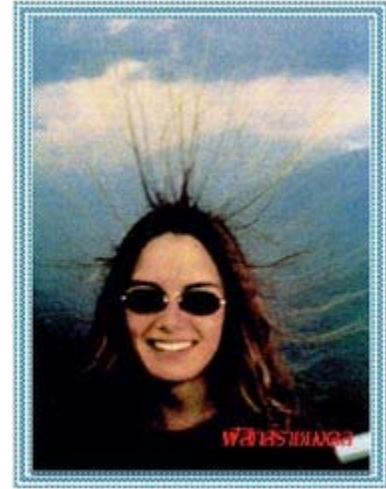


บทที่ 3

ศักย์ไฟฟ้าและพลังงานศักย์

ผมชี้ตั้ง

เหตุการณ์มหัศจรรย์กลางสวนสาธารณะ Sequoia ประเทศสหรัฐอเมริกา เกิดขึ้นเมื่อหญิงสาวคนหนึ่ง ถูกบันทึกด้วยภาพถ่าย ในลักษณะผมฟูเหี้ยมตรงขึ้นแทบทุกเส้นบนศีรษะ หลังจากที่เจ้าหล่อนและน้องชาย ซึ่งเห็นเหตุการณ์พากันกลับออกมาจากสวนสาธารณะเพียง 5 นาที สายฟ้าก็ฟาดเปรี้ยงลงมาท่ามกลางผู้คน มีผู้บาดเจ็บกว่า 7 ราย เป็นอันตรายถึงชีวิต 1 ราย **น่าสงสัยไหมว่าเหตุใดผมของเจ้าหล่อนจึงชี้ฟูขึ้นมาได้ก่อนที่จะมีฟ้าผ่า ?????? [อยากรู้คลิกครับ](#)**

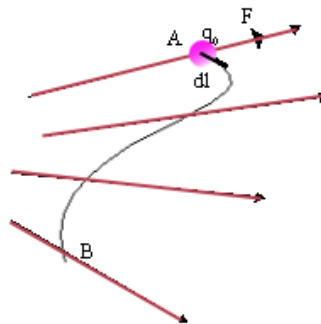


3-1 ศักย์ไฟฟ้าและความต่างศักย์

3-1-1 นิยามของศักย์ไฟฟ้า

การนิยามศักย์ไฟฟ้าจะเริ่มต้นจาก "งาน" โดยให้ประจุขนาด q_0 วางอยู่ในสนามไฟฟ้า \vec{E} ขนาดและทิศทางไม่จำเป็นต้องคงที่ จะเกิดแรงทางไฟฟ้า \vec{F} กระทำบนประจุ q_0 ขนาดของแรงคือ $\vec{F} = q_0 \vec{E}$ ผลของแรงทำให้ q_0 เคลื่อนที่ด้วยความเร่งในทิศทางของสนามไฟฟ้า

ถ้าต้องการให้ประจุ q_0 เคลื่อนที่ในทิศทางสวนกับสนามต้องใส่แรงภายนอกมีขนาดอย่างน้อยที่สุดเท่ากับ $-\vec{F} = -q_0 \vec{E}$ จึงทำให้ q_0 พอดีเคลื่อนในสนามไฟฟ้าได้



รูป 3-1 เคลื่อนประจุ q_0 ฝาสนามไฟฟ้าจากจุด A ไปยังจุด B



ต้องการหางานที่ใช้ในการเคลื่อนที่ประจุจาก A ไปยัง B แบ่งเส้นทางการเคลื่อนที่ออกเป็นส่วนเล็ก ๆ ขนาด $d\ell$ งานปริมาณเล็กที่เกิดขึ้นบนเส้นทางนี้ คือ dW จะได้

$$\begin{aligned} dW &= \text{แรงคูณกับการขจัดในแนวแรง} \\ &= -F \cos \theta d\ell \\ &= -q_0 \vec{E} \cdot d\vec{\ell} \end{aligned}$$

งานทั้งหมดที่ใช้ในการเคลื่อนที่ประจุจาก A ไปยัง B คือ $W = -q_0 \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{\ell}$

นิยามความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จุด B เทียบกับจุด A คืองานที่ทำในการเคลื่อนประจุบวก 1 หน่วยจาก A ไปยัง B

$$V = \frac{W}{q_0} = -\int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{\ell} \quad \text{J/C หรือ V} \quad (3-1)$$

เราเรียกจุด A ว่าจุดอ้างอิง ถ้าเลือก A ไปไว้ไกล ๆ ($A \rightarrow \infty$) สมการจะกลายเป็น

$$V = -\int_{\infty}^B \vec{E} \cdot d\vec{\ell} \quad (3-2)$$

2)

จึงนิยามความหมายของศักย์ไฟฟ้า คือ "งานที่ทำในการเคลื่อนประจุบวกขนาดหนึ่งหน่วยจากระยะอนันต์ถึงจุด B หรือคือความต่างศักย์ที่จุด B เทียบกับตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์" ในทางปฏิบัติจะถือว่าพื้นโลกมีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์

หน่วยของความต่างศักย์ไฟฟ้ามีหน่วยเป็น โวลต์ (V) หรือ J/C ซึ่งเป็นหน่วยวัดพลังงานต่อประจุหนึ่งหน่วย หรืออาจกล่าวได้ว่า เมื่อเคลื่อนประจุ 1 C ผ่านบริเวณที่มีความต่างศักย์ไฟฟ้า 1 V จะได้งานในการกระทำเช่นนี้ เท่ากับ 1 J

หน่วยวัดพลังงานในวิชาฟิสิกส์อะตอมหรือฟิสิกส์นิวเคลียร์ จะมีหน่วยวัดเป็น electron volt (eV) พลังงาน 1 eV หมายถึงพลังงานของอิเล็กตรอน (หรือ โปรตอน) 1 ตัวที่มีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงเมื่ออิเล็กตรอนนี้เคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่มีความต่างศักย์ไฟฟ้า 1 V เนื่องจากประจุ 1 ตัวมีค่า 1.60×10^{-19} C ความสัมพันธ์ระหว่าง eV และ J หาได้ดังนี้

$$1 \text{ eV} = (1.60 \times 10^{-19} \text{ C})(1 \text{ V}) = 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}$$

ถ้าอิเล็กตรอนในหลอดโทรทัศน์มีความเร็วประมาณ 5.0×10^7 m/s อิเล็กตรอนนี้มีพลังงานจลน์ 1.1×10^{-15} J หรือเท่ากับ 7.1×10^3 eV อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากหยุดนิ่งจนมีความเร็วค่าดังกล่าวจะต้องผ่านบริเวณที่มีความต่างศักย์สูงถึง 7.1 keV

3-1-2 ความต่างศักย์ไฟฟ้าในสนามไฟฟ้าที่มีค่าสม่ำเสมอ

กล่าวถึงความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุดสองจุดในสนามไฟฟ้าที่มีค่าคงที่ ค่าความต่างศักย์ที่ได้จะไม่ขึ้นอยู่กับเส้นทางการเคลื่อนที่ประจุระหว่างจุดสองจุด นั่นคืองานที่ได้จากการเคลื่อนประจุระหว่างจุด A ไปยังจุด B ในสนามไฟฟ้าที่มีค่าสม่ำเสมอจะมีค่าเท่ากันเสมอทุก ๆ เส้นทาง จึงเรียกสนามไฟฟ้าที่มีค่าสม่ำเสมอนี้ว่าเป็นสนามอนุรักษ์ (Conservative field)



บทความออนไลน์

Work Done: $h \neq 0$

$W_g = (mg)\Delta h$

$h = 0$

Work Done: $V \neq 0$

$W_e = (q)\Delta V$

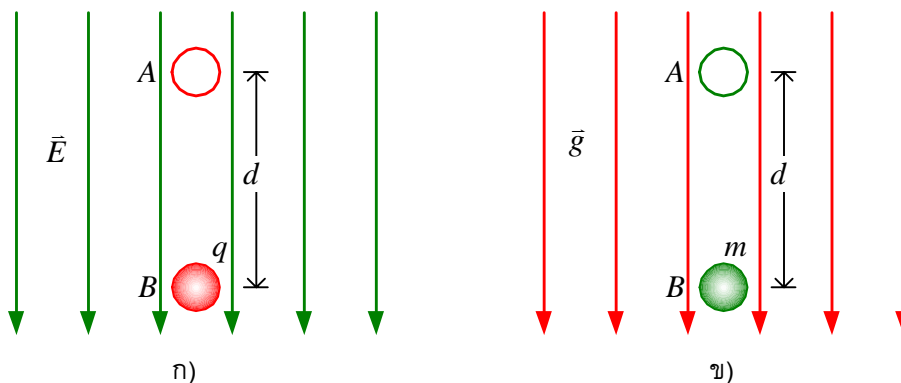
$V = 0$

Look!
ศักย์ไฟฟ้า V เทียบได้กับความสูง h วัดจากพื้น

แนวคิดของ "โวลต์"

เป็นแนวคิดเดียวกับความสูง ในสนามแรงโน้มถ่วง และยังเป็นแนวคิดเดียวกันกับอุณหภูมิตั้งแต่ในเรื่องของความร้อน โดยการเปรียบเทียบกับระดับอ้างอิง และเรียกปริมาณที่ใช่ว่า ศักย์ไฟฟ้า ศักย์โน้มถ่วง และอุณหภูมิตั้งแต่ โดยกำหนดขึ้นเป็นตัวเลขสามารถวัดเป็นปริมาณได้ ศูนย์โวลต์มีความหมายว่า เป็นโวลต์ที่เทียบกับพื้นผิวโลก ดังนั้นภาษาทางไฟฟ้าจึงเรียกว่า ดิน หรือ กราวด์ ในกรณีเดียวกันเมื่อพลังงานศักย์โน้มถ่วงเป็นศูนย์ เมื่อเทียบกับพื้นโลก และเช่นเดียวกันกับ อุณหภูมิศูนย์สัมบูรณ์ คือ อุณหภูมิศูนย์องศาเคลวิน เป็นต้น [คลิกครับ](#) 🌟

เริ่มต้นด้วยการพิจารณาสถาปัตยกรรมไฟฟ้าที่มีทิศทางในแนว $-y$ ดังรูป 3-2 ก) จุด A และ จุด B อยู่ห่างกันเป็นระยะ d (โดยวัดในแนวเส้นตรงขนานกับทิศของ E)



รูป 3-2 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของประจุในสนามไฟฟ้ากับมวลในสนามโน้มถ่วง



ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จุด B เทียบกับจุด A หาได้จาก

$$\begin{aligned} V_B - V_A &= \Delta V = -\int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = -\int_A^B E \cos \theta d\ell \\ &= -\int_A^B E d\ell \end{aligned}$$

