



เอกสารประกอบการสอน
407-11-15 หลักฟิสิกส์ (Principles of Physics)
กลุ่มเรียน CSS15541N
ปีการศึกษา 2/2555

บทที่ 9 ไฟฟ้าสถิต

อาจารย์ผู้สอน: ดร. พนิดา หล่อวงศ์ตระกูล
ติดต่อทาง email: dang_phy@hotmail.com
ห้องทำงาน: อาคาร 17 ชั้น 3
โทร: 081-645-3095

เอกสารอ้างอิง

- R.A.Serway,Jewett, Physics for scientist and engineers, 6th Ed., Brook/Cole, Singapore, 2004.
- เว็บไซต์ต่างๆ เช่น

<http://www.rmutphysics.com/>

<http://science.sut.ac.th/physics/>

ประจุไฟฟ้า (Electric Charges)

Benjamin Franklin (1706–1790) จำแนกชนิดประจุไฟฟ้าเป็น 2 ชนิด
คือ ประจุลบ และ ประจุบวก

ประจุลบ คือประจุที่ประกอบไปด้วยอิเล็กตรอน

ประจุบวก คือประจุที่ประกอบด้วยโปรตอน

แรงระหว่างประจุ: ประจุชนิดเดียวกันจะผลักกัน
ประจุต่างชนิดกันจะดูดกัน

วัตถุที่มีประจุบวกมากกว่าประจุลบจะแสดงอำนาจไฟฟ้าบวก

วัตถุที่มีประจุลบมากกว่าประจุบวกจะแสดงอำนาจไฟฟ้านลบ

วัตถุที่มีประจุบวกเท่ากับประจุลบจะแสดงอำนาจไฟฟ้าเป็นกลาง

ประจุไฟฟ้า (Electric Charges)

จำนวนประจุไฟฟ้าของวัตถุใดๆ จะมีค่าเป็นจำนวนเท่าของประจุ
พื้นฐานที่เล็กที่สุด คือ อิเล็กตรอน (e)

ค่าประจุ $e = 1.6 \times 10^{-19}$ คูลอมป์

สมบัติของอนุภาค โปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอน

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

กฎการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า

ประจุจะเป็นปริมาณที่อนุรักษ์โดยไม่สามารถสร้างขึ้นใหม่ได้ หรือสูญหายไปไหน



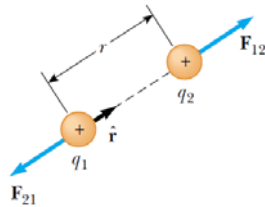
โดยประจุที่เกิดขึ้นไม่ใช่การสร้าง
ขึ้นใหม่ แต่เป็นการย้ายประจุ
จากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่ง และ
ผลรวมของจำนวนประจุทั้งหมด
ของระบบที่พิจารณาจะต้องเท่า
เดิมเสมอ

กฎของคูลอมบ์ (Coulomb's Law)

Charles Coulomb เป็นผู้เสนอกฎของคูลอมบ์ ซึ่งกล่าวถึงแรง
กระทำระหว่างประจุดังนี้

- แรงระหว่างประจุจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับขนาดของประจุแต่
เป็นปฏิภาคผกผันกับระยะทางระหว่างประจุ
- แรงระหว่างประจุจะเป็นแรงดูดถ้าเป็นประจุต่างชนิดกันและ
เป็นแรงผลักถ้าเป็นประจุนิตเดียวกัน
- ทิศของแรงจะอยู่ในแนวเส้นตรงที่เชื่อมระหว่างประจุทั้งสอง

กฎของคูลอมบ์ (Coulomb's Law)



สมการของแรงระหว่างประจุ ตามกฎของคูลอมบ์ คือ

$$F_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad \text{หน่วย N}$$

k เป็นค่าคงที่ขึ้นกับตัวกลางและระบบที่ใช้วัด

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8.9875 \times 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2$$

ϵ_0 ค่าสภาพยอมของสุญญากาศ หรือค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของสุญญากาศ

$$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ C}^2 / \text{Nm}^2$$

ต.ย. ประจุทรงกลมสองลูก แต่ละลูกมีประจุ 1 คูลอมบ์ เมื่อศูนย์กลางของประจุอยู่ห่างกัน 1 เมตร แรงระหว่างประจุที่เกิดขึ้นมีขนาดเท่าใด

