

บทที่ 9

ไฟฟ้าสถิต

มนุษย์รู้จักไฟฟ้ามาตั้งแต่ 600 ปีก่อนคริสตกาล ธาลีส (Thales) นักดาราศาสตร์และนักปราชญ์ชาวกรีก ได้ค้นพบไฟฟ้าโดยบังเอิญ กล่าวคือขณะที่เขานั่งทำงานอยู่ที่โต๊ะ เขาเห็นแท่งอำพัน (amber) ที่วางอยู่บนโต๊ะจึงหยิบขึ้นมาดู เห็นมันมีวับ ๆ จึงถูกับเสื้อขนสัตว์ที่เขาสวมอยู่ พอเห็นมันไสแวววาวดีแล้วจึงวางคืนที่โต๊ะตามเดิม เขาพบว่ามันมีเศษไม้เล็กๆที่อยู่ใกล้ๆกับแท่งอำพันนั้นวิ่งเข้ามาหาและติดแน่นกับแท่งอำพันนั้น แท่งอำพันในภาษากรีกคือ elektron จึงนับว่าเป็นการค้นพบไฟฟ้าครั้งแรกที่ถูกบันทึกไว้

9.1 ประจุไฟฟ้า

เมื่อเรานำแท่งฟิวส์ถูกับผ้าสักหลาดและนำแท่งฟิวส์เข้าใกล้กระดาษชิ้นเล็ก ๆ พบว่าแผ่นกระดาษถูกแผ่นฟิวส์ดึงดูด แสดงว่าแผ่นฟิวส์มีแรงกระทำกับกระดาษและต้นเหตุที่ทำให้เกิดแรงนี้คือ **ประจุไฟฟ้า** และเรียกแรงที่เกิดขึ้นนี้ว่า **แรงระหว่างประจุไฟฟ้า**

9.1.1 สมบัติของประจุไฟฟ้า

ประจุไฟฟ้า เป็นสมบัติที่แน่นอนของอนุภาคมูลฐาน มีปริมาณไม่ต่อเนื่องแต่มีค่าเป็นจำนวนเท่าของประจุพื้นฐานที่เล็กที่สุดอันหนึ่งคือ อิเล็กตรอน (electron) ใช้สัญลักษณ์ e ประจุของอิเล็กตรอนมีค่า $e=1.602 \times 10^{-19}$ คูลอมบ์

9.1.2 ชนิดของประจุ

เบนจามิน แฟรงคลิน นักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกันเป็นบุคคลแรกที่จำแนกชนิดของประจุไฟฟ้าโดยได้แบ่งประจุออกเป็นสองชนิด คือ ประจุบวกและประจุลบ

ประจุที่เหมือนกับประจุของโปรตอน เรียกว่า ประจุบวก

ประจุที่เหมือนกับประจุของอิเล็กตรอน เรียกว่า ประจุลบ

วัตถุใดที่มีประจุบวกมากกว่าประจุลบจะแสดงอำนาจทางไฟฟ้าบวก วัตถุใดมีประจุบวกน้อยกว่าประจุลบจะแสดงอำนาจทางไฟฟ้านลบ และถ้าวัตถุใดมีประจุบวกกับประจุลบเท่ากันจะเป็นกลางทางไฟฟ้า นิวตรอนเป็นอนุภาคที่ไม่มีประจุ ตารางที่ 9.1 แสดงสมบัติทางไฟฟ้าของอิเล็กตรอน โปรตอน และนิวตรอน

ตาราง 9.1 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

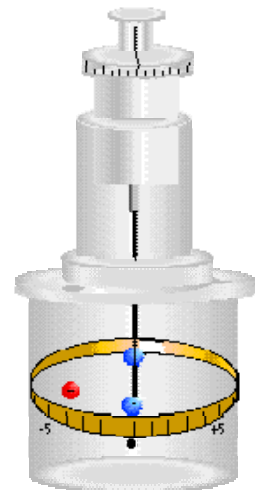
9.1.3 กฎการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า

วัตถุที่เป็นกลางทางไฟฟ้า เนื่องจากมีจำนวนโปรตอนเท่ากับอิเล็กตรอน การที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากอะตอมหนึ่งไปยังอีกอะตอมหนึ่ง ทำให้อะตอมที่สูญเสียอิเล็กตรอนกลายเป็นอะตอมที่มีประจุไฟฟ้าบวกและอะตอมที่ได้รับอิเล็กตรอนกลายเป็นอะตอมที่มีประจุไฟฟ้าลบ ดังนั้นการทำให้วัตถุมีประจุไฟฟ้าไม่ใช่เป็นการสร้างประจุขึ้นมาใหม่แต่เป็นการย้ายประจุจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง โดยผลรวมของของจำนวนประจุทั้งหมดของระบบที่พิจารณาคงเท่าเดิมเสมอ เรียกกฎนี้ว่า **กฎการอนุรักษ์ประจุ**

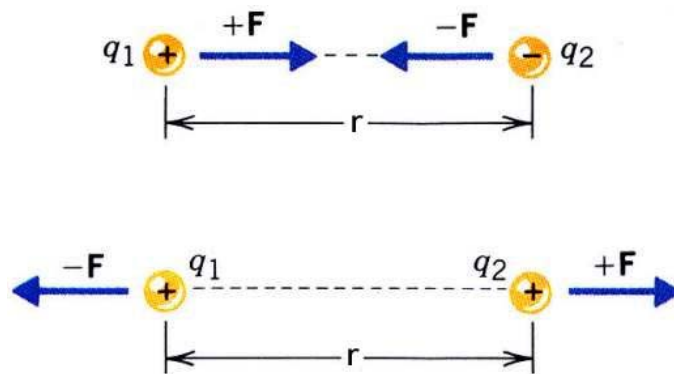
9.2 กฎของคูลอมบ์

คูลอมบ์ วิศวกรชาวฝรั่งเศส ได้ศึกษาและทดลองหาอันตรกิริยาระหว่างประจุ 2 ประจุที่อยู่หนึ่ง โดยใช้อุปกรณ์ดังรูปที่ 9.1 จากการทดลองพบว่า

