ชุดการเรียนการสอนฟิสิกส์

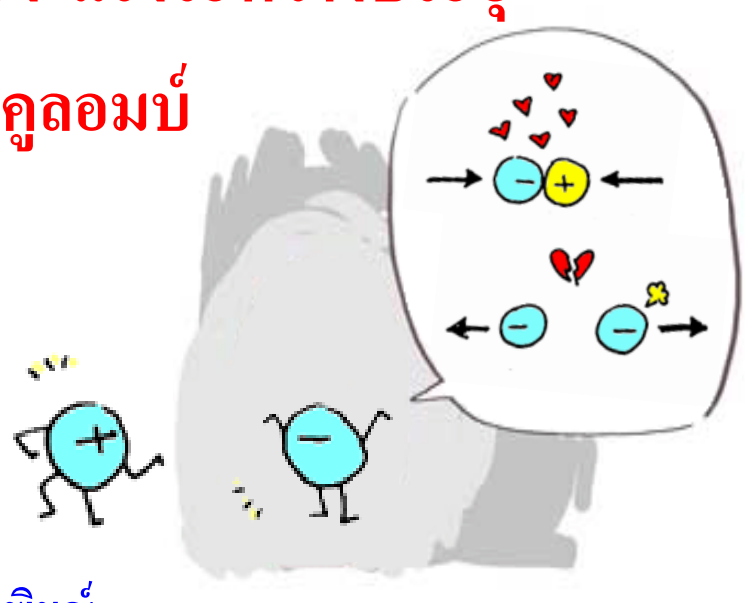
หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 ไฟฟ้าสถิต

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (สาระเพิ่มเติม)

รายวิชาฟิสิกส์เพิ่มเติม ว 33204

สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

ชุดที่ 2 เรื่อง แรงระหว่างประจุ และกฎของคูลอมบ์



นางวเรศ สาระพิชญ์

ตำแหน่ง ครู วิทยฐานะ ครูชำนาญการ

โรงเรียนโนนค้อวิทยาคม อำเภอโนนคูณ จังหวัดศรีสะเกษ

สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 28

สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

คำนำ

ชุดการเรียนการสอนฟิสิกส์ หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 ไฟฟ้าสถิต สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ชุดนี้ จัดทำขึ้นเพื่อเป็นสื่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (สาระเพิ่มเติม) โดยเน้นให้นักเรียนได้เรียนรู้ด้วยตนเองหรือเป็นกลุ่ม มีการสืบเสาะหาความรู้ การสำรวจตรวจสอบ การสืบค้นข้อมูล และการอภิปราย เพื่อให้เกิดความรู้ความคิด ความเข้าใจ สามารถสื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ มีความสามารถในการตัดสินใจและมีจิตวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้ยังเป็นเครื่องมือช่วยบ่งชี้ให้ครูผู้สอนทราบว่า นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจในบทเรียน สามารถนำความรู้นั้นไปใช้ได้มากน้อยเพียงใด จนกระทั่งสามารถนำไปพัฒนาทักษะของนักเรียนได้

ชุดการเรียนการสอนฟิสิกส์ เรื่อง ไฟฟ้าสถิต สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ชุดนี้ มีบทเรียนจำนวนทั้งหมด 6 ชุด ดังนี้

- ชุดที่ 1 เรื่อง ประจุไฟฟ้า
- ชุดที่ 2 เรื่อง แรงระหว่างประจุและกฎของคูลอมบ์
- ชุดที่ 3 เรื่อง ศักย์ไฟฟ้า
- ชุดที่ 4 เรื่อง สนามไฟฟ้า
- ชุดที่ 5 เรื่อง ตัวเก็บประจุและความจุไฟฟ้า
- ชุดที่ 6 เรื่อง การใช้ประโยชน์จากไฟฟ้าสถิต

ชุดนี้เป็นชุดที่ 2 เรื่อง แรงระหว่างประจุและกฎของคูลอมบ์ ซึ่งในแต่ละชุดจะประกอบด้วย บัตรคำสั่ง บัตรเนื้อหา บัตรกิจกรรม และบัตรแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน พร้อมด้วยการ์ตูนที่ใช้สำหรับเสริมแรงและเพิ่มความน่าสนใจของชุดการเรียนการสอน

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้การสนับสนุน ให้คำแนะนำ ชี้แนะในการจัดทำชุดกิจกรรมในครั้งนี้ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าชุดกิจกรรมชุดนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับนักเรียน ครูผู้สอน และผู้ที่สนใจ สามารถนำไปพัฒนาการเรียนการสอนต่อไป

นางวเรศ สาระพิชญ์

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
คำนำ	1
สารบัญ	2
คำชี้แจงเกี่ยวกับการใช้ชุดการเรียนการสอน	3
คู่มือครู	4
คู่มือนักเรียน	5
แผนภูมิลำดับขั้นการใช้ชุดการเรียนการสอน	6
แบบทดสอบก่อนเรียน	7
เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียน	10
จุดประสงค์การเรียนรู้ สาระสำคัญ สาระการเรียนรู้ ผลการเรียนรู้	11
บัตรคำสั่ง	13
บัตรเนื้อหา	14
บัตรกิจกรรม	32
แบบบันทึกการปฏิบัติกิจกรรม	34
เฉลยบัตรกิจกรรม	35
บัตรงาน	36
เฉลยบัตรงาน	39
บัตรฝึกทักษะ	42
เฉลยบัตรฝึกทักษะ	50
บัตรสรุปความรู้ (แผนผังมโนทัศน์)	58
แบบทดสอบหลังเรียน	59
เฉลยแบบทดสอบหลังเรียน	62
กระดาษคำตอบ	63
แบบประเมินผลการใช้ชุดการเรียนการสอน	64
แบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนของนักเรียน	65
แบบสังเกตพฤติกรรมการทำงานกลุ่ม	68
แบบประเมินผลความพึงพอใจ	70
บรรณานุกรม แหล่งสาระสนเทศและเวปไซต์	72

คำชี้แจงเกี่ยวกับการใช้ชุดการเรียนการสอน

คำชี้แจง

1. ชุดการเรียนการสอนฟิสิกส์ หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 ไฟฟ้าสถิต ชุดที่ 2 เรื่อง แรงระหว่างประจุและกฎของคูลอมบ์ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (สาระเพิ่มเติม) รายวิชาฟิสิกส์เพิ่มเติม รหัสวิชา ว 33204 ใช้สอนนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6
2. ชุดการเรียนการสอนชุดนี้ประกอบด้วย
   - 2.1 คำชี้แจงเกี่ยวกับชุดการเรียนการสอน
   - 2.2 แบบทดสอบก่อนเรียน – หลังเรียน
   - 2.3 เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียน – หลังเรียน
   - 2.4 บัตรคำสั่ง
   - 2.5 บัตรเนื้อหา
   - 2.6 บัตรกิจกรรม
   - 2.7 บัตรเฉลยกิจกรรม
   - 2.8 บัตรงาน
   - 2.9 บัตรเฉลยบัตรงาน
   - 2.10 บัตรฝึกทักษะ
   - 2.11 บัตรเฉลยบัตรฝึกทักษะ
   - 2.12 บัตรสรุปความรู้ (แผนผังมโนทัศน์)
3. ชุดการเรียนการสอนฟิสิกส์ หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 ไฟฟ้าสถิต ชุดที่ 2 เรื่อง แรงระหว่างประจุและกฎของคูลอมบ์ ใช้เวลาในการศึกษา 2 ชั่วโมง

คู่มือครู

คำชี้แจงสำหรับครู

1. ครูเตรียมวัสดุอุปกรณ์ จัดชั้นเรียนให้พร้อม
2. ครูศึกษาเนื้อหาที่จะสอนให้ละเอียด และศึกษาชุดการเรียนการสอนให้รอบคอบ
3. ก่อนสอนครูต้องเตรียมชุดการเรียนการสอนไว้บนโต๊ะให้เรียบร้อย และให้เพียงพอกับจำนวนนักเรียนในแต่ละกลุ่ม ให้ได้รับคนละ 1 ชุด ยกเว้นสื่อการสอนที่ต้องใช้ร่วมกันทั้งกลุ่ม
4. ครูเป็นผู้จัดกิจกรรมการเรียนการสอน และวัดผล ประเมินผล ให้เป็นไปตามลำดับขั้นตอนที่กำหนดไว้
5. การสอนแบ่งออกเป็น 3 ขั้น คือ ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน ขั้นการเรียนการสอน และขั้นสรุปบทเรียน
6. ก่อนสอนครูต้องชี้แจงให้นักเรียนศึกษาคู่มือนักเรียน ศึกษาการเรียนด้วยชุดการเรียนการสอน ตั้งแต่บัตรคำสั่ง แบบทดสอบก่อนเรียน – หลังเรียน บัตรเนื้อหา บัตรกิจกรรม บัตรเฉลยกิจกรรม บัตรงาน บัตรเฉลยบัตรงาน บัตรฝึกทักษะ บัตรเฉลยบัตรฝึกทักษะ และบัตรสรุปความรู้
7. ขณะที่นักเรียนทุกกลุ่มปฏิบัติกิจกรรม ครูไม่ควรพูดเสียงดัง หากมีอะไรจะพูดต้องพูดเป็นรายกลุ่มหรือรายบุคคล ไม่รบกวนกิจกรรมของนักเรียนกลุ่มอื่น
8. ขณะที่นักเรียนปฏิบัติกิจกรรม ครูต้องเดินดูการปฏิบัติกิจกรรมของนักเรียนแต่ละกลุ่มอย่างใกล้ชิด หากมีนักเรียนคนใดหรือกลุ่มใดมีปัญหา ครูควรเข้าไปให้ความช่วยเหลือจนปัญหานั้นคลี่คลาย
9. หากมีนักเรียนคนใดทำงานช้าเกินไป ครูต้องแยกออกมาทำกิจกรรมพิเศษ โดยหากิจกรรมที่เหมาะสมให้กับนักเรียนที่เรียนช้า
10. ถ้านักเรียนกลุ่มใดหรือคนใดทำงานเร็วเกินไป ครูควรให้ทำกิจกรรมพิเศษที่เตรียมไว้สำหรับนักเรียนที่เรียนเร็ว
11. เมื่อปฏิบัติกิจกรรมเสร็จ ครูต้องเน้นให้นักเรียนเก็บชุดการเรียนการสอนของตนไว้ในสภาพเรียบร้อย ห้ามถือติดมือไปด้วย
12. การสรุปบทเรียน ควรเป็นกิจกรรมร่วมของกลุ่ม หรือตัวแทนกลุ่มร่วมกัน

คู่มือนักเรียน

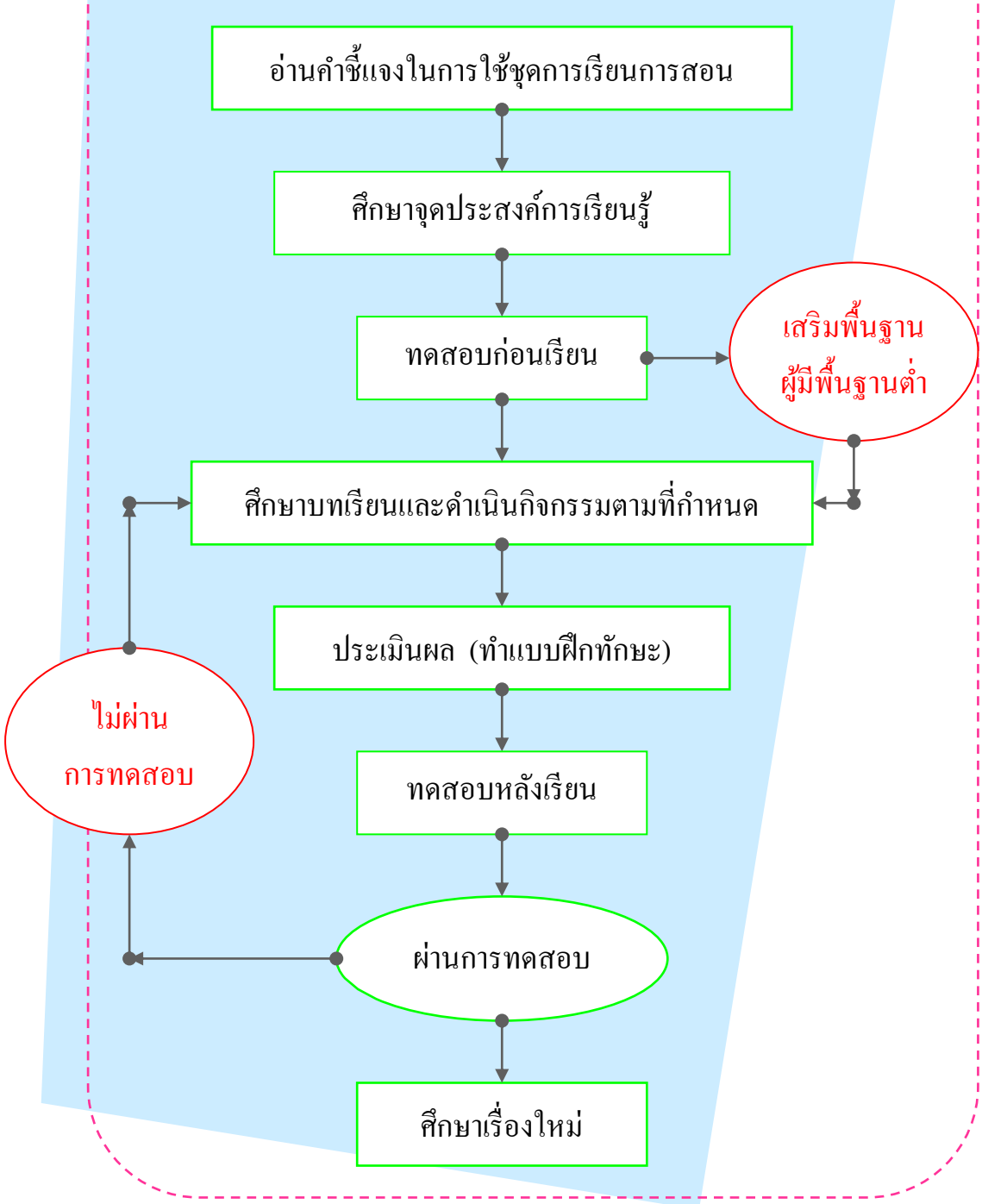
คำชี้แจงสำหรับนักเรียน

บทเรียนที่นักเรียนใช้อยู่นี้เรียกว่า **ชุดการเรียนการสอน** ที่สร้างขึ้นเพื่อให้นักเรียนสามารถศึกษาได้ด้วยตนเอง โดยมีจุดประสงค์เพื่อสร้างความเข้าใจ และสามารถแก้ไขปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนดให้อย่างมีขั้นตอน โดยนักเรียนจะได้รับประโยชน์จากชุดการเรียนการสอน ตามจุดประสงค์ที่ตั้งไว้ ด้วยการปฏิบัติตามคำแนะนำต่อไปนี้อย่างเคร่งครัด