เพราะว่า E มีค่าคงตัว สามารถนำ E ออกจากเครื่องหมายอินทิเกรตได้

$$\Delta V = -E \int_A^B d\ell = -Ed$$

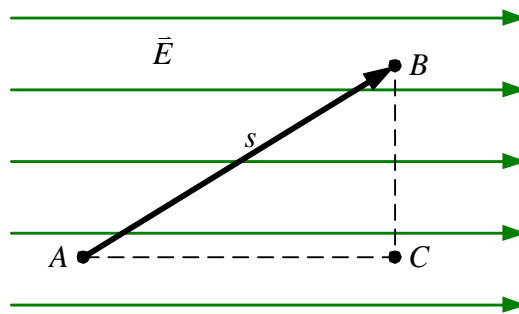
เครื่องหมายลบแสดงว่าจุด B อยู่ต่ำกว่าจุด A หรือ $V_B < V_A$ สนามไฟฟ้าจะมีทิศชี้ไปในแนวที่ค่าความต่างศักย์มีค่าน้อยลงเสมอ

ให้ประจุทดสอบที่ใช้ในการเคลื่อนที่จากจุด A ไปยังจุด B เป็นประจุบวกมีค่า q_0 พลังงานศักย์ทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนไป (ΔU) คือ

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

จากสมการนี้จะเห็นว่าเมื่อ q_0 เป็นประจุบวก พลังงานศักย์ที่เปลี่ยนไปจะมีค่าติดลบ นั่นคือสนามไฟฟ้าเป็นฝ่ายทำให้เกิดงานเมื่อเคลื่อนประจุบวกไปในทิศเดียวกันกับทิศของสนามไฟฟ้า (ซึ่งคล้ายกับ งานซึ่งทำโดยสนามโน้มถ่วงของโลกเมื่อมวล m ตกอย่างอิสระ ในรูป 3-2 ข)

ถ้า q_0 เป็นประจุลบ ค่า ΔU จะมีค่าเป็นบวก นั่นคือประจุลบที่เคลื่อนที่ในทิศเดียวกับทิศของสนามไฟฟ้าจะได้รับพลังงานศักย์เพิ่มขึ้น ถ้าประจุลบนี้เคลื่อนที่อย่างอิสระจากจุดหยุดนิ่ง ประจุจะมีความเร่งในทิศตรงข้ามกับทิศของสนามไฟฟ้า



รูป 3-3 ประจุบวกเคลื่อนที่จากจุด A ไปยังจุด B ทิศการเคลื่อนที่ไม่ขนานกับทิศของ E

เมื่อพิจารณากรณีที่ประจุเคลื่อนที่ระหว่างจุด 2 จุดดังรูป 3-3 ให้ s เป็นระยะกระจัดระหว่างจุด A และจุด B ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จุด B เทียบกับจุด A คือ

$$\Delta V = -\int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = -\vec{E} \cdot \int_A^B d\vec{\ell} = -\vec{E} \cdot \vec{s}$$



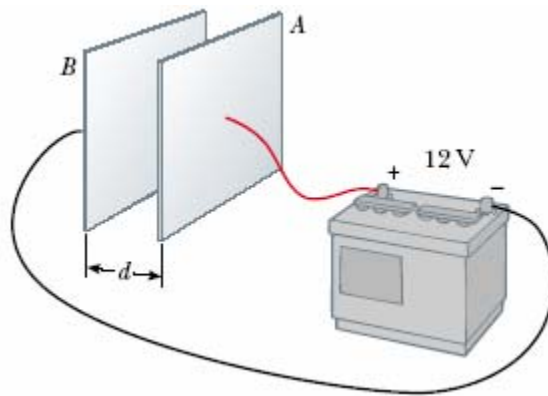
พลังงานศักย์ของประจุที่เปลี่ยนแปลงไปคือ

$$\Delta U = q_0 \Delta V = -q_0 \vec{E} \cdot \vec{s}$$

จะเห็นว่าทุก ๆ จุด ที่อยู่ในแนวเส้น BC จะมีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเทียบกับจุด A เท่ากันเสมอ หรือ ระบายที่ตั้งฉากกับทิศของสนามไฟฟ้า ที่มีค่าคงที่จะมีค่าศักย์ไฟฟ้าเท่ากันทุกจุดบนระนาบนี้ ระนาบที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าเท่ากันทุกจุดจะเรียกพื้นที่ผิวนี้ว่าเป็น ผิวสมศักย์ (Equipotential surface)

ตัวอย่าง 3-1 แบตเตอรี่ขนาด 12 V ต่อกับแผ่นตัวนำที่วางขนานกัน ระยะห่าง 0.3 cm ให้ถือว่าสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ระหว่างแผ่นขนานมีความสม่ำเสมอ (โดยคิดว่าแผ่นขนานมีขนาดใหญ่มากเมื่อเทียบกับระยะห่างระหว่างแผ่น และไม่คิดถึงสนามตรงบริเวณขอบของแผ่นซึ่งมีค่าไม่ต่อเนื่อง) จงหาค่าสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นขนานนี้

หลักการคำนวณ สนามไฟฟ้ามีทิศจากแผ่นบวกสู่แผ่นลบ ศักย์ไฟฟ้าที่แผ่นบวกจึงมีค่ามากกว่าที่แผ่นลบ ความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นที่แผ่นขนานจะต้องเท่ากับความต่างศักย์ที่ตกคร่อมแบตเตอรี่ และทุก ๆ จุดบนแผ่นตัวนำ จะมีค่าความต่างศักย์เท่ากันด้วย (ไม่คำนึงถึงความต่างศักย์ที่อาจตกคร่อมที่สายไฟ) จะได้สนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นคือ



รูป 3-4 แบตเตอรี่เชื่อมต่อกับแผ่นขนานที่มีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับระยะห่าง

$$E = \frac{|V_B - V_A|}{d} = \frac{12 \text{ V}}{0.30 \times 10^{-2} \text{ m}}$$

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

การจัดวางแผ่นขนานในลักษณะนี้เรียกว่าตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน ซึ่งจะกล่าวต่อไปในบทเรื่องตัวเก็บประจุ

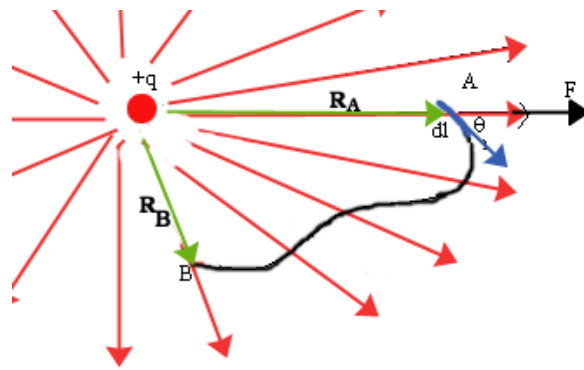


3-2 ตัวอย่างการหาคักย์ไฟฟ้า

3-2-1 ศักย์ไฟฟ้าของประจุจุด

การหาความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จุด B เทียบกับจุด A ในสนามไฟฟ้า \vec{E} ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ประจุขนาด q สวนกับทิศสนามไฟฟ้า หาได้จาก

$$V_{BA} = V_B - V_A = -\int_A^B E \cos \theta dl$$



รูป 3-5 ความต่างศักย์ที่จุด B เทียบกับ A ซึ่งเกิดจากสนามของประจุจุด

ในที่นี้ $E = kq/r^2$ เมื่อแตก dl ไปในทิศทางของสนามคือ พบว่า $dl \cos \theta = dr$ แทนค่าลงไปในสมการจะได้

$$\begin{aligned} V_B - V_A &= -\int_{r_A}^{r_B} \frac{kq}{r^2} dr \\ &= kq \left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right) \end{aligned}$$

ถ้า r_A อยู่ห่างเป็นระยะ ∞

$$V_A = 0$$

ดังนั้น

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

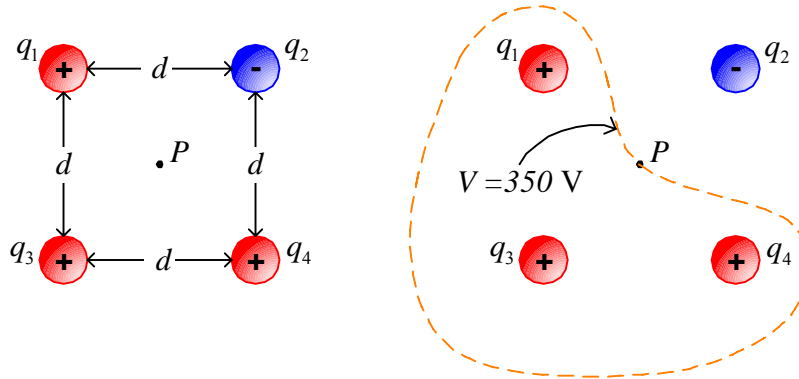
เขียนอยู่ในรูปทั่วไป

$$V = \frac{kq}{r} \quad (3-3)$$

ถ้าตำแหน่งที่ต้องการคำนวณหาคักย์ไฟฟ้านั้นอยู่ในสนามไฟฟ้าที่เกิดจากประจุหลายตัว ให้คำนวณหาคักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากประจุแต่ละตัวแล้วหาผลรวมของศักย์ไฟฟ้าแบบพีชคณิตโดยไม่ต้องคำนึงถึงทิศทาง



ตัวอย่าง 3-2 ประจุ q_1 , q_2 , q_3 และ q_4 วางอยู่ที่มุมทั้งสี่ของสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีด้านแต่ละด้านยาว d จงหาศักย์ไฟฟ้าที่จุด P ซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางของสี่เหลี่ยมจัตุรัสนี้ ให้ $q_1 = +12 \text{ nC}$, $q_2 = -24 \text{ nC}$, $q_3 = +31 \text{ nC}$ และ $q_4 = +17 \text{ nC}$ $d = 1.3 \text{ m}$



รูป 3-6 ประจุอยู่ที่มุมสี่เหลี่ยมจัตุรัส

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

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

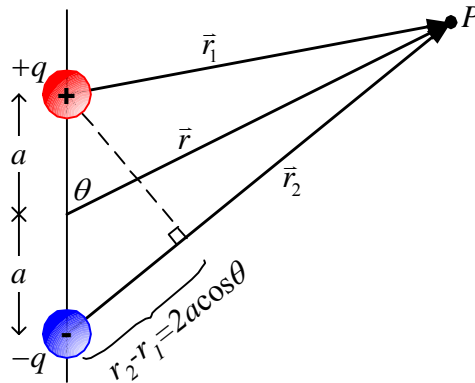
เส้นประที่แสดงไว้ในรูปทางขวามือนั้น แสดงให้เห็นระนาบของผิวสมศักย์ ทุก ๆ จุดบนระนาบนี้จะมีค่าศักย์ไฟฟ้าเท่ากับจุด P



3-3-2 ศักย์ของขั้วคู่ไฟฟ้า

ขั้วคู่ไฟฟ้าคือ ประจุไฟฟ้าสองประจุต่างชนิดกันขนาดเท่ากันวางห่างกันเป็นระยะใกล้มากๆ เมื่อเทียบกับจุดที่จะหาศักย์ไฟฟ้า

