คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

ฟิสิกส์ **กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 2 **เวลา 60 ชั่วโมง จำนวน 1.5 หน่วยกิต**

ศึกษาเกี่ยวกับประจุไฟฟ้า กฎของคูลอมบ์ สนามไฟฟ้า ศักย์ไฟฟ้า ตัวเก็บประจุ การประยุกต์ใช้ไฟฟ้าสถิตในชีวิตประจำวัน อิเล็กตรอนอิสระ กฎของโอห์ม แหล่งกำเนิดไฟฟ้า วงจรไฟฟ้าในบ้าน พลังงาน และพลังงานทดแทน

โดยจัดการเรียนการสอนให้นักเรียนได้ศึกษา ค้นคว้า นำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันควบคู่ไปกับคุณธรรม และจริยธรรม และมีคุณลักษณะอันพึงประสงค์ ได้แก่ การใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และจิตวิทยาศาสตร์ในการสืบเสาะหาความรู้และการแก้ปัญหา มีความรอบคอบ มีความรับผิดชอบ พร้อมทั้งตระหนักว่าวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน

ผลการเรียนรู้

1. ทดลองและอธิบายการทำวัตถุที่เป็นกลางทางไฟฟ้าให้มีประจุไฟฟ้าโดยการขัดสีกันและการเหนี่ยวนำไฟฟ้าสถิต
2. อธิบายและคำนวณแรงไฟฟ้าตามกฎของคูลอมบ์
3. อธิบายและคำนวณสนามไฟฟ้าและแรงไฟฟ้าที่กระทำกับอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าที่อยู่ในสนามไฟฟ้า รวมทั้งหาสนามไฟฟ้าลัพธ์เนื่องจากระบบจุดประจุโดยรวมกันแบบเวกเตอร์
4. อธิบายและคำนวณพลังงานศักย์ไฟฟ้า ศักย์ ไฟฟ้า และความต่างศักย์ระหว่างสองตำแหน่งใดๆ
5. อธิบายส่วนประกอบของตัวเก็บประจุ ความสัมพันธ์ระหว่างประจุไฟฟ้า ความต่างศักย์ และความจุของตัวเก็บประจุ และอธิบายพลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ และความจุสมมูล รวมทั้งคำนวณปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง
6. นำความรู้เรื่องไฟฟ้าสถิตไปอธิบายหลักการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าบางชนิด และปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวัน
7. อธิบายการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระและกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำ ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำกับความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนอิสระ ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในลวดตัวนำและพื้นที่หน้าตัดของลวดตัวนำ และคำนวณปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง
8. อธิบายกฎของโอห์ม ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับความยาว พื้นที่หน้าตัด และสภาพต้านทานของตัวนำโลหะที่อุณหภูมิคงตัว และคำนวณปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งอธิบายและคำนวณความต้านทานสมมูลเมื่อนำตัวต้านทานมาต่อกันแบบอนุกรมและแบบขนาน
9. ทดลอง อธิบายและคำนวณอีเอ็มเอฟของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง รวมทั้งอธิบายและคำนวณพลังงานไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า
10. ทดลองและคำนวณอีเอ็มเอฟสมมูลจากการต่อแบตเตอรีแบบอนุกรมและแบบขนาน รวมทั้งคำนวณปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งประกอบด้วยแบตเตอรีและความต้านทาน
11. อธิบายการเปลี่ยนพลังงานทดแทนเป็นพลังงานไฟฟ้า รวมทั้งสืบค้นและอภิปรายเกี่ยวกับเทคโนโลยีอื่นๆ ที่นำมาแก้ปัญหาหรือตอบสนองความต้องการทางด้านพลังงานไฟฟ้า

รวมทั้งหมด 11 ผลการเรียนรู้

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ฟิสิกส์

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 2

ตามผลการเรียนรู้
กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

ผู้เรียบเรียง วรรษมล เสนาะคำ

ผู้ตรวจ ผศ.มาลี สุทธิโอภาส

รศ.มานัส มงคลสุข

ผศ.ปรีดา เพชรมีศรี

บรรณาธิการ ศ. ดร.พิเชษฐ์ ลิ้มสุวรรณ

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ฟิสิกส์

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 2

ตามผลการเรียนรู้
กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

ผู้เรียบเรียง วรรษมล เสนาะคำ
ผู้ตรวจ ผศ.มาลี สุทธิโอภาส
รศ.มานัส มงคลสุข
ผศ.ปรีดา เพชรมีศรี
บรรณาธิการ ศ. ดร.พิเชษฐ์ ลิ้มสุวรรณ

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ
วรรษมล เสนาะคำ.
หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 2.--กรุงเทพฯ : แม็คเอ็ดดูเคชั่น, 2562.
152 หน้า.
1. ฟิสิกส์--การศึกษาและการสอน (มัธยมศึกษา).
I. ชื่อเรื่อง.
530.07
ISBN 978-616-345-153-8

พิมพ์ครั้งที่ 1
จำนวน 8,000 เล่ม
สงวนลิขสิทธิ์ : มกราคม 2563

สงวนลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย ห้ามลอกเลียน ไม่ว่าจะเป็นส่วนหนึ่งส่วนใดของหนังสือเล่มนี้ นอกจากจะได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษร

จัดทำโดย
IMACEDUCATION
ส่งธนาณัติสั่งจ่าย **ไปรษณีย์ลาดพร้าว**
ในนาม **บริษัท แม็คเอ็ดดูเคชั่น จำกัด**
9/99 อาคารแม็ค ซอยลาดพร้าว 38 ถนนลาดพร้าว
แขวงจันทรเกษม เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
โทร. 0-2512-0661, 0-2938-2022-7 แฟกซ์ 0-2938-2028
www.MACeducation.com

พิมพ์ที่ : บริษัท พงษ์วรินการพิมพ์ จำกัด

คำชี้แจง

ตามที่กระทรวงศึกษาธิการโดยสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานได้ดำเนินการทบทวนหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 โดยในระยะแรกให้ปรับปรุงมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัด กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสาระภูมิศาสตร์ในกลุ่มสาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม สำหรับใช้ในปีการศึกษา 2561 ในชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 และ 4 และชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 และ 4 ปีการศึกษา 2562 ให้ใช้ในชั้นประถมศึกษาปีที่ 1, 2, 4 และ 5 และชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1, 2, 4 และ 5 และตั้งแต่ปีการศึกษา 2563 เป็นต้นไปให้ใช้ในทุกชั้นเรียน ซึ่งการปรับหลักสูตรครั้งนี้มีเป้าหมายสำคัญเพื่อให้โรงเรียนสามารถจัดกระบวนการเรียนรู้ที่จะช่วยให้ผู้เรียนมีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ สามารถวิเคราะห์ปัญหาหรือสถานการณ์ได้อย่างรอบคอบ สามารถใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมในการบูรณาการกับความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาหรือพัฒนาด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่นำไปสู่การคิดค้นสิ่งประดิษฐ์หรือสร้างสรรค์นวัตกรรม นอกจากนี้ยังให้เกิดการรู้เรื่องภูมิศาสตร์ (Geo-literacy) ทั้งด้านความสามารถทางภูมิศาสตร์ กระบวนการทางภูมิศาสตร์ และทักษะทางภูมิศาสตร์ เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจได้อย่างถูกต้องและนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการดำเนินชีวิต

ด้วยตระหนักถึงความสำคัญของการปรับเปลี่ยนหลักสูตรข้างต้น บริษัท แม็คเอ็ดดูเคชั่น จำกัด จึงได้มอบหมายให้ผู้เชี่ยวชาญด้านหลักสูตร ด้านการพัฒนาสื่อการเรียนรู้ และด้านการวัดและประเมินผล ได้ปรับปรุงพัฒนาหนังสือเรียน ให้สอดคล้องมาตรฐานการเรียนรู้ 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 สิ่งที่เพิ่มเติมในหนังสือเรียนแม็ค 4.0 นี้ คือ กิจกรรมบูรณาการวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรมศาสตร์ (STEM) ตามเป้าหมายสำคัญของการปรับหลักสูตรครั้งนี้ ซึ่งผู้เรียนและผู้สอนสามารถนำไปประยุกต์หรือดัดแปลงให้เหมาะสมกับบริบทของโรงเรียนและผู้เรียน การศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมโดยใช้เทคโนโลยีการสื่อสารและสารสนเทศ (ICT) เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องค้นคว้าเพิ่มเติม ดังนั้นในหนังสือเรียนแม็ค 4.0 จึงได้มีการเสริมเนื้อหาเพิ่มเติมที่ได้ผ่านการคัดกรองมาแล้วว่าเหมาะสมกับการเรียนรู้ แทรกไว้ในเนื้อหาบางหน่วย โดยใช้สัญลักษณ์ ผู้เรียนสามารถใช้สมาร์ตโฟนสแกน AR Code โดยใช้แอปพลิเคชัน SnapLearn ท้ายหน่วยการเรียนรู้ทุกหน่วยจะมีการสรุปบทเรียนสำหรับให้ผู้เรียนได้ใช้เป็นข้อมูลสำคัญในการตรวจสอบองค์ความรู้ที่ควรได้รับการพัฒนาหลังจากเสร็จสิ้นการเรียน หรือเป็นสาระสำคัญที่ควรจดจำและทำความเข้าใจให้ถ่องแท้ ซึ่งนับว่าเป็นส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งในการปรับปรุงหนังสือเรียนครั้งนี้ที่ได้พัฒนาให้ชัดเจนยิ่งขึ้น

บริษัท แม็คเอ็ดดูเคชั่น จำกัด หวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเรียน แบบฝึกหัด คู่มือครู และแผนการจัดการเรียนรู้ที่ได้ปรับปรุงใหม่ชุดนี้ จะมีคุณค่า มีประโยชน์ และช่วยส่งเสริมการปฏิรูปการศึกษารอบนี้ เพื่อเป็นรากฐานสำคัญที่จะช่วยทำให้ประเทศไทยก้าวสู่ประเทศที่มีการพัฒนาอย่างยั่งยืน ด้วยการมีพลเมืองที่มีคุณภาพ มีความคิดสร้างสรรค์ ตามเจตนารมณ์ของการปรับปรุงหลักสูตรครั้งนี้ และนโยบายประเทศไทย 4.0

บริษัท แม็คเอ็ดดูเคชั่น จำกัด

วิธีการใช้ SnapLearn

1. ดาวน์โหลดแอปพลิเคชัน SnapLearn
2. เปิดใช้งานแอปพลิเคชัน SnapLearn
   - 2.1 กดปุ่มตรงกลาง เพื่อสแกนบาร์โค้ด ISBN ที่ปกหลังมุมล่างด้านขวามือ
   - 2.2 กรอกชื่อหนังสือเรียนลงในช่องค้นหา "Physics M.5 Vol.2"
3. กดดาวน์โหลดหนังสือเรียน
4. สแกนหน้าหนังสือเรียนที่มีสัญลักษณ์

คำนำ

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 2 ได้พัฒนาและปรับทั้งเนื้อหา กิจกรรมการทดลอง ภาพประกอบ กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ กิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ และคำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้ให้ตรงตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

ผู้เรียบเรียงได้ศึกษาผลการเรียนรู้ กระบวนการจัดการเรียนรู้ และแนวทางในการวัดและประเมินผล นำมาจัดทำโครงสร้างสำหรับหลักสูตรชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยเลือกเนื้อหา กระบวนการเรียนการสอน การทำกิจกรรม ทักษะการคิด การวัดผลและประเมินผล ผ่านการนำเสนอด้วยการเรียนรู้แบบลงมือปฏิบัติ (Active Learning) ที่เหมาะสมกับผู้เรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เพื่อพัฒนาผู้เรียนให้เกิดการเรียนรู้ เข้าใจหลักการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ วิธีการสำรวจตรวจสอบข้อมูล การคิดแก้ปัญหา ตลอดจนการเสริมสร้างจิตวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้ยังมุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้ฝึกฝนและพัฒนาให้เกิดทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ที่สำคัญ ด้วยกิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ ที่ช่วยให้ผู้เรียนมีทักษะในการแสวงหาความรู้ด้วยตนเอง การคิดสร้างสรรค์ การคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหา การทำงานร่วมกัน นำไปสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์หรือนวัตกรรมที่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการศึกษาและนำไปใช้ในชีวิตประจำวัน ซึ่งเป็นคำตอบของการศึกษาวิชาวิทยาศาสตร์

หนังสือเรียนเล่มนี้ประกอบด้วย 3 หน่วยการเรียนรู้ แต่ละหน่วยการเรียนรู้ได้สรุปสาระการเรียนรู้ ระบุผลการเรียนรู้ มีภาพและคำถามนำเข้าสู่บทเรียน แนวคิดสำคัญของแต่ละเรื่อง กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ กิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ และคำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้ เพื่อเป็นการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียน

หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการเรียนการสอนตามแนวปฏิรูปการศึกษา และมีคุณภาพตรงตามผลการเรียนรู้ หากมีข้อบกพร่องประการใด ผู้เรียบเรียงขอน้อมรับคำแนะนำด้วยความขอบคุณยิ่ง

วรรษมล เสนาะคำ

สารบัญ

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 ไฟฟ้าสถิต 1

1. ประจุไฟฟ้า 3
   - 1.1 การถ่ายเทประจุไฟฟ้า 4
   - 1.2 อิเล็กโทรสโกป 8
2. กฎของคูลอมบ์ 13
3. สนามไฟฟ้า 19
   - 3.1 สนามไฟฟ้าของจุดประจุ 20
   - 3.2 สนามไฟฟ้าของหลายประจุ 23
   - 3.3 จุดสะเทิน 26
   - 3.4 สนามไฟฟ้าคงที่ 28
4. ศักย์ไฟฟ้า 31
   - 4.1 ศักย์ไฟฟ้าของจุดประจุ 32
   - 4.2 ศักย์ไฟฟ้าในสนามไฟฟ้าคงที่ 38
   - 4.3 ศักย์ไฟฟ้าและสนามไฟฟ้าของตัวนำทรงกลม 40
5. ตัวเก็บประจุ 44
   - 5.1 ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ 45
   - 5.2 การต่อตัวเก็บประจุ 48
6. การประยุกต์ใช้ไฟฟ้าสถิตในชีวิตประจำวัน 53

คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้ 60

หน่วยการเรียนรู้ที่ 2 ไฟฟ้ากระแส 63

1. กระแสไฟฟ้า 65
2. กฎของโอห์ม 72
   - 2.1 สภาพนำไฟฟ้าและสภาพต้านทานไฟฟ้า 76
   - 2.2 ตัวต้านทาน 81
   - 2.3 การต่อตัวต้านทาน 84
3. แหล่งกำเนิดไฟฟ้า 91
   - 3.1 แรงเคลื่อนไฟฟ้า 93
   - 3.2 การต่อเซลล์ไฟฟ้า 97
   - 3.3 กำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้า 101
4. วงจรไฟฟ้าในบ้าน 105
   - 4.1 วงจรไฟฟ้าในบ้าน 106
   - 4.2 อุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องใช้ไฟฟ้า 107
   - 4.3 การใช้ไฟฟ้าอย่างปลอดภัย 108

คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้ 114

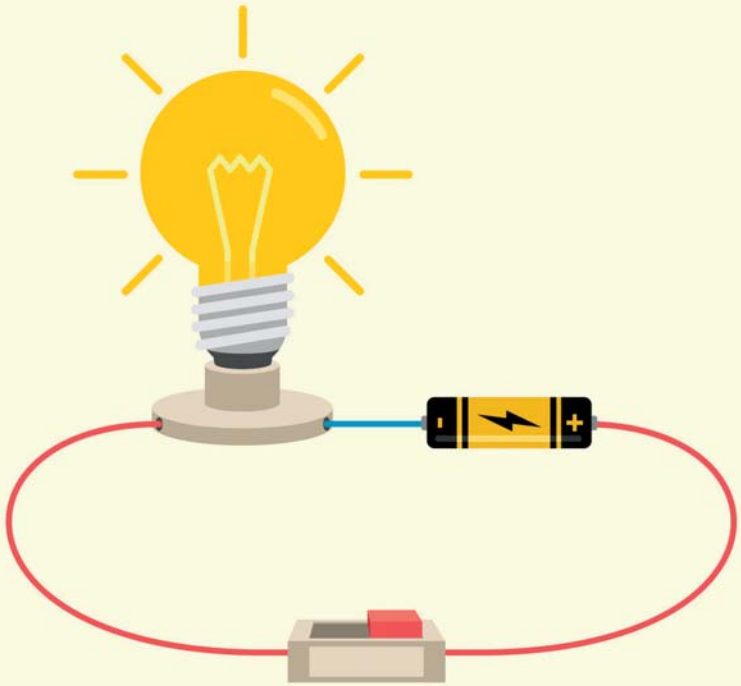
หน่วยการเรียนรู้ที่ 3 พลังงานทดแทน 117

1. พลังงาน 119
2. พลังงานทดแทน 123
   - 2.1 ประเภทของพลังงานทดแทน 124
   - 2.2 ประโยชน์จากพลังงานทดแทน 132

คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้ 136

บรรณานุกรม 137

อภิธานศัพท์ 139



หน่วยการเรียนรู้ที่

1

ไฟฟ้าสถิต

สาระการเรียนรู้

1. ประจุไฟฟ้า
2. กฎของคูลอมบ์
3. สนามไฟฟ้า
4. ศักย์ไฟฟ้า
5. ตัวเก็บประจุ
6. การประยุกต์ใช้ไฟฟ้าสถิตในชีวิตประจำวัน

ตัวชี้วัดชั้นปี

1. ทดลอง และอธิบายการทำวัตถุที่เป็นกลางทางไฟฟ้าให้มีประจุไฟฟ้าโดยการขัดสีกันและการเหนี่ยวนำไฟฟ้าสถิต
2. อธิบาย และคำนวณแรงไฟฟ้าตามกฎของคูลอมบ์
3. อธิบาย และคำนวณสนามไฟฟ้าและแรงไฟฟ้าที่กระทำกับอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าที่อยู่ในสนามไฟฟ้า รวมทั้งหาสนามไฟฟ้าลัพธ์เนื่องจากระบบจุดประจุโดยรวมกันแบบเวกเตอร์
4. อธิบาย และคำนวณพลังงานศักย์ไฟฟ้า ศักย์ไฟฟ้าและความต่างศักย์ระหว่างสองตำแหน่งใด ๆ
5. อธิบายส่วนประกอบของตัวเก็บประจุความสัมพันธ์ระหว่างประจุไฟฟ้า ความต่างศักย์และความจุของตัวเก็บประจุ และอธิบายพลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ และความจุสมมูล รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
6. นำความรู้เรื่องไฟฟ้าสถิตไปอธิบายหลักการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าบางชนิด และปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวัน

ไฟฟ้าสถิต (electrostatics) สาขาหนึ่งของวิชาฟิสิกส์ที่ศึกษาเกี่ยวกับประจุไฟฟ้าที่อยู่นิ่งหรือสะสมบนผิววัตถุหนึ่งๆ เมื่อปริมาณประจุไฟฟ้าบวกและลบบนผิววัสดุมีไม่เท่ากัน จะทำให้เกิดแรงดึงดูด แรงผลัก หรืออาจเกิดประกายไฟหากประจุไฟฟ้านั้นเกิดการเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง เช่น การเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าจากก้อนเมฆลงสู่พื้นดินทำให้เกิดฟ้าผ่า ซึ่งเป็นประกายไฟขนาดใหญ่พาดผ่านจากท้องฟ้าลงมายังพื้นดิน

ประจุไฟฟ้านั้นได้มีการค้นพบมาตั้งแต่หลายร้อยปีก่อนคริสต์ศักราชแล้ว โดยทาลีส แห่งมิเลทัส (Thales of Miletus) นักปราชญ์ชาวกรีก ได้บังเอิญนำแท่งอำพันมาทำความสะอาดโดยถูกับเสื้อขนสัตว์ที่เขาสวมอยู่ ปรากฏว่าแท่งอำพันสามารถดูดวัตถุเบาๆ ได้ ซึ่งเป็นการค้นพบประจุไฟฟ้าเป็นครั้งแรก

และเมื่อ พ.ศ. 2087 วิลเลียม กิลเบิร์ต (William Gilbert) นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษ ได้ศึกษาหลักการไฟฟ้าสถิตโดยนำเอาผ้าแพรและผ้าขนสัตว์มาถูกับแท่งแก้ว ปรากฏว่าประจุที่เกิดขึ้นบนแท่งแก้วมีความแตกต่างกัน แสดงว่าการขัดสีระหว่างวัตถุสองชนิดจะทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายประจุได้แตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุที่นำมาขัดสี

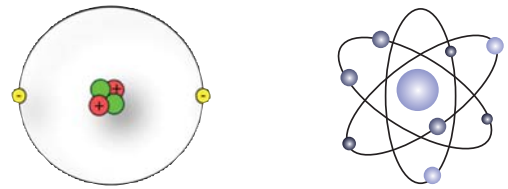
การศึกษาและค้นพบเกี่ยวกับไฟฟ้าสถิตอย่างต่อเนื่อง ทำให้ปัจจุบันได้มีการนำหลักการไฟฟ้าสถิตไปใช้ประโยชน์ในหลายๆ ด้านซึ่งนักเรียนจะได้ศึกษาในบทเรียนนี้

1. ประจุไฟฟ้า

แนวคิดสำคัญ

ประจุไฟฟ้าเป็นพื้นฐานสำคัญของไฟฟ้าสถิต ซึ่งเป็นตัวกำหนดอำนาจทางไฟฟ้าของวัตถุใดๆ ว่าจะมีประจุบวกหรือประจุลบ ประจุไฟฟ้าในวัตถุสามารถถ่ายโอนไปยังวัตถุอื่นได้โดยการสัมผัสและการเหนี่ยวนำ ซึ่งหลักการเหนี่ยวนำประจุไฟฟ้าเป็นหลักสำคัญของเครื่องอิเล็กโทรสโคปที่ใช้ตรวจสอบประจุของวัตถุได้

ประจุไฟฟ้าเป็นปริมาณทางไฟฟ้าปริมาณหนึ่ง โดยธรรมชาติของสสารจะประกอบด้วยหน่วยย่อยๆ ที่มีลักษณะและสมบัติที่เหมือนกัน เรียกว่า **อะตอม (atom)** ภายในอะตอมประกอบด้วยอนุภาคมูลฐาน 3 ชนิด ได้แก่ โปรตอน (proton) ที่มีประจุไฟฟ้าบวก นิวตรอน (neutron) ที่เป็นกลางทางไฟฟ้า และอิเล็กตรอน (electron) ที่มีประจุไฟฟ้าลบ โดยโปรตอนกับนิวตรอนจะรวมกันอยู่ที่กลางของอะตอม เรียกว่า **นิวเคลียส (nucleus)** ส่วนอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่อยู่รอบๆ นิวเคลียส ดังรูปที่ 1.1



ก. อะตอมที่มีอิเล็กตรอน 2 ตัว ข. อะตอมที่มีอิเล็กตรอนหลายตัว

รูปที่ 1.1 *โครงสร้างอะตอม*

อนุภาคทั้ง 3 อนุภาคนี้เป็นอนุภาคมูลฐาน โดยข้อมูลพื้นฐานของอิเล็กตรอน โปรตอน และนิวตรอน จะแสดงดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ข้อมูลพื้นฐานของโปรตอนนิวตรอนและอิเล็กตรอน

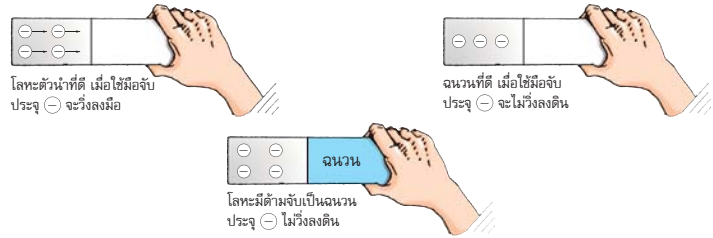
อนุภาค	สัญลักษณ์	ชนิดของประจุ	ขนาดของประจุ	มวล
โปรตอน	p	บวก (+)	$+e: (+1.602\times10^{-19}C)$	1.67262×10^{-27} kg
นิวตรอน	n	กลาง	0	1.67429×10^{-27} kg
อิเล็กตรอน	e	ลบ (−)	$-e: (-1.602\times10^{-19}C)$	9.10×10^{-31} kg

โดยปกติวัตถุจะมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า เนื่องจากวัตถุมีประจุไฟฟ้าบวกและประจุไฟฟ้าลบเท่ากัน แต่ละอะตอมจะมีจำนวนอนุภาคโปรตอนและอนุภาคอิเล็กตรอนเท่ากันซึ่งเป็นไปตาม **กฎการอนุรักษ์ประจุ (law of conservation of charge)** แต่ถ้านำวัตถุสองชนิดมาถูกันจะเกิดการถ่ายโอนประจุระหว่างวัตถุทั้งสองชนิด ทำให้วัตถุหนึ่งมีปริมาณประจุบวกมากกว่าประจุลบจึงมีประจุสุทธิเป็นบวก และอีกวัตถุที่มีปริมาณประจุลบมากกว่าประจุบวกจึงมีประจุสุทธิเป็นลบ กล่าวคือ วัตถุที่มีประจุบวกมากกว่าประจุลบจะแสดงอำนาจไฟฟ้าบวก ส่วนวัตถุที่มีประจุบวกน้อยกว่าประจุลบจะแสดงอำนาจไฟฟ้าลบ และวัตถุที่มีประจุบวกกับประจุลบเท่ากันก็จะเป็นกลางทางไฟฟ้า

1.1 การถ่ายเทประจุไฟฟ้า

เมื่อปริมาณประจุไฟฟ้าบวกและลบบนผิววัตถุไม่เท่ากันทำให้เกิดแรงไฟฟ้าระหว่างวัตถุ โดยเกิดแรงดึงดูดเมื่อวัตถุทั้ง 2 ชิ้นมีประจุต่างชนิดกัน และเกิดแรงผลักกันเมื่อวัตถุทั้ง 2 ชิ้นมีประจุชนิดเดียวกัน การนำผิวสัมผัสของวัตถุ 2 ชนิดมาขัดสีกัน พลังงานที่เกิดจากการขัดสีจะทำให้ประจุไฟฟ้าบนผิววัตถุเกิดการแลกเปลี่ยนกัน โดยส่วนใหญ่มักจะเกิดกับวัตถุที่ไม่นำไฟฟ้าหรือฉนวน เช่น ยาง พลาสติก แก้ว ส่วนวัตถุจำพวกโลหะที่นำไฟฟ้านั้นมีโอกาสเกิดได้ค่อนข้างยาก การทำให้วัตถุเกิดประจุไฟฟ้ามีวิธีการดังนี้

1. การขัดสีหรือถูกัน เมื่อนำวัตถุ 2 ชนิดมาขัดสีกันจะเกิดการถ่ายเทประจุระหว่างวัตถุ ซึ่งวัตถุที่มีประจุลบมากขึ้นจะแสดงอำนาจไฟฟ้าลบ และวัตถุที่ประจุลบลดลงจะแสดงอำนาจไฟฟ้าบวก ถึงแม้ว่าวัตถุนั้นเป็นฉนวนก็สามารถแสดงอำนาจไฟฟ้าได้ เพราะประจุที่เกิดขึ้นจะหยุดนิ่งอยู่บนวัตถุ แต่ถ้าเป็นตัวนำจะไม่แสดงอำนาจไฟฟ้า เพราะประจุไฟฟ้าที่เกิดจะเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ เช่น ถ้าประจุลบที่เกิดขึ้นที่ตัวนำก็จะเคลื่อนที่ผ่านตัวนำไปยังมือที่จับได้ หรือถ้ามีประจุบวกเกิดขึ้นที่ตัวนำ ประจุลบจากมือจะเคลื่อนที่เข้ามาหาประจุบวกที่ตัวนำได้ ทำให้ตัวนำไม่แสดงอำนาจทางไฟฟ้าหรือเป็นกลางทางไฟฟ้านั่นเอง



รูปที่ 1.2 *การถ่ายโอนประจุไฟฟ้าของวัตถุที่เป็นตัวนำ*

กิจกรรมการทดลอง

กิจกรรมที่ 1.1 *การเกิดประจุไฟฟ้าและแรงไฟฟ้า*

จุดประสงค์

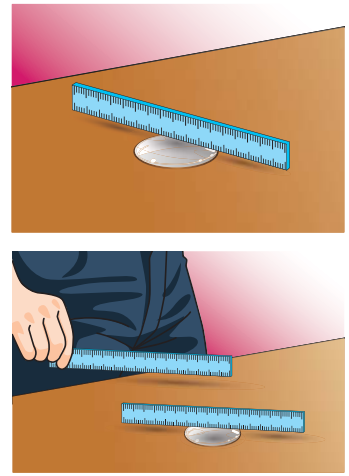
เพื่อศึกษาการเกิดประจุไฟฟ้าโดยวิธีการขัดสี

วัสดุอุปกรณ์

1. กระจกนาฬิกาหรือกระจกผิวโค้ง 1 ชิ้น
2. ผ้าสักหลาด 1 ผืน
3. ไม้บรรทัดพลาสติก 2 อัน

วิธีปฏิบัติ

1. นำไม้บรรทัด 1 อัน มาถูด้วยผ้าสักหลาดประมาณ 1–2 นาที
2. วางไม้บรรทัดที่ถูแล้วลงบนกระจกนาฬิกาดังรูป
3. นำไม้บรรทัดอีกอันหนึ่งมาถูด้วยผ้าสักหลาดประมาณ 1–2 นาที เช่นเดียวกับอันแรก แล้วนำไปใกล้ ๆ กับไม้บรรทัดที่วางอยู่บนกระจกนาฬิกา ดังรูป สังเกตการเปลี่ยนแปลงแล้วบันทึกผล



คำถามท้ายกิจกรรม

1. เมื่อนำไม้บรรทัดที่ถูด้วยผ้าสักหลาดไปใกล้ไม้บรรทัดที่อยู่บนกระจกนาฬิกาจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร
2. นักเรียนคิดว่าประจุไฟฟ้าบนไม้บรรทัดทั้งสองเป็นประจุชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกัน เพราะเหตุใด
3. นักเรียนจะอธิบายการเกิดประจุไฟฟ้าบนไม้บรรทัดได้อย่างไร

จากกิจกรรมที่ 1.1 พบว่า เมื่อนำผ้าสักหลาดมาขัดสีกับไม้บรรทัด จะเกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้าระหว่างผ้าสักหลาดและไม้บรรทัด และเมื่อนำไม้บรรทัดไปใกล้ ๆ ไม้บรรทัดอีกอันที่วางอยู่บนกระจกนาฬิกา จะเกิดแรงผลักระหว่างไม้บรรทัด เนื่องจากไม้บรรทัดทั้งสองนั้นมีประจุชนิดเดียวกัน

เมื่อเรียงลำดับวัตถุชนิดต่าง ๆ ที่นำมาขัดสีกัน ดังนี้

1. ขนสัตว์	2. ขนแกะหรือผ้าสักหลาด	3. ไม้
4. เซลแล็ก	5. ยางสน	6. ครั่ง
7. แก้วผิวเรียบ	8. ผ้าฝ้ายหรือผ้าสำลี	9. กระดาษ
10. ผ้าแพร	11. แก้วผิวขรุขระ	12. ผิวหนัง
13. โลหะ	14. ยางอินเดีย	15. อำพัน
16. กำมะถัน	17. อีโบไนต์	18. ยาง

จะพบว่า เมื่อนำวัตถุหมายเลขน้อยขัดสีกับวัตถุที่มีหมายเลขมาก วัตถุที่มีหมายเลขน้อยกว่าจะมีประจุไฟฟ้าเป็นบวก และวัตถุที่มีหมายเลขมากกว่าจะมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ

ลองทำดู

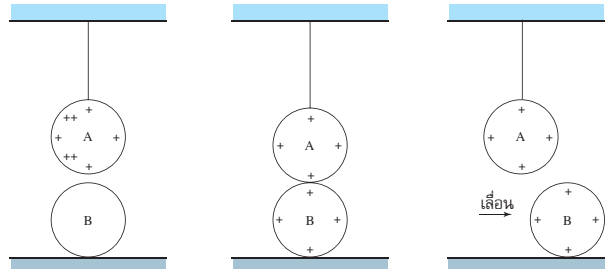
เมื่อใช้ผ้าขนสัตว์ถูกับลูกโป่งสักครู่ จากนั้นนำลูกโป่งไปใกล้กับเส้นผมที่แห้งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร และนักเรียนจะอธิบายปรากฏการณ์นี้ได้ว่าอย่างไร

การขัดสีวัตถุแล้วทำให้เกิดประจุบนวัตถุนั้นสามารถพบได้ทั่วไปในชีวิตประจำวัน เช่น การถูลูกโป่งด้วยผ้าขนสัตว์จะเกิดประจุไฟฟ้าบนลูกโป่งที่สามารถดูดเส้นผมได้ ดังรูปที่ 1.3

รูปที่ 1.3 การเกิดไฟฟ้าสถิตระหว่างลูกโป่งกับเส้นผม

2. การสัมผัส เมื่อนำวัตถุที่มีประจุไฟฟ้ามาสัมผัสกับวัตถุที่เป็นกลางทางไฟฟ้า จะทำให้วัตถุที่เป็นกลางทางไฟฟ้ามีประจุชนิดเดียวกับวัตถุที่นำมาสัมผัส ผลที่เกิดขึ้นจากการทำให้เกิดประจุบนวัตถุโดยการสัมผัสเป็นดังนี้

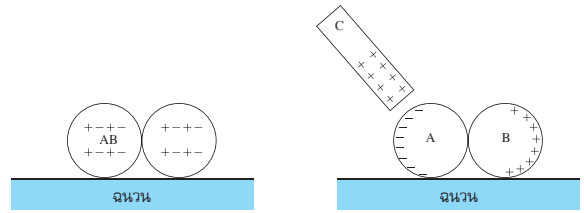
- วัตถุเดิมที่เป็นกลางทางไฟฟ้าจะมีประจุชนิดเดียวกับประจุบนวัตถุที่นำมาสัมผัส
- การถ่ายเทประจุจะหยุดลงเมื่อศักย์ไฟฟ้าบนวัตถุที่สัมผัสกันนั้นมีค่าเท่ากันหรือปริมาณประจุของวัตถุทั้งสองเท่ากัน
- ปริมาณของประจุของวัตถุที่นำมาสัมผัสจะลดลง ซึ่งผลบวกของประจุบนวัตถุทั้งสองก่อนสัมผัสเท่ากับผลบวกของประจุทั้งสองหลังสัมผัส



เครื่องแวนเดอกราฟฟ์คืออะไร

รูปที่ 1.4 การถ่ายโอนประจุไฟฟ้าโดยการสัมผัส

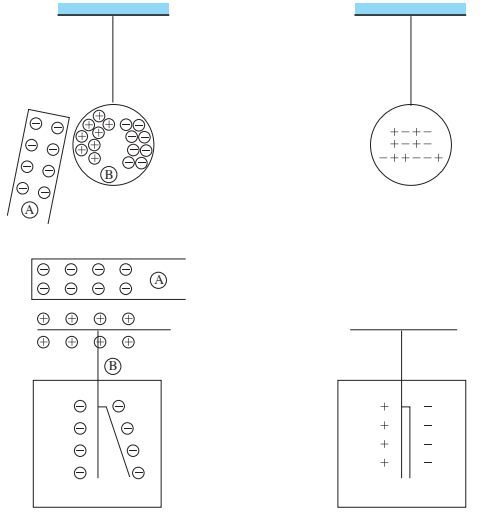
3. การเหนี่ยวนำ เมื่อนำวัตถุที่มีประจุ (C) เข้ามาใกล้ๆ วัตถุตัวนำที่เป็นกลาง (A และ B) มีผลให้เกิดประจุบนตัวนำที่เป็นกลาง โดยจะเกิดประจุชนิดตรงข้ามบนผิวที่อยู่ใกล้วัตถุ C และเกิดประจุชนิดเดียวกันกับวัตถุ C บนผิวที่อยู่ไกล ดังรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 การถ่ายโอนประจุไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำ

จากรูปที่ 1.5 วัตถุตัวนำ A และ B เป็นกลางทางไฟฟ้า วางสัมผัสกันบนพื้นฉนวน เมื่อ C ซึ่งเป็นวัตถุที่มีประจุบวกมาจ่อใกล้ๆ จะทำให้ประจุลบเคลื่อนที่มาที่ผิวตัวนำ A ด้านใกล้วัตถุ C และเกิดประจุบวกที่ผิวตัวนำ B ด้านไกลวัตถุ C

การนำวัตถุ A ที่มีประจุอิสระเข้าใกล้วัตถุ B ที่เป็นกลางทางไฟฟ้า จะทำให้วัตถุ B เกิดประจุชนิดตรงข้ามกับวัตถุ A ที่ด้านใกล้และเกิดประจุชนิดเดียวกันที่ด้านไกล และเมื่อนำวัตถุที่มีประจุอิสระออกห่างจะทำให้วัตถุ B เป็นกลางเช่นเดิม ดังรูปที่ 1.6



ก. เมื่อนำวัตถุที่มีประจุลบ A มาเข้าใกล้ จะเหนี่ยวนำประจุลบที่ B

ข. เมื่อนำวัตถุ A ออก วัตถุ B จะเป็นกลางเหมือนเดิม

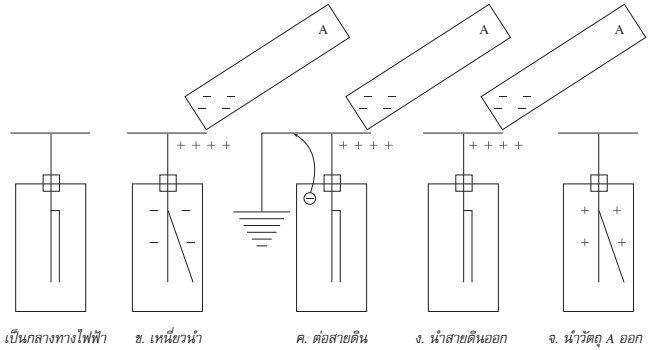
***รูปที่ 1.6** ตัวอย่างการเหนี่ยวนำประจุไฟฟ้า*

1.2 อิเล็กโทรสโกป

อิเล็กโทรสโกป (electroscope) เป็นเครื่องมือที่ใช้ตรวจหาประจุบนวัตถุตัวอย่าง การเหนี่ยวนำให้เกิดประจุอิสระบนอิเล็กโทรสโกปมีลักษณะการทำงานดังนี้

1. เริ่มต้น อิเล็กโทรสโกปเป็นกลางทางไฟฟ้า แผ่นตัวนำด้านล่างทั้งสองจะไม่เกิดการผลักกัน ดังรูปที่ 1.7 ก
2. เมื่อนำวัตถุตัวนำ A ที่มีประจุลบมาเหนี่ยวนำ จะทำให้ประจุลบบนจานโลหะที่อยู่ด้านบนอิเล็กโทรสโกปเคลื่อนที่ลงไปยังแผ่นตัวนำด้านล่าง ทำให้แผ่นตัวนำด้านล่างกางออก และประจุบวกจะอยู่บนจานโลหะ ดังรูปที่ 1.7 ข

3. เมื่อต่อสายดินหรือใช้นิ้วแตะที่จานโลหะ ประจุลบจากแผ่นตัวนำด้านล่างจะเคลื่อนที่ลงดินจนหมด ทำให้แผ่นตัวนำด้านล่างหุบลงเช่นเดิม ดังรูปที่ 1.7 ค
4. เมื่อนำสายดินออก แผ่นตัวนำด้านล่างยังคงหุบอยู่ ดังรูปที่ 1.7 ง
5. เมื่อนำวัตถุตัวนำ A ออก ประจุบวกจากจานโลหะด้านบนจะเคลื่อนที่ลงไปยังแผ่นตัวนำด้านล่าง ทำให้แผ่นตัวนำทั้งสองกางออกเนื่องจากเกิดการผลักกันระหว่างประจุบวก ดังรูปที่ 1.7 จ



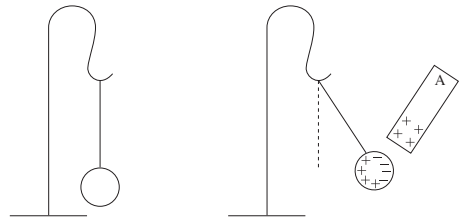
ก. เป็นกลางทางไฟฟ้า *ข. เหนี่ยวนำ* *ค. ต่อสายดิน* *ง. นำสายดินออก* *จ. นำวัตถุ A ออก*

***รูปที่ 1.7** การเหนี่ยวนำประจุไฟฟ้าบนอิเล็กโทรสโกป*

ดังนั้น ถ้าต้องการให้อิเล็กโทรสโกปเป็นประจุลบ จะต้องใช้วัตถุ A ที่มีประจุบวกมาเหนี่ยวนำ และถ้าต้องการให้อิเล็กโทรสโกปเป็นประจุบวก จะต้องใช้วัตถุ A ที่มีประจุลบมาเหนี่ยวนำ

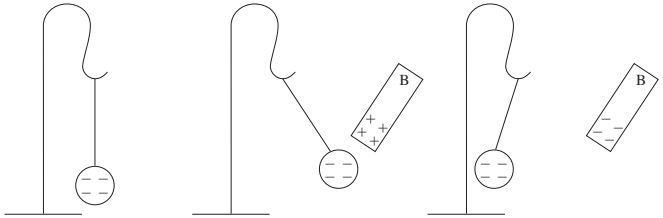
อิเล็กโทรสโกปที่ใช้ในการตรวจสอบประจุของวัตถุมี 2 แบบ ได้แก่

1. อิเล็กโทรสโกปแบบลูกพิท (pith-ball electroscope) จะมีฐานรองทำจากไม้เบาหรือโฟมฉาบด้วยโลหะ และมีลูกพิทผูกด้วยเส้นด้ายกับฐานรอง การใช้อิเล็กโทรสโกปชนิดนี้ตรวจสอบวัตถุว่ามีประจุไฟฟ้าหรือไม่ จะต้องทำให้ลูกพิทเป็นกลางโดยการต่อสายดิน จากนั้นนำวัตถุที่ต้องการตรวจสอบมาไว้ใกล้ ๆ ลูกพิทเพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำ ดังรูปที่ 1.8 ถ้าลูกพิทยกขึ้นเข้าหาวัตถุ แสดงว่า วัตถุมีประจุไฟฟ้า ซึ่งอาจเป็นประจุบวกหรือลบก็ได้



***รูปที่ 1.8** การตรวจสอบประจุด้วยอิเล็กโทรสโกปแบบลูกพิท*

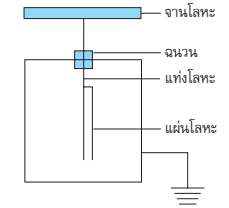
ส่วนการใช้อิเล็กโทรสโกปแบบลูกพิทในการตรวจสอบวัตถุว่ามีประจุไฟฟ้าชนิดใด จะต้องทำให้ลูกพิทมีประจุบวกหรือลบก่อน แล้วนำวัตถุที่ต้องการตรวจสอบมาใกล้ลูกพิทเพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำ ดังรูปที่ 1.9 ถ้าลูกพิทขยับเข้าหาวัตถุ แสดงว่า วัตถุมีประจุตรงข้ามกับลูกพิท และถ้าลูกพิทขยับออกห่างจากวัตถุ แสดงว่าวัตถุมีประจุเดียวกันกับลูกพิท



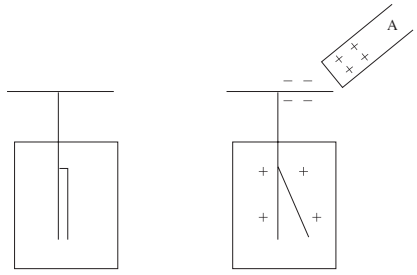
รูปที่ 1.9 การตรวจสอบชนิดของประจุด้วยอิเล็กโทรสโกปแบบลูกพิท

2. อิเล็กโทรสโกปชนิดแผ่นโลหะคู่ (leaf electroscope) ประกอบด้วยแท่งโลหะที่มีจานโลหะอยู่ด้านบน ด้านล่างมีแผ่นโลหะ 2 แผ่นอยู่ติดกัน บรรจุในขวดที่มีฉนวนกั้นไว้ที่คอขวด ผิวด้านนอกขวดจะต่อสายดินเพื่อไม่ให้มีประจุตกค้าง ดังรูปที่ 1.10

การใช้อิเล็กโทรสโกปชนิดนี้ในการตรวจสอบวัตถุว่ามีประจุไฟฟ้าหรือไม่ เริ่มต้นโดยทำให้อิเล็กโทรสโกปเป็นกลางด้วยการต่อสายดิน นำวัตถุที่ต้องการตรวจสอบมาใกล้ๆ ถ้าแผ่นโลหะคู่กางออก แสดงว่า วัตถุมีประจุไฟฟ้า ดังรูป 1.11

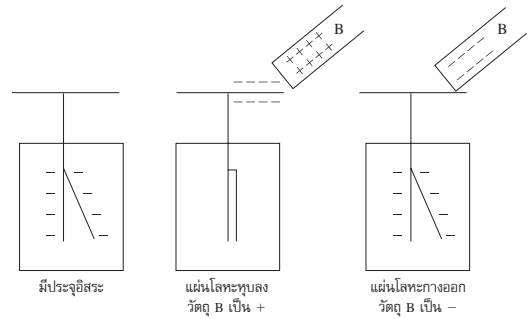


รูปที่ 1.10 อิเล็กโทรสโกปชนิดแผ่นโลหะคู่



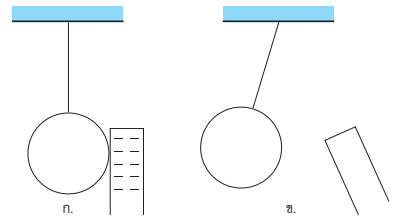
รูปที่ 1.11 ตรวจสอบประจุด้วยอิเล็กโทรสโกปชนิดแผ่นโลหะคู่

การใช้อิเล็กโทรสโกปชนิดนี้ในการตรวจสอบวัตถุว่ามีประจุไฟฟ้าชนิดใด เริ่มต้นโดยทำให้อิเล็กโทรสโกปมีประจุไฟฟ้าอิสระ ซึ่งแผ่นโลหะตัวนำทั้งสองจะกางออก ถ้านำวัตถุที่ต้องการตรวจสอบเข้ามาใกล้ๆ แล้วแผ่นโลหะคู่หุบลง แสดงว่า วัตถุมีประจุตรงข้ามกับประจุบนอิเล็กโทรสโกป แต่ถ้าแผ่นโลหะคู่ยิ่งกางออกจากกันมากขึ้น แสดงว่าวัตถุมีประจุชนิดเดียวกับประจุบนอิเล็กโทรสโกป ดังรูป 1.12

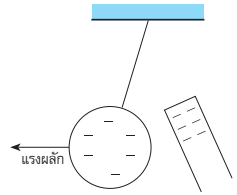


รูปที่ 1.12 ตรวจสอบประจุด้วยอิเล็กโทรสโกปชนิดแผ่นโลหะคู่

ตัวอย่างที่ 1.1 ลูกพิทลูกหนึ่งเป็นกลางทางไฟฟ้าและแขวนด้วยเชือกในแนวดิ่ง ถ้านำวัตถุที่มีประจุลบไปแตะลูกพิทดังรูป ก จากนั้นสักครู่หนึ่ง ลูกพิทเบนออกจากแนวดิ่ง ดังรูป ข จงอธิบายว่าเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น

