเล็กตรอนอิสระมาก กล่าวคือ อิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่ชนอะตอมของแก๊สทำให้อะตอมแตกตัวเป็นไอออนบวกและอิเล็กตรอน หลังจากนั้นไอออนบวกและอิเล็กตรอนกลับมารวมตัวกันโดยเปล่งแสงออกมา



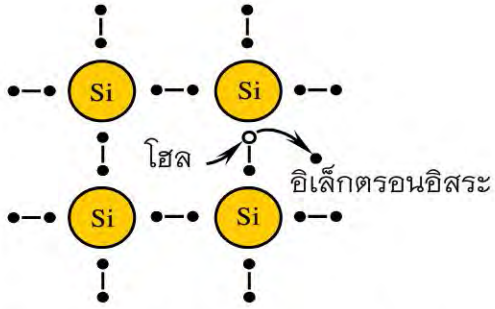
รูป 14.4 การนำไฟฟ้าในหลอดบรรจุแก๊ส

การนำไฟฟ้าในสารกึ่งตัวนำ

สารกึ่งตัวนำเป็นสารที่มีสมบัติทางไฟฟ้าระหว่างตัวนำและฉนวน เช่น ซิลิกอน ซึ่งเป็นธาตุหมู่ 4 มีเวเลนซ์อิเล็กตรอน 4 ตัว โดยมีโครงสร้างเวเลนซ์อิเล็กตรอนแต่ละอะตอมดังรูป 14.5 ก ซึ่งไม่มีอิเล็กตรอนอิสระที่ทำให้เกิดการนำไฟฟ้าได้ แต่ถ้ามีสนามไฟฟ้าที่มีความเข้มมากผ่านเข้าไป จะทำให้อิเล็กตรอนบางตัวในพันธะ หลุดออกมากลายเป็นอิเล็กตรอนอิสระ และเกิดที่ว่างเรียกว่า โฮล ดังรูป 14.5 ข โฮลจะมีพฤติกรรมคล้ายประจุไฟฟ้าบวก แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าที่กระทำต่ออิเล็กตรอนและโฮลจะมีทิศทางตรงข้ามกัน อิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้ามกับสนามไฟฟ้า ส่วนโฮลเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกับสนามไฟฟ้า ดังนั้นการนำไฟฟ้าในสารกึ่งตัวนำจึงเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระและโฮล



รูป 14.5 ก. โครงสร้างของซิลิกอน



รูป 14.5 ข. อิเล็กตรอนอิสระและโฮล

14.1.2 กระแสไฟฟ้าในตัวนำไฟฟ้า

จุดประสงค์ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. บอกได้ว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าในตัวกลางใดๆ หาได้จากปริมาณประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ผ่านภาคตัดขวางของตัวกลางนั้นในหนึ่งหน่วยเวลา
2. บอกได้ว่ากระแสไฟฟ้าในตัวกลางใดๆ มีทิศทางจากจุดที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงไปยังจุดที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่า และอยู่ในทิศทางเดียวกับสนามไฟฟ้า
3. บอกความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า จำนวนประจุไฟฟ้า ขนาดของความเร็วลอยเลื่อนและพื้นที่ตัดขวางของตัวนำโลหะขณะมีกระแสไฟฟ้าผ่าน และคำนวณหาปริมาณต่างๆ เหล่านั้น เมื่อกำหนดสถานการณ์ให้

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

–

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

2.1 ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายถึงกระแสไฟฟ้าในตัวนำโลหะที่ต่อกับแบตเตอรี่ดังนี้ แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าจะทำให้อิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่ ในทิศทางตรงกับทิศทางของสนามไฟฟ้า ดังนั้น กระแสไฟฟ้าในตัวนำโลหะมีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ หรือทิศทางของกระแสอิเล็กตรอน

2.2 ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายรายละเอียดในหนังสือเรียน จนได้ความสัมพันธ์ $I = \frac{Q}{t}$ และ $I = nev_d A$

เมื่อ n เป็นความหนาแน่นของอิเล็กตรอนอิสระ หรือจำนวนอิเล็กตรอนอิสระในหนึ่งหน่วยปริมาตรตัวนำ

v_d เป็นขนาดความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนอิสระ

e เป็นประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอนอิสระหนึ่งตัว (อนุภาค)

A เป็นพื้นที่ตัดขวางของตัวนำโลหะ

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

–

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

1. ครูควรเน้นให้นักเรียนทราบว่า จำนวนประจุ Q ที่เคลื่อนที่ผ่านภาคตัดขวางของตัวนำที่เป็นแก๊สและของเหลวนั้นคิดทั้งประจุบวกและประจุลบ เช่น มีประจุบวกเคลื่อนที่ผ่านเป็นจำนวนประจุ Q_1 และประจุลบเคลื่อนที่ผ่าน (สวนทางกัน) จำนวน Q_2 ประจุที่ผ่านภาคตัดขวาง คือ $Q_1 + Q_2$ ไม่ใช่คิดแต่ Q_1 อย่างเดียว ทั้งนี้อธิบายได้ว่า ทั้งประจุบวกและประจุลบต่างเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ภาคตัดขวางของตัวนำสวนทางกัน (ประจุบวกเคลื่อนที่ทางเดียวกับสนามไฟฟ้า) แต่ในกรณีตัวนำที่เป็นของแข็งหรือผลึกนั้น จะได้ว่าจำนวนประจุที่ผ่านภาคตัดขวาง คือ ประจุลบอย่างเดียวหรือ Q_2

2. ทิศทางของกระแสไฟฟ้าในตัวกลางใดๆ มีทิศทางเดียวกับทิศทางสนามไฟฟ้าหรือมีทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของประจุบวก ครูเน้นให้นักเรียนทราบว่า กระแสไฟฟ้าเป็นปริมาณสเกลาร์แต่ต้องกำหนดทิศทางของสนามไฟฟ้าด้วย

14.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์

14.2.1 กฎของโอห์มและความต้านทาน

จุดประสงค์ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. ทำการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า และความต่างศักย์ในตัวนำโลหะได้ และบอกได้ว่าความสัมพันธ์นี้เป็นไปตามกฎของโอห์ม
2. อธิบายความหมายของความต้านทานได้
3. อ่านค่าของความต้านทานจากแถบสีบนตัวต้านทานค่าคงตัวได้
4. บอกสมบัติเกี่ยวกับความต้านทานของไดโอดที่ทำจากสารกึ่งตัวนำได้

ก. กฎของโอห์ม

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูทบทวนความรู้เรื่องกระแสไฟฟ้า และความต่างศักย์ ให้นักเรียนสังเกตว่า ความต่างศักย์มีผลทำให้ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ เกิดเป็นกระแสไฟฟ้าในตัวนำ ดังนั้นความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าน่าจะมีความสัมพันธ์กัน แต่จะมีความสัมพันธ์กันอย่างไร ให้ศึกษาจากการทดลอง 14.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

ทำการทดลอง 14.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ เพื่อให้ได้ข้อสรุปว่า กระแสไฟฟ้าในตัวนำโลหะแปรผันตรงกับความต่างศักย์ระหว่างจุดสองจุดในตัวนำโลหะ

เวลาที่ใช้

แนะนำก่อนการทดลอง 10 นาที

ทำการทดลอง 30 นาที

อภิปรายหลังทำการทดลอง 10 นาที รวม 50 นาที

วัสดุอุปกรณ์

รายการ	จำนวนต่อกลุ่ม (5 คน)
1. แบตเตอรี่ขนาด 1.5 V จำนวน 4 ก้อน พร้อมกระบะ	1 ชุด
2. สายไฟพร้อมปากหนีบ	1 ชุด
3. แอมมิเตอร์	1 เครื่อง
4. โวลต์มิเตอร์	1 เครื่อง
5. ลวดนิโครม	1 เส้น

แนะนำก่อนทำการทดลอง

1. การใช้แอมมิเตอร์จะต้องต่ออนุกรมกับลวดนิโครม โดยต่อขั้วเสียบสายไฟที่มาจากขั้วบวกของแบตเตอรี่เข้ากับขั้วบวกของแอมมิเตอร์ และย้ำว่าแอมมิเตอร์จะต่ออนุกรมเข้ากับวงจรที่มีตัวต้านทานต่ออยู่ด้วย ในกรณีที่หาลวดนิโครมไม่ได้ ให้ใช้ตัวต้านทานขนาด 8 - 15 โอห์ม แทนได้

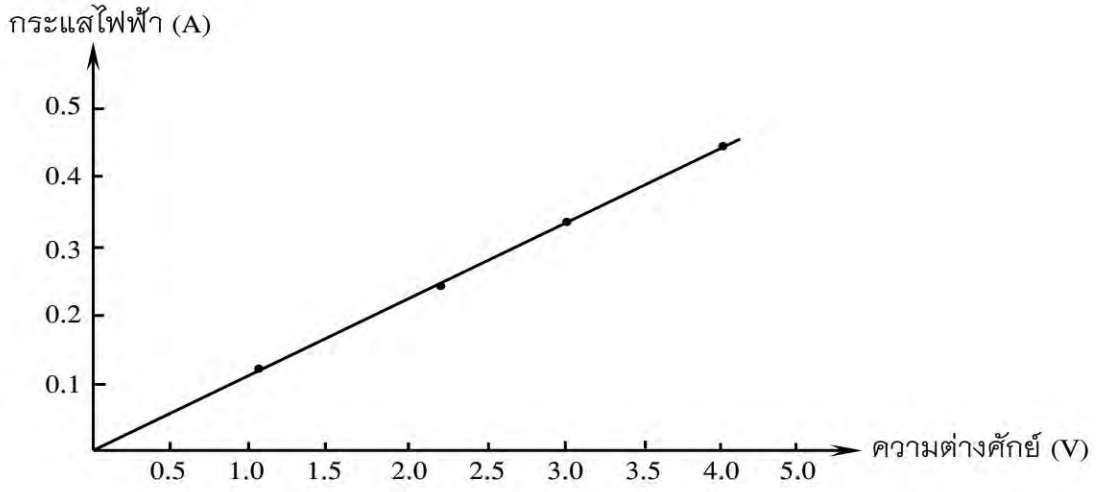
2. โวลต์มิเตอร์จะต้องต่อขนานกับส่วนของวงจรที่ต้องการวัดความต่างศักย์ ขั้วของโวลต์มิเตอร์จะต้องต่อเข้ากับสองจุด ที่ต้องการจะวัดความต่างศักย์ โดยขั้วบวกของโวลต์มิเตอร์ต่อกับจุดที่มีศักย์ไฟฟ้าสูง ขั้วลบต่อกับจุดที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำ

3. เมื่ออ่านค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์แต่ละครั้งได้แล้ว ให้ดึงขั้วเสียบออกจากแบตเตอรี่ หากทิ้งไว้จะทำให้ลวดนิโครมร้อน ทำให้ความต้านทานของลวดนิโครมเพิ่มขึ้น

ตัวอย่างผลการทดลอง

จำนวนแบตเตอรี่	ความต่างศักย์ (V)	กระแสไฟฟ้า (A)
1 ก้อน	1.1	0.12
2 ก้อน	2.2	0.24
3 ก้อน	3.0	0.33
4 ก้อน	4.0	0.44

เมื่อนำผลที่ได้จากการทดลอง มาเขียนกราฟระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ จะได้กราฟดังรูป 14.6



รูปที่ 14.6 กราฟระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์จากผลการทดลอง

กราฟที่ได้เป็นกราฟเส้นตรงผ่านจุดกำเนิด แสดงให้เห็นว่า กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์มีความสัมพันธ์กันในลักษณะแปรผันตามกัน

นั่นคือ $I \alpha V$ หรือ $I = kV$ เมื่อ k เป็นค่าคงตัว

และ $\frac{I}{V} = k$

ค่า $\frac{I}{V}$ ก็คือ ความชันของกราฟ ซึ่งเป็นค่าคงตัว

ในการทดลองนี้ ใช้ลวดนิโครมซึ่งเป็นตัวนำโลหะ ค่า k นี้ควรเกี่ยวข้องกับสมบัติทางไฟฟ้าของลวดนิโครมเส้นนี้ (ถ้าหากโรงเรียนมีลวดนิโครมหลายขนาด อาจสาธิตประกอบคำอธิบายได้) ตั้งคำถามเพื่อเป็นแนวทางไปสู่การอธิบายเรื่องความต้านทานว่า ถ้าเปลี่ยนลวดนิโครมให้มีความยาวมากขึ้น กระแสไฟฟ้าจะมีค่าน้อยลง หรือเพิ่มขึ้น (ลดลง)

สมบัติในการต้านกระแสไฟฟ้าของตัวนำใดๆ เรียกว่า ความต้านทาน (R) มีหน่วยเป็นโอห์ม จาก $k = \frac{I}{V}$

ถ้ากำหนดให้ $\frac{I}{V} = \frac{1}{R}$

ดังนั้น $V = IR$

ให้นักเรียนหาความชันของกราฟ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับความต้านทานของลวดนิโครมที่วัดด้วยเครื่องมัลติมิเตอร์ ซึ่งควรจะได้ค่าใกล้เคียงหรือเท่ากัน

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

ให้นักเรียนสืบค้นความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ในตัวนำไฟฟ้า เช่น หลอดไดโอด อิเล็กโทรไลต์ สารกึ่งตัวนำ และนำมาอภิปรายร่วมกันเพื่อให้ได้ข้อสรุปว่า

ตัวนำไฟฟ้าที่เป็นโลหะจะมีความต้านทานคงตัว และเป็นไปตามกฎของโอห์ม ส่วนตัวนำไฟฟ้าอื่นๆ ความต้านทานไม่คงตัว จึงไม่เป็นไปตามกฎของโอห์ม

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

นิโครมเป็นโลหะผสมระหว่างนิกเกิลกับโครเมียม มีความต้านทานสูงกว่าโลหะทั่วไป จึงนิยมใช้ทำเป็นเส้นลวดในเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ให้ความร้อน เพราะสามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนได้ดี

ข. ตัวต้านทาน

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูทบทวนการทดลอง 14.1 ลวดนิโครมเป็นตัวต้านทานชนิดหนึ่ง ในวงจรไฟฟ้าทั่วๆ ไปก็มีชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่มีความต้านทาน เช่น ตัวต้านทาน แอลดีอาร์ เทอร์มิสเตอร์ ไดโอด เป็นต้น ซึ่งความรู้ของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์จะศึกษาต่อไป

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับตัวต้านทานค่าคงตัวซึ่งเป็นแบบฟิล์มโลหะและฟิล์มคาร์บอน การอ่านค่าของความต้านทานจากแถบสีของตัวต้านทานค่าคงตัว และตัวต้านทานแปรค่า เช่น แอลดีอาร์ เทอร์มิสเตอร์ ไดโอด

รูป 14.7 ตัวต้านทานค่าคงตัว

ตัวต้านทานที่มีขายทั่วไป จะเป็นตัวต้านทานแบบฟิล์มโลหะ โครงสร้างภายในมีแกนกลางเป็นฉนวนเซรามิก และมีฟิล์มโลหะเคลือบที่ปลายทั้งสอง โดยมีขั้วโลหะต่อขาตัวต้านทานออกมา ตัวต้านทานนี้จะมีแถบสี 5 แถบ และแถบที่ 5 จะเป็นสีน้ำตาล ซึ่งมีความผิดพลาด 1% ส่วนตัวต้านทานแบบฟิล์มคาร์บอน ซึ่งมีความเที่ยงตรงน้อยกว่าแบบแรก จะมีแถบสี 4 แถบ ความผิดพลาด 5% และ 10%

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

–

14.2.2 สภาพต้านทานไฟฟ้าและสภาพนำไฟฟ้า

จุดประสงค์ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. อธิบายความหมายของสภาพต้านทาน และสภาพนำไฟฟ้า
2. บอกความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทาน สภาพต้านทาน ความยาวและพื้นที่ภาคตัดขวางของลวดตัวนำที่มีขนาดสม่ำเสมอได้ และสามารถคำนวณหาปริมาณดังกล่าวจากสถานการณ์ที่กำหนดให้

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูทบทวนความรู้เกี่ยวกับความต้านทานของลวดนิโครม ว่ามีความต้านทานคงตัวและเป็นไปตามกฎของโอห์ม โดยตั้งคำถามให้นักเรียนหาคำตอบว่า หากพิจารณาลวดนิโครมเช่นเดิม แต่เปลี่ยนความยาวและพื้นที่หน้าตัด ความต้านทานจะมีค่าแตกต่างออกไปหรือไม่

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

2.1 ครูนำลวดนิโครมที่มีความยาวและพื้นที่หน้าตัดแตกต่างกัน สาธิตให้นักเรียนเห็นว่า ความยาวและขนาดเส้นลวดตัวนำมีผลต่อความต้านทาน และสรุปให้ได้ว่า ความต้านทาน (R) ของลวดตัวนำที่ทำจากโลหะชนิดหนึ่งๆ จะแปรผันตรงกับความยาวของลวดตัวนำ และแปรผกผันกับพื้นที่ตัดขวาง (A) ของลวดตัวนำนั้น

เขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ว่า $R \ \alpha \ \frac{l}{A}$

หรือ $R = \rho \frac{l}{A}$

ρ คือ สภาพต้านทาน มีหน่วยเป็น โอห์มเมตร และมีค่าไม่เท่ากัน ขึ้นกับชนิดของโลหะที่ทำลวดตัวนำ หรือขึ้นกับชนิดของสารที่เป็นลวดตัวนำนั้น

2.2 นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายตามหนังสือเรียน ให้ได้ข้อสรุปที่ว่า

1. สภาพต้านทานของสารชนิดเดียวกันมีค่าเท่ากัน
2. ความต้านทานของสารชนิดเดียวกันอาจแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความยาวและพื้นที่หน้าตัดของสารนั้น
3. ความนำไฟฟ้าเป็นส่วนกลับของความต้านทาน มีหน่วยเป็น (โอห์ม)$^{-1}$ หรือ ซีเมนส์
4. สภาพนำไฟฟ้าเป็นส่วนกลับของสภาพต้านทาน มีหน่วยเป็นซีเมนส์ต่อเมตร
5. สเตรนเกจ เป็นอุปกรณ์วัดแรงที่ทำให้วัตถุโค้งหรือบิดงอ โดยอาศัยหลักที่ว่า ถ้าลวดตัวนำมีความยาวหรือพื้นที่หน้าตัดเปลี่ยนไป จะทำให้ความต้านทานเปลี่ยนไป และความต้านทานที่เปลี่ยนไปนี้สามารถเทียบเป็นค่าของแรงได้

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

–

14.2.3 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อสภาพต้านทาน

จุดประสงค์ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. อธิบายได้ว่า สภาพต้านทานของโลหะบริสุทธิ์ โลหะผสม สารกึ่งตัวนำ และฉนวน จะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ
2. บอกความหมายของสภาพยวดยิ่งของตัวนำได้
3. บอกประโยชน์บางประการ จากความรู้เกี่ยวกับผลของอุณหภูมิที่มีต่อสภาพต้านทานได้

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

–

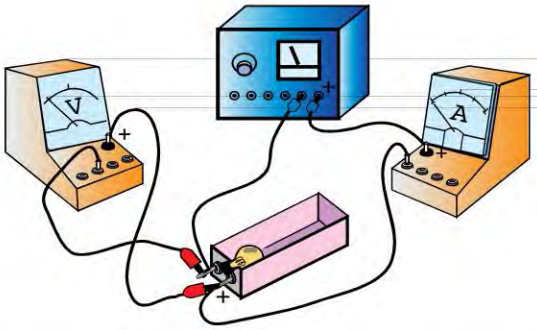
2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

ครูสาธิต หรือให้นักเรียนทำกิจกรรมดังต่อไปนี้ เพื่อความเข้าใจเกี่ยวกับผลของอุณหภูมิที่มีต่อความต้านทาน

วัสดุอุปกรณ์

รายการ	จำนวนต่อกลุ่ม (5 คน)
1. หม้อแปลงไฟฟ้าโวลต์ต่ำ (ใช้ไฟฟ้ากระแสตรง)	1 เครื่อง
2. หลอดไฟ 12 V พร้อมกล่องแสง	1 ชุด
3. แอมมิเตอร์	1 เครื่อง
4. โวลต์มิเตอร์	1 เครื่อง
5. สายไฟพร้อมปากหนีบ	1 ชุด

ต่อวงจรดังรูป 14.8 เปลี่ยนค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า แล้วอ่านค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์จากแอมมิเตอร์และโวลต์มิเตอร์ นำผลที่ได้มาเขียนกราฟ

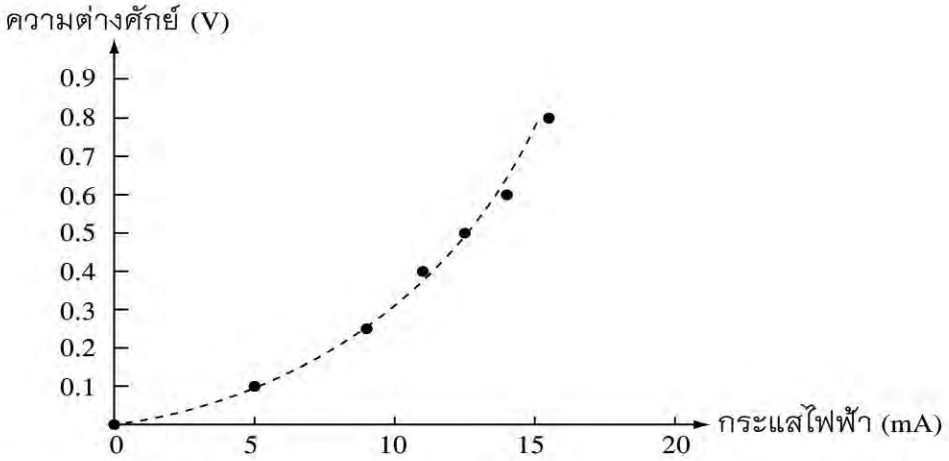


รูป 14.8 การต่ออุปกรณ์เพื่อวัดค่าความต้านทานที่เปลี่ยนไป

ตัวอย่าง ผลการทดลอง

E (V)	2.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
I (mA)	5.0	9.0	11.0	12.5	14.0	15.5
V (V)	0.1	0.25	0.4	0.5	0.6	0.8

นำผลมาเขียนกราฟได้ดังรูป



รูปที่ 14.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์

วิเคราะห์ผล

1. กราฟระหว่างความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าที่ผ่านไส้หลอดไม่เป็นเส้นตรง

2. เมื่อความต่างศักย์ที่ปลายไส้หลอดต่างกันมากพอ กระแสไฟฟ้าที่ผ่านทำให้ไส้หลอดร้อนจนเปล่งแสงออกมา

3. ความชัน ณ ตำแหน่งต่างๆ หาได้จากการลากเส้นสัมผัสเส้นกราฟ ซึ่งความชันของกราฟเพิ่มขึ้น และความชันเท่ากับความต้านทาน หรือแสดงว่าความต้านทานของไส้หลอดเพิ่มขึ้น เมื่อความต่างศักย์เพิ่มขึ้น

4. เมื่ออุณหภูมิของลวดโลหะสูงขึ้น ค่าความต้านทานของไส้หลอดจะเพิ่มขึ้น จากนั้นช่วยกันสรุปให้ได้สาระสำคัญตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

–

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของโลหะบริสุทธิ์กับอุณหภูมิเป็นดังนี้

$$R_t = R_0(1+\alpha t)$$

เมื่อ R_0 เป็นความต้านทานของโลหะที่ 0 °C

R_t เป็นความต้านทานของลวดโลหะที่ t °C

α เป็นสัมประสิทธิ์ต่ออุณหภูมิของความต้านทาน หรือความต้านทานของลวดตัวนำที่เพิ่มขึ้นทุก 1 °C จากความต้านทานเดิม 1 โอห์ม ที่ 0 °C

ตารางค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานของโลหะ

ชนิดโลหะ	สัมประสิทธิ์ความต้านทาน (/ °C)
เงิน	4.1×10^{-3}
ทองแดง	4.3×10^{-3}
อะลูมิเนียม	4.4×10^{-3}
ทังสเตน	4.5×10^{-3}

14.3 พลังงานในวงจรไฟฟ้า

14.3.1 แรงเคลื่อนไฟฟ้าและความต่างศักย์

จุดประสงค์ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. บอกความหมายของแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าได้
2. ทำกิจกรรมและสรุปได้ว่า ความต่างศักย์ที่ขั้วของแบตเตอรี่จะมีค่าใกล้เคียงกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่นั้นต่อกับความต้านทานภายนอกที่มีค่ามาก
3. อธิบายความแตกต่างระหว่างความต่างศักย์ และแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้
4. บอกความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าในวงจร แรงเคลื่อนไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ความต้านทานภายนอก ความต้านทานภายในแบตเตอรี่ และความต่างศักย์ระหว่างขั้วของแบตเตอรี่ได้

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ทบทวนเรื่องแหล่งกำเนิดไฟฟ้า และเน้นกับนักเรียนว่า แหล่งกำเนิดไฟฟ้าจะเปลี่ยนพลังงานรูปอื่นให้เป็นพลังงานไฟฟ้า และประจุไฟฟ้าจะถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าไปยังตัวนำ

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

2.1 อธิบายความหมายของแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

2.2 ให้นักเรียนพิจารณาค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ซึ่งจะเห็นตัวเลขบนตัวแบตเตอรี่ เช่น 1.5V หรือ 9V เป็นต้น โดยตัวเลขที่ปรากฏ หมายถึง ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า 1.5V หมายความว่า ขณะประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ได้นำพลังงานไฟฟ้าจำนวน 1.5 จูลต่อคูลอมบ์ จากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไปยังส่วนต่างๆ ของวงจร

2.3 ครูถามคำถาม แรงเคลื่อนไฟฟ้ากับความต่างศักย์ระหว่างขั้วของแบตเตอรี่ เกี่ยวข้องกันอย่างไร โดยให้นักเรียนศึกษาจากการทดลอง 14.2 ความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่

ตัวอย่างการทดลอง 14.2 ความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่

จุดประสงค์ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. บอกความแตกต่างระหว่างความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่และแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแบตเตอรี่
2. บอกความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่และแรงเคลื่อนไฟฟ้าในกรณีที่วงจรไฟฟ้ามีตัวต้านทานที่มีค่าน้อยๆ และค่ามากๆ ต่ออยู่

เวลาที่ใช้

แนะนำก่อนทำการทดลอง 10 นาที

ทำการทดลอง 25 นาที

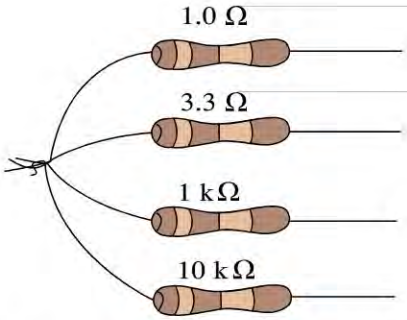
อภิปรายหลังการทดลอง 15 นาที รวม 50 นาที

วัสดุอุปกรณ์

รายการ	จำนวนต่อกลุ่ม (5 คน)
1. ตัวต้านทาน 1.0 Ω , 3.3 Ω , 1 kΩ และ 10 kΩ	อย่างละ 1 ตัว
2. แบตเตอรี่ 1 ก้อน พร้อมกระบะ	1 ชุด
3. โวลต์มิเตอร์	1 เครื่อง
4. สายไฟพร้อมปากหนีบ	1 ชุด

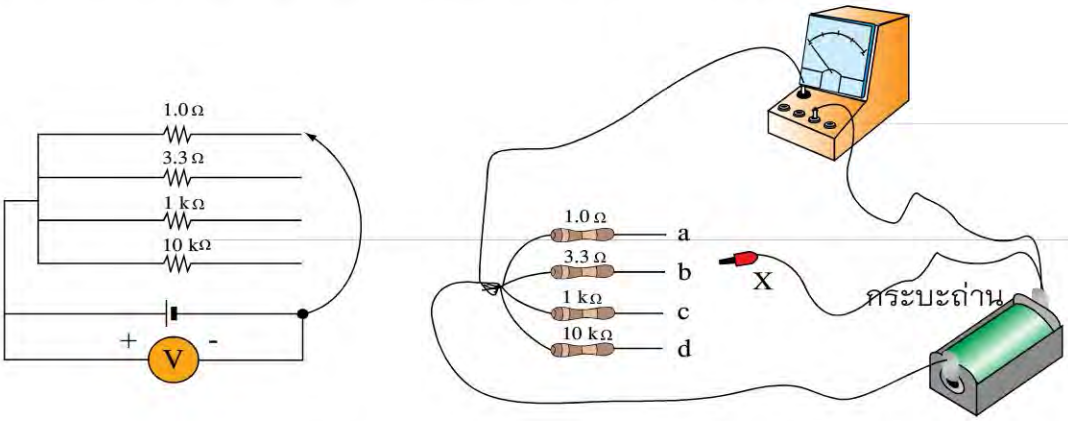
การเตรียมการก่อนการทดลอง

1. เพื่อให้การทดลองผิดพลาดน้อยที่สุด ครูควรนำปลายความต้านทาน 1.0 Ω, 3.3Ω, 1 kΩ และ 10 kΩ มาบัดกรีเข้าด้วยกันดังรูป 14.10 และให้เท่ากับจำนวนกลุ่มทดลอง



รูป 14.10 การต่อตัวต้านทานเพื่อการทดลอง

2. ภาพการต่อความต้านทานของการทดลอง จะเป็นดังรูปที่ 14.11



รูป 14.11 การต่อวงจรสำหรับการทดลอง

3. ในการทดลองนี้ใช้แบตเตอรี่ 1 ก้อน เท่านั้น ให้จุด X ต่อกับจุด a, b, c และ d แล้วอ่านความต่างศักย์แต่ละครั้ง ส่วนการวัดค่าความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่ขณะที่ไม่ต่อกับความต้านทานภายนอก ให้อ่านค่าความต่างศักย์จากโวลต์มิเตอร์ ในขณะที่จุด X ในวงจรไม่ได้ต่อกับจุด a, b, c และ d

ตัวอย่างผลการทดลอง

ความต้านทานที่ต่อกับแบตเตอรี่ (Ω)	ความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่ (V)
ไม่มีความต้านทาน	1.45
1.0	0.30
3.5	0.57
1 k	1.37
10 k	1.42

นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายถึงผลการทดลองที่ได้ จนได้ข้อสรุปดังนั้น

1. ความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่มีค่ามาก ขณะแบตเตอรี่นั้นไม่ต่ออยู่กับความต้านทานภายนอก แรงเคลื่อนไฟฟ้าของแบตเตอรี่มีค่าใกล้เคียงกับความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่นั้นต่ออยู่กับตัวต้านทานภายนอกที่มีค่าสูงมาก

2. ความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่มีค่าน้อยกว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า เมื่อแบตเตอรี่นั้นต่ออยู่กับความต้านทานภายนอกที่มีค่าน้อย

3. เพื่อให้เข้าใจผลการทดลองมากยิ่งขึ้น ให้ศึกษารายละเอียดในหนังสือเรียนที่อธิบายเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าของแบตเตอรี่ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในวงจรและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในแบตเตอรี่ โดยใช้กฎอนุรักษ์พลังงานและกฎของโอห์ม จนได้ความสัมพันธ์ตามสมการ $V = E - Ir$

ในกรณีไม่มีความต้านทานภายนอกต่ออยู่กับแบตเตอรี่ เมื่อนำโวลต์มิเตอร์มาวัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่ ค่าที่อ่านได้จะใกล้เคียงกับการนำความต้านทานของโวลต์มิเตอร์มาต่อกับแบตเตอรี่ทำให้มีกระแสไฟฟ้าเคลื่อนที่ออกจากแบตเตอรี่ แต่เนื่องจากความต้านทานของโวลต์มิเตอร์มีค่ามาก ทำให้วัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่ใกล้เคียงกับการวัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วของแบตเตอรี่ที่วัดได้ในขณะที่มีความต้านทานที่มีค่ามากต่ออยู่

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

ใช้คำถามต่อไปนี้เพื่อตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียน

1. เหตุใดการใช้ตัวต้านทานค่าน้อยต่อในวงจรไฟฟ้า ทำให้ค่าของแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่างจากค่าของความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่มาก

แนวตอบ จากสมการ $I = \dfrac{E}{R+r}$ และ $E = V + Ir$

ถ้าตัวต้านทาน R มีค่าน้อย กระแสไฟฟ้า I ในวงจรมีค่าเพิ่มมากขึ้น Ir ก็มีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่ (V) และแรงเคลื่อนไฟฟ้า (E) มีค่าต่างกันมาก

2. แรงเคลื่อนไฟฟ้าและความต่างศักย์เหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

แนวตอบ แรงเคลื่อนไฟฟ้าและความต่างศักย์เป็นปริมาณไฟฟ้าชนิดเดียวกัน แต่แรงเคลื่อนไฟฟ้าคือพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดต่อหนึ่งหน่วยประจุ ส่วนความต่างศักย์ระหว่างสองจุดใดๆ ในวงจรที่มีกระแสไฟฟ้า คือ พลังงานไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยประจุที่สูญเสียไปในระหว่างสองจุดนั้น ส่วนกรณีที่ไม่ได้ต่อแบตเตอรี่ให้ครบวงจร (แบตเตอรี่ไม่จ่ายกระแสไฟฟ้า) ความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่จะเท่ากับแรงเคลื่อนไฟฟ้า

14.3.2 พลังงานไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า

จุดประสงค์ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. บอกได้ว่าในเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานรูปอื่นๆ
2. บอกความหมายของกำลังไฟฟ้า
3. อธิบายวิธีการหาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ และใช้ความสัมพันธ์นี้คำนวณหาค่าที่เกี่ยวข้องได้
4. คำนวณหาพลังงานไฟฟ้า และค่าไฟฟ้าที่ใช้สิ้นเปลืองไปในเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดต่างๆ รวมทั้งคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านได้

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูเตรียมเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสตรง 2-3 ประเภท เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่ เครื่องเล่นวีซีดี หลอดไฟแบบมีไส้ เป็นต้น แล้วถามนักเรียนว่า ตัวเลขและอักษรบนเครื่องใช้ไฟฟ้านั้น หมายถึงอะไร เช่น 60W 220V หรือ 750W 220V ซึ่งตัวเลขเหล่านี้จะนำไปใช้ในการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องใช้ไฟฟ้านั้นใช้

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายการหาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และความต่างศักย์ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

–

14.4 การต่อตัวต้านทานและแบตเตอรี่

14.4.1 การต่อตัวต้านทาน

จุดประสงค์ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. บอกวิธีการต่อตัวต้านทานแบบอนุกรมและแบบขนานได้
2. ทำการทดลองวัดกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ในวงจรไฟฟ้า ที่มีตัวต้านทานต่อกันแบบอนุกรมและแบบขนานได้
3. ใช้ผลการทดลองมาสรุปเป็นกฎสำหรับหาความต้านทานสมมูลของตัวต้านทานที่ต่อกันแบบอนุกรมและแบบขนานได้

4. คำนวณหาความต้านทานสมมูลของตัวต้านทานที่ต่อกันแบบอนุกรมและแบบขนานได้
5. อธิบายการใช้ตัวต้านทานต่อกันเพื่อทำเป็นตัวแบ่งศักย์ไฟฟ้าได้

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ทบทวนการต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรมและแบบขนาน และการต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรมจะได้ผลลัพธ์อย่างไร และต่อแบบขนานได้ผลลัพธ์อย่างไร ถ้าเปลี่ยนจากตัวเก็บประจุเป็นตัวต้านทาน การต่อแบบอนุกรมและแบบขนาน จะได้ผลลัพธ์อย่างไร

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

ให้นักเรียนทำการทดลอง 14.3 วัดกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวต้านทาน ที่ต่อกันแบบอนุกรมและแบบขนานตามรายละเอียดในหนังสือเรียน ในการทดลองนี้ใช้ตัวต้านทาน 100 โอห์ม และ 200 โอห์ม หากไม่มีตัวต้านทานขนาดที่กำหนด ครูอาจใช้ตัวต้านทานขนาดอื่นๆ ที่ใกล้เคียงก็ได้

ตัวอย่างการทดลอง 14.3 กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวต้านทานที่ต่อกันแบบอนุกรมและแบบขนาน

จุดประสงค์ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. บอกความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าในวงจรกับกระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานแต่ละตัวที่ต่อกันแบบอนุกรมและแบบขนาน
2. บอกความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ระหว่างปลายทั้งสองของตัวต้านทานแต่ละตัวกับความต่างศักย์ระหว่างปลายทั้งสองของตัวต้านทานที่ต่อกันแบบอนุกรมและแบบขนาน

เวลาที่ใช้

แนะนำก่อนการทดลอง 10 นาที
ทำการทดลอง 30 นาที
อภิปรายหลังการทดลอง 10 นาที รวม 50 นาที

วัสดุอุปกรณ์

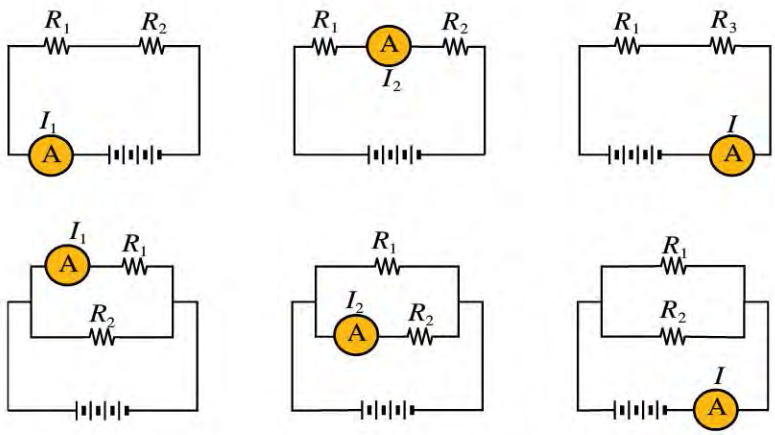
รายการ	จำนวนต่อกลุ่ม (5 คน)
1. ตัวต้านทาน (100 และ 200 โอห์ม)	2 ตัว
2. แบตเตอรี่ 4 ก้อนพร้อมกระบะ	1 ชุด
3. แอมมิเตอร์	1 เครื่อง
4. โวลต์มิเตอร์	1 เครื่อง
5. สายไฟพร้อมปากหนีบ	1 ชุด

แนะนำก่อนการทดลอง

1. การทดลองนี้ใช้แอมมิเตอร์ขนาด 100 mA และโวลต์มิเตอร์ขนาด 15 V
2. ให้นักเรียนศึกษาวงจรไฟฟ้าของวงจรแต่ละแบบ สัญลักษณ์ในวงจร เช่น I_1, I_2, I, V_1, V_2, V, V_{ab} เป็นต้น

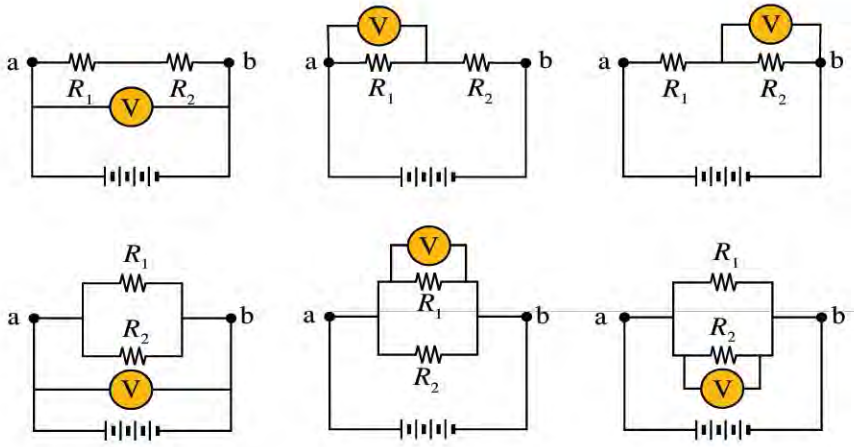
ตัวอย่างผลการทดลอง

ตอนที่ 1



รูป 14.12 การต่อแอมมิเตอร์เพื่อวัดกระแสไฟฟ้าเมื่อต่อตัวต้านทานแบบต่างๆ

ลักษณะการต่อตัวต้านทาน	I_1(A)	I_2(A)	I (A)
แบบอนุกรม	1.016	0.016	0.016
แบบขนาน	0.048	0.019	0.068



รูป 14.13 การต่อโวลต์มิเตอร์เพื่อวัดความต่างศักย์เมื่อต่อตัวต้านทานแบบต่างๆ

ลักษณะการต่อตัวต้านทาน	V_1(V)	V_2(V)	V(V)
แบบอนุกรม	1.51	3.50	5.00
แบบขนาน	5.0	5.0	5.0

อภิปรายผลการทดลอง

ร่วมกันอภิปรายผลการทดลอง และตอบคำถามตามรายละเอียดในหนังสือเรียนจนได้ข้อสรุปดังนี้

1. การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม
   1.1 กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานทุกตัวเท่ากัน และเท่ากับกระแสไฟฟ้าในวงจร
   1.2 ความต่างศักย์ที่ปลายสองข้างของชุดตัวต้านทาน จะเท่ากับผลบวกของความต่างศักย์ที่ปลายทั้งสองข้างของตัวต้านทานทุกตัว
2. การต่อตัวต้านทานแบบขนาน
   2.1 ผลบวกของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานทุกตัว จะเท่ากับกระแสไฟฟ้าในวงจร
   2.2 ความต่างศักย์ที่ปลายทั้งสองข้างของตัวต้านทานแต่ละตัวจะเท่ากัน
3. ความต้านทานสมมูลของการต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม n ตัว

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots + R_n$$

4. ความต้านทานสมมูลของการต่อตัวต้านทานแบบขนาน n ตัว

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots + \frac{1}{R_n}$$

5. ความต้านทานรวม หรือความต้านทานสมมูลของตัวต้านทานที่ต่อแบบอนุกรมจะมีค่ามากกว่าความต้านทานสมมูลของตัวต้านทานที่ต่อกันแบบขนาน ดังนั้นวงจรที่ต่อตัวต้านทานแบบอนุกรมจะมีกระแสไฟฟ้าน้อยกว่าวงจรที่ต่อตัวต้านทานแบบขนาน

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

–

การนำความรู้การต่อตัวต้านทานไปประยุกต์

ก. การแบ่งศักย์

จุดประสงค์ เพื่อให้นักเรียนสามารถนำความรู้เรื่องการต่อตัวต้านทานแบบอนุกรมไปใช้แบ่งความต่างศักย์ในวงจรได้

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ทบทวนและอภิปรายร่วมกับนักเรียน ถึงการต่อตัวต้านทานแบบอนุกรมที่ความต้านทานสมมูลจะเพิ่มขึ้น และจะทำให้กระแสไฟฟ้าในวงจรที่ต่อตัวต้านทานแบบอนุกรมมีค่าน้อยกว่ากระแสไฟฟ้าในวงจรที่ต่อตัวต้านทานแบบขนาน ซึ่งมีผลทำให้ความต่างศักย์ในวงจรเปลี่ยนแปลง ความรู้เรื่องการต่อตัวต้านทานแบบอนุกรมนำไปใช้ในการแบ่งความต่างศักย์ได้อย่างไร ศึกษาจากการทดลอง 14.4 ตัวแบ่งศักย์

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

ทำการทดลอง 14.4 ตัวแบ่งศักย์ เพื่อให้ได้ข้อสรุปที่ว่า ตัวต้านทานที่ต่อแบบอนุกรมนำไปใช้เป็นตัวแบ่งศักย์ และตัวต้านทานที่ต่อแบบขนาน ใช้เป็นตัวแบ่งกระแสไฟฟ้า จากนั้นอภิปรายร่วมกับนักเรียนตามหนังสือเรียน

ตัวอย่างการทดลอง 14.4 ตัวแบ่งศักย์

จุดประสงค์ เพื่อให้นักเรียนศึกษา

1. ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่ (V_{in}) และความต่างศักย์ที่ต้องการ (V_{out})
2. ผลของความต้านทานของโหลด (load) ที่มีต่อความต่างศักย์ที่ต้องการ

เวลาที่ใช้

แนะนำก่อนทำกิจกรรม 5 - 10 นาที

ทำการทดลอง 25 นาที

อภิปรายหลังการทดลอง 15 นาที รวม 50 นาที

วัสดุอุปกรณ์

รายการ	จำนวนต่อกลุ่ม (5 คน)
1. ตัวต้านทาน (ขนาด 330Ω , 470Ω และ 10 kΩ	3 ตัว
2. โวลต์มิเตอร์	1 เครื่อง
3. แอมมิเตอร์	1 เครื่อง
4. แบตเตอรี่ 4 ก้อนพร้อมกระบะ	1 ชุด
5. สายไฟ	6 เส้น

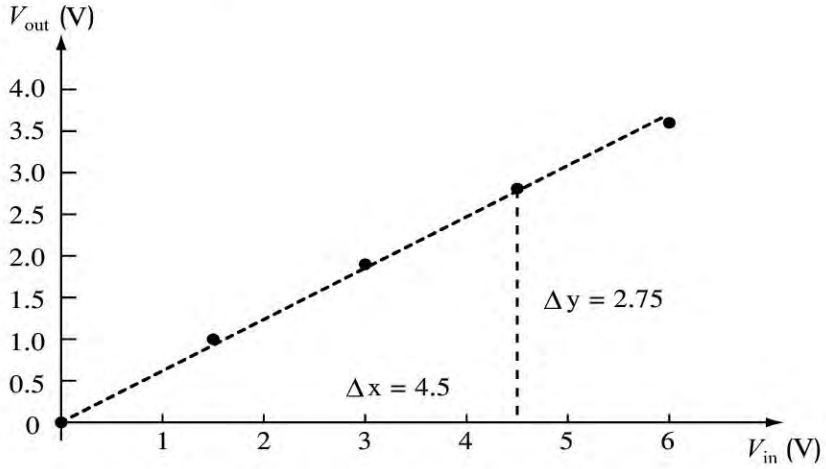
แนะนำก่อนการทดลอง

1. ให้นักเรียนต่อวงจรดังรูปการหาความสัมพันธ์ระหว่าง (V_{in}) และ (V_{out}) ของการแบ่งความต่างศักย์โดยใช้ตัวต้านทานในหนังสือเรียน การใช้แอมมิเตอร์และโวลต์มิเตอร์จะต้องระมัดระวังและต่อให้ถูกขั้ว
2. เมื่อหยุดทดลองให้ปิดวงจรทันที เพื่อไม่ให้ตัวต้านทานร้อนจัดเกินไป

ตัวอย่างการทดลอง ตอนที่ 1

(V_{in})(V)	0	1.5	3.0	4.5	6.0
(V_{out})(V)	0	1.0	1.9	2.8	3.6

นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟ จะได้



รูปที่ 14.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_{in} และ V_{out}

อภิปรายหลังการทดลอง

นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายจากผลการทดลอง และคำถามตามรายละเอียดในหนังสือเรียน ซึ่งได้ข้อสรุปดังนี้

จากกราฟซึ่งเป็นเส้นตรง จะได้ $V_{out} \alpha V_{in}$

หรือ $\frac{V_{out}}{V_{in}}$ ค่าคงตัว

ซึ่งค่าคงตัวคือความชันของกราฟ หาได้ประมาณ $\frac{2.75}{4.5} = 0.61$

ถ้าพิจารณาจากวงจร ค่าคงตัวนี้มาจากค่าตัวต้านทาน 470 และ 330 โอห์ม ที่ต่อกันแบบอนุกรม ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ผ่านความต้านทานทั้งสองจะคงตัว

ดังนั้น ค่าคงตัว $= \frac{470\ \Omega}{470\ \Omega + 330\ \Omega} = 0.5587 \approx 0.6$

จากนั้นครูให้ความรู้เกี่ยวกับการใช้ตัวต้านทานแบ่งความต่างศักย์ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน โดยใช้รูปในหนังสือเรียนเป็นตัวอย่างในการหา V_{out} ซึ่งจะได้สมการ

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{in}$$

จากสมการจะเห็นว่า V_{out} ขึ้นกับ R_1 และ R_2 ชี้ให้นักเรียนเห็นว่า นอกจากใช้ตัวต้านทาน 2 ตัว มาต่อแบบอนุกรม เพื่อเป็นตัวแบ่งศักย์แล้วยังใช้ตัวต้านทานแปรค่าเป็นตัวแบ่งศักย์ได้ ถ้าต้องการได้ความต่างศักย์ไปใช้งานตามที่ต้องการ ทำได้โดยเลื่อนตำแหน่งสัมผัสบนตัวต้านทานแปรค่า เพื่อเปลี่ยนความต้านทานนั่นเอง

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

–

ข. การแบ่งกระแสไฟฟ้า

จุดประสงค์ เพื่อให้นักเรียนสามารถนำความรู้เรื่องการต่อตัวต้านทานแบบอนุกรมไปใช้แบ่งกระแสไฟฟ้าในวงจรได้

แนวการจัดการเรียนรู้

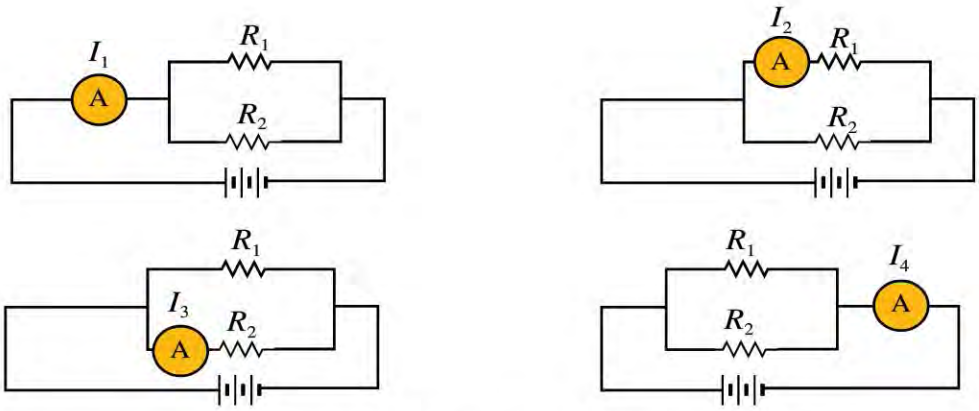
1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ทบทวนและร่วมอภิปรายผลการต่อตัวต้านทานแบบขนานในวงจรว่า ได้ผลอย่างไร

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

ครูอาจสาธิตด้วยการต่อวงจรตัวต้านทานแบบขนานดังรูปที่ 14.15 แล้ววัด I_1, I_2, I_3 และ I_4

จากการทดลอง ครูนำอภิปรายเพื่อให้ได้ข้อสรุปว่า กระแสไฟฟ้าในวงจรจะถูกแบ่งผ่านตัวต้านทานแต่ละตัวแล้วไปรวมกันอีก โดยกระแสไฟฟ้าทั้งหมดที่เข้าหาจุดใดๆ ในวงจรจะเท่ากับกระแสไฟฟ้าทั้งหมดที่ออกจากจุดนั้น



รูป 14.15 การวัดกระแสไฟฟ้าเมื่อต่อตัวต้านทานแบบขนาน

14.4.2 การต่อแบตเตอรี่

ก. การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม

จุดประสงค์ เพื่อให้นักเรียนสามารถหาแรงเคลื่อนไฟฟ้าสมมูลภายหลังต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรมได้

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ทบทวนวิธีต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม จากนั้นสาธิตให้นักเรียนสังเกตจากค่าที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์ โดยนำแบตเตอรี่ 2 ก้อนมาต่อกันแบบอนุกรม แล้วใช้โวลต์มิเตอร์วัด ซึ่งจะได้ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าสมมูลเท่ากับผลบวกของค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแบตเตอรี่แต่ละก้อน หรือ $E = E_1 + E_2$

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

2.1 ให้ความรู้ถึงการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้าสมมูลกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแบตเตอรี่แต่ละก้อน ตามรายละเอียดในหนังสือเรียนและได้ความสัมพันธ์

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + \ldots + E_n$$

2.2 ครูชี้ให้นักเรียนเห็นว่า การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม เพื่อให้ได้ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเพิ่มจะต้องต่อให้ถูกขั้วด้วย กล่าวคือ ต่อกับขั้วที่ตรงข้ามกันของแบตเตอรี่แต่ละตัว และต่อเนื่องกันไปเรื่อยๆ แต่ถ้าต่อกลับขั้ว (นำขั้วเหมือนกันมาต่อกัน) แรงเคลื่อนไฟฟ้าจะลดลง

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

เพื่อให้เข้าใจเรื่องการต่อถูกขั้วและต่อกลับขั้ว ให้นักเรียนพิจารณาแบตเตอรี่ในกระบะว่าต่อกันแบบใด และทดลองเปลี่ยนสลับแบตเตอรี่ให้ต่อกลับขั้ว ทดลองใช้โวลต์มิเตอร์วัด แล้วอ่านค่าที่ได้

ข. การต่อแบตเตอรี่แบบขนาน

จุดประสงค์ เพื่อให้นักเรียนสามารถหาค่าของแรงเคลื่อนไฟฟ้าสมมูลภายหลังต่อแบตเตอรี่แบบขนานได้

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ทบทวนการต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม ซึ่งมีผลทำให้ค่าของแรงเคลื่อนไฟฟ้าสมมูลเพิ่มขึ้น แต่ถ้านำแบตเตอรี่มาต่อกันแบบขนาน ผลที่ได้จะเป็นอย่างไร

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

2.1 ครูสาธิตหรือให้นักเรียนทดลอง โดยใช้แบตเตอรี่ 2 ก้อน มาต่อกันแบบขนานโดยให้ขั้วบวกของแบตเตอรี่ต่อกับขั้วบวกของอีกก้อน แล้วนำโวลต์มิเตอร์มาวัดค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแบตเตอรี่แต่ละก้อนและค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าสมมูล จากนั้นสังเกตค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากโวลต์มิเตอร์

2.2 นักเรียนร่วมกันอภิปรายผลการสาธิตว่า ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าสมมูลจะเท่ากับค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแบตเตอรี่แต่ละก้อน หรือ $E = E_1 = E_2$ จากนั้นให้ความรู้ต่อไปตามรายละเอียดในหนังสือเรียนจนได้ว่า $r_{\text{สมมูล}} = \frac{r_1}{2}$ และได้ข้อสรุปว่า การต่อแบตเตอรี่แบบขนานไม่นิยมต่อเพื่อใช้งาน จุดมุ่งหมายของการต่อแบบนี้เพื่อให้เครื่องใช้ไฟฟ้านั้นๆ ใช้งานได้นานโดยไม่เปลี่ยนแบตเตอรี่บ่อยๆ

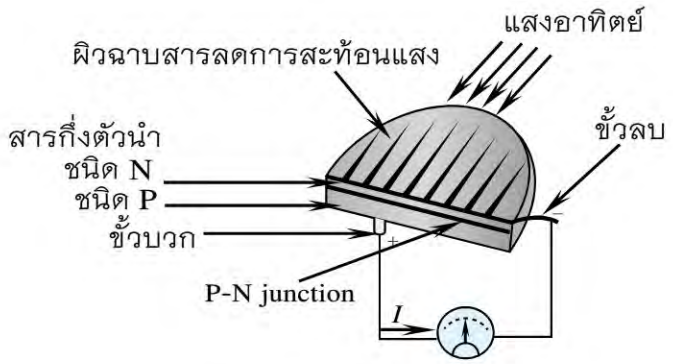
2.3 ครูชี้ให้เห็นว่าเซลล์สุริยะที่ใช้ ประกอบจากเซลล์เดี่ยวหลายๆ เซลล์ที่ต่อกันแบบอนุกรม ดังนั้นถ้าแต่ละเซลล์มีค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า 0.5 โวลต์ ต้องการค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จะใช้กับมอเตอร์ 6 โวลต์ จะต้องนำเซลล์สุริยะจำนวน 12 เซลล์มาต่อกันแบบอนุกรม ในการปฏิบัติจริงมีการต่อทั้งแบบอนุกรมและขนาน เพื่อให้ได้ทั้งค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าตามที่ใช้งานจริง

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

–

ความรู้เพิ่มเติม

เซลล์สุริยะที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ธาตุซิลิกอนหรือธาตุเจอร์มาเนียม ทำเป็นแผ่นบางๆ รูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก ตัวเซลล์ประกอบด้วยชั้นสารกึ่งตัวนำ N และ P ต่อเชื่อมกันเป็นรอยต่อ พี–เอ็น (P-N junction) ดังรูปที่ 14.16 สารเหล่านี้ เมื่อมีแสงอาทิตย์มากระทบจะเกิดศักย์ไฟฟ้าขึ้น โดยทั่วไปมีค่าระหว่าง 0.5 - 0.8 โวลต์ต่อแผ่น



รูปที่ 14.16 เซลล์สุริยะ

เมื่อแสงตกกระทบด้านบนของแบตเตอรี่ จะผ่านถึงรอยต่อ พี–เอ็น ทำให้เกิดความต่างศักย์ที่สารกึ่งตัวนำทั้งสอง ถ้าต่อวงจรภายนอกกับสารกึ่งตัวนำทั้งสอง จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น

14.5 การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสตรงเบื้องต้น

วิเคราะห์และอธิบายวงจรไฟฟ้า ตามตัวอย่างและรายละเอียดในหนังสือเรียน

14.6 เครื่องวัดไฟฟ้า

จุดประสงค์ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. บอกส่วนประกอบของแกลแวนอมิเตอร์
2. อธิบายหลักการดัดแปลงแกลแวนอมิเตอร์ให้เป็นแอมมิเตอร์ โวลต์มิเตอร์ และโอห์มมิเตอร์
3. คำนวณหาความต้านทานที่เหมาะสม เพื่อนำมาสร้างเป็นแอมมิเตอร์ โวลต์มิเตอร์ และหาปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องได้
4. บอกส่วนประกอบที่สำคัญของมัลติมิเตอร์ได้

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูนำเอาแกลแวนอมิเตอร์ แอมมิเตอร์ และโวลต์มิเตอร์ มาให้นักเรียนสังเกตส่วนประกอบว่ามีความเหมือนหรือต่างกันอย่างไร และชี้ให้นักเรียนเห็นว่าแอมมิเตอร์และโวลต์มิเตอร์ดัดแปลงมาจากแกลแวนอมิเตอร์แบบขดลวดเคลื่อนที่

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

ให้ความรู้เกี่ยวกับแกลแวนอมิเตอร์ตามหนังสือเรียน ครูให้ความรู้เพิ่มเติมว่า แกลแวนอมิเตอร์ที่ดีเมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านเพียงเล็กน้อย เข็มของแกลแวนอมิเตอร์จะเบนไปมาก ค่ากระแสไฟฟ้าที่ทำให้เข็มของแกลแวนอมิเตอร์เบนไปสุดช่องสเกลบนหน้าปัด เรียกว่า กระแสไฟฟ้าสูงสุดของแกลแวนอมิเตอร์ (I_G) และความต่างศักย์ขณะที่ค่ากระแสไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าสูงสุดของแกลแวนอมิเตอร์ เรียกว่า ความต่างศักย์สูงสุดของแกลแวนอมิเตอร์ (V_G)

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

–

14.6.1 แอมมิเตอร์

จุดประสงค์ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. อธิบายหลักการดัดแปลงแกลแวนอมิเตอร์ให้เป็นแอมมิเตอร์
2. คำนวณหาความต้านทานที่เหมาะสม เพื่อนำมาสร้างเป็นแอมมิเตอร์ และหาปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องได้

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูทบทวนเกี่ยวกับแกลแวนอมิเตอร์ การวัดกระแสไฟฟ้าเบื้องต้นที่สามารถวัดได้ในช่วง $0 - I_G$ และชี้ให้นักเรียนเห็นว่าจากคุณสมบัติดังกล่าว จึงสามารถนำแกลแวนอมิเตอร์มาดัดแปลงเป็นแอมมิเตอร์ได้

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

ให้นักเรียนศึกษารายละเอียดในหนังสือเรียนและร่วมอภิปรายจนได้ข้อสรุปว่า ในการดัดแปลงแกลแวนอมิเตอร์ให้เป็นแอมมิเตอร์ จะต้องใช้ตัวต้านทานที่มีความต้านทานต่ำ ซึ่งเรียกว่า ชันต์ มาต่อขนานกับแกลแวนอมิเตอร์ เนื่องจากชันต์มีความต้านทานต่ำ ชันต์จึงเป็นตัวแบ่งกระแสไฟฟ้า ไม่ให้ผ่านแกลแวนอมิเตอร์จนเกินค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่แกลแวนอมิเตอร์จะรับไว้ได้ ครูชี้ให้นักเรียนเห็นว่า ความต้านทานของชันต์จะต้องมีค่าน้อยกว่าความต้านทานของแกลแวนอมิเตอร์มากๆ แอมมิเตอร์ที่ดีจะต้องมีความต้านทานน้อยมากด้วย (ความต้านทานนี้คือความต้านทานสมมูลของแกลแวนอมิเตอร์และชันต์ที่ต่อกันแบบขนาน) เพื่อว่าเมื่อต่อเข้ากับวงจรแล้ว จะไม่ทำให้กระแสไฟฟ้าในวงจรเปลี่ยนแปลง จากนั้นให้ศึกษาการหาค่าชันต์จากตัวอย่าง 14.7 ในหนังสือเรียน

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

–

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

1. เราสามารถใช้แกลแวนอมิเตอร์เป็นแอมมิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้าได้โดยไม่ต้องใช้ชันต์ ในกรณีกระแสไฟฟ้าตรงนั้นมีค่าน้อยมาก และไม่เกินกระแสไฟฟ้าสูงสุดของแกลแวนอมิเตอร์

2. การใช้แอมมิเตอร์ทั่วไปจะต่อโดยตรงเข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไม่ได้ เพราะแอมมิเตอร์มีความต้านทานต่ำ เมื่อต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าจะทำให้มีกระแสไฟฟ้าผ่านแอมมิเตอร์มากเกินไป จนเข็มชี้สเกลชำรุดหรืออาจทำให้ขดลวดของแกลแวนอมิเตอร์ไหม้และขาดได้

3. การใช้แอมมิเตอร์จะต้องต่ออนุกรมเข้ากับส่วนของวงจรไฟฟ้า ถ้าต่อขนานเข้ากับส่วนของวงจรไฟฟ้าจะทำให้แอมมิเตอร์เสียหาย เนื่องจากแอมมิเตอร์มีความต้านทานน้อยมาก เมื่อนำไปต่อขนานเข้ากับวงจร กระแสไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดจะแยกผ่านแอมมิเตอร์มากจนเข็มชี้สเกลอาจเบนไปเกินช่องสเกลสูงสุด เข็มชี้สเกลอาจหักได้

14.6.2 โวลต์มิเตอร์

จุดประสงค์ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. อธิบายหลักการดัดแปลงแกลแวนอมิเตอร์ให้เป็นโวลต์มิเตอร์
2. คำนวณหาความต้านทานที่เหมาะสม เพื่อนำมาสร้างเป็นโวลต์มิเตอร์ และหาปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องได้

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูทบทวนการวัดความต่างศักย์เบื้องต้นของแกลแวนอมิเตอร์ ว่าสามารถวัดได้ในช่วง $0 - V_G$ และบอกว่าสามารถนำสมบัตินี้ของแกลแวนอมิเตอร์มาดัดแปลงเป็นแอมมิเตอร์ได้

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

ครูนำอภิปรายตามหนังสือเรียนจนได้ข้อสรุปว่า การดัดแปลงแกลแวนอมิเตอร์ให้เป็นโวลต์มิเตอร์ นั้นจะต้องต่อตัวต้านทานที่มีค่ามากๆ แบบอนุกรมเข้ากับแกลแวนอมิเตอร์ ซึ่งตัวต้านทานนี้จะเป็นตัวจำกัดไม่ให้กระแสไฟฟ้าผ่านแกลแวนอมิเตอร์เกินค่าสูงสุดของแกลแวนอมิเตอร์ เรียกตัวต้านทานนี้ว่า **มัลติพลายเออร์**

เพื่อให้นักเรียนเข้าใจวิธีสร้างโวลต์มิเตอร์จากแกลแวนอมิเตอร์ ครูให้นักเรียนฝึกการคำนวณหาค่ามัลติพลายเออร์ จากตัวอย่าง 14.8 ในหนังสือเรียน ซึ่งค่ามัลติพลายเออร์นี้จะนำมาต่ออนุกรมเข้ากับแกลแวนอมิเตอร์ เพื่อดัดแปลงแกลแวนอมิเตอร์ให้เป็นโวลต์มิเตอร์ที่วัดค่าความต่างศักย์สูงๆ ได้ตามต้องการ

เมื่อเสร็จสิ้นการสอน ครูควรนำอภิปรายเพื่อให้นักเรียนได้เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างความต้านทานของมัลติพลายเออร์ในโวลต์มิเตอร์กับความต้านทานของชันต์ในแอมมิเตอร์ และได้ข้อสรุปว่า ค่าความต้านทานของมัลติพลายเออร์มีค่าสูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับความต้านทานของชันต์

14.6.3 โอห์มมิเตอร์

จุดประสงค์ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. อธิบายหลักการดัดแปลงแกลแวนอมิเตอร์ให้เป็นโอห์มมิเตอร์
2. บอกวิธีใช้โอห์มมิเตอร์วัดความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้าใดๆ ได้
3. บอกส่วนประกอบที่สำคัญของมัลติมิเตอร์ได้

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ทบทวนการหาความต้านทานในวงจรไฟฟ้าโดยใช้กฎของโอห์ม และชี้ให้เห็นว่า ถ้าต้องการทราบความต้านทานค่าหนึ่ง จำเป็นต้องใช้ทั้งแอมมิเตอร์และโวลต์มิเตอร์ เพื่ออ่านค่ากระแสไฟฟ้า และความต่างศักย์ที่ตกคร่อมบนตัวต้านทานนั้นๆ ตามลำดับ ซึ่งไม่สะดวกในการใช้งาน ดังนั้น จึงได้มีการสร้างเครื่องมือที่ใช้วัดความต้านทานโดยตรง คือ **โอห์มมิเตอร์**

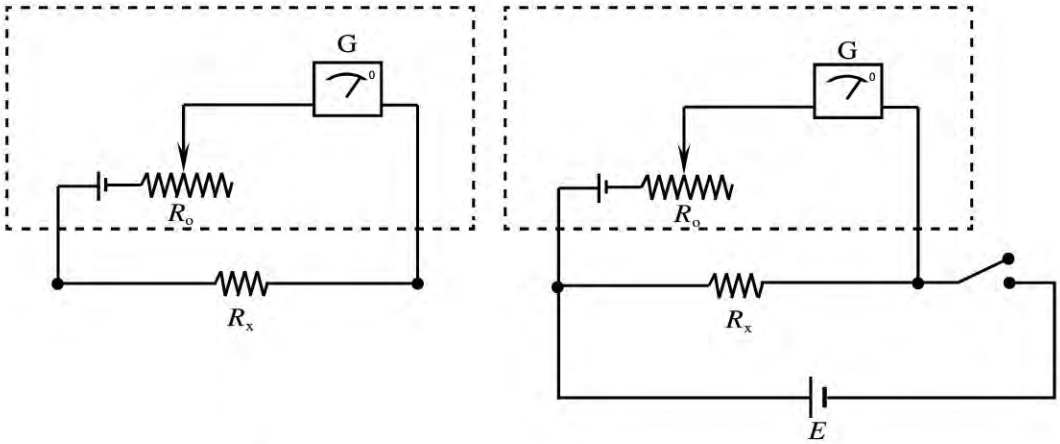
2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายถึงหลักการดัดแปลงแกลแวนอมิเตอร์เป็นโอห์มมิเตอร์ และหลักการทำงานของโอห์มมิเตอร์ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน และใช้รูปที่ 14.42 และ 14.43 ประกอบการอภิปรายจนได้ข้อสรุป ดังนี้

1. อุปกรณ์ที่นำมาประกอบกับแกลแวนอมิเตอร์ เพื่อเปลี่ยนให้เป็นโอห์มมิเตอร์ นั้นมีความต้านทานที่ปรับค่าได้ R_0 โดย R_0 ทำหน้าที่ปรับค่ากระแสไฟฟ้าเพื่อให้เข็มของโอห์มมิเตอร์เปลี่ยนไป

2. ก่อนการใช้โอห์มมิเตอร์วัดความต้านทานใดๆ ต้องนำปลายทั้งสองของหัววัดโอห์มมิเตอร์แตะกันก่อน เพื่อให้เข็มชี้สเกลที่เลข 0 (ในที่นี้จุด 0 คือจุดที่แกลแวนอมิเตอร์ชี้เต็มสเกล) ถ้าเข็มไม่ชี้ที่เลข 0 ให้ปรับเปลี่ยนค่า R_0 จนเข็มชี้ที่เลข 0

3. นำปลายทั้งสองของสายวัดของโอห์มมิเตอร์ไปต่อกับปลายทั้งสองของตัวต้านทานที่ต้องการวัด จะอ่านค่าความต้านทานได้จากสเกลบนหน้าปัดได้ทันที ดังรูป 14.17 ก แต่การวัดความต้านทานที่ต่ออยู่ในวงจร จะต้องให้ปลายข้างหนึ่งของตัวต้านทานหลุดจากวงจรนั้น เพื่อไม่ให้วงจรมีผลต่อการวัด เช่น ถ้าจะวัดความต้านทาน R_x ในวงจรดังรูป 14.17 ข ให้ยกสวิตช์ขึ้นแล้วจึงจะวัดค่าความต้านทาน R_x จากโอห์มมิเตอร์



รูปที่ 14.17 แสดงการต่อวงจรเพื่อวัดความต้านทาน R_x

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

–

14.7 การคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน

จุดประสงค์ เพื่อให้นักเรียนสามารถคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านได้

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

1.1 ครูตั้งคำถามว่า เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ จะมีตัวเลขบนเครื่องใช้ไฟฟ้า ตัวเลขเหล่านั้นระบุปริมาณใด ครูอาจนำของจริงมาประกอบคำถามด้วยการให้นักเรียนพิจารณาเครื่องใช้ไฟฟ้า เช่น เตารีด หลอดไฟฟ้า เป็นต้น เมื่อนักเรียนได้พิจารณาแล้วควรตอบคำถามได้ว่าตัวเลขจะระบุกำลังไฟฟ้าและความต่างศักย์ เช่น เตารีด 1000W 220V หลอดไฟฟ้า 25W 220V

1.2 ครูให้ความรู้ว่าตัวเลขที่ระบุบนเครื่องใช้ไฟฟ้านี้ สามารถนำไปคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องใช้ไฟฟ้าต้องใช้ นักเรียนจะได้ศึกษาต่อไป

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

2.1 ครูให้ความรู้ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1. การหากำลังเฉลี่ยและพลังงานไฟฟ้า

กำลังเฉลี่ย $P = I^2R$ หรือ $P = \frac{V^2}{R}$

พลังงานไฟฟ้า $W = I^2Rt$ หรือ $W = \frac{V^2}{R}t$

ตัวประกอบกำลังไม่เท่ากับ 1 คิดกำลังที่ R

กำลังเฉลี่ย $P = I_R^2R$ หรือ $P = I^2R$

พลังงานไฟฟ้า $W = V_RIt$ หรือ $W = I^2Rt$

2. วิธีหาพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องใช้ไฟฟ้าใช้ไป หาได้จาก

พลังงานไฟฟ้า (หน่วย) = กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์) × เวลาที่ใช้ (ชั่วโมง)

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

–

14.8 วงจรไฟฟ้า เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน และการใช้ไฟฟ้าอย่างปลอดภัย

จุดประสงค์ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. อธิบายระบบของสายส่งพลังงานไฟฟ้าที่ต่อเข้าบ้านได้
2. บอกวิธีตรวจสอบสายส่งพลังงานไฟฟ้า โดยใช้ไขควงตรวจสอบไฟฟ้าได้
3. อธิบายหลักการทำงาน หน้าที่ และประโยชน์ของสะพานไฟ ฟิวส์ และสวิตช์อัตโนมัติได้
4. อธิบายวิธีป้องกันอันตรายจากไฟฟ้ารั่วในเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดต่างๆ ได้
5. บอกเหตุผลที่ต้องช่วยกันประหยัดพลังงานไฟฟ้า และวิธีการใช้ไฟฟ้าอย่างประหยัดได้

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูตั้งคำถามเกี่ยวกับลักษณะการต่อสายไฟฟ้าเข้าบ้าน เช่น มีสายไฟกี่เส้น ก่อนเข้าบ้านสายไฟนั้นจะต่อเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้าใด

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

ให้นักเรียนศึกษาระบบสายส่งพลังงานไฟฟ้าเข้าบ้าน ชนิดของสายส่งพลังงานไฟฟ้า ตลอดจนวิธีการตรวจสอบชนิดของสายส่งตามรายละเอียดในหนังสือเรียน ซึ่งจะได้ข้อสรุปว่า สายส่งพลังงานไฟฟ้าเข้าบ้านมีสองเส้น เส้นหนึ่งมีศักย์ไฟฟ้าสูง อีกเส้นหนึ่งมีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์เมื่อเทียบกับพื้นดิน การตรวจสอบว่าสายส่งพลังงานไฟฟ้าเส้นใดมีศักย์ไฟฟ้าสูงและเส้นใดมีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์ นิยมใช้ไขควงตรวจสอบสายไฟฟ้า

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

–

14.8.1 วงจรไฟฟ้าในบ้าน

จุดประสงค์ เพื่อให้นักเรียนสามารถอธิบายระบบแผงควบคุมไฟฟ้าและองค์ประกอบของแผงควบคุมไฟฟ้าในบ้านได้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูทบทวนเรื่องการส่งพลังงานไฟฟ้าเข้าบ้าน และถามนักเรียนว่าวงจรไฟฟ้าภายในบ้านมีส่วนประกอบสำคัญคืออะไร ให้นักเรียนช่วยกันอภิปราย

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

2.1 นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายระบบแผงควบคุมไฟฟ้า และองค์ประกอบของแผงควบคุมไฟฟ้าตามรายละเอียดในหนังสือเรียน และใช้รูปในหนังสือเรียนประกอบ จนกระทั่งได้ข้อสรุปดังนี้