ตัวอย่าง 3-3 จงหาศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากขั้วคู่ไฟฟ้าวางห่างกันเป็นระยะ $2a$ ที่ระยะ r ใด ๆ
 ตั้งภาพให้ $r \gg 2a$



รูป 3-7 ศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจาก ขั้วคู่ไฟฟ้า

หลักการคำนวณ ให้ V_+ เป็นศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากประจุ $+q$

$$V_+ = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r_1}$$

ให้ V_- เป็นศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากประจุ $-q$

$$V_- = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{-q}{r_2}$$

ศักย์ไฟฟารวมที่จุด P เท่ากับ $V = V_+ + V_-$

$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

แต่ $r \gg a$

$$r_1 = (r^2 + a^2 - 2ra \cos \theta)^{1/2}$$

$$\frac{1}{r_1} = (r^2 + a^2 - 2ra \cos \theta)^{-1/2}$$



$$\frac{1}{r_1} = \frac{1}{r} \left(1 + \frac{a}{r} \cos \theta + \dots\right)$$

ในทำนองเดียวกัน

$$\frac{1}{r_2} = \frac{1}{r} \left(1 + \frac{a}{r} \cos \theta + \dots\right)$$

แทนค่า r_1 และ r_2 จะได้

$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r} + \frac{a}{r^2} \cos \theta - \frac{1}{r} + \frac{a}{r^2} \cos \theta \right)$$

$$V = \frac{q(2a \cos \theta)}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (3-4)$$

ศักย์ไฟฟ้าของขั้วคู่ไฟฟ้าจะแปรผกผันกับ r^2 ศักย์ไฟฟ้าของจุดประจุจะแปรผกผันกับ r ศักย์ไฟฟ้าของขั้วคู่ไฟฟ้ายิ่งขึ้นอยู่กับมุม θ ด้วย ศักย์ไฟฟ้ามีค่ามากที่สุดเมื่อจุด P อยู่ในแนวแกน ($\theta = 0^\circ$) ของขั้วคู่ไฟฟ้า จะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อจุด P อยู่ในแนวเส้นที่ตั้งฉาก ($\theta = 90^\circ$) กับแกนของขั้วคู่ไฟฟ้าที่จุดแบ่งครึ่ง

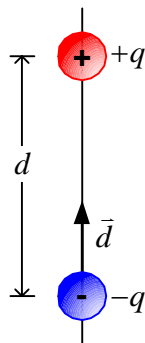
ให้ $d = 2a$ ดังนั้น $q(2a) = qd$ ปริมาณ qd นี้เรียกว่า โมเมนต์ขั้วคู่ไฟฟ้า (electric dipole moment) เป็นปริมาณเวกเตอร์โดยกำหนด \vec{d} ให้มีทิศจากประจุลบไปยังประจุบวก

ให้

$$\vec{p} = q\vec{d}$$

ดังนั้นจากสมการ (3-4) ศักย์ของไดโพลที่ตำแหน่งห่างออกไป r มีค่า

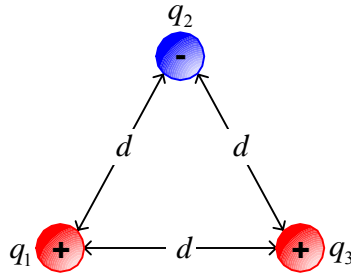
$$V = \frac{\vec{p} \cdot \hat{r}}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (3-5)$$



รูป 3-8 แสดงโมเมนต์ขั้วคู่ไฟฟ้า



ตัวอย่าง 3-4 ประจุอยู่ที่มุมของสามเหลี่ยมด้านเท่าที่มีความยาวด้านละ d กำหนดให้ $q_1 = +q$, $q_2 = -4q$, $q_3 = +2q$, $d = 12 \text{ cm}$ โดยที่ $q = 150 \text{ nC}$ จงหาพลังงานศักย์ทางไฟฟ้าของระบบประจุนี้



รูป 3-9 จุดประจุวางอยู่ที่มุมของสามเหลี่ยมด้านเท่า

หลักการคำนวณ การหาพลังงานศักย์ของระบบเริ่มต้นด้วย การคิดว่าให้ประจุ q_1 วางอยู่ที่ตำแหน่งมุมซ้ายของสามเหลี่ยม ประจุ q_2 ถูกเคลื่อนที่จากตำแหน่งอนันต์ มาวางที่ตำแหน่งมุมบนของสามเหลี่ยม พลังงานที่ใช้ในการเคลื่อนประจุ q_2 มาวางไว้ตำแหน่งนี้คือ

$$U_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{d}$$

จากนั้นนำประจุ q_3 เคลื่อนที่จากระยะอนันต์มาวางไว้ที่ตำแหน่ง มุมล่างซ้ายของสามเหลี่ยม โดยผ่านสนามไฟฟ้าที่เกิดจาก q_1 และ q_2 ศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจาก q_1 ณ ที่ ตำแหน่ง q_3 อยู่ คือ V_1 ศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจาก q_2 ณ ที่ ตำแหน่ง q_3 อยู่ คือ V_2 พลังงานศักย์ทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบน q_3 คือ

$$U_{13} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_3}{d} \quad \text{และ}$$

$$U_{23} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2 q_3}{d}$$

พลังงานศักย์ทั้งหมดของระบบ (U) คือผลรวมของพลังงานศักย์ที่เกิดขึ้นที่ประจุแต่ละตัว (ไม่ว่าเราจะลำดับการวางประจุอย่างไร ผลรวมนี้จะเท่ากันเสมอ)

$$\begin{aligned} U &= U_{12} + U_{13} + U_{23} \\ &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q_1 q_2}{d} + \frac{q_1 q_3}{d} + \frac{q_2 q_3}{d} \right) \\ &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q(-4q)}{d} + \frac{q(2q)}{d} + \frac{(2q)(-4q)}{d} \right) \end{aligned}$$



$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{10q^2}{d}$$

แทนค่า q และ d จะได้

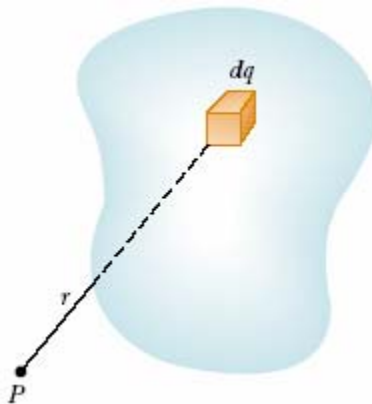
$$U = -1.7 \times 10^{-2} \text{ J}$$

พลังงานศักย์มีค่าติดลบหมายถึงเราต้องให้งาน หรือใช้แรงภายนอกในการเคลื่อนประจุจากหยุดนิ่งจากระยะอนันต์มาวางไว้ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของสามเหลี่ยม หรือถ้าจะให้ประจุระจัดกระจายจากรูปสามเหลี่ยมนี้ ระบบจะต้องคายพลังงานออกมาเท่ากับ $+1.7 \times 10^{-2} \text{ J}$

3-3-3 ศักย์ไฟฟ้าของประจุต่อเนื่อง

ถ้าการกระจายของประจุมีลักษณะต่อเนื่องไม่สามารถจำแนกเป็นจุดประจุได้ การหาศักย์ไฟฟ้าในกรณีนี้ทำได้โดยแบ่งประจุออกเป็นส่วนย่อย ๆ ศักย์ไฟฟ้าย่อย ๆ (dV) อันเกิดจากประจุขนาดเล็ก ๆ (dq) มีค่าเป็น

$$dV = \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r}$$



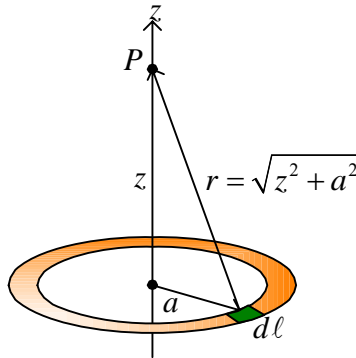
รูป 3-10 ประจุอยู่กันอย่างต่อเนื่อง

ต้องการหาศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากประจุทั้งก้อนทำได้โดยอินทิเกรต dV ทุก ๆ ค่าของ q

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{dq}{r} \quad (3-6)$$



ตัวอย่าง 3-5 ประจุกระจายเป็นรูปวงแหวนรัศมี a มีความหนาแน่นประจุเท่ากับ λ C/m วางอยู่ในระนาบ xy มีจุดศูนย์กลางของวงแหวนอยู่ที่จุดกำเนิด จงหาค่าศักย์ไฟฟ้าที่จุดใด ๆ บนแกน z



รูป 3-11 การหาค่าศักย์ไฟฟ้าจากประจูปวงแหวน

หลักการคำนวณ ให้ P เป็นจุดที่ต้องการหาค่าศักย์อยู่ในแนวแกน z

ประจูปวงแหวนอยู่ห่างจากจุด P เป็นระยะเท่า ๆ กันคือ $\sqrt{z^2 + a^2}$

จาก
$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{dq}{r}$$

ในที่นี้
$$dq = \lambda dl \quad , \quad r = \sqrt{z^2 + a^2}$$

ดังนั้น
$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{\lambda dl}{\sqrt{z^2 + a^2}}$$

เพราะ dl คือเส้นรอบวงกลมที่มีรัศมี a นั่นเอง

จะได้
$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2\lambda\pi a}{\sqrt{z^2 + a^2}}$$

กำหนดให้ $2\lambda\pi a = q$ สมการจะกลายเป็น

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{\sqrt{z^2 + a^2}}$$

(3-7)

ถ้าจุด P อยู่ห่างจากวงแหวนมีค่ามาก ๆ ($z \gg a$) สมการข้างบนสามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{z\sqrt{1 + \frac{a^2}{z^2}}}$$

เพราะว่า a^2/z^2 มีค่าน้อยมาก จนถึงว่ามีค่าเป็นศูนย์ได้

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{z}$$



3-3 ความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้ากับศักย์ไฟฟ้า

จากนิยามของศักย์ไฟฟ้าทำให้ได้สมการ $V = -\int \vec{E} \cdot d\vec{r}$ จัดรูปใหม่ให้อยู่ในรูปสมการดิฟเฟอเรนเชียล จะได้

$$dV = -\vec{E} \cdot d\vec{r} = -E_x dx - E_y dy - E_z dz$$

เพราะว่า V เป็นฟังก์ชันที่ขึ้นอยู่กับการขจัด ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดของ V คือ

$$dV = \frac{\partial V}{\partial x} dx + \frac{\partial V}{\partial y} dy + \frac{\partial V}{\partial z} dz$$

เมื่อเทียบสัมประสิทธิ์ จะได้

$$\left. \begin{aligned} E_x &= -\frac{\partial V}{\partial x} \\ E_y &= -\frac{\partial V}{\partial y} \\ E_z &= -\frac{\partial V}{\partial z} \end{aligned} \right\} \quad (3-8)$$