1. ประจุชนิดเดียวกันจะผลักกัน ประจุต่างชนิดกันจะดึงดูดกัน
2. ขนาดของแรงที่เกิดขึ้นแปรผันตรงกับผลคูณของประจุทั้งสอง และแปรผกผันกับกำลังสองของ ระยะทางระหว่างประจุ
3. ทิศของแรงอยู่ในแนวเส้นตรงที่เชื่อมระหว่างประจุทั้งสอง



รูปที่ 9.1 เครื่องมือหาแรงระหว่างประจุของคูลอมบ์



รูปที่ 9.2 แรงระหว่างประจุ

จากรูปที่ 9.2 ให้ q_1 และ q_2 เป็นจุดประจุวางห่างกันเป็นระยะ r ต้องการหาแรงกระทำบน q_1 เนื่องมาจากถูก q_2 กระทำ จากกฎของคูลอมบ์ จะได้

$$F_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (9.1)$$

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

$$\begin{aligned} \epsilon_0 &= 8.854 \times 10^{-12} && \text{C}^2 / \text{N} \cdot \text{m}^2 \\ \text{ดังนั้น} \quad k &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8.988 \times 10^9 && \text{N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2 \\ \text{หรือใช้ค่าประมาณในการคำนวณ} & \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 9 \times 10^9 && \text{N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2 \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 9.1 ประจุทรงกลมสองลูกแต่ละลูกมีประจุ 1 คูลอมบ์ เมื่อศูนย์กลางของประจุอยู่ห่างกัน 1 เมตร แรงระหว่างประจุที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเท่าใด

วิธีทำ จากกฎของคูลอมบ์ $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$

ดังนั้น
$$F = (9.0 \times 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2) \frac{(1.0 \text{ C})(1.0 \text{ C})}{(1.0 \text{ m})^2}$$

$$= 9.0 \times 10^9 \text{ N}$$

คำตอบ ขนาดของแรงระหว่างประจุเท่ากับ 9.0×10^9 นิวตัน

ตัวอย่างที่ 9.2 จงหาแรงระหว่างประจุภายในอะตอมของไฮโดรเจน เมื่อระยะระหว่างโปรตอนและอิเล็กตรอนภายในอะตอมมีค่าเท่ากับ $5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$

วิธีทำ ภายในอะตอมของไฮโดรเจนประกอบด้วย โปรตอนและอิเล็กตรอนอย่างละ 1 ตัว โดยโปรตอนมีประจุเท่ากับ $+1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ และอิเล็กตรอนมีประจุเท่ากับ $-1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$

จากกฎของคูลอมบ์ $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$

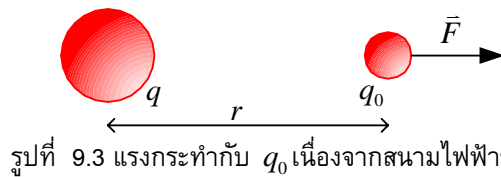
ดังนั้น
$$F = (9.0 \times 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2) \frac{(+1.6 \times 10^{-19} \text{ C})(-1.6 \times 10^{-19} \text{ C})}{(5.3 \times 10^{-11} \text{ m})^2}$$

$$= 8.2 \times 10^{-8} \text{ N}$$

คำตอบ ขนาดของแรงระหว่างประจุเท่ากับ 8.2×10^{-8} นิวตัน

9.3 สนามไฟฟ้า

ถ้าวางประจุ q ไว้อย่างโดดเดี่ยวจะไม่มีแรงไฟฟ้าปรากฏขึ้น แต่ถ้านำประจุ q_0 มาวางไว้ใกล้ ๆ ประจุ q พบว่าจะมีแรงไฟฟ้ากระทำบน q_0 ดังรูป 9.3 ขนาดของแรงจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของ q_0 และระยะห่างระหว่างประจุทั้งสองตามกฎของคูลอมบ์ กล่าวได้ว่า q_0 อยู่ในบริเวณสนามของแรงไฟฟ้าของ q หรืออยู่ในสนามไฟฟ้า (electric field) ของ q นิยามของสนามไฟฟ้าที่จุดหนึ่ง ๆ คือ แรงที่กระทำต่อประจุที่จุดนั้นหารด้วยขนาดของประจุ ดังนั้นสนามไฟฟ้าจึงเป็นปริมาณเวกเตอร์ใช้สัญลักษณ์ \vec{E} มีทิศพุ่งออกจากประจุบวกและพุ่งเข้าหาประจุลบ



รูปที่ 9.3 แรงกระทำกับ q_0 เนื่องจากสนามไฟฟ้าของ q

ดังนั้น

$$E = \frac{F}{q_0} \quad (9.2)$$

ในระบบ SI แรงมีหน่วยเป็นนิวตัน ประจุมีหน่วยเป็นคูลอมบ์ ดังนั้นสนามไฟฟ้าจึงมีหน่วยเป็นนิวตันต่อคูลอมบ์ ถ้า q_0 วางห่างจากจุดประจุ q เป็นระยะทาง r ดังรูปที่ 9.3 จะมีแรงกระทำต่อประจุทดสอบ q_0 ตามกฎของคูลอมบ์ดังนี้

$$F = k \frac{qq_0}{r^2}$$

จะได้สนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งดังกล่าว ดังนี้

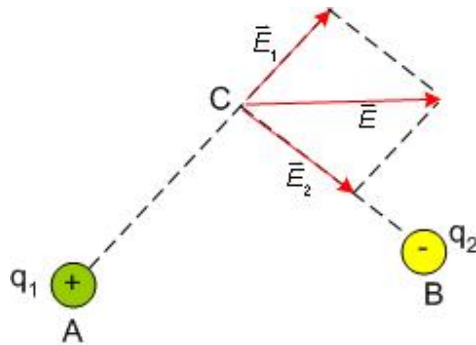
$$E = \frac{k \frac{qq_0}{r^2}}{q_0}$$

หรือ

$$E = \frac{kq}{r^2} \quad (9.3)$$

สมการที่ (9.3) ใช้ในการขนาดของสนามไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุ $+q$ ที่ตำแหน่งห่างจากจุดประจุ $+q$ เป็นระยะทาง r ส่วนทิศของสนามไฟฟ้าจะพิจารณาได้จากทิศของแรงเนื่องจากจุดประจุ $+q$ ในการหาสนามไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุสองจุด ดังรูปที่ 9.3 สนามไฟฟ้าลัพธ์ \vec{E} ที่จุด C หาได้จากผลรวมแบบเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุแต่ละจุดประจุ นั่นคือ