1. ห้ามขีดเขียนสิ่งต่าง ๆ ลงในชุดการเรียนการสอนเล่มนี้
2. นักเรียนอ่านจุดประสงค์การเรียนรู้ก่อนลงมือศึกษาชุดการเรียนการสอน
3. นักเรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียนจำนวน 10 ข้อ แล้วตรวจคำตอบจากเฉลย
4. ชุดการเรียนการสอนนี้สำหรับศึกษาด้วยตนเอง นักเรียนต้องดำเนินกิจกรรมตามที่กำหนดไว้ในเอกสารสำหรับนักเรียนจนครบทุกขั้นตอน
5. นักเรียนต้องอ่านเนื้อหาไปตามลำดับทีละหน้าต่อเนื่องกันไปเรื่อย ๆ ตั้งแต่หน้าแรกจนหน้าสุดท้าย จะข้ามหน้าใดหน้าหนึ่ง ***ไม่ได้***
6. ถ้ามีคำสั่ง คำถามหรือแบบฝึกทักษะ นักเรียนต้องปฏิบัติตามทุกอย่าง
7. นักเรียนต้องซื่อสัตย์ต่อตนเอง ***ไม่ดูเฉลย*** ก่อนที่จะใช้ความสามารถในการตอบคำถามด้วยตัวเอง เพราะถ้าทำเช่นนั้นจะไม่ช่วยให้นักเรียนมีความรู้ขึ้นมาได้เลย
8. เมื่อศึกษาด้วยตนเองจนจบชุดการเรียนการสอนแล้ว ให้นักเรียนทำแบบทดสอบหลังเรียนจำนวน 10 ข้อ แล้วตรวจคำตอบจากเฉลย
9. ถ้านักเรียนสงสัยหรือไม่เข้าใจเนื้อหาให้ทบทวนใหม่ ถ้ายังไม่เข้าใจอีกให้สอบถามจากครูผู้สอน
10. ควรเขียนคำตอบลงในกระดาษคำตอบที่แจกให้

แผนภูมิลำดับขั้นการใช้ชุดการเรียนการสอน

แผนภูมิ ลำดับขั้นการใช้ชุดการเรียนการสอนฟิสิกส์ หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 ไฟฟ้าสถิต **ชุดที่ 2 เรื่อง แรงระหว่างประจุและกฎของคูลอมบ์**



รายวิชา ฟิสิกส์เพิ่มเติม	**แบบทดสอบก่อนเรียน**	ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6
รหัสวิชา ว 33204		เวลา 20 นาที
ชื่อหน่วยการเรียนรู้ : ไฟฟ้าสถิต		
เรื่อง แรงระหว่างประจุและกฎของคูลอมบ์		

<u>คำชี้แจง</u> ให้นักเรียนพิจารณาว่าคำตอบข้อใดถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว แล้วกากบาท (✕) ลงในกระดาษคำตอบที่แจกให้

1. ทรงกลมขนาดเท่ากัน 2 อัน แต่ละอันมีรัศมี 1 เซนติเมตร ทรงกลมอันแรกมีประจุ 3×10^{-5} C อันหลัง -1×10^{-5} C เมื่อให้ทรงกลมทั้งสองแตะกัน แล้วแยกนำไปวางไว้ให้ผิวทรงกลมทั้งสองห่างกัน 8 เซนติเมตร ขนาดของแรงระหว่างทรงกลมเป็นเท่าใด
   ก. 90 นิวตัน
   ข. 190 นิวตัน
   ค. 290 นิวตัน
   ง. 390 นิวตัน

2. เมื่อวางลูกพิทที่มีประจุห่างกัน 4 เซนติเมตร ปรากฏว่า มีแรงกระทำต่อกัน 10^{-4} N ถ้าวางลูกพิท ทั้งสองห่างกัน 8 เซนติเมตร จะมีแรงกระทำระหว่างกันเท่าใด
   ก. 1.5×10^{-5} นิวตัน
   ข. 2.5×10^{-5} นิวตัน
   ค. 1.5×10^{-5} นิวตัน
   ง. 6.5×10^{-5} นิวตัน

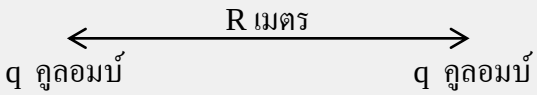
3. อนุภาค A มีประจุเป็น 2 เท่าของประจุบนอนุภาค B อยู่ห่างกัน $\sqrt{1.8}$ เซนติเมตร เกิดแรงกระทำ 1 นิวตัน ประจุบนอนุภาค B มีค่าเท่าไร
   ก. 1.0×10^{-7} คูลอมบ์
   ข. 2.0×10^{-7} คูลอมบ์
   ค. 1.0×10^{-6} คูลอมบ์
   ง. 2.0×10^{-6} คูลอมบ์

4. จุดประจุ $+10^{-15}$ และ -10^{-15} คูลอมบ์ ซึ่งถือว่าเป็นค่าคงที่ วางห่างกันเป็นระยะ R แรงที่เกิดขึ้น ต่อประจุทั้งสองมีค่าเท่ากันแต่มีทิศตรงข้าม แรงที่เกิดขึ้นนี้จะแปรผันตามอะไร
   ก. แปรผกผันกับระยะห่างกำลังสอง
   ข. แปรผกตรงกับระยะห่างกำลังสอง
   ค. แปรผันตามผลคูณของประจุทั้งสอง
   ง. แปรผันตรงตามผลคูณของประจุทั้งสองต่อระยะห่างกำลังสอง

5. จุดประจุขนาด 6 μC 3 จุดประจุ วางห่างกันเป็นแนวเส้นตรงห่างกันช่วงละ 30 เซนติเมตร จงหาขนาดของแรงที่กระทำต่อจุดประจุตรงจุดกึ่งกลาง เมื่อจุดประจุที่ปลายข้างหนึ่งเป็นชนิดลบ และตรงจุดกึ่งกลางกับปลายอีกข้างหนึ่งเป็นชนิดบวก
   ก. 3.6 นิวตัน
   ข. 4.8 นิวตัน
   ค. 5.6 นิวตัน
   ง. 7.2 นิวตัน

6. จุดประจุ 2 จุด ขนาด 4 ไมโครคูลอมบ์ และ -6 ไมโครคูลอมบ์ วางห่างกันเป็นระยะ d เซนติเมตร จะเกิดแรงกระทำระหว่างประจุ 12 นิวตัน ถ้านำไปวางห่างกัน d/2 เซนติเมตรจะเกิดแรงกระทำระหว่างประจุทั้งสองขนาดเท่าไร
   ก. 3 นิวตัน
   ข. 6 นิวตัน
   ค. 24 นิวตัน
   ง. 48 นิวตัน

7. ประจุ q C 2 ตัว วางห่างกัน r เมตร เกิดแรงระหว่างประจุ = F นิวตัน ถ้าเอาประจุ 3q C วางห่างจาก q คูลอมบ์ เป็นระยะ r เมตร จะเกิดแรงระหว่างประจุเท่าไร



   ก. F นิวตัน
   ข. 2F นิวตัน
   ค. 3F นิวตัน
   ง. 4F นิวตัน

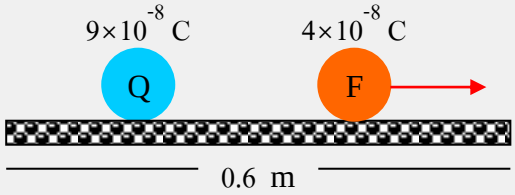
8. ทรงกลมตัวนำ F และ Q ประจุไฟฟ้า 4×10^{-8} C และ 9×10^{-8} C ตามลำดับ วางห่างกัน 0.6 เมตร บนพื้นระนาบเกลี้ยงที่เป็นฉนวน ถ้า F มีมวล 0.15 กรัม จงหาความเร่งของทรงกลม F ทันทีที่ปล่อยมีค่าเท่าไร

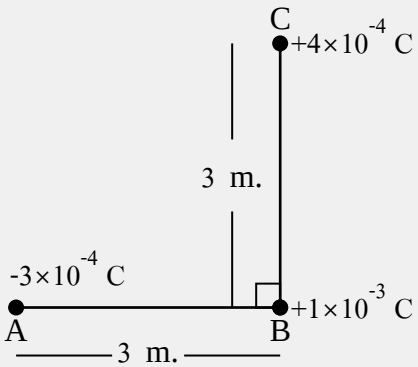
ก. 0.5 เมตร/วินาที^{2}

ข. 0.6 เมตร/วินาที^{2}

ค. 0.7 เมตร/วินาที^{2}

ง. 0.8 เมตร/วินาที^{2}



9. 

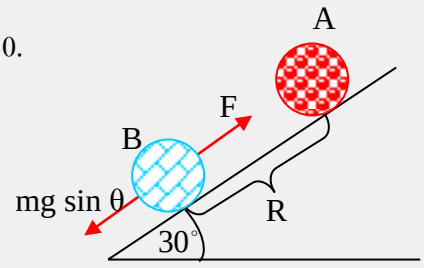
ประจุไฟฟ้า -3×10^{-4} C, $+1\times10^{-3}$ C และ $+4\times10^{-4}$ C วางอยู่ที่จุด A, B และ C ดังรูป แรงกระทำที่มีต่อประจุ $+1\times10^{-3}$ C มีขนาดเท่าใด

ก. 3×10^{2} N

ข. 5×10^{2} N

ค. 7×10^{3} N

ง. 9×10^{5} N

10. 

A มีประจุ -1.0×10^{-6} คูลอมบ์ ตรึงอยู่กับพื้นเอียงลื่น และเป็นฉนวน B มีประจุ $+1.0\times10^{-5}$ คูลอมบ์ มีมวล 2 กรัม อยู่บนพื้นเอียงนิ่ง ๆ อยากทราบว่า B อยู่ห่าง A เท่าไร

ก. 2.4 เมตร

ข. 3.0 เมตร

ค. 6.0 เมตร

ง. $3\sqrt{3}$ เมตร

รายวิชา ฟิสิกส์เพิ่มเติม	**เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียน**	ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6
รหัสวิชา ว 33204		เวลา 20 นาที
ชื่อหน่วยการเรียนรู้ : ไฟฟ้าสถิต		
เรื่อง แรงระหว่างประจุและกฎของคูลอมบ์		

เฉลย

ข้อที่	คำตอบ
1.	ก
2.	ข
3.	ก
4.	ก
5.	ง
6.	ง
7.	ค
8.	ข
9.	ข
10.	ข

ชุดการเรียนการสอน

ชุดที่ 2 เรื่อง แรงระหว่างประจุและกฎของคูลอมบ์

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. นักเรียนสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างแรงของประจุไฟฟ้า ระยะระหว่างประจุ และปริมาณประจุไฟฟ้าได้
2. นักเรียนสามารถอธิบายการทดลองและกฎของคูลอมบ์ได้อย่างถูกต้อง
3. นักเรียนสามารถคำนวณหาแรงระหว่างประจุไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง
4. สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ และสามารถนำไปอธิบายเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องได้

สาระสำคัญ

แรงที่เกิดระหว่างประจุไฟฟ้ามีทั้งแรงดูดและแรงผลัก และเป็นแรงต่างร่วม คือ ทั้ง 2 ฝ่าย จะออกแรงกระทำซึ่งกันและกันด้วยแรงเท่ากัน แต่ทิศทางตรงข้าม ประจุชนิดเดียวกันจะผลักกัน และประจุต่างชนิดกันจะดูดกัน

ชาร์ล ออกุสติน เดอ คูลอมบ์ (Charles Augustin de Coulomb) เป็นผู้คิดค้นกฎของคูลอมบ์ขึ้นมาและกฎคูลอมบ์ (Coulomb's Law) มีใจความว่า ***“แรงระหว่างประจุไฟฟ้ามีค่าแปรผันตามผลคูณของประจุไฟฟ้าทั้งสองและแปรผกผันกับระยะทางระหว่างประจุไฟฟ้าทั้งสองยกกำลังสอง”***

สาระการเรียนรู้

1. ศึกษาเกี่ยวกับไฟฟ้าสถิต เกี่ยวกับประจุไฟฟ้า ทราบถึงวิธีการทำให้เกิดประจุไฟฟ้า
2. ทำกิจกรรมเพื่อศึกษาชนิดของแรงระหว่างประจุไฟฟ้า และชนิดของประจุไฟฟ้า ความหมายของสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า ตัวนำและฉนวน การเหนี่ยวนำประจุไฟฟ้า
3. ทำกิจกรรมเพื่อศึกษาวิธีการทำให้วัตถุมีประจุไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำ พร้อมทั้งทราบถึงวิธีทำให้วัตถุตัวนำมีประจุโดยการเหนี่ยวนำ พร้อมทั้งต่อสายดิน
4. ศึกษาเกี่ยวกับแรงระหว่างประจุและกฎของคูลอมบ์
5. ศึกษาสนามไฟฟ้า เส้นแรงไฟฟ้า ศักย์ไฟฟ้า การเก็บประจุ และพลังงานของตัวเก็บประจุ
6. ศึกษาเกี่ยวกับความจุของตัวเก็บประจุแบบตัวนำ รูปทรงกลมและรูปทรงอื่น ๆ
7. ศึกษาการนำตัวเก็บประจุไปใช้งาน โดยการต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรมและแบบขนาน
8. นำความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าสถิตไปอธิบายหลักการทำงานของเครื่องใช้ในชีวิตประจำวันบางประเภท

ผลการเรียนรู้

1. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของไฟฟ้า ประจุ แรงระหว่างประจุ กฎการอนุรักษ์ประจุ กฎคูลอมบ์ และการเหนี่ยวนำไฟฟ้า
2. มีทักษะในการวิเคราะห์สนามไฟฟ้า เส้นแรง ศักย์ไฟฟ้า ตัวเก็บประจุ และความจุไฟฟ้า
3. มีความรับผิดชอบ สามารถสืบค้นข้อมูล และนำความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าสถิตไปใช้ประโยชน์ได้

บัตรคำสั่ง

ปฏิบัติตามคำสั่งต่อไปนี้

1. นักเรียนอ่านคู่มือนักเรียนให้เข้าใจก่อนลงมือศึกษา ชุดการเรียนการสอนที่ 2 เรื่อง แรงระหว่างประจุและกฎของคูลอมบ์
2. ศึกษาบัตรเนื้อหาที่ครูแจกให้เรื่อง แรงระหว่างประจุและกฎของคูลอมบ์
3. ให้นักเรียนอ่านบัตรกิจกรรมและปฏิบัติกิจกรรม ลงในแบบบันทึกการปฏิบัติกิจกรรม และตรวจความถูกต้องจากบัตรเฉลยกิจกรรม
4. นักเรียนร่วมกันตอบคำถามลงในบัตรงานที่ครูจัดเตรียมไว้ให้ และตรวจความถูกต้องจากบัตรเฉลยบัตรงาน
5. นักเรียนทำแบบฝึกหัดจากบัตรฝึกทักษะ และตรวจความถูกต้องจากบัตรเฉลยบัตรฝึกทักษะ **ห้ามนักเรียนเปิดดูบัตรเฉลยก่อน**
6. เมื่ออภิปรายหรือสนทนาสรุปความรู้เสร็จ ให้นักเรียนเขียนแผนผังมโนทัศน์สรุปผลการเรียนรู้ลงในบัตรสรุปความรู้