หรือเขียนสั้น ๆ ว่า

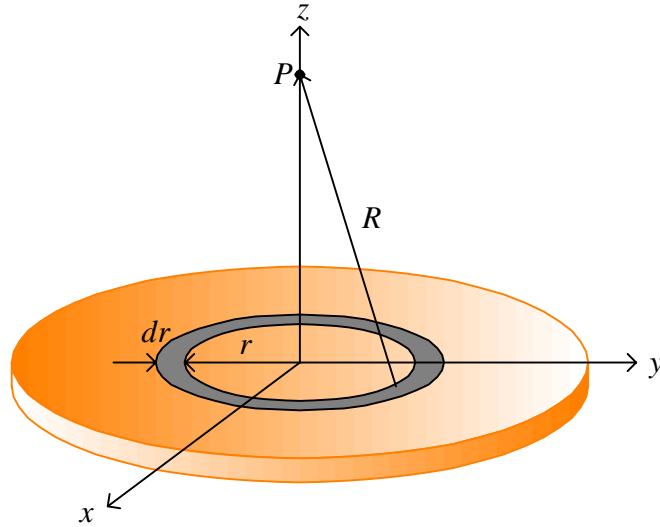
$$\vec{E} = -\vec{\nabla}V \quad (3-9)$$

ในการคำนวณหาสนามไฟฟ้าจึงทำได้โดยหาศักย์ไฟฟ้าที่จุดนั้น การเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าในแนวแกนแต่ละแกนจะเป็นสนามไฟฟ้าย่อยในแนวแกนนั้น สนามไฟฟ้ามีหน่วยอีกแบบหนึ่ง คือ โวลต์/เมตร (V/m)

ตัวอย่าง 3-6 จงหาสนามไฟฟ้าที่จุดใด ๆ บนแกน z ซึ่งเกิดจากประจุความหนาแน่น σ C/m² กระจายเป็นรูปจานกลมรัศมี a วางอยู่ในระนาบ xy

หลักการคำนวณ ให้ P เป็นตำแหน่งที่ต้องการหาสนามไฟฟ้า ก่อนอื่นต้องหาศักย์ไฟฟ้าเสียก่อน โดยแบ่งจานกลมออกเป็นวงแหวนเล็ก ๆ จานกลมเป็นเสมือนว่าเกิดจากวงแหวนเล็ก ๆ เรียงซ้อนกันพิจารณาวงแหวนอันหนึ่ง(อันที่แรงเสียดทาน) อยู่ห่างจุดศูนย์กลางเป็นระยะ r วงแหวนมีความกว้าง dr





รูป 3-12 ประจุรูปจานกลมรัศมี a

ให้ dq เป็นขนาดประจุนวงแหวนนี้มีค่า $= 2\pi r\sigma dr$

ประจุ dq ทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าขนาด dV ที่จุด P โดยที่

$$dV = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{R}$$

ในที่นี้ $R = (r^2 + z^2)^{\frac{1}{2}}$ แทนค่า dq และ R จะได้

$$dV = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \frac{rdr}{\sqrt{r^2 + z^2}}$$

ศักย์ไฟฟ้าที่จุด P เกิดจากวงแหวนเล็ก ๆ หลายวงเรียงซ้อนกันตั้งแต่ $r = 0$ ถึง $r = a$ ดังนั้น

$$V = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \int_{r=0}^{r=a} \frac{rdr}{\sqrt{r^2 + z^2}}$$

$$V = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} (\sqrt{a^2 + z^2} - z)$$

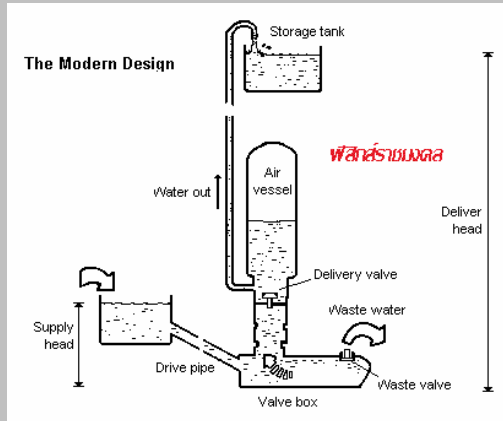
ต้องการหาสนามไฟฟ้าที่จุด P คือ $\vec{E} = -\nabla V$

จะได้
$$\vec{E} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left(1 - \frac{z}{\sqrt{z^2 + a^2}}\right) \hat{k} \quad \text{V/m}$$



3-4 ความจุไฟฟ้าและสารไดอิเล็กตริก

บทความออนไลน์

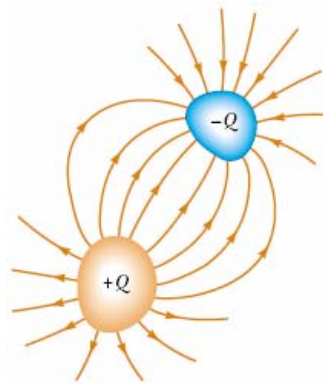


เครื่องตะบันน้ำกับตัวเก็บประจุไฟฟ้า

คุณเคยสงสัยไหมว่า ตัวเก็บประจุทำงานอย่างไร และ เครื่องตะบันน้ำทำงานอย่างไร ทั้งสองมีความสัมพันธ์และเกี่ยวข้องกับในลักษณะใด ฟิสิกส์ราชมงคลจะบอกเล่าความสัมพันธ์นี้ให้ทราบในหน้าถัดไป [คลิกครับ](#) ☀

3-4-1 นิยามของความจุไฟฟ้า

เมื่อนำตัวนำไฟฟ้ารูปทรงใด ๆ 2 ชิ้นวางอยู่ในสุญญากาศ หรือตัวกลางที่เป็นฉนวน ใส่ประจุลงบนตัวนำทั้งสอง โดยให้ตัวนำชิ้นหนึ่งเป็นประจุบวก อีกชิ้นหนึ่งเป็นประจุลบ ขนาดประจุเท่ากัน ประจุสุทธิบนตัวนำทั้งสองมีค่าเป็นศูนย์ เราเรียกตัวนำทั้งสองนี้ว่าเป็น ตัวเก็บประจุ (Capacitor) สนามไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างตัวนำทั้งสองจะขึ้นอยู่กับขนาดประจุที่สะสมอยู่บนตัวนำ ถ้าใส่ประจุบนตัวนำเพิ่มขึ้น ขนาดของความต่างศักย์ไฟฟ้าของตัวนำทั้งสองจะสูงขึ้นตามไปด้วย นั่นคือ



รูป 3-13 ตัวนำในสนามไฟฟ้า



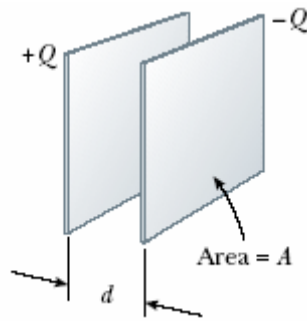
$$Q \propto V$$

$$Q = CV \quad (3-10)$$

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

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

ในทางปฏิบัติตัวเก็บประจุประกอบด้วยตัวนำแบบแผ่น 2 ชั้น วางไว้ห่าง ๆ กัน ตรงช่องว่างระหว่างตัวนำอาจเป็นสุญญากาศหรือสารไดอิเล็กตริก ตัวนำแต่ละชั้นเรียกว่าอิเล็กโทรด (electrode)



รูป 3-14 ตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน

ให้ Q เป็นขนาดของประจุบนแต่ละแผ่น V เป็นความต่างศักย์ระหว่างแผ่น a กับ b จะได้

$$Q = CV$$

$$C = Q/V$$

ในวงจรไฟฟ้า จะใช้สัญลักษณ์ $\text{---}||\text{---}$ แทนตัวเก็บประจุที่มีค่าคงที่ และ $\text{---}||\text{---}$ สำหรับตัวเก็บประจุที่สามารถปรับค่าได้ เราใช้ตัวเก็บประจุในวงจรกรองกระแส เพื่อให้กระแสตรงที่ไม่สม่ำเสมอ เป็นกระแสตรงที่เรียบ ใช้ในวงจรส่งสัญญาณวิทยุ ร่วมกับคอยล์ ใช้เปลี่ยนคลื่นวิทยุให้มีความถี่ตามที่ต้องการ ใช้สร้างสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างแผ่นขนาน และใช้ในการศึกษาการเบี่ยงเบนของอิเล็กตรอน

3-4-2 ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจูปรูปทรงต่าง ๆ

ขั้นตอนในการคำนวณหาความจุไฟฟ้ามีได้ดังนี้

1. หาสนามไฟฟ้าที่เกิดจากประจุมาสะสมกันที่ตัวนำ

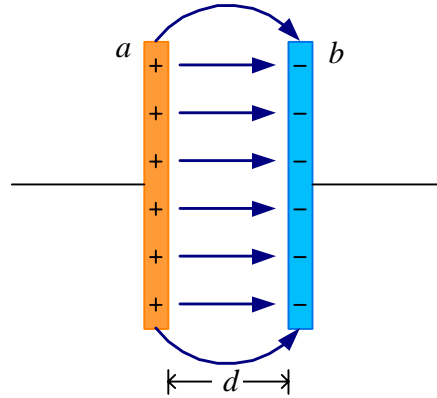
2. คำนวณหาศักย์ไฟฟ้าระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสองโดยใช้สูตร $V_{ab} = -\int_b^a \vec{E} \cdot d\vec{\ell}$

3. คำนวณหาค่า C จาก สูตร $C = Q/V$



ตัวอย่าง 3-7 จงหาค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน แต่ละแผ่นมีขนาด A มีประจุ Q วางห่างกันเป็นระยะ d

หลักการคำนวณ คิดว่าสนามไฟฟ้าที่เกิดจากแผ่นประจุมีค่าสม่ำเสมอ โดยไม่คิดสนามตรงบริเวณขอบของแผ่น เพราะสนามไฟฟ้าตรงบริเวณขอบจะมีค่าไม่สม่ำเสมอ (fringing effect)



รูป 3-15 แผ่นขนานแต่ละแผ่นมีขนาด A วางห่างกันเป็นระยะ d

จากกฎของเกาส์ จะได้สนามจากแผ่นประจุมีค่าเป็น $|E| = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q}{A\epsilon_0}$

ความต่างศักย์ระหว่างแผ่น a และ b

$$V_a^b = -\int_b^a \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = -\int_b^a Ed\ell \cos 180^\circ$$

$$= \int_b^a Ed\ell = Ed$$

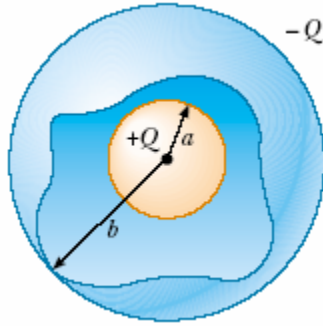
$$C = Q/V = Q/Ed$$

ดังนั้น $C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$ F (3-11)

ตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนานจะมีค่าความจุมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความกว้างยาวของแผ่น และจะมีค่าผกผันกับระยะห่างระหว่างแผ่น



ตัวอย่าง 3-8 จงหาความจุไฟฟ้าของทรงกลมตัวนำ 2 ลูกซ้อนกัน มีจุดศูนย์กลางร่วมกัน รัศมี a, b ตามลำดับ ($b > a$)



รูป 3-16 ตัวเก็บประจุแบบทรงกลม

หลักการคำนวณ สนามไฟฟ้าของตัวนำทรงกลม $= \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$

$$V_{ab} = -\int_b^a \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = -\int_b^a E dr \cos 180^\circ$$

$$= \int_b^a E dr$$

เพราะ $d\ell = -dr$ ดังนั้น

$$V_{ab} = -\int_a^b E dr = -\frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \int_a^b \frac{dr}{r^2} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{1}{r} \right]_b^a$$

$$V_{ab} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right]$$

ดังนั้นความจุไฟฟ้า $C = Q/V = \frac{4\pi\epsilon_0 ab}{(b-a)}$ F (3-12)

ถ้าทรงกลม a วางอยู่โดดเดี่ยว หรือทรงกลม b มีรัศมีที่มีความยาวอนันต์ จะได้ความจุไฟฟ้าของ

ทรงกลมรัศมี a คือ $C = \lim_{b \rightarrow \infty} \frac{4\pi\epsilon_0}{\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b}\right)} = 4\pi\epsilon_0 a$

โลกมีรัศมี 6.36×10^6 m แทนค่าในสูตรข้างบน จะได้ว่าโลกมีความจุไฟฟ้าเพียง 700 μ F แสดงว่าฟารัดเป็นหน่วยที่ใหญ่มาก



ทรงกลมตัวนำรัศมี a ความจุไฟฟ้าของทรงกลมคือ $4\pi\epsilon_0 a$ เราสามารถใส่ประจุลงบนทรงกลมได้ไม่มีขีดจำกัดได้หรือไม่ คำตอบขึ้นอยู่กับว่าทรงกลมนั้นวางอยู่ในตัวกลางอะไร ถ้าเป็นอากาศ อากาศจะแตกตัวกลายเป็นไอออนและเป็นตัวนำไฟฟ้าเมื่อสนามไฟฟ้ามีความเข้ม 3×10^6 N/C เมื่อใส่ประจุบนทรงกลมจนทำให้ศักย์ไฟฟ้าบนทรงกลมสูงขึ้น และค่าสนามไฟฟ้ามีค่าเกินขีดจำกัดดังกล่าว ประจุบนทรงกลมจะถูกถ่ายเทสู่อากาศ ประจุไฟฟ้าสูงสุดบนตัวนำทรงกลมหนึ่ง ๆ จึงขึ้นอยู่กับค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดของตัวกลางที่ประจุวางอยู่

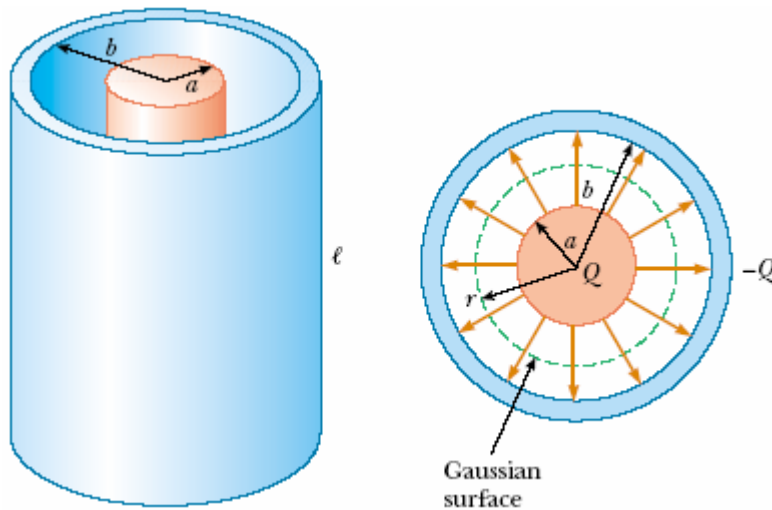
ถ้าทรงกลมรัศมี 1 cm เราสามารถให้ประจุทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุดได้กี่โวลต์

$$V_{\max} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 a} = aE_{\max}$$

ในที่นี้ $a = 1$ cm , $E_{\max} = 3 \times 10^6$ N/C , $V_{\max} = 30,000$ V

ถ้าทรงกลมรัศมี 2 m , $V_{\max} = 6$ MV

ตัวอย่าง 3-9 ตัวเก็บประจุรูปทรงกระบอกมีรัศมีภายในของทรงกระบอกภายใน เป็น a และมีประจุ $+Q$ และทรงกระบอกที่ล้อมรอบภายนอกมีรัศมี b มีประจุ $-Q$ จงหาค่าความจุของตัวเก็บประจุนี้ถ้าทรงกระบอกยาว l



รูป 3-17 ตัวเก็บประจูปรูปทรงกระบอก รัศมีภายในและภายนอกคือ a และ b ยาว l

หลักการคำนวณ ให้ความยาวของทรงกระบอก l มีค่ามาก ๆ เมื่อเทียบกับ รัศมีของทรงกระบอก ในกรณีเช่นนี้เราสามารถตัดค่าความไม่คงที่ของสนามไฟฟ้าตรงบริเวณปลายของทรงกระบอกได้ โดยคิดว่าเส้นแรงไฟฟ้ามีทิศพุ่งตั้งได้ฉากกับแกนของทรงกระบอกเสมอ ความต่างศักย์ที่ผิวของทรงกระบอกหาได้จาก

$$V_A - V_B = -\int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{r} = -\int_a^b E dr$$

เมื่อ E คือสนามไฟฟ้าระหว่างผิวทรงกระบอก (บริเวณ $a < r < b$) จากตัวอย่าง 2-10 แสดงให้เห็นว่าสนามไฟฟ้าที่เกิดจากแท่งประจุยาวมาก ๆ มีความหนาแน่นประจุเชิงเส้น λ คือ $E = 2k\lambda/r$ แทนค่า E ลงในสมการข้างบน จะได้



$$\begin{aligned}
 V_A - V_B = V_{AB} &= -\int_a^b \frac{2k\lambda}{r} d\bar{r} = -2k\lambda \int_a^b \frac{d\bar{r}}{r} \\
 &= -2k\lambda \ln\left(\frac{a}{b}\right) \\
 V_{AB} &= 2k\lambda \ln\left(\frac{b}{a}\right)
 \end{aligned}$$

ความจุไฟฟ้า

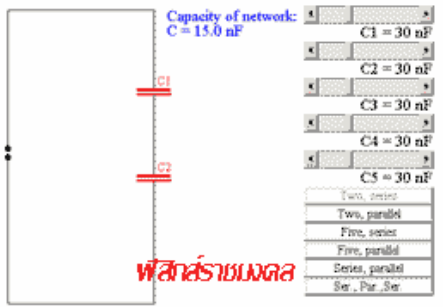
$$\begin{aligned}
 C &= Q/V \\
 &= \frac{\lambda l}{2\left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\right)\lambda \ln\left(\frac{b}{a}\right)} \\
 &= \frac{2\pi\epsilon_0 l}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)} \quad \text{F}
 \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่สามารถเป็นตัวเก็บประจุแบบทรงกระบอกได้ ได้แก่ สายเคเบิลแบบ Coaxial ซึ่งประกอบด้วยตัวนำที่เป็นแกนกลาง และส่วนที่ห่อหุ้มรอบนอก ระหว่างตัวนำถูกกันด้วยฉนวน ทิศของกระแสที่ไหลในตัวนำจะมีทิศตรงข้ามกัน ส่วนที่ห่อหุ้มรอบนอกจะเป็นตัวป้องกันสัญญาณรบกวนจากภายนอกไม่ให้ไปมีผลกระทบต่อสัญญาณที่อยู่ในตัวนำที่เป็นแกนกลาง ความจุไฟฟ้าของสายเคเบิลนี้ต่อความยาว (L) คือ

$$\frac{C}{L} = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)}$$

การทดลองเสมือนจริง

การต่อตัวเก็บประจุ



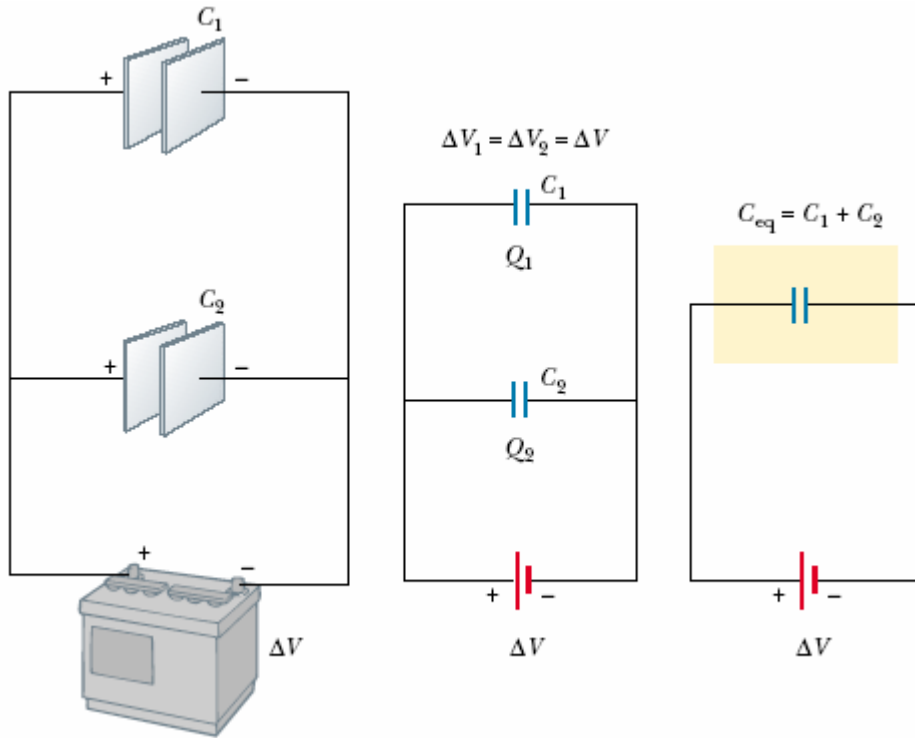
ในห้องทดลองนี้คุณสามารถเลือกการต่อตัวเก็บประจุเป็นแบบขนาน อนุกรม หรือผสม และยังสามารถเปลี่ยนค่าประจุไฟฟ้าแต่ละตัว พร้อมกับคำนวณหาค่าความจุไฟฟ้ารวม ได้ด้วย ให้คุณทดลองเล่นดูครับ [คลิกเพื่อเข้าสู่การทดลอง](#)