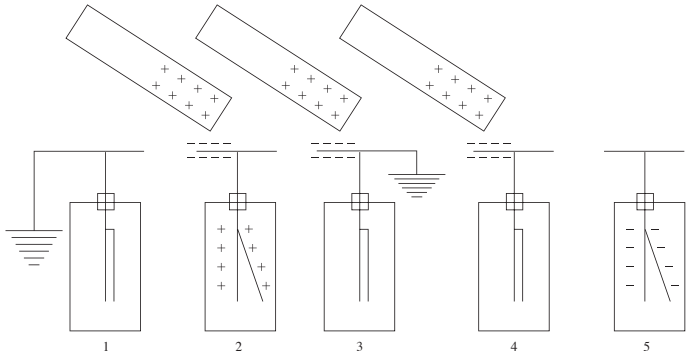


วิธีทำ หลังจากนำวัตถุที่มีประจุลบไปแตะลูกไว้พิทสักครู่จะเกิดการถ่ายเทประจุให้กับลูกพิท ทำให้ลูกพิทมีประจุลบเช่นเดียวกับวัตถุ จึงทำให้เกิดแรงผลักกัน ดังรูป



ตัวอย่างที่ 1.2 ถ้าต้องการให้อิเล็กโทรสโกปชนิดแผ่นโลหะคู่มีประจุไฟฟ้าลบโดยวิธีเหนี่ยวนำ จะมีวิธีการอย่างไร

วิธีทำ ถ้าต้องการให้อิเล็กโทรสโกปชนิดแผ่นโลหะคู่มีประจุไฟฟ้าลบโดยวิธีเหนี่ยวนำ วิธีการดังนี้



1. ต่อสายดินให้อิเล็กโทรสโกปเป็นกลางทางไฟฟ้าแล้วนำสายดินออก
2. ใช้วัตถุที่มีประจุบวกเหนี่ยวนำอิเล็กโทรสโกป จะทำให้ประจุลบเคลื่อนที่ขึ้นมาด้านบนของจานโลหะบริเวณแผ่นโลหะคู่จึงขาดประจุลบและแสดงอำนาจไฟฟ้าเป็นบวก ทำให้แผ่นโลหะคู่กางออก
3. ต่อสายดินเพื่อให้ประจุลบจากดินเคลื่อนที่มายังแผ่นโลหะคู่ แผ่นโลหะคู่จะหุบลงเนื่องจากเป็นกลางทางไฟฟ้า
4. นำสายดินออก โดยวัตถุที่มีประจุบวกยังคงเหนี่ยวนำอิเล็กโทรสโกปไว้
5. นำวัตถุที่มีประจุบวกออก จะได้ประจุลบอิสระบนอิเล็กโทรสโกปตามต้องการ

กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.1

จงตอบคำถามต่อไปนี้

1. วัตถุที่เป็นฉนวนและตัวนำมีสมบัติทางไฟฟ้าเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร
2. ถ้านำแท่งแก้วถูกับผ้าสักหลาด จะทำให้เกิดประจุชนิดใดบนวัตถุใด
3. ถ้าต้องการตรวจสอบว่าวัตถุตัวอย่างมีประจุหรือไม่โดยใช้อิเล็กโทรสโกป นักเรียนจะมีวิธีการอย่างไร
4. สายดินมีหน้าที่อย่างไร และมีประโยชน์อย่างไร
5. ส่วนประกอบของอิเล็กโทรสโกปชนิดแผ่นโลหะคู่ที่ทำจากฉนวน สามารถเปลี่ยนส่วนประกอบนั้นจากฉนวนเป็นตัวนำได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

2. กฎของคูลอมบ์

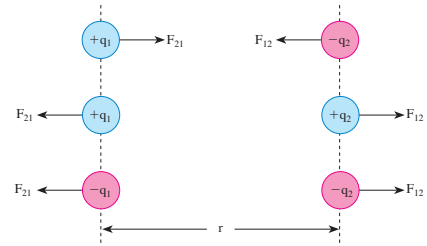
แนวคิดสำคัญ

เมื่อประจุไฟฟ้า 2 ประจุอยู่ใกล้กัน จะเกิดแรงไฟฟ้ากระทำระหว่างประจุทั้งสอง ซึ่งเป็นไปตามกฎของคูลอมบ์ที่กล่าวว่า แรงระหว่างประจุไฟฟ้าสองจุดประจุจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของประจุไฟฟ้าทั้งสองและเป็นสัดส่วนผกผันกับกำลังสองของระยะห่างระหว่างประจุทั้งสองนั้น ดังสมการ $F = \frac{kq_1 q_2}{r^2}$

ชาร์ล–โอกูสแตง เดอ กูลง (Charles-Augustin de Coulomb) นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส ได้ศึกษาขนาดของแรงระหว่างประจุไฟฟ้า และตั้งกฎของคูลอมบ์ขึ้น ซึ่งกล่าวว่า *"แรงระหว่างประจุไฟฟ้าสองจุดประจุจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของประจุไฟฟ้าทั้งสองและเป็นสัดส่วนผกผันกับกำลังสองของระยะห่างระหว่างประจุทั้งสองนั้น"* แรงระหว่างประจุไฟฟ้านี้เรียกว่า **แรงไฟฟ้า** (electric force : F_E)

จากการศึกษาของคูลอมบ์เพื่อหาอันตรกิริยาระหว่างจุดประจุ 2 ประจุที่อยู่นิ่ง พบว่า เมื่อประจุอยู่ใกล้กันจะเกิดผลดังนี้

1. ประจุชนิดเดียวกันจะมีแรงผลักกันและประจุต่างชนิดกันจะมีแรงดึงดูดกัน
2. ขนาดของแรงที่เกิดขึ้นแปรผันตรงกับผลคูณของประจุทั้งสองและแปรผกผันกับกำลังสองของระยะทางระหว่างประจุ
3. ทิศทางของแรงอยู่ในแนวเส้นตรงระหว่างประจุทั้งสอง



รูปที่ 1.13 ทิศทางของแรงไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างประจุไฟฟ้าตามกฎของคูลอมบ์

จากกฎของคูลอมบ์ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$F \propto q_1 q_2$$

และ

$$F \propto \frac{1}{r^2}$$

เมื่อ q_1 และ q_2 เป็นจุดประจุวางห่างกันเป็นระยะ r จะหาขนาดของแรงกระทำระหว่างประจุทั้งสองได้จากสมการ

$$F = \frac{kq_1q_2}{r^2} \qquad \textbf{(1.1)}$$

เมื่อ F คือ ขนาดของแรงระหว่างประจุ q_1 และ q_2 มีหน่วยเป็น นิวตัน (N)

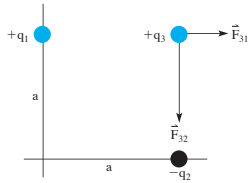
q_1 และ q_2 คือ ประจุไฟฟ้า มีหน่วยเป็น คูลอมบ์ (C)

r คือ ระยะทางระหว่างประจุ มีหน่วยเป็น เมตร (m)

k คือ ค่าคงตัว มีค่าประมาณ 9×10^9 N·m^2/C^2 และมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ โดย ε_0 คือ สภาพยอมในสุญญากาศ (permittivity) มีค่าเท่ากับ 8.854×10^{-12} N·m^2/C^2

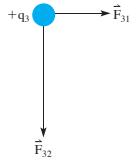
สำหรับประจุคู่หนึ่ง แรงระหว่างประจุจะคำนวณได้จากสมการที่ (1.1) ได้โดยตรง แต่ถ้าระบบมีประจุจำนวนมากกว่า 1 คู่ จะใช้กฎของคูลอมบ์หาแรงที่กระทำต่อประจุที่สนใจจากอันตกริยาของประจุแต่ละคู่ แล้วรวมแรงที่กระทำต่อประจุนั้นแบบเวกเตอร์ กฎของคูลอมบ์มีความคล้ายคลึงกับกฎแรงดึงดูดระหว่างมวล โดยผลของขนาดของประจุมีอิทธิพลเหมือนกับขนาดของมวล แต่จะแตกต่างกันตรงที่แรงดึงดูดระหว่างมวลเป็นแรงดึงดูดเพียงอย่างเดียว แต่แรงไฟฟ้านั้นจะมีทั้งแรงดึงดูดและแรงผลัก ซึ่งขึ้นกับชนิดของประจุ

ตัวอย่างที่ 1.3 ประจุไฟฟ้า 2 ประจุวางอยู่ในตำแหน่งดังรูป เมื่อประจุ q_1 เท่ากับ +5 ไมโครคูลอมบ์ ประจุ q_2 เท่ากับ −10 ไมโครคูลอมบ์ ประจุ q_3 เท่ากับ 2 ไมโครคูลอมบ์ และ a ยาว 0.2 นาโนเมตร จงหาขนาดของแรงลัพธ์ที่กระทำบนประจุ q_3



วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $q_1 = +5\ \mu C$, $q_2 = -10\ \mu C$, $q_3 = 2\ \mu C$ และ a = 0.2 nm

ต้องการหาแรงที่เกิดขึ้นบนประจุ q_3 ให้พิจารณาแรงเนื่องจากประจุ q_1 และ q_2 ที่เกิดขึ้นบนประจุ q_3 วาดภาพประกอบได้ดังนี้



หาขนาดของแรงเนื่องจากประจุ q_1 บนประจุ q_3 จาก

$$F_{31} = \frac{kq_1q_3}{r_{13}^2}$$

$$= \frac{(9\times10^9)(5\times10^{-6})(2\times10^{-6})}{(0.2\times10^{-9})^2}$$

$$= 2.25\times10^{18}\ \text{N}$$

หาขนาดของแรงเนื่องจากประจุ q_2 บนประจุ q_3 จาก

$$F_{23} = \frac{kq_2q_3}{r_{23}^2}$$

$$= \frac{(9\times10^9)(10\times10^{-6})(2\times10^{-6})}{(0.2\times10^{-9})^2}$$

$$= 4.5\times10^{18}\ \text{N}$$

หาขนาดของแรงลัพธ์ที่กระทำบนประจุ q_3 ได้จากการรวมเวกเตอร์ของแรง F_{13} และ F_{23} ได้จากทฤษฎีบทพีทาโกรัส ดังนี้

$$F_3^2 = F_{13}^2 + F_{23}^2$$

$$F_3^2 = (2.25\times10^{18})^2 + (4.5\times10^{18})^2$$

$$F_3^2 = 25.31\times10^{36}$$

$$F_3 = \sqrt{25.31\times10^{36}} = 5.03\times10^{18}$$

ดังนั้น ขนาดของแรงลัพธ์ที่กระทำบนประจุ q_3 เท่ากับ 5.03×10^{18} นิวตัน **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 1.4 พิจารณาอะตอมไฮโดรเจนซึ่งมีอิเล็กตรอนและโปรตอนอย่างละหนึ่งตัว โดยอิเล็กตรอนโคจรรอบนิวเคลียสซึ่งมีโปรตอนอยู่ภายในที่ระยะ 0.53×10^{-18} เมตร อัตราส่วนระหว่างแรงไฟฟ้าและแรงดึงดูดระหว่างมวลของอิเล็กตรอนและโปรตอนมีค่าเท่าไร

วิธีทำ ประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอนและโปรตอนมีค่าเท่ากัน จะได้ $q_e = q_p = e$

หาแรงไฟฟ้าของอิเล็กตรอนกับโปรตอนจาก

$$F_E = \frac{kq_eq_p}{r^2}$$

$$F_E = \frac{ke^2}{r^2} \qquad \text{.....(1)}$$

หาแรงดึงดูดระหว่างมวลของอิเล็กตรอนกับโปรตอนจาก

$$F_G = \frac{Gm_em_p}{r^2} \qquad \text{.....(2)}$$

นำสมการ (1) ÷ (2) จะได้ $\frac{F_E}{F_G} = \frac{ke^2}{r^2} \cdot \frac{r^2}{Gm_em_p}$

$$\frac{F_E}{F_G} = \frac{ke^2}{Gm_em_p}$$

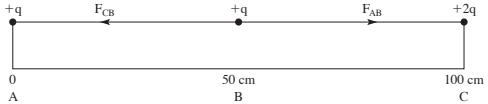
$$\frac{F_E}{F_G} = \frac{(9\times10^9)(1.6\times10^{-19})^2}{(6.67\times10^{-11})(9.1\times10^{-31})(1.67\times10^{-27})}$$

$$\frac{F_E}{F_G} = 2.27\times10^{39}$$

ดังนั้น อัตราส่วนระหว่างขนาดของแรงไฟฟ้าและแรงดึงดูดระหว่างมวลของอิเล็กตรอนและโปรตอนมีค่าเท่ากับ 2.27×10^{39} **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 1.5 วางไม้เมตรไว้บนโต๊ะและวางจุดประจุชนิดเดียวกันขนาด $-q$, $-q$ และ $+2q$ ไว้บนไม้เมตรที่ตำแหน่ง 0, 50 และ 100 เซนติเมตร ตามลำดับ แรงสุทธิที่ตำแหน่ง 50 เซนติเมตร มีค่าเท่าไร

วิธีทำ จากโจทย์ วาดภาพประกอบได้ดังนี้



จาก $F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$

หาขนาดของแรงไฟฟ้าระหว่างจุด A และ B

$$F_{AB} = \frac{k(q)(q)}{(0.5)^2}$$

$$F_{AB} = \frac{kq^2}{0.25}$$

หาขนาดของแรงไฟฟ้าระหว่างจุด B และ C

$$F_{BC} = \frac{k(q)(2q)}{(0.5)^2}$$

$$F_{BC} = \frac{2kq^2}{0.25}$$

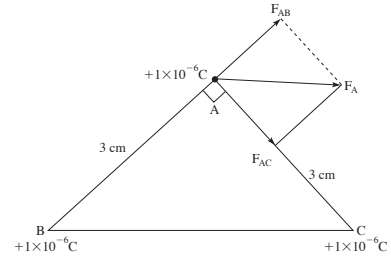
หาขนาดของแรงลัพธ์ที่จุด B จาก $F_B = F_{BC} + (-F_{AB})$

$$F_B = \frac{2kq^2}{0.25} - \frac{kq^2}{0.25} = \frac{kq^2}{0.25}$$

$$F_B = 4kq^2\ \text{N}$$

ดังนั้น แรงสุทธิที่ตำแหน่ง 50 เซนติเมตร มีขนาดเท่ากับ $4kq^2$ นิวตัน มีทิศไปทางจุด C **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 1.6 จากรูป A, B และ C เป็นรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก มี A เป็นมุมฉากและมีประจุไฟฟ้า 1×10^{-6} คูลอมบ์ วางอยู่ที่ A และ B และประจุไฟฟ้า -1×10^{-6} คูลอมบ์ วางอยู่ที่ C ดังรูป ถ้า AB = AC = 3 เซนติเมตร แรงสุทธิกระทำต่อประจุที่ A มีค่าเท่าไร



วิธีทำ จาก $F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$

หาขนาดของแรงไฟฟ้าระหว่างจุด A และ B

$$F_{AB} = \frac{(9\times10^9)(1\times10^{-6})(1\times10^{-6})}{(3\times10^{-2})^2}$$

$$F_{AB} = 10\ \text{N}$$

หาขนาดของแรงไฟฟ้าระหว่างจุด A และ C

$$F_{AC} = \frac{(9\times10^9)(1\times10^{-6})(1\times10^{-6})}{(3\times10^{-2})^2}$$

$$F_{AC} = 10\ \text{N}$$

หาแรงลัพธ์ที่จุด A จาก $F_A = \sqrt{F_{AB}^2 + F_{AC}^2}$

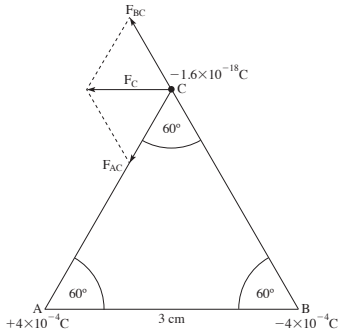
$$F_A = \sqrt{10^2 + 10^2}$$

$$F_A = 10\sqrt{2}\ \text{N}$$

ดังนั้น แรงสุทธิกระทำต่อประจุที่ A มีขนาดเท่ากับ $10\sqrt{2}$ นิวตัน **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 1.7 สามเหลี่ยมด้านเท่า ABC มีประจุไฟฟ้า $+4\times10^{-4}$ คูลอมบ์และ -4×10^{-4} คูลอมบ์ อยู่ ณ ตำแหน่ง A และ B ตามลำดับ และมีประจุไฟฟ้า -1.6×10^{-18} คูลอมบ์ อยู่ ณ ตำแหน่ง C แรงสุทธิกระทำต่อประจุที่ C มีค่าเท่าไร

วิธีทำ จากโจทย์ วาดภาพประกอบได้ดังนี้



จาก $F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$

หาขนาดของแรงไฟฟ้าระหว่างจุด C และ A

$$F_{AC} = \frac{(9\times10^9)(4\times10^{-4})(1.6\times10^{-18})}{(3\times10^{-2})^2}$$

$$F_{AC} = 6.4\times10^{-9}\ \text{N}$$

หาขนาดของแรงไฟฟ้าระหว่างจุด C และ B

$$F_{BC} = \frac{(9\times10^9)(4\times10^{-4})(1.6\times10^{-18})}{(3\times10^{-2})^2}$$

$$F_{BC} = 6.4\times10^{-9}\ \text{N}$$

หาแรงลัพธ์ที่จุด C จากกฎของโคไซน์

$$F_C = \sqrt{F_{AC}^2 + F_{BC}^2 + 2F_{AC}F_{BC}\cos\theta}$$

$$F_C = \sqrt{(6.4\times10^{-9})^2 + (6.4\times10^{-9})^2 + 2(6.4\times10^{-9})(6.4\times10^{-9})\cos120^\circ}$$

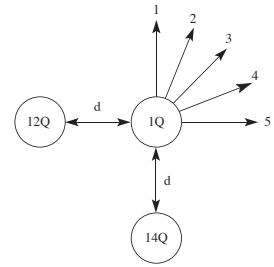
$$F_C = 6.4\times10^{-9}\ \text{N}$$

ดังนั้น แรงสุทธิกระทำต่อประจุที่ C มีขนาดเท่ากับ 6.4×10^{-9} นิวตัน **ตอบ**

กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.2

จงตอบคำถามต่อไปนี้

1. กฎของคูลอมป์มีความคล้ายคลึงกับกฎของแรงดึงดูดระหว่างมวลอย่างไร
2. ค่าคงที่ k สามารถเปลี่ยนแปลงได้หรือไม่ เพราะเหตุใด
3. ลูกศรหมายเลขใดเป็นทิศทางของแรงลัพธ์ที่ถูกต้องที่สุด เพราะเหตุใด



3. สนามไฟฟ้า

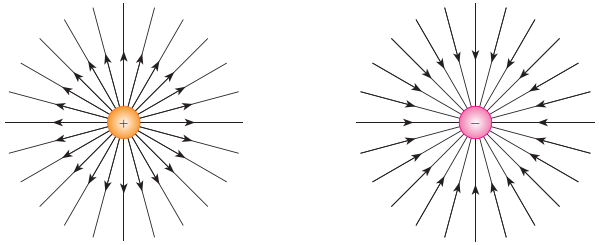
แนวคิดสำคัญ

สนามไฟฟ้า คือ บริเวณที่ประจุไฟฟ้าส่งแรงไปถึง สำหรับประจุบวก สนามไฟฟ้าจะมีทิศทางพุ่งเข้าหาประจุ และสำหรับประจุลบ สนามไฟฟ้าจะมีทิศทางพุ่งออกจากประจุ บริเวณที่สนามไฟฟ้าลัพธ์เป็นศูนย์ เรียกว่า จุดสะเทิน สนามไฟฟ้าของจุดประจุหาได้จากสมการ $E = \frac{kQ}{r^2}$ และสนามไฟฟ้าของแผ่นโลหะคู่ขนานหาได้จากสมการ $E = \frac{V}{d}$

สนามไฟฟ้า (electric field : $\vec{E}$) คือ บริเวณที่ประจุสามารถส่งแรงไปถึงหรือมีอำนาจต่อประจุอื่นที่อยู่ในบริเวณนั้น หรือบริเวณที่เมื่อนำประจุไฟฟ้าทดสอบเข้าไปวางแล้วจะเกิดแรงกระทำบนประจุทดสอบนั้น สนามไฟฟ้าเป็นปริมาณเวกเตอร์ การพิจารณาสนามไฟฟ้าที่บริเวณใดๆ จึงต้องพิจารณาทั้งขนาดและทิศทาง ที่จุดต่างๆ ภายในสนามไฟฟ้าจะมีความเข้มสนามไฟฟ้าแตกต่างกัน โดยบริเวณที่อยู่ใกล้ประจุไฟฟ้าจะมีความเข้มสนามไฟฟ้าสูงกว่าบริเวณที่อยู่ห่างออกไป

3.1 สนามไฟฟ้าของจุดประจุ

สำหรับจุดประจุใดๆ จะแผ่สนามไฟฟ้าออกมาโดยรอบประจุและจะเกิดอันตรกิริยากับประจุอื่นข้างเคียง สนามไฟฟ้าจะมีทิศแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของประจุไฟฟ้า โดยถ้าเป็นประจุไฟฟ้าบวก ทิศของสนามไฟฟ้าจะพุ่งออกจากประจุ แต่ถ้าเป็นประจุไฟฟ้าลบ ทิศของสนามไฟฟ้าจะพุ่งเข้าหาประจุ ดังรูปที่ 1.14



รูปที่ 1.14 สนามไฟฟ้าของประจุบวกและประจุลบ

จากนิยามของสนามไฟฟ้า คือ แรงที่กระทำต่อประจุไฟฟ้าบวกขนาด 1 หน่วย เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \qquad (1.2)$$

ถ้านำประจุทดสอบ q ขนาด +1 คูลอมบ์ ไปวางไว้ในสนามไฟฟ้าที่เกิดจากประจุไฟฟ้า Q จะเกิดแรงกระทำระหว่างประจุไฟฟ้าทั้งสอง จากสมการที่ (1.1) จะได้ขนาดของแรง

$$F = \frac{kQ(1)}{r^2}$$

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

จากสมการที่ (1.2) จะได้ขนาดของสนามไฟฟ้า

$$E = \frac{kQ}{r^2} \qquad (1.3)$$

จากนิยามของสนามไฟฟ้าจะต้องมีประจุทดสอบจึงจะสามารถทราบได้ว่า บริเวณนั้นๆ มีสนามไฟฟ้าหรือไม่ ซึ่งในความเป็นจริงแล้วถึงแม้ไม่มีประจุทดสอบก็อาจมีสนามไฟฟ้าอยู่ก็ได้ สนามไฟฟ้าเป็นปริมาณเวกเตอร์ เมื่อเขียนเส้นตามทิศทางของสนามไฟฟ้าแต่ละจุด จะเรียกเส้นเหล่านี้ว่า **เส้นสนามไฟฟ้า (electric field lines)** ซึ่งแสดงให้เห็นทิศทางของสนามไฟฟ้า ให้นักเรียนศึกษาทิศทางของเส้นสนามไฟฟ้าจากกิจกรรมต่อไปนี้

กิจกรรมการทดลอง

กิจกรรมที่ 1.2 *เส้นสนามไฟฟ้า*

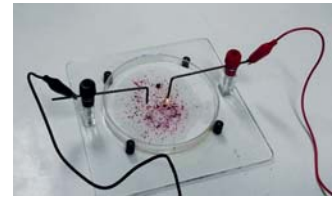
จุดประสงค์

เพื่อศึกษาลักษณะของเส้นสนามไฟฟ้าและสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากแหล่งกำเนิดแบบจุดและแหล่งกำเนิดแบบแผ่นคู่ขนาน

วัสดุอุปกรณ์

1. ชุดทดลองสนามไฟฟ้าประกอบด้วย
   - แท่นวางแผ่นกระจกกลมสำหรับรองแผ่นกระดาษกรอง
   - ขั้วไฟฟ้าแบบจุด
   - ขั้วไฟฟ้าแบบโลหะขนาน
2. แผ่นกระจกกลมสำหรับรองแผ่นกระดาษกรอง
3. กระดาษกรอง
4. เกล็ดด่างทับทิมบดละเอียด
5. เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงความต่างศักย์สูง
6. สายไฟฟ้า