1. ในบ้านหลังหนึ่งจะต้องใช้แผงควบคุมไฟฟ้า ซึ่งเป็นที่ควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าทั้งหมดในบ้าน
2. แผงควบคุมไฟฟ้าจะต้องติดตั้งไว้ในบ้าน ตรงตำแหน่งมองเห็นง่าย และสูงจากพื้นพอประมาณ
3. แผงควบคุมไฟฟ้าประกอบด้วย ฟิวส์รวม สะพานไฟรวม และสะพานไฟย่อย
4. สะพานไฟเป็นอุปกรณ์ใช้ตัดหรือต่อการส่งกระแสไฟฟ้าในสายไฟทั้ง 2 เส้น สะพานไฟจะมีตัวเลขบอกค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด และความต่างศักย์สูงสุด ถ้ามีกระแสไฟฟ้ามากกว่าค่าที่บอกไว้ สะพานไฟจะไหม้
5. สะพานไฟย่อยมีหน้าที่แยก และควบคุมการส่งกระแสไฟฟ้าไปยังวงจรไฟฟ้าย่อยในบ้านให้เป็นอิสระ เช่น วงจรชั้นบน วงจรชั้นล่าง วงจรในครัว เราสามารถตัดวงจรไฟฟ้าในบ้านทั้งหมดหรือบางส่วนได้ โดยการยกสะพานไฟรวมหรือสะพานย่อย
6. ฟิวส์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ตัดวงจรไฟฟ้าเมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านวงจรมากเกินไปขนาดของฟิวส์กำหนดเป็นค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ผ่านได้โดยฟิวส์ไม่ขาด ฟิวส์ทำด้วยโลหะที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ

2.2 ครูทบทวนการส่งกระแสไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามายังชุมชน จนมาสู่บ้านเรือน แล้วให้นักเรียนพิจารณารูป 14.48 ในหนังสือเรียน เพื่อให้ระบุชื่อและจำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ประกอบบนแผงควบคุมไฟฟ้า จากนั้นให้ตอบคำถาม

2.3 ครูนำตัวอย่างอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ติดตั้งบนแผงควบคุมไฟฟ้า เช่น สะพานไฟ ฟิวส์แบบต่างๆ มาให้นักเรียนสังเกตประกอบเนื้อหา ดังรายละเอียดในหนังสือเรียน

2.4 นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับตัวตัดวงจรเชิงความร้อนตามเนื้อหาในหนังสือเรียนดังนี้

1. องค์ประกอบของตัวตัดวงจรเชิงความร้อนแบบหนึ่งใช้หลักการของแผ่นโลหะคู่ เมื่อได้รับความร้อน แผ่นโลหะแต่ละชนิดขยายตัวได้ไม่เท่ากัน แผ่นโลหะจะงอโค้ง การงอโค้งของโลหะคู่ ทำให้วงจรขาดจากกันเป็นการตัดกระแสไฟฟ้าในวงจรได้
2. ตัวตัดวงจรเชิงความร้อนจะตัดกระแสไฟฟ้าในวงจรทันที เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านเกินขนาดที่กำหนด

2.5 ครูให้ความรู้กับนักเรียนว่า ในปัจจุบันนิยมใช้ตัวตัดวงจรเชิงความร้อนแทนฟิวส์และสะพานไฟบนแผงควบคุมไฟฟ้า และยังรวมทั้งใช้เป็นสวิตช์เปิดปิดและเป็นฟิวส์ของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีมอเตอร์ เช่น เครื่องปรับอากาศ เป็นต้น

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

-

14.8.2 อุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน

จุดประสงค์ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. บอกได้ว่าการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าทุกชนิด จะต้องใช้ให้ตรงกับค่าของความต่างศักย์ที่กำกับไว้ที่ฉลากของเครื่องใช้ไฟฟ้า
2. บอกได้ว่าเมื่อนำเครื่องใช้ไฟฟ้าไปใช้ในบ้านจะต่อแบบขนานกับวงจรไฟฟ้าในบ้าน
3. อธิบายส่วนประกอบและหลักการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านบางชนิด เช่น หลอดไฟ หลอดฟลูออเรสเซนต์ พัดลม เป็นต้น

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูนำเข้าสู่บทเรียน ด้วยการให้นักเรียนยกตัวอย่างเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านที่พบอยู่ประจำ แล้วให้นักเรียนแยกประเภทของเครื่องใช้ไฟฟ้า โดยถือเกณฑ์การเปลี่ยนรูปพลังงานซึ่งควรสรุปได้ ดังนี้

1. เครื่องใช้ไฟฟ้าให้พลังงานความร้อน
2. เครื่องใช้ไฟฟ้าให้พลังงานแสงสว่าง
3. เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ให้พลังงานกล

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

ครูให้นักเรียนวิเคราะห์และอธิบายหลักการของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละประเภท พร้อมทั้งยกตัวอย่างตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

–

14.8.3 การใช้ไฟฟ้าอย่างปลอดภัย

จุดประสงค์ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. อธิบายวิธีป้องกันอันตรายจากกระแสไฟฟ้ารั่วในเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดต่างๆ ได้
2. บอกเหตุผลที่ต้องช่วยกันประหยัดพลังงานไฟฟ้า และวิธีการใช้ไฟฟ้าอย่างประหยัดได้

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ให้นักเรียนอภิปรายเรื่องการใช้พลังงานไฟฟ้ากันอย่างแพร่หลาย ถ้าใช้ไฟฟ้าโดยไม่ระมัดระวังหรือใช้ไม่ถูกวิธี อาจเกิดอันตรายเสียหายแก่ทรัพย์สินและชีวิตได้ จากนั้นตั้งคำถามว่าจะมีวิธีป้องกันไม่ให้ชีวิตและทรัพย์สินเกิดอันตรายและความเสียหายจากการใช้ไฟฟ้าได้อย่างไร

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

2.1 ครูให้ความรู้ผู้เรียนตามรายละเอียดในหนังสือเรียน โดยให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการอภิปราย

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

–

ข้อแนะนำเพิ่มสำหรับครู

ครูควรให้นักเรียนศึกษาจากเอกสารที่เกี่ยวกับการประหยัดพลังงานของหน่วยงานต่างๆ เช่น การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย การพลังงานแห่งชาติ การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย รวมถึงจากคำแนะนำเกี่ยวกับการประหยัดพลังงานจากสื่อมวลชนต่างๆ เป็นต้น

เฉลยแบบฝึกหัดบทที่ 14

คำถาม

14.1 กระแสไฟฟ้า

1. กระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นได้อย่างไร
   แนวคำตอบ เกิดจากการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าอิสระ ทั้งนี้เนื่องจากความต่างศักย์

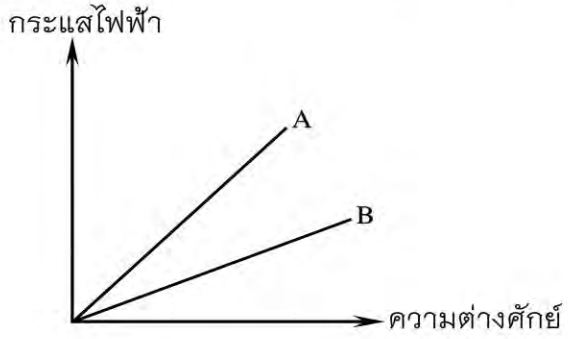
2. การนำไฟฟ้าในโลหะเกิดจากการเคลื่อนที่ของอนุภาคชนิดใด
   แนวคำตอบ อิเล็กตรอนอิสระ

3. นักวิทยาศาสตร์กำหนดทิศทางของกระแสไฟฟ้าอย่างไร
   แนวคำตอบ กำหนดทิศทางของกระแสไฟฟ้ามีทิศทางเดียวกับทิศทางของสนามไฟฟ้า หรือมีทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุบวก จากตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงไปยังตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำ

4. กระแสไฟฟ้ากับกระแสอิเล็กตรอนต่างกันอย่างไร
   แนวคำตอบ กระแสอิเล็กตรอนเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนไปยังตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าหรือไปในทิศทางตรงข้ามกับกระแสไฟฟ้า ส่วนกระแสไฟฟ้าถูกกำหนดว่ามีทิศทางเดียวกับทิศทางของสนามไฟฟ้าในตัวนำ

14.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์

5. เส้นตรง A และ B ในรูป แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ในตัวนำสองชนิด ตัวนำใด (A หรือ B) มีความต้านทานมากกว่า



รูปสำหรับคำถามข้อ 5

แนวคำตอบ เนื่องจากความต้านทานของตัวนำ สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ ตามกฎของโอห์ม ดังนี้

$$R = \frac{V}{I}$$

ถ้านำความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้ามาเขียนกราฟ ให้แกนตั้งเป็นกระแสไฟฟ้า แกนนอนเป็นความต่างศักย์ ความชันของกราฟหาได้ดังนี้

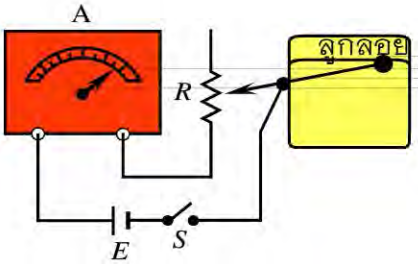
$$\text{ความชัน} = \frac{\Delta I}{\Delta V} = \frac{1}{R}$$

ซึ่งเท่ากับส่วนกลับของความต้านทานของตัวนำนั่นเอง จากรูปจะเห็นได้ว่ากราฟ A ชันกว่ากราฟ B ดังนั้นความต้านทานของตัวนำ A น้อยกว่าความต้านทานของตัวนำ B

6. ถ้าความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวนำชนิดหนึ่งเพิ่มเป็นสองเท่า พบว่ากระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวนำเพิ่มเป็นสามเท่า ตัวนำนี้มีพฤติกรรมที่เป็นไปตามกฎของโอห์มหรือไม่ อธิบาย

แนวคำตอบ ไม่เป็นไปตามกฎของโอห์ม หากเป็นไปตามกฎของโอห์มมาแล้ว กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวนำนั้น จะต้องแปรผันตรงกับความต่างศักย์ระหว่างปลายทั้งสองของตัวนำนั้น หรือหมายความว่า ถ้า I เพิ่ม 2 เท่า V ก็ต้องเพิ่ม 2 เท่าเช่นกัน หรือถ้า V เพิ่ม 3 เท่า I ก็ต้องเพิ่ม 3 เท่าด้วย

7. จงอธิบายการทำงานของเครื่องวัดปริมาณน้ำมัน ซึ่งประกอบด้วยตัวต้านทานที่แปรค่าได้ R สวิตช์ S แบตเตอรี่ E และแอมมิเตอร์ A ที่หน้าปัดแสดงปริมาณน้ำมัน



รูปสำหรับคำถามข้อ 7 เครื่องวัดน้ำมัน

แนวคำตอบ เมื่อลูกลอยลดระดับต่ำลง หรือปริมาณน้ำมันลดลง เข็มของลูกลอยจะปรับให้ตัวต้านทานแปรค่า R มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปิดสวิตช์ S กระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากแอมมิเตอร์ A มีค่าลดลง ทำให้เข็มบนหน้าปัดแอมมิเตอร์ A เบนไปน้อย ซึ่งบอกให้ทราบว่าปริมาณน้ำมันเหลือน้อย

14.3 พลังงานในวงจรไฟฟ้า

8. แรงเคลื่อนไฟฟ้าและความต่างศักย์แตกต่างกันอย่างไร

แนวคำตอบ แรงเคลื่อนไฟฟ้า คือ พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดจากแบตเตอรี่ต่อหนึ่งหน่วยประจุจากแบตเตอรี่ ส่วนความต่างศักย์ระหว่างจุด 2 จุด ใดๆ ในวงจรที่มีกระแสไฟฟ้า คือ พลังงานไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยประจุ ที่สูญเสียไประหว่าง 2 จุดนั้น กรณีที่ไม่ได้ต่อให้แบตเตอรี่ครบวงจร (ไม่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน) ความต่างศักย์ระหว่างขั้วเซลล์จะเท่ากับแรงเคลื่อนไฟฟ้า

9. ภายใต้เงื่อนไขใดที่ความต่างศักย์ระหว่างขั้วของแบตเตอรี่จะเท่ากับแรงเคลื่อนไฟฟ้า และความต่างศักย์ระหว่างขั้วของแบตเตอรี่จะมีค่ามากกว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้หรือไม่

แนวคำตอบ จากกฎการอนุรักษ์พลังงาน : พลังงานไฟฟ้าที่ประจุไฟฟ้าได้รับจากแบตเตอรี่จะเท่ากับพลังงานไฟฟ้าที่ประจุไฟฟ้าใช้ไปในวงจร

หรือ $QE = QV_R + QV_r$

$E = V_R + V_r$ .....(1)

โดย E เป็นค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า

V_R คือความต่างศักย์คร่อมความต้านทานซึ่งจะเท่ากับความต่างศักย์ที่ขั้วแบตเตอรี่

V_r คือความต่างศักย์เนื่องจากความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ จากกฎของโอห์มจะเขียน (1) ใหม่ได้ดังนี้

$E = IR + Ir$

หรือ $E = V + Ir$

$V = E - Ir$ .....(2)

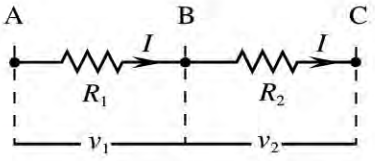
ในกรณีที่ $V = E$ หมายความว่า Ir จะต้องมีค่าน้อยมากหรือเข้าใกล้ศูนย์ ซึ่งกรณีนี้ก็คือ ไม่ได้ต่อแบตเตอรี่ให้ครบวงจร หรือไม่มีกระแสไฟฟ้าจ่ายออกมาจากแบตเตอรี่นั้น ดังนั้นความต่างศักย์ระหว่างขั้วของแบตเตอรี่จะน้อยกว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเสมอ

14.4 การต่อตัวต้านทานและแบตเตอรี่

10. เมื่อต่อตัวต้านทานจำนวนหนึ่งแบบ ก.อนุกรม และ ข.ขนาน สำหรับตัวต้านทานแต่ละตัวปริมาณใดต่อไปนี้มีค่าเท่ากัน ความต่างศักย์ กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า

แนวคำตอบ

ก. เมื่อต่อแบบอนุกรมสำหรับตัวต้านทานแต่ละตัว **จะมีกระแสไฟฟ้าผ่านเท่ากัน** และถ้าแต่ละตัว **มีความต้านทานเท่ากัน** ทุกตัวจะมี**กำลังไฟฟ้าเท่ากันด้วย**

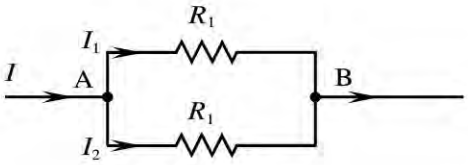


แต่ถ้าความต้านทานต่างกัน กำลังไฟฟ้าก็จะต่างกัน (พิจารณาได้จากความสัมพันธ์ $P = I^2R$)

ในกรณีความต่างศักย์ ความต่างศักย์ปลาย AC จะเท่ากับผลรวมของความต่างศักย์ที่คร่อมความต้านทาน R_1 และ R_2 หรือ $V_{AC} = V_1 + V_2$

ข. ต่อแบบขนาน

ตัวต้านทานแต่ละตัวจะมีความต่างศักย์ระหว่างปลายทั้งสองเท่าๆ กัน ถ้าตัวต้านทานแต่ตัวมีความต้านทานเท่ากันจะทำให้แต่ละตัวมีกำลังไฟฟ้าเท่ากันด้วย แต่ถ้ามีความต้านทานต่างกัน กำลังไฟฟ้าของตัวต้านทานแต่ละตัวจะไม่เท่ากัน



ตามรูปที่จุดแยกของกระแสไฟฟ้า (จุด A) จะได้ $I = I_1 + I_2$ ที่จุดรวมของกระแสไฟฟ้า (จุด B) สมการนี้ก็ใช้ได้เช่นกัน

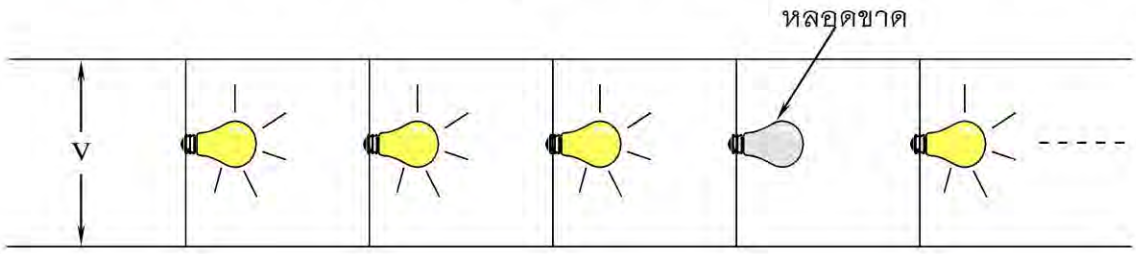
11. ต่อหลอดไฟกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง 6 โวลต์ โดยใช้สายต่อสั้นจะให้ความสว่างมากกว่าเมื่อต่อด้วยสายต่อที่ยาวมากหรือไม่ เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ เนื่องจากสายไฟมีความต้านทาน เมื่อต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงจะทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าคร่อมบริเวณสายไฟฟ้า ถ้าสายไฟฟ้ายาวมากความต้านทานก็จะมาก ($R = \rho\frac{\ell}{A}$) ทำให้ความต่างศักย์ที่คร่อมสายไฟจะเพิ่มขึ้น ($V = IR$) ความต่างศักย์ที่คร่อมหลอดไฟจะลดลง ความสว่างก็จะลดลง ดังนั้นสายต่อที่สั้นจะทำให้หลอดไฟสว่างมากกว่าสายต่อที่ยาว

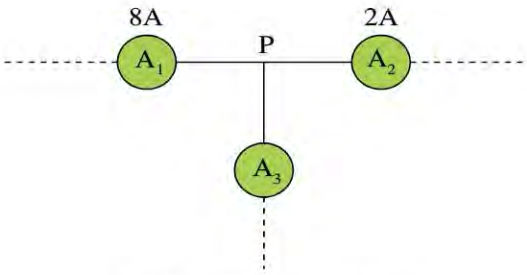
อย่างไรก็ตามเนื่องจาก ρ ของโลหะของสายไฟ (เช่นทองแดง) ต่ำมาก ดังนั้นโดยทั่วไป R ของสายไฟจะน้อยมาก ถ้าจะให้เห็นความแตกต่างของความสว่างของหลอดไฟต้องใช้สายไฟที่มีผลต่างความยาวมากๆ

12. ราวหลอดไฟที่ประดับตามต้นไม้ รั้วและอาคาร เมื่อหลอดหนึ่งขาด หลอดอื่นๆ ยังสว่าง จะอธิบายได้อย่างไร

แนวคำตอบ แสดงว่าหลอดไฟต่างๆ เหล่านี้ต่อแบบขนานเข้ากับวงจร ดังนั้นเมื่อหลอดใดหลอดหนึ่งขาด หลอดอื่นๆ ก็จะยังทำงานได้ ดังรูป หลอดที่ไม่ขาดจะสว่างหมด



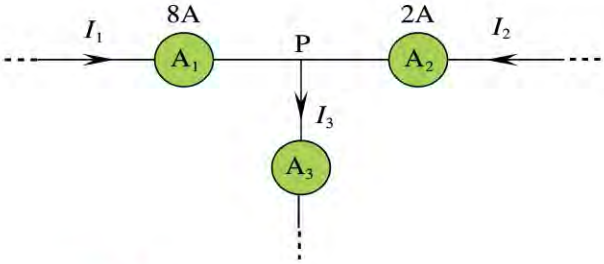
13. A_1, A_2 และ A_3 เป็นแอมมิเตอร์ที่ต่อไว้ใกล้จุด P และเป็นส่วนหนึ่งของวงจรไฟฟ้าดังรูป ถ้าแอมมิเตอร์ A_1 อ่านได้ 8 แอมแปร์ แอมมิเตอร์ A_2 อ่านได้ 2 แอมแปร์ แอมมิเตอร์ A_3 จะอ่านได้เท่าใด



รูปสำหรับคำถามข้อ 13

<u>แนวคำตอบ</u>

กรณี 1

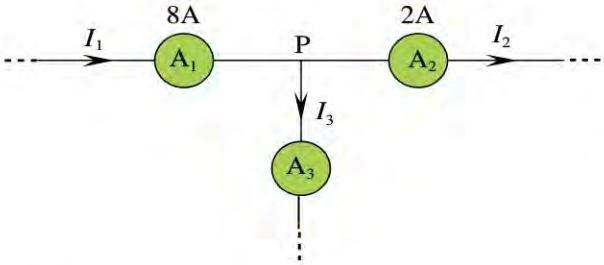


ถ้าทิศทางของกระแสไฟฟ้าเป็นดังรูป

$I_3 = I_1 + I_2 = 8 + 2$

$= 10$ A

กรณี 2



ถ้าทิศทางของกระแสไฟฟ้าเป็นดังรูป

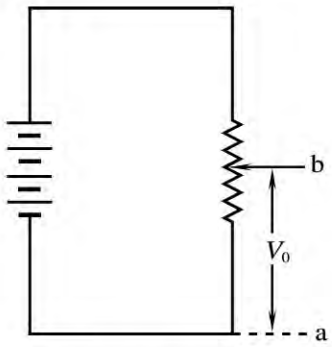
$I_1 = I_2 + I_3$

$8\text{A} = 2\text{A} + I_3$, $I_3 = 6\text{A}$

สรุป A_3 อาจจะอ่านได้ 2 ค่า คือ 10 A หรือ 6 A แล้วแต่ทิศทางของกระแสไฟฟ้า I_1, I_2 และ I_3

14.5 การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสตรงเบื้องต้น

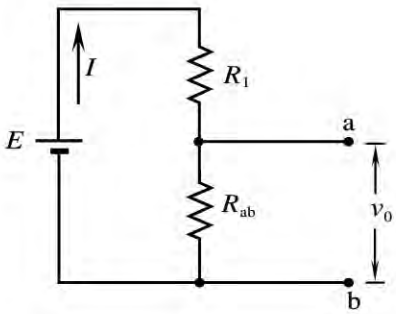
14. จากรูป V_0 เป็นความต่างศักย์ระหว่างจุด a และ b ขณะที่ต่อเครื่องใช้ไฟฟ้าระหว่าง 2 จุดนี้ กับเมื่อไม่ต่อกับเครื่องใช้ไฟฟ้าระหว่าง 2 จุดดังกล่าว ค่า V_0 จะเหมือนหรือแตกต่างกัน เพราะเหตุใด



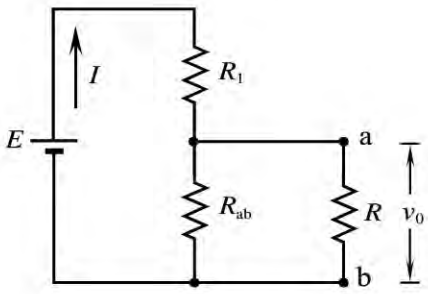
รูปสำหรับคำถามข้อ 14

แนวคำตอบ

จากรูปที่โจทย์กำหนด แบ่งตัวต้านทานเป็น 2 ส่วน คือ R_1 และ R_{ab} ได้ดังรูป ก



ก.



ข.

รูป ก จะได้ $V_O = V_{ab} = IR_{ab}$

เมื่อ I คือ กระแสในวงจร หา I ได้จาก $I = \dfrac{E}{R_1 + R_{ab}}$

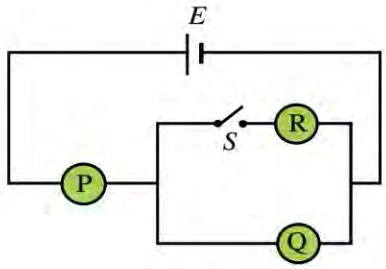
$$V_0 = \frac{E}{R_{ab} + R_1} \times R_{ab} = \frac{E}{1 + \dfrac{R_1}{R_{ab}}} \qquad (1)$$

เมื่อต่อเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีความต้านทาน R กับจุด ab ดังรูป ข ความต้านทานระหว่างจุด a และ b จะเปลี่ยนเป็น R'_{ab} ซึ่งประกอบด้วย R_{ab} เดิมต่อขนานกับ

$$R'_{ab} = \left(\frac{1}{R_{ab}} + \frac{1}{R}\right)^{-1} \qquad (2)$$

จะได้ว่า R'_{ab} จะมีค่าน้อยกว่า R_{ab} เมื่อพิจารณาจากสมการ (2) V_0 จะมีค่าลดลง จึงสรุปได้ว่า ถ้ามีความต้านทานมาต่อระหว่าง a และ b ความต่างศักย์ระหว่าง 2 จุดนี้จะลดลง

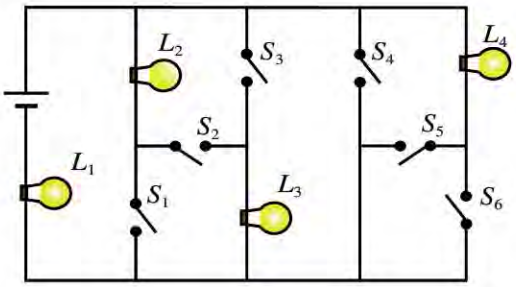
15. P , Q และ R เป็นหลอดไฟที่เหมือนกันทุกประการและนำมาต่อเป็นวงจรกับแบตเตอรี่ดังรูป ถ้าสับสวิตซ์ S ความสว่างของหลอดไฟ P และ Q จะเปลี่ยนแปลงอย่างไร



รูปสำหรับคำถามข้อ 15

แนวคำตอบ ก่อนสับสวิตซ์ S หลอดไฟ P และ Q สว่างเท่ากัน เพราะกระแสไฟฟ้าที่ผ่านเป็นกระแสไฟฟ้าเดียวกัน เมื่อสับสวิตซ์ S กระแสไฟฟ้าในวงจรจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เพราะความต้านทานสมมูลของวงจรลดลง หลอดไฟ P สว่างขึ้นเล็กน้อย แต่หลอดไฟ Q ความสว่างจะลดลง เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ผ่านหลอด Q ลดลง เพราะมีการแบ่งกระแสไฟฟ้าแยกไปทางหลอด R ส่วนหนึ่ง

16. แบตเตอรี่ หลอดไฟสี่หลอด (L_1, L_2, L_3 และ L_4) สวิตซ์(S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 และ S_6) ต่อกันเป็นวงจรไฟฟ้า ดังรูป หลอดใดสว่างถ้า
ก. สับสวิตซ์ S_2 เท่านั้น
ข. สับสวิตซ์ S_3 เท่านั้น
ค. สับสวิตซ์ S_3 และ S_4 เท่านั้น



รูปสำหรับคำถามข้อ 16

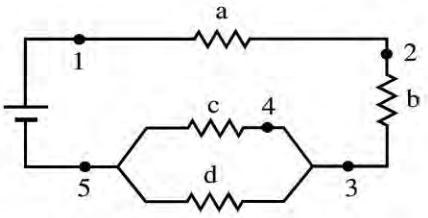
แนวคำตอบ

ก. หลอดที่จะสว่างคือ L_1, L_2 และ L_3 ส่วนหลอดอื่นกระแสไฟฟ้าไม่ผ่าน เพราะไม่ครบวงจร จึงไม่สว่าง

ข. หลอดที่จะสว่างคือ L_1 และ L_3

ค. หลอดที่จะสว่างคือ L_1 ส่วนหลอด L_3 ไม่สว่าง เพราะ S_4 จะทำหน้าที่ลัดวงจร ทำให้กระแสไฟฟ้าไม่ผ่านหลอด L_3 นอกจากนี้หลอด L_4 ไม่ติด เพราะกระแสไฟฟ้าไม่ไหลผ่าน

17. วงจรไฟฟ้าดังรูป a, b, c และ d เป็นตัวต้านทานมีความต้านทานเท่ากัน จุด 1, 2, 3, 4 และ 5 เป็นจุดไม่มีความต้านทาน
ก. จุดใดที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านน้อยที่สุด
ข. จุดคู่ใดที่มีความต่างศักย์เท่ากับศูนย์
ค. จุดคู่ใดที่มีความต่างศักย์มากที่สุด

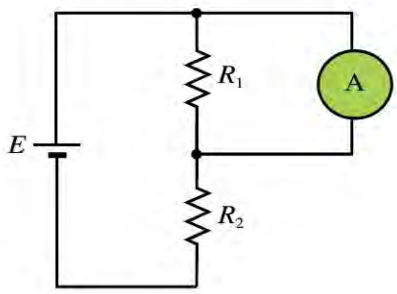


รูปสำหรับคำถามข้อ 17

แนวคำตอบ ก. 4 ข. 3, 4 ค. 1, 5

14.6 เครื่องวัดไฟฟ้า

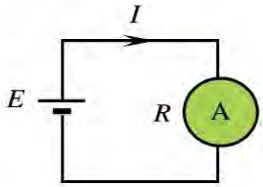
18. ถ้านำแอมมิเตอร์ไปต่อดังนี้ แอมมิเตอร์จะเสียหายหรือไม่ เพราะเหตุใด
ก. ต่อขนานกับตัวต้านทานในวงจรไฟฟ้า ข. ต่อโดยตรงกับขั้วของแบตเตอรี่



ก.

ทั้งสองกรณีจะทำให้แอมมิเตอร์เสียหาย เนื่องจากแอมมิเตอร์มีความต้านทานน้อยมาก กรณี ก. เมื่อนำไปต่อขนานกับตัวต้านทานในวงจรไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดจะแยกผ่านเข้าสู่แอมมิเตอร์มาก อาจทำให้เข็มชี้สเกลเบนไปมากจนเกินช่องสเกลสูงสุด เข็มชี้สเกลอาจหักได้

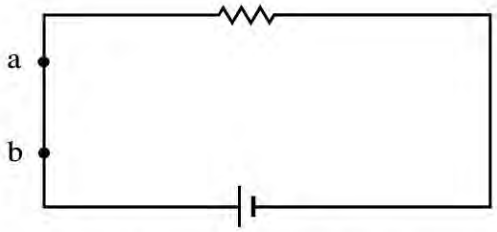
ข.



ข.

กรณี ข. มีกระแสไฟฟ้าผ่านแอมมิเตอร์เท่ากับ E/R ซึ่งอาจมากเกินไป เข็มชี้สเกลจะหักหรือชำรุดได้ โดยทั่วไปจะไม่นำมาต่อโดยตรงกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้า

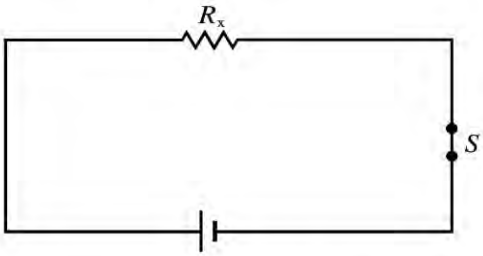
19. ถ้านำโวลต์มิเตอร์ไปวัดความต่างศักย์ระหว่างจุด a และ b ของวงจรไฟฟ้า ดังรูป ความต่างศักย์ที่อ่านได้เป็นอย่างไร เพราะเหตุใด



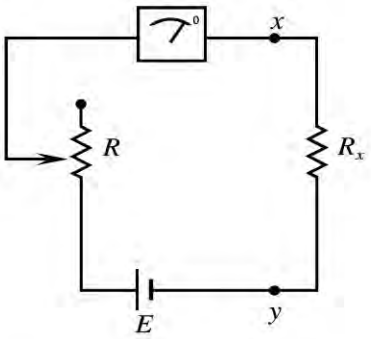
รูปสำหรับคำถามข้อ 19

<u>แนวคำตอบ</u> ความต่างศักย์ที่อ่านได้มีค่าเท่ากับศูนย์ เพราะระหว่างจุด a และจุด b ไม่มีความต้านทาน

20. การวัดความต้านทาน R_x ของตัวต้านทานในวงจรดังรูป โดยใช้มัลติมิเตอร์จะต้องทำอย่างไร

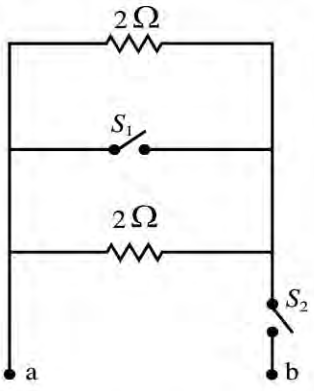


รูปสำหรับคำถามข้อ 20



แนวคำตอบ ปรับมัลติมิเตอร์ให้เป็นโอห์มมิเตอร์เพื่อวัดความต้านทาน เนื่องจากการวัดความต้านทานของตัวต้านทาน จะต้องวัดขณะที่ไม่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน ดังนั้นก่อนวัดจะต้องถอด R_x ออกจากวงจร ในการใช้โอห์มมิเตอร์วัด ให้นำหัววัดทั้งสองมาแตะกันก่อน แล้วปรับความต้านทานของโอห์มมิเตอร์ ให้เข็มของมิเตอร์ชี้เลข 0 ต่อจากนั้นให้นำหัววัดทั้งสองมาต่อระหว่างปลายทั้งสองของตัวต้านทาน R_x แล้วจึงอ่านค่าความต้านทานจากสเกลมิเตอร์ตามที่เข็มชี้

21. จากรูป S_1 และ S_2 เป็นสวิตช์ยังเปิดอยู่ โอห์มมิเตอร์ที่ใช้วัดความต้านทานระหว่างจุด a และ b ของวงจรไฟฟ้าดังรูปจะอ่านค่าได้เท่าใด
ก. เมื่อสับสวิตช์ให้ S_1 ปิดโดย S_2 ยังเปิดอยู่
ข. เมื่อสับสวิตช์ให้ S_2 ปิดโดย S_1 ยังเปิดอยู่
ค. เมื่อสับสวิตช์ให้ทั้ง S_1 และ S_2 ปิด



รูปสำหรับคำถามข้อ 21

แนวคำตอบ

ก. กรณีนี้จะเป็นการวัดค่าความต้านทานของอากาศที่อยู่ระหว่าง จุด a และ b ดังนั้นโอห์มมิเตอร์จะอ่านค่าได้อินฟินิตี้

ข. ความต้านทาน 2 โอห์ม จะต่อกันแบบขนาน ดังนั้น จะอ่านความต้านทานรวมได้ $1\,\Omega$ คือ คิดจาก $\frac{1}{R_{\text{สมมูล}}} = \frac{1}{2}+\frac{1}{2}$

ค. จะเกิดกระแสไฟฟ้าลัดวงจร กระแสไฟฟ้าจะไม่ผ่านตัวต้านทาน 2 ทั้งสองตัว โอห์มมิเตอร์จะอ่านค่าระหว่าง a และ b ได้เท่ากับศูนย์

14.7 การคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน

22. ในการคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านโดยดูตัวเลขที่ระบุที่เครื่องใช้ ต้องดูตัวเลขอะไรและมีวิธีการคำนวณอย่างไรให้ได้ค่าในหน่วยกิโลวัตต์ชั่วโมง

แนวคำตอบ ดูตัวเลขกำลังไฟฟ้าที่มีหน่วยวัตต์ เช่น 60W พลังงานที่ใช้ไปคิดจาก กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์) × เวลาที่ใช้ไป (ชั่วโมง)

23. ในการคิดค่าไฟฟ้าที่ใช้แต่ละเดือน คิดจากปริมาณในหน่วยใด ใช้มิเตอร์อะไรวัด

แนวคำตอบ คิดจากปริมาณ “หน่วย” ซึ่ง 1 หน่วยเท่ากับ 1 กิโลวัตต์ชั่วโมงใช้มาตรกิโลวัตต์ ชั่วโมง เป็นตัววัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไป

24. ถ้าต้องการประหยัดค่าใช้ไฟฟ้า ควรปฏิบัติอย่างไร

แนวคำตอบ แนวทางปฏิบัติ เช่น ใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าตามความจำเป็น ไม่เปิดปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ให้พลังงานความร้อนบ่อยๆ เป็นต้น

25. ในกรณีรีดผ้าจำนวนหนึ่งด้วยเตารีดไฟฟ้า ถ้ารีดต่อเนื่องจนครบจำนวนนั้นในช่วงเวลาเดียว กับแบ่งรีดหลายครั้ง (ไม่ต่อเนื่อง) จนครบจำนวนเดียวกัน จะใช้พลังงานไฟฟ้าต่างกันหรือไม่ เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้จะแตกต่างกัน การแบ่งรีดหลายๆ ครั้งจะใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่ามาก เนื่องจากการแบ่งรีดหลายๆ ครั้ง แต่ละครั้งขณะทำให้เตารีดร้อนและปล่อยให้เย็น แล้วทำให้ร้อนใหม่ในครั้งต่อๆ ไป จะใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าการทำให้เตารีดร้อนอย่างต่อเนื่อง

14.8 วงจรไฟฟ้า เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน และการใช้ไฟฟ้าอย่างปลอดภัย

26. ถ้าขณะที่เสียบเตารีดปรากฏว่าฟิวส์รวมขาดทันที เราควรปฏิบัติอย่างไร

แนวคำตอบ ถอดเต้าเสียบของเตารีดออกจากเต้ารับ จะต้องตรวจสอบแก้ไขสาเหตุที่ทำให้ฟิวส์รวมขาดเสียก่อน จากนั้นต่อฟิวส์รวมโดยยกสะพานไฟรวมแล้วติดฟิวส์ใหม่แทนฟิวส์รวมที่ขาด (ควรให้ผู้มีประสบการณ์ในเรื่องนี้เป็นผู้ปฏิบัติ) จากนั้นจึงสับสะพานไฟลง เพื่อต่อวงจรจากสายส่งไฟฟ้าเข้าบ้านและเข้าวงจรไฟฟ้าในบ้านต่อไป

27. เราจะใช้สายไฟหรือลวดทองแดงแทนฟิวส์ในวงจรไฟฟ้าในบ้านได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ ไม่ได้ เพราะสายไฟหรือลวดทองแดงมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าฟิวส์มาก เมื่อมีการลัดวงจรหรือมีกระแสไฟฟ้าผ่านเกินขนาด สายไฟหรือลวดทองแดงจะไม่หลอมเหลวหรือตัดวงจรเหมือนฟิวส์

28. ขนาดของฟิวส์เส้นที่ใช้กับสะพานไฟมีความสัมพันธ์กับขนาดของสะพานไฟอย่างไร เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ ขนาดของฟิวส์เส้นที่ใช้กับสะพานไฟต้องมีขนาดเท่ากันกับค่าที่กำหนดบนสะพานไฟ ถ้าฟิวส์มีขนาดกระแสไฟฟ้ามากกว่า คือ ทนกระแสไฟฟ้าสูงสุดได้สูงกว่า เมื่อใช้กระแสไฟฟ้าสูงเท่ากับขนาดของกระแสไฟฟ้าที่สะพานไฟกำหนดไว้ ฟิวส์จะไม่ขาด สะพานไฟจึงไม่ตัดวงจรตามที่กำหนดไว้ แต่ถ้าฟิวส์มีขนาดกระแสไฟฟ้าน้อยกว่า สะพานไฟจะตัดกระแสไฟฟ้าก่อนค่ากระแสไฟฟ้าที่กำหนดไว้บนสะพานไฟ

29. ถ้าทราบว่ามีไฟฟ้ารั่วที่เครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดหนึ่งในบ้าน ควรดำเนินการอย่างไร

แนวคำตอบ ควรงดใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดนั้น แล้วตรวจสอบแก้ไขสาเหตุ หากพบว่าเป็นเพราะอุปกรณ์ชำรุดหรือเสื่อมสภาพ ควรเปลี่ยนในส่วนที่มีปัญหา หากพบว่าจำเป็นต้องต่อสายดินกับเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดนั้น ก็ควรต่อสายดินกับเครื่องใช้ไฟฟ้านั้น นอกจากนี้เพื่อช่วยให้เกิดความปลอดภัยยิ่งขึ้น ควรติดตั้งเครื่องป้องกันไฟฟ้ารั่วเข้ากับแผงควบคุมวงจรไฟฟ้าในบ้าน

30. การป้องกันไฟฟ้าไม่ให้ลัดวงจร ทำได้อย่างไร

แนวคำตอบ การป้องกันไฟฟ้าไม่ให้ลัดวงจร สามารถทำได้ดังนี้

1. ต้องหมั่นตรวจสายไฟในบ้าน ระวังไม่ให้ฉนวนหุ้มลวดตัวนำในสายไฟฉีกขาดแล้วไปสัมผัสกับลวดตัวนำสายไฟอื่นๆ ที่อยู่ใกล้
2. ต้องหมั่นตรวจสายไฟของเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน อย่าให้ไปขูดขีดกับเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ ในบ้านหรือถูกสัตว์แทะ จนทำให้ฉนวนหุ้มลวดตัวนำฉีกออก
3. อย่าใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีกำลังมากๆ ในเวลาเดียวกัน โดยใช้เต้ารับรวมกัน จะทำให้ลวดตัวนำในสายไฟร้อนจัด ทำให้ฉนวนหุ้มหลอมละลายได้

31. ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถตรวจสอบเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านว่าชิ้นใดมีไฟฟ้ารั่วหรือไม่ได้อย่างไร

แนวคำตอบ ใช้ไขควงตรวจไฟฟ้า ซึ่งตรวจสอบโดยแตะบริเวณที่เป็นโลหะของเครื่องใช้ไฟฟ้า (แล้วใช้นิ้วสัมผัสกับปลายบนสุดของไขควง) ถ้าหลอดไฟในไขควงสว่างแสดงว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าชิ้นนั้นมีไฟฟ้ารั่ว

32. เรามีวิธีการป้องกันการถูกไฟฟ้าดูดได้อย่างไร

แนวคำตอบ ผู้ใช้หาวัตถุที่เป็นฉนวนรองรับเครื่องใช้ไฟฟ้านั้นและใช้ฉนวนกันการสัมผัสโดยตรงกับส่วนที่เป็นตัวนำไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้านั้น รวมถึงขณะใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า อวัยวะที่สัมผัสจะต้องไม่เปียก และหมั่นตรวจสภาพเครื่องใช้ไฟฟ้าไม่ให้ฉนวนห่อหุ้มฉีกขาด

33. เมื่อพบผู้ถูกไฟฟ้าดูด เราจะช่วยเหลือคนคนนั้นให้ปลอดภัยได้อย่างไร

แนวคำตอบ ใช้ไม้หรือวัตถุที่เป็นฉนวนที่มีขนาดยาวพอสมควร เขี่ยสายไฟออกจากตัวผู้ถูกไฟฟ้าดูด จากนั้นจึงแยกผู้ถูกไฟฟ้าดูดออกมาอยู่ในที่ที่ปลอดภัย แล้วให้การช่วยเหลือตามอาการต่อไป

34. ควรเลือกซื้อเครื่องใช้ไฟฟ้าอย่างไร จึงจะมีส่วนในการประหยัดพลังงานไฟฟ้า

แนวคำตอบ ควรเลือกซื้ออุปกรณ์ไฟฟ้า ดังนี้

1. เลือกซื้อเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานมีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องรับรอง โดยเฉพาะการให้การรับรองที่เกี่ยวข้องกับการประหยัดพลังงาน
2. เลือกเครื่องใช้ไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการใช้งาน เช่น เลือกขนาดของหม้อหุงข้าวหรือขนาดของตู้เย็นให้เหมาะสมกับจำนวนคนในบ้าน และเลือกเครื่องปรับอากาศให้เหมาะสมกับปริมาตรของห้อง เป็นต้น
3. เลือกเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้กำลังไฟฟ้าน้อยแต่ทำงานได้ดี

ปัญหา

14.1 กระแสไฟฟ้า

1. ถ้ามีกระแสไฟฟ้า 1.25 แอมแปร์ ในเส้นลวดโลหะเส้นหนึ่ง ประจุไฟฟ้าทั้งหมดที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดของเส้นลวดโลหะเส้นนั้นในเวลา 5.0 นาที จะมีค่าเท่าไร

วิธีทำ

จาก $I = \frac{Q}{t}$ หรือ $Q = It$

ดังนั้น $Q = (1.25\ \text{A})(5.0 \times 60\ \text{s}) = 375\ \text{C}$

คำตอบ ประจุไฟฟ้าทั้งหมดที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดของเส้นลวดโลหะเท่ากับ 375 คูลอมบ์

2. ถ้าต่อเส้นลวดโลหะกับแบตเตอรี่ปรากฏว่ามีกระแสไฟฟ้าผ่านเส้นลวดนี้ 3.20 แอมแปร์ จงหาจำนวนอิเล็กตรอนอิสระที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดของลวดโลหะนี้ ในเวลา 5.0 วินาที (อิเล็กตรอนมีประจุไฟฟ้า 1.6×10^{-19} คูลอมบ์)

วิธีทำ

จาก $I = \frac{Q}{t}$ หรือ $Q = It$

ซึ่งจะได้ $Q = (3.2\ \text{A})(5.0\ \text{s})$

$= 16.0\ \text{C}$

อิเล็กตรอน 1 ตัว มีประจุ 1.6×10^{-19} คูลอมบ์

มีอิเล็กตรอนอิสระผ่านพื้นที่หน้าตัดของเส้นลวด $= \frac{16.0\ \text{C}}{1.6 \times 10^{-19}\ \text{C}} = 1.0 \times 10^{20}$ ตัว

คำตอบ มีอิเล็กตรอนอิสระผ่านพื้นที่หน้าตัดของเส้นลวดจำนวน 1.0×10^{20} ตัว

3. แบตเตอรี่ก้อนหนึ่งสามารถจ่ายประจุไฟฟ้าได้ทั้งหมด 5.0×10^{4} คูลอมบ์ ตลอดเวลาที่ใช้งาน ถ้าแบตเตอรี่นี้จ่ายกระแสไฟฟ้า 20 มิลลิแอมแปร์อย่างสม่ำเสมอ จะสามารถใช้แบตเตอรี่ได้นานกี่ชั่วโมง

วิธีทำ

จาก $I = \frac{Q}{t}$

เมื่อ $Q = 5.0 \times 10^{4}\ \text{C}$, $I = 20 \times 10^{-3}\ \text{A} = 20 \times 10^{-3}\ \text{C/s}$

จะได้ $t = \frac{5.0 \times 10^{4}\ \text{C}}{20 \times 10^{-3}\ \text{C/s}} = 2.5 \times 10^{6}\ \text{s}$

$= \frac{2.5 \times 10^{6}}{3600}\ \text{hr}$

$= 694\ \text{hr}$

คำตอบ จะสามารถใช้แบตเตอรี่ได้นาน 694 ชั่วโมง

4. ลวดโลหะเส้นหนึ่งมีอิเล็กตรอนอิสระ 5.0×10^{28} ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ลวดมีพื้นที่หน้าตัด 2.5 ตารางมิลลิเมตร ถ้าอิเล็กตรอนแต่ละตัวเคลื่อนที่ด้วยขนาดความเร็วลอยเลื่อน 0.30 มิลลิเมตรต่อวินาที จะมีกระแสไฟฟ้าเท่าใดในเส้นลวดนี้

วิธีทำ

จาก $I = nevA$

เมื่อ $n = 5.0\times10^{28}\ \mathrm{m^{-3}}$, $e = 1.6\times10^{-19}\ \mathrm{C}$

$v = 0.3\times10^{-3}\ \mathrm{ms^{-1}}$, $A = 2.5\times10^{-6}\ \mathrm{m^2}$

ดังนั้น $I = nevA$

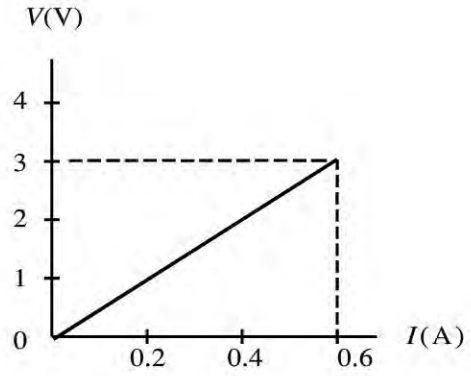
$$I = (5.0\times10^{28}\ \mathrm{m^{-3}})(1.6\times10^{-19}\ \mathrm{C})(2.5\times10^{-6}\ \mathrm{m^2})(0.3\times10^{-3}\ \mathrm{ms^{-1}})$$

$$= 6.0\ \mathrm{A}$$

คำตอบ มีกระแสไฟฟ้า 6.0 แอมแปร์ ในเส้นลวดนี้

14.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์

5. จากการทดลองวัดความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวต้านทาน และกระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานซึ่งต่ออยู่กับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าต่างๆ เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าได้กราฟดังรูป จงหาความต้านทานของตัวต้านทาน



รูปสำหรับปัญหาข้อ 5

วิธีทำ

จากกราฟจะได้ความชัน $= \dfrac{V}{I}$

$$= \frac{3.0\ \mathrm{V}}{0.6\ \mathrm{A}}$$

$$R = 5.0\ \Omega$$

คำตอบ ตัวต้านทานมีความต้านทาน 5 โอห์ม

6. จะต้องต่อตัวต้านทาน 1.0 เมกะโอห์ม กับความต่างศักย์เท่าใด จึงจะมีกระแสไฟฟ้า 1.0 มิลลิแอมแปร์ ผ่านตัวต้านทานดังกล่าว

วิธีทำ

จาก $V = IR$

เมื่อ $I = 1.0\times10^{-3}\ \text{A}$, $R = 1.0\times10^{6}\ \Omega$

$V = (1.0\times10^{-3}\ \text{A})(1.0\times10^{6}\ \Omega) = 1.0\times10^{3}\ \text{V}$

คำตอบ จะต้องใช้ความต่างศักย์ 1.0×10^{3} โวลต์

7. ลวดโลหะเส้นหนึ่งยาว 1.00 เมตร มีพื้นที่หน้าตัด 0.10 ตารางมิลลิเมตร และความต้านทาน 0.1 โอห์ม ลวดเส้นนี้มีสภาพต้านทานเท่าไร

วิธีทำ

จากความสัมพันธ์ $R = \rho\dfrac{\ell}{A}$

$\therefore \quad \rho = \dfrac{RA}{\ell}$

เมื่อ $R = 0.1\ \Omega$, $A = 0.10\times10^{-6}\ \text{m}^2$, $\ell = 1.00\ \text{m}$

$$\rho = \frac{(0.1\ \Omega)(0.10\times10^{-6}\ \text{m}^2)}{1.00\ \text{m}}$$

$$= 1.0\times10^{-8}\ \Omega\ \text{m}$$

คำตอบ $1.0\times10^{-8}\ \Omega\ \text{m}$

8. สายไฟทำด้วยทองแดงสองเส้น เส้นแรกมีความยาว 10 เมตร และมีพื้นที่หน้าตัด 0.20 ตารางมิลลิเมตร เส้นที่สองมีพื้นที่หน้าตัดเป็นสองเท่าและยาวเป็นครึ่งหนึ่งของเส้นแรก จงหาความต้านทานของสายไฟทั้งสองเส้นนั้น

วิธีทำ

จาก $R = \rho\dfrac{\ell}{A}$

$\ell_1 = 10\ \text{m}$, $A = 0.20\times10^{-6}\ \text{m}^2$

สภาพต้านทานของทองแดง (ρ) $= 1.7\times10^{-8}\ \Omega\ \text{m}$

จะได้ $R_1 = \dfrac{(1.7\times10^{-8}\ \Omega\ \text{m})(10\ \text{m})}{(0.20\times10^{-6}\ \text{m}^2)}$

$= 0.85\ \Omega$

สายไฟเส้นที่สองมี $\ell_2 = \dfrac{1}{2}\ell_1 = 5\ \text{m}$

$A_2 = 2\text{A} = 2\times0.20\times10^{-6}\ \text{m}^2$

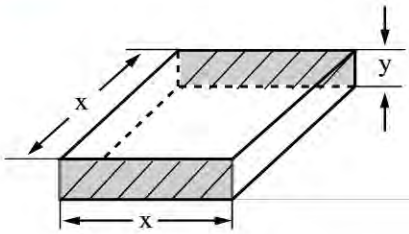
$= 0.4\times10^{-6}\ \text{m}^2$

$$R_2 = \frac{(1.7\times10^{-8}\,\Omega\,\text{m})(5\,\text{m})}{(0.4\times10^{-6}\,\text{m}^2)}$$
$$= 0.21\ \Omega$$

คำตอบ ความต้านทานของสายไฟเส้นแรกและเส้นที่สองเท่ากับ 0.85 โอห์ม และ 0.21 โอห์ม

9. แผ่นโลหะสี่เหลี่ยมชิ้นหนึ่งกว้าง x หนา y และยาว x ดังรูป ถ้าโลหะนี้มีสภาพต้านทาน ρ ความต้านทานระหว่างด้านที่แรเงามีค่าเท่าใด

วิธีทำ



รูปสำหรับปัญหาข้อ 9

พื้นที่หน้าตัดของด้านที่แรเงา = xy

สมมติสภาพต้านทานของแผ่นโลหะนี้ = ρ

จาก $R = \rho\frac{\ell}{A}$

$$= \rho\frac{x}{xy} = \frac{\rho}{y}$$

คำตอบ ความต้านทานระหว่างด้านที่แรเงามีค่าเป็น $\frac{\rho}{y}$

10. ตัวต้านทาน a มีแถบสีส้ม ดำ แดงและทอง ตัวต้านทาน b มีแถบสีน้ำตาล เทา ส้ม และเงิน และตัวต้านทาน c มีแถบสีเขียว น้ำเงิน เหลืองและทอง ตัวต้านทานแต่ละตัวมีความต้านทานเท่าใด

คำตอบ – ความต้านทาน a มีแถบ ส้ม ดำ แดง และทอง
จะมีความต้านทานเท่ากับ 30×10^2 $(1 \pm 5/100)$ หรือ $3000 \pm 150\,\Omega$
หรือมีความต้านทานอยู่ในช่วง 2850 - 3150 โอห์ม

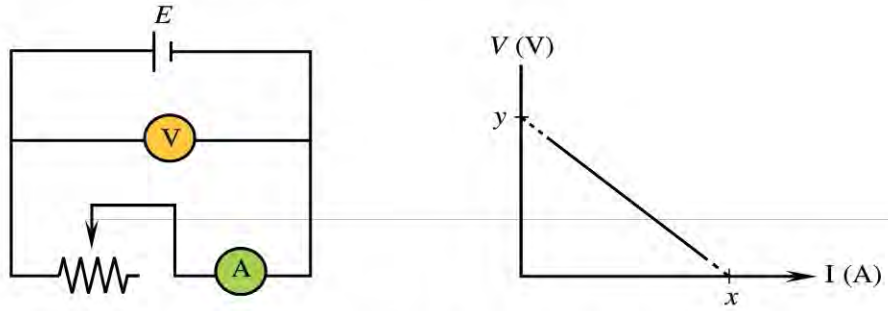
– ความต้านทาน b มีแถบน้ำตาล เทา ส้ม และเงิน
จะมีความต้านทานเท่ากับ 18×10^3 $(1 \pm 10/100)$ หรือ $18\,000 \pm 1800\,\Omega$

– ความต้านทาน c มีแถบสีเขียว น้ำเงิน เหลือง และทอง
จะมีความต้านทานเท่ากับ 56×10^4 $(1 \pm 5/100)$ หรือ $560\,000 \pm 28\,000\,\Omega$

14.3 พลังงานในวงจรไฟฟ้า

11. วงจรไฟฟ้าดังรูป แสดงการทดลองเพื่อหาแรงเคลื่อนไฟฟ้าและความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ ส่วนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ระหว่างขั้วของแบตเตอรี่ E และกระแสไฟฟ้าที่ผ่านแบตเตอรี่ E เมื่อความต้านทานเปลี่ยนไป เส้นกราฟตัดแกน I และ V ที่ค่า x และ y ตามลำดับ จงหาแรงเคลื่อนไฟฟ้าและความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ E

จากกราฟ ถ้า x = 0 (กระแสเป็น 0) โวลต์มิเตอร์จะอ่านค่า $V = E$



รูปสำหรับปัญหาข้อ 11

วิธีทำ นั่นคือแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแบตเตอรี่ $E = y$

จาก $V = E - Ir$

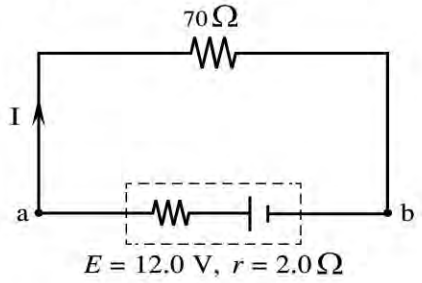
หรือ $V = y - Ir$

ถ้า $V = 0, \quad I = x$

จะได้ $r = \dfrac{y}{x}$

คำตอบ แรงเคลื่อนไฟฟ้าของแบตเตอรี่เท่ากับ y และความต้านทานภายในของแบตเตอรี่เท่ากับ $\dfrac{y}{x}$

12. แบตเตอรี่ก้อนหนึ่งมีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 12.0 โวลต์ และความต้านทานภายใน 2.0 โอห์ม ต่อกับตัวต้านทาน 70 โอห์ม จงหาความต่างศักย์ระหว่างขั้วของแบตเตอรี่ ค่าที่คำนวณได้นี้จะแตกต่างกับค่าที่วัดด้วยโวลต์มิเตอร์ที่มีความต้านทานสูงมากโดยไม่มีตัวต้านทานต่ออยู่หรือไม่ เพราะเหตุใด



วิธีทำ

จาก $I = \dfrac{E}{R+r}$

เมื่อ $E = 12.0\ \text{V}, \quad R = 70\ \Omega$ และ $r = 2.0\ \Omega$

จะได้ว่า $I = \dfrac{12.0\,\text{V}}{(70\,\Omega + 2.0\,\Omega)}$

$$= \frac{1}{6} \text{ A}$$

ถ้า V_{ab} เป็นความต่างศักย์ที่ขั้วทั้งสองของแบตเตอรี่

จากรูป จะได้ว่า $V_{ab} = IR$

$$= \left(\frac{1}{6}\text{A}\right)(70\,\Omega)$$

$$= 11.67 \text{ V}$$

คำตอบ ความต่างศักย์ที่ขั้วทั้งสองของแบตเตอรี่เท่ากับ 11.7 โวลต์

ถ้านำโวลต์มิเตอร์ที่มีความต้านทานสูงมากไปวัดความต่างศักย์ที่ขั้วแบตเตอรี่โดยไม่มีความต้านทานภายนอกต่ออยู่ (ในกรณีนี้ คือ ไม่มีความต้านทาน 70 Ω ต่ออยู่) สามารถวิเคราะห์ค่าความต่างศักย์ที่วัดที่ขั้วของแบตเตอรี่ได้ ดังนี้

จาก $I = \dfrac{E}{R+r}$ .....(1)

ถ้า R คือความต้านทานของโวลต์มิเตอร์ซึ่งมีค่าสูงมากๆ กระแส I จะมีค่าน้อยจนเกือบเป็นศูนย์

จาก (1) จะได้ว่า

$$IR = E - Ir$$

ให้ $V_{ab} = IR =$ ความต่างศักย์ที่ขั้วแบตเตอรี่

$V_{ab} = E - Ir$ .....(2)

เมื่อ I มีค่าน้อยมากๆ (เกือบเป็นศูนย์) และความต้านทานภายใน r มีค่าน้อยอยู่แล้ว

จะได้ $E - Ir = E$ หรือ $V_{ab} = E$

นั่นคือ ถ้าใช้โวลต์มิเตอร์ที่มีความต้านทานสูงมาก (เช่น 10^8 โอห์ม) ไปวัดความต่างศักย์ที่ขั้วทั้งสองของแบตเตอรี่จะได้ค่าเท่ากับแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแบตเตอรี่

13. ต่อแบตเตอรี่แอลคาไลน์ 1.5 โวลต์ 2 ก้อน แบบอนุกรม ทำให้สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้า 20 มิลลิแอมแปร์ กับวิทยุขนาดเล็กได้นาน 20 ชั่วโมง ถ้าแบตเตอรี่ราคาก้อนละ 15 บาท จงหาค่าไฟฟ้าต่อพลังงานไฟฟ้า 1 หน่วย

วิธีทำ จาก $P = VI$

เมื่อ $V = 1.5\text{ V} \times 2$ ก้อน $= 3\text{ V}$, $I = 20\times10^{-3}\text{ A}$

$$P = (3\text{ V})(20\times10^{-3}\text{ A})$$

$$= 6.0\times10^{-2}\text{ W} = 6.0\times10^{-5}\text{ kW}$$

พลังงานไฟฟ้า = กำลังไฟฟ้า(กิโลวัตต์) x (20 hr)

$$= 6.0\times10^{-5}\times20\text{ kWhr}$$

$$= 1.20\times10^{-3}\text{ kWhr}$$

พลังงานไฟฟ้า 1.20×10^{-3} หน่วย ต้องเสียเงิน 30 บาท (แบตเตอรี่ 2 ก้อน)

พลังงานไฟฟ้า 1 หน่วย ต้องเสียเงิน $\frac{30}{1.2 \times 10^{-3}}$ หน่วย = 25 000 บาท

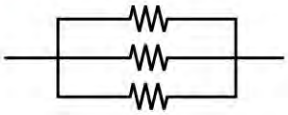
คำตอบ ค่าไฟฟ้าต่อพลังงานไฟฟ้า 1 หน่วย จากแบตเตอรี่เท่ากับ 25 000 บาท

14.4 การต่อตัวต้านทานและแบตเตอรี่

14. ตัวต้านทานสามตัว แต่ละตัวมีความต้านทาน 1 โอห์ม ถ้านำตัวต้านทานทั้งสามมาต่อกันจะได้ความต้านทานสมมูลเท่าใดบ้าง

วิธีทำ

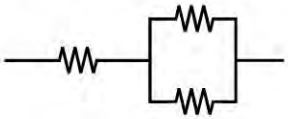
6.

ก. 

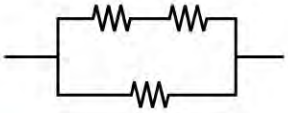
$$R_{\text{สมมูล}} = \frac{1}{3}\,\Omega$$

ข.

$$R_{\text{สมมูล}} = 3\,\Omega$$

ค. 

$$R_{\text{สมมูล}} = 1 + \frac{1}{2}\,\Omega = 1.5\ \Omega$$

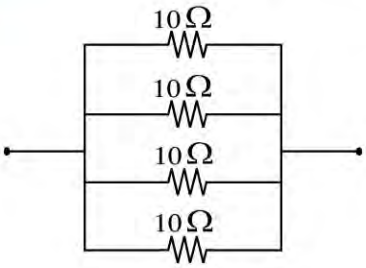
ง. 

$$R_{\text{สมมูล}} = (\frac{1}{2}+1)^{-1}\,\Omega = \frac{2}{3}\,\Omega$$

คำตอบ ได้ความต้านทานสมมูล $\frac{1}{3}\Omega$, $3\,\Omega$, $\frac{3}{2}\Omega$ และ $\frac{2}{3}\Omega$

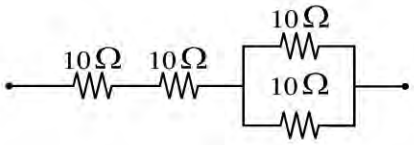
15. ตัวต้านทานสี่ตัว แต่ละตัวมีความต้านทาน 10 โอห์ม จะต้องนำมาต่อกันอย่างไรจึงจะได้ความต้านทานสมมูล 2.5 โอห์ม และ 25 โอห์ม

วิธีทำ ถ้าต่อดังรูป (ก) จะได้ความต้านทานสมมูล



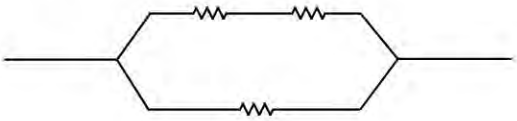
$$R_{\text{สมมูล}} = (\frac{1}{4} \times 10\,\Omega) = 2.5\ \Omega$$

ถ้าต่อดังรูป (ข) จะได้ความต้านทานสมมูล



$$R_{\text{สมมูล}} = 20\ \Omega + (\frac{1}{2} \times 10\ \Omega) = 25\ \Omega$$

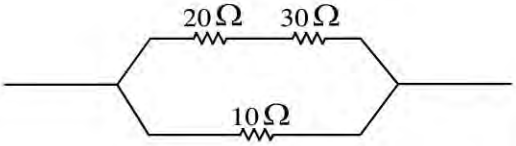
16. a, b และ c เป็นตัวต้านทานที่มีความต้านทาน 10 โอห์ม 20 โอห์ม และ 30 โอห์ม ตามลำดับ จะต้องนำตัวต้านทานทั้งสามนี้มาจัดวางในแผนภาพตามรูปข้างล่างอย่างไร จึงทำให้ความต้านทานสมมูล
ก. มีค่าน้อยที่สุด ข. มีค่ามากที่สุด



รูปสำหรับปัญหาข้อ 16

วิธีทำ

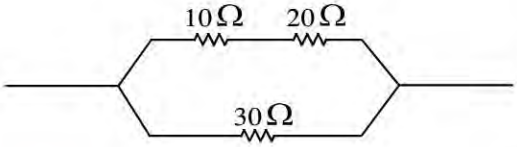
ก. ถ้าต่อความต้านทานดังรูป ก. ความต้านทานสมมูลจะน้อยที่สุด



$$\frac{1}{R_{\text{สมมูล}}} = \left[\frac{1}{(20+30)} + \frac{1}{10}\right]\frac{1}{\Omega} = \frac{6}{50}\frac{1}{\Omega}$$

$$R_{\text{สมมูล}} = 8.3\ \Omega$$

ข. ถ้าต่อความต้านทานดังรูป ข. ความต้านทานสมมูลจะมากที่สุด

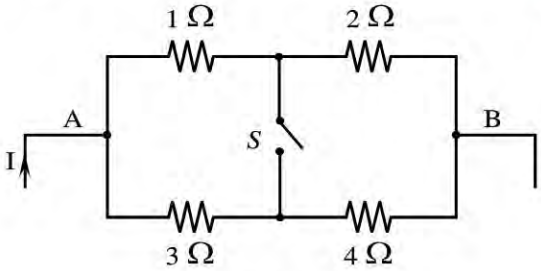


$$\frac{1}{R_{\text{สมมูล}}} = \left[\frac{1}{(10+20)} + \frac{1}{30}\right]\frac{1}{\Omega} = \frac{1}{15}\frac{1}{\Omega}$$

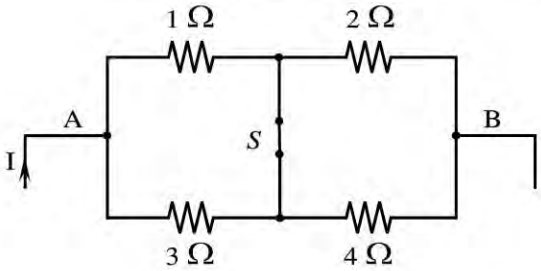
$$R_{\text{สมมูล}} = 15\ \Omega$$

คำตอบ ก. ถ้าต่อแบบ ก. จะได้ความต้านทานน้อยที่สุดเท่ากับ 8.3 โอห์ม
ข. ถ้าต่อแบบ ข. จะได้ความต้านทานมากที่สุดเท่ากับ 15 โอห์ม

17. จากรูป ความต้านทานสมมูลมีค่าเท่าใด เมื่อ
(ก) สวิตช์ S เปิด
(ข) สวิตช์ S ปิด



รูปสำหรับปัญหาข้อ 17



วิธีทำ

ก. ถ้าสวิตช์ S เปิด

$$\frac{1}{R_{\text{สมมูล}}} = \left[\frac{1}{3}+\frac{1}{7}\right]\frac{1}{\Omega}$$

$$R_{\text{สมมูล}} = \left(\frac{1}{3}+\frac{1}{7}\right)^{-1} = \frac{21}{10}\ \Omega$$

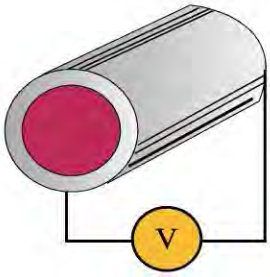
ข. ถ้าสวิตช์ S ปิด

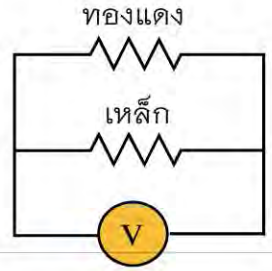
$$\frac{1}{R_{\text{สมมูล}}} = \left[\frac{1}{\left(1+\frac{1}{3}\right)}+\frac{1}{\left(\frac{1}{2}+\frac{1}{4}\right)}\right]\frac{1}{\Omega}$$

$$R_{\text{สมมูล}} = \left[\left(1+\frac{1}{3}\right)^{-1}+\left(\frac{1}{2}+\frac{1}{4}\right)^{-1}\right]\Omega = \frac{25}{12}\Omega$$

คำตอบ ก. ความต้านทานเท่ากับ $\frac{21}{10}$ โอห์ม
ข. ความต้านทานเท่ากับ $\frac{25}{12}$ โอห์ม

18. ความต้านทานของลวดเหล็กกล้าเส้นหนึ่งที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร จะลดลงเหลือหนึ่งในสามเมื่อถูกเคลือบด้วยทองแดง จงหาความหนาของทองแดงที่เคลือบ กำหนดให้สภาพต้านทานของเหล็กกล้าและทองแดงเท่ากับ 1.98×10^{-7} และ 1.7×10^{-8} โอห์มเมตร ตามลำดับ





วิธีทำ

จาก $R = \rho\frac{\ell}{A}$

$$\frac{1}{R} = \frac{A}{\rho\ell}$$

ถ้าให้ ρ_i = สภาพต้านทานของลวดเหล็กกล้า

ρ_c = สภาพต้านทานของทองแดง

ℓ = ความยาวลวดเหล็กกล้า

d = ความหนาทองแดงที่เคลือบ

r = รัศมีลวดเหล็กกล้า

เมื่อยังไม่เคลือบทองแดง

$$\frac{1}{R_1} = \frac{\pi r^2}{\rho_i \ell} \qquad \text{.....(1)}$$

เมื่อเคลือบทองแดง

$$\frac{1}{R_2} = \frac{\pi r^2}{\rho_i \ell} + \frac{\pi (r+d)^2 - \pi r^2}{\rho_c \ell} \qquad \text{..... (2)}$$

$$\frac{(2)}{(1)} \qquad \frac{R_1}{R_2} = 1 + \left[\frac{(r+d)^2 - r^2}{r^2}\right]\left(\frac{\rho_i}{\rho_c}\right)$$

เนื่องจาก $R_2 = \frac{1}{3}R_1$ หรือ $\frac{R_1}{R_2} = 3$

จะได้ $$3 = 1 + \left[\frac{r^2 + 2rd + d^2 - r^2}{r^2}\right]\left[\frac{\rho_i}{\rho_c}\right]$$

$$3 = 1 + \left[\frac{2rd + d^2}{r^2}\right]\left[\frac{\rho_i}{\rho_c}\right]$$

ได้ $$\frac{2rd + d^2}{r^2} = \frac{2\rho_c}{\rho_i}$$

$$2rd + d^2 = \frac{2r^2\rho_c}{\rho_i}$$

แทน $r = 0.5\times10^{-2}$ m , $\rho_c = 1.7\times10^{-8}\ \Omega\text{m}$ $\rho_i = 1.98\times10^{-7}\ \Omega\text{m}$

$$2rd + d^2 = \frac{2\times(0.5\times10^{-2}\text{ m})^2(1.7\times10^{-8}\ \Omega\text{m})}{(1.98\times10^{-7}\ \Omega\text{m})} = 0.0429\ \text{cm}^2$$

$$d^2 + d - 0.0429 = 0$$

$$d = \frac{-1 \pm \sqrt{1^2 + 4(0.0429)}}{2}$$

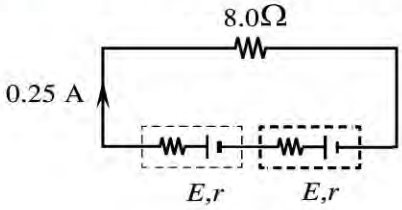
$$= 0.0412\ \text{cm}\ (\text{เอาแต่ค่าบวก}) \approx 0.41\ \text{mm}$$

คำตอบ ทองแดงที่เคลือบหนา 0.41 mm

19. เมื่อนำแบตเตอรี่ที่เหมือนกันสองก้อนมาต่อแบบอนุกรม จะมีกระแสไฟฟ้า 0.25 แอมแปร์ ผ่านตัวต้านทาน 8 โอห์ม ถ้าต่อแบตเตอรี่แบบขนานจะมีกระแสไฟฟ้า 0.16 แอมแปร์ จงหาแรงเคลื่อนไฟฟ้าและความต้านทานภายในของแบตเตอรี่

วิธีทำ

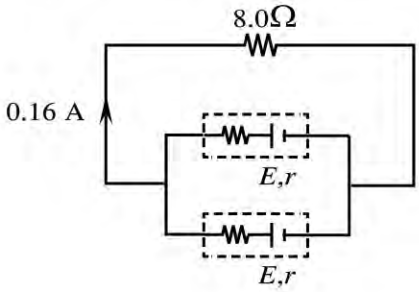
เมื่อต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม



จาก $I = \dfrac{nE}{R+nr}$

$$0.25\text{ A} = \frac{2E}{(8.0\Omega)+2r} \quad \text{.....(1)}$$

เมื่อต่อแบตเตอรี่แบบขนาน



จาก $I = \dfrac{E}{R+\dfrac{r}{n}}$

$$0.16\text{ A} = \frac{E}{(8.0\Omega)+\dfrac{r}{2}} \quad \text{.....(2)}$$

(1)/(2) $\dfrac{1}{4\times 0.16} = \dfrac{2(8+\dfrac{r}{2})}{8+2r}$

จัดเทอมได้ $4 + r = 0.32\,(16 + r)\ \Omega$

$r = 1.65\ \Omega$

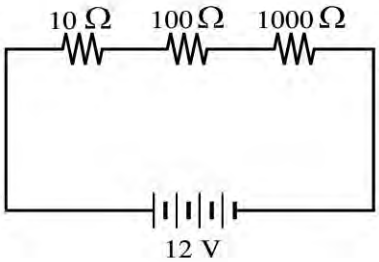
แทนใน (2) ได้ $E = 0.16\,(8 + \dfrac{1.65}{2})\text{ V}$

$= \mathbf{1.41\ V}$

คำตอบ ความต้านทานภายในเท่ากับ 1.7 โอห์ม แรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่ากับ 1.4 โวลต์

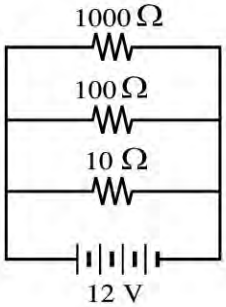
14.5 การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสตรงเบื้องต้น

20. ตัวต้านทานสามตัวมีความต้านทาน 10 โอห์ม 100 โอห์ม และ 1 กิโลโอห์ม ตามลำดับ
ก. ถ้าต่อกันแบบอนุกรมและต่อกับแบตเตอรี่ 12 โวลต์ จะมีกระแสไฟฟ้าเท่าใดในวงจร
ข. ถ้าต่อตัวต้านทานทั้งสามแบบขนาน จะมีกระแสไฟฟ้าในวงจรเท่าใด



