

บทที่ 1

ประจุไฟฟ้าและแรงคูลอมบ์

เมื่อคุณปรับสายตาในที่มีตสนิทประมาณ 15 นาทีและให้เพื่อนของคุณเคี้ยวลูกกวาดที่ทำจากน้ำตาล ลักษณะเป็นเม็ดกลม มีรูตรงกลางตั้งรูป คุณจะเห็นแสงสีน้ำเงินในปากของเพื่อนคุณขณะที่เคี้ยว หรือคุณจะใช้คีมหนีบให้แตก ก็สามารถเห็นแสงได้เช่นเดียวกัน แสงนี้มาจากไหน เกิดขึ้นได้อย่างไร !

[คลิกอ่านต่อครับ](#) 



1-1 ประวัติของแม่เหล็กไฟฟ้า

มนุษย์รู้จักไฟฟ้ามาตั้งแต่ 600 ปีก่อนคริสตกาล ธาลีส (Thales) นักดาราศาสตร์และนักปราชญ์ชาวกรีก ได้ค้นพบไฟฟ้าโดยบังเอิญ กล่าวคือขณะที่เขานั่งทำงานอยู่ที่โต๊ะ เขาเห็นแท่งอำพัน (amber) ที่วางอยู่บนโต๊ะจึงหยิบขึ้นมาดู เห็นมันมีว้าวๆ จึงถูกับเสื้อขนสัตว์ที่เขาสวมอยู่ พอเห็นมันไสแวววาวดีแล้วจึงวางคืนที่โต๊ะตามเดิม เขาพบว่ามันมีเศษไม้เล็กๆที่อยู่ใกล้ๆกับแท่งอำพันนั้นวิ่งเข้ามาหาและติดแน่นกับแท่งอำพันนั้น แท่งอำพันในภาษากรีกคือ elektron จึงนับว่าเป็นการค้นพบไฟฟ้าครั้งแรกที่ถูกบันทึกไว้ และต่อมามนุษย์ก็ได้พบว่าหินธรรมชาติชนิดหนึ่งเรียกว่า magnetite มีอำนาจดูดเหล็กธรรมดาได้ จึงเรียกวัตถุที่มีอำนาจดูดเหล็กว่า แม่เหล็ก (magnet) ในตอนเริ่มต้น วิชาไฟฟ้าและวิชาแม่เหล็ก ไม่ได้เกี่ยวข้องกันต่างก็ศึกษาค้นคว้าแยกเป็นเอกเทศต่อกัน ดังนี้

ประมาณปี ค.ศ. 1600 วิลเลียม กิลเบิร์ต (William Gilbert) ชาวอังกฤษ ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าและแม่เหล็กอย่างมีระบบเป็นครั้งแรก และได้สร้างอิเล็กโทรสโคป (electroscope) สำหรับการวัดผลทดลองจากปรากฏการณ์ไฟฟ้าสถิตนอกจากนี้เขายังเป็นคนแรกที่ตระหนักว่าโลกก็เป็นแม่เหล็กอันใหญ่อันหนึ่ง จึงทำให้เกิดหลักการของเข็มทิศตามมา

ประมาณปี ค.ศ. 1750 เบนจามิน แฟรงกลิน (Benjamin Franklin) นักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกัน ได้ทดลองเกี่ยวกับไฟฟ้าโดยผลิตสายล่อฟ้าขึ้น เขาเป็นผู้เสนอทฤษฎีการอนุรักษ์ของประจุและแบ่งประจุเป็นสองชนิดคือบวกและลบ ภายหลังจากนั้น ชาร์ล ออګุสแตง เดอ คูลอมบ์ (Charles Augustinde Coulomb) นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส ได้วัดแรงไฟฟ้าและแรงแม่เหล็กด้วยตาชั่งที่เขาสร้างขึ้นเอง



ปี ค.ศ. 1800 อาเลสซันโดร วอลตา (Alessandro Volta) นักฟิสิกส์ชาวอิตาลี ได้สร้างเซลล์แบบวอลตา (voltaic cell) และนำมาต่อแบบอนุกรม จนกระทั่งเป็นแบตเตอรี่ไฟฟ้าซึ่งสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ และในปี ค.ศ. 1820 ฮันส์ คริสเตียน เออร์สเตด (Hans Christian Oersted) ศาสตราจารย์ฟิสิกส์ชาวเดนมาร์ก พบว่าเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเส้นลวดจะทำให้เข็มทิศที่อยู่บริเวณใกล้เคียงเกิดเบี่ยงเบน ดังนั้นจึงเป็นการพบว่าไฟฟ้าสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กได้ เพราะก่อนสมัยของเออร์สเตดถือว่าปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าและแม่เหล็กไม่ได้เกี่ยวข้องกัน

ในปีต่อๆ มา อองเดร มารี อองแปร์ (Ander'Marie Ampe're) นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศสได้ทำการทดลองต่อจากเออร์สเตด เขาได้ผลิตขดลวดโซลินอยด์ (solenoidal coil) สำหรับผลิตสนามแม่เหล็กและได้แก้ไขทฤษฎีให้ถูกต้องว่า ถ้าผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวดโซลินอยด์ซึ่งพันอยู่รอบแท่งเหล็ก อะตอมทั้งหลายในแท่งเหล็กจะถูกเหนี่ยวนำให้มีอำนาจแม่เหล็กได้ ในช่วงเวลาเดียวกันนี้ เกออร์เก ซิโมน โอห์ม (George Simon Ohm) ชาวเยอรมัน ได้ตีพิมพ์กฎของโอห์ม นั่นคือกฎที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส แรงดัน ความต้านทาน ในช่วงแรกที่เขาพิสูจน์ได้ ไม่มีผู้สนใจเท่าใดนัก แต่ 10 ปีหลังจากนั้น นักวิทยาศาสตร์ทั้งหลายจึงเริ่มตระหนักว่ากฎนี้เป็นจริงและมีความสำคัญ