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$



รูปที่ 9.4 สนามไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุ q_1 และ q_2

ตัวอย่าง 9.3 โปรตอนตัวหนึ่งวางอยู่ในสนามไฟฟ้า 2.0×10^4 N/C มีทิศในแนวแกน +x จงหาแรงไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนโปรตอนนี้

วิธีทำ ขนาดประจุของโปรตอนคือ 1.6×10^{-19} C แรงไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ประจุคือ

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{F}{q_0} \\
 F &= q_0 E \\
 &= (1.6 \times 10^{-19} \text{ C})(2.0 \times 10^4 \text{ N/C}) \\
 &= 3.2 \times 10^{-15} \text{ N}
 \end{aligned}$$

คำตอบ แรงไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนโปรตอนนี้เท่ากับ 3.2×10^{-15} นิวตัน

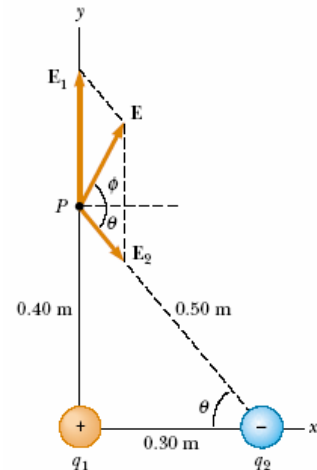
ในกรณีที่มีจุดประจุจำนวน n จุด สามารถเขียนเป็นสมการได้เป็น

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i \tag{9.4}$$

ตัวอย่าง 9.4 ประจุ $q_1 = 7 \mu\text{C}$ วางอยู่ที่จุดกำเนิดและประจุ $q_2 = -5 \mu\text{C}$ วางอยู่บนแกน x ห่างจากจุดกำเนิด 0.3 m จงหาสนามไฟฟ้าที่จุด P ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่ง (0,0.40) m

วิธีทำ ขั้นแรก หาขนาดของสนามไฟฟ้าที่เกิดจากจุดประจุแต่ละตัว \vec{E}_1 เป็นสนามไฟฟ้าที่เกิดจากประจุ $7.0 \mu\text{C}$ และ \vec{E}_2 เป็นสนามไฟฟ้าที่เกิดจากประจุ $-5.0 \mu\text{C}$ ขนาดของสนามไฟฟ้าทั้งสองคือ

$$\begin{aligned} E_1 &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{r_1^2} \\ &= (9 \times 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}}) \frac{(7.0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(0.4 \text{ m})^2} \\ &= 3.9 \times 10^5 \text{ N/C} \\ E_2 &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2}{r_2^2} \\ &= (9 \times 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}}) \frac{(5.0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(0.5 \text{ m})^2} \\ &= 1.8 \times 10^5 \text{ N/C} \end{aligned}$$



เวกเตอร์ \vec{E}_1 มีทิศในแนวแกน $+y$ ส่วนเวกเตอร์ \vec{E}_2 สามารถแตกเป็นเวกเตอร์ย่อยในแนวแกน x จะได้ $E_2 \cos \theta = \frac{3}{5} E_2$ และเวกเตอร์ย่อยในแนวแกน $-y$ จะได้ $-E_2 \sin \theta = -\frac{4}{5} E_2$ สามารถเขียนเป็นเวกเตอร์ได้เป็น

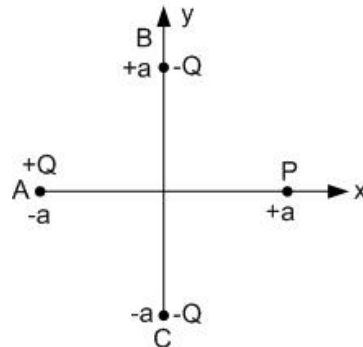
$$\vec{E}_1 = 3.9 \times 10^5 \hat{j} \text{ N/C}$$

$$\vec{E}_2 = (1.1 \times 10^5 \hat{i} - 1.4 \times 10^5 \hat{j}) \text{ N/C}$$

คำตอบ สนามไฟฟ้าลัพธ์ \vec{E} ที่จุด P หาได้จากการรวมสนาม \vec{E}_1 และ \vec{E}_2 ด้วยวิธี superposition

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = (1.1 \times 10^5 \hat{i} + 2.5 \times 10^5 \hat{j}) \text{ N/C}$$

ตัวอย่างที่ 9.5 จากรูปแสดงประจุ Q มีหน่วยเป็นคูลอมบ์ ระยะทาง a มีหน่วยเป็นเมตร จงหาสนามที่จุด P



