

คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

ฟิสิกส์

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เล่ม 1

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เวลา 60 ชั่วโมง จำนวน 1.5 หน่วยกิต

ศึกษาเกี่ยวกับแม่เหล็กและสนามแม่เหล็ก การเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าในสนามแม่เหล็ก ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ไฟฟ้ากระแสสลับ แม่เหล็กไฟฟ้ากับชีวิตประจำวัน การเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โพลาริเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การสื่อสารด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ความร้อน และสภาพยืดหยุ่นของวัตถุ

โดยจัดการเรียนการสอนให้นักเรียนได้ศึกษา ค้นคว้า นำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันควบคู่ไปกับคุณธรรมและจริยธรรม และมีคุณลักษณะอันพึงประสงค์ ได้แก่ การใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และจิตวิทยาศาสตร์ในการสืบเสาะความรู้ และการแก้ปัญหา มีความรอบคอบ มีความรับผิดชอบ พร้อมทั้งตระหนักว่าวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน

ผลการเรียนรู้

1. สังเกต และอธิบายเส้นสนามแม่เหล็ก อธิบายและคำนวณฟลักซ์แม่เหล็กในบริเวณที่กำหนด รวมทั้งสังเกต และอธิบายสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำเส้นตรงและขั้วเลนอยด์
2. อธิบาย และคำนวณแรงแม่เหล็กที่กระทำต่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก แรงแม่เหล็กที่กระทำต่อเส้นลวดที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านและวางในสนามแม่เหล็ก รัศมีความโค้งของการเคลื่อนที่เมื่อประจุเคลื่อนที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก รวมทั้งอธิบายแรงระหว่างเส้นลวดตัวนำคู่ขนานที่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน
3. อธิบายหลักการทำงานของแกลแวนอมิเตอร์และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง รวมทั้งคำนวณปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง
4. สังเกต และอธิบายการเกิดอีเอ็มเอฟเหนี่ยวนำ กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ และคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งนำความรู้เรื่องอีเอ็มเอฟเหนี่ยวนำไปอธิบายการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า
5. อธิบาย และคำนวณความต่างศักย์อาร์เอ็มเอสและกระแสไฟฟ้าอาร์เอ็มเอส
6. อธิบายหลักการทำงานของและประโยชน์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส การแปลงอีเอ็มเอฟของหม้อแปลง และคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
7. อธิบายการเกิดและลักษณะเฉพาะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แสงไม่โพลาไรส์ แสงโพลาไรส์เชิงเส้น และแผ่นโพลาไรซ์ รวมทั้งอธิบายการนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่ต่าง ๆ ไปประยุกต์ใช้และหลักการทำงานของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง
8. สืบค้น และอธิบายการสื่อสารโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการส่งผ่านสารสนเทศและเปรียบเทียบการสื่อสารด้วยสัญญาณแอนะล็อกกับสัญญาณดิจิทัล
9. อธิบาย และคำนวณความร้อนที่ทำให้สารเปลี่ยนอุณหภูมิ ความร้อนที่ทำให้สารเปลี่ยนสถานะ และความร้อนที่เกิดจากการถ่ายโอนตามกฎการอนุรักษ์พลังงาน
10. อธิบายสภาพยืดหยุ่นและลักษณะการยืดและหดตัวของวัสดุที่เป็นแท่ง เมื่อถูกกระทำด้วยแรงค่าต่าง ๆ รวมทั้งทดลองอธิบายและคำนวณความเค้นตามยาว ความเครียดตามยาวและมอดุลัสของยัง และนำความรู้เรื่องสภาพยืดหยุ่นไปใช้ในชีวิตประจำวัน

รวมทั้งหมด 10 ผลการเรียนรู้

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ฟิสิกส์

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เล่ม 1

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

ผู้เรียบเรียง

ทัศนียา อ่อออารีย์

กุลวดี ห่อทรัพย์

ผู้ตรวจ

ผศ.มาลี สุทธิโอภาส

รศ.มานัส มงคลสุข

ผศ.ปรีดา เพชรมีศรี

บรรณาธิการ

ศ. ดร.พิเชษฐ์ ลิ้มสุวรรณ

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ฟิสิกส์

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เล่ม 1

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

ผู้เรียบเรียง	ทัศนียา อ้อยอารีย์ กุลวดี ท่อทรัพย์
ผู้ตรวจ	ผศ.มาลี สุทธิโอภาส รศ.มานัส มงคลสุข ผศ.ปริดา เพชรมีศรี
บรรณาธิการ	ศ. ดร.พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ

ทัศนียา อ้อยอารีย์.

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เล่ม 1.-กรุงเทพฯ : แม็คเอ็ดดูเคชั่น,
2563.

172 หน้า.

1. ฟิสิกส์--การศึกษาและการสอน (มัธยมศึกษา). I. กุลวดี
ท่อทรัพย์, ผู้แต่งร่วม. II. ชื่อเรื่อง.

530.07

ISBN 978-616-345-184-2

พิมพ์ครั้งที่ 1

จำนวน 8,000 เล่ม

สงวนลิขสิทธิ์ : มกราคม 2563

สงวนลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย ห้ามลอกเลียน ไม่ว่าจะเป็นส่วนหนึ่งส่วนใด
ของหนังสือเล่มนี้ นอกจากจะได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษร

จัดทำโดย

MAC EDUCATION

ส่งงานนัดส่งจ่าย ไปรษณีย์ลาดพร้าว

ในนาม บริษัท แม็คเอ็ดดูเคชั่น จำกัด

9/99 อาคารแม็ค ซอยลาดพร้าว 38 ถนนลาดพร้าว

แขวงจันทระเกษม เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทร. 0-2512-0661, 0-2938-2022-7 แฟกซ์ 0-2938-2028

www.MACeducation.com

พิมพ์ที่ : บริษัท ทีเอส อินเตอร์พรีนท์ จำกัด

คำชี้แจง

ตามที่กระทรวงศึกษาธิการโดยสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานได้ดำเนินการทบทวนหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 โดยในระยะแรกให้ปรับปรุงมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัด กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสาระภูมิศาสตร์ในกลุ่มสาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม สำหรับใช้ในปีการศึกษา 2561 ในชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 และ 4 และชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 และ 4 ปีการศึกษา 2562 ให้ใช้ชั้นประถมศึกษาปีที่ 1, 2, 4 และ 5 และชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1, 2, 4 และ 5 และตั้งแต่ปีการศึกษา 2563 เป็นต้นไปให้ใช้ในทุกชั้นเรียน ซึ่งการปรับหลักสูตรครั้งนี้มีเป้าหมายสำคัญเพื่อให้โรงเรียนสามารถจัดการกระบวนการเรียนรู้ที่จะช่วยให้ผู้เรียนมีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ สามารถวิเคราะห์ปัญหาหรือสถานการณ์ได้อย่างรอบคอบสามารถใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมในการบูรณาการกับความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาหรือพัฒนาด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่นำไปสู่การคิดค้นสิ่งประดิษฐ์หรือสร้างสรรค์นวัตกรรม นอกจากนี้ยังให้เกิดการเรียนรู้เรื่องภูมิศาสตร์ (Geo-literacy) ทั้งด้านความสามารถทางภูมิศาสตร์ กระบวนการทางภูมิศาสตร์ และทักษะทางภูมิศาสตร์ เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจได้อย่างถูกต้องและนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการดำเนินชีวิต

ด้วยตระหนักถึงความสำคัญของการปรับเปลี่ยนหลักสูตรข้างต้น บริษัท แม็คเอ็ดดูเคชั่น จำกัดจึงได้มอบหมายให้ผู้เชี่ยวชาญด้านหลักสูตร ด้านการพัฒนาสื่อการเรียนรู้ และด้านการวัดและประเมินผลได้ปรับปรุงพัฒนาหนังสือเรียนให้สอดคล้องมาตรฐานการเรียนรู้ ตัวชี้วัด ของหลักสูตรในกลุ่มสาระการเรียนรู้ที่มีการเปลี่ยนแปลง และให้สอดคล้องกับการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ที่กำหนดไว้ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 แผนการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2560-2579 และยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี

โดยหนังสือเรียนแต่ละหน่วยการเรียนรู้จะให้ผู้ใช้หนังสือเรียนได้ทราบเป้าหมายการเรียนรู้ในตอนต้นหน่วยการเรียนรู้ จากสาระการเรียนรู้และตัวชี้วัดชั้นปี และทุกหัวข้อหลักจะนำเสนอแนวคิดสำคัญเพื่อให้ทราบถึงสิ่งที่เป็นความรู้ ความคิดที่เป็นแก่นสำคัญที่ต้องเรียนรู้ให้ลึกซึ้ง และการเรียนรู้ที่ดีผู้เรียนควรได้ตรวจสอบความรู้ความเข้าใจเป็นระยะ ๆ ก่อนเรียนเรื่องใหม่ ดังนั้น ในหนังสือเรียนจะมีการสอดแทรกกิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่สัมพันธ์กับเรื่องที่ได้เรียนผ่านมา เพื่อให้ผู้เรียนได้ตรวจสอบ

ตนเอง หรือบางหัวข้ออาจเป็นการฝึกทักษะให้ชำนาญก่อน สิ่งที่เพิ่มเติมในหนังสือเรียนเล่มนี้ คือ กิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ เพื่อให้ผู้เรียนเกิดทักษะการคิดสร้างสรรค์ การคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหา นำไปสู่การสร้างผลิตภัณฑ์หรือนวัตกรรม ซึ่งผู้สอนสามารถนำไปประยุกต์หรือดัดแปลงให้เหมาะสมกับบริบทของโรงเรียนและผู้เรียน การศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมโดยใช้เทคโนโลยีการสื่อสารและสารสนเทศ (ICT) เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องค้นคว้าเพิ่มเติม ดังนั้นในหนังสือเรียนเล่มนี้จึงได้มีการเสริมเนื้อหาเพิ่มเติมที่ได้ผ่านการคัดกรองมาแล้วว่าเหมาะสมกับการเรียนรู้ แทรกไว้ในเนื้อหาบางหน่วย โดยใช้สัญลักษณ์  ผู้เรียนสามารถใช้สมาร์ทโฟนสแกน QR Code หรือเปิดเว็บไซต์

MACeducation.com เพื่อเข้าเมนู การศึกษาขั้นพื้นฐาน >>> MAC iLink และเลือกเปิดดูส่วนเสริมของบทเรียนในหนังสือแต่ละเล่มได้ ท้ายหน่วยการเรียนรู้ทุกหน่วยจะมีการสรุปบทเรียนสำหรับผู้เรียนได้ใช้เป็นข้อมูลสำคัญในการตรวจสอบองค์ความรู้ที่ควรได้รับการพัฒนาหลังจากเสร็จสิ้นการเรียน หรือเป็นสาระสำคัญที่ควรจดจำและทำความเข้าใจให้ถ่องแท้ ซึ่งนับว่าเป็นส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งในการปรับปรุงหนังสือเรียนครั้งนี้ที่ได้พัฒนาให้ชัดเจนยิ่งขึ้น

บริษัท แม็คเอ็ดดูเคชั่น จำกัด หวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเรียนเล่มนี้จะมีคุณค่า มีประโยชน์ และช่วยส่งเสริมการปฏิรูปการศึกษา เพื่อเป็นรากฐานสำคัญที่จะช่วยให้ประเทศไทยก้าวสู่ประเทศที่มีการพัฒนาอย่างยั่งยืนด้วยการมีพลเมืองที่มีคุณภาพ มีความคิดสร้างสรรค์ ตามเจตนารมณ์ของการปรับปรุงหลักสูตรครั้งนี้ และนโยบายประเทศไทย 4.0

บริษัท แม็คเอ็ดดูเคชั่น จำกัด

คำนำ

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เล่ม 1 ได้พัฒนาและปรับปรุงเนื้อหา กิจกรรมการทดลอง ภาพประกอบ กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ กิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ และคำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้ให้ตรงตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

ผู้เรียบเรียงได้ศึกษาผลการเรียนรู้ กระบวนการจัดการเรียนรู้ และแนวทางในการวัดและประเมินผล นำมาจัดทำโครงสร้างสำหรับหลักสูตรชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยเลือกเนื้อหา กระบวนการเรียนการสอน การทำกิจกรรม ทักษะการคิด การวัดผลและประเมินผล ผ่านการนำเสนอด้วยการเรียนรู้แบบลงมือปฏิบัติ (Active Learning) ที่เหมาะสมกับผู้เรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เพื่อพัฒนาผู้เรียนให้เกิดการเรียนรู้ เข้าใจหลักการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ วิธีการสำรวจตรวจสอบข้อมูล การคิดแก้ปัญหา ตลอดจนการเสริมสร้างจิตวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้ยังมุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้ฝึกฝนและพัฒนาให้เกิดทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ที่สำคัญ ด้วยกิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ ที่ช่วยให้ผู้เรียนมีทักษะในการแสวงหาความรู้ด้วยตนเอง การคิดสร้างสรรค์ การคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหา การทำงานร่วมกัน นำไปสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์หรือนวัตกรรมที่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการศึกษาและนำไปใช้ในชีวิตประจำวัน ซึ่งเป็นคำตอบของการศึกษาวิชาวิทยาศาสตร์

หนังสือเรียนเล่มนี้ประกอบด้วย 3 หน่วยการเรียนรู้ แต่ละหน่วยการเรียนรู้ได้สรุปสาระการเรียนรู้ ระบุผลการเรียนรู้ มีภาพและคำถามเข้าสู่บทเรียน แนวคิดสำคัญของแต่ละเรื่อง กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ กิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ เนื้อหา และคำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้ เพื่อเป็นการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียน

หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการเรียนการสอนตามแนวปฏิรูปการศึกษา และมีคุณภาพตรงตามผลการเรียนรู้ หากมีข้อบกพร่องประการใด ผู้เรียบเรียงขอน้อมรับคำแนะนำด้วยความขอบคุณยิ่ง

ทัศนียา อ้อยอารีย์
กุลวดี ห่อทรัพย์

สารบัญ

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 แม่เหล็กไฟฟ้า

	1
1. แม่เหล็กและสนามแม่เหล็ก	3
1.1 สนามแม่เหล็ก	4
1.2 แรงระหว่างขั้วแม่เหล็ก	8
1.3 ความเข้มสนามแม่เหล็ก	8
1.4 สนามแม่เหล็กโลก	10
2. การเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าในสนามแม่เหล็ก	14
3. ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก	24
3.1 สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าผ่านลวดตัวนำตรง	25
3.2 สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าผ่านขดลวดวงกลมและโซเลนอยด์	27
3.3 แรงกระทำต่อลวดตัวนำตรงที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านและอยู่ในสนามแม่เหล็ก	32
3.4 แรงระหว่างลวดตัวนำตรง 2 เส้นที่ขนานกันและมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน	36
3.5 แรงกระทำต่อขดลวดที่มีกระแสไฟฟ้าและวางอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็ก	37
3.6 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและแกลวนอมีมอเตอร์	39
4. แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	44
4.1 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	44
4.2 แรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับของมอเตอร์	48
4.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	49
4.4 หม้อแปลงไฟฟ้า	55
5. ไฟฟ้ากระแสสลับ	61
6. แม่เหล็กไฟฟ้ากับชีวิตประจำวัน	70
คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้	79

หน่วยการเรียนรู้ที่ 2 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

	81
1. การเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	83
1.1 ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์	84
1.2 การทดลองของเฮิร์ตซ์	86

2. สมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	87
3. สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	90
4. โพลาริเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	107
5. การสื่อสารด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	113
คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้	118

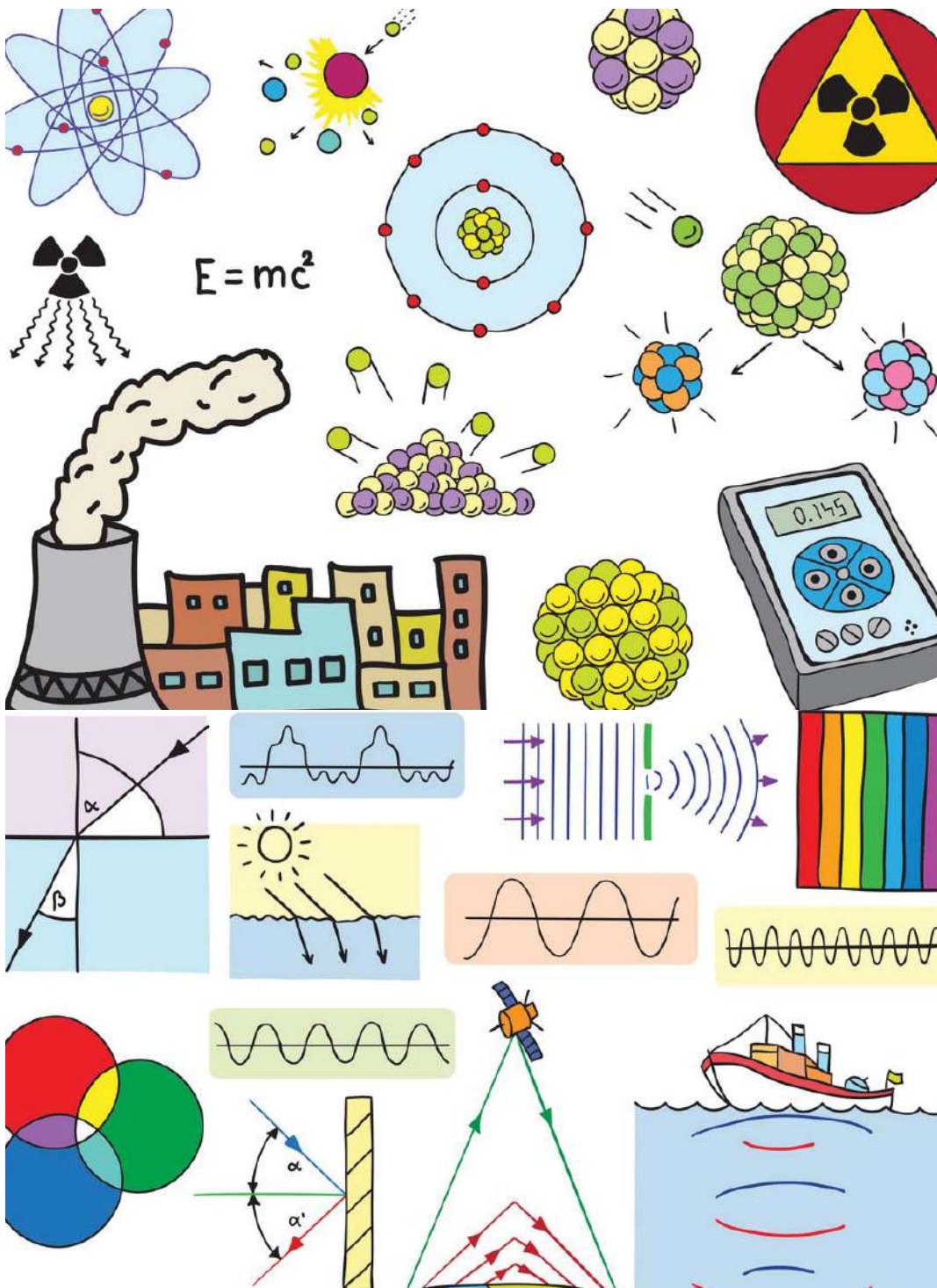
หน่วยการเรียนรู้ที่ 3 ความร้อนและสภาพยืดหยุ่นของวัตถุ

	119
1. ความร้อน	121
1.1 อุณหภูมิ	122
1.2 สมดุลความร้อน	124
1.3 ความร้อนและความร้อนแฝง	127
1.4 การขยายตัวเชิงความร้อนของวัตถุ	133
1.5 การถ่ายโอนความร้อน	135
2. สภาพยืดหยุ่นของวัตถุ	138
2.1 ความเค้นและความเครียด	143
2.2 มอดูลัสของยัง	145
2.3 สมบัติของวัสดุ	150
คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้	155

บรรณานุกรม

อภิธานศัพท์

160



หน่วยการเรียนรู้ที่

1

แม่เหล็กไฟฟ้า

สาระการเรียนรู้

- 1 แม่เหล็กและสนามแม่เหล็ก
- 2 การเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าในสนามแม่เหล็ก
- 3 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก

- 4 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ
- 5 ไฟฟ้ากระแสสลับ
- 6 แม่เหล็กไฟฟ้ากับชีวิตประจำวัน

ผลการเรียนรู้

1. สังเกตและอธิบายเส้นสนามแม่เหล็ก อธิบายและคำนวณฟลักซ์แม่เหล็กในบริเวณที่กำหนด รวมทั้งสังเกตและอธิบายสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำเส้นตรงและโซเลนอยด์
2. อธิบายและคำนวณแรงแม่เหล็กที่กระทำต่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก แรงแม่เหล็กที่กระทำต่อเส้นลวดที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านและวางในสนามแม่เหล็ก รัศมีความโค้งของการเคลื่อนที่เมื่อประจุเคลื่อนที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก รวมทั้งอธิบายแรงระหว่างเส้นลวดตัวนำคู่ขนานที่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน
3. อธิบายหลักการการทำงานของแกลวนอมิเตอร์และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
4. สังเกตและอธิบายการเกิดอีเอ็มเอฟเหนี่ยวนำ กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ และคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งนำความรู้เรื่องอีเอ็มเอฟเหนี่ยวนำไปอธิบายการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า
5. อธิบายและคำนวณความต่างศักย์เอ็มเอสและกระแสไฟฟ้าอาร์เอ็มเอส
6. อธิบายหลักการทำงานและประโยชน์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส การแปลงอีเอ็มเอฟของหม้อแปลงและคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

แรงไฟฟ้าและแรงแม่เหล็กเคยถูกเข้าใจว่าเป็นแรง 2 แรงที่แยกออกจากกัน ไม่เกี่ยวข้องกัน แต่มุมมองดังกล่าวได้เปลี่ยนไป เนื่องจากบทความเกี่ยวกับไฟฟ้าและแม่เหล็ก (treatise on electricity and magnetism) ของ เจมส์ คลาร์ก แมกซ์เวลล์ ได้กล่าวถึงแรงที่ประจุบวกและประจุลบกระทำต่อกัน แรงที่เกิดขึ้นระหว่างประจุบวกและประจุลบถูกควบคุมด้วยแรงแม่เหล็กไฟฟ้าเพียงแรงเดียว ทำให้เกิดผล 4 ประการ ดังนี้

1. เมื่อประจุชนิดเดียวกันอยู่ใกล้กันจะเกิดแรงผลักกันและประจุต่างชนิดกันจะเกิดแรงดึงดูดกัน โดยแรงที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนผกผันกับระยะห่างระหว่างประจุกำลังสอง
2. ขั้วแม่เหล็กมี 2 ชนิด ได้แก่ ขั้วเหนือ (N) และขั้วใต้ (S) เมื่อนำแท่งแม่เหล็กวางใกล้กัน แม่เหล็กที่มีขั้วเหมือนกันจะเกิดแรงผลักซึ่งกันและกัน ส่วนแม่เหล็กที่มีขั้วต่างกันจะเกิดแรงดึงดูดกัน
3. กระแสไฟฟ้าที่ไหลในเส้นลวดตัวนำจะสร้างสนามแม่เหล็กเป็นวงกลมล้อมรอบเส้นลวดตัวนำนั้น โดยทิศทางของสนามแม่เหล็กจะขึ้นอยู่กับการไหลของกระแสไฟฟ้า (ทิศทางของสนามแม่เหล็กจะเกิดขึ้น 2 ทิศทาง คือ ทิศตามเข็มนาฬิกาและทิศทวนเข็มนาฬิกา)
4. เมื่อมีการเคลื่อนที่ของขดลวดหรือแม่เหล็กที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็ก จะเกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวด ซึ่งทิศทางของกระแสไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับการเคลื่อนที่ของขดลวดและแม่เหล็ก

แรงแม่เหล็กไฟฟ้าเป็น 1 ใน 4 ของแรงพื้นฐานในธรรมชาติซึ่งได้แก่ แรงโน้มถ่วง แรงแม่เหล็กไฟฟ้า แรงนิวเคลียร์อย่างอ่อน และแรงนิวเคลียร์อย่างเข้ม

1. แม่เหล็กและสนามแม่เหล็ก



แนวคิดสำคัญ

แม่เหล็ก คือ สารแม่เหล็กที่สามารถดูดโลหะบางประเภทได้ ขั้วแม่เหล็กมี 2 ชนิด คือ ขั้วเหนือ (N) และขั้วใต้ (S) โดยสนามแม่เหล็กเป็นบริเวณที่มีอำนาจแม่เหล็กส่งไปถึง มีทิศทางจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้ ความเข้มสนามแม่เหล็กจะพิจารณาจากความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านพื้นที่บริเวณหนึ่ง หาได้จากสมการ $B = \frac{\phi}{A}$

แม่เหล็ก (magnetic) คือ สารแม่เหล็กที่สามารถดูดโลหะบางประเภทได้ เช่น เหล็ก นิกเกิล หรือเหนี่ยวนำให้เหล็กหรือสารแม่เหล็กมีสมบัติเป็นแม่เหล็กได้ โดยชนิดของแม่เหล็กเมื่อแบ่งตามลักษณะการเกิดจะสามารถแบ่งได้ 2 ชนิด ดังนี้

1. แม่เหล็กธรรมชาติ คือ ลินแร่ธรรมชาติที่มีสมบัติดูดเหล็กและเป็นสารประกอบออกไซด์ของเหล็ก (Fe_3O_4)

2. แม่เหล็กประดิษฐ์ คือ แม่เหล็กที่สร้างขึ้นหรือประดิษฐ์ขึ้นมา ได้แก่ แม่เหล็กถาวร เป็นแม่เหล็กที่สามารถรักษาอำนาจแม่เหล็กไว้ได้นาน โดยส่วนใหญ่ทำมาจากเหล็กกล้า และแม่เหล็กชั่วคราว เป็นแม่เหล็กที่มีอำนาจแม่เหล็กเพียงชั่วคราว โดยมักกระแสไฟฟ้าผ่านขดลวดที่พันรอบแท่งเหล็กอ่อน

ปรากฏการณ์แสงเหนือและแสงใต้มักเกิดขึ้นที่บริเวณขั้วโลกแสงเหนือและแสงใต้เกิดขึ้นได้อย่างไร



“



เมื่อแบ่งชนิดของแม่เหล็กตามสภาพเวลาที่ความเป็นแม่เหล็กยังคงจะสามารถแบ่งได้ 2 ชนิด ดังนี้

1. **แม่เหล็กถาวร (permanent magnet)** คือ แม่เหล็กที่มีสมบัติเป็นแม่เหล็กตลอดไป เช่น แม่เหล็กที่ใช้ในลำโพงซึ่งได้มาจากสารแม่เหล็กจากธรรมชาติ ได้แก่ สารประกอบของเหล็ก นิกเกิล โคบอลต์ หรืออีกวิธีหนึ่งสามารถสร้างขึ้นได้จากการนำเอาลวดทองแดงอบน้ำยาพันรอบแท่งเหล็กกล้า แล้วปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไปในขดลวดจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไปพลักโมเลกุลภายในแท่งเหล็กกล้าให้มีการเรียงตัวของโมเลกุลอย่างเป็นระเบียบเหล็กกล้านั้นก็จะคงสภาพเป็นแม่เหล็กถาวร

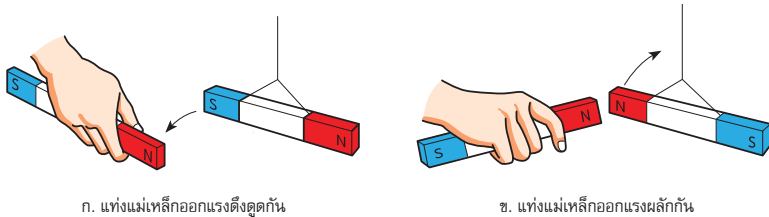
2. **แม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnet)** เป็นแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในลักษณะเดียวกับแม่เหล็กถาวร แต่เหล็กที่นำมาใช้เป็นเพียงเหล็กอ่อนธรรมดา เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไปในขดลวดที่พันอยู่รอบแท่งเหล็กอ่อนนั้น แท่งเหล็กอ่อนจะมีสภาพเป็นแม่เหล็กทันที แต่เมื่อหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้า อำนาจแม่เหล็กก็จะหมดไป เช่น อุปกรณ์ประภาคารเลีย โซเลนอยด์ กระดิ่งไฟฟ้า



รูปที่ 1.1 แท่งแม่เหล็ก

1.1 สนามแม่เหล็ก

แม่เหล็กจะประกอบด้วยขั้วแม่เหล็ก 2 ชนิด คือ ขั้วเหนือ (N) และขั้วใต้ (S) ซึ่งบริเวณขั้วของแม่เหล็กทั้งสองข้างจะมีอำนาจแม่เหล็กมากที่สุด เมื่อปล่อยให้แม่เหล็กหมุนอย่างอิสระในแนวระดับ แท่งแม่เหล็กจะวางตัวในแนวเหนือ-ใต้ โดยแท่งแม่เหล็กขั้วเหนือจะชี้ไปทางขั้วโลกเหนือ และแท่งแม่เหล็กขั้วใต้จะชี้ไปทางขั้วโลกใต้ ถ้านำแท่งแม่เหล็ก 2 แท่งมาวางใกล้กัน ด้านที่มีขั้วแม่เหล็กเหมือนกันจะออกแรงผลักกัน ส่วนด้านที่มีขั้วแม่เหล็กต่างกันจะออกแรงดึงดูดกัน ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 แรงกระทำระหว่างแท่งแม่เหล็ก 2 แท่งที่อยู่ใกล้กัน

แม่เหล็กสามารถดึงดูดวัตถุที่มีสารแม่เหล็กได้ เช่น เหล็ก นิกเกิล โคบอลต์ รวมถึงแม่เหล็กด้วยกันเอง ซึ่งถ้านำวัตถุที่มีสารแม่เหล็กเข้าไปใกล้แม่เหล็ก แม่เหล็กจะสามารถออกแรงกระทำต่อวัตถุนั้นได้ โดยแรงนี้จะกระจายอยู่รอบ ๆ แท่งแม่เหล็ก บริเวณที่มีแรงกระทำเนื่องจากแม่เหล็ก เรียกว่า **สนามแม่เหล็ก (magnetic field : $\vec{B}$)** ซึ่งเป็นบริเวณที่มีอำนาจแม่เหล็กส่งไปถึง สนามแม่เหล็กเป็นปริมาณเวกเตอร์ที่มีทิศทางจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้ ลักษณะของสนามแม่เหล็กเป็นอย่างไร ให้นักเรียนศึกษาจากกิจกรรมที่ 1.1