ในปี ค.ศ. 1831 ไมเคิล ฟาราเดย์ (Michael Faraday) ชาวอังกฤษ ได้แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไฟฟ้าได้ ขณะที่เออร์สเตดพบว่ากระแสไฟฟ้าสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กได้ ในช่วงเวลาเดียวกันนี้ โจเซฟ เฮอร์นีย์ (Joseph Henry) ชาวอเมริกัน ได้สังเกตปรากฏการณ์เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ นอกจากนี้เฮอร์นีย์ยังได้สร้างเครื่องโทรเลขและเครื่องรีเลย์ไฟฟ้า

จากผลการทดลองของฟาราเดย์ ทำให้ เจมส์ คลาร์ก แมกซ์เวลล์ (James Clerk Maxwell) ศาสตราจารย์แห่งมหาวิทยาลัยเคมบริดจ์ ประเทศอังกฤษ สามารถหาหลักความสัมพันธ์ระหว่างไฟฟ้าและแม่เหล็กได้ โดยในปี ค.ศ. 1873 เขาได้เสนอทฤษฎีเอกภาพอันแรกทางไฟฟ้าและแม่เหล็ก (the first unified theory of electricity and magnetism) และเป็นผู้วางรากฐานศาสตร์ทางแม่เหล็กไฟฟ้า นอกจากนี้ เขาเป็นผู้ให้สมมติฐานว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในธรรมชาติและการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความยาวคลื่นอื่นๆ ควรเป็นไปได้

ถึงแม้ว่าสมการของแมกซ์เวลล์จะมีความสำคัญมาก แต่นักวิทยาศาสตร์หลายคนในช่วงของแมกซ์เวลล์ได้ละเลยทฤษฎีของเขา จนกระทั่ง 15 ปี หลังจากนั้น คือในปี ค.ศ. 1888 ไฮน์ริช เฮอร์ตซ์ (Heinrich Hertz) ศาสตราจารย์ทางฟิสิกส์แห่งเมืองคาร์ลรูช ประเทศเยอรมัน ได้นำทฤษฎีของแมกซ์เวลล์มาศึกษาต่อและทดลองให้กระจ่าง เฮอร์ตซ์ได้สร้างเครื่องตรวจวัดความยาวคลื่นวิทยุ จากประกายไฟของเครื่องส่งและเครื่องรับวิทยุ เฮอร์ตซ์ได้สาธิตให้เห็นว่าคลื่นวิทยุมีสมบัติเหมือนแสงทุกประการ ไม่ว่าจะเป็นโพลาไรเซชัน การสะท้อน การหักเห จะแตกต่างกันก็เฉพาะความยาวคลื่นเท่านั้น

เฮอร์ตซ์เป็นบิดาแห่งวิทยุ แต่การประดิษฐ์คิดค้นของเขายังคงอยู่ในห้องปฏิบัติการเท่านั้น จนกระทั่ง กุสตีเอโล มาร์โกนี (Guglielmo Marconi) ชาวอิตาลี ได้พัฒนาระบบประกายไฟของเฮอร์ตซ์ในการส่งข้อมูลข่าวสารเป็นระยะทางไกล มาร์โกนี ได้เพิ่มระบบปรับคลื่นสายอากาศรวมทั้งแสดงให้เห็นว่าความยาวคลื่นที่ยาวกว่าสามารถส่งสัญญาณได้ไกลกว่า ในปี ค.ศ. 1901 เขาได้ส่งสัญญาณวิทยุข้ามมหาสมุทรแอตแลนติก นอกจากนี้ มาร์โกนียังเป็นผู้บุกเบิกและพัฒนาการสื่อสารวิทยุสำหรับการเดินเรือ

ทอมัส แอลวา เอดิสัน (Thomas Alva Edison) นักประดิษฐ์ชาวอเมริกันได้นำความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าและแม่เหล็กเข้าไปประยุกต์ในด้านโทรเลข โทรศัพท์ หลอดไฟ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเครื่องส่งกำลังไฟฟ้า เป็นต้น



ในขณะที่เอ็ดิสันมีส่วนร่วมในการพัฒนาทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง นิโคลาส เทสลา (Nicola Tesla) ก็ได้พัฒนาเครื่องส่งกำลังกระแสสลับและประดิษฐ์มอเตอร์เหนี่ยวนำขึ้น ออกแบบระบบผลิตกำลังไฟฟ้าที่น้ำตกไนแอการา ซึ่งเริ่มเปิดใช้เครื่องเมื่อในปี ค.ศ. 1895 เครื่องนี้สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากเท่ากับสถานีผลิตไฟฟ้าอื่นๆ หลายแห่งรวมกันในสหรัฐอเมริกา

รายนามของผู้บุกเบิกทางด้านแม่เหล็กไฟฟ้าพร้อมกับผลงานได้ถูกเรียบเรียงตามลำดับยุคสมัยไว้ในตาราง 1-1 ดังนี้