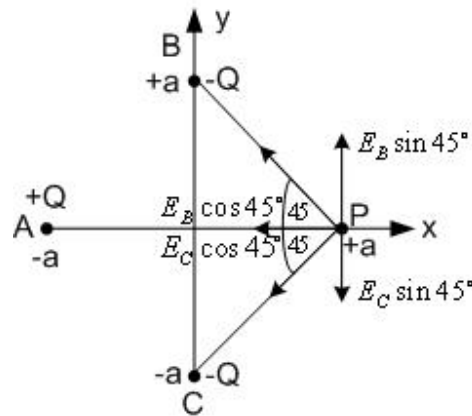
วิธีทำ

สมมติให้ E_A แทนสนามไฟฟ้าที่จุด P เนื่องจากประจุที่ A

สมมติให้ E_B แทนสนามไฟฟ้าที่จุด P เนื่องจากประจุที่ B

สมมติให้ E_C แทนสนามไฟฟ้าที่จุด P เนื่องจากประจุที่ C

ทำการแตกแรงของสนามไฟฟ้า E_B และ E_C ให้อยู่ตามแนวแกน x และ y ดังรูป



จากสูตร $E = \frac{kq}{r^2}$

จะได้ $E_A = \frac{kQ}{4a^2}$

$$E_B = E_C = \frac{kQ}{2a^2}$$

พิจารณาในแนวแกน y

$$\sum E_y = 0 \text{ เนื่องจาก } E_B = E_C$$

พิจารณาในแนวแกน X

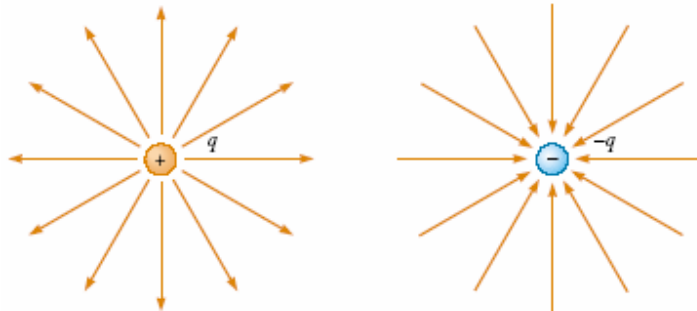
$$\begin{aligned}
 \sum E_x &= E_B \sin 45^\circ + E_C \sin 45^\circ - E_A \\
 &= \frac{kQ}{2a^2} \left[\frac{1}{\sqrt{2}} \right] + \frac{kQ}{2a^2} \left[\frac{1}{\sqrt{2}} \right] - \frac{kQ}{4a^2} \\
 &= \left[\frac{1}{2\sqrt{2}} + \frac{1}{2\sqrt{2}} - \frac{1}{4} \right] \frac{kQ}{a^2} \\
 &= 0.457 \frac{kQ}{a^2}
 \end{aligned}$$

คำตอบ สนามไฟฟ้าที่จุด P มีค่า $0.457 \frac{kQ}{a^2}$ ในแนวแกน X

9.3.1 เส้นสนามไฟฟ้า

เพื่อความสะดวกในการมองภาพของสนามไฟฟ้า โดยการเขียนเส้นตามทิศทางของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าของแต่ละจุด เส้นเหล่านี้ ฟาราเดย์ เรียกว่าเส้นแรงไฟฟ้า ปัจจุบันเรียกว่า เส้นสนามไฟฟ้า (electric field lines) ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นสนามกับเวกเตอร์สนามเป็นดังนี้

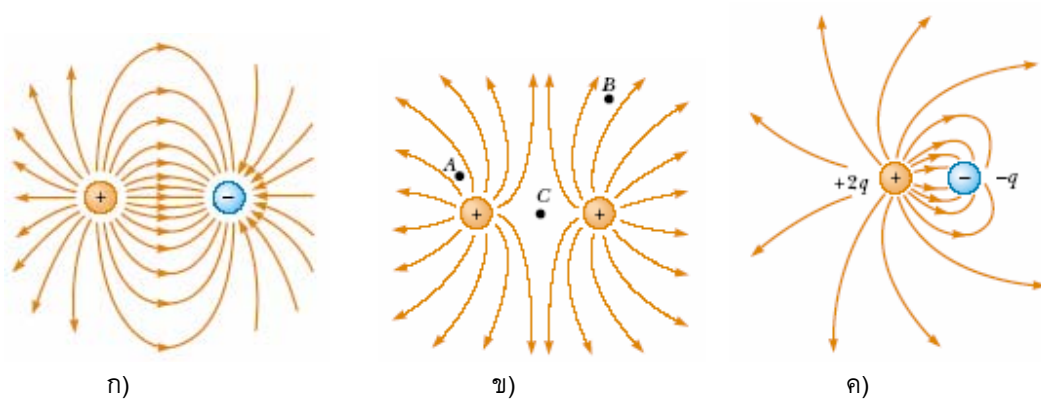
1. ทิศของเส้นสัมผัสของเส้นสนามที่จุดใดๆ คือทิศของเวกเตอร์สนามที่จุดนั้นๆ
 2. จำนวนของเส้นต่อหน่วยพื้นที่ของผิวที่ตั้งฉากกับเส้นทั้งหมด แปรผันตามขนาดของสนามในบริเวณนั้น หมายความว่าบริเวณที่เส้นสนามอยู่ชิดกันมากจะมีค่าสนามไฟฟ้ามากกว่าบริเวณที่สนามอยู่ห่างกัน
- จากความสัมพันธ์ข้างต้น เราสามารถวาดภาพสนามของจุดประจุได้ตามรูปที่ 9.5



รูปที่ 9.5 สนามของประจุบวกและประจุลบ

กฎในการเขียนเส้นสนามโดยทั่วๆ ไปมีดังนี้

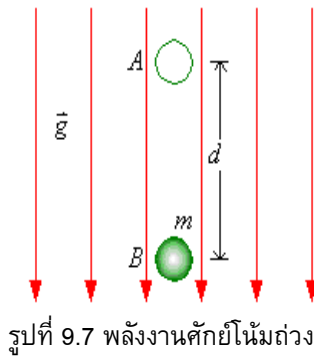
1. เส้นจะเริ่มต้นจากประจุบวกไปสิ้นสุดที่ประจุลบ
2. จำนวนเส้นที่ออกจากประจุบวกหรือเส้นที่ไปสิ้นสุดที่ประจุลบจะแปรผันตามขนาดของประจุ
3. เส้นสนามจะไม่ตัดผ่านกัน