ก. $R_{สมมูล} = 10\,\Omega + 100\,\Omega + 1000\,\Omega = 1110\,\Omega$

$$I = \frac{12\text{V}}{1110\ \Omega} = 0.011\ \text{A}$$



ข. $$= \frac{1}{10} + \frac{1}{100} + \frac{1}{1000}\ \Omega$$

$$= \frac{100+10+1}{1000}\ \Omega$$

$$R_{สมมูล} = \frac{1000}{111}\ \Omega$$

$$I = \frac{12\text{V}}{(1000/111)\Omega} = \frac{12\times 111}{1000}\text{A} = 1.332\ \text{A}$$

$$\approx 1.3\ \text{A}$$

คำตอบ กระแสไฟฟ้าในรูป ก เท่ากับ 11 มิลลิแอมแปร์ และในรูป ข เท่ากับ 1.3 แอมแปร์

21. เมื่อนำแบตเตอรี่สี่ก้อนที่ต่อกันแบบอนุกรมไปต่อกับตัวต้านทานขนาด 5.6 โอห์ม กระแสไฟฟ้าในวงจรจะมีค่าเท่าใด ถ้าแบตเตอรี่แต่ละก้อนมีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 1.5 โวลต์ และความต้านทานภายใน 0.1 โอห์ม

วิธีทำ จาก $I = \dfrac{nE}{R+nr}$

เมื่อ $nE = (4\times 1.5)\text{V} = 6.0\ \text{V},\ R = 5.6\ \Omega,\ nr = 4\times 0.1\ \Omega = 0.4\ \Omega$

จะได้ $I = \dfrac{6.0\ \text{V}}{5.6\ \Omega + 0.4\ \Omega} = \dfrac{6.0\ \text{V}}{6.0\ \Omega} = 1.0\ \text{A}$

คำตอบ กระแสไฟฟ้าในวงจรเท่ากับ 1.0 แอมแปร์

22. วงจรไฟฟ้าดังรูป E เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้า A เป็นแอมมิเตอร์ และ V เป็นโวลต์มิเตอร์ จงหา

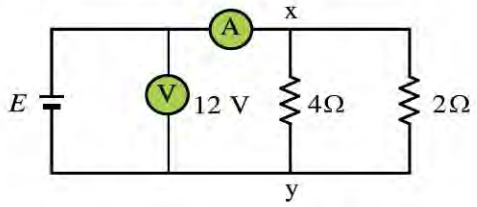
ก. ความต้านทานสมมูลระหว่าง x และ y

ข. กระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากแอมมิเตอร์ A

ค. กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทาน 4 โอห์ม

ง. อัตราของพลังงานไฟฟ้าที่สิ้นเปลืองไปกับตัวต้านทานขนาด 4 โอห์ม

จ. พลังงานไฟฟ้าที่สิ้นเปลืองไปในตัวต้านทานทั้งสองในวงจร ในเวลา 30 วินาที



รูปสำหรับปัญหาข้อ 22

วิธีทำ

ก. จาก $R_{\text{สมมูล}} = \left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+.....\right)^{-1}$

จะได้ $R_{\text{สมมูล}} = \left(\frac{1}{4}+\frac{1}{2}\right)^{-1} = \frac{4}{3}\ \Omega$

คำตอบ ความต้านทานสมมูลระหว่าง x และ y เท่ากับ $\frac{4}{3}$ โอห์ม

ข. จาก $I = \frac{V_{xy}}{R_{xy}}$

จะได้ $I = \frac{12\text{V}}{\frac{4}{3}\Omega} = 9\ \text{A}$

คำตอบ กระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากแอมมิเตอร์ A เท่ากับ 9 แอมแปร์

ค. จาก $I = \frac{V}{R}$

จะได้ $I_{4\Omega} = \frac{12\text{V}}{4\Omega} = 3\ \text{A}$

คำตอบ กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทาน 4 โอห์ม เท่ากับ 3 แอมแปร์

ง. จาก กำลังไฟฟ้า $= I^2R$

อัตราของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไป $= (3\text{A})^2(4\Omega) = 36\ \text{W}$

คำตอบ อัตราของพลังงานไฟฟ้าที่สิ้นเปลืองไปกับตัวต้านทาน ขนาด 4 โอห์มเท่ากับ 36 วัตต์

จ. กระแสไฟฟ้าที่ผ่าน $2\Omega = \frac{12\text{V}}{2\Omega} = 6\ \text{A}$

$\therefore$ พลังงานไฟฟ้าที่สิ้นเปลืองไปในตัวต้านทานทั้งสอง ในเวลา 30 วินาที

$$= \left[(3A)^2(4\Omega)+(6A)^2(2\Omega)\right]\times 30s = 3240 \text{ จูล}$$

คำตอบ พลังงานไฟฟ้าที่สิ้นเปลืองไปในตัวต้านทาน ทั้งสองในวงจรในเวลา 30 วินาที คือ 3240 จูล

23. ตัวต้านทานสามตัวมีความต้านทาน 1 โอห์ม 100 โอห์ม และ 1000 โอห์ม ถ้านำตัวต้านทานแต่ละตัวไปต่อกับแบตเตอรี่ 3 โวลต์ และความต้านทานภายใน 0.5 โอห์ม ความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวต้านทานเป็นเท่าใด

วิธีทำ จาก $I = \dfrac{nE}{R+nr}$ และ $V = IR$

เมื่อแบตเตอรี่ต่อกับตัวต้านทาน 1 Ω

$$I_{1\Omega} = \frac{3V}{1\Omega+0.5\Omega}$$

$$V_{1\Omega} = \frac{3V}{1.5\Omega}(1\Omega) = 2\text{ V} \qquad \text{.....(1)}$$

คำตอบ ความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวต้าน 1Ω เท่ากับ 2V

เมื่อแบตเตอรี่ต่อกับตัวต้านทาน 100 Ω

$$I_{100\Omega} = \frac{3V}{100\Omega+0.5\Omega}$$

$$V_{100\Omega} = \frac{3V}{100.5\Omega}(100\Omega) = 2.985\text{ V} \approx 3\text{ V} \qquad \text{.....(2)}$$

คำตอบ ความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวต้าน 100 Ω เท่ากับ 3 V

เมื่อแบตเตอรี่ต่อกับตัวต้านทาน 1000 Ω

$$I_{1000\Omega} = \frac{3V}{1000\Omega+0.5\Omega}$$

$$V_{1000\Omega} = \frac{3V}{1000.5\Omega}(1000\Omega)$$

$$= 2.999\text{ V} \approx 3\text{ V} \qquad \text{.....(3)}$$

คำตอบ ความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวต้าน 1000 Ω เท่ากับ 3 V

24. แบตเตอรี่วิทยุเครื่องหนึ่งมีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 9 โวลต์ ขณะที่ให้กระแสไฟฟ้า 0.4 แอมแปร์ วัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่ได้ 8.8 โวลต์ ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่มีค่าเท่าใด

วิธีทำ จาก $V = E - Ir$

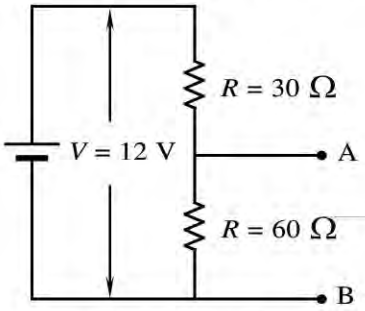
เมื่อ $V = 8.8\text{ V}$, $E = 9\text{ V}$, $I = 0.4\text{ A}$

แทนค่า $8.8\text{V} = 9\text{ V} - (0.4\text{ A})(r)$

$$r = \frac{0.2V}{0.4A} = 0.5\ \Omega$$

คำตอบ ความต้านทานภายในแบตเตอรี่มีค่า 0.5 โอห์ม

25. จากรูป ความต่างศักย์ระหว่างจุด A และ B มีค่าเท่าใด เมื่อนำตัวต้านทาน 30 โอห์ม ต่อระหว่างจุด A และ B



รูปสำหรับปัญหาข้อ 25

วิธีทำ

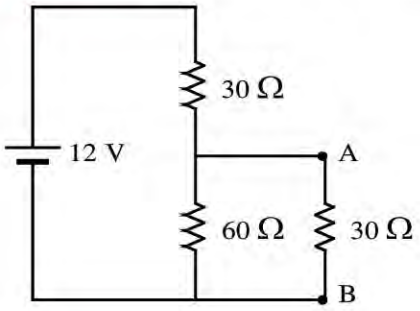
V_{AB} ก่อนต่อตัวต้านทาน 30Ω

$$V_{AB} = I R_{AB}$$

$$= \frac{12V}{(30+60)\Omega}(60\Omega)$$

$$= (\frac{12}{90}\times 60)V = 8\ V$$

คำตอบ ความต่างศักย์ระหว่างจุด A และ B เท่ากับ 8 โวลต์



ถ้านำตัวต้านทาน 30Ω มาต่อระหว่างจุด A และ B

$$R_{สมมูล} = \left[\frac{1}{30\Omega}+\frac{1}{60\Omega}\right]^{-1} + 30\Omega$$

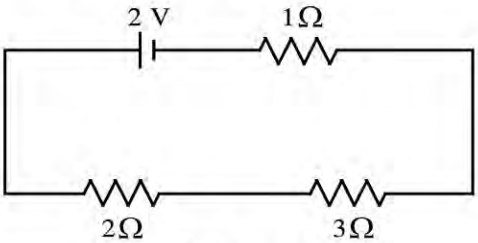
$$= 20\Omega + 30\Omega = 50\Omega$$

$$V_{AB} = \frac{12V}{50\Omega}(20\Omega)$$

$$= \frac{24}{5} = 4.8\ V$$

คำตอบ ความต่างศักย์ระหว่างจุด A และ B เท่ากับ 4.8 โวลต์ เมื่อต่อตัวต้านทาน 30 โอห์ม ระหว่าง A และ B

26. วงจรไฟฟ้าดังรูป ถ้าแบตเตอรี่ไม่มีความต้านทานภายใน ความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวต้านทาน 3 โอห์ม มีค่าเท่าใด



รูปสำหรับปัญหาข้อ 26

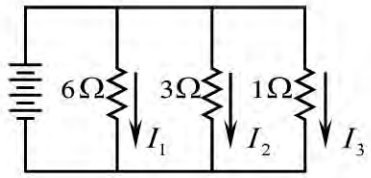
วิธีทำ จาก $V = IR$

จะได้ $V = \frac{2V}{1\Omega + 2\Omega + 3\Omega}(3\Omega)$

$= 1\ V$

คำตอบ ความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวต้านทาน 3 โอห์ม มีค่าเท่ากับ 1 โวลต์

27. วงจรไฟฟ้าดังรูป จงหาอัตราส่วนของกระแสไฟฟ้า $I_1 : I_2 : I_3$



รูปสำหรับปัญหาข้อ 27

วิธีทำ เนื่องจากความต้านทานทั้งสามต่อขนานกัน ดังนั้นความต่างศักย์ระหว่างปลายทั้งสองข้างของตัวต้านทานทุกตัวมีค่าเท่ากัน

นั่นคือ $V_1 = V_2 = V_3$

จาก $V = IR$

หรือ $I_1 \times 6\Omega = I_2 \times 3\Omega = I_3 \times 1\Omega = k$

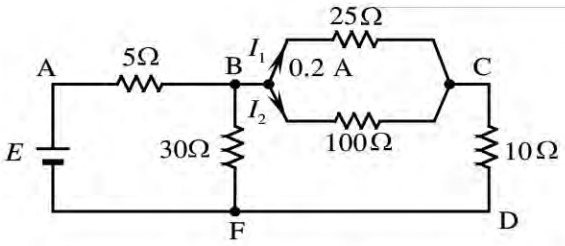
นั่นคือ $I_1 = \frac{k}{6},\ I_2 = \frac{k}{3},\ I_3 = k$

$$I_1 : I_2 : I_3 = \frac{k}{6} : \frac{k}{3} : k$$

$$= 1 : 2 : 6$$

ตอบ อัตราส่วนของกระแสไฟฟ้า $I_1 : I_2 : I_3$ คือ 1 : 2 : 6

28. วงจรไฟฟ้าดังรูป จงหาแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแบตเตอรี่ E และกระแสไฟฟ้าที่ผ่านแบตเตอรี่



รูปสำหรับปัญหาข้อ 28

วิธีทำ เนื่องจากความต้านทาน 25 Ω และ 100 Ω ต่อขนานกัน ดังนั้น ความต่างศักย์ระหว่างปลายทั้งสองข้างของตัวต้านทานมีค่าเท่ากัน นั่นคือ $V_{BC\ \text{สายบน}} = V_{BC\ \text{สายล่าง}}$

จาก $V = IR$

ดังนั้น $I_1 R_{BC\ \text{สายบน}} = I_2 R_{BC\ \text{สายล่าง}}$

แทนค่า $(0.2\ \text{A})(25\ \Omega) = I_2(100\ \Omega)$

$I_2 = 0.05\ \text{A}$

กระแสไฟฟ้าที่ผ่านจุด C เท่ากับ

$I_1 + I_2 = (0.2\ \text{A}) + (0.05\ \text{A})$

$= 0.25\ \text{A}$

กระแสไฟฟ้านี้ผ่านความต้านทาน $10\ \Omega$ เช่นกัน

เนื่องจาก $V_{BD} = V_{BC} + V_{CD}$

$= (0.2\ \text{A} \times 25\ \Omega) + (0.25\ \text{A} \times 10\ \Omega)$

$= 7.5\ \text{V}$

จากรูป $V_{BF} = V_{BD}$ เพราะจุด F และ D มีศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน

หากระแสที่ผ่านความต้านทาน $30\ \Omega$ หรือ BF

จาก $V = IR$

จะได้ $7.5\ \text{V} = I \times 30\ \Omega$

$$I = \frac{7.5V}{30\Omega} = 0.25\ \text{A}$$

เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ผ่านแบตเตอรี่เป็นกระแสไฟฟ้าที่ผ่าน BF รวมกับกระแสไฟฟ้าที่ผ่าน BD

กระแสไฟฟ้าที่ผ่านแบตเตอรี่ $= (0.25\ \text{A}) + (0.25\ \text{A})$

$= 0.50\ \text{A}$

ดังนั้น แรงเคลื่อนไฟฟ้า $E = V_{AB} + V_{BF}$

$= (I_{AB} R_{AB}) + 7.5\text{V}$

$= (0.50\ \text{A} \times 5\ \Omega) + 7.5\text{V}$

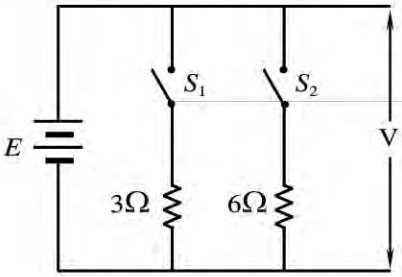
$= 10\ \text{V}$

คำตอบ แรงเคลื่อนไฟฟ้าของแบตเตอรี่มีค่าเท่ากับ 10 โวลต์ และกระแสไฟฟ้าที่ผ่านแบตเตอรี่มีค่าเท่ากับ 0.5 แอมแปร์

29. วงจรไฟฟ้าดังรูป ประกอบด้วยสวิตช์ S_1 สวิตช์ S_2 โวลต์มิเตอร์ V แบตเตอรี่ E และตัวต้านทานขนาด 3 โอห์ม และ 6 โอห์ม เมื่อสับสวิตช์ S_1 อย่างเดียว โวลต์มิเตอร์อ่านได้ 12 โวลต์ เมื่อสับสวิตช์ S_2 อย่างเดียว โวลต์มิเตอร์อ่านได้ 16 โวลต์

ก. จงหาความต้านทานภายในของแบตเตอรี่

ข. ถ้ายังไม่ได้สับสวิตช์ S_1 และ S_2 โวลต์มิเตอร์อ่านได้เท่าใด



รูปสำหรับปัญหาข้อ 29

วิธีทำ

ก. หาความต้านทานภายในแบตเตอรี่

เมื่อสับสวิตช์ S_1 โวลต์มิเตอร์อ่านได้ 12 V

จาก $V = IR$

แทนค่า $12\text{ V} = I_1\,(3\,\Omega)$

$$I_1 = \frac{12\text{ V}}{3\,\Omega} = 4\text{ A}$$

เมื่อสับสวิตช์ S_2 อย่างเดียวโวลต์มิเตอร์อ่านได้ 16 V

แทนค่า $16\text{ V} = I_2\,(6\,\Omega)$

$$I_2 = \frac{16}{6} = \frac{8}{3}\text{A}$$

จาก $I = \dfrac{E}{R+r}$, E เป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแบตเตอรี่

ดังนั้น กระแสไฟฟ้าผ่าน $3\,\Omega$, $I_1 = \dfrac{E}{3\,\Omega + r} = 4\text{ A}$

$$E = (4\text{ A})(3\,\Omega + r) \qquad \text{.....(1)}$$

กระแสไฟฟ้าที่ผ่าน $6\,\Omega$, $I_2 = \dfrac{E}{6\,\Omega + r} = \dfrac{8}{3}\text{ A}$

$$E = (\frac{8}{3}\text{A})(6\,\Omega + r) \qquad \text{.....(2)}$$

จาก (1) = (2)

ดังนั้น $(4\text{ A})\,(3\,\Omega + r) = (\frac{8}{3}\text{A})(6\,\Omega + r) = E$

ได้ $r = 3\,\Omega$

คำตอบ ความต้านทานภายในเซลล์มีค่าเท่ากัน 3 โอห์ม

ข. หาค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่โวลต์มิเตอร์อ่านได้ ถ้ายังไม่สับสวิตช์ S_1 และ S_2

แทนค่า $r = 3\,\Omega$ ใน (1) จะได้ $E = (4\text{ A})\,(3\,\Omega + 3\,\Omega)$

$= 24\text{ V}$

คำตอบ โวลต์มิเตอร์จะอ่านได้ 24 โวลต์

30. จะต้องใช้แบตเตอรี่ที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 1.5 โวลต์ และความต้านทานภายใน 1 โอห์ม จำนวนเท่าใด เพื่อทำให้หลอดไฟ 6W 12V สว่างปกติ

วิธีทำ หากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในหลอดไฟ

จาก $P = VI$

$6\text{ W} = (12\text{ V})\ I$

$I = \frac{1}{2}\text{A}$

และหาความต้านทานของหลอดไฟ

จาก $V = IR$

$R = \frac{12\text{V}}{\frac{1}{2}\text{A}} = 24\ \Omega$

จาก $I = \frac{E}{R+r}$

แทนค่า $\frac{1}{2}\text{A} = \frac{n(1.5\text{ V})}{24\ \Omega + n\ (1\ \Omega)}$

$n = 12$ ก้อน

คำตอบ ต้องใช้แบตเตอรี่ที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 1.5 โวลต์ จำนวน 12 ก้อนต่ออนุกรมกัน

31. เมื่อจุ่มลวดให้ความร้อนเส้นหนึ่งที่ต่อกับความต่างศักย์ 220 โวลต์ ลงในน้ำที่มีมวล 1 กิโลกรัม อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ปรากฏว่าน้ำเดือดในเวลา 5 นาที จงหากำลังไฟฟ้าของลวดให้ความร้อน กำหนดให้ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำเท่ากับ 4.2 กิโลจูลต่อกิโลกรัม เคลวิน

วิธีทำ จาก $P = \frac{mc\Delta T}{t}$

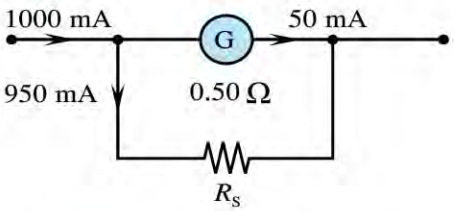
$= \frac{(1\text{kg})(4.2\times10^3\text{ J/kg - K})(373\text{K} - 303\text{K})}{5\times60\text{s}} = 980\text{ W}$

คำตอบ กำลังไฟฟ้าของลวดให้ความร้อนเท่ากับ 980 วัตต์

14.6 เครื่องวัดไฟฟ้า

32. แกลแวนอมิเตอร์เครื่องหนึ่งมีความต้านทาน 0.50 โอห์ม และกระแสไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 50 มิลลิแอมแปร์ จะต้องทำอย่างไร เมื่อต้องการสร้างเป็น
ก. แอมมิเตอร์ที่วัดกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 1 แอมแปร์
ข. โวลต์มิเตอร์ที่วัดความต่างศักย์ได้สูงสุด 100 โวลต์

วิธีทำ

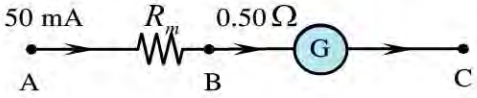


ก. ต้องการสร้างเป็นแอมมิเตอร์ที่วัดกระแสไฟฟ้าสูงสุดได้ 1 แอมแปร์ ซึ่งต้องใช้ชันต์ (R_S) มาต่อขนานกับแกลแวนอมิเตอร์ ตามรูป

$$(950\text{ mA})\ R_S = (50\text{ mA})\ (0.50\,\Omega)$$
$$R_S = 0.0263\,\Omega$$

คำตอบ จะต้องใช้ชันต์ความต้านทาน 0.0263 โอห์ม มาต่อขนานกับแกลแวนอมิเตอร์

ข. นำมาสร้างเป็นโวลต์มิเตอร์วัดความต่างศักย์ 100 โวลต์ ซึ่งต้องใช้มัลติพลายเออร์ (R_m) มาต่ออนุกรมกับแกลแวนอมิเตอร์

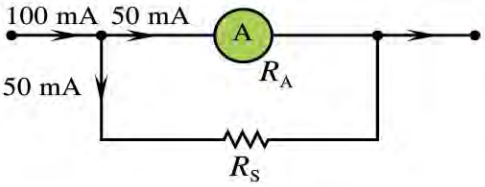


กระแสไฟฟ้าที่ผ่านแกลแวนอมิเตอร์ จะผ่านมัลติพลายเออร์ (R_m) ด้วย ดังนั้น

$$V_{AC} = V_{AB} + V_{BC}$$
$$100\text{ V} = (50\times10^{-3}\text{ A})\ (R_m + 0.50\ \Omega)$$
$$R_m = 1999.5\ \Omega$$

คำตอบ จะต้องนำความต้านทาน 1999.5 โอห์ม มาต่ออนุกรมกับแกลแวนอมิเตอร์

33. แอมมิเตอร์เครื่องหนึ่งวัดกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 50 มิลลิแอมแปร์ ถ้าต้องการใช้วัดกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 100 มิลลิแอมแปร์ จะต้องทำอย่างไร

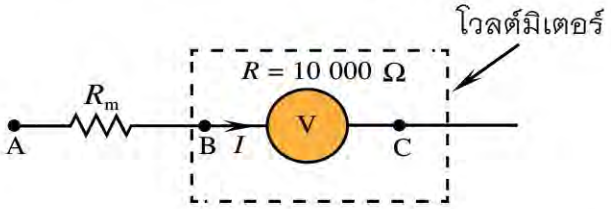


วิธีทำ ทำได้โดยนำชันต์มาต่อขนานกับแอมมิเตอร์เพื่อให้กระแสไฟฟ้าผ่านแอมมิเตอร์ 50 mA โดยชันต์มีความต้านทาน R_S

จากการต่อขนานได้ว่า
$$I_A R_A = I_S R_S$$
$$(50\text{ mA})\ R_A = (100\text{ mA} - 50\text{ mA})R_S$$
$$\therefore\quad R_S = R_A$$

คำตอบ ต้องนำชันต์ที่มีความต้านทานเท่ากับความต้านทานของแอมมิเตอร์มาต่อขนานกับแอมมิเตอร์ เพื่อแบ่งกระแสไฟฟ้าให้ผ่าน 50 mA เท่ากับที่ผ่านแอมมิเตอร์

34. โวลต์มิเตอร์เครื่องหนึ่งมีความต้านทาน 10 000 โอห์ม ใช้วัดความต่างศักย์ได้สูงสุด 100 โวลต์ ถ้าต้องการใช้วัดความต่างศักย์ได้สูงสุด 500 โวลต์ จะต้องทำอย่างไร



วิธีทำ ความต้านทานของโวลต์มิเตอร์ $R = 10\,000\ \Omega$

ตามรูป ถ้าเข็มโวลต์มิเตอร์ชี้เต็มสเกล $V_{BC} = 100\ \text{V}$, $V_{AC} = 500\ \text{V}$

ดังนั้น $V_{BC} = I(10\,000\Omega) = 100\ \text{V}$ .....(1)

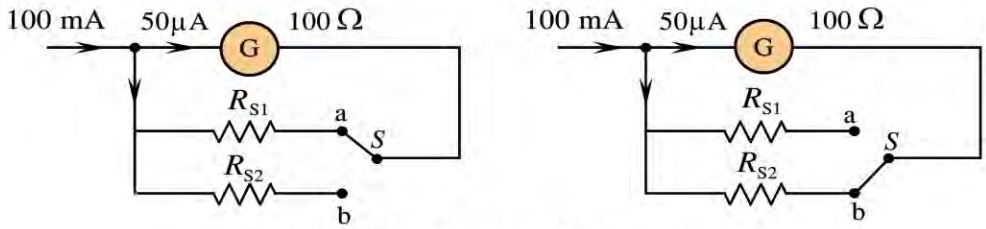
$V_{AC} = I(10\,000\Omega + R_m) = 500\ \text{V}$ .....(2)

(2)/(1) $1 + \dfrac{R_m}{10\,000} = 5$

ได้ $R_m = 40\,000\ \Omega$

คำตอบ จะต้องใช้มัลติพลายเออร์ 40 000 โอห์มหรือ 40 กิโลโอห์ม มาต่ออนุกรมกับโวลต์มิเตอร์

35. ในการดัดแปลงแกลแวนอมิเตอร์เครื่องหนึ่งที่มีความต้านทาน 100 โอห์ม และวัดกระแสไฟฟ้าสูงสุด 50 ไมโครแอมแปร์ ให้เป็นแอมมิเตอร์ที่วัดกระแสไฟฟ้าสูงสุดได้เพิ่มขึ้น โดยต่อตัวต้านทาน R_{S1} และ R_{S2} ดังรูป เมื่อบิดสวิตช์ S ไปที่ a จะวัดกระแสไฟฟ้าในช่วง 0 - 100 มิลลิแอมแปร์ เมื่อบิดสวิตช์ S ไปที่ b จะวัดกระแสไฟฟ้าในช่วง 0 - 500 มิลลิแอมแปร์ จงหาความต้านทานทั้งสอง



รูปสำหรับปัญหาข้อ 35

วิธีทำ เมื่อบิดสวิตช์ S ไปที่ a (รูปซ้าย)วัด $I = 100\times10^{-3}\ \text{A}$

เมื่อ $R_G = 100\ \Omega$, $I_G = 50\ \mu\text{A}$

จาก $I_G R_G = I_{S1} R_{S1}$

จะได้ $(50\times10^{-6}\ \text{A})(100\ \Omega) = (100\times10^{-3}\ \text{A} - 50\times10^{-6}\ \text{A})\ R_{S1}$

$R_{S1} = 0.05\ \Omega$

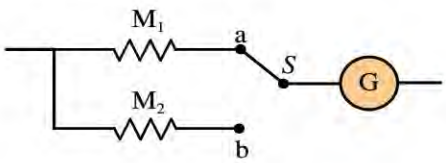
เมื่อบิดสวิตช์ S ไปที่ b รูปขวา วัด I = 500×10^{-3} A

จะได้ $(50\times10^{-6}\text{ A})(100\,\Omega) = (500\times10^{-3}\text{ A} - 50\times10^{-6}\text{ A})\,R_{S2}$

$R_{S2} = 0.01\ \Omega$

ตอบ ความต้านทานของตัวต้านทาน เท่ากับ 0.050 โอห์ม
ความต้านทานของตัวต้านทาน เท่ากับ 0.010 โอห์ม

36. ถ้านำแกลแวนอมิเตอร์ในข้อ 35 มาดัดแปลงเป็นโวลต์มิเตอร์ โดยต่อตัวต้านทาน M_1 และ M_2 ดังรูป ถ้าบิดสวิตช์ S ไปที่ a จะวัดความต่างศักย์ในช่วง 0 - 3 โวลต์ เมื่อบิดสวิตช์ S ไปที่ b จะวัดความต่างศักย์ในช่วง 0 - 30 โวลต์ จงหาความต้านทานของตัวต้านทานทั้งสอง



รูปสำหรับปัญหาข้อ 36

วิธีทำ

ถ้าบิดสวิตช์ S มาที่ a วัดความต่างศักย์ได้ 3 V

จะได้ $I_G\,(M_1 + R_G) = 3\text{ V}$

แทนค่า $(50\times10^{-6}\text{ A})(M_1 + 100\,\Omega) = 3\text{ V}$

$$M_1 + 100\,\Omega = \frac{3\text{V}}{50\times10^{-6}\text{A}}$$

$$M_1 = 6\times10^4 - 100$$

$$= 59\,900\ \Omega$$

ถ้าบิดสวิตช์ S มาที่ b อ่านความต่างศักย์ได้ 30 V

จะได้ $I_G\,(M_2 + R_G) = 30\text{ V}$

แทนค่า $50\times10^{-6}\text{A}(M_2 + 100\,\Omega) = 30\text{ V}$

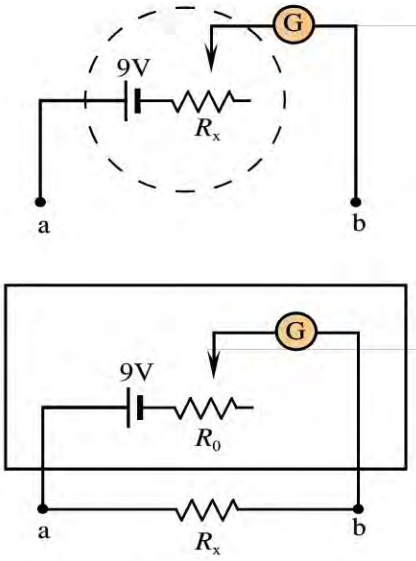
$$M_2 = \frac{30\text{ V}}{50\times10^{-6}\text{A}} - 100\,\Omega$$

$$= 6\times10^5 - 100$$

$$= 599\,900\ \Omega$$

คำตอบ ความต้านทาน M_1 คือ 59 900 โอห์ม และความต้านทาน M_2 คือ 599 900 โอห์ม

37. โอห์มมิเตอร์เครื่องหนึ่งดังรูป ประกอบด้วยแบตเตอรี่ 9 โวลต์ ตัวต้านทานแปรค่า R_0 และแกลแวนอมิเตอร์ที่มีความต้านทาน 2 กิโลโอห์ม ซึ่งสามารถวัดกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 50 ไมโครแอมแปร์ เมื่อนำหัววัด a และ b ของโอห์มมิเตอร์แตะกัน และเมื่อปรับความต้านทานแปรค่าให้เป็น R_0 ปรากฏว่าเข็มชี้เต็มสเกล แต่ถ้านำตัวต้านทานที่มีความต้านทาน R_x มาต่อระหว่างหัววัด a และ b ปรากฏเข็มชี้กึ่งกลางสเกลพอดี จงหาความต้านทาน R_0 และ R_x



รูปสำหรับปัญหาข้อ 37

วิธีทำ

เมื่อนำหัววัด a และ b แตะกัน ปรับค่า R_0 จนกระแสไฟฟ้าชี้เต็มสเกล

จาก $I = \dfrac{V}{R}$

แทนค่า $50\times10^{-6}\,\text{A} = \dfrac{9\,\text{V}}{R_0 + 2000\,\Omega}$

$R_0 = \dfrac{9\,\text{V}}{50\times10^{-6}\,\text{A}} - 2000\,\Omega$

$= 178\,000\ \Omega$

เมื่อนำหัววัด a และ b มาต่อกับ R_x แล้วเข็มชี้กึ่งกลางสเกล

จาก $I = \dfrac{V}{R}$

แทนค่า $25\times10^{-6}\,\text{A} = \dfrac{9\,\text{V}}{R_x + 178\,000}$

$R_x = 182\,000\ \Omega$

คำตอบ R_0 มีค่าเท่ากับ 1.78×10^5 โอห์ม และ R_x มีค่าเท่ากับ 1.82×10^5 โอห์ม

14.7 การคำนวณหาพลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน

14.8 วงจรไฟฟ้า เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน และการใช้ไฟฟ้าอย่างปลอดภัย

15

บทที่ 15 ไฟฟ้าและแม่เหล็ก

เนื้อหาและเวลาที่ใช้สอน

15.1	แม่เหล็กและสนามแม่เหล็ก	2 ชั่วโมง
15.2	กระแสไฟฟ้าทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก	4 ชั่วโมง
15.3	แรงกระทำต่อลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านและอยู่ในสนามแม่เหล็ก	2 ชั่วโมง
15.4	แรงระหว่างลวดตัวนำสองเส้นที่ขนานกันและมีกระแสไฟฟ้าผ่าน	2 ชั่วโมง
15.5	แรงกระทำต่อขดลวดที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านและอยู่ในสนามแม่เหล็ก	2 ชั่วโมง
15.6	การประยุกต์ผลของสนามแม่เหล็กต่อตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน	2 ชั่วโมง
15.7	กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำและแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	2 ชั่วโมง
15.8	แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	2 ชั่วโมง
15.9	หม้อแปลง	2 ชั่วโมง
15.10	ค่าของปริมาณที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้ากระแสส	
15.11	การนำความรู้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าไปใช้ประโยชน์	

บทที่ 3

รวม 26 ชั่วโมง

จุดประสงค์การเรียนรู้

เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. อธิบายความหมายของสนามแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กโลก ฟลักซ์แม่เหล็ก
2. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างแรง ประจุไฟฟ้า ความเร็วและสนามแม่เหล็ก และการใช้กฎมือขวาในการหาทิศทางของแรงกระทำ
3. อธิบายลักษณะสนามแม่เหล็กของลวดตัวนำตรง ลวดตัวนำวงกลม โซเลนอยด์และทอรอยด์เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่าน และการหาทิศทางของสนามแม่เหล็กโดยใช้กฎมือขวา
4. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างแรง กระแสไฟฟ้า ความยาวลวดตัวนำและสนามแม่เหล็ก
5. อธิบายผลที่เกิดขึ้น เมื่อนำลวดตัวนำสองเส้นวางขนานใกล้กัน และมีกระแสไฟฟ้าผ่าน
6. อธิบายการหมุนของขดลวดตัวนำรูปสี่เหลี่ยมที่มีกระแสไฟฟ้าและอยู่ในสนามแม่เหล็ก
7. อธิบายหลักการทำงานของแกลแวนอมิเตอร์และมอเตอร์กระแสตรง
8. อธิบายการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ และแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ
9. ใช้กฎของฟาราเดย์อธิบายการเกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ และใช้กฎของเลนซ์หาทิศทางของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ
10. อธิบายความหมายของแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ และใช้ความรู้เกี่ยวกับการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าอธิบายผลที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์
11. อธิบายการเกิดกระแสไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งมีทั้งไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับ และอธิบายความแตกต่างระหว่างไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับ
12. อธิบายหลักการผลิตไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส
13. อธิบายหลักการทำงานของหม้อแปลง
14. อธิบายกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ของตัวต้านทาน เมื่อต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่จะเปลี่ยนค่าตามเวลาในรูปฟังก์ชันไซน์
15. อธิบายความหมายของค่ายังผล ค่ามิเตอร์ และค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของกำลังสองของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์

16. อธิบายตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ บอกเฟสของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำต่ออยู่
17. อธิบายความหมายของกำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ
18. อธิบายการนำความรู้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าไปใช้ให้เกิดประโยชน์

สรุปสาระสำคัญ

แม่เหล็ก

เป็นวัตถุที่ดึงดูดเหล็กหรือสารแม่เหล็กได้ เข็มทิศหรือแท่งแม่เหล็กที่หมุนได้อย่างอิสระในแนวราบจะวางตัวในแนวเหนือ–ใต้เสมอ โดยขั้วที่ชี้ไปทางทิศเหนือเรียกว่าขั้วเหนือ และขั้วที่ชี้ไปทางทิศใต้เรียกว่าขั้วใต้ เมื่อนำขั้วแม่เหล็กสองแท่งเข้าใกล้กัน ขั้วชนิดเดียวกันจะผลักกัน ขั้วต่างกันจะดึงดูดกัน

สนามแม่เหล็ก

มีอยู่ในบริเวณรอบแท่งแม่เหล็ก แสดงให้เห็นได้จากแนวการเรียงตัวของผงเหล็ก เรียกว่าเส้นสนามแม่เหล็ก ซึ่งมีทิศทางจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้ของแท่งแม่เหล็ก

สนามแม่เหล็กโลก

มีอยู่บริเวณรอบโลกสังเกตได้จากแนวการวางตัวของเข็มทิศ แสดงให้เห็นเส้นสนามแม่เหล็กมีทิศทางพุ่งออกจากบริเวณขั้วใต้ทางภูมิศาสตร์ไปยังขั้วเหนือทางภูมิศาสตร์

ฟลักซ์แม่เหล็ก

เป็นเส้นสนามแม่เหล็กที่ผ่านพื้นที่ที่พิจารณา อัตราส่วนระหว่างฟลักซ์แม่เหล็กต่อพื้นที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กหนึ่งตารางหน่วย เรียกว่า ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก หรือขนาดของสนามแม่เหล็ก เป็นไปตามความสัมพันธ์ $B = \frac{\Phi}{A}$ เมื่อ Φ เป็นขนาดฟลักซ์แม่เหล็ก (มีหน่วยเป็นเวเบอร์) ที่ตัดตั้งฉากกับพื้นที่ A มีหน่วยตารางเมตร โดย B เป็นความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เวเบอร์ต่อตารางเมตร หรือเทสลา

การเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าในสนามแม่เหล็ก

เมื่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า q เคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก $\bar{B}$ ด้วยความเร็ว $\bar{v}$ ทำมุมใดๆ ที่ไม่ขนานกับสนามแม่เหล็ก จะมีแรงกระทำต่ออนุภาคดังสมการ $\bar{F} = q\left(\bar{v} \times \bar{B}\right)$ โดยทิศทางหาได้จากกฎมือขวา (กำมือขวาให้นิ้วทั้งสี่วนผ่านมุมเล็กจากทิศทางของความเร็วไปหาทิศทางของสนามแม่เหล็ก นิ้วหัวแม่มือจะชี้ทิศทางของแรงกระทำต่อประจุบวก ส่วนประจุลบนิ้วหัวแม่มือจะชี้ไปในทิศทางตรงข้ามกับทิศทางของแรง)

กระแสไฟฟ้าทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก

เมื่อกระแสไฟฟ้าผ่านลวดตัวนำจะเกิดสนามแม่เหล็กรอบลวดตัวนำในลักษณะดังนี้

กระแสไฟฟ้าผ่านลวดตัวนำตรง จะเกิดสนามแม่เหล็กรอบลวดตัวนำ หาทิศทางของสนามแม่เหล็กได้จากกฎมือขวาโดยกำมือรอบลวดตัวนำตรง และให้นิ้วหัวแม่มือชี้ไปทางทิศทางของกระแสไฟฟ้า ทิศทางการวนของนิ้วทั้งสี่จะชี้ทิศทางของสนามแม่เหล็ก

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านโซเลนอยด์ (รวมทั้งลวดตัวนำวงกลม) จะเกิดสนามแม่เหล็กที่มีลักษณะคล้ายกับสนามของแท่งแม่เหล็ก การหาทิศทางยังคงใช้กฎมือขวา โดยวิธีกำมือขวาให้นิ้วทั้งสี่ชี้ไปตามทิศทางของกระแสไฟฟ้า นิ้วหัวแม่มือจะชี้ทิศทางของสนามแม่เหล็ก

กระแสไฟฟ้าผ่านทอรอยด์ จะเกิดสนามแม่เหล็กภายในทอรอยด์ การหาทิศทางใช้วิธีกำมือขวารอบแกนทอรอยด์ ให้นิ้วทั้งสี่วนไปตามทิศทางของกระแสไฟฟ้า นิ้วหัวแม่มือจะชี้ทิศทางของสนามแม่เหล็ก

แรงแม่เหล็กกระทำต่อลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้า

เมื่อลวดตัวนำตรงยาว ℓ ที่มีกระแสไฟฟ้า I ผ่านขณะวางตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก $\vec{B}$ จะเกิดแรงกระทำด้วยขนาด $F = I\ell B$ โดยทิศทางของแรงหาได้จากการกำมือขวาโดยวนนิ้วทั้งสี่ (ผ่านมุมเล็ก) จากทิศทางของกระแสไฟฟ้าไปหาทิศทางของสนามแม่เหล็ก นิ้วหัวแม่มือจะชี้ทิศทางของแรง ส่วนในกรณีลวดตัวนำวางในแนวทิศทางกระแสไฟฟ้าที่ทำมุม θ กับสนามแม่เหล็ก $\vec{B}$ ขนาดของแรงจะเป็น $F = I\ell B\sin\theta$ โดยยังคงใช้กฎมือขวาหาทิศทางของแรงได้เช่นกัน

แรงแม่เหล็กระหว่างลวดตัวนำสองเส้นที่ขนานกันและมีกระแสไฟฟ้าผ่าน

ลวดตัวนำสองเส้นที่ขนานกันและมีกระแสไฟฟ้าผ่าน จะมีแรงกระทำระหว่างลวดตัวนำทั้งสอง โดยจะเป็นแรงดึงดูดถ้ากระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำทั้งสองมีทิศทางเดียวกัน แต่จะเป็นแรงผลักถ้ากระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำทั้งสองมีทิศทางตรงข้ามกัน

แรงแม่เหล็กกระทำต่อขดลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้า

ขดลวดตัวนำ N รอบ พื้นที่ A ที่มีกระแสไฟฟ้า I ผ่าน ขณะวางให้ระนาบขดลวดขนานกับสนามแม่เหล็ก $\vec{B}$ จะเกิดโมเมนต์ของแรงคู่ควบกระทำต่อขดลวดด้วยขนาดเป็น $M = NIAB$ ขณะที่ระนาบขดลวดทำมุม θ กับสนามแม่เหล็ก $\vec{B}$ โมเมนต์ของแรงคู่ควบกระทำต่อขดลวดจะมีขนาดเป็น $M = NIAB\cos\theta$

แกลแวนอมิเตอร์และมอเตอร์กระแสตรง

แกลแวนอมิเตอร์เป็นเครื่องวัดไฟฟ้า ประกอบด้วยขดลวดที่หมุนได้รอบแกนวางอยู่ในสนามแม่เหล็ก เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านขดลวดจะเกิดโมเมนต์ของแรงคู่ควบบิดขดลวดให้หมุนไปทำให้เข็มชี้ (ติดกับแกนหมุนของขดลวด) เบนตามไปด้วย มุมเบนของเข็มชี้แปรผันตรงกับขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านขดลวด รวมทั้งมีแรงบิดกลับของสปริงก้นหอยทำให้เข็มชี้หยุดนิ่งที่มุมๆ หนึ่งขณะมีกระแสไฟฟ้าผ่านขดลวด และทำให้เข็มชี้กลับมาอยู่ที่ตำแหน่งเริ่มต้นขณะไม่มีกระแสไฟฟ้าผ่านขดลวด การสร้างสเกลเพื่ออ่านกระแสไฟฟ้าทำได้โดยผ่านกระแสไฟฟ้าที่ทราบค่าเข้าไปที่ขดลวดแล้วแบ่งขีดสเกลตามตำแหน่งเข็มชี้ให้ตรงกับค่ากระแสไฟฟ้าขนาดต่างๆ นั้น

มอเตอร์กระแสตรง เป็นอุปกรณ์เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ประกอบด้วยขดลวดที่หมุนได้รอบแกนวางอยู่ในสนามแม่เหล็ก มีคอมมิวเทเตอร์และแปรงสัมผัส ช่วยให้ขดลวดหมุนอย่างต่อเนื่องในทิศทางเดียวเมื่อมีกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ผ่านเข้าขดลวด

กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำและแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

เมื่อมีฟลักซ์แม่เหล็กเปลี่ยนแปลงผ่านขดลวดตัวนำและลวดตัวนำที่ต่อเป็นวงจรปิด จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ทำให้ขดลวดตัวนำหรือลวดตัวนำทำหน้าที่เสมือนเป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้า

กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์สรุปจากการทดลองได้ว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในขดลวดเป็นสัดส่วนกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านขดลวดนั้นเมื่อเทียบกับเวลา

กฎของเลนซ์มีใจความว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำในทิศทางที่จะทำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็กใหม่ขึ้นมาต้านการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็กที่ตัดผ่านขดลวดนั้น

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

มอเตอร์ขณะหมุนจะมีฟลักซ์แม่เหล็กเปลี่ยนแปลงผ่านขดลวด ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีทิศทางตรงข้ามกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าเดิม เรียกว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ ในกรณีมอเตอร์ติดขัดหรือหมุนช้ากว่าปกติ แรงเครื่องไฟฟ้ากลับจะมีค่าน้อยทำให้กระแสไฟฟ้าในขดลวดมีค่ามาก อาจทำให้ขดลวดร้อนจนขดลวดไหม้ได้ จึงจำเป็นต้องตัดสวิตซ์เพื่อหยุดการทำงานของมอเตอร์ทุกครั้งที่แรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับมีค่าน้อย

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ทำงานโดยใช้หลักการทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวด เมื่อทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กผ่านขดลวดมีการเปลี่ยนแปลง เช่น ใช้การหมุนขดลวดตัดฟลักซ์แม่เหล็ก โดยที่ปลายขดลวดต่อกับวงจรภายนอกผ่านคอมมิวเทเตอร์และแปรงสัมผัสทำให้ทิศทางของกระแสไฟฟ้าในวงจรมีทิศทางเดียว เรียกว่ากระแสตรง หรือทิศทางสลับไปมา เรียกว่ากระแสสลับ

หม้อแปลง

หม้อแปลงเป็นอุปกรณ์ถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้า ประกอบด้วยขดลวดต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้า เรียกว่า ขดลวดปฐมภูมิ และขดลวดต่อกับเครื่องใช้ไฟฟ้า เรียกว่า ขดลวดทุติยภูมิ โดยพลังงานไฟฟ้า (แรงเคลื่อนไฟฟ้าหรือความต่างศักย์) จะถูกถ่ายโอนจากขดลวดปฐมภูมิมายังขดลวดทุติยภูมิมีความสัมพันธ์กับจำนวนรอบของขดลวดทั้งสองเป็น

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

เมื่อ E_1 (หรือ V_1) เป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า (หรือความต่างศักย์ระหว่างปลาย) ของขดลวดปฐมภูมิ

E_2 (หรือ V_2) เป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า (หรือความต่างศักย์ระหว่างปลาย) ของขดลวดทุติยภูมิ

N_1 และ N_2 เป็นจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิตามลำดับ

ถ้าไม่มีการสูญเสียพลังงานในหม้อแปลง กระแสไฟฟ้าในขดลวดทั้งสองจะสัมพันธ์กับความต่างศักย์ระหว่างปลายของขดลวดทั้งสองเป็น $I_1V_1 = I_2V_2$ เมื่อ I_1 และ I_2 เป็นกระแสไฟฟ้าในขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิตามลำดับ

ค่าของปริมาณที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้ากระแสสลับ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเปลี่ยนค่าตามเวลาในรูปฟังก์ชันไซน์ ดังสมการ

$$e = E_m \sin \omega t$$

เมื่อ e เป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เวลา t ใดๆ

E_m เป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำสูงสุด

ω เป็นความถี่เชิงมุมซึ่งมีค่าเท่ากับ $2\pi f$ (โดย f เป็นความถี่ในการเปลี่ยนค่าซ้ำเดิมของแรงเคลื่อนไฟฟ้า)

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำข้างต้น ถ้านำไปต่อกับตัวต้านทานจะมีกระแสไฟฟ้า i ผ่านตัวต้านทานและความต่างศักย์ v ระหว่างปลายของตัวต้านทานเป็น

$$i = I_m \sin \omega t \quad \text{และ} \quad v = V_m \sin \omega t$$

เมื่อ I_m และ V_m เป็นกระแสไฟฟ้าสูงสุดและความต่างศักย์สูงสุด ทำให้กำลังไฟฟ้า p จ่ายให้ตัวต้านทานขณะเวลา t ใดๆ มีค่าเป็น

$$p = P_m \sin^2 \omega t \quad \left(\text{เมื่อ } P_m = I_m V_m = I_m^2 R = \frac{V_m^2}{R} \right)$$

ซึ่งสามารถนำมาหากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยได้จาก $P = V_{rms} I_{rms}$ เมื่อ V_{rms} และ I_{rms} เป็นค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของความต่างศักย์กำลังสองและกระแสไฟฟ้ากำลังสองตามลำดับ ค่าทั้งสองนี้เรียกได้อีกว่าเป็นค่ายังผลหรือค่ามิเตอร์ ซึ่งสัมพันธ์กับค่าสูงสุดเป็น $V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$ และ $I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$

ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความต่างศักย์ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าให้แก่วงจรเป็น $v = V_m \sin \omega t$ จะมีกระแสไฟฟ้า i ในวงจรดังนี้

ในกรณีตัวต้านทาน $i_R = I_{\mathrm{m}} \sin \omega t$ เมื่อ $I_{\mathrm{m}} = \dfrac{V_{\mathrm{m}}}{R}$

กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์มีเฟสเดียวกัน

ในกรณีตัวเก็บประจุ $i_C = I_{\mathrm{m}} \sin\left(\omega t + \dfrac{\pi}{2}\right)$ เมื่อ $I_{\mathrm{m}} = \dfrac{V_{\mathrm{m}}}{X_C}$ และ $X_C = \dfrac{1}{\omega c}$

กระแสไฟฟ้ามีเฟสนำความต่างศักย์เป็นมุม $\dfrac{\pi}{2}$ เรเดียน

ในกรณีตัวเหนี่ยวนำ $i_L = I_{\mathrm{m}} \sin\left(\omega t - \dfrac{\pi}{2}\right)$ เมื่อ $I_{\mathrm{m}} = \dfrac{V_{\mathrm{m}}}{X_L}$ และ $X_L = \omega L$

กระแสไฟฟ้ามีเฟสตามความต่างศักย์เป็นมุม $\dfrac{\pi}{2}$ เรเดียน

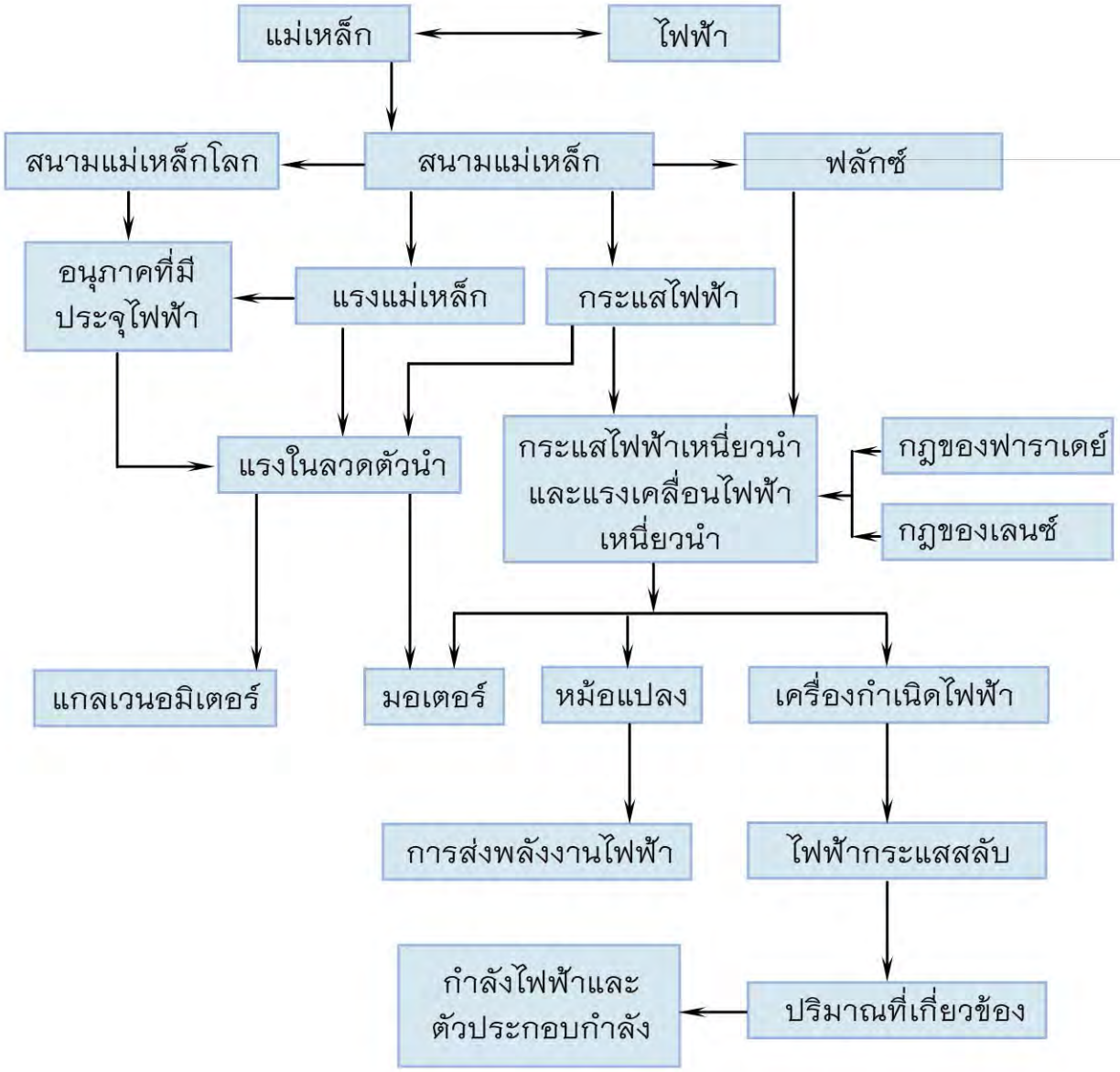
กำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

กำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับขณะเวลา t มีค่าเป็น $p = iv$ คิดเป็นค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยได้เท่ากับผลคูณของค่ามิเตอร์ของกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ที่มีเฟสเดียวกัน (เท่ากับกำลังเฉลี่ยที่ความต้านทานของวงจร) ซึ่งในกรณีวงจรที่มีตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ หรือตัวเหนี่ยวนำในวงจร เฟสของกระแสไฟฟ้าจะไม่ตรงกับเฟสของความต่างศักย์ (มีความต่างเฟส θ) ค่าของกำลังไฟฟ้าจะเป็น $P = V_{\mathrm{rms}} I_{\mathrm{rms}} \cos\theta$ เมื่อ I_{rms} และ V_{rms} เป็นค่ามิเตอร์ของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ $\cos\theta$ เป็นตัวประกอบกำลัง

การนำความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าและแม่เหล็กไปใช้ประโยชน์

ความรู้ทางไฟฟ้าและแม่เหล็กถูกนำไปใช้ในการสร้างและพัฒนาเครื่องมือเครื่องใช้ด้านต่างๆ เช่น ไมโครโฟน ลำโพง แผ่นบันทึกข้อมูลของคอมพิวเตอร์ ฯลฯ

ผังมโนทัศน์ : บทที่ 15 ไฟฟ้าและแม่เหล็ก



15.1 แม่เหล็กและสนามแม่เหล็ก

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. บอกความหมายของแม่เหล็ก สารแม่เหล็ก และขั้วแม่เหล็ก
2. อธิบายความหมายของสนามแม่เหล็ก เส้นสนามแม่เหล็ก จุดสะเทินและสนามแม่เหล็กโลก
3. อธิบายความหมายของฟลักซ์แม่เหล็ก ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก
4. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของสนามแม่เหล็ก ฟลักซ์แม่เหล็กและพื้นที่ที่ฟลักซ์แม่เหล็กผ่านในทิศทางตั้งฉาก
5. สรุปจากกิจกรรมได้ว่า เมื่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่เข้าไปในสนามแม่เหล็กจะมีแรงกระทำต่ออนุภาคนั้น และใช้กฎมือขวาหาทิศทางของแรงแม่เหล็กได้

15.1.1 สนามแม่เหล็ก

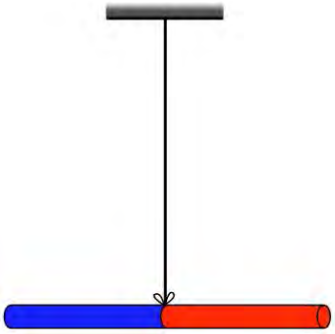
จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. บอกความหมายของแม่เหล็ก สารแม่เหล็ก ขั้วแม่เหล็ก และแรงระหว่างขั้วแม่เหล็ก
2. อธิบายความหมายของสนามแม่เหล็ก เส้นสนามแม่เหล็ก และจุดสะเทิน
3. บอกลักษณะเส้นสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นระหว่างขั้วแม่เหล็กที่เหมือนกันและต่างกันได้

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

นำแท่งแม่เหล็กที่ไม่ระบุขั้ว แท่งเหล็ก ตะปู ลูกกุญแจให้นักเรียนดู แล้วถามให้นักเรียนชี้ว่าสิ่งใดเป็นแม่เหล็ก ทราบได้อย่างไร นักเรียนควรตอบได้ว่า สิ่งที่ดูดเหล็กได้คือแม่เหล็ก ถามต่อไปว่า จะมีวิธีทดสอบอย่างไรว่า แม่เหล็กมีขั้วหรือไม่และเป็นขั้วชนิดใด



รูป 15.1 การแขวนแท่งแม่เหล็กเพื่อหาทิศทางขั้วแม่เหล็ก

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

2.1 ใช้การสาธิตโดยแขวนแท่งแม่เหล็ก ดังรูป 15.1 แล้วใช้คำถามนำไปสู่ข้อสรุปเกี่ยวกับสมบัติของแม่เหล็ก ดังนี้

ก. แม่เหล็กวางตัวในแนวใดขณะหยุดนิ่ง (แนวเหนือ–ใต้)

ข. แม่เหล็กมีขั้วหรือไม่ มีการกำหนดขั้วอย่างไร
(แม่เหล็กมีขั้ว โดยกำหนดให้ปลายที่ชี้ไปทางทิศเหนือเป็นขั้วเหนือ ปลายที่ชี้ไปทางทิศใต้เรียกว่าขั้วใต้)

ค. เมื่อนำแม่เหล็กแท่งหนึ่งเข้าใกล้แท่งแม่เหล็กที่แขวนนิ่งขณะที่ขั้วของแท่งแม่เหล็กเข้าใกล้กันจะเกิดอะไรขึ้น
(ขั้วเหมือนกันเข้าใกล้กันจะผลักกัน และขั้วต่างกันเข้าใกล้กันจะดึงดูดกัน)

ง. นำเหล็กหรือผงเหล็กมาใกล้ขั้วแม่เหล็กจะเกิดอะไรขึ้น
(เหล็กและผงเหล็กจะถูกดึงดูดเข้ามาติดแท่งแม่เหล็ก)

2.2 ให้วางแท่งแม่เหล็กบนเครื่องฉายภาพ แล้ววางแผ่นใสทับบนแท่งแม่เหล็ก โรยผงเหล็กบนแผ่นใส ให้สังเกตผลที่เกิดขึ้น จะเห็นผงเหล็กเรียงตัวเป็นแนวเส้นสนามแม่เหล็ก แสดงว่ารอบๆ แท่งแม่เหล็กมีสนามแม่เหล็ก ดังรูป 15.2 ซึ่งสนามแม่เหล็กที่สังเกตได้นี้เป็นสนามแม่เหล็ก 2 มิติ จากนั้นครูเน้นว่าสนามแม่เหล็กในธรรมชาติมี 3 มิติ ดังรูป 15.7 ในหนังสือเรียน

รูป 15.2 การโรยผงเหล็กลงบนแผ่นใส

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

ครูนำตัวอย่างแม่เหล็กแบบต่างๆ เช่น ทรงกลม โดนัท และเกือกม้า เป็นต้น มาให้นักเรียนดู และสังเกตหาขั้วของแม่เหล็กชนิดต่างๆ

15.1.2 สนามแม่เหล็กโลก

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. อธิบายลักษณะของสนามแม่เหล็กโลก และความสำคัญของสนามแม่เหล็กโลกที่มีต่อสิ่งมีชีวิต
2. อธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดจากสนามแม่เหล็กโลก

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

จากการสาธิตหัวข้อ 15.1.1 ตั้งคำถามนักเรียนว่า เหตุใดแม่เหล็กที่แขวนไว้ให้หมุนคล่องในแนวระดับ เมื่อหยุดนิ่งจะวางตัวในแนวเหนือ-ใต้เสมอ ไม่ว่าจะอยู่ที่ใดก็ตาม

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

2.1 ครูอธิบายจนได้ข้อสรุปว่าโลกมีสนามแม่เหล็กที่เรียกว่า **สนามแม่เหล็กโลก**

2.2 ครูอธิบายเกี่ยวกับการนำประโยชน์ของสนามแม่เหล็กโลกมาสร้างเข็มทิศ จากนั้นให้ความรู้เกี่ยวกับบทบาทของสนามแม่เหล็กโลกในการป้องกันสิ่งมีชีวิตบนโลกให้ปลอดภัยจากลมสุริยะ และพฤติกรรมของสิ่งมีชีวิตที่สัมพันธ์กับสนามแม่เหล็กโลก เป็นต้น

2.3 ครูให้ความรู้เกี่ยวกับปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดเนื่องจากสนามแม่เหล็กโลก ได้แก่ แสงออโรรา ตามรายละเอียดในบทเรียน

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด คำถามข้อ 1-6

15.1.3 ฟลักซ์แม่เหล็ก

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. อธิบายความหมายของฟลักซ์แม่เหล็ก ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก
2. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของสนามแม่เหล็ก ฟลักซ์แม่เหล็กและพื้นที่ที่ฟลักซ์แม่เหล็กผ่านในทิศทางตั้งฉาก

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูให้นักเรียนเขียนแนวเส้นสนามแม่เหล็กจากแท่งแม่เหล็กที่กำหนดให้ เมื่อนักเรียนพิจารณาพื้นที่บริเวณที่มีเส้นสนามแม่เหล็กผ่าน ตั้งคำถามนักเรียนว่า เมื่อกำหนดพื้นที่เท่ากันมีจำนวนเส้นสนามแม่เหล็กผ่านพื้นที่บริเวณต่างๆ รอบๆ แท่งแม่เหล็ก มากน้อยอย่างไร

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

2.1 ครูให้ความรู้เกี่ยวกับความหมายของฟลักซ์แม่เหล็กและความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก จนได้ความสัมพันธ์พร้อมหน่วยตามสมการ (15.1) $B = \frac{\Phi}{A}$ โดยการหาความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กหรือขนาดของสนามแม่เหล็ก พื้นที่จะต้องตั้งฉากกับฟลักซ์แม่เหล็ก จากนั้นครูอภิปรายเกี่ยวกับขนาดของสนามแม่เหล็กจากแหล่งต่างๆ ตามตาราง 15.1 เพื่อให้นักเรียนคุ้นเคยกับขนาดของสนามแม่เหล็กในเชิงปริมาณ

2.2 ครูอภิปรายตัวอย่าง 15.1 เพื่อหาความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก B โดยใช้สมการ (15.1)

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

3.1 ครูให้นักเรียนเขียนเส้นสนามแม่เหล็กที่มีความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กมาก น้อย และสม่ำเสมอ

3.2 ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด ปัญหาข้อ 1

15.1.4 การเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าในสนามแม่เหล็ก

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. อธิบายได้ว่าอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า เมื่อเคลื่อนที่เข้าไปในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กและทำมุมกับสนามแม่เหล็ก จะมีแรงกระทำต่ออนุภาคนั้น เรียกแรงนี้ว่า แรงแม่เหล็ก
2. ทำกิจกรรมและสรุปการหาทิศทางของแรงแม่เหล็กโดยใช้กฎมือขวา
3. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างแรงแม่เหล็ก $\bar{F}$ ขนาดของประจุไฟฟ้า q ความเร็ว $\bar{v}$ และสนามแม่เหล็ก $\bar{B}$ และแรงแม่เหล็กนี้หาได้จากสมการ $\bar{F} = q(\bar{v} \times \bar{B})$ โดยแรง $\bar{F}$ มีขนาดเป็น $\bar{F} = qvB\sin\theta$, θ คือมุมระหว่าง $\bar{v}$ กับ $\bar{B}$

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูให้นักเรียนทบทวนความรู้เกี่ยวกับอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า เมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้าจะเกิดแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้ากระทำต่ออนุภาคนั้น แต่ถ้าอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้านั้นเคลื่อนที่เข้าไปในสนามแม่เหล็กแทนที่จะเป็นสนามไฟฟ้า จะมีแรงกระทำต่ออนุภาคนั้นหรือไม่

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

2.1 ครูสาธิตกิจกรรม 15.1 จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามท้ายกิจกรรม

ตัวอย่างกิจกรรม 15.1 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในสนามแม่เหล็ก

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. อธิบายส่วนประกอบและหลักการทำงานของหลอดรังสีแคโทด
2. อธิบายการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในสนามแม่เหล็ก
3. บอกได้ว่าสนามแม่เหล็กทำให้เกิดแรงกระทำต่อลำอิเล็กตรอนให้เบนไปจากเดิม

เวลาที่ใช้ 20 นาที

วัสดุอุปกรณ์

รายการ	จำนวน
1. หลอดรังสีแคโทด	1 หลอด
2. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงโวลต์สูง (ขดลวดเหนี่ยวนำ)	1 ชุด
3. แม่เหล็ก	1 อัน
4. สายไฟ	2 เส้น

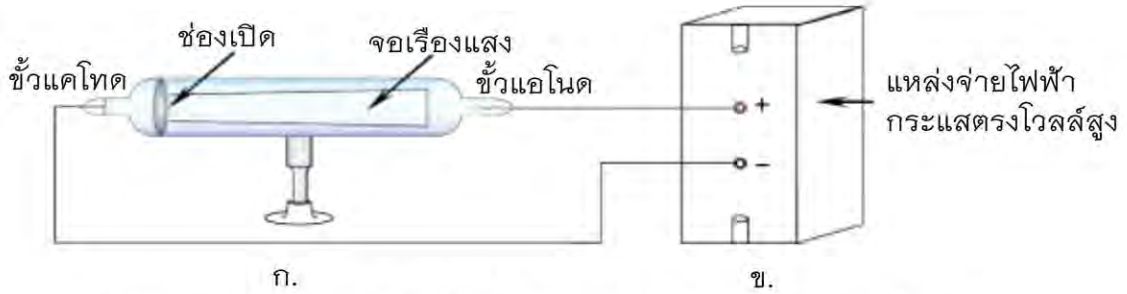
ข้อควรระวังในขณะทำกิจกรรม

ในการต่อหลอดรังสีแคโทด มีข้อควรระวัง เช่น

1. สายไฟที่นำมาใช้ในกิจกรรม ต้องไม่มีร่องรอยฉีกขาดหรือชำรุด และควรเป็นสายที่มีขนาดใหญ่กว่าสายไฟ (ปากหนีบ) ปกติ เพื่อความปลอดภัย

2. ก่อนต่อสายไฟจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงโวลต์สูงเข้าขั้วหลอด จะต้องแน่ใจว่า สวิตช์ที่แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงโวลต์สูง อยู่ในสภาวะ **ปิด** (off)

3. การต่อสายในข้อ 2 จะต้องระวัง โดยต่อขั้วบวกและขั้วลบเข้ากับขั้วหลอดให้ถูกต้อง โดยต่อขั้วแคโทดของหลอดเข้ากับขั้วลบ และต่อขั้วแอโนดของหลอดเข้ากับขั้วบวก ดังรูป



รูป 15.3 การต่อหลอดรังสีแคโทดเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงโวลต์สูง

4. ขณะทำกิจกรรม ระวังไม่ให้สัมผัสขั้วและส่วนที่เป็นโลหะ เพราะจะเป็นอันตรายเนื่องจากใช้ไฟฟ้าโวลต์สูง

5. เมื่อทำกิจกรรมเสร็จ ควรปิดแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงโวลต์สูงทันที

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

1. เมื่อหลอดรังสีแคโทดทำงาน จะเห็นแนวสว่างเป็นเส้นตรงเกิดขึ้นระหว่างขั้วแคโทดและขั้วแอโนด

2. นำขั้วเหนือของแม่เหล็กเข้าใกล้แนวสว่าง แนวสว่างจะเบนไปจากแนวเดิม ถ้าสลับขั้วเป็นขั้วใต้ แนวสว่างจะเบนไปเช่นกัน แต่จะเบนในทิศทางตรงข้ามกัน จากนั้นให้นำขั้วเหนือของแม่เหล็กมาใกล้แนวสว่าง ในลักษณะที่สนามแม่เหล็กมีทิศทางตั้งฉากกับแนวสว่าง และพุ่งเข้า สังเกตว่าแนวสว่างจะเบนโค้งลง ดังรูป 15.4 ก จากนั้นสลับขั้วแม่เหล็กเป็นขั้วใต้เข้าใกล้แนวสว่าง สนามแม่เหล็กจะมีทิศทางพุ่งออก แนวสว่างจะเบนโค้งขึ้น ดังรูป 15.4 ข

รูป 15.4 การเบนของแนวสว่างเมื่อนำขั้วแม่เหล็กเข้าใกล้หลอดรังสีแคโทด

อภิปรายหลังทำกิจกรรม

ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับผลการทำกิจกรรมที่ได้โดยใช้แนวคำถามในหนังสือเรียน ซึ่งได้ข้อสรุปดังนี้

1. แนวสว่างที่เห็นในหลอดเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากขั้วแคโทดไปยังขั้วแอโนดผ่านฉากหลังที่ฉาบด้วยสารเรืองแสง (phosphor) เรียกแนวสว่างนี้ว่า **ลำอิเล็กตรอน** (ครูควรเน้นกับนักเรียนว่า แนวสว่างนี้ไม่ใช่อิเล็กตรอน และสีของแนวสว่างขึ้นอยู่กับชนิดของสารเรืองแสง สาเหตุการเกิดแนวสว่างนี้ นักเรียนจะได้ศึกษาในบทที่ 19 ฟิสิกส์อะตอม)

2. การที่ตำแหน่งของแนวสว่างที่เปลี่ยนไป เนื่องจากมีแรงกระทำต่อลำอิเล็กตรอนจึงทำให้ลำอิเล็กตรอนเบนไปจากเดิม โดยแรงนี้เกิดจากสนามแม่เหล็ก เรียกว่า **แรงแม่เหล็ก** การที่ลำอิเล็กตรอนเบนโค้งลง แสดงว่ามีแรงกระทำต่ออิเล็กตรอนในทิศทางลง และการที่ลำอิเล็กตรอนเบนโค้งขึ้น แสดงว่ามีแรงกระทำต่ออิเล็กตรอนในทิศทางขึ้น

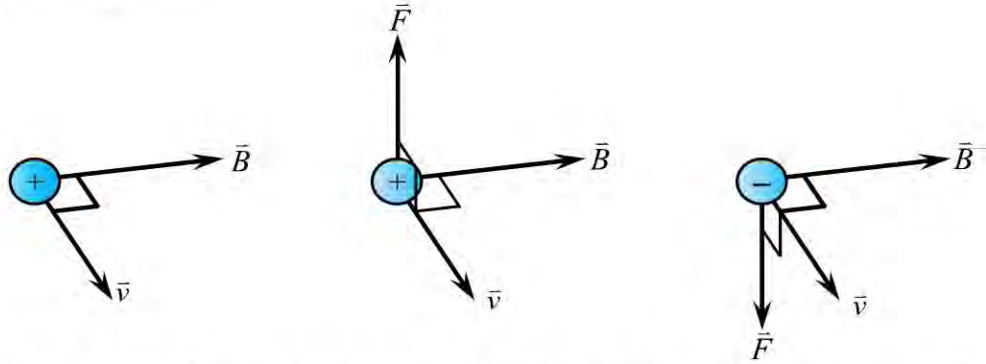
2.2 ครูอภิปรายเกี่ยวกับขนาดและทิศทางของแรงแม่เหล็กที่กระทำต่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จนได้ข้อสรุปว่า

แรงแม่เหล็กที่กระทำต่ออนุภาคที่มีประจุ หาได้จากสมการ (15.3) $\bar{F} = q\bar{v} \times \bar{B}$ หรือหาขนาดจาก $F = qvB\sin\theta$ โดยทิศทางของแรงหาได้จากกฎมือขวา

เมื่อทิศทางของแรงตั้งฉากกับทิศทางของความเร็วตลอดเวลา และขนาดของแรงคงตัว มีผลให้อนุภาคเคลื่อนที่เป็นวงกลม โดยมี $F = qvB$ เป็นแรงสู่ศูนย์กลาง

กรณีที่ความเร็วของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าไม่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กแรงที่เกิดขึ้นจะมีขนาดลดลง แรงแม่เหล็กนี้หาได้จากสมการ $F = qvB\sin\theta$ โดย θ เป็นมุมระหว่างความเร็วของอนุภาคกับสนามแม่เหล็ก

ในกรณีการหาทิศทางของแรงที่กระทำต่ออนุภาคที่มีประจุลบจะใช้กฎมือขวาเช่นกัน แต่แรงที่กระทำต่ออนุภาคที่มีประจุลบจะมีทิศทางตรงข้ามกับแรงที่กระทำต่ออนุภาคที่มีประจุบวก ดังรูป 15.5



รูป 15.5 ทิศทางของแรงที่กระทำต่ออนุภาคที่มีประจุลบตรงข้ามกับแรงที่กระทำต่ออนุภาคที่มีประจุบวก

2.3 ครูอภิปรายตัวอย่าง 15.2 เพื่อหาขนาดและทิศทางของแรงแม่เหล็กที่กระทำต่ออิเล็กตรอน โดยใช้สมการ (15.2) $F = qvB$

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

3.1 ครูอาจหาหลอดรังสีแคโทดชนิดอื่นๆ มาให้นักเรียนศึกษา เช่นที่มีลักษณะดังรูป 15.6

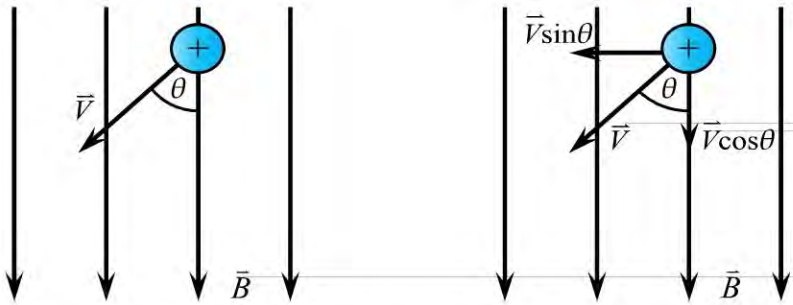
รูป 15.6 หลอดรังสีแคโทดชนิดต่างๆ

3.2 ครูมอบหมายให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด ปัญหาข้อ 2-5