ตาราง 1-1 ผู้บุกเบิกทางด้านแม่เหล็กไฟฟ้า

ชื่อ	ช่วงเวลา	ผลงาน	หน่วย(ถ้ามี)
ธาลเลส	636-546 ก่อน ค.ศ.	บุกเบิกด้านวิชาไฟฟ้าและวิชาแม่เหล็ก	
วิลเลียม กิลเบิร์ต	ค.ศ. 1540-1603	ตระหนักว่าโลกเป็นแม่เหล็กขนาดใหญ่	Gilbert(gb)
เบนจามิน แฟรงกลิน	ค.ศ. 1706-1790	สร้างกฎการอนุรักษ์ของประจุ	
ชาร์ล โอเกุสแตง เดอคูลอมบ์	ค.ศ. 1736-1806	วัดแรงไฟฟ้าและแรงแม่เหล็ก	Coulomb(c)
คาร์ล ฟรีดริช เกาส์	ค.ศ. 1777-1855	เสนอสูตรทฤษฎีบทการลู่ออก	Gauss (g)
อาเลสซันโดร วอลตา	ค.ศ. 1745-1827	ประดิษฐ์เซลล์แบบวอลเทอิก	Volt
ฮันส์ คริสเตียน เออร์สเตด	ค.ศ. 1777-1851	ค้นพบว่าไฟฟ้าสามารถผลิตแม่เหล็ก	Oersted (Oe)
อองเดร มารี อองแปร์	ค.ศ. 1775-1836	ประดิษฐ์ขดลวดโซลินอยด์	Ampere (a)
โจเซฟ เฮอร์	ค.ศ. 1797-1878	ทำการทดลองหลายอย่างจนกระทั่งนำไปสู่เครื่องโทรเลขไฟฟ้า	Henry (H)
เกออร์เก ซิโมน โอห์ม	ค.ศ. 1787-1854	สร้างสูตรกฎของโอห์ม	Ohm (Ω)
ไมเคิล ฟาราเดย์	ค.ศ. 1791-1867	แสดงให้เห็นว่าแม่เหล็กสามารถผลิตไฟฟ้าได้	Farad (F)
เจมส์ เพรสคอตต์ จูล	ค.ศ. 1818-1889	เสนอความร้อนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังสองของกระแส	Joule (J)
เจมส์ คลาร์ก แมกซ์เวลล์	ค.ศ. 1813-1879	ค้นพบทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า	Maxwell (MX)
ไฮน์ริช เฮิร์ตซ์	ค.ศ. 1857-1894	บิดาแห่งวิทยุ	Hertz (Hz)
กุลิเอลโม มาร์โกนี	ค.ศ. 1874-1937	ประดิษฐ์เครื่องรับส่งวิทยุโทรเลข	
ทอมัส แอลวา เอดิสัน	ค.ศ. 1847-1931	ประดิษฐ์หลอดไฟและสร้างระบบส่งกำลังไฟฟ้าเครื่องแรก	
นิโคลาส เทสลา	ค.ศ. 1856-1943	แสดงให้เห็นค่าของกระแสสลับ	Tesla (T)
แอลเบิร์ต ไอน์สไตน์	ค.ศ. 1879-1955	ทำสมการแมกซ์เวลล์ให้เป็นสากลโดยผ่านทฤษฎีสัมพัทธภาพของไอน์สไตน์	



หนังสืออิเล็กทรอนิกส์



พบกับประวัติการค้นพบทาง
แม่เหล็กไฟฟ้าอย่างละเอียดได้ที่ [หนังสือ
ประวัติการค้นพบทางไฟฟ้า](#) 

1-2 ประจุไฟฟ้า

1-2-1 สมบัติของประจุไฟฟ้า

ประจุไฟฟ้า เป็นสมบัติที่แน่นอนของอนุภาคมูลฐาน มีปริมาณไม่ต่อเนื่องแต่มีค่าเป็นจำนวนเท่าของประจุพื้นฐานที่เล็กที่สุดอันหนึ่งคือ อิเล็กตรอน (electron) ใช้สัญลักษณ์ e ประจุของอิเล็กตรอนมีค่า

$$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ คูลอมบ์}$$

อนุภาคใดๆ ที่มีประจุ ก็จะมีปริมาณประจุเป็นจำนวน $q = ne$ คูลอมบ์ เมื่อ n คือจำนวนเต็มใดๆ เนื่องจากประจุเป็นจำนวนที่ไม่ต่อเนื่องจึงเรียกประจุว่าเป็นปริมาณ **ควอนไทซ์ (quantized)**

1-2-2 ชนิดของประจุ

เบนจามิน แฟรงคลิน ได้แบ่งประจุออกเป็นสองชนิด คือ ประจุบวกและประจุลบ

ประจุที่เหมือนกับประจุของโปรตอน เรียกว่า ประจุบวก

ประจุที่เหมือนกับประจุของอิเล็กตรอน เรียกว่า ประจุลบ

วัตถุใดที่มีประจุบวกมากกว่าประจุลบจะแสดงอำนาจทางไฟฟ้าบวก วัตถุใดมีประจุบวกน้อยกว่าประจุลบจะแสดงอำนาจทางไฟฟ้านลบ และถ้าวัตถุใดมีประจุบวกกับประจุลบเท่ากันจะเป็นกลางทางไฟฟ้า นิวตรอนเป็นอนุภาคที่ไม่มีประจุ ตารางที่ 1 แสดงสมบัติทางไฟฟ้าของอิเล็กตรอน โปรตอน และนิวตรอน