รูป 9.6 สนามของประจุ ก) ต่างชนิดกัน ข) เหมือนกัน และ ค) ขนาดประจุไม่เท่ากัน

9.4 ศักย์ไฟฟ้า

เมื่อวัตถุอยู่ในสนามโน้มถ่วงของโลก พลังงานกลของวัตถุประกอบด้วยพลังงานจลน์และพลังงานศักย์ ซึ่งพลังงานศักย์โน้มถ่วงอันเนื่องมาจากแรงดึงดูดของโลกกระทำกับวัตถุขึ้นกับระดับที่วัตถุจากระดับอ้างอิง ในทำนองเดียวกันเมื่อประจุอยู่ในสนามไฟฟ้า ประจุก็จะมีพลังงานศักย์เนื่องจากแรงทางไฟฟ้าที่กระทำต่อประจุเช่นกัน



รูปที่ 9.7 พลังงานศักย์โน้มถ่วง

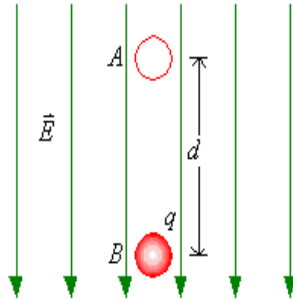
เมื่อพิจารณารูปที่ 9.7 ในการย้ายมวลจาก A ไปยัง B จะเกิดงานเกิดขึ้นนั่นก็คือพลังงานศักย์โน้มถ่วง mgd นั่นเอง ในทำนองเดียวกัน เมื่อพิจารณาประจุในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าก็จะพบว่าประจุได้รับแรงกระทำจากสนามไฟฟ้า ซึ่งทำให้ประจุเคลื่อนที่และมีงานเกิดขึ้น ดังนั้นจากกล่าวได้ว่าประจุเมื่ออยู่ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ทั่วที่มีสนามไฟฟ้าจะมีพลังงานศักย์ที่พลังงานศักย์ไฟฟ้าเกิดขึ้น

เมื่อนำประจุ q ไปวางไว้ในตำแหน่งที่มีพลังงานศักย์ไฟฟ้าเป็น E_p พลังงานศักย์ต่อ 1 หน่วยประจุมีค่าเป็น $\frac{E_p}{q}$ เรียกปริมาณนี้ว่า ศักย์ไฟฟ้า ณ ตำแหน่งนั้น เมื่อให้ V เป็นศักย์ไฟฟ้า ณ ตำแหน่งนั้นจะได้ว่า

$$V = \frac{E_p}{q} \tag{9.5}$$

ศักย์ไฟฟ้าเป็นปริมาณสเกลาร์ มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

พิจารณาสนามไฟฟ้าที่มีทิศพุ่งในแนว $-y$ ดังรูป 9.7 จุด A และ จุด B อยู่ห่างกันเป็นระยะ d (โดยวัดในแนวเส้นตรงขนานกับทิศของ E)



รูปที่ 9.8 การเคลื่อนที่ประจุจาก A ไป B

ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จุด B เทียบกับจุด A หาได้จาก

$$V_B - V_A = \Delta V = -Ed$$

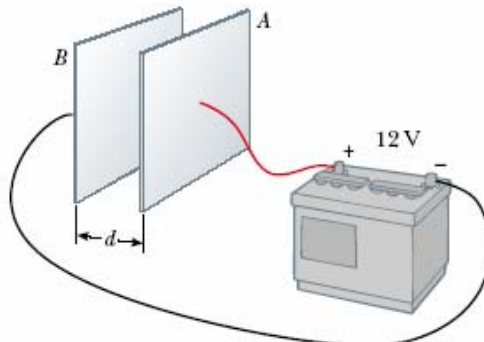
เครื่องหมายลบแสดงว่าจุด B อยู่ต่ำกว่า จุด A หรือ $V_B < V_A$ สนามไฟฟ้าจะมีทิศชี้ไปในแนวที่ค่าความต่างศักย์มีค่าน้อยลงเสมอ

ให้ประจุทดสอบที่ใช้ในการเคลื่อนที่จากจุด A ไปยังจุด B เป็นประจุบวกมีค่า q_0 พลังงานศักย์ทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนไป (ΔU) คือ

$$\Delta U = q_0 \Delta V = -q_0 Ed$$

ถ้า q_0 เป็นประจุลบ ค่า ΔU จะมีค่าเป็นบวก นั่นคือประจุลบที่เคลื่อนที่ในทิศเดียวกับทิศของสนามไฟฟ้าจะได้รับพลังงานศักย์เพิ่มขึ้น ถ้าประจุลบนี้เคลื่อนที่อย่างอิสระจากจุดหยุดนิ่ง ประจุจะมีความเร่งในทิศตรงข้ามกับทิศของสนามไฟฟ้า

ตัวอย่างที่ 9.6 แบตเตอรี่ขนาด 12 V ต่อกับแผ่นตัวนำที่วางขนานกัน ระยะห่าง 0.3 cm ให้ถือว่าสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ระหว่างแผ่นขนานมีความสม่ำเสมอ (โดยคิดว่าแผ่นขนานมีขนาดใหญ่มากเมื่อเทียบกับระยะห่างระหว่างแผ่น และไม่คิดถึงสนามตรงบริเวณขอบของแผ่นซึ่งมีค่าไม่ต่อเนื่อง) จงหาค่าสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นขนานนี้



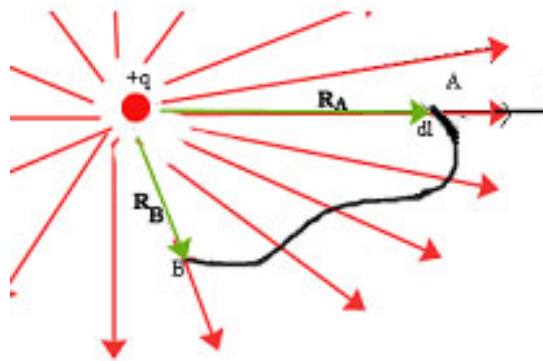
วิธีทำ	สนามไฟฟ้ามีทิศจากแผ่นบวกสู่แผ่นลบ ศักย์ไฟฟ้าที่แผ่นบวกจึงมีค่ามากกว่าที่แผ่นลบ ความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นที่แผ่นขนานจะต้องเท่ากับความต่างศักย์ที่ตกคร่อมแบตเตอรี่ และทุก ๆ จุดบนแผ่นตัวนำจะมีค่าความต่างศักย์เท่ากันด้วย (ไม่คำนึงถึงความต่างศักย์ที่อาจตกคร่อมที่สายไฟ) จะได้สนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นคือ
	$E = \frac{ V_B - V_A }{d} = \frac{12 \text{ V}}{0.30 \times 10^{-2} \text{ m}}$ $= 4.0 \times 10^3 \text{ V/m}$
คำตอบ	สนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นคือ $4.0 \times 10^3 \text{ V/m}$