บัตรเนื้อหา

แรงระหว่างประจุไฟฟ้า

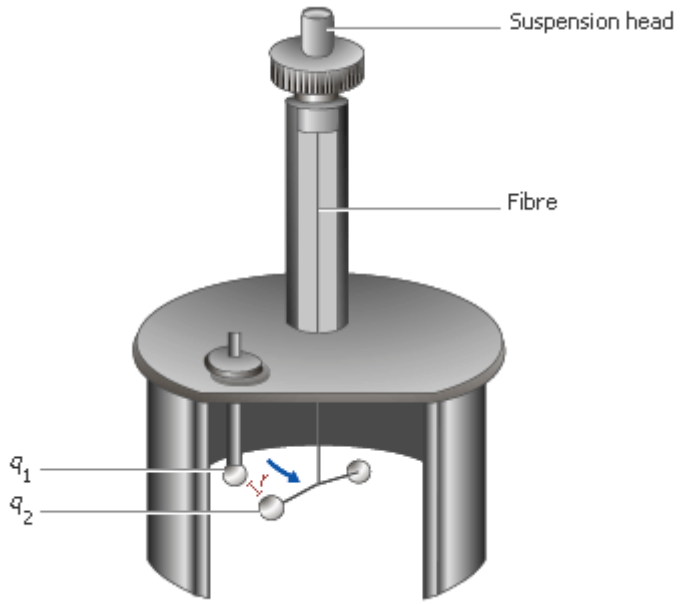
ภาพที่ 1 แสดง Charles Augustin de Coulomb

ที่มา : http://en.wikipedia.org/wiki/Charles-Augustin_de_Coulomb

Charles Augustin de Coulomb (ชาร์ล โอกูสแตง เดอ คูลอมบ์) เป็นคนแรกที่ทำการทดลองแรงระหว่างประจุไฟฟ้าในปี ค.ศ. 1785 โดยใช้อุปกรณ์ในลักษณะดุลการบิด ซึ่งคล้ายกับคาเวนดิชใช้หาค่าแรงโน้มถ่วงเชิงเปรียบเทียบ เครื่องมือนี้เรียกว่า ***เครื่องมือวัดแรงบิด (Torsion Balance)***

แรงระหว่างวัตถุที่มีประจุถูกวัดด้วยเครื่องมือที่มีชื่อว่า Torsion Balance *(ดังรูป)* เครื่องมือนี้ประกอบด้วยทรงกลมเล็ก 2 ลูก ติดอยู่กับท่อนฉนวนน้ำหนักเบาผูกติดกับเชือกเบา ให้แกว่งได้ในแนวนอน เมื่อให้ประจุกับทรงกลม A และทรงกลม B มีประจุถูกนำเข้าใกล้ ๆ

แรงดูดหรือแรงผลักระหว่างทรงกลม A และ B จะทำให้ท่อนฉนวนเกิดการหมุนไปบิดการแขวน มุมที่หมุนสามารถวัดได้โดยการฉายแสงไปที่กระจกที่ติดอยู่กับการแขวน เมื่ออยู่ในจุดสมดุล แรงก็สามารถคำนวณได้จากกฎของนิวตันข้อ 1 กล่าวคือ *แรงอยู่ในภาวะสมดุล*



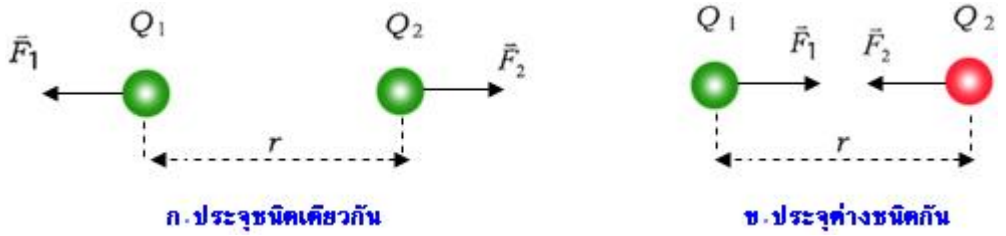
ภาพที่ 2 แสดงเครื่องมือหาแรงระหว่างประจุของคูลอมบ์

ที่มา : http://www.vcharkarn.com/lesson/view.php?id=1343

เมื่อประจุ Q_1 ถูกดันออกจาก Q_2 ทำให้เส้นใยสังเคราะห์บิดไปจนนิ่ง เมื่อแรงผลักถูกชดเชยโดยแรงคืนตัวของเส้นใยสังเคราะห์ที่บิด *จากหลักการนี้ Coulomb สามารถวัดแรงเป็นฟังก์ชันของระยะทางระหว่างประจุ Q_1 และ Q_2 ได้* ในทำนองเดียวกัน Coulomb ยังสามารถวัดแรงดึงดูดได้อีกด้วย

จึงได้สรุปผลเป็นกฎของคูลอมบ์ (Coulomb's Law) มีใจความว่า *"แรงระหว่างประจุไฟฟ้า มีค่าแปรผันตามผลคูณของประจุไฟฟ้าทั้งสอง และแปรผกผันกับระยะทางระหว่างประจุไฟฟ้าทั้งสองยกกำลังสอง"*

กฎของคูลอมบ์



ภาพที่ 3 แสดงแรงระหว่างประจุไฟฟ้า

ที่มา : http://www.vcharkarn.com/lesson/view.php?id=1343

เมื่อประจุ Q_1 และ Q_2 คงที่ Coulomb ค้นพบว่า ขนาดของแรงไฟฟ้า F แปรผันตรงกับส่วนกลับของระยะทางระหว่างประจุทั้งสองยกกำลังสอง

- $F = \frac{1}{r^2}$ *(แรงระหว่างประจุผกผันกับระยะห่างระหว่างประจุยกกำลังสอง)...(1)*

Coulomb ทำการทดลองอีกชุดหนึ่ง พบว่า เมื่อระยะทางระหว่างประจุทั้งสองคงที่แล้ว ขนาดของแรงไฟฟ้า F แปรผันตรงกับผลคูณประจุ Q_1 ของวัตถุหนึ่งกับประจุ Q_2 ของวัตถุอีกอันหนึ่ง

- $F \propto Q_1Q_2$ *(แรงระหว่างประจุแปรผันตรงกับขนาดของประจุทั้งสอง)...(2)*

นำสมการ *(1)* และ *(2)* มารวมกันเป็นสมการทั่วไปสำหรับแรงระหว่างประจุทั้งสอง

- $F = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$ *(**กฎของคูลอมบ์**)...(3)*

กำหนดให้

- Q_1 และ Q_2 เป็นขนาดของประจุไฟฟ้า *หน่วยเป็นคูลอมบ์ (C)*
- r เป็นระยะห่างระหว่างประจุไฟฟ้า *หน่วยเป็นเมตร (m)*
- F เป็นแรงระหว่างประจุไฟฟ้า *หน่วยเป็นนิวตัน (N)*
- ค่า k เป็นค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 9×10^9 นิวตัน (เมตร)^2 ต่อ คูลอมบ์^{2}

$k = 8.98747\times10^{9}\ N.m^2/C^2$

$\approx 9\times10^{9}\ N.m^2/C^2$

* เราอาจใช้ค่า K เป็นรูป ε_0 (ค่าสัมประสิทธิ์การซึม) ได้ดังนี้

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$$

$\varepsilon_0 = 8.85418\times10^{-12}\ C^2/Nm^2$

ซึ่งแทนค่าจะได้ $K = 9\times10^{9}\ Nm^2/C^2$

- ตัวแปร r^2 ในตัวส่วน เป็นคำกล่าวของ inverse - square law (กฎกำลังสองผกผัน)

หมายเหตุ

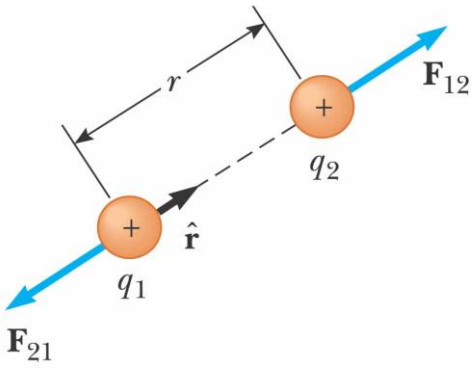
- เนื่องจากแรงเป็นปริมาณเวกเตอร์ ดังนั้น *การรวมแรงจึงต้องคำนึงถึงทิศทางด้วย*
- กฎของคูลอมบ์ (Coulomb's Law) ใช้ได้กับประจุบนวัตถุซึ่งมีขนาดเล็กมาก เมื่อเทียบกับระยะห่างระหว่างวัตถุ หรือกล่าวได้ว่า *กฎของคูลอมบ์ใช้ได้กับประจุไฟฟ้าชนิดที่เล็กเป็นจุด (Point Charge)*

การคำนวณ

การคำนวณแรงระหว่างประจุ

กำหนดให้

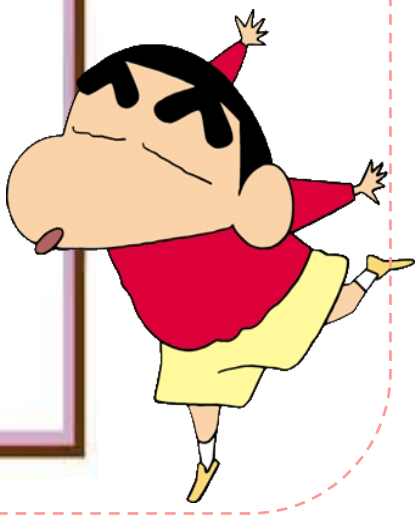
- ประจุ q_1 และ q_2 อยู่ห่างกันเป็นระยะ r



ภาพที่ 4 แสดงแรงระหว่างประจุบวกและประจุบวก

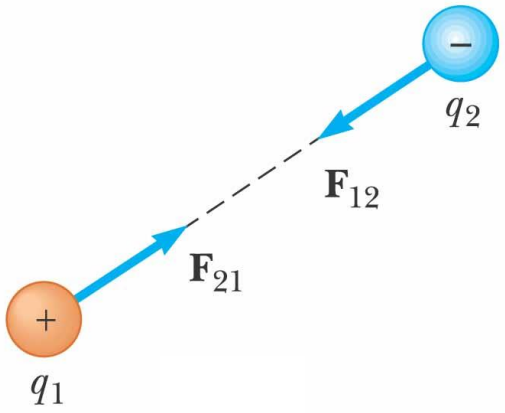
- กรณีประจุทั้งสองเป็นประจุบวกเหมือนกัน คิดที่ประจุ q_1 เกิดแรงผลัก เนื่องจากประจุ q_2 (จากรูปที่ 1 คือแรง F_{12}) *มีขนาดของแรง* $F_{12} = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$ *นิวตัน*

- ในขณะเดียวกัน คิดที่ประจุ q_2 เกิดแรงผลัก เนื่องจากประจุ q_1 (จากรูปที่ 1 คือแรง F_{21}) มี *ขนาดของแรง* $F_{21} = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$ *นิวตันเท่ากัน ทิศทางของแรงทั้งสองตรงกันข้าม*

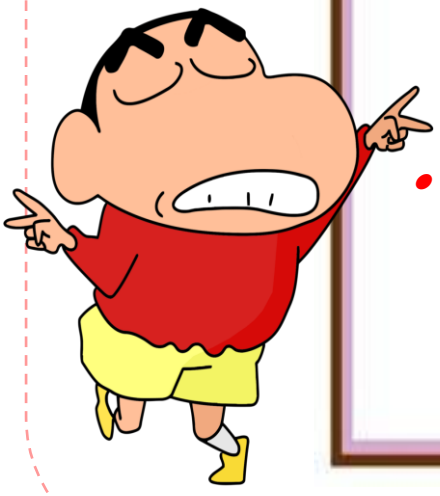


กำหนดให้

- ประจุ q_1 และ q_2 อยู่ห่างกันเป็นระยะ r



ภาพที่ 5 แสดงแรงระหว่างประจุบวกและประจุลบ



- กรณีที่ประจุทั้งสองเป็นประจุต่างชนิดกัน คิดที่ประจุ q_1 ซึ่งเป็นประจุลบเกิดแรงดึงดูด เนื่องจากประจุ q_2 (จากรูปที่ 2 คือแรง F_{12}) *มีขนาดของแรงเท่ากับ* $F_{12} = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$ *นิวตัน*

- ในขณะเดียวกันคิดที่ประจุ q_2 ซึ่งเป็นประจุบวก เกิดแรงดึงดูด เนื่องจากประจุ q_1 (จากรูปที่ 2 คือแรง F_{21}) *มีขนาดของแรงเท่ากับ* $F_{21} = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$ *นิวตันเท่ากัน ทิศทางของแรงทั้งสองเข้าหากัน*

ข้อควรจำ

ข้อควรจำเกี่ยวกับการคำนวณ เรื่อง แรงระหว่างประจุ

- **แรงระหว่างประจุเป็นปริมาณเวคเตอร์** ดังนั้นการแทนค่าประจุในสมการ $F = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$ *ไม่ต้องแทนเครื่องหมายของประจุบวกหรือลบ ให้แทนค่าเฉพาะขนาดของประจุ* การพิจารณาชนิดของแรงว่าเป็นแรงดูด หรือแรงผลัก ให้ดูจากชนิดของประจุคู่นั้น

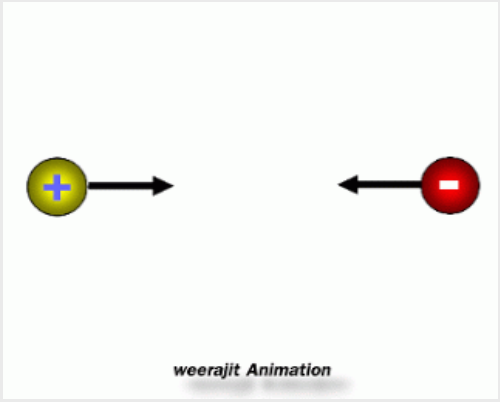
- **แรงระหว่างประจุเป็นแรงคู่กิริยา – ปฏิกิริยา** ตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน ดังนั้น *แรงระหว่างประจุของจุดประจุคู่หนึ่ง ๆ จึงมีขนาดเท่ากัน*

- **ถ้ามีจุดประจุมากกว่า 2 จุด** แรงระหว่างประจุที่*กระทำต่อจุดประจุใด จะเป็นแรงลัพธ์ที่กระทำต่อจุดประจุนั้น*

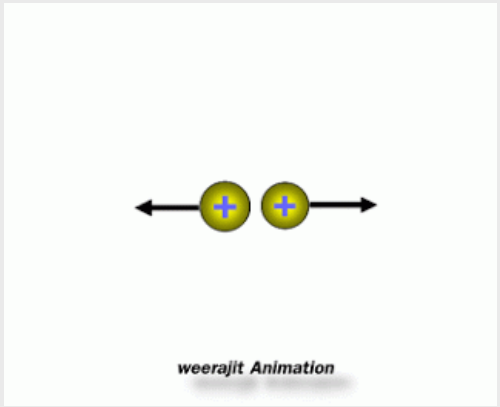
- ไม่ต้องแทนเครื่องหมายของประจุบวกหรือลบในการคำนวณหาแรง *เพียงแต่แสดงว่าประจุดูดกันหรือผลักกันเท่านั้น*
- แรงดูด แรงผลักทางไฟฟ้าสถิต เป็นปริมาณเวกเตอร์ *เวลามีหลายแรงมากระทำร่วมกันจะต้องรวมแบบเวกเตอร์*