3-4-3 การต่อตัวเก็บประจุ

ถ้าต้องการค่าความจุไฟฟ้าเฉพาะค่าใดค่าหนึ่ง ซึ่งตัวเก็บประจุไฟฟ้าค่าอื่นไม่มีขายในท้องตลาด ต้องนำตัวเก็บประจุตั้งแต่สองตัวขึ้นไปมาต่อเข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้ค่าความจุไฟฟ้าที่ต้องการ ลักษณะการต่อตัวเก็บประจุมีอยู่ 2 แบบ

1. การต่อแบบขนาน การต่อแบบนี้ทำให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วของตัวเก็บประจุแต่ละตัวมีค่าเท่ากัน คือ ต่างเท่ากับ V



รูป 3-18 การต่อ C แบบขนาน

ให้ q_1 เป็นประจุบนตัวเก็บประจุ C_1

$$q_1 = C_1 V$$

ให้ q_2 เป็นประจุบนตัวเก็บประจุ C_2

$$q_2 = C_2 V$$

ให้ Q เป็นประจุทั้งหมดบนตัวเก็บประจุทั้งสองตัว

$$Q = q_1 + q_2$$

$$Q = C_{eq} V$$

$$= V (C_1 + C_2)$$

จะได้

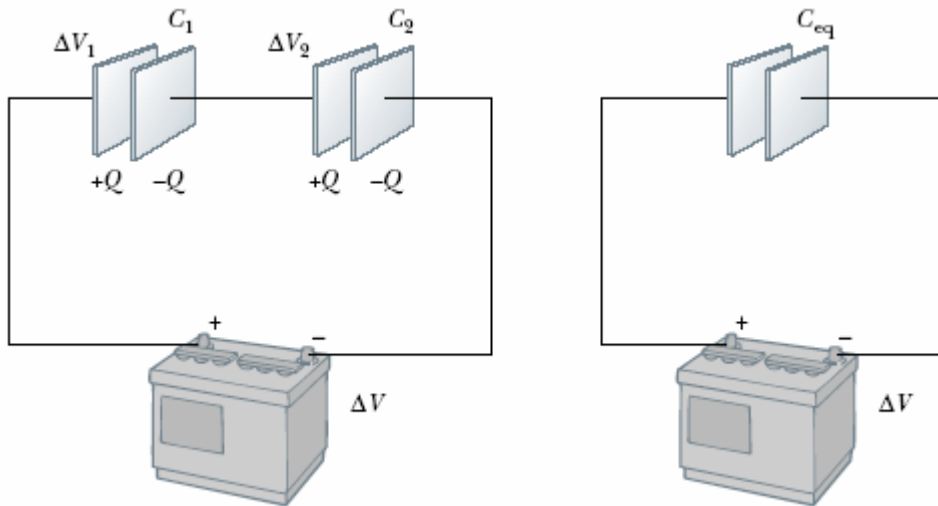
$$C_{eq} = C_1 + C_2$$

(3-13)



2. การต่อแบบอนุกรม การต่อแบบนี้จะมีผลให้ประจุบนตัวเก็บประจุแต่ละตัวมีค่า

เท่ากัน



รูป 3-19 การต่อตัวเก็บประจุแบบขนาน

$$Q = q_1 = q_2$$

$$q_1 = C_1 V_1$$

$$q_2 = C_2 V_2$$

V_1 และ V_2 เป็นศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุแต่ละตัว

$$V = V_1 + V_2$$

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

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

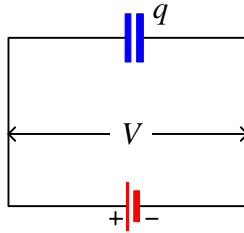
จะได้ความจุไฟฟ้ารวม

(3-14)

3-4-4 พลังงานศักย์ไฟฟ้าที่สะสมในตัวเก็บประจุ

เมื่อต่อตัวเก็บประจุเข้ากับเซลล์ไฟฟ้าพลังงานเคมีในเซลล์ไฟฟ้าทำให้ประจุไปสะสมที่แผ่นของตัวเก็บประจุ ลักษณะเช่นนี้เราเรียกว่าเป็นการให้ประจุไฟฟ้า (charge) แก่ตัวเก็บประจุ พลังงานเคมีที่เปลี่ยนไปจะกลายเป็นพลังงานศักย์ทางไฟฟ้าสะสมไว้บนตัวเก็บประจุ พลังงานนี้จะถูกปล่อยออกมาขณะที่ตัวเก็บประจุคายประจุ (discharge)





รูป 3-20 การหาพลังงานศักย์ที่สะสมบนตัวเก็บประจุ

ต้องการหาว่าพลังงานศักย์ที่สะสมไว้ที่ตัวเก็บประจุ เมื่อเวลา $t = 0$ ตัวเก็บประจุมีประจุเป็นศูนย์ เมื่อต่อกับเซลล์ไฟฟ้าประจุจากภายในเซลล์จะถูกเคลื่อนย้ายมีค่าเป็น dq ขนาดของประจุนบนแผ่นตัวเก็บประจุจะแปรค่าตามเวลา ประจุจะหยุดถ่ายเทเมื่อศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วของตัวเก็บประจุมีค่าเท่ากับแรงเคลื่อนไฟฟ้าของขั้วเซลล์ไฟฟ้า จำนวนประจุที่ประจุได้เต็มที่ เป็น q_0

งานย่อย δw ที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายประจุ dq

$$\delta w = Vdq$$

$$= qdq/C$$

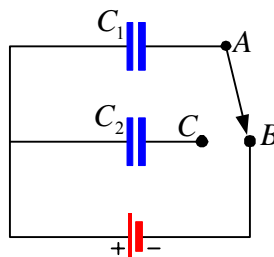
หางานทั้งหมด (W) ที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายประจุจากเริ่มตั้งแต่ 0 จนถึง q_0

$$W = \int dW = \int_0^{q_0} \frac{q dq}{C} = q_0^2 / 2C$$

$$= CV^2 / 2 \quad \text{J}$$

ตัวอย่าง 3-10 จากรูป 3-21 C_1 ถูกชาร์จด้วยแหล่งจ่ายไฟขนาด 120 V ให้ $C_1 = 8 \mu\text{F}$, $C_2 = 4 \mu\text{F}$ เมื่อสวิตช์ต่อกับตำแหน่ง AB จงหา

- ก) ประจุที่สะสมอยู่บน C_1
- ข) พลังงานที่สะสมอยู่ใน C_1
- ค) จากนั้นเปลี่ยนตำแหน่งสวิตช์มายังตำแหน่ง AC จงหาประจุนบน C_1 และ C_2
- ง) พลังงานสุดท้ายที่อยู่บน C_1 และ C_2



รูป 3-21 คำนวณพลังงานศักย์ที่สะสมบนตัวเก็บประจุ



หลักการคำนวณ เมื่อสวิตช์อยู่ที่ตำแหน่ง AB

$$Q_0 = C_1 V_0 = 8 \times 10^6 \text{ C} \times 120 \text{ V} \\ = 960 \text{ } \mu\text{F}$$

พลังงานที่สะสมบน C_1 $U_1 = Q_0 V_0 / 2 = 0.0576 \text{ J}$

เมื่อเปลี่ยนตำแหน่งสวิตช์มาที่ AC ประจุ Q_0 บน C_1 จะถูกถ่ายเทมายังตัวเก็บประจุ C_2 ประจุจะหยุดถ่ายเทเมื่อความต่างศักย์ที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุทั้งสองมีค่าเท่ากัน

ให้ Q_1 เป็นประจุ บน C_1 $Q_1 = C_1 V$

ให้ Q_2 เป็นประจุ บน C_2 $Q_2 = C_2 V$

โดยที่ $Q_1 + Q_2 = Q_0$

ให้ V เป็นความต่างศักย์ที่ขั้วตัวเก็บประจุ เมื่อประจุหยุดการถ่ายเท

จะได้ $V = \frac{(Q_1 + Q_2)}{(C_1 + C_2)} = \frac{Q_0}{(C_1 + C_2)}$
 $= \frac{960 \text{ } \mu\text{C}}{12 \text{ } \mu\text{F}}$
 $= 80 \text{ V}$

$$Q_1 = 640 \text{ } \mu\text{C}$$

$$Q_2 = 320 \text{ } \mu\text{C}$$

พลังงานศักย์ที่สะสมอยู่ที่บน C_1 และ $C_2 = \frac{Q_0 V}{2} = 0.0384 \text{ J}$

จะเห็นว่าพลังงานที่ได้ในตอนหลังนี้มีค่าน้อยกว่าตอนแรก พลังงานส่วนที่หายไปเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานอื่น ถ้าความต้านทานในวงจรมีค่ามาก พลังงานส่วนที่หายไปจะอยู่ในรูปพลังงานความร้อน ถ้าความต้านทานในวงจรมีค่าน้อย พลังงานจะเปลี่ยนเป็นรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ขบวนการในตัวอย่างนี้เหมือนกับการชนกันแบบไม่ยืดหยุ่นในวิชากลศาสตร์ อนุภาคที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วชนกับอนุภาคที่อยู่นิ่ง โมเมนตัมของ

ระบบ $p = mv$ มีค่าคงที่ ในทางไฟฟ้า $Q = CV$ มีค่าคงที่ ขณะที่พลังงานทางไฟฟ้า $\frac{CV^2}{2}$ มีการ