9.4.1 ศักย์ไฟฟ้าของประจุจุด

จากรูปที่ 9.9 พิจารณาจุด A และจุด B ซึ่งอยู่ห่างจากประจุ +q เป็นระยะ R_A และ R_B ตามลำดับ เมื่อเลื่อนประจุ +1 หน่วยจากจุด A ไปยังจุด B งานที่เกิดจากการเลื่อนประจุนี้คือความต่างศักย์ไฟฟ้า มีค่าเท่ากับ

$$V = \frac{kq}{(R_B - R_A)^2} (R_B - R_A)$$

$$= \frac{kq}{R_B} - \frac{kq}{R_A}$$



รูปที่ 9.9 ความต่างศักย์ที่จุด B เทียบกับ A ซึ่งเกิดจากสนามของประจุจุด

ถ้า r_A อยู่ห่างเป็นระยะ ∞ ศักย์ไฟฟ้าที่จุด A ,มีค่าเท่ากับ 0 และศักย์ไฟฟ้าที่จุด B คือ

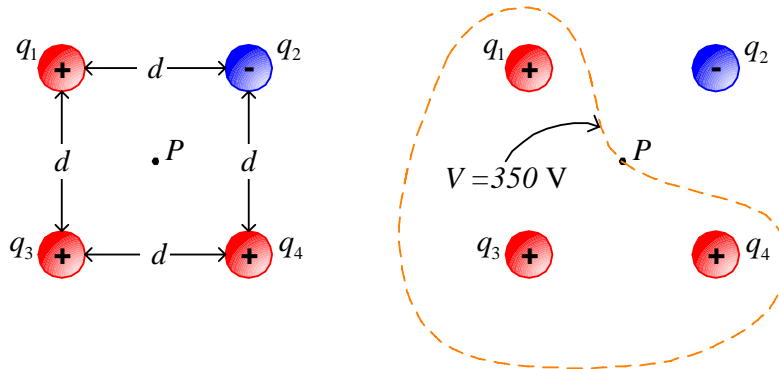
$$V_B = \frac{kq}{r_B}$$

เขียนอยู่ในรูปทั่วไป

$$V = \frac{kq}{r} \tag{9.6}$$

ถ้าตำแหน่งที่ต้องการคำนวณหาศักย์ไฟฟ้าขึ้นอยู่กับในสนามไฟฟ้าที่เกิดจากประจุหลายตัว ให้คำนวณหาศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากประจุแต่ละตัวแล้วหาผลรวมของศักย์ไฟฟ้าแบบพีชคณิตโดยไม่ต้องคำนึงถึงทิศทาง

ตัวอย่าง 9.7 ประจุ q_1 , q_2 , q_3 และ q_4 วางอยู่ที่มุมทั้งสี่ของสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีด้านแต่ละด้านยาว d จงหาศักย์ไฟฟ้าที่จุด P ซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางของสี่เหลี่ยมจัตุรัสนี้ ให้ $q_1 = +12$ nC, $q_2 = -24$ nC, $q_3 = +31$ nC และ $q_4 = +17$ nC $d = 1.3$ m



วิธีทำ เพราะว่าประจุทุกตัวอยู่ห่างจากจุด P เป็นระยะเท่ากันคือ $r = \frac{\sqrt{2}d}{2} = 0.919$ m

$$\begin{aligned} \text{ศักย์ไฟฟ้ารวมที่จุด } P \text{ คือ } V &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 + q_2 + q_3 + q_4}{r} \\ &= \frac{(9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2)((12 - 24 + 31 + 17) \times 10^{-9} \text{ C})}{0.919} \\ &= 350 \text{ V} \end{aligned}$$

ตอบ ศักย์ไฟฟ้ารวมที่จุด P มีค่าเท่ากับ 350 V

เส้นประที่แสดงไว้ในรูปทางขวามือนั้น แสดงให้เห็นระนาบของผิวสมศักย์ ทุก ๆ จุดบนระนาบนี้จะมีค่าศักย์ไฟฟ้าเท่ากับจุด P

9.5 ความจุไฟฟ้า

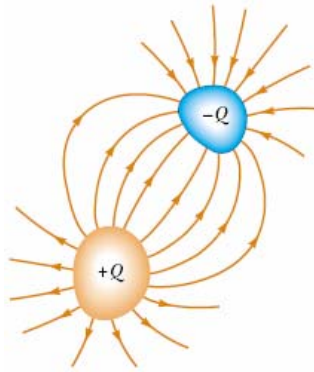
เมื่อนำตัวนำไฟฟ้ารูปทรงใด ๆ 2 ชั้นวางอยู่ในสุญญากาศ หรือตัวกลางที่เป็นฉนวน ใส่ประจุลงบนตัวนำทั้งสอง โดยให้ตัวนำชั้นหนึ่งเป็นประจุบวก อีกชั้นหนึ่งเป็นประจุลบ ขนาดประจุเท่ากัน ประจุสุทธิบนตัวนำทั้งสองมีค่าเป็นศูนย์ เราเรียกตัวนำทั้งสองนี้ว่าเป็น ตัวเก็บประจุ (Capacitor) สนามไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างตัวนำทั้งสองจะขึ้นอยู่กับขนาดประจุที่สะสมอยู่บนตัวนำ ถ้าใส่ประจุบนตัวนำเพิ่มขึ้น ขนาดของความต่างศักย์ไฟฟ้าของตัวนำทั้งสองจะสูงขึ้นตามไปด้วย นั่นคือ