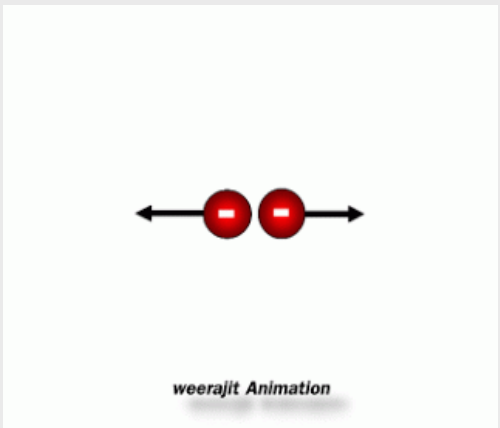
ชนิดของแรงระหว่างประจุ

1. ประจุต่างชนิดกันจะออกแรงดูดกัน(บวกดูดกับลบ)

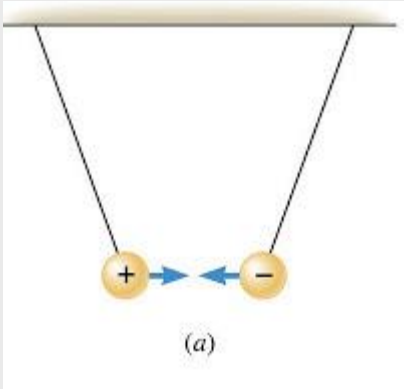


2. ประจุชนิดเดียวกันจะออกแรงผลักกัน(บวกผลักบวก และลบผลักลบ)

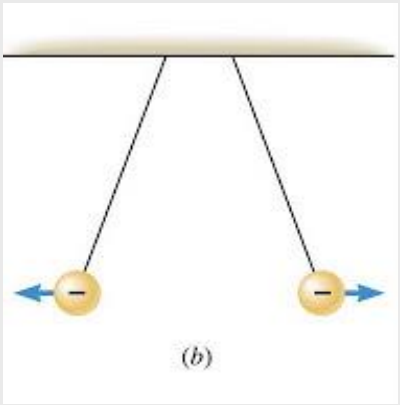


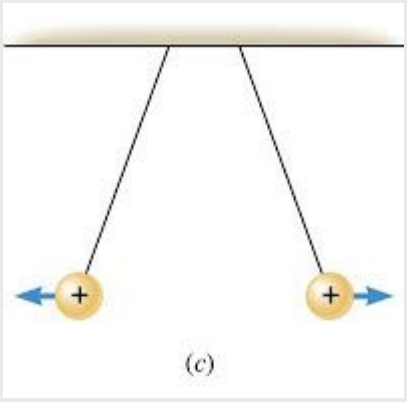


การเขียนเวกเตอร์แทนแรงระหว่างประจุ



รูป (a) แรงดูดเกิดจากประจุชนิดตรงกันข้ามออกแรงต่างร่วมกระทำต่อกัน ทิศของแรงดูดที่ประจุกระทำต่อกันจะเป็น***แรงดูดมีทิศเข้าหากัน***

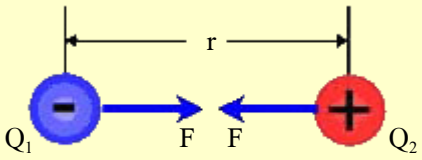




รูป (b) และ (c) แรงผลักเกิดจากประจุชนิดเดียวกัน ออกแรงต่างร่วมกระทำต่อกัน ทิศของแรงผลักที่ประจุกระทำต่อกันจะเป็น***แรงผลักมีทิศออกจากกัน***

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างที่ 1 ประจุ +3.0 ไมโครคูลอมบ์ วางห่างจากประจุ -2.5 ไมโครคูลอมบ์ เป็นระยะ 10 เซนติเมตร จะเกิดแรงระหว่างประจุชนิดใด และแรงกระทำนี้มีค่าเท่าใด



วิธีทำ จากโจทย์ประจุ Q_1 และ Q_2 เป็นประจุต่างชนิดกัน เพราะฉะนั้นจะเป็นแรงดึงดูด และแรงระหว่างประจุ คำนวณหาได้จากกฎของคูลอมบ์ $F = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$

จากโจทย์ สิ่งที่กำหนดมาให้ $Q_1 = +3.0$ mC, $Q_2 = -2.5$ mC และ $r = 10$ cm จะได้

$Q_1 = +3.0 \text{ mC} \times 10^{-6} \text{ C}$, $Q_2 = -2.5 \text{ mC} \times 10^{-6} \text{ C}$

$r = 10 \text{ cm} = 10 \times 10^{-2} \text{ cm}$ และ $k = 9 \times 10^{9} \text{ Nm}^2/\text{C}^2$

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

ดังนั้น $F = \frac{(9.0\times10^{9})\times(3\times10^{-6})\times(2.5\times10^{-6})}{(10\times10^{-2})^2}$

$F = \frac{(9\times3\times2.5)\times(10^{9}\times10^{-6}\times10^{-6})}{(10\times10)\times(10^{-2}\times10^{-2})}$

$F = \frac{(67.5)\times(10^{9-6-6})}{(100)\times(10^{-2-2})}$

$F = \frac{67.5\times10^{-3}}{100\times10^{-4}}$

$$F = \frac{67.5}{100} \times \frac{10^{-3}}{10^{-4}}$$

$$F = 0.675 \times 10^{-3-(-4)}$$

$$F = 0.675 \times 10^{-3+4}$$

$$F = (0.675 \times 10^{-1}) \times 10^{-3+4}$$

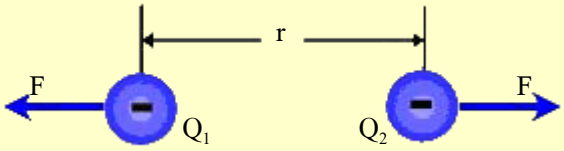
$$F = 6.75 \times 10^{-1-3+4}$$

$$F = 6.75 \times 10^{0}$$

$$F = 6.75 \text{ N}$$

ตอบ แรงระหว่างประจุเป็นแรงดึงดูด และมีขนาด 6.75 นิวตัน

ตัวอย่างที่ 2 ประจุ + 4.5 ไมโครคูลอมบ์ วางห่างจากประจุ +5.0 ไมโครคูลอมบ์ ระยะทาง 15 เซนติเมตร จะเกิดแรงระหว่างประจุชนิดใด และแรงกระทำนี้มีค่าเท่าใด



วิธีทำ จากโจทย์ประจุ Q_1 และ Q_2 เป็นประจุชนิดเดียวกัน เพราะฉะนั้นจะเป็นแรงผลักและแรงระหว่างประจุ คำนวณหาได้จากกฎของคูลอมบ์ $F = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$

จากโจทย์ สิ่งที่กำหนดมาให้ $Q_1 = +4.5$ mC, $Q_2 = +5.0$ mC และ $r = 15$ cm จะได้

$Q_1 = +4.5$ mC $\times 10^{-6}$ C, $Q_2 = +5.0$ mC $\times 10^{-6}$ C

$r = 15$ cm $= 15 \times 10^{-2}$ cm และ $k = 9 \times 10^{9}$ Nm^2/C^2

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

ดังนั้น $F = \frac{(9.0\times10^{9})\times(4.5\times10^{-6})\times(5.0\times10^{-6})}{(15\times10^{-2})^{2}}$

$F = \frac{(9\times4.5\times5)\times(10^{9}\times10^{-6}\times10^{-6})}{(15\times15)\times(10^{-2}\times10^{-2})}$

$F = \frac{(202.5)\times(10^{9-6-6})}{(225)\times(10^{-2-2})}$

$F = \frac{202.5\times10^{-3}}{225\times10^{-4}}$

$F = 0.9\times10^{-3-(-4)}$

$F = 0.9\times10^{-3+4}$

$F = (9.0\times10^{-1})\times10^{-3+4}$

$F = 9.0\times10^{-1-3+4}$

$F = 9.0\times10^{0}$

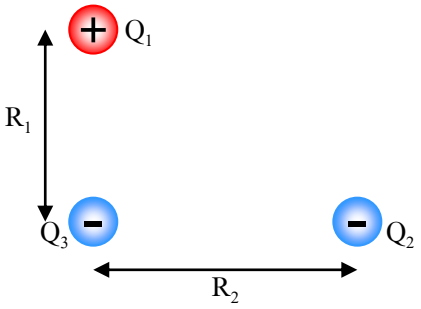
$F = 9.0\ \text{N}$

ตอบ แรงระหว่างประจุเป็นแรงผลัก และมีขนาด 9.0 นิวตัน

การหาค่าแรงการกระทำระหว่างประจุ กรณีที่มีประจุมากกว่าสองประจุ

ประจุไฟฟ้ามากกว่าสองประจุ

กรณีที่มีประจุไฟฟ้ามากกว่าสองประจุ แล้วต้องการหาแรงกระทำเนื่องจากประจุไฟฟ้า *ต้องกำหนดว่า ต้องการแรงกระทำที่ประจุใด แล้วคิดแรงที่ประจุอื่นกระทำต่อประจุที่ต้องการที่ละคู่ หลังจากนั้นใช้วิธีการรวมแรง เพื่อหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ที่กระทำต่อประจุที่ต้องการนั้น*



ภาพที่ 6 แสดงประจุ 3 ประจุ

จากรูปที่ 6 *ถ้าต้องการหาแรงที่กระทำต่อประจุ Q_3 ต้องดำเนินการดังนี้*

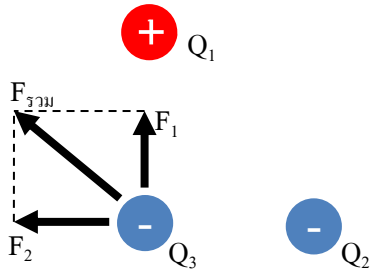
- หาแรงที่ประจุ $+Q_1$ กระทำต่อประจุ $-Q_3$ ซึ่งเป็นแรงดูดที่มีทิศเข้าหาประจุ Q_1 โดยใช้สูตรตามกฎของคูบอมบ์ ได้ขนาดของแรง $F_1 = \frac{kQ_1Q_2}{r_1^2}$

- หาแรงที่ประจุ $-Q_2$ กระทำต่อประจุ $-Q_3$ ซึ่งเป็นแรงดูดที่มีทิศเข้าหาประจุ Q_2 โดยใช้สูตรตามกฎของคูบอมบ์ ได้ขนาดของแรง $F_2 = \frac{kQ_1Q_2}{r_2^2}$

- นำแรงทั้งสองมาหาแรงลัพธ์โดยใช้สมบัติของเวกเตอร์ ซึ่งกรณีนี้ทิศทางของแรงตั้งฉากกัน จึงหาขนาดของแรงลัพธ์ได้โดยใช้สูตร $\sum F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$

- ในกรณีที่แรง F_1, F_2 กระทำต่อกันไม่เป็นมุมฉาก ขนาดของแรงลัพธ์ที่จุด B หาได้จาก $\sum F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\theta}$

ทิศทางของแรงหาได้จากภาพที่ 7 ดังนี้



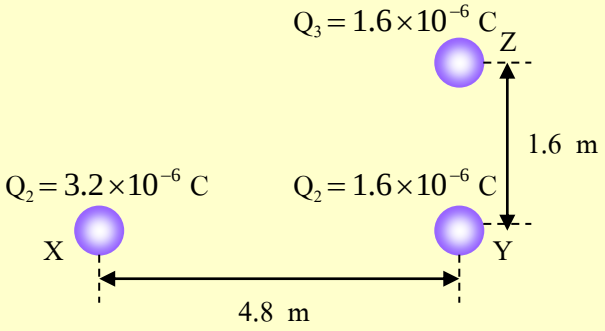
ภาพที่ 6 แสดงการหาทิศทางของแรงลัพธ์

จากรูปที่ 7 หาทิศของแรงลัพธ์โดยใช้ความสัมพันธ์ $\tan\theta = \frac{F_1}{F_2}$

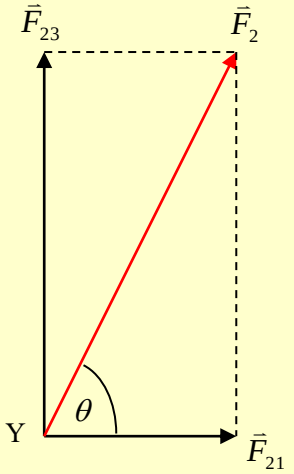
ขนาดของมุมที่แรงลัพธ์กระทำต่อประจุ $\tan^{-1}$ องศา เทียบกับแนวแรง F_2

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่าง จากรูป ก. ที่ X, Y และ Z มีประจุ Q_1, Q_2, Q_3 มีค่า 3.2×10^{-6}, 1.6×10^{-6} และ -1.6×10^{-6} คูลอมบ์ ตามลำดับ เมื่อระยะ XY เท่ากับ 4.8 เมตร YZ เท่ากับ 1.6 เมตร จงหาขนาดและทิศทางของแรงที่กระทำต่อประจุที่ตำแหน่ง Y



ก. แสดงประจุที่ตำแหน่งต่าง ๆ



ข. แสดงแรงกระทำต่อประจุที่ตำแหน่ง Y

วิธีทำ ให้ Q_1, Q_2 และ Q_3 เป็นประจุที่ตำแหน่ง X, Y และ Z ตามลำดับ แรงระหว่างประจุที่กระทำต่อประจุ Q_2 มี 2 แรง คือ F_{21} และ F_{23} โดย F_{21} เป็นแรงที่ Q_1 ผลัก Q_2 และ F_{23} เป็นแรงที่ดึงดูด Q_2 ขนาดของ F_{21} และ F_{23} หาได้จากกฎของคูลอมบ์ $F = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$

ดังนั้น $F_{21} = \frac{(9.0\times10^{9})\times(3.2\times10^{-19})\times(1.6\times10^{-19})}{(4.8)^2}$

$F_{21} = 2.0\times10^{-3}$ N

และ $F_{23} = \frac{(9.0\times10^{9})\times(1.6\times10^{-19})\times(1.6\times10^{-19})}{(1.6)^2}$