วิธีปฏิบัติ

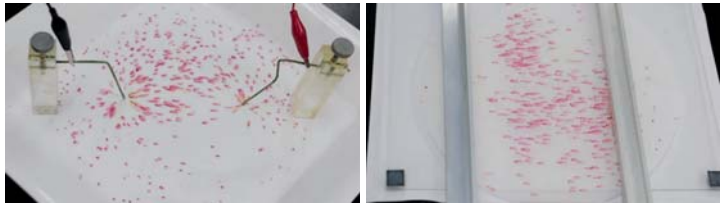


1. นำกระดาษกรองชุบน้ำพอหมาด แล้ววางบนกระจกกลมสำหรับรองแผ่นกระดาษกรองบนชุดทดลอง
2. ต่อขั้วไฟฟ้าแบบจุดเข้ากับเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงความต่างศักย์สูง แล้วจัดให้ขั้วไฟฟ้าจี้ลงบนกระดาษกรองโดยให้ขั้วทั้งสองอยู่ห่างกันประมาณ 3-5 เซนติเมตร ขณะที่สวิตช์ของเครื่องจ่ายไฟยังปิดอยู่
3. โรยเกล็ดด่างทับทิมบนกระดาษกรองให้สม่ำเสมอบริเวณรอบๆ ขั้วไฟฟ้า ดังรูป
4. เปิดสวิตช์เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงความต่างศักย์สูงให้ทำงาน สังเกตการเปลี่ยนแปลงและบันทึกผล
5. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-4 แต่เปลี่ยนขั้วไฟฟ้าแบบจุดเป็นแบบโลหะขนาน

คำถามท้ายกิจกรรม

1. เมื่อใช้ขั้วไฟฟ้าแบบจุด ก่อนและหลังเปิดสวิตช์ให้เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงความต่างศักย์สูงทำงาน เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไรบ้าง
2. เมื่อเปลี่ยนเป็นขั้วไฟฟ้าแบบแผ่นโลหะขนาน ก่อนและหลังเปิดสวิตช์ให้เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงความต่างศักย์สูงทำงาน เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไรบ้าง
3. แนวการแผ่กระจายของผงด่างทับทิมคืออะไร เกิดขึ้นได้อย่างไร

จากกิจกรรมที่ 1.2 จะพบว่า การจัดเรียงตัวของผงด่างทับทิมเป็นระเบียบมากขึ้น เมื่อเปิดสวิตช์ให้เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงความต่างศักย์สูงทำงาน ผงด่างทับทิมที่ละลายน้ำแล้วจะแตกตัวเป็นโพแทสเซียมไอออน ซึ่งเป็นประจุไฟฟ้าบวกที่ไม่มีสี กับเปอร์แมงกาเนตไอออนซึ่งเป็นประจุไฟฟ้าลบที่มีสีม่วง เมื่อต่อขั้วไฟฟ้าแบบจุด พบว่า แนวการแผ่กระจายของผงด่างทับทิมจะมีลักษณะเป็นเส้นๆ โดยแผ่ออกจากขั้วลบไปยังขั้วบวก และที่บริเวณรอบๆ ขั้วไฟฟ้าจะมีความหนาแน่นของผงด่างทับทิมค่อนข้างมาก แสดงว่า บริเวณนี้มีความเข้มสนามไฟฟ้ามากกว่าบริเวณอื่นๆ และเมื่อต่อขั้วไฟฟ้าแบบแผ่นโลหะขนาน แนวการแผ่กระจายของผงด่างทับทิมจะค่อนข้างเป็นเส้นตรงและสม่ำเสมอ แสดงว่า สนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งใดๆ ระหว่างแผ่นโลหะขนานจะมีลักษณะสม่ำเสมอ ดังรูปที่ 1.15



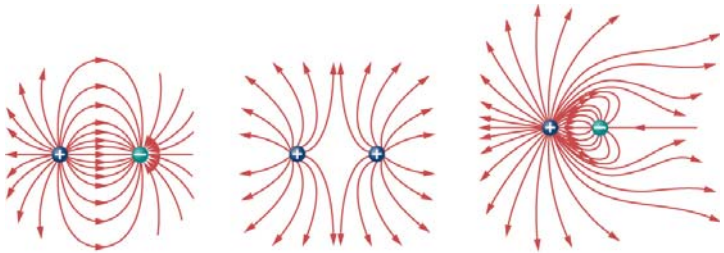
ก. ขั้วไฟฟ้าแบบจุด ข. ขั้วไฟฟ้าแบบแผ่นโลหะขนาน

รูปที่ 1.15 *การแผ่กระจายของผงด่างทับทิม*

ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นสนามไฟฟ้ากับทิศทางของสนามไฟฟ้ามีดังนี้

1. เส้นสัมผัสของเส้นสนามไฟฟ้าที่จุดใดๆ คือ ทิศของสนามไฟฟ้าที่จุดนั้นๆ โดยเส้นสนามไฟฟ้าจะมีทิศทางจากประจุบวกไปยังประจุลบ
2. จำนวนของเส้นสนามไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่ผิวที่ตั้งฉากจะแปรผันตามขนาดของสนามไฟฟ้าในบริเวณนั้น หมายความว่า บริเวณที่เส้นสนามไฟฟ้าอยู่ชิดกันมากจะมีความเข้มสนามไฟฟ้ามากกว่าบริเวณที่เส้นสนามไฟฟ้าอยู่ห่างกัน และจำนวนเส้นสนามไฟฟ้าจะแปรผันตามขนาดของประจุ
3. เส้นสนามไฟฟ้าจะไม่ตัดผ่านกัน

จากความสัมพันธ์ข้างต้นเราสามารถวาดภาพเส้นสนามไฟฟ้าของจุดประจุลักษณะต่างๆ ได้ดังรูปที่ 1.16



รูปที่ 1.16 *เส้นสนามไฟฟ้าของจุดประจุ 2 จุด ที่กรณีต่างๆ*

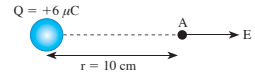
ตัวอย่างที่ 1.8 ความเข้มของสนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งที่มีแรงขนาด 5.0×10^{-15} นิวตัน กระทำกับโปรตอน มีค่าเท่าไร

วิธีทำ โปรตอนมีประจุไฟฟ้า 1.602×10^{-19} C และจากโจทย์ทราบ $F = 5\times10^{-15}$ N

จาก
$$E = \frac{F}{q}$$
$$= \frac{5\times10^{-15}}{1.602\times10^{-19}}$$
$$= 3.12\times10^{4}\ \text{N/C}$$

ดังนั้น สนามไฟฟ้ามีขนาดเท่ากับ 3.12×10^{4} นิวตันต่อคูลอมบ์ **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 1.9 สนามไฟฟ้า ณ จุด A ซึ่งอยู่ห่างจากจุดประจุ 6 ไมโครคูลอมบ์ เป็นระยะ 10 เซนติเมตร มีค่าเท่าไร



วิธีทำ จากโจทย์ วาดภาพประกอบได้ดังนี้

จาก
$$E = \frac{kQ}{r^2}$$
$$= \frac{(9\times10^{-15})(6\times10^{-6})}{(10\times10^{-2})^2}$$
$$= 5.4\times10^{6}\ \text{N/C}$$

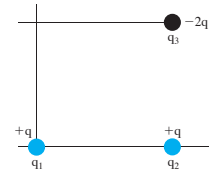
ดังนั้น สนามไฟฟ้า ณ จุด A มีขนาดเท่ากับ 5.4×10^{6} นิวตันต่อคูลอมบ์ **ตอบ**

3.2 สนามไฟฟ้าของหลายประจุ

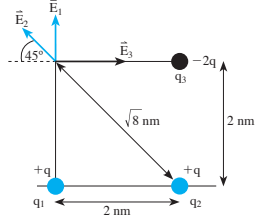
ถ้าในระบบมีประจุอยู่หลายประจุ เช่น ในระบบหนึ่งมีประจุ n ตัว หรือมีประจุ $q_1, q_2, ..., q_n$ จะหาสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งใดๆ ได้โดยหาสนามไฟฟ้าของประจุแต่ละคู่ไปจนถึงประจุตัวที่ n แล้วใช้หลักการรวมเวกเตอร์เพื่อหาสนามไฟฟ้าลัพธ์ ดังสมการ

$$\vec{E} = \vec{E}_1+\vec{E}_2+\vec{E}_3+...+\vec{E}_n \qquad \textbf{(1.4)}$$

ตัวอย่างที่ 1.10 จากรูป ประจุ $q_1 = q_2 = +q$ และ $q_3 = -2q$ วางอยู่ที่จุด (0,0), (2nm, 0) และ (2nm, 2nm) ตามลำดับ สนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่ง (0, 2nm) มีขนาดเท่าไร กำหนดให้ q เท่ากับ 1.6×10^{-16} คูลอมบ์



วิธีทำ จากโจทย์ วาดภาพประกอบได้ดังนี้



หาสนามไฟฟ้า E_1 ที่เกิดจากประจุ q_1

จาก $E_1 = \frac{kq_1}{r_1^2}$

$= \frac{(9\times10^{-15})(1.6\times10^{-6})}{(2\times10^{-9})^2}$

$= 3.6\times10^{11}$ N/C

หาสนามไฟฟ้า E_2 ที่เกิดจากประจุ q_2

จาก $E_2 = \frac{kq_2}{r_2^2}$

$= \frac{(9\times10^{-15})(1.6\times10^{-6})}{(\sqrt{8}\times10^{-9})^2}$

$= 1.8\times10^{11}$ N/C

หาสนามไฟฟ้า E_3 ที่เกิดจากประจุ q_3

จาก $E_3 = \frac{kq_3}{r_3^2} = \frac{k(2q)}{r_3^2}$

$= \frac{(9\times10^{-15})(2)(1.6\times10^{-6})}{(2\times10^{-9})^2}$

$= 7.2\times10^{11}$ N/C

หาสนามไฟฟ้าลัพธ์จากการรวมเวกเตอร์ E_1, E_2 และ E_3

พิจารณาที่แกน x $E_x = E_3 - E_2\cos 45°$

$= (7.2\times10^{11}) - (1.8\times10^{11})\left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)$

$= 5.9\times10^{11}$ N/C

พิจารณาที่แกน y $E_y = E_1 + E_2\sin 45°$

$= (3.6\times10^{11}) - (1.8\times10^{11})\left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)$

$= 4.9\times10^{11}$ N/C

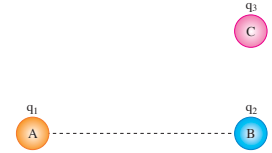
จาก $E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}$

$= \sqrt{(5.9\times10^{11})^2 + (4.9\times10^{11})^2}$

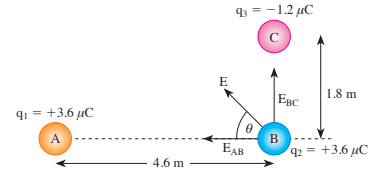
$= \sqrt{58\times10^{22}} = 7.6\times10^{11}$ N/C

ดังนั้น สนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่ง $(0, 2\text{nm})$ มีขนาดเท่ากับ 7.6×10^{11} นิวตันต่อคูลอมบ์ **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 1.11 จากรูป ที่ตำแหน่ง A และ C มีประจุ q_1 และ q_2 ขนาด 3.6×10^{-6} คูลอมบ์ และ -1.2×10^{-6} คูลอมบ์ ตามลำดับ เมื่อระยะ AB เท่ากับ 4.6 เมตร และ BC เท่ากับ 1.8 เมตร ขนาดและทิศทางของสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่ง B มีค่าเท่าไร



วิธีทำ จากโจทย์ วาดภาพประกอบได้ดังนี้



หาสนามไฟฟ้า E_{AB} ที่เกิดจากประจุ q_1

จาก $E_{AB} = \frac{kq_1}{r_{AB}^2}$

$= \frac{(9\times10^{-15})(3.6\times10^{-6})}{(4.6)^2} = 1.5\times10^3$ N/C

หาสนามไฟฟ้า ที่เกิดจากประจุ q_3

จาก $E_{BC} = \frac{kq_3}{r_{BC}^2}$

$= \frac{(9\times10^{-15})(1.2\times10^{-6})}{(1.8)^2} = 3.3\times10^3$ N/C

หาสนามไฟฟ้าลัพธ์จากการรวมเวกเตอร์ E_{AB} และ E_{BC}

จาก $E = \sqrt{E_{AB}^2 + E_{BC}^2}$

$= \sqrt{(1.5\times10^3)^2 + (3.3\times10^3)^2}$

$= \sqrt{13\times10^6} = 3.6\times10^3$ N/C

หาทิศทางของสนามไฟฟ้าลัพธ์

จาก $\tan\theta = \frac{E_{BC}}{E_{AC}} = \frac{3.3\times10^3}{1.5\times10^3}$

$\tan\theta = 2.2$

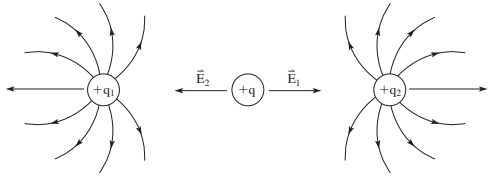
$\theta = \tan^{-1}(2.2) = 66°$

ดังนั้น ขนาดของสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่ง B เท่ากับ 3.6×10^3 นิวตันต่อคูลอมบ์ และมีทิศทางทำมุม 66 องศากับ E_{AB} **ตอบ**

3.3 จุดสะเทิน

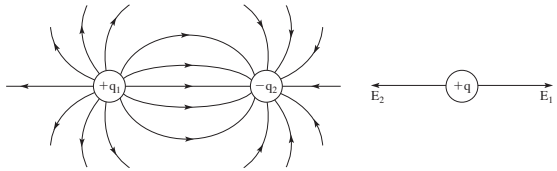
จุดสะเทิน (neutral point) หมายถึง จุดใดๆ ในสนามไฟฟ้าที่มีสนามไฟฟ้าลัพธ์เป็นศูนย์หรือเป็นจุดที่ไม่มีเส้นสนามไฟฟ้าผ่าน ซึ่งบริเวณจุดสะเทินอาจมีสนามไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 2 สนามขึ้นไป แต่ค่าความเข้มและทิศทางของสนามไฟฟ้าเหล่านั้นหักล้างกันหมด ในกรณีของสนามไฟฟ้าสองสนามที่เกิดจากประจุไฟฟ้าสองประจุวางใกล้กัน จุดสะเทินที่เกิดขึ้นจะอยู่ในแนวเส้นตรงที่ลากผ่านประจุไฟฟ้าทั้งสองนั้น โดยตำแหน่งของจุดสะเทินที่เกิดขึ้นมี 2 กรณี ดังนี้

1. ประจุชนิดเดียวกัน ตำแหน่งจุดสะเทินจะอยู่ระหว่างประจุทั้งสอง ดังรูปที่ 1.17



รูปที่ 1.17 จุดสะเทินที่เกิดจากประจุชนิดเดียวกัน

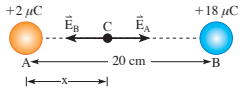
2. ประจุต่างชนิดกัน ตำแหน่งจุดสะเทินจะอยู่นอกประจุทั้งสองและจะอยู่ใกล้กับประจุที่มีค่าน้อย ดังรูปที่ 1.18



รูปที่ 1.18 จุดสะเทินที่จากประจุต่างชนิดกันโดยที่ q_1 มีขนาดมากกว่า q_2

ตัวอย่างที่ 1.12 จุดประจุ +2 ไมโครคูลอมบ์ และ +18 ไมโครคูลอมบ์ วางห่างกัน 20 เซนติเมตร จงหาตำแหน่งที่เมื่อวางประจุใดๆ แล้ว แรงลัพธ์บนจุดประจุนั้นเป็นศูนย์

วิธีทำ ตำแหน่งที่เมื่อวางประจุแล้วมีแรงลัพธ์กระทำต่อประจุเป็นศูนย์ คือ ตำแหน่งที่สนามไฟฟ้าเป็นศูนย์หรือจุดสะเทิน วาดภาพประกอบได้ดังนี้



จากรูป จุดที่มีสนามไฟฟ้าเป็นศูนย์ คือ จุด C แสดงว่า

จาก
$$\begin{aligned} E_A &= E_B \\ \frac{kq_A}{r_{AC}^2} &= \frac{kq_B}{r_{BC}^2} \\ \frac{q_A}{r_{AC}^2} &= \frac{q_B}{r_{BC}^2} \\ \frac{(2\times10^{-6})}{x^2} &= \frac{(18\times10^{-6})}{(20-x)^2} \\ (2\times10^{-6})(20-x)^2 &= (18\times10^{-6})x^2 \\ (20-x)^2 &= 9x^2 \\ 20-x &= 3x \\ x &= 5 \text{ cm} \end{aligned}$$

ดังนั้น ตำแหน่งที่แรงลัพธ์บนประจุนั้นเป็นศูนย์อยู่ระหว่างประจุทั้งสองโดยห่างจากประจุ +2 ไมโครคูลอมบ์เป็นระยะ 5 เซนติเมตร **ตอบ**

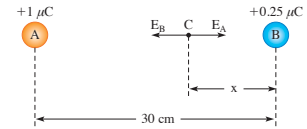
ตัวอย่างที่ 1.13 จุด A และ B อยู่ห่างกัน 0.3 เมตร ที่จุด A มีประจุ +1 ไมโครคูลอมบ์ จงหาตำแหน่งที่มีความเข้มสนามไฟฟ้าเป็นศูนย์ เมื่อ

ก. จุด B มีประจุ +0.25 ไมโครคูลอมบ์

ข. จุด B มีประจุ −0.25 ไมโครคูลอมบ์

วิธีทำ ก. เมื่อจุด B มีประจุ +0.25 ไมโครคูลอมบ์ วาดภาพประกอบได้ดังนี้

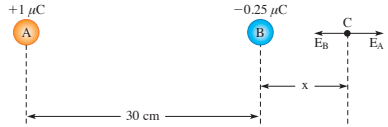
จากรูป จุดที่มีสนามไฟฟ้าเป็นศูนย์คือจุด C แสดงว่า



$$\begin{aligned} E_A &= E_B \\ \frac{kq_A}{r_{AC}^2} &= \frac{kq_B}{r_{BC}^2} \\ \frac{q_A}{r_{AC}^2} &= \frac{q_B}{r_{BC}^2} \\ \frac{(1\times10^{-6})}{(30-x)^2} &= \frac{(0.25\times10^{-6})}{x^2} \\ (1\times10^{-6})x^2 &= (0.25\times10^{-6})(30-x)^2 \\ x^2 &= (0.25)(30-x)^2 \\ x &= (0.5)(30-x) \\ 1.5x &= 15 \\ x &= 10 \text{ cm} \end{aligned}$$

ดังนั้น ตำแหน่งที่มีความเข้มสนามไฟฟ้าเป็นศูนย์อยู่ระหว่างจุด A และ B โดยห่างจากจุด B เป็นระยะ 10 เซนติเมตร **ตอบ**

ข. จุด B มีประจุ −0.25 ไมโครคูลอมบ์ วาดภาพประกอบได้ดังนี้



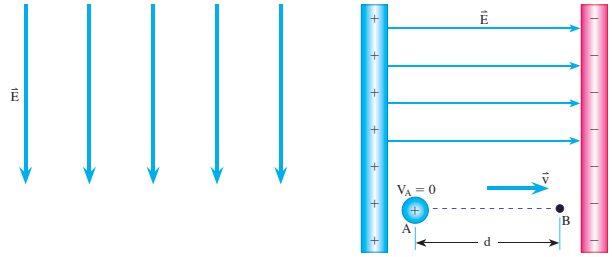
จากรูป จุดที่มีสนามไฟฟ้าเป็นศูนย์คือจุด C แสดงว่า

$$
\begin{aligned}
E_A &= E_B \\
\frac{kq_A}{r_{AC}^2} &= \frac{kq_B}{r_{BC}^2} \\
\frac{q_A}{r_{AC}^2} &= \frac{q_B}{r_{BC}^2} \\
\frac{(1\times10^{-6})}{(30+x)^2} &= \frac{(0.25\times10^{-6})}{x^2} \\
(1\times10^{-6})x^2 &= (0.25\times10^{-6})(30+x)^2 \\
x^2 &= (0.25)(30+x)^2 \\
x &= (0.5)(30+x) \\
0.5x &= 15 \\
x &= 30 \text{ cm}
\end{aligned}
$$

ดังนั้น ตำแหน่งที่มีความเข้มสนามไฟฟ้าเป็นศูนย์อยู่นอกจุด A และ B โดยห่างจากจุด B เป็นระยะ 30 เซนติเมตร **ตอบ**

3.4 สนามไฟฟ้าคงที่

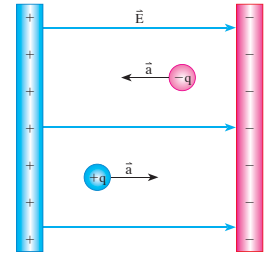
จากกิจกรรมที่ 1.2 เมื่อพิจารณาสนามไฟฟ้าของจุดประจุ จะเห็นได้ว่า สนามไฟฟ้าของจุดประจุจะมีความเข้มสนามไฟฟ้ามากที่บริเวณใกล้ ๆ ประจุ และลดลงเมื่อออกห่างจากประจุ ส่วนสนามไฟฟ้าที่เกิดจากแผ่นโลหะขนานจะให้สนามไฟฟ้าที่มีความสม่ำเสมอ กล่าวคือ สนามไฟฟ้าคงที่นั้นจะมีทิศทางไปทางเดียวกันและความเข้มของสนามไฟฟ้าจะมีค่าเท่ากันทุกบริเวณ ดังรูปที่ 1.19



ก. สนามไฟฟ้าทิศทางชี้ลงข้างล่าง ข. สนามไฟฟ้ามีทิศทางชี้ไปทางขวามือ

รูปที่ 1.19 *ลักษณะของสนามไฟฟ้าคงที่*

เมื่อนำประจุทดสอบ q มวล m วางในสนามไฟฟ้าคงที่ $\vec{E}$ จะเกิดแรงไฟฟ้ากระทำต่อประจุทดสอบให้เคลื่อนที่ โดยขนาดของแรงที่กระทำต่อประจุทดสอบจะมีค่าเท่ากับ qE ถ้าประจุทดสอบเป็นประจุบวก แรงที่กระทำต่อประจุจะมีทิศทางเดียวกับสนามไฟฟ้านั้น แต่ถ้าประจุทดสอบเป็นประจุลบ แรงที่กระทำต่อประจุจะมีทิศทางตรงข้ามกับสนามไฟฟ้านั้น



รูปที่ 1.20 *ประจุทดสอบในสนามไฟฟ้าคงที่*

จากกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน $F = ma$

จะได้ $qE = ma$

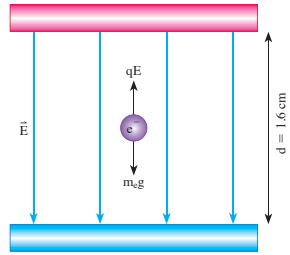
$$a = \frac{qE}{m} \qquad (1.5)$$

จากสมการที่ (1.5) ความเร่งของประจุไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับความเข้มสนามไฟฟ้า ถ้าสนามไฟฟ้ามีความเข้มมาก ประจุไฟฟ้าก็จะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งมาก และขนาดของสนามไฟฟ้าในกรณีแผ่นโลหะขนานสามารถหาได้จากอัตราส่วนระหว่างความต่างศักย์กับระยะห่างระหว่างแผ่นขนาน ดังสมการ

$$E = \frac{V}{d} \qquad (1.6)$$

เมื่อ V คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้าของโลหะตัวนำทั้งสอง
d คือ ระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะตัวนำทั้งสอง