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

ต.ย. จงหาแรงระหว่างประจุภายในอะตอมของไฮโดรเจน เมื่อระยะระหว่างโปรตอนและอิเล็กตรอนภายในอะตอมมีค่าเท่ากับ $5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$

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

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

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } F &= (9.0 \times 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2) \frac{(+1.6 \times 10^{-19} \text{ C})(-1.6 \times 10^{-19} \text{ C})}{(5.3 \times 10^{-11} \text{ m})^2} \\ &= 8.2 \times 10^{-8} \text{ N} \end{aligned}$$

คำตอบ ขนาดของแรงระหว่างประจุเท่ากับ 8.2×10^{-8} นิวตัน

สนามไฟฟ้า (Electric Field)

- Faraday เป็นผู้เสนอแนวความคิดของสนามไฟฟ้าโดยกล่าวว่า จะเกิดสนามไฟฟ้าขึ้นรอบๆ วัตถุที่มีประจุซึ่งเรียกว่าประจุต้นกำเนิด (source charge)
- ถ้านำประจุทดสอบ (test charge) q_0 เข้ามาในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าจะเกิดแรงกระทำต่อประจุทดสอบ
- ขนาดของสนามไฟฟ้าจะมีค่าเท่ากับอัตราส่วนของแรงที่สนามนั้นกระทำกับประจุทดสอบต่อหนึ่งหน่วยประจุทดสอบ

สนามไฟฟ้า (Electric Field)

สมการ สนามไฟฟ้า (E)

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad \text{หน่วย N/C}$$

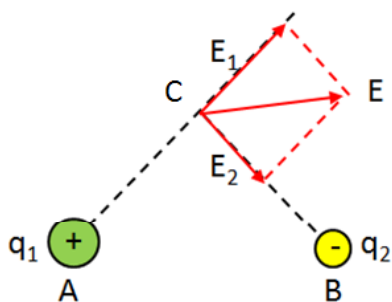
หรือ จากกฎของคูลอมบ์ จะได้

$$E = \frac{kq}{r^2} \quad \text{หน่วย N/C}$$

ในกรณีมีจุดประจุมากกว่าหนึ่ง สนามไฟฟ้าจะเป็นผลรวมเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าที่เกิดจากแต่ละจุดประจุ

สนามไฟฟ้า (Electric Field)

ในกรณีมีจุดประจุมากกว่าหนึ่ง สนามไฟฟ้าจะเป็นผลรวมเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าที่เกิดจากแต่ละจุดประจุ



กรณีสนามไฟฟ้าจากจุดประจุ q_1 และ q_2 ณ จุด C

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

กรณีสนามไฟฟ้าจากจุดประจุ n จุด

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

ต.ย. โพรตอนตัวหนึ่งวางอยู่ในสนามไฟฟ้า $2.0 \times 10^4 \text{ N/C}$ มีทิศในแนวแกน $+x$ จงหาแรงไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนโปรตอนนี้

วิธีทำ ขนาดประจุของโปรตอนคือ $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ แรงไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ประจุคือ

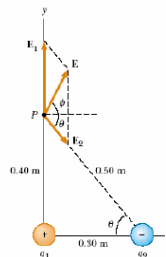
$$\begin{aligned} E &= \frac{F}{q_0} \\ F &= q_0 E \\ &= (1.6 \times 10^{-19} \text{ C})(2.0 \times 10^4 \text{ N/C}) \\ &= 3.2 \times 10^{-15} \text{ N} \end{aligned}$$

คำตอบ แรงไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนโปรตอนนี้เท่ากับ 3.2×10^{-15} นิวตัน

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

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

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



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

$-E_2 \sin \theta = -\frac{4}{5} E_2$ สามารถเขียนเป็นเวกเตอร์ได้เป็น

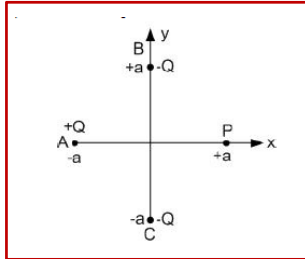
$$\vec{E}_1 = 3.9 \times 10^5 \hat{j} \text{ N/C}$$

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

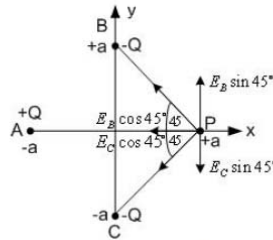
คำตอบ สนามไฟฟ้าลัพธ์ \vec{E} ที่จุด P หาได้จากการรวมสนาม \vec{E}_1 และ \vec{E}_2 ด้วยวิธี superposition