$F_{21} = 9.0\times10^{-3}$ N

ขนาดของแรงลัพธ์ที่กระทำต่อประจุที่ Y หาได้จากสมการ

$$\sum F = \sqrt{F_{21}^2 + F_{23}^2}$$

เมื่อแทนค่าในสูตร $\sum F = \sqrt{(2.0\times10^{-3})^2 + (9.0\times10^{-3})^2}$

คิดเป็นแรงเท่ากับ $\sum F = 9.2\times10^{-3}$ N

หาทิศของแรงลัพธ์เทียบกับแนว XY โดยใช้สูตร $\tan\theta = \frac{F_{21}}{F_{23}}$

$$\tan\theta = \frac{9.0\times10^{-3}}{2.0\times10^{-3}} = 4.5$$

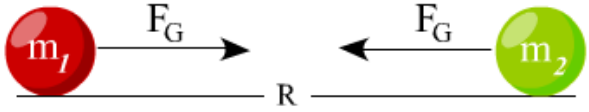
$$= \tan^{-1} 4.5$$

$$= 77.5°$$

ตอบ แรงที่กระทำต่อประจุที่ตำแหน่ง X เท่ากับ 9.0×10^{-3} นิวตัน และทำมุม 77.5 องศา กับแนว XY

การหาค่าแรงการกระทำระหว่างประจุ และแรงดึงดูดระหว่างมวล

กฎแรงดึงดูดระหว่างมวล



ภาพที่ 8 แสดงแรงดึงดูดระหว่างมวลของวัตถุคู่หนึ่ง

กฎแรงดึงดูดระหว่างมวลของนิวตัน

$$= \frac{Gm_p m_e}{r^2}$$

จากรูปกำหนดให้

- m1 และ m2 เป็นมวลของวัตถุแต่ละก้อน *มีหน่วยเป็นกิโลกรัม*
- R เป็นระยะระหว่างมวล m1 กับ m2 *มีหน่วยเป็น เมตร*
- G เป็นค่าคงตัวความโน้มถ่วงสากล เท่ากับ 6.673×10^{-11} นิวตัน – เมตร ต่อกิโลกรัม^2
- FG เป็นแรงดึงดูดระหว่างมวล m1 กับ m2 *มีหน่วยเป็นนิวตัน*

เราสามารถใช้ความสัมพันธ์ของแรงระหว่างประจุตามกฎของคูลอมบ์ $F = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$ เพื่อหาค่าแรงระหว่างประจุ และใช้กฎแรงดึงดูดระหว่างมวลของนิวตัน $F_G = \frac{Gm_p m_e}{r^2}$ เพื่อหาแรงดึงดูดระหว่างมวลได้ครับ

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่าง อะตอมของไฮโดรเจนประกอบด้วยโปรตอน (มีมวลประจุมวล 1.67×10^{-27} กิโลกรัม และประจุ 1.6×10^{-19} คูลอมบ์) จำนวน 1 ตัว และอิเล็กตรอน (มีมวล 9.11×10^{-31} กิโลกรัม และมีประจุเป็นลบ 1.6×10^{-19} คูลอมบ์) เมื่อระยะห่างระหว่างอิเล็กตรอนและโปรตอนเท่ากับ 5.3×10^{-11} เมตร

จงหาแรงกระทำระหว่างโปรตอนและอิเล็กตรอนเพื่อพิจารณาเฉพาะ

ก. แรงระหว่างประจุ

ข. แรงดึงดูดระหว่างมวล

วิธีทำ ก. จากกฎของคูลอมบ์ $F=\frac{kQ_1Q_2}{r^2}$

ดังนั้น $F=\frac{(9.0\times10^{9})\times(1.6\times10^{-19})\times(1.6\times10^{-19})}{(5.3\times10^{-11})^2}$

$F=8.2\times10^{-8}\ \text{N}$

ข. จากกฎแรงดึงดูดระหว่างมวลของนิวตัน $F_G=\frac{Gm_pm_e}{r^2}$

ดังนั้น $F=\frac{(6.7\times10^{-11})\times(1.67\times10^{-27})\times(9.11\times10^{-31})}{(5.3\times10^{-11})^2}$

$=3.6\times10^{-47}\ \text{N}$

ตอบ ก. แรงดึงดูดเนื่องจากประจุเท่ากับ 8.2×10^{-8} นิวตัน

ข. แรงดึงดูดระหว่างมวลเท่ากับ 3.6×10^{-47} นิวตัน

บัตรกิจกรรม

คำชี้แจง ให้นักเรียนศึกษากิจกรรมที่กำหนดให้ และปฏิบัติตามกิจกรรมพร้อมบันทึกผลการทำกิจกรรมในแบบบันทึกการปฏิบัติกิจกรรม

กิจกรรม เรื่อง แรงระหว่างประจุไฟฟ้า

จุดประสงค์
1. เพื่อศึกษาแรงระหว่างประจุไฟฟ้า
2. อธิบายเกี่ยวกับแรงระหว่างประจุไฟฟ้าได้

วัสดุอุปกรณ์

1.	ดินน้ำมัน	2	ก้อน
2.	ไม้บรรทัด	1	อัน
3.	ไม้เสียบลูกชิ้น	4	ไม้
4.	แบบบันทึกการปฏิบัติกิจกรรม		

วิธีทำกิจกรรม

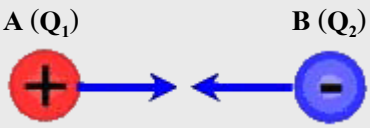
1. นำดินน้ำมันมาปั้นเป็นรูปทรงกลมเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2 cm วางกลางโต๊ะ ใช้สันของไม้บรรทัดกดเป็นเครื่องหมายบวก และให้ชื่อว่าประจุบวก A (Q_1)

A (Q_1)

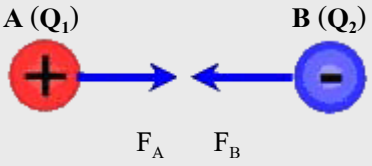
2. ปั้นดินน้ำมันขนาดเท่ากับข้อ 1 และกดเป็นเครื่องหมายลบ ให้ชื่อว่าประจุลบ B (Q_2)

B (Q_2)

3. ใช้ไม้เสียบลูกชิ้นแสดงทิศของแรงระหว่างประจุบวกที่กระทำต่อประจุลบในทิศดูดกัน ดังรูป



4. ใช้ดินน้ำมันปั้นเป็น F_A และ F_B แล้วนำไปวางไว้ล่างลูกศร ดังรูป



5. ทำเหมือนข้อ 1 - 4 แต่เปลี่ยนประจุเป็นบวกกับลบ และลบกับลบ ตามลำดับ บันทึกผลลงในแบบบันทึกการปฏิบัติกิจกรรม

6. ใช้ดินน้ำมันปั้นเป็น F, K, Q_1, Q_2 และ r แล้วประกอบเป็นสมการ

$$F = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$$ *(**กฎของคูลอมบ์**)*

เมื่อ

- Q_1 และ Q_2 เป็นขนาดของประจุไฟฟ้า *หน่วยเป็นคูลอมบ์ (C)*
- r เป็นระยะห่างระหว่างประจุไฟฟ้า *หน่วยเป็นเมตร (m)*
- F เป็นแรงระหว่างประจุไฟฟ้า *หน่วยเป็นนิวตัน (N)*
- ค่า k เป็นค่าคงที่มีค่าเท่ากับ $9x10^9$ นิวตัน (เมตร)^2 ต่อ คูลอมบ์^{2}

7. นักเรียนช่วยกันทำแบบบันทึกการปฏิบัติกิจกรรม

แบบบันทึกการปฏิบัติกิจกรรม

ชุดที่ 2 เรื่อง แรงระหว่างประจุและกฎของคูลอมบ์

กลุ่มที่ ..... ชั้น .....

บันทึกผลการทำกิจกรรม

- ให้วาดรูปแสดงทิศของแรงที่ประจุทั้งสองกระทำต่อกันให้ถูกต้อง
  - ประจุบวกวางห่างกับประจุบวก
  - ประจุบวกวางห่างประจุลบ
  - ประจุลบกับประจุลบ
- ทรงกลมตัวนำสองลูกขนาดเท่ากันมีประจุ -1.5×10^{-19} คูลอมบ์ และ $+1.7\times10^{-19}$ คูลอมบ์ อยู่ห่างกัน 6.3×10^{-11} เมตร จงหาแรงระหว่างประจุ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

บัตรเฉลยกิจกรรม

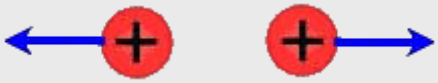
ชุดที่ 2 เรื่อง แรงระหว่างประจุและกฎของคูลอมบ์

กลุ่มที่ ..... ชั้น .....

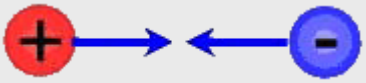
บันทึกผลการทำกิจกรรม

- ให้วาดรูปแสดงทิศของแรงที่ประจุทั้งสองกระทำต่อกันให้ถูกต้อง

  - ประจุบวกวางห่างกับประจุบวก



  - ประจุบวกวางห่างประจุลบ



  - ประจุลบกับประจุลบ

- ทรงกลมตัวนำสองลูกขนาดเท่ากันมีประจุ -1.5×10^{-19} คูลอมบ์ และ $+1.7\times10^{-19}$ คูลอมบ์ อยู่ห่างกัน 6.3×10^{-11} เมตร จงหาแรงระหว่างประจุ

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

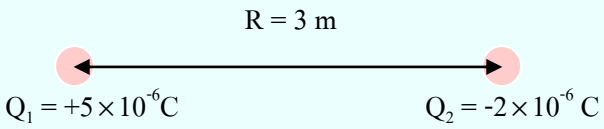
ดังนั้น $F = \frac{(9.0\times10^{9})\times(1.5\times10^{-19})\times(1.7\times10^{-19})}{(6.3\times10^{-11})^2}$

$F = 5.8\times10^{-8}\,N$

ตอบ แรงระหว่างประจุ 5.8×10^{-8} นิวตัน

บัตรงาน

จงตอบคำถามต่อไปนี้



1. จากรูปให้หาแรงกระทำระหว่างประจุทั้งสอง

   วิเคราะห์โจทย์

   โจทย์กำหนด .....

   โจทย์ต้องการทราบ .....

   วิธีทำ **จากสูตร** $F = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$

   แทนค่าในสูตร F =_____

   จะได้ F = ... นิวตัน

   ตอบ แรงกระทำระหว่างประจุทั้งสองเท่ากับ ..... นิวตัน

2. ประจุ $+5 \times 10^{-5}$C และ -2×10^{-5}C อยู่ห่างกัน 1 เมตร จะมีแรงดูดกันหรือผลักกันกี่นิวตัน

   วิเคราะห์โจทย์

   โจทย์กำหนด .....

   โจทย์ต้องการทราบ .....

   วิธีทำ **จากสูตร** $F = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$

แทนค่าในสูตร $F = \frac{\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad}{\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad}$

จะได้ $F =$ ..... นิวตัน

เป็นแรง ..... เพราะ .....

ตอบ แรงกระทำระหว่างประจุทั้งสองเป็นแรง .....
เท่ากับ ..... นิวตัน

3. ประจุหนึ่งมีปริมาณเป็น 2 เท่าของอีกประจุหนึ่ง วางห่างกัน 10 เซนติเมตร เกิดแรงกระทำระหว่างกัน 180 นิวตัน จงหาปริมาณของประจุทั้งสอง

วิเคราะห์โจทย์

โจทย์กำหนด .....

โจทย์ต้องการทราบ .....

วิธีทำ **จากสูตร** $F = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$

แทนค่าในสูตร $180\ N = \frac{\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad}{\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad}$

จะได้ $Q_1 =$ ..... คูลอมบ์
$Q_2 =$ ..... คูลอมบ์

ตอบ ปริมาณประจุขนาดเท่ากับ ..... และ ..... คูลอมบ์

4. ลูกพิทสองอันแต่ละอันมีประจุ 1 ไมโครคูลอมบ์ เมื่อวางห่างกัน 50 เซนติเมตร และถือว่าลูกพิทนี้มีขนาดเล็กมากจนถือได้ว่าเป็นจุประจุ จงหาแรงกระทำที่เกิดขึ้นที่ลูกพิทว่าเป็นเท่าใด

วิเคราะห์โจทย์

โจทย์กำหนด .....

.....

โจทย์ต้องการทราบ .....

วิธีทำ **จากสูตร** $F = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$

แทนค่าในสูตร F =

จะได้ F = ... นิวตัน

ตอบ แรงกระทำที่เกิดขึ้นที่ลูกพิท ..... นิวตัน

5. ประจุ $Q_1 = +4 \times 10^{-6}$C คูลอมบ์, $Q_2 = -5 \times 10^{-6}$C คูลอมบ์ วางห่างกัน 2 เมตร จงคำนวณหาแรงที่เกิดขึ้นกับประจุ Q_2

วิเคราะห์โจทย์

โจทย์กำหนด .....

โจทย์ต้องการทราบ .....

วิธีทำ **จากสูตร** $F = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$

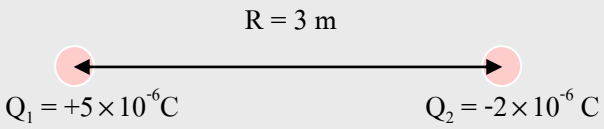
แทนค่าในสูตร F =

จะได้ F = ... นิวตัน

ตอบ แรงที่เกิดขึ้นกับประจุ Q_2 เท่ากับ ..... นิวตัน

บัตรเฉลยบัตรงาน

จงตอบคำถามต่อไปนี้



1. จากรูปให้หาแรงกระทำระหว่างประจุทั้งสอง

   วิเคราะห์โจทย์

   โจทย์กำหนด $Q_1 = 5\times10^{-6}$ C, $Q_1 = -2\times10^{-6}$C, $R = 3$ m

   โจทย์ต้องการทราบ F

   วิธีทำ **จากสูตร** $F = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$

   แทนค่าในสูตร $F = \frac{(9.0\times10^{9})\times(5\times10^{-6})\times(2\times10^{-6})}{3^2}$

   จะได้ $F = 10^{-2}$ นิวตัน

   ตอบ แรงกระทำระหว่างประจุทั้งสองเท่ากับ 10^{-2} นิวตัน

2. ประจุ $+5\times10^{-5}$C และ -2×10^{-5}C อยู่ห่างกัน 1 เมตร จะมีแรงดูดกันหรือผลักกันกี่นิวตัน

   วิเคราะห์โจทย์

   โจทย์กำหนด $Q_1 = 5\times10^{-5}$ C, $Q_2 = -2\times10^{-5}$ C, $R = 1$ m

   โจทย์ต้องการทราบ *ขนาดและชนิดของแรง (F)*

   วิธีทำ **จากสูตร** $F = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$

แทนค่าในสูตร $F = \frac{(9.0\times10^{9})\times(5\times10^{-5})\times(2\times10^{-5})}{1^{2}}$

จะได้ $F = 9$ นิวตัน

เป็นแรง *ดูด* เพราะ *ประจุต่างชนิดกัน*

ตอบ แรงกระทำระหว่างประจุทั้งสองเป็นแรง *ดูด*
เท่ากับ *9* นิวตัน

3. ประจุหนึ่งมีปริมาณเป็น 2 เท่าของอีกประจุหนึ่ง วางห่างกัน 10 เซนติเมตร เกิดแรงกระทำระหว่างกัน 180 นิวตัน จงหาปริมาณของประจุทั้งสอง

วิเคราะห์โจทย์

โจทย์กำหนด $Q_2 = 2Q_1\ C,\ R = 10\times10^{-2}\ m,\ k = 9.0\times10^{9}\ N.m^2/C^2,\ F = 180\ N$