ตาราง 1-2 แสดงสมบัติทางไฟฟ้าของอิเล็กตรอน โปรตอน และนิวตรอน

อนุภาค	สัญลักษณ์	ประจุ	มวล
โปรตอน	p	$+e$	1.67262×10^{-27} kg
นิวตรอน	n	0	1.67492×10^{-27} kg
อิเล็กตรอน	e^-	$-e$	9.1095×10^{-31} kg

ประจุไฟฟ้าชนิดเดียวกันจะออกแรงผลักกัน แต่ประจุไฟฟ้าต่างชนิดกันจะออกแรงดูดกัน ประจุไม่สามารถสร้างขึ้นหรือทำลายได้ ดังนั้น ประจุไฟฟ้าจึงเป็นปริมาณอนุรักษ์

1-2-3 จุดประจุ

โดยทั่วไปแล้วประจุจะกระจายอยู่ทั่วไปในวัตถุ ถ้าวัตถุอยู่ห่างกันมากๆ เมื่อเปรียบเทียบระยะห่างกับขนาดของวัตถุแล้ว ขนาดของวัตถุมีค่าน้อยมากๆ เราอาจคิดว่าวัตถุที่ประจุนั้นเป็นจุดได้ เรียกจุดประจุ(point charge)

ประจุอาจกระจายอยู่ในปริมาตร หรือพื้นผิว หรือบนเส้นก็ได้ ดังนั้นถ้าต้องการทราบขนาดของประจุ จำเป็นต้องทราบความหนาแน่นของประจุในปริมาตร พื้นผิว หรือบนเส้นนั้น เช่น

ให้ ρ เป็นความหนาแน่นของประจุต่อหน่วยปริมาตร แล้วแบ่งปริมาตรออกเป็นส่วนเล็กๆขนาด dV ให้ประจุในปริมาตร dV มีค่า dq ดังนั้น

$$dq = \rho dV \quad (1-1)$$

เช่นเดียวกัน ถ้าประจุกระจายอยู่บนพื้นผิว ให้ σ เป็นความหนาแน่นของประจุต่อหน่วยพื้นที่ แล้วแบ่งพื้นที่ออกเป็นส่วนเล็กๆ ขนาด dA ให้ประจุในพื้นที่ dA มีค่า dq จะได้

$$dq = \sigma dA \quad (1-2)$$

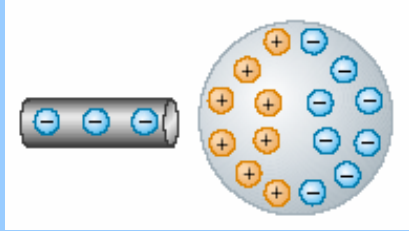
และถ้าประจุกระจายอยู่บนเส้น ให้ λ เป็นความหนาแน่นของประจุต่อหน่วยความยาว แล้วแบ่งเส้นนี้ออกเป็นส่วนเล็กๆ ขนาด dl ให้ประจุในความยาว dl มีค่า dq จะได้

$$dq = \lambda dl \quad (1-3)$$

แล้วคิดขนาดประจุ dq นี้ เป็นจุดประจุได้



การทดลองเสมือนจริง

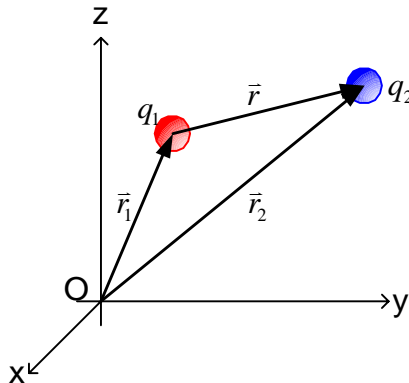


ในห้องทดลองนี้เราจะได้ศึกษาสมบัติของ
ประจุไฟฟ้า และชนิดของประจุไฟฟ้า
[คลิกที่รูปภาพหรือที่นี่เพื่อเข้าสู่การทดลอง](#)

1-3 กฎของคูลอมบ์

คูลอมบ์ วิศวกรชาวฝรั่งเศส ได้ศึกษาและทดลองหาอันตรกิริยาระหว่างประจุ 2 ประจุที่อยู่หนึ่ง พบว่า

1. ประจุชนิดเดียวกันจะผลักรัน ประจุต่างชนิดกันจะดึงดูดกัน
2. ขนาดของแรงที่เกิดขึ้นแปรผันตรงกับผลคูณของประจุทั้งสอง และแปรผกผันกับกำลังสองของระยะทางระหว่างประจุ
3. ทิศของแรงอยู่ในแนวเส้นตรงที่เชื่อมระหว่างประจุทั้งสอง



รูป 1-1 แสดงเวกเตอร์บอกตำแหน่งของ q_1 และ q_2

จากรูป ให้ q_1 และ q_2 เป็นจุดประจุวางห่างกันเป็นระยะ $|r|$ ต้องการหาแรงกระทำบน q_1 เนื่องจากจาก q_2 กระทำ จากกฎของคูลอมบ์ จะได้

$$\vec{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r} \quad (1-4)$$



เมื่อ \hat{r} คือเวกเตอร์หน่วย (unit vector) ของ \vec{r}

ในทำนองเดียวกัน แรงที่ประจุ q_1 กระทำบน q_2 จะมีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศตรงกันข้าม k เป็นค่าคงตัวขึ้นอยู่กับตัวกลางและระบบที่ใช้วัด ระบบ SI แรงที่วัดมีหน่วยเป็นนิวตัน (N) ประจุมีหน่วยเป็นคูลอมบ์ (C) ระยะระหว่างประจุมีหน่วยเป็นเมตร (m)