ต.ย. จากรูปแสดงประจุ Q มีหน่วยเป็นคูลอมบ์ ระยะทาง a มีหน่วยเป็น เมตร 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 $E = \frac{kq}{r^2}$
 จะได้ว่า $E_A = \frac{kQ}{4a^2}$
 $E_B = E_C = \frac{kQ}{2a^2}$

พิจารณาในแนวแกน y
 $\sum E_y = 0$ เนื่องจาก $E_B = E_C$

ต.ย. จากรูปแสดงประจุ Q มีหน่วยเป็นคูลอมบ์ ระยะทาง a มีหน่วยเป็น เมตร จงหาสนามที่จุด P

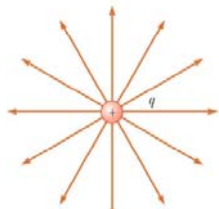
พิจารณาในแนวแกน X

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

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

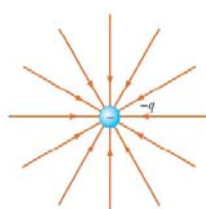
เส้นสนามไฟฟ้า

เส้นสนามไฟฟ้าจะออกจากประจุบวกและเข้าสู่ประจุลบ ดังรูป



(a)

ประจุบวก



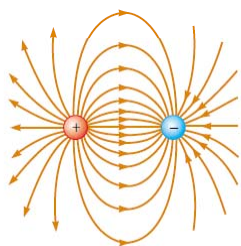
(b)

ประจุลบ

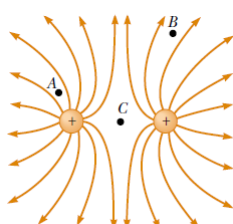
กฎการเขียนเส้นสนามโดยทั่วๆ ไป

- เส้นจะเริ่มต้นจากประจุบวกไปสิ้นสุดที่ประจุลบ
- จำนวนเส้นที่ออกจากประจุบวกหรือเส้นที่ไปสิ้นสุดที่ประจุลบจะแปรผันตามขนาดของประจุ
- เส้นสนามจะไม่ตัดผ่านกัน

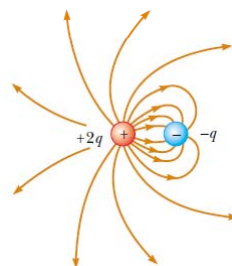
เส้นสนามไฟฟ้า



ประจุต่างชนิดกัน



ประจุเหมือนกัน



ขนาดประจุไม่เท่ากัน

ศักย์ไฟฟ้า (Electric Potential)

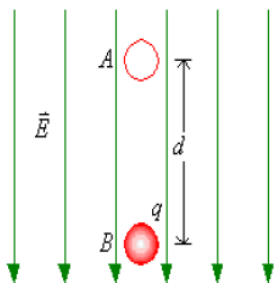
เมื่อประจุอยู่ในสนามไฟฟ้า ประจุจะมีพลังงานศักย์ (E_p) เนื่องจากแรงทางไฟฟ้าที่กระทำต่อประจุ

เราเรียก พลังงานศักย์ไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยประจุว่า “ศักย์ไฟฟ้า”

$$\text{ศักย์ไฟฟ้า (V)} = \frac{E_p}{q} \quad \text{หน่วย โวลต์ (V)}$$

ความต่างศักย์ไฟฟ้า

พิจารณาสนามไฟฟ้าที่มีทิศพุ่งในแนว $-y$ ดังรูป จุด A และ จุด B อยู่ห่างกันเป็นระยะ d



ความต่างศักย์ที่จุด B เมื่อเทียบกับจุด A

$$\text{หาได้จาก } V_B - V_A = \Delta V = -Ed$$

เครื่องหมายลบแสดงว่าจุด B อยู่ต่ำกว่าจุด A หรือ $V_B < V_A$ สนามไฟฟ้าจะชี้ไปในแนวที่ค่าความต่างศักย์มีค่าน้อยเสมอ