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

การเคลื่อนที่ของอนุภาคเป็นเกลียว

การหาขนาดและทิศทางของแรงกระทำต่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ในทิศทางไม่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก ทำได้ดังนี้ ถ้าอนุภาคที่มีประจุ $+q$ และความเร็ว $\bar{v}$ ทำมุม θ กับสนามแม่เหล็ก $\bar{B}$ ดังรูป 15.7



รูป 15.7 อนุภาคมีความเร็วในทิศทางทำมุม θ กับสนามแม่เหล็ก

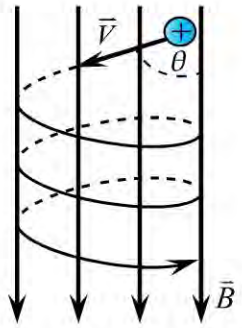
แยกองค์ประกอบของความเร็ว $\bar{v}$ ในทิศทางตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กได้ $v \sin\theta$ และในแนวขนานกับสนามแม่เหล็กได้ $v \cos\theta$

จาก $F = qvB$

ในแนวตั้งฉากกับ $\bar{B}$ จะได้ $F_{\perp} = q(v\sin\theta)B$

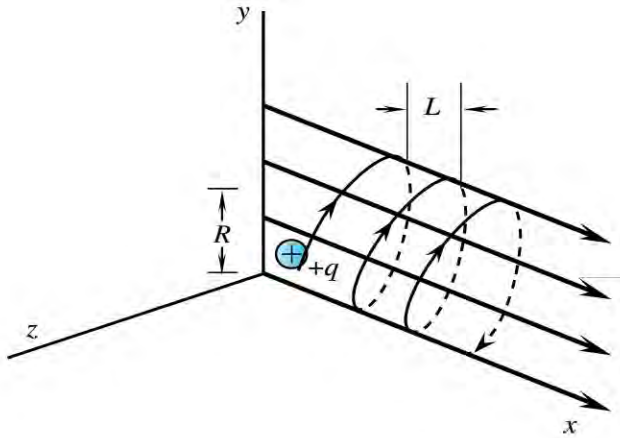
หรือ $F_{\perp} = qvB\sin\theta$

แรงนี้คือแรงสู่ศูนย์กลาง ซึ่งทำให้อนุภาคเคลื่อนที่เป็นวงกลม ขณะที่ขนาดของความเร็ว $v\cos\theta$ ทำให้วงกลมเลื่อนไปตามแนวขนานกับสนามแม่เหล็ก แนวการเคลื่อนที่ของอนุภาคเป็นเกลียว (helical path) ดังรูป 15.8



รูป 15.8 การเคลื่อนที่ของอนุภาคเป็นเกลียวในสนามแม่เหล็ก

การหาระยะช่วงกว้างของเกลียว (L) มีดังนี้



รูป 15.9 การหาระยะช่วงกว้างของเกลียวและรัศมีวงโคจรของอนุภาคในสนามแม่เหล็ก

รัศมีวงโคจรแต่ละรอบหาได้จาก $R = \dfrac{mv\sin\theta}{qB}$

และระยะระหว่างเกลียวแต่ละรอบ หาได้จากระยะทางในแนวขนานกับสนามแม่เหล็ก ที่อนุภาคเคลื่อนที่ในเวลา 1 คาบ (T) ได้แก่ ระยะ L ในรูป ซึ่งหาได้ ดังนี้

$$L = (v\cos\theta)T$$

เมื่อ $T = \dfrac{2\pi}{\omega}$ และ $\omega = \dfrac{v\sin\theta}{R} = \dfrac{qB}{m}$

นั่นคือ จะได้ $L = (v\cos\theta)\dfrac{2\pi}{(qB/m)} = \dfrac{2\pi mv\cos\theta}{qB}$

15.2 กระแสไฟฟ้าทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. ทำกิจกรรมและสรุปได้ว่า เมื่อมีกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำตรง ลวดตัวนำวงกลม โซเลนอยด์และทอรอยด์ จะมีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้น และหาทิศทางของสนามแม่เหล็กได้จากเข็มทิศ
2. อธิบายลักษณะของสนามแม่เหล็กของลวดตัวนำตรง ลวดตัวนำวงกลม โซเลนอยด์และทอรอยด์เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่าน และหาทิศทางของสนามแม่เหล็กโดยใช้กฎมือขวา

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูทบทวนเกี่ยวกับความรู้เรื่องกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำ ขณะมีกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำ เมื่อนำลวดตัวนำมาพันตะปู ครูตั้งคำถามว่า เหตุใดตะปูจึงดึงดูดลวดเสียบกระดาษได้ และถ้าต้องการจะตรวจสอบทิศทางของสนามแม่เหล็กทำได้อย่างไร

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

2.1 ทำกิจกรรม 15.2 จากนั้นนักเรียนตอบคำถามท้ายกิจกรรม

ตัวอย่างกิจกรรม 15.2 สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำ

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. บอกได้ว่า เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านลวดตัวนำตรง ลวดตัวนำวงกลม โซเลนอยด์ และทอรอยด์ จะเกิดสนามแม่เหล็กรอบตัวนำเหล่านั้น
2. บอกได้ว่าทิศทางของสนามแม่เหล็กรอบลวดตัวนำ ขึ้นอยู่กับทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านลวดตัวนำ
3. หาลักษณะและทิศทางของสนามแม่เหล็กของลวดตัวนำตรง ลวดตัวนำวงกลม โซเลนอยด์ และทอรอยด์

เวลาที่ใช้ รวม 50 นาที

วัสดุอุปกรณ์

รายการ	จำนวนต่อกลุ่ม (5 คน)
1. ลวดตัวนำตรง	1 เส้น
2. ลวดตัวนำวงกลม	1 เส้น
3. หม้อแปลงโวลต์ต่ำ	1 เครื่อง
4. เข็มทิศ	1 อัน
5. สายไฟ	
6. กระดาษแข็งขนาด 8 cm x 10 cm	

แนะนำก่อนทำกิจกรรม

1. ในการทำกิจกรรมนี้ ครูเน้นให้นักเรียนทราบว่า กระแสไฟฟ้าที่ผ่านลวดตัวนำต้องเป็นไฟฟ้ากระแสตรง

2. ตำแหน่งต่างๆ ของเข็มทิศที่จะวางบนกระดาษแข็ง ควรห่างจากลวดตัวนำไม่เกิน 2 เซนติเมตร

3. การเปลี่ยนตำแหน่งของเข็มทิศ ให้ขยับเข็มทิศไปทีละน้อย ในแนวรอบลวดตัวนำ พร้อมทั้งสังเกตแนวการวางตัวของเข็มทิศ ในการทำกิจกรรมให้นักเรียนเปิดสวิตซ์ในเวลาสั้นๆ ซึ่งไม่เกิน 1 นาที

4. ขณะทำกิจกรรมไม่ควรมีสารแม่เหล็กและแม่เหล็กอยู่ในบริเวณนั้น

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

1. เมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าผ่านลวดตัวนำตรงและลวดตัวนำวงกลม เข็มทิศ ณ ตำแหน่งต่างๆ วางตัวอยู่ในแนวทิศเหนือและทิศใต้

2. เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านลวดตัวนำทั้งสอง การวางตัวของเข็มทิศ ณ ตำแหน่งต่างๆ วางตัวอยู่ในแนวต่างๆ กัน เมื่อกลับทิศทางของกระแสไฟฟ้า การวางตัวของเข็มทิศที่ตำแหน่งหนึ่งๆ ยังอยู่ในแนวเดิม แต่สลับตำแหน่งกันระหว่างขั้วเหนือและขั้วใต้ของเข็มทิศ

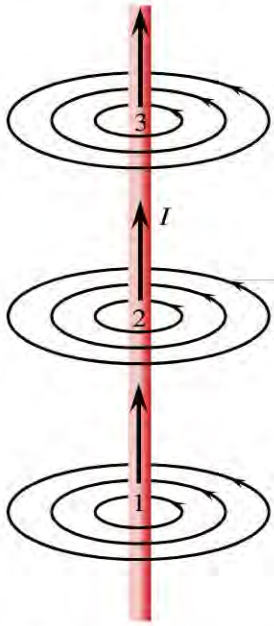
อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

ครูนำผลการทำกิจกรรมมาอภิปรายตามแนวคำถามท้ายกิจกรรมในหนังสือเรียน จนได้ข้อสรุปดังนี้

1. ขณะที่ยังไม่มีกระแสไฟฟ้าผ่านลวดตัวนำตรงและลวดตัวนำวงกลม เข็มทิศ ณ ตำแหน่งต่างๆ วางตัวอยู่ในแนวเดิมตลอด แสดงว่าไม่มีแรงเนื่องจากสนามแม่เหล็กอื่นมากระทำ แนวเข็มทิศจึงอยู่ในแนวสนามแม่เหล็กโลก จึงสรุปได้ว่าไม่มีสนามแม่เหล็กเกิดรอบลวดตัวนำทั้งสอง ส่วนกรณีที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านลวดตัวนำ จะเห็นเข็มทิศเบนไปจากแนวเดิมแสดงว่ามีแรงกระทำต่อเข็มทิศ จึงสรุปได้ว่าเมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านลวดตัวนำจะมีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นรอบๆ ตัวนำนั้น โดยมีทิศทางของสนามแม่เหล็กเป็นทิศทางเดียวกับทิศทางที่ขั้วเหนือของเข็มทิศชี้ไป

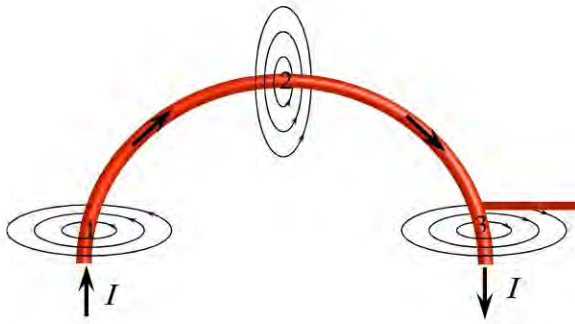
2. เมื่อเปลี่ยนทิศทางของกระแสไฟฟ้า การวางตัวของเข็มทิศที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งจะเปลี่ยนไป โดยขั้วเหนือและขั้วใต้อยู่สลับที่กัน

2.2 ครูให้ความรู้ว่า ถ้าใช้มือขวากำรอบลวดตัวนำตรงและหัวแม่มือชี้ไปทางทิศทางของกระแสไฟฟ้า ส่วนนิ้วที่เหลือจะแสดงทิศทางของสนามแม่เหล็ก ซึ่งตรงกับทิศทางที่หาได้โดยอาศัยเข็มทิศ ดังนั้น การใช้มือดังกล่าวสามารถหาทิศทางของสนามแม่เหล็กได้ ครูชี้แจงเพิ่มเติมเกี่ยวกับรูป 15.15 ในหนังสือเรียนว่า สนามแม่เหล็กในรูปนี้เกิดจากการพิจารณาจุดๆ หนึ่งของลวดตัวนำเท่านั้น ความจริงแล้วจะมีสนามแม่เหล็ก ณ ตำแหน่งต่างๆ โดยรอบตลอดทั้งความยาวของลวดตัวนำตรง สมมติว่าเราพิจารณาลวดตัวนำที่จุด 3 จุด แล้วใช้มือขวากำรอบเส้นลวด ณ จุดทั้ง 3 เพื่อหาทิศทางของสนามแม่เหล็ก จะได้สนามแม่เหล็กเป็นดังรูป 15.10

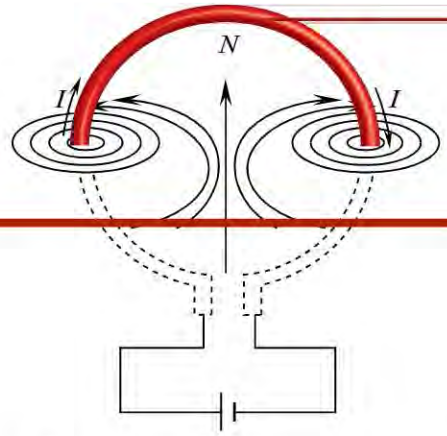


รูป 15.10 สนามแม่เหล็กรอบลวดตัวนำตรง

สำหรับสนามแม่เหล็กรอบลวดตัวนำวงกลม ก็สามารถหาทิศทางของสนามแม่หล็กได้โดยใช้มือขวากำรอบลวดตัวนำเช่นกัน ถ้าพิจารณาสนามแม่เหล็กรอบลวดตัวนำวงกลมเพียง 2 จุด จะเป็นดังรูป 15.16 ในหนังสือเรียน แต่สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะมีตลอดความยาวของลวดตัวนำนี้ สมมติพิจารณาลวดตัวนำที่จุด 3 จุด จากนั้นใช้มือขวากำรอบลวดตัวนำที่จุดทั้งสามเพื่อหาทิศทางของสนามแม่เหล็ก จะได้สนามแม่เหล็กดังรูป 15.11 ครูชี้ให้นักเรียนเห็นว่า สนามแม่เหล็กในบริเวณรอบลวดตัวนำวงกลมมีลักษณะคล้ายกับสนามแม่เหล็กของแท่งแม่เหล็ก จากความรู้เกี่ยวกับเส้นสนามแม่เหล็ก เราทราบว่าเส้นสนามแม่เหล็กมีทิศทางพุ่งออกจากขั้วเหนือเข้าสู่ขั้วใต้ของแท่งแม่เหล็ก ฉะนั้นทางด้านใดด้านหนึ่งของลวดตัวนำวงกลมจะต้องประพฤติตัวเสมือนเป็นขั้วเหนือหรือขั้วใต้ของแท่งแม่เหล็ก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านลวดตัวนำวงกลม ถ้าทิศทางของกระแสไฟฟ้าอยู่ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา จะสามารถระบุขั้วเหนือและขั้วใต้ ดังรูป 15.12

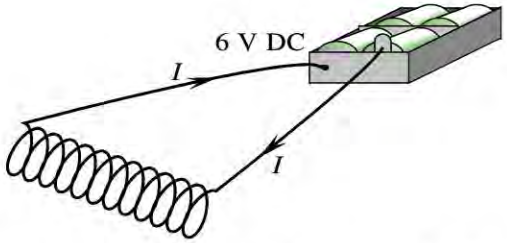


6.



รูป 15.11 สนามแม่เหล็กรอบลวดตัวนำวงกลม **รูป 15.12** ขั้วเหนือและขั้วใต้ของลวดตัวนำวงกลม

2.3 ครูให้ความรู้เกี่ยวกับโซเลนอยด์ โดยนำสายไฟสายอ่อนมาพันรอบวัตถุทรงกระบอกซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 - 5 เซนติเมตร เมื่อดึงวัตถุทรงกระบอกออก สายไฟจะขดเป็นวงต่อเนื่องกัน ขดลวดดังกล่าวนี้เรียกว่าโซเลนอยด์ เพื่อที่จะศึกษาสนามแม่เหล็กจากโซเลนอยด์ให้ครูสาธิตดังนี้ ครูต่อปลายหนึ่งของโซเลนอยด์เข้ากับขั้วหนึ่งของแบตเตอรี่ 6 โวลต์ ดังรูป 15.13



รูป 15.13 โซเลนอยด์ต่อกับแบตเตอรี่ 6 โวลต์

จากนั้นครูนำเข็มทิศมาวางที่ตำแหน่งต่างๆ ใกล้ปลายทั้งสองของโซเลนอยด์ ให้นักเรียนสังเกตการวางตัวของเข็มทิศ ซึ่งจะพบว่าเข็มทิศยังคงชี้แนวทิศเหนือและทิศใต้ ต่อปลายอีกข้างหนึ่งของโซเลนอยด์เข้ากับอีกขั้วหนึ่งของแบตเตอรี่ สังเกตการวางตัวของเข็มทิศ ณ ตำแหน่งต่างๆ จะพบว่าเข็มทิศวางตัวในแนวต่างๆ กัน แสดงว่ามีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้น สนามแม่เหล็กจากโซเลนอยด์นี้จะมีทิศทางดังรูป 15.18 ในหนังสือเรียน

2.4 ครูแนะวิธีการหาทิศทางของสนามแม่เหล็กดังกล่าว โดยใช้มือขวากำรอบสายไฟซึ่งขดเป็นวงกลม ให้ปลายนิ้วทั้งสี่วนไปตามทิศทางของกระแสไฟฟ้า ส่วนนิ้วหัวแม่มือจะชี้ไปตามทิศทางของสนามแม่เหล็ก ครูชี้ให้นักเรียนเห็นว่าสนามแม่เหล็กจะเกิดขึ้นจากขดลวดทุกๆ วงและมีทิศทางเดียวกัน

2.5 ครูให้ความรู้เกี่ยวกับแม่เหล็กไฟฟ้า และการนำแม่เหล็กไฟฟ้าไปใช้งานด้านต่างๆ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

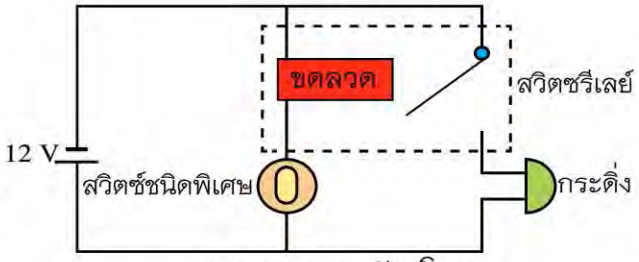
3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

ครูมอบหมายให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด คำถามข้อ 7-13

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

การประยุกต์ทางแม่เหล็กไฟฟ้า

ก. อุปกรณ์ป้องกันขโมย ที่ใช้สวิตช์ชนิดพิเศษมีแสงตกกระทบตลอดเวลากระดิ่งจะไม่ดัง เมื่อมีผู้เดินตัดลำแสง กระดิ่งจะดังขึ้น อธิบายได้ดังนี้

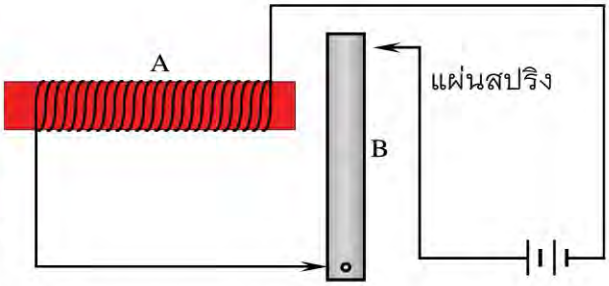


รูป 15.14 วงจรกันขโมย

ขณะกระดิ่งไม่ดัง แสดงว่าขดลวดต้องมีกระแสไฟฟ้าผ่านเกิดเป็นแม่เหล็กดึงดูดเหล็กให้สวิตช์ตัดวงจรทำให้กระดิ่งไม่ดัง โดยสวิตช์พิเศษนี้มีสมบัติที่ยอมให้กระแสผ่านได้เมื่อมีแสงตกกระทบ เมื่อมีวัตถุไปบังแสงมีผลให้สวิตช์ชนิดพิเศษนี้ไม่ยอมให้กระแสไฟฟ้าผ่าน ทำให้ขดลวดไม่เป็นแม่เหล็ก สวิตช์รีเลย์จึงถูกสปริงดึงกลับที่เดิมและต่อวงจรให้กระแสไฟฟ้าผ่านทำให้กระดิ่งดัง

ข. สวิตช์อัตโนมัติชนิดแม่เหล็กไฟฟ้า

เนื่องจากขนาดของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นอยู่กับค่าของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านโซเลนอยด์ ดังนั้นเมื่อเกิดลัดวงจรขึ้น จะทำให้กระแสไฟฟ้าผ่านโซเลนอยด์ A มีค่ามากกว่าปกติ เป็นผลให้สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีค่ามากพอที่จะดึงดูดแท่งเหล็ก B ให้เคลื่อนที่วงจรไฟฟ้าก็จะขาด



รูป 15.15 วงจรไฟฟ้าภายในสวิตช์อัตโนมัติ

หลังจากที่สวิตช์ทำการตัดวงจรไฟฟ้าแล้ว แท่งแม่เหล็ก B จะถูกล็อกให้ค้างอยู่จนกว่าผู้ควบคุมจะใช้มือดันที่ล็อกให้ครบวงจรอีกครั้งหนึ่ง แต่ถ้ายังไม่ได้แก้ไขจุดที่เกิดลัดวงจรให้เรียบร้อย สวิตช์จะทำงานตัดวงจรไฟฟ้าอีก สวิตช์อัตโนมัติชนิดแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถทำงานได้ แม้จะอยู่ในบริเวณที่มีอุณหภูมิค่อนข้างสูง

ค. สวิตช์รีเลย์หรือสวิตช์ที่ควบคุมจากระยะไกล

เครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่ใช้กระแสไฟฟ้าค่ามาก การต่อสวิตช์ปิด–เปิดให้อยู่ห่างจากเครื่องใช้มักไม่นิยมเพราะต้องใช้สายขนาดใหญ่และยาว (เพื่อลดการสูญเสียพลังงานในรูปความร้อนในสาย) โดยเฉพาะอย่างยิ่งประกายไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างหน้าสัมผัสของสวิตช์อาจก่อให้เกิดอันตรายได้ จึงมีการใช้สวิตช์รีเลย์ควบคุมในระยะไกล นอกจากนี้เครื่องจักรที่

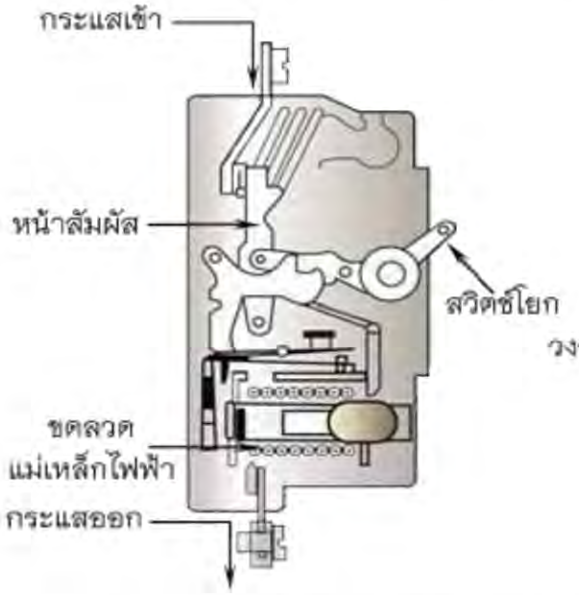
ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมอาจอยู่ในบริเวณที่มีอันตราย เช่น อุณหภูมิค่อนข้างสูง มีแก๊สพิษหรือสารเคมีต่างๆ ก็สามารถใช้สวิตช์รีเลย์ควบคุมจากระยะที่ปลอดภัยได้เช่นกัน

สวิตช์รีเลย์มีทั้งแบบใช้ไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับกับขดลวดโซเลนอยด์ สำหรับแบบใช้ไฟฟ้ากระแสตรงจะทำให้นักเรียนเข้าใจการทำงานของสวิตช์รีเลย์ได้ดีกว่า เพราะสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะมีค่าคงตัว สำหรับแบบที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับจะต้องมีอุปกรณ์พิเศษประกอบ เพื่อทำให้สนามแม่เหล็กไม่เปลี่ยนแปลงมาก

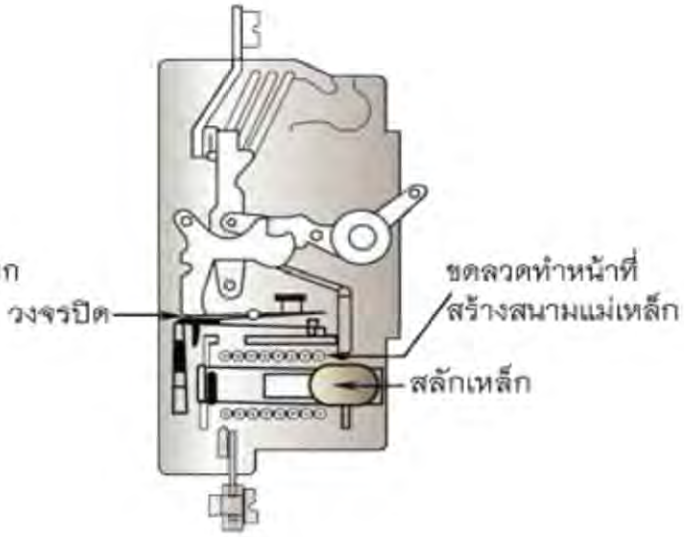
ง. เซอร์กิตเบรกเกอร์

เซอร์กิตเบรกเกอร์ (circuit breaker) เป็นฟิวส์อัตโนมัติที่จะตัดวงจรไฟฟ้าเมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านเกินกำหนด หรือมีไฟฟ้าลัดวงจรเกิดขึ้น (ในกรณีกระแสไฟฟ้าเกินกำหนดช่วงสั้นๆ เช่น กรณีการเริ่มสตาร์ทของมอเตอร์ เซอร์กิตเบรกเกอร์จะไม่ทำงาน)

การตัดวงจรเมื่อกระแสไฟฟ้าเกินกำหนดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยทั่วไปเป็นแบบที่ตัดโดยใช้แม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมีส่วนประกอบภายใน ดังรูป 15.16

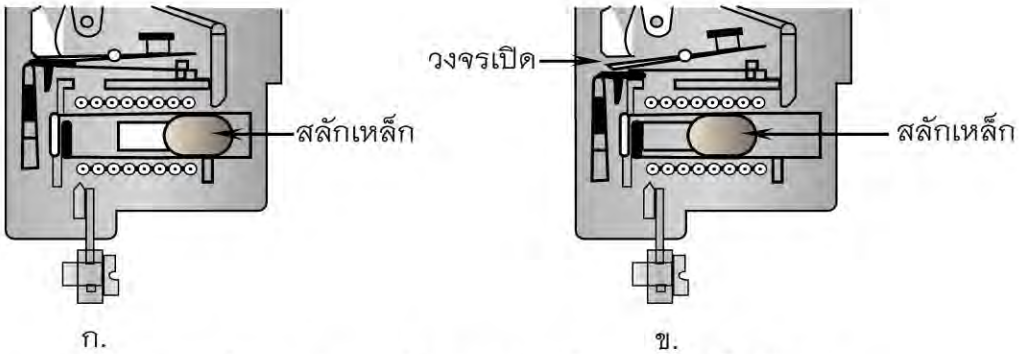


รูป 15.16 เซอร์กิตเบรกเกอร์



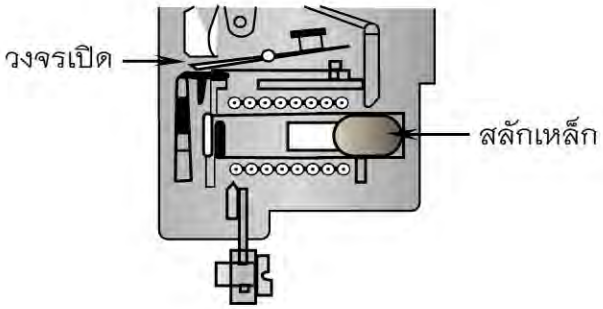
รูป 15.17 ภายในของเซอร์กิตเบรกเกอร์ขณะทำงานปกติ

ในสภาพปกติ สลักเหล็กในท่อซึ่งอยู่ในสนามแม่เหล็กจะอยู่ที่ตำแหน่งขวาสุด ดังรูป 15.17 เมื่อมีกระแสไฟฟ้าเกิน สนามแม่เหล็กจากขดลวดที่พันอยู่รอบๆ จะดึงดูดสลักเหล็กให้เลื่อนมาทางซ้าย ดังรูป 15.18 ก และสนามแม่เหล็กจะมากขึ้นทุกขณะ เมื่อสลักเหล็กเลื่อนมาถึงซ้ายมือสุด ดังรูป 15.18 ข จะทำให้อำนาจแม่เหล็กที่เกิดขึ้นส่งผ่านสลักเหล็กขึ้นไปตามแกนเหล็ก ดึงดูดคานเหล็กที่อยู่ด้านบน ทำให้วงจรเปิด



รูป 15.18 การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ขณะกระแสไฟฟ้าเกิน

ในกรณีของไฟฟ้าลัดวงจร กระแสไฟฟ้าที่ผ่านเซอร์กิตเบรกเกอร์มีปริมาณพอที่จะทำให้อำนาจแม่เหล็กจากขดลวดเกิดขึ้นมากในทันทีทันใด อำนาจแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะเพียงพอต่อการดึงดูดคานเหล็กให้วงจรเปิดทันที โดยสลักเหล็กไม่จำเป็นต้องเลื่อนไปทางซ้ายดังรูป 15.19



รูป 15.19 การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ขณะไฟฟ้าลัดวงจร

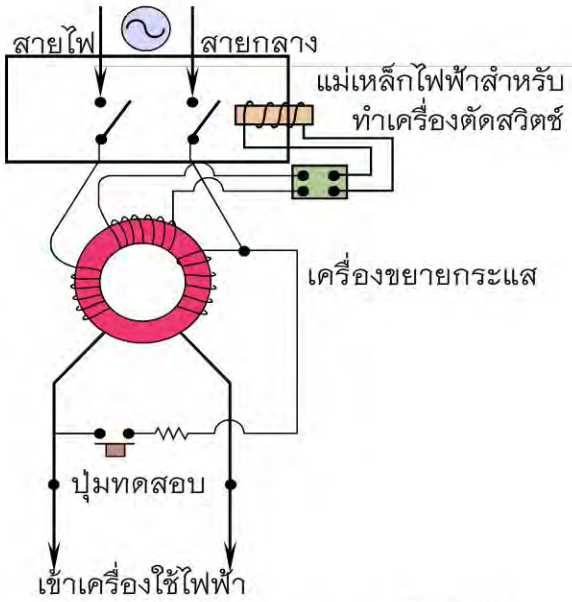
จ. เครื่องตัดวงจรเมื่อไฟฟ้ารั่ว

เครื่องตัดวงจรเมื่อไฟฟ้ารั่ว (earth - leakage circuit breaker) จะทำงานได้ดีในกรณีที่การต่อสายไฟภายในบ้านหรืออาคารนั้นเป็นไปอย่างถูกต้อง คือมีการต่อสายดิน ถ้าไม่มีการต่อสายดินอย่างถูกต้องจะทำให้มีไฟฟ้ารั่วจากอุปกรณ์ไฟฟ้าอยู่เล็กน้อย เป็นเหตุให้เครื่องตัดวงจรตลอดเวลา ต้องปรับลดความไวลงซึ่งจะเป็นผลให้เกิดความไม่ปลอดภัยเมื่อเกิดไฟฟ้าดูดขึ้นมา เครื่องตัดวงจรเมื่อไฟฟ้ารั่วอย่างง่ายแบบหนึ่งมีลักษณะวงจรภายในดังรูป 15.20

สายไฟและสายกลางจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าจะพันอยู่รอบแกนเหล็กรูปวงแหวน โดยพันไว้ด้านตรงข้ามกันให้มีจำนวนรอบเท่ากัน แต่ต้องพันให้เกิดสนามแม่เหล็กตรงกันข้าม ในสภาพที่ไม่มีไฟฟ้ารั่ว สนามแม่เหล็กรวมจากขดลวดของสายไฟและสายกลางจะเป็นศูนย์ ไม่มีเส้นสนามแม่เหล็กไปตัดขดลวด A

แต่ถ้ามีกระแสไฟฟ้ารั่วที่เครื่องใช้ไฟฟ้า จะทำให้กระแสไฟฟ้าในสายไฟ (ขาเข้า) และกระแสไฟฟ้าในสายกลาง (ขาออก) ไม่เท่ากันทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นในวงแหวน สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะผ่านขดลวด A เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวด A ทำให้แม่เหล็กไฟฟ้า B ดึงดูดสะพานไฟตัดวงจรไฟฟ้าได้

โดยทั่วไปกระแสไฟฟ้าจากขดลวด A เกิดขึ้นน้อยมาก จึงต้องมีการต่อขดลวด A เข้ากับเครื่องขยายกระแสไฟฟ้าก่อน เพื่อให้เกิดกระแสไฟฟ้ามากพอให้แม่เหล็กไฟฟ้า B ทำงานได้



รูป 15.20 เครื่องตัดวงจรขณะไฟฟ้ารั่ว หรือเกิดลัดวงจร

15.3 แรงกระทำต่อลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านและอยู่ในสนามแม่เหล็ก

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. ทำกิจกรรมและสรุปได้ว่า ลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านและวางในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก จะมีแรงกระทำต่อลวดตัวนำ
2. บอกได้ว่า ทิศทางของแรงขึ้นอยู่กับทิศทางของกระแสไฟฟ้าและทิศทางของสนามแม่เหล็ก
3. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรง F กระแสไฟฟ้า I ความยาวของลวดตัวนำ ℓ และสนามแม่เหล็ก B และหาปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องโดยใช้สมการ $F = I\ell B\sin\theta$ โดย θ คือมุมระหว่างกระแสไฟฟ้ากับสนามแม่เหล็ก และใช้สมการ $F = I\ell B$ ในกรณี $\theta = 90^\circ$

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

1.1 ครูทบทวนเกี่ยวกับประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ในลวดตัวนำเป็นกระแสไฟฟ้า ครูตั้งคำถามเมื่อนำลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไปไว้ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กจะเกิดอะไรขึ้น

1.2 ครูสาธิตโดยใช้อุปกรณ์ที่ประกอบด้วยแผ่นฟอยล์ขนาดกว้าง 1 cm ยาว 5 cm แบตเตอรี่ แม่เหล็กและสายไฟ นำปลายแผ่นฟอยล์ 2 ด้านมาต่อกับขั้วบวกและขั้วลบของแบตเตอรี่ แล้วนำขั้วแม่เหล็กเข้าใกล้ แผ่นฟอยล์จะขยับได้

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

2.1 ทำกิจกรรม 15.3 จากนั้นนักเรียนตอบคำถามท้ายกิจกรรม

ตัวอย่างกิจกรรม 15.3 แรงที่กระทำต่อลวดตัวนำขณะมีกระแสไฟฟ้าผ่านและอยู่ในสนามแม่เหล็ก

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. บอกได้ว่าลวดตัวนำมีกระแสไฟฟ้าผ่าน และวางอยู่ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กจะมีแรงกระทำให้เกิดการเคลื่อนที่
2. บอกได้ว่าทิศทางการเคลื่อนที่ของลวดตัวนำ จะขึ้นอยู่กับทิศทางของกระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก
3. เขียนแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางของกระแสไฟฟ้า ทิศทางของสนามแม่เหล็ก และทิศทางการเคลื่อนที่ของลวดตัวนำ

เวลาที่ใช้ 50 นาที

วัสดุอุปกรณ์

รายการ	จำนวนต่อกลุ่ม (5 คน)
1. หม้อแปลงโวลต์ต่ำ	1 เครื่อง
2. แม่เหล็กรูปตัวยู	1 อัน
3. ลวดตัวนำอะลูมิเนียม	1 ชุด
4. ฐานรองรับลวดตัวนำ	
5. สายไฟ	

แนะนำก่อนทำกิจกรรม

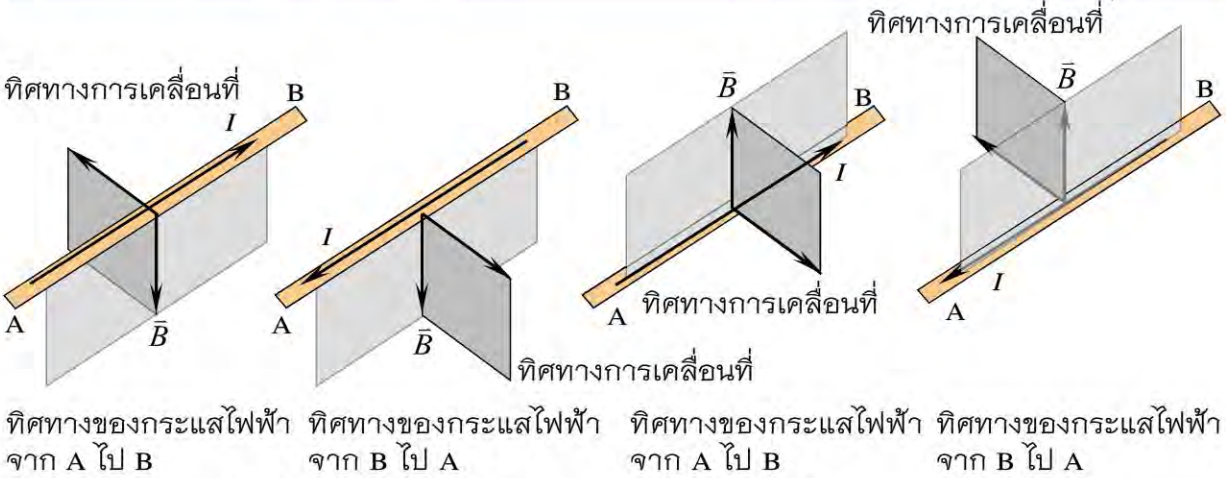
1. กิจกรรมนี้ ต้องให้กระแสไฟฟ้าผ่านลวดตัวนำเป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่มีค่าคงตัว อาจใช้แบตเตอรี่หรือหม้อแปลงโวลต์ต่ำเป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าก็ได้ ในกิจกรรมนี้ให้นักเรียนใช้หม้อแปลงโวลต์ต่ำไฟฟ้ากระแสตรงความต่างศักย์ 5 V เพราะว่าต้องใช้กระแสไฟฟ้าที่มีค่ามากจึงจะเห็นผลชัดเจน การต่อหม้อแปลงโวลต์ต่ำ ให้แปลงความต่างศักย์ลงเป็น 5 VAC จากนั้นแปลงเป็น 5 VDC แล้วต่อฐานรองรับลวดตัวนำอะลูมิเนียมเข้าทางด้าน DC ก่อนต่อต้องปิดสวิตซ์ของหม้อแปลงก่อน

2. แม่เหล็กรูปตัวยูในการทดลองนี้ คือ แผ่นเหล็กที่งอเป็นรูปตัวยูซึ่งมีแม่เหล็กขั้วข้าง 2 แท่ง ติดอยู่ที่ปลายทั้งสองของแผ่นเหล็ก ก่อนทำการทดลอง ครูแนะนำนักเรียนให้นำเข็มทิศมาตรวจสอบขั้วของแม่เหล็กรูปตัวยู เพื่อจะได้ทราบแน่ว่า ด้านล่างของแม่เหล็กแท่งบนเป็นขั้วเหนือและด้านบนของแม่เหล็กแท่งล่างเป็นขั้วใต้ และสนามแม่เหล็กจะมีทิศทางลงในแนวดิ่ง ในกรณีที่ต้องการให้ทิศทางของสนามแม่เหล็กขึ้นตามแนวดิ่ง ให้พลิกแผ่นเหล็กรูปตัวยูกลับข้างบนลงล่าง

3. เพื่อไม่ให้กระแสไฟฟ้าที่มีค่ามากผ่านอุปกรณ์การทดลองนี้นานเกินไป ซึ่งจะทำให้อุปกรณ์เสียเร็ว เมื่อเสร็จกิจกรรมแต่ละครั้งแล้ว รีบปิดสวิตซ์ทันที

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

ทิศทางของสนามแม่เหล็ก	ทิศทางของกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำ	ทิศทางการเคลื่อนที่ของลวดตัวนำ		ไม่เคลื่อนที่
		เข้าหาแม่เหล็กรูปตัวยู	ออกจากแม่เหล็กรูปตัวยู	
ทิศทางลงตามแนวดิ่ง	จาก A ไป B	✓		
	จาก B ไป A		✓	
ทิศทางขึ้นตามแนวดิ่ง	จาก A ไป B		✓	
	จาก B ไป A	✓		
ไม่มีสนามแม่เหล็ก	จาก A ไป B			✓
	จาก B ไป A			✓



รูป 15.21 แผนภาพของทิศทางของกระแสไฟฟ้า ทิศทางของสนามแม่เหล็ก และทิศทางการเคลื่อนที่ของลวดตัวนำ

อภิปรายหลังทำกิจกรรม

ครูนำผลการทำกิจกรรมมาอภิปรายตามแนวคำถามในหนังสือเรียน จนสรุปได้ว่า ลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านและอยู่ในสนามแม่เหล็ก จะมีแรงกระทำให้ลวดตัวนำเคลื่อนที่ การเคลื่อนที่จะอยู่ในทิศทางใด ขึ้นอยู่กับทิศทางของกระแสไฟฟ้าและทิศทางของสนามแม่เหล็ก

2.2 ครูเน้นว่า สำหรับทิศทางของแรงซึ่งกระทำต่อลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านเมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็ก อาจหาได้จากแบบการหมุนตะปูเกลียวขวา ซึ่งครูอาจให้นักเรียนลองตรวจสอบหาทิศทางของแรงในแต่ละกรณีจากกิจกรรม โดยพิจารณารูป 15.22 ในหนังสือเรียนประกอบ

2.3 ครูชี้ให้นักเรียนเห็นว่า จากการทำกิจกรรมนั้น เราไม่ทราบขนาดของแรงว่าขึ้นกับขนาดของกระแสไฟฟ้า I ความยาวของลวด ℓ และสนามแม่เหล็ก B อย่างไร ต่อไปครูให้ความรู้เกี่ยวกับการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล่านี้ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

2.4 ครูอภิปรายตัวอย่าง 15.3 ในหนังสือเรียน เพื่อให้นักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้สมการ $F = I\ell B$ และเพื่อให้ทราบว่าแรง F นี้ทำให้ลวดตัวนำเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด คำถามข้อ 14-15 และปัญหาข้อ 6-8

15.4 แรงระหว่างลวดตัวนำสองเส้นที่ขนานกันและมีกระแสไฟฟ้าผ่าน

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. ทำกิจกรรมและสรุปได้ว่า ลวดตัวนำสองเส้นที่วางใกล้ๆ กันและขนานกัน เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านในทิศทางเดียวกันและทิศทางตรงข้าม จะมีแรงกระทำระหว่างกัน
2. อธิบายการดึงดูดและการผลักของลวดตัวนำสองเส้นที่วางใกล้ๆ กันและขนานกัน เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านในทิศทางเดียวกันและทิศทางตรงข้าม

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูทบทวนความรู้เรื่องการเกิดสนามแม่เหล็กของลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านและอยู่ในสนามแม่เหล็ก จะเกิดแรงกระทำต่อลวดตัวนำนั้น ตั้งคำถามว่า ถ้าหากลวดตัวนำสองเส้นที่วางขนานกันใกล้กันและมีกระแสไฟฟ้าผ่าน จะมีแรงเกิดขึ้นระหว่างลวดตัวนำทั้งสองหรือไม่ คำตอบจะได้จากการทำกิจกรรม 15.4

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

2.1 ครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 15.4 จากนั้นตอบคำถามท้ายกิจกรรม

ตัวอย่างกิจกรรม 15.4 แรงระหว่างลวดตัวนำสองเส้นที่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. บอกได้ว่าลวดตัวนำสองเส้นที่วางขนานกันขณะที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านจะมีแรงกระทำระหว่างลวดทั้งสองนั้น โดยลวดตัวนำทั้งสองขนานกัน
2. บอกได้ว่าเมื่อกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำทั้งสองมีทิศทางเดียวกัน แรงระหว่างลวดทั้งสองเป็นแรงดึงดูด และเมื่อกระแสไฟฟ้าในลวดทั้งสองมีทิศทางสวนกัน แรงระหว่างลวดทั้งสองเป็นแรงผลัก

เวลาที่ใช้ 50 นาที

วัสดุอุปกรณ์

รายการ	จำนวนต่อกลุ่ม (5 คน)
1. หม้อแปลงโวลต์ต่ำ	1 เครื่อง
2. เครื่องชั่งกระแสไฟฟ้า	1 เครื่อง
3. ตัวต้านทานปรับค่าได้	1 ตัว
4. แอมมิเตอร์	1 ตัว
5. สายไฟ	

ข้อแนะนำก่อนทำกิจกรรม

1. กิจกรรมนี้ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงความต่างศักย์ 5 โวลต์

2. ครูแนะนำส่วนประกอบของเครื่องชั่งกระแสไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยลวด AB ที่ต่อกับคาน 1 เส้น และขดลวด CD ที่ติดกับกล่องประมาณ 10 รอบ การที่ต้องใช้ขดลวดจำนวนรอบมากเพื่อให้สนามแม่เหล็กรอบขดลวดมีค่ามากขึ้น แรงที่กระทำต่อลวด AB จะมากขึ้นด้วยทำให้สังเกตได้ชัดเจนขึ้น

3. เมื่อปรับให้ลวด AB ที่ติดกับคานอยู่ในแนวระดับ ลวด AB จะอยู่เหนือขดลวด CD เล็กน้อย

4. ครูแนะนำนักเรียนว่า กระแสไฟฟ้าในวงจรควรมีค่าประมาณ 3 - 4 แอมแปร์ การต่อแอมมิเตอร์ในวงจร ให้ต่อช่อง 5 A เข้ากับขั้วบวกของ D.C. และขั้วลบกับสายไฟจากตัวต้านทานปรับค่าได้ ดังรูป 15.22 ถ้าปรับค่าของความต้านทานแล้ว กระแสไฟฟ้าในวงจรยังน้อยไป และลวดที่ AB ไม่ขยับตัว ให้เพิ่มความต่างศักย์จากหม้อแปลง แต่ไม่ควรเกิน 8 โวลต์

รูป 15.22 การต่อวงจรที่ใช้ในกิจกรรม

5. ให้นักเรียนใช้เข็มทิศตรวจทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านขดลวดที่พันรอบกล่อง โดยนำขดลวดที่ติดกับคานออกจากกล่อง แล้วนำเข็มทิศไปวางใต้ขดลวดที่ต้องการหาทิศทางของกระแสไฟฟ้า ความยาวของขดลวดส่วนนี้จะต้องอยู่ในแนวเดียวกับเข็มทิศ ซึ่งชี้ทิศเหนือและทิศใต้ เปิดสวิตซ์หม้อแปลงจะพบว่าเข็มทิศเบนไปจากแนวเดิม จากนั้นใช้มือขวาเสมือนกำเส้นลวดส่วนดังกล่าว ให้นิ้วทั้งสี่ชี้ไปทางทิศที่ขั้วเหนือของเข็มทิศเคลื่อนที่ไป ซึ่งจะเป็นทิศทางของสนามแม่เหล็กที่วนรอบเส้นลวด ส่วนนิ้วหัวแม่มือจะชี้ไปทางทิศทางที่กระแสไฟฟ้าผ่านในเส้นลวด เมื่อทราบทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านขดลวดแนวระดับส่วนที่อยู่ใกล้และขนานกับขดลวดแขวนแล้ว ให้นักเรียนตรวจสอบทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่ลวดแขวน จะทำให้ทราบว่ากระแสไฟฟ้าที่ผ่านขดลวดทั้งสองส่วนนี้มีทิศทางไปทางเดียวกันหรือมีทิศทางสวนทางกัน

6. เมื่อสังเกตผลได้แล้ว ปิดสวิตซ์ของหม้อแปลงโวลต์ต่ำทันที

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

1. เมื่อกระแสไฟฟ้าในลวดที่ ab และขดลวดที่ cd มีทิศทางเดียวกัน ลวด ab จะถูกดึงดูด
2. เมื่อกระแสไฟฟ้าในลวดที่ ab และขดลวดที่ cd มีทิศทางสวนกัน ลวด ab จะถูกผลัก
3. ครูอธิบายต่อไปว่า ในกรณีที่กระแสไฟฟ้าในลวดทั้งสองมีทิศทางเดียวกัน ลวด cd จะถูกลวด ab ดึงดูดด้วย แต่เนื่องจากลวด cd พันติดกับกล่องจึงไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าหาลวด ab ได้ และในกรณีกระแสไฟฟ้ามีทิศทางสวนทางกันลวด cd ก็ถูกลวด ab ผลักด้วยเช่นกัน

อภิปรายหลังทำกิจกรรม

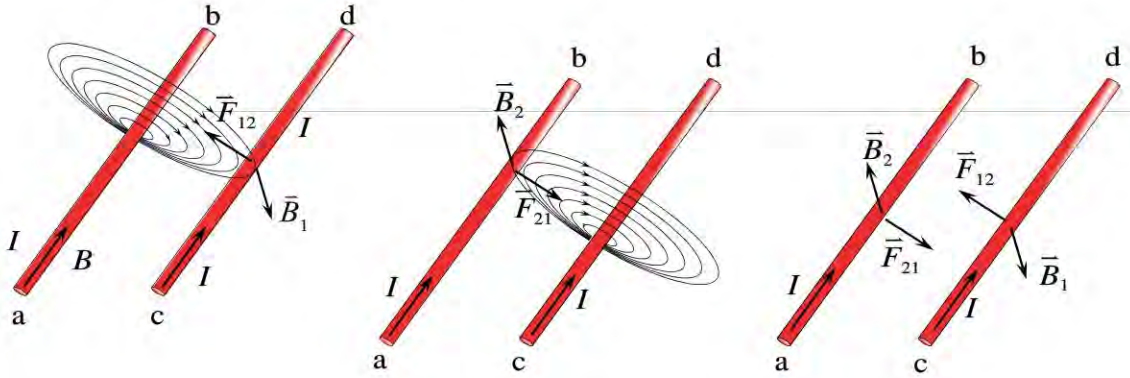
ครูนำผลการทำกิจกรรมมาอภิปรายตามแนวคำถามในหนังสือเรียน จนสรุปได้ว่า

1. เมื่อมีกระแสไฟฟ้าในลวดทั้งสองจะมีแรงกระทำระหว่างกัน ซึ่งทราบได้จากการที่ลวด ab เคลื่อนที่ ส่วนขดลวด cd ที่พันรอบกล่องไม่มีการเคลื่อนที่เนื่องจากถูกยึดติดกับกล่อง

2. ถ้ากระแสไฟฟ้ามีทิศทางเดียวกัน แรงที่เกิดขึ้นจะเป็นแรงดึงดูด ถ้ากระแสไฟฟ้ามีทิศทางสวนกัน แรงที่เกิดขึ้นจะเป็นแรงผลัก ทั้งนี้ทราบได้จากการที่ลวด ab ที่ติดคานเบนเข้าหาหรือเบนออกจากขดลวดที่พันรอบกล่อง

2.2 ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับแรงที่เกิดขึ้นระหว่างลวดตัวนำ 2 เส้น ซึ่งมีกระแสไฟฟ้าผ่าน โดยลวดทั้งสองวางขนานกัน ดังนี้

กรณีที่ 1 เมื่อกระแสไฟฟ้ามีทิศทางไปทางเดียวกัน



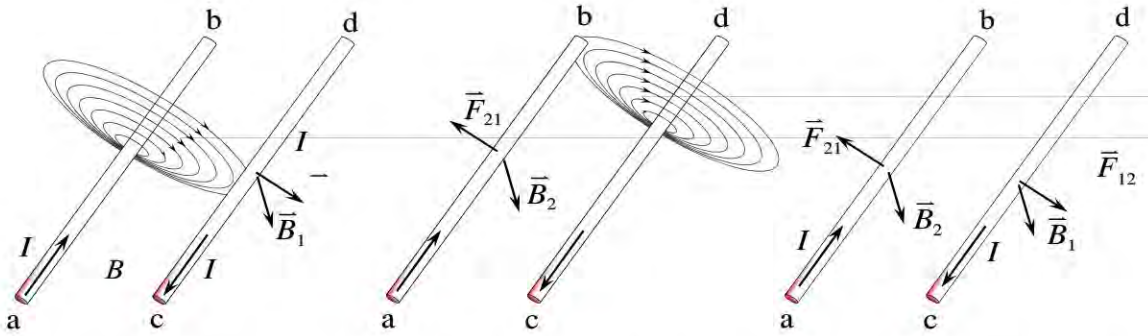
รูป 15.23 แรงกระทำระหว่างลวดตัวนำ 2 เส้น เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านในทิศทางเดียวกัน

ลวดตัวนำตรง ab และ cd วางขนานกันและมีกระแสไฟฟ้าผ่านลวดตัวนำทั้งสองในทิศทางเดียวกัน เมื่อพิจารณาลวดตัวนำ ab เราทราบว่า มีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นรอบลวดตัวนำ เราสามารถหาทิศทางของสนามแม่เหล็กนี้ได้ โดยใช้มือขวากำรอบลวดตัวนำ สนามแม่เหล็ก $\bar{B}_1$ รอบลวดตัวนำ ab จะปรากฏที่ลวดตัวนำ cd ในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางของกระแสไฟฟ้า I ดังรูป 15.23 ก. ลวดตัวนำ cd นี้จะถูกแรงกระทำเพราะอยู่ในสนามแม่เหล็ก $\bar{B}_1$ จากการใช้กฎมือขวาจะทราบว่าแรง $\bar{F}_{12}$ ที่กระทำต่อลวดตัวนำ cd ตั้งฉากกับลวดตัวนำ cd และมีทิศทางพุ่งเข้าหาลวดตัวนำ ab

ในทำนองเดียวกัน ลวดตัวนำ ab อยู่ในสนามแม่เหล็ก $\bar{B}_2$ ซึ่งเกิดจากลวดตัวนำ cd และมีกระแสไฟฟ้า I ผ่าน และทิศทางของสนามแม่เหล็กที่ลวดตัวนำ ab ตั้งฉากกับทิศทางของกระแสไฟฟ้าจากการใช้กฎมือขวา แรง $\bar{F}_{21}$ ที่กระทำต่อลวดตัวนำ ab ตั้งฉากกับลวดตัวนำ ab และมีทิศทางพุ่งเข้าหาลวดตัวนำ cd ดังรูป 15.23 ข.

เมื่อพิจารณาลวดตัวนำ ab และ cd ในเวลาเดียวกัน จะเห็นว่าแรงที่กระทำระหว่างลวดตัวนำทั้งสองนี้เป็นแรงดึงดูดทำให้ลวดตัวนำทั้งสองเคลื่อนที่เข้าหากัน ดังรูป 15.23 ค.

กรณีที่ 2 เมื่อกระแสไฟฟ้ามีทิศทางตรงข้าม



รูป 15.24 แรงกระทำระหว่างลวดตัวนำสองเส้น เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านในทิศทางสวนกัน

การหาแรงกระทำระหว่างลวดตัวนำทั้งสองใช้วิธีการเช่นเดียวกับกรณีที่ 1 ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายตามรูป 15.24 โดยเริ่มจากรูป 15.24 ก. ข. และ ค. ตามลำดับ จากนั้นครูสรุปว่า ลวดตัวนำ 2 เส้นมีกระแสไฟฟ้าผ่านในทิศทางสวนกัน เมื่อวางขนานกันจะมีแรงกระทำระหว่างลวดตัวนำทั้งสองเป็นแรงผลัก เป็นผลให้ลวดตัวนำทั้งสองเคลื่อนที่แยกจากกัน

2.3 ครูควรเน้นว่า ผลจากการเกิดแรงกระทำระหว่างลวดตัวนำสองเส้นที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านได้นำไปสู่การนิยามความหมายของแอมแปร์ในหน่วยเอสไอ ดังนี้

แอมแปร์ คือ กระแสไฟฟ้าคงตัวในลวดตัวนำตรงสองเส้น ที่มีความยาวไม่จำกัด มีพื้นที่หน้าตัดน้อยและวางคู่ขนานห่างกัน 1 เมตร ในสุญญากาศแล้ว จะทำให้เกิดแรงระหว่างลวดตัวนำทั้งสองเท่ากับ 2×10^{-7} นิวตันต่อความยาว 1 เมตร

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

ครูมอบหมายให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด คำถามข้อ 16-17

15.5 แรงกระทำต่อขดลวดที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านและอยู่ในสนามแม่เหล็ก

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. อธิบายการเกิดแรงคู่ควบที่กระทำต่อขดลวดตัวนำรูปสี่เหลี่ยมที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านและอยู่ในสนามแม่เหล็ก และผลที่เกิดขึ้นต่อขดลวดเนื่องจากแรงคู่ควบ
2. หาแรงคู่ควบและโมเมนต์ของแรงคู่ควบได้

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูทบทวนความรู้เกี่ยวกับแรงที่กระทำต่อลวดตัวนำตรง เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านและอยู่ในสนามแม่เหล็กตามความสัมพันธ์ $F = I\ell B\sin\theta$ ครูตั้งคำถามว่า ถ้านำลวดตัวนำมาขดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจะเกิดแรงกระทำต่อขดลวดหรือไม่ อย่างไร

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

2.1 ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับขดลวดตัวนำรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านและอยู่ในสนามแม่เหล็ก โดยอาศัยรูป 15.26 ในหนังสือเรียน โดยพิจารณาจากกรณีที่ระนาบของขดลวดอยู่ในแนวขนานกับสนามแม่เหล็กตามรายละเอียดในหนังสือเรียน ครูควรใช้ลวดขดเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากมาแสดงให้นักเรียนดูประกอบ จะช่วยให้เข้าใจดีขึ้น สำหรับการพิจารณาแรงกระทำ ให้พิจารณาขดลวดสี่เหลี่ยมมุมฉากเป็นส่วนๆ ไป เช่น PQ, QR, RS และ PS ในการอภิปราย ควรสรุปได้ว่า

- ไม่มีแรงกระทำต่อขดลวดส่วน QR และ PS เพราะขดลวดทั้งสองส่วนอยู่ในแนวขนานกับสนามแม่เหล็ก ($\theta = 0°$ หรือ $\theta = 180°$)
- มีแรงกระทำต่อขดลวดส่วน PQ , RS ($\theta = 90°$ แรงทั้งสองมีขนาดเท่ากันแต่มีทิศทางตรงข้ามกัน) ซึ่งแรงทั้งสองเป็นแรงคู่ควบ
- แรงคู่ควบที่กระทำต่อขดลวดส่วน PQ และ RS จะทำให้ขดลวดหมุนทวนเข็มนาฬิกา

2.2 ครูอภิปรายการหาโมเมนต์ของแรงคู่ควบ M จนได้ความสัมพันธ์ตามสมการ (15.6) $M = NIAB\cos\theta$

2.3 จากนั้นตั้งคำถามให้นักเรียนคิดวิเคราะห์หาคำตอบ

- เมื่อระนาบขดลวด PQRS เอียงทำมุมกับสนามแม่เหล็ก ขดลวดส่วน PQ และ RS ยังคงตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กหรือไม่ ทิศทางและขนาดของแรงที่กระทำต่อขดลวดส่วน PQ และ RS เป็นอย่างไร เมื่อเทียบกับแรงในกรณีที่ระนาบของขดลวด PQRS อยู่ในแนวขนานกับสนามแม่เหล็ก (ขดลวดส่วน PQ และ RS ยังคงตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก ไม่ว่า

ระนาบขดลวดจะเอียงทำมุมเท่าใดกับสนามแม่เหล็ก แรงที่กระทำต่อขดลวดแต่ละส่วนมีทิศทางและขนาดเหมือนเดิม ขนาดของแรงแต่ละแรงเป็นไปตามสมการ $F = I\ell B$)

– ขดลวด PQRS จะหมุนหรือไม่ ถ้าหมุนจะหมุนเพราะเหตุใด (หมุนเพราะมีโมเมนต์ของแรงคู่ควบ เนื่องมาจากแรงกระทำต่อ PQ และ RS ส่วนจะหมุนในทิศทางใดพิจารณาจากการใช้กฎมือขวาหาทิศทางของแรงกระทำ ที่หาจากสมการ $F = I\ell B$)

2.4 ครูอภิปรายตัวอย่าง 15.4 เพื่อให้นักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับการหาแรงคู่ควบและโมเมนต์ของแรงคู่ควบที่กระทำต่อขดลวด

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด คำถามข้อ 18 และปัญหาข้อ 10-12

15.6 การประยุกต์ผลของสนามแม่เหล็กต่อตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. อธิบายหลักการทำงานของแกลแวนอมิเตอร์
2. อธิบายหลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง

แนวการจัดการเรียนรู้

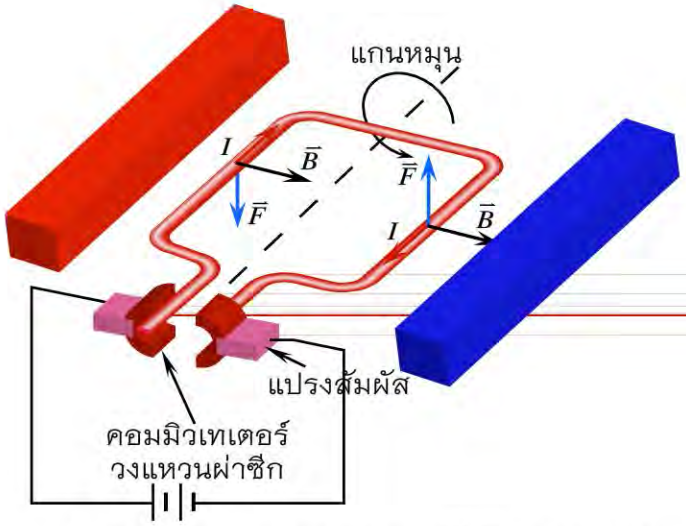
1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูทบทวนความรู้เกี่ยวกับการหมุนของขดลวดจากหัวข้อที่ผ่านมา เนื่องจากความรู้ดังกล่าวเป็นหลักการพื้นฐานของการสร้างแกลแวนอมิเตอร์และมอเตอร์ไฟฟ้า

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

2.1 ครูให้ความรู้เกี่ยวกับหลักการทำงานของแกลแวนอมิเตอร์และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

2.2 ครูอาจประกอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจากชุดไฟฟ้าแม่เหล็ก และต่อมอเตอร์กับไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 4-6 โวลต์ (จากหม้อแปลงโวลต์ต่ำหรือแบตเตอรี่ 3 หรือ 4 ก้อน) เมื่อต่อมอเตอร์แล้ว ถ้าขดลวดของมอเตอร์ยังไม่หมุน อาจเป็นเพราะความเสียดทานระหว่างแกนของขดลวดกับที่รองรับแกน ควรช่วยหมุนขดลวด อาจหมุนทวนเข็มนาฬิกาหรือหมุนตามเข็มนาฬิกา แต่ถ้าหมุนทวนเข็มนาฬิกาแล้ว ปรากฏว่าขดลวดหมุนไป 2-3 รอบแล้วหยุด แสดงว่าการหมุนของขดลวดในสนามแม่เหล็กโดยลำพังจะหมุนตามเข็มนาฬิกา ดังนั้นควรหมุนอีกครั้งหนึ่งโดยหมุนตามเข็มนาฬิกา ขดลวดก็จะหมุนได้ต่อไปเรื่อยๆ นอกจากการสาธิตการหมุนของขดลวด ครูควรชี้อุปกรณ์ส่วนที่ทำหน้าที่เป็นคอมมิวเทเตอร์วงแหวนผ่าซีก (split-ring commutator) และแปรงสัมผัส (contact brush) ให้นักเรียนได้เห็นด้วย



รูป 15.25 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

3.1 ครูตั้งคำถามแก่นักเรียนว่า ขณะที่ระนาบของขดลวดทำมุม 0° , 30° , 45° , 60° และ 90° กับสนามแม่เหล็ก โมเมนต์ของแรงคู่ควบมีค่าคงตัวหรือไม่ (โมเมนต์ของแรงคู่ควบมีค่าไม่คงตัว โมเมนต์ของแรงคู่ควบจะมากที่สุดเมื่อระนาบของขดลวดทำมุม 0° กับสนามแม่เหล็ก และโมเมนต์ของแรงคู่ควบจะน้อยลงเมื่อมุมค่อยๆ โตขึ้น โมเมนต์ของแรงคู่ควบจะเป็นศูนย์เมื่อมุมระหว่างระนาบของขดลวดกับสนามแม่เหล็กเท่ากับ 90° และถ้าต้องการให้โมเมนต์ของแรงคู่ควบมีค่าเพิ่มขึ้น จะต้องเพิ่มจำนวนระนาบของขดลวดขึ้น)

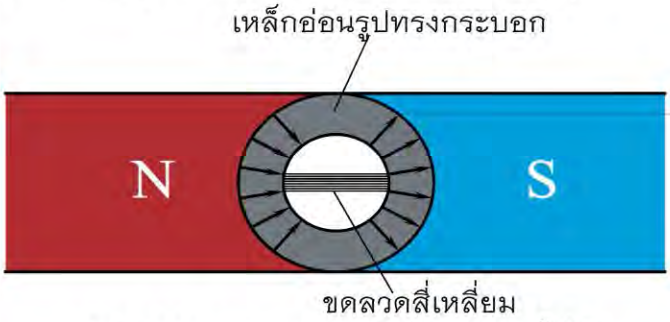
3.2 ครูอาจให้นักเรียนประดิษฐ์อุปกรณ์หรือทำโครงงานที่ใช้หลักการข้างต้น

3.3 ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด คำถามข้อ 19-20

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

แกลแวนอมิเตอร์

แกลแวนอมิเตอร์โดยทั่วไปจะมีเหล็กอ่อนรูปทรงกระบอกอยู่ตรงกลางระหว่างขั้ว N และขั้ว S ของแม่เหล็กโค้ง ซึ่งให้สนามแม่เหล็กในแนวรัศมีของรูปทรงกระบอก ดังรูป ทำให้ระนาบของขดลวดสี่เหลี่ยมอยู่ในแนวเดียวกับสนามแม่เหล็กทุกตำแหน่งที่หมุนไป



รูป 15.26 สนามแม่เหล็กของแม่เหล็กขั้วโค้ง

ด้วยเหตุนี้มุมที่ระนาบของขดลวดทำกับสนามแม่เหล็กจึงเท่ากับ 0 องศา นั่นคือ ระนาบของขดลวดขนานกับสนามแม่เหล็กตลอดเวลา

จากสมการ $M = NIAB\cos\theta$

ดังนั้นจะได้ $M = NIAB\cos 0 = NIAB$

เนื่องจากจำนวนรอบของขดลวด N พื้นที่ระนาบของขดลวด A และสนามแม่เหล็ก B เป็นค่าคงตัว ส่วน I จะเป็นเท่าใดนั้นก็แล้วแต่ว่าจะนำแกลแวนอมิเตอร์ไปใช้กับวงจรไฟฟ้าใด

ดังนั้น $M \propto I$

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าค่าหนึ่งผ่านขดลวดแกลแวนอมิเตอร์ ขดลวดจะหมุนด้วยโมเมนต์ของแรงคู่ควบที่มีค่าคงตัว การหมุนของขดลวดเป็นเหตุให้เกิดแรงบิดกลับในสปริงก้นหอย ซึ่งต้านการหมุนของขดลวด โดยพยายามบิดให้ขดลวดเบนกลับสู่ตำแหน่งเดิม จนกระทั่งขดลวดหยุดนิ่งที่ตำแหน่งหนึ่ง นั่นคือ โมเมนต์ของแรงบิดกลับในสปริงมีทิศทางสวนกับโมเมนต์ของแรงคู่ควบกระทำต่อขดลวดและมีค่าเท่ากันพอดีที่ตำแหน่งนั้น ซึ่งจะได้

โมเมนต์ของแรงบิดกลับของสปริง = โมเมนต์ของแรงคู่ควบกระทำต่อขดลวด

ถ้าพิจารณาขณะขดลวดหมุนไปหยุด ณ ตำแหน่งที่ทำมุม θ กับแนวเดิม จะได้

โมเมนต์ของแรงบิดกลับของสปริง = $k\theta$

เมื่อ k คือ ค่าคงตัวสปริงต่อการบิดซึ่งอยู่ในแนวตั้งฉากกับรัศมี

(k นี้แตกต่างจากค่าคงตัวสปริงในสมการ $F = ks$ ซึ่งอยู่ในแนวแกนตามยาวของสปริง)

นั่นคือ $k\theta = NIAB$

$$\theta = \frac{NIAB}{k}$$

เนื่องจาก k , N , A และ B มีค่าคงตัว

ดังนั้น $\theta \propto I$

การที่มุมที่ขดลวดเบนไปจากเดิมหรือมุมที่เข็มชี้ของแกลแวนอมิเตอร์เบนไปจากเดิมแปรผันตาม I เมื่อทดลองกับกระแสไฟฟ้าที่ทราบค่าต่างๆ แล้วอ่านสเกลที่เข็มชี้เบนไปทำให้สามารถเทียบมาตรฐานเป็นขีดสเกลกำหนดค่าต่างๆ ของกระแสไฟฟ้าบนแกลแวนอมิเตอร์และค่าเหล่านั้นสามารถแบ่งเป็นช่องๆ ได้อย่างสม่ำเสมอ

15.7 กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำและแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. ทำกิจกรรมเกี่ยวกับการเกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำและสรุปได้ว่า ขณะที่ขดลวดเคลื่อนที่ตัดฟลักซ์แม่เหล็ก หรือในขณะที่ฟลักซ์แม่เหล็กเปลี่ยนแปลงผ่านขดลวดจะมีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นในขดลวด
2. อธิบายความหมายของการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ และแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ
3. ใช้กฎของฟาราเดย์ อธิบายการเกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดรูปสี่เหลี่ยมซึ่งหมุนตัดฟลักซ์แม่เหล็ก
4. ใช้กฎของเลนซ์หาทิศทางของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูทบทวนความรู้เดิมของนักเรียนโดยถามนักเรียนว่า เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านลวดตัวนำจะเกิดสิ่งใดรอบๆ ลวดตัวนำ นักเรียนควรตอบว่า เกิดสนามแม่เหล็กหรือฟลักซ์แม่เหล็กรอบๆ ลวดตัวนำ จากนั้นตั้งคำถามถามว่า ฟลักซ์แม่เหล็กจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำได้หรือไม่ ให้นักเรียนค้นหาคำตอบจากการทำกิจกรรม 15.5

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

2.1 ครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 15.5 ในหนังสือเรียน

ตัวอย่างกิจกรรม 15.5 กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. อธิบายได้ว่า เมื่อเคลื่อนแท่งแม่เหล็กให้ขั้วเหนือหรือขั้วใต้เข้าใกล้หรือออกห่างขดลวด เข็มของแกลแวนอมิเตอร์จะเบนจากตำแหน่งเดิมทั้งสองกรณี แต่ทิศทางการเบนตรงข้ามกัน
2. อธิบายได้ว่า เมื่อเคลื่อนขดลวดเข้าใกล้หรือออกห่างขั้วเหนือหรือขั้วใต้ของแม่เหล็ก เข็มของแกลแวนอมิเตอร์จะเบนจากตำแหน่งเดิมทั้งสองกรณี แต่ทิศทางการเบนตรงข้าม
3. สรุปจากกิจกรรมได้ว่า การเคลื่อนขดลวดหรือแม่เหล็ก ทำให้เข็มของแกลแวนอมิเตอร์เบนได้ แสดงว่าเกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวด

เวลาที่ใช้ 50 นาที

วัสดุอุปกรณ์

รายการ	จำนวนต่อกลุ่ม (5 คน)
1. ขดลวดทองแดงอาบน้ำยา	1 ขด
2. แกลแวนอมิเตอร์	1 เครื่อง
3. แท่งแม่เหล็ก	1 อัน

แนะนำก่อนทำกิจกรรม

1. ให้นักเรียนสังเกตเข็มของแกลแวนอมิเตอร์ ขณะยังไม่เคลื่อนขดลวดหรือแท่งแม่เหล็ก

2. ครูแนะนำให้นักเรียนจับแท่งแม่เหล็กให้อยู่ในแนวเดียวกับแกนกลางของขดลวด โดยเริ่มให้ขั้วเหนือหรือขั้วใต้ชี้เข้าหาขดลวดก็ได้ และเปรียบเทียบผลการเบนของเข็มแกลแวนอมิเตอร์

3. เปลี่ยนจากเคลื่อนแท่งแม่เหล็ก เป็นเคลื่อนขดลวดแทน โดยเคลื่อนช้าๆ และเคลื่อนเร็ว สังเกตการเบนของเข็มแกลแวนอมิเตอร์ในแต่ละกรณี

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

1. ขดลวดเคลื่อนเข้าใกล้ขั้วเหนือหรือขั้วใต้ของแท่งแม่เหล็ก เข็มของแกลแวนอมิเตอร์เบนออกจากตำแหน่งเดิมทั้งสองกรณี แต่เบนในทิศทางตรงข้าม

2. ขดลวดเคลื่อนออกห่างขั้วเหนือหรือขั้วใต้ของแท่งแม่เหล็ก เข็มของแกลแวนอมิเตอร์เบนออกจากตำแหน่งเดิมทั้งสองกรณี แต่เบนในทิศทางตรงข้าม

3. ขดลวดหรือแท่งแม่เหล็กเมื่อไม่มีการเคลื่อนที่ เข็มของแกลแวนอมิเตอร์ไม่มีการเบนจากตำแหน่งเดิม

วิเคราะห์ผลการทำกิจกรรม

ครูให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายโดยยึดแนวคำถามท้ายกิจกรรม ควรได้ข้อสรุปดังนี้

เมื่อขดลวดหรือแท่งแม่เหล็กอยู่นิ่ง ฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านขดลวดไม่เปลี่ยนแปลง เข็มของแกลแวนอมิเตอร์ไม่เบน แสดงว่าไม่เกิดกระแสไฟฟ้า เมื่อเคลื่อนแท่งแม่เหล็กขั้วเหนือหรือขั้วใต้เข้าใกล้ขดลวด ทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านขดลวดเปลี่ยนไปโดยเพิ่มขึ้น และพบว่าเข็มของแกลแวนอมิเตอร์เบนไปจากตำแหน่งเดิม แสดงว่าเกิดกระแสไฟฟ้าในขดลวดทองแดงและผ่านไปยังแกลแวนอมิเตอร์จึงทำให้เข็มเบนไป

เมื่อเคลื่อนแท่งแม่เหล็กออกห่างขดลวด ฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านขดลวดจะมีค่าน้อยลง ผลที่เกิดขึ้นเป็นเช่นเดียวกับการเคลื่อนแท่งแม่เหล็กเข้าใกล้ขดลวด แต่การเบนของเข็มจะมีทิศทางตรงข้ามกับตอนเคลื่อนแท่งแม่เหล็กเข้าใกล้ขดลวด ในกรณีที่เคลื่อนขดลวดเข้าหาหรือออกจากแท่งแม่เหล็ก ก็จะเกิดผลเช่นเดียวกัน

2.2 ครูอภิปรายความหมายของการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ และแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