จากการทดลองพบว่า ค่า k ในระบบ SI มีค่าเท่ากับ $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ เมื่อ ϵ_0 เป็นสภาพยอมของสุญญากาศ (permittivity of free space) หรือค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของสุญญากาศ

$$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \quad \text{C}^2 / \text{N} \cdot \text{m}^2$$

ดังนั้น
$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8.988 \times 10^9 \quad \text{N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$$

หรือใช้ค่าประมาณในการคำนวณ
$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 9 \times 10^9 \quad \text{N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$$

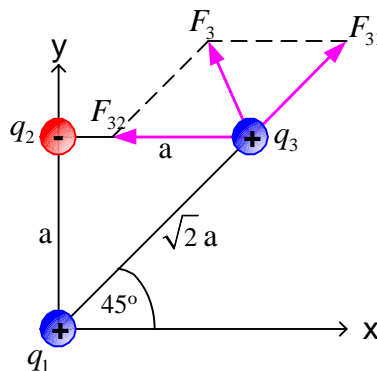
ดังนั้น กฎของคูลอมบ์ในสุญญากาศจึงเขียนได้เป็น

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r} \quad (1-5)$$

แรงในสมการ (1-5) เป็นแรงระหว่างประจุใดๆ เพียงคู่เดียว ในระบบที่มีประจุจำนวนมาก อาจใช้กฎของคูลอมบ์ หาแรงที่ประจุหนึ่งถูกประจุนั้นกระทำแต่ละคู่ แล้วใช้กฎการรวมเวกเตอร์รวมแรงที่กระทำต่อประจุนั้น

ตัวอย่างโจทย์กฎของคูลอมบ์

ตัวอย่าง 1-1 จุดประจุวางอยู่ในตำแหน่งดังรูป เมื่อ $q_1 = q_3 = 5 \mu\text{C}$, $q_2 = -2 \mu\text{C}$ และ $a = 0.1 \text{ m}$ จงหาแรงลัพธ์ที่กระทำบน q_3



รูป 1-2 แสดงประจุในตัวอย่าง 1-1



หลักการคำนวณ ต้องการหาแรงไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ q_3 ให้คิดว่า q_3 ถูกประจุ q_1 และ q_2 ส่งแรงมากระทำ
 แผนภาพของแรงแสดงไว้ในรูป 1-2

ให้ F_{31} เป็นแรงที่เกิดจากประจุ q_1 กระทำบนประจุ q_3

ดังนั้น
$$F_{31} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_3}{r_{13}^2}$$

แทนค่า q_1 , q_3 และ $r_{13} = \sqrt{2} a$ ลงไปในสมการ จะได้

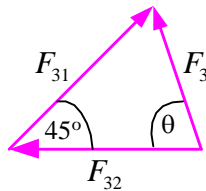
$$\begin{aligned} F_{31} &= \frac{(9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2)(5 \times 10^{-6} \text{ C})(5 \times 10^{-6} \text{ C})}{(\sqrt{2}(0.1 \text{ m}))^2} \\ &= 11.25 \text{ N} \end{aligned}$$

และให้ F_{32} เป็นแรงที่เกิดจากประจุ q_2 กระทำบนประจุ q_3

$$F_{32} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2 q_3}{r_{23}^2}$$

แทนค่า q_2 , q_3 และ $r_{23} = a$ ลงไปในสมการ จะได้

$$\begin{aligned} F_{32} &= \frac{(9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2)(-2 \times 10^{-6} \text{ C})(5 \times 10^{-6} \text{ C})}{(0.1 \text{ m})^2} \\ &= -9 \text{ N} \text{ (เครื่องหมายลบแสดงให้รู้ว่าเป็นแรงดึงดูด)} \end{aligned}$$



จากรูปแผนภาพของแรง แรงลัพธ์ $F_3 = F_{32} + F_{31}$ หาได้จากกฎของ cosine

$$\begin{aligned} F_3 &= \sqrt{F_{31}^2 + F_{32}^2 - 2F_{31}F_{32} \cos 45^\circ} \\ &= \sqrt{(11.25 \text{ N})^2 + (-9 \text{ N})^2 - 2(11.25 \text{ N})(-9 \text{ N}) \cos 45^\circ} \\ &= 8.023 \text{ N} \end{aligned}$$



ทิศของแรงลัพธ์ F_3 ทำมุมกับแนวแรง F_{32} หาได้จากกฎของ sine

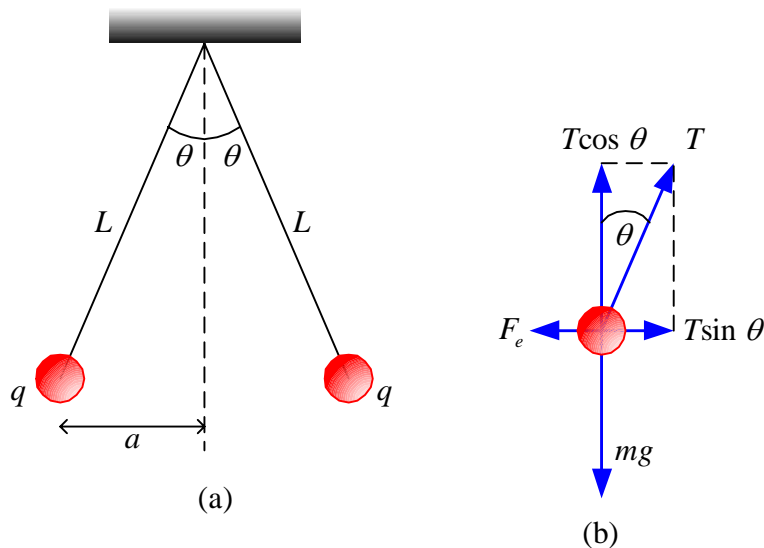
$$\frac{F_3}{\sin 45^\circ} = \frac{F_{31}}{\sin \theta}$$