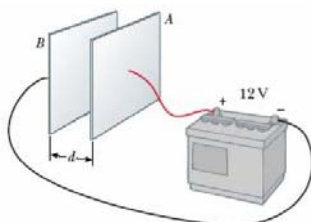
ความต่างศักย์ไฟฟ้า

พลังงานศักย์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนไป (ΔU)

$$\Delta U = q_0 \Delta V = -q_0 E d$$

ถ้า q_0 เป็นประจุลบ ค่า ΔU จะมีค่าเป็นบวก นั่นคือประจุลบที่เคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกับทิศของสนามไฟฟ้าจะได้รับพลังงานศักย์เพิ่มขึ้น ถ้าประจุลบนี้เคลื่อนที่อย่างอิสระจากจุดหยุดนิ่ง ประจุจะมีความเร่งในทิศตรงข้ามกับทิศทางของสนามไฟฟ้า

ต.ย. แบตเตอรี่ขนาด 12 V ต่อกับแผ่นตัวนำที่วางขนานกัน ระยะห่าง 0.3 cm ให้ถือว่าสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ระหว่างแผ่นขนานมีความสม่ำเสมอ จงคำนวณค่าสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นขนานนี้



วิธีทำ

สนามไฟฟ้ามีทิศจากแผ่นบวกสู่แผ่นลบ ศักย์ไฟฟ้าที่แผ่นบวกจึงมีค่ามากกว่าที่แผ่นลบ ความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นที่แผ่นขนานจะต้องเท่ากับความต่างศักย์ที่ตกคร่อมแบตเตอรี่ และทุก ๆ จุดบนแผ่นตัวนำจะมีค่าความต่างศักย์เท่ากันด้วย (ไม่คำนึงถึงความต่างศักย์ที่อาจตกคร่อมที่สายไฟ) จะได้สนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นคือ

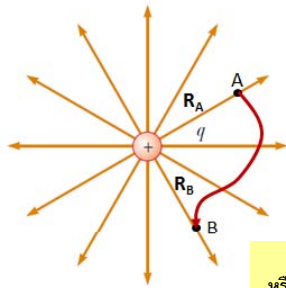
$$\begin{aligned} E &= \frac{|V_B - V_A|}{d} = \frac{12 \text{ V}}{0.30 \times 10^{-2} \text{ m}} \\ &= 4.0 \times 10^3 \text{ V/m} \end{aligned}$$

คำตอบ

สนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นคือ $4.0 \times 10^3 \text{ V/m}$

ศักย์ไฟฟ้าของจุดประจุ

เมื่อพิจารณางานเนื่องจากการเคลื่อนประจุ +1 จากจุด A ไปจุด B จะมีค่าเท่ากับความต่างศักย์ไฟฟ้าของจุด B เทียบกับจุด A นั่นเอง



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

ถ้า R_A อยู่ห่างเป็นระยะอนันต์ (∞) ศักย์ไฟฟ้าที่จุด A มีค่าเท่ากับ 0

จะได้
$$V_B = \frac{kq}{R_B}$$

หรือเขียนในรูปทั่วไป คือ
$$V = \frac{kq}{r}$$
 โดย r คือระยะห่างจากจุดกำเนิดสนามไฟฟ้า

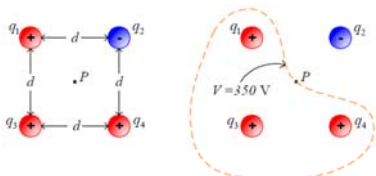
กรณีมีแหล่งกำเนิดสนามมากกว่าหนึ่ง จะสามารถหาศักย์ไฟฟ้าได้จากการรวมศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุจุดทุก ๆ จุดรวมกัน

$$V = \sum_{i=1}^n V_i$$

ต.ย. ประจุ q_1, q_2, q_3 และ q_4 วางอยู่ที่มุมทั้ง 4 ของสี่เหลี่ยมจัตุรัส ด้านแต่ละด้านยาว d จงหา ศักย์ไฟฟ้าที่จุด P ซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางของประจุนี้ ให้ $q_1 = +12 \text{ nC}, q_2 = -24 \text{ nC}, q_3 = +31 \text{ nC}$ และ $q_4 = +17 \text{ nC}, d = 1.3 \text{ m}$

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

ศักย์ไฟฟ้ารวมที่จุด P คือ
$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 + q_2 + q_3 + q_4}{r}$$