$$Q \propto V$$

$$Q = CV \quad (9.7)$$

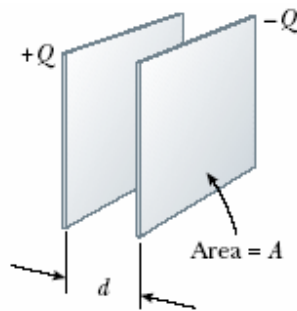
เมื่อ C คือความจุไฟฟ้าของตัวนำเป็นอัตราส่วนระหว่างประจุไฟฟ้าที่สะสมกับศักย์ไฟฟ้าของตัวนำนั้น เป็นค่าคงที่ขึ้นอยู่กับรูปทรงเรขาคณิตของตัวนำและชนิดของตัวกลางที่ตัวนำวางอยู่ ไม่ว่าจะใส่ประจุเพิ่มสักเท่าใดค่า C ของตัวนำนั้นก็จะไม่เปลี่ยนแปลงหน่วยของความจุไฟฟ้า คือ คูลอมบ์/โวลต์ หรือ ฟารัด (Farad , F)

$$1 \text{ F} = \frac{1 \text{ C}}{1 \text{ V}}$$



รูปที่ 9.10 ตัวนำในสนามไฟฟ้า

ในทางปฏิบัติตัวเก็บประจุประกอบด้วยตัวนำแบบแผ่น 2 ชั้น วางไว้ห่าง ๆ กัน ตรงช่องว่างระหว่างตัวนำอาจเป็นสุญญากาศหรือสารไดอิเล็กตริก ตัวนำแต่ละชั้นเรียกว่าอิเล็กโทรด (electrode)



รูป 9.11 ตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน

ให้ Q เป็นขนาดของประจุบนแต่ละแผ่น V เป็นความต่างศักย์ระหว่างแผ่น a กับ b จะได้

$$Q = CV$$

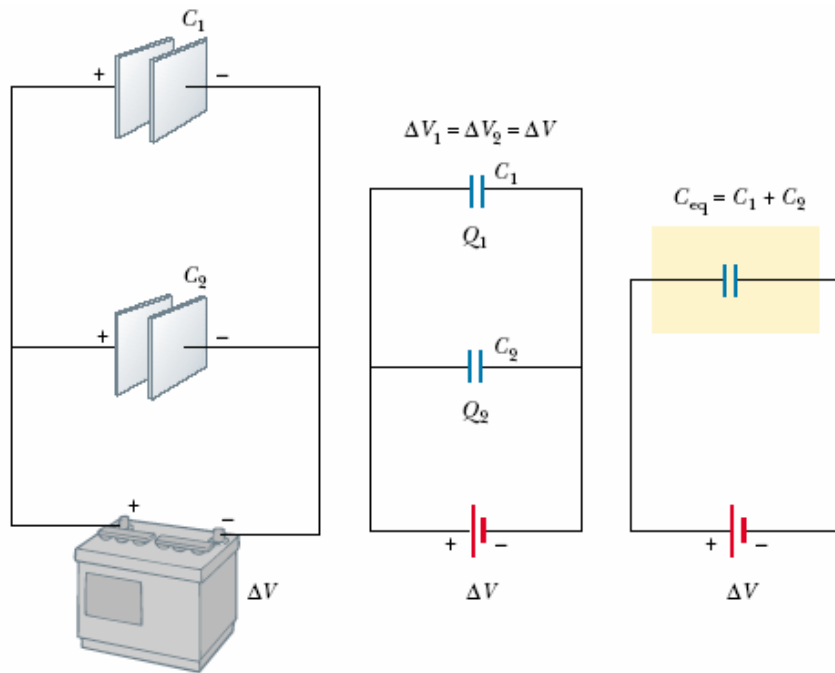
$$C = Q/V$$

ในวงจรไฟฟ้า จะใช้สัญลักษณ์ \parallel แทนตัวเก็บประจุที่มีค่าคงที่ และ \parallel สำหรับตัวเก็บประจุที่สามารถปรับค่าได้ เราใช้ตัวเก็บประจุในวงจรกรองกระแส เพื่อให้กระแสตรงที่ไม่สม่ำเสมอ เป็นกระแสตรงที่เรียบ ใช้ในวงจรส่งสัญญาณวิทยุ ร่วมกับคอยล์ ใช้เปลี่ยนคลื่นวิทยุให้มีความถี่ตามที่ต้องการ ใช้สร้างสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างแผ่นขนาน และใช้ในการศึกษาการเบี่ยงเบนของอิเล็กตรอน

9.5.1 การต่อตัวเก็บประจุ

ถ้าต้องการค่าความจุไฟฟ้าเฉพาะค่าใดค่าหนึ่ง ซึ่งตัวเก็บประจุไฟฟ้าค่านั้นไม่มีขายในท้องตลาด ต้องนำตัวเก็บประจุตั้งแต่สองตัวขึ้นไปมาต่อเข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้ค่าความจุไฟฟ้าที่ต้องการ ลักษณะการต่อตัวเก็บประจุมีอยู่ 2 แบบ

1. การต่อแบบขนาน การต่อแบบนี้ทำให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วของตัวเก็บประจุแต่ละตัวมีค่าเท่ากัน คือ ต่างเท่ากับ V