ดังนั้น $\theta = \sin^{-1}\left(\frac{F_{31}}{F_3} \sin 45^\circ\right)$

แทนค่า $= \sin^{-1}\left(\frac{11.25 \text{ N}}{8.023 \text{ N}} \sin 45^\circ\right)$

$$\theta = 84.70^\circ$$

ตัวอย่าง 1-2 ทรงกลมเล็ก ๆ 2 ลูก มีประจุชนิดเดียวกันขนาดเท่ากัน แต่ละลูกมีมวล 3×10^{-2} kg แขนงตั้งรูปเชือกยาว $L = 0.15$ m และทำมุม $\theta = 5^\circ$ จงหาขนาดของประจุในแต่ละลูกทรงกลม



รูป 1-3 แสดงแผนภาพในตัวอย่าง 1-2

หลักการคำนวณ แรงผลัทางไฟฟ้า F_e ที่เกิดขึ้นที่ลูกทรงกลมแต่ละลูกมีขนาดเท่ากัน จึงคิดการสมดุลของแรงบนทรงกลมลูกใดลูกหนึ่งก็เพียงพอ แผนผังของแรงทั้งหลายที่กระทำบนลูกทรงกลมแสดงไว้ในรูป 1.3 (b) เมื่อทรงกลมอยู่นิ่ง

$$F_e = T \sin \theta \quad (1)$$

$$mg = T \cos \theta \quad (2)$$

นำสมการ (1) และ (2) หารกัน จะได้

$$F_e = mg \tan \theta \quad (3)$$

แต่ $F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{(2a)^2} \quad (4)$

แทนค่าสมการ (3) ด้วย (4) จะได้

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{(2a)^2} = mg \tan \theta$$



ดังนั้น

$$q = \sqrt{4\pi\epsilon_0(2a)^2 mg \tan \theta}$$

แทนค่า $a = L \cos \theta$, $\theta = 5^\circ$, $m = 3 \times 10^{-2}$ kg

$$q = \sqrt{(4\pi \times 8.854 \times 10^{-12} \text{ C}^2 / \text{N} \cdot \text{m}^2)(2 \times 0.15 \text{ m} \sin 5^\circ)^2 (3 \times 10^{-2} \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \tan 5^\circ)}$$
$$= 4.4 \times 10^{-8} \text{ C}$$

จากทั้งสองตัวอย่างจะเห็นว่าไม่ได้คิดถึงมวลของประจุไฟฟ้า อันที่จริงแล้วมวลย่อมทำให้เกิดแรงโน้มถ่วงด้วย เมื่อเปรียบเทียบแรงไฟฟ้า (F_e) กับแรงโน้มถ่วง (F_G) โดยพิจารณาอะตอมไฮโดรเจนซึ่งมีอิเล็กตรอนและโปรตอนอย่างละหนึ่งตัวอยู่ห่างกัน (r) 0.53×10^{-10} เมตร จะได้

$$\frac{F_E}{F_G} = \frac{ke^2 / r^2}{Gm_p m_e / r^2} = 2.27 \times 10^{39}$$

G คือ ค่าคงที่ของแรงโน้มถ่วง $6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$

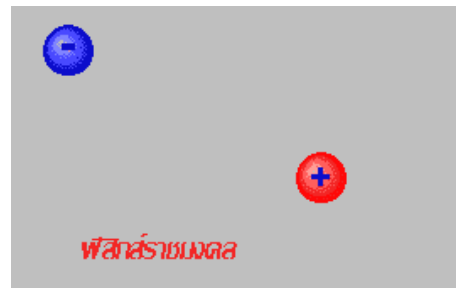
m_p, m_e คือ มวลของโปรตอนและอิเล็กตรอนตามลำดับ ดูจากตาราง 1-1

แรงโน้มถ่วงมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับแรงไฟฟ้า ในการคำนวณจึงตัดแรงโน้มถ่วงระหว่างมวลของประจุทิ้งได้

การทดลองเสมือนจริง



ในห้องทดลองนี้คุณสามารถที่จะวางดาวเทียมสปุตนิกในวงโคจรของโลก โดยการคลิกเมาส์ค้างในบริเวณสีดำที่ใดก็ได้ และลากเมาส์เพื่อเพิ่มเวกเตอร์ของความเร็ว และปล่อยลงในวงโคจรที่เหมาะสม คุณจะทำให้ดาวเทียมสปุตนิกสามารถโคจรรอบโลก หลุด หรือ หล่นเข้าสู่วงโคจรของโลกก็ได้ [คลิกที่นี่หรือที่รูปภาพเพื่อเข้าสู่การทดลอง](#)