2.3 ครูขยายความเกี่ยวกับฟลักซ์แม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงว่า มีทั้งเปลี่ยนแปลงในทางเพิ่มขึ้นและลดลง เช่น กรณีเคลื่อนแท่งแม่เหล็กเข้าหาขดลวดหรือขดลวดเคลื่อนเข้าหาแท่งแม่เหล็กฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านขดลวดมีค่าเพิ่มขึ้น เพราะความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กที่บริเวณใกล้ขั้วแม่เหล็กมีค่ามาก สำหรับกรณีเคลื่อนแท่งแม่เหล็กออกห่างขดลวดหรือเคลื่อนขดลวดออกห่างแท่งแม่เหล็ก ฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านขดลวดจะมีค่าน้อยลง เพราะบริเวณที่ไกลจากขั้วแม่เหล็ก ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กมีค่าน้อย สรุปได้ว่า ไม่ว่าฟลักซ์แม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงผ่านขดลวดจะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลง ก็จะมีการเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวด

2.4 ครูอภิปรายกฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ (หรือกฎของฟาราเดย์) ซึ่งเป็นกฎพื้นฐานของไฟฟ้าและแม่เหล็ก และกฎของเลนซ์ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

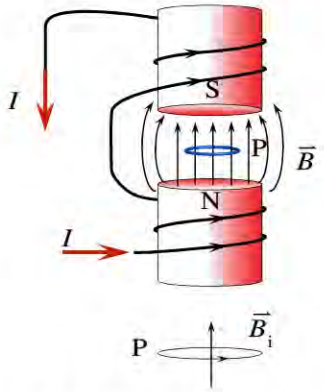
3.1 ครูให้นักเรียนเปลี่ยนแอมมิเตอร์เป็นหลอดแอลอีดี (LED) ทำเหมือนกับกิจกรรม 15.5 โดยใช้ 1 หลอด และ 2 หลอด ต่อสลับทางกัน และนักเรียนอาจจะออกแบบไปใช้ประโยชน์ต่างๆ ได้

3.2 ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด คำถามข้อ 21-28

ข้อแนะนำประกอบการเรียนการสอน

1. เมื่อนักเรียนศึกษากฎของฟาราเดย์แล้ว ครูให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายคำถามจากรูป 15.36 ในหนังสือเรียน เมื่อให้ขดลวดตัวนำ P หยุดนิ่ง และให้กระแสไฟฟ้า I มีค่าเพิ่มขึ้น จะเกิดกระแสไฟฟ้าในขดลวดตัวนำ P หรือไม่ และกระแสไฟฟ้ามีทิศทางใด ร่วมกันอภิปรายเพื่อให้ได้ข้อสรุปตามหนังสือเรียน

2. ให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายคำถามที่เกี่ยวข้องกับรูป 15.36 ในหนังสือเรียน จากรูป 15.36 ถ้าขดลวด P มีส่วนขาด ที่ทำให้ไม่ครบรอบ แต่มีฟลักซ์แม่เหล็กเปลี่ยนแปลงผ่านขดลวดเช่นเดิม จะมีกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นหรือไม่ เพราะเหตุใด โดยให้ครูอธิบายจนได้ข้อสรุปว่าไม่เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เพราะขดลวดไม่ครบวงจร แต่เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำตามกฎของฟาราเดย์



รูป 15.27 ทิศทางของกระแสไฟฟ้าเมื่อใช้กฎของเลนซ์

ข้อแนะนำเพิ่มเติมสำหรับครู

ครูควรนำอภิปรายให้นักเรียนได้ความรู้ว่า

1. การเคลื่อนขดลวดเข้าหาแม่เหล็กหรือเคลื่อนแม่เหล็กเข้าหาขดลวด กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในขดลวดจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับสิ่งต่อไปนี้
   - อัตราเร็วของการเคลื่อนที่ของขดลวดหรือของแม่เหล็ก
   - พื้นที่ของขดลวดที่ฟลักซ์แม่เหล็กเปลี่ยนแปลงผ่าน
   - จำนวนฟลักซ์แม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงผ่านขดลวด
   - จำนวนรอบของขดลวด
2. เมื่อกล่าวถึงฟลักซ์แม่เหล็กผ่านขดลวดหมายถึงฟลักซ์แม่เหล็กผ่านพื้นที่ที่ขดลวดล้อมรอบ

15.8 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. อธิบายความหมายของแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับและใช้ความรู้เกี่ยวกับการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าอธิบายผลที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์
2. อธิบายหลักการทำงานและลักษณะของกระแสไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
3. อธิบายหลักการผลิตไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูทบทวนความรู้เกี่ยวกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ศึกษาจากหัวข้อ 15.6.2 โดยครูสาธิตให้นักเรียนสังเกตแล้วทบทวนกฎของฟาราเดย์ ครูถามเพื่อกระตุ้นให้นักเรียนคิดต่อว่า เมื่อขดลวดของมอเตอร์หมุนในสนามแม่เหล็ก จะมีผลอย่างไรต่อขดลวดของมอเตอร์

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

2.1 ครูควรนำข้อมูลที่ได้จากการอภิปรายมาขยายผลให้ได้ความรู้ตามบทเรียน โดยทำการสาธิตการทำงานมอเตอร์และอธิบายเกี่ยวกับกระแสไฟฟ้าที่แอมมิเตอร์วัดได้ตามรูป 15.40 ในหนังสือเรียนทุกกรณี ให้นักเรียนสังเกตแล้วอภิปรายจนได้ข้อสรุปตามบทเรียนว่าเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับในมอเตอร์ หลังจากนั้นครูตั้งคำถามว่า เมื่อเราเคลื่อนขดลวดตัวนำในสนามแม่เหล็กแล้วเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น จะมีวิธีการนำกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นออกมาใช้ได้อย่างไร จากนั้นให้นักเรียนศึกษาจากการทำกิจกรรม 15.6

ตัวอย่างกิจกรรม 15.6 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. อธิบายได้ว่ากระแสไฟฟ้าที่ออกจากขั้ว D.C. ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงมีทิศทางเดียว
2. อธิบายได้ว่ากระแสไฟฟ้าที่ออกจากขั้ว A.C. ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับมีทิศทางสลับไปมา

เวลาที่ใช้ 50 นาที

วัสดุอุปกรณ์

รายการ	จำนวนต่อกลุ่ม (5 คน)
1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	1 เครื่อง
2. เครื่องตรวจทิศทางของกระแสไฟฟ้า	1 เครื่อง
3. สายไฟ	2 เส้น

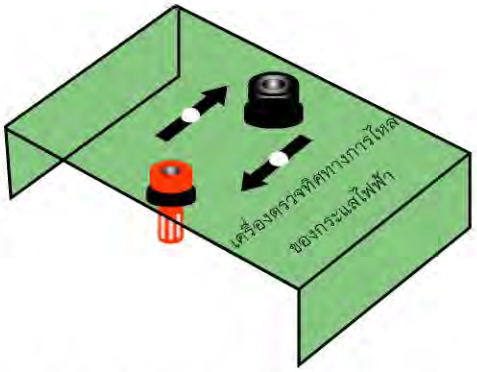
ข้อแนะนำก่อนการทำกิจกรรม

ครูแนะนำการใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเครื่องตรวจทิศทางของกระแสไฟฟ้า ดังนี้

1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าประกอบด้วยแท่งแม่เหล็กรูปตัวยู ระหว่างขั้วของแม่เหล็กมีขดลวดสี่เหลี่ยมซึ่งเป็นลวดทองแดงอาบฉนวนพันรอบกรอบโลหะสี่เหลี่ยม ปลายทั้งสองของขดลวดทองแดง จะยื่นออกมาจากกรอบโลหะสี่เหลี่ยมและทาบไปตามแกนหมุน ปลายทั้งสองของขดลวดทองแดงเชื่อมติดกับคอมมิวเทเตอร์ สำหรับเป็นทางให้กระแสเหนี่ยวนำจากขดลวดผ่านออกไป ส่วนคอมมิวเทเตอร์ติดอยู่กับขั้ว D.C. นอกจากนี้ปลายทั้งสองของขดลวดทองแดงยังเชื่อมติดกับวงแหวนปลายละวง วงแหวนทั้งสองติดอยู่กับขั้ว A.C. สำหรับเป็นทางให้กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำผ่านออกไปเช่นกัน

ขณะหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ควรใช้มือยึดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไว้ด้วย จะทำให้หมุนได้สะดวก และไม่ควรหมุนเร็วเกินไป เพราะจะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเสียหายได้

2. เครื่องตรวจทิศทางของกระแสไฟฟ้า ด้านบนเครื่องมีปุ่มพลาสติกกลมสีแดง 2 ปุ่ม คือ แอลอีดี (LED) บริเวณใกล้ๆ แอลอีดีทั้งสองจะมีเครื่องหมายลูกศร 2 อันชี้สวนทิศทางกันลูกศรแต่ละอันแสดงถึงทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่สามารถผ่านแอลอีดีแต่ละตัว แอลอีดีจะเปล่งแสงเมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่าน



รูป 15.28 เครื่องตรวจทิศทางของกระแสไฟฟ้า

เพื่อให้นักเรียนเข้าใจดีขึ้น ก่อนทำการทดลองให้นักเรียนตรวจทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่ออกจากแบตเตอรี่ว่าตรงกับทิศทางที่ลูกศรของแอลอีดีที่ระบุไว้หรือไม่ โดยให้ต่อแบตเตอรี่แรงเคลื่อนไฟฟ้าประมาณ 3 โวลต์ เข้ากับ LED ถ้าทิศทางของกระแสไฟฟ้าตรงกับหลอดใด LED หลอดนั้นก็จะสว่าง อีกหลอดหนึ่งไม่สว่าง จากนั้นถ้าสลับขั้วบวกและลบของแบตเตอรี่ จะพบว่าเกิดผลตรงข้ามกับครั้งแรก

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

1. เมื่อหมุนขดลวดไปทางทิศใดทิศหนึ่ง กระแสไฟฟ้าที่ออกจากขั้ว D.C. มีเพียงทิศทางเดียว
2. กระแสไฟฟ้าที่ออกจากขั้ว A.C. มีทิศทางสลับไปมา

วิเคราะห์ผลการทำกิจกรรม

ครูให้นักเรียนวิเคราะห์ผลการทดลอง ตามแนวคำถามท้ายกิจกรรม 15.6 ดังนี้

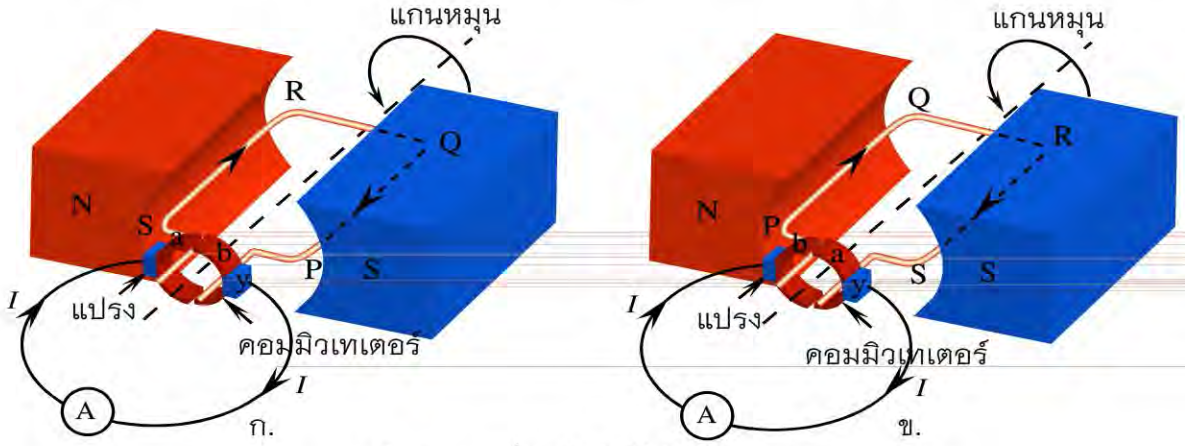
กรณีต่อสายไฟจากขั้ว D.C. ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับเครื่องตรวจทิศทางของกระแสไฟฟ้า เมื่อหมุนขดลวดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในทิศทางหนึ่ง ขดลวดจะเคลื่อนที่ตัดฟลักซ์แม่เหล็กทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำออกจากขั้ว D.C. ผ่านไปยังเครื่องตรวจทิศทางของกระแสไฟฟ้า และปรากฏว่าแอลอีดีตัวใดตัวหนึ่งเท่านั้นสว่าง และเมื่อหมุนขดลวดในทิศทางตรงข้าม แอลอีดีอีกตัวหนึ่งจะสว่าง แสดงว่าเมื่อหมุนขดลวดในทิศทางหนึ่ง ทิศทางของกระแสไฟฟ้าจากขั้ว D.C. มีเพียงทิศทางเดียว แต่เมื่อต่อสายไฟจากขั้ว A.C. ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าปรากฏว่า ตลอดเวลาที่หมุนขดลวด แอลอีดีทั้งสองจะสว่างสลับกัน แสดงว่าทิศทางของกระแสไฟฟ้าจากขั้ว A.C. มีทิศทางสลับไปมา

2.2 หลังจากอภิปรายผลการทำกิจกรรมแล้ว ครูให้ความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

2.3 จากนั้นครูให้นักเรียนศึกษารูป 15.41 กระแสตรงจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในหนังสือเรียน ซึ่งเป็นรูปที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในขดลวดกับเวลา ณ ตำแหน่งต่างๆ ของขดลวดที่หมุนในสนามแม่เหล็ก ครูอาจตั้งคำถามเพื่อให้เป็นแนวในการอภิปรายรูป 15.41 โดยใช้คำถามนำ คือ

- ถ้าเริ่มต้นพิจารณา ($t = 0$) ระนาบขดลวดขณะตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก (เวลา $t = 0$) แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีค่าเท่าใด (ศูนย์)
- ณ เวลา เมื่อหมุนไป $\frac{1}{4}$ รอบ(เวลา $\frac{T}{4}$) ระนาบขดลวดขนานกับสนามแม่เหล็ก ณ เวลาเมื่อหมุนไป $\frac{1}{2}$ รอบ(เวลา $\frac{T}{2}$) ระนาบขดลวดตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กอีกครั้ง ณ เวลา $\frac{3T}{4}$ ระนาบขดลวดขนานกับสนามแม่เหล็ก และ ณ เวลา T ระนาบขดลวดตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กอีกครั้งหนึ่ง แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในแต่ละเวลามีค่าเป็นอย่างไร (ค่ามากที่สุด ศูนย์ มากที่สุดและศูนย์ ตามลำดับ) ซึ่งจะเป็นไปตามกราฟระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับเวลา
- กราฟของแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับเวลาในช่วง 0 ถึง $\frac{T}{2}$ และ $\frac{T}{2}$ ถึง T มีลักษณะเป็นอย่างไร เพราะเหตุใด (เหมือนกันเพราะ ณ เวลา 0 กับ $\frac{T}{2}$ เวลา $\frac{T}{4}$ กับ $\frac{3T}{4}$ และเวลา $\frac{T}{2}$ กับ T แต่ละคู่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเท่ากัน และอีกประการหนึ่งเพราะเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีคอมมิวเทเตอร์และแปรง จึงทำให้ทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีเพียงทิศทางเดียว)
- ณ เวลา $\frac{T}{4}$ กับ $\frac{3T}{4}$ กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีทิศทางการเคลื่อนที่ในขดลวดอย่างไร (มีทิศทางจาก S ไป R กับ P ไป Q ตามลำดับ)

2.4 ครูอภิปรายเพิ่มเติมเกี่ยวกับไฟฟ้ากระแสตรงที่มีทิศทางเดียว ดังนี้



รูป 15.29 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

จากรูป 15.29 ก ขดลวด PQRS กำลังหมุนตามเข็มนาฬิกาและระนาบของขดลวดขนานกับสนามแม่เหล็ก โดยมีขดลวดส่วน SR อยู่ใกล้ขั้ว N ของแม่เหล็ก และกำลังเคลื่อนที่ในทิศทางขึ้น เมื่อใช้กฎมือขวาจะพบว่า กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นมีทิศทางจาก S ไป R ผ่าน Q ไป P และผ่านคอมมิวเทเตอร์ b ที่สัมผัสกับแปรง y แล้วออกสู่วงจรภายนอกที่มีแอมมิเตอร์ในทิศทาง ดังรูป 15.29 ก

เมื่อขดลวดหมุนต่อไป จนกระทั่งระนาบของขดลวดขนานกับสนามแม่เหล็กอีกครั้งหนึ่ง ทำให้มีขดลวดส่วน PQ อยู่ใกล้ขั้ว N ทำให้กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นมีทิศทางจาก P ไป Q ผ่าน R ไป S และผ่านคอมมิวเทเตอร์ a ซึ่งขณะนี้หมุนมาสัมผัสกับแปรง y ออกสู่วงจรภายนอกที่มีแอมมิเตอร์ ดังรูป 15.29 ข.

เมื่อหมุนขดลวดอย่างต่อเนื่อง จะได้ว่า กระแสไฟฟ้าที่ออกสู่วงจรภายนอกผ่านแอมมิเตอร์จะมีเพียงทิศทางเดียว หรือกล่าวได้ว่าทุกๆ ครึ่งรอบที่ขดลวดหมุนไป กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะมีทิศทางเดียวกัน ทำให้กระแสไฟฟ้าในช่วงเวลา $\frac{T}{2}$ ถึง T เหมือนกับช่วงเวลา 0 ถึง $\frac{T}{2}$ ดังรูป 15.41 ในหนังสือเรียน

2.5 ครูให้นักเรียนศึกษารูป 15.42 ในหนังสือเรียน ซึ่งเป็นกราฟของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับในช่วงเวลาหมุนครบรอบ จากการศึกษารูปนักเรียนควรสรุปได้ว่า ในช่วงเวลา 0 ถึง $\frac{T}{2}$ และ $\frac{T}{2}$ ถึง T กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะมีทิศทางตรงข้ามและกระแสไฟฟ้าจะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อระนาบของขดลวดตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก และกระแสไฟฟ้าจะมีค่ามากที่สุดเมื่อระนาบของขดลวดขนานกับสนามแม่เหล็ก

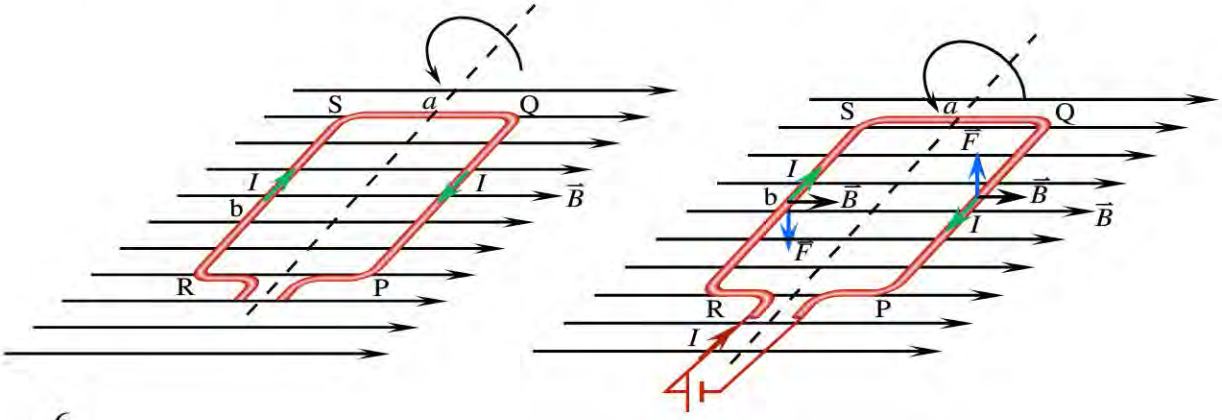
2.6 ครูควรให้นักเรียนได้เปรียบเทียบกราฟไฟฟ้ากระแสตรงกับกราฟไฟฟ้ากระแสสลับ โดยใช้รูป 15.41 และ 15.42 ในหนังสือเรียนประกอบ

2.7 ครูให้นักเรียนเปรียบเทียบกราฟกระแสไฟฟ้ากับเวลา และความต่างศักย์กับเวลาของไฟฟ้ากระแสสลับจากรูป 15.43 ในหนังสือเรียน จากนั้นครูให้ความรู้เรื่องความถี่และความต่างศักย์ของไฟฟ้ากระแสสลับของประเทศไทยและการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าอย่างถูกต้องตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

2.8 ครูให้ความรู้นักเรียนว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับทั่วไป นิยมใช้แท่งแม่เหล็กหมุนเพื่อให้ฟลักซ์แม่เหล็กตัดขดลวดตัวนำ ทั้งนี้เพราะต้องการตัดข้อยุ่งยากบางประการ ซึ่งได้แก่การที่ต้องมีวงแหวนลื่นและแปรงไฟฟ้าในวงจรจ่ายไฟออก ต่อจากนั้นครูให้ความรู้เกี่ยวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดังกล่าวตามหนังสือเรียนและให้นักเรียนมีส่วนร่วมอภิปราย

ข้อแนะนำเพิ่มเติมสำหรับครู

ในกรณีที่ขดลวดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุนตัดฟลักซ์แม่เหล็ก จะเกิดแรงต้านกับแรงที่ทำให้ขดลวดนั้นหมุน เราสามารถอธิบายการเกิดแรงต้านได้ ดังนี้ ถ้าให้ขดลวดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุนทวนเข็มนาฬิกาในสนามแม่เหล็ก $\vec{B}$ จะเกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ I ในขดลวดมีทิศทาง ดังรูป 15.30 ก. เมื่อพิจารณาขดลวดส่วน SR และ QP จะมีกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ I ผ่านในทิศทางจาก S ไป R และ Q ไป P ตามลำดับ



6.

ก. ข.

รูป 15.30 ทิศทางของแรงเนื่องจากกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำในบริเวณที่สนามแม่เหล็ก

เนื่องจากขดลวดทั้งสองส่วนอยู่ในสนามแม่เหล็ก ดังนั้น จะเกิดแรงคู่ควบกระทำกับขดลวดทั้งสองในทิศทางดังรูป 15.30 ข. ทำให้เกิดโมเมนต์ของแรงคู่ควบกับขดลวดในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งจะต้านการหมุนของขดลวด ถ้ายังคงให้ลวดหมุนตามเข็มนาฬิกาต่อไป

2.9 ครูให้ความรู้นักเรียนเกี่ยวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส โดยนำชุดสาธิตเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส มาแนะนำให้นักเรียนทราบว่า อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟสนี้มีขดลวดตัวนำ 3 ชุด แต่ละชุดวางทำมุม 120° ซึ่งกันและกัน ขดลวดตัวนำทั้งสามวางรอบแม่เหล็กซึ่งหมุนได้รอบในแนวระดับเมื่อใช้มือหมุนแป้นหมุน จากนั้นครูต่อสายไฟจากชุดสาธิตนี้กับแอลอีดี แล้วหมุนแม่เหล็ก จะปรากฏว่า แอลอีดีสว่าง ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ต่อไปครูให้นักเรียนศึกษากราฟระหว่างความต่างศักย์กับเวลาของขดลวดแต่ละชุดเมื่อหมุนแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส ครบ 1 รอบ เมื่อศึกษากราฟแล้ว ครูให้ความรู้เรื่องไฟฟ้า 3 เฟส รวมทั้งการผลิตและการส่งพลังงานไฟฟ้า ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน ซึ่งอาจแยกหัวข้อได้ดังนี้

1. การส่งพลังงานไฟฟ้าไปตามบ้านเรือน
2. ข้อดีของการผลิตและการส่งไฟฟ้า 3 เฟส

3. การใช้พลังงานความร้อนและพลังงานศักย์โน้มถ่วงของน้ำในการผลิตไฟฟ้า ในการให้ความรู้เกี่ยวกับพลังงานศักย์โน้มถ่วงของน้ำในการผลิตไฟฟ้า ให้ครูนำชุดสาธิตการผลิตไฟฟ้าจากพลังน้ำมาสาธิต
4. การส่งพลังงานไฟฟ้าต้องคำนึงถึงความต่างศักย์ที่เหมาะสม

2.10 ครูอภิปรายตัวอย่าง 15.5 เพื่อให้นักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับการส่งกำลังไฟฟ้า แล้วใช้ความรู้จากตัวอย่างกล่าวสรุปเพื่อนำเข้าสู่หัวข้อ 15.9 ว่า โรงไฟฟ้าจะส่งกำลังไฟฟ้าด้วยความต่างศักย์สูงมาก เมื่อถึงสถานีย่อยความต่างศักย์จะถูกลดลงและจะมีการลดความต่างศักย์ลงเหลือ 220 โวลต์ สำหรับใช้ตามบ้านเรือน อุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนความต่างศักย์นี้ คือ หม้อแปลง

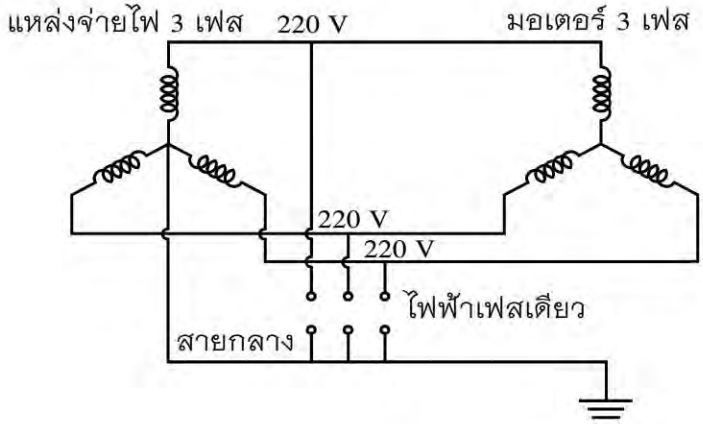
3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

ครูมอบหมายให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด คำถามข้อ 29 และปัญหาข้อ 13-14

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

การส่งกำลังไฟฟ้า

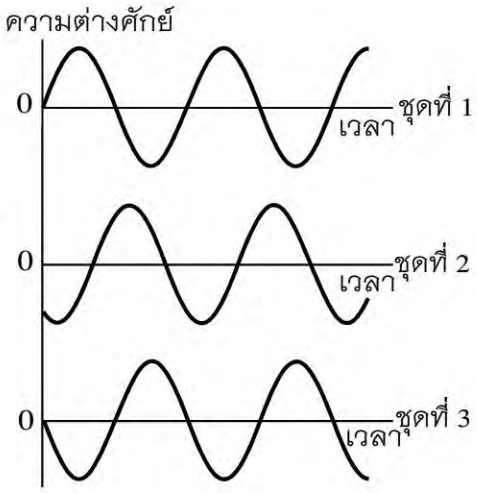
การส่งกำลังไฟฟ้าจากแหล่งผลิต (โรงไฟฟ้า เขื่อน) ด้วยความต่างศักย์ 230 000 โวลต์ จะส่งด้วยระบบไฟฟ้า 3 เฟส 3 สาย มายังหม้อแปลงที่จะจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับบ้านเรือน ความต่างศักย์จะถูกลดลงเหลือ 220 โวลต์ แล้วส่งแบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย (สายที่เพิ่มคือสายกลาง ซึ่งมีศักย์ไฟฟ้า 0 โวลต์ เทียบกับดิน) ไฟฟ้าที่ใช้ในบ้านเรือนจะต่อสายระหว่างสายใดสายหนึ่งของไฟฟ้า 3 เฟสกับสายกลาง ซึ่งจะได้ไฟฟ้าเฟสเดียว สำหรับโรงงานที่มีมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส จะต่อสายไฟฟ้า 3 เฟสเข้ากับมอเตอร์โดยตรง



รูป 15.31 การต่อไฟ 3 เฟส

พิจารณาความต่างศักย์ระหว่างสายคู่ใดคู่หนึ่งของไฟฟ้า 3 เฟส จะได้ความต่างศักย์สูงเป็น $\sqrt{3}$ เท่าของความต่างศักย์สูงสุดแต่ละสาย ซึ่งอาจแสดงด้วยกราฟได้ ดังนี้

จากกราฟจะเห็นว่า $V_2 = V_1$ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.73 หรือ $\sqrt{3}$ ของความต่างศักย์สูงสุดของแต่ละสาย



รูป 15.32 กราฟความต่างศักย์กับเวลาของไฟฟ้า 3 เฟส

15.9 หม้อแปลง

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. อธิบายส่วนประกอบและหลักการทำงานของหม้อแปลง
2. อธิบายการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในหม้อแปลง และขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวด
3. อธิบายส่วนประกอบและหลักการทำงานของวงจรเปลี่ยนกระแสสลับเป็นกระแสตรง

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายความรู้เกี่ยวกับหม้อแปลงในชีวิตประจำวัน

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

2.1 ครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 15.7 แล้วอภิปรายร่วมกันโดยใช้คำถามท้ายกิจกรรม

ตัวอย่างกิจกรรม 15.7 หม้อแปลง

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. อธิบายได้ว่า เมื่อไฟฟ้ากระแสตรงค่าคงตัวผ่านขดลวดขดที่หนึ่ง จะไม่มีกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดขดที่สอง
2. อธิบายได้ว่า เมื่อไฟฟ้ากระแสสลับผ่านขดลวดขดที่หนึ่ง จะมีกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดขดที่สอง

3. อธิบายได้ว่า ความสว่างของหลอดไฟที่ต่อกับขดลวดขดที่สอง ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของจำนวนรอบของขดลวดทั้งสอง

เวลาที่ใช้ 50 นาที

วัสดุอุปกรณ์

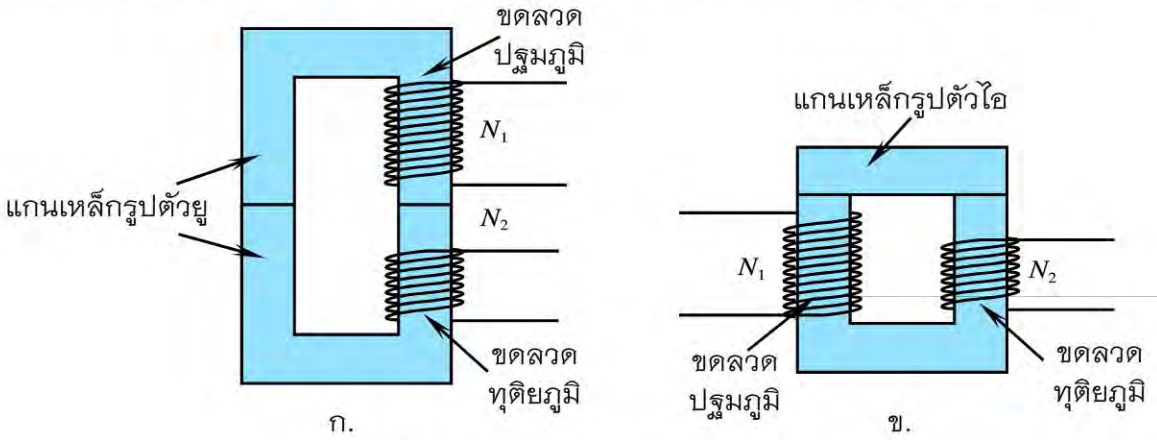
รายการ	จำนวนต่อกลุ่ม (5 คน)
1. หม้อแปลงโวลต์ต่ำ	1 เครื่อง
2. ขดลวด 100 รอบ	1 ขด
3. ขดลวด 200 รอบ	1 ขด
4. แกนเหล็กรูปตัวยู	1 อัน
5. แบตเตอรี่ 4 ก้อน พร้อมกระบะ	1 ชุด
6. หลอดไฟ 6 โวลต์ พร้อมฐาน	1 ชุด
7. สายไฟ	4 เส้น

ข้อแนะนำก่อนการทำกิจกรรม

1. ก่อนต่อวงจรเพื่อทำกิจกรรม ให้นักเรียนใช้กระดาษทรายอย่างละเอียดขัดบริเวณปลายลวดทั้งสองของขดลวดทั้ง 2 ขด เพื่อให้ฉนวนที่เคลือบเส้นลวดหลุดออกไป จากนั้นให้นำหลอดไฟ 6 โวลต์ ต่อกับแบตเตอรี่ 6 โวลต์ เพื่อตรวจสอบว่าหลอดไฟสว่างหรือไม่

2. ระวังการต่อปลายทั้งสองของขดลวดกับสายไฟ เนื่องจากเส้นลวดหักได้ง่าย

3. ถ้าในกล่องชุดทดลองมีแกนเหล็กรูปตัวยูสองอัน ให้สวมขดลวดแต่ละขดเข้ากับแกนเหล็กรูปตัวยูแต่ละอัน แล้วนำแกนเหล็กทั้งสองมาประกอบกัน ดังรูป 15.33 ก.



รูป 15.33 การนำแกนเหล็กมาประกอบกัน

4. ถ้าในกล่องชุดทดลองมีแกนเหล็กรูปตัวยูและตัวไออย่างละ 1 อัน ให้สวมขดลวดทั้งสองกับแกนเหล็กรูปตัวยู แล้วนำแกนเหล็กรูปตัวไอมาประกอบ ดังรูป 15.33 ข.

5. ในการต่อขดลวดเข้ากับแบตเตอรี่หรือหม้อแปลงแต่ละครั้ง ไม่ควรให้กระแสไฟฟ้าผ่านขดลวดเกินครึ่งนาที

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

1. เมื่อไฟฟ้ากระแสตรงผ่านขดลวดขดแรก จะไม่มีกระแสเหนี่ยวนำเกิดขึ้นในขดลวดขดที่สอง สังเกตได้ว่าหลอดไฟไม่สว่าง

2. เมื่อไฟฟ้ากระแสสลับผ่านขดลวดขดแรก จะมีกระแสเหนี่ยวนำเกิดขึ้นในขดลวดขดที่สอง สังเกตได้ว่าหลอดไฟสว่าง

3. หลอดไฟที่ต่อกับขดลวด 200 รอบ จะสว่างกว่าหลอดไฟที่ต่อกับขดลวด 100 รอบ

วิเคราะห์ผลการทำกิจกรรม

ครูให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายเป็นกลุ่มเพื่อหาผลสรุป โดยใช้แนวคำถามท้ายกิจกรรม 15.7 ในหนังสือเรียน แล้วลงข้อสรุป ซึ่งควรได้ข้อสรุปต่อไปนี้

หลอดไฟที่ต่อกับขดลวดขดที่สองจะสว่าง เมื่อมีไฟฟ้ากระแสสลับผ่านขดลวดแรกเท่านั้น เพราะไฟฟ้ากระแสสลับนี้ จะทำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงผ่านไปยังขดลวดขดที่สอง เป็นเหตุให้เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นและถ้ามีการเปลี่ยนแปลงจำนวนรอบของขดลวดที่สองจะพบว่าความสว่างของหลอดไฟเปลี่ยนไป กล่าวคือความสว่างของหลอดไฟเมื่อต่อกับขดลวด 200 รอบจะสว่างกว่า แสดงว่ากระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวด 200 รอบมากกว่าในขดลวด 100 รอบ

ข้อแนะนำเพิ่มเติมสำหรับครู

การทดลองจะได้ผลดี ถ้าแกนเหล็กทั้งสองประกบกันแน่น (ซึ่งอาจใช้มือกดหรือใช้ที่ยึด) เพื่อให้ฟลักซ์แม่เหล็กจากแกนอันที่หนึ่งผ่านไปยังแกนอันที่สองได้เต็มที่

2.2 ครูให้ความรู้นักเรียนเกี่ยวกับขดลวดปฐมภูมิ ขดลวดทุติยภูมิ และความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้าของขดลวดกับจำนวนรอบของขดลวดทั้งสองตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จนได้ความสัมพันธ์ตามสมการ $\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$

2.3 ต่อจากนั้น ครูให้ความรู้เกี่ยวกับหม้อแปลงขึ้น หม้อแปลงลง หลักการทำงานของหม้อแปลง การนำหม้อแปลงไปใช้งาน กระแสวน การลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าเป็นความร้อนในแกนเหล็กอันเนื่องจากกระแสวนและฮีสเทอริซิส การที่นำหม้อแปลงไปใช้ในเครื่องใช้ไฟฟ้าบางชนิดและการเกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำสูง ตามรายละเอียดในบทเรียน

2.4 ครูอภิปรายเกี่ยวกับเครื่องใช้ไฟฟ้าหลายประเภทใช้พลังงานจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง แต่ไฟฟ้าที่เข้าสู่บ้านเรือนเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ จึงต้องมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง เรียกว่า **วงจรเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง** จากนั้นครูให้ความรู้เกี่ยวกับหลักการทำงานของวงจรดังกล่าว ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

3.1 ครูให้นักเรียนตอบคำถามเกี่ยวกับหม้อแปลงโดยใช้การระดมความคิด

- ขดลวดตัวนำที่ใช้ในเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เครื่องเชื่อมไฟฟ้า เป็นต้น ต้องเป็นสายทองแดงที่มีฉนวนหุ้มหรือไม่ เพราะเหตุใด (ต้องมีฉนวนหุ้ม ถ้าไม่มีฉนวนหุ้มจะทำให้ไฟฟ้าลัดวงจร)
- การเลือกใช้หม้อแปลง นอกจากจะพิจารณาความต่างศักย์แล้ว ต้องพิจารณาสิ่งใดประกอบอีก (สิ่งที่ต้องพิจารณาประกอบอีกคือ กำลังไฟฟ้า เพราะถ้ากำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงน้อยกว่าของเครื่องใช้ไฟฟ้าแล้ว จะเกิดความเสียหายกับหม้อแปลงนั้น จะทำให้ลวดตัวนำในหม้อแปลงร้อนและอาจไหม้ได้ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าเป็นตัวกำหนดกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่หม้อแปลงจะจ่ายให้เครื่องใช้ไฟฟ้า ในกรณีที่กำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้มากกว่า ย่อมต้องการกระแสไฟฟ้ามากด้วย ดังนั้น ย่อมมีกระแสไฟฟ้าผ่านเส้นลวดในหม้อแปลงมากเกินค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดของหม้อแปลง อาจทำให้เส้นลวดร้อนและไหม้ได้)

3.2 ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด คำถามข้อ 30 และปัญหาข้อ 15-16

15.10 ค่าของปริมาณที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้ากระแสสลับ

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. บอกลักษณะของกราฟระหว่างความต่างศักย์กับเวลา ของวงจรที่ต่อตัวต้านทานกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ
2. สรุปความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับเวลา และความต่างศักย์กับเวลาที่มีการเปลี่ยนค่าในรูปฟังก์ชันไซน์ได้
3. อธิบายค่ายังผล ค่ามิเตอร์ของความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าสลับได้

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูทบทวนความรู้เรื่องไฟฟ้ากระแสสลับ จากรูป 15.43 ในหนังสือเรียน ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับเวลา และความต่างศักย์กับเวลา

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

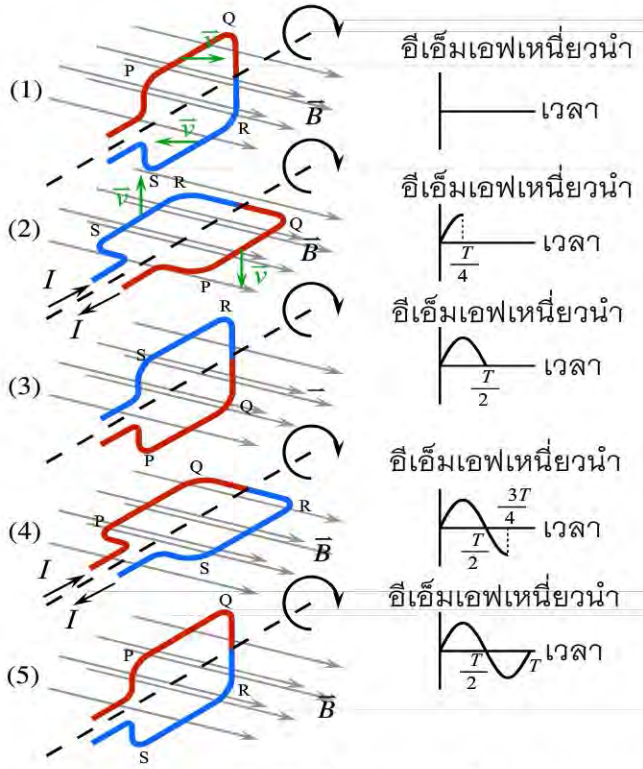
2.1 ครูให้ความรู้ว่า การเปลี่ยนค่าของกระแสไฟฟ้าและการเปลี่ยนค่าของความต่างศักย์ตามเวลาเป็นการเปลี่ยนค่าในรูปฟังก์ชันไซน์ และแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำก็เป็นเช่นเดียวกัน ซึ่งสามารถใช้กฎของฟาราเดย์และกฎของเลนซ์ แสดงให้เห็นได้เป็น

$$e = E_m \sin \omega t$$

จากนั้นครูให้ความรู้นักเรียนตามรายละเอียดในหนังสือเรียน และให้ครูเน้นว่า ω เป็นความถี่เชิงมุม ซึ่งเท่ากับอัตราเร็วเชิงมุมของการหมุนของขดลวดเป็นค่าคงตัว f ซึ่งเป็นความถี่ของการหมุนของขดลวดก็คือความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับ การที่พิจารณา ω เป็นความถี่เชิงมุมเนื่องจากค่าของแรงเคลื่อนไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเป็นคลื่นตามฟังก์ชันคลื่นไซน์

ข้อแนะนำเพิ่มเติมสำหรับครู

ในการอธิบายเพื่อแสดงให้เห็นว่า การเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากการหมุนขดลวดในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนั้นมีการเปลี่ยนค่าตามเวลา ขึ้นกับอัตราการเปลี่ยนฟลักซ์แม่เหล็กที่ตัดขดลวดมีลักษณะเป็นกราฟไซน์ ดังรูป 15.42 ในหนังสือเรียนนั้นสามารถอธิบายได้ดังนี้



รูป 15.34 (1) (2) (3) (4) และ (5) การเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเมื่อหมุนขดลวดด้วยอัตราเร็วเชิงมุม

จากรูป 15.34 ขดลวด PQRS หมุนตามเข็มนาฬิกาในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ $\bar{B}$ ในรูป (1) ที่เวลา $t = 0$ ระนาบของขดลวดตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก เมื่อพิจารณาขดลวดด้าน PQ ทิศทางของความเร็วของขดลวดด้าน PQ ขนานกับทิศทางของสนามแม่เหล็ก จึงไม่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้น นั่นคือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าในขดลวดมีค่าเป็นศูนย์

เมื่อระนาบของขดลวดหมุนไปเป็นมุม θ จากแนวเดิม ขณะนั้นความเร็วของขดลวดด้าน PQ เท่ากับ v และทิศทางของความเร็วจะทำมุมกับทิศทางของสนามแม่เหล็ก โดยมีองค์ประกอบของความเร็วที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กเท่ากับ $v\sin\theta$ จึงมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นในขดลวด และแรงเคลื่อนไฟฟ้านี้ขึ้นกับอัตราการเปลี่ยนฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดจากการหมุนขดลวดตัดสนามแม่เหล็ก จากกฎของฟาราเดย์ จะได้อัตราการเปลี่ยนฟลักซ์แม่เหล็กแปรผันตรงกับองค์ประกอบของความเร็วในการหมุนขดลวด $v\sin\theta$ แต่เนื่องจาก v มีค่าคงตัว (เพราะω มีค่าคงตัว) ดังนั้นแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจึงเปลี่ยนไปตามค่าของ $\sin\theta$ โดยมีค่าสูงสุดเมื่อ $\sin\theta = 1$ หรือ $\theta = 90^\circ$ ที่เวลา $t = \frac{T}{4}$ ดังรูป (2) เมื่อขดลวดหมุนต่อไป แรงเคลื่อนไฟฟ้าจะมีค่าลดลงและเป็นศูนย์อีกครั้งเมื่อ $\theta = 180^\circ$ ที่เวลา $t = \frac{T}{2}$ ดังรูป (3) จากนั้นแรงเคลื่อนไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงสุดอีกครั้งหนึ่งเมื่อ $\theta = 270^\circ$ ที่เวลา $t = \frac{3T}{4}$ ดังรูป (4) และแรงเคลื่อนไฟฟ้าจะมีค่าลดลงจนเป็นศูนย์อีกครั้งเมื่อ $\theta = 360^\circ$ ที่เวลา $t = T$ ซึ่งขดลวดหมุนครบหนึ่งรอบ ดังรูป (5) จะเห็นว่า ค่าของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง ดังรูป 15.34 (1) (2) (3) (4) และ (5) ตามลำดับ

นั่นคือ ในการหมุนขดลวดในสนามแม่เหล็ก

เมื่อให้ E_m เป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำสูงสุด

e เป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเมื่อขดลวดอยู่ที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง

θ เป็นมุมที่ระนาบของขดลวดหมุนไปจากตำแหน่งเริ่มต้นที่พื้นผิวของระนาบตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก

จะพิจารณาได้ว่า $e = E_m \sin\theta$

$e = E_m \sin\omega t$

เมื่อ t เป็นเวลาที่ใช้ในการหมุน โดย $\theta = \omega t$

2.2 จากนั้น ครูให้ความรู้นักเรียนเกี่ยวกับกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนค่าตามเวลาในรูปฟังก์ชันไซน์ คือ $i = I_m \sin\omega t$ ค่ายังผลหรือค่ามิเตอร์ของกระแสไฟฟ้าหรือความต่างศักย์ ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน ซึ่งจะได้ข้อสรุปดังนี้

1. กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ของไฟฟ้ากระแสสลับมีค่าเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาจากค่าศูนย์ถึงค่าสูงสุดคือ I_m และ V_m ซึ่งจะใช้มิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์เดียวกันกับที่ใช้ในการวัดวงจรกระแสตรงไม่ได้ เพราะเข็มของมิเตอร์จะแกว่ง อ่านค่าได้ไม่ทันกับค่าแต่ละขณะ

2. มิเตอร์ที่ใช้วัดกระแสไฟฟ้าหรือความต่างศักย์ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ มีการออกแบบสำหรับใช้วัดเป็นค่าของกระแสไฟฟ้าหรือความต่างศักย์ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงที่ทำให้ตัวต้านทานเดียวกันมีพลังงานความร้อนเท่ากันในเวลาเท่ากัน โดยค่าที่วัดได้นี้ เรียกว่า **ค่ายังผล** ซึ่งค่านี้วัดได้จากมิเตอร์ จึงเรียกว่า **ค่ามิเตอร์**

3. ค่ายังผลหรือค่ามิเตอร์ของกระแสไฟฟ้า หาได้จาก

จะได้ $$I_{rms} = \sqrt{(i^2)_{\text{เฉลี่ย}}}$$

เมื่อ I_{rms} เป็นค่ายังผลหรือค่ามิเตอร์และ i เป็นค่าของกระแสไฟฟ้าขณะหนึ่ง

4. $\sqrt{(i^2)_{\text{เฉลี่ย}}}$ คือรากที่สองของค่าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้ายกกำลังสองมีสัญลักษณ์ I_{rms}

ซึ่งในกรณี $$i = I_m \sin \omega t$$

จะได้ $$I_{rms} = 0.707\ I_m$$

หรือค่ายังผล $$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707\ V_m$$

2.3 ครูอภิปรายตัวอย่าง 15.6 เพื่อให้นักเรียนสามารถหากระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

ครูมอบหมายให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด ปัญหาข้อ 17

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

ค่ายังผลของปริมาณที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้ากระแสสลับ

ตามรายละเอียดในหนังสือเรียนนั้น ได้มีการเปรียบเทียบให้เห็นว่าค่ายังผลหรือค่ามิเตอร์ของกระแสไฟฟ้า I_{rms} นั้นคือกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่เท่ากับค่าที่วัดได้จากวงจรไฟฟ้ากระแสตรง ที่มีตัวต้านทานตัวเดียวกับตัวต้านทานที่ต่อกับวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ คือ ตัวต้านทานมีความต้านทานค่าเดียวกัน (หรือเหมือนกันทุกประการ) มีพลังงานความร้อนเท่ากันในเวลาเท่ากัน อาจใช้วิธีอินติเกรต หาได้ดังนี้

ถ้าให้ R เป็นความต้านทาน และ W เป็นพลังงานความร้อนในตัวต้านทาน

พิจารณาเมื่อกระแสไฟฟ้าสลับ $i = I_m \sin \omega t$ ผ่านตัวต้านทาน R ในช่วงเวลา 1 รอบ คือ T

$$dW = i^2 R\, dt$$

$$dW = (I_m \sin \omega t)^2 R\, dt$$

$$\int_0^W dW = \int_0^T I_m^2 R \sin^2 \omega t \, dt$$

$$W = \frac{I_m^2 R}{\omega} \int_0^T \sin^2 \omega t \; d\omega t$$

จาก $$\int \sin^2 \theta \, d\theta = \frac{\theta}{2} - \frac{\sin 2\theta}{4}$$

จะได้ $$W = \frac{I_m^2 R}{\omega} \left[\frac{\omega t}{2} - \frac{\sin 2\omega t}{4} \right]_0^T$$

$$W = \frac{I_m^2 R}{\omega} \left[\frac{\omega T}{2} - 0 - 0 - 0 \right]$$

$$W = \frac{I_m^2 RT}{2}$$

คิดตอนกระแสไฟฟ้าตรง I_{rms} (ค่ายังผล) ผ่านตัวต้านทานที่มีความต้านทาน R เดียวกัน ในเวลา T เกิดความร้อนจำนวนเดียวกัน

$$W = I_{rms}^2 RT$$

จากคำจำกัดความของค่ายังผลของกระแสไฟฟ้าสลับ ปริมาณความร้อนทั้งสองนี้เท่ากัน

$$I_{rms}^2 RT = \frac{I_m^2 RT}{2}$$

$$I_{rms}^2 = \frac{I_m^2}{2}$$

ดังนั้น ค่ายังผล $$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707 \, I_m$$

ในทำนองเดียวกัน ความต่างศักย์ $v = V_m \sin \omega t$ โดย V_m เป็นค่าสูงสุด จะหาค่ายังผลได้เป็นรูปเดียวกัน คือ ถ้า V เป็นค่ายังผลของความต่างศักย์จะได้

$$v_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0.707 \, V_m$$

15.10.1 ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำในวงจรกระแสสลับ

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. อธิบายความหมายความต้านทาน ความต้านเชิงความจุ ความต้านเชิงความเหนี่ยวนำของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ เมื่อต่อตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ
2. หาความสัมพันธ์ของความต้านทานเชิงความจุ และความต้านเชิงความเหนี่ยวนำ
3. บอกเฟสของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ เมื่อต่อวงจรกระแสไฟฟ้าสลับกับตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำ

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูนำเข้าสู่บทเรียน โดยให้ความรู้นักเรียนว่า ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำเป็นส่วนประกอบของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ จากนั้นตั้งคำถามถามนักเรียนว่า ถ้าต่ออุปกรณ์เข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ระหว่างปลายทั้งสองของแต่ละอุปกรณ์จะมีความสัมพันธ์กันอย่างไร

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

2.1 ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายหาความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ v กับกระแสไฟฟ้า i ของตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1. ตัวต้านทานในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

- อัตราส่วนของความต่างศักย์ต่อกระแสไฟฟ้าเป็นไปตามกฎของโอห์ม ดังสมการ

$$R = \frac{V_m}{I_m} \quad \text{หรือ} \quad R = \frac{V_{rms}}{I_{rms}}$$

- กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์มีเฟสเดียวกัน

2. ตัวเก็บประจุในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

- อัตราส่วนระหว่างความต่างศักย์ต่อกระแสไฟฟ้าเป็นไปตามสมการ

$$X_C = \frac{V_{rms}}{I_{rms}}$$

- กระแสไฟฟ้าผ่านตัวเก็บประจุมีเฟสนำความต่างศักย์คร่อมตัวเก็บประจุ $\frac{\pi}{2}$ เรเดียน

3. ตัวเหนี่ยวนำในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

- อัตราส่วนของความต่างศักย์ต่อกระแสไฟฟ้าเป็นไปตามสมการ $X_L = \dfrac{V_{\text{rms}}}{I_{\text{rms}}}$
- กระแสไฟฟ้าผ่านตัวเหนี่ยวนำมีเฟสตามความต่างศักย์คร่อมตัวเหนี่ยวนำ $\dfrac{\pi}{2}$ เรเดียน

2.2 ครูให้ความรู้เกี่ยวกับ X_C และ X_L ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน ดังสมการ (15.19) $X_C = \dfrac{1}{\omega C}$ และสมการ (15.21) $X_L = \omega L$ พร้อมทั้งนำอภิปรายความหมายที่เกี่ยวข้องในแต่ละสมการ

2.3 ครูสรุปความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ที่ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำในวงจรกระแสสลับ ดังตาราง 15.2 ในหนังสือเรียน เพื่อให้นักเรียนเข้าใจเรื่องนี้ได้ดียิ่งขึ้น

2.4 ครูอภิปรายตัวอย่าง 15.7 เพื่อให้นักเรียนเข้าใจการหาปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องจากวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

3.1 เพื่อตรวจสอบความเข้าใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับเวลา และความต่างศักย์กับเวลาในที่ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำ ครูให้นักเรียนแต่ละคนตอบคำถามต่อไปนี้ด้วยตนเอง

คำถาม ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ ให้เขียนความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับเวลา ความต่างศักย์กับเวลาที่ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำ ให้อยู่ในรูปฟังก์ชันไซน์

ก. เมื่อกระแสไฟฟ้าที่ผ่าน ณ เวลา t ใดๆ $i = I_{\text{m}} \sin(\omega t + \theta_i)$ โดย θ_i เป็นเฟส เมื่อ $t = 0$

ข. เมื่อความต่างศักย์ระหว่างปลาย ณ เวลา t ใดๆ $v = V_{\text{m}} \sin(\omega t + \theta_v)$ โดย θ_v เป็นเฟส เมื่อ $t = 0$

แนวคำตอบ ก.

ตัวต้านทาน จาก $i = I_{\text{m}} \sin(\omega t + \theta_i)$

เนื่องจาก v_R มีเฟสเดียวกับ i_R ดังนั้น $v_R = V_{\text{m}} \sin(\omega t + \theta_i)$

ตัวเก็บประจุ จาก $i = I_{\text{m}} \sin(\omega t + \theta_i)$

เนื่องจาก v_C มีเฟสตาม i_C ดังนั้น $v_C = V_{\text{m}} \sin(\omega t + \theta_i - \dfrac{\pi}{2})$

ตัวเหนี่ยวนำ จาก $i = I_{\text{m}} \sin(\omega t + \theta_i)$

เนื่องจาก v_L มีเฟสนำ i_L ดังนั้น $v_L = V_{\text{m}} \sin(\omega t + \theta_i + \dfrac{\pi}{2})$

แนวคำตอบ ข.

ตัวต้านทาน จาก $v = V_m \sin(\omega t + \theta_v)$ ดังนั้น $i_R = I_m \sin(\omega t + \theta_v)$

ตัวเก็บประจุ จาก $v = V_m \sin(\omega t + \theta_v)$ ดังนั้น $i_C = I_m \sin(\omega t + \theta_v + \frac{\pi}{2})$

ตัวเหนี่ยวนำ จาก $v = V_m \sin(\omega t + \theta_v)$ ดังนั้น $i_L = I_m \sin(\omega t + \theta_v - \frac{\pi}{2})$

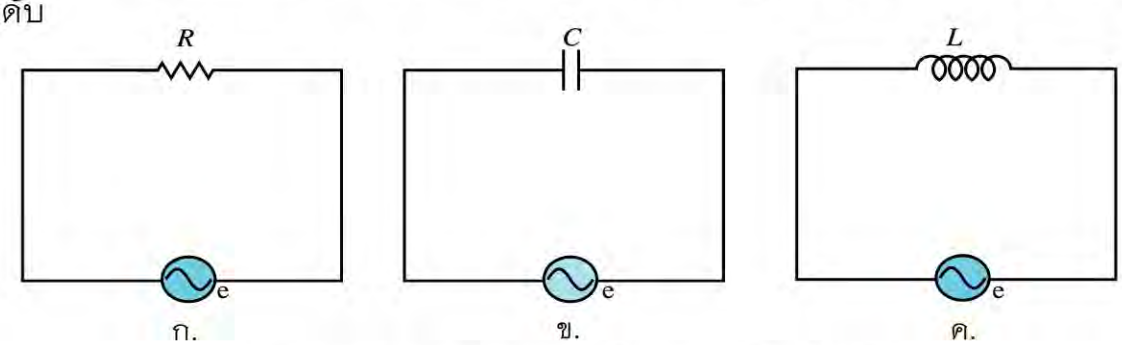
3.2 ครูมอบหมายให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด ปัญหาข้อ 18-21

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

ความต่างเฟส

การพิจารณาเฟสระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ของตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำในแต่ละวงจรทำได้ดังนี้

พิจารณาวงจรไฟฟ้ากระแสสลับเบื้องต้น ซึ่งประกอบด้วยตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำที่ต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ดังรูป 15.35 ก ข และ ค ตามลำดับ



รูป 15.35 ก ข และ ค วงจรไฟฟ้ากระแสสลับเบื้องต้น

ให้ความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ ณ เวลา ณ เวลา t ใดๆ v_R ,v_C และv_L ตามลำดับ และกระแสไฟฟ้าที่ผ่านอุปกรณ์แต่ละตัว ณ เวลา t ใดๆ i_R , i_C และ i_Lตามลำดับ จะหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ ณ เวลา t ใดๆ ในแต่ละวงจรได้ดังนี้

ในวงจรที่มีตัวต้านทาน จากสมบัติความต้านทานซึ่งเป็นไปตามกฎของโอห์ม จะได้

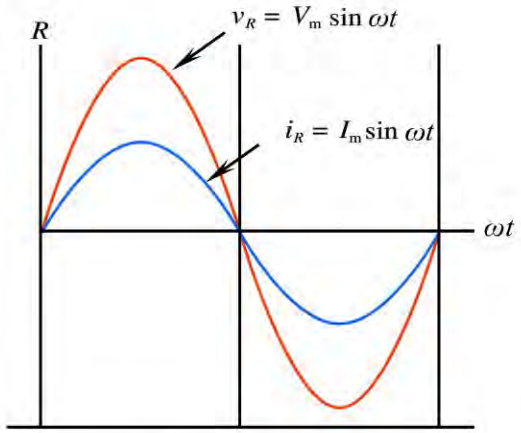
$$i_R = \frac{v_R}{R}$$

ถ้า $v_R = V_m \sin \omega t$

ดังนั้น $i_R = \frac{V_m}{R} \sin \omega t$

หรือ $i_R = I_m \sin \omega t$ เมื่อ $I_m = \frac{V_m}{R}$

จากความต่างศักย์ V_R และกระแสไฟฟ้า i_R ที่ได้ จะเห็นว่าค่าทั้งสองแปรผันตรงกับ $\sin \omega t$ แสดงว่าทั้งกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์จะมีการเปลี่ยนค่าด้วยความถี่เท่ากัน โดยมีค่าเป็นศูนย์พร้อมกันและมีค่าสูงสุดพร้อมกัน นั่นคือ มีเฟสตรงกัน ดังกราฟในรูป 15.36 นอกจากนี้ $I_m = \frac{V_m}{R}$ และ I_m , V_m สัมพันธ์กับค่ามิเตอร์ตามสมการ $I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ และ $V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$ จะได้ $I_{rms} = \frac{V}{R}$ แสดงว่า ค่ามิเตอร์ของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานแปรผันตรงกับค่ามิเตอร์ของความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวต้านทาน นั่นคือ กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์มีความสัมพันธ์ตรงกับผลสรุปที่ได้จากสถานการณ์ข้างต้น



รูป 15.36 กราฟกระแสไฟฟ้ากับเวลาและความต่างศักย์กับเวลาของตัวต้านทานในวงจรกระแสสลับ

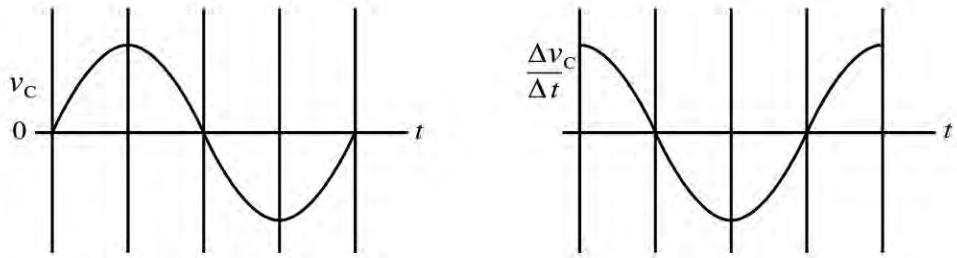
ในวงจรที่มีตัวเก็บประจุ เมื่อความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวเก็บประจุ ณ เวลา t ใดๆ เป็น v_C จะมีประจุสะสมในตัวเก็บประจุ q ซึ่ง $q = Cv_C$ ดังนั้นในขณะหนึ่งจะมีกระแสไฟฟ้าในวงจรเข้าสู่ตัวเก็บประจุเป็น i_C

$$i_C = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad \text{โดยพิจารณาในช่วงเวลา } \Delta t \to 0$$

$$i_C = \frac{\Delta(Cv_C)}{\Delta t}$$

$$i_C = \frac{C\Delta v_C}{\Delta t}$$

$\frac{\Delta v_C}{\Delta t}$ เป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ (เทียบกับเวลา) จะมีขนาดเท่ากับความชันของเส้นกราฟระหว่างความต่างศักย์ v_C กับเวลา t ในกรณีความต่างศักย์ $v_C = V_m \sin \omega t$ ซึ่งจะได้กราฟ ดังรูป 15.37 ก. ความชันของกราฟมีลักษณะดังรูป 15.37 ข.



ก. ข.

รูป 15.37 ก ข กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง v_C กับ t และ $\frac{\Delta v_C}{\Delta t}$ กับ t ของตัวเก็บประจุ

กราฟในรูป 15.7 ก ข มีลักษณะเช่นเดียวกับกราฟระหว่างการกระจัดกับเวลา และความเร็วกับเวลาของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย จากการศึกษาการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย เราทราบแล้วว่า ความเร็วสูงสุด V_m มีความสัมพันธ์กับการกระจัดสูงสุด X_m เป็นไปตามสมการ $V_m = \omega X_m$

ความเร็ว v มีเฟสนำการกระจัด x เป็นมุม $\frac{\pi}{2}$ เรเดียน ดังนั้น ถ้าพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ของตัวเก็บประจุ v_C กับอัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ $\frac{\Delta v_C}{\Delta t}$ มีเฟสนำความต่างศักย์ v_C เป็นมุม $\frac{\pi}{2}$ เรเดียน

จาก $$v_C = V_m \sin \omega t$$

จะเขียนได้ว่า $$\frac{\Delta v_C}{\Delta t} = \omega V_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

แทนค่าที่ได้นี้ในสมการ $$i_C = \frac{C\Delta v_C}{\Delta t}$$

จะได้ $$i_C = C\omega V_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

$$i_C = I_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

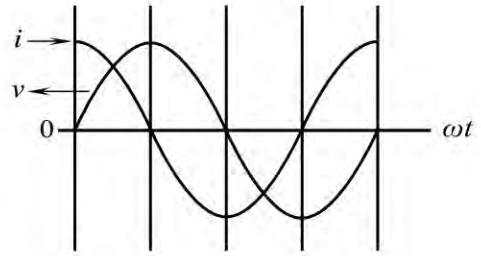
ดังนั้น $$I_m = C\omega V_m$$

หรือ $I_m = \frac{V_m}{\frac{1}{\omega C}}$ เป็นกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ผ่านเข้าไปในตัวเก็บประจุ ซึ่งอาจเขียนได้เป็น

$$I_m = \frac{V_m}{X_C} \quad \text{เมื่อ} \quad X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

X_C เรียกว่า ความต้านเชิงความจุ มีหน่วยโอห์ม เช่นเดียวกับหน่วยของความต้านทาน

จะเห็นว่าความต่างศักย์ v_C และกระแสไฟฟ้า i_C มีการเปลี่ยนแปลงค่าตามเวลาในรูปฟังก์ชันไซน์ด้วยความถี่เท่ากัน แต่มีค่าเป็นศูนย์ไม่พร้อมกัน หรือมีค่ามากที่สุดไม่พร้อมกัน นั่นคือ v_C กับ i_C มีเฟสไม่ตรงกัน จะเห็นว่ากระแส i_C มีเฟสนำความต่างศักย์ v_C เป็นมุม $\frac{\pi}{2}$ เรเดียน ดังรูป 15.38



รูป 15.38 กราฟกระแสกับเวลาและความต่างศักย์กับเวลาของตัวเก็บประจุในวงจรกระแสสลับ

สำหรับค่าสูงสุดของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ยังคงมีค่าเป็นไปตามกฎของโอห์ม ซึ่งนำมาใช้สรุปได้ว่า ค่ามิเตอร์ของกระแสไฟฟ้าส่วนที่ผ่านตัวเก็บประจุ และค่ามิเตอร์ของความต่างศักย์ที่มีกระแสสลับผ่านตัวเก็บประจุมีความสัมพันธ์สอดคล้องตามกฎของโอห์ม

ในวงจรที่มีตัวเหนี่ยวนำ จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$v_L = \frac{L\Delta i_L}{\Delta t}$$

เมื่อพิจารณา i_L กับ $\frac{\Delta i_L}{\Delta t}$ ทำนองเดียวกับการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง v_C กับ $\frac{\Delta v_C}{\Delta t}$

จะได้ว่า ถ้า $i_L = I_m \sin \omega t$ แล้ว $\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \omega I_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$

จาก $$v_L = \frac{L\Delta i_L}{\Delta t}$$

จะได้ $$v_L = L\left[\omega I_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})\right]$$

$$v_L = (\omega L) I_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

ดังนั้น $V_m = (\omega L) I_m$ ซึ่งอาจเขียนได้อีกรูปหนึ่งเป็น

$V_m = X_L I_m$ โดย $X_L = \omega L = (2\pi f) L$

X_L เรียกว่า ความต้านเชิงความเหนี่ยวนำ มีหน่วยโอห์มเช่นเดียวกับของความต้านทาน

จะเห็นว่าความสัมพันธ์ของ v_L กับ i_L เรานำมาสรุปได้เช่นกันว่า กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์มีการเปลี่ยนค่าตามเวลาเป็นฟังก์ชันไซน์ด้วยความถี่เท่ากันแต่เฟสไม่ตรงกัน โดยกระแสไฟฟ้า i_L ตามความต่างศักย์ v_L เป็นมุม $\frac{\pi}{2}$ เรเดียน และค่ามิเตอร์ของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวเหนี่ยวนำกับค่ามิเตอร์ของความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวเหนี่ยวนำ มีความสัมพันธ์กันตามกฎของโอห์มตรงกับข้อสรุปที่ได้จากสมการข้างต้น

15.10.2 กำลังไฟฟ้าในวงจรกระแสสลับ

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

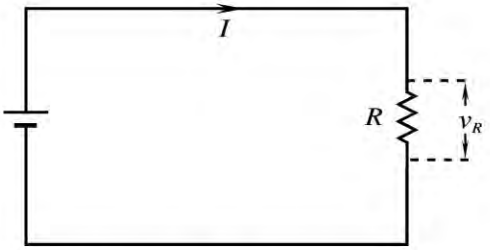
1. บอกความหมายของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย และตัวประกอบกำลังในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ พร้อมทั้งคำนวณหาค่าได้เมื่อกำหนดสถานการณ์ให้
2. วิเคราะห์ผลของตัวประกอบกำลังที่มีต่อวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

1.1 ครูทบทวนเรื่องกำลังไฟฟ้า โดยพิจารณาวงจรไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งประกอบด้วยตัวต้านทานและแบตเตอรี่ ดังรูป 15.39 จากนั้นครูตั้งคำถามถามนักเรียนโดยให้เสนอแนวคิดเรื่องกำลังไฟฟ้า ดังนี้

กำลังไฟฟ้าที่ R ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง หาได้อย่างไร และมีค่าเปลี่ยนแปลงกับเวลาหรือไม่ (กำลังไฟฟ้าหาได้จากสมการ $P = IV$ กำลังไฟฟ้ามีค่าคงตัวเพราะ I และ V คงตัว) ถ้าเปลี่ยนแบตเตอรี่เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับหรือเปลี่ยนวงจรไฟฟ้ากระแสตรงเป็นวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ กำลังไฟฟ้าหาได้อย่างไร



รูป 15.39 กำลังไฟฟ้าของวงจรไฟฟ้ากระแสตรง

1.2 ครูให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายทบทวน จากหัวข้อ 15.10.1 แล้วได้ข้อสรุป ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ ความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้า มีค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลาในรูปฟังก์ชันไซน์ เป็นผลให้กำลังไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามเวลาด้วย กำลังไฟฟ้าดังกล่าวจึงเป็นกำลังไฟฟ้าขณะหนึ่งซึ่งมีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างความต่างศักย์กับกระแสไฟฟ้าขณะนั้น ($p = iv$) และจากการหาค่าเฉลี่ยของกำลัง ทำให้สามารถหากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยได้เป็น $P = VI\cos\theta$ โดย V และ I เป็นค่ามิเตอร์ของความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้า และ θ เป็นความต่างเฟสของความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้า $\cos\theta$ เป็นตัวประกอบกำลัง

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

ครูให้ความรู้เรื่องกำลังไฟฟ้า ตัวประกอบกำลัง ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน พร้อมทั้งอภิปรายเกี่ยวกับผลของตัวประกอบกำลังที่มีต่อกำลังเฉลี่ยของวงจรไฟฟ้า

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด คำถามข้อ 31 และปัญหาข้อ 22-23

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

ตัวประกอบกำลัง

ในวงจรไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าสลับโดยทั่วไปที่มีทั้งตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ ถ้าความต่างศักย์ที่จ่ายให้แก่วงจรมีค่าเป็น $v = V_m \sin \omega t$ ทำให้มีกระแสไฟฟ้าในวงจรมีค่า $i = I_m \sin(\omega t - \theta)$ ใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องแสดงได้ว่า กำลังไฟฟ้าแต่ละขณะที่จ่ายให้วงจรไฟฟ้ามีค่าเป็น

ให้ $v = V_m \sin \omega t$, $i = I_m \sin(\omega t - \theta)$, i มีเฟสต่างจาก v เป็นมุม θ

กำลังขณะ t ใดๆ

$$P = iv = I_m \sin(\omega t - \theta)[V_m \sin \omega t]$$

$$= I_m V_m \sin \omega t \sin(\omega t - \theta)$$

แทน

$$\sin(\omega t - \theta) = \sin \omega t \cos\theta - \cos \omega t \sin\theta$$

$$P = I_m V_m \sin^2 \omega t \cos\theta - I_m V_m \sin \omega t \cos \omega t \sin\theta$$

แทน

$$\sin \omega t \cos \omega t = \frac{1}{2}\sin 2\omega t$$ จะได้

$$P = I_m V_m \cos\theta(\sin^2\omega t) - I_m V_m \sin\theta(\frac{1}{2}\sin 2\omega t)$$

เนื่องจาก I_m , V_m , θ และ ω เป็นค่าคงตัว การหากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย P_{av} จึงเป็นค่าเฉลี่ยใน 1 รอบของปริมาณทั้งสองทางขวามือ โดยค่าเฉลี่ยใน 1 รอบของ $\sin^2\omega t$ เท่ากับ $\frac{1}{2}$ ส่วนค่าเฉลี่ยใน 1 รอบของ $\frac{1}{2}\sin 2\omega t$ เท่ากับศูนย์ ดังนั้น กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย

$$P_{av} = \frac{1}{2} V_m I_m \cos\theta = I_{rms} V_{rms} \cos\theta$$

หรือ $P_{av} = VI\cos\theta$, $\cos\theta$ คือ ตัวประกอบกำลังของวงจร

15.11 การนำความรู้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าไปใช้ประโยชน์

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. บอกหลักการทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่นำไปใช้ในเครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ ได้
2. สืบค้นความรู้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า เกี่ยวกับการนำไปใช้ในการพัฒนาเทคโนโลยีได้

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูให้นักเรียนยกตัวอย่างอุปกรณ์เครื่องมือเครื่องใช้ในชีวิตประจำวัน และนักเรียนได้ใช้เป็นประจำ ตั้งคำถามว่ามีส่วนใดที่เกี่ยวข้องกับแม่เหล็กไฟฟ้า

ครูเลือกส่วนที่เกี่ยวข้องกับหลักการแม่เหล็กไฟฟ้าที่นักเรียนเสนอ เช่น ไมโครโฟน ลำโพง โทรศัพท์ เตาเหนี่ยวนำ เป็นต้น เพื่อนำไปสู่การอภิปราย

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

ครูนำอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับหลักการแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น ลำโพง โมโครโฟน มาอภิปรายกับนักเรียน จากส่วนที่เกี่ยวข้องกับแม่เหล็กไฟฟ้าที่นักเรียนเสนอมา ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายนำไปสู่คำอธิบายตามหลักการแม่เหล็กไฟฟ้าตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

ครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องมือเครื่องใช้ที่เกี่ยวกับแม่เหล็กไฟฟ้ากับการพัฒนาเทคโนโลยี

เฉลยแบบฝึกหัดบทที่ 15

คำถาม

15.1 แม่เหล็กและสนามแม่เหล็ก

1. แท่งโลหะกับแท่งแม่เหล็กที่มีรูปทรงเหมือนกันทุกประการ จะทราบได้อย่างไรว่าแท่งใดเป็นแม่เหล็ก

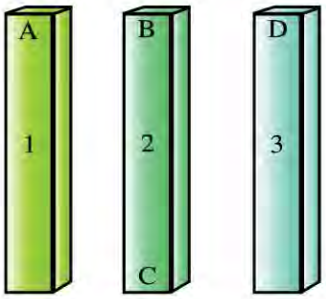
   แนวคำตอบ 1) แท่งแม่เหล็กจะดึงดูดเหล็กทุกชนิด แต่แท่งโลหะไม่ดึงดูดเหล็ก
   2) ถ้าเลื่อนแท่งแม่เหล็กเข้าไปในขดลวดโซเลนอยด์ จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในขดลวด ขณะที่แท่งโลหะไม่ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า

2. ช้อนเงิน ทองเหลือง สังกะสีและนิกเกิลที่มีรูปร่างเหมือนกัน ต่างก็ชุบด้วยโครเมียม ซึ่งเป็นโลหะที่ไม่ใช่สารแม่เหล็ก จะแยกช้อนนิกเกิลออกมาได้อย่างไร

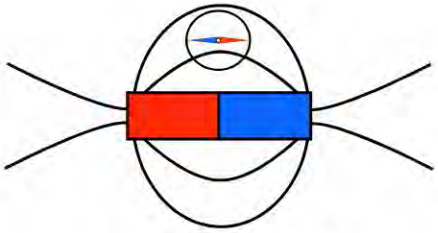
   แนวคำตอบ ใช้แท่งแม่เหล็กในการแยกช้อนโลหะออกจากกัน โดยช้อนที่ทำจากนิกเกิลจะถูกแท่งแม่เหล็กดึงดูดเพราะนิกเกิลเป็นสารแม่เหล็ก ส่วนเงิน ทองเหลือง และสังกะสีไม่ใช่สารแม่เหล็กจึงไม่ถูกดึงดูด