กิจกรรมการทดลอง

กิจกรรมที่ 1.1 สนามแม่เหล็ก

จุดประสงค์

1. ทดลองและศึกษาลักษณะของเส้นสนามแม่เหล็กรอบ ๆ แท่งแม่เหล็กจากการโรยผงตะไบเหล็กบนกระดาษขาวที่วางอยู่บนแท่งแม่เหล็ก 1 แท่ง และแท่งแม่เหล็ก 2 แท่งที่วางในลักษณะต่าง ๆ
2. ทดลองและเขียนแผนภาพแสดงเส้นสนามแม่เหล็กโดยการใช้เข็มทิศ

วัสดุอุปกรณ์

1. แท่งแม่เหล็กชนิดมีขั้วอยู่ที่ปลายแท่งจำนวน 2 แท่ง
2. ผงตะไบเหล็ก
3. กระดาษสีขาว 3-4 แผ่น
4. เข็มทิศ 1 อัน

คำถามก่อนกิจกรรม

1. ถ้าโรยผงตะไบเหล็กบนกระดาษสีขาวที่วางอยู่บนแท่งแม่เหล็ก 1 แท่ง ผงตะไบเหล็กเป็นอย่างไร
2. ถ้านำผงตะไบเหล็กออกแล้วใช้เข็มทิศวางตามแนวของผงตะไบเหล็ก เข็มทิศที่วางรอบแท่งแม่เหล็กเป็นอย่างไร
3. ถ้าใช้แท่งแม่เหล็ก 2 แท่ง โดยวางแท่งแม่เหล็กในลักษณะหันขั้วเหมือนกันเข้าหากันและหันขั้วต่างกันเข้าหากัน การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผงตะไบเหล็กจะเป็นอย่างไร

ตอนที่ 1 เส้นสนามแม่เหล็ก

วิธีปฏิบัติ

1. วางแท่งแม่เหล็กบนโต๊ะ จากนั้นนำกระดาษสีขาวมาวางบนแท่งแม่เหล็ก 1 แท่ง โดยให้แท่งแม่เหล็กอยู่ตรงกลางแผ่นกระดาษ และวางกระดาษอีกแผ่นหนึ่งโดยไม่มีแท่งแม่เหล็ก
2. โรยผงตะไบเหล็กบาง ๆ บนแผ่นกระดาษสีขาวทั้งสองอย่างสม่ำเสมอ แล้วใช้นิ้วเคาะแผ่นกระดาษเบา ๆ สังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผงตะไบเหล็ก พร้อมทั้งเขียนแผนภาพแสดงลักษณะการเรียงตัวของผงตะไบเหล็ก
3. ทำการทดลองโดยใช้แท่งแม่เหล็ก 2 แท่ง วางในตำแหน่งต่าง ๆ ดังนี้

กรณีที่ 1 วางให้ขั้วชนิดเดียวกันหันเข้าหากัน ดังรูป

ขั้วเหนือหันเข้าหากัน		
ขั้วใต้หันเข้าหากัน		

กรณีที่ 2 วางให้ขั้วต่างชนิดหันเข้าหากัน ดังรูป



กรณีที่ 3 วางขนานและหันขั้วชนิดเดียวกันเข้าหากัน ดังรูป



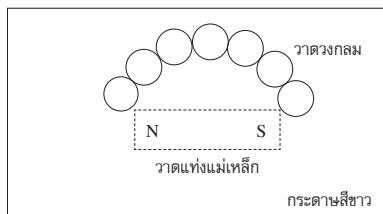
กรณีที่ 4 วางขนานและหันขั้วต่างชนิดเข้าหากัน ดังรูป



- นำแผ่นกระดาษสีขาววางบนแท่งแม่เหล็ก โดยให้แท่งแม่เหล็กทั้งสองที่วางในกรณีต่าง ๆ อยู่ตรงกลางแผ่นกระดาษ จากนั้นโรยผงตะไบเหล็กบาง ๆ บนกระดาษอย่างสม่ำเสมอแล้วใช้นิ้วเคาะแผ่นกระดาษเบา ๆ สังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผงตะไบเหล็ก พร้อมทั้งเขียนแผนภาพแสดงลักษณะการเรียงตัวของผงตะไบเหล็ก และเปรียบเทียบการเรียงตัวของผงตะไบเหล็กในแต่ละกรณี

ตอนที่ 2 ทิศทางของเส้นทึด

- วางแท่งแม่เหล็ก 1 แท่ง บนกระดาษสีขาวบริเวณกลางกระดาษ จากนั้นใช้ดินสอวาดตามรูปร่างของแท่งแม่เหล็กแล้วนำแท่งแม่เหล็กออกจากกระดาษ
- วาดวงกลมลงบนกระดาษ โดยให้มีขนาดใกล้เคียงกับเส้นทึดที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของแม่เหล็ก ดังรูป

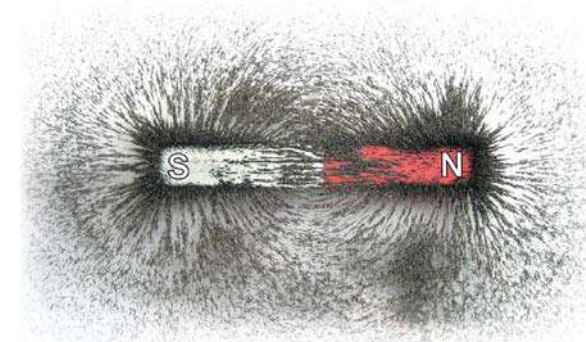


- นำแท่งแม่เหล็กวางบนกระดาษที่วาดภาพเรียบร้อยแล้วให้ตรงกับตำแหน่งที่วาดรูปไว้
- นำเส้นทึดวางในวงกลมที่วาดไว้ที่ละตำแหน่ง แล้วสังเกตการชี้ของเส้นทึดในแต่ละตำแหน่งที่วาง พร้อมกับเขียนลูกศรแสดงการชี้ของเส้นทึดลงในวงกลม
- ลากเส้นเชื่อมต่อกันที่วาดไว้ในวงกลม สังเกตและบันทึกผล

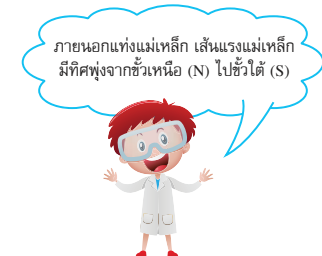
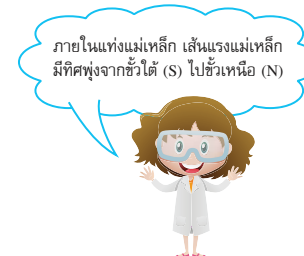
คำถามท้าทายกิจกรรม

- การเปลี่ยนแปลงของผงตะไบเหล็กบนแผ่นกระดาษสีขาวที่มีแท่งแม่เหล็กแตกต่างจากแผ่นกระดาษที่ไม่มีแท่งแม่เหล็กหรือไม่ อย่างไร
- เมื่อวางแท่งแม่เหล็ก 2 แท่งใต้แผ่นกระดาษสีขาวในลักษณะต่าง ๆ การจัดเรียงตัวของผงตะไบเหล็กแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร
- การชี้ของเส้นทึดที่วางอยู่ใกล้แท่งแม่เหล็กในแต่ละตำแหน่งมีลักษณะอย่างไร

การจัดเรียงตัวของผงตะไบเหล็กเกิดจากอิทธิพลของแท่งแม่เหล็ก โดยผงตะไบเหล็กจะเรียงตัวต่อกันจากขั้วแม่เหล็กด้านหนึ่งไปยังขั้วอีกด้านหนึ่ง โดยมีลักษณะเป็นแนวหลายแนวและมีควมหนาแน่นมากตรงบริเวณขั้วทั้งสองของแม่เหล็ก และเมื่อนำเส้นทึดมาวางใกล้ ๆ แท่งแม่เหล็ก เส้นทึดจะชี้ไปตามแนวการเรียงตัวของผงตะไบเหล็ก โดยมีทิศพุ่งจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้ของแท่งแม่เหล็ก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าบริเวณรอบ ๆ แท่งแม่เหล็กนั้นจะมีสนามแม่เหล็กอยู่ และแนวการเรียงตัวของผงตะไบเหล็กจะเรียกว่า **เส้นสนามแม่เหล็ก (magnetic field line)** ซึ่งมีทิศพุ่งจากขั้วเหนือไปสู่ขั้วใต้ และปริมาณเส้นสนามแม่เหล็กที่ผ่านพื้นที่บริเวณหนึ่ง เรียกว่า **ฟลักซ์แม่เหล็ก (magnetic flux : ϕ)** ซึ่งจะมีค่ามากตรงบริเวณขั้วแม่เหล็กทั้งสอง ดังรูปที่ 1.3

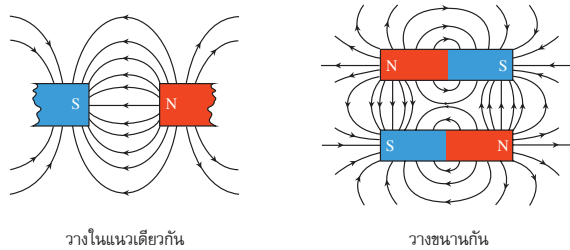


รูปที่ 1.3 สนามแม่เหล็กจะเข้มข้นมากตรงบริเวณขั้วของแท่งแม่เหล็ก



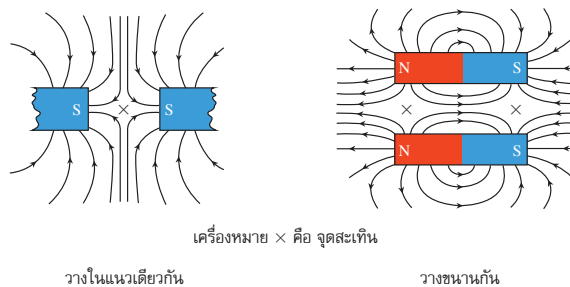
1.2 แรงระหว่างขั้วแม่เหล็ก

เมื่อวางแม่เหล็กในบริเวณเดียวกันจะพบว่ามีความกระทำระหว่างขั้วแม่เหล็กเกิดขึ้นโดยขั้วแม่เหล็กเหมือนกันจะออกแรงผลักกันแต่ขั้วแม่เหล็กต่างขั้วกันจะออกแรงดึงดูดกัน ดังรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 ลักษณะเส้นสนามแม่เหล็กเมื่อวางแท่งแม่เหล็กขั้วต่างกันไว้ใกล้กัน

และเมื่อนำแม่เหล็ก 2 แท่งวางใกล้ ๆ กัน เส้นแรงแม่เหล็กจะไม่มีการตัดกัน โดยบางบริเวณมีสนามแม่เหล็กหนาแน่น แสดงว่า สนามแม่เหล็กบริเวณนั้นมีค่ามาก และบางบริเวณไม่มีเส้นสนามแม่เหล็กผ่าน หรือสนามแม่เหล็กหักล้างกันจนมีค่าเป็นศูนย์ เรียกบริเวณนั้นว่า **จุดสะเทิน (neutral point)**



รูปที่ 1.5 ลักษณะเส้นสนามแม่เหล็กเมื่อวางแท่งแม่เหล็กขั้วเหมือนกันไว้ใกล้กัน

1.3 ความเข้มสนามแม่เหล็ก

ความเข้มสนามแม่เหล็กจะพิจารณาจากความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านพื้นที่บริเวณหนึ่ง โดยบริเวณที่มีฟลักซ์แม่เหล็กมากหรือเส้นแรงแม่เหล็กอยู่ชิดกันมาก แสดงว่ามีความเข้มสนามแม่เหล็กสูงกว่าบริเวณที่มีเส้นแรงแม่เหล็กละเอียดกว่า

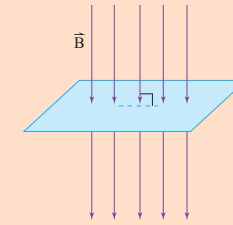
ในกรณีที่สนามแม่เหล็กมีทิศทางตั้งฉากกับพื้นที่ใด ๆ จะสามารถหาขนาดของสนามแม่เหล็กหรือความเข้มสนามแม่เหล็กได้จากสมการ

$$B = \frac{\phi}{A} \quad (1.1)$$

เมื่อ B คือ ความเข้มของสนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เทสลา (T)

ϕ คือ ฟลักซ์แม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เวเบอร์ (Wb)

A คือ พื้นที่ตั้งฉากกับเส้นแรงแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)



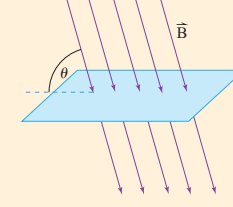
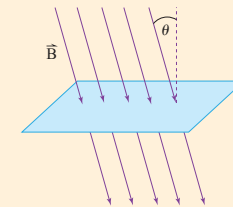
ในกรณีที่ทิศทางของสนามแม่เหล็กทำมุม θ ใด ๆ กับระนาบที่ตั้งฉากกับพื้นที่ A จะได้ว่า

$$\phi = BA \cos \theta \quad (1.2)$$

หรือในกรณีที่ทิศทางของสนามแม่เหล็กทำมุม θ ใด ๆ กับพื้นที่ A จะได้ว่า

$$\phi = BA \sin \theta \quad (1.3)$$

ข้อสังเกต ในการคำนวณสามารถใช้สมการที่ 1.2 และ 1.3 ได้ทั้ง 2 สมการ แต่ควรพิจารณาว่ามุม θ ที่โจทย์กำหนดให้



ตัวอย่างที่ 1.1 เมื่อมีสนามแม่เหล็กขนาดสม่ำเสมอ 30 เทสลา พุ่งลงบนขดลวดพื้นที่ 2×10^{-4} ตารางเมตร ในแนวทำมุม 90 องศากับระนาบของขดลวด ค่าฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านขดลวดมีค่าเท่ากับเท่าไร

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $B = 30 \text{ T}$, $A = 2 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ และ $\theta = 90^\circ$

$$\begin{aligned} \phi &= BA \\ &= (30)(2 \times 10^{-4}) \\ &= 6 \times 10^{-3} \text{ Wb} \end{aligned}$$

ดังนั้น ค่าฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านขดลวดเท่ากับ 6×10^{-3} เวเบอร์

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.2 ถ้าขดลวดพื้นที่ 4 ตารางเซนติเมตร วางอยู่ในสนามแม่เหล็กขนาดสม่ำเสมอ 15 เทสลา ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านขดลวดเท่ากับเท่าไร เมื่อระนาบของขดลวดทำมุม 30 องศา กับสนามแม่เหล็ก

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $B = 15 \text{ T}$, $A = 4 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ และ $\theta = 30^\circ$

$$\begin{aligned}\phi &= BA \sin \theta \\ &= (15)(4 \times 10^{-4}) \sin 30^\circ \\ &= (15)(4 \times 10^{-4}) \left(\frac{1}{2}\right) \\ &= 30 \times 10^{-4} = 3 \times 10^{-3} \text{ Wb}\end{aligned}$$

ดังนั้น ค่าฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านขดลวดเท่ากับ 3×10^{-3} เวเบอร์

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.3 ขดลวดตัวนำวงกลมรัศมี 10 เซนติเมตร วางอยู่ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กขนาดเท่าไร ถ้าฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านขดลวดขนาด $16\sqrt{3} \times 10^{-2}$ เวเบอร์ เมื่อระนาบของขดลวดทำมุม 30 องศา กับระนาบตั้งฉากกับขดลวด

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $r = 10 \times 10^{-2} \text{ m}$, $\phi = 16\sqrt{3} \times 10^{-2} \text{ Wb}$ และ $\theta = 30^\circ$

$$\begin{aligned}\phi &= BA \cos \theta \\ \phi &= B(\pi r^2) \cos 30^\circ \\ 16\sqrt{3} \times 10^{-2} &= B(\pi(10 \times 10^{-2})^2) \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \\ 16\sqrt{3} \times 10^{-2} &= B(\pi(10^{-2})^2) \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \\ B &= 32 \text{ T}\end{aligned}$$

ดังนั้น สนามแม่เหล็กมีขนาดเท่ากับ 32 เทสลา

ตอบ

1.4 สนามแม่เหล็กโลก

ที่บริเวณต่าง ๆ บนผิวโลกมีสนามแม่เหล็กที่ห่อหุ้มโลกไว้ เรียกว่า **สนามแม่เหล็กโลก (earth's magnetic field)** ซึ่งช่วยป้องกันอันตรายจากรังสีต่าง ๆ นอกโลก ให้นักเรียนศึกษาสนามแม่เหล็กโลกจากกิจกรรมที่ 1.2



กิจกรรมการทดลอง

กิจกรรมที่ 1.2 สนามแม่เหล็กโลก

จุดประสงค์

ทดลองและอธิบายเกี่ยวกับทิศทางและสนามแม่เหล็กโลก

วัสดุอุปกรณ์

1. แท่งแม่เหล็ก 1 แท่ง
2. เชือกหรือด้ายยาว 50 เซนติเมตร
3. ขาดึงพร้อมที่จับหลอดทดลอง 1 ชุด

คำถามก่อนกิจกรรม

เมื่อแขวนแท่งแม่เหล็กให้อยู่ในแนวระดับอย่างอิสระ ขั้วเหนือและขั้วใต้ของแท่งแม่เหล็กจะชี้ไปทางทิศใด

วิธีปฏิบัติ

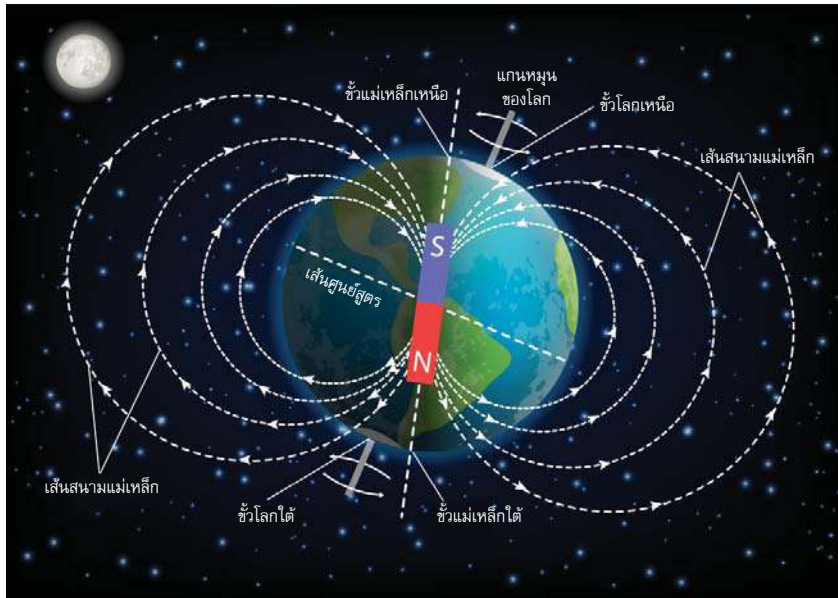
1. ใช้เส้นเชือกหรือเส้นด้ายผูกที่กึ่งกลางของแท่งแม่เหล็กให้ยาวประมาณ 25–30 เซนติเมตร
2. แขวนแม่เหล็กกับที่จับหลอดทดลองที่ติดบนขาตั้ง แล้วจัดให้แท่งแม่เหล็กสามารถหมุนหรือแกว่งได้คล่อง ดังรูป
3. ออกแรงกระทำต่อแท่งแม่เหล็กให้หมุนหรือเบนไปจากแนวเดิม ปล่อยทิ้งไว้สักครู่จนกระทั่งแท่งแม่เหล็กหยุดนิ่ง สังเกตการวางตัวของแท่งแม่เหล็ก แล้วบันทึกผลการทดลอง
4. ทำการทดลองซ้ำที่บริเวณอื่น ๆ ในห้องเรียนประมาณ 4–5 จุด ทำเครื่องหมายบริเวณที่นักเรียนทำการทดลองในแต่ละจุด
5. นำเข็มทิศไปวางในตำแหน่งที่นักเรียนทดลองทุกจุด สังเกตการวางตัวของเข็มทิศและเปรียบเทียบกับการวางตัวของแท่งแม่เหล็ก แล้วบันทึกผลการทดลอง



คำถามท้ายกิจกรรม

1. ทุกๆ ตำแหน่งที่นักเรียนทำการทดลอง ขั้วเหนือและขั้วใต้ของแท่งแม่เหล็กวางตัวแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร
2. เมื่อเปรียบเทียบกับการวางตัวของเข็มทิศมีความแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร
3. นักเรียนจะสรุปและอธิบายผลการทดลองได้อย่างไร

จากกิจกรรมที่ 1.2 สามารถยืนยันได้ว่าโลกมีสนามแม่เหล็กอยู่จริง เพราะเมื่อนำแท่งแม่เหล็กมาแขวนให้สามารถแกว่งได้อย่างอิสระ แท่งแม่เหล็กจะวางตัวในแนวเหนือ-ใต้เช่นเดียวกับเข็มทิศเสมอ การเคลื่อนที่ของโลหะร้อนใต้ผิวโลกทำให้โลกเสมือนมีแท่งแม่เหล็กขนาดใหญ่ฝังอยู่ภายใน ซึ่งวางตัวในแนวขั้วโลกเหนือและใต้ โดยบริเวณขั้วโลกเหนือจะเป็นขั้วแม่เหล็กใต้ ส่วนบริเวณขั้วโลกใต้จะเป็นขั้วแม่เหล็กเหนือ และเส้นสนามแม่เหล็กโลกจะมีทิศทางพุ่งจากขั้วโลกใต้ไปยังขั้วโลกเหนือ โดยแนวเหนือ-ใต้ของสนามแม่เหล็กโลกจะทำมุมประมาณ 11.5 องศา กับแนวเหนือ-ใต้ทางภูมิศาสตร์ของโลก ดังรูปที่ 1.6

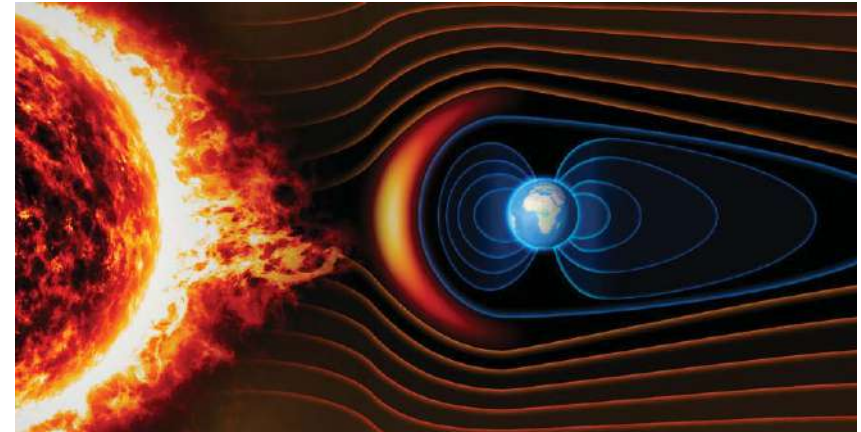


รูปที่ 1.6 สนามแม่เหล็กโลก

ที่มา : www.truththeory.com

ในอดีต มนุษย์รู้จักใช้ประโยชน์ของสนามแม่เหล็กโลกในการหาทิศทาง โดยการวางแท่งแม่เหล็กขนาดเล็ก ๆ บนวัตถุปลายแหลมที่สามารถหมุนในแนวราบได้อย่างอิสระ ซึ่งเมื่อแท่งแม่เหล็กหยุดนิ่งแล้วจะวางตัวอยู่ในแนวเหนือ-ใต้เสมอ จึงได้นำความรู้นี้มาพัฒนาและสร้างเป็นเข็มทิศที่ใช้กันอยู่ในชีวิตประจำวัน

สนามแม่เหล็กโลกมีประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่บนโลกอย่างมาก เนื่องจากสนามแม่เหล็กโลกทำหน้าที่เป็นโล่ป้องกันอันตรายจากรังสีที่เกิดจากลมสุริยะหรือพายุสุริยะ ซึ่งเป็นอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าพลังงานสูง โดยส่วนใหญ่จะเป็นอนุภาคโปรตอนและอิเล็กตรอนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากชั้นบรรยากาศของดวงอาทิตย์ สนามแม่เหล็กโลกจะป้องกันไม่ให้อนุภาคเหล่านี้ทำลายชั้นบรรยากาศของโลกและสิ่งมีชีวิตบนโลก



รูปที่ 1.7 การเบี่ยงเบนแนวของลมสุริยะโดยสนามแม่เหล็กโลก

ที่มา : www.earth.com

สนามแม่เหล็กโลกจะเบี่ยงเบนอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าจากลมสุริยะให้เคลื่อนที่อ้อมโลก โดยสนามแม่เหล็กโลกบริเวณด้านหลังจะมีลักษณะยืดยาวออกไปคล้ายดาวหาง บริเวณที่มีสนามแม่เหล็กโลกอยู่ เรียกว่า **แมกนีโตสเฟียร์ (magnetosphere)**

สนามแม่เหล็กโลกที่เบี่ยงเบนอนุภาคจากลมสุริยะออกไปจะทำให้อนุภาคบางส่วนเคลื่อนที่เข้าสู่บรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์บริเวณขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ เมื่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าปะทะกับอะตอมของแก๊สในชั้นไอโอโนสเฟียร์ จะส่งผลให้อะตอมของแก๊สคายพลังงานออกมาในรูปของแสง ปรากฏเป็นแสงสีต่าง ๆ บนท้องฟ้า เรียกว่า **ออโรรา (aurora)** หรือแสงเหนือและแสงใต้นั่นเอง

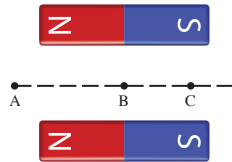


รูปที่ 1.8 ปรากฏการณ์ออโรรา

กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.1

จงตอบคำถามต่อไปนี้

1. จากการทดลองโดยใช้ผงตะไบเหล็กหาเส้นแรงแม่เหล็กจะทำให้ทราบสิ่งใดบ้าง
2. ถ้านำชิ้นหนึ่งของแท่งแม่เหล็กมาใกล้ปลายของวัตถุแท่งหนึ่ง พบว่าเกิดแรงผลัก ปลายของวัตถุชิ้นนั้นเป็นขั้วอะไร
3. จุดสะเทินมีความหมายอย่างไร และเมื่อนำแท่งแม่เหล็ก 2 แท่งที่มีสมบัติเหมือนกันทุกประการมาวางไว้ใกล้กัน ดังรูป จุดสะเทินจะอยู่ที่ตำแหน่งใด



4. ขดลวดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีความยาวด้านละ 5 เซนติเมตร ถ้ามีสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอขนาด 15 เทสลาในทิศทำมุม 53 องศาับขดลวด ฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านขดลวดนี้มีค่าเท่าไร
5. เมื่อแขวนเชือกที่จุดศูนย์กลางของแท่งแม่เหล็ก แล้วนำไปห้อยอยู่หนึ่ง ๆ เหนือผิวโลก แท่งแม่เหล็กจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

2. การเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าในสนามแม่เหล็ก

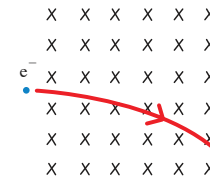


แนวคิดสำคัญ

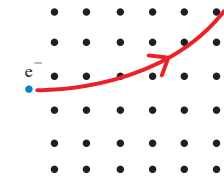
เมื่ออนุภาคเคลื่อนที่เข้าไปในสนามแม่เหล็ก จะมีแรงแม่เหล็กกระทำต่ออนุภาคให้มีทิศทางการเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดยทิศทางของแรงแม่เหล็กหาได้จากกฎมือขวา และขนาดของแรงแม่เหล็กที่กระทำต่ออนุภาคหาได้จากสมการ $F_B = qvB \sin \theta$

เมื่อมีอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่เข้าไปในบริเวณสนามแม่เหล็ก จะพบว่า ประจุไฟฟ้ามีการเคลื่อนที่เปลี่ยนไปจากเดิม แสดงว่าเกิดแรงกระทำต่ออนุภาคดังกล่าว จึงทำให้อนุภาคเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่จากเดิมได้ แรงนี้เรียกว่า **แรงแม่เหล็ก (magnetic force : F_B)**

ถ้าให้อิเล็กตรอนซึ่งเป็นอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าลบเคลื่อนที่ในทิศตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กที่มีทิศพุ่งเข้าหากระดาษ แนวการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะเบนลงจากเดิม แต่เมื่อกลับทิศของสนามแม่เหล็กให้มีทิศพุ่งออกจากกระดาษ แนวการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะเบนขึ้น แสดงว่ามีแรงกระทำต่ออิเล็กตรอนที่ทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่เบนขึ้นหรือลงไปจากแนวเดิม ดังรูปที่ 1.9



X แทน สนามแม่เหล็กมีทิศตั้งฉากเข้าหากระดาษ



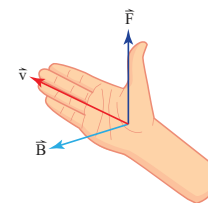
• แทน สนามแม่เหล็กมีทิศตั้งฉากออกจากกระดาษ

รูปที่ 1.9 การเคลื่อนที่ของอนุภาคอิเล็กตรอนในทิศทางตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก

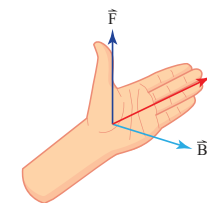


จะหาทิศทางของแรงแม่เหล็กได้อย่างไร

การหาทิศทางของแรง (F_B) ที่กระทำต่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าบวกสามารถทำได้โดยใช้ **กฎมือขวา** โดยให้นิ้วมือทั้ง 4 แทนทิศของความเร็ว ($\vec{v}$) ถ้าวัดนิ้วทั้ง 4 ไปยังทิศของสนามแม่เหล็ก ($\vec{B}$) นิ้วหัวแม่มือจะแสดงทิศทางของแรงแม่เหล็ก ($\vec{F}_B$) ถ้าอนุภาคมีประจุไฟฟ้าเป็นลบยังคงใช้กฎมือขวาได้เช่นกัน แต่ทิศของ $\vec{F}_B$ จะมีทิศตรงข้ามนิ้วหัวแม่มือ หรืออาจใช้มือซ้ายในการหาทิศทางแทนก็ได้ ดังรูปที่ 1.10



ก. ประจุบวก (มือขวา)



ข. ประจุลบ (มือซ้าย)

หลักการใช้กฎมือขวา

- นิ้วชี้ คือ ความเร็ว $\vec{v}$
- ฝ่ามือ คือ สนามแม่เหล็ก $\vec{B}$
- หัวแม่มือ คือ แรง $\vec{F}_B$
- แรง $\vec{F}_B$ มีค่าสูงสุดเมื่อ $\theta = 90^\circ$
- แรง $\vec{F}_B$ มีค่าต่ำสุดเมื่อ $\theta = 0^\circ$

รูป 1.10 การใช้กฎมือขวาเพื่อหาทิศทางของแรงที่กระทำต่อประจุ

แรงแม่เหล็กที่กระทำต่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับความเร็วของสนามแม่เหล็ก ความเร็ว และทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค ดังสมการ

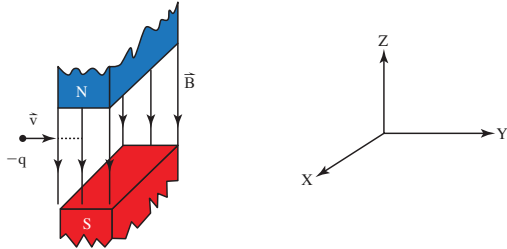
$$\vec{F}_B = q(\vec{v} \times \vec{B}) \quad (1.4)$$

จะหาขนาดของแรงแม่เหล็กได้จากสมการ

$$F_B = qvB \sin \theta \quad (1.5)$$

เมื่อ F_B คือ ขนาดของแรงแม่เหล็กที่กระทำต่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า มีหน่วยเป็น นิวตัน (N)
 q คือ ประจุไฟฟ้า มีหน่วยเป็น คูโลมบ์ (C)
 v คือ อัตราเร็วของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s)
 B คือ ขนาดของสนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เทสลา (T)
 θ คือ มุมระหว่างความเร็วของอนุภาคและสนามแม่เหล็ก

ตัวอย่างที่ 1.4 จากรูป อิเล็กตรอนซึ่งมีประจุไฟฟ้า -1.6×10^{-19} คูโลมบ์ ถูกยิงเข้าไปในบริเวณสนามแม่เหล็กขนาด 1 เทสลา ด้วยความเร็ว 5.0×10^6 เมตรต่อวินาที ดังรูป จะเกิดแรงเนื่องจากสนามแม่เหล็กกับอิเล็กตรอนขนาดเท่าไร



วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $q = 1.6 \times 10^{-19}$ C, $B = 1$ T, $v = 5.0 \times 10^6$ m/s และ $\theta = 90^\circ$ เนื่องจาก $\vec{v}$ ตั้งฉากกับ $\vec{B}$

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad F_B &= qvB \sin \theta \\ &= (1.6 \times 10^{-19})(5.0 \times 10^6)(1) \sin 90^\circ \\ &= 8.0 \times 10^{-13} \text{ N} \end{aligned}$$

ดังนั้น จะเกิดแรงเนื่องจากสนามแม่เหล็กกับอิเล็กตรอนขนาดเท่ากับ 8.0×10^{-13} นิวตัน

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.5 ประจุไฟฟ้าขนาด 2×10^{-19} คูโลมบ์ เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 5×10^6 เมตรต่อวินาที เข้าไปในทิศตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กขนาด 2 เทสลา ขนาดของแรงที่กำกับประจุไฟฟ้านี้มีค่าเท่าไร

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $q = 2 \times 10^{-19}$ C, $v = 5 \times 10^6$ m/s, $B = 2$ T และ $\theta = 90^\circ$ เนื่องจาก $\vec{v}$ ตั้งฉากกับ $\vec{B}$

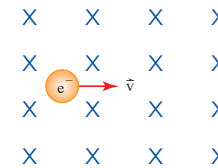
$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad F_B &= qvB \sin \theta \\ &= (2 \times 10^{-19})(5 \times 10^6)(2) \sin 90^\circ \\ &= 2 \times 10^{-12} \text{ N} \end{aligned}$$

ดังนั้น ขนาดของแรงที่กำกับประจุไฟฟ้านี้มีค่าเท่ากับ 2×10^{-12} นิวตัน

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.6 อิเล็กตรอนตัวหนึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว 2.0×10^8 เมตรต่อวินาที ในทิศจากซ้ายไปขวาเข้าไปในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอขนาด 5×10^{-3} เทสลา และสนามมีทิศพุ่งเข้าสู่กระดาษ ขนาดและทิศทางของแรงที่กระทำต่ออิเล็กตรอนจะเป็นอย่างไร

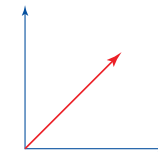
วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $q = 1.6 \times 10^{-19}$ C, $v = 2.0 \times 10^8$ m/s และ $B = 5 \times 10^{-3}$ T วาดภาพประกอบได้ดังนี้



จากรูป จะได้ $\theta = 90^\circ$ เนื่องจาก $\vec{v}$ ตั้งฉากกับ $\vec{B}$

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad F_B &= qvB \sin \theta \\ &= (1.6 \times 10^{-19})(2.0 \times 10^8)(5 \times 10^{-3}) \sin 90^\circ \\ &= 1.6 \times 10^{-13} \text{ N} \end{aligned}$$

หาทิศทางของแรงโดยใช้กฎมือขวา จะได้ทิศทางดังนี้



เนื่องจากประจุนี้เป็นประจุลบ ทิศทางของแรงจะมีทิศตรงข้ามกับประจุบวก แสดงว่า แรงที่กระทำต่ออิเล็กตรอนจะมีทิศลง

ดังนั้น ขนาดของแรงที่กระทำต่ออิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ 1.6×10^{-13} นิวตัน และมีทิศลง

ตอบ

เนื่องจากทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าในสนามแม่เหล็กนั้นขึ้นอยู่กับมุมระหว่างความเร็วของอนุภาคและสนามแม่เหล็ก โดยจะพิจารณาออกเป็น 3 กรณี ดังนี้

กรณีที่
1

อนุภาคเคลื่อนที่ตัดฉากกับสนามแม่เหล็ก

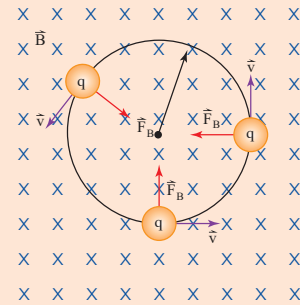
จากสมการ $F_B = qvB \sin \theta$ เมื่ออนุภาคเคลื่อนที่เข้าไปในสนามแม่เหล็กโดยมีความเร็วตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก จะเกิดแรงกระทำที่มีขนาด $\theta = 90^\circ$ เนื่องจากค่า $\sin 90^\circ = 1$ ทิศของแรงแม่เหล็กจะมีทิศเข้าสู่ศูนย์กลางการเคลื่อนที่ตลอดเวลา ทำให้อนุภาคเคลื่อนที่เป็นวงกลม ดังรูป โดยขนาดของแรงแม่เหล็กจะเท่ากับแรงเข้าสู่ศูนย์กลางดังสมการ

$$\begin{aligned} F_c &= F_B \\ \frac{mv^2}{r} &= qvB \end{aligned}$$

จะได้รัศมีความโค้งของวงกลม

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

(1.6)

กรณีที่
2

อนุภาคเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่มีทิศทางทำมุมใด ๆ กับสนามแม่เหล็ก

ความเร็วของอนุภาคจะแยกเป็น 2 องค์ประกอบ คือ ความเร็วในแนวขนานกับสนามแม่เหล็กทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและความเร็วในแนวตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กทำให้ประจุเคลื่อนที่เป็นวงกลม ความเร็วลัพธ์จะทำให้อนุภาคเคลื่อนที่เป็นรูปเกลียว ดังรูป โดยขนาดของแรงที่กระทำจะเท่ากับแรงเข้าสู่ศูนย์กลางดังสมการ

$$\begin{aligned} F_c &= F_B \\ \frac{mv^2}{r} &= qvB \sin \theta \end{aligned}$$

จะได้รัศมีความโค้ง

$$r = \frac{mv \sin \theta}{qB}$$

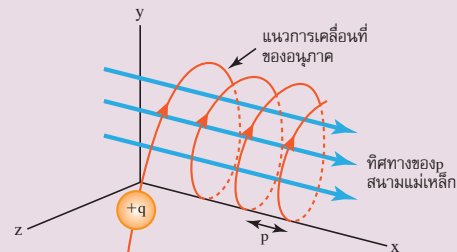
(1.7)

และระยะห่างระหว่างเกลียว

$$P = (v \cos \theta)T$$

(1.8)

เมื่อ T คือ คาบของการเคลื่อนที่ มีหน่วยเป็น วินาที (s)

กรณีที่
3

อนุภาคเคลื่อนที่ขนานกับสนามแม่เหล็ก

จากสมการ $F_B = qvB \sin \theta$ เมื่ออนุภาคเคลื่อนที่ขนานกับสนามแม่เหล็ก มุมระหว่างความเร็วและสนามแม่เหล็กจะมีค่าเท่ากับ 0° หรือ 180° ทำให้ค่า $\sin \theta$ เป็นศูนย์ ดังนั้น แรงแม่เหล็กที่กระทำต่ออนุภาคจะมีค่าเป็นศูนย์ จึงไม่มีผลทำให้อนุภาคเบี่ยงเบนทิศทางการเคลื่อนที่ไปจากเดิม ไม่ว่าอนุภาคนั้นจะเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกันหรือทิศตรงข้ามกับสนามแม่เหล็ก ก็ยังคงเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดิมต่อไป

เมื่อพิจารณาารูปแบบการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าในสนามแม่เหล็กทั้ง 3 กรณีข้างต้น จะเห็นได้ว่าแรงที่กระทำต่ออนุภาคจะมีค่าสูงสุดเมื่ออนุภาคเคลื่อนที่ตัดฉากกับสนามแม่เหล็ก และจะมีค่าเป็นศูนย์เมื่ออนุภาคเคลื่อนที่ขนานกับสนามแม่เหล็ก

ตัวอย่างที่ 1.7 รัศมีทางโคจรของประจุบวกเท่ากับ 60 เมตร มีมวล 9×10^{-9} กิโลกรัม เคลื่อนที่ด้วยความเร็วขนาด 8×10^4 เมตรต่อวินาที มีทิศตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กที่มีความเข้ม 0.3 เทสลา ประจุบวกมีขนาดเท่าไร

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $r = 60$ m, $m = 9 \times 10^{-9}$ kg, $v = 8 \times 10^4$ m/s และ $B = 0.3$ T

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad r &= \frac{mv}{qB} \\ 60 &= \frac{(9 \times 10^{-9})(8 \times 10^4)}{q(0.3)} \\ q &= 4 \times 10^{-13} \text{ C} \end{aligned}$$

ดังนั้น ประจุบวกมีขนาดเท่ากับ 4×10^{-13} คูลอมบ์

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.8 อิเล็กตรอนวิ่งด้วยความเร็ว 10^6 เมตรต่อวินาที โดยทำมุม 53° เข้าไปในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอขนาด 10^{-3} เทสลา รัศมีการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนมีค่าเท่าไร

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $v = 10^6$ m/s, $\theta = 53^\circ$, $B = 10^{-3}$ T, $m = 9.1 \times 10^{-31}$ kg และ $q = 1.6 \times 10^{-19}$ C

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad r &= \frac{mv \sin \theta}{qB} \\ &= \frac{(9.1 \times 10^{-31})(10^6) \sin 53^\circ}{(1.6 \times 10^{-19})(10^{-3})} \\ &= \frac{(9.1 \times 10^{-31})(10^6) \left(\frac{4}{5}\right)}{(1.6 \times 10^{-19})(10^{-3})} \\ &= 4.54 \times 10^{-3} \text{ C} \end{aligned}$$

ดังนั้น รัศมีการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนมีค่าเท่า 4.54×10^{-3} เมตร

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.9 อิเล็กตรอนวิ่งด้วยความเร็ว 10^6 เมตรต่อวินาที ในทิศตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอขนาด 10^{-2} เทสลา ปริมาณต่างต่อไปนี้จะมีค่าเท่าไร

- ก. แรงที่สนามแม่เหล็กกระทำต่ออิเล็กตรอน
 ข. รัศมีความโค้งของการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน
 ค. คาบการเคลื่อนที่ครบรอบของอิเล็กตรอน
 ง. ความถี่ในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน
 จ. อัตราเร็วเชิงมุม

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $v = 10^6$ m/s, $B = 10^{-2}$ T, $m = 9.1 \times 10^{-31}$ kg และ $q = 1.6 \times 10^{-19}$ C

- ก. หาแรงที่สนามแม่เหล็กกระทำต่ออิเล็กตรอน

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

ดังนั้น แรงที่สนามแม่เหล็กกระทำต่ออิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ 1.6×10^{-15} นิวตัน

ตอบ

- ข. หารัศมีความโค้งของการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad r &= \frac{mv}{qB} \\ &= \frac{(9.1 \times 10^{-31})(10^6)}{(1.6 \times 10^{-19})(10^{-2})} \\ &= 5.69 \times 10^{-4} \text{ m} \end{aligned}$$

ดังนั้น รัศมีความโค้งของการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ 5.69×10^{-4} เมตร

ตอบ

- ค. หาคาบการเคลื่อนที่ครบรอบของอิเล็กตรอน

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad v &= \omega r = \left(\frac{2\pi}{T}\right)r \\ v &= \left(\frac{2\pi}{T}\right)\left(\frac{mv}{qB}\right) \\ \text{จะได้} \quad T &= \frac{2\pi m}{qB} \\ &= \frac{2\pi(9.1 \times 10^{-31})}{(1.6 \times 10^{-19})(10^{-2})} \\ &= 3.57 \times 10^{-9} \text{ s} \end{aligned}$$

ดังนั้น คาบการเคลื่อนที่ครบรอบของอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ 3.57×10^{-9} วินาที

ตอบ

- ง. หาความถี่ในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad f &= \frac{1}{T} \\ &= \frac{1}{3.57 \times 10^{-9}} \\ &= 2.8 \times 10^8 \text{ Hz} \end{aligned}$$

ดังนั้น ความถี่ในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ 2.8×10^8 เฮิรตซ์

ตอบ

- จ. หาอัตราเร็วเชิงมุม

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad v &= \omega r \\ 10^6 &= \omega(5.69 \times 10^{-4}) \\ \omega &= 1.76 \times 10^9 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

ดังนั้น อัตราเร็วเชิงมุมมีค่าเท่ากับ 1.76×10^9 เรเดียนต่อวินาที

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.10 อนุภาคประจุไฟฟ้าชนิดบวกเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 9.5×10^{-9} เมตรต่อวินาที ในทิศทางที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กที่มีขนาด 0.5 เทสลา ทำให้อนุภาคดังกล่าวเคลื่อนที่เป็นวงกลมรัศมี 30 เซนติเมตร อัตราส่วนระหว่างประจุต่อมวลของอนุภาคดังกล่าวเท่ากับเท่าไร

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $v = 9.5 \times 10^{-9}$ m/s, $B = 0.5$ T และ $r = 30$ cm $= 30 \times 10^{-2}$ m

$$\begin{aligned} \text{อัตราส่วนระหว่างประจุต่อมวลคือค่า} \quad \frac{q}{m} \\ \text{จาก} \quad r &= \frac{mv}{qB} \\ \frac{q}{m} &= \frac{v}{Br} \\ &= \frac{9.5 \times 10^{-9}}{(0.5)(30 \times 10^{-2})} \\ &= 6.33 \times 10^{-8} \text{ C/kg} \end{aligned}$$

ดังนั้น อัตราส่วนระหว่างประจุต่อมวลของอนุภาคดังกล่าวเท่ากับ 6.33×10^{-8} คูลอมบ์ต่อกิโลกรัม

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.11 อิเล็กตรอนและโปรตอนเคลื่อนที่เข้าไปในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอด้วยอัตราเร็วเท่ากัน ในทิศตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก อัตราส่วนระหว่างรัศมีความโค้งของอิเล็กตรอนกับโปรตอนมีค่าเท่าไร

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg และ $m_p = 1.6 \times 10^{-27}$ kg

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad r &= \frac{mv}{qB} \\ \text{รัศมีความโค้งของอิเล็กตรอน} \quad r_e &= \frac{m_e v}{qB} \quad \dots(1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{รัศมีความโค้งของโปรตอน} \quad r_p &= \frac{m_p v}{qB} \quad \dots(2) \\ \text{นำสมการ (1)} \end{aligned}$$

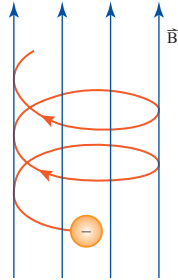
$$\begin{aligned} \frac{r_e}{r_p} &= \frac{\frac{m_e v}{qB}}{\frac{m_p v}{qB}} \\ &= \frac{m_e}{m_p} \\ &= \frac{9.1 \times 10^{-31}}{1.6 \times 10^{-27}} \\ &= 5.69 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

ดังนั้น อัตราส่วนระหว่างรัศมีความโค้งของอิเล็กตรอนกับโปรตอนมีค่าเท่ากับ 5.69×10^{-4}

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.12 อิเล็กตรอนตัวหนึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 5.0×10^6 เมตรต่อวินาที เข้าไปในสนามแม่เหล็ก ขนาด 3.0×10^{-3} เทสลา โดยทำมุม 60° องศากับสนามแม่เหล็ก รัศมีของการเคลื่อนที่แบบเกลียวจะมีค่าเท่าไร

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $q = 1.6 \times 10^{-19}$ C, $m = 9.1 \times 10^{-31}$ kg, $v = 5.0 \times 10^6$ m/s, $B = 3.0 \times 10^{-3}$ T และ $\theta = 60^\circ$ วาดภาพประกอบได้ดังนี้



$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad r &= \frac{mv \sin \theta}{qB} \\ &= \frac{(9.1 \times 10^{-31})(5.0 \times 10^6) \sin 60^\circ}{(1.6 \times 10^{-19})(3.0 \times 10^{-3})} \\ &= 8.21 \times 10^{-3} \text{ m} \end{aligned}$$

ดังนั้น รัศมีของการเคลื่อนที่แบบเกลียวจะมีค่าเท่ากับ 8.21×10^{-3} เมตร

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.13 อนุภาคหนึ่งมีประจุขนาด 3.14×10^{-19} คูลอมบ์ มวล 2×10^{-24} กิโลกรัม เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 3×10^6 เมตรต่อวินาที ถ้าอนุภาคนี้นิ่งเข้าไปในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอขนาด 5 เทสลา ทำให้เกิดการเคลื่อนที่เป็นวงกลม ในเวลา 5 วินาที อนุภาคนี้นเคลื่อนที่ได้กี่รอบ

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $q = 3.14 \times 10^{-19}$ C, $m = 2 \times 10^{-24}$ kg, $v = 3 \times 10^6$ m/s, $B = 5$ T และ $t = 5$ s เนื่องจากแรงแม่เหล็กทำหน้าที่เป็นแรงสู่ศูนย์กลาง จะได้

$$\begin{aligned} F_c &= F_B \\ \frac{mv^2}{r} &= qvB \\ m\omega &= qvB \\ m(2\pi f) &= qvB \\ (2 \times 10^{-24})(2)(3.14)f &= (3.14 \times 10^{-19})(3 \times 10^6)(5) \\ f &= 1.25 \times 10^5 \text{ Hz} \end{aligned}$$

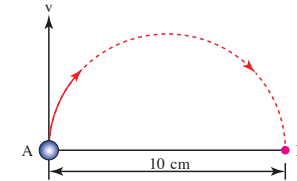
ในเวลา 1 วินาที อนุภาคนี้นเคลื่อนที่ได้ 1.25×10^5 รอบ

ในเวลา 5 วินาที อนุภาคนี้นเคลื่อนที่ได้ $1.25 \times 10^5 \times 5 = 6.25 \times 10^5$ รอบ

ดังนั้น อนุภาคนี้นเคลื่อนที่ได้ 6.25×10^5 รอบ

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.14 อิเล็กตรอนมีประจุขนาด 1.6×10^{-19} คูลอมบ์ มีมวล 9.1×10^{-31} กิโลกรัม เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 3.0×10^7 เมตรต่อวินาที ดังรูป ขนาดของสนามแม่เหล็กที่จะทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่เป็นครึ่งวงกลมจาก A ไป B มีค่าเท่าไร และมีทิศทางอย่างไร



วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $q = 1.6 \times 10^{-19}$ C, $m = 9.1 \times 10^{-31}$ kg, $v = 3.0 \times 10^7$ m/s และ $r = 5 \text{ cm} = 5 \times 10^{-2}$ m

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad r &= \frac{mv}{qB} \\ 5 \times 10^{-2} &= \frac{(9.1 \times 10^{-31})(3 \times 10^7)}{(1.6 \times 10^{-19})B} \\ B &= 3.41 \times 10^{-3} \text{ T} \end{aligned}$$

จากโจทย์ อิเล็กตรอนมีความเร็วในทิศขึ้นด้านบนและมีแรงแม่เหล็กกระทำในทิศไปทางขวา เมื่อใช้กฎมือขวา ทิศทางของสนามแม่เหล็กจะได้ว่า สนามแม่เหล็กมีทิศทางพุ่งเข้าหากระดาษ

ดังนั้น ขนาดสนามแม่เหล็กมีเท่ากับ 3.41×10^{-3} เทสลา และมีทิศทางพุ่งเข้าหากระดาษ

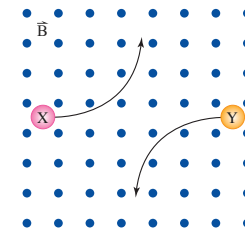
ตอบ



กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.2

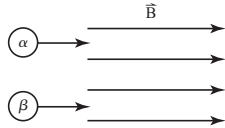
จงตอบคำถามต่อไปนี้

- ประจุไฟฟ้า X และ Y เคลื่อนที่เข้าไปในสนามแม่เหล็กเดียวกันมีแนวทางการเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก ดังรูปแสดงว่าประจุ X และ Y เป็นประจุชนิดใด

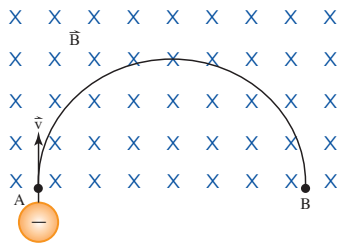


- วางลวดตรงยาว 0.3 เมตร ไว้ในสนามแม่เหล็ก B เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลในลวดนี้ 10 มิลลิแอมแปร์ จากทิศตะวันตกไปทิศตะวันออก ลวดจะได้รับแรงกระทำ 3×10^{-3} นิวตัน ในทิศเหนือ ขนาดและทิศทางของสนามแม่เหล็กมีค่าเท่าไร

3. อนุภาคแอลฟาและอนุภาคบีตาเคลื่อนที่เข้าไปในแนวขนานกับสนามแม่เหล็กที่มีค่าสม่ำเสมอ ดังรูป การเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กของอนุภาคทั้งสองจะเป็นอย่างไร



4. ถ้ามีอิเล็กตรอนวิ่งตามแนวราบไปทางขวา ผ่านสนามแม่เหล็กขนาดสม่ำเสมอซึ่งมีทิศพุ่งออกมาตั้งฉากกับระนาบของแผ่นกระดาษ แนวการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะเป็นอย่างไร
5. จะต้องใช้สนามแม่เหล็กขนาดเท่าไร จึงจะทำให้อิเล็กตรอนที่ตำแหน่ง A ดังรูป มีความเร็ว 3.0×10^{-7} เมตรต่อวินาที และเคลื่อนที่เป็นรูปครึ่งวงกลมด้วยรัศมี 4.0 เซนติเมตร จากตำแหน่ง A ไปยังตำแหน่ง B



3. ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก



แนวคิดสำคัญ

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านลวดตัวนำ จะเกิดสนามแม่เหล็กรอบลวดตัวนำ และเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำที่อยู่ในสนามแม่เหล็ก จะเกิดแรงแม่เหล็กกระทำต่อลวดตัวนำให้เคลื่อนที่ โดยทิศทางการเคลื่อนที่ของแม่เหล็กหาได้จากกฎมือขวา และขนาดของแรงแม่เหล็กหาได้จากสมการ $F_B = ILB \sin \theta$

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำตรง 2 เส้นที่ขนานกัน จะเกิดแรงดึงดูดกันเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลในทิศเดียวกัน และเกิดแรงผลักรันเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลในทิศตรงกันข้าม และเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำที่เคลื่อนที่วางในสนามแม่เหล็ก จะเกิดโมเมนต์ของแรงคู่ควบกระทำต่อลวดตัวนำ ซึ่งใช้อธิบายหลักการทำงานของมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงได้

เมื่อ พ.ศ. 2363 ฮันส์ คริสเตียน เออร์สเตด (Hans Christian Oersted) นักฟิสิกส์และเคมี เป็นบุคคลแรกที่ค้นพบว่า ไฟฟ้าและแม่เหล็กมีความสัมพันธ์ต่อกัน โดยเออร์สเตดได้ทดลองวางเข็มทิศไว้ใกล้กับสายไฟฟ้า แล้วพบว่าเข็มของเข็มทิศเบนไปจากเดิม เมื่อสายไฟฟ้ามีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน สำหรับลวดตัวนำที่มีรูปร่างต่าง ๆ กันสามารถพิจารณาสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นได้เป็นกรณีต่าง ๆ ดังนี้

3.1 สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าผ่านลวดตัวนำตรง

สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำตรงมีลักษณะอย่างไร ให้นักเรียนศึกษาจากกิจกรรมที่ 1.3



กิจกรรมการทดลอง

กิจกรรมที่ 1.3 สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำตรง

จุดประสงค์

เพื่อศึกษาลักษณะของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในเส้นลวดตัวนำตรง

วัสดุอุปกรณ์

1. เส้นลวดตัวนำตรง 1 เส้น
2. หม้อแปลงไฟฟ้าโวลต์ต่ำ 1 ชุด
3. เข็มทิศขนาดเล็ก 5 อันขึ้นไป
4. ผงตะไบเหล็ก
5. กระดาษแข็ง 1 แผ่น
6. สายไฟสำหรับเชื่อมต่อวงจร

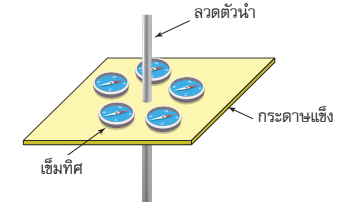
วิธีปฏิบัติ

1. เสียบลวดตัวนำบนกระดาษแข็ง โรยผงตะไบเหล็กรอบ ๆ เส้นลวดตัวนำเล็กน้อย แล้วเคาะเบา ๆ
2. วางเข็มทิศเล็กที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนกระดาษรอบลวดตัวอย่างน้อย 5 จุด ดังรูป
3. ต่อปลายทั้งสองข้างของลวดตัวนำตรงเข้ากับเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง
4. เปิดสวิตช์แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง แล้วปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าไปที่ประมาณ 5 โวลต์
5. สังเกตการวางตัวของผงตะไบเหล็กและเข็มทิศ บันทึกผล
6. ทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 3 ถึงข้อ 5 แต่สลับขั้วไฟฟ้าที่ลวดตัวนำเพื่อกลับทิศทางการของกระแสไฟฟ้า

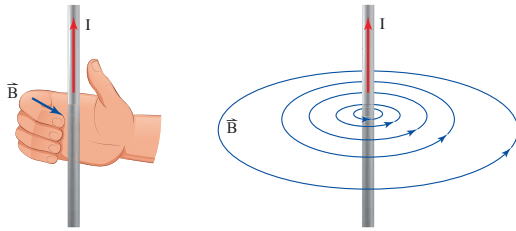
ข้อควรระวัง ในการสลับขั้วของแหล่งจ่ายไฟต้องแน่ใจว่าสวิตช์ของแหล่งจ่ายไฟยังอยู่ในตำแหน่งปิด

คำถามท้ายกิจกรรม

1. เมื่อเปรียบเทียบลักษณะของผงตะไบเหล็กระหว่างก่อนและหลังมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำ มีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร
2. เมื่อสลับขั้วไฟฟ้าของเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทิศทางการของสนามแม่เหล็กหรือไม่ อย่างไร
3. ก่อนและหลังสลับขั้วไฟฟ้าของเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า เข็มทิศชี้ไปในทิศทางที่แตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร



จากกิจกรรมที่ 1.3 พบว่า เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำ จะมีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นรอบ ๆ ลวดตัวนำนั้น โดยทิศทางของสนามแม่เหล็กจะขึ้นอยู่กับทิศทางของกระแสไฟฟ้า อำนาจแม่เหล็กที่เกิดจากการเหนี่ยวนำไฟฟ้าเช่นนี้ เรียกว่า **แม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnet)** โดยทิศทางของเส้นสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำจะหาได้โดยใช้กฎมือขวา ให้นิ้วหัวแม่มือแทนทิศทางของกระแสไฟฟ้า นิ้วมืองี้ที่กำรอบเส้นลวดแทนทิศทางของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบเส้นลวด



รูปที่ 1.11 ทิศทางของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบลวดตัวนำตรงที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน

กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านลวดตัวนำสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กได้ ซึ่งขนาดของสนามแม่เหล็กจะขึ้นอยู่กับขนาดของกระแสไฟฟ้าและระยะห่างจากเส้นลวด โดยขนาดของสนามแม่เหล็กจะแปรผันตรงกับขนาดของกระแสไฟฟ้า และแปรผกผันกับระยะห่างจากเส้นลวด หาได้จากสมการ