โจทย์ต้องการทราบ Q_1 *และ* Q_2

วิธีทำ **จากสูตร** $F = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$

แทนค่าในสูตร $180\ N = \frac{(9.0\times10^{9})\times(Q_1)\times(2Q_1)}{(10\times10^{-2})^2}$

จะได้ $Q_1 = 1.0\times10^{-10}$ คูลอมบ์
$Q_2 = 2.0\times10^{-10}$ คูลอมบ์

ตอบ ปริมาณประจุขนาดเท่ากับ 1.0×10^{-10} และ 2.0×10^{-10} คูลอมบ์

4. ลูกพิทสองอันแต่ละอันมีประจุ 1 ไมโครคูลอมบ์ เมื่อวางห่างกัน 50 เซนติเมตร และถือว่าลูกพิทนี้มีขนาดเล็กมากจนถือได้ว่าเป็นจุประจุ จงหาแรงกระทำที่เกิดขึ้นที่ลูกพิทว่าเป็นเท่าใด

วิเคราะห์โจทย์

โจทย์กำหนด $Q_1 = 1.0\times10^{-6}\ C,\ Q_2 = 1.0\times10^{-6}\ C,\ R = 5\times10^{-2}\ m,$

$k = 9.0\times10^{9}\ N.m^2/C^2$

โจทย์ต้องการทราบ F

วิธีทำ **จากสูตร** $F = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$

แทนค่าในสูตร $F = \frac{(9.0\times10^{9})\times(1.0\times10^{-6})\times(1.0\times10^{-6})}{(50\times10^{-2})^2}$

จะได้ $F = 3.6\times10^{-2}$ N

ตอบ แรงกระทำที่เกิดขึ้นที่ลูกพิท 3.6×10^{-2} นิวตัน

5. ประจุ $Q_1 = +4\times10^{-6}$C คูลอมบ์, $Q_2 = -5\times10^{-6}$C คูลอมบ์ วางห่างกัน 2 เมตร จงคำนวณหาแรงที่เกิดขึ้นกับประจุ Q_2

วิเคราะห์โจทย์

โจทย์กำหนด $Q_1 = +4\times10^{-6}\ C,\ Q_2 = -5\times10^{-6}C,\ R = 2\ m,\ k = 9.0\times10^{9}\ N.m^2/C^2$

โจทย์ต้องการทราบ *แรงที่เกิดขึ้นกับประจุ* Q_2

วิธีทำ **จากสูตร** $F = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$

แทนค่าในสูตร $F = \frac{(9.0\times10^{9})\times(4\times10^{-6})\times(5\times10^{-6})}{(2)^2}$

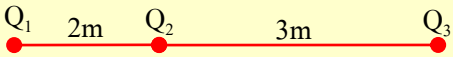
จะได้ $F = 0.045$ นิวตัน

ตอบ แรงที่เกิดขึ้นกับประจุ Q_2 เท่ากับ 0.045 นิวตัน

บัตรฝึกทักษะ

คำชี้แจง ให้นักเรียนทำแบบฝึกทักษะ และตรวจความถูกต้องจากเฉลยบัตรฝึกทักษะ แล้วนำคะแนนส่งครูผู้สอนเพื่อบันทึกคะแนน *(ข้อละ 2.5 คะแนน)*

1. ประจุ $Q_1 = +4\times10^{-6}$ คูลอมบ์, $Q_2 = -5\times10^{-6}$ คูลอมบ์และ $Q_3 = +6\times10^{-6}$ วาดดังรูป จงคำนวณหา



ก. ขนาดของแรงที่ประจุ Q_1 กระทำต่อ Q_2 และทิศของแรงที่กระทำ

วิเคราะห์โจทย์

โจทย์กำหนด .....

โจทย์ต้องการทราบ .....

วิธีทำ **จากสูตร** $F = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$

แทนค่าในสูตร $F = \frac{(9.0\times10^9)\times(\ldots\ldots)\times(\ldots\ldots)}{(\ldots\ldots)^2}$

(ให้ F_1 แทนแรงประจุ Q_1 กระทำต่อ Q_2)

$F =$ ..... นิวตัน

ทิศของแรง F_1 กระทำต่อ Q_2 มีทิศ .....

ตอบ ขนาดของแรงที่ประจุ Q_1 กระทำต่อ $Q_2 =$ ..... นิวตัน และมีทิศ .....

ข. ขนาดของแรงที่ประจุ Q_3 กระทำต่อ Q_2 และทิศของแรงที่กระทำ

วิธีทำ **จากสูตร** $F = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$

แทนค่าในสูตร $F = \frac{(9.0\times10^9)\times(\ldots\ldots\ldots)\times(\ldots\ldots\ldots)}{(\ldots\ldots\ldots)^2}$

(ให้ F_2 แทนแรงประจุ Q_1 กระทำต่อ Q_2)

F = ... นิวตัน

ทิศของแรง F_2 กระทำต่อ Q_2 มีทิศ .....

ตอบ ขนาดของแรงที่ประจุ Q_3 กระทำต่อ Q_2 = ... นิวตัน
และมีทิศ.....

ค. แรงลัพธ์ที่กระทำต่อประจุที่จุด Q_2

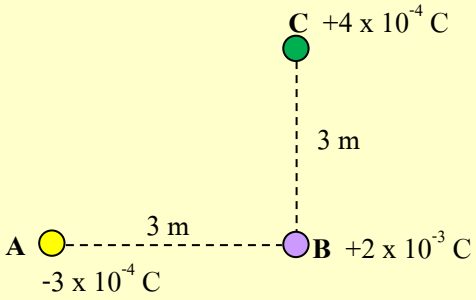
วิธีทำ **จากสูตร** $\sum F = F_1 + F_2$

เมื่อแทนค่าในสูตร F = ...+ .....

F = ... นิวตัน

ตอบ แรงลัพธ์ที่กระทำต่อประจุที่จุด Q_2 = ... นิวตัน

2. จากรูปจงหา



ก. แรงของประจุที่จุด A กระทำต่อประจุที่จุด B

วิเคราะห์โจทย์

โจทย์กำหนด .....

โจทย์ต้องการทราบ .....

วิธีทำ **จากสูตร** $F = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$

แทนค่าในสูตร $F_1 = \frac{(9.0\times10^9)\times(\ldots\ldots)\times(\ldots\ldots)}{(\ldots\ldots)^2}$

(ให้ F_1 แทนแรงของประจุที่จุด A กระทำต่อประจุที่จุด B)

F_1 = ... นิวตัน

ทิศของแรง F_1 กระทำต่อ B มีทิศ .....

ตอบ ขนาดของแรงที่ประจุที่จุด A กระทำต่อประจุที่จุด B = ... นิวตัน

ข. แรงของประจุที่จุด C กระทำต่อประจุที่จุด B

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

แทนค่าในสูตร $F_2 = \frac{(9.0\times10^9)\times(\ldots\ldots\ldots)\times(\ldots\ldots\ldots)}{(\ldots\ldots\ldots)^2}$

(ให้ F_2 แทนแรงของประจุที่จุด C กระทำต่อประจุที่จุด B)

$F_2 =$ ..... นิวตัน

ทิศของแรง F_2 กระทำต่อ B มีทิศ .....

ตอบ ขนาดของแรงที่ประจุที่จุด C กระทำต่อประจุที่จุด B = ... นิวตัน

ค. แรงลัพธ์ที่กระทำต่อประจุที่จุด B

วิธีทำ **จากสูตร** $\sum F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$

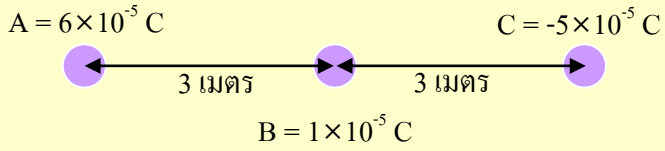
เมื่อแทนค่าในสูตร $F = \sqrt{(\ldots\ldots\ldots)^2 + (\ldots\ldots\ldots)^2}$

คิดเป็นแรงเท่ากับ $F = \sqrt{\ldots\ldots\ldots}$

= ..... นิวตัน

ตอบ แรงลัพธ์ที่กระทำต่อประจุที่จุด B = ... นิวตัน

3. จากรูปจงหา



ก. แรงที่ประจุที่จุด A กระทำต่อประจุที่จุด B

วิเคราะห์โจทย์

โจทย์กำหนด .....

โจทย์ต้องการทราบ .....

จากสูตร $F = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$

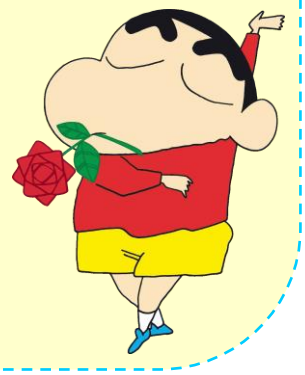
แทนค่าในสูตร $F_1 = \frac{(9.0\times10^9)\times(\ldots\ldots)\times(\ldots\ldots)}{(\ldots\ldots)^2}$

(ให้ F_1 แทนแรงของประจุที่จุด A กระทำต่อประจุที่จุด B)

F_1 = ... นิวตัน

ทิศของแรง F_1 กระทำต่อ B มีทิศ .....

ตอบ ขนาดของแรงที่ประจุที่จุด A กระทำต่อประจุที่จุด B = ... นิวตัน และมีทิศ .....



ข. แรงที่ประจุที่จุด C กระทำต่อประจุที่จุด B และทิศทางที่แรงกระทำ

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

แทนค่าในสูตร $F_2 = \frac{(9.0\times10^9)\times(\ldots\ldots\ldots)\times(\ldots\ldots\ldots)}{(\ldots\ldots\ldots)^2}$

(ให้ F_2 แทนแรงของประจุที่จุด C กระทำต่อประจุที่จุด B)

$F_2 =$ ..... นิวตัน

ทิศของแรง F_2 กระทำต่อ B มีทิศ .....

ตอบ ขนาดของแรงที่ประจุที่จุด C กระทำต่อประจุที่จุด B = ... นิวตัน และมีทิศ .....

ค. แรงลัพธ์ที่กระทำต่อประจุที่จุด B

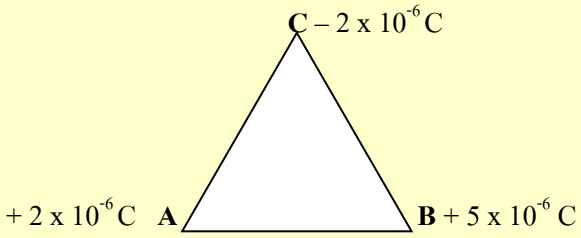
วิธีทำ **จากสูตร** $\sum F = F_1 + F_2$

เมื่อแทนค่าในสูตร F = ...+ .....

F = ... นิวตัน

ตอบ แรงลัพธ์ที่กระทำต่อประจุที่จุด B = ... นิวตัน

4. สามเหลี่ยมด้านเท่ารูปหนึ่ง มีความยาวด้านละ 30 เซนนติเมตร และที่แต่ละมุมของสามเหลี่ยมนี้มีจุดประจุ +2, -2 และ +5 ไมโครคูลอมบ์ วางอยู่ อยากทราบว่าขนาดของแรงไฟฟ้าบนจุดประจุ +5 ไมโครคูลอมบ์ มีค่ากี่นิวตัน (กำหนด $\cos 120 = -\frac{1}{2}$)



วิธีทำ

วิเคราะห์โจทย์

โจทย์กำหนด .....

โจทย์ต้องการทราบ .....

จากสูตร $F = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$

แทนค่าในสูตร $F_1 = \frac{(9.0\times10^9)\times(\ldots\ldots)\times(\ldots\ldots)}{(\ldots\ldots)^2}$

(ให้ F_1 แทนแรงของประจุที่จุด A กระทำต่อประจุที่จุด B)

$F_1 =$ ..... นิวตัน

ทิศของแรง F_1 กระทำต่อ B มีทิศ .....

(ให้ F_2 แทนแรงของประจุที่จุด C กระทำต่อประจุที่จุด B)

จากสูตร $F = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$

แทนค่าในสูตร $F_2 = \frac{(9.0\times10^9)\times(\ldots\ldots)\times(\ldots\ldots)}{(\ldots\ldots)^2}$

F_2 = ... นิวตัน

ทิศของแรง F_2 กระทำต่อ B มีทิศ .....

ในกรณีที่แรง F_1 , F_2 กระทำต่อกันไม่เป็นมุมฉาก ขนาดของแรงลัพธ์ที่จุด B หาได้จากทิศของแรง F_2 กระทำต่อกระทำต่อกันไม่เป็นมุมฉาก ขนาดของแรงลัพธ์ที่จุด B หาได้จาก

$$\sum F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\theta}$$

แทนค่าในสูตร $F = \sqrt{.....}$

F = ...

F = ... นิวตัน

ตอบ ขนาดของแรงไฟฟ้าบนประจุจุด +5 ไมโครคูลอมบ์
มีค่าเท่ากับ ..... นิวตัน

บัตรเฉลยบัตรฝึกทักษะ

คำชี้แจง ให้นักเรียนทำแบบฝึกทักษะ และตรวจความถูกต้องจากเฉลยบัตรฝึกทักษะ แล้วนำคะแนนส่งครูผู้สอนเพื่อบันทึกคะแนน *(ข้อละ 2.5 คะแนน)*

1. ประจุ $Q_1 = +4\times10^{-6}$ คูลอมบ์, $Q_2 = -5\times10^{-6}$ คูลอมบ์และ $Q_3 = +6\times10^{-6}$ วาดดังรูป จงคำนวณหา

ก. ขนาดของแรงที่ประจุ Q_1 กระทำต่อ Q_2 และทิศของแรงที่กระทำ

วิเคราะห์โจทย์

โจทย์กำหนด *$Q_1 = +4\times10^{-6}$ C, $Q_2 = -5\times10^{-6}$ C, $Q_3 = +6\times10^{-6}$ C, $r_1 = 2$ m, $r_2 = 3$ m*

โจทย์ต้องการทราบ *ข้อ ก, ข, และ ค*

วิธีทำ **จากสูตร** $F = \dfrac{kQ_1Q_2}{r^2}$

แทนค่าในสูตร $F = \dfrac{(9.0\times10^{9})\times(4\times10^{6})\times(5\times10^{-6})}{(2)^2}$

(ให้ F_1 แทนแรงประจุ Q_1 กระทำต่อ Q_2)

$F =$ *45×10^{-3}* นิวตัน

ทิศของแรง F_1 กระทำต่อ Q_2 มีทิศ*ไปทางประจุ Q_1*

ตอบ ขนาดของแรงที่ประจุ Q_1 กระทำต่อ Q_2 = *45×10^{-3}* นิวตัน และมีทิศ*ไปทางประจุ Q_1*

ง. *ขนาดของแรงที่ประจุ Q_3 กระทำต่อ Q_2 และทิศของแรงที่กระทำ*

วิธีทำ **จากสูตร** $F = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$

แทนค่าในสูตร $F = \frac{(9.0\times10^{9})\times(4\times10^{-6})\times(5\times10^{-6})}{(3)^2}$