เปลี่ยนแปลงค่า ขณะที่พลังงานจลน์ของอนุภาค $\frac{mv^2}{2}$ มีการแปรค่าเช่นกัน



บทความออนไลน์

เครื่องกระตุ้นหัวใจ



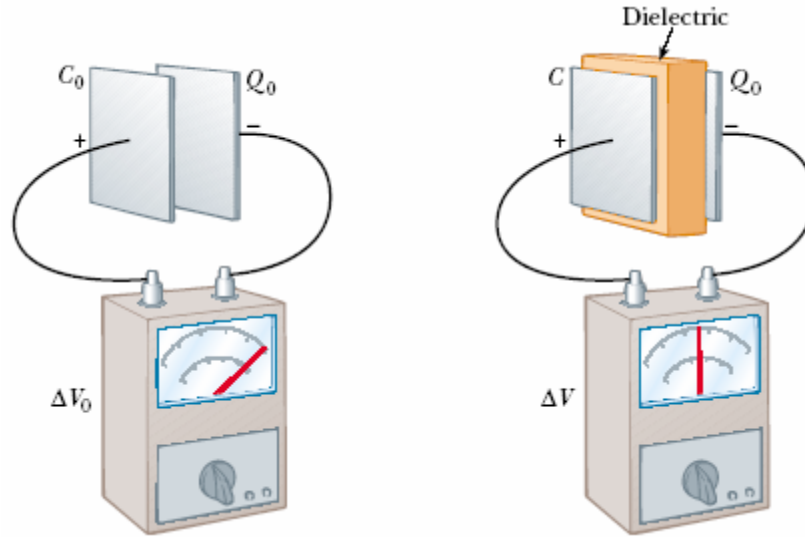
ขณะที่หัวใจของคนไข้ใกล้จะหยุดเต้น หรือหยุดเต้นไปแล้ว หัวใจไม่สามารถบีบเลือดไปเลี้ยงสมองและกล้ามเนื้อได้ทัน ถ้าไม่รีบทำให้หัวใจเต้น คนไข้จะต้องเสียชีวิตค่อนข้างแน่นอน เพื่อจะช่วยชีวิตคนไข้ประเภทนี้ จะต้องกระตุ้นกล้ามเนื้อหัวใจให้กลับเข้าสู่จังหวะการเต้นในระดับปกติโดยเร็ว เครื่องมือที่ใช้ในการกระตุ้น ก็นั่นก็คือเครื่องช็อกไฟฟ้าถึง 20 แอมป์ ให้พลังงาน 200 จูล์ในเวลา 0.002 วินาที หรือให้กำลังไฟฟ้าถึง 100 กิโลวัตต์ ในโรงพยาบาลเราสามารถสร้างกำลังไฟฟ้าขนาดนี้ได้ อย่างสบาย แต่ถ้าถ้าเป็นเหตุฉุกเฉินภายนอกโรงพยาบาล จะหากำลังไฟฟ้ามากมายขนาดนี้จากไหน เพราะ แบตเตอรี่รถยนต์อย่างเดียวไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้ามากมายขนาดนี้ได้ [อ่านต่อครับ](#) 🌟

3-4-5 ตัวเก็บประจุเมื่อมีสารไดอิเล็กตริก

สารไดอิเล็กตริก(dielectric) คือ วัสดุจำพวกฉนวนที่ใส่ไว้ระหว่างแผ่นตัวนำของตัวเก็บประจุ เช่น ยาง แก้ว หรือแผ่นกระดาษ ซึ่งจะทำให้ความจุ(capacitance)ของตัวเก็บประจุเพิ่มขึ้น

ค.ศ. 1837 ไมเคิล ฟาราเดย์ได้ทำการทดลองใส่สารไดอิเล็กตริกเข้าไปในระหว่างแผ่นขนานทั้งสอง พบว่าความต่างศักย์ระหว่างแผ่นมีค่าลดลง สนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นจะมีค่าลดลงตามไปด้วย แต่ประจุที่แผ่นไม่มีการรั่วไหล ประจุที่แผ่นก่อนใส่สารไดอิเล็กตริกและเมื่อใส่แล้วจึงมีค่าเท่ากัน





รูป 3-22 เมื่อมีสารไดอิเล็กตริกที่แผ่นขนานของตัวเก็บประจุ

- ให้ V_0 เป็นความต่างศักย์ระหว่างแผ่น เมื่อเป็นสุญญากาศ
- ให้ V เป็นความต่างศักย์ระหว่างแผ่นเมื่อมีสารไดอิเล็กตริก
- ให้ C_0 เป็นความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุแบบสุญญากาศ
- ให้ C เป็นความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุเมื่อมีสารไดอิเล็กตริก

เพราะว่า V น้อยกว่า V_0 ค่า C จึงมีค่ามากกว่า C_0 ด้วย นั่นคือ ตัวเก็บประจุที่มีสารไดอิเล็กตริกอยู่ระหว่างแผ่นจะมีความจุมากกว่าตัวเก็บประจุที่เป็นสุญญากาศ

ให้ κ เป็นค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (dielectric constant)

$$\kappa = C / C_0 \quad \text{มีค่ามากกว่า 1 เสมอ}$$

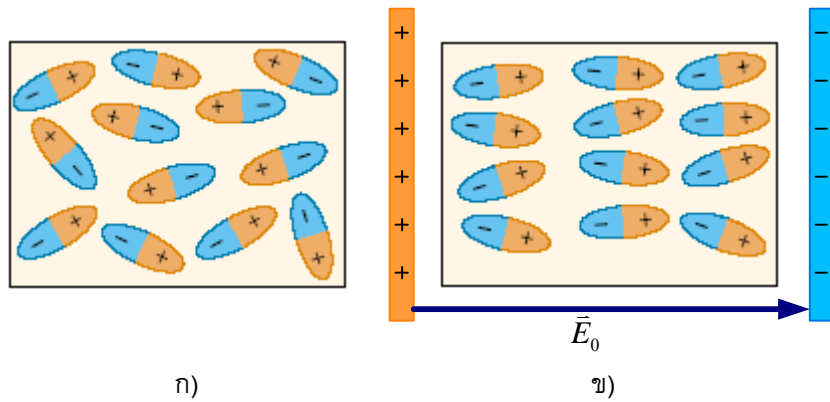
ตาราง 3-1 ตัวอย่างค่าคงที่ของสารไดอิเล็กตริก ที่ $20^\circ C$

| สาร | ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก | สาร | ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก |
|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| สุญญากาศ | 1 | เทฟลอน | 2.1 |
| แก้ว | 5-10 | เยอรมาเนียม | 16 |
| ไมกา | 3-6 | น้ำบริสุทธิ์ | 80.4 |
| ไมลาร์ | 3.1 | กลีเซอริน | 42.5 |
| นีโอพรีน(Neoprene) | 6.7 | เบนซิน | 2.284 |
| โพลีเอทิลีน | 2.25 | แอมโมเนียเหลว(-78 C) | 25 |
| โพลีไวนิลคลอไรด์ | 3.18 | อากาศ (1 บรรยากาศ) | 1.0059 |

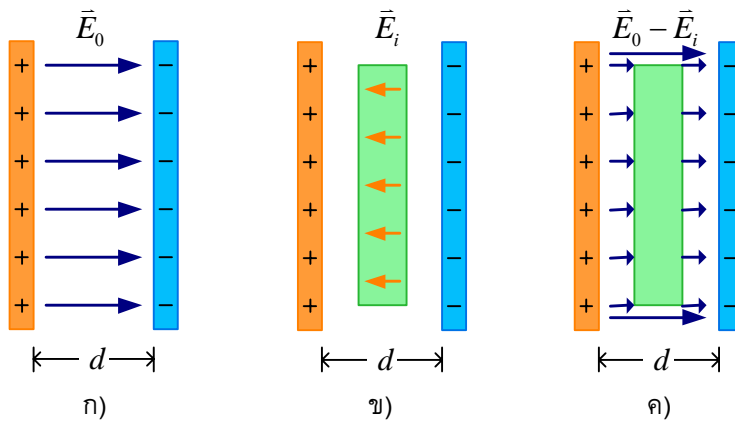


สารไดอิเล็กตริกเป็นสารที่ยอมให้อำนาจไฟฟ้าผ่านเนื้อสารได้ เมื่อสนามไฟฟ้าผ่านเนื้อสารจะทำให้เกิดขั้วคู่ไฟฟ้าหรือไดโพลในสารนั้น แต่ละอะตอมของสารจะยึดเหนี่ยวกันอย่างหนาแน่น จึงไม่เกิดประจุอิสระหรือกระแสไฟฟ้าในเนื้อสาร ยกเว้นในกรณีที่สนามไฟฟ้ามีความเข้มสูงมาก จนทำให้เกิดสภาพพังทลาย (dielectric breakdown) จะเกิดประจุอิสระในสารทำให้สารนั้นกลายเป็นตัวนำไฟฟ้า

โดยปกติสารไดอิเล็กตริกเป็นกลางทางไฟฟ้า เมื่อใส่สารไดอิเล็กตริกเข้าไปในระหว่างแผ่นขนานของตัวเก็บประจุ สนามไฟฟ้าที่ผ่านในเนื้อสารจะทำให้เกิดไดโพล ตามรูป 3-23 ข) ไดโพลพยายามจะเรียงตัวในแนวเดียวกับทิศของสนาม แต่การเรียงตัวจะไม่เป็นระเบียบทั้งเนื้อสาร เพราะมีผลของการสั่นสะเทือนของโมเลกุลเข้ามารบกวน ทำให้สนามไฟฟ้าที่เกิดจากไดโพลมีค่าน้อยกว่าสนามไฟฟ้าภายนอกเสมอ



รูป 3-23 การเกิดไดโพลในสารไดอิเล็กตริกเมื่อมีสนามไฟฟ้า



รูป 3-24 ก) แสดงสนามไฟฟ้าของตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน
 ข) สนามไฟฟ้าของสารไดอิเล็กตริก
 ค) สนามไฟฟ้าของแผ่นขนานจะหักล้างกับสนามไฟฟ้าของสารไดอิเล็กตริก

ให้ประจุบนแผ่นขนานของตัวเก็บประจุมีความหนาแน่น σ C/m² ให้ประจุบนสารไดอิเล็กตริก มีความหนาแน่น σ_i C/m² ให้ E เป็นขนาดของสนามไฟฟ้าลัพธ์ระหว่างแผ่นขนาน แผ่นขนานมีขนาดใหญ่มาก เมื่อเทียบกับระยะห่างระหว่างแผ่น



$$E = E_0 - E_i = V/d = \frac{\sigma}{\epsilon_0} - \frac{\sigma_i}{\epsilon_0}$$

$$\text{จาก } \kappa = C / C_0, \quad = V_0/V = E_0/E = \frac{\sigma}{(\sigma - \sigma_i)}$$

$$\text{หรือ } \sigma - \sigma_i = \frac{\sigma}{\kappa} = \epsilon_0 E$$

$$E = \frac{\sigma}{\kappa \epsilon_0}$$

ปริมาณ $\kappa \epsilon_0$ เรียกว่า สภาพยอมของสารไดอิเล็กตริก (permittivity) ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุที่มีสารไดอิเล็กตริกคือ

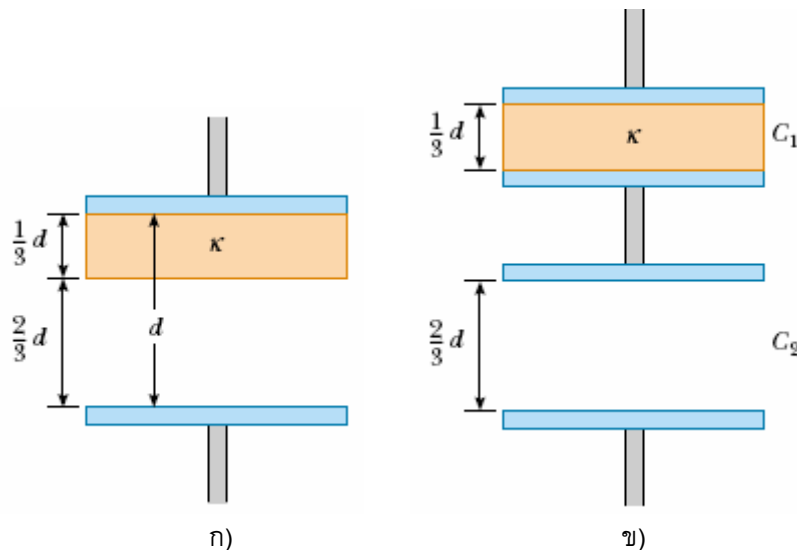
$$C = \kappa C_0 = \frac{\kappa \epsilon_0 A}{d} = \frac{\epsilon A}{d} \quad (3-15)$$