ตัวอย่างที่ 1.14 แผ่นตัวนำขนานห่างกัน 1.6 เซนติเมตร ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอตามแนวดิ่งในทิศพุ่งลง ถ้าต้องการให้อิเล็กตรอนลอยอยู่นิ่ง ๆ ที่ตำแหน่งระหว่างตัวนำขนานนี้ ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างตัวนำขนานต้องมีค่าเท่าไร



วิธีทำ จากโจทย์วาดภาพประกอบได้ดังนี้

จากรูป อิเล็กตรอนลอยนิ่ง แสดงว่า อิเล็กตรอนอยู่ในสภาพสมดุล

จาก $\Sigma F = 0$

จะได้ $qE = m_e g$

$$q\frac{V}{d} = m_e g$$

$$(1.6\times10^{-19})\frac{V}{(1.6\times10^{-2})} = (9.1\times10^{-31})(10)$$

$$V = 9.1\times10^{-13}\ V$$

ดังนั้น ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างตัวนำขนานต้องมีค่าเท่ากับ 9.1×10^{-13} โวลต์ **ตอบ**

กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.3

จงตอบคำถามต่อไปนี้

1. ที่จุดหนึ่งซึ่งอยู่ห่างจากจุดที่มีประจุเป็น d_0 ขนาดของสนามไฟฟ้ามีค่าเป็น E_0 เมื่อเพิ่มขนาดของประจุสนามเป็น 2 เท่าและขยับระยะห่างจากประจุไปอยู่ที่ระยะ $2d_0$ ขนาดของสนามไฟฟ้า ณ จุดใหม่นี้มีค่าเท่าไรเมื่อเทียบกับค่าเดิมอธิบายพร้อมบอกเหตุผลประกอบ
2. สนามไฟฟ้าจะมีค่าเป็นศูนย์ได้หรือไม่ เพราะเหตุใด
3. จุดสะเทินทางไฟฟ้ามีประโยชน์อย่างไร
4. ประจุบวก $q_1 = +2$ ไมโครคูลอมบ์ วางห่างจากประจุลบ $q_2 = -2$ ไมโครคูลอมบ์ เป็นระยะ 6 เมตร สนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่าง 2 ประจุนี้ในหน่วยนิวตันต่อคูลอมบ์มีค่าเท่าไร
5. เมื่อนำประจุไฟฟ้า -2×10^{-6} คูลอมบ์ วางไว้ที่จุด ๆ หนึ่ง ปรากฏว่ามีแรงขนาด 8×10^{-6} นิวตัน มากระทำต่อประจุไฟฟ้านี้ในทิศจากซ้ายไปขวา สนามไฟฟ้าที่จุดนั้นมีค่าเท่าไร และมีทิศทางเป็นอย่างไร

4. ศักย์ไฟฟ้า

แนวคิดสำคัญ

ศักย์ไฟฟ้า คือ งานที่ใช้ในการเลื่อนประจุไฟฟ้าภายใต้สนามไฟฟ้า เป็นปริมาณสเกลาร์ คำนวณได้จากสมการ $V = \frac{kq}{r}$ และความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งใด ๆ 2 ตำแหน่งจะเรียกว่าความต่างศักย์ไฟฟ้า

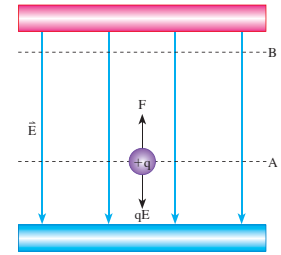
จากบทเรียนที่ได้เรียนผ่านมาแล้วทำให้นักเรียนทราบว่า เมื่อวัตถุอยู่ในสนามโน้มถ่วง วัตถุนั้นจะมีพลังงานศักย์โน้มถ่วงที่มีค่าขึ้นกับตำแหน่งของวัตถุ เช่นเดียวกัน ถ้าพิจารณาประจุไฟฟ้าที่ตำแหน่งใด ๆ ในสนามไฟฟ้า ประจุไฟฟ้านั้นก็จะมีพลังงานศักย์ไฟฟ้าเช่นกัน และค่าพลังงานศักย์ไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยประจุก็คือ **ศักย์ไฟฟ้า (electric potential : V)** ซึ่งเป็นปริมาณสเกลาร์ มีหน่วยเป็น จูลต่อคูลอมบ์ (J/C) หรือ โวลต์ (V) มีค่าดังสมการ

$$V = \frac{kq}{r} \qquad (1.7)$$

เมื่อ V คือ ศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากประจุ Q มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)
k คือ ค่าคงที่ มีค่าประมาณ $9\times10^9\ N\cdot m^2/C^2$
q คือ ประจุไฟฟ้า มีหน่วยเป็น คูลอมบ์ (C)
r คือ ระยะจากประจุไฟฟ้าถึงจุดที่ต้องการหาประจุไฟฟ้า มีหน่วยเป็น เมตร (m)

พิจารณาประจุไฟฟ้า +q ในสนามไฟฟ้าคงที่ $\vec{E}$ จะมีแรงไฟฟ้า qE กระทำต่อประจุให้เคลื่อนที่จากจุด B ไปยังจุด A ซึ่งทำให้เกิดงาน ดังรูปที่ 1.21

แต่ถ้าต้องการทำให้ประจุ +q เคลื่อนจากจุด A ไปยังจุด B จะต้องทำงานให้กับประจุ เนื่องจากศักย์ไฟฟ้าที่จุด B มากกว่าจุด A ดังนั้น ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุด A และจุด B จึงมีค่าเท่ากับงานในการเคลื่อนประจุขนาด 1 หน่วย จากจุด A ไปยังจุด B ดังสมการ



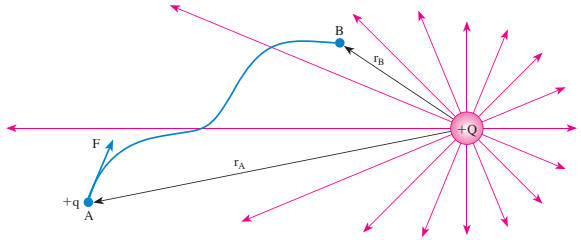
รูปที่ 1.21 *การเคลื่อนประจุจาก A ไป B ด้วยแรง F ซึ่งทำให้เกิดงาน*

$$V_B - V_A = \frac{W_{A\to B}}{q} \qquad (1.8)$$

ดังนั้น ความต่างศักย์ไฟฟ้า คือ พลังงานไฟฟ้าที่เปลี่ยนไป 1 จูล เมื่อประจุไฟฟ้า 1 คูลอมบ์ เคลื่อนที่ระหว่างจุด 2 จุดที่มีความต่างศักย์ 1 โวลต์

4.1 ศักย์ไฟฟ้าของจุดประจุ

ในกรณีของจุดประจุ พิจารณาการเคลื่อนประจุ +q ในสนามไฟฟ้า E ที่เกิดจากประจุ +Q จากจุด A ไปยังจุด B ซึ่งทำให้เกิดงานในการเคลื่อนที่ประจุ ดังรูปที่ 1.22



รูปที่ 1.22 *การเคลื่อนประจุไฟฟ้า +q ในสนามไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุ +Q*

ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุด A และ B จะหาได้จากศักย์ไฟฟ้าที่จุด B เทียบกับจุด A จะได้

$$V_B - V_A = \frac{kQ}{r_B} - \frac{kQ}{r_A}$$

$$V_B - V_A = kQ\left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_B}\right)$$

ถ้ากำหนดให้จุด A อยู่ไกลจากจุด B มากๆ โดยอยู่ที่ระยะอนันต์ จุด A จะมีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์ ($V_A = 0$) จะได้

$$V_B - 0 = kQ\left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{\infty}\right)$$

$$V_B = \frac{kQ}{r_B} = \frac{W_{\infty \to B}}{q}$$

หรือในรูปทั่วไป

$$V = \frac{kQ}{r} \qquad (1.9)$$

เมื่อ V คือ ศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากประจุ Q มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)
k คือ ค่าคงที่ มีค่าประมาณ 9×10^9 N·m^2/C^2
Q คือ ประจุที่ทำให้เกิดสนามไฟฟ้า มีหน่วยเป็น คูลอมบ์ (C)
r คือ ระยะจากประจุ Q มีหน่วยเป็น เมตร (m)

สูตรนี้นำไปใช้อย่างไร

งานในการเคลื่อนประจุจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งจะไม่ขึ้นกับเส้นทางการเคลื่อนที่ แต่จะขึ้นอยู่กับศักย์ไฟฟ้าที่จุดนั้นๆ โดยศักย์ไฟฟ้าจะมีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้ขึ้นอยู่กับชนิดของประจุที่ทำให้เกิดสนามไฟฟ้า เช่น ศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่างๆ ในบริเวณสนามไฟฟ้าของประจุบวกจะมีค่าเป็นบวก

ถ้าตำแหน่งที่ต้องการคำนวณหาศักย์ไฟฟ้านั้นมีสนามไฟฟ้าที่เกิดจากประจุหลายตัว ให้คำนวณหาศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากประจุแต่ละตัว แล้วหาผลรวมของศักย์ไฟฟ้าแบบพีชคณิตโดยไม่ต้องคำนึงถึงทิศทาง ดังสมการ

$$\sum_{i=1}^{n} V_i = V_1+V_2+V_3+\ldots+V_n \qquad (1.10)$$

นอกจากนี้ ยังสามารถหาพลังงานศักย์ไฟฟ้าของระบบได้จากความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าและพลังงานศักย์ของประจุ q เมื่อวางอยู่ในสนามไฟฟ้าของประจุ Q ดังสมการ

$$U = \frac{kQq}{r} = qV \qquad (1.11)$$

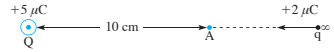
เมื่อ U คือ พลังงานศักย์ไฟฟ้าของประจุ q มีหน่วยเป็น จูล (J)
r คือ ระยะห่างระหว่างประจุทั้งสอง มีหน่วยเป็น เมตร (m)

ถ้าระบบมีประจุมากกว่า 2 ตัวขึ้นไป เช่น ระบบที่ประกอบด้วยประจุ 3 ตัว การหาค่าพลังงานศักย์ไฟฟ้าของระบบจะต้องคำนึงถึงผลของสนามไฟฟ้าของประจุตัวหนึ่งต่อประจุอีกสองตัวเสมอ ดังนั้น พลังงานศักย์ไฟฟ้าของระบบจึงเกิดจากผลรวมของพลังงานศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากคู่ประจุทุกคู่ ดังสมการ

$$U = U_{12}+U_{23}+U_{31}$$

$$U = \frac{kq_1q_2}{r_{12}}+\frac{kq_2q_3}{r_{23}}+\frac{kq_3q_1}{r_{31}} \qquad (1.12)$$

ตัวอย่างที่ 1.15 ถ้าต้องการนำประจุ +2 ไมโครคูลอมบ์ จากระยะอนันต์มายังตำแหน่งที่ห่างจากจุดประจุ +5 ไมโครคูลอมบ์ เป็นระยะ 10 เซนติเมตร จะต้องใช้งานกี่จูล



วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $q = +2\times10^{-6}$ C, $Q = +5\times10^{-6}$ C และ $r = 10\times10^{-2}$ m

จาก
$$V_A = \frac{W_{\infty \to A}}{q}$$

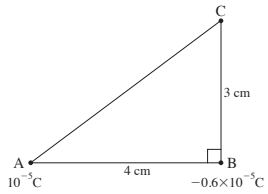
$$\frac{kQ}{r_A} = \frac{W_{\infty \to A}}{q}$$

$$\frac{(9\times10^9)(+5\times10^{-6})}{(10\times10^{-2})} = \frac{W_{\infty \to A}}{(2\times10^{-6})}$$

$$W_{\infty \to A} = 0.9 \text{ J}$$

ดังนั้น จะต้องใช้งาน 0.9 จูล **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 1.16 สามเหลี่ยม ABC มีมุม B เป็นมุมฉาก มีด้าน BC เท่ากับ 3 เซนติเมตร และด้าน AB เท่ากับ 4 เซนติเมตร ดังรูป ถ้ามีจุดประจุขนาด 10^{-5} คูลอมบ์ และ -0.6×10^{-5} คูลอมบ์ อยู่ที่จุด A และ B ตามลำดับ ศักย์ไฟฟ้าที่จุด C มีค่าเท่าไร



วิธีทำ จากโจทย์ สามเหลี่ยม ABC เป็นสามเหลี่ยมมุมฉาก หาด้าน AC ได้จาก

$$AC = \sqrt{AB^2+BC^2}$$
$$= \sqrt{3^2+4^2} = 5\text{ cm} = 5\times10^{-2}\text{ m}$$

หาศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากประจุที่จุด A

จาก $$V_{AC} = \frac{kQ_A}{r_{AC}}$$
$$= \frac{(9\times10^9)(+10^{-5})}{(5\times10^{-2})}$$
$$= +1.8\times10^6\text{ V}$$

หาศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากประจุที่จุด B

จาก $$V_{BC} = \frac{kQ_B}{r_{BC}}$$
$$= \frac{(9\times10^9)(-0.6+10^{-5})}{(3\times10^{-2})}$$
$$= -1.8\times10^6\text{ V}$$

หาศักย์ไฟฟ้าที่จุด C $$V_C = V_{AC}+V_{BC}$$
$$= (+1.8\times10^6)+(-1.8\times10^6)$$
$$= 0\text{ V}$$

ดังนั้น ศักย์ไฟฟ้าที่จุด C เท่ากับ 0 โวลต์ **ตอบ**

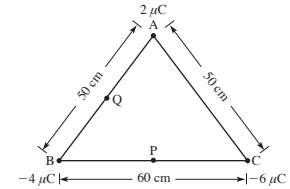
ตัวอย่างที่ 1.17 จากรูป A, B และ C มีจุดประจุขนาด 3.0×10^{-6}, 1.0×10^{-6} และ -1.0×10^{-6} คูลอมบ์ ตามลำดับ เมื่อ AP ยาว 0.6 เมตร CP ยาว 0.3 เมตร และ BP ยาว 0.1 เมตร ศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่ง P มีค่าเท่าไร

วิธีทำ หาศักย์ไฟฟ้ารวมที่ตำแหน่ง P

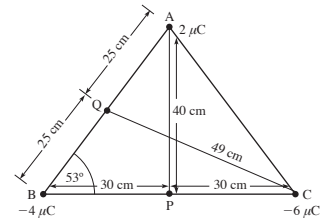
จาก $$V_P = V_A+V_B+V_C$$
$$= \frac{kQ_A}{r_A}+\frac{kQ_B}{r_B}+\frac{kQ_C}{r_C}$$
$$= k\left(\frac{Q_A}{r_A}+\frac{Q_B}{r_B}+\frac{Q_C}{r_C}\right)$$
$$= (9\times10^9)\left(\frac{(+3\times10^{-6})}{0.6}+\frac{(+1\times10^{-6})}{0.1}+\frac{(-1\times10^{-6})}{0.3}\right)$$
$$= 1.05\times10^5\text{ V}$$

ดังนั้น ศักย์ไฟฟ้าที่จุด P เท่ากับ 1.05×10^5 โวลต์ **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 1.18 จุด A, B และ C มีประจุขนาด +2, −4 และ −6 ไมโครคูลอมบ์ ตามลำดับ ดังรูป ศักย์ไฟฟ้าที่จุด P ที่อยู่ตรงกลางระหว่าง BC และศักย์ไฟฟ้าที่จุด Q ที่อยู่ตรงกลางระหว่าง AB มีค่าเท่าไร



วิธีทำ จากโจทย์ วาดภาพประกอบได้ดังนี้



หาความยาวด้าน QC จากกฎของโคไซน์

$$b^2 = a^2+c^2-2ac\cos\beta$$
$$QC^2 = 60^2+25^2-2(60)(25)\cos 53°$$
$$QC^2 = 2{,}419$$
$$QC = 49\text{ cm}$$

หาศักย์ไฟฟ้าที่จุด P

จาก $$V_P = V_A+V_B+V_C$$
$$= \frac{kQ_A}{r_A}+\frac{kQ_B}{r_B}+\frac{kQ_C}{r_C} = k\left(\frac{Q_A}{r_A}+\frac{Q_B}{r_B}+\frac{Q_C}{r_C}\right)$$

หาศักย์ไฟฟ้าที่จุด Q

จาก $V_Q = V_A+V_B+V_C$

$$= \frac{kQ_A}{r_A}+\frac{kQ_B}{r_B}+\frac{kQ_C}{r_C}$$

$$= k\left(\frac{Q_A}{r_A}+\frac{Q_B}{r_B}+\frac{Q_C}{r_C}\right)$$

$$= (9\times10^9)\left(\frac{(+2\times10^{-6})}{(25\times10^{-2})}+\frac{(-4\times10^{-6})}{(25\times10^{-2})}+\frac{(-6\times10^{-6})}{(49\times10^{-2})}\right)$$

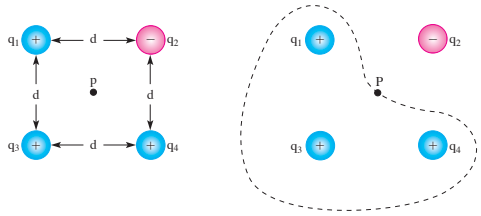
$$= -1.82\times10^5 \text{ V}$$

ดังนั้น ศักย์ไฟฟ้าที่จุด P และจุด Q มีค่าเท่ากับ -2.25×10^5 และ -1.82×10^5 โวลต์ ตามลำดับ **ตอบ**

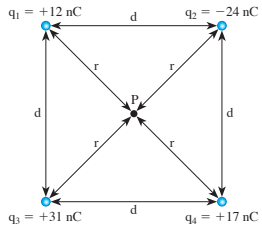
ตัวอย่างที่ 1.19 ประจุ q_1, q_2, q_3 และ q_4 วางอยู่ที่มุมทั้งสี่ของสี่เหลี่ยมจัตุรัส ดังรูป มีด้านแต่ละด้านยาว d ให้ประจุ q_1 เท่ากับ +12 นาโนคูลอมบ์ ประจุ q_2 เท่ากับ −24 นาโนคูลอมบ์ ประจุ q_3 เท่ากับ +31 นาโนคูลอมบ์ และประจุ q_4 เท่ากับ +17 นาโนคูลอมบ์ กำหนดให้ d เท่ากับ 1.3 เมตร

ก. ศักย์ไฟฟ้าที่จุดกึ่งกลางของสี่เหลี่ยมจัตุรัสนี้มีค่าเท่าไร

ข. พลังงานศักย์ของระบบมีค่าเท่าไร



วิธีทำ ก. ที่จุด P ซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางของสี่เหลี่ยมจัตุรัสอยู่ห่างจากประจุทั้งสี่เป็นระยะ r ดังรูป



จากรูป จะหาค่า r ได้จาก $r = \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2+\left(\frac{d}{2}\right)^2} = \sqrt{\frac{2d^2}{4}}$

$$= \frac{\sqrt{2}}{2}d = (0.7)(1.3) = 0.91 \text{ m}$$

หาศักย์ไฟฟ้าที่จุด P

จาก $V_P = V_1+V_2+V_3+V_4$

$$= \frac{kQ_1}{r}+\frac{kQ_2}{r}+\frac{kQ_3}{r}+\frac{kQ_4}{r}$$

$$= k\left(\frac{Q_1+Q_2+Q_3+Q_4}{r}\right)$$

$$= (9\times10^9)\left(\frac{(+12-24+31+17)\times10^{-9}}{0.91}\right)$$

$$= 356 \text{ V}$$

ดังนั้น ศักย์ไฟฟ้าที่จุดกึ่งกลางของสี่เหลี่ยมจัตุรัสนี้เท่ากับ 356 โวลต์ **ตอบ**

ข. หาพลังงานศักย์ของระบบหาได้จากสมการ

$$U = U_{12}+U_{13}+U_{14}+U_{23}+U_{24}+U_{34}$$

$$= \frac{kq_1q_2}{r_{12}}+\frac{kq_1q_3}{r_{13}}+\frac{kq_1q_4}{r_{14}}+\frac{kq_2q_3}{r_{23}}+\frac{kq_2q_4}{r_{24}}+\frac{kq_3q_4}{r_{34}}$$

$$= k\left(\frac{q_1q_2}{r_{12}}+\frac{q_1q_3}{r_{13}}+\frac{q_1q_4}{r_{14}}+\frac{q_2q_3}{r_{23}}+\frac{q_2q_4}{r_{24}}+\frac{q_3q_4}{r_{34}}\right)$$

$$= k\left(\frac{q_1q_2}{d}+\frac{q_1q_3}{d}+\frac{q_1q_4}{2r}+\frac{q_2q_3}{2r}+\frac{q_2q_4}{d}+\frac{q_3q_4}{d}\right)$$

$$= (9\times10^9)\left(\frac{(12\times10^{-9})(-24\times10^{-9})}{1.3}\right)+\left(\frac{(12\times10^{-9})(31\times10^{-9})}{1.3}\right)$$

$$+\left(\frac{(12\times10^{-9})(17\times10^{-9})}{(2)(0.91)}\right)+\left(\frac{(-24\times10^{-9})(31\times10^{-9})}{(2)(0.91)}\right)$$

$$+\left(\frac{(-24\times10^{-9})(17\times10^{-9})}{1.3}\right)+\left(\frac{(31\times10^{-9})(17\times10^{-9})}{1.3}\right)$$

$$= -1.24\times10^{-6} \text{ J}$$

ดังนั้น พลังงานศักย์ของระบบเท่ากับ -1.24×10^{-6} จูล **ตอบ**

4.2 ศักย์ไฟฟ้าในสนามไฟฟ้าคงที่

นิยามของความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างสองตำแหน่งใดๆ คือ งานที่เกิดขึ้นเพื่อใช้ในการเคลื่อนประจุไฟฟ้า +1 หน่วย จากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้า พิจารณาการเคลื่อนประจุในบริเวณที่มีค่าสนามไฟฟ้าคงที่ ดังรูปที่ 1.3

จากรูปที่ 1.23 งานที่ทำให้ประจุไฟฟ้าเคลื่อนไปได้เป็นระยะ d คือ

$$W_{AB} = Fd$$

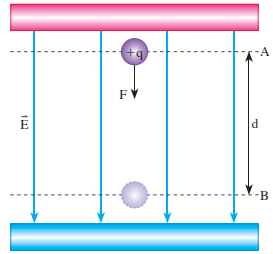
จะได้ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุด A และจุด B

$$V_{AB} = V_A - V_B = \frac{W_{AB}}{q}$$

$$V_{AB} = \frac{Fd}{q} = \frac{(qE)d}{q}$$

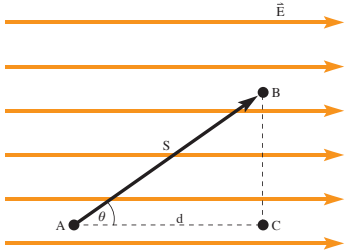
ดังนั้น

$$V_{AB} = Ed \qquad (1.13)$$



รูปที่ 1.23 ประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ภายใต้สนามไฟฟ้าคงที่

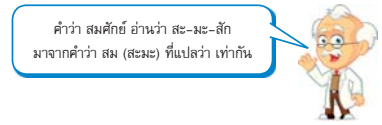
การเคลื่อนที่ของประจุทดสอบในสนามไฟฟ้านั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของประจุทดสอบ จากรูปที่ 1.23 ที่บริเวณจุด B จะมีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าที่บริเวณจุด A ทำให้ประจุทดสอบ +q เคลื่อนที่จากจุด A ไปจุด B ซึ่งเกิดการเปลี่ยนรูปพลังงานศักย์ไฟฟ้าไปเป็นพลังงานจลน์ ทำให้ประจุมีความเร็วเพิ่มขึ้นตามทิศทางของสนามไฟฟ้า แต่ในกรณีที่ประจุทดสอบเป็นประจุลบ จะเคลื่อนที่ในทิศทางตรงข้ามกับสนามไฟฟ้าหรือเคลื่อนที่เข้าหาฝั่งที่ศักย์ไฟฟ้าสูงกว่า