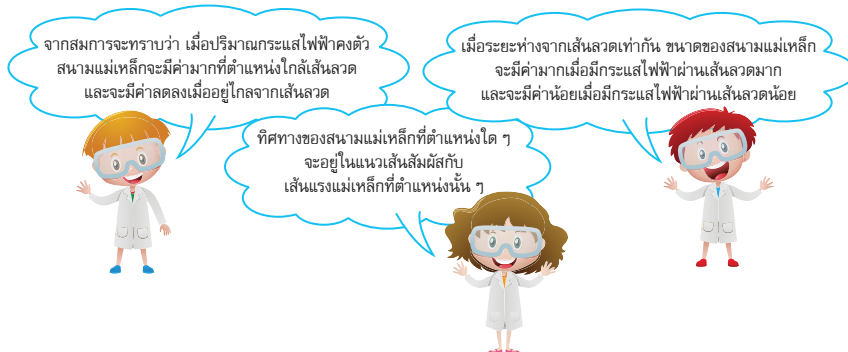
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d} \quad (1.9)$$

เมื่อ B คือ ขนาดของสนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เทสลา (T)

μ_0 คือ ค่าสภาพซึมซับได้ทางแม่เหล็ก (magnetic permeability) ของสุญญากาศ มีค่าเท่ากับ $4\pi \times 10^{-7}$ เทสลา-เมตรต่อแอมแปร์ (T·m/A)

I คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเส้นลวด มีหน่วยเป็น แอมแปร์ (A)

d คือ ระยะห่างจากเส้นลวดถึงตำแหน่งที่ต้องการหาขนาดของสนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เมตร (m)



3.2 สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าผ่านขดลวดวงกลมและโซเลนอยด์

สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำที่ดัดเป็นวงกลมมีลักษณะอย่างไร ให้นักเรียนศึกษาจากกิจกรรมที่ 1.4



กิจกรรมการทดลอง

กิจกรรมที่ 1.4 สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดวงกลม

จุดประสงค์

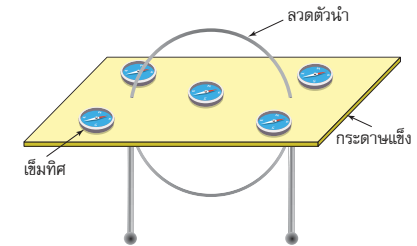
เพื่อศึกษาลักษณะของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวดวงกลม

อุปกรณ์

1. ลวดตัวนำ 1 เส้น
2. หม้อแปลงไฟฟ้าโวลต์ต่ำ 1 ชุด
3. เข็มทิศขนาดเล็ก 4 อันขึ้นไป
4. ผงตะไบเหล็ก
5. กระดาษแข็ง 1 แผ่น
6. สายไฟสำหรับเชื่อมต่อวงจร

วิธีปฏิบัติ

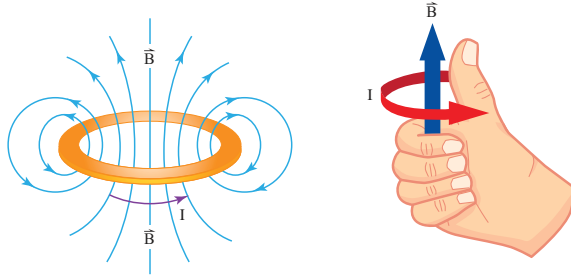
1. นำลวดตัวนำมาดัดให้เป็นรูปร่างกลม 1 วง แล้วเสียบลวดตัวนำวงกลมบนกระดาษแข็ง
 2. โรยผงตะไบเหล็กรอบ ๆ ลวดตัวนำเล็กน้อย แล้วเคาะเบา ๆ
 3. วางเข็มทิศที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนกระดาษรอบ ๆ ตัวนำอย่างน้อย 4 จุด ดังรูป
 4. ต่อปลายทั้งสองข้างของลวดตัวนำเข้ากับเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง
 5. เปิดสวิตช์แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง แล้วปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าไปที่ประมาณ 5 โวลต์
 6. สังเกตการวางตัวของผงตะไบเหล็กและเข็มทิศ บันทึกผล
 7. ทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 4 ถึงข้อ 6 แต่สลับขั้วไฟฟ้าที่ลวดตัวนำเพื่อกลับทิศทางของกระแสไฟฟ้า
- ข้อควรระวัง** ในการสลับขั้วของแหล่งจ่ายไฟต้องแน่ใจว่าสวิตช์ของแหล่งจ่ายไฟยังอยู่ในตำแหน่งปิด



คำถามท้ายกิจกรรม

1. จากการเรียงตัวของผงตะไบเหล็ก สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบลวดตัวนำวงกลมมีลักษณะอย่างไร
2. จากการสังเกตเข็มทิศ ทิศทางของสนามแม่เหล็กรอบลวดตัวนำวงกลมเป็นอย่างไร
3. การสลับขั้วไฟฟ้าของลวดตัวนำส่งผลต่อทิศทางของสนามแม่เหล็กหรือไม่ อย่างไร

จากกิจกรรมที่ 1.4 พบว่า เมื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำที่ถูกดัดเป็นวงกลม จะเกิดสนามแม่เหล็กรอบ ๆ ลวดตัวนำนั้น โดยทิศทางของสนามแม่เหล็กหาได้จากกฎมือขวา ให้กำมือขวาตามวงกลมลวดตัวนำ ซึ่งทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่ไหลในลวดตัวนำจะวนตามนิ้วทั้งสี่ และนิ้วหัวแม่มือจะชี้ไปตามทิศทางของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น ดังรูปที่ 1.12 จะเห็นได้ว่า ทิศทางของสนามแม่เหล็กของลวดตัวนำวงกลมมีลักษณะคล้ายกับสนามแม่เหล็กของแท่งแม่เหล็ก โดยชี้หัวเหนือจะชี้ตามหัวแม่มือและชี้หัวใต้คือด้านตรงข้าม



รูปที่ 1.12 สนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดตัวนำวงกลม

จากหลักการข้างต้น สามารถนำไปใช้อธิบายการเกิดสนามแม่เหล็กของขดลวดโซเลนอยด์ได้ โซเลนอยด์ (solenoid) เป็นขดลวดตัวนำที่มีฉนวนหุ้มพันรอบแกนรูปทรงกระบอก ดังรูปที่ 1.13 และเมื่อให้กระแสไฟฟ้าผ่านขดลวดโซเลนอยด์จะเกิดสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นรอบ ๆ ขดลวดโซเลนอยด์ สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีลักษณะอย่างไรให้นักเรียนศึกษาจากกิจกรรมที่ 1.5



รูปที่ 1.13 ขดลวดโซเลนอยด์



กิจกรรมการทดลอง

กิจกรรมที่ 1.5 สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดโซเลนอยด์

จุดประสงค์

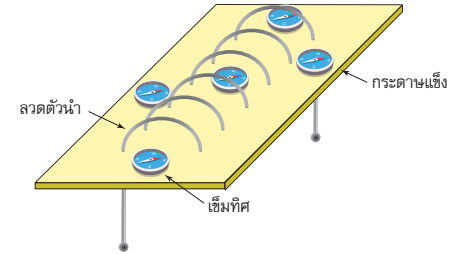
เพื่อศึกษาลักษณะของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวดโซเลนอยด์

อุปกรณ์

1. ลวดตัวนำ 6 เส้น
2. หม้อแปลงไฟฟ้าโวลต์ต่ำ 1 ชุด
3. เข็มทิศขนาดเล็ก 4 อันขึ้นไป
4. ผงตะไบเหล็ก
5. กระดาษแข็ง 1 แผ่น
6. สายไฟสำหรับเชื่อมต่อวงจร

วิธีการทดลอง

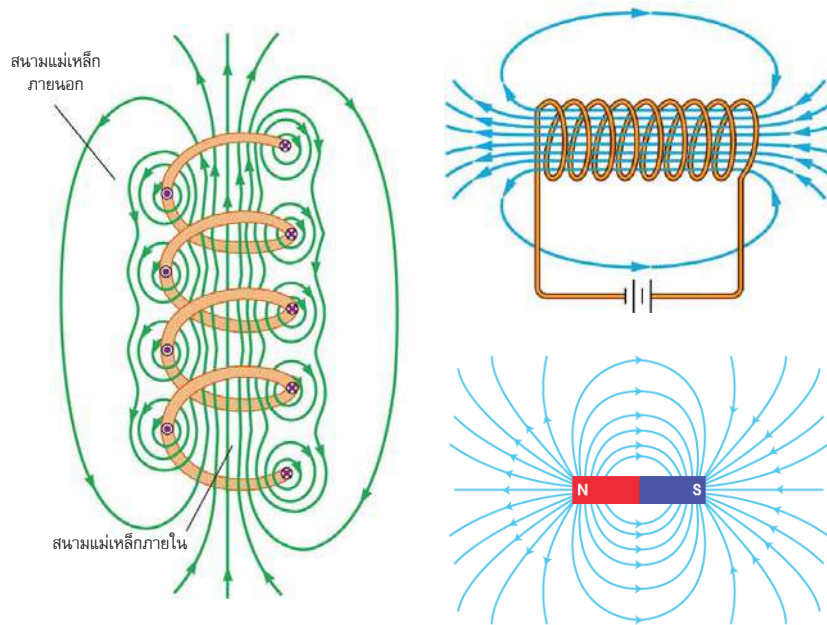
1. นำลวดตัวนำมาดัดให้เป็นรูปวงกลม จำนวน 6 วง แล้วเลียบลวดตัวนำวงกลมบนกระดาษแข็ง
 2. โรยผงตะไบเหล็กรอบ ๆ ลวดตัวนำเล็กน้อย แล้วเคาะเบา ๆ
 3. วางเข็มทิศที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนกระดาษรอบ ๆ ตัวนำอย่างน้อย 4 จุด ดังรูป
 4. ต่อปลายทั้งสองข้างของลวดตัวนำเข้ากับเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง
 5. เปิดสวิตช์แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง แล้วปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าไปที่ประมาณ 5 โวลต์
 6. สังเกตการวางตัวของผงตะไบเหล็กและเข็มทิศ บันทึกผล
 7. ทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 4 ถึงข้อ 6 แต่สลับขั้วไฟฟ้าที่ลวดตัวนำเพื่อกลับทิศทางของกระแสไฟฟ้า
- ข้อควรระวัง** ในการสลับขั้วของแหล่งจ่ายไฟต้องแน่ใจว่าสวิตช์ของแหล่งจ่ายไฟยังอยู่ในตำแหน่งปิด



คำถามท้ายกิจกรรม

1. ลักษณะของสนามแม่เหล็กบริเวณรอบ ๆ ขดลวดโซเลนอยด์จากการเรียงตัวของผงตะไบเหล็กมีลักษณะอย่างไร
2. ลักษณะของสนามแม่เหล็กบริเวณภายในขดลวดโซเลนอยด์จากการเรียงตัวของผงตะไบเหล็กมีลักษณะอย่างไร
3. ทิศทางของสนามแม่เหล็กบริเวณรอบ ๆ ขดลวดโซเลนอยด์และบริเวณปลายของขดลวดทั้งสองด้าน การวางตัวของเข็มทิศเป็นอย่างไร
4. การสลับขั้วไฟฟ้าส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทิศของสนามแม่เหล็กหรือไม่ อย่างไร

จากกิจกรรมที่ 1.5 จะพบว่า ทิศทางของเข็มทิศภายในขดลวดโซเลนอยด์มีทิศทางไปทางเดียวกันเป็นเส้นตรง โดยมีทิศพุ่งออกจากปลายด้านหนึ่งของขดลวดคล้ายกับขั้วเหนือ และมีทิศพุ่งเข้าปลายอีกด้านหนึ่งของขดลวดคล้ายกับขั้วใต้ โดยขนาดของสนามแม่เหล็กในขดลวดโซเลนอยด์มีขนาดเท่ากันทุก ๆ จุด ดังรูปที่ 1.14 ก ซึ่งภายในขดลวดโซเลนอยด์ (แกนอากาศ) จะมีความเข้มสนามแม่เหล็กมากกว่าภายนอก ขนาดของสนามแม่เหล็กขึ้นอยู่กับจำนวนขดลวดและค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวด ทิศทางของสนามแม่เหล็กหาได้จากกฎมือขวา โดยให้กำนิ้วมือทั้งสี่ตามทิศของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวด จะได้ทิศทางของสนามแม่เหล็กตามนิ้วหัวแม่มือ ซึ่งปลายขดลวดด้านที่สนามแม่เหล็กพุ่งออกจะเป็นขั้วเหนือ และปลายอีกด้านหนึ่งที่สนามแม่เหล็กพุ่งเข้าจะเป็นขั้วใต้ ลักษณะของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดโซเลนอยด์จะเหมือนกับสนามแม่เหล็กของแท่งแม่เหล็ก ดังรูปที่ 1.14 ข



ก. สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นภายใน
ขดลวดโซเลนอยด์

ข. เปรียบเทียบลักษณะสนามแม่เหล็ก
ของขดลวดโซเลนอยด์และแท่งแม่เหล็ก

รูปที่ 1.14 สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากขดลวดโซเลนอยด์

ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กของขดลวดโซเลนอยด์จะขึ้นอยู่กับค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดและจำนวนรอบของขดลวดโซเลนอยด์ ซึ่งมีความสัมพันธ์กันดังสมการ

$$B = \mu_0 n I \quad (1.10)$$

หรือ

$$B = \mu_0 I \frac{N}{L} \quad (1.11)$$

เมื่อ n คือ จำนวนรอบต่อหน่วยความยาวของขดลวดโซเลนอยด์

N คือ จำนวนรอบของขดลวดโซเลนอยด์

L คือ ความยาวของขดลวดโซเลนอยด์ มีหน่วยเป็น เมตร (m)

ตัวอย่างที่ 1.15 ขดลวดโซเลนอยด์ขนาดหน้าตัดกว้าง 35 ตารางเซนติเมตร ความยาว 20 เซนติเมตร ประกอบด้วยขดลวดที่พันจำนวน 750 รอบ เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวด 2.1 แอมแปร์ ปริมาณต่อไปนี้จะมีค่าเท่าไร

ก. ความเข้มสนามแม่เหล็กในขดลวดโซเลนอยด์

ข. ฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านขดลวดโซเลนอยด์

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $A = 35 \text{ cm}^2 = 35 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, $L = 20 \text{ cm} = 20 \times 10^{-2} \text{ m}$, $N = 750$ รอบ และ $I = 2.1 \text{ A}$

ก. หาความเข้มสนามแม่เหล็กในขดลวดโซเลนอยด์

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad B &= \mu_0 I \frac{N}{L} \\ &= (4\pi \times 10^{-7})(2.1) \left(\frac{750}{20 \times 10^{-2}} \right) \\ &= 9.9 \times 10^{-3} \text{ T} \end{aligned}$$

ดังนั้น ความเข้มสนามแม่เหล็กในขดลวดโซเลนอยด์เท่ากับ 9.9×10^{-3} เทสลา

ตอบ

ข. หาฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านขดลวดโซเลนอยด์

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \phi &= BA \\ &= (9.9 \times 10^{-3})(35 \times 10^{-4}) \\ &= 3.5 \times 10^{-5} \text{ Wb} \end{aligned}$$

ดังนั้น ค่าฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านขดลวดเท่ากับ 3.5×10^{-5} เวเบอร์

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.16 ขดลวดโซเลนอยด์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร และมีจำนวนรอบของขดลวด 2,000 รอบต่อความยาว 1 เมตร ถ้าขดลวดนี้วางอยู่ในอากาศและมีสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นภายในขดลวดขนาด $0.8\pi \times 10^{-4}$ เทสลา กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดและฟลักซ์แม่เหล็กภายในขดลวดมีค่าเท่าไร

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $d = 2.5 \text{ cm} = 2.5 \times 10^{-2} \text{ m}$, $N = 2,000$ รอบ, $L = 1 \text{ m}$ และ $B = 0.8\pi \times 10^{-4} \text{ T}$ หากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดโซเลนอยด์

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad B &= \mu_0 I \frac{N}{L} \\ 0.8\pi \times 10^{-4} &= (4\pi \times 10^{-7})(I) \left(\frac{2000}{1} \right) \\ I &= 0.1 \text{ A} \end{aligned}$$

หาฟลักซ์แม่เหล็กภายในขดลวดโซเลนอยด์

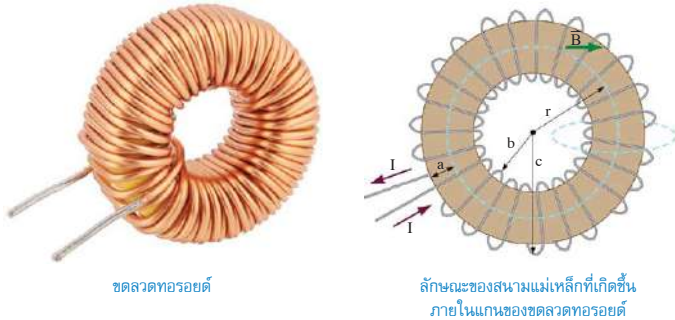
$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \phi &= BA \\ &= B(\pi r^2) = B\pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 \\ &= (0.8\pi \times 10^{-4})\pi \left(\frac{2.5 \times 10^{-2}}{2} \right)^2 \\ &= 1.23 \times 10^{-7} \text{ Wb} \end{aligned}$$

ดังนั้น ค่าฟลักซ์แม่เหล็กภายในขดลวดโซเลนอยด์เท่ากับ 1.23×10^{-7} เวเบอร์

ตอบ

ขดลวดทอรรอยด์

ทอรรอยด์ (toroid) คือ ขดลวดตัวนำรูปวงกลมที่ใช้ลวดตัวนำมาขดเป็นวงกลมหลาย ๆ รอบเรียงกันให้เป็นทรงกระบอกแล้วขดเป็นวงกลม เมื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดทอรรอยด์ จะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นภายในขดลวด ดังรูป



ขดลวดทอรรอยด์

ลักษณะของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นภายในแกนของขดลวดทอรรอยด์

ทิศของสนามแม่เหล็กของขดลวดทอรรอยด์จะหาได้จากกฎมือขวาเช่นเดียวกับขดลวดโซเลนอยด์ โดยกำมือขวารอบแกนของทอรรอยด์ให้นิ้วทั้งสี่ตามทิศของกระแสไฟฟ้า นิ้วหัวแม่มือจะชี้ไปตามทิศของสนามแม่เหล็ก และจะหาความเข้มสนามแม่เหล็กได้จากสมการ

$$B = \mu_0 I \frac{N}{2\pi r}$$

เมื่อ N คือ จำนวนรอบทั้งหมดของขดลวดโซเลนอยด์

R คือ รัศมีของขดลวดโซเลนอยด์ มีหน่วยเป็น เมตร (m)

ปัจจุบันได้มีการนำหลักการเกิดสนามแม่เหล็กเนื่องจากขดลวดทอรรอยด์ไปใช้สร้างเครื่องเร่งอนุภาคเพื่อใช้ศึกษาและวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาค และใช้สร้างเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ฟิวชันโทคาแมค (tokamak) ที่ใช้สนามแม่เหล็กความเข้มสูงในการควบคุมพลาสมาในเครื่องปฏิกรณ์ให้มีความเสถียร

3.3 แรงกระทำต่อลวดตัวนำตรงที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านและอยู่ในสนามแม่เหล็ก

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำตรงที่วางอยู่ในสนามแม่เหล็ก จะเกิดแรงแม่เหล็กกระทำต่อลวดตัวนำให้เคลื่อนที่ การเคลื่อนที่ของลวดตัวนำเป็นอย่างไร ให้นักเรียนศึกษาจากกิจกรรมที่ 1.6



กิจกรรมการทดลอง

กิจกรรมที่ 1.6 แรงที่กระทำต่อลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลเมื่อวางอยู่ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก

จุดประสงค์

เพื่อศึกษาเกี่ยวกับแรงที่กระทำต่อลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเมื่อวางอยู่ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก

อุปกรณ์

1. หม้อแปลงไฟฟ้าโวลต์ต่ำ 1 ชุด
2. ชุดอุปกรณ์สนามแม่เหล็ก (ประกอบด้วยแม่เหล็ก 2 แท่ง และมีโครงสร้างโลหะทำเป็นรูปตัวยูเพื่อยึดแม่เหล็ก)
3. ฐานรองรับเส้นลวดตัวนำ
4. เส้นลวดตัวนำตรง 1 เส้น
5. สายไฟสำหรับเชื่อมต่อวงจร

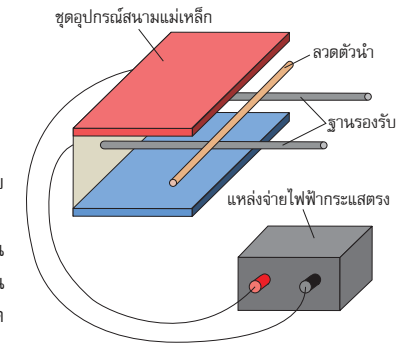
วิธีการทดลอง

1. ต่อหม้อแปลงไฟฟ้าโวลต์ต่ำเข้ากับฐานรองรับ แล้วนำเส้นลวดตัวนำวางบนฐานรองรับ
2. จัดชุดอุปกรณ์สนามแม่เหล็กกับตัวฐานรองรับเส้นลวดตัวนำ โดยให้เส้นลวดตัวนำอยู่ในบริเวณของสนามแม่เหล็กและแนวเส้นลวดตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก ดังรูป
3. เปิดสวิตช์แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง แล้วปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าไปที่ประมาณ 5 โวลต์ สังเกตและบันทึกผล
4. ทำการทดลองเช่นเดิมแต่สลับขั้วไฟฟ้าที่ฐานรองรับ สังเกตและบันทึกผล

ข้อควรระวัง ในการสลับขั้วของแหล่งจ่ายไฟต้องแน่ใจว่าสวิตช์ของแหล่งจ่ายไฟยังอยู่ในตำแหน่งปิดและไม่ควรสัมผัสฐานรองรับและเส้นลวดตัวนำขณะที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน

คำถามท้ายกิจกรรม

1. เมื่อนำลวดตัวนำวางบนฐานรองรับที่มีสนามแม่เหล็กผ่าน แต่ยังไม่เปิดสวิตช์แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า ลวดตัวนำเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร
2. เมื่อนักเรียนเปิดสวิตช์แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า ลวดตัวนำเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร
3. เมื่อสลับขั้วไฟฟ้าที่ฐานรองรับ ลวดตัวนำเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร



จากกิจกรรมที่ 1.6 จะพบว่า เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำตรงที่วางอยู่ในสนามแม่เหล็ก จะเกิดแรงแม่เหล็กที่ทำให้ลวดตัวนำเคลื่อนที่ได้ โดยทิศทางของแรงที่กระทำต่อลวดตัวนำจะขึ้นอยู่กับทิศทางของสนามแม่เหล็กและทิศทางของกระแสไฟฟ้า

เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำในทิศที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก จะเกิดแรงกระทำต่ออิเล็กตรอนอิสระเหล่านี้โดยแรงที่เกิดขึ้นจะทำให้ลวดตัวนำเคลื่อนที่ไปตามทิศของแรงแม่เหล็ก ถ้าพิจารณาประจุไฟฟ้า (q) ทั้งหมดที่เคลื่อนที่ผ่านลวดตัวนำที่มีความยาว (L) ในเวลา (t) จะหาขนาดของแรงแม่เหล็กได้ดังนี้

$$\text{พิจารณาอัตราเร็วของประจุไฟฟ้าจาก} \quad v = \frac{S}{t} = \frac{L}{t}$$

$$\begin{aligned} \text{และจากนิยามของกระแสไฟฟ้า} \quad I &= \frac{q}{t} \\ q &= It \end{aligned}$$

$$\text{จากสมการที่ 1.5} \quad F_B = qvB \sin \theta$$

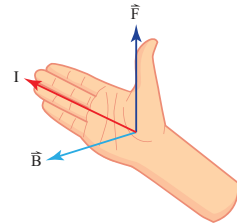
ประจุไฟฟ้ามีทิศทางตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก จะได้ว่า $\sin \theta = \sin 90^\circ = 1$ แทนค่า v และ q ลงในสมการจะได้

$$F_B = (It) \left(\frac{L}{t} \right) B$$

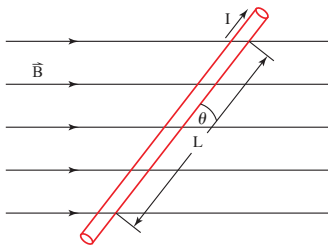
$$F_B = ILB \quad (1.12)$$

ทิศของแรงหาได้จากกฎมือขวาเช่นเดียวกับกรณีของประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก โดยให้นิ้วมือทั้ง 4 แทนทิศของกระแสไฟฟ้า (I) กวาดนิ้วทั้ง 4 ไปยังทิศของสนามแม่เหล็ก (B) นิ้วหัวแม่มือจะแสดงทิศทางของแรงแม่เหล็ก (F_B) ดังรูปที่ 1.15

ในกรณีที่ลวดตัวนำไม่ได้วางตัวในแนวตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก แต่ทำมุม θ ใด ๆ กับสนามแม่เหล็ก ดังรูปที่ 1.16 จะเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้



รูปที่ 1.15 การหาทิศทางของแรงแม่เหล็กที่กระทำกับลวดตัวนำด้วยกฎมือขวา



รูปที่ 1.16 ลวดตัวนำที่วางทำมุมใด ๆ กับสนามแม่เหล็ก

$$F_B = ILB \sin \theta \quad (1.13)$$

เมื่อ I คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านลวดตัวนำ มีหน่วยเป็น แอมแปร์ (A)

L คือ ความยาวของลวดตัวนำ มีหน่วยเป็น เมตร (m)

B คือ ความเข้มของสนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เทสลา (T)

θ คือ มุมระหว่างแนวการวางตัวของลวดตัวนำกับทิศของสนามแม่เหล็ก

ตัวอย่างที่ 1.17 ลวดตัวนำเส้นหนึ่งยาว 12 เซนติเมตร มีกระแสไหลในเส้นลวด 30 แอมแปร์ เมื่อวางเส้นลวดเส้นนี้ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กความเข้ม 0.9 เทสลา ด้วยมุม 60 องศา กับสนามแม่เหล็ก ขนาดของแรงที่กระทำต่อเส้นลวดเส้นนี้

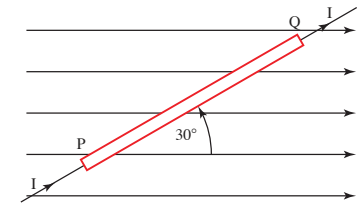
วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $L = 12 \text{ cm} = 12 \times 10^{-2} \text{ m}$, $I = 30 \text{ A}$, $B = 0.9 \text{ T}$ และ $\theta = 60^\circ$

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad F_B &= ILB \sin \theta \\ &= (30)(12 \times 10^{-2})(0.9) \sin 60^\circ \\ &= (30)(12 \times 10^{-2})(0.9) \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \\ &= 2.8 \text{ N} \end{aligned}$$

ดังนั้น ขนาดของแรงที่กระทำต่อเส้นลวดเส้นนี้เท่ากับ 2.8 นิวตัน

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.18 ลวดตัวนำเส้นหนึ่งยาว 5.0 เซนติเมตร มีกระแสไฟฟ้าไหลในเส้นลวด 2.0 แอมแปร์ เมื่อวางเส้นลวดเส้นนี้เอียงทำมุม 30 องศา กับสนามแม่เหล็ก ดังรูป เกิดแรงแม่เหล็กกระทำต่อลวด 1×10^{-4} นิวตัน ขนาดของสนามแม่เหล็กมีค่าเท่าไร



วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $L = 5.0 \text{ cm} = 5.0 \times 10^{-2} \text{ m}$, $I = 2.0 \text{ A}$, $F_B = 1 \times 10^{-4} \text{ N}$ และ $\theta = 30^\circ$

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad F_B &= ILB \sin \theta \\ 1 \times 10^{-4} &= (2.0)(5.0 \times 10^{-2})B \sin 30^\circ \\ 1 \times 10^{-4} &= (2.0)(5.0 \times 10^{-2})B \left(\frac{1}{2} \right) \\ B &= 2.0 \times 10^{-3} \text{ T} \end{aligned}$$

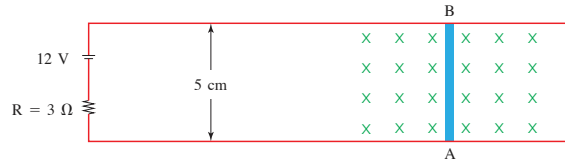
ดังนั้น ขนาดของสนามแม่เหล็กเท่ากับ 2.0×10^{-3} เทสลา

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.19 ลวดตัวนำ AB มวล 20 กรัม วางพาดอยู่บนรางตัวนำซึ่งต่อกับแบตเตอรี่ 12 โวลต์ ในลักษณะที่ตักฉากกับสนามแม่เหล็ก ดังรูป ถ้า AB อยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอขนาด 0.2 เทสลา และมีความต้านทาน 3 โอห์ม

ก. แรงที่กระทำต่อเส้นลวดมีขนาดเท่าไร

ข. นานเท่าไรเส้นลวดจึงจะเคลื่อนที่ได้ 4 เซนติเมตร



วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $m = 20 \text{ g} = 20 \times 10^{-3} \text{ kg}$, $V = 12 \text{ V}$, $B = 0.2 \text{ T}$, $R = 3 \Omega$ และ $L = 5.0 \text{ cm} = 5.0 \times 10^{-2} \text{ m}$

ก. หาแรงที่กระทำต่อเส้นลวด

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad F_B &= ILB \\ &= \left(\frac{V}{R}\right)LB \\ &= \left(\frac{12}{3}\right)(5.0 \times 10^{-2})(0.2) \\ &= 0.04 \text{ N} \end{aligned}$$

ดังนั้น ขนาดของแรงที่กระทำต่อเส้นลวดเท่ากับ 0.04 นิวตัน

ตอบ

ข. จากโจทย์ ลวดใช้เคลื่อนที่ไป 4 เซนติเมตร แสดงว่า $S = 4 \text{ cm} = 4 \times 10^{-2} \text{ m}$

$$\begin{aligned} \text{หาค่า a จาก} \quad F &= ma \\ 0.04 &= (20 \times 10^{-3})a \\ a &= 2 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