เมื่อกำหนดให้ $\kappa \epsilon_0 = \epsilon$

ในสุญญากาศ $\kappa = 1$ ค่า κ ไม่มีหน่วยเพราะว่าเป็นตัวเลขที่เกิดจากอัตราส่วนของปริมาณเดียวกัน หน่วยของ ϵ_0 และ ϵ มีหน่วยเดียวกันคือ $C^2/N \cdot m^2$

ตัวอย่าง 3-11 ตัวเก็บประจุแผ่นขนานมีความจุ C_0 เมื่อไม่มีไดอิเล็กตริก ถ้าใส่ไดอิเล็กตริกที่หนา $d/3$ เข้าไป ค่าความจุจะเป็นเท่าไร

หลักการคำนวณ



รูป 3-25 ตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน เมื่อใส่สารไดอิเล็กตริกหนา $d/3$



เมื่อใส่สารไดอิเล็กตริกที่ระหว่างแผ่นขนานของตัวเก็บประจุ สารไดอิเล็กตริกจะทำให้ตัวเก็บประจุเสมือนกลายเป็นตัวเก็บประจุ 2 ตัวต่ออนุกรมกันดังรูป 3-25 ข)

ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุตัวที่ 1 $C_1 = \frac{\kappa\epsilon_0 A}{d/3}$

ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุตัวที่ 2 $C_2 = \frac{\kappa\epsilon_0 A}{2d/3}$

ความจุไฟฟารวมของตัวเก็บประจุ คือ

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{d/3}{\kappa\epsilon_0 A} + \frac{2d/3}{\kappa\epsilon_0 A}$$

$$C = \left(\frac{3\kappa}{2\kappa+1}\right) \frac{\epsilon_0 A}{d} \quad F$$

ทดสอบก่อนและหลังเรียน

วิธีทำ ให้ ใส่ชื่อ สกุล เลือกวิชาที่สอบ และจำนวนข้อ แต่ต้องไม่เกินจากที่กำหนดไว้ เช่น กำหนดไว้ 10 ข้อ เวลาเลือกจำนวนข้อ ให้เลือก 5 และ 10 ข้อไม่เกินจากนี้ เป็นต้นเมื่อทำเสร็จสามารถดูคะแนนจากรายละเอียดผู้ทำข้อสอบได้ทันที

เรื่องศกยไฟฟ้า

คลิกเข้าสู่ [การทดสอบก่อนและหลังเรียนค่ะ](#) 🌟

ทดสอบก่อนและหลังเรียน

วิธีทำ ให้ ใส่ชื่อ สกุล เลือกวิชาที่สอบ และจำนวนข้อ แต่ต้องไม่เกินจากที่กำหนดไว้ เช่น กำหนดไว้ 10 ข้อ เวลาเลือกจำนวนข้อ ให้เลือก 5 และ 10 ข้อไม่เกินจากนี้ เป็นต้นเมื่อทำเสร็จสามารถดูคะแนนจากรายละเอียดผู้ทำข้อสอบได้ทันที

เรื่องตัวเก็บประจุ

คลิกเข้าสู่ [การทดสอบก่อนและหลังเรียนค่ะ](#) 🌟

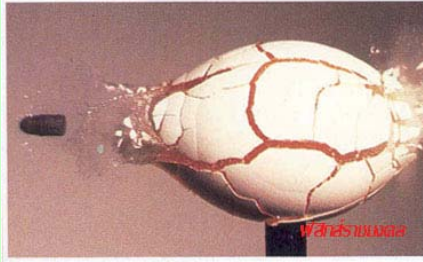
บทความออนไลน์



แฟลชอิเล็กทรอนิกส์มีหน้าที่ระเบิดแสงออกมาอย่างรุนแรงในช่วงระยะเวลาสั้นๆ เมื่อคุณกดชัตเตอร์ หน้ากล้องจะเปิดขึ้นมาอย่างรวดเร็ว และเก็บภาพที่ได้จากการสะท้อนแสงของไฟแฟลชเข้าไป [คลิกครับ](#) 🌟



บรรยายลงในกระดานฟิสิกส์ราชมงคล



ภาพลูกกระสุนทะเลโซ่

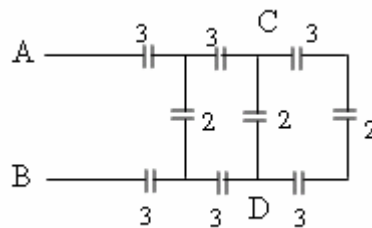
การถ่ายภาพกระสุนทะเลโซ่ให้ดูเหมือนหยุดค้างโดยที่ภาพไม่พร่าไหววนั้น จะต้องเปิดหน้ากล้องรับแสง (exposure) เป็นระยะเวลาสั้นมากๆ เกินกว่าที่กล้องถ่ายรูปธรรมดาจะทำได้ แม้จะรับแสงเป็นเวลาเพียง 1/1000 วินาที ภาพก็ยังไม่คมชัด จึงต้องให้ช่วงรับแสงสั้นลงอีก 10- 20 เท่า [คลิกอ่านต่อครับ](#) นักศึกษาทดลองบรรยายว่าการถ่ายภาพความเร็วสูงเกี่ยวข้องกับตัวเก็บประจุได้อย่างไรลงในกระดานฟิสิกส์ราชมงคล 🌟

แบบฝึกหัดเรื่องศักย์ไฟฟ้าและพลังงานศักย์

- ประจุ q มีขนาด 1.5×10^{-8} C
 - จงหารัศมีของ Equipotential surface ที่มีศักย์ไฟฟ้า 30 V [ตอบ 4.5 m]
 - ผิวที่มีศักย์ไฟฟ้าต่างกันเป็นค่าคงที่ (สมมติว่าต่างกัน 1.0 V) จะห่างเท่า ๆ กัน หรือไม่
- จากรูป จงหาตำแหน่งที่
 - $V = 0$ [ตอบ มี 2 ที่ คืออยู่ระหว่างประจุทั้งสอง โดยห่างจาก $q = 25$ cm อยู่นอกประจุทั้งสองห่างจาก $q = 50$ cm]
 - $E = 0$ [ตอบ 1.4 m จาก q]
- ตัวนำทรงกลมรัศมี 10 cm วางอยู่ในอากาศจะเก็บประจุ 4×10^{-6} C ไว้ได้โดย ไม่เกิด Breakdown ได้หรือไม่ ให้ค่าความเข้มต่ำสุดที่ทำให้เกิด Breakdown ของอากาศที่ความดันบรรยากาศ $= 3 \times 10^6$ V/m [ตอบ ไม่]
- จุดประจุขนาด 10^{-7} C วางอยู่ที่จุดกำเนิด จงหาศักย์ไฟฟ้าที่ระยะ $r = 6$ m เมื่อ
 - ศักย์ไฟฟ้าที่ระยะอนันต์มีค่าเป็นศูนย์ [ตอบ 150 V]
 - ศักย์ไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์ที่ $r = 10$ m [ตอบ 60 V]
 - ศักย์ไฟฟ้ามีค่า 50 V ที่ $r = 9$ m [ตอบ 100 V]



5. ประจุบวกและลบมีขนาดเท่ากัน เรียงสลับกันไปเรื่อย ๆ ระยะห่างระหว่างประจุเท่ากับ a ทุก ๆ ระยะ จงแสดงว่าศักย์ไฟฟ้าที่ประจุลบตัวใดตัวหนึ่งมีค่าเป็น $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q \ln 2}{a}$
6. สนามไฟฟ้าของเส้นประจุยาวอนันต์ที่จุดห่างออกไปในแนวตั้งฉากกับเส้นประจุเป็นระยะ r มีขนาดเป็น $E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$
เมื่อ λ คือความหนาแน่นประจุต่อหนึ่งหน่วยความยาว จงแสดงว่าศักย์ไฟฟ้าที่จุดนี้มีค่าเป็น $-\frac{\lambda \ln r}{2\pi\epsilon_0}$
7. ประจุขนาด q กระจายอย่างสม่ำเสมอบนแท่งแกวยาว L จงหาศักย์ไฟฟ้าที่จะห่างจากปลายหนึ่งของแท่งแกวเป็นระยะ d [ตอบ $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q \ln \left| \frac{L+d}{d} \right|}{L}$]
8. ประจุ q กระจายอย่างสม่ำเสมอเป็นรูปทรงกลมตันรัศมี a
ก) จงแสดงว่าศักย์ไฟฟ้าที่จุดวัดจากจุดศูนย์กลางของทรงกลมเป็นระยะ r ($r < a$) มีค่าเป็น $\frac{q}{8\pi\epsilon_0} \left(\frac{3a^2 - r^2}{a^3} \right)$
ข) ศักย์ไฟฟ้าที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมมีค่าเท่าไร
9. ศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากเส้นประจุที่มีความหนาแน่น λ C/m วางอยู่ในแนวแกน z ในช่วง $-L \leq z \leq L$ จงหาศักย์ไฟฟ้าในระนาบ $z = 0$ [ตอบ $\frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0} \ln \left| \frac{L + \sqrt{L^2 + r^2}}{-L + \sqrt{L^2 + r^2}} \right|$]
10. ประจุกระจายอย่างสม่ำเสมอเป็นรูปวงแหวนรัศมี 2 m ประจุทั้งหมดมีขนาด $40/3$ nC จงหาศักย์ไฟฟ้าที่จุด P ซึ่งอยู่ในแนวแกนซึ่งผ่านจุดศูนย์กลางของวงแหวน ห่างจากจุดกำเนิด 5 m [ตอบ 22.3 V]
ถ้าประจุทั้งหมดบนวงแหวนมารวมกันอยู่ที่จุดกำเนิด จงหาศักย์ไฟฟ้าที่จุด P ในกรณีนี้ [ตอบ 24 V]
11. ประจุขนาด $40/3$ nC กระจายอย่างสม่ำเสมอเป็นจานกลมรัศมี 2 m จงหาศักย์ไฟฟ้าที่ ตำแหน่งห่างจากจุดศูนย์กลางของจานกลมในแนวแกน 2 m [ตอบ 49.7 V]
ถ้าประจุทั้งหมดรวมกันอยู่ที่จุดศูนย์กลางของจานกลม จงหาศักย์ไฟฟ้าในกรณีนี้ [ตอบ 60.0 V]
12. ตัวเก็บประจุ (หน่วยไมโครฟารัด)
ต่อกันดังรูป
ก. จงหาความจุไฟฟ้ารวมที่ปลาย AB
ข. เมื่อ $V_{AB} = 900$ V จงหา V_{CD}



| 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(| 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 | |