ในห้องทดลองนี้ คุณสามารถที่จะวางอิเล็กตรอนลงในวงโคจรของนิวเคลียส (ประจุบวก) โดยการคลิกเมาส์ค้างบริเวณสีเทาที่ใดก็ได้ และลากเมาส์เพื่อเพิ่มหรือลดเวกเตอร์ของความเร็ว ปล่อยลงในวงโคจรในตำแหน่งที่เหมาะสม คุณจะทำให้อิเล็กตรอนสามารถโคจรรอบนิวเคลียส หลุด หรือ หล่นเข้าสู่วงโคจรของนิวเคลียสก็ได้ [คลิกที่นี่หรือที่รูปภาพเพื่อเข้าสู่การทดลอง](#)



วิดีโอเพื่อการศึกษา



พลาสติกดูดกระดาษได้

วิดีโอแสดงคุณสมบัติของไฟฟ้าสถิต ด้วยการถูแท่งพลาสติกกับพรม และนำมาดูดกระดาษ ลองตอบคำถามในวิดีโอ [คลิกครับ](#)
([windows media 1.58 MB](#))

บรรยายลงในกระดานฟลิคส์ราชมงคล



จอบส่งถ่ายประจุ

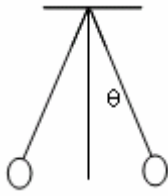
ปรากฏการส่งถ่ายประจุจากเครื่องแวนเดอร์กราฟ ผ่านทางการจอบ กตดูการบรรยายเรื่อง [เครื่องสร้างประจุไฟฟ้า](#)
[กระดานฟลิคส์ราชมงคลใหม่](#)

แบบฝึกหัดเรื่องประจุไฟฟ้า และแรงคูลอมบ์

- ถ้าต้องการทำลายแรงดึงดูดระหว่างโลกกับดวงจันทร์โดยใช้แรงผลัทางไฟฟ้า
 - ต้องใส่ประจุบวกบนโลกและดวงจันทร์จำนวนเท่ากันขนาดเท่าใด [ตอบ $5.72 \times 10^{13} \text{ C}$]
 - ต้องรู้ระยะทางระหว่างโลกกับดวงจันทร์หรือไม่
 - ถ้าต้องใช้ประจุบวกจากแก๊สไฮโดรเจนจะต้องใช้ไฮโดรเจนกี่กิโลกรัมจึงจะได้ประจุบวกเท่ากับข้อ ก) [ตอบ 5.935×10^5 กิโลกรัม] (กำหนด ไฮโดรเจน 1 อะตอมหนัก $1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$)
- จุดประจุ $2 \mu\text{C}$ และ $-5 \mu\text{C}$ วางห่างกัน 10 cm จะเกิดแรงชนิดใด ขนาดเท่าใด [ตอบ แรงดึงดูด , 9 นิวตัน]



3. ประจุ Q ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ q และ $Q-q$ จงหาความสัมพันธ์ระหว่าง Q และ q ในเงื่อนไขที่ทำให้เกิดแรงผลักร่วมกันมากที่สุดในช่วงระยะที่กำหนดให้ค่าหนึ่ง [ตอบ $q = Q/2$]



4. อิเล็กโตรสโคปแบบหนึ่งสามารถวัดขนาดประจุได้ โดยใช้ลูกบอลขนาดเท่ากัน 2 ลูกแขวนไว้ด้วยเชือกเบาและเป็นฉนวน มีความยาว L ลูกบอลแต่ละลูกมีมวล m ประจุทั้งหมดบนลูกบอลทั้งสองมีขนาดเท่ากับ Q อนุโลม ว่าเป็นจุดประจุได้ θ เป็นมุมที่เชือกเบี่ยงเบนไปจากแนวปกติจึงแสดงว่า $\tan \theta \sin^2 \theta =$ ค่าคงที่ และจงหาค่าคงที่นี้ [ตอบ $\tan \theta \sin^2 \theta = \frac{Q^2}{4\pi\epsilon_0(4mgL^2)}$]

5. วางจุดประจุไว้ที่มุมของสามเหลี่ยมด้านเท่า ประจุแต่ละมุมมีขนาด q เพื่อที่จะให้ประจุอยู่ในสภาพสมดุล ต้องวางประจุขนาดเท่าใดไว้ที่จุดกึ่งกลางของสามเหลี่ยม [ตอบ $\frac{-1}{\sqrt{3}}q$]
6. ตัวนำทรงกลมสองลูกมีขนาดเท่ากันวางอยู่ห่างกัน 3 cm ในอากาศ มีแรงดึงดูดระหว่างมวล 10^{-19} N จะต้องใส่อิเล็กตรอนจำนวนเท่ากันในทรงกลมทั้งสองอย่างน้อยที่สุดลูกละกี่ตัวเพื่อดำเนินแรงดึงดูดนี้ได้พอดี [ตอบ 625 ตัว]

7. ไฮโดรเจนอะตอมมีอิเล็กตรอนโคจรเป็นวงกลมรัศมี 5.3×10^{-11} m รอบโปรตอน จงคำนวณหา
- ก) อัตราเร็วของอิเล็กตรอนในวงโคจร [ตอบ 2.18×10^6 m/s]
- ข) อัตราเร็วเชิงมุมของอิเล็กตรอน [ตอบ 4.1×10^{16} rad/s]
- ค) อัตราเร่งเข้าสู่ศูนย์กลางของอิเล็กตรอน [ตอบ 9.1×10^6 m/s²]