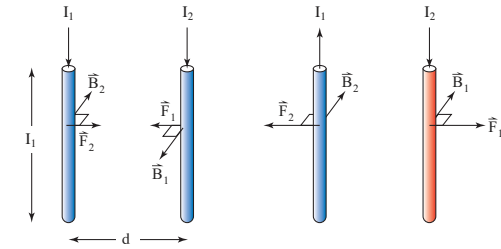
$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad S &= ut + \frac{1}{2}at^2 \\ 4 \times 10^{-2} &= (0)t + \frac{1}{2}(2)t^2 \\ t &= 0.2 \text{ s} \end{aligned}$$

ดังนั้น เส้นลวดใช้เวลา 0.2 วินาที จึงจะเคลื่อนที่ได้ 4 เซนติเมตร

ตอบ

3.4 แรงระหว่างลวดตัวนำตรง 2 เส้นที่ขนานกัน และมีกระแสไฟฟ้าผ่าน

เมื่อลวดตัวนำมีกระแสไฟฟ้าผ่านจะเกิดสนามแม่เหล็กรอบ ๆ ลวดตัวนำและเมื่อลวดตัวนำนั้นวางตัวอยู่ในสนามแม่เหล็กจะเกิดแรงกระทำต่อลวดตัวนำนั้น ดังนั้น เมื่อให้กระแสไฟฟ้า I_1 และ I_2 ไหลผ่านลวดตัวนำตรง 2 เส้นที่วางขนานกัน จะเกิดแรงแม่เหล็กกระทำต่อเส้นลวดทั้งสอง โดยจะเกิดแรงดึงดูดเมื่อกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำไหลในทิศทางเดียวกัน และจะเกิดแรงผลักเมื่อกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำไหลในทิศตรงข้ามกัน ดังรูปที่ 1.17



รูป 1.17 แรงกระทำระหว่างเส้นลวดตัวนำตรง 2 เส้น เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน

แรงแม่เหล็กที่กระทำกับเส้นลวดตัวนำทั้ง 2 เส้น คือ แรงผลักและแรงดูดซึ่งมีขนาดเท่ากัน ขนาดของแรงแม่เหล็กที่กระทำกับเส้นลวดตัวนำทั้งสองเส้นที่มีความยาว L และอยู่ห่างกัน d จะหาได้จากสมการ

$$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2 L}{2\pi d} \quad (1.14)$$

เมื่อ F คือ แรงระหว่างเส้นลวดคู่ขนาน มีหน่วยเป็น นิวตัน (N)

I_1 คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในเส้นลวดเส้นที่ 1 มีหน่วยเป็น แอมแปร์ (A)

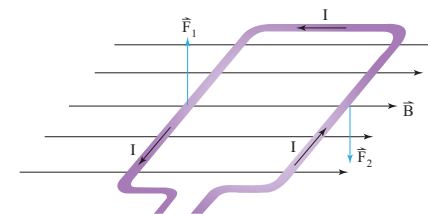
I_2 คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในเส้นลวดเส้นที่ 2 มีหน่วยเป็น แอมแปร์ (A)

L คือ ความยาวของเส้นลวด มีหน่วยเป็น เมตร (m)

d คือ ระยะห่างระหว่างเส้นลวดทั้งสอง มีหน่วยเป็น เมตร (m)

3.5 แรงกระทำต่อขดลวดที่มีกระแสไฟฟ้า และวางอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็ก

เมื่อนำขดลวดสี่เหลี่ยมวางในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ โดยระนาบของขดลวดขนานกับทิศของสนามแม่เหล็ก ดังรูปที่ 1.18 เมื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด จะเกิดแรงกระทำต่อเส้นลวดทั้ง 2 ด้าน (F_1 และ F_2) แรงทั้งสองมีขนาดเท่ากันแต่ทิศทางตรงกันข้าม เรียกว่า **แรงคู่ควบ (couple force)** แรงทั้งสองนี้จะทำให้ขดลวดเกิดโมเมนต์ของแรงคู่ควบ ซึ่งจะทำให้ขดลวดหมุนรอบแกนได้



รูปที่ 1.18 ขดลวดสี่เหลี่ยมที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านและวางตัวในสนามแม่เหล็ก

โมเมนต์ของแรงคู่ควบที่เกิดขึ้นกับขดลวดหาได้จากสมการ

$$M = NIAB \cos \theta \quad (1.15)$$

เมื่อ M คือ โมเมนต์ของแรงคู่ควบ มีหน่วยเป็น นิวตัน-เมตร (N·m)
 I คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวด มีหน่วยเป็น แอมแปร์ (A)
 A คือ พื้นที่ระนาบของขดลวด มีหน่วยเป็น ตารางเมตร (m²)
 B คือ สนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เทสลา (T)
 N คือ จำนวนรอบของขดลวด
 θ คือ มุมระหว่างระนาบของขดลวดกับสนามแม่เหล็ก

ตัวอย่างที่ 1.20 ขดลวดตัวนำรูปสี่เหลี่ยมขนาด 20 ตารางเซนติเมตร มีจำนวนรอบ 500 รอบ วางอยู่ในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอขนาด 0.5 เทสลา และมีกระแสไหลผ่าน 5 แอมแปร์ โมเมนต์ของแรงคู่ควบที่เกิดขึ้นเมื่อระนาบขดลวดทำมุม 60 องศา กับสนามแม่เหล็ก มีค่าเท่าไร

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $A = 20 \text{ cm}^2 = 20 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, $N = 500$ รอบ, $B = 0.5 \text{ T}$, $I = 5 \text{ A}$ และ $\theta = 60^\circ$

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad M &= NIAB \cos \theta \\ &= (500)(5)(20 \times 10^{-4})(0.5) \cos 60^\circ \\ &= (500)(5)(20 \times 10^{-4})(0.5) \left(\frac{1}{2}\right) \\ &= 1.25 \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

ดังนั้น โมเมนต์ของแรงคู่ควบที่เกิดขึ้นเท่ากับ 1.25 นิวตัน-เมตร

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.21 ขดลวดวงกลมจำนวนรอบ 200 รอบ มีรัศมีเฉลี่ยเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร วางอยู่ในสนามแม่เหล็กขนาด 2×10^6 เทสลา โดยระนาบขดลวดทำมุม 30 องศา กับแนวสนามแม่เหล็ก เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวดทำให้เกิดโมเมนต์ของแรงคู่ควบ $50\sqrt{3} \pi$ นิวตัน-เมตร กระแสไฟฟ้าในขดลวดมีค่ากี่แอมแปร์

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $N = 200$ รอบ, $r = 0.5 \text{ mm} = 0.5 \times 10^{-3} \text{ m}$, $B = 2 \times 10^6 \text{ T}$, $\theta = 30^\circ$ และ $M = 50\sqrt{3} \pi \text{ N} \cdot \text{m}$

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad M &= NIAB \cos \theta \\ &= NI(\pi r^2) B \cos 30^\circ \\ 50\sqrt{3}\pi &= (200)I(\pi)(0.5 \times 10^{-3})^2 (2 \times 10^6) \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \\ 50 &= (200)(0.5)^2 I \\ I &= 1 \text{ A} \end{aligned}$$

ดังนั้น กระแสไฟฟ้าในขดลวดมีค่า 1 แอมแปร์

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.22 ขดลวดตัวนำรูปวงกลมรัศมี 7 เซนติเมตร มีจำนวนรอบ 100 รอบ มีกระแสไฟฟ้า 2 แอมแปร์ อยู่ในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ 0.2 เทสลา ปริมาณต่อไปนี้จะมีค่าเท่าไร

ก. โมเมนต์ของขดลวดที่มากที่สุด

ข. ตำแหน่งของขดลวดที่มีโมเมนต์เป็นครึ่งหนึ่งของค่าโมเมนต์สูงสุด

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $r = 7 \text{ cm} = 7 \times 10^{-2} \text{ m}$, $N = 100$ รอบ, $I = 2 \text{ A}$ และ $B = 0.2 \text{ T}$

ก. โมเมนต์ของขดลวดจะมีค่ามากที่สุดเมื่อระนาบของขดลวดขนานกับสนามแม่เหล็ก $\theta = 0^\circ$

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad M &= NIAB \cos \theta \\ &= NI(\pi r^2) B \cos \theta \\ &= (100)(2)\pi(7 \times 10^{-2})^2 (0.2)(1) \\ &= 0.62 \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

ดังนั้น โมเมนต์ของขดลวดที่มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.62 นิวตัน-เมตร

ตอบ

ข. จากข้อ ก โมเมนต์สูงสุดมีค่าเท่ากับ 0.62 N·m โมเมนต์ครึ่งหนึ่งจะเท่ากับ $\frac{0.62}{2} = 0.31 \text{ N} \cdot \text{m}$

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad M &= NIAB \cos \theta \\ &= NI(\pi r^2) B \cos \theta \\ 0.31 &= (100)(2)\pi(7 \times 10^{-2})^2 (0.2) \cos \theta \\ \cos \theta &= 0.50 \\ \theta &= \cos^{-1}(0.5) = 30^\circ \end{aligned}$$

ดังนั้น ตำแหน่งของขดลวดที่มีโมเมนต์เป็นครึ่งหนึ่งของค่าโมเมนต์สูงสุดเท่ากับ 30 องศา

ตอบ

3.6 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

และแกวลวนอมิเตอร์

เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดตัวนำที่วางอยู่ในสนามแม่เหล็ก จะเกิดโมเมนต์ของแรงคู่ควบทำให้ขดลวดหมุน และเมื่อขดลวดหมุนจนถึงฉากกับสนามแม่เหล็ก โมเมนต์ของแรงคู่ควบที่กระทำต่อขดลวดจะมีค่าเป็นศูนย์ แต่ขดลวดยังคงเคลื่อนที่ต่อไปได้ด้วยความเฉื่อย เมื่อขดลวดทำมุมใด ๆ กับสนามแม่เหล็ก ก็เกิดโมเมนต์ของแรงคู่ควบที่กระทำต่อขดลวดให้หมุนไปได้อีกจนครบหนึ่งรอบ หลักการนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการสร้างมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและแกวลวนอมิเตอร์ได้

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

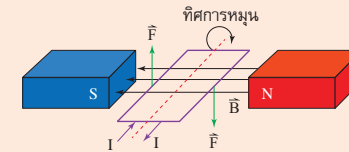
ในชีวิตประจำวัน อุปกรณ์ เครื่องมือ หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ เช่น พัดลม เครื่องซักผ้า เครื่องปรับอากาศ เครื่องผสมอาหาร เครื่องดูดฝุ่น ส่วนไฟฟ้า ล้วนมีมอเตอร์เป็นส่วนประกอบ ซึ่ง **มอเตอร์ (motor)** เป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลในรูปของการหมุน สามารถนำไปใช้งานได้อย่างกว้างขวางร่วมกับอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือเครื่องใช้ไฟฟ้ามากถึง 80-90 เปอร์เซ็นต์



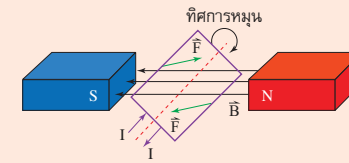
รูปที่ 1.19 ตัวอย่างเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีส่วนประกอบของมอเตอร์

แรงคู่ควบที่กระทำต่อขดลวด

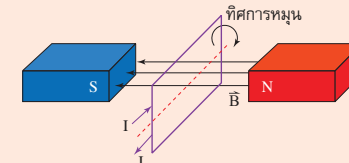
เมื่อให้กระแสไฟฟ้าผ่านขดลวดที่อยู่ในสนามแม่เหล็ก จะเกิดแรงคู่ควบกระทำต่อขดลวดให้หมุน โดยมีขั้นตอนดังนี้



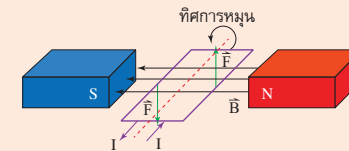
เริ่มต้นเมื่อระนาบของขดลวดวางตัวขนานกับสนามแม่เหล็ก ($\theta = 0^\circ$) โมเมนต์ของแรงคู่ควบจะหมุนขดลวดในทิศทางเข็มนาฬิกา โดยขนาดของแรงจะมีค่ามากที่สุด



ขดลวดจะหมุนไปเรื่อย ๆ โดยขนาดของแรงทั้งสองด้านของขดลวดจะค่อย ๆ ลดลง

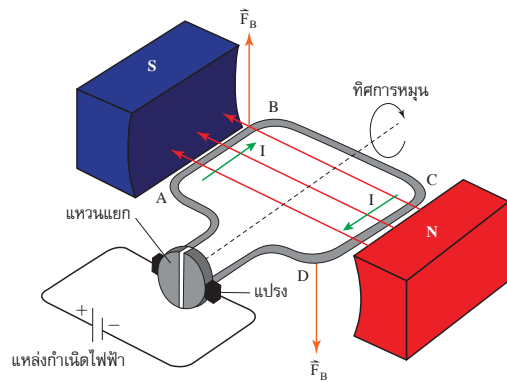


เมื่อขดลวดหมุนไปจนกระทั่งระนาบของขดลวดตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก ($\theta = 90^\circ$) โมเมนต์ของแรงคู่ควบที่กระทำกับขดลวดจะมีค่าเป็นศูนย์ แต่ขดลวดจะยังสามารถหมุนไปได้เล็กน้อยด้วยความเฉื่อย



เมื่อระนาบของขดลวดไม่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก ก็จะเกิดโมเมนต์ของแรงคู่ควบอีกครั้งในทิศตรงข้ามเดิม ซึ่งจะทำให้ขดลวดหมุนกลับไปในทิศทางตรงข้าม

ถ้าต้องการให้ขดลวดหมุนอย่างต่อเนื่องในทิศทางเดียว จะต้องมียุกรณ์สำหรับเปลี่ยนทิศทางของกระแสไฟฟ้าในขดลวด คือ **แหวนแยก** หรือ **คอมมิวเตเตอร์ (commutator)** และ **แปรง (brush)** คอมมิวเตเตอร์จะทำด้วยโลหะตัวนำทรงกระบอกผ่าซีก และวางสัมผัสปลายของตัวนำ ดังรูปที่ 1.20 เมื่อขดลวดหมุนไปจนระนาบของขดลวดตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก ความเฉื่อยจะทำให้ขดลวดหมุนต่อไปอีกเล็กน้อย มีผลทำให้ส่วนของคอมมิวเตเตอร์ด้านตรงข้ามสลับตำแหน่งมาสัมผัสกับแปรงในอีกด้านหนึ่ง โมเมนต์ของแรงคู่ควบในตอนนี้จะทำให้ขดลวดหมุนในทางเดิมต่อไปจนครบรอบ



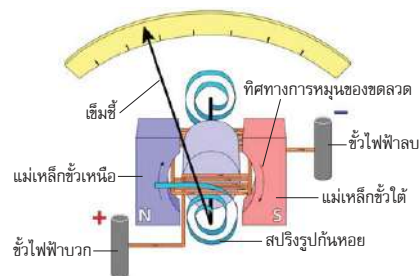
รูป 1.20 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ประกอบด้วยคอมมิวเตเตอร์และแปรง

แกลแวนอมมิเตอร์

แกลแวนอมมิเตอร์ (galvanometer) เป็นเครื่องวัดไฟฟ้าประกอบด้วยขดลวดสี่เหลี่ยมที่หมุนได้รอบแกนปลายข้างหนึ่งของแกนหมุนอยู่ติดสปริงกันหอยและเข็มชี้ ดังรูปที่ 1.22



รูปที่ 1.21 แกลแวนอมมิเตอร์



รูปที่ 1.22 โครงสร้างภายในของแกลแวนอมมิเตอร์

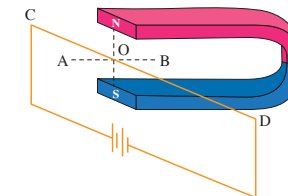
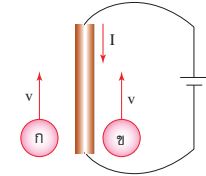
เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดจะเกิดโมเมนต์ของแรงคู่ควบ ทำให้ระนาบของขดลวดหมุนและสปริงกันหอยบิดไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งโมเมนต์ของแรงคู่ควบที่กระทำบนขดลวดมีค่าเท่ากับแรงบิดกลับของสปริงกันหอยทำให้ขดลวดหยุดหมุนและเข็มชี้ก็จะหยุดนิ่งด้วย เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าที่ทราบค่าเข้าไปในขดลวดแล้วแบ่งขีดสเกลตามกระแสไฟฟ้าที่ค่าต่าง ๆ ก็จะสร้างแกลแวนอมมิเตอร์ที่สามารถใช้วัดค่ากระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าอื่น ๆ ได้



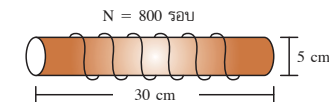
กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.3

จงตอบคำถามต่อไปนี้

- ถ้ามีกระแสไฟฟ้าไหลในลวดตัวนำเส้นตรง ดังรูป จะเกิดอะไรขึ้นกับอนุภาคอิเล็กตรอน ก และ ข ซึ่งกำลังเคลื่อนที่ขนานกับเส้นลวดนี้ด้วยอัตราเร็ว v
- จากรูป มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเส้นลวดจาก C ไป D จะเกิดแรงแม่เหล็กที่กระทำกับเส้นลวดในทิศทางตามแนวเส้นตรงใด



- จากรูป ขดลวดโซเลนอยด์มีจำนวนรอบของขดลวด 800 รอบ กระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขนาด 0.06 เทสลา มีค่าเท่าไร



- วางลวดตัวนำตรงยาว 0.3 เมตร ไว้ในสนามแม่เหล็ก B เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลในลวดตัวนำนี้ 10 มิลลิแอมแปร์ จากทิศตะวันตกไปทิศตะวันออก ลวดตัวนำจะได้รับแรงกระทำขนาด 3×10^{-3} นิวตันในทิศเหนือ ขนาดและทิศทางของสนามแม่เหล็ก B มีค่าเท่าไร
- ขดลวดวงกลมมีจำนวน 250 รอบ รัศมีเฉลี่ยเท่ากับ 20 เซนติเมตร วางอยู่ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กขนาด 5 เทสลา โดยระนาบของขดลวดทำมุม 60 องศากับสนามแม่เหล็ก เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวด ทำให้เกิดโมเมนต์ของแรงคู่ควบ 120 นิวตัน-เมตร กระแสไฟฟ้ามีค่ากี่แอมแปร์
- เมื่อขดลวดภายในมอเตอร์เริ่มหมุนจนทำมุม 90 องศากับทิศทางของสนามแม่เหล็ก แต่ยังคงสามารถหมุนต่อไปในทิศทางเดิมได้เป็นเพราะเหตุใด
- จากข้อ 6 เมื่อสลับขั้วของแหล่งจ่ายไฟฟ้า ขดลวดภายในมอเตอร์จะเป็นอย่างไร
- จำนวนรอบของทองแดงที่พันรอบแกนโลหะมีผลอย่างไรต่อการทำงานของมอเตอร์

4. แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ



แนวคิดสำคัญ

การเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดของขดลวด จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำไหลในขดลวด ซึ่งเป็นไปตามกฎของฟาราเดย์ และทิศทางของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะไหลไปในทิศทางที่ทำให้การเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็กซึ่งเป็นไปตามกฎของเลนซ์ หลักการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้านี้สามารถนำไปใช้อธิบายหลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มอเตอร์ไฟฟ้า และหม้อแปลงไฟฟ้าได้

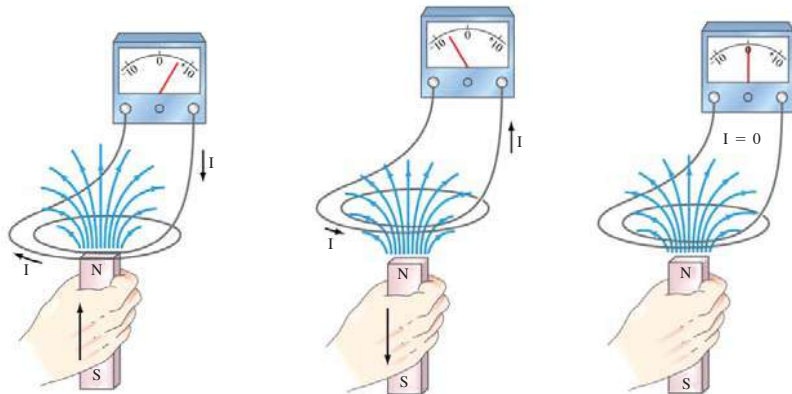
”

จากหัวข้อที่ผ่านมาทำให้ทราบว่า เมื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดตัวนำที่วางอยู่ในสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงแม่เหล็กกระทำต่อขดลวดให้เคลื่อนที่หรือเกิดการหมุนได้ แต่ในทางตรงกันข้าม เมื่อหมุนขดลวดตัดผ่านสนามแม่เหล็กก็จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าภายในขดลวดได้เช่นกัน โดยเรียกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้ว่า **กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (induced current)**

“

4.1 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

เมื่อหมุนขดลวดตัดผ่านสนามแม่เหล็กหรือเคลื่อนแท่งแม่เหล็กให้ตัดผ่านขดลวดจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็ก ส่งผลให้เกิดกระแสไฟฟ้าภายในขดลวดได้ ดังรูปที่ 1.23



ก. ขยับแท่งแม่เหล็กเข้าหาขดลวด

ข. ขยับแท่งแม่เหล็กออกจากขดลวด

ค. ไม่ขยับแท่งแม่เหล็ก

รูปที่ 1.23 การเกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กบริเวณขดลวด

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นก็จะเกิดความต่างศักย์ระหว่างปลายทั้งสองของขดลวด ซึ่งทำให้เกิด **แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (induced electromotive force)** หรือ **อีเอ็มเอฟเหนี่ยวนำ (induced emf)**

ไมเคิล ฟาราเดย์ (Michael Faraday) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำกับการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็ก โดยพบว่า การเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดของขดลวด จะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าและมีกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวด และได้เสนอ **กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ (Faraday's law of induction)** หรืออาจเรียกว่า **กฎของฟาราเดย์ (Faraday's law)** โดยมีใจความว่า “ขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเป็นปริมาณโดยตรงกับอัตราการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านขดลวดนั้น” ซึ่งแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (E) เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็ก $\Delta\phi_B$ ที่ผ่านลวดตัวนำวงปิดที่มีพื้นที่หน้าตัด (A) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$E = \frac{\Delta\phi_B}{\Delta t} \quad (1.16)$$

เมื่อ E คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

$\Delta\phi_B$ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เวเบอร์ (Wb)

Δt คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของเวลา มีหน่วยเป็น วินาที (s)

ถ้าขดลวดมี N รอบ จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดทุก ๆ รอบ และถ้าขดลวดถูกพันไว้อย่างหนาแน่น อาจคิดได้ว่าขดลวดแต่ละรอบมีเส้นผ่านศูนย์กลางหรือพื้นที่หน้าตัดเท่ากัน ดังนั้น ฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านขดลวดแต่ละรอบจะมีค่าเท่ากัน แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะเป็นดังนี้

$$E = N \frac{\Delta\phi_B}{\Delta t} \quad (1.17)$$

การหาทิศทางของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดนั้นเป็นไปตาม **กฎของเลนซ์ (Lenz's law)** ซึ่งมีใจความว่า “ทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะมีทิศเพื่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำไหลไปในทิศทางที่ทำให้เกิดผลต่อต้านการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็ก” เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

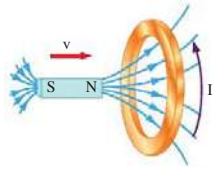
$$E = - \frac{\Delta\phi_B}{\Delta t} \quad (1.18)$$

ในกรณีที่ขดลวดประกอบไปด้วยลวดทั้งหมด N รอบจะได้ว่า

$$E = -N \frac{\Delta\phi_B}{\Delta t} \quad (1.19)$$

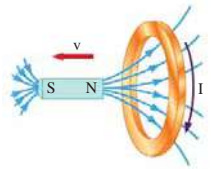
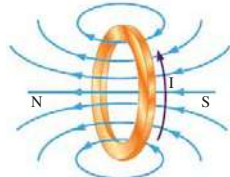
จากสมการ เครื่องหมายลบแสดงให้เห็นถึงทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ต้านการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็ก และปริมาณกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำภายในขดลวดจะเป็นปริมาณโดยตรงกับความเข้มของสนามแม่เหล็ก ความเร็วในการเคลื่อนแท่งแม่เหล็กหรือขดลวด พื้นที่หน้าตัดของขดลวด และจำนวนรอบของขดลวด หลักการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้านี้สามารถนำไปใช้อธิบายหลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มอเตอร์ไฟฟ้า และหม้อแปลงไฟฟ้าได้

การพิจารณาหาทิศของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำตามกฎของเลนซ์ได้ดังนี้



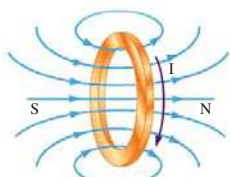
เมื่อเคลื่อนแท่งแม่เหล็กเข้าหาขดลวด จะเกิดการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวด

กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะไหลในทิศทางที่สร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมามีการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กเดิม



เมื่อเคลื่อนแท่งแม่เหล็กออกจากขดลวด จะเกิดการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กลดลง ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวด

กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะไหลในทิศทางที่สร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมามีการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กเดิม



สรุปได้ว่า ถ้าเคลื่อนแท่งแม่เหล็กเข้าหาขดลวด จะเสมือนว่ามีแม่เหล็กเข้าหาเกิดขึ้นทางด้านที่แม่เหล็กเคลื่อนที่เข้ามาหาขดลวดเพื่อต้านการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็ก ในทางกลับกันถ้าเคลื่อนแท่งแม่เหล็กออกจากขดลวด จะเสมือนว่ามีแม่เหล็กเข้าหาเกิดขึ้นทางด้านที่แม่เหล็กเคลื่อนที่เข้ามาหาขดลวดเพื่อต้านการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กเช่นกัน ดังนั้น ไม่ว่าจะเคลื่อนแท่งแม่เหล็กเข้าหรือออกจากขดลวด จะถูกต่อต้านโดยสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากขดลวดเสมอ

ตัวอย่างที่ 1.23 ขดลวดตัวนำรูปสี่เหลี่ยมมีจำนวนรอบ 200 รอบ มีพื้นที่หน้าตัดของขดลวด 0.04 ตารางเมตร เคลื่อนตัดผ่านสนามแม่เหล็กที่มีทิศทางตั้งฉากกับระนาบของขดลวด ถ้าสนามแม่เหล็กมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 1.0 เทสลา เป็น 1.5 เทสลา ในเวลา 1 วินาที จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเท่าไร

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $N = 200$ รอบ, $A = 0.04 \text{ m}^2$, $B_1 = 1 \text{ T}$, $B_2 = 1.5 \text{ T}$ และ $t = 1 \text{ s}$

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad E &= N \frac{\Delta \phi_B}{\Delta t} = N \frac{\Delta (BA)}{\Delta t} \\ &= NA \frac{\Delta B}{\Delta t} = NA \frac{B_2 - B_1}{\Delta t} \\ &= (200)(0.04) \left(\frac{1.5 - 1}{1} \right) \\ &= 4 \text{ V} \end{aligned}$$

ดังนั้น จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 4 โวลต์

ตอบ

สำหรับลวดตัวนำตรง เมื่อทำให้ลวดตัวนำตรงเคลื่อนที่ในแนวตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก จะทำให้อิเล็กตรอนอิสระที่อยู่ภายในลวดตัวนำเคลื่อนที่ จึงเกิดแรงแม่เหล็กที่กระทำต่ออิเล็กตรอนอิสระภายในลวดตัวนำให้เคลื่อนที่จากปลายด้านหนึ่งไปยังปลายอีกด้านหนึ่ง ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นในขดลวด ถ้าลวดตัวนำเคลื่อนที่ที่ท่ามุมใด ๆ กับสนามแม่เหล็ก จะหาแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้จากสมการ

$$E = BLv \sin \theta \quad (1.20)$$

เมื่อ E คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)
 B คือ ความเข้มของสนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เทสลา (T)
 L คือ ความยาวของลวดตัวนำ มีหน่วยเป็น เมตร (m)
 v คือ อัตราเร็วของลวดตัวนำ มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s)
 θ คือ มุมระหว่างทิศทางของความเร็วกับสนามแม่เหล็ก

เมื่อพิจารณาผลของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นขณะที่ลวดตัวนำเคลื่อนที่ด้วยแรงแม่เหล็ก กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะทำให้เกิดแรงต้านการเคลื่อนที่ของแท่งตัวนำ ดังนั้น กำลังงานเชิงกลที่ใช้ในการเคลื่อนแท่งตัวนำจะเปลี่ยนเป็นกำลังงานไฟฟ้าที่ให้กับความต้านทานในวงจรหรือในเส้นลวดตัวนำ ดังสมการ

$$P = IE = \frac{E^2}{R} \quad (1.21)$$

เมื่อ P คือ กำลังไฟฟ้า มีหน่วยเป็น วัตต์ (W)
 E คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)
 I คือ กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ มีหน่วยเป็น แอมแปร์ (A)
 R คือ ความต้านทานไฟฟ้า มีหน่วยเป็น โอห์ม (Ω)

ตัวอย่างที่ 1.24 สนามแม่เหล็กบริเวณหนึ่งมีขนาด 1 เทสลา มีทิศพุ่งตั้งฉากเข้าหาแผ่นกระดาษ PQ เป็นตัวนำวางอยู่บนรางโลหะ TS และ UR ดังรูป ถ้า PQ เคลื่อนที่ไปด้านซ้ายด้วยความเร็ว 8 เมตรต่อวินาที แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในตัวนำ PQ มีค่าเท่าไร