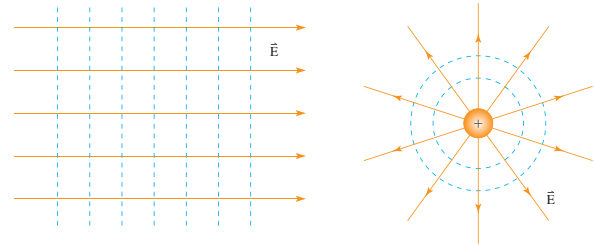


รูปที่ 1.24 ศักย์ไฟฟ้าที่จุด A, B และ C ในสนามไฟฟ้าที่มีขนาดคงที่

พิจารณาการเคลื่อนที่ของประจุทดสอบจากจุด A ไปยังจุด B ในสนามไฟฟ้าคงที่ ดังรูปที่1.24

เมื่อเปรียบเทียบศักย์ไฟฟ้าที่จุด A, B และ C จะพบว่า จุด B และ C มีศักย์ไฟฟ้าเท่ากันและมีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าจุด A เมื่อลากเส้นตามแนว BC ซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าเท่ากันตลอดแนว จะเรียกเส้นที่มีศักย์ไฟฟ้าเท่ากันนี้ว่า **เส้นสมศักย์ (equipotential line)** เส้นสมศักย์จะตั้งฉากกับเส้นสนามไฟฟ้าเสมอ ดังรูปที่ 1.25





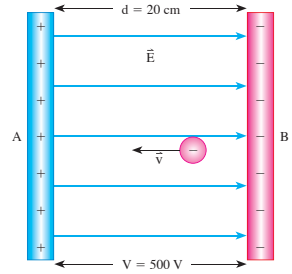
รูปที่ 1.25 ลักษณะเส้นสมศักย์ของสนามไฟฟ้าคงที่และสนามไฟฟ้าจากจุดประจุ

ตัวอย่างที่ 1.20 แผ่นโลหะคู่ขนาน 2 แผ่น ห่างกัน 20 เซนติเมตร มีความต่างศักย์ระหว่างแผ่นทั้งสอง 500 โวลต์

ก. สนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นคู่ขนานทั้งสองมีค่าเท่าไร

ข. ถ้าอิเล็กตรอนหลุดจากแผ่นลบด้วยความเร่ง 10^{15} เมตรต่อวินาที^{2} จะเคลื่อนที่ไปถึงแผ่นบวกด้วยอัตราเร็วเท่าไร

วิธีทำ จากโจทย์ วาดภาพประกอบได้ดังนี้



ก. หาสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะคู่ขนานทั้งสอง

จาก $E = \frac{\Delta V}{d}$

$$= \frac{500}{20\times10^{-2}}$$

$$E = 2{,}500 \text{ V/m}$$

ดังนั้น สนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นคู่ขนานทั้งสองเท่ากับ 2,500 โวลต์ต่อเมตร **ตอบ**

ข. หาอัตราเร็วของอิเล็กตรอนเมื่อเคลื่อนที่ไปถึงแผ่นบวก ขณะที่อิเล็กตรอนหลุดออกจากแผ่นลบจะมีอัตราเร็วต้นเป็นศูนย์ $u = 0$ และเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง $a = 10^{15}\ m/s^2$

จาก $v^2 = u^2+2aS$

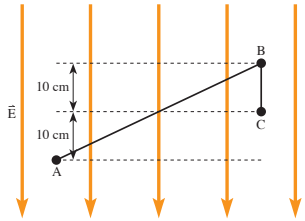
$v^2 = 0+2(10^{15})(20\times10^{-2})$

$v^2 = 4\times10^{14}$

$v = 2\times10^{7}\ m/s$

ดังนั้น อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปถึงแผ่นบวกด้วยอัตราเร็ว 2×10^{7} เมตรต่อวินาที **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 1.21 ถ้า E เป็นสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอมีขนาด 20 โวลต์ต่อเมตร งานที่ใช้ในการเคลื่อนประจุ 2×10^{-9} คูลอมบ์ จากจุด A ไปยัง B และ C ดังรูป มีค่าเท่าไร



วิธีทำ หางานในการย้ายประจุจาก A ไปยัง C

$W_{A\to C} = q(V_C-V_A)$

เมื่อสนามไฟฟ้าคงที่จะได้ความสัมพันธ์กับศักย์ไฟฟ้าดังนี้

$E = \frac{\Delta V}{d} = \frac{V_C-V_A}{d}$

$V_C-V_A = Ed$

จะได้ $W_{A\to C} = q(Ed)$

$W_{A\to C} = (2\times10^{-9})(20)(10\times10^{-2})$

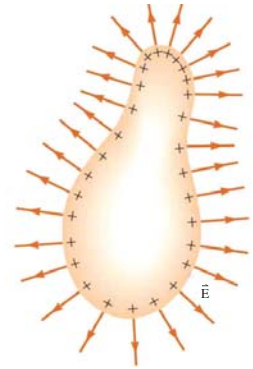
$W_{A\to C} = 4\times10^{-9}\ J$

ดังนั้น งานที่ใช้ในการเคลื่อนประจุเท่ากับ 4×10^{-9} จูล **ตอบ**

4.3 ศักย์ไฟฟ้าและสนามไฟฟ้าของตัวนำทรงกลม

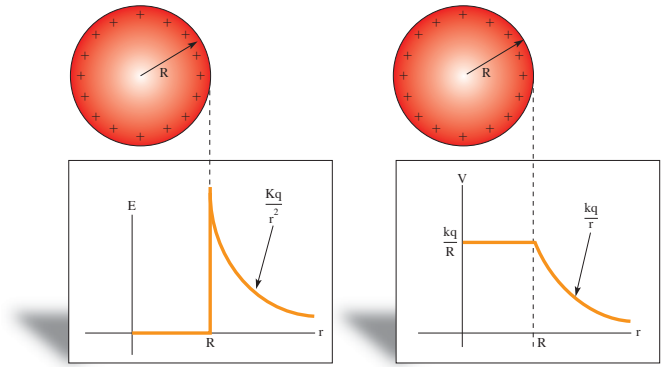
สำหรับตัวนำรูปทรงใดๆ ประจุไฟฟ้าอิสระจะอยู่เฉพาะที่ผิวของตัวนำเท่านั้น ไม่สามารถอยู่ภายในตัวนำได้ เพราะฉะนั้นสนามไฟฟ้าในตัวนำจะมีค่าเป็นศูนย์ และสนามไฟฟ้าที่ผิวของตัวนำจะมีทิศทางตั้งฉากกับผิวของตัวนำเสมอ

ถ้าเคลื่อนประจุไฟฟ้าอิสระบนผิวของตัวนำจากจุดใดจุดหนึ่ง โดยทำให้มีระยะกระจัดน้อยๆ (ds) เช่น จุด A ไปจุด B ดังนั้น จากความต่างศักย์ของสนามไฟฟ้าคงที่จะได้ $V = E\cdot ds = 0$ เพราะสนามไฟฟ้ามีทิศตั้งฉากกับการกระจัดของประจุ ($E\perp ds$) ทำให้ศักย์ไฟฟ้าที่ทุกๆ จุดบนผิวตัวนำมีค่าเท่ากัน หรือกล่าวได้ว่า ผิวของตัวนำเป็นผิวสมศักย์ จึงสรุปได้ว่า ศักย์ไฟฟ้าภายในตัวนำจะมีค่าคงตัวในทุกๆ จุดและมีค่าเท่ากับศักย์ไฟฟ้าที่ผิวของตัวนำ



รูปที่ 1.26 ทิศทางของสนามไฟฟ้าที่ผิวตัวนำจะตั้งฉากกับผิวของตัวนำเสมอ

ถ้าตัวนำมีลักษณะสมมาตร เช่น ทรงกลม ประจุไฟฟ้าจะกระจายอย่างสม่ำเสมอที่ผิวของตัวนำ ภายในทรงกลมตัวนำจะมีสนามไฟฟ้าเป็นศูนย์และมีศักย์ไฟฟ้าคงตัวในทุกๆ จุดภายในตัวนำ สำหรับสนามไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้าภายนอกทรงกลมตัวนำ ให้คิดเสมือนว่าประจุของทรงกลมไปรวมกันที่ศูนย์กลางของทรงกลม สนามไฟฟ้าจะเป็นฟังก์ชันของส่วนกลับของระยะทางกำลังสอง ดังรูปที่ 1.27 ก ส่วนศักย์ไฟฟ้าจะเป็นฟังก์ชันของส่วนกลับของระยะทางเช่นกัน ดังรูปที่ 1.27 ข



ก. สนามไฟฟ้าในตัวนำเป็นศูนย์ ภายนอกทรงกลม สนามไฟฟ้าจะเป็นฟังก์ชันของส่วนกลับของระยะทางกำลังสอง

ข. ศักย์ไฟฟ้าจะมีค่าคงตัวในทุกๆ จุดภายในตัวนำ ภายนอกทรงกลม ศักย์ไฟฟ้าจะเป็นฟังก์ชันของส่วนกลับของระยะทาง

รูปที่ 1.27 สนามไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้าของตัวนำที่มีลักษณะสมมาตร

ตัวอย่างที่ 1.22 วัตถุตัวนำทรงกลมตันรัศมี a เท่ากับ 10 เซนติเมตร มีประจุ -1.6×10^{-6} คูลอมบ์ จงหาขนาดของสนามไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่าง ๆ ดังนี้

ก. ห่างจากจุดศูนย์กลางทรงกลม 5 เซนติเมตร

ข. ห่างจากจุดศูนย์กลางทรงกลม 10 เซนติเมตร

ค. ห่างจากจุดศูนย์กลางทรงกลม 14 เซนติเมตร

วิธีทำ ก. ตำแหน่งที่ห่างจากจุดศูนย์กลางทรงกลม 5 cm เป็นจุดภายในทรงกลม สนามไฟฟ้าภายในทรงกลมจะเป็นศูนย์

ส่วนศักย์ไฟฟ้าภายในทรงกลมจะเท่ากับศักย์ไฟฟ้าที่ผิวของทรงกลม

จาก $V = \frac{kQ}{a}$

$= \frac{(9\times10^{9})(-1.6+10^{-6})}{10\times10^{-2}}$

$= -1.44\times10^{5}$ V

ดังนั้น ตำแหน่งที่ห่างจากจุดศูนย์กลางทรงกลม 5 เซนติเมตร สนามไฟฟ้าเป็นศูนย์และศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ -1.44×10^{5} โวลต์ **ตอบ**

ข. ที่ตำแหน่งห่างจากจุดศูนย์กลางทรงกลม 10 cm คือที่ผิวของทรงกลม

หาขนาดของสนามไฟฟ้าจาก $E = \frac{kQ}{a^2}$

$= \frac{(9\times10^{9})(1.6\times10^{-6})}{(10\times10^{-2})^2}$

$= 1.44\times10^{6}$ N/C

หาศักย์ไฟฟ้าจาก $V = \frac{kQ}{a}$

$= \frac{(9\times10^{9})(-1.6\times10^{-6})}{10\times10^{-2}}$

$= 1.44\times10^{5}$ N/C

ดังนั้น ตำแหน่งที่ห่างจากจุดศูนย์กลางทรงกลม 10 เซนติเมตร ขนาดของสนามไฟฟ้าเท่ากับ 1.44×10^{6} นิวตันต่อคูลอมบ์ และศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ -1.44×10^{5} โวลต์ **ตอบ**

ค. ที่ตำแหน่งห่างจากจุดศูนย์กลางทรงกลม 14 cm เป็นตำแหน่งที่อยู่ภายนอกทรงกลม

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

$= \frac{(9\times10^{9})(1.6\times10^{-6})}{(14\times10^{-2})^2}$

$= 7.35\times10^{5}$ N/C

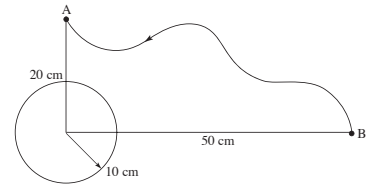
หาขนาดของสนามไฟฟ้าจาก $V = \frac{kQ}{r}$

$= \frac{(9\times10^{9})(-1.6\times10^{-6})}{14\times10^{-2}}$

$= -1.03\times10^{5}$ N/C

ดังนั้น ตำแหน่งที่ห่างจากจุดศูนย์กลางทรงกลม 14 เซนติเมตร ขนาดของสนามไฟฟ้าเท่ากับ 7.35×10^{5} นิวตันต่อคูลอมบ์ และศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ -1.03×10^{5} โวลต์ **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 1.23 โลหะรูปทรงกลมรัศมี 10 เซนติเมตร มีประจุไฟฟ้า 10^{-9} คูลอมบ์ ดังรูป งานในการนำโปรตอน 1 ตัว เคลื่อนที่จากจุด B มายังจุด A มีค่าเท่าไร



วิธีทำ กำหนดให้ W_{BA} เป็นงานในการเคลื่อนโปรตอนจาก B→A

จาก $W_{B\to A} = q(V_A - V_B)$

$= q\left(\frac{kQ}{r_A} - \frac{kQ}{r_B}\right)$

$= kQq\left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B}\right)$

$= (9\times10^{9})(10^{-9})(1.6\times10^{-19})\left(\frac{1}{0.2} - \frac{1}{0.5}\right)$

$= 4.32\times10^{-18}$ J

ดังนั้น งานในการนำโปรตอน 1 ตัว เคลื่อนที่จากจุด B มายังจุด A เท่ากับ 4.32×10^{-18} จูล **ตอบ**

กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.4

จงตอบคำถามต่อไปนี้

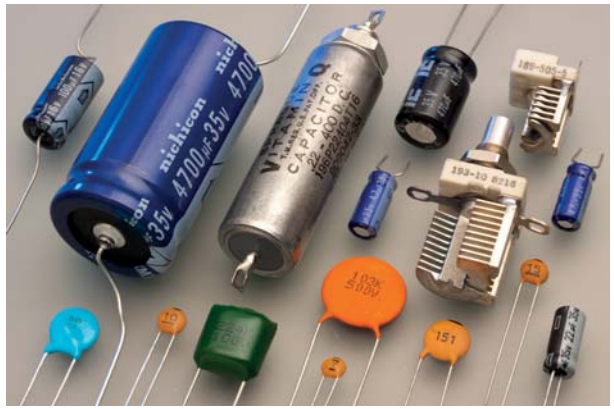
1. ในการเคลื่อนประจุ 2×10^{-4} คูลอมบ์เข้าหาประจุไฟฟ้าบวกจากระยะอนันต์จนถึงจุด ๆ หนึ่ง ต้องใช้งานในการเคลื่อนประจุ 5×10^{-2} จูล ที่จุดนั้นมีศักย์ไฟฟ้าเท่าไร
2. ประจุไฟฟ้า Q มีขนาด 8×10^{-9} คูลอมบ์ ที่จุดห่างจากประจุไฟฟ้า Q เป็นระยะ 10 เมตร จะมีศักย์ไฟฟ้าเท่าไร
3. ศักย์ไฟฟ้าและสนามไฟฟ้าของทรงกลมตัวนำมีลักษณะอย่างไร

5. ตัวเก็บประจุ

แนวคิดสำคัญ

ตัวเก็บประจุเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถเก็บประจุไฟฟ้าได้ ภายในประกอบด้วยแผ่นโลหะขนาน 2 แผ่นประกอบกัน ค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุหาได้จากสมการ $C = \frac{Q}{V}$

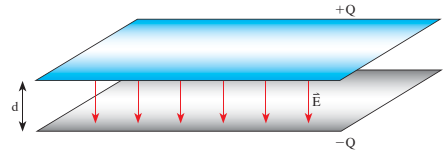
การเคลื่อนย้ายประจุจะต้องใช้งานจากภายนอก เพื่อเปลี่ยนพลังงานศักย์ของประจุ ซึ่งงานจากภายนอกจะเป็นพลังงานที่สะสมในระบบ ตัวอย่างง่าย ๆ ของการย้ายประจุ คือ การต่อแผ่นตัวนำแบบขนานเข้ากับขั้วไฟฟ้าบวกและลบ แล้วต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้า อิเล็กตรอนจะเคลื่อนออกจากขั้วหนึ่ง ทำให้เกิดประจุ $+q$ และอิเล็กตรอนจะไปสะสมที่อีกขั้วหนึ่ง ทำให้เกิดประจุ $-q$ จะเห็นว่าประจุสุทธิของระบบยังคงเป็นกลาง แต่แหล่งจ่ายไฟฟ้าทำงานโดยการเคลื่อนอิเล็กตรอนให้ไปเก็บสะสมที่ขั้วไฟฟ้าด้านหนึ่งมากกว่าอีกด้านหนึ่ง จึงเรียกอุปกรณ์ลักษณะนี้ว่า **ตัวเก็บประจุ (capacitor)** ซึ่งงานที่ทำโดยแหล่งจ่ายไฟฟ้าจะเปลี่ยนเป็นพลังงานที่สะสมในขั้วไฟฟ้า และการถ่ายเทประจุจะหยุดลงเมื่อความต่างศักย์ของแผ่นตัวนำเท่ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้า โดยตัวเก็บประจุที่มีค่าความจุไฟฟ้าสูงจะสามารถสะสมประจุไฟฟ้าได้มาก



รูปที่ 1.28 ตัวเก็บประจุแบบต่าง ๆ

ตัวเก็บประจุเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งที่สามารถเก็บสะสมประจุไฟฟ้าหรือกักเก็บพลังงานไฟฟ้าได้ มีสัญลักษณ์เป็น ⟊ พบได้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั่ว ๆ ไป เช่น เครื่องรับวิทยุ วงจรเรียงกระแสของหม้อแปลงไฟฟ้า ไฟแฟลชของกล้องถ่ายรูป

โดยพื้นฐานตัวเก็บประจุจะประกอบด้วยแผ่นตัวนำสองแผ่นวางขนานกันและอยู่ห่างกันเล็กน้อยเป็นระยะ d ดังรูปที่ 1.29 ถ้าพื้นที่ระหว่างแผ่นขนานมากขึ้น ค่าความจุไฟฟ้าจะยิ่งมาก โดยทั่วไประยะ d จะมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับพื้นที่ของแผ่นขนาน เมื่อมีประจุ $+Q$ และ $-Q$ สะสมที่แผ่นขนานทั้งสองด้าน อาจจะประมาณได้ว่ามีสนามไฟฟ้าคงที่เกิดขึ้นระหว่างแผ่นขนาน เมื่อตัวเก็บประจุถูกอัดประจุ แผ่นตัวนำทั้งสองจะมีประจุขนาดเท่ากันแต่ชนิดตรงกันข้าม จึงทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้นบนแผ่นตัวนำทั้งสองได้



รูปที่ 1.29 ตัวเก็บประจุแบบแผ่นโลหะขนาน

การทำงานของตัวเก็บประจุมี 2 ขั้นตอน ดังนี้

1. การเก็บประจุ คือ การเก็บอิเล็กตรอนไว้ที่แผ่นโลหะของตัวเก็บประจุ เมื่อนำแบตเตอรี่ต่อเข้ากับตัวเก็บประจุ อิเล็กตรอนจากขั้วลบของแบตเตอรี่จะเข้าไปรวมกันที่แผ่นโลหะทำให้เกิดประจุลบขึ้น และส่งสนามไฟฟ้าไปผลักอิเล็กตรอนของแผ่นตรงข้าม ซึ่งโดยปกติในแผ่นโลหะจะมีประจุเป็น + และ − ปะปนกันอยู่ เมื่ออิเล็กตรอนจากแผ่นโลหะนี้ถูกผลักให้หลุดออกไปแล้วจึงเหลือประจุบวกมากกว่าประจุลบ ยิ่งอิเล็กตรอนถูกผลักออกไปมากขึ้น แผ่นโลหะนั้นก็จะเป็นบวกมากขึ้น

2. การคายประจุ คือ ตัวเก็บประจุที่อัดประจุไฟฟ้าแล้ว ถ้ายังไม่นำขั้วตัวเก็บประจุมาต่อกัน อิเล็กตรอนก็ยังคงอยู่ที่แผ่นโลหะ แต่ถ้ามีการต่อจนครบวงจรระหว่างแผ่นโลหะทั้งสอง อิเล็กตรอนก็จะวิ่งจากแผ่นโลหะทางด้านลบไปที่แผ่นโลหะด้านบวกทันที

5.1 ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ

ความจุไฟฟ้า (capacitance : C) คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณประจุไฟฟ้าบนแผ่นตัวนำแผ่นใดแผ่นหนึ่งกับความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างตัวนำทั้งสอง ดังสมการ

$$C = \frac{Q}{V} \qquad (1.14)$$

เมื่อ C คือ ความจุของตัวเก็บประจุไฟฟ้า มีหน่วยเป็น ฟารัด (F)
Q คือ ประจุไฟฟ้าบนแผ่นตัวนำ มีหน่วยเป็น คูลอมบ์ (C)
V คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างตัวนำ มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

สำหรับตัวนำทรงกลมรัศมี a จะมีศักย์ไฟฟ้าที่ผิวของตัวนำ ดังสมการ

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

จัดรูปสมการใหม่ $$\frac{Q}{V} = \frac{a}{k}$$

จะได้ความจุไฟฟ้าของตัวนำทรงกลม $$C = \frac{a}{k} \quad (1.15)$$

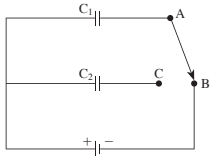
พิจารณาพลังงานศักย์ไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ ที่เวลา t = 0 วินาที ตัวเก็บประจุมีประจุไฟฟ้าเป็นศูนย์ เมื่อต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากับตัวเก็บประจุ ประจุไฟฟ้าบนแผ่นตัวนำจะเพิ่มขึ้นตามเวลาและจะหยุดถ่ายเทเมื่อศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วของตัวเก็บประจุมีค่าเท่ากับแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้า ถ้าจำนวนประจุไฟฟ้าที่ประจุได้เต็มที่เป็น Q ดังนั้น งานที่ใช้ในการเคลื่อนประจุไฟฟ้าผ่านจุด 2 จุดที่มีความต่างศักย์ไฟฟ้า V มีค่าดังสมการ

$$W = \frac{1}{2}QV \quad (1.16)$$

และงานทางไฟฟ้าจากสมการนี้จะเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานศักย์ไฟฟ้าสะสมในตัวเก็บประจุ ดังนั้น

$$U = \frac{1}{2}QV = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C} \quad (1.17)$$

ตัวอย่างที่ 1.24 ตัวเก็บประจุ C_1 ถูกอัดประจุด้วยแหล่งจ่ายไฟขนาด 12 โวลต์ ถ้า C_1 เท่ากับ 250 ไมโครฟารัด และ C_2 เท่ากับ 400 ไมโครฟารัด เมื่อสวิตช์ต่อกับตำแหน่ง AB เป็นเวลานานพอสมควร ดังรูป จงหา



ก. ประจุไฟฟ้าที่สะสมใน C_1
ข. ประจุไฟฟ้าที่สะสมใน C_2
หลังจากนั้นเปลี่ยนตำแหน่งสวิตช์มายังตำแหน่ง AC จงหา
ค. พลังงานศักย์ไฟฟ้าบน C_1
ง. พลังงานศักย์ไฟฟ้าบน C_2

วิธีทำ เมื่อสวิตช์อยู่ที่ตำแหน่ง AB กำหนดให้ปริมาณประจุที่สะสมสูงสุดที่ C_1 เท่ากับ Q_0

$$Q_0 = C_1V_0$$
$$= (250\times10^{-6})(12)$$
$$= 3{,}000\times10^{-6}\ C$$

และพลังงานศักย์ไฟฟ้า $$U = \frac{1}{2}Q_0V_0$$
$$= \frac{1}{2}(3{,}000\times10^{-6})(12)$$
$$= 0.018\ J$$

เมื่อเปลี่ยนตำแหน่งสวิตช์มาที่ AC ประจุ Q_0 บนตัวเก็บประจุ C_1 จะถูกถ่ายเทมายังตัวเก็บประจุ C_2 และประจุจะหยุดถ่ายเทเมื่อความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุทั้งสองมีค่าเท่ากัน