8. ลูกบาศก์ด้านยาว a มีประจุ q ที่แต่ละมุม

ก) จงแสดงว่าขนาดของแรงลัพธ์บนประจุอันใดอันหนึ่งมีค่า

$$F = \frac{0.261q^2}{\epsilon_0 a^2}$$

ข) หาทิศของ F เทียบกับขอบลูกบาศก์

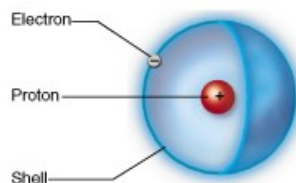
9. โปรตอน สองโปรตอนของโมเลกุล แยกออกจากกัน 10^{-10} m

ก) จงหาแรงไฟฟ้าระหว่างโปรตอน

ข) เปรียบเทียบกับแรงโน้มถ่วงจะได้ผลอย่างไร [ตอบ ก) 1.59 nN ข) แรงไฟฟ้ามากกว่า 1.24×10^{36} เท่า]

10. อะตอมของธาตุไฮโดรเจนประกอบด้วยโปรตอนและอิเล็กตรอนอย่างละอนุภาค โดยอิเล็กตรอนหมุนรอบโปรตอนด้วยขนาดรัศมี 5.3×10^{-9} cm อิเล็กตรอนจะหมุนรอบโปรตอนด้วยความเร็วเท่าไร

[ตอบ 2.19×10^6 m/s]



หนังสืออิเล็กทรอนิกส์	
ฟิสิกส์ 1(ภาคกลศาสตร์(ฟิสิกส์ 1 (ความร้อน)
ฟิสิกส์ 2	กลศาสตร์เวกเตอร์
โลหะวิทยาฟิสิกส์	เอกสารคำสอนฟิสิกส์ 1
ฟิสิกส์ 2 (บรรยาย(แก้ปัญหาฟิสิกส์ด้วยภาษา C
ฟิสิกส์พิศวง	สอนฟิสิกส์ผ่านทางอินเทอร์เน็ต
ทดสอบออนไลน์	วิดีโอการเรียนการสอน
หน้าแรกในอดีต	แผ่นใสการเรียนการสอน
เอกสารการสอน PDF	กิจกรรมการทดลองทางวิทยาศาสตร์
แบบฝึกหัดออนไลน์	สุดยอดสิ่งประดิษฐ์
การทดลองเสมือน	
บทความพิเศษ	ตารางธาตุ)ไทย1) 2 (Eng)
พจนานุกรมฟิสิกส์	ลับสมองกับปัญหาฟิสิกส์
ธรรมชาติมหัศจรรย์	สูตรพื้นฐานฟิสิกส์
การทดลองมหัศจรรย์	ดาราศาสตร์ราชมงคล
แบบฝึกหัดกลาง	
แบบฝึกหัดโลหะวิทยา	แบบทดสอบ
ความรู้รอบตัวทั่วไป	อะไรเอ่ย ?
ทดสอบ)เกมเศรษฐี(คติปริศนา
ข้อสอบเอนทรานซ์	เฉลยกลศาสตร์เวกเตอร์
คำศัพท์ประจำสัปดาห์	
ความรู้รอบตัว	
การประดิษฐ์ของโลก	ผู้ได้รับโนเบลสาขาฟิสิกส์
นักวิทยาศาสตร์เทศ	นักวิทยาศาสตร์ไทย
ดาราศาสตร์พิศวง	การทำงานของอุปกรณ์ทางฟิสิกส์
การทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ	

 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 1 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต 	
1. การวัด	2. เวกเตอร์
3. การเคลื่อนที่แบบหนึ่งมิติ	4. การเคลื่อนที่บนระนาบ
5. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน	6. การประยุกต์กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน
7. งานและพลังงาน	8. การดลและโมเมนตัม
9. การหมุน	10. สมดุลของวัตถุแข็งเกร็ง
11. การเคลื่อนที่แบบคาบ	12. ความยืดหยุ่น
13. กลศาสตร์ของไหล	14. ปริมาณความร้อน และ กลไกการถ่ายโอนความร้อน
15. กฎข้อที่หนึ่งและสองของเทอร์โมไดนามิก	16. คุณสมบัติเชิงโมเลกุลของสสาร
17. คลื่น	18. การสั่น และคลื่นเสียง
 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 2 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต 	
1. ไฟฟ้าสถิต	2. สนามไฟฟ้า
3. ความกว้างของสายฟ้า	4. ตัวเก็บประจุและการต่อตัวต้านทาน
5. ศักย์ไฟฟ้า	6. กระแสไฟฟ้า
7. สนามแม่เหล็ก	8. การเหนี่ยวนำ
9. ไฟฟ้ากระแสสลับ	10. ทรานซิสเตอร์
11. สนามแม่เหล็กไฟฟ้าและเสาอากาศ	12. แสงและการมองเห็น
13. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ	14. กลศาสตร์ควอนตัม
15. โครงสร้างของอะตอม	16. นิวเคลียร์
 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ทั่วไป ผ่านทางอินเทอร์เน็ต 	
1. จลศาสตร์ (kinematic)	2. จลพลศาสตร์ (kinetics)
3. งานและโมเมนตัม	4. ซิมเปิลฮาร์โมนิก คลื่น และเสียง
5. ของไหลกับความร้อน	6. ไฟฟ้าสถิตกับกระแสไฟฟ้า
7. แม่เหล็กไฟฟ้า	8. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับแสง
9. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ อะตอม และนิวเคลียร์	