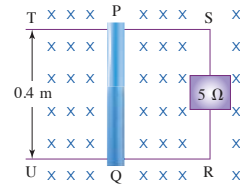
วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $B = 1 \text{ T}$, $L = 0.4 \text{ m}$, $v = 8 \text{ m/s}$ และ $\theta = 90^\circ$

จาก
$$E = BLv \sin \theta$$

$$= (1)(0.4)(8) \sin 90^\circ$$

$$= 3.2 \text{ V}$$

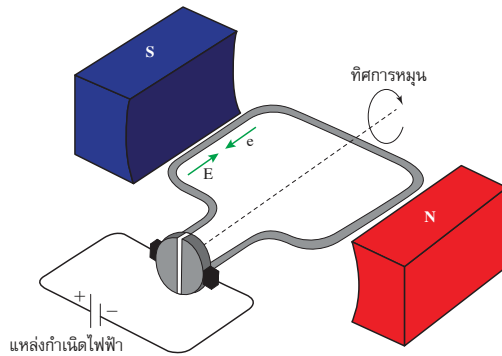
ดังนั้น แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในตัวนำ PQ มีค่าเท่ากับ 3.2 โวลต์



ตอบ

4.2 แรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับของมอเตอร์

จากหลักการของการเกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดที่หมุนตัดกับสนามแม่เหล็ก ทิศของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะมีทิศตรงข้ามกับกระแสไฟฟ้าที่ใส่เข้าไปในขดลวด เมื่อพิจารณาการทำงานของมอเตอร์ ขณะที่มอเตอร์หมุนจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำด้วยเช่นกัน โดยทิศของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะมีทิศตรงข้ามกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าเดิม เรียกว่า **แรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับ (back emf : e)** ดังรูปที่ 1.24



รูปที่ 1.24 ทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับ

กระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้ามอเตอร์จะหาได้จากสมการ

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

(1.22)

เมื่อ I คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้ามอเตอร์ มีหน่วยเป็น แอมแปร์ (A)

E คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

e คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับ มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

r คือ ความต้านทานภายในของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า มีหน่วยเป็น โอห์ม (Ω)

R คือ ความต้านทานภายนอกแหล่งกำเนิดไฟฟ้า (ความต้านทานของมอเตอร์) มีหน่วยเป็น โอห์ม (Ω)

จากสมการนี้จะเห็นได้ว่า ถ้ามอเตอร์ผลิตหรือแรงดันไฟฟ้าตกจะทำให้มอเตอร์หมุนช้าลง แรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับ (e) จะมีค่าน้อยลงด้วย ดังนั้น แรงเคลื่อนไฟฟ้าลัพธ์ ($E - e$) จะมีความมาก ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้ามอเตอร์มีค่ามากกว่าปกติ อาจทำให้มอเตอร์ร้อนและไหม้ได้

ตัวอย่างที่ 1.25 แบตเตอรี่ขนาด 6 โวลต์ มีความต้านทานภายใน 1 โอห์ม ต่อเข้ากับมอเตอร์กระแสตรงซึ่งมีความต้านทานของขดลวดของมอเตอร์เท่ากับ 1 โอห์ม ในขณะที่ยังมอเตอร์หมุนสามารถวัดกระแสไฟฟ้า 0.5 แอมแปร์ แรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับมอเตอร์มีค่าเท่าไร

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $E = 6 \text{ V}$, $r = 1 \Omega$, $R = 1 \Omega$ และ $I = 0.5 \text{ A}$

$$\begin{aligned} \text{จาก } I &= \frac{E - e}{R + r} \\ 0.5 &= \frac{6 - e}{1 + 1} \\ 6 - e &= (0.5)(2) \\ e &= 6 - 1 = 5 \text{ V} \end{aligned}$$

ดังนั้น แรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับมอเตอร์มีค่าเท่ากับ 5 โวลต์

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.26 มอเตอร์เครื่องหนึ่งใช้กับแรงเคลื่อนไฟฟ้าขนาด 25 โวลต์ ความต้านภายใน 0.5 โอห์ม ขณะมอเตอร์กำลังทำงาน เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับ 5 โวลต์ ถ้ามีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมอเตอร์ 5 แอมแปร์ ขดลวดของมอเตอร์มีความต้านทานเท่าไร

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $E = 25 \text{ V}$, $r = 0.5 \Omega$, $e = 5 \text{ V}$ และ $I = 5 \text{ A}$

$$\begin{aligned} \text{จาก } I &= \frac{E - e}{R + r} \\ 5 &= \frac{25 - 5}{R + 0.5} \\ R + 0.5 &= 4 \\ R &= 3.5 \Omega \end{aligned}$$

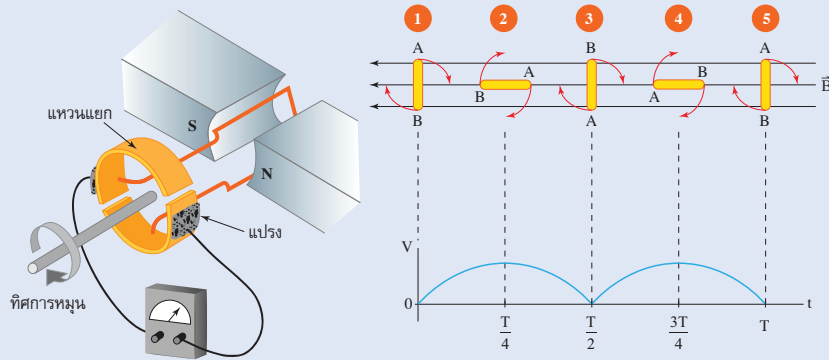
ดังนั้น ขดลวดของมอเตอร์มีความต้านทาน 3.5 โอห์ม

ตอบ

4.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (generator) คือ เครื่องมือที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าจากการหมุนขดลวดให้ตัดผ่านสนามแม่เหล็กหรือหมุนแท่งแม่เหล็กให้สนามแม่เหล็กตัดผ่านขดลวด การทำให้ขดลวดหรือแท่งแม่เหล็กหมุนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้านั้นเกิดจากพลังงานรูปต่าง ๆ เช่น พลังงานน้ำจากเขื่อน พลังงานลมที่พัดให้กังหันลมหมุน แรงดันไอน้ำที่ขับเคลื่อนกังหันได้ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง



จากรูป เริ่มต้นให้ระนาบของขดลวดอยู่ในแนวตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กและพิจารณาแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดจากการหมุนของขดลวด 1 รอบ

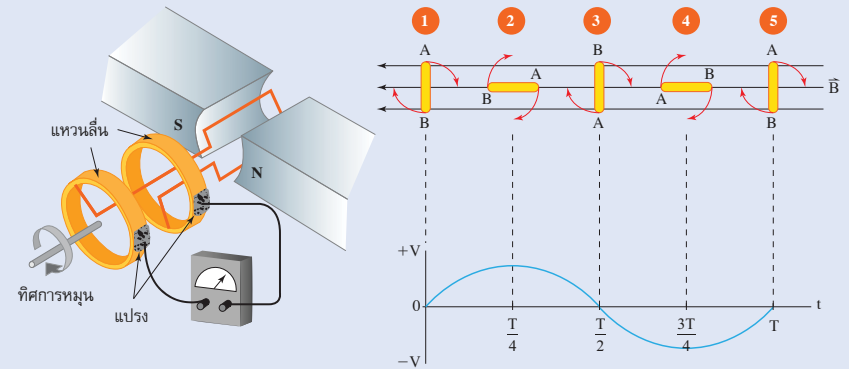
ในช่วงเวลา $0 \rightarrow \frac{T}{4}$ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนมากที่สุดที่เวลา $\frac{T}{4}$ เนื่องจากช่วงเวลานี้มีการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กผ่านขดลวดเพิ่มขึ้น

ในช่วงเวลา $\frac{T}{4} \rightarrow \frac{T}{2}$ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะมีค่าลดลงจนกระทั่งเป็นศูนย์ที่เวลา $\frac{T}{2}$ เนื่องจากช่วงเวลานี้มีการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กผ่านขดลวดลดลง

ในช่วงเวลา $\frac{T}{2} \rightarrow \frac{3T}{4}$ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนมากที่สุดอีกครั้งที่เวลา $\frac{3T}{4}$ เนื่องจากช่วงเวลานี้มีการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กผ่านขดลวดเพิ่มขึ้น และขดลวดมีแฉกจึงทำให้กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำไหลวนในทิศทางเดิม

ในช่วงเวลา $\frac{3T}{4} \rightarrow T$ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะมีค่าลดลงจนกระทั่งเป็นศูนย์อีกครั้งที่เวลา T เนื่องจากช่วงเวลานี้มีการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กผ่านขดลวดลดลง

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ



จากรูป เริ่มต้นให้ระนาบของขดลวดอยู่ในแนวตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กและพิจารณาแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดจากการหมุนของขดลวด 1 รอบ

ในช่วงเวลา $0 \rightarrow \frac{T}{4}$ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนมากที่สุดที่เวลา $\frac{T}{4}$ เนื่องจากช่วงเวลานี้มีการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กผ่านขดลวดเพิ่มขึ้น

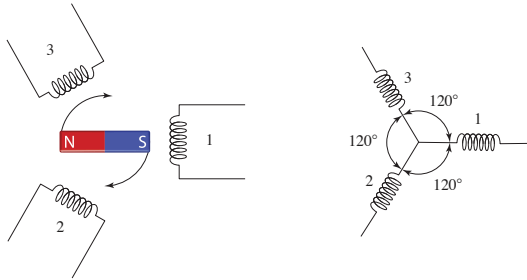
ในช่วงเวลา $\frac{T}{4} \rightarrow \frac{T}{2}$ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะมีค่าลดลงจนกระทั่งเป็นศูนย์ที่เวลา $\frac{T}{2}$ เนื่องจากช่วงเวลานี้มีการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กผ่านขดลวดลดลง

ในช่วงเวลา $\frac{T}{2} \rightarrow \frac{3T}{4}$ มุมระหว่างระนาบของขดลวดกับทิศทางของสนามแม่เหล็กเปลี่ยนไปจากตอนเริ่มต้น 180 องศา การเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กในช่วงนี้มีค่าเพิ่มขึ้น แต่มีทิศทางตรงข้ามกับในช่วงเวลา $0 \rightarrow \frac{T}{4}$ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจึงมีค่าเป็นลบมากที่สุดที่เวลา

ในช่วงเวลา $\frac{3T}{4} \rightarrow T$ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะมีค่าเป็นศูนย์อีกครั้งที่เวลา T เนื่องจากช่วงเวลานี้มีการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กผ่านขดลวดลดลง

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส

โดยทั่วไปไฟฟ้าที่ใช้ในบ้านเป็นไฟฟ้าเฟสเดียวที่ความต่างศักย์ 220 โวลต์ ใช้ได้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการกำลังไม่มากนัก เช่น พัดลม ตู้เย็น แต่ตามโรงงานขนาดใหญ่มักใช้ไฟฟ้า 3 เฟส เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟสจะมีขดลวดตัวนำอยู่ 3 ชุด ระบายของขดลวดแต่ละชุดทำมุม 120 องศาซึ่งกันและกัน และใช้วิธีการหมุนแท่งแม่เหล็กแทนการหมุนขดลวด ดังรูปที่ 1.25



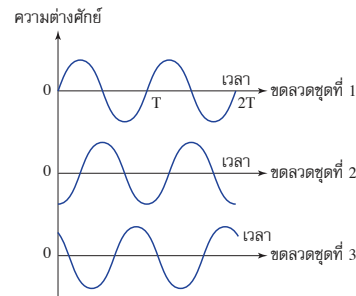
รูปที่ 1.25 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส

จากรูปที่ 1.25 ถ้าหมุนแท่งแม่เหล็กครบ 1 รอบ จะเกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำออกมาจากขดลวดทั้งสามชุด แต่ค่าสูงสุดของความต่างศักย์ของขดลวดแต่ละชุดจะเกิดขึ้นไม่พร้อมกัน โดยมีเฟสต่างกัน 120 องศา เนื่องจากระยะของขดลวดทำมุมกัน 120 องศา กราฟความสัมพันธ์ของความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาต่าง ๆ ของขดลวดแต่ละชุดได้จะเป็นกราฟที่ 1.1

การส่งพลังงานไฟฟ้าไปใช้งานจะนำสายไฟของขดลวดแต่ละชุดต่อรวมกัน เรียกว่า **สายกลาง (N)** ซึ่งสายนี้จะต่อลงดิน ส่วนสายที่เหลืออีก 3 เส้น จะเป็นสายที่มีศักย์ไฟฟ้า เรียกว่า **สายมีศักย์ (L)** และศักย์ไฟฟ้าตามสายแต่ละเส้นจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาตามการหมุนของขดลวด

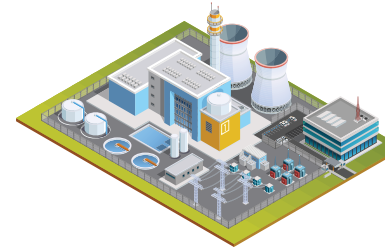
การส่งไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าจะใช้ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 3 สาย ที่ความต่างศักย์ 230,000 โวลต์ เมื่อถึงสถานีย่อยจะลดความต่างศักย์ลงเหลือ 69,000 โวลต์ จากนั้นจะส่งมายังหม้อแปลงไฟฟ้าที่จะลดความต่างศักย์ลงเหลือ 220 โวลต์ และส่งไฟฟ้าแบบ 3 เฟส 4 สาย ซึ่งสายที่เพิ่มขึ้นมาคือ สายกลาง แล้วจึงจ่ายไฟฟ้าไปยังบ้านเรือน บ้านแต่ละหลังจะใช้ไฟฟ้าเฟสเดียว โดยต่อสายไฟฟ้า 1 เฟสคู่กับสายกลาง ซึ่งข้อดีของการผลิตและการส่งไฟฟ้า 3 เฟส มีดังนี้

1. ประหยัดและลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าได้มาก เนื่องจากการส่งไฟฟ้าจะแบ่งกำลังไฟฟ้าออกเป็น 3 ส่วน ทำให้ไม่ต้องใช้สายไฟใหญ่มาก
2. เมื่อบริเวณใดบริเวณหนึ่งเกิดไฟฟ้าดับ บริเวณที่ใช้ไฟฟ้าเฟสอื่นจะยังคงใช้งานได้ตามปกติ



กราฟที่ 1.1 ความต่างศักย์ในช่วงเวลาต่าง ๆ ของขดลวดทั้ง 3 ชุด ที่มีเฟสต่างกัน 120°

การทำให้แท่งแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟสหมุนเพื่อให้ฟลักซ์แม่เหล็กตัดขดลวดตัวนำ จะใช้พลังงานกลในการหมุนกังหันที่ต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การเปลี่ยนรูปพลังงานกลเพื่อใช้ผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยนั้นมี 3 วิธีหลัก ๆ ดังนี้

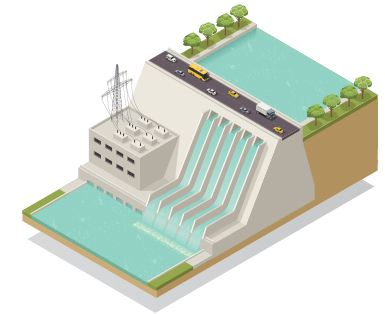


พลังงานความร้อน

ได้จากการเผาไหม้ น้ำมันเตา ถ่านหิน หรือแก๊สธรรมชาติ เพื่อต้มน้ำให้กลายเป็นไอน้ำที่มีความดันสูงไปหมุนกังหันที่ต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

พลังงานศักย์โน้มถ่วง

น้ำจากด้านบนจะไหลลงสู่ด้านล่าง โดยน้ำจะไหลผ่านกังหันและหมุนกังหันที่ต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



พลังงานลม

ลมจะพัดกังหันลมให้หมุนเพื่อไปหมุนกังหันที่ต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



ความต่างศักย์ที่ใช้ส่งไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้านั้นสำคัญมาก เนื่องจากสายไฟมีความต้านทาน โดยเฉพาะการส่งไฟฟ้าเป็นระยะทางไกล ๆ ยิ่งสายไฟยาวขึ้น ก็จะมีมีความต้านทานเพิ่มขึ้น เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านจะทำให้เกิดพลังงานความร้อนขึ้นในสายไฟฟ้า ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้า ดังนั้น เพื่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในรูปของความร้อนน้อยที่สุด การส่งพลังงานไฟฟ้าจึงต้องใช้ความต่างศักย์ที่เหมาะสม

ตัวอย่างที่ 1.27 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องหนึ่งส่งกำลังไฟฟ้า 110 กิโลวัตต์ พลังงานที่สูญเสียไปในรูปของความร้อนภายในสายไฟฟ้ามียค่าเท่าไร ถ้าส่งกำลังไฟฟ้าผ่านสายไฟฟ้ายาว 1 กิโลเมตร ความต้านทาน 0.5 โอห์ม เป็นเวลา 20 วินาที ด้วยความต่างศักย์

ก. 220 โวลต์

ข. 220,000 โวลต์

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $P = 110 \times 10^3 \text{ W}$, $L = 1 \text{ km}$, $R = 0.5 \Omega$ และ $t = 20 \text{ s}$

ก. เมื่อใช้ $V = 220 \text{ V}$

หาค่า I ในวงจรจาก

$$P = IV$$

$$110 \times 10^3 = I(220)$$

$$I = 500 \text{ A}$$

ความร้อนเกิดขึ้นจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านความต้านทาน แสดงว่า พลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนไปเป็น

ความร้อน

จะได้ว่า

$$W_{\text{ไฟฟ้า}} = Q$$

$$Pt = Q$$

$$I^2 R t = Q$$

$$(500)^2 (0.5)(20) = Q$$

$$Q = 2.5 \times 10^6 \text{ J}$$

ดังนั้น เมื่อส่งไฟฟ้าด้วยความต่างศักย์ 220 โวลต์ จะสูญเสียพลังงานความร้อนภายในสายไฟฟ้า 2.5×10^6 จูล

ตอบ

ข. เมื่อใช้ $V = 220,000 \text{ V}$

หาค่า I ในวงจรจาก

$$P = IV$$

$$110 \times 10^3 = I(220,000)$$

$$I = 0.5 \text{ A}$$

ความร้อนเกิดขึ้นจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านความต้านทาน แสดงว่า พลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนไปเป็น

ความร้อน

จะได้ว่า

$$W_{\text{ไฟฟ้า}} = Q$$

$$Pt = Q$$

$$I^2 R t = Q$$

$$(0.5)^2 (0.5)(20) = Q$$

$$Q = 2.5 \text{ J}$$

ดังนั้น เมื่อส่งไฟฟ้าด้วยความต่างศักย์ 220,000 โวลต์ จะสูญเสียพลังงานความร้อนภายในสายไฟฟ้า

2.5 จูล

ตอบ

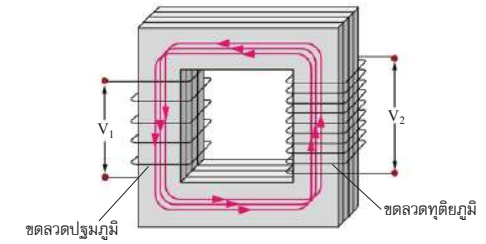
จากตัวอย่างจะเห็นได้ว่า การส่งไฟฟ้าเป็นระยะทางไกล ๆ ควรใช้ความต่างศักย์ที่สูงมาก ๆ เพื่อลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าเป็นความร้อน แต่การส่งไฟฟ้าด้วยความต่างศักย์สูง ๆ อาจทำให้อากาศบริเวณรอบสายไฟเกิดการแตกตัวเป็นไอออน ซึ่งอาจทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าลัดวงจรได้ ดังนั้น ความต่างศักย์ที่เหมาะสมในการส่งไฟฟ้า คือ 230,000 โวลต์ เมื่อถึงสถานีย่อยจะลดลงเหลือ 69,000 โวลต์ และส่งต่อไปยังชุมชนจะลดลงเหลือ 220 โวลต์ ซึ่งอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้เปลี่ยนความต่างศักย์หรือแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้เพิ่มขึ้นหรือน้อยลงก็คือ หม้อแปลงไฟฟ้า

4.4 หม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้า (transformer) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้แปลงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้าสำหรับไฟฟ้ากระแสสลับให้เพิ่มขึ้นหรือลดลง เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำไฟฟ้าระหว่างขดลวด 2 ขด คือ ขดลวดที่ต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ เรียกว่า **ขดลวดปฐมภูมิ (primary coil)** ส่วนขดลวดอีกด้านหนึ่ง เรียกว่า **ขดลวดทุติยภูมิ (secondary coil)** ดังรูปที่ 1.26



ก. หม้อแปลงไฟฟ้า



ข. โครงสร้างหม้อแปลงไฟฟ้า

รูปที่ 1.26 หม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้ามี 2 ประเภท ดังนี้

1. หม้อแปลงขึ้น (step-up transformer) ทำหน้าที่แปลงให้แรงดันไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น จำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิจะมีจำนวนมากกว่าขดลวดปฐมภูมิ

2. หม้อแปลงลง (step-down transformer) ทำหน้าที่แปลงให้แรงดันไฟฟ้ามีค่าลดลง จำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิจะมีจำนวนน้อยกว่าขดลวดปฐมภูมิ

หม้อแปลงไฟฟ้าจะประกอบด้วยขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิโดยมีแกนร่วมกัน เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิ จะเหนี่ยวนำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็กผ่านแกนเหล็กวิ่งไปยังขดลวดทุติยภูมิ ซึ่งถ้าฟลักซ์แม่เหล็กนี้มีการเปลี่ยนแปลง ก็จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดทุติยภูมิตามกฎหมายของฟาราเดย์ ความสัมพันธ์ของศักย์ไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าในแต่ละด้านของหม้อแปลงหาได้จากสมการ

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (1.23)$$

เมื่อ E_1 คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ขดลวดปฐมภูมิ มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

E_2 คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ขดลวดทุติยภูมิ มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

V_1 คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ขดลวดปฐมภูมิ มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

V_2 คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ขดลวดทุติยภูมิ มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

N_1 คือ จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ

N_2 คือ จำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ

เนื่องจากหม้อแปลงไฟฟ้าทำหน้าที่ถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าจากขดลวดปฐมภูมิมายังขดลวดทุติยภูมิ จากกฎอนุรักษ์พลังงาน ถ้าไม่มีการสูญเสียพลังงานระหว่างถ่ายโอน แสดงว่าหม้อแปลงไฟฟ้าทำหน้าที่ถ่ายโอนพลังงานโดยเปลี่ยนค่าความต่างศักย์เพียงอย่างเดียว แต่ไม่ได้เปลี่ยนกำลังไฟฟ้า ดังนั้น ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่มีผลต่อกระแสไฟฟ้าในขดลวดทั้งสองจะพิจารณาได้ดังนี้

จากกฎการอนุรักษ์พลังงาน ถ้าไม่มีการสูญเสียพลังงาน กำลังไฟฟ้าที่ส่งผ่านขดลวดปฐมภูมิจะมีค่าเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่ขดลวดทุติยภูมิ ดังสมการ

$$P_1 = P_2 \quad (1.24)$$

หรือ

$$I_1 V_1 = I_2 V_2 \quad (1.25)$$

เมื่อ P_1 คือ กำลังไฟฟ้าที่ขดลวดปฐมภูมิ มีหน่วยเป็น วัตต์ (W)

P_2 คือ กำลังไฟฟ้าที่ขดลวดทุติยภูมิ มีหน่วยเป็น วัตต์ (W)

V_1 คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ขดลวดปฐมภูมิ มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

V_2 คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ขดลวดทุติยภูมิ มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

I_1 คือ กระแสไฟฟ้าที่ขดลวดปฐมภูมิ มีหน่วยเป็น แอมแปร์ (A)

I_2 คือ กระแสไฟฟ้าที่ขดลวดทุติยภูมิ มีหน่วยเป็น แอมแปร์ (A)

ถ้าหม้อแปลงไฟฟ้ามีประสิทธิภาพ 100 เปอร์เซ็นต์ กำลังไฟฟ้าที่เข้าหม้อแปลงจะเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่ออกจากหม้อแปลง จะหาประสิทธิภาพในการทำงานของหม้อแปลงได้ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad P_1 &= P_2 \\ I_1 V_1 &= I_2 V_2 \end{aligned}$$

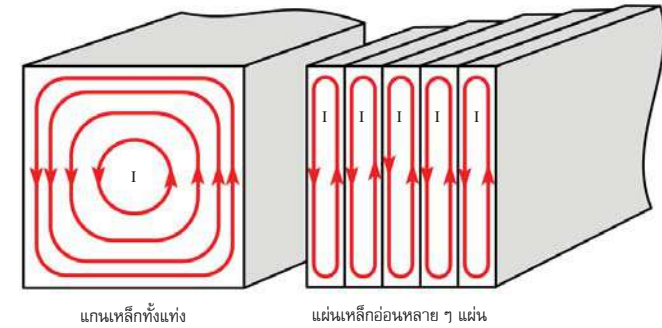
$$\text{จะได้} \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (1.26)$$

ถ้าหม้อแปลงไฟฟ้ามีการสูญเสียพลังงาน จะหาประสิทธิภาพของหม้อแปลงได้จากสมการ

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% \quad (1.27)$$

เมื่อ η_1 คือ ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงจะมีแกนเหล็กเป็นส่วนประกอบ เพื่อให้ฟลักซ์แม่เหล็กผ่านจากขดลวดปฐมภูมิไปยังขดลวดทุติยภูมิได้ ในขณะที่ฟลักซ์แม่เหล็กจากขดลวดปฐมภูมิผ่านตามแกนเหล็กมายังขดลวดทุติยภูมิจะมีกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นในแกนเหล็ก เรียกว่า **กระแสวน (eddy current)** เป็นสาเหตุให้แกนเหล็กร้อน ซึ่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่ได้จากขดลวดทุติยภูมิมีค่าน้อยกว่ากำลังไฟฟ้าที่ขดลวดปฐมภูมิเพื่อลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนในแกนเหล็กที่เกิดจากกระแสวน จึงต้องออกแบบแกนเหล็กให้เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำน้อยที่สุด ทำได้โดยใช้แผ่นเหล็กร้อนหลาย ๆ แผ่นซ้อนกัน และมีฉนวนบาง ๆ กั้นระหว่างแผ่นเหล็กแต่ละคู่ ซึ่งทำให้หม้อแปลงไฟฟ้ามีความร้อนเกิดขึ้นน้อยลงและมีประสิทธิภาพสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้แกนเป็นเหล็กทั้งแท่ง



รูปที่ 1.27 กระแสวนในแกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้า

ตัวอย่างที่ 1.28 หม้อแปลงอันหนึ่งแปลงไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ 220 โวลต์ เป็น 110 โวลต์

ก. ถ้าขดลวดทุติยภูมิมี 50 รอบ ขดลวดปฐมภูมิจะมีกี่รอบ

ข. ถ้ากระแสในขดลวดทุติยภูมิเป็น 20 แอมแปร์ กระแสในขดลวดปฐมภูมิมีค่าเท่าไร

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $V_1 = 220 \text{ V}$ และ $V_2 = 110 \text{ V}$

ก. เมื่อ $N_2 = 50$ รอบ

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \frac{V_1}{V_2} &= \frac{N_1}{N_2} \\ \frac{220}{110} &= \frac{N_1}{50} \\ N_1 &= 100 \text{ รอบ} \end{aligned}$$

ดังนั้น ถ้าขดลวดทุติยภูมิมี 50 รอบ ขดลวดปฐมภูมิจะมี 100 รอบ

ตอบ

ข. เมื่อ $I_2 = 20 \text{ A}$ และโจทย์ไม่กล่าวถึงประสิทธิภาพของหม้อแปลง แสดงว่าหม้อแปลงมีประสิทธิภาพ 100%

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \frac{V_1}{V_2} &= \frac{I_2}{I_1} \\ \frac{220}{110} &= \frac{20}{I_1} \\ I_1 &= \frac{(20)(110)}{220} = 10 \text{ A} \end{aligned}$$

ดังนั้น ถ้ากระแสในขดลวดทุติยภูมิเป็น 20 แอมแปร์ กระแสในขดลวดปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ 10 แอมแปร์

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.29 หม้อแปลงสำหรับแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าจาก 2,400 โวลต์ เป็น 120 โวลต์ เกิดกำลังในขดลวด 10 กิโลวัตต์ หม้อแปลงมีประสิทธิภาพ 80 เปอร์เซ็นต์ ถ้าขดลวดปฐมภูมิมีขดลวดพันไว้ 4,000 รอบ

- ก. ขดลวดทุติยภูมิมีลวดพันกี่รอบ
 ข. กำลังในขดลวดปฐมภูมิมีค่าเท่าไร
 ค. กระแสไฟฟ้าในขดลวดปฐมภูมิมีค่าเท่าไร
 ง. กระแสไฟฟ้าในขดลวดทุติยภูมิมีค่าเท่าไร

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $E_1 = 2,400$ V, $E_2 = 120$ V, $P_2 = 10 \times 10^3$ W, $\eta = 80\%$ และ $N_1 = 4,000$ รอบ

ก. หาจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \frac{E_1}{E_2} &= \frac{N_1}{N_2} \\ \frac{2400}{120} &= \frac{4000}{N_2} \\ N_2 &= 200 \text{ รอบ} \end{aligned}$$

ดังนั้น ขดลวดทุติยภูมิมีลวดพัน 200 รอบ

ตอบ

ข. หากำลังในขดลวดปฐมภูมิ

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \eta &= \frac{P_2}{P_1} \times 100\% \\ 80\% &= \frac{10 \times 10^3}{P_1} \times 100\% \\ P_1 &= 1.25 \times 10^4 \text{ W} \end{aligned}$$

ดังนั้น กำลังในขดลวดปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ 1.25×10^4 วัตต์

ตอบ

ค. หากระแสไฟฟ้าในขดลวดปฐมภูมิ

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad P_1 &= I_1 V_1 = I_1 E_1 \\ 1.25 \times 10^4 &= I_1 (2,400) \\ I_1 &= 5.2 \text{ A} \end{aligned}$$

ดังนั้น กระแสไฟฟ้าในขดลวดปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ 5.2 แอมแปร์