รูปที่ 9.12 การต่อ C แบบขนาน

ให้ q_1 เป็นประจุบนตัวเก็บประจุ C_1 $q_1 = C_1V$

ให้ q_2 เป็นประจุบนตัวเก็บประจุ C_2 $q_2 = C_2V$

ให้ Q เป็นประจุทั้งหมดบนตัวเก็บประจุทั้งสองตัว

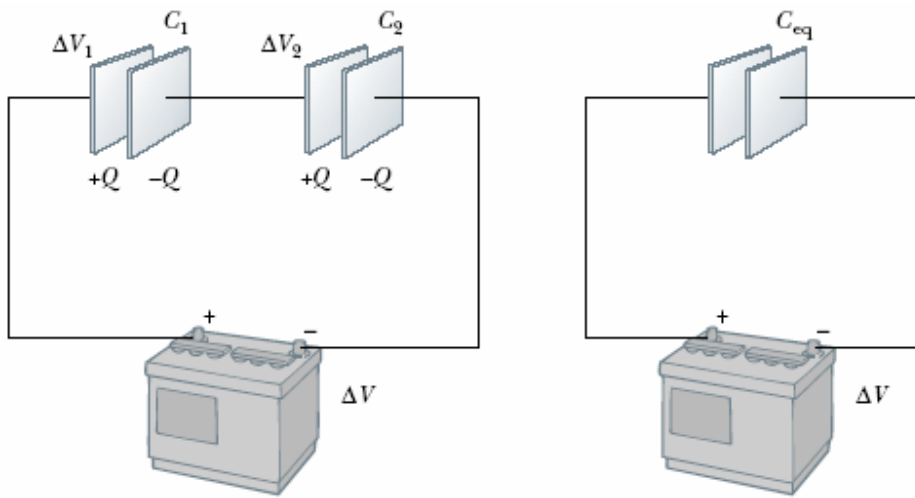
$$Q = q_1 + q_2$$

$$Q = C_{eq}V$$

$$= V(C_1 + C_2)$$

จะได้ $C_{eq} = C_1 + C_2$ (9.8)

2. การต่อแบบอนุกรม การต่อแบบนี้จะมีผลให้ประจุบนตัวเก็บประจุแต่ละตัวมีค่าเท่ากัน



รูปที่ 9.13 การต่อตัวเก็บประจุแบบขนาน

$$Q = q_1 = q_2$$

$$q_1 = C_1V_1$$

$$q_2 = C_2V_2$$

V_1 และ V_2 เป็นศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุแต่ละตัว

$$V = V_1 + V_2$$

$$\frac{Q}{C_{eq}} = \frac{q_1}{C_1} + \frac{q_2}{C_2}$$

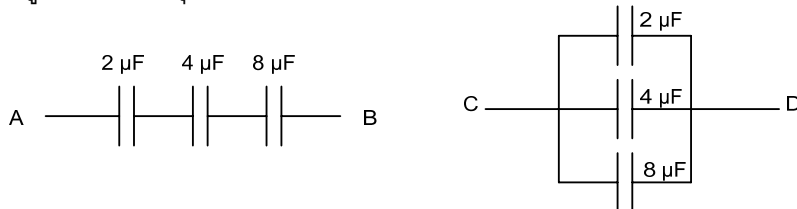
$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

จะได้ความจุไฟฟ้ารวม

(9.9)

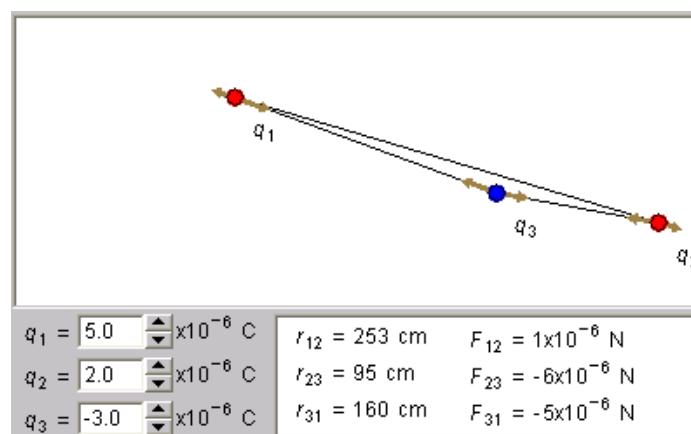
แบบฝึกหัดบทที่ 9

- ประจุ A และ B วางอยู่ห่างกันเป็นระยะ 50 เซนติเมตร จงหาแรงระหว่างประจุทั้งสอง โดยกำหนดให้ประจุ A และ B มีขนาด 1×10^{-6} คูลอมบ์
- ประจุ A มีขนาด 1×10^{-5} คูลอมบ์ วางอยู่ห่างจากประจุ B 10 เซนติเมตร เกิดแรงกระทำระหว่างกัน 180 นิวตัน ประจุ B จะมีขนาดเท่าใด
- จงหาสนามไฟฟ้า ณ จุด A ซึ่งอยู่ห่างจากจุดประจุขนาด 6×10^{-6} คูลอมบ์ เป็นระยะทาง 10 เซนติเมตร
- ถ้านำทรงกลมที่ฉนวนไฟฟ้า 40 โวลต์ มีความจุไฟฟ้า 0.2 ไมโครฟารัด จะมีประจุไฟฟ้าบนผิวทรงกลมเท่าใด
- จากรูป จงหาความจุรวมระหว่าง A กับ B และ C กับ D



- ประจุไฟฟ้าคู่หนึ่งมีแรงกระทำระหว่างกัน 1 นิวตัน เมื่อวางห่างกัน 10 ซม. ถ้าวางห่างกัน 5 ซม. จะมีแรงกระทำเท่าใด
- ให้นักศึกษาทำการทดลองเสมือนจริงเรื่อง แรงระหว่างประจุที่

<http://www.rmutphysics.com/charud/virtualexperiment/Explore/InteractionEC/index.htm>



กำหนดค่า q_1 และ q_2 ด้วยตนเอง ปรับค่า r_{12} จำนวน 5 ค่า บันทึกค่าลงในตารางที่กำหนดให้ ทำการทดลอง

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	ตารางธาตุไทย1) 2 (Eng)
พจนานุกรมฟิสิกส์	ลับสมองกับปัญหาฟิสิกส์
ธรรมชาติมหัศจรรย์	สูตรพื้นฐานฟิสิกส์
การทดลองมหัศจรรย์	ดาราศาสตร์ราชมงคล
แบบฝึกหัดกลาง	
แบบฝึกหัดโลหะวิทยา	แบบทดสอบ
ความรู้รอบตัวทั่วไป	อะไรเอ่ย ?
ทดสอบ)เกมเศรษฐี(คดีปริศนา
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	