(ให้ F_2 แทนแรงประจุ Q_1 กระทำต่อ Q_2)

$F =$ *30×10^{-3}* นิวตัน

ทิศของแรง F_2 กระทำต่อ Q_2 มีทิศ*ไปทางประจุ Q_2*

ตอบ ขนาดของแรงที่ประจุ Q_3 กระทำต่อ $Q_2 =$ *30×10^{-3}* นิวตัน
และมีทิศ*ไปทางประจุ Q_2*

จ. *แรงลัพธ์ที่กระทำต่อประจุที่จุด Q_2*

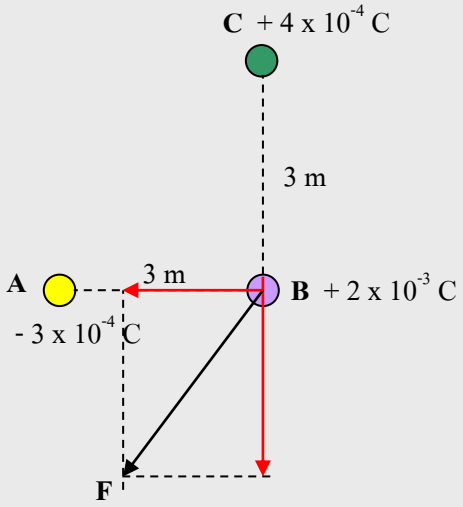
วิธีทำ **จากสูตร** $\sum F = F_1 + F_2$

เมื่อแทนค่าในสูตร $F =$ *$45\times10^{-3} + 30\times10^{-3}$ (แรงมีทิศตรงกันข้าม)*

$F =$ *15×10^{-3}* นิวตัน

ตอบ แรงลัพธ์ที่กระทำต่อประจุที่จุด Q_2 = *15×10^{-3}* นิวตัน

2. จากรูปจงหา



ก. แรงของประจุที่จุด A กระทำต่อประจุที่จุด B

วิเคราะห์โจทย์

โจทย์กำหนด $Q_1 = -3 \times 10^{-4}\ C, Q_2 = +2 \times 10^{-4}\ C,\ Q_3 = +4 \times 10^{-4}\ C, r_1 = 3\ m,\ r_2 = 3\ m$

โจทย์ต้องการทราบ *ข้อ ก, ข, และ ค*

วิธีทำ **จากสูตร** $F = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$

แทนค่าในสูตร $F_1 = \frac{(9.0 \times 10^9) \times (3 \times 10^{-4}) \times (2 \times 10^{-3})}{(3)^2}$

(ให้ F_1 แทนแรงของประจุที่จุด A กระทำต่อประจุที่จุด B)

$F_1 =$ *600* นิวตัน

ทิศของแรง F_1 กระทำต่อ B มีทิศ*ไปทางประจุ A*

ตอบ ขนาดของแรงที่ประจุที่จุด A กระทำต่อประจุที่จุด B = *600* นิวตัน

ข. แรงของประจุที่จุด C กระทำต่อประจุที่จุด B

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

แทนค่าในสูตร $F_2 = \frac{(9.0\times10^{9})\times(4\times10^{-4})\times(2\times10^{-3})}{(3)^2}$

(ให้ F_2 แทนแรงของประจุที่จุด C กระทำต่อประจุที่จุด B)

$F_2 =$ *800* นิวตัน

ทิศของแรง F_2 กระทำต่อ B มีทิศ*ไปทางประจุ B*

ตอบ ขนาดของแรงที่ประจุที่จุด C กระทำต่อประจุที่จุด B = *800* นิวตัน

ค. แรงลัพธ์ที่กระทำต่อประจุที่จุด B

วิธีทำ **จากสูตร** $\sum F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$

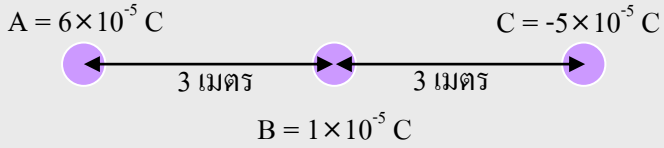
เมื่อแทนค่าในสูตร $F = \sqrt{(600)^2 + (800)^2}$

คิดเป็นแรงเท่ากับ $F = \sqrt{100000}$

$=$ *1,000* นิวตัน

ตอบ แรงลัพธ์ที่กระทำต่อประจุที่จุด B = *1,000* นิวตัน

3. จากรูปจงหา



ก. แรงที่ประจุที่จุด A กระทำต่อประจุที่จุด B

วิเคราะห์โจทย์

โจทย์กำหนด $Q_1 = 6\times10^{-5}\ C,\ Q_2 = 1\times10^{-5}\ C,\ Q_3 = -5\times10^{-5}\ C,\ r_1 = 3\ m,\ r_2 = 3\ m$

โจทย์ต้องการทราบ *ข้อ ก, ข, และ ค*

จากสูตร $F = \dfrac{kQ_1Q_2}{r^2}$

แทนค่าในสูตร $F_1 = \dfrac{(9.0\times10^{9})\times(6\times10^{-5})\times(1\times10^{-5})}{(3)^2}$

(ให้ F_1 แทนแรงของประจุที่จุด A กระทำต่อประจุที่จุด B)

$F_1 =$ *0.6* นิวตัน

ทิศของแรง F_1 กระทำต่อ B มีทิศ*ไปทางประจุ B*

ตอบ ขนาดของแรงที่ประจุที่จุด A กระทำต่อประจุที่จุด B = *0.6* นิวตัน และมีทิศ*ไปทางประจุ B*

ข. แรงที่ประจุที่จุด C กระทำต่อประจุที่จุด B และทิศทางที่แรงกระทำ

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

แทนค่าในสูตร $F_2 = \frac{(9.0\times10^{9})\times(5\times10^{-5})\times(1\times10^{-5})}{(3)^2}$

(ให้ F_2 แทนแรงของประจุที่จุด C กระทำต่อประจุที่จุด B)

$F_2 =$ *0.5* นิวตัน

ทิศของแรง F_2 กระทำต่อ B มีทิศ*ไปทางประจุ C*

ตอบ ขนาดของแรงที่ประจุที่จุด C กระทำต่อประจุที่จุด B = *0.5* นิวตัน และมีทิศ*ไปทางประจุ C*

ค. แรงลัพธ์ที่กระทำต่อประจุที่จุด B

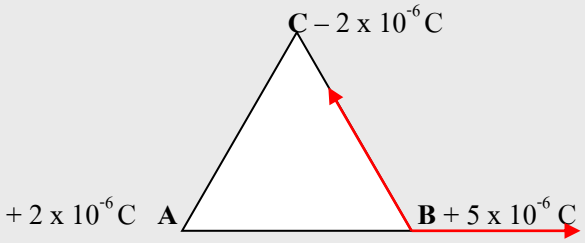
วิธีทำ **จากสูตร** $\sum F = F_1 + F_2$

เมื่อแทนค่าในสูตร F = *0.6* + *0.5*

F = *1.1* นิวตัน

ตอบ แรงลัพธ์ที่กระทำต่อประจุที่จุด B = *1.1* นิวตัน

4. สามเหลี่ยมด้านเท่ารูปหนึ่ง มีความยาวด้านละ 30 เซนนติเมตร และที่แต่ละมุมของสามเหลี่ยมนี้มีจุดประจุ +2, -2 และ +5 ไมโครคูลอมบ์ วางอยู่ อยากทราบว่าขนาดของแรงไฟฟ้าบนจุดประจุ +5 ไมโครคูลอมบ์ มีค่ากี่นิวตัน (กำหนด $\cos 120 = -\frac{1}{2}$)



วิธีทำ

วิเคราะห์โจทย์

โจทย์กำหนด $Q_1 = +2 \times 10^{-6}\ C,\ Q_2 = +5 \times 10^{-6}\ C,\ Q_3 = -2 \times 10^{-6}\ C,\ r_1 = 0.3\ m,\ r_2 = 0.3\ m$

โจทย์ต้องการทราบ *ขนาดของแรงไฟฟ้าบนจุดประจุ* Q_2

จากสูตร $F = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$

แทนค่าในสูตร $F_1 = \frac{(9.0\times10^{9})\times(2\times10^{-6})\times(5\times10^{-6})}{(0.3)^2}$

(ให้ F_1 แทนแรงของประจุที่จุด A กระทำต่อประจุที่จุด B)

$F_1 =$ *1* นิวตัน

ทิศของแรง F_1 กระทำต่อ B มีทิศ*ไปทางประจุ B*

(ให้ F_2 แทนแรงของประจุที่จุด C กระทำต่อประจุที่จุด B)

จากสูตร $F = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$

แทนค่าในสูตร $F_2 = \frac{(9.0\times10^{9})\times(2\times10^{-6})\times(5\times10^{-6})}{(0.3)^2}$

$F_2 =$ *1* นิวตัน

ทิศของแรง F_2 กระทำต่อ B มีทิศ*ไปทางประจุ C*

ในกรณีที่แรง F_1, F_2 กระทำต่อกันไม่เป็นมุมฉาก ขนาดของแรงลัพธ์ที่จุด B หาได้จากทิศของแรง F_2 กระทำต่อกระทำต่อกันไม่เป็นมุมฉาก ขนาดของแรงลัพธ์ที่จุด B หาได้จาก

$$\sum F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\theta}$$

แทนค่าในสูตร

$$F = \sqrt{1^2 + 1^2 + (2\times1\times1)(-\frac{1}{2})}$$

$$F = \sqrt{2-1}$$

$F =$ *1* นิวตัน

ตอบ ขนาดของแรงไฟฟ้าบนประจุจุด +5 ไมโครคูลอมบ์ มีค่าเท่ากับ *1* นิวตัน

บัตรสรุปความรู้

คำชี้แจง นักเรียนเขียนแผนผังมโนทัศน์ (Mind Mapping) สรุปความรู้ เรื่อง แรงระหว่างประจุและกฎของคูลอมบ์

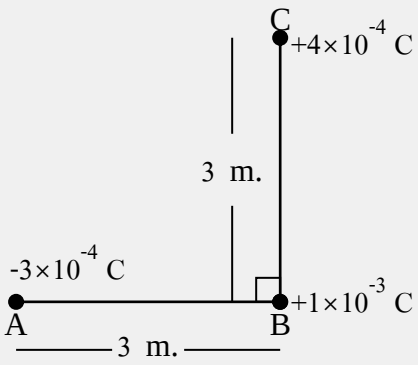
รายวิชา ฟิสิกส์เพิ่มเติม	**แบบทดสอบหลังเรียน**	ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6
รหัสวิชา ว 33204		เวลา 20 นาที
ชื่อหน่วยการเรียนรู้ : ไฟฟ้าสถิต		
เรื่อง แรงระหว่างประจุและกฎของคูลอมบ์		

<u>คำชี้แจง</u> ให้นักเรียนพิจารณาว่าคำตอบข้อใดถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว แล้วกากบาท (✕) ลงในกระดาษคำตอบที่แจกให้

1. อนุภาค A มีประจุเป็น 2 เท่าของประจุบนอนุภาค B อยู่ห่างกัน $\sqrt{1.8}$ เซนติเมตร เกิดแรงกระทำ 1 นิวตัน ประจุบนอนุภาค B มีค่าเท่าไร
   ก. 1.0×10^{-7} คูลอมบ์
   ข. 2.0×10^{-7} คูลอมบ์
   ค. 1.0×10^{-6} คูลอมบ์
   ง. 2.0×10^{-6} คูลอมบ์

2. จุดประจุขนาด 6 μC 3 จุดประจุ วางห่างกันเป็นแนวเส้นตรงห่างกันช่วงละ 30 เซนติเมตร จงหาขนาดของแรงที่กระทำต่อจุดประจุตรงจุดกึ่งกลาง เมื่อจุดประจุที่ปลายข้างหนึ่งเป็นชนิดลบ และตรงจุดกึ่งกลางกับปลายอีกข้างหนึ่งเป็นชนิดบวก
   ก. 3.6 นิวตัน
   ข. 4.8 นิวตัน
   ค. 5.6 นิวตัน
   ง. 7.2 นิวตัน

3. เมื่อวางลูกพิทที่มีประจุห่างกัน 4 เซนติเมตร ปรากฏว่า มีแรงกระทำต่อกัน 10^{-4} N ถ้าวางลูกพิท ทั้งสองห่างกัน 8 เซนติเมตร จะมีแรงกระทำระหว่างกันเท่าใด
   ก. 1.5×10^{-5} นิวตัน
   ข. 2.5×10^{-5} นิวตัน
   ค. 1.5×10^{-5} นิวตัน
   ง. 6.5×10^{-5} นิวตัน

4. 

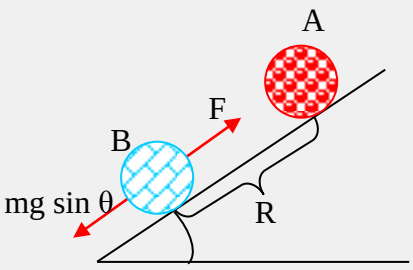
ประจุไฟฟ้า -3×10^{-4} C, $+1\times10^{-3}$ C และ $+4\times10^{-4}$ C วางอยู่ที่จุด A, B และ C ดังรูป แรงกระทำที่มีต่อประจุ $+1\times10^{-3}$ C มีขนาดเท่าใด

ก. 3×10^{2} N

ข. 5×10^{2} N

ค. 7×10^{3} N

ง. 9×10^{5} N

5. 