ตอบ

ง. หากระแสไฟฟ้าในขดลวดทุติยภูมิ

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad P_2 &= I_2 V_2 = I_2 E_2 \\ 10 \times 10^3 &= I_2 (120) \\ I_2 &= 83.3 \text{ A} \end{aligned}$$

ดังนั้น กระแสไฟฟ้าในขดลวดทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 83.3 แอมแปร์

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.30 หม้อแปลงเครื่องหนึ่งมีประสิทธิภาพ 95 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมีแรงดันไฟฟ้าขนาด 150 โวลต์ เข้ามาที่ขดลวดปฐมภูมิ จะเกิดกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ 2 และ 0.95 แอมแปร์ ตามลำดับ แรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดทุติยภูมิมีค่าเท่าไร

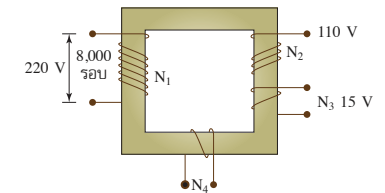
วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $\eta = 95\%$, $E_1 = 150$ V, $I_1 = 2$ A และ $I_2 = 0.95$ A

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \eta &= \frac{P_2}{P_1} \times 100\% \\ \eta &= \frac{I_2 E_2}{I_1 E_1} \times 100\% \\ 95\% &= \frac{(0.95) E_2}{(2)(150)} \times 100\% \\ 0.95 E_2 &= 285 \\ E_2 &= 300 \text{ V} \end{aligned}$$

ดังนั้น แรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 300 โวลต์

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.31 หม้อแปลงไฟฟ้าตัวหนึ่งแปลงแรงดันไฟฟ้าจาก 220 โวลต์ เป็น 110 โวลต์ 15 โวลต์ และ 6 โวลต์ ให้กับขดลวดทุติยภูมิ 3 ขด ถ้าขดลวดปฐมภูมิมีจำนวนรอบของขดลวด 8,000 รอบ จำนวนรอบของขดลวดอีก 3 ขดทางด้านทุติยภูมิจะเป็นเท่าไร



วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $E_1 = 220$ V, $E_2 = 110$ V, $E_3 = 15$ A, $E_4 = 6$ V และ $N_1 = 8,000$ รอบ

$$\begin{aligned} \text{หา } N_2 \text{ จาก} \quad \frac{E_1}{E_2} &= \frac{N_1}{N_2} \\ \frac{220}{110} &= \frac{8000}{N_2} \\ N_2 &= 4,000 \text{ รอบ} \\ \text{หา } N_3 \text{ จาก} \quad \frac{E_1}{E_3} &= \frac{N_1}{N_3} \\ \frac{220}{15} &= \frac{8000}{N_3} \\ N_3 &= 545.4 = 546 \text{ รอบ} \\ \text{หา } N_4 \text{ จาก} \quad \frac{E_1}{E_4} &= \frac{N_1}{N_4} \\ \frac{220}{6} &= \frac{8000}{N_4} \\ N_4 &= 218.2 = 219 \text{ รอบ} \end{aligned}$$

ดังนั้น จำนวนรอบของขดลวด N_2 , N_3 และ N_4 มีค่าเท่ากับ 4,000 รอบ 546 รอบ และ 219 รอบ ตามลำดับ

ตอบ

การส่งกำลังไฟฟ้าของโรงไฟฟ้ามักใช้หม้อแปลงขึ้นเพื่อทำให้ความต่างศักย์จากโรงไฟฟ้าสูงขึ้น แล้วส่งไฟฟ้าไปตามสายจนกระทั่งก่อนถึงผู้ใช้จึงใช้หม้อแปลงลงเพื่อให้ความต่างศักย์ลดลงเหลือ 220 โวลต์ เครื่องใช้ไฟฟ้าตามบ้านเรือนที่ใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า 220 โวลต์โดยตรง ได้แก่ หลอดไฟฟ้า เต้าไฟฟ้า เตาไรต์ แต่ก็มีเครื่องใช้ไฟฟ้าบางชนิดที่ใช้ความต่างศักย์น้อยกว่า 220 โวลต์ เช่น เครื่องเล่นแผ่นดิสก์ โทรศัพท์เคลื่อนที่ ดังนั้น จึงต้องมีหม้อแปลงลงเพื่อลดความต่างศักย์จาก 220 โวลต์ เป็น 6, 9 หรือ 12 โวลต์ ขึ้นอยู่กับการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้านั้น ๆ

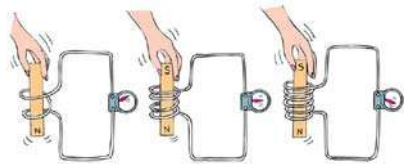
เครื่องใช้ไฟฟ้าบางชนิดต้องการกระแสไฟฟ้ามาก เช่น หัวแร้งไฟฟ้าแบบบิน เครื่องเชื่อมไฟฟ้า จึงต้องมีหม้อแปลงลงเพื่อลดความต่างศักย์โดยให้ขดลวดทุติยภูมิมีจำนวนรอบน้อยกว่าขดลวดปฐมภูมิมาก ๆ จะทำให้กระแสไฟฟ้าที่ขดลวดทุติยภูมิมีค่ามาก ดังนั้น ขดลวดทุติยภูมิของเครื่องใช้ไฟฟ้าเหล่านี้จึงต้องใช้สายไฟฟ้าขนาดใหญ่



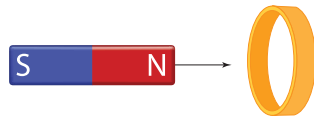
กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.4

จงตอบคำถามต่อไปนี้

1. จากรูป นักเรียนคิดว่ากระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร



2. จากรูป ถ้านักเรียนขยับแม่เหล็กให้เคลื่อนที่เข้าไปหาขดลวด ทิศทางของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะเป็นอย่างไร
3. แรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับของมอเตอร์กระแสตรงคืออะไร
4. แบตเตอรี่ขนาด 6 โวลต์ มีความต้านทานภายใน 1 โอห์ม ต่อเข้ากับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งมีความต้านทานของขดลวดเท่ากับ 2 โอห์ม ในขณะที่ยังสามารถวัดกระแสไฟฟ้าได้ 0.5 แอมแปร์ แรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับของมอเตอร์มีค่าเท่าไร
5. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำให้เกิดไฟฟ้าขึ้นได้อย่างไร
6. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส มีลักษณะอย่างไร และมีข้อดีอย่างไร
7. หม้อแปลงไฟฟ้ามีประสิทธิภาพ 100 เปอร์เซ็นต์ ขดลวดปฐมภูมิมีจำนวน 100 รอบ ต่อไว้กับไฟฟ้ากระแสสลับที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 200 โวลต์ ขดลวดทุติยภูมิมีจำนวน 200 รอบ และต่อไว้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าซึ่งขณะนั้นให้กำลังสูงสุด 400 วัตต์ ถ้าขดลวดทุติยภูมิไม่มีความต้านทาน เครื่องใช้ไฟฟ้านี้จะมีค่าความต้านทานกี่โอห์ม
8. หม้อแปลงขึ้นจาก 20 โวลต์ เป็น 200 โวลต์ มีประสิทธิภาพ 75 เปอร์เซ็นต์ จะมีกระแสไฟฟ้าในขดลวดปฐมภูมิเท่าไร เมื่อต่อปลายด้านทุติยภูมิกับหลอดไฟขนาด 200 โวลต์ 60 วัตต์



5. ไฟฟ้ากระแสสลับ



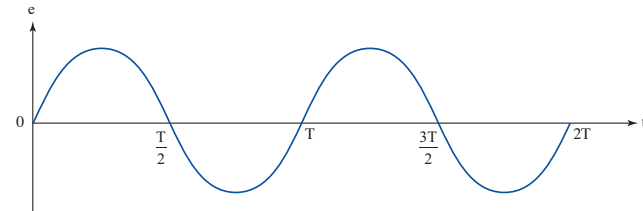
แนวคิดสำคัญ

ไฟฟ้ากระแสสลับเกิดจากการเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าจากการหมุนขดลวดตัดกับสนามแม่เหล็ก โดยค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในรูปฟังก์ชันไซน์ การวัดความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าจะใช้ค่ายังผลหรือค่ารากที่สองของกำลังสองเฉลี่ย คำนวณได้จาก

$$V_{\text{rms}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad \text{และ} \quad I_{\text{rms}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

ไฟฟ้าที่ใช้กันตามบ้านเรือนนั้นเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ

ซึ่งจากกฎของฟาราเดย์และกฎของเลนซ์ได้อธิบายการเกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำและแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เมื่อหมุนแกนของขดลวดตัดกับสนามแม่เหล็ก ทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านขดลวดเกิดการเปลี่ยนแปลง และเกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวด โดยเมื่อพิจารณาแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ขณะที่ขดลวดเกิดการหมุน แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลาโดยอยู่ในรูปฟังก์ชันไซน์ ดังกราฟที่ 1.2



กราฟที่ 1.2 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่อยู่ในรูปฟังก์ชันไซน์

เขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

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

(1.28)

เมื่อ e คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เวลาใด ๆ มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

E_m คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุด มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

ω คือ อัตราเร็วเชิงมุม มีหน่วยเป็น เรเดียนต่อวินาที (rad/s)

t คือ เวลา มีหน่วยเป็น วินาที (s)

และค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุดหาได้จากสมการ

$$E_m = NAB\omega \quad (1.29)$$

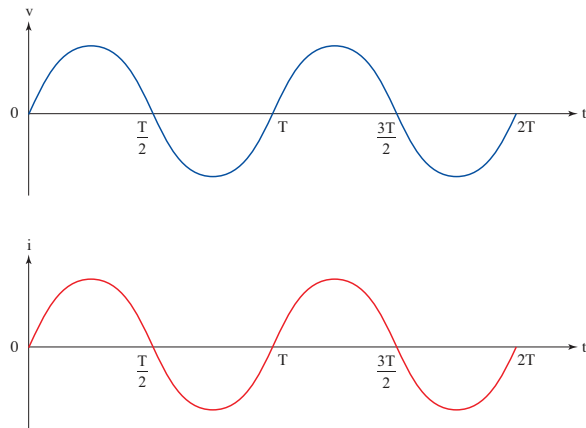
- เมื่อ E_m คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุด มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)
 N คือ จำนวนรอบของขดลวด
 A คือ พื้นที่หน้าตัดของขดลวด มีหน่วยเป็น ตารางเมตร (m^2)
 B คือ ความเข้มของสนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เทสลา (T)
 ω คือ อัตราเร็วเชิงมุม มีหน่วยเป็น เรเดียนต่อวินาที (rad/s)

เนื่องจากขดลวดเกิดการหมุน อัตราเร็วเชิงมุม ความถี่ และ คาบในการหมุนของขดลวดจะมีความสัมพันธ์กันดังสมการ

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$



เมื่อนำแรงเคลื่อนไฟฟ้านี้ไปต่อเข้ากับวงจรไฟฟ้าที่มีตัวต้านทาน R จะเกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทานและมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทาน โดยค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลาและอยู่ในรูปฟังก์ชันไซน์เช่นเดียวกัน ดังกราฟที่ 1.3



กราฟที่ 1.3 ความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในรูปฟังก์ชันไซน์

ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่คร่อมตัวต้านทาน R ในวงจรจะเขียนสมการได้ ดังนี้

$$v = V_m \sin \omega t \quad (1.30)$$

- เมื่อ v คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เวลาใด ๆ มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)
 V_m คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุด มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

และเนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทาน R จะมีค่าเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาและมีทิศกลับไปกลับมา จึงเรียกว่า **ไฟฟ้ากระแสสลับ (alternating current)** เขียนสมการได้ ดังนี้

$$i = I_m \sin \omega t \quad (1.31)$$

- เมื่อ i คือ กระแสไฟฟ้าที่เวลาใด ๆ มีหน่วยเป็น แอมแปร์ (A)
 I_m คือ กระแสไฟฟ้าสูงสุด มีหน่วยเป็น แอมแปร์ (A)

ค่า i และ v มีความสัมพันธ์กันตามกฎของโอห์ม ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จาก } v &= iR \\ R &= \frac{v}{i} = \frac{V_m \sin \omega t}{I_m \sin \omega t} \end{aligned}$$

$$\text{จะได้ } R = \frac{V_m}{I_m} \quad (1.32)$$

เนื่องจากค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามเวลา จึงทำให้กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้ตัวต้านทานมีค่าขึ้นอยู่กับเวลาด้วย

$$\begin{aligned} \text{จาก } p &= iv \\ p &= (I_m \sin \omega t)(V_m \sin \omega t) \end{aligned}$$

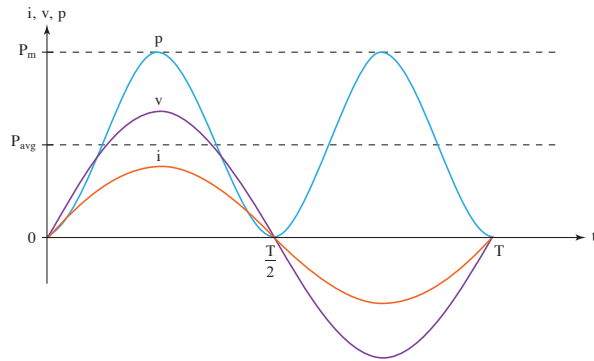
$$p = I_m V_m \sin^2 \omega t \quad (1.33)$$

$$\text{จะได้ } p = P_m \sin^2 \omega t \quad (1.34)$$

$$\text{และ } P_m = I_m V_m = I_m^2 R = \frac{V_m^2}{R} \quad (1.35)$$

- เมื่อ p คือ กำลังไฟฟ้าที่เวลาใด ๆ มีหน่วยเป็น วัตต์ (W)
 P_m คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุด มีหน่วยเป็น วัตต์ (W)

โดยค่าของกระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ดังกราฟที่ 1.4

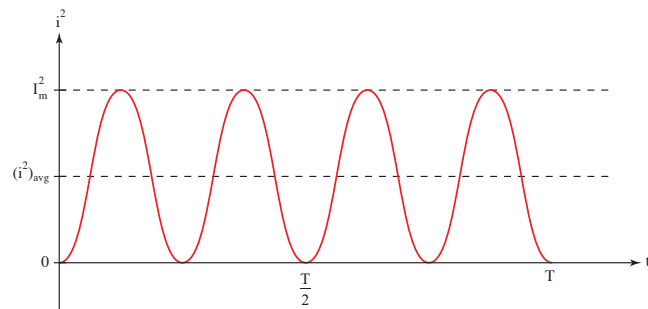


กราฟที่ 1.4 ค่าของกระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

จากกราฟที่ 1.4 จะเห็นว่า ความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าที่อยู่ในรูปไซน์ จะมีค่าเฉลี่ยในหนึ่งคาบเวลาเป็นศูนย์ ส่วนค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าไม่เป็นศูนย์และมีค่าเป็นค่าบวก เนื่องจากมีรูปแบบเป็น $\sin^2 \omega t$ ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจะเขียนได้ดังสมการ

$$P_{\text{avg}} = \frac{1}{2} I_m V_m = \frac{1}{2} I_m^2 R = \frac{1}{2} \frac{V_m^2}{R} \quad (1.36)$$

กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจะมีค่าคงตัวและค่านี้ขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าสูงสุดหรือความต่างศักย์สูงสุด เมื่อพิจารณา ค่ากำลังสองของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าจะได้กราฟที่มีเฉพาะค่าบวกเช่นเดียวกับกำลังไฟฟ้า โดยกราฟกำลังสองของกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาจะมีลักษณะดังกราฟที่ 1.5



กราฟที่ 1.5 ค่ากำลังสองของกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

ค่ากำลังสองของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าจะเขียนได้ดังสมการ

$$i_{\text{avg}}^2 = \frac{1}{2} I_m^2 \quad (1.37)$$

$$\text{และ} \quad v_{\text{avg}}^2 = \frac{1}{2} V_m^2 \quad (1.38)$$

จากสมการที่ 1.36 และ 1.37 จะสามารถหาค่ารากที่สองของกำลังสองเฉลี่ย (root mean square : rms) ของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าได้ ดังนี้

$$\sqrt{i_{\text{avg}}^2} = \frac{1}{\sqrt{2}} I_m$$

$$I_{\text{rms}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (1.39)$$

$$\text{และ} \quad \sqrt{v_{\text{avg}}^2} = \frac{1}{\sqrt{2}} V_m$$

$$V_{\text{rms}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad (1.40)$$

เมื่อ I_{rms} คือ ค่ารากที่สองของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็น แอมแปร์ (A)

V_{rms} คือ ค่ารากที่สองของกำลังสองเฉลี่ยของความต่างศักย์ไฟฟ้า มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

ค่ารากที่สองของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์เป็นค่าคงตัว สามารถเทียบได้กับค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ของไฟฟ้ากระแสตรง เพราะให้พลังงานแก่ความต้านทานค่าเดียวกันในอัตราเดียวกัน จึงเรียกอีกชื่อว่า **ค่ายังผล (effective value)** หรือ **ค่ามีเตอร์** เนื่องจากเป็นค่าที่อ่านได้จากมิเตอร์วัดไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ภายในบ้านนั้น เมื่อวัดด้วยมิเตอร์จะอ่านค่าได้ 220 โวลต์ แสดงว่า V_{rms} ของไฟฟ้ากระแสสลับในบ้านมีค่า 220 โวลต์ ดังนั้น ค่าความต่างศักย์ค่าสูงสุดของไฟฟ้าในบ้านจะมีค่าเท่ากับ $V_m = \sqrt{2} V_{\text{rms}} = \sqrt{2}(220) = 311$ โวลต์ และสามารถหาค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดได้จากการคำนวณในลักษณะเดียวกัน

ตัวอย่างที่ 1.32 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องหนึ่งประกอบด้วยขดลวดที่มีพื้นที่หน้าตัด 0.25 ตารางเมตร มีจำนวนรอบของขดลวด 200 รอบ วางอยู่ในสนามแม่เหล็กที่มีความเข้ม 100 เทสลา ถ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุดที่ $5,000\pi$ โวลต์

ก. ขดลวดจะหมุนด้วยความถี่เท่าไร

ข. แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเมื่อเวลาผ่านไป 2 วินาที จะมีค่าเท่าไร

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $A = 0.25 \text{ m}^2$, $N = 200$ รอบ, $B = 100 \text{ T}$ และ $E_m = 5,000\pi \text{ V}$

ก. หาค่าความถี่ในการหมุนของขดลวด

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad E_m &= NAB\omega = NAB2\pi f \\ 5,000\pi &= (200)(0.25)(100)2\pi f \\ f &= 0.5 \text{ Hz} \end{aligned}$$

ดังนั้น ขดลวดจะหมุนด้วยความถี่ 0.5 เฮิรตซ์

ตอบ

ข. หาแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เวลา $t = 2 \text{ s}$

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad e &= E_m \sin \omega t \\ &= E_m \sin (2\pi f)t \\ &= (5,000) \sin 2\pi(0.5)(2) \\ &= (5,000) \sin 2\pi = 0 \text{ V} \end{aligned}$$

ดังนั้น แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเมื่อเวลาผ่านไป 2 วินาที จะมีค่าเท่ากับ 0 โวลต์

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.33 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับมีความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงเวลาดังสมการ $v = 150\sqrt{2} \sin 440t$ ค่ายังผลของความต่างศักย์และความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับมีค่าเท่าไร

วิธีทำ จากโจทย์ สมการ $E_m = v = 150\sqrt{2} \sin 440t$ ทำให้ทราบค่า $V_m = 150\sqrt{2} \text{ V}$ และ $\omega = 440 \text{ rad/s}$

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad V_{\text{rms}} &= \frac{V_m}{\sqrt{2}} \\ &= \frac{150\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = 150 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \omega &= 2\pi f \\ 440 &= 2\left(\frac{22}{7}\right)f \\ f &= 70 \text{ Hz} \end{aligned}$$

ดังนั้น ค่ายังผลของความต่างศักย์และความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับมีค่าเท่ากับ 150 โวลต์ และ 70 เฮิร์ตซ์ ตามลำดับ

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.26 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุด 30 โวลต์ มีความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ถ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้ต่อกับวงจรที่มีตัวต้านทาน 10 โอห์ม ค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านจากมิเตอร์และกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ไหลผ่านตัวต้านทานนี้มีค่าเท่าไร

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $V_m = 30 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$ และ $R = 10 \Omega$

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad V_{\text{rms}} &= \frac{V_m}{\sqrt{2}} \\ &= \frac{30}{\sqrt{2}} = 21.21 \text{ V} \end{aligned}$$

ใช้กฎของโอห์มเพื่อหาค่า I_{rms} และ I_m

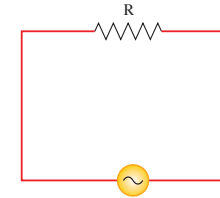
$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad V_{\text{rms}} &= I_{\text{rms}}R \\ 21.21 &= I_{\text{rms}}(10) \\ I_{\text{rms}} &= 2.12 \text{ A} \\ \text{จาก} \quad V_m &= I_m R \\ 30 &= I_m(10) \\ I_m &= 3 \text{ A} \end{aligned}$$

ดังนั้น ค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านจากมิเตอร์และกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ไหลผ่านตัวต้านทานนี้มีค่าเท่ากับ 2.12 และ 3 แอมแปร์ ตามลำดับ

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.35 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับต่อแบบอนุกรมกับตัวต้านทาน R ขนาด 20 กิโลโอห์ม พบว่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุดมีค่า 220 โวลต์ จงหากระแสไฟฟ้าสูงสุดในวงจร

วิธีทำ จากโจทย์ วาดภาพประกอบได้ ดังนี้



$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad W_{\text{DC}} &= W_{\text{AC}} \\ I_m &= \frac{V_m}{R} \\ &= \frac{220}{20 \times 10^3} \\ &= 11 \times 10^{-3} \text{ A} \\ &= 11 \text{ mA} \end{aligned}$$

ดังนั้น กระแสไฟฟ้าสูงสุดในวงจรนี้เท่ากับ 11 มิลลิแอมแปร์

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.36 เตาไฟฟ้าเหมือนกันทุกประการจำนวน 2 เตา นำมาต้มน้ำที่ใส่ภาชนะชนิดเดียวกัน ปริมาตรเท่ากัน โดยให้เตาไฟฟ้าตัวที่หนึ่งต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง และเตาตัวที่สองต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ถ้าแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 100 โวลต์ เตาไฟฟ้าสามารถทำให้น้ำเดือดได้ภายในเวลา 30 นาที และแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับสามารถทำให้น้ำเดือดได้ภายในเวลา 10 นาที หากนำโวลต์มิเตอร์ไปวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ โวลต์มิเตอร์จะอ่านค่าได้เท่าไร

วิธีทำ เนื่องจากเตาไฟฟ้าทั้งสองทำให้น้ำเดือดเช่นเดียวกัน แสดงว่าพลังงานความร้อนเท่ากัน จะได้ว่า

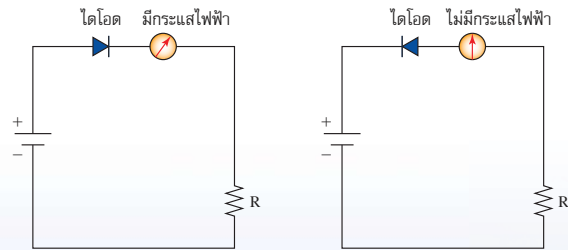
$$\begin{aligned} W_{\text{DC}} &= W_{\text{AC}} \\ (P \cdot t)_{\text{DC}} &= (P_{\text{avg}} \cdot t)_{\text{AC}} \\ \frac{V^2}{R} \cdot t_{\text{DC}} &= \frac{1}{2} \frac{V_m^2}{R} \cdot t_{\text{DC}} \\ \frac{V^2}{R} \cdot t_{\text{DC}} &= \frac{V_{\text{rms}}^2}{R} \cdot t_{\text{DC}} \\ V^2 \cdot t_{\text{DC}} &= V_{\text{rms}}^2 \cdot t_{\text{DC}} \\ (100)^2(30) &= V_{\text{rms}}^2(10) \\ V_{\text{rms}}^2 &= 30,000 \\ V_{\text{rms}} &= 173.2 \text{ V} \end{aligned}$$

ดังนั้น โวลต์มิเตอร์จะอ่านค่าได้ 173.2 โวลต์

ตอบ

การแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง

เนื่องจากวงจรไฟฟ้าในบ้านเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความต่างศักย์ 220 โวลต์ แต่เครื่องใช้ไฟฟ้าบางชนิดจะใช้ไฟฟ้ากระแสตรงในการทำงาน นอกจากจะต้องแปลงค่าความต่างศักย์ให้ตรงกับเครื่องไฟฟ้าแล้ว ยังต้องแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงด้วย การแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงนั้นจะใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่ง เรียกว่า **ไดโอด (diode)** ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้า โดยจะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้เพียงทางเดียว ดังรูปที่ 1.28

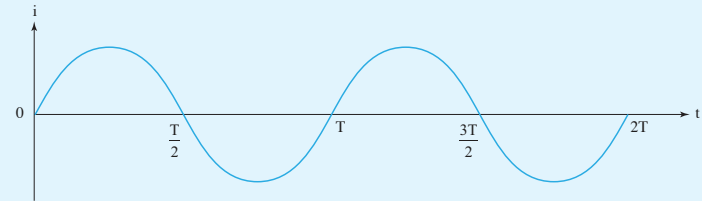


รูปที่ 1.28 การทำงานของไดโอด

วงจรไฟฟ้าที่สามารถเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงได้นั้น เรียกว่า **วงจรเรียงกระแส (rectifier circuit)** มี 2 ประเภท ได้แก่ วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นและวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

วงจรเรียงกระแส

กระแสไฟฟ้าก่อนผ่านวงจรเรียงกระแส

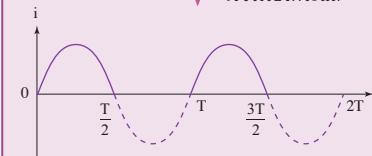


แบบครึ่งคลื่น

ใช้ไดโอด 1 ตัว

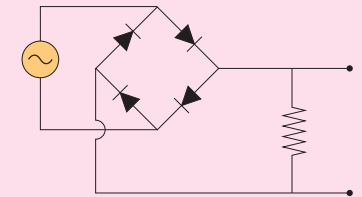


↓ หลังผ่าน
วงจรเรียงกระแส

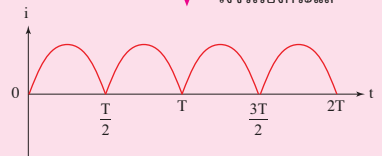


แบบเต็มคลื่น

ใช้ไดโอด 4 ตัวต่อกันแบบ บริดจ์ไดโอด (bridge diode)



↓ หลังผ่าน
วงจรเรียงกระแส



จากภาพด้านบนจะเห็นว่า เมื่อไฟฟ้ากระแสสลับผ่านวงจรเรียงกระแสแล้ว กราฟของกระแสไฟฟ้าจะมีเฉพาะค่าบวกซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสตรง และกระแสไฟฟ้าที่ผ่านวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นจะมีความสม่ำเสมอมากกว่าแบบครึ่งคลื่น แต่ก็ยังคงมีบางช่วงที่กระแสไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์ สามารถแก้ไขได้โดยต่อตัวเก็บประจุขนานกับตัวต้านทานในวงจรเรียงกระแส ซึ่งจะทำให้กระแสไฟฟ้าที่ได้มีความสม่ำเสมอใกล้เคียงกับไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากแบตเตอรี่

กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.5

จงตอบคำถามต่อไปนี้

1. ไฟฟ้ากระแสสลับมีลักษณะอย่างไร แตกต่างจากไฟฟ้ากระแสตรงอย่างไร
2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเครื่องหนึ่งผลิตกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 20 แอมแปร์ ความต่างศักย์สูงสุด 300 โวลต์ ความถี่กระแสไฟฟ้า 50 เฮิร์ตซ์ ที่เวลา $\frac{1}{600}$ วินาทีหลังจากเปิดเครื่อง กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์มีค่าเท่าไร ตามลำดับ
3. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าในขณะใด ๆ ดังสมการ $e = 1,000 \sin 100\pi t$ ค่ามิเตอร์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าและความถี่ของกระแสไฟฟ้าจะเป็นเท่าไร
4. ตัวต้านทานตัวหนึ่งมีความต้านทาน 5 โอห์ม ต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ถ้ากระแสไฟฟ้ามีค่าสูงสุด $3\sqrt{2}$ แอมแปร์ จะวัดความต่างศักย์คร่อมตัวต้านทานได้เท่าไร
5. วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นและแบบเต็มคลื่นมีความแตกต่างกันอย่างไร

6. แม่เหล็กไฟฟ้ากับชีวิตประจำวัน



แนวคิดสำคัญ

จากหลักการของแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถนำไปประยุกต์ใช้สร้างเครื่องมือเครื่องใช้ต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน เช่น กลอนไฟฟ้า กระดิ่งไฟฟ้า ลำโพง โทรศัพท รถไฟฟ้า ซึ่งช่วยให้มนุษย์ดำรงชีวิตได้สะดวกสบายมากยิ่งขึ้น



แท่นยกแม่เหล็ก

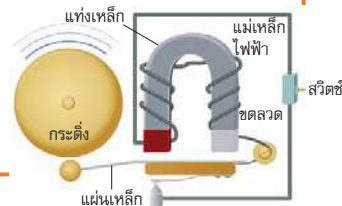
แท่นยกแม่เหล็กเป็นเครื่องกลที่อาศัยหลักการของแม่เหล็กไฟฟ้า โดยเมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าไป

ในขดลวด จะเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มข้น ทำให้ดูดเศษเหล็กขนาดใหญ่ขึ้นมาได้ และเมื่อปิดสวิตช์ไม่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด ก็จะสามารถปล่อยเศษเหล็กจากแท่นยกได้