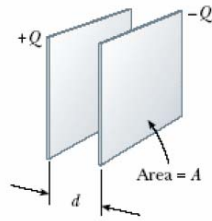
$$= \frac{(9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2) ((12 - 24 + 31 + 17) \times 10^{-9} \text{ C})}{0.919}$$

$$= 350 \text{ V}$$

ตอบ ศักย์ไฟฟ้ารวมที่จุด P มีค่าเท่ากับ 350 V

เส้นประที่แสดงไว้ในรูปทางขวามือนั้น แสดงให้เห็นระนาบของผิวสมศักย์ ทุก ๆ จุดบนระนาบนี้จะมีค่าศักย์ไฟฟ้าเท่ากับจุด P

ความจุไฟฟ้า



เมื่อนำตัวนำไฟฟ้ารูปทรงใดๆ 2 ชิ้นวางอยู่ในสุญญากาศหรือตัวกลางที่เป็นฉนวน ใส่ประจุลงบนตัวนำทั้งสอง โดยให้ตัวนำแต่ละชิ้นมีประจุต่างชนิดกันขนาดเท่ากัน โดยจะทำให้ประจุสุทธิมีค่าเป็นศูนย์ เราเรียกตัวนำทั้งสองว่า “ตัวเก็บประจุ (Capacitor)”

ขนาดของสนามไฟฟ้า และความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างตัวนำทั้งสองขึ้นอยู่กับขนาดประจุที่สะสมบนตัวนำ

$$Q \propto V$$

$$Q = CV$$

เมื่อ C คือความจุไฟฟ้าของตัวนำ หน่วย คู
ลอมป์/โวลต์ หรือ ฟารัด (F)

ในวงจรไฟฟ้า ใช้สัญลักษณ์ || แทนตัวเก็บประจุที่มีค่าคงที่ ||| แทนตัวเก็บประจุที่ปรับค่าได้

การต่อตัวเก็บประจุ

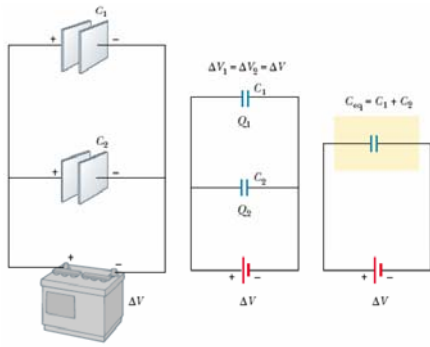
การต่อตัวเก็บประจุเข้าด้วยกันมี 2 แบบ คือ

- การต่อแบบขนาน
- การต่อแบบอนุกรม

ประโยชน์ของการต่อตัวเก็บประจุคือ สามารถได้ตัวเก็บประจุตามที่ต้องการ เนื่องจากตัวเก็บประจุที่มีขายในท้องตลาดมีเพียงบางค่าเท่านั้น

การต่อตัวเก็บประจุ

การต่อแบบขนาน: การต่อแบบนี้จะทำให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วตัวเก็บประจุแต่ละตัวมีค่าเท่ากัน คือ V



ให้ q_1 เป็นประจุบนตัวเก็บประจุ C_1 , $q_1 = C_1V$
 ให้ q_2 เป็นประจุบนตัวเก็บประจุ C_2 , $q_2 = C_2V$
 ให้ Q เป็นประจุทั้งหมดบนตัวเก็บประจุทั้งสองตัว

$$Q = q_1 + q_2$$

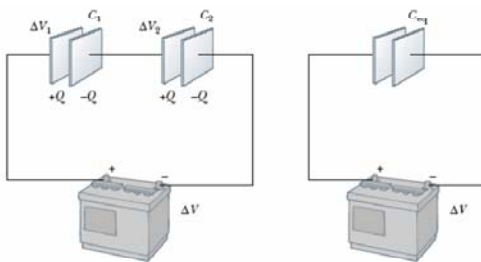
$$Q = C_{eq}V$$

$$= V(C_1 + C_2)$$

จะได้ $C_{eq} = C_1 + C_2$

การต่อตัวเก็บประจุ

การต่อแบบอนุกรม: การต่อแบบนี้จะทำให้ประจุบนตัวเก็บประจุแต่ละตัวมีค่าเท่ากัน



$$Q = q_1 = q_2$$

$$q_1 = C_1V_1$$

$$q_2 = C_2V_2$$

V_1 และ V_2 เป็นศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุแต่ละตัว

$$V = V_1 + V_2$$

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

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

จบบทที่ 9
อย่าลืมจัดทำแบบฝึกหัดนะคะ

ดร. พนิดา หล่อวงศ์ตระกูล
Dang_phy@hotmail.com