A มีประจุ -1.0×10^{-6} คูลอมบ์ ตรึงอยู่กับพื้นเอียงลื่น และเป็นฉนวน B มีประจุ $+1.0\times10^{-5}$ คูลอมบ์ มีมวล 2 กรัม อยู่บนพื้นเอียงนิ่ง ๆ อยากทราบว่า B อยู่ห่าง A เท่าไร

ก. 2.4 เมตร

ข. 3.0 เมตร

ค. 6.0 เมตร

ง. $3\sqrt{3}$ เมตร

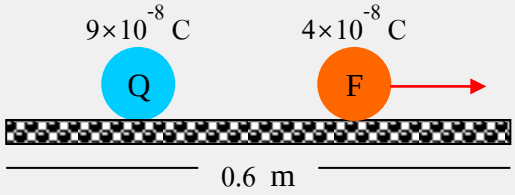
6. ทรงกลมตัวนำ F และ Q ประจุไฟฟ้า 4×10^{-8} C และ 9×10^{-8} C ตามลำดับ วางห่างกัน 0.6 เมตร บนพื้นระนาบเกลี้ยงที่เป็นฉนวน ถ้า F มีมวล 0.15 กรัม จงหาความเร่งของทรงกลม F ทันทีที่ปล่อยมีค่าเท่าไร

ก. 0.5 เมตร/วินาที^{2}

ข. 0.6 เมตร/วินาที^{2}

ค. 0.7 เมตร/วินาที^{2}

ง. 0.8 เมตร/วินาที^{2}



7. จุดประจุ 2 จุด ขนาด 4 ไมโครคูลอมบ์ และ -6 ไมโครคูลอมบ์ วางห่างกันเป็นระยะ d เซนติเมตร จะเกิดแรงกระทำระหว่างประจุ 12 นิวตัน ถ้านำไปวางห่างกัน d/2 เซนติเมตรจะเกิดแรงกระทำระหว่างประจุทั้งสองขนาดเท่าไร

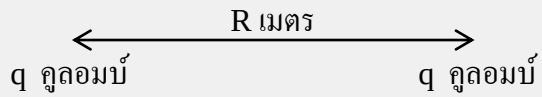
   ก. 3 นิวตัน

   ข. 6 นิวตัน

   ค. 24 นิวตัน

   ง. 48 นิวตัน

8. ประจุ q C 2 ตัว วางห่างกัน r เมตร เกิดแรงระหว่างประจุ = F นิวตัน ถ้าเอาประจุ 3q C วางห่างจาก q คูลอมบ์ เป็นระยะ r เมตร จะเกิดแรงระหว่างประจุเท่าไร



   ก. F นิวตัน

   ข. 2F นิวตัน

   ค. 3F นิวตัน

   ง. 4F นิวตัน

9. จุดประจุ $+10^{-15}$ และ -10^{-15} คูลอมบ์ ซึ่งถือว่าเป็นค่าคงที่ วางห่างกันเป็นระยะ R แรงที่เกิดขึ้น ต่อประจุทั้งสองมีค่าเท่ากันแต่มีทิศตรงข้าม แรงที่เกิดขึ้นนี้จะแปรผันตามอะไร

   ก. แปรผกผันกับระยะห่างกำลังสอง

   ข. แปรผกตรงกับระยะห่างกำลังสอง

   ค. แปรผันตามผลคูณของประจุทั้งสอง

   ง. แปรผันตรงตามผลคูณของประจุทั้งสองต่อระยะห่างกำลังสอง

10. ทรงกลมขนาดเท่ากัน 2 อัน แต่ละอันมีรัศมี 1 เซนติเมตร ทรงกลมอันแรกมีประจุ 3×10^{-5} C อันหลัง -1×10^{-5} C เมื่อให้ทรงกลมทั้งสองแตะกัน แล้วแยกนำไปวางไว้ให้ผิวทรงกลมทั้งสองห่างกัน 8 เซนติเมตร ขนาดของแรงระหว่างทรงกลมเป็นเท่าใด

   ก. 90 นิวตัน

   ข. 190 นิวตัน

   ค. 290 นิวตัน

   ง. 390 นิวตัน

รายวิชา ฟิสิกส์เพิ่มเติม	**เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียน**	ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6
รหัสวิชา ว 33204		เวลา 20 นาที
ชื่อหน่วยการเรียนรู้ : ไฟฟ้าสถิต		
เรื่อง แรงระหว่างประจุและกฎของคูลอมบ์		

เฉลย

ข้อที่	คำตอบ
1.	ก
2.	ง
3.	ข
4.	ข
5.	ข
6.	ข
7.	ง
8.	ค
9.	ก
10.	ก

กระดาษคำตอบ

แบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

ชุดการเรียนการสอนฟิสิกส์ หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 ไฟฟ้าสถิต

ชุดที่ 2 เรื่อง แรงระหว่างประจุและกฎของคูลอมบ์ รายวิชา ฟิสิกส์เพิ่มเติม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

ชื่อ.....ชั้น.....เลขที่.....

กระดาษคำตอบแบบทดสอบก่อนเรียน

ข้อ	ก	ข	ค	ง
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				
8.				
9.				
10.				

สรุปคะแนนทดสอบก่อนเรียน ____ / 10

กระดาษคำตอบแบบทดสอบหลังเรียน

ข้อ	ก	ข	ค	ง
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				
8.				
9.				
10.				

สรุปคะแนนทดสอบหลังเรียน ____ / 10

แบบประเมินผลการใช้ชุดการเรียนการสอน

ชุดที่ 2 เรื่อง แรงระหว่างประจุและกฎของคูลอมบ์

แบบทดสอบ	คะแนนเต็ม	คะแนนที่ได้	หมายเหตุ
ก่อนเรียน			
หลังเรียน			

สรุปคะแนน

	คะแนนเต็ม	คะแนนที่ได้	หมายเหตุ
บัตรกิจกรรม			
บัตรงาน			
บัตรฝึกทักษะ			

สรุปคะแนน

แบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนของนักเรียน

ชุดที่ 2 เรื่อง แรงระหว่างประจุและกฎของคูลอมบ์

คำชี้แจง : ให้สังเกตพฤติกรรมการเรียนของนักเรียนที่ปฏิบัติตามชุดการเรียนการสอนฟิสิกส์ หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 ไฟฟ้าสถิต **ชุดที่ 2 เรื่อง แรงระหว่างประจุและกฎของคูลอมบ์** ตามรายการประเมินต่อไปนี้

เลขที่	ชื่อ-สกุล	รายการสังเกตพฤติกรรม				รวม (10 คะแนน)	ระดับคุณภาพ	ผลการประเมิน	
		ตั้งใจในการเรียน (4)	สนใจในการซักถาม (2)	ตอบคำถามและมีส่วนร่วมในกิจกรรม (2)	ทำงานทันตามเวลาที่กำหนด (2)			ผ่าน	ไม่ผ่าน
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									

เลขที่	ชื่อ-สกุล	รายการสังเกตพฤติกรรม				รวม (10 คะแนน)	ระดับคุณภาพ	ผลการประเมิน	
		ตั้งใจในการเรียน (4)	สนใจในการซักถาม (2)	ตอบคำถามและมีส่วนร่วมในกิจกรรม (2)	ทำงานทันตามเวลาที่กำหนด (2)			ผ่าน	ไม่ผ่าน
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
	รวม								
	เฉลี่ย								
	SD								
	ร้อยละ								

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

(.....)

เกณฑ์การสังเกตพฤติกรรมการเรียนของนักเรียน

รายการพฤติกรรมที่ต้องการวัด	พฤติกรรมนักเรียน
1. ตั้งใจเรียน (1 คะแนน)	1. นักเรียนปฏิบัติตามกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยความตั้งใจและกระตือรือร้น 2. นักเรียนมีระเบียบวินัยในการเรียน
2. สนใจในการซักถาม (1 คะแนน)	1. นักเรียนมีความอยากรู้อยากเห็น 2. นักเรียนให้ความสนใจในกิจกรรมที่กำลังปฏิบัติ 3. สงสัยและมีข้อซักถามในสาระการเรียนรู้ที่เรียน
3. การตอบคำถามและมีส่วนร่วม (1 คะแนน)	1. เมื่อมีข้อซักถามจากครูผู้สอน นักเรียนสามารถตอบคำถามได้อย่างถูกต้องและชัดเจน 2. นักเรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ หรือมีส่วนร่วมในการปฏิบัติกิจกรรมกลุ่ม
4. ทำงานทันตามเวลาที่กำหนด (1 คะแนน)	1. นักเรียนปฏิบัติตามกิจกรรมการเรียนรู้ที่จัดให้ หรือใบงานเสร็จทันตามเวลาที่กำหนด

หมายเหตุ

นักเรียนมีพฤติกรรมที่สังเกตเห็นหรือได้ปฏิบัติอย่างน้อย 1 รายการ ให้ถือว่ามีการปฏิบัติตามรายการพฤติกรรมที่ต้องการวัด

แบบสังเกตพฤติกรรมการทำงานกลุ่ม

ชุดที่ 2 เรื่อง แรงระหว่างประจุและกฎของคูลอมบ์

กลุ่มที่ .....

สมาชิกภายในกลุ่ม 1 ……...……...…… 2 ……...……...……

3 ……...…… 4 ……...……...……

5 ……...…… 6 ……...……...……

คำชี้แจง : ให้คำเครื่องหมาย ✓ ในช่องที่ตรงกับความเป็นจริง

ที่	รายการพฤติกรรม	คุณภาพการปฏิบัติ			
		ดี (3)	ปานกลาง (2)	พอใช้ (1)	ปรับปรุง (0)
1	มีการปรึกษาและวางแผนร่วมกันก่อนทำงาน	.....	.....	.....	.....
2	มีการแบ่งหน้าที่และสมาชิกทำตามหน้าที่ทุกคน	.....	.....	.....	.....
3	มีการปฏิบัติตามขั้นตอน	.....	.....	.....	.....
4	มีการให้ความช่วยเหลือกัน	.....	.....	.....	.....
5	ผลงานเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด	.....	.....	.....	.....
6	ผลงานเสร็จทันตามกำหนดเวลา	.....	.....	.....	.....
7	ผลงานมีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์	.....	.....	.....	.....
8	ผลงานแสดงถึงการนำความรู้ที่ได้มาประยุกต์ใช้	.....	.....	.....	.....
9	ทำงานที่ได้รับมอบหมายอย่างเต็มความสามารถ	.....	.....	.....	.....
10	การจัดวัสดุอุปกรณ์เรียบร้อยหลังเลิกปฏิบัติ	.....	.....	.....	.....

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

(.....)

เกณฑ์การให้คะแนน

รายการพฤติกรรมการทำงานกลุ่มที่ต้องการวัด	เกณฑ์การให้คะแนน
1. พฤติกรรมหรือผลงานที่ชัดเจน	คุณภาพดี ได้ 3 คะแนน
2. พฤติกรรมหรือผลงานที่ชัดเจน	คุณภาพปานกลาง ได้ 2 คะแนน
3. พฤติกรรมหรือผลงานต่ำกว่าคนทั่วไป	คุณภาพพอใช้ ได้ 1 คะแนน
4. ไม่ปฏิบัติ	ต้องปรับปรุง

เกณฑ์การตัดสินคุณภาพ

ช่วงคะแนน	ระดับคุณภาพ
20 – 30	คุณภาพดี ได้ 3 คะแนน
11 – 20	คุณภาพปานกลาง ได้ 2 คะแนน
0 – 10	คุณภาพพอใช้ ได้ 1 คะแนน

แบบประเมินความพึงพอใจ

แบบประเมินผลความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการเรียนด้วยชุดการเรียนการสอนฟิสิกส์ หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 ไฟฟ้าสถิต ชุดที่ 2 เรื่อง แรงระหว่างประจุและกฎของคูลอมบ์ รายวิชา ฟิสิกส์เพิ่มเติม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

รายการ	ดีเยี่ยม	ดีมาก	ดี	พอใช้	ปรับปรุง
ด้านบรรยากาศการเรียน					
1. นักเรียนมีความสุข สนุกกับการเรียน					
2. กิจกรรมการเรียนเข้าใจง่ายท้าทายให้คิดและไม่น่าเบื่อ					
3. เวลาจัดกิจกรรมเหมาะสม					
4. เนื้อหาที่เรียนเป็นเรื่องใกล้ตัว เข้าใจง่าย					
5. มีสื่อประกอบการเรียนการสอนอย่างหลากหลายน่าสนใจ					
ด้านการทำงานร่วมกัน					
6. นักเรียนทำงานร่วมกันกับเพื่อน ๆ อย่างมีความสุข					
7. การทำกิจกรรมกลุ่มช่วยให้เข้าใจง่าย งานเสร็จเร็วขึ้นและมีคุณภาพ					
8. นักเรียนมีการวางแผนปฏิบัติกิจกรรมกลุ่มร่วมกัน					
9. การทำงานกลุ่มในกิจกรรมการเรียนที่คละความสามารถของนักเรียนช่วยให้มีกำลังใจในการทำกิจกรรมมากขึ้น					
10. กิจกรรมการเรียนนี้ส่งเสริมให้นักเรียนมีความคิดสร้างสรรค์					

รายการ	ดีเยี่ยม	ดีมาก	ดี	พอใช้	ปรับปรุง
ด้านความรู้ความสามารถ 11. นักเรียนได้ปฏิบัติจริงในกิจกรรมการเรียนการสอนนี้					
12. มีการส่งเสริมให้นักเรียนเรียนรู้ เรื่อง ไฟฟ้าสถิต ได้ดีขึ้น					
13. นักเรียนมีโอกาสได้ตรวจสอบผลงานของตนเองและเพื่อน					
14. นักเรียนรับทราบผลคะแนนจากการทำกิจกรรมและสอบท้ายชุดการเรียนการสอนทุกครั้ง					
15. นักเรียนสามารถนำความรู้ที่ได้จากการเรียนไปใช้ในชีวิตประจำวัน					
ด้านการเห็นคุณค่าและความเชื่อมั่นในตนเอง 16. นักเรียนได้นำความรู้และทักษะจากการเรียนรู้กลุ่มสาระอื่นๆ มาบูรณาการจัดทำกิจกรรมได้อย่างเหมาะสม					
17. การเรียนรู้แบบร่วมมือส่งเสริมให้นักเรียนเกิดความมั่นใจในการแสดงออกในการปฏิบัติกิจกรรม					
18. การเรียนรู้แบบร่วมมือส่งเสริมให้นักเรียนเกิดความภูมิใจและยอมรับในความสามารถของตนเอง					
19. กิจกรรมที่เรียนส่งเสริมความรับผิดชอบของนักเรียน					
20. วิชาฟิสิกส์มีความสำคัญ จำเป็นและมีประโยชน์ในการศึกษาต่อในอนาคต					

บรรณานุกรม แหล่งสารสนเทศและเว็บไซต์

กีรติ ลีวัจนกุล และคณะ. **ตลุยโจทย์ใหม่ฟิสิกส์ ม.6.** กรุงเทพฯ : เอ.พี. กราฟิก ดีไซน์และการพิมพ์, 2552.

คณาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. **ฟิสิกส์ 2.** พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538

จักรินทร์ วรรณโพธิ์กลาง. **คู่มือสาระการเรียนรู้พื้นฐานและเพิ่มเติมกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ม. 6 เล่ม 1.** กรุงเทพ : พ.ศ.พัฒนา จำกัด, 2549.

นิรันดร์ สุวรัตน์. **คู่มือสาระการเรียนรู้พื้นฐานและเพิ่มเติมกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ม. 6 เทอม 1.** กรุงเทพ : พ.ศ.พัฒนา จำกัด, 2549.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. **หนังสือเรียนสาระการเรียนรู้พื้นฐานและเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 3.** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, 2549.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. **คู่มือครูสาระการเรียนรู้พื้นฐานและเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 3 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, 2549.

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล. **ไฟฟ้าสถิต.** (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก : http://www. rmutphysics.com/charud/scibook/static%20electric1/choice/static1-10.htm สืบค้นวันที่ 10 ธันวาคม 2554

เฉลิมชัย มอญสุขำ. **สรุปสูตรฟิสิกส์ ม.6.** (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก : http:// www.rmutphysics.com. สืบค้นวันที่ 10 ธันวาคม 2559

ไฟฟ้าสถิต (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก :

http://www.pec9.com

http://media-2.web.britannica.com/eb-media/22/222-004-24B4E774.gif

http://weerajit14.blogspot.com/p/blog-page.html

http://electricity-basic.blogspot.com/2012/10/blog-post_31.html

http://www.rmutphysics.com/physics/oldfront/51/index51%20static%20electric.htm

http://trade.indiamart.com/

http://www.myfirstbrain.com/student_view.aspx?ID=32572

สืบค้นวันที่ 10 ธันวาคม 2559