3. เมื่อนำปลายของแท่งโลหะสามแท่งดังรูป มาวางใกล้กัน ผลคือเมื่อ A และ B ใกล้กัน A กับ B ดึงดูดกัน เมื่อ A กับ C ใกล้กัน A กับ C ดึงดูดกัน แต่เมื่อ C กับ D ใกล้กัน C กับ D ผลักกัน จากข้อมูลนี้ แท่งโลหะใดเป็นแท่งแม่เหล็ก

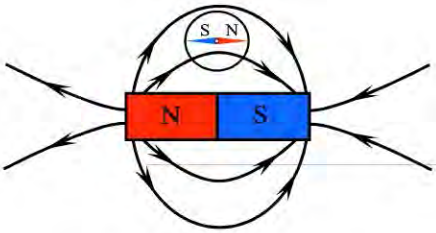
   แนวคำตอบ แท่ง 2 และ 3 เป็นแม่เหล็กโดย C, D เป็นขั้วเหมือนกัน



รูปสำหรับคำถามข้อ 3

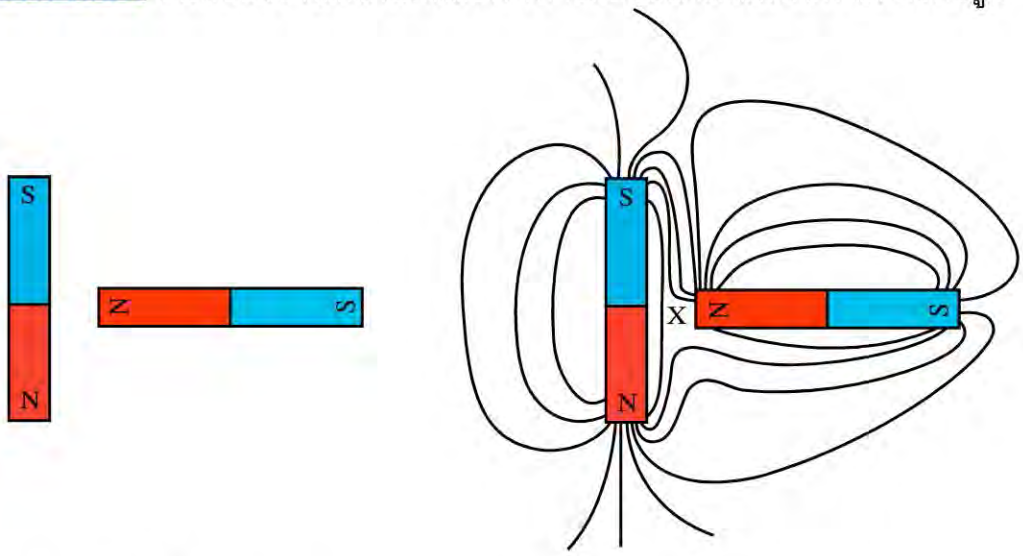


รูปสำหรับคำถามข้อ 4



รูปทิศทางของเส้นสนามแม่เหล็ก

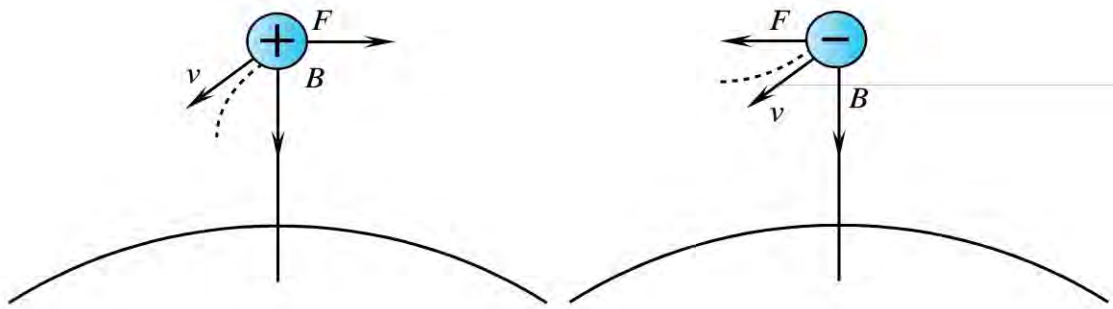
4. เข็มทิศปกติซึ่งวางตัวอยู่นอกสนามแม่เหล็กของแท่งแม่เหล็กจะวางตัวดังรูปบน แต่เมื่อนำเข็มทิศไปวางในสนามแม่เหล็กของแท่งแม่เหล็กแนวการวางตัวของเข็มทิศเป็นดังรูปล่าง ให้เขียนชนิดของขั้วแม่เหล็กของแท่งแม่เหล็ก แล้วใส่ลูกศรกำหนดทิศทางของเส้นสนามแม่เหล็กในรูปให้สมบูรณ์
แนวคำตอบ ชนิดของขั้วแม่เหล็กและทิศทางของสนามแม่เหล็ก แสดงดังรูป



รูปสำหรับคำถามข้อ 5 เส้นสนามแม่เหล็กพร้อมจุดสะเทิน (x)

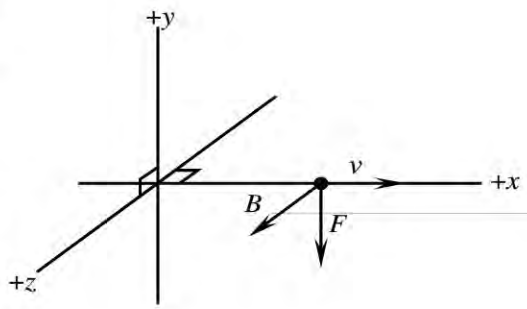
5. เขียนเส้นสนามแม่เหล็กของแท่งแม่เหล็กสองแท่งที่เหมือนกันทุกประการ และวางทำมุมฉากกันดังรูป (ลองทำดู)
แนวคำตอบ ถ้าลองทำโดยใช้ผงเหล็กโรยบางๆ ลงบนกระดาษหรือแผ่นใสที่วางบนแม่เหล็กทั้งสอง จะได้เส้นสนามแม่เหล็กและจุดสะเทินอยู่ที่ X ดังรูป

6. สมมติที่บริเวณขั้วโลก สนามแม่เหล็กโลกมีทิศทางตั้งฉากกับผิวโลก ถ้าอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าจากอวกาศพุ่งมายังบริเวณขั้วโลกในทิศทางตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กโลก จงเขียนแผนภาพแสดงแนวการเคลื่อนที่ของอนุภาคนั้น พร้อมคำอธิบาย
แนวคำตอบ เมื่อพิจารณาที่ขั้วโลกเหนือสนามแม่เหล็กโลกมีทิศทางพุ่งเข้าสู่พื้นโลก ถ้ามีอนุภาคเคลื่อนที่เข้ามาในแนวตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กโลก ดังรูป จากกฎมือขวาจะทำให้เกิดแรงกระทำต่ออนุภาค ดังนี้ ถ้าเป็นอนุภาคที่มีประจุบวก แรงจะกระทำไปทางขวา อนุภาคจะเบนไปทางขวามือเป็นเส้นโค้งตามแนวเส้นประ ถ้าเป็นอนุภาคที่มีประจุลบ แรงจะกระทำไปทางซ้าย อนุภาคจะเบนไปทางซ้ายมือเป็นเส้นโค้งตามแนวเส้นประ ดังรูป



15.2 กระแสไฟฟ้าทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก

7. โปรตอนเคลื่อนที่ทิศทาง +x ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กทิศทาง $+z$ จงหาทิศทางของแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อโปรตอน



แนวคำตอบ เมื่อโปรตอนเคลื่อนที่ในแนวตั้งฉากกับทิศทางของสนามแม่เหล็กจะเกิดแรงกระทำ $F = qvB$ จากกฎมือขวา ทิศทางของแรง $\bar{F}$ ที่กระทำต่อโปรตอนจะมีทิศทาง $-y$ ดังรูป

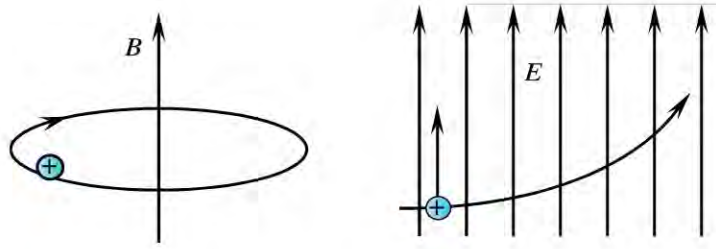
8. ถ้าอนุภาคแอลฟาเคลื่อนที่เป็นแนวตรงผ่านบริเวณหนึ่ง จะสามารถบอกได้หรือไม่ว่าบริเวณนั้นไม่มีสนามแม่เหล็ก จงอธิบาย

แนวคำตอบ อนุภาคแอลฟาเคลื่อนที่เป็นแนวตรงผ่านบริเวณหนึ่ง แสดงว่าไม่มีแรงกระทำต่ออนุภาค นั่นคือ บริเวณนั้นอาจไม่มีสนามแม่เหล็ก หรืออนุภาคเคลื่อนที่ขนานกับสนามแม่เหล็ก ดังนั้นการที่อนุภาคเคลื่อนที่เป็นแนวตรงผ่านบริเวณหนึ่งจึงไม่สามารถสรุปได้ว่า บริเวณนั้นมีสนามแม่เหล็กหรือไม่

9. ลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า สามารถใช้ระบุทิศทางของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าได้อย่างไร

แนวคำตอบ ให้อนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ในทิศทางต่างๆ ผ่านบริเวณที่เราต้องการทราบว่ามีสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าหรือไม่ และสังเกตว่าลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคว่าเปลี่ยนไปหรือไม่

ตัวอย่างเช่น ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กคงตัวและมีทิศดังรูป ถ้าจัดให้ทิศทางการเคลื่อนที่ของประจุตั้งฉากกับสนาม ประจุบวกจะวิ่งเป็นวงกลมหรือส่วนโค้งของวงกลม โดยระนาบของวงจะตั้งฉากกับสนาม และอัตราเร็วของประจุจะคงตัว ดังรูป (ก) แต่ถ้าประจุบวกวิ่งในสนามไฟฟ้าคงตัว อัตราเร็วของประจุบวกจะเปลี่ยนแปลงและประจุบวกจะเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ดังรูป (ข)



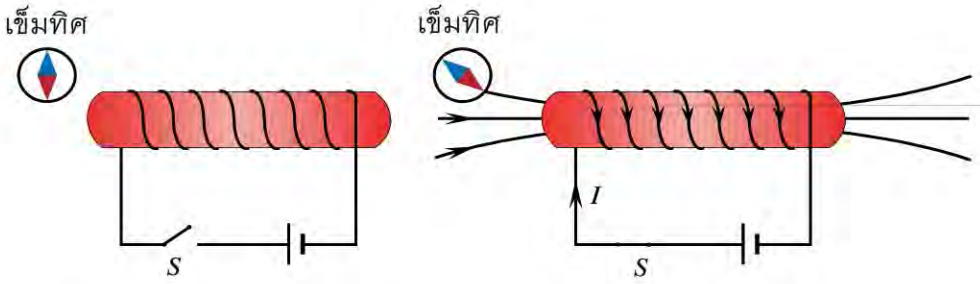
ก. ข.

โดยทิศทางของสนามไฟฟ้า $\bar{E}$ จะหาได้จากทิศทางของความเร่งของประจุ และในการหาทิศทางของสนามไฟฟ้า $\bar{E}$ และสนามแม่เหล็ก $\bar{B}$ ต้องคำนึงถึงชนิดของประจุด้วย

10. สนามแม่เหล็กสม่ำเสมอสามารถเปลี่ยนอัตราเร็วของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าได้ คำกล่าวนี้ถูกต้องหรือไม่ จงอธิบาย

แนวคำตอบ ไม่ถูกต้อง เนื่องจากแรงแม่เหล็กจะตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าเสมอ ดังนั้นงานจากแรงแม่เหล็กจึงเป็นศูนย์ พลังงานจลน์ของประจุจะคงตัว ดังนั้นอัตราเร็วของประจุไฟฟ้าจะคงตัวในสนามแม่เหล็ก

11. การวางตัวของเข็มทิศก่อนสับสวิตช์ S เป็นดังรูป เมื่อสับสวิตช์ S เข็มทิศจะวางตัวในลักษณะใด



รูปสำหรับคำถามข้อ 11 การวางตัวของเข็ม

แนวคำตอบ เมื่อสับสวิตช์ S จะมีกระแสไฟฟ้าในขดลวด ทำให้เหล็กอ่อนกลายเป็นแม่เหล็ก เส้นสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นทำให้เข็มทิศวางตัว ดังรูป

12. ถ้านำลวดตัวนำโลหะเส้นเล็กๆ มาทำเป็นโซเลนอยด์ เมื่อให้กระแสไฟฟ้าผ่าน ความยาวของโซเลนอยด์จะเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร

แนวคำตอบ ลวดตัวนำแต่ละวงของโซเลนอยด์ สามารถพิจารณาเป็นลวดแต่ละเส้นที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านไปทางเดียวกัน จากความรู้เรื่องแรงระหว่างลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านไปในทิศทางเดียวกัน ลวดจะมีแรงดึงดูดระหว่างกัน เป็นผลให้ความยาวของโซเลนอยด์ L ซึ่งพันห่างๆ กันสั้นลง

13. แม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วยขดลวดและแกนเหล็กอ่อน จงบอกเหตุผลที่ใส่แกนเหล็กอ่อนและเหตุใดจึงใช้แกนที่ทำด้วยเหล็กอ่อนแทนที่จะเป็นเหล็กกล้า และจะทำสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กไฟฟ้าให้เพิ่มขึ้นได้อย่างไร บอกสองวิธี

แนวคำตอบ เมื่อใส่แกนเหล็ก สนามแม่เหล็กจากขดลวดจะเพิ่มขึ้นอย่างมากเทียบกับเมื่อไม่มีแกนเหล็ก และถ้าใช้เหล็กอ่อนเป็นแกนแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์ สนามแม่เหล็กจะมีค่าเป็นศูนย์ด้วย แต่ถ้าใช้เหล็กกล้า เมื่อกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์สนามแม่เหล็กอาจลดลงไม่เป็นศูนย์ ทั้งนี้เพราะเหล็กบางส่วนกลายเป็นแม่เหล็กถาวร การจะทำให้สนามแม่เหล็กของแม่เหล็กเพิ่มขึ้น ทำได้โดยเพิ่มปริมาณหรือจำนวนขดลวดที่พันรอบแกนเหล็กอ่อน

15.3 แรงกระทำกับลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านและอยู่ในสนามแม่เหล็ก

14. สนามแม่เหล็กสม่ำเสมอมีทิศทาง $+x$ จะต้องวางลวดตัวนำตรงในสนามแม่เหล็กอย่างไรที่ทำให้กระแสไฟฟ้าผ่านลวดแล้วเกิดแรงกระทำต่อลวดมีค่า

ก. มากที่สุด

ข. น้อยที่สุด

แนวคำตอบ เมื่อมีกระไฟฟ้าในเส้นลวดที่อยู่ในสนามแม่เหล็ก จะมีแรงกระทำต่อลวดนั้นตามสมการ

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

โดย θ เป็นมุมระหว่างแนวการวางตัวของลวดและสนามแม่เหล็ก ดังนั้นแรงจะมีค่า

ก. มากที่สุด เมื่อ $\theta = 90^\circ$ นั่นคือ เส้นลวดตั้งฉากกับแกน x

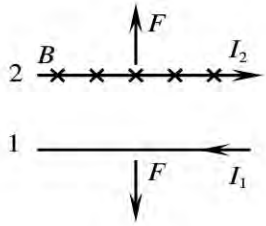
ข. น้อยที่สุด เมื่อ $\theta = 0^\circ$ นั่นคือ เส้นลวดขนานกับแกน x

15. ลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าจะไม่ถูกแรงแม่เหล็กกระทำเมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็กที่สม่ำเสมออย่างเหมาะสม คำกล่าวนี้ถูกหรือไม่ จงอธิบาย

แนวคำตอบ เป็นไปได้ในกรณีที่ แนวการวางตัวของลวดตัวนำมีทิศทางขนานกับทิศทางของสนามแม่เหล็ก แรงที่กระทำจากแม่เหล็กจะเท่ากับศูนย์

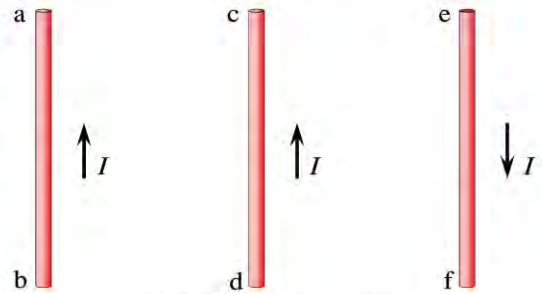
15.4 แรงระหว่างลวดตัวนำสองเส้นที่ขนานกันและมีกระแสไฟฟ้าผ่าน

16. เพราะเหตุใดลวดขนานสองเส้นที่มีกระแสไฟฟ้าในทิศทางตรงข้ามกันจึงผลักกัน



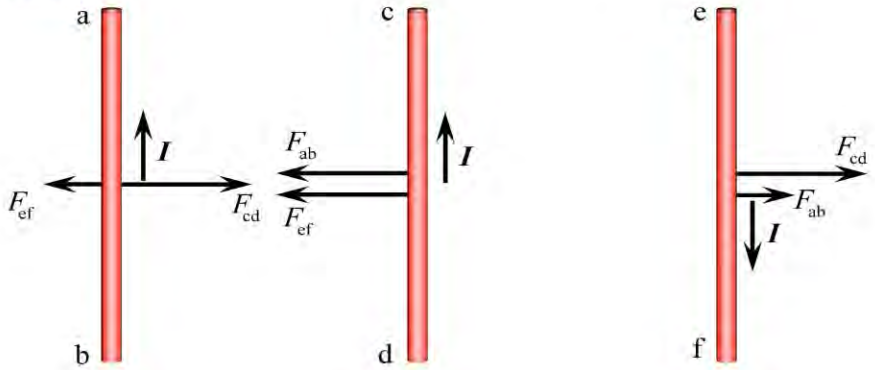
แนวคำตอบ กระแสไฟฟ้า I_1 ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก B ในทิศทางลงที่ลวด 2 ซึ่งมีกระแสไฟฟ้า I_2 ในทิศทางสวนกับ I_1 จากกฎมือขวา สนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรง $\vec{F}_1$ ในทิศทางขึ้นผลักลวด 2 ออกจากลวด 1 ทำนองเดียวกัน อาจแสดงได้ว่าเกิดแรงแม่เหล็ก $\vec{F}_2$ ในทิศทางลงกระทำต่อลวด 1 เช่นกัน

17. ลวดตัวนำสามเส้น ab, cd และ ef วางตัวขนานกัน โดยลวด cd อยู่กึ่งกลางระหว่าง ab และ ef และมีกระแสไฟฟ้า I ผ่านแต่ละเส้นเท่ากันโดยมีทิศทางดังรูป แรงลัพธ์ที่กระทำต่อลวดแต่ละเส้นมีทิศทางใด



รูปสำหรับคำถามข้อ 17

แนวคำตอบ



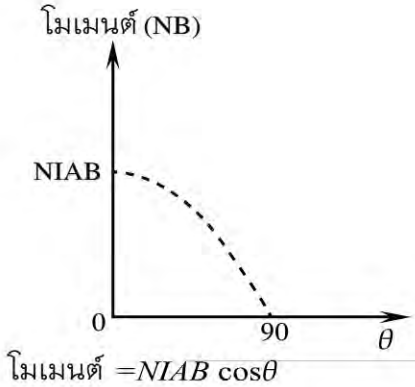
แรงลัพธ์ที่กระทำต่อลวดแต่ละเส้น

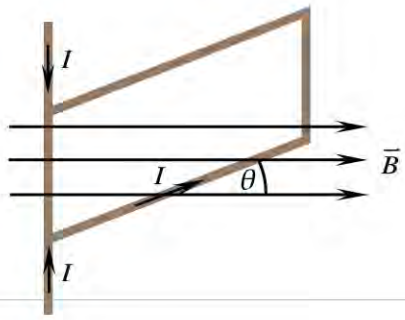
พิจารณาที่ลวด ab มีแรงที่ลวด cd ดึงดูดเข้า เพราะกระแสไฟฟ้าในลวดทั้งสองเส้นมีทิศทางเดียวกัน และมีแรงจากลวด ef ผลักลวด ab ออก เพราะทิศทางของกระแสไฟฟ้ามีทิศทางตรงกันข้ามกัน แต่ลวด ef ห่างจากลวด ab มากกว่า ทำให้แรงผลักมีค่าน้อยกว่า ดังนั้นแรงลัพธ์ที่กระทำต่อลวด ab จึงมีทิศทางเข้าหาลวด cd ในทำนองเดียวกันแรงลัพธ์ที่กระทำต่อลวด cd มีทิศทางเข้าหาลวด ab และแรงลัพธ์ที่กระทำกับลวด ef มีทิศออกจากลวด cd

15.5 แรงกระทำต่อขดลวดที่มีกระแสไฟฟ้าและอยู่ในสนามแม่เหล็ก

18. จงเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ของแรงคู่ควบที่กระทำต่อขดลวดกับมุมที่ระนาบของขดลวดทำกับสนามแม่เหล็ก

แนวคำตอบ โมเมนต์ของแรงคู่ควบ $M = NIAB\cos\theta$ เนื่องจาก N, I, A และ B มีค่าคงตัว แต่มุม θ ที่ระนาบของขดลวดทำกับสนามแม่เหล็กมีค่าเปลี่ยนแปลงได้ ดังนั้น M จึงขึ้นอยู่กับ $\cos\theta$ เมื่อเขียนกราฟระหว่าง M และ θ จะได้ดังรูป





15.6 การประยุกต์ผลของสนามแม่เหล็กต่อตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน

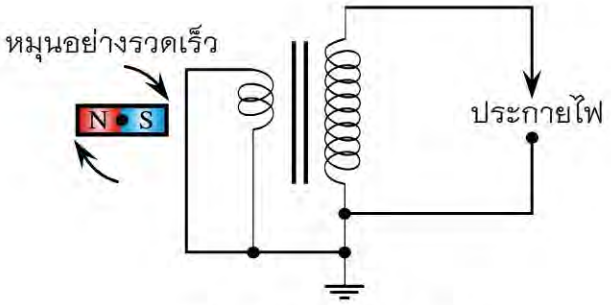
19. การสร้างแกลแวนอมิเตอร์โดยใช้ขดลวดตัวนำขนาดใหญ่ที่ทนกระแสไฟฟ้าได้มากกับการสร้างแกลแวนอมิเตอร์โดยใช้ขดลวดขนาดเล็ก วิธีสร้างแบบใดจะให้ผลดีกว่า
<u>แนวคำตอบ</u> ปกติแล้วแกลแวนอมิเตอร์ใช้ขดลวดพันกันเป็นจำนวนมาก ดังนั้นถ้าใช้ลวดขนาดใหญ่ ขดลวดจะมีมวลมาก โมเมนต์จากกระแสไฟฟ้าจะไม่สามารถบิดมวลขนาดใหญ่นี้ได้ จึงเป็นไปไม่ได้ในเชิงปฏิบัติ

20. มอเตอร์จะหมุนเร็วขึ้นหรือช้าลง ถ้า
ก. ให้กระแสไฟฟ้าผ่านขดลวดตัวนำมากขึ้น
ข. ให้สนามแม่เหล็กในมอเตอร์มีค่ามากขึ้น อธิบายเหตุผลประกอบ
<u>แนวคำตอบ</u> จากสมการโมเมนต์ของแรงคู่ควบ $M = NIAB\cos\theta$ ถ้าเพิ่มกระแสไฟฟ้าโมเมนต์จะมากขึ้น มอเตอร์จะหมุนเร็วขึ้น แต่จากสมการนี้ เพิ่มสนามแม่เหล็ก B ทำให้โมเมนต์มากขึ้นเช่นกัน

15.7 กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำและแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

21. ปล่อยแท่งตัวนำจากที่สูงให้ตกลงมาผ่านตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กที่บริเวณพื้น จะมีปรากฏการณ์ใดเกิดขึ้นที่ตัวนำนั้นบ้าง
<u>แนวคำตอบ</u> จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำระหว่างปลายทั้งสองของแท่งตัวนำ

22. จากรูป เมื่อกดที่จุดไฟของเตาแก๊ส แท่งแม่เหล็กถาวรภายในที่จุดไฟจะเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว ทำให้สนามแม่เหล็กตัดกับขดลวดปฐมภูมิที่มีจำนวนรอบไม่มากเป็นผลให้เกิดประกายไฟฟ้าที่ปลายแหลมซึ่งต่อกับขดลวดทุติยภูมิที่มีหลายร้อยรอบ จงอธิบายการทำงานของที่จุดไฟนี้

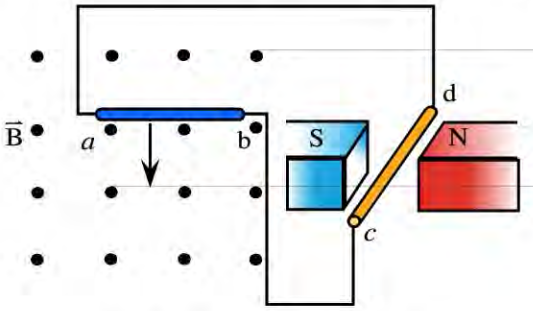


รูปสำหรับคำถามข้อ 22

แนวคำตอบ ขณะสนามแม่เหล็กตัดกับขดลวดปฐมภูมิจะเกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวด กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำนี้จะสร้างฟลักซ์แม่เหล็กซึ่งจะผ่านขดลวดทุติยภูมิ ทำให้เกิดความต่างศักย์ที่มีค่ามากที่ขดลวดทุติยภูมิซึ่งมีจำนวนขดลวดหลายร้อยรอบ ส่งผลให้อิเล็กตรอนที่ปลายแหลมกระโดดไปอีกขั้วหนึ่ง เป็นเหตุให้เกิดประกายไฟขึ้น

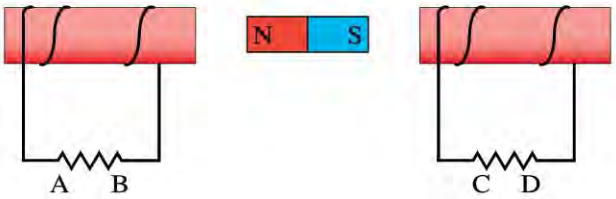
23. ab และ cd เป็นตัวนำไฟฟ้าที่เบา ab อยู่ในสนามแม่เหล็ก $\bar{B}$ และ cd อยู่ระหว่างแท่งแม่เหล็กสองแท่ง ถ้าเคลื่อนแท่ง ab ในทิศทางตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก $\bar{B}$ ดังรูป แท่ง cd จะเคลื่อนที่ไปทางใด

แนวคำตอบ เมื่อเคลื่อนแท่ง ab ตัดสนามแม่เหล็กจะเกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ จาก b ไป a ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าใน cd จาก d ไปทาง c ทำให้เกิดแรงกระทำต่อแท่ง cd ในทิศทางลงสู่พื้น ดังนั้น แท่ง cd จะเคลื่อนที่ลงสู่พื้น



รูปสำหรับคำถามข้อ 23

24. จากรูป กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะผ่านตัวต้านทาน AB และ CD ในทิศทางใด เมื่อ
ก. เคลื่อนแท่งแม่เหล็กไปทางขวา
ข. เคลื่อนแท่งแม่เหล็กไปทางซ้าย

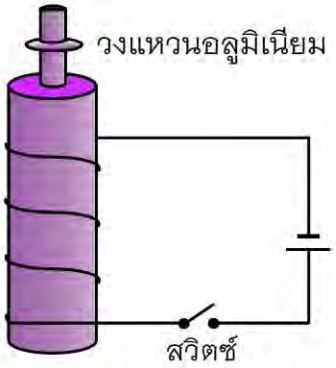


รูปสำหรับคำถามข้อ 24

แนวคำตอบ ก. กระแสไฟฟ้าผ่านจาก B ไป A และกระแสไฟฟ้าผ่านจาก C ไป D
ข. กระแสไฟฟ้าผ่านจาก A ไป B และกระแสไฟฟ้าผ่านจาก D ไป C

25. ก. จากรูป เมื่อกดสวิตช์ให้วงจรปิด ปรากฏว่าวงแหวนอะลูมิเนียมจะกระเด็นขึ้นจากตำแหน่งเดิม จงอธิบายว่าวงแหวนอะลูมิเนียมกระเด็นขึ้นได้อย่างไร

ข. ถ้าตัดวงแหวนอะลูมิเนียมให้ขาดจากกันเป็นช่องเล็ก 1 ช่อง เมื่อกดสวิตช์ให้ครบวงจร ผลจะเป็นอย่างไร



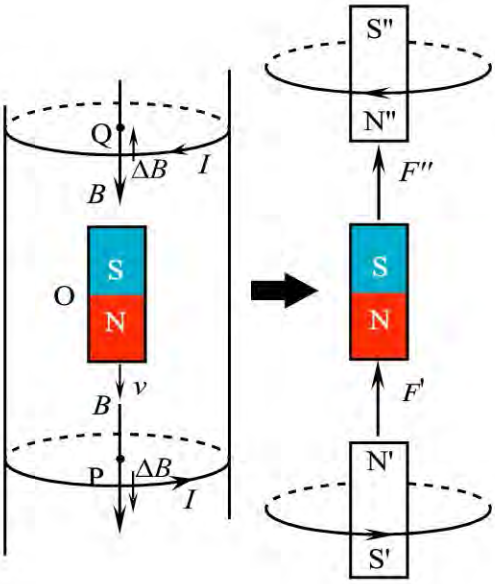
รูปสำหรับคำถามข้อ 23

<u>แนวคำตอบ</u>

ก. ก่อนกดสวิตช์ไม่มีสนามแม่เหล็กผ่านวงแหวนอะลูมิเนียม แต่เมื่อกดสวิตซ์ให้กระแสไฟฟ้าผ่านวงจร จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก $\vec{B}$ ในทิศทางดิ่งลงในแท่งเหล็กทรงกระบอก ทำให้แท่งเหล็กนี้กลายเป็นแม่เหล็กโดยมีขั้วเหนืออยู่ด้านล่าง เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็ก $\vec{B}$ ผ่านวงแหวนตามกฎของเลนซ์จะเกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำในวงแหวนเพื่อสร้างสนามแม่เหล็ก $\vec{B}'$ ในทิศทางขึ้นเพื่อต้านสนามแม่เหล็ก $\vec{B}$ นี้ ทำให้วงแหวนกลายเป็นแท่งแม่เหล็กโดยมีขั้วเหนืออยู่ด้านบนแม่เหล็กทั้งสองจะผลักกัน วงแหวนจึงกระเด็นขึ้นได้

ข. ถ้าตัดวงแหวนอะลูมิเนียมขาดจากกัน เมื่อกดสวิตซ์ให้ครบวงจร สนามแม่เหล็กภายในขดลวดตัวนำ จะตัดผ่านวงแหวนทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในวงแหวน แต่ไม่มีกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำเพราะไม่ครบวงจร ดังนั้น วงแหวนอะลูมิเนียมจึงไม่กระเด็นขึ้น

26. ท่อโลหะกลวงท่อหนึ่งวางอยู่ในแนวดิ่ง เมื่อนำแท่งเหล็กที่มีขนาดเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อมาปล่อยจากปลายบนให้เคลื่อนที่ในท่อโลหะ จะตกถึงพื้นในเวลา 0.4 วินาที ต่อไปปล่อยแท่งแม่เหล็กที่มีมวลและขนาดเท่ากับแท่งเหล็กนั้นให้ตกโดยอิสระที่ตำแหน่งเดียวกัน แท่งแม่เหล็กนี้จะตกถึงพื้นโดยใช้เวลามากกว่าหรือไม่เพราะเหตุใด

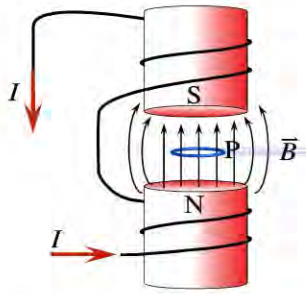


แนวคำตอบ แท่งแม่เหล็กจะตกถึงพื้นโดยใช้เวลามากกว่า เพราะขณะที่แท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่ในท่อโลหะ ฟลักซ์แม่เหล็กจากแท่งแม่เหล็กที่ผ่านท่อโลหะจะเปลี่ยนแปลง เช่น เมื่อแท่งแม่เหล็กอยู่ที่จุด O พิจารณาท่อโลหะที่ตำแหน่ง P สนามแม่เหล็กในแนวดิ่งลงเพิ่มขึ้น จะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไฟฟ้า I วนในท่อโลหะ แต่ถ้าพิจารณาที่ตำแหน่ง Q สนามแม่เหล็กกำลังลดขนาดลง จะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไฟฟ้า I' ดังรูป ก วงกระแสไฟฟ้าทั้งสองจะประพฤติตัวคล้ายๆ N′S′ เป็นแท่งแม่เหล็ก และ N″S″ ตามลำดับ ดังรูป ข ซึ่งจะทำให้เกิดแรงต้านแท่งแม่เหล็กซึ่งกำลังเคลื่อนที่ลงทำให้ความเร่งของแท่งแม่เหล็กนี้มีค่าน้อยกว่าแท่งเหล็กที่ตกโดยอิสระจากระดับความสูงเท่ากัน จึงทำให้แท่งแม่เหล็กตกถึงพื้นได้ช้ากว่า เมื่อตกจากที่สูงเท่ากัน

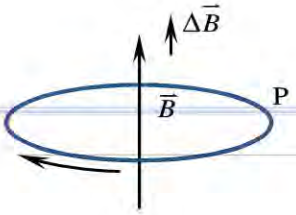
27. เมื่อขดลวดตัวนำสี่เหลี่ยมผืนผ้าเริ่มหมุนจากตำแหน่งที่ระนาบของขดลวดตั้งฉากกับทิศทางของสนามแม่เหล็ก มายังตำแหน่งที่ระนาบของขดลวดขนานกับทิศทางของสนามแม่เหล็ก จะเกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดนี้หรือไม่

แนวคำตอบ ขณะที่ระนาบขดลวดอยู่ในระนาบตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก จะมีฟลักซ์แม่เหล็กผ่านมากที่สุด เมื่อขดลวดหมุนฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านขดลวดจะน้อยลง มีการเปลี่ยนแปลง ฟลักซ์แม่เหล็กผ่านขดลวด ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวด

28. จากรูป เมื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้า I กระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำ P จะมีทิศทางเป็นอย่างไร



รูปสำหรับคำถามข้อ 28



รูป ทิศทางของกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำ P

แนวคำตอบ การเพิ่มกระแสไฟฟ้าให้มีค่ามากขึ้น เป็นการทำให้สนามแม่เหล็ก $\vec{B}$ มีค่าเพิ่มขึ้น $\Delta\vec{B}$ มีทิศทางดังรูป จากกฎของฟาราเดย์ เมื่อฟลักซ์แม่เหล็กเปลี่ยนแปลงที่ขดลวดจะเกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น และจากกฎของเลนซ์ ทิศทางของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะอยู่ในทิศทางที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กต้านการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ I จะเกิดในขดลวดตัวนำ P ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ดังรูปแสดงทิศทางของกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำ P

15.7 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

29. เมื่อมอเตอร์หมุนช้ากว่าปกติเนื่องจากมีสิ่งสกปรกตามจุดหมุน ในกรณีดังกล่าวนี้มอเตอร์จะเกิดความเสียหายได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ มอเตอร์จะเกิดความเสียหายได้ เพราะการที่มอเตอร์หมุนช้ากว่าปกติจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับมีค่าน้อยด้วย กระแสไฟฟ้าที่ผ่านขดลวดจึงมีค่ามากตลอดเวลา เมื่อหมุนเป็นเวลานานจะเกิดความร้อนมากและอาจไหม้ได้ในที่สุด

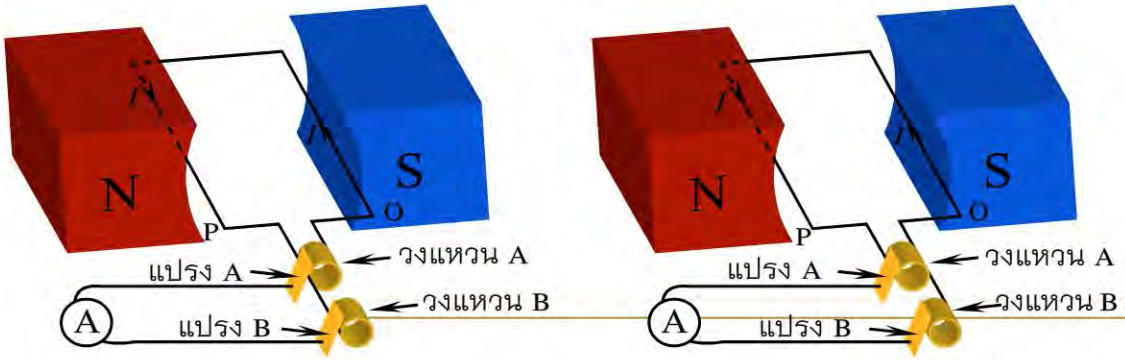
15.9 หม้อแปลง

30. ในการเลือกใช้หม้อแปลง นอกจากจะพิจารณาความต่างศักย์แล้วยังต้องพิจารณาสิ่งใดประกอบอีกบ้าง จงอธิบายเหตุผล

แนวคำตอบ ต้องเลือกหม้อแปลงที่ให้กำลังไฟฟ้าพอเหมาะกับกำลังไฟฟ้าที่อุปกรณ์ต้องการ ถ้าอุปกรณ์ใช้กำลังไฟฟ้ามากกว่ากำลังที่หม้อแปลงจะให้ได้ หม้อแปลงอาจเสียหายได้

15.10 ค่าของปริมาณที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้ากระแสสลับ

31. เพราะเหตุใดไฟฟ้ากระแสสลับที่เวลา $\frac{T}{4}$ และ $\frac{3T}{4}$ จึงมีทิศทางตรงข้าม



รูปสำหรับคำถามข้อ 31 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

แนวคำตอบ กระแสไฟฟ้าที่เกิดในขดลวดที่กำลังหมุนระหว่างแท่งแม่เหล็กจะมีทิศทางเดียวกันเสมอ แต่เนื่องจากแหวนและแปรงมีลักษณะดังรูป จึงทำให้กระแสที่ออกสู่วงจรภายนอกเวลา $\frac{T}{4}$ และ $\frac{3T}{4}$ จึงมีทิศทางตรงข้าม

15.11 การนำความรู้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าไปใช้ให้เกิดประโยชน์

ปัญหา

15.1 แม่เหล็กและสนามแม่เหล็ก

1. สนามแม่เหล็กขนาดสม่ำเสมอ 1.0 เทสลา จงหาขนาดฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านระนาบขดลวดที่มีพื้นที่ 10 ตารางเซนติเมตร ขณะระนาบขดลวดทำมุม 0 องศาและ 90 องศากับสนามแม่เหล็ก

   วิธีทำ จาก $\Phi = BA\sin\theta$

   เมื่อ $B = 1.0\ \text{T},\quad A = 10\times10^{-4}\ \text{m}^2$

   ถ้า $\theta = 0,\ \Phi = BA\sin 0^\circ = 0$

   ถ้า $\theta = 90^\circ, \Phi = (1.0\ \text{Wm}^{-2})(10\times10^{-4}\text{m}^2) = 1.0\times10^{-3}\ \text{Wb}$

   ตอบ ถ้าระนาบพื้นที่ทำมุม 0 องศากับสนามแม่เหล็ก ฟลักซ์ที่ผ่านระนาบเท่ากับ 0 เวเบอร์ ถ้าระนาบพื้นที่ทำมุม 90 องศากับสนามแม่เหล็ก ฟลักซ์ที่ผ่านระนาบเท่ากับ 1×10^{-3} เวเบอร์

2. อนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า $+3.2 \times 10^{-19}$ คูลอมบ์ เคลื่อนที่เข้าไปในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กขนาด 1.2 เทสลา ด้วยความเร็ว 2.5×10^5 เมตรต่อวินาที ในทิศทางตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก จงหาขนาดของแรงแม่เหล็กที่กระทำต่ออนุภาคนี้

   วิธีทำ จาก $F = qvB$

   เมื่อ $q = +3.2\times10^{-19}\ \text{C},\quad B = 1.2\ \text{T},\ v = 2.5\times10^5\ \text{m/s}$

   แทนค่า $F = (3.2\times10^{-19}\text{C})(2.5\times10^5\text{m/s})(1.2\text{T}) = 9.6\times10^{-14}\ \text{N}$

   ตอบ ขนาดของแรงแม่เหล็กที่กระทำต่ออนุภาคนี้เท่ากับ 9.6×10^{-14} นิวตัน

3. อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 5×10^5 เมตรต่อวินาที ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ ถูกแรงกระทำ 4×10^{-6} นิวตัน จงหาขนาดของสนามแม่เหล็ก

   วิธีทำ จาก $F = qvB$

   เมื่อ $F = 4\times10^{-6}\ \text{N},\ q = 1.6\times10^{-19}\ \text{C}$ และ $v = 5\times10^5\ \text{m/s}$

   แทนค่า $4\times10^{-6}\ \text{N} = (1.6\times10^{-19}\ \text{C})(5\times10^5\ \text{m/s})\,B$

   $$B = \frac{4\times10^{-6}\text{N}}{(1.6\times10^{-19}\text{C})(5\times10^5\text{m/s})} = 5\times10^7\ \text{T}$$

   ตอบ สนามแม่เหล็กมีค่าเท่ากับ 5×10^7 เทสลา

4. อนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 2.0×10^6 เมตรต่อวินาที ในทิศทางตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอขนาด 5.0×10^{-2} เทสลา และมีแรงขนาด 4.8×10^{-14} นิวตัน กระทำต่ออนุภาค จงหาประจุไฟฟ้าของอนุภาค

วิธีทำ จาก $F = qvB$

จะได้ $q = \dfrac{F}{vB}$

เมื่อ $F = 4.8 \times 10^{-14}$ N, $v = 2.0 \times 10^{-6}$ m/s และ $B = 5.0 \times 10^{-2}$ T

แทนค่า $q = \dfrac{4.8 \times 10^{-14}\ \text{N}}{(2.0 \times 10^{6}\ \text{m/s})(5.0 \times 10^{-2}\ \text{T})} = 4.8 \times 10^{-19}$ C

ตอบ ประจุไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 4.8×10^{-19} คูลอมบ์

5. อิเล็กตรอนตัวหนึ่งถูกทำให้เคลื่อนที่จากหยุดนิ่งด้วยความต่างศักย์ 2.84×10^{-2} โวลต์ เข้าไปในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอขนาด 4.0 เทสลา โดยมีทิศทางการเคลื่อนที่ตั้งฉากกับทิศทางของสนามแม่เหล็ก จะมีแรงกระทำต่ออิเล็กตรอนเท่าใด

วิธีทำ จาก $\frac{1}{2}mv^2 = qV$

จะได้ $v = \sqrt{\dfrac{2qV}{m}}$

เมื่อ $q = 1.6 \times 10^{-19}$ C, $V = 2.84 \times 10^{-2}$ V และ $m = 9.1 \times 10^{-31}$ kg

แทนค่า $v = \sqrt{\dfrac{2 \times (1.6 \times 10^{-19}\ \text{C})(2.84 \times 10^{-2}\ \text{V})}{(9.1 \times 10^{-31}\ \text{kg})}}$

$= 9.9934 \times 10^{4}$ m/s

$F = qvB$

$= (1.6 \times 10^{-19}\ \text{C})(9.9934 \times 10^{4}\ \text{m/s})(4.0\text{T})$

$= 6.395 \times 10^{-14}$ N

ตอบ แรงที่กระทำต่ออิเล็กตรอนเท่ากับ 6.4×10^{-14} นิวตัน

15.2 กระแสไฟฟ้าทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก

15.3 แรงกระทำต่อลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าและอยู่ในสนามแม่เหล็ก

6. ลวดตัวนำยาว 3.0 เซนติเมตร วางตัวในแนวตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กขนาด 0.40 เทสลา ถ้าลวดตัวนำมีกระแสไฟฟ้าผ่าน 5.0 แอมแปร์ แรงที่กระทำต่อเส้นลวดตัวนำมีค่าเท่าใด

วิธีทำ จาก $F = I\ell B$

เมื่อ $I = 5.0$ A, $\ell = 3 \times 10^{-2}$ m และ $B = 0.4$ T

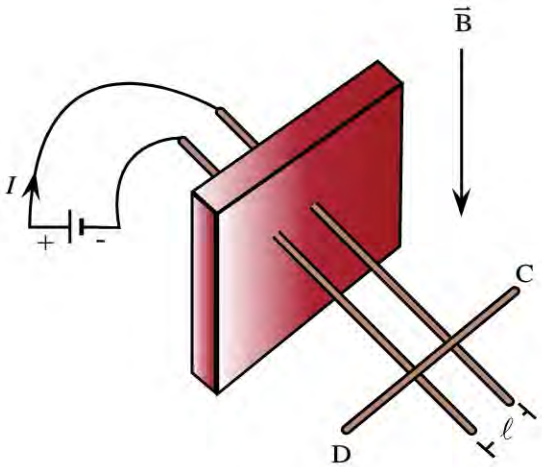
แทนค่า $F = (5.0\ \text{A})(3 \times 10^{-2}\ \text{m})(0.4\ \text{T}) = 0.06$ N

ตอบ แรงที่กระทำต่อเส้นลวดตัวนำเท่ากับ 6×10^{-2} นิวตัน

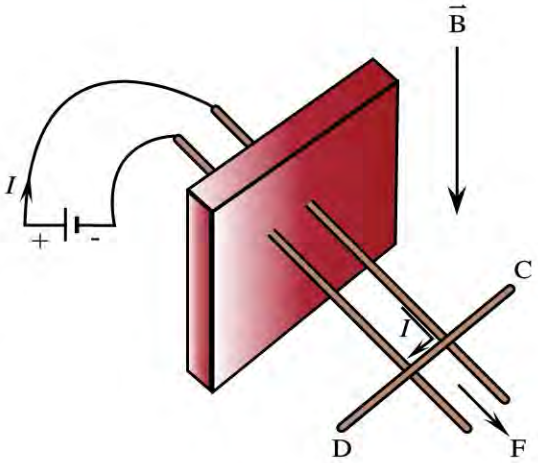
7. ลวดอะลูมิเนียม CD มวล m วางบนลวดอะลูมิเนียมสองเส้นที่อยู่ในแนวระดับและห่างกัน ℓ ถ้ากระแสไฟฟ้าในวงจรเท่ากับ I และมีสนามแม่เหล็ก $\vec{B}$ ผ่านลวด CD ในทิศทางลง ดังรูป

ก. แรงที่กระทำต่อลวด CD มีขนาดและทิศทางใด

ข. ถ้าไม่คิดความเสียดทาน ลวด CD มีขนาดความเร่งเท่าใด



รูปสำหรับปัญหาข้อ 7



ทิศของแรงที่กระทำต่อลวด

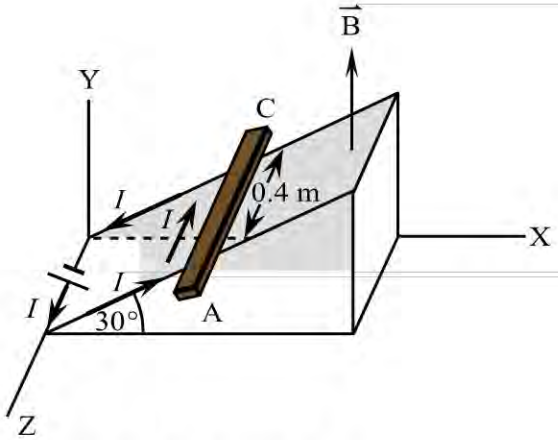
วิธีทำ

ก. แรงที่กระทำต่อลวด CD มีขนาด $I\ell B$ มีทิศมาทางขวาของกระดาษ

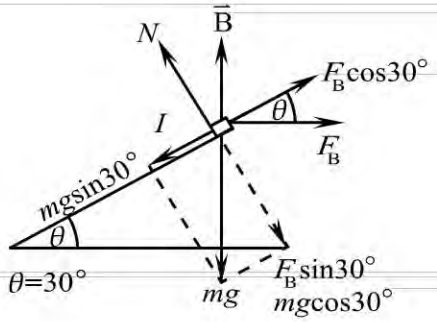
ข. $a = \dfrac{F}{m} = \dfrac{I\ell B}{m}$

ตอบ ลวด CD มีขนาดความเร่งเท่ากับ $\dfrac{I\ell B}{m}$

8. เมื่อวางแท่งอะลูมิเนียม AC มวล 50 กรัม ยาว 0.4 เมตร บนกรอบโลหะสี่เหลี่ยมซึ่งเอียงทำมุม 30 องศากับแนวระดับ แท่งอะลูมิเนียมจะไถลลงตามกรอบโลหะ (ไม่คิดความเสียดทาน) แต่ถ้ามีกระแสไฟฟ้า I ผ่านแท่งอะลูมิเนียมในทิศทางจาก A ไป C และสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอขนาด 0.20 เทสลา ในทิศทางขึ้น แท่งอะลูมิเนียมจะอยู่นิ่งบนกรอบโลหะเอียงดังรูป จงหากระแสไฟฟ้า I



รูปสำหรับปัญหาข้อ 8



แผนภาพวัตถุอิสระ

วิธีทำ จากแผนภาพวัตถุอิสระ $mg\sin 30^\circ = F_B\cos 30^\circ = I\ell B\cos 30^\circ$

จะได้ $$I = \frac{mg\sin 30^\circ}{\ell B\cos 30^\circ} = \frac{mg\tan 30^\circ}{\ell B}$$

เมื่อ $m = 50\times10^{-3}$ kg , $g = 9.8$ m/s^2 , $\ell = 0.4$ m , $B = 0.20$ T และ $\tan 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{3}$

แทนค่า $$I = \frac{(50\times10^{-3}\text{kg})(9.8\text{ m/s}^2)\left(\frac{\sqrt{3}}{3}\right)}{(0.4\text{m})(0.2\text{T})} = 3.536\text{ A}$$

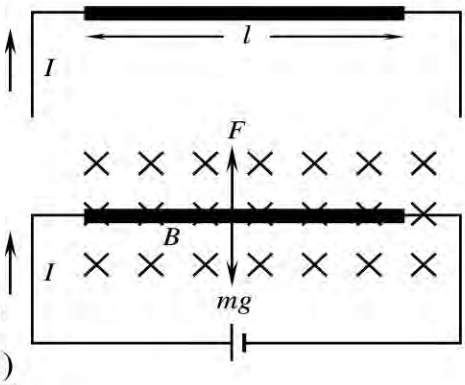
ตอบ กระแสไฟฟ้าเท่ากับ 3.5 แอมแปร์

9. แท่งตัวนำยาว 10 เซนติเมตร มวล 0.05 กิโลกรัม มีกระแสไฟฟ้าผ่าน 25 แอมแปร์ เมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็กขนาดสม่ำเสมอ ปรากฏว่าแท่งตัวนำนี้สามารถอยู่นิ่งในสนามแม่เหล็กได้ จงหาขนาดของสนามแม่เหล็กและเขียนรูปประกอบ (สมมติน้ำหนักของสายไฟที่ต่อกับแท่งตัวนำมีค่าน้อยมากจนไม่ต้องนำมาคำนวณ)

วิธีทำ จาก $F = I\ell B$

เมื่อ $I = 25$ A , $\ell = 10\times10^{-2}$ m

ตามรูป ถ้าแท่งตัวนำลอยนิ่งอยู่ได้แสดงว่าแรงเนื่องจากสนามแม่เหล็กเท่ากับแรงเนื่องจากน้ำหนักของแท่งตัวนำ



จะได้ $$I\ell B = mg$$

$$(25\text{A})(10\times10^{-2}\text{m})B = (0.05\text{ kg})(9.8\text{ kg m/s}^2)$$

$$B = \frac{(0.05\text{ kg})(9.8\text{ kg m/s}^2)}{(25\text{A})(10\times10^{-2}\text{ m})}$$

$$= 0.196\text{ T}$$

ตอบ สนามแม่เหล็กมีขนาด 0.2 เทสลา มีทิศทางพุ่งเข้าตั้งฉากกับหน้ากระดาษ

15.4 แรงระหว่างลวดตัวนำของเส้นที่ขนานกันและมีกระแสไฟฟ้าผ่าน

15.5 แรงกระทำต่อขดลวดที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านและอยู่ในสนามแม่เหล็ก

10. ขดลวดจำนวน 20 รอบ มีพื้นที่ 800 ตารางเซนติเมตร มีกระแสไฟฟ้าผ่าน 0.5 แอมแปร์ และระนาบของขดลวดขนานกับสนามแม่เหล็กที่มีขนาด 0.3 เทสลา โมเมนต์ของแรงคู่ควบที่กระทำกับต่อขดลวดมีค่าเท่าใด

วิธีทำ จาก $M = NIBA\cos\theta$

แต่ $\cos\theta = \cos 0^o = 1$

เมื่อ N = 20 รอบ, $A = 800 \times 10^{-4}\ \text{m}^2$, $I = 0.5\ \text{A}$ และ $B = 0.3\ \text{T}$

แทนค่า M = (20 รอบ)(0.5 A) (0.3 T) $(800 \times 10^{-4}\ \text{m}^2) = 0.24\ \text{N m}$

ตอบ โมเมนต์ของแรงคู่ควบที่กระทำต่อขดลวดมีค่าเท่ากับ 0.24 นิวตัน เมตร

11. ขดลวดสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีพื้นที่ 120 ตารางเซนติเมตร จำนวน 40 รอบ มีกระแสไฟฟ้าผ่าน 2 แอมแปร์ และอยู่ในสนามแม่เหล็กขนาด 0.25 เทสลา โดยระนาบของขดลวดทำมุม 0 องศากับสนามแม่เหล็ก จงหาโมเมนต์ของแรงคู่ควบที่กระทำต่อขดลวด

วิธีทำ จาก $M = NIBA\cos\theta$

เนื่องจากระนาบของขดลวดทำมุม 0 องศา กับสนามแม่เหล็ก

$\therefore$ $M = NIBA$

เมื่อ N = 40 รอบ, $A = 120 \times 10^{-4}\ \text{m}^2$, $I = 2\ \text{A}$, $B = 0.25\ \text{T}$

แทนค่า M = (40 รอบ)(2 A) (0.25 T) $(120 \times 10^{-4}\ \text{m}^2) = 0.24\ \text{N m}$

ตอบ โมเมนต์ของแรงคู่ควบที่กระทำต่อขดลวดเท่ากับ 0.24 นิวตัน เมตร

12. ขดลวดตัวนำรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 3 x 5 ตารางเซนติเมตร จำนวน 20 รอบ อยู่ในสนามแม่เหล็กขนาดสม่ำเสมอ 0.5 เทสลา โดยระนาบของขดลวดอยู่ในแนวขนานกับสนามแม่เหล็ก และด้านของขดลวดที่มีความยาว 5 เซนติเมตร ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก เมื่อให้กระแสไฟฟ้า 5 แอมแปร์ ผ่านขดลวดนี้ จงหาขนาดของแรงที่กระทำต่อขดลวดแต่ละด้าน และโมเมนต์ของแรงคู่ควบที่กระทำต่อขดลวด

วิธีทำ จาก $F = I\ell B$

เมื่อ $I = 5\ \text{A}$, $\ell = 5\times10^{-2}\ \text{m}$ และ $B = 0.5\ \text{T}$

แทนค่า $F = (5\text{A})(5\times10^{-2}\ \text{m})(0.5\text{T}) = 0.125\ \text{N}$

จาก $M = NIBA$

เมื่อ N = 20 รอบ, $I = 5\ \text{A}$, $B = 0.5\ \text{T}$ และ $A = 3\times5\times10^{-4}\ \text{m}^2$

แทนค่า M = (20 รอบ)(5 A)(0.5 T) $(3 \times 5 \times 10^{-4}\ \text{m}^2)$

$= 7.5 \times10^{-2}\ \text{N m}$

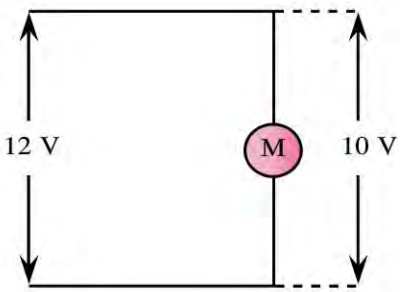
ตอบ แรงที่กระทำต่อขดลวดเท่ากับ 0.125 นิวตัน และโมเมนต์ของแรงคู่ควบที่กระทำต่อขดลวดเท่ากับ 7.5×10^{-2} นิวตัน เมตร

15.6 การประยุกต์ผลของสนามแม่เหล็กต่อตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน

15.7 กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำและแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

15.8 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

13. มอเตอร์เครื่องหนึ่งใช้กับแรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์ ขณะมอเตอร์ทำงานจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ 10 โวลต์ และมีกระแสไฟฟ้าผ่านมอเตอร์ 8 แอมแปร์ ขดลวดของมอเตอร์มีความต้านทานเท่าใด



รูปสำหรับปัญหาข้อ 13

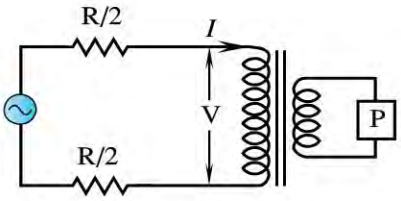
วิธีทำ จาก $I = \dfrac{E}{R}$

แทนค่า $8\text{ A} = \dfrac{(12-10)\text{ V}}{R}$

$R = 0.25\ \Omega$

ตอบ ขดลวดมีความต้านทานเท่ากับ 0.25 โอห์ม

14. จงเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียไปเป็นพลังงานความร้อนตามสายไฟ เมื่อใช้ความต่างศักย์ขนาด 10 , 10^4 และ 10^6 โวลต์ ในเวลาเท่ากัน



รูปสำหรับปัญหาข้อ 14

วิธีทำ ให้ W_1, W_2, W_3 เป็นพลังงานความร้อนตามสายไฟในกรณีความต่างศักย์ ขนาด 10 , 10^4 และ 10^6 โวลต์ ตามลำดับ

จาก $P = IV$ จะได้ กระแสไฟฟ้าในสายส่ง $I = \dfrac{P}{V}$

จะได้ กำลังสูญเสียในสายส่ง $P = I^2R = \left(\dfrac{P}{V}\right)^2 R$

จาก $P = \dfrac{W}{t}$ เมื่อ W คือ พลังงานความร้อน และ t คือ เวลาที่ใช้

ดังนั้นในการส่งกำลังไฟฟ้าค่าหนึ่งด้วยความต่างศักย์ต่างๆ กัน จะสามารถเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในรูปพลังงานความร้อนได้เป็น

จาก $W = Pt$

$$W_1 : W_2 : W_3 = \left(\frac{P}{V_1}\right)^2 Rt : \left(\frac{P}{V_2}\right)^2 Rt : \left(\frac{P}{V_3}\right)^2 Rt$$

$$= \frac{1}{(V_1)^2} : \frac{1}{(V_2)^2} : \frac{1}{(V_3)^2}$$

$$W_1 : W_2 : W_3 = \frac{1}{(10\text{ V})^2} : \frac{1}{(10^4\text{ V})^2} : \frac{1}{(10^6\text{ V})^2}$$

$$= 10^{10} : 10^4 : 1$$

ตอบ พลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียในรูปของพลังงานความร้อนมีสัดส่วนเป็น $10^{10} : 10^4 : 1$

15.9 หม้อแปลง

15. หม้อแปลงเครื่องหนึ่งมีขดลวดปฐมภูมิจำนวน 200 รอบ และขดลวดทุติยภูมิจำนวน 50 รอบ ใช้กับแรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์ โดยมีกระแสไฟฟ้าผ่านขดลวดปฐมภูมิ 0.5 แอมแปร์ ถ้าไม่มีการสูญเสียพลังงานเลย กระแสไฟฟ้าที่ขดลวดทุติยภูมิจะมีค่าเท่าใด

วิธีทำ หาแรงเคลื่อนไฟฟ้าในขดลวดทุติยภูมิ

จาก $\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$

แทนค่า $\frac{12\text{ V}}{E_2} = \frac{200\text{ รอบ}}{50\text{ รอบ}}$

จะได้ $E_2 = 3\text{ V}$

หากระแสไฟฟ้าที่ขดลวดทุติยภูมิ ถ้าไม่มีการสูญเสียพลังงาน

จาก $I_1V_1 = I_2V_2$

$(0.5\text{ A})(12\text{ V}) = I_2(3\text{ V})$

$I_2 = 2\text{ A}$

ตอบ กระแสไฟฟ้าที่ผ่านขดลวดทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 2 แอมแปร์

16. หม้อแปลงเครื่องหนึ่งมีขดลวดปฐมภูมิจำนวน 20 รอบ และขดลวดทุติยภูมิจำนวน 100 รอบ ขดลวดทุติยภูมิต่ออยู่กับตัวต้านทาน 25 โอห์ม ถ้าความต่างศักย์ระหว่างปลายทั้งสองของขดลวดปฐมภูมิมีค่า rms เป็น 25 โวลต์ จะมีกระแสไฟฟ้า rms ผ่านตัวต้านทาน 25 โอห์ม เท่าใด

วิธีทำ หาแรงเคลื่อนไฟฟ้าในขดลวดทุติยภูมิ

จาก $W = qV_1$ จะได้ $V_1 = \frac{W}{q} = 25\text{ J/C} = 25\text{ V}$

จาก $\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$

แทนค่า $\frac{25\text{ V}}{E_2} = \frac{20\text{ รอบ}}{100\text{รอบ}}$

$E_2 = 125\text{ V}$

หากระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทาน 25 โอห์ม

จาก $I = \frac{V}{R}$

แทนค่า $I = \frac{125\ \text{V}}{25\ \Omega} = 5\ \text{A}$

ตอบ กระแสไฟฟ้าผ่านความต้านทาน 25 โอห์ม มีค่าเท่ากับ 5 แอมแปร์

15.10 ค่าของปริมาณที่เกี่ยวข้องกับกระแสสลับ

17. ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีกระแสไฟฟ้า i และเวลา t ตามสมการ $i = 2 \sin 314\,t$ จงหา

ก. กระแสไฟฟ้าสูงสุด ข. ความถี่ ค. กระแสไฟฟ้า rms

วิธีทำ

ก. หา I_m จาก $i = I_m \sin \omega t$

โจทย์กำหนด $i = 2 \sin 314\,t$

เมื่อเปรียบเทียบกัน $I_m = 2\ \text{A}$, $\omega = 314\ \text{rad/s}$

ข. หาความถี่ f จาก $\omega = 2\pi f$

แทนค่า $f = \frac{314\ \text{rad/s}}{2\pi} = 50\ \text{Hz}$

ค. หาค่า I_{rms} จาก $I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$

แทนค่า $I_{rms} = \frac{2}{\sqrt{2}} = 1.41\ \text{A}$

ตอบ ก. กระแสสูงสุดเท่ากับ 2 แอมแปร์

ข. ความถี่เท่ากับ 50 เฮิรตซ์

ค. I_{rms} เท่ากับ 1.4 แอมแปร์

18. ก. จงหาความต้านเชิงความจุของตัวเก็บประจุที่มีความจุ 126 ไมโครฟารัด และความต้านเชิงความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำที่มีความเหนี่ยวนำ 70 มิลลิเฮนรี เมื่อต่อไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่ 100 เฮิรตซ์

ข. ที่ความถี่ใด ความต้านเชิงความจุของตัวเก็บประจุและความต้านเชิงความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าเท่ากัน

วิธีทำ

ก. จาก $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$

แทนค่า $X_C = \frac{1}{(2)(3.14)(100\ \text{Hz})(126 \times 10^{-6}\ \text{F})} = 12.6\ \Omega$

จาก $X_L = \omega L = 2\pi f L$

แทนค่า $X_L = (2)(3.14)(100\,\text{Hz})(70 \times 10^{-3}\,\text{H}) = 44\ \Omega$

ข. โจทย์กำหนด $X_C = X_L$

จะได้ $\frac{1}{\omega C} = \omega L$ หรือ $\omega^2 = \frac{1}{LC}$

$$f^2 = \frac{1}{4\pi^2 LC}$$

แทนค่า $f^2 = \frac{1}{(4)(3.14)^2(126\times10^{-6}\,\text{F})(70\times10^{-3}\,\text{H})}$

$$f = 53.6\ \text{Hz}$$

ตอบ ก. ความต้านทานเชิงความจุของตัวเก็บประจุเท่ากับ 12.6 โอห์ม
ความต้านทานเชิงเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำเท่ากับ 44 โอห์ม
ข. ความถี่ของกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 53.6 เฮิรตซ์

19. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่ 50 เฮิรตซ์ ให้แรงเคลื่อนไฟฟ้า rms 12 โวลต์ จงหากระแสไฟฟ้า rms ในวงจร เมื่อต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้กับ
ก. ตัวต้านทานที่มีความต้านทาน 10 โอห์ม
ข. ตัวเก็บประจุที่มีความจุ 33 ไมโครฟารัด
ค. ตัวเหนี่ยวนำที่มีความเหนี่ยวนำ 20 มิลลิเฮนรี

วิธีทำ

ก. จาก $I_{rms} = \frac{V_{rms}}{R}$

แทนค่า $I_{rms} = \frac{12\ \text{V}}{10\ \Omega} = 1.2\ \text{A}$

ข. จาก $I_{rms} = \frac{V_{rms}}{X_C} = \omega C V_{rms} = 2\pi f C V_{rms}$

แทนค่า $I_{rms} = (2)(3.14)(50\ \text{Hz})(33\times10^{-6}\,\text{F})(12\ \text{V}) = 0.12\ \text{A}$

ค. จาก $I_{rms} = \frac{V_{rms}}{X_L} = \frac{V_{rms}}{2\pi f L}$

แทนค่า $I_{rms} = \frac{(12\ \text{V})}{(2)(3.14)(50\ \text{Hz})(20\times10^{-3}\,\text{H})} = 1.91\ \text{A}$

ตอบ ก. ค่า rms ของกระแสไฟฟ้าในวงจรเท่ากับ 1.2 แอมแปร์
ข. ค่า rms ของกระแสไฟฟ้าในวงจรเท่ากับ 0.12 แอมแปร์
ค. ค่า rms ของกระแสไฟฟ้าในวงจรเท่ากับ 1.9 แอมแปร์

20. ตัวเก็บประจุมีความจุ 30 ไมโครฟารัด ต่อกับเครื่องกำเนิดสัญญาณรูปไซน์ที่เปลี่ยนความถี่ได้ ถ้าเครื่องกำเนิดนี้ให้แรงเคลื่อนไฟฟ้า rms 2 โวลต์ จงหาความถี่ของเครื่องกำเนิดนี้ที่ทำให้กระแสไฟฟ้า rms ที่ผ่านตัวเก็บประจุเท่ากับ 0.5 มิลลิแอมแปร์

วิธีทำ หาความถี่ f ของเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าสลับ

จาก $X_C = \frac{V_{rms}}{I_{rms}}$ และ $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$

ดังนั้น $\frac{V_{rms}}{I_{rms}} = \frac{1}{2\pi fC}$

แทนค่า $\frac{2\text{ V}}{0.5\times10^{-3}\text{ A}} = \frac{1}{(2)(3.14)(f)(30\times10^{-6}\text{ F})}$

$f = 1.33\text{ Hz}$

ตอบ ความถี่ของเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าสลับเท่ากับ 1.3 เฮิรตซ์

21. จากข้อ 20 จงหากระแสไฟฟ้า rms ที่ผ่านตัวเก็บประจุ และกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ตัวเก็บประจุ ถ้าปรับความถี่ของเครื่องกำเนิดสัญญาณเป็น

ก. 50 เฮิรตซ์

ข. 50 กิโลเฮิรตซ์

วิธีทำ

ก. จาก $\frac{V_{rms}}{I_{rms}} = \frac{1}{2\pi fC}$

แทนค่า $\frac{2\text{ V}}{I_{rms}} = \frac{1}{(2)(3.14)(50\text{Hz})(30\times10^{-6}\text{ F})}$

$I_{rms} = 0.0188\text{ A} = 18.8\text{ mA}$

เนื่องจากเป็นวงจรตัวเก็บประจุ เฟสของกระแสไฟฟ้าต่างกับเฟสของความต่างศักย์ $\frac{\pi}{2}$ เรเดียน ค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าจึงเป็นศูนย์

ข. จาก $\frac{V_{rms}}{I_{rms}} = \frac{1}{2\pi fC}$

แทนค่า $\frac{2\text{ V}}{I_{rms}} = \frac{1}{(2)(3.14)(50\times10^{3}\text{ Hz})(3\times10^{-6}\text{ F})}$

$I_{rms} = 18.84\text{ A}$

เนื่องจากเป็นวงจรตัวเก็บประจุ ดังนั้น กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจึงเป็นศูนย์

ตอบ ก. กระแสไฟฟ้า rms เท่ากับ 18.8 มิลลิแอมแปร์ และกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 0

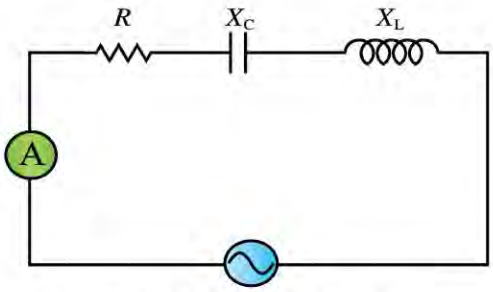
ข. กระแสไฟฟ้า rms เท่ากับ 18.8 แอมแปร์ และกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 0

22. จากวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำซึ่งต่อกันแบบอนุกรม แอมมิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้าได้ 5 มิลลิแอมแปร์ ถ้า R เท่ากับ 30 โอห์ม X_C เท่ากับ 50 โอห์ม และ X_L เท่ากับ 10 โอห์ม จงหา

ก. ความต่างศักย์สูงสุดระหว่างปลายของตัวต้านทาน

ข. กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ ตามลำดับ

วิธีทำ



รูปสำหรับปัญหาข้อ 22

ก. ความต่างศักย์สูงสุดระหว่างปลายของตัวต้านทาน จาก $V_m = I_m R = \sqrt{2}\, I_{rms} R$

แทนค่า $V_m = \sqrt{2}(5\times10^{-3}\ \text{A})(30\ \Omega) = 0.21\ \text{V}$

ข. กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ตัวต้านทาน จาก $P = V_{rms} I_{rms} = \dfrac{V_m}{\sqrt{2}} I_{rms}$

แทนค่า $P = \dfrac{(0.21\ \text{V})}{\sqrt{2}}(5\times10^{-3}\ \text{A}) = 0.74\times10^{-3}\ \text{W}$

สำหรับกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำในวงจร จะมีค่าเป็นศูนย์

ตอบ ก. ความต่างศักย์สูงสุดระหว่างปลายของตัวต้านทานเท่ากับ 0.21 โวลต์

ข. กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ตัวต้านทานเท่ากับ 0.74×10^{-3} วัตต์ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำเท่ากับศูนย์

23. ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีกระแสไฟฟ้า i โดย $i = 5\sin(\omega t - \frac{2\pi}{9})$ และความต่างศักย์ $v = 15\sin(\omega t + \frac{\pi}{9})$ จงหา

ก. ตัวประกอบกำลัง

ข. กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่จ่ายให้แก่วงจร

วิธีทำ จาก $i = 5\sin(\omega t - \frac{2\pi}{9})$ และ $v = 15\sin(\omega t + \frac{\pi}{9})$

จะได้ v มีเฟสนำ i เท่ากับ $\frac{\pi}{9} - (-\frac{2\pi}{9}) = \frac{3\pi}{9} = 60^\circ$ ซึ่งนำมาใช้หาค่าที่ต้องการดังนี้

ก. ตัวประกอบกำลัง $\cos\theta = \cos 60^\circ = \frac{1}{2} = 0.5$

ข. กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่จ่ายให้แก่วงจร $P = VI\cos\theta = \left(\frac{15\text{ V}}{\sqrt{2}}\right)\left(\frac{5\text{ A}}{\sqrt{2}}\right)(0.5)$

$= 18.8\text{ W}$

ตอบ ก. ตัวประกอบกำลัง คือ $\cos\frac{\pi}{3} = 0.5$

ข. กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่จ่ายให้แก่วงจรเท่ากับ 18.8 วัตต์

24. อาคารชุดแห่งหนึ่งใช้ไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์ 220 โวลต์ ถ้าเครื่องใช้ไฟฟ้าของอาคารชุดแห่งนี้ใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 150 กิโลวัตต์ และมีตัวประกอบกำลังรวมเท่ากับ 0.8 เมื่อปรับตัวประกอบกำลังรวมให้เท่ากับ 1.0 โดยยังคงใช้กำลังเฉลี่ยเท่าเดิม จะทำให้กระแสไฟฟ้ารวมในวงจรลดลงจากเดิมเท่าใด

วิธีทำ เมื่อตัวประกอบกำลังเท่ากับ 0.8 หาค่า $I_{\text{รวม}}$

จาก $P = VI\cos\theta$

แทนค่า $150\times10^3\text{ W} = (220\text{ V})\,I(0.8)$

$I = 852.3\text{ A}$

เมื่อตัวประกอบกำลังเท่ากับ 1.0 หาค่า $I_{\text{รวม}}$

แทนค่า $150\times10^3\text{ W} = (220\text{ V})\,I(1.0)$

$I = 681.8\text{ A}$

กระแสไฟฟ้ารวมในวงจรลดลง $= 852.3\text{ A} - 681.8\text{ A} = 170.5\text{ A}$

ตอบ กระแสไฟฟ้ารวมในวงจรลดลง 170.5 แอมแปร์

15.11 การนำความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าและแม่เหล็กไปใช้ประโยชน์

16

บทที่ 16 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

เนื้อหาและเวลาที่ใช้สอน

16.1 ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์และการทดลองของเฮิรตซ์	2	ชั่วโมง
16.2 การแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายอากาศ	2	ชั่วโมง
16.3 สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	4	ชั่วโมง
16.3.1 คลื่นวิทยุ		
16.3.2 คลื่นโทรทัศน์		
16.3.3 คลื่นไมโครเวฟ		
16.3.4 รังสีอินฟราเรด		
16.3.5 แสง		
16.3.6 รังสีอัลตราไวโอเลต		
16.3.7 รังสีเอกซ์		
16.3.8 รังสีแกมมา		
16.4 โพลาไรเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	2	ชั่วโมง
16.4.1 โพลาไรเซชันของแสง		
	รวม 10	**ชั่วโมง**