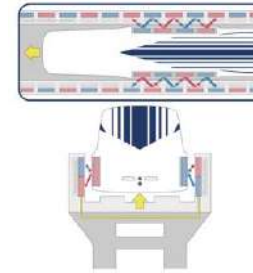


กระดิ่งไฟฟ้า

กระดิ่งไฟฟ้ามีส่วนประกอบที่เป็นขดลวดและแท่งเหล็กอยู่ใน เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด จะเหนี่ยวนำให้เกิดแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นในวงจร ทำให้อุปกรณ์สามารถทำงานได้

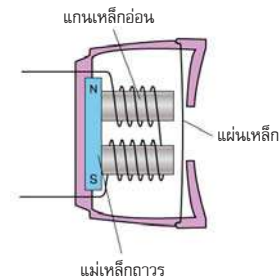


รถไฟไฟฟ้าแม่เหล็ก (maglev)



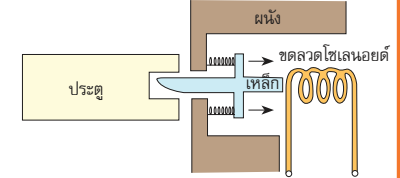
ส่วนประกอบของรางและรถไฟไฟฟ้าจะเป็นขดลวด เมื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดภายในราง และรถไฟในทิศทางตรงข้ามกัน จะเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่มีขั้วต่างกัน ซึ่งจะเกิดแรงดูดและแรงผลักทำให้รถเคลื่อนที่ได้โดยไม่ต้องสัมผัสกับราง

โทรศัพท์



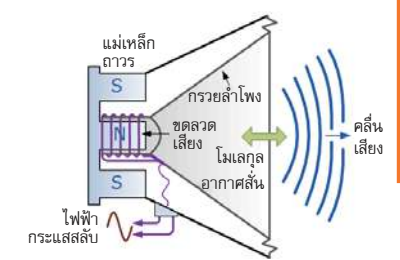
การทำงานของโทรศัพท์ในส่วนของหูฟังจะประกอบด้วยขดลวดพันรอบแกนเหล็กอ่อน เมื่อผู้พูดพูดใส่ไมโครโฟน สัญญาณเสียงจะถูกแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้วส่งไปยังปลายทาง เมื่อสัญญาณไฟฟ้าผ่านเข้าไปยังหูฟัง จะเกิดการเหนี่ยวนำทำให้แกนเหล็กอ่อนกลายเป็นแม่เหล็ก และเกิดแรงดูดแผ่นเหล็กให้สั่นเกิดเป็นเสียงตามที่ผู้พูดส่งมา

กลอนประตูไฟฟ้า



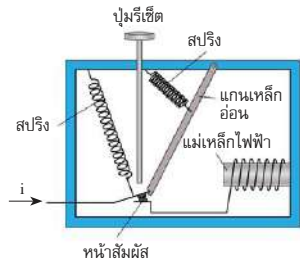
ส่วนประกอบของกลอนประตูไฟฟ้าจะมีแกนเหล็กและขดลวดโซเลนอยด์อยู่ภายใน เมื่อกดสวิตช์จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าไปยังขดลวดโซเลนอยด์ ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กบริเวณขดลวด แรงแม่เหล็กจะดูดกลอนเหล็กให้ประตูเปิดออกโดยสปริงที่ติดอยู่กับแกนเหล็กจะยืดออก เมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน สปริงจะกลับสู่ภาวะสมดุลทำให้แกนเหล็กเลื่อนกลับมาล็อกประตูได้

ลำโพง



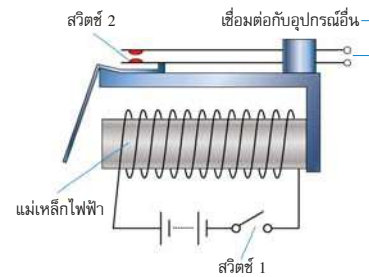
ลำโพงประกอบด้วยแม่เหล็กถาวร ขดลวดเสียง และกรวยลำโพง ขดลวดเสียงนั้นพันหุ้มขั้วเหนือของแท่งแม่เหล็กถาวรไว้ เมื่อให้ไฟฟ้ากระแสสลับผ่านเข้าไปในขดลวด จะเกิดแรงแม่เหล็กกระทำต่อขดลวด เมื่อกระแสไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงเฟสจะส่งผลต่อขดลวดให้ขยับ การขยับของขดลวดจะทำให้กรวยลำโพงสั่นและเกิดเสียงออกมา

ตัวตัดวงจรไฟฟ้า



เมื่อกระแสไฟฟ้าในวงจรเพิ่มมากขึ้น กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดจะเหนี่ยวนำให้เกิดแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความเข้มมากขึ้นตามไปด้วย แรงแม่เหล็กจะดึงแกนเหล็กอ่อนเข้ามา และสปริงจะดึงหน้าสัมผัสที่เป็นเหมือนสวิตช์ให้เปิดออก เป็นการตัดวงจรไฟฟ้า ซึ่งทำให้กระแสไฟฟ้าหยุดไหลทันที เมื่อต้องการให้วงจรไฟฟ้ากลับมาทำงานอีกครั้ง ให้กดปุ่มรีเซ็ตเพื่อกดหน้าสัมผัสให้กลับลงมาติดกันเช่นเดิม

รีเลย์ (relay)



รีเลย์เป็นสวิตช์ไฟฟ้าประเภทหนึ่งที่ใช้กระแสไฟฟ้าควบคุมการทำงานเพื่อเปิดหรือปิดหน้าสัมผัส เมื่อเปิดสวิตช์ 1 จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด ทำให้เกิดแรงแม่เหล็กที่ดึงแกนเหล็กอ่อนเข้ามา กลไกของแกนเหล็กอ่อนจะไปผลักหน้าสัมผัสให้ติดกัน ซึ่งหน้าสัมผัสนี้ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ 2 เมื่อมีอุปกรณ์ที่ต้องการใช้งานเชื่อมต่อกับวงจรอยู่ก็จะสามารถควบคุมอุปกรณ์นั้นได้

การบันทึกข้อมูลแบบแม่เหล็กลักษณะนี้ยังคงมีการใช้งานมาจนถึงปัจจุบัน โดยนำไปใช้บันทึกข้อมูลลงบัตรเอทีเอ็มหรือบัตรเครดิต ซึ่งมีลักษณะเป็นแถบสีดำด้านหลังบัตร



รูปที่ 1.30 แถบแม่เหล็กบนบัตรเครดิตเอทีเอ็ม



กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.6

ให้นักเรียนอธิบายการนำหลักการแม่เหล็กไฟฟ้าไปประยุกต์ใช้กับเครื่องมือเครื่องใช้ต่อไปนี้

- รถไฟฟ้าแม่เหล็ก
- ลำโพง
- กระดิ่งไฟฟ้า
- พัดลม
- ตัวตัดวงจรไฟฟ้า



รูปที่ 1.29 เทปและแผ่นบันทึกข้อมูลแบบแม่เหล็ก



กิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ “รถของเล่นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า”

คำชี้แจง

1. ให้นักเรียนจัดกลุ่ม กลุ่มละ 6 คน และตั้งชื่อกลุ่ม
2. ทำกิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์จากสถานการณ์ที่กำหนดให้
3. การทำกิจกรรมต้องระดมสมองในการสืบค้นความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และความรู้ในกลุ่มสาระการเรียนรู้อื่นๆ โดยนำมาบูรณาการสร้างผลงาน อภิปรายเพื่อแสดงความคิดเห็นโดยใช้เหตุผลในการโต้แย้งจากประจักษ์พยานที่พบตลอดการทำกิจกรรมเพื่อให้ได้ผลงานที่มีคุณภาพ มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ โดยคำนึงถึงประโยชน์ที่จะได้รับการทำกิจกรรม

สถานการณ์

นักเรียนได้รับมอบหมายให้สร้างรถของเล่นเพื่อใช้แข่งขันในงานโรงเรียน โดยรถของเล่นจะต้องใช้หลักการแม่เหล็กไฟฟ้าในการทำให้รถเคลื่อนที่ โดยมีข้อกำหนดดังนี้

1. รถของเล่นต้องสร้างจากวัสดุที่หาได้ง่ายและอยู่รอบตัว หรืออาจทำจากวัสดุเหลือใช้ก็ได้
2. รถของเล่นต้องเคลื่อนที่บนรางที่ทำจากแผ่นพลาสติกฟิวเจอร์บอร์ดที่อยู่ในแนวระดับเป็นระยะทาง 5 เมตร
3. หากต้องการใช้มอเตอร์เป็นส่วนประกอบของรถ ให้นักเรียนประดิษฐ์มอเตอร์อย่างง่ายขึ้นเองโดยไม่ใช้มอเตอร์สำเร็จรูป
4. รถของเล่นที่เคลื่อนที่เข้าเส้นชัยได้เร็วที่สุดจะเป็นผู้ชนะ



สรุปเรื่องแม่เหล็กไฟฟ้า

K nowledge

แม่เหล็กและสนามแม่เหล็ก

- แม่เหล็ก คือ สารแม่เหล็กที่สามารถดูดโลหะบางประเภทได้ มี 2 ขั้ว คือ ขั้วเหนือและขั้วใต้
- บริเวณที่มีแรงกระทำเนื่องจากแม่เหล็ก เรียกว่า สนามแม่เหล็ก เป็นปริมาณเวกเตอร์ที่มีทิศทางจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้
- เส้นสนามแม่เหล็ก คือ เส้นที่แสดงทิศทางของสนามแม่เหล็ก มีทิศพุ่งจากขั้วเหนือไปสู่ขั้วใต้ และจะมีค่ามากที่สุดบริเวณขั้วแม่เหล็ก โดยปริมาณเส้นสนามแม่เหล็กที่ผ่านพื้นที่บริเวณหนึ่ง เรียกว่า ฟลักซ์แม่เหล็ก
- จุดสะเทิน คือ บริเวณที่ไม่มีเส้นสนามแม่เหล็กผ่านหรือสนามแม่เหล็กหักล้างกันจนมีค่าเป็นศูนย์
- ความเข้มสนามแม่เหล็กขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านพื้นที่บริเวณหนึ่ง โดยบริเวณที่มีฟลักซ์แม่เหล็กมากจะมีความเข้มสนามแม่เหล็กสูงกว่าบริเวณที่มีฟลักซ์แม่เหล็กน้อย
- กรณีที่สนามแม่เหล็กมีทิศทางตั้งฉากกับพื้นที่ใด ๆ จะหาความเข้มสนามแม่เหล็กได้จาก $B = \frac{\phi}{A}$
- กรณีที่ทิศทางของสนามแม่เหล็กทำมุม θ ใด ๆ กับระนาบตั้งฉากกับพื้นที่ A จะหาฟลักซ์แม่เหล็กได้จาก $\phi = BA \cos \theta$
- กรณีที่ทิศทางของสนามแม่เหล็กทำมุม θ ใด ๆ กับพื้นที่ A จะหาฟลักซ์แม่เหล็กได้จาก $\phi = BA \sin \theta$

สนามแม่เหล็กโลก

- สนามแม่เหล็กโลก คือ สนามแม่เหล็กที่ห่อหุ้มโลกไว้ ทำหน้าที่ป้องกันอันตรายจากรังสีต่าง ๆ นอกโลก เช่น ลมสุริยะ
- สนามแม่เหล็กโลกเกิดจากการเคลื่อนที่ของโลหะร้อนใต้ผิวโลก โดยบริเวณขั้วโลกเหนือจะเป็นขั้วแม่เหล็กได้ ส่วนบริเวณขั้วโลกใต้จะเป็นขั้วแม่เหล็กเหนือ
- ปรากฏการณ์ออโรราเกิดจากอนุภาคที่มีประจุของลมสุริยะเคลื่อนที่เข้าสู่บรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์บริเวณขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ เมื่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าปะทะกับอะตอมของแก๊สในบรรยากาศ อะตอมของแก๊สคายพลังงานออกมาในรูปของแสง ปรากฏเป็นม่านแสงสีต่าง ๆ บนท้องฟ้า

การเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าในสนามแม่เหล็ก

- เมื่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่เข้าไปในสนามแม่เหล็ก จะเกิดแรงแม่เหล็กกระทำต่ออนุภาคให้มีทิศทางการเคลื่อนที่เบนไปจากเดิม โดยทิศทางของแรงแม่เหล็กหาได้จากกฎมือขวาและขนาดของแรงแม่เหล็กหาได้จากสมการ $F_B = qvB \sin \theta$
- เมื่ออนุภาคเคลื่อนที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก จะเกิดแรงกระทำที่มีขนาด $F_B = qvB$ ในทิศเข้าสู่ศูนย์กลางของการเคลื่อนที่ตลอดเวลา ทำให้อนุภาคเคลื่อนที่เป็นวงกลม ทิศความเร็วคงที่ของวงกลมได้จากสมการ $r = \frac{mv}{qB}$
- เมื่ออนุภาคเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่มีทิศทางทำมุมใด ๆ กับสนามแม่เหล็ก จะทำให้อนุภาคเคลื่อนที่เป็นรูปเกลียว
- เมื่ออนุภาคเคลื่อนที่ขนานกับสนามแม่เหล็ก แรงแม่เหล็กที่กระทำต่ออนุภาคจะมีค่าเป็นศูนย์ จึงไม่มีผลทำให้อนุภาคเบี่ยงเบนทิศทางการเคลื่อนที่ไปจากเดิม

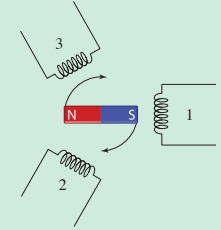
ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก

- อันส์ คริสเตียน เออร์สเทด พบว่า เมื่อมีกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านลวดตัวนำ จะเกิดสนามแม่เหล็กรอบลวดตัวนำ
- สำหรับลวดตัวนำตรง ทิศทางของสนามแม่เหล็กหาได้โดยใช้กฎมือขวา ให้นิ้วหัวแม่มือแทนทิศทางของกระแสไฟฟ้า นิ้วมืองอที่เหลือชี้การรอบเส้นลวดแทนทิศทางของสนามแม่เหล็ก และหาขนาดของสนามแม่เหล็กได้จากสมการ $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d}$
- สำหรับโซลีนอยด์ ทิศทางของสนามแม่เหล็กหาได้จากกฎมือขวา ให้นิ้วหัวแม่มือชี้ตามทิศของกระแสไฟฟ้า จะได้ทิศทางของสนามแม่เหล็กตามนิ้วหัวแม่มือ และหาขนาดของสนามแม่เหล็กได้จากสมการ $B = \mu_0 n I = \mu_0 \frac{N}{L} I$
- เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำตรงที่วางอยู่ในสนามแม่เหล็ก จะเกิดแรงแม่เหล็กกระทำต่อลวดตัวนำให้เคลื่อนที่ ทิศทางของแรงแม่เหล็กได้จากกฎมือขวา โดยให้นิ้วมืองอ 4 แทนทิศของกระแสไฟฟ้า กวาดนิ้วทั้ง 4 ไปยังทิศของสนามแม่เหล็ก นิ้วหัวแม่มือจะแสดงทิศทางของแรงแม่เหล็ก และหาขนาดของแรงแม่เหล็กได้จากสมการ $F_B = ILB$
- กรณีที่ลวดตัวนำวางตัวทำมุม θ ใด ๆ กับสนามแม่เหล็กจะหาขนาดของแรงแม่เหล็กได้จากสมการ $F_B = ILB \sin \theta$
- เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำตรง 2 เส้นที่วางขนานกัน จะเกิดแรงแม่เหล็กกระทำต่อเส้นลวดทั้งสอง โดยจะเกิดแรงดึงดูด เมื่อกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำไหลในทิศทางเดียวกัน และจะเกิดแรงผลักเมื่อกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำไหลในทิศตรงข้ามกัน ขนาดของแรงหาได้จากสมการ $F = \frac{\mu_0 I_1 I_2 L}{2\pi d}$
- เมื่อนำขดลวดสี่เหลี่ยมวางในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ แล้วให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด จะเกิดโมเมนต์ของแรงคู่ควบกระทำต่อขดลวดให้เกิดการหมุน หาโมเมนต์ของแรงคู่ควบได้จากสมการ $M = NIAB \cos \theta$ หลักการนี้ นำไปใช้อธิบายการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและแกล่นวมอเตอร์ได้

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

- เมื่อหมุนขดลวดตัดผ่านสนามแม่เหล็ก จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็ก และเกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ
- เมื่อมีกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นก็จะเกิดความต่างศักย์ระหว่างปลายทั้งสองของขดลวด ซึ่งทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำหรืออีเอ็มเอฟเหนี่ยวนำ
- กฎของฟาราเดย์ มีใจความว่า “ขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเป็นปริมาณโดยตรงกับอัตราการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านขดลวดนั้น” เขียนเป็นสมการได้ดังนี้ $E = \frac{\Delta \phi_B}{\Delta t}$ หรือ $E = N \frac{\Delta \phi_B}{\Delta t}$ เมื่อขดลวดมีจำนวน N รอบ
- กฎของเลนซ์ มีใจความว่า “ทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะมีทิศเพื่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำไหลไปในทิศที่ทำให้เกิดผลต่อต้านการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็ก” เขียนเป็นสมการได้ดังนี้ $E = -\frac{\Delta \phi_B}{\Delta t}$ หรือ $E = -N \frac{\Delta \phi_B}{\Delta t}$ เมื่อขดลวดมีจำนวน N รอบ และเครื่องหมายลบแสดงถึงทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ต้านการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็ก
- แรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับจะเกิดขึ้นขณะที่มอเตอร์กำลังหมุน โดยมีทิศตรงข้ามกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าเดิม ถ้ามอเตอร์ปิดหรือแรงดันไฟฟ้าตกจะทำให้มอเตอร์หมุนช้าลง แรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับจะมีค่าน้อยลง ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้ามอเตอร์มีค่ามากกว่าปกติ มอเตอร์อาจร้อนและไหม้ได้ หาแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับได้จากสมการ $I = \frac{E - e}{R + r}$
- เครื่องกำเนิดไฟฟ้า คือ เครื่องมือที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า ใช้หลักการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าจากการหมุนขดลวดให้ตัดผ่านสนามแม่เหล็กหรือหมุนแท่งแม่เหล็กให้สนามแม่เหล็กตัดผ่านขดลวด

- เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส จะมีขดลวดตัวนำ 3 ชุด ระบายของขดลวดแต่ละชุดทำมุม 120 องศาซึ่งกันและกัน และใช้การหมุนแท่งแม่เหล็กแทนการหมุนขดลวด ดังรูป
- การส่งไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าจะใช้ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 3 สาย ที่ความต่างศักย์ 230,000 โวลต์ เมื่อถึงสถานีย่อยจะลดความต่างศักย์ลงเหลือ 69,000 โวลต์ จากนั้นจะส่งมายังหม้อแปลงไฟฟ้าที่จะลดความต่างศักย์ลงเหลือ 220 โวลต์ และส่งไฟฟ้าแบบ 3 เฟส 4 สาย แล้วจึงจ่ายไฟฟ้าไปยังบ้านเรือนซึ่งใช้ไฟฟ้าเฟสเดียว โดยต่อสายไฟฟ้า 1 เฟส คู่กับสายกลาง



- หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ใช้แปลงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้าสำหรับไฟฟ้ากระแสสลับให้เพิ่มขึ้นหรือลดลง ความสัมพันธ์ของปริมาณต่าง ๆ ของหม้อแปลงหาได้จากสมการ $\frac{E_1}{E_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$
- และหาประสิทธิภาพของหม้อแปลงได้จากสมการ $\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\%$

ไฟฟ้ากระแสสลับ

- ไฟฟ้ากระแสสลับเกิดจากการเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าจากการหมุนขดลวดตัดกับสนามแม่เหล็ก โดยแรงเคลื่อนไฟฟ้าความต่างศักย์ไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในรูปฟังก์ชันไซน์ ดังสมการ

$$e = E_m \sin \omega t \quad v = V_m \sin \omega t \quad i = I_m \sin \omega t$$

- หากำลังไฟฟ้าที่เวลาใด ๆ ได้จากสมการ $P_m = I_m V_m = I_m^2 R = \frac{V_m^2}{R}$
- หากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยได้จากสมการ $P_{avg} = \frac{1}{2} I_m V_m = \frac{1}{2} I_m^2 R = \frac{1}{2} \frac{V_m^2}{R}$
- ค่ารากที่สองของกำลังสองเฉลี่ยบางครั้งอาจเรียกว่า ค่ายังผลหรือค่ามีเตอร์
- ค่ารากที่สองของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าหาได้จากสมการ $I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$
- ค่ารากที่สองของกำลังสองเฉลี่ยของความต่างศักย์ไฟฟ้าหาได้จากสมการ $V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$
- การเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงจะใช้วงจรเรียงกระแส มี 2 ประเภท ได้แก่ วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นและวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

แม่เหล็กไฟฟ้ากับชีวิตประจำวัน

- จากหลักการของแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถนำไปประยุกต์ใช้สร้างเครื่องมือเครื่องใช้ต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน เช่น กล้องไฟฟ้า กระดิ่งไฟฟ้า ลำโพง โทรศัพท์ รถไฟฟ้า ซึ่งช่วยให้มนุษย์ดำรงชีวิตได้สะดวกสบายมากยิ่งขึ้น

Process

1. สังเกต อธิบาย และคำนวณเส้นสนามแม่เหล็ก ฟลักซ์แม่เหล็ก และสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำเส้นตรงและโซเลนอยด์
2. อธิบายและคำนวณแรงแม่เหล็กที่กระทำต่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก แรงแม่เหล็กที่กระทำต่อเส้นลวดที่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน และแรงระหว่างเส้นลวดตัวนำคู่ขนานที่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน
3. อธิบายหลักการทำงานของแกลวนอมิเตอร์ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส การแปลงอีเอ็มเอฟของหม้อแปลง และคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
4. สังเกตและอธิบายการเกิดอีเอ็มเอฟเหนี่ยวนำ กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ และคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
5. อธิบายและคำนวณความต่างศักย์อาร์เอ็มเอสและกระแสไฟฟ้าอาร์เอ็มเอส

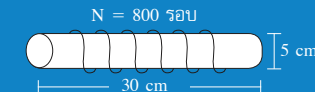
Attribute

1. มีวินัย
2. ใฝ่เรียนรู้
3. มุ่งมั่นในการทำงาน

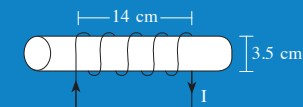


คำถามท้าทายหน่วยการเรียนรู้

1. ก่อตั้งสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ด้านละ 1 เมตร วางอยู่ในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอขนาด 5 เทสลา โดยที่ทิศของสนามแม่เหล็กตั้งฉากกับระนาบของกึ่งกลางโดด้านหนึ่ง ฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านด้านแต่ละด้านของกล่องสี่เหลี่ยมมีค่าเท่าไร
2. ขดลวดตัวนำวงกลมรัศมี 20 เซนติเมตร วางอยู่ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ 8 เทสลา ฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านขดลวดเมื่อระนาบขดลวดทำมุม 60 องศา กับสนามแม่เหล็ก เท่ากับเท่าไร
3. อิเล็กตรอนตัวหนึ่งวิ่งด้วยความเร็ว 2.5×10^6 เมตรต่อวินาที โดยมีทิศการเคลื่อนที่ขนานกับทิศของสนามแม่เหล็ก แรงที่สนามแม่เหล็กกระทำต่ออิเล็กตรอนมีค่าเท่าไร กำหนดให้ สนามแม่เหล็กมีขนาด 0.25 เทสลา
4. สนามแม่เหล็กมีขนาด 3.5×10^{-23} เทสลา มีทิศพุ่งตั้งฉากลงไปในกระดาษ เมื่อยิงอิเล็กตรอนด้วยความเร็ว 5×10^7 เมตรต่อวินาที เข้าไปในทิศตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก จะมีแรงกระทำต่ออิเล็กตรอนด้วยขนาดเท่าไร
5. โปรตอนมีมวล 1.67×10^{-27} กิโลกรัม มีประจุ 1.6×10^{-19} คูลอมบ์ ถูกเร่งด้วยเครื่องเร่งอนุภาคที่มีความเข้มของสนามแม่เหล็กภายในเครื่องเท่ากับ 1.67×10^{-2} เทสลา ปรากฏว่า โปรตอนเคลื่อนที่เป็นแนวโค้งที่มีรัศมี 0.5 เมตร โปรตอนเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่าไร
6. ถ้าให้อนุภาคโปรตอนและอนุภาคแอลฟาเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากัน เข้าไปในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอเดียวกัน โดยทิศของความเร็วตั้งฉากกับทิศของสนามแม่เหล็ก อัตราส่วนของรัศมีการเคลื่อนที่ของโปรตอนและแอลฟามีค่าเท่าไร เมื่ออนุภาคแอลฟามีประจุบวกเป็น 2 เท่าของโปรตอน และมีมวลเป็น 4 เท่าของโปรตอน
7. วางลวดตัวนำตรงยาว 0.30 เมตร ไว้ในสนามแม่เหล็ก เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลในลวดนี้ 10 มิลลิแอมแปร์ จากทิศตะวันตกไปยังทิศตะวันออก ลวดตัวนำจะได้รับแรงกระทำ 3×10^{-3} นิวตัน ในทิศเหนือ ขนาดและทิศทางของสนามแม่เหล็กจะเป็นอย่างไร
8. เส้นลวดยาว 1 เมตร วางทำมุม 60 องศา กับสนามแม่เหล็กขนาด 3 เทสลา เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้า 2 แอมแปร์ เข้าไปในเส้นลวด จะเกิดแรงเป็นกี่เท่าของเส้นลวดขณะทำมุม 30 องศา กับสนามแม่เหล็กเดิม
9. จากรูป ขดลวดโซเลนอยด์มีจำนวน 800 รอบ กระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขนาด 0.06 เทสลา มีค่าเท่าไร



10. กระแสไฟฟ้า 4.3 แอมแปร์ ไหลผ่านขดลวดโซเลนอยด์จำนวน 620 รอบ ยาว 14 เซนติเมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 เซนติเมตร ทิศของสนามแม่เหล็กและขนาดของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีค่าเท่าไร



11. ขดลวดตัวนำรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีพื้นที่ 10 ตารางเซนติเมตร วางอยู่ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กขนาด 5 เทสลา ถ้าจำนวนรอบของขดลวดตัวนำเท่ากับ 400 รอบ โมเมนต์ของแรงคู่ควบที่เกิดขึ้นมีค่าเท่าไร เมื่อระนาบขดลวดทำมุม 60 องศา กับแนวสนามแม่เหล็ก และค่าของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านขดลวดเท่ากับ 6 แอมแปร์
12. ขดลวดวงกลมมีพื้นที่หน้าตัด 50 ตารางเซนติเมตร มีขดลวดพันอยู่ 1,000 รอบ และมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน 1 แอมแปร์ ถ้าวางขดลวดไว้ในสนามแม่เหล็กที่มีความเข้ม 1 เทสลา โมเมนต์สูงสุดของขดลวดจะมีค่ากี่นิวตัน-เมตร
13. เมื่อต่อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเข้ากับแรงเคลื่อนไฟฟ้าขนาด 40 โวลต์ ความต้านทานของขดลวด 0.7 โอห์ม และมอเตอร์นี้กินกระแสไฟฟ้า 10 แอมแปร์ แรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับของมอเตอร์จะมีค่าเท่าไร
14. แบตเตอรี่ขนาด 6 โวลต์ มีความต้านทานภายใน 1 โอห์ม ต่อเข้ากับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่มีความต้านทานของขดลวดเท่ากับ 2 โอห์ม ในขณะที่มอเตอร์หมุน สามารถวัดกระแสไฟฟ้าได้ 0.5 แอมแปร์ แรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับของมอเตอร์มีค่าเท่าไร
15. ต้องการแปลงไฟฟ้าจาก 220 โวลต์ เป็นไฟฟ้า 60 โวลต์ โดยหม้อแปลงไฟฟ้ามีขดลวดปฐมภูมิจำนวน 110 รอบ อยากทราบว่าหม้อแปลงไฟฟ้าจะมีขดลวดทุติยภูมิจำนวนเท่าไร
16. หม้อแปลงไฟฟ้ามีประสิทธิภาพ 100 เปอร์เซ็นต์ ขดลวดปฐมภูมิมีจำนวน 100 รอบ ต่อกับไฟฟ้ากระแสสลับที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 200 โวลต์ ขดลวดทุติยภูมิมีจำนวน 200 รอบ และต่อกับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 400 วัตต์ ถ้าขดลวดทุติยภูมิไม่มีความต้านทาน เครื่องใช้ไฟฟ้านี้จะมีความต้านทานกี่โอห์ม
17. หม้อแปลงไฟฟ้าแบบแปลงขึ้นตัวหนึ่ง แปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าจาก 115 โวลต์ ไปเป็น 230 โวลต์ กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขดลวดปฐมภูมิมีค่าเท่าไร เมื่อกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดทุติยภูมิมีขนาด 2 แอมแปร์
18. หม้อแปลงไฟฟ้ามีประสิทธิภาพ 85 เปอร์เซ็นต์ แปลงไฟฟ้าจาก 20 โวลต์ เป็น 200 โวลต์ ถ้าต่อปลายด้านทุติยภูมิกับโหลด 200 โวลต์ 80 วัตต์ จะมีกระแสไฟฟ้าในขดลวดปฐมภูมิเท่าไร
19. วงจรไฟฟ้ากระแสสลับต่อกับตัวต้านทานขนาด 50 โอห์ม ถ้าวงจรมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุดขนาด 220 โวลต์ ทำงานที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานและกำลังไฟฟ้าสูงสุดของวงจรนี้มีค่าเท่าไร
20. วงจรไฟฟ้ากระแสสลับต่อแบบอนุกรมกับตัวต้านทาน R ขนาด 20 กิโลโอห์ม พบว่า ความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุดมีค่า 220 โวลต์
 - 20.1 จะวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าได้เท่าไร
 - 20.2 กระแสไฟฟ้าสูงสุดในวงจรมีค่าเท่าไร
 - 20.3 ค่ายังผลของกระแสไฟฟ้ามีค่าเท่าไร
 - 20.4 กำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่าเท่าไร
 - 20.5 แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เวลา 2 วินาที มีค่าเท่าไร ถ้าขดลวดในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับหมุนด้วยคาบ 3 วินาที