จะได้ $$Q_1 = C_1V$$
และ $$Q_2 = C_2V$$
โดยผลรวมของประจุที่ C_1 และ C_2 มีค่าเท่ากับ Q_0 หรือ $Q_1+Q_2 = Q_0$

ถ้าให้ V เป็นความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วตัวเก็บประจุทั้งสอง เมื่อประจุไฟฟ้าหยุดถ่ายเท จะได้

$$V = \frac{Q_0}{C_1+C_2}$$
$$= \frac{3000\times10^{-6}}{(400+250)\times10^{-6}}$$
$$= 4.6\ V$$

ก. หาประจุไฟฟ้าที่สะสมใน C_1

จาก $$Q_1 = C_1V$$
$$= (250\times10^{-6})(4.62)$$
$$= 1.16\times10^{-3}\ C$$

ดังนั้น ประจุไฟฟ้าที่สะสมใน C_1 เท่ากับ 1.16×10^{-3} คูลอมบ์ **ตอบ**

ข. หาประจุไฟฟ้าที่สะสมใน C_2

จาก $$Q_2 = C_2V$$
$$= (400\times10^{-6})(4.62)$$
$$= 1.85\times10^{-3}\ C$$

ดังนั้น ประจุไฟฟ้าที่สะสมใน C_2 เท่ากับ 1.84×10^{-3} คูลอมบ์ **ตอบ**

ค. หาพลังงานศักย์ไฟฟ้าบน C_1

จาก $$U_1 = \frac{1}{2}Q_1V_1$$
$$= \frac{1}{2}(1.16\times10^{-3})(4.62)$$
$$= 2.68\times10^{-3}\ J$$

ดังนั้น พลังงานศักย์ไฟฟ้าบน C_1 เท่ากับ 2.68×10^{-3} จูล **ตอบ**

ง. หาพลังงานศักย์ไฟฟ้าบน C_2

จาก $$U_2 = \frac{1}{2}Q_2V_2$$
$$= \frac{1}{2}(1.85\times10^{-3})(4.62)$$
$$= 4.27\times10^{-3}\ J$$

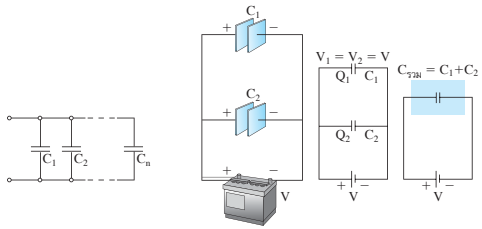
ดังนั้น พลังงานศักย์ไฟฟ้าบน C_1 เท่ากับ 4.27×10^{-3} จูล **ตอบ**

5.2 การต่อตัวเก็บประจุ

การต่อตัวเก็บประจุมีกี่แบบ

เมื่อต้องการค่าความจุไฟฟ้าค่าใดค่าหนึ่งซึ่งตัวเก็บประจุตัวเดียวอาจจะมีค่าความจุไม่เพียงพอ จึงต้องนำตัวเก็บประจุมาประกอบหรือต่อกันตั้งแต่สองตัวขึ้นไปเพื่อให้ได้ค่าความจุไฟฟ้าที่ต้องการ การนำตัวเก็บประจุหลายตัวมาต่อกัน ค่าความจุไฟฟ้ารวมของวงจรจะขึ้นอยู่กับรูปแบบในการต่อ ซึ่งลักษณะการต่อตัวเก็บประจุพื้นฐานมี 2 แบบ คือ การต่อแบบขนานและการต่อแบบอนุกรม

1. การต่อแบบขนาน จะต่อตัวเก็บประจุให้อยู่ในลักษณะขนานกัน ดังรูปที่ 1.30 โดยขั้วไฟฟ้าทั้งสองด้านของตัวเก็บประจุจะต่อเข้าด้วยกันแล้วต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 1.30 การต่อตัวเก็บประจุแบบขนาน

จากรูปที่ 1.30 เมื่อต่อตัวเก็บประจุ 2 ตัวเข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์ V จะมีประจุสะสมในตัวเก็บประจุ C_1 เป็น Q_1 และตัวเก็บประจุ C_2 เป็น Q_2 ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วของตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะเท่ากับความต่างศักย์ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า $V_1 = V_2 = V$

จะได้ $Q_1 = C_1V$

และ $Q_2 = C_2V$

ดังนั้น ประจุสะสมรวม Q ที่อยู่ในวงจรจะเป็น

$$Q = Q_1+Q_2$$
$$Q = C_1V+C_2V$$
$$Q = (C_1+C_2)V$$

จากสมการที่ (1.14) จะได้ $\frac{Q}{V} = C_1+C_2$

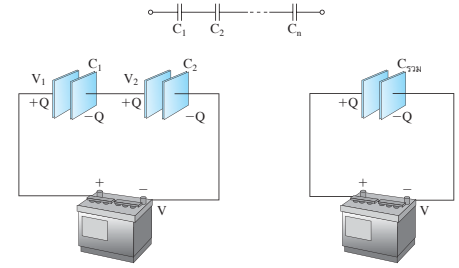
จะได้ความจุไฟฟ้ารวม

$$C = C_1+C_2 \qquad (1.18)$$

จะเห็นว่าค่าความจุไฟฟ้ารวมของวงจรเกิดจากการรวมค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุแต่ละตัวเข้าด้วยกัน ดังนั้น ถ้ามีตัวเก็บประจุจำนวน n ตัวต่อแบบขนาน จะได้ค่าความจุไฟฟ้ารวมเป็น

$$C = C_1+C_2+C_3+....+C_n$$

2. การต่อแบบอนุกรม จะต่อตัวเก็บประจุในลักษณะเรียงกัน โดยขั้วไฟฟ้าของตัวเก็บประจุตัวแรกจะต่อกับขั้วไฟฟ้าของตัวเก็บประจุตัวถัดไป ดังรูปที่ 1.31



รูปที่ 1.31 การต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรม

เมื่อต่อตัวเก็บประจุเข้ากับความต่างศักย์ V จะทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนออกจากแผ่นโลหะของตัวเก็บประจุ C_1 (ทำให้เกิดประจุสุทธิเป็น +Q) ไปยังแผ่นโลหะขนานของตัวเก็บประจุ C_2 (ทำให้เกิดประจุสุทธิเป็น −Q) ความต่างศักย์ V จะทำให้ประจุเคลื่อนจากตัวเก็บประจุตัวแรกไปยังตัวเก็บประจุตัวสุดท้าย วงจรจึงมีประจุสะสมรวมเป็น Q

ทั้งนี้ประจุสุทธิ +Q บน C_1 จะเหนี่ยวนำให้ประจุ −Q มาอยู่ที่แผ่นโลหะอีกด้านหนึ่ง จึงทำให้มีประจุสะสมบนตัวเก็บประจุ C_1 เป็น Q และประจุ −Q ที่เกิดขึ้นบน C_2 จะเหนี่ยวนำให้มีประจุ +Q ที่ขั้วอีกด้านหนึ่ง จึงทำให้มีประจุสะสมบนตัวเก็บประจุ C_2 เป็น Q

จะเห็นว่า ตัวเก็บประจุแต่ละตัวในวงจรจะมีประจุสะสมเท่ากันและเท่ากับประจุสะสมรวมในวงจร แต่ประจุสะสมรวมของวงจรไม่ใช่การรวมประจุที่สะสมในตัวเก็บประจุแต่ละตัว เนื่องจากประจุสะสมรวมในวงจรเกิดจากการเคลื่อนประจุด้วยความต่างศักย์ V จากแผ่นขนานของตัวเก็บประจุตัวแรกกับตัวสุดท้าย ส่วนการสะสมประจุที่ตัวเก็บประจุย่อย ๆ แต่ละตัวเกิดจากการเหนี่ยวนำซึ่งเป็นผลที่ตามมา ไม่ได้เกิดจากงานที่ทำโดยแหล่งกำเนิด V ดังนั้น $Q_1 = Q_2 = Q$

จะได้ $V_1 = \frac{Q}{C_1}$

และ $V_2 = \frac{Q}{C_2}$

ผลรวมของความต่างศักย์บนตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะเท่ากับความต่างศักย์ของแหล่งกำเนิด จะได้

$$V = V_1+V_2$$
$$V = \frac{Q}{C_1}+\frac{Q}{C_2}$$

จากสมการที่ (1.14) จะได้ $\frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1}+\frac{Q}{C_2}$

จะได้ความจุไฟฟ้ารวม

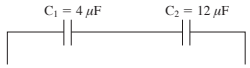
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2} \qquad (1.19)$$

ดังนั้น ถ้ามีตัวเก็บประจุจำนวน n ตัวต่ออนุกรมกัน จะได้ค่าความจุไฟฟ้ารวมเป็น

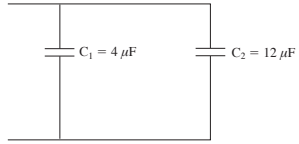
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}+...+\frac{1}{C_n}$$

ในการหาความจุไฟฟ้ารวมของการต่อแบบอนุกรมนั้นควรระวังว่า เมื่อรวมพจน์ต่างๆ แล้ว ค่าความจุไฟฟ้ารวมคือส่วนกลับของผลรวมนั้น และการหาความจุไฟฟ้ารวมของวงจรที่ต่อตัวเก็บประจุแบบผสมจะต้องแยกคิดความจุไฟฟ้ารวมจากส่วนย่อยๆ ของวงจรก่อน แล้วจึงค่อยๆ พิจารณาจนครบทั้งวงจร หรือให้พิจารณาวงจรย่อยก่อนแล้วจึงพิจารณาวงจรที่ใหญ่ขึ้น

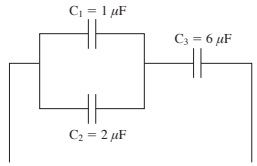
ตัวอย่างที่ 1.25 จากรูป ก ข ค และ ง ค่าความจุไฟฟ้ารวมของวงจรมีค่าเท่าไร



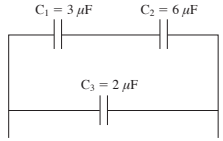
ก.



ข.



ค.



ง.

วิธีทำ จากรูป ก เป็นการต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรม

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

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{4}+\frac{1}{12} = \frac{4}{12} = \frac{1}{3}$$

$$C = 3\ \mu F$$

ดังนั้น ค่าความจุไฟฟ้ารวมของรูป ก มีค่าเท่ากับ 3 ไมโครฟารัด **ตอบ**

จากรูป ข เป็นการต่อตัวเก็บประจุแบบขนาน

จาก $$C = C_1+C_2$$

$$= 4+12$$

$$= 16\ \mu F$$

ดังนั้น ค่าความจุไฟฟ้ารวมของรูป ข มีค่าเท่ากับ 16 ไมโครฟารัด **ตอบ**

จากรูป ค เป็นการต่อตัวเก็บประจุแบบผสม จะหาความจุไฟฟ้ารวมที่ C_1 และ C_2 ที่ต่อกันแบบขนานก่อน

จาก $$C_{12} = C_1+C_2$$

$$= 1+2 = 3\ \mu F$$

หาความจุไฟฟ้ารวมที่ C_1 และ C_2 ต่ออนุกรมกับ C_3

จาก $$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_{12}}+\frac{1}{C_3}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{3}+\frac{1}{6} = \frac{3}{6} = \frac{1}{2}$$

$$C = 2\ \mu F$$

ดังนั้น ค่าความจุไฟฟ้ารวมของรูป ค มีค่าเท่ากับ 2 ไมโครฟารัด **ตอบ**

จากรูป ง เป็นการต่อตัวเก็บประจุแบบผสม จะหาความจุไฟฟ้ารวมที่ C_1 และ C_2 ที่ต่อกันแบบอนุกรมก่อน

จาก $$\frac{1}{C_{12}} = \frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}$$

$$\frac{1}{C_{12}} = \frac{1}{3}+\frac{1}{6} = \frac{3}{6} = \frac{1}{2}$$

$$C_{12} = 2\ \mu F$$

หาความจุไฟฟ้ารวมที่ C_1 และ C_2 ต่อขนานกับ C_3

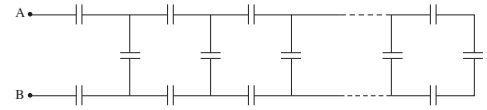
จาก $$C = C_{12}+C_3$$

$$= 2+2$$

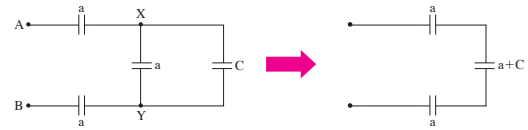
$$= 4\ \mu F$$

ดังนั้น ค่าความจุไฟฟ้ารวมของรูป ง มีค่าเท่ากับ 4 ไมโครฟารัด **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 1.26 ความจุทุกตัวเท่ากันหมดตัวละ a ฟารัด ต่อกันถึงระยะอนันต์ ดังรูป ความจุไฟฟ้ารวมระหว่าง A กับ B มีค่าเท่าไร



วิธีทำ เนื่องจากตัวเก็บประจุต่อถึงระยะอนันต์ ให้ความจุไฟฟ้าที่ต่อถึงระยะอนันต์ $= C = C_{XY} = C_{รวม}$



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

จะได้ $\frac{1}{C} = \frac{1}{a}+\frac{1}{a}+\frac{1}{a+C} = \frac{2}{a}+\frac{1}{a+C}$

$\frac{1}{C} = \frac{2(a+C)+a}{a(a+C)}$

$aC+a^2 = aC^2+3aC$

$2C^2+aC-a^2 = 0$

หาค่า C จากสมการ $x = \frac{-b\pm\sqrt{b^2+4ac}}{2a}$

จะได้ $C = \frac{-2a\pm\sqrt{(2a)^2+4(2)(a^2)}}{2(2)}$

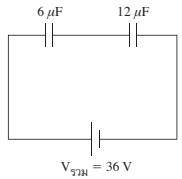
$C = \frac{(\sqrt{3}-1)a}{2}$ F

ดังนั้น ความจุรวมระหว่าง A กับ B เท่ากับ $\frac{(\sqrt{3}-1)a}{2}$ ฟารัด **ตอบ**

กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.5

จงตอบคำถามต่อไปนี้

1. ตัวเก็บประจุทำหน้าที่อะไรในวงจรไฟฟ้า
2. ถ้าต้องการให้วงจรไฟฟ้าสามารถเก็บประจุได้มากที่สุด จะต้องต่อตัวเก็บประจุอย่างไร
3. หากต้องการเก็บประจุไฟฟ้า ควรจะใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดความจุที่ต้องการหรือต่อตัวเก็บประจุให้ได้ความจุที่ต้องการ วิธีการใดเหมาะสมที่สุดเพราะเหตุใด
4. ตัวนำทรงกลมรัศมี 10 เซนติเมตร จะมีความจุไฟฟ้าเท่าไร
5. จากรูปวงจรไฟฟ้า ประจุไฟฟ้ารวมของวงจรมีค่าเท่าไร



6. การประยุกต์ใช้ไฟฟ้าสถิตในชีวิตประจำวัน

แนวคิดสำคัญ

หลักการทางไฟฟ้าสถิตสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในชีวิตประจำวันได้ เช่น เครื่องถ่ายเอกสาร เครื่องพ่นสี แต่บางครั้ง การเกิดไฟฟ้าสถิตก็ทำให้เกิดอันตรายได้เช่นกัน

จากการเรียนรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าสถิตในเรื่องต่างๆ สามารถนำหลักการทางไฟฟ้าสถิตมาประยุกต์ใช้ในการสร้างเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ที่พบได้ในชีวิตประจำวันดังตัวอย่างต่อไปนี้

1. เครื่องถ่ายเอกสาร เป็นอุปกรณ์สำหรับถ่ายสำเนาสิ่งพิมพ์ที่เป็นอักษรหรือภาพ หลักการทำงานที่สำคัญคือ การใช้แผ่นฟิล์มที่ฉาบด้วยตัวนำซึ่งมีสมบัติพิเศษคือ เป็นตัวนำเมื่อถูกแสงและจะเป็นฉนวนเมื่อไม่ถูกแสง การทำงานของเครื่องถ่ายเอกสารโดยสรุปมีดังนี้

1) เมื่อเครื่องเริ่มทำงาน แผ่นฟิล์มจะถูกทำให้เป็นประจุบวกทั้งแผ่น

2) หลอดไฟในเครื่องถ่ายเอกสารจะส่องแสงผ่านสิ่งพิมพ์ให้หักเหผ่านเลนส์ไปตกกระทบกับแผ่นฟิล์ม

– บริเวณที่เป็นสีขาวบนสิ่งพิมพ์ แสงจะทะลุมากระทบแผ่นฟิล์มได้ ทำให้แผ่นฟิล์มบริเวณนั้นเป็นตัวนำ ส่งผลให้บริเวณนั้นเป็นกลางทางไฟฟ้า (ไม่มีประจุบวกในบริเวณที่ถูกแสง)

– บริเวณที่เป็นตัวอักษรหรือลายเส้นบนสิ่งพิมพ์ที่เป็นสีดำจะดูดกลืนแสง ทำให้บริเวณนั้นบนแผ่นฟิล์มไม่มีแสงไปตกกระทบแผ่นฟิล์ม บริเวณนั้นจึงคงเป็นฉนวนอยู่ (มีประจุบวกตรงส่วนที่ไม่ถูกแสง)

3) พ่นผงหมึกที่มีประจุลบลงบนแผ่นฟิล์ม ผงหมึกจะติดกับแผ่นฟิล์มเฉพาะตรงส่วนที่มีประจุบวก ทำให้ได้ตัวอักษรหรือลายเส้นที่เหมือนกับต้นฉบับ

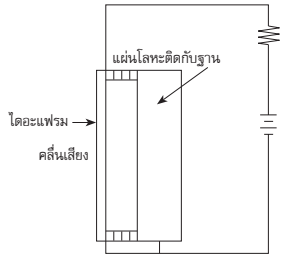
4) เมื่อกดแผ่นกระดาษประจุไฟฟ้าบวกลงบนแผ่นฟิล์มที่มีผงหมึกในข้อ 3 ก็จะได้ภาพสำเนาที่เหมือนกับต้นฉบับปรากฏบนกระดาษ

5) นำกระดาษนี้ไปอบความร้อนเพื่อให้ผงหมึกติดแน่น ก็จะได้ภาพสำเนาบนแผ่นกระดาษที่ชัดเจนและถาวร

2. เครื่องกำจัดฝุ่นในอากาศ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้กำจัดอนุภาคแขวนลอยออกจากอากาศโดยใช้หลักการของสนามไฟฟ้า โดยการดูดอากาศสกปรกเข้าในเครื่องโดยที่ภายในเครื่องมีสนามไฟฟ้าความเข้มสูงมาก เมื่ออนุภาคแขวนลอยผ่านเข้าในเครื่องจะถูกทำให้เป็นประจุลบ และอนุภาคแขวนลอยเหล่านี้จะถูกดูดไปติดกับผนังท่อดูดอากาศภายในเครื่องซึ่งถูกทำให้เป็นขั้วบวก อากาศที่ผ่านออกไปจึงเป็นอากาศสะอาดที่ไม่มีสารแขวนลอย

3. เครื่องพ่นสี เป็นอุปกรณ์ใช้สำหรับพ่นผงหรือละอองสีเพื่อให้สีเกาะติดชิ้นงานได้ดีกว่าการพ่นแบบธรรมดา โดยสีที่เป็นของเหลวจะพุ่งออกจากอุปกรณ์พ่นออกมาเป็นละอองขนาดเล็กกระจายบนผิวของชิ้นงาน ภายในละอองเล็กๆ จะมีประจุชนิดเดียวกันจึงเกิดแรงผลัก ทำให้ละอองสีกระจายออกจากกันอย่างสม่ำเสมอและเกาะติดกับผิวชิ้นงานได้ดียิ่งขึ้น ส่วนการพ่นปุ่ยก็จะใช้หลักการเดียวกันกับเครื่องพ่นสี โดยการทำให้อุปกรณ์พ่นละอองปุ่ยมีประจุไฟฟ้าชนิดเดียวกันออกมา ละอองปุ่ยจะกระจายออกเป็นวงกว้างทำให้พ่นได้ทั่วถึงและประหยัด

4. ไมโครโฟนแบบตัวเก็บประจุ ประกอบด้วยแผ่นโลหะ 2 แผ่นที่ขนานกัน แผ่นหนึ่งทำหน้าที่เป็นไดอะแฟรมรับคลื่นเสียง ส่วนแผ่นที่สองยึดติดกับฐานโดยแผ่นที่รับคลื่นเสียงจะบางมาก เมื่อมีคลื่นเสียงมากระทบจะสั่นตามความถี่และกำลังของคลื่น ผลจากการสั่นของแผ่นโลหะบางนี้จะทำให้ความจุเปลี่ยนแปลง เมื่อนำไมโครโฟนแบบตัวเก็บประจุต่อออนุกรมกับตัวต้านทาน ดังรูปที่ 1.32 ความต่างศักย์คร่อมไมโครโฟนแบบตัวเก็บประจุจะเปลี่ยนแปลงตามความถี่ของคลื่นเสียง เป็นผลให้เกิดสัญญาณไฟฟ้า



รูปที่ 1.32 *แผนภาพของไมโครโฟนแบบเก็บตัวประจุ*

ไมโครโฟนแบบตัวเก็บประจุนี้สามารถนำไปใช้งานด้านเสียงได้ดี ไม่ว่าจะเป็นเสียงดนตรี เสียงร้องเพลง เสียงพูด โดยให้เสียงที่ชัดเจน จึงนิยมใช้ไมโครโฟนแบบตัวเก็บประจุกัน ทั่วไปไมโครโฟนประเภทนี้มี 2 แบบ คือ แบบใช้งานในสถานีวิทยุโทรทัศน์กับแบบที่ใช้งานในวิทยุเทปกระเป๋าหิ้ว

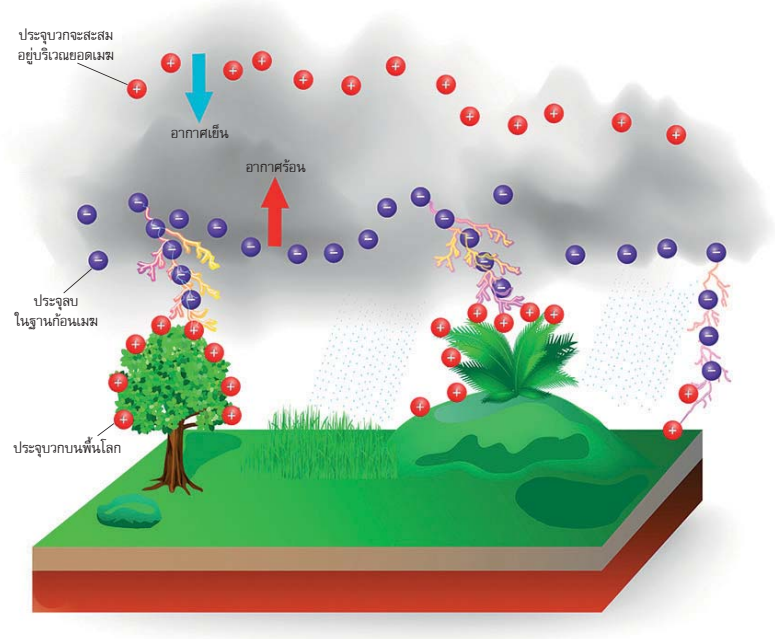
จากหลักการของไฟฟ้าสถิตสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน แต่ในทางกลับกันหากมีปริมาณของประจุไฟฟ้าสะสมมากพอก็สามารถก่อให้เกิดอันตรายขึ้นได้ ตัวอย่างเช่น อุบัติเหตุที่เกิดจากไฟไหม้ในประเทศที่มีอากาศหนาวในแถบยุโรปหรือประเทศสหรัฐอเมริกา โดยปกติจะมีสถานีบริการน้ำมันที่ผู้ใช้บริการต้องเติมน้ำมันด้วยตนเอง ซึ่งส่วนใหญ่พบว่า อุบัติเหตุเกิดขึ้นจากการที่ผู้ใช้บริการกลับเข้าไปรอในรถระหว่างที่น้ำมันกำลังไหลเข้าสู่ถัง เมื่อเติมน้ำมันเรียบร้อยแล้วจึงออกจากรถเพื่อดึงสายจ่ายน้ำมันออกจากตัวถัง รถจะเกิดไฟไหม้ได้เนื่องจากผู้ใช้บริการส่วนใหญ่สวมรองเท้าส้นยางและสวมใส่เสื้อผ้าใยสังเคราะห์ ซึ่งเกิดไฟฟ้าสถิตจากการที่เสื้อผ้าของผู้ใช้บริการเสียดสีกับผ้าหุ้มเบาะที่นั่งระหว่างที่เข้าหรือออกจากรถ และไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นจะเกิดประกายไฟทำให้ไอน้ำมันซึ่งระเหยมาจากถังน้ำมันนั้นติดไฟได้ ผู้ใช้บริการจึงไม่ควรเข้าหรือออกจากรถระหว่างการเติมน้ำมัน

หรือในกรณีประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับรถบรรทุกน้ำมัน ในขณะที่รถกำลังวิ่ง ล้อรถซึ่งเป็นยางจะเสียดสีกับรถทำให้เกิดประจุไฟฟ้าสะสมอยู่ในตัวรถ ถ้าประจุไฟฟ้ามีจำนวนมากพออาจทำให้เกิดประกายไฟที่ทำให้เกิดไฟไหม้หรือรถระเบิดได้ การป้องกันอันตรายจากประจุไฟฟ้าในลักษณะนี้ทำได้โดยการต่อสายดิน เช่น การใช้โซ่โลหะช่วยถ่ายเทประจุลงสู่ถนน ดังรูปที่ 1.33

รูปที่ 1.33 *การป้องกันไฟฟ้าสถิตของรถบรรทุกน้ำมัน*

ในประเทศที่มีอากาศหนาว ผลของไฟฟ้าสถิตสามารถทำให้เกิดไฟฟ้าดูดเมื่อมีการจับโลหะบางประเภท เช่น ลูกบิดประตู เนื่องจากการใส่รองเท้าที่เป็นพื้นยางขณะเดินไปเดินมาในห้องที่พื้นเป็นพรม ความเสียดทานระหว่างพื้นรองเท้ายางกับเส้นใยสังเคราะห์ของพรมจะทำให้เกิดประจุไฟฟ้าสะสมในร่างกาย ถ้าหากเอื้อมมือไปจับลูกบิดหรือกลอนประตูที่เป็นโลหะจะทำให้รู้สึกเจ็บได้ เนื่องจากการเคลื่อนไหวของประจุระหว่างมือกับลูกบิดประตู

นอกจากนี้ หลักการไฟฟ้าสถิตสามารถนำไปใช้อธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติบางอย่างได้ เช่น การเกิดฟ้าผ่า เมฆที่ทำให้เกิดฝนฟ้าคะนองคือเมฆคิวมูโลนิมบัส ซึ่งมีขนาดใหญ่ เมื่อก้อนเมฆเคลื่อนที่ก็จะมีลมเข้าไปยังภายในและเกิดการไหลเวียนของกระแสอากาศภายในก้อนเมฆอย่างรวดเร็วและรุนแรง หยดน้ำและก้อนน้ำแข็งภายในเมฆจะเสียดสีกันจนเกิดประจุไฟฟ้า การถ่ายเทของประจุไฟฟ้าภายในเมฆคิวมูโลนิมบัสทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าในแต่ละบริเวณของก้อนเมฆ โดยมีประจุบวกอยู่ทางด้านบนของก้อนเมฆ ประจุลบอยู่ทางด้านล่างของก้อนเมฆ เมื่อความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างตำแหน่งทั้งสองมีค่าถึงระดับหนึ่ง จะก่อให้เกิดสนามไฟฟ้าขนาดใหญ่ ส่วนพื้นดินด้านล่าง บางแห่งมีประจุบวกและบางแห่งมีประจุลบ จะเหนี่ยวนำให้เกิดการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้า เมื่อประจุลบบริเวณฐานเมฆถูกเหนี่ยวนำเข้าหาประจุบวกที่อยู่บนพื้นดิน ประจุไฟฟ้าจากก้อนเมฆจะเคลื่อนที่ลงสู่พื้นดินทำให้เกิดฟ้าผ่าได้



รูปที่ 1.34 *การเกิดฟ้าผ่า*

กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.6

จงตอบคำถามต่อไปนี้

1. ให้นักเรียนเขียนแผนภาพอธิบายหลักการทำงานของเครื่องถ่ายเอกสาร
2. ให้นักเรียนยกตัวอย่างเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้หลักการไฟฟ้าสถิตในการทำงานนอกเหนือจากบทเรียน 1 ตัวอย่าง พร้อมทั้งอธิบายหลักการทำงานและวาดภาพประกอบ
3. ให้นักเรียนวาดชนิดของประจุไฟฟ้าลงในภาพการเกิดฟ้าผ่าให้ถูกต้อง

กิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์

“รถแข่งพลังไฟฟ้าสถิต”

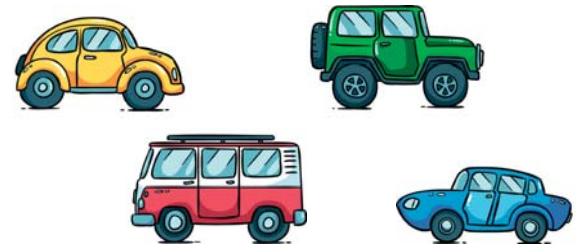
คำชี้แจง

1. ให้นักเรียนจัดกลุ่ม กลุ่มละ 6 คน และตั้งชื่อกลุ่ม
2. ทำความเข้าใจเกี่ยวกับการทำกิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ที่กำหนดให้
3. ทำกิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์จากสถานการณ์ที่กำหนดให้
4. การทำกิจกรรมต้องระดมสมองในการสืบค้นความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และความรู้ในกลุ่มสาระการเรียนรู้อื่น ๆ โดยนำมาบูรณาการสร้างผลงาน อภิปรายเพื่อแสดงความคิดเห็นโดยใช้เหตุผลในการโต้แย้งจากประจักษ์พยานที่พบตลอดการทำกิจกรรมเพื่อให้ได้ผลงานที่มีคุณภาพ มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ โดยคำนึงถึงประโยชน์ที่จะได้รับจากการทำกิจกรรม
5. เตรียมความพร้อมที่จะนำเสนอผลงานเพื่อการแลกเปลี่ยนเรียนรู้

สถานการณ์

นักเรียนได้รับมอบหมายให้ประดิษฐ์รถของเล่นโดยใช้หลักการไฟฟ้าสถิต เพื่อนำไปแข่งขันในงานสัปดาห์วิทยาศาสตร์ โดยมีข้อกำหนดดังนี้

1. รถของเล่นมีขนาดกว้างและยาวมากกว่า 5×10 เซนติเมตร และควรทำจากวัสดุมีน้ำหนักเบา
2. แต่ละกลุ่มจะต้องเลือกวัตถุ 2 ชิ้น ที่ขัดสีกันแล้วสามารถทำให้เกิดประจุไฟฟ้าได้ โดยวัตถุชิ้นหนึ่งจะใช้เป็นแท่งเหนี่ยวนำที่มีความยาวประมาณ 30–35 เซนติเมตร เพื่อใช้เหนี่ยวนำรถของเล่นให้เคลื่อนที่
3. ในการแข่งขัน จะให้รถของเล่นเคลื่อนที่บนพื้นราบภายในเวลา 30 วินาที โดยให้แต่ละกลุ่มขัดสีแท่งเหนี่ยวนำแล้วทำให้รถเคลื่อนที่ ขณะแข่งขันจะขัดสีแท่งเหนี่ยวนำเมื่อไรก็ได้
4. รถที่เคลื่อนที่ไปได้ไกลที่สุดเป็นผู้ชนะ



Knowledge

สรุปเรื่องไฟฟ้าสถิต

ประจุไฟฟ้า

- ประจุฟ้ามี 2 ชนิด ได้แก่ ประจุบวกและประจุลบ เป็นตัวกำหนดอำนาจทางไฟฟ้าของวัตถุใดๆ
- ประจุไฟฟ้าไม่สามารถสร้างขึ้นหรือทำลายได้ โดยผลรวมของประจุภายในระบบทั้งก่อนและหลังการเปลี่ยนแปลงจะมีค่าคงที่เสมอ เป็นไปตามกฎการอนุรักษ์ประจุ
- การทำให้วัตถุเกิดประจุไฟฟ้า

  1. การขัดสี เมื่อนำวัตถุ 2 ชนิดมาขัดสีกันจะเกิดการถ่ายเทประจุระหว่างวัตถุ ซึ่งวัตถุที่ได้รับประจุลบจะแสดงอำนาจไฟฟ้าลบ ส่วนวัตถุที่สูญเสียประจุลบจะแสดงอำนาจไฟฟ้าบวก

  2. การสัมผัส เมื่อนำวัตถุที่มีประจุไฟฟ้ามาสัมผัสกับวัตถุที่เป็นกลางทางไฟฟ้า จะทำให้วัตถุที่เป็นกลางทางไฟฟ้ามีประจุชนิดเดียวกับวัตถุที่นำมาสัมผัส

  3. การเหนี่ยวนำ เมื่อนำวัตถุที่มีประจุเข้ามาใกล้ๆ วัตถุตัวนำที่เป็นกลาง มีผลให้เกิดประจุบนตัวนำที่เป็นกลาง โดยจะเกิดประจุชนิดตรงข้ามบนผิวที่อยู่ใกล้ และเกิดประจุชนิดเดียวกันกับวัตถุที่นำมาจ่อบนผิวที่อยู่ไกล
- อิเล็กโทรสโกปเป็นเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบประจุไฟฟ้าและชนิดของประจุไฟฟ้าบนวัตถุตัวอย่าง

กฎของคูลอมบ์

- กฎของคูลอมบ์กล่าวว่า *"แรงระหว่างประจุไฟฟ้าสองจุดประจุจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของประจุไฟฟ้าทั้งสองและเป็นสัดส่วนผกผันกับกำลังสองของระยะห่างระหว่างประจุทั้งสอง"* แรงระหว่างประจุไฟฟ้านี้เรียกว่า **แรงไฟฟ้า**
- กฎของคูลอมบ์มีสมการดังนี้

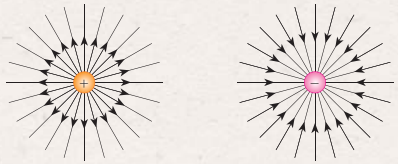
$$F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$$

สนามไฟฟ้า

- สนามไฟฟ้า คือ บริเวณที่ประจุสามารถส่งแรงไปถึงหรือมีอำนาจต่อประจุอื่นที่อยู่ในบริเวณนั้น หรือบริเวณที่เมื่อนำประจุไฟฟ้าทดสอบเข้าไปวางแล้วจะเกิดแรงกระทำบนประจุทดสอบนั้น หาได้จากสมการ

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

- สำหรับจุดประจุใดๆ จะแผ่สนามไฟฟ้าออกมาโดยรอบประจุและจะเกิดอันตรกิริยากับประจุอื่นข้างเคียง โดยประจุบวกและประจุลบมีทิศทางของสนามไฟฟ้า ดังรูป



- เส้นสนามไฟฟ้า คือ เส้นแสดงทิศทางของสนามไฟฟ้า ซึ่งมีทิศทางจากบริเวณที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงไปยังศักย์ไฟฟ้าต่ำ หรือจากบริเวณที่มีประจุบวกไปยังบริเวณที่มีประจุลบ
- ถ้าในระบบมีประจุอยู่หลายประจุ จะหาสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งใดๆ ได้โดยหาสนามไฟฟ้าของประจุแต่ละคู่ไปจนถึงประจุตัวที่ n ตามหลักการรวมเวกเตอร์ $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + ... \vec{E}_n$
- จุดสะเทิน หมายถึง จุดใดๆ ในสนามไฟฟ้าที่มีสนามไฟฟ้าลัพธ์เป็นศูนย์หรือเป็นจุดที่ไม่มีเส้นสนามไฟฟ้าผ่าน
- สนามไฟฟ้าคงที่เกิดจากแผ่นโลหะขนาน สนามไฟฟ้าจะมีทิศทางไปทางเดียวกันและความเข้มของสนามไฟฟ้าจะมีค่าเท่ากันทุกบริเวณ หาขนาดของสนามไฟฟ้าได้จากสมการ

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

ศักย์ไฟฟ้า

- ศักย์ไฟฟ้า คือ งานที่ใช้ในการเลื่อนประจุไฟฟ้าภายใต้ในสนามไฟฟ้า หาได้จากสมการ

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

- สำหรับตัวนำทรงกลม จะมีประจุไฟฟ้าอยู่เฉพาะบริเวณผิวทรงกลม สนามไฟฟ้าภายในทรงกลมจึงเป็นศูนย์ และศักย์ไฟฟ้าภายในทรงกลมจะเท่ากับศักย์ไฟฟ้าที่ผิวทรงกลม

ตัวเก็บประจุ

- ตัวเก็บประจุเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถเก็บประจุไฟฟ้าได้ ภายในประกอบด้วยแผ่นโลหะขนาน 2 แผ่นประกอบกัน ค่าความจุไฟฟ้าหาได้จากสมการ

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

- การต่อตัวเก็บประจุแบบขนาน จะหาความจุไฟฟ้ารวมได้จาก $C = C_1 + C_2 + C_3 + ... + C_n$
- การต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรม จะหาความจุไฟฟ้ารวมได้จาก $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + ... + \frac{1}{C_n}$

Process

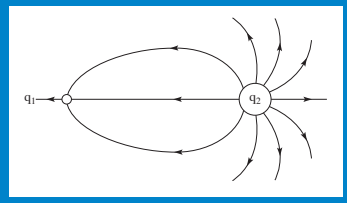
1. ทดลองและอธิบายการทำวัตถุที่เป็นกลางทางไฟฟ้าให้มีประจุไฟฟ้า
2. อธิบายและคำนวณแรงไฟฟ้าและสนามไฟฟ้า
3. อธิบายและคำนวณพลังงานศักย์ไฟฟ้า ศักย์ไฟฟ้า และความต่างศักย์ไฟฟ้า
4. อธิบายส่วนประกอบของตัวเก็บประจุและความสัมพันธ์ระหว่างประจุไฟฟ้า รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
5. คำนวณความต่างศักย์และความจุของตัวเก็บประจุ พลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ และความจุสมมูล
6. อธิบายหลักการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าและปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวันโดยใช้ความรู้เรื่องไฟฟ้าสถิตย์
7. คิดแบบมีวิจารณญาณและคิดแก้ปัญหาได้

Attribute

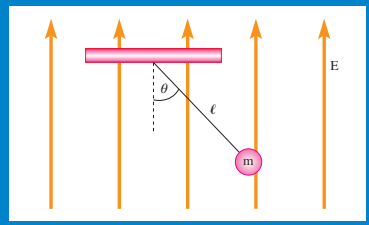
1. มีวินัย
2. ใฝ่เรียนรู้
3. มุ่งมั่นในการทำงาน

คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้

1. จากลักษณะของเส้นแรงไฟฟ้า ดังรูป อัตราส่วน $q_1:q_2$ มีค่าเป็นเท่าไร

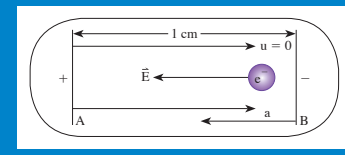


2. เมื่อนำประจุ -2×10^{4} คูลอมบ์ เข้าไปวางไว้ ณ จุดๆ หนึ่งปรากฏว่ามีแรง 8×10^{-6} นิวตัน มากระทำต่อประจุนี้ในทิศทางซ้ายไปขวา สนามไฟฟ้าตรงจุดนั้นเป็นอย่างไร
3. จากรูปมวล m มีประจุ +q แกว่งไปมาในแนวดิ่งเป็นมุมกว้างที่สุดซึ่งถือว่าน้อยมาก ถ้าอัตราเร่งโน้มถ่วงของโลกเท่ากับ g และเชือกที่ใช้เป็นเชือกเบายาว ℓ ความถี่ในการแกว่งนี้จะมีค่าเท่าไร

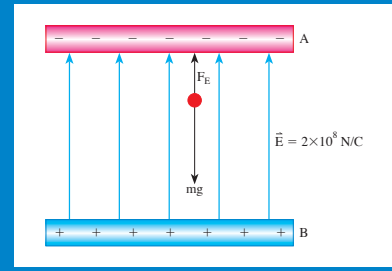


4. จุดประจุ A, B และ C วางในระนาบเดียวกันในแนวนอน มีประจุขนาด 3.0×10^{-6}, 1.0×10^{-6} และ -1.0×10^{-6} คูลอมบ์ ตามลำดับ เมื่อ AP = 0.6 เมตร CP = 0.3 เมตร และ BP = 0.1 เมตร ศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่ง P มีค่าเท่าไร
5. ประจุ +10 ไมโครคูลอมบ์ และ +40 ไมโครคูลอมบ์ วางห่างกัน 3 เซนติเมตร จะต้องนำประจุ +20 ไมโครคูลอมบ์ มาวางที่ตำแหน่งห่างจากประจุตัวแรกเท่าไร จึงจะทำให้แรงลัพธ์ที่กระทำที่ตำแหน่งนี้มีค่าเท่ากับศูนย์
6. จุด A และ B อยู่ห่างกัน 0.3 เมตร ที่จุด A มีประจุ +1 ไมโครคูลอมบ์ จงหาตำแหน่งที่มีความเข้มสนามไฟฟ้าเป็นศูนย์ เมื่อ
   6.1 จุด B มีประจุ +0.25 ไมโครคูลอมบ์
   6.2 จุด B มีประจุ −0.25 ไมโครคูลอมบ์

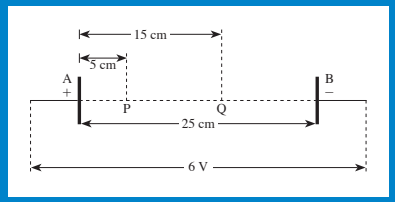
7. ลูกพิทมวล 0.72 กรัม มีประจุ 25×10^{-6} คูลอมบ์ วางอยู่เหนือจุดประจุ 2 จุด ที่มีขนาดประจุเท่ากับ Q และผูกติดกันห่างกัน 6 เซนติเมตร จะต้องใช้ประจุ Q เป็นปริมาณเท่าไร จึงจะทำให้ลูกพิทลอยอยู่เหนือจุดกึ่งกลางระหว่างประจุทั้งสองเป็นระยะ 4 เซนติเมตร
8. ที่ตำแหน่ง A และ C มีจุดประจุขนาด +12 และ −4 ไมโครคูลอมบ์ ตามลำดับ ถ้าระยะ AB = 6 เซนติเมตร และ BC = 3 เซนติเมตร โดยจุด B อยู่ในแนวเดียวกับ A และ C ขนาดและทิศทางของสนามไฟฟ้าที่จุด B มีค่าเท่าไร
9. อนุภาคหนึ่งมีมวล 20 มิลลิกรัม และมีประจุ +2 ไมโครคูลอมบ์ เมื่อนำไปวางไว้ในสนามไฟฟ้าที่มีทิศตามแนวดิ่ง ปรากฏว่า อนุภาคเคลื่อนที่ลงด้วยความเร่ง 20 เซนติเมตรต่อวินาที^{2} ขนาดและทิศทางของสนามไฟฟ้ามีค่าเท่าไร
10. ในหลอดสุญญากาศมีแผ่นขั้วไฟฟ้าที่ปลายทั้งสองห่างกัน 1 เซนติเมตร และต่อกับไฟฟ้าแรงสูง 300 โวลต์ มีประจุไฟฟ้าบวกและลบที่แผ่นทั้งสองทำให้เกิดสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอขึ้นภายในหลอด ดังรูป ถ้าอิเล็กตรอนเริ่มหลุดจากแผ่น B นานเท่าไรอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ถึงแผ่น A



11. หยดน้ำมันหยดหนึ่งมีมวล 12.8 ไมโครกรัม สามารถลอยอยู่ได้ในสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะขนาน AB ดังรูป ถ้าความเข้มของสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะขนานเท่ากับ 2×10^{8} นิวตันต่อคูลอมบ์
   11.1 หยดน้ำมันเป็นประจุไฟฟ้าชนิดใดและมีขนาดเท่าไร
   11.2 หยดน้ำมันมีอิเล็กตรอนขาดหรือเกินกี่ตัว



12. จุดประจุ 3 ประจุ วางอยู่ที่มุมของสามเหลี่ยมด้านเท่ายาวด้านละ 2 เซนติเมตร ทำให้จุดที่เส้นมัธยฐานทั้งสามตัดกันมีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์ หากจุดประจุ 2 จุดมีค่า +2 และ +4 ไมโครคูลอมบ์ จุดประจุตัวที่ 3 มีค่าเท่าไร
13. ถ้าแขวนลูกพิทขนาดเล็กมวล m ที่มีประจุ +q ด้วยเชือกฉนวนระหว่างแผ่นโลหะขนานที่มีสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอและความต่างศักย์ V ระยะห่างระหว่างแผ่นขนานเป็น d ขนาดของความเร่งโน้มถ่วงของโลกเป็น g จงหาว่ามุม q มีค่าเท่าไร
14. จากรูป แผ่นโลหะขนาน A และ B อยู่ห่างกัน 25 เซนติเมตร มีความต่างศักย์ 6 โวลต์ จุด P อยู่ห่างจากแผ่นโลหะด้านบวก 5 เซนติเมตร จุด Q อยู่ห่างจากแผ่นโลหะด้านบวก 15 เซนติเมตร ความต่างศักย์ระหว่าง PQ มีค่าเท่าไร



15. จากข้อ 14 ถ้าเคลื่อนประจุ $+10^{-5}$ คูลอมบ์ จาก Q ไปยัง P จะต้องทำงานอย่างน้อยที่สุดเท่าไร
16. ตัวนำทรงกลม A และ B มีรัศมี 6 เซนติเมตร และ 15 เซนติเมตร ตามลำดับ สามารถเก็บประจุได้เท่ากัน ทรงกลม A จะมีศักย์ไฟฟ้าเป็นกี่เท่าของทรงกลม B
17. ตัวนำทรงกลมมีศักย์ไฟฟ้า 500 โวลต์ เมื่อเก็บประจุ 25 ไมโครคูลอมบ์ ค่าความจุไฟฟ้าของตัวนำนี้มีค่าเท่าไร
18. ตัวเก็บประจุหนึ่งระบุค่าความจุไฟฟ้าไว้ 0.05 μF, 400 V ตัวเก็บประจุนี้จะสามารถเก็บประจุไว้ได้สูงสุดเท่าไร และถ้าต้องการเก็บประจุ 15 ไมโครคูลอมบ์ จะต้องต่อกับความต่างศักย์เท่าไร
19. เมื่อต่อตัวเก็บประจุขนาด 5 ไมโครฟารัด และ 20 ไมโครฟารัด เข้ากับความต่างศักย์ 200 โวลต์ จะเกิดประจุและความต่างศักย์บนตัวเก็บประจุตัวละเท่าไร ถ้าตัวเก็บประจุทั้งสองนั้น
    19.1 ต่อกันแบบอนุกรม
    19.2 ต่อกันแบบขนาน
20. นำตัวเก็บประจุที่มีความจุ 2 ไมโครฟารัด มาอัดประจุโดยใช้ความต่างศักย์ 12 โวลต์ จากนั้นถอดออกแล้วนำไปต่อขนานกับตัวเก็บประจุที่มีความจุ 1 ไมโครฟารัด ที่ยังไม่ได้อัดประจุ ความต่างศักย์คร่อมตัวเก็บประจุทั้งสองจะมีค่ากี่เท่าไร