จุดประสงค์การเรียนรู้

เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. อธิบายการเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยใช้ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์
2. อธิบายวิธีการทดลองของเฮิรตซ์ ซึ่งพิสูจน์ว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามแนวความคิดของแมกซ์เวลล์มีจริง
3. อธิบายได้ว่า เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่กลับไปกลับมาในสายอากาศ จะทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่ออกจากสายอากาศ
4. อธิบายได้ว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นตามขวาง
5. อธิบายความหมายของสเปกตรัม ความแตกต่างและประโยชน์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแต่ละชนิดในสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
6. อธิบายความหมายของโพลาไรเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
7. อธิบายความหมายของแสงไม่โพลาไรส์และแสงโพลาไรส์
8. ทำกิจกรรม เพื่อตรวจสอบว่า เมื่อแสงไม่โพลาไรส์ผ่านแผ่นโพลารอยด์จะเป็นแสงโพลาไรส์
9. ทำการทดลอง และตรวจสอบได้ว่า แสงสะท้อนจากผิววัตถุบางชนิดเป็นแสงโพลาไรส์
10. อธิบายโพลาไรเซชันของแสงโดยการดูดกลืน การสะท้อน การหักเห และการกระเจิง
11. อธิบายมุมบรูสเตอร์และกฎของบรูสเตอร์

สรุปสาระสำคัญ

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดจากการเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่องของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า จึงประกอบด้วยทั้งสองสนาม และสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก ในขณะเดียวกันสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาก็ทำให้เกิดสนามไฟฟ้า โดยทั้งสองสนามตั้งฉากกันและตั้งฉากกับทิศทางของความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจึงเป็นคลื่นตามขวาง

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายอากาศ

เมื่อต่อแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเข้ากับสายอากาศที่อยู่ในแนวดิ่ง ประจุไฟฟ้าในสายอากาศจะเคลื่อนที่กลับไปกลับมาด้วยความเร่งในแนวดิ่ง ประจุไฟฟ้าที่มีความเร่งจะแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมารอบตัว จึงทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากระจายออกมาจากสายอากาศทุกทิศทาง ยกเว้นทิศทางที่อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกับสายอากาศ

สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความเร็วในสุญญากาศเท่ากับ 3×10^8 เมตรต่อวินาที แต่มีความถี่ต่างๆ มากมายต่อเนื่องกันเป็นช่วงกว้าง เรียกรวมกันว่า สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

โพลาไรเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

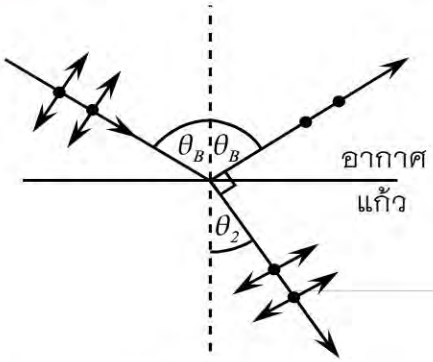
เมื่อส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกไป ถ้าสนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงทิศทางกลับไปกลับมาในระนาบเดียว จะกล่าวได้ว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้เป็น**คลื่นโพลาไรส์** (polarized wave)

โพลาไรเซชันของแสง

แหล่งกำเนิดคลื่นแสงโดยทั่วไป เช่น ดวงอาทิตย์ หลอดไฟ จะปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (คลื่นแสง) โดยสนามไฟฟ้าของแสงที่ส่งออกมามีทิศทางต่างๆ กันมากมาย ดังนั้นแสงจากแหล่งกำเนิดแสงจึงเป็น**แสงไม่โพลาไรส์** โดยใช้หลักการรวมเวกเตอร์ สามารถรวมแสงไม่โพลาไรส์ให้เป็นแสงโพลาไรส์ในสองทิศทางในแนวแกนที่ตั้งฉากกันได้

เมื่อแสงผ่านแผ่นโพลารอยด์ แสงที่สนามไฟฟ้ามีทิศทางขนานกับทิศของโพลาไรส์สามารถผ่านแผ่นโพลารอยด์ได้ ส่วนแสงที่สนามไฟฟ้ามีทิศทางตั้งฉากกับทิศของโพลาไรส์จะถูกแผ่นโพลารอยด์ดูดกลืน

โพลาไรเซชันโดยการสะท้อน



รูป แสงโพลาไรส์โดยการสะท้อน

เมื่อแสงไม่โพลาไรส์ตกกระทบผิววัตถุ ถ้ามุมตกกระทบ (θ_B) ที่ทำให้รังสีสะท้อนทำมุม 90 องศากับรังสีหักเหในวัตถุแล้ว แสงสะท้อนจะเป็นแสงโพลาไรส์ซึ่งมีสนามไฟฟ้าตั้งฉากกับระนาบของการสะท้อน เรียกมุมตกกระทบ (θ_B) นี้ว่า **มุมโพลาไรส์** (polarizing angle) หรือมุม **บรูสเตอร์** (Brewster's angle)

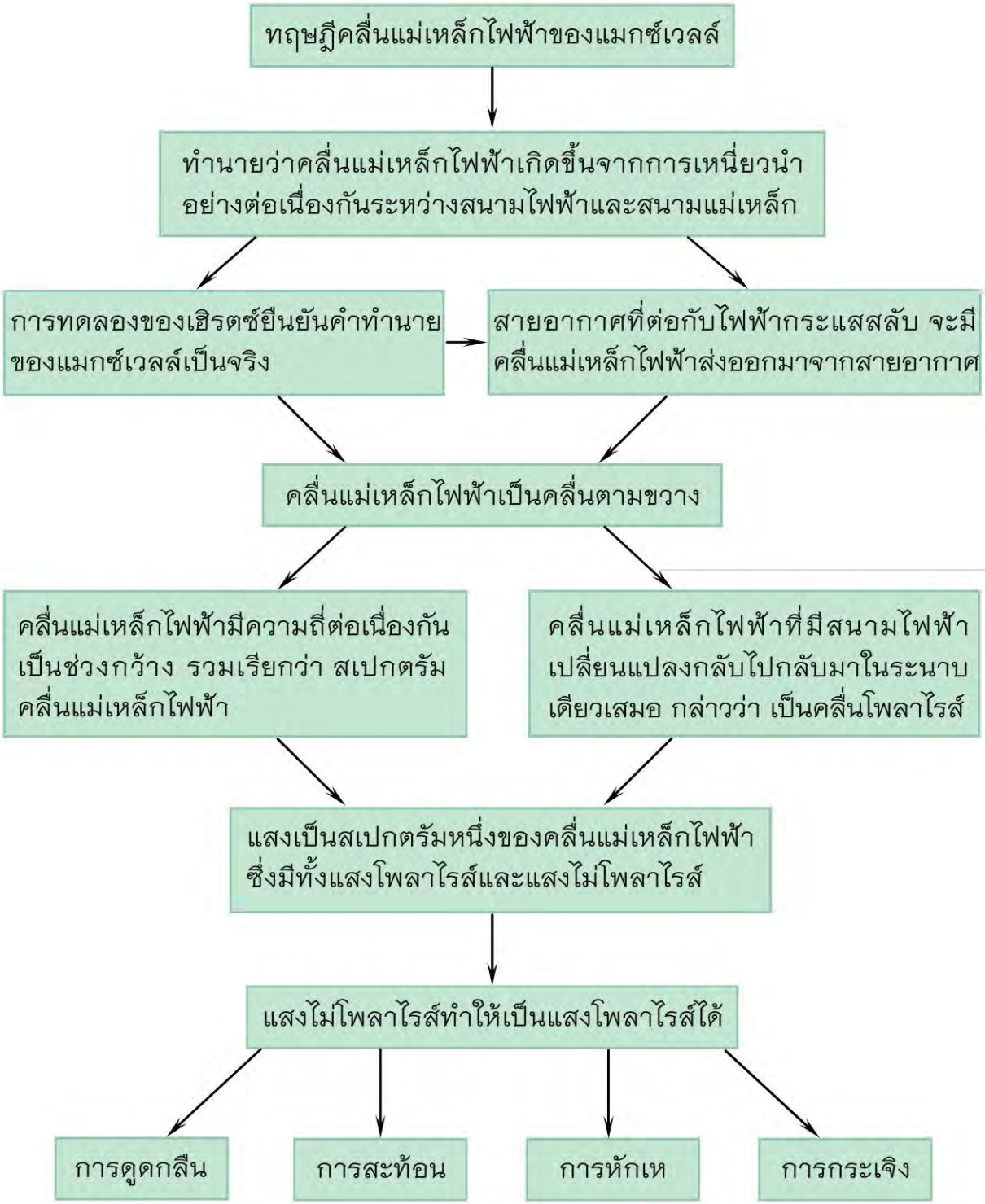
โพลาไรเซชันโดยการหักเห

แสงที่ผ่านแคลไซต์จะ**หักเหออกเป็น 2 แนว** (double refraction หรือ birefringence) รังสีหักเหทั้งสองแนวเป็นแสงโพลาไรส์

โพลาไรเซชันโดยการกระเจิงของแสง

เมื่อแสงอาทิตย์กระทบโมเลกุลอากาศ สนามไฟฟ้าของแสงจะทำให้อิเล็กตรอนในโมเลกุลสั่น โดยแสงที่มีสนามไฟฟ้าในแนวระดับจะทำให้อิเล็กตรอนในโมเลกุลอากาศเคลื่อนที่ไปมาในแนวระดับ และในขณะเดียวกันสนามไฟฟ้าในแนวดิ่งก็จะทำให้อิเล็กตรอนในโมเลกุลของอากาศเคลื่อนที่ไปมาในแนวดิ่ง อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ในแนวระดับจะให้แสงโพลาไรส์ในแนวระดับ ส่วนอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ในแนวดิ่งจะให้แสงโพลาไรส์ในแนวดิ่ง เมื่อมองขึ้นในแนวดิ่งจะเห็นเป็นแสงโพลาไรส์ในแนวระดับ

ผังมโนทัศน์ : บทที่ 16 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า



16.1 ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์และการทดลองของเฮิรตซ์

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. บอกทฤษฎีของแมกซ์เวลล์ได้ว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดจากการเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่องระหว่างสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ในสุญญากาศด้วยอัตราเร็วเท่ากับอัตราเร็วแสง
2. อธิบายการทดลองของเฮิรตซ์ที่พิสูจน์ว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามแนวความคิดของแมกซ์เวลล์มีจริง

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูกล่าวนำถึง การฟังวิทยุ การใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ การชมโทรทัศน์ ว่าเกี่ยวข้องกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยเราใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการส่งสัญญาณ

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

2.1 ครูให้ความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

2.2 ครูสาธิตทฤษฎีของเฮิรตซ์ ดังนี้

ตัวอย่างการสาธิต เรื่องคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามการทดลองของเฮิรตซ์

จุดประสงค์ เพื่อให้นักเรียนสามารถพิสูจน์ว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามแนวความคิดของแมกซ์เวลล์มีจริง และอธิบายวิธีการทดลองของเฮิรตซ์ได้

วัสดุอุปกรณ์

1. ชุดสเปกตรัม (ที่มีขั้วสปาร์คกระแสไฟฟ้าผ่านอากาศ)	1	เครื่อง
2. หลอดนีออนขนาดเล็ก (NEON Lamp NE-2 เส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ยาว 30 มิลลิเมตร)	1	หลอด
3. สายไฟ	2	เส้น
4. แผ่นโลหะตัวนำไฟฟ้า เช่น ทองแดง อะลูมิเนียม	2	แผ่น

ข้อแนะนำสำหรับการสาธิต

1. นำสายไฟมาเชื่อมกับขาของหลอดนีออนทั้งสองข้าง โดยปลายด้านหนึ่งของสายไฟเชื่อมกับแผ่นโลหะตัวนำไฟฟ้า เช่น ทองแดงและอะลูมิเนียม จากนั้นนำมาวางใกล้กับขั้วสปาร์คกระแสไฟฟ้าผ่านอากาศของชุดสเปกตรัม โดยระยะห่างไม่ควรเกิน 3 เซนติเมตร

รูป 16.1 การสาธิตเรื่องคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากชุดสเปกตรัม แผ่นตัวนำและหลอดนีออน

2. เมื่อสับสวิตช์เครื่องสเปกตรัม ขั้วไฟฟ้าจะสปาร์คกระแสไฟฟ้าผ่านอากาศและสร้างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่งสัญญาณแผ่ออกไป สนามไฟฟ้าของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งมาถึงสายไฟ จะทำให้เกิดแรงจากสนามไฟฟ้าบังคับให้อิเล็กตรอนในสายไฟและแผ่นโลหะตัวนำที่เชื่อมต่อกับหลอดนีออนเคลื่อนที่ตามแรงจากสนามไฟฟ้าของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้หลอดนีออนสว่างขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามแนวคิดของแมกซ์เวลล์มีจริง โดยอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ระหว่างขั้วไฟฟ้าจนเกิดการสปาร์คกระแสไฟฟ้าผ่านอากาศขึ้นจะทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สายไฟฟ้าและแผ่นโลหะตัวนำทำหน้าที่เป็นสายอากาศรับสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

2.3 ครูให้นักเรียนร่วมอภิปรายตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

2.4 ครูชี้ให้นักเรียนเห็นว่า ผลการทดลองและคำอธิบายของเฮิรตซ์ สนับสนุนทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์ และนอกจากนี้เฮิรตซ์ยังได้ทำการทดลองและสรุปว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีอัตราเร็วเท่ากับอัตราเร็วแสง

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

ให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายคำตอบของคำถามในกรอบคำถามที่ว่า จากการทดลองของเฮิรตซ์ ถ้าใช้ไฟฟ้ากระแสสลับแทนการปิดเปิดสวิตช์ไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ ผลที่เกิดขึ้นจะเป็นอย่างไร ผลการอภิปรายคำตอบควรได้ข้อสรุปดังนี้ คือ ถ้าใช้ไฟฟ้ากระแสสลับแทนการปิดเปิดสวิตช์ ผลที่เกิดขึ้น คือ สามารถทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาได้เช่นกัน

16.2 การแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายอากาศ

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. อธิบายได้ว่าเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่กลับไปกลับมาในสายอากาศ จะทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่ออกจากสายอากาศ
2. บอกได้ว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นตามขวาง

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูนำชุดสเปกตรัมมาใช้เป็นชุดสาธิตจำลองการทดลองของเฮิรตซ์ โดยใช้วิทยุระบบ AM เป็นเครื่องรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะพบว่าวิทยุมีเสียงแทรกในขณะที่มีการเกิดประกายไฟจากขั้วสปาร์คกระแสไฟฟ้าผ่านอากาศของชุดสเปกตรัม

รูป 16.2 ชุดสาธิตจำลองการทดลองของเฮิรตซ์

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

2.1 ครูให้ความรู้การแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายอากาศตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

2.2 ครูชี้ใช้นักเรียนเห็นว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นตามขวางมีการเปลี่ยนค่าของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางของความเร็วของคลื่น

[illegible]สำหรับครู

ในวงจรเครื่องส่งวิทยุ สัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในวงจร ยังมิใช่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เพราะยังเคลื่อนที่อยู่ในตัวนำโลหะ (สายไฟหรือสายทองแดง) สัญญาณที่เกิดขึ้นนั้นเป็นเพียงสัญญาณไฟฟ้าที่มีความถี่สูง ต่อเมื่อมีสายอากาศที่เหมาะสม สัญญาณไฟฟ้าจะถูกส่งออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ยุคแรกๆ ของการส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ประสิทธิภาพการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ายังต่ำมาก ต่อเมื่อความรู้และเทคโนโลยีเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจึงสูงขึ้น

สำหรับเครื่องรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าก็เช่นเดียวกัน จะใช้สายอากาศรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้ประจุเคลื่อนที่ตามแรงของสนามไฟฟ้า (กรณีเป็นสายอากาศแบบเส้น) เกิดเป็นสัญญาณไฟฟ้า เพื่อส่งเข้าวงจรไฟฟ้าต่างๆ ต่อไป

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

ครูถามคำถามเกี่ยวข้องกับการหาทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากกฎมือขวา ตามรายละเอียดในหนังสือเรียนและให้นักเรียนตอบคำถามท้ายบทข้อ 1

16.3 สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. บอกได้ว่าสเปกตรัม คือ แถบรังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ต่อเนื่องกันเป็นช่วง
2. บอกความแตกต่างและประโยชน์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแต่ละชนิดในสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

16.3.1 คลื่นวิทยุ

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. บอกช่วงความถี่ของคลื่นวิทยุได้
2. บอกความแตกต่างและประโยชน์ของการส่งคลื่นวิทยุระบบเอเอ็มและระบบเอฟเอ็มได้

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูถามนำเกี่ยวกับรายการวิทยุที่นักเรียนสนใจ ทั้งรายการที่ส่งด้วยคลื่น AM และ FM จากนั้นถามถึงความถี่ที่ใช้สำหรับรายการวิทยุนั้น

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

ครูให้ความรู้เรื่องคลื่นวิทยุตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับนักเรียน

สถานีวิทยุกระจายเสียงส่งคลื่นวิทยุออกไปทางสายอากาศของเครื่องส่ง คลื่นวิทยุจะเคลื่อนที่ไปในอากาศด้วยความเร็วแสง เมื่อคลื่นวิทยุเคลื่อนที่มาถึงสายอากาศของเครื่องรับ (วิทยุ) พลังงานของคลื่นวิทยุจะทำให้อิเล็กตรอนในอะตอมของสายอากาศเคลื่อนที่กลับไปกลับมา เป็นเหตุให้เกิดกระแสไฟฟ้าในสายอากาศ ทำให้เกิดสัญญาณไฟฟ้าในเครื่องรับที่มีค่าเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณของคลื่นวิทยุ จากนั้นสัญญาณไฟฟ้าจะถูกส่งมายังวงจรเลือกความถี่ที่ประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุที่ต่ออยู่ด้วยกัน เฉพาะสัญญาณไฟฟ้าที่มีความถี่เหมาะสมจะผ่านวงจรนี้ออกไปยังวงจรอื่นๆ จนกระทั่งได้เสียงออกจากเครื่องรับ

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

ผู้สอนยกตัวอย่างเพิ่มเติมเกี่ยวกับการใช้ไมค์ลอย (ซึ่งเป็นเครื่องส่งวิทยุ) และเครื่องรับไมค์ลอย (ซึ่งเป็นเครื่องรับวิทยุ) ชนิดหนึ่ง ซึ่งผู้สอนอาจจะให้ผู้เรียนไปศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติม

รูป 16.3 ไมค์ลอย

สำหรับครู

1. สายอากาศเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้สัญญาณไฟฟ้าของเครื่องส่งถูกแปลงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และสายอากาศยังทำให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าถูกแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าของเครื่องรับ สายอากาศที่ออกแบบมาเหมาะสมจะช่วยเลือกความถี่ของคลื่นวิทยุได้ ระบบการสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุและโทรทัศน์ในปัจจุบัน มีสายอากาศหลายรูปแบบ เช่น เป็นเส้นตรง เส้นงอโค้งเป็นจานพาราโบลา เป็นต้น ขึ้นอยู่กับประเภทของการสื่อสาร

สายอากาศของเครื่องรับวิทยุที่ใช้กันทั่วไปมี 2 แบบ คือ แบบเส้นและแบบทำเป็นบ่วง (loop) สายอากาศแบบเส้นจะรับสัญญาณสนามไฟฟ้าของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้นสายอากาศชนิดนี้จะรับสัญญาณวิทยุได้ดีที่สุดเมื่อสายอากาศอยู่ในแนวขนานกับสนามไฟฟ้าของคลื่นวิทยุที่เข้ามา ส่วนสายอากาศแบบบ่วงจะรับสัญญาณสนามแม่เหล็กของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มักจะวางในแนวดิ่ง เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านสายอากาศ สนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงจะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในสายอากาศ

2. การผสมสัญญาณไฟฟ้าของเสียงเข้ากับสัญญาณไฟฟ้าความถี่สูง หรือคลื่นพาหะนั้นเรียกว่า การโมดูเลต เหตุที่จำเป็นต้องมีการผสมคลื่นดังกล่าวก็เพราะว่าสัญญาณไฟฟ้าความถี่ต่ำจะเปลี่ยนเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ไม่ดีนัก เนื่องจากมีความยาวคลื่นมาก ตามสมการ $\lambda = \frac{c}{f}$ จึงต้องใช้สายอากาศที่ยาวมาก

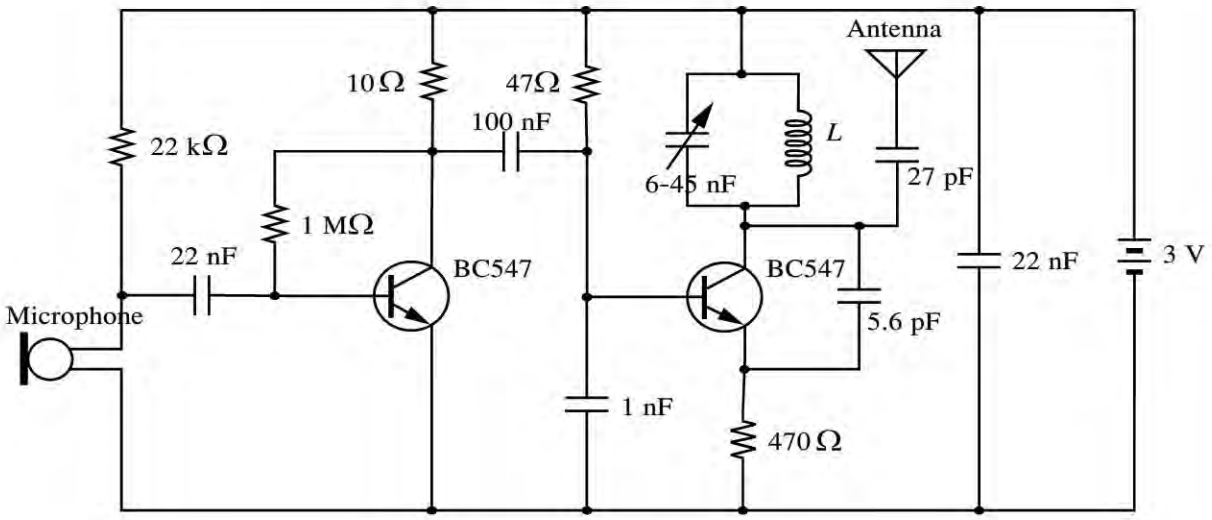
<u>ตัวอย่าง</u> ต้องการสัญญาณไฟฟ้าช่วงความถี่ 1000 Hz แสดงว่าสายอากาศจะต้องส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกไปโดยมีความยาวคลื่น 300 km ซึ่งคำนวณได้จาก $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3\times10^{8}\,\text{m/s}}{1000\,\text{Hz}}$ 3×10^{5} m = 300 km หมายความว่า สายอากาศของทั้งเครื่องส่งและเครื่องรับ จะต้องมีความยาวมาก ซึ่งเป็นไปไม่ได้ที่จะทำเสาอากาศที่สูงขนาดนั้น แต่ถ้าส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงๆ เช่น 10^{7} Hz ซึ่งมีความยาวคลื่น 30 m สามารถจะทำเสาอากาศให้มีความสูงน้อยลงได้

ดังนั้น ถ้าต้องการส่งสัญญาณเสียงที่มีความถี่อยู่ในช่วงตั้งแต่ 20 - 20 000 Hz ซึ่งหูคนรับฟังได้ออกสู่อากาศ จะต้องทำให้คลื่นนั้นมีความถี่สูงขึ้นในระดับเมกะเฮิรตซ์ ด้วยวิธีการผสมสัญญาณเสียงกับสัญญาณคลื่นวิทยุซึ่งมีความถี่สูงนั่นเอง

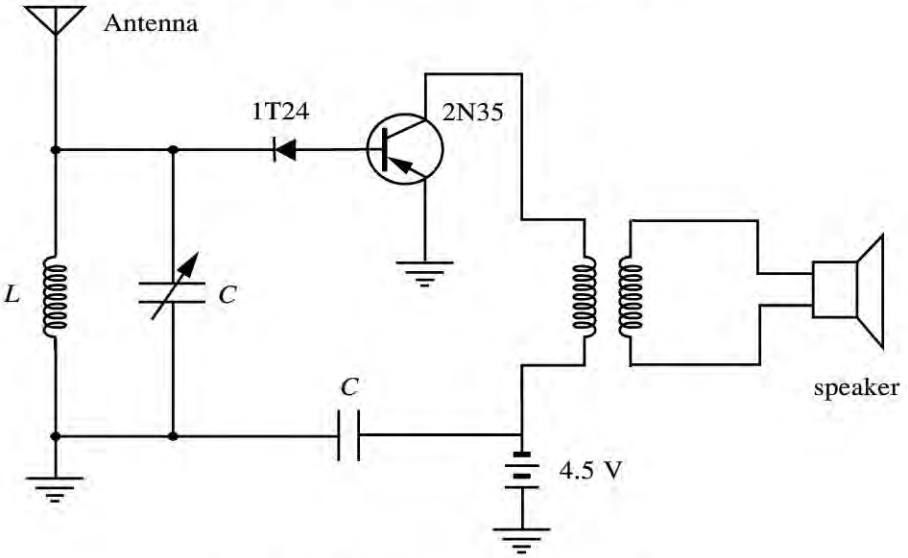
3. การส่งคลื่นวิทยุระบบเอเอ็ม และระบบเอฟเอ็ม แตกต่างกันที่การผสมสัญญาณคลื่นเสียงเข้ากับคลื่นพาหะ ถ้าสัญญาณคลื่นเสียงไปทำให้แอมพลิจูดของคลื่นพาหะเปลี่ยนแปลง โดยยังคงมีความถี่คงตัว เป็นการผสมแบบเอเอ็ม แต่ถ้าสัญญาณเสียงไปทำให้ความถี่ของคลื่นพาหะเปลี่ยนแปลงโดยมีแอมพลิจูดคงตัว เป็นการผสมแบบเอฟเอ็ม การส่งคลื่นวิทยุทั้งสองระบบมีใช้กันอย่างแพร่หลาย มีทั้งข้อดีและข้อเสียต่างกัน

ระบบเอเอ็ม ทำได้ง่ายทั้งเครื่องรับและเครื่องส่ง สามารถส่งไปได้ไกล แต่มีข้อเสียคือถูกรบกวนได้ง่าย เมื่อเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากประกายไฟฟ้า หรือจากฟ้าแลบ ฟ้าผ่า ส่วนระบบเอฟเอ็มนั้น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากประกายไฟฟ้า หรือจากฟ้าแลบ ฟ้าผ่ามีความถี่ต่ำกว่าคลื่นเอฟเอ็มมาก จึงไม่ถูกรบกวน แต่การสร้างเครื่องรับและเครื่องส่งยุ่งยากกว่า และส่งไปได้ไม่ไกล เหมาะสำหรับการติดต่อสื่อสาร หรือส่งรายการบันเทิงในเขตเมืองหนึ่งๆ เท่านั้น

4. วิทยุคลื่นสั้น สามารถส่งไปได้ไกลเกินระยะที่ส่วนโค้งของโลกบังไว้ ทั้งนี้เพราะวิทยุคลื่นสั้นมีความถี่สูงกว่าความถี่ของคลื่นเอเอ็มเล็กน้อย และเป็นความถี่ที่อยู่ในช่วงที่สะท้อนจากบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ได้ ดังนั้น การทำให้วิทยุคลื่นสั้นสะท้อนกลับไปกลับมาระหว่างบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์และผิวโลก สามารถทำให้คลื่นวิทยุนั้นส่งไปได้ไกลมากๆ เหมาะสำหรับการสื่อสารระยะไกล



รูป 16.4 วงจรเครื่องส่งวิทยุอย่างง่าย



รูป 16.5 วงจรเครื่องรับวิทยุอย่างง่าย

บรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์เป็นบรรยากาศชั้นที่โมเลกุลของอากาศอยู่ในสภาพแตกตัวเป็นไอออน ทำให้เกิดประจุไฟฟ้าอิสระมากมาย เมื่อคลื่นวิทยุที่ส่งจากพื้นโลกกระทบบรรยากาศชั้นนี้ สนามไฟฟ้าจากคลื่นวิทยุจะส่งแรงกระทำกับประจุไฟฟ้า ทำให้ประจุไฟฟ้าอิสระเหล่านั้นสั่นไปมาเนื่องจากดูดกลืนพลังงานไว้ ผลของการสั่นของประจุไฟฟ้าทำให้อิเล็กตรอนมีความเร่ง จึงปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาโดยมีความถี่เท่ากัน จึงมีผลเสมือนกับว่าคลื่นวิทยุขึ้นไปบนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แล้วสะท้อนกลับลงมา แต่ถ้าคลื่นวิทยุที่ขึ้นไปมีความถี่สูงมากเกินไป ประจุไฟฟ้าอิสระสั่นตามไม่ทัน คลื่นวิทยุจะไม่เสียพลังงานและจะทะลุผ่านชั้นบรรยากาศออกไป

16.3.2 คลื่นโทรทัศน์

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. บอกช่วงความถี่ของคลื่นโทรทัศน์ได้
2. บอกประโยชน์ของคลื่นโทรทัศน์ได้
3. อธิบายการส่งสัญญาณโทรทัศน์ได้

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูถามนำเกี่ยวกับรายการโทรทัศน์ที่ผู้เรียนสนใจ การส่งสัญญาณโทรทัศน์ว่าเป็นแบบใดทางอากาศ ทางดาวเทียม หรือทางเส้นใยนำแสง

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายตามรายละเอียดในหนังสือเรียนเกี่ยวกับคลื่นโทรทัศน์ โดยครูชี้ให้นักเรียนเห็นว่าการส่งคลื่นโทรทัศน์นั้นเป็นการส่งสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงพร้อมๆ กัน แตกต่างจากคลื่นวิทยุที่มีแต่สัญญาณเสียงอย่างเดียว และให้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับระบบการส่งคลื่นโทรทัศน์ว่ามีหลายระบบ เช่น ระบบ VHF ระบบ UHF ระบบ MMDS และระบบดาวเทียม

สำหรับครู

ระบบการส่งสัญญาณโทรทัศน์

ระบบการส่งสัญญาณโทรทัศน์ซึ่งเป็นการแพร่ทั้งสัญญาณภาพและเสียงมีหลายระบบ ซึ่งอาจส่งโดยใช้คลื่นโทรทัศน์หรือคลื่นไมโครเวฟเป็นพาหะ รวมถึงส่งโดยสัญญาณไฟฟ้าหรือสัญญาณแสง เช่น

ระบบ VHF (Very High Frequency) เป็นระบบการสื่อสารระยะใกล้ด้วยความถี่ในช่วง **30 MHz - 300 MHz** ใช้ในการกระจายเสียงวิทยุและการแพร่ภาพโทรทัศน์ การส่งสัญญาณจากสถานีภาคพื้นดิน (terrestrial station) เป็นสัญญาณแอนะล็อก สามารถส่งได้ในระยะหลายร้อยกิโลเมตร และรับสัญญาณด้วยเสาอากาศ

ระบบ UHF (Ultra High Frequency) เป็นระบบการสื่อสารระยะใกล้ด้วยความถี่ **300 MHz - 3 GHz** ใช้ในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ การสื่อสารการบิน เป็นต้น สัญญาณเป็นแอนะล็อก และเนื่องจากมีความยาวคลื่นสั้นมากจึงไม่สามารถเลี้ยวเบนอ้อมผ่านสิ่งกีดขวางได้ จึงไม่สามารถส่งสัญญาณได้ไกล ต้องมีสถานีถ่ายทอดสัญญาณเป็นช่วงๆ การรับสัญญาณสามารถรับได้ด้วยเสาอากาศ

ระบบ MMDS (Multichannel Multipoint Distribution System) เป็นระบบดิจิตอลส่งสัญญาณโทรทัศน์ด้วยความถี่ **2.1 GHz - 2.7 GHz** การรับสัญญาณที่ชัดเจนมีข้อจำกัด คือ จะต้องมีระยะห่างจากเสาอากาศส่งสัญญาณในช่วง 12 - 15 กิโลเมตร

ระบบดาวเทียม เป็นระบบการส่งสัญญาณโทรทัศน์โดยใช้คลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นพาหะส่งสัญญาณย่านความถี่ซีแบนด์ **3.4 GHz - 4.8 GHz** และย่านความถี่เคยูแบนด์ **10.7 GHz - 12.3 GHz** จะรับสัญญาณจากดาวเทียมที่มีความเร็วเชิงมุมในการโคจรเท่ากับความเร็วเชิงมุมการหมุนรอบตัวเองของโลก หรือที่เรียกดาวเทียมค้างฟ้า (geostationary satellite) การรับสัญญาณจะต้องอาศัยชุดจานรับสัญญาณดาวเทียม

ระบบส่งสัญญาณโทรทัศน์ทางสาย สามารถทำได้ 2 แบบ คือ การส่งตามสายโลหะตัวนำที่หุ้มด้วยฉนวนไฟฟ้า (coaxial) เช่น โทรทัศน์วงจรปิด และการส่งทางเส้นใยนำแสง (fiber optic) ทั้ง 2 กรณีนี้สัญญาณโทรทัศน์ยังไม่ได้ถูกเปลี่ยนเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยในสายโลหะยังเป็นเพียงสัญญาณไฟฟ้า ส่วนในเส้นใยนำแสงจะเป็นสัญญาณแสง

รูป 16.6 เส้นใยนำแสง

การส่งตามเส้นใยนำแสง สัญญาณโทรทัศน์ที่ยังเป็นสัญญาณไฟฟ้าจะถูกเปลี่ยนเป็นแสงโดยอาศัยเลเซอร์ไดโอด (laser diode) ความเข้มของแสงที่ออกจากเลเซอร์ไดโอดจะเปลี่ยนตามสัญญาณไฟฟ้า ทำให้ได้สัญญาณแสงที่ส่งผ่านเส้นใยนำแสง เมื่อถึงปลายทางจะมีตัวรับรู้ทางแสง (optical sensor) เช่น โฟโตไดโอด (photodiode) และโฟโตทรานซิสเตอร์ (phototransistor) ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า จากนั้นจึงเข้าวงจรของเครื่องรับโทรทัศน์

ปัจจุบันการส่งสัญญาณโทรทัศน์ตามเส้นใยนำแสง จะส่งในรูปของรังสีอินฟราเรด (Infrared) ทำให้สามารถลดการรบกวนจากแสงภายนอกได้ดีขึ้น

การแพร่ภาพโทรทัศน์

ระบบการแพร่ภาพโทรทัศน์มีหลายระบบ เช่น

การส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบ NTSC (the national television system commitee) จะส่งภาพ 30 ภาพต่อวินาที ความละเอียดภาพน้อยกว่าการส่งระบบ PAL ใช้ในประเทศที่ส่งกระแสไฟฟ้าระบบ 100V/60Hz

การส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบ PAL (phase alternation line) ส่งภาพ 25 ภาพต่อวินาที ความละเอียดภาพสูง แต่มองเห็นการสั่นของภาพมากกว่า NTSC

และการส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบ SECAM (sequential color with memory) จะส่งภาพ 25 ภาพต่อวินาที ความละเอียดภาพเทียบเท่า PAL แต่ระบบความต่างสีสูง (high contrast) ด้อยกว่าระบบ PAL และมีการสั่นของภาพเช่นเดียวกับระบบ PAL

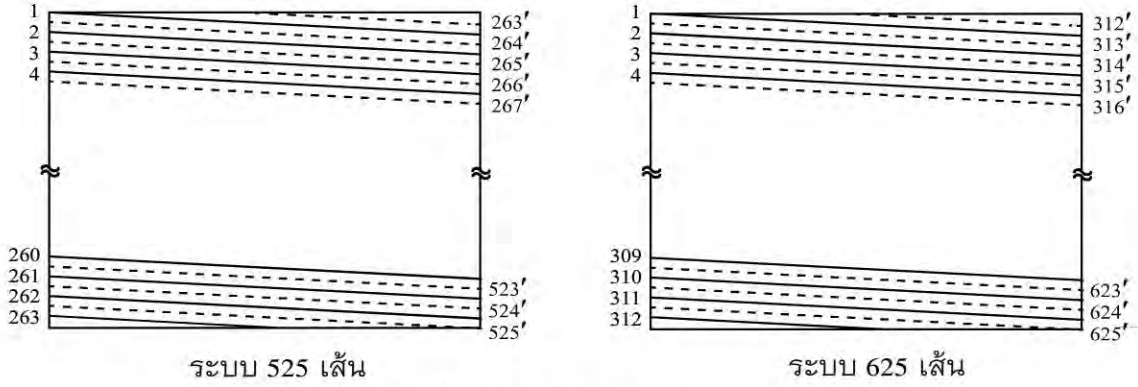
การส่งสัญญาณโทรทัศน์ในประเทศไทยนั้นใช้ระบบ PAL

ลักษณะของจอโทรทัศน์

การแสดงภาพบนจอโทรทัศน์มีใช้กันหลายระบบ เช่น ระบบจอชนิด CRT (cathode ray tube) ระบบจอชนิดผลึกเหลว LCD (liquid crystal display) ระบบจอชนิดแก๊สพลาสมา (gas plasma display) และระบบจอชนิดแอลอีดี (light-emitting diode display : LED display)

1. ระบบจอชนิด CRT

การเกิดภาพบนจอโทรทัศน์อาศัยหลอดภาพ cathode ray tube (CRT) ยิงลำอิเล็กตรอนกระทบจอที่ฉาบสารเรืองแสง ทำให้ปรากฏเป็นแสงสีเรืองๆ ขึ้นบนจอ ถ้าลำอิเล็กตรอนไม่เคลื่อนที่จุดสว่างที่เกิดขึ้นก็จะอยู่กับที่ แต่ถ้าควบคุมลำอิเล็กตรอนให้วิ่งกวาดไปมาบนจอในแนวหนึ่งซ้ำๆ กันก็จะเห็นเป็นเส้นแสงปรากฏบนจอ โดยลำอิเล็กตรอนจะกวาดไปบนจอทีละเส้นจากตอนบนลงมาตอนล่างของจอจนเต็มจอ ด้วยความถี่ในการกวาดแต่ละเส้นสูงเพียงพอที่ทำให้เห็นเส้นแสงครบเต็มจอ ปกติจอที่มีคุณภาพดีจะไม่ให้ลำอิเล็กตรอนกวาดเรียงชิดติดกันทุกเส้น แต่จะกวาดเส้นเว้นเส้น เมื่อครบถึงตอนล่างแล้วจึงกวาดเส้นที่เหลือ ดังนั้นการที่จะได้ภาพครบ 1 ภาพ ต้องกวาดในแนวดิ่งครบ 2 ครั้ง



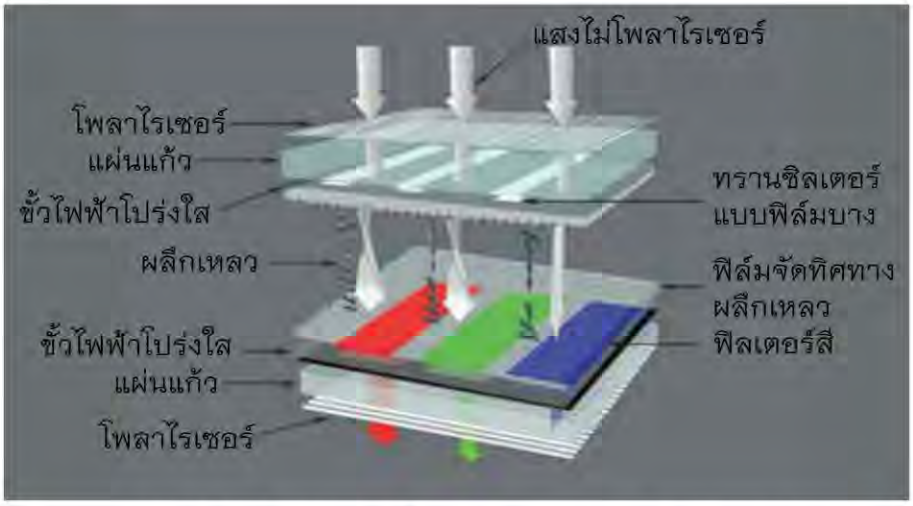
รูป 16.7 ลักษณะของเส้นบนจอที่เกิดจากการกวาดของอิเล็กตรอน

จำนวนเส้นที่ปรากฏบนจอแตกต่างกันตามระบบที่ส่ง ของประเทศไทยใช้ระบบ 625 เส้น แสดงว่าบนจอมีจำนวนเส้นอยู่ 625 เส้น โดยการกวาดเส้นเว้นเส้นตามแนวดิ่ง เมื่อกวาดครบ 2 ครั้ง ได้ภาพ 1 ภาพ การกวาดแต่ละเส้นเร็วมากคือ กวาดขึ้นลงในแนวดิ่งได้ 50 ครั้ง ในเวลา 1 วินาที นั่นคือ คิดเป็นจำนวนภาพได้ 25 ภาพ ใน 1 วินาที

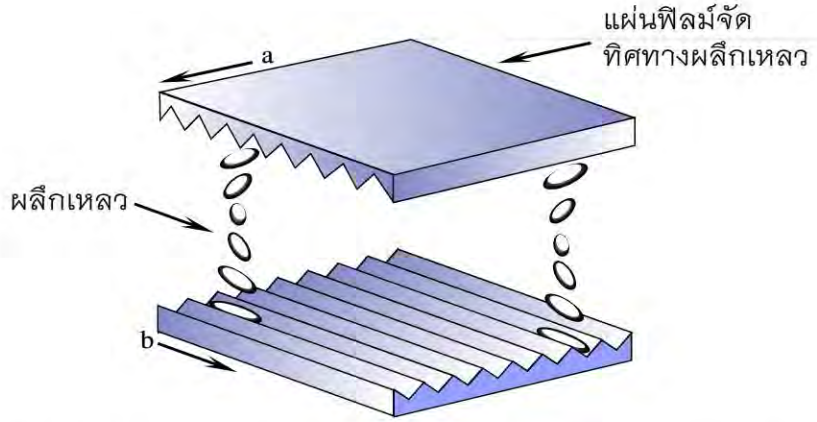
จอ CRT ให้ภาพที่มีความคมชัดและสีสันสวยงาม แต่มีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก ปัจจุบันจึงไม่ได้รับความนิยม

2. ระบบจอชนิดผลึกเหลว LCD (liquid crystal display)

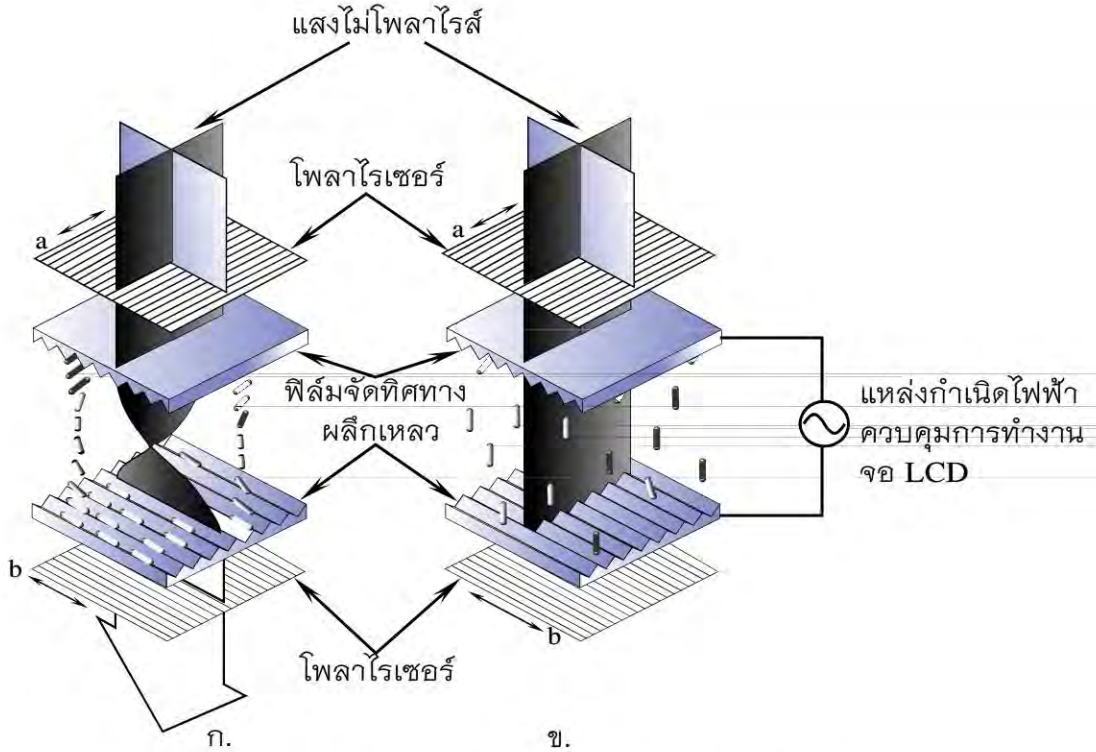
เป็นจอภาพที่ไม่มีหลอดภาพยิงลำอิเล็กตรอนสำหรับกวาดหน้าจอเหมือนระบบจอชนิด CRT มีโครงสร้างหลักคือ 1. หลอดฟลูออเรสเซนต์ (fluorescent) ทำหน้าที่สร้างแสงสว่างแก่หน้าจอ 2. กระจกฝ้า (diffuser) ทำหน้าที่กระจายแสงให้มีความสว่างสม่ำเสมอ 3. โพลาไรเซอร์ (polarizer) ชั้นที่ 1 ใช้สร้างแสงโพลาไรส์จากแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ 4. ทรานซิสเตอร์แบบฟิล์มบาง (thin-film transistor) ทำหน้าที่เป็นสวิตช์เปิด–ปิดสัญญาณไฟฟ้าให้แก่ขั้วไฟฟ้าโปร่งใสของจอชนิดผลึกเหลว 5. ขั้วไฟฟ้าโปร่งใส 2 ขั้วที่ทำจากวัสดุนำไฟฟ้าอินเดียม–ทินออกไซด์ (indium tin oxide) เคลือบที่ซับสเตรตแก้วใส (glass substrate) 6. ผลึกเหลว (liquid crystal) ใช้ควบคุมแนวการโพลาไรส์ของคลื่นแสง โดยการวางตัวของโมเลกุลผลึกเหลวจะส่งผลต่อการบิดของแนวคลื่นแสงโพลาไรส์ได้ 7. ฟิลเตอร์สี (color filter) ใช้เพื่อเปลี่ยนแสงโพลาไรส์สีขาวที่ผ่านผลึกเหลวมาให้เป็นแสงโพลาไรส์สี มี 3 สี คือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน 8. แผ่นแก้ว ทำหน้าที่ปิดผนึกไว้ไม่ให้ผลึกเหลวไหลออกมาได้ 9. โพลาไรเซอร์ชั้นที่ 2 ใช้เป็นตัวกรองแสงสีที่ผ่านมาจากฟิลเตอร์สี ให้ปรากฏเป็นภาพบนหน้าจอ โดยโพลาไรเซอร์ตัวที่ 2 นี้จะยอมให้แสงที่มีแนวโพลาไรส์ตั้งฉากกับแนวโพลาไรส์ของแสงที่ออกจากโพลาไรเซอร์ตัวแรกผ่าน แต่จะไม่ให้แสงที่มีแนวโพลาไรส์เดียวกันกับโพลาไรเซอร์ตัวแรกผ่าน เนื่องจากแผ่นโพลาไรเซอร์ทั้ง 2 แผ่น ถูกวางโดยให้แนวโพลาไรส์ตั้งฉากกัน ดังรูป 16.8



รูป 16.8 ลักษณะการทำงานของจอชนิดผลึกเหลว LCD



รูป 16.9 การเรียงตัวของผลึกเหลวระหว่างแผ่นฟิล์มจัดทิศทางผลึกเหลว



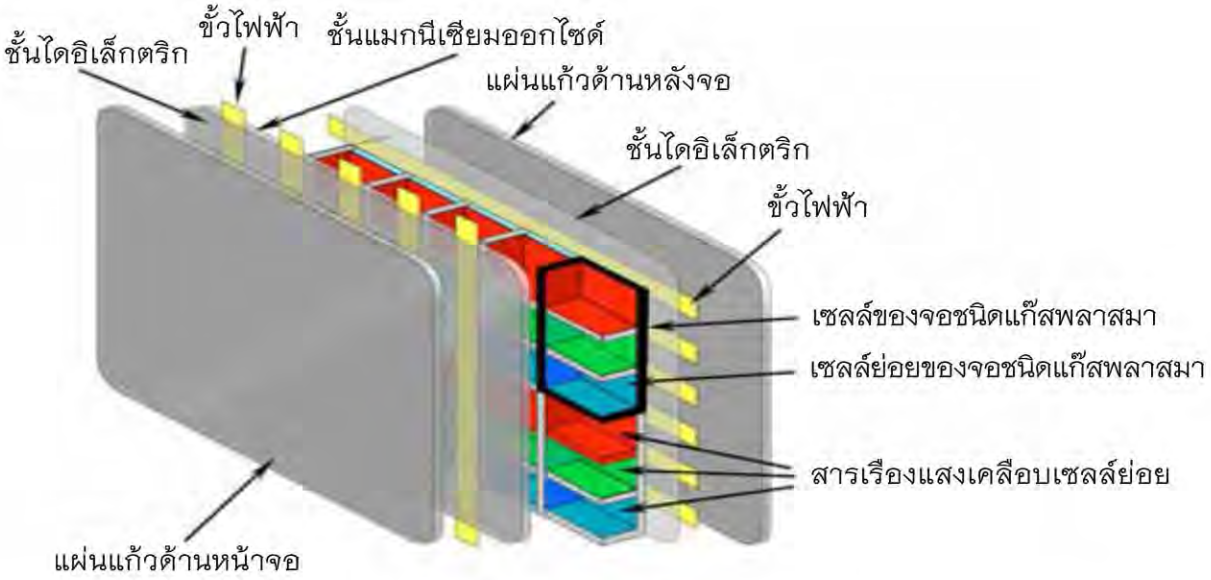
รูป 16.10 การเรียงตัวของผลึกเหลวระหว่างแผ่นฟิล์มจัดทิศทาง

การทำงานของจอชนิดผลึกเหลว LCD คือ เมื่อแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์กระทบกระจกฝ้า คลื่นแสงจะกระจายในทุกทิศทุกทางและผ่านไปกระทบโพลาไรเซอร์ทำให้คลื่นแสงที่ผ่านออกมาเป็นแสงโพลาไรส์ เมื่อแสงโพลาไรส์ผ่านถึงชั้นของผลึกเหลว ซึ่งโดยปกติการเรียงตัวของผลึกเหลวจะเป็นระเบียบแบบต่อเนื่องกันตามแนวร่อง (groove) ของแผ่นฟิล์มจัดทิศทางผลึกเหลว (orientation film) ทั้งสองข้าง ในลักษณะบิดตามแนวของ

แผ่นฟิล์มที่วางขนานโดยมีร่องตั้งฉากกัน ดังรูป 16.9 แกนโพลาไรส์จะบิดตัวตามแนวการเรียงตัวของโมเลกุลผลึกเหลว ซึ่งหมายถึงแกนของแสงโพลาไรส์จะบิดตัวจากแนวเดิมไป 90 องศาตามแนวของแผ่นฟิล์มจัดทิศทางที่วางตั้งฉากกัน และผ่านเข้าสู่ฟิลเตอร์สี (color filter) ทำให้แสงนี้กลายเป็นแสงสี ดังนั้นเมื่อแสงโพลาไรส์สีที่บิดตัวกระทบโพลาไรเซอร์ตัวถัดมา แสงจะผ่านโพลาไรเซอร์นี้ได้ทั้งหมด เนื่องจากแผ่นโพลาไรเซอร์แผ่นที่สองมีแนวการโพลาไรส์ตั้งฉากกับแนวการโพลาไรส์ของแผ่นโพลาไรเซอร์แผ่นแรก แต่เมื่อให้กระแสไฟฟ้าจนสวิตช์ทรานซิสเตอร์แบบฟิล์มบางทำงาน จะเกิดความต่างศักย์ขึ้นระหว่างขั้วไฟฟ้าสนามไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าทั้งสองจะส่งผลให้โมเลกุลของผลึกเหลววางตัวในแนวของสนามไฟฟ้าของศักย์ไฟฟ้าที่ให้ การวางตัวของผลึกเหลวในแนวของสนามไฟฟ้าจะไม่ส่งผลต่อคลื่นแสงให้เกิดการบิดตัว แสงโพลาไรส์ที่ผ่านผลึกเหลวจึงไม่มีการบิดตัว และเมื่อแสงโพลาไรส์นี้กระทบแผ่นโพลาไรเซอร์แผ่นที่สอง แสงจึงไม่สามารถผ่านออกมาได้เนื่องจากมีแนวการโพลาไรส์ตั้งฉากกัน ดังรูป 16.10 ข จึงเห็นเป็นจุดมืดหรือจุดสว่าง รวมถึงสีต่างๆ เมื่อควบคุมให้แสงสีที่ผ่านออกมาผสมกันในแต่ละเซลล์กำเนิดภาพ และสามารถสร้างเป็นภาพต่างๆ ให้เห็นเป็นจอภาพได้ เมื่อทำการควบคุมแสงสีแต่ละเซลล์

3. ระบบจอชนิดแก๊สพลาสมา (gas plasma)

เป็นจอที่แสดงผลด้วยการควบคุมปริมาณโฟตอนของแก๊สพลาสมา (plasma gas) ให้รังสีอัลตราไวโอเลตที่เกิดจากแก๊สพลาสมาตกกระทบสารเรืองแสง (phosphor) และเปล่งแสงสีตามต้องการ มีโครงสร้างสำคัญคือ เซลล์ขนาดเล็กจำนวนมากที่ภายในเซลล์ประกอบด้วยเซลล์ย่อยสามเซลล์ บรรจุแก๊สเฉื่อย เช่น นีออนและซีนอน เป็นต้น ทั้งสามเซลล์ย่อยเคลือบด้วยสารเรืองแสงที่ให้แสงสีต่างกันคือ สีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน เซลล์ทั้งหมดของจอภาพถูกประกบด้วยแผ่นแก้วสองแผ่น แผ่นแก้วแต่ละแผ่นติดขั้วไฟฟ้าบางๆ เรียงขนานกันผ่านเซลล์ย่อยทุกเซลล์ และขั้วไฟฟ้าจะถูกเคลือบด้วยสารไดอิเล็กทริก เมื่อไอออนของแก๊สพลาสมาถูกสนามไฟฟ้าออกแรงกระทำจะเคลื่อนที่มาที่ขั้วไฟฟ้า และชนกับไดอิเล็กทริกที่เคลือบด้วยสารเรืองแสงจะทำให้สารเรืองแสงเปล่งแสงออกมาเช่นกัน อย่างไรก็ตามกรณีที่ไอออนของแก๊สพลาสมามาชนกับชั้นไดอิเล็กทริกอาจทำให้ชั้นไดอิเล็กทริกสึกกร่อนได้ จึงมีการเคลือบแมกนีเซียมออกไซด์เพื่อป้องกันการสึกกร่อนของชั้นไดอิเล็กทริกอีกที การวางตัวของแผ่นแก้วทั้งสองจะอยู่ในลักษณะที่ขั้วไฟฟ้าของแต่ละแผ่นวางตัวตั้งฉากซึ่งกันและกัน ดังรูป 16.11



รูป 16.11 โครงสร้างจอชนิดแก๊สพลาสมา

เมื่อกระแสไฟฟ้าผ่านขั้วไฟฟ้าของแผ่นแก้วทั้งสอง จะเกิดความต่างศักย์มากที่สุด ณ ตำแหน่งจุดตัดของขั้วไฟฟ้าของแผ่นแก้วทั้งสอง จนทำให้อะตอมของแก๊สเฉื่อยที่บรรจุอยู่ในเซลล์แตกตัวเป็นแก๊สพลาสมาที่ประกอบด้วยไอออนบวกและอิเล็กตรอนอิสระ ซึ่งอิเล็กตรอนอิสระที่เกิดขึ้นจะคายพลังงานด้วยการปลดปล่อยรังสีอัลตราไวโอเลตเพื่อให้อิเล็กตรอนเข้าสู่สถานะพื้น รังสีอัลตราไวโอเลตนี้เมื่อกระทบสารเรืองแสงจะทำให้สารเรืองแสงเปล่งแสงตามสีของสารเรืองแสงนั้น การปรับเปลี่ยนสีของเซลล์แต่ละเซลล์เพื่อทำให้ได้สีตามต้องการ จึงทำได้โดยการควบคุมความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ย่อยแต่ละเซลล์ให้แก๊สพลาสมาที่เกิดขึ้นปลดปล่อยรังสีอัลตราไวโอเลตจนสารเรืองแสงเปล่งแสงสีทั้งสามสี คือ สีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน มาผสมกันให้ได้สีตามต้องการ สัญญาณไฟฟ้าที่ใช้ควบคุมให้เกิดภาพบนจอแบบแก๊สพลาสมา จึงจะต้องมีลักษณะเป็นสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม (PWM : Pulse-Width Modulation)

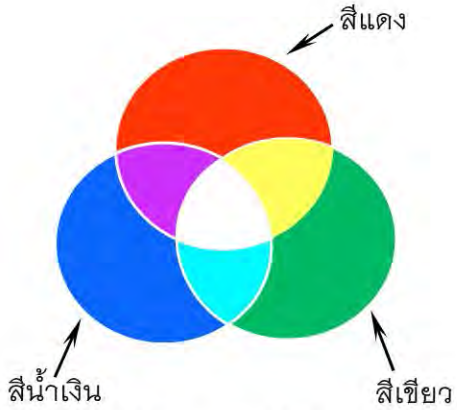
4. ระบบจอชนิดแอลอีดี (light-emitting diodes display: LED display)

ระบบจอชนิดแอลอีดีมีพัฒนาการเริ่มต้นเพื่อการแสดงผลด้วยหน้าจอขนาดใหญ่ ดังรูป 16.12 โดยอาศัยการผสมสีของหลอดแอลอีดี 3 หลอดในหนึ่งหน่วยเซลล์ที่มีสีต่างกัน ได้แก่ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ดังรูป 16.13-16.14 หลอดแอลอีดีในเซลล์แต่ละหลอดจะถูกควบคุมด้วยสัญญาณไฟฟ้าในระบบดิจิตอลให้ติดสว่างและผสมสีกันจนได้สีที่ต้องการ เช่น

ถ้าต้องการสีขาวหลอดแอลอีดีทั้ง 3 หลอดจะติด ถ้าต้องการสีเหลืองแอลอีดีสีแดงและสีเขียวจะติด เป็นต้น โดยความละเอียดของจอแบบหลอดแอลอีดีนี้ จะไม่สูงมากนัก ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดของเซลล์หลอดแอลอีดี

รูป 16.12 จอขนาดยักษ์ด้วยระบบจอชนิดแอลอีดี

รูป 16.13 เซลล์กำเนิดสีของระบบจอชนิดแอลอีดีขนาดยักษ์

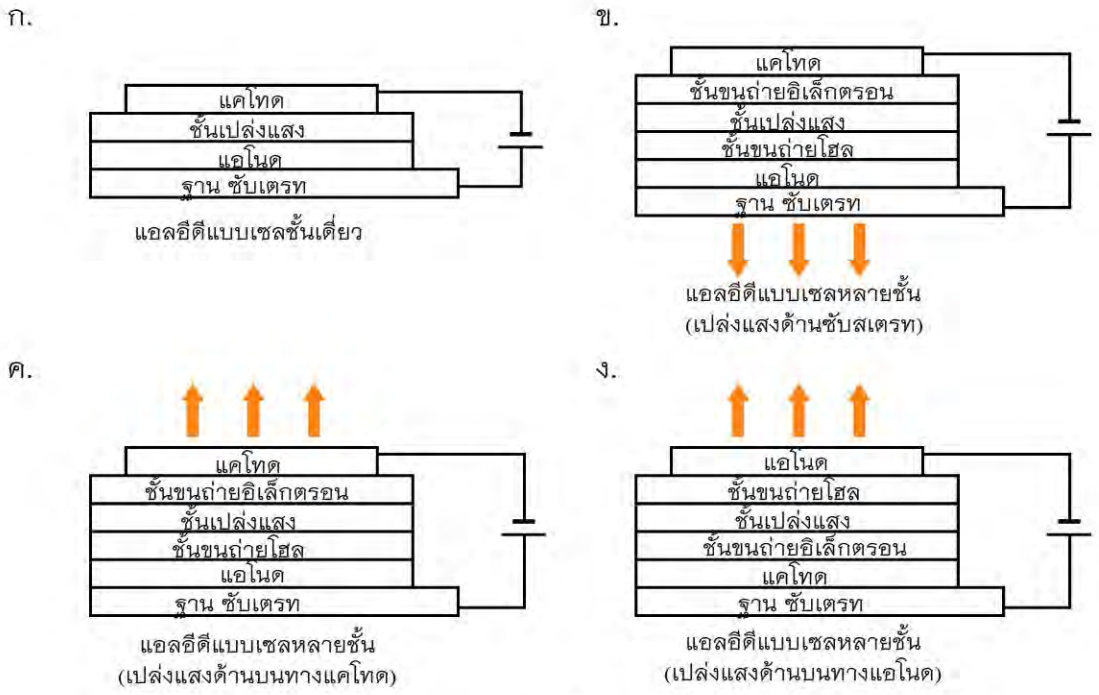


รูป 16.14 การทำงานของจอแอลอีดีขนาดยักษ์อาศัยการผสมสีของหลอดแอลอีดี 3 สี

ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกในปัจจุบันทำให้ระบบจอชนิดแอลอีดีได้ถูกพัฒนาให้ภาพมีความละเอียดและความคมชัดมากยิ่งขึ้น ขนาดบางเล็ก ประหยัดพลังงาน ตอบสนองต่อคำสั่งได้อย่างรวดเร็ว รวมถึงสามารถสร้างจอภาพที่มีความยืดหยุ่นได้ ดังรูป 16.15

รูป 16.15 จอแอลอีดีแบบโพลีเมอร์สารอินทรีย์ที่สามารถยืดหยุ่นได้
(ภาพจาก Jin Jang. displays develop a new flexibility, 2006.)

ระบบจอชนิดแอลอีดีประสิทธิภาพสูงนี้คือ ระบบจอแอลอีดีแบบโพลีเมอร์สารอินทรีย์ (organic light-emitting diodes: OLED) มีโครงสร้างประกอบด้วย ขั้วไฟฟ้าแคโทด (cathode) ชั้นขนถ่ายโฮล (hole transport layer: HTL) ชั้นเปล่งแสง (emissive layer: EML) ชั้นขนถ่ายอิเล็กตรอน (electron transport layer: ETL) ขั้วไฟฟ้าแอโนด (anode) และซับสเตรท (substrate) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการออกแบบ ดังรูป 16.16 แสดงโครงสร้างเซลล์ของจอแอลอีดี 4 โครงสร้างที่แตกต่างกัน รูป 16.16 ก เป็นเซลล์จอแอลอีดีแบบเซลล์ชั้นเดี่ยว (single layer) รูป 16.16 ข - 16.16 ง เป็นเซลล์จอแอลอีดีแบบเซลล์หลายชั้น (multiple layer)



รูป 16.16 โครงสร้างของ OLED หนึ่งเซลล์ 4 โครงสร้างที่แตกต่างกัน

การทำงานของระบบจอแอลอีดีแบบโพลีเมอร์สารอินทรีย์ คือ เมื่อจ่ายไฟไบแอสตรงให้กับแอลอีดี อิเล็กตรอนจากขั้วแคโทดหรือชั้นขนถ่ายอิเล็กตรอน และโฮลจากขั้วแอโนดหรือชั้นขนถ่ายโฮล จะถูกกระตุ้นให้เคลื่อนที่มารวมกันโดยการรวมกันนี้อิเล็กตรอนจะคายพลังงานออกมาในรูปของรังสีในชั้นแปลงแสง จึงทำให้แอลอีดีเปล่งแสงได้ ในเชิงพานิชย์แอลอีดีที่ผลิตส่วนมากจะใช้โครงสร้างแบบเซลล์ชั้นเดี่ยว ดังรูป 16.16 ก - 16.16 ข เนื่องจากผลิตได้ง่าย

การทำงานของกล้องถ่ายวีดิทัศน์และการส่งสัญญาณโทรทัศน์

ไมโครโฟนใช้แปลงเสียงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า สำหรับการแปลงภาพให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าจะใช้ตัวรับรู้ทางแสง (optical sensor) ตัวอย่างเช่น โฟโตไดโอดที่เรียงติดกันเป็นล้านจุดเป็นส่วนแปลงภาพให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า สำหรับกล้องโทรทัศน์สี จะมีวงจรไฟฟ้าและตัวรับรู้ทางแสงที่ซับซ้อนกว่ากล้องโทรทัศน์ขาวดำมาก โดยที่ตัวรับรู้เหล่านี้ นอกจากจะแปลงภาพให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้วยังสามารถกำหนดสีของแต่ละจุดได้

เมื่อเราแปลงเสียงและภาพให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้ว สัญญาณทั้งสองจะถูกนำไปรวมกับคลื่นพาหะ เพื่อจะส่งไปยังเสาอากาศ จากนั้นสัญญาณโทรทัศน์จะถูกเปลี่ยนเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นโทรทัศน์ การส่งคลื่นทางอากาศทำได้ 2 แบบ คือ จากเสาอากาศมายังเครื่องรับโดยตรง และจากเครื่องส่งไปยังดาวเทียมแล้วดาวเทียมจึงส่งสัญญาณไปมายังเครื่องรับ ข้อเสียของการส่งคลื่นโทรทัศน์ทางอากาศคือ มีการรบกวนเนื่องจากสภาพอากาศได้ง่าย เช่น ฝนตก ฟ้าคะนอง เมฆหนาทึบ เป็นต้น

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

ครูให้นักเรียนร่วมกันสรุปเกี่ยวกับช่วงความถี่ของคลื่นโทรทัศน์และการใช้ประโยชน์ของคลื่นโทรทัศน์

16.3.3 คลื่นไมโครเวฟ

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. บอกช่วงความถี่ของคลื่นไมโครเวฟได้
2. บอกประโยชน์ของคลื่นไมโครเวฟได้

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูสาธิตการพูดผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ เพื่อแสดงให้เห็นถึงการใช้คลื่นไมโครเวฟในการสื่อสาร

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

ครูอภิปรายร่วมกับนักเรียนเรื่องไมโครเวฟตามรายละเอียดในหนังสือเรียน และให้ความรู้เพิ่มเติมเรื่องเรดาร์

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับนักเรียน

เรดาร์ (radar) เป็นตัวย่อของ radio detection and ranging หมายถึง การตรวจหาตำแหน่งของวัตถุโดยวิธีส่งคลื่นไมโครเวฟออกไป แล้วรับคลื่นที่สะท้อนกลับมาทำให้บอกได้ว่าวัตถุนั้นอยู่ไกลเท่าใด ในการส่งคลื่นไมโครเวฟออกไปนั้น จะส่งออกไปในลักษณะเป็นคลื่นดลประมาณ 200 ถึง 300 คลื่น ภายใน 1 วินาที และออกไปในทิศทางที่แน่นอนทิศทางหนึ่ง ดังนั้นคลื่นที่สะท้อนกลับมาจะทำให้ทราบตำแหน่งของวัตถุได้ สายอากาศของเรดาร์จะหมุนรอบตัวเองอย่างช้าๆ อยู่ตลอดเวลาทั่วท้องฟ้าเพื่อค้นหาเป้าหมาย หน่วยงานที่ใช้เรดาร์ ได้แก่ หน่วยงานของการบินพาณิชย์ที่ใช้เรดาร์ในการควบคุมการบิน หน่วยงานของทหารที่ใช้เรดาร์หาตำแหน่งของเรือ อากาศยานเพื่อการป้องกันประเทศ รวมทั้งกรมอุตุนิยมวิทยาที่ใช้เรดาร์ เพื่อการตรวจสอบสภาพอากาศ เป็นต้น ในการตรวจหาตำแหน่งของวัตถุนอกจากจะใช้เรดาร์แล้วยังมีอีกวิธีการหนึ่งคือ ใช้ระบบจีพีเอส (GPS)

GPS มาจากคำว่า global positioning system ซึ่งเป็นระบบที่ประกอบด้วยเครือข่ายของดาวเทียม 24 ดวง ที่โคจรรอบโลกที่ระดับความสูงประมาณ 19 000 กิโลเมตรจากพื้นโลก โดยจะโคจรรอบโลกครบ 1 รอบในเวลา 12 ชั่วโมง ดาวเทียมเหล่านี้จะส่งสัญญาณคลื่นวิทยุที่ความถี่ประมาณ 1500 MHz มายังโลก เครื่องรับ GPS ที่วัตถุก็จะนำสัญญาณมาประมวลผลเป็นตำแหน่งที่แน่นอนของวัตถุ

โทรศัพท์เคลื่อนที่ จะมีไมโครโฟนแปลงสัญญาณเสียงเป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งจะรวมกับสัญญาณพาหะที่เครื่องผลิตขึ้นมา แล้วส่งออกในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงไมโครเวฟ นับว่าโทรศัพท์เคลื่อนที่ คือ เครื่องส่งคลื่นวิทยุขนาดเล็ก

สำหรับการรับสัญญาณคลื่นไมโครเวฟ โทรศัพท์เคลื่อนที่ทำหน้าที่เป็นเครื่องรับวิทยุขนาดเล็ก ปัจจุบันมีการเพิ่มกล้องถ่ายภาพและระบบบริการอินเตอร์เน็ตกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ ทำให้โทรศัพท์เคลื่อนที่กลายเป็นเครื่องส่งโทรภาพและคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่สามารถส่งทั้งภาพและเสียงในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ เมื่อทำหน้าที่รับโทรศัพท์เคลื่อนที่จะเป็นเหมือนเครื่องรับโทรทัศน์และคอมพิวเตอร์อินเตอร์เน็ตที่สามารถรับภาพและเสียงได้

นอกจากการใช้ส่งสัญญาณแล้ว ยังใช้ไมโครเวฟในรูปพลังงานความร้อน ตัวกำเนิดคลื่นไมโครเวฟที่อยู่ในเตาไมโครเวฟจะผลิตคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงออกมา ความถี่ของคลื่นจะพอเหมาะให้โมเลกุลของน้ำสั่นอย่างรุนแรง จนทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว น้ำที่เป็นส่วนประกอบของอาหาร เนื้อสัตว์จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนทำให้อาหาร เนื้อสัตว์ สุกได้

รูป 16.17 เตาไมโครเวฟ

ข้อควรระวังสำหรับการใช้เตาไมโครเวฟ คือไม่ควรนำโลหะเข้าไปในเตา เพราะโลหะจะไปทำให้คลื่นไมโครเวฟที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิด เกิดการสะท้อนกลับมา ทำให้แหล่งกำเนิดเกิดความเสียหายได้ นอกจากนี้ ถ้าโลหะที่ใส่เข้าไปมีรูปร่างโค้งหรือมีปลายแหลม อาจทำให้เกิดประกายไฟขึ้นในเตาไมโครเวฟ และเกิดการลุกไหม้ได้

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

ครูให้นักเรียนร่วมกันสรุปเกี่ยวกับช่วงความถี่ของคลื่นไมโครเวฟและการใช้ประโยชน์ของคลื่นไมโครเวฟ

16.3.4 รังสีอินฟราเรด

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. บอกช่วงความถี่ของรังสีอินฟราเรดได้
2. บอกประโยชน์ของรังสีอินฟราเรดได้
3. บอกได้ว่าวัตถุร้อนจะแผ่รังสีอินฟราเรด

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูสาธิตการใช้เครื่องควบคุมจากระยะไกล (remote control) ปิด เปิด เปลี่ยนช่องโทรทัศน์ ชี้ให้เห็นถึงการใช้ประโยชน์ในรูปอินฟราเรด

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเรื่องรังสีอินฟราเรดตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ร่างกายมนุษย์มีอุณหภูมิประมาณ 37 องศาเซลเซียส จึงสามารถแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในรูปของรังสีอินฟราเรด โดยการใช้ infrared thermometer เราสามารถวัดอุณหภูมิของร่างกายได้โดยไม่ต้องให้เครื่องวัดสัมผัสกับร่างกาย การวัดอุณหภูมิวิธีเช่นนี้มีข้อดี คือ ไม่มีการทำให้เครื่องวัดปนเปื้อนสิ่งสกปรก ดังเช่นการใช้เทอร์มอมิเตอร์แบบอมในปาก หรือเสียบข้างรักแร้

นอกจากนี้ ยังมีการสร้างกล้องถ่ายภาพเคลื่อนที่ด้วยรังสีอินฟราเรด ทำให้สามารถมองเห็นร่างกายมนุษย์ในห้องมืดได้

การอ่านข้อมูลโดยใช้แสง ในทางปฏิบัติจะใช้ infrared laser diode เป็นตัวส่งรังสีอินฟราเรดความเข้มสูงไปกระทบผิวหน้าของแผ่น CD หรือ DVD จากนั้นจะมี infrared photodiode เป็นตัวอ่านสัญญาณอินฟราเรดที่สะท้อนมา ทำให้ทราบรหัส 0 หรือ 1 ที่บันทึกบนแผ่น CD

สำหรับการบันทึก จะใช้ infrared laser diode กำลังสูง ทำให้เกิดรอยรหัส 0 หรือ 1 บนแผ่น CD

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

ครูให้นักเรียนร่วมกันสรุปเกี่ยวกับช่วงความถี่ของรังสีอินฟราเรดและการใช้ประโยชน์ของรังสีอินฟราเรด

16.3.5 แสง

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. บอกช่วงความถี่ของแสงได้
2. บอกประโยชน์และการประยุกต์เกี่ยวกับแสงได้

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

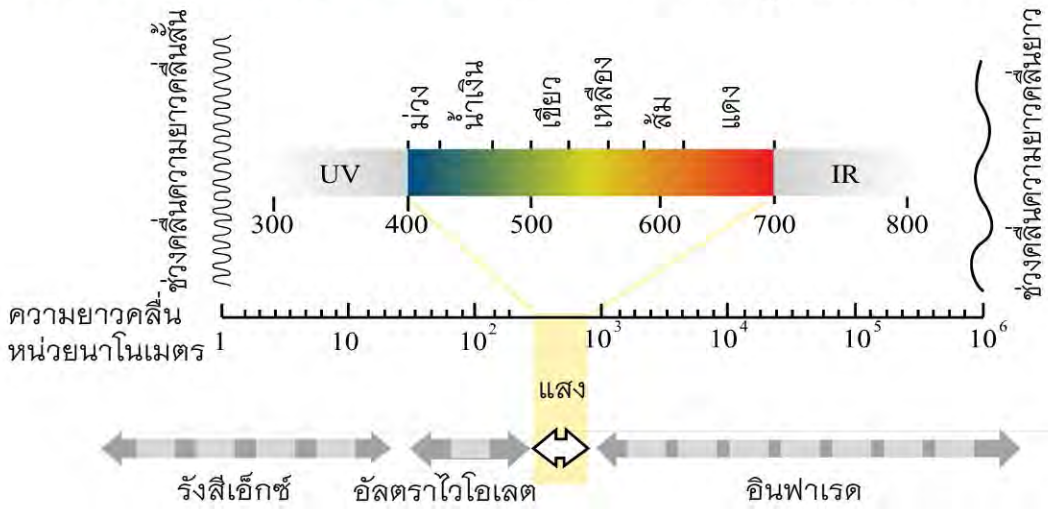
ครูกล่าวถึงความรู้เรื่องแสงที่ได้ศึกษามาแล้วในบทที่ 11 และ 12 ชี้ให้เห็นว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

ครูดำเนินการเรียนการสอนเรื่องแสงตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

สำหรับครู

ความยาวคลื่นและความถี่คลื่นของแสงแต่ละสีแสดงดังรูปและตาราง ดังนี้



รูป 16.18 สเปกตรัมของแสงสีต่างๆ

ความยาวคลื่นและความถี่ของแสงสีต่างๆ		
แสงสี	**ความยาวคลื่น (m)**	**ความถี่ (Hz)**
ม่วง	$3.9 - 4.5\times10^{-7}$	$6.7 - 7.7\times10^{14}$
น้ำเงิน	$4.5 - 4.9\times10^{-7}$	$6.1 - 6.7\times10^{14}$
เขียว	$4.9 - 5.8\times10^{-7}$	$5.3 - 6.1\times10^{14}$
เหลือง	$5.8 - 6.0\times10^{-7}$	$5.1 - 5.3\times10^{14}$
ส้ม	$6.0 - 6.2\times10^{-7}$	$4.8 - 5.1\times10^{14}$
แดง	$6.2 - 7.7\times10^{-7}$	$3.9 - 4.8\times10^{14}$

การอ่านแถบรหัสสินค้า ใช้หลักการเช่นเดียวกับการอ่านข้อมูลโดยใช้แสง

สำหรับการใช้เลเซอร์ทางด้านการแพทย์ เลเซอร์ที่ใช้มีกำลังสูงมากพอทำให้เนื้อเยื่อที่ถูกแสงมีอุณหภูมิสูงขึ้น จนกลายเป็นไออย่างรวดเร็ว ด้วยวิธีการเช่นนี้ แผลจากการผ่าตัดด้วยเลเซอร์จะเล็กมาก และไม่ทำให้เนื้อเยื่อรอบข้างเสียหาย จึงเหมาะสำหรับงานที่เล็กมาก เช่น การผ่าตัดดวงตาโดยจักษุแพทย์

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

ครูให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายประโยชน์ของแสงและการนำแสงไปประยุกต์ใช้

16.3.6 รังสีอัลตราไวโอเลต

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. บอกช่วงความถี่รังสีอัลตราไวโอเลตได้
2. บอกประโยชน์และโทษของรังสีอัลตราไวโอเลตได้

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูถามนำเกี่ยวกับครีมที่ใช้ทาป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต ซึ่งทั่วไปนิยมเรียกว่าครีมกันแดด

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

ครูดำเนินการเรียนการสอนเรื่องรังสีอัลตราไวโอเลตตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

รูป 16.19 ครีมกันรังสีอัลตราไวโอเลต

รังสีอัลตราไวโอเลตเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความยาวคลื่นประมาณ 100 nm - 400 nm โดยทั่วไปจะได้มาจากแสงอาทิตย์ เป็นส่วนน้อยที่ได้จากเครื่องมือที่มนุษย์สร้างขึ้น รังสีอัตราไวโอเลตเป็นรังสีที่มีผลต่อผิวหนังของมนุษย์มากที่สุด ปริมาณรังสีที่ได้รับมากเกินไปจะสามารถทำให้เม็ดสีเมลานิน มีสีคล้ำขึ้น ทำลายเนื้อเยื่อคอลลาเจนและอีลาสติก เป็นเหตุให้เกิดริ้วรอยเหี่ยวย่น หรือผิวแก่ก่อนวัย

จึงมีการคิดค้นครีมป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต เพื่อลดปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านไปถึงผิวหนัง โดยพิจารณาจากค่าการปกป้องแสงแดด (sun protection factor, SPF) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้บอกระดับการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต B ที่ตกกระทบผิวหนังที่ทำให้ผิวหนังแดงคล้ำตัวเลขที่ระบุแสดงจำนวนเท่าของเวลาที่ผิวหนังทนต่อรังสีอัลตราไวโอเลต B ได้ เมื่อทาครีมป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตแล้ว ปกติผิวหนังที่ไม่ได้ทาครีมป้องกันรังอัลตราไวโอเลตทนรังสีอัลตราไวโอเลตได้ประมาณ 20-30 นาที ดังนั้นถ้าทาครีมป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีค่า SPF 15 ผิวหนังจะทนต่อแสงแดดได้ 20 × 15 = 300 นาที หรือ 5 ชั่วโมง ข้อควรระวังคือสารในครีมป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตนั้นอาจมีผลกระทบต่อผิวหนังได้

ธนาคารพาณิชย์จะใช้รังสีอัลตราไวโอเลตช่วยในการตรวจสอบลายมือชื่อ ถ้าลายมือชื่อนั้นมีการขูดขีดหรือลบ รังสีอัลตราไวโอเลตจะช่วยให้เห็นร่องรอยเหล่านั้นชัดเจนขึ้น ตามนุษย์ไม่สามารถมองเห็นรังสีอัลตราไวโอเลตได้โดยตรง แต่รังสีที่ไปกระทบกระดาษจะถ่ายโอนพลังงานทำให้กระดาษเรืองแสงขึ้น

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

ครูให้นักเรียนร่วมกันสรุปประโยชน์และโทษของรังสีอัลตราไวโอเลต

16.3.7 รังสีเอกซ์

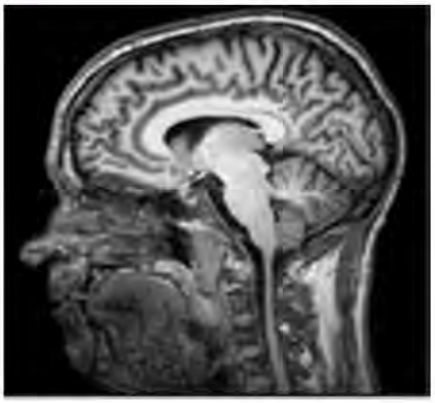
จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. บอกช่วงความถี่รังสีเอกซ์ได้
2. บอกประโยชน์ของรังสีเอกซ์ได้

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูถามนำเกี่ยวกับการตรวจสุขภาพ โดยการใช้รังสีเอกซ์ จากนั้นนำฟิล์มเอกซ์เรย์ที่มองเห็นกระดูก มาอภิปรายกับนักเรียน รวมทั้งการใช้ computerized X-ray



รูป 16.20 การใช้ computerized X-ray ตรวจสมอง

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

ครูให้ความรู้เกี่ยวกับรังสีเอกซ์ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน โดยครูให้ความรู้เพิ่มเติมว่า เนื่องจากรังสีเอกซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงานสูง ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงการได้รับรังสีในปริมาณสูง ยกเว้นในกรณีรักษาพยาบาล บุคลากรที่ทำงานด้านรังสีต้องมีการป้องกันอันตรายจากการได้รับรังสีในปริมาณที่มากเกินความจำเป็น

เพิ่มเติมสำหรับครู

อันตรายจากรังสีเอกซ์ที่มีต่อร่างกายขึ้นอยู่ปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับ เช่น คลื่นไส้และอ่อนเพลีย อาเจียน ท้องเสีย ผมร่วง เบื่ออาหาร ผิวหนังลอก มีอายุเฉลี่ยสั้น เป็นต้อกระจก มะเร็ง หรือตาย นอกจากนี้ยังส่งผลต่อพันธุกรรมอาจทำให้เป็นหมัน หรือกลายพันธุ์

การหลีกเลี่ยงหรือป้องกันไม่ให้สัมผัสรังสีเอกซ์ เช่น อยู่ห่างจากบริเวณที่มีรังสีเอกซ์ สวมเสื้อและถุงมือตะกั่ว

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

ครูให้นักเรียนร่วมกันสรุปเกี่ยวกับช่วงความถี่ของรังสีเอกซ์และการใช้ประโยชน์ของรังสีเอกซ์ จากนั้นร่วมกันอภิปรายโทษของรังสีเอกซ์

16.3.8 รังสีแกมมา

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. บอกช่วงความถี่รังสีแกมมาได้
2. บอกประโยชน์และโทษของรังสีแกมมาได้

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูให้ความรู้และนำอภิปรายเกี่ยวกับรังสีแกมมา เพื่อให้เกิดความตระหนักถึงอันตรายจากการได้รับรังสีในปริมาณที่มากเกินไป

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

ครูให้ความรู้เกี่ยวกับเรื่องรังสีแกมมาตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

หมายเหตุ : รังสีแกมมาเป็นรังสีจากสารกัมมันตรังสีหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงกว่ารังสีเอกซ์ รายละเอียดเกี่ยวกับเรื่องนี้จะกล่าวถึงเพิ่มเติมในบทที่ 20 ฟิสิกส์นิวเคลียร์

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

ครูให้นักเรียนร่วมกันสรุปเกี่ยวกับช่วงความถี่ของรังสีแกมมา และโทษของรังสีแกมมาที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตทุกชนิด

16.4 โพลาไรเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. บอกได้ว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีสนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงกลับไปกลับมาในระนาบเดียวเสมอ เป็นคลื่นโพลาไรส์
2. บอกได้ว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งจากสายอากาศเป็นคลื่นโพลาไรส์

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูถามคำถามนักเรียนที่มีประสบการณ์ในการใช้กล้องโพลารอยด์หรือแว่นตากันแดดแบบโพลารอยด์ ถึงความแตกต่างระหว่างกล้องโพลารอยด์หรือแว่นตากันแดดแบบโพลารอยด์กับกล้องหรือแว่นตากันแดดชนิดปกติ

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

ครูให้ความรู้เกี่ยวกับโพลาไรเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามรายละเอียดในบทเรียน จนนักเรียนสรุปความหมายของคลื่นโพลาไรส์ได้ว่า คือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีสนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงกลับไปกลับมาในระนาบเดียวเสมอ โดยควรเน้นว่า

- การพิจารณาว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโพลาไรส์หรือไม่ให้พิจารณาการเปลี่ยนทิศทางกลับไปมาของสนามไฟฟ้า ถ้าสนามไฟฟ้าเปลี่ยนทิศทางกลับไปกลับมาในแนวใดแนวหนึ่งเพียงแนวเดียว คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าดังกล่าวจะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโพลาไรส์
- คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งออกมาจากสายอากาศเป็นคลื่นโพลาไรส์

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

-

16.4.1 โพลาไรเซชันของแสง

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสามารถ

1. อธิบายความหมายของแสงไม่โพลาไรส์และแสงโพลาไรส์
2. ทำกิจกรรม เพื่อตรวจสอบว่าเมื่อแสงไม่โพลาไรส์ผ่านแผ่นโพลารอยด์จะเป็นแสงโพลาไรส์
3. ทำกิจกรรม และตรวจสอบได้ว่าแสงสะท้อนจากผิววัตถุบางชนิดเป็นแสงโพลาไรส์
4. อธิบายโพลาไรเซชันของแสงโดยการสะท้อน การหักเหและการกระเจิง
5. อธิบายมุมบรูสเตอร์และกฎของบรูสเตอร์

แนวการจัดการเรียนรู้

1. กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

ครูนำกล้องถ่ายรูปที่มีแผ่นกรองแสงแบบโพลารอยด์ แว่นตากันแดดแบบโพลารอยด์มาสาธิตให้นักเรียนดู นอกจากนั้นให้นักเรียนใช้แผ่นโพลารอยด์ส่องดูวัตถุต่างๆ นอกห้องเรียนพร้อมกับหมุนแผ่นดังกล่าวไปด้วย จะพบว่าแผ่นโพลารอยด์ทำให้มองเห็นความเข้มแสงที่สะท้อนมาจากวัตถุบางประเภทเปลี่ยนไปตามการหมุน

2. กิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน

2.1 ครูให้ความรู้เกี่ยวกับโพลาไรเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามรายละเอียดในหนังสือเรียนประกอบการทำกิจกรรม 16.1 และ 16.2 ในการเรียนการสอนหัวข้อนี้

ตัวอย่างการทำกิจกรรม 16.1 ความสว่างของแสงเมื่อผ่านแผ่นโพลารอยด์

จุดประสงค์การเรียนรู้ เมื่อทำกิจกรรมนี้แล้ว นักเรียนจะสามารถ

1. อธิบายได้ว่าแสงที่ผ่านแผ่นโพลารอยด์จะสว่างน้อยกว่าแสงที่ไม่ผ่านแผ่นโพลารอยด์
2. บอกได้ว่าเมื่อหมุนแผ่นโพลารอยด์ 1 แผ่น ความสว่างของแสงไม่โพลาไรส์ที่ผ่านแผ่นโพลารอยด์ออกมาจะไม่แตกต่างกันในทุกขณะที่หมุนจนกระทั่งครบ 1 รอบ
3. บอกได้ว่าแสงที่ผ่านแผ่นโพลารอยด์ 2 แผ่น โดยหมุนแผ่นโพลารอยด์แผ่นใดแผ่นหนึ่งครบ 1 รอบ จะมีความสว่างไม่คงตัว
4. อธิบายได้ว่าเมื่อแกนโพลาไรส์ของแผ่นโพลารอยด์แต่ละแผ่นทำมุมฉากซึ่งกันและกัน แสงที่ผ่านแผ่นโพลารอยด์ทั้งสองออกมาจะสว่างน้อยที่สุด

วัสดุอุปกรณ์

1. แผ่นโพลารอยด์	2	แผ่น
2. หม้อแปลงโวลต์ต่ำ	1	เครื่อง
3. สายไฟ	4	เส้น
4. กล่องแสง	1	กล่อง

ข้อแนะนำก่อนทำกิจกรรม

1. การใช้แผ่นโพลารอยด์ ให้จับที่กรอบกระดาษแข็ง ไม่แตะต้องโพลารอยด์ เพื่อป้องกันไม่ให้โพลารอยด์เสื่อมคุณภาพได้ง่าย

2. ให้นักเรียนมองแสงจากหลอดไฟด้วยตาเปล่าก่อน แล้วจึงมองแสงจากหลอดไฟผ่านแผ่นโพลารอยด์ เพื่อเปรียบเทียบความสว่าง

3. นักเรียนสามารถใช้แผ่นโพลารอยด์มองแสงจากหลอดไฟที่ติดบนเพดานห้องเรียนแทนการมองแสงจากกล่องแสงได้

4. นักเรียนต้องใช้ความรู้เรื่องทิศของโพลาไรส์ช่วยอธิบายในการทำกิจกรรม

ผลการทดลอง

1. แสงเมื่อผ่านแผ่นโพลารอยด์จะสว่างน้อยกว่าแสงที่มองด้วยตาเปล่า แต่มีความสว่างคงตัว ถึงแม้จะหมุนแผ่นโพลารอยด์ ครบ 1 รอบ

2. แสงที่ผ่านแผ่นโพลารอยด์ 2 แผ่น โดยหมุนแผ่นโพลารอยด์แผ่นหนึ่ง แสงจะมีความสว่างไม่คงตัว และสว่างน้อยที่สุดเมื่อแกนโพลาไรส์ของแผ่นโพลารอยด์แต่ละแผ่นตั้งฉากกัน

2.2 เมื่อทำกิจกรรม 16.1 แล้ว ครูให้ความรู้ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน โดยให้นักเรียนมีส่วนร่วมอภิปราย เพื่อจะได้เข้าใจผลการทำกิจกรรม 16.1 ดียิ่งขึ้น

สำหรับครู

การใช้แผ่นกรองแสงแบบโพลารอยด์ปิดด้านหน้าของเลนส์กล้องถ่ายรูป ในการถ่ายภาพที่มีท้องฟ้าเป็นฉากหลัง จะทำให้ได้ภาพที่มีความเด่นมากขึ้น เพราะในท้องฟ้าจะมีแสงที่โพลาไรส์ปะปนอยู่กับแสงธรรมดา เมื่อใช้แผ่นกรองแสงแบบโพลารอยด์ปิดหน้าเลนส์ และหมุนแผ่นอย่างเหมาะสม จะได้ภาพที่เด่นชัดขึ้นเพราะว่าแสงโพลาไรส์ถูกตัดออกไป

การทำงานของแผ่นโพลารอยด์ (polarizing filter)

วัตถุบางชนิดมีโครงสร้างอะตอมที่เรียงตัวเป็นแถวขนานกัน สามารถให้คลื่นแสงผ่านได้เมื่อสนามไฟฟ้าของคลื่นแสงนั้นตั้งฉากกับแนวของอะตอม วัตถุกลุ่มนี้มีทั้งวัตถุธรรมชาติและวัตถุสังเคราะห์ แผ่นโพลารอยด์เป็นวัตถุสังเคราะห์มีสมบัติยอมให้แสงที่มีสนามไฟฟ้าตั้งฉากกับแนวการเรียงตัวของอะตอมผ่านไปได้ ส่วนสนามไฟฟ้าที่ไม่ตั้งฉากจะถูกดูดกลืนไว้

สำหรับวัตถุธรรมชาติที่มีสมบัติดังกล่าวคือ ผลึกใสของแร่แคลไซด์ (Calcite : $CaCO_3$) มีประวัติกล่าวว่า พวกไวกิ้งรู้จักใช้ผลึกนี้ช่วยในการเดินทาง ในดินแดนที่หนาวเย็นอากาศปกคลุมด้วยละอองไอน้ำ แสงอาทิตย์ที่ส่องลงมาทำให้เกิดความสว่างทั่วไปหมด เหมือนกับเราอยู่ในหมอกที่หนาทึบ เมื่อมีแสงขาวจากหลอดไฟส่องมา แสงนั้นจะถูกละอองน้ำทำให้กระเจิงไปทั่ว หมอกจะสว่างขึ้นแต่เรามองไม่เห็นหลอดไฟ เช่นเดียวกันพวกไวกิ้งจะไม่เห็นดวงอาทิตย์ เห็นแต่ท้องฟ้าที่ขาวโพลนไปหมด พวกเขาจะหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ได้อย่างไร โดยการใช้ผลึกใสของแร่แคลไซด์พวกเขาสามารถหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ได้

ตัวอย่างการทำกิจกรรม 16.2 การตรวจสอบโพลาไรเซชันของแสง

จุดประสงค์การเรียนรู้ เมื่อทำกิจกรรมนี้แล้ว นักเรียนจะสามารถบอกได้ว่า แสงจากวัตถุใดบ้าง (แสงสะท้อน) เมื่อผ่านแผ่นโพลารอยด์แล้วมีความสว่างคงตัว หรือไม่คงตัว

วัสดุอุปกรณ์

แผ่นโพลารอยด์ 1 แผ่น

ข้อแนะนำก่อนทำกิจกรรม

1. การทำกิจกรรมนี้นักเรียนต้องปฏิบัติการนอกห้องเรียน ครูควรวางแผนว่านักเรียนควรจะไปตรงตำแหน่งใดบ้าง

2. ในการมองวัตถุแต่ละครั้ง นอกจากจะต้องหมุนแผ่นโพลารอยด์ 1 รอบแล้ว นักเรียนจะต้องเปลี่ยนตำแหน่งในการมองวัตถุหนึ่งๆ หลายๆ ตำแหน่ง

3. รถยนต์ที่กล่าวถึงในกิจกรรมคือรถยนต์ส่วนบุคคล ตำแหน่งที่มองควรเป็นหลังคาและกระจกรถ

ผลของกิจกรรม

1. แสงจากวัตถุที่ให้ความสว่างคงตัว คือ โลหะผิวมัน เพราะแสงสะท้อนจากโลหะผิวมันเป็นแสงไม่โพลาไรส์ เมื่อแสงนี้ผ่านแผ่นโพลารอยด์ สนามไฟฟ้าประมาณร้อยละ 50 ที่ตั้งฉากกับทิศของโพลาไรส์จะถูกดูดกลืน และสนามไฟฟ้าประมาณร้อยละ 50 ที่ขนานกับทิศของโพลาไรส์จะผ่านออกมา ดังนั้นไม่ว่าแผ่นโพลารอยด์จะถูกหมุนไปที่ตำแหน่งใดๆ แสงที่ผ่านแผ่นโพลารอยด์ออกมาจึงสว่างคงตัว

2. แสงจากวัตถุที่ให้ความสว่างไม่คงตัว คือ กระจก เมฆ รถยนต์ ผิวกระเบื้องปูพื้น พื้นถนน เพราะแสงสะท้อนจากวัตถุเหล่านี้เป็นแสงโพลาไรส์ ทิศทางของสนามไฟฟ้าของแสงจึงมีทิศทางกลับไปกลับมาในแนวเดียว เมื่อหมุนแผ่นโพลารอยด์ให้ทิศของโพลาไรส์อยู่ในแนวขนานกับสนามไฟฟ้าของแสง สนามไฟฟ้าจะผ่านได้ทั้งหมด แสงที่ผ่านแผ่นโพลารอยด์จึงสว่างที่สุด ความสว่างจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อหมุนแผ่นโพลารอยด์ต่อไป ให้ทิศของโพลาไรส์ทำมุมค่าต่างๆ กับทิศทางของสนามไฟฟ้า ความสว่างจะลดลงมากที่สุดเมื่อทิศของโพลาไรส์ตั้งฉากกับทิศทางของสนามไฟฟ้า เพราะสนามไฟฟ้าของแสงจะถูกแผ่นโพลารอยด์ดูดกลืนมากที่สุด

2.3 หลังจากทำกิจกรรมแล้ว ครูให้ความรู้นักเรียนตามรายละเอียดในหนังสือเรียน โดยให้นักเรียนมีส่วนร่วมอภิปราย ก่อนขึ้นหัวข้อโพลาไรเซชันโดยการสะท้อน ครูกล่าวนำเพื่อชี้ให้นักเรียนเห็นว่า ทำไมในการทำกิจกรรม 16.2 ครูจึงแนะนำให้นักเรียนมองวัตถุต่างๆ โดยเปลี่ยนตำแหน่งการมองวัตถุ จากนั้นครูตั้งคำถามเพื่อเข้าสู่หัวข้อต่อไปว่า การมองวัตถุในกิจกรรม 16.2 แสงจากวัตถุที่ผ่านแผ่นโพลารอยด์มาเข้าตา เกิดจากสมบัติใดของแสง

โพลาไรเซชันโดยการสะท้อน

ครูให้ความรู้นักเรียนตามรายละเอียดในบทเรียน โดยให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการอภิปราย

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับนักเรียน

แสงไม่โพลาไรส์ตกกระทบวัตถุที่เป็นสารไดอิเล็กทริก (dielectric) แสงสะท้อนจากวัตถุนี้จะเป็นแสงโพลาไรส์ เมื่อมุมตกกระทบเท่ากับมุมโพลาไรส์ ตัวอย่างสารไดอิเล็กทริก เช่น อากาศ กระดาษ แก้ว pyrex กระเบื้อง ซิลิคอน น้ำ เจอรมันเนียม (germanium) เอธทานอล (ethanol) โพลิสไทรีน (polystyrene) สทรอนเทียม ไททาเนต (strontium titanate)

โพลาไรเซชันโดยการหักเห

ครูให้ความรู้นักเรียนตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

โพลาไรเซชันโดยการกระเจิงของแสง

ครูให้ความรู้นักเรียนตามรายละเอียดในหนังสือเรียน โดยให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการอภิปราย

3. กิจกรรมหลังการเรียนการสอน

ครูให้นักเรียนตอบคำถามและปัญหาท้ายบทเรียน โดยครูเป็นผู้เลือกคำถามและปัญหาที่เกี่ยวข้อง

กิจกรรมเสริมสำหรับครู

การเกิดสีต่างๆ เมื่อให้แสงผ่านแผ่นพลาสติกใสที่ยับยู่ยี่ที่วางอยู่ระหว่างแผ่นโพลารอยด์ 2 แผ่น

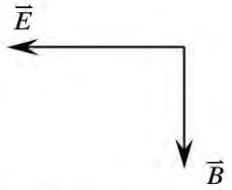
เฉลยแบบฝึกหัดบทที่ 16

คำถาม

16.1 ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์และการทดลองของเฮิรตซ์

16.2 การแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายอากาศ

1. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วยสนามไฟฟ้า $\vec{E}$ และสนามแม่เหล็ก $\vec{B}$ ตั้งฉากกัน ดังรูป คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีทิศทางของความเร็วในการเคลื่อนที่พุ่งเข้าหรือพุ่งออกจากกระดาษเพราะเหตุใด



รูปสำหรับคำถามข้อ 1

<u>แนวคำตอบ</u> ทิศทางของความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นไปตาม "กฎมือขวา" ของผลคูณเชิงเวกเตอร์ระหว่าง $\vec{E}$ และ $\vec{B}$ ดังนั้นจากรูปเวกเตอร์ $\vec{E}$ และ $\vec{B}$ ตั้งฉากกัน ถ้ากำนิ้วทั้งสี่ของมือขวาในทิศทางจาก $\vec{E}$ และ $\vec{B}$ ผ่านมุม 90 องศา นิ้วหัวแม่มือที่ชี้ทิศทางของ $\vec{c}$ จะพุ่งออกจากกระดาษ

ทั้งนี้เนื่องจากการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสายอากาศเกิดจากประจุไฟฟ้าถูกควบคุมให้เคลื่อนที่ด้วยความเร่งกลับไปกลับมาในสายอากาศทำให้เกิดสนามไฟฟ้าแผ่ออกไปจากสายอากาศด้วยความเร็วแสง $\vec{c}$ ซึ่งมีทิศทางตั้งฉากกับทิศทางของสนามไฟฟ้า และ**สนามไฟฟ้านี้จะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่มีเฟสตรงกันและทำมุมตั้งฉากกับสนามไฟฟ้าขึ้น**ทันที ทำให้สามารถพิจารณาทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ตามหลักของกฎมือขวา

อย่างไรก็ตามครูควรอธิบายว่า ผลคูณเชิงเวกเตอร์ระหว่าง $\vec{E}$ และ $\vec{B}$ มีค่าไม่เท่ากับ $\vec{c}$ โดยขนาดความสัมพันธ์ที่ถูกต้องคือ $\frac{E_{max}}{B_{max}} = c$ ซึ่งนักเรียนสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากหนังสือฟิสิกส์ในระดับอุดมศึกษา

16.3 สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

2. สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงความถี่ใด ที่ใช้ในการสื่อสารและมีวิธีการใช้อย่างไร

<u>แนวคำตอบ</u> คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในการสื่อสารมี 4 ช่วงความถี่ คือ (1) 10^6 - 10^9 เฮิรตซ์ : คลื่นวิทยุ (2) 10^8 - 10^{10} เฮิรตซ์ : คลื่นโทรทัศน์และไมโครเวฟ (3) 11^{11} - 10^{14} เฮิรตซ์ : รังสีอินฟราเรด และ (4) 10^{14} เฮิรตซ์ : แสงเลเซอร์

วิธีการใช้

คลื่นวิทยุและคลื่นโทรทัศน์ใช้เป็นคลื่นพาหะ แล้วผสม (modulate) สัญญาณที่ต้องการส่ง เช่น คลื่นวิทยุผสมสัญญาณคลื่นเสียงเข้าไป คลื่นโทรทัศน์ผสมสัญญาณคลื่นเสียงและภาพเข้าไป สำหรับไมโครเวฟ ใช้หลักการสะท้อน เพราะคลื่นนี้สะท้อนจากผิวโลหะได้ดีจึงใช้ในการตรวจหาตำแหน่งของอากาศยาน ที่เรียกว่า เรดาร์ โดยการส่งไมโครเวฟออกจากแหล่งกำเนิดเป็นห้วงๆ และรับคลื่นที่สะท้อนกลับจากวัตถุนั้นเข้ามา เพื่อหาว่าวัตถุนั้นอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดคลื่นเป็นระยะเท่าใดและในทิศทางใด อนึ่งไมโครเวฟอาจใช้ส่งสัญญาณวิทยุเพื่อการสื่อสารได้ด้วย เช่น ใช้ในโทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นต้น รังสีอินฟราเรด ใช้ในการถ่ายภาพโดยอาศัยรังสีอินฟราเรดแทนแสงธรรมดา เพราะรังสีอินฟราเรดสามารถทะลุผ่านเมฆหมอกที่หนาเกินกว่าแสงธรรมดาจะผ่านได้ จึงใช้รังสีอินฟราเรดถ่ายภาพพื้นโลกจากดาวเทียม ใช้กับระบบสำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องรับโทรทัศน์ เช่น การปิด- เปิด หรือการเปลี่ยนสถานี เป็นต้น

แสงเลเซอร์ ใช้เป็นคลื่นพาหะ คือ สามารถผสมสัญญาณเสียง และภาพไปกับแสงเลเซอร์ได้ เพราะแสงเลเซอร์มีความถี่เดียว ความยาวคลื่นเดียว และมีเฟสแน่นอน

3. สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงความถี่ใด ที่สามารถนำข่าวสารออกไปนอกโลกได้
   แนวคำตอบ ในช่วงความถี่ 10^8 - 10^{10} เฮิรตซ์ คลื่นวิทยุในระบบเอฟเอ็ม คลื่นโทรทัศน์และไมโครเวฟ
4. เหตุใดการส่งคลื่นวิทยุระบบเอเอ็มจึงครอบคลุมพื้นที่ได้มากกว่าการส่งคลื่นวิทยุระบบเอฟเอ็มหรือการส่งคลื่นโทรทัศน์
   แนวคำตอบ เพราะคลื่นวิทยุระบบเอเอ็มมีการสะท้อนที่บรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์กลับลงมายังโลกอีก ส่วนคลื่นวิทยุระบบเอฟเอ็มจะทะลุผ่านชั้นไอโอโนสเฟียร์ออกไป
5. คลื่นวิทยุ คลื่นไมโครเวฟและเลเซอร์ เดินทางจากโลกถึงดวงจันทร์ใช้เวลาเท่ากันหรือไม่ เพราะเหตุใด
   แนวคำตอบ เท่ากัน เพราะทุกคลื่นเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีอัตราเร็วเท่ากัน
6. ประสาทสัมผัสของมนุษย์สามารถตรวจรับสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงความถี่ใดได้โดยตรง
   แนวคำตอบ ผิวหนังสามารถตรวจรับรังสีอินฟราเรดช่วงความถี่ 10^{12}- 10^{14} เฮิรตซ์ในรูปความร้อน ตาสามารถตรวจรับแสงช่วงความถี่ 4.3×10^{14} - 7.5×10^{14} เฮิรตซ์ในรูปการมองเห็น

7. รังสีเอกซ์กับรังสีแกมมาเหมือนกันและแตกต่างกันอย่างไรบ้าง
แนวคำตอบ ข้อที่เหมือนกันคือ ก. เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูง ข. มีพลังงานสูง มีอำนาจทะลุผ่านสูง มีอันตรายต่อระบบทางชีวภาพมาก ค. ไม่เบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า

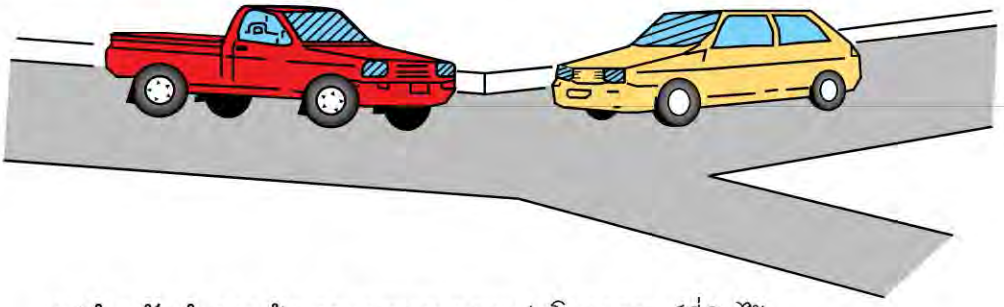
ข้อที่แตกต่างกัน คือ รังสีเอกซ์เกิดจากการเปลี่ยนความเร็วของอิเล็กตรอนหรืออิเล็กตรอนวิ่งไปชนอะตอมของธาตุที่เป็นเป้า ทำให้อะตอมของเป้าปล่อยพลังงานออกมาในรูปของรังสีเอกซ์ แต่รังสีแกมมาเกิดจากการสลายของธาตุกัมมันตรังสี

8. การที่ลูกตุ้มนาฬิกาที่แกว่งโดยอิสระ แล้วหยุดแกว่งเมื่อเวลาผ่านไปนั้น จะถือว่าพลังงานได้สูญเสียไปในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้หรือไม่ เพราะอะไร
แนวคำตอบ ไม่ได้ เพราะไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก

9. ปรากฏการณ์ใดที่ชี้ให้เห็นว่ามีพลังงานส่งผ่านไปพร้อมกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
แนวคำตอบ เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น แสงตกกระทบวัตถุ วัตถุนั้นจะมีพลังงานความร้อนเพิ่มขึ้น

16.4 โพลาไรเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

10. รถยนต์สองคันวิ่งสวนกัน วิธีป้องกันแสงจากรถยนต์คันหนึ่งไม่ให้พุ่งเข้าตาคนขับรถของอีกคันหนึ่ง คือให้รถทั้งสองติดแผ่นโพราลอยด์ไว้ที่หน้าดวงไฟและกระจกหน้ารถ รถจะต้องติดตั้งแผ่นโพลารอยด์อย่างไร จึงจะช่วยป้องกันแสงไฟไม่ให้เข้าตาคนขับได้

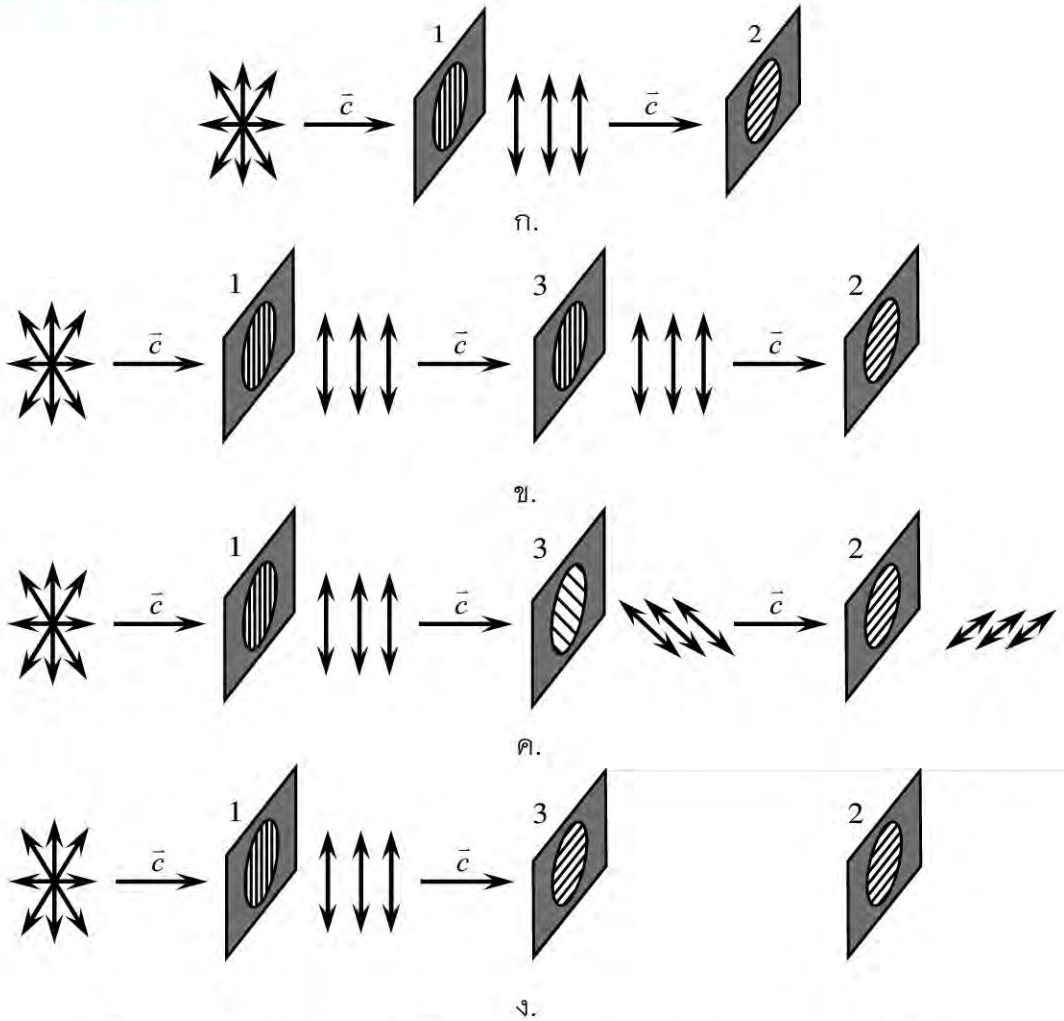


รูปสำหรับคำถามข้อ 10 แนวแกนของแผ่นโพลารอยด์ที่ติดไว้บนกระจกหน้าดวงไฟและหน้ารถยนต์

แนวคำตอบ วิธีป้องกันแสงไฟจากรถที่วิ่งสวนมาไม่ให้พุ่งไปเข้าตาคนขับรถอีกคันหนึ่ง ทำได้โดยให้รถทุกคันติดแผ่นโพลารอยด์ที่กระจกหน้ารถและที่หน้าดวงไฟ โดยแกนของแผ่น โพลารอยด์ของรถแต่ละคัน เอียงไปทางเดียวกัน เช่นในรูปแกนของโพลารอยด์เอียงไปทางขวามือของคนขับ และทำมุม 45° กับแนวดิ่ง ในขณะที่รถวิ่งสวนทางกัน แกนของแผ่นโพลารอยด์ที่ติดหน้าดวงไฟของรถคันหนึ่ง จะตั้งฉากกับแกนของแผ่นโพลารอยด์ที่ติดหน้ารถอีกคันหนึ่ง ทำให้แสงจากดวงไฟของรถคันหนึ่งถูกดูดกลืนโดยแผ่นโพลารอยด์ที่ติดที่กระจกของรถอีกคัน

11. ส่องแสงผ่านด้านหลังของแผ่นโพลารอยด์สองแผ่นประกบกันซึ่งทั้งสองแผ่นมีทิศของการโพลาไรส์ตั้งฉากกัน ผลปรากฏว่าไม่มีแสงผ่านออกมา ถ้าแทรกแผ่นโพลารอยด์อีกแผ่นหนึ่ง (แผ่นที่สาม) ไว้ตรงกลางของแผ่นโพลารอยด์ทั้งสอง จงอธิบายว่าเกิดอะไรขึ้นในระหว่างที่หมุนแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่สามจนครบหนึ่งรอบ

แนวคำตอบ



รูปสำหรับคำถามข้อ 11 การโพลาไรเซชันของแสงผ่านแผ่นโพลารอยด์ 3 แผ่น

จากโจทย์ แผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 1 และแผ่นที่ 2 ประกบกัน ซึ่งการโพลาไรส์ตั้งฉากกัน จึงไม่มีแสงผ่านออกมาจากแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 2 ดังรูป ก

เมื่อแทรกแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 3 ระหว่างกลางของแผ่นโพลารอยด์ทั้งสองและหมุนแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 3 สามารถพิจารณาผลที่เกิดขึ้นได้ดังรูป ข, ค และ ง ดังนี้คือ

1. ถ้าแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 3 มีทิศของโพลาไรส์ตรงกับแผ่นที่ 1 แสงจะที่ออกจากแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 1 จะผ่านแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 3 ได้ทั้งหมด แต่จะไม่สามารถผ่านแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 2 ได้เนื่องจากแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 2 มีทิศของโพลาไรส์ตั้งฉากกับทิศทางของแสงโพลาไรส์ที่เข้ามา ดังแสดงในรูป ข.
2. ถ้าแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 3 มีทิศของโพลาไรส์อยู่ระหว่างทิศทางเดียวกันและทิศทางตั้งฉากกับทิศของโพลาไรส์ของแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 1 แสงที่ออกจากแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 1 จะผ่านแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 3 ได้โดยมีทิศทางตามทิศของโพลาไรส์ของแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 3 แต่มีความเข้มแสงลดลงและขนาดของคลื่นแสงที่ผ่านออกมาก็ลดลงตามมุมที่แผ่นโพลารอยด์ทั้ง 2 กระทำต่อกัน เมื่อแสงจากแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 3 ผ่านเข้าสู่แผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 2 แสงที่ออกแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 2 จะมีทิศทางตามทิศของโพลาไรส์ของแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 2 และความเข้มแสงและขนาดคลื่นแสงที่ผ่านออกมาก็ลดลงจากเดิม ดังแสดงในรูป ค.

สำหรับครู

เมื่อโพลารอยด์ทำมุมใดๆ ต่อกัน **ความเข้มแสงที่ผ่านจากแผ่นโพลารอยด์ที่สองจะเป็นปฏิภาคกับกำลังสองของโคไซด์ (cosine) ของมุมระหว่างแผ่นโพลารอยด์ทั้งสอง** ตามกฎของมาลุส หรือ

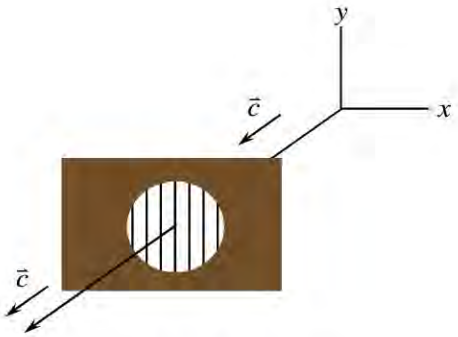
$$I = I_0 \cos^2 \theta$$

โดยขนาดของคลื่นแสงเป็นไปตามหลักการแตกเวกเตอร์ตามแนวแกน คือ

$$E = E_0 \cos \theta$$

3. ถ้าแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 3 มีทิศของโพลาไรส์ตั้งฉากกับแผ่นที่ 1 แสงจะที่ออกจากแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 1 จะไม่สามารถผ่านแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 3 ไปได้ ดังนั้นจะไม่มีแสงออกมาจากแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 2 เช่นเดียวกัน ดังแสดงในรูป ง.
4. เมื่อหมุนแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 3 ไปอีกทิศของโพลาไรส์ก็จะอยู่ระหว่างทิศทางเดียวกันและทิศทางตั้งฉากกับทิศของโพลาไรส์ของแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 1 ทำให้แสงผ่านแผ่นที่ 2 ได้ จนกระทั่งทิศของโพลาไรส์ขนานกับแผ่น 1 แต่ตั้งฉากแผ่น 2 แสงก็ไม่สามารถผ่านแผ่น 2 ไปได้ จนเกิดเหตุการณ์นี้ไปเรื่อยๆ จนครบรอบ

12. แสงผ่านแผ่นโพลารอยด์ออกมาดังรูป โดยแผ่นโพลารอยด์มีทิศของการโพลาไรส์ขนานกับแกน y ถ้าหมุนแผ่นโพลารอยด์ 40 องศา ตามเข็มนาฬิกา จงอธิบายว่าในระหว่างหมุนแผ่นโพลารอยด์ ความเข้มแสงที่ผ่านแผ่นโพลารอยด์ออกมาจะเพิ่มขึ้น ลดลงหรือเท่าเดิม



รูปสำหรับคำถามข้อ 12

(ก) ถ้าแสงเริ่มต้นเป็นแสงไม่โพลาไรส์

(ข) ถ้าแสงเริ่มต้นเป็นแสงโพลาไรส์ในแนวแกน x

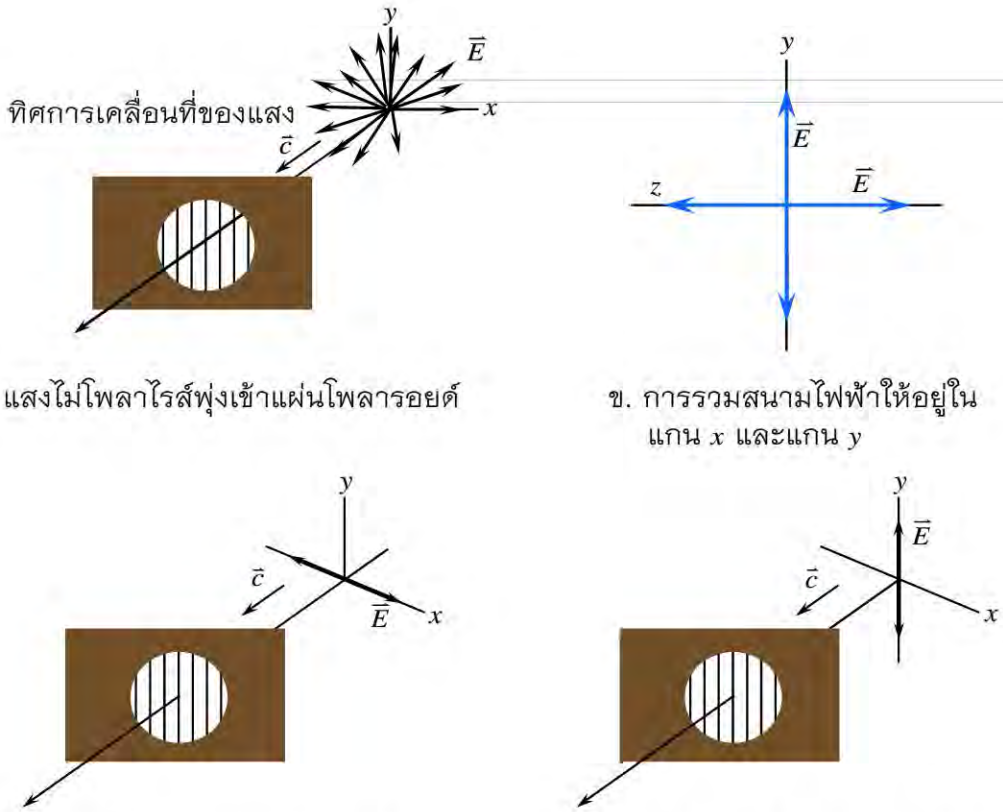
(ค) ถ้าแสงเริ่มต้นเป็นแสงโพลาไรส์ในแนวแกน y

แนวคำตอบ

ก. ถ้าแสงไม่โพลาไรส์ผ่านแผ่นโพลารอยด์ ดังรูป ก ความเข้มแสงที่ผ่านแผ่นโพลารอยด์จะลดลงครึ่งหนึ่ง เมื่อหมุนแผ่นโพลารอยด์ตามเข็มนาฬิกาจนกระทั่งทำมุม 40 องศาจากแนวเดิม ความเข้มแสงจะยังคงเท่าเดิม

สำหรับครู

แสงไม่โพลาไรส์ดังรูปสำหรับคำตอบข้อ 12 ก เมื่อผ่านแผ่นโพลารอยด์ โพลารอยด์จะยอมให้แสงผ่านได้เพียงแนวเดียว การรวมสนามไฟฟ้าให้อยู่ในแกน x และแกน y ดังรูปสำหรับคำตอบข้อ 12 ข โดยเฉลี่ยแล้วแอมพลิจูดและความเข้มแสงของแนวแกนทั้งสองจะเท่ากัน ดังนั้นเมื่อแสงไม่โพลาไรส์ผ่านแผ่นโพลารอยด์ แสงจะถูกโมเลกุลของแผ่นโพลารอยด์ดูดกลืนเหลือเพียงแนวแกนเดียว ซึ่งหมายถึงความเข้มแสงหายไปครึ่งหนึ่งเสมอไม่ว่าจะหมุนให้ทำมุมเท่าใดก็ตาม



ก. แสงไม่โพลาไรส์พุ่งเข้าแผ่นโพลารอยด์

ข. การรวมสนามไฟฟ้าให้อยู่ในแกน x และแกน y

ค. แสงโพลาไรส์ในแนวแกน x พุ่งเข้าแผ่นโพลารอยด์

ง. แสงโพลาไรส์ในแนวแกน y พุ่งเข้าแผ่นโพลารอยด์

รูปสำหรับคำตอบข้อ 12

ข. ถ้าแสงโพลาไรส์ในแนวแกน x ตกกระทบแผ่นโพลารอยด์ดังรูป ค เนื่องจากทิศของแสงโพลาไรส์ตั้งฉากกับทิศของแผ่นโพลารอยด์ ดังนั้นจึงไม่มีแสงลอดผ่านออกมา แต่เมื่อเริ่มหมุนแผ่นโพลารอยด์ตามเข็มนาฬิกา แสงโพลาไรส์ในแนวแกน x จะผ่านแผ่นโพลารอยด์ไปได้โดยความเข้มแสงจะมากขึ้นเรื่อยๆ จนถึงมุม 40 องศา มีความเข้มแสงมากที่สุดจากการเริ่มปรับมุม

ค. ถ้าแสงโพลาไรส์ในแนวแกน y ตกกระทบแผ่นโพลารอยด์ดังรูป ง เนื่องจากทิศของแสงโพลาไรส์อยู่ในแนวเดียวกับของแผ่นโพลารอยด์ ดังนั้นแสงจึงผ่านออกมาได้ทั้งหมด เมื่อเริ่มหมุนแผ่นโพลารอยด์ตามเข็มนาฬิกา แสงโพลาไรส์ในแนวแกน y จะผ่านแผ่นโพลารอยด์ไปได้โดยความเข้มแสงจะลดลงเรื่อยๆ จนถึงมุม 40 องศา มีความเข้มแสงน้อยที่สุดจากการเริ่มปรับมุม

? ปัญหา

16.1 ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์และการทดลองของเฮิรตซ์

16.2 การแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายอากาศ

16.3 สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

? 1. สถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งหนึ่งออกอากาศด้วยความถี่ 101.5 เมกะเฮิรตซ์ จงหาความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งจากสถานีนั้น

<u>วิธีทำ</u> จาก $c = f\lambda$

ดังนั้น $\lambda = \dfrac{c}{f} = \dfrac{3\times10^{8}}{101.5\times10^{6}} = 2.96\ \text{m}$

<u>คำตอบ</u> คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้มีความยาวคลื่น 2.96 เมตร

? 2. แสงที่คนเรามองเห็นมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 400 นาโนเมตร ถึง 700 นาโนเมตร จงหาช่วงความถี่ของแสงที่คนเรามองเห็น

<u>วิธีทำ</u> ความยาวคลื่นแสงที่คนมองเห็นอยู่ในช่วง 400 นาโนเมตร ถึง 700 นาโนเมตร

นั่นคือ $400\ \text{nm} \le \lambda \le 700\ \text{nm}$

หาความถี่ของ $\lambda = 400$ nm จาก $f = \dfrac{c}{\lambda} = \dfrac{3\times10^{8}\ \text{m/s}}{400\times10^{-9}\ \text{nm}}$

$f = 7.50\times10^{14}$ เฮิรตซ์

หาความถี่ของ $\lambda = 700$ nm จาก $f = \dfrac{c}{\lambda} = \dfrac{3\times10^{8}\ \text{m/s}}{700\times10^{-9}\ \text{nm}}$

$f = 4.29\times10^{14}$ เฮิรตซ์

<u>คำตอบ</u> ช่วงความถี่ของแสงที่คนมองเห็น คือ 4.29×10^{14} เฮิรตซ์ ถึง 7.50×10^{14} เฮิรตซ์

? 3. อัลตราไวโอเลต A (UVA) ไม่ทำอันตรายต่อผิวหนังคนเรา และเป็นสิ่งจำเป็นต่อการผลิตวิตามินดี มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 320 นาโนเมตร ถึง 400 นาโนเมตร ส่วนอัลตราไวโอเลต B (UVB) เป็นสาเหตุของมะเร็งผิวหนัง มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 280 นาโนเมตร ถึง 320 นาโนเมตร

(ก) จงหาช่วงความถี่ของอัลตราไวโอเลต A

(ข) จงหาช่วงความถี่ของอัลตราไวโอเลต B

วิธีทำ จากความสัมพันธ์ของสมการ $c = f\lambda$

ก. ความยาวคลื่นของอัลตราไวโอเลต A อยู่ในช่วง 320 นาโนเมตร ถึง 400 นาโนเมตร นั่นคือ $320\text{ nm} \le \lambda \le 400\text{ nm}$

หาความถี่ของ $\lambda = 320\text{ nm}$ จาก $f = \dfrac{c}{\lambda} = \dfrac{3\times10^{8}\text{ m/s}}{320\times10^{-9}\text{ nm}}$

$f = 9.38\times10^{14}$ เฮิรตซ์

หาความถี่ของ $\lambda = 400\text{ nm}$ จาก $f = \dfrac{c}{\lambda} = \dfrac{3\times10^{8}\text{ m/s}}{400\times10^{-9}\text{ nm}}$

$f = 7.50\times10^{14}$ เฮิรตซ์

คำตอบ ช่วงความถี่ของแสงที่คนมองเห็น คือ 7.50×10^{14} เฮิรตซ์ ถึง 9.38×10^{14} เฮิรตซ์

ข. ความยาวคลื่นของอัลตราไวโอเลต B อยู่ในช่วง 280 นาโนเมตร ถึง 320 นาโนเมตร นั่นคือ $280\text{ nm} \le \lambda \le 320\text{ nm}$

หาความถี่ของ $\lambda = 280\text{ nm}$ จาก $f = \dfrac{c}{\lambda} = \dfrac{3\times10^{8}\text{ m/s}}{280\times10^{-9}\text{ nm}}$

$f = 1.07\times10^{15}$ เฮิรตซ์

หาความถี่ของ $\lambda = 320\text{ nm}$ จาก $f = \dfrac{c}{\lambda} = \dfrac{3\times10^{8}\text{ m/s}}{320\times10^{-9}\text{ nm}}$

$f = 9.38\times10^{14}$ เฮิรตซ์

คำตอบ ช่วงความถี่ของแสงที่คนมองเห็น คือ 9.38×10^{14} เฮิรตซ์ ถึง 1.07×10^{15} เฮิรตซ์

4. ถ้าดวงจันทร์อยู่ห่างจากโลกเป็นระยะทาง 384 000 กิโลเมตร จงหาระยะเวลาที่แสงเคลื่อนที่จากดวงจันทร์ถึงโลก

วิธีทำ ระยะเวลาที่แสงเคลื่อนที่จากดวงจันทร์ถึงโลกได้ $t = \dfrac{s}{v}$

จะได้ $t = \dfrac{s}{v} = \dfrac{384\,000\times10^{3}\text{ m}}{3\times10^{8}\text{ m/s}}$

$t = 1.28$ วินาที

คำตอบ ระยะเวลาที่แสงเคลื่อนที่จากดวงจันทร์ถึงโลก คือ 1.28 วินาที

5. แสงเคลื่อนที่จากดาวซิริอุสถึงโลกใช้เวลา 8.61 ปี จงหาระยะทางจากดาวซิริอุสถึงโลกในหน่วยกิโลเมตร

วิธีทำ หาระยะทางจากดาวซิริอุสถึงโลกได้ $s = vt$

จากเวลาที่แสงเดินทางจากดาวซิริอุสถึงโลก คือ 8.61 ปี หรือเท่ากับ

= 8.61 ปี x 365 วันต่อปี x 24 ชั่วโมงต่อวัน x 60 นาทีต่อชั่วโมง x 60 วินาทีต่อนาที

= 271 524 960 วินาที

จะได้ $s = vt$

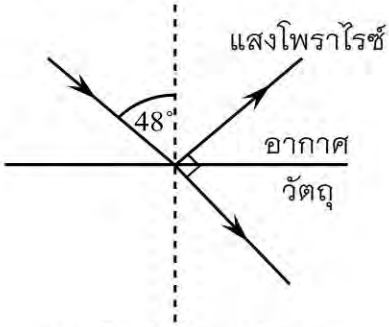
$= 3\times10^{8}\,\text{m/s}\times271\,524\,960\,\text{s}$

$= 8.15\times10^{13}$ กิโลเมตร

คำตอบ ระยะทางจากดาวซิริอุสถึงโลก คือ 8.15×10^{13} กิโลเมตร

16.4 โพลาไรเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

6. แสงไม่โพลาไรส์ตกกระทบผิววัตถุ โดยทำมุมตกกระทบเท่ากับ 48 องศา พบว่าแสงสะท้อนจากผิววัตถุเป็นแสงโพลาไรส์ ดรรชนีหักเหของวัตถุนี้เป็นเท่าใด



รูป สำหรับปัญหาข้อ 6

วิธีทำ

มุม 48° เป็นมุมบรูสเตอร์ เพราะแสงสะท้อนเป็นแสงโพลาไรส์

จาก $\tan\theta_B = n$

แทนค่า $\tan 48^\circ = n$ จะได้ $n = 1.11$

คำตอบ ดรรชนีหักเหของวัตถุเท่ากับ 1.11

7. จงคำนวณหามุมบรูสเตอร์ของนิลในอากาศ ถ้ามุมวิกฤตของนิลเท่ากับ 34.4 องศา

วิธีทำ หาดรรชนีหักเห n_1 ของนิล

แสงตกกระทบเป็นมุมวิกฤต จะได้แสงหักเหทำมุมหักเห 90°

จากกฎของสเนลล์ $n_1\sin\theta_1 = n_2\sin\theta_2$

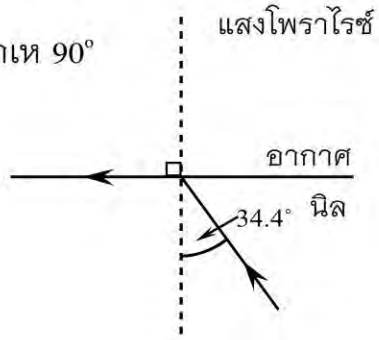
n_2 = ดรรชนีหักเหของอากาศ = 1

n_1 = ดรรชนีหักเหของนิล

$\theta_1 = 34.4^\circ$, $\theta_2 = 90^\circ$

แทนค่า $n_1\sin 34.4^\circ = \sin 90^\circ$

$$n_1 = \frac{1}{0.565} = 1.77$$



รูป การหาดรรชนีหักเหของนิล

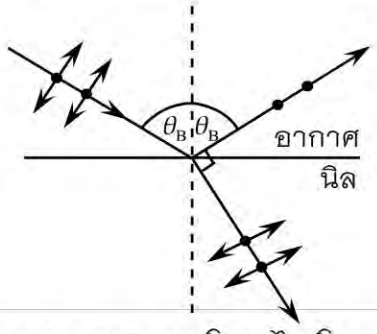
มุมบรูสเตอร์ (θ_B) เป็นมุมตกกระทบของแสงที่แสงสะท้อนบนผิวนิลเป็นแสงโพลาไรส์ โดยมีรังสีสะท้อนทำมุม 90° กับรังสีหักเห

จาก $n_1\sin\theta_1 = n_2\sin\theta_2$

$\theta_1 = \theta_B$

$\theta_2 = 180^\circ - 90^\circ - \theta_B = 90^\circ - \theta_B$

แทนค่า $n_1\sin\theta_B = n_2\sin(90^\circ - \theta_B)$



รูป การเกิดแสงโพลาไรส์โดยการสะท้อนจากผิวราบ

$$n_1 \sin\theta_B = n_2 \cos\theta_B$$

$$\frac{\sin\theta_B}{\cos\theta_B} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\therefore \quad \tan\theta_B = \frac{n_2}{n_1}$$

เมื่อ n_1 = ดรรชนีหักเหของอากาศ = 1

n_2 = ดรรชนีหักเหของนิล = 1.77

แทนค่า $\tan\theta_B = 1.77$

$\theta_B = 60.5°$

คำตอบ มุมบรูสเตอร์ของนิลเท่ากับ 60.5 องศา

8. แสงเคลื่อนที่ในน้ำตกกระทบแผ่นแก้วซึ่งมีดรรชนีหักเห 1.53 จงหามุมตกกระทบที่ทำให้แสงสะท้อนจากผิวแก้วเป็นแสงโพลาไรส์

วิธีทำ มุมตกกระทบที่ทำให้แสงสะท้อนจากผิวแก้วเป็นแสงโพลาไรส์ คือมุมบรูสเตอร์ (θ_B)

จาก $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$

$\theta_1 = \theta_B$

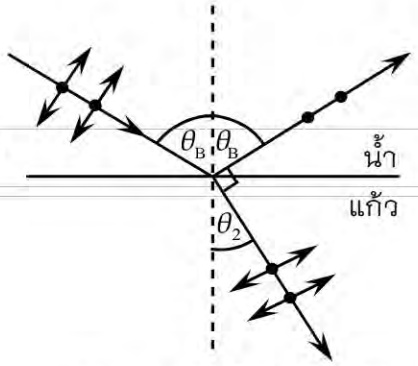
$\theta_2 = 180° - 90° - \theta_B = 90° - \theta_B$

แทนค่า $n_1 \sin\theta_B = n_2 \sin(90° - \theta_B)$

$n_1 \sin\theta_B = n_2 \cos\theta_B$

$$\frac{\sin\theta_B}{\cos\theta_B} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\therefore \quad \tan\theta_B = \frac{n_2}{n_1}$$



รูป การเกิดแสงโพลาไรส์ของแสงในน้ำตกกระทบแผ่นแก้ว

จะได้ $\theta_B = \tan^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$

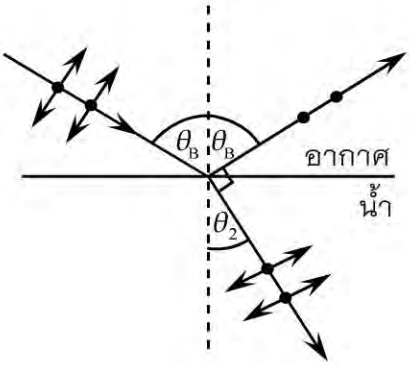
จาก $n_1 = n_{น้ำ} = 1.33$ และ $n_2 = n_{แก้ว} = 1.53$

จะได้ $\theta_B = \tan^{-1}\left(\frac{1.53}{1.33}\right)$

$= 49.0$ องศา

คำตอบ มุมตกกระทบที่ทำให้แสงสะท้อนจากผิวแก้วเป็นแสงโพลาไรส์ เท่ากับ 49.0 องศา

9. แสงเคลื่อนที่ในอากาศตกกระทบผิวน้ำด้วยมุมตกกระทบที่มีค่าเท่าไร จึงทำให้แสงสะท้อนจากผิวน้ำเป็นแสงโพลาไรส์ ดรรชนีหักเหของน้ำ 1.33



รูป การเกิดแสงโพลาไรส์ของแสงในอากาศตกกระทบน้ำ

วิธีทำ มุมตกกระทบที่ทำให้แสงสะท้อนจากผิวน้ำเป็นแสงโพลาไรส์ คือมุมบรูสเตอร์ (θ_B)

จาก $\tan\theta_B = n$

$\theta_B = \tan^{-1} n$

แทนค่า $n = 1.33$

จะได้ $\theta_B = \tan^{-1} 1.33 = 53.1$ องศา

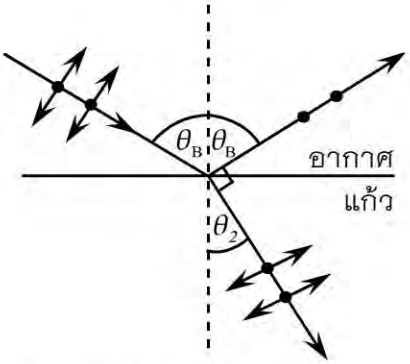
คำตอบ มุมตกกระทบที่ทำให้แสงสะท้อนเป็นแสงโพลาไรส์ เท่ากับ 53.1 องศา

10. นายเอกใช้แผ่นแก้วซึ่งมีดรรชนีหักเห 1.57 โพลาไรส์แสงในอากาศ

(ก) จงหามุมตกกระทบที่ทำให้แสงสะท้อนจากผิวแก้วเป็นแสงโพลาไรส์

(ข) จงหาว่าแสงหักเหในแผ่นแก้วด้วยมุมหักเหเท่าไร

วิธีทำ



รูป การเกิดแสงโพลาไรส์ของแสงในอากาศตกกระทบแผ่นแก้ว

ก. มุมตกกระทบที่ทำให้แสงสะท้อนจากผิวแก้วเป็นแสงโพลาไรส์ คือ มุมบรูสเตอร์ (θ_B)

จาก $\theta_B = \tan^{-1} n$

เมื่อ $n = 1.57$

$\therefore \theta_B = \tan^{-1} 1.57$

$= 57.5$ องศา

คำตอบ มุมตกกระทบที่ทำให้แสงสะท้อนจากแก้วเป็นแสงโพลาไรส์ เท่ากับ 57.5 องศา

ข. มุมหักเหของแสงที่ตกกระทบพื้นผิวใดๆ แล้วสะท้อนเป็นแสงโพลาไรส์ มีค่า

$\theta_2 = 90 - \theta_B$

$\therefore \theta_2 = 90^\circ - 57.5^\circ = 32.5$ องศา

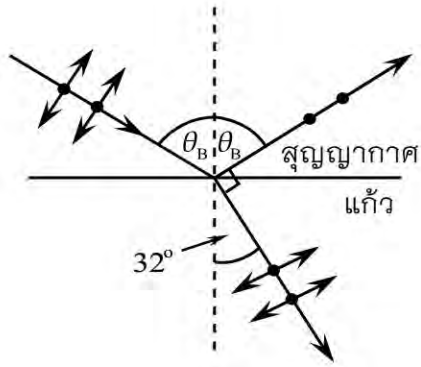
คำตอบ มุมตกกระทบที่ทำให้แสงสะท้อนจากแก้วเป็นแสงโพลาไรส์ เท่ากับ 32.5 องศา

11. แสงสีแดงเคลื่อนที่ในสุญญากาศตกกระทบแผ่นแก้วโดยมีมุมตกกระทบเป็นมุมบรูสเตอร์ ถ้าแสงสีแดงหักเหในแผ่นแก้วมีมุมหักเห 32.0 องศา

(ก) ดรรชนีหักเหของแก้วมีค่าเท่าไร

(ข) มุมบรูสเตอร์มีค่าเท่าไร

วิธีทำ



รูป การเกิดแสงโพลาไรส์ของแสงในสุญญากาศตกกระทบแผ่นแก้ว

ก. เนื่องจากแสงตกกระทบทำมุมบรูสเตอร์ และหักเหในแผ่นแก้ว 32.0 องศา

$\therefore \theta_B = 90.0^\circ -$ มุมหักเห

$$\theta_B = 90.0^\circ - 32.0^\circ = 58.0 \text{ องศา}$$

จาก $$\tan\theta_B = \frac{n_2}{n_1}$$

แทนค่าดัชนีหักเหของแสงในสุญญากาศเท่ากับ 1 และค่ามุมบรูสเตอร์เท่ากับ 58 องศา

จะได้ $$\tan 58.0^\circ = \frac{n_2}{1} = 1.60$$

$\therefore$ ดัชนีหักเหของแผ่นแก้ว เท่ากับ 1.60

คำตอบ ดัชนีหักเหของแก้วมีค่าเท่ากับ 1.60

ข. จากข้อ ก. มุมบรูสเตอร์มีค่า 58.0°

คำตอบ มุมบรูสเตอร์มีค่า 58.0° องศา

บรรณานุกรม

ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สถาบัน. **คู่มือครูวิชาฟิสิกส์ เล่ม 4 ว023.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ คุรุสภาลาดพร้าว, 2535.

ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สถาบัน. **คู่มือครูวิชาฟิสิกส์ เล่ม 6 ว025.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, 2545.

ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สถาบัน. **คู่มือครูวิชาฟิสิกส์ 4 ว028.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, 2541.

ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สถาบัน. **คู่มือครูสาระการเรียนรู้พื้นฐานและเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 3.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, 2548.

Bauer, W. and Westfall, G.D. **University Physics with Modern Physics.** McGraw-Hill International Edition. New York : McGraw—Hill, 2010.

Cutnell, J.D. and Johnson, K.W. **Introduction to Physics.** Eighth Edition. : John Wiley & Sons, Inc., 2010.

Fischer, W. "Digital Video and Audio Broadcasting Technology", **Signal and Communication Technology**, Third Edition. 2010. page 643-659.

Giancoli, D.C. **Physics : Principle and Applications**. London : Prentice —Hall, Inc., 1995.

Halliday, D., Resnick, R. and Walker, J. **Fundamentals of Physics**. Fourth Edition. New York : John Wiley & Sons, Inc., 1993.

Jang, J. "Displays Develop a New Flexibility", **Materialtoday**. volume 9. number 4 : April, 2006. page 46-52.

Jewett, Jr. J.W. and Serway, R.A. **Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics**. Eight Edition. Brooks/Cole, 2010.

Kawamoto, H. "The History of Liquid-Crystal Displays", **Proceeding of the IEEE**. volume 90. number 4 : April, 2002. page 460-500.

Larry, F.W. "History of the Plasma Display Pan", **IEEE Transaction on Plasma Science**. volume 34. number 2. April, 2006.

Nguyen, F. "Challenges in the Design of a RGB LED Display for Indoor Applications", **Synthetic Metals**. volume 122. 2001. page 215-219.

Serway, R.A. and Faughn, J.S. **Holt Physics**. Austin : Holt, Rinehart and Winston, 2009.

Young, H.D. and Freedman, R.A. **University Physics**. Twelfth Edition. Pearson Addison Wesley, 2008.

Xu, X., et al. "Electrode Modification in Organic Light-Emitting Diodes", **Displays**. volume 27, 2006. page 24-34.

คณะกรรมการดำเนินการพัฒนาคู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 4 ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

คณะกรรมการดำเนินงานจัดทำคู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 4

1. นายอนันตสิน เตชะกำพุช	นักวิชาการอิสระ
2. นายบุญชัย ตันไถง	นักวิชาการอิสระ
3. นางกิ่งแก้ว คูอมรพัฒนะ	นักวิชาการอิสระ
4. นายพิพัฒน์ คงทอง	นักวิชาการอิสระ
5. นางวิไลวรรณ ภูละออ	นักวิชาการอิสระ
6. นายบุรินทร์ อัศวพิภพ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
7. นางสาวนฤมล สุวรรณจันทร์ดี	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
8. นายสุมิตร สวนสุข	โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย
9. นางสาวสุพัตรา เฉลิมเผ่า	โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี)
10. นายราม ติวารี	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
11. นายรังสรรค์ ศรีสาคร	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
12. นายวินัย เลิศเกษมสันต์	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
13. นายกิติภพ ทองเปาว์	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
14. นางสาวนันท์นภัส ลิ้มสันติธรรรม	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
15. นางสาวชุลีพร สุวัฒนาพิบูล	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

คณะที่ปรึกษา

1. ดร.พรพรรณ ไวทยางกูร	ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2. ดร.ปรีชาญ เดชศรี	รองผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
3. ดร.จารุวรรณ แสงทอง	ผู้ช่วยผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

คณะผู้เชี่ยวชาญทางวิชาการ

1. ผศ.ดร.วุทธิพันธุ์ ปรัชญพฤทธิ์	นักวิชาการอิสระ
2. รศ.สุวรรณ คูสำราญ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
3. ผศ.ดร.ขวัญ อารยะธนิตกุล	มหาวิทยาลัยมหิดล

คณะบรรณาธิการ

1. นายราม ติวารี	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2. นายรังสรรค์ ศรีสาคร	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
3. นายบุญชัย ตันไถง	นักวิชาการอิสระ
4. นางสาวนฤมล สุวรรณจันทร์ดี	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการพิจารณาหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 4

1. นายพิพัฒน์ คงทอง	นักวิชาการอิสระ
2. นายพูลศักดิ์ อินทวี	มหาวิทยาลัยศิลปากร
3. นายสมชาย กฤตพลวิวัฒน์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
4. นางสาวนฤมล สุวรรณจันทร์ดี	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5. นายประธาน บุรณศิริ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
6. นายสุธี เพชราวุธ	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
7. นายอภิชาติ พัฒนโภครัตนา	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
8. นายวิวัธน์ ยังดี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
9. นางฉวีวรรณ ชัยวัฒนา	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
10. นายมิญช์ เมธีสุวกุล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
11. นายสมพร วัธนเวคิน	โรงเรียนหอวัง
12. นายโกเมน ปาปะโถ	โรงเรียนสตรีวิทยา
13. นายปกรณ์ ปานรอด	โรงเรียนสตรีศรีสุริโยทัย
14. นายโฆสิต สิงหสุต	โรงเรียนศึกษานารีวิทยา
15. นางตฤษณา เขมาภาตะพันธ์	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
16. นางสุชาดา เสตวรรณา	โรงเรียนสายน้ำผึ้ง
17. นายอภิชาติ ศักดิ์วิโรจน์	โรงเรียนพระปฐมวิทยาลัย
18. นายนพพร ศรีแดงบุตร	โรงเรียนบรมราชินีนาถราชวิทยาลัย
19. นางอนุกูล แก้วบัวรมย์	โรงเรียนนครไทย
20. นายสวัสดิ์ สุวรรณกิจ	โรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม

21. นายดำรงค์ ชาแท่น	โรงเรียนแก่นนครวิทยาลัย
22. นายชุมพร อินทรจักรพงษ์	โรงเรียนแก่นนครวิทยาลัย
23. นายสวัสดิ์ กมล	โรงเรียนร้อยเอ็ดวิทยาลัย
24. นางนงยันต์ ขัมภรัตน์	โรงเรียนวารินชำราบ
25. นายประหยัด จิตอารี	โรงเรียนสะเมิงพิทยาคม
26. นายวิรัตน์ ตาละปิน	โรงเรียนจอมทอง
27. นางสาวปิยะมาศ บุญประกอบ	โรงเรียนวัดบวรนิเวศ

ผู้จัดทำภาพและผู้พิมพ์

1. นายพิริยะ ปราณีกิจ
2. นางสาวอารมณ์ สุวรรณโมลี

ผู้จัดทำปก

1. นายสุชีพ ณ สงขลา

พิมพ์ที่โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว นายสันติภาพ อินทรพัฒน์ ผู้พิมพ์และผู้โฆษณา พ.ศ. 2555

สสวท

สสวท

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงศึกษาธิการ

ศึกษาภัณฑ์พาณิชย์
พิมพ์ที่โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว
นายสันติภาพ อินทรพัฒน์ ผู้พิมพ์และผู้โฆษณา

องค์การค้าของ สกสค.

www.suksapan.or.th