PHYS1303 Fundamental Physics

ฟิสิกส์พื้นฐาน

ไฟฟ้าสถิตย์
(Static Electricity)

- ประจุไฟฟ้า (Electric charge)
- กฎของคูลอมบ์ (Coulomb's law)
- สนามไฟฟ้า (Electric field)
- ศักย์ไฟฟ้า (Electric potential)
- ความจุไฟฟ้า (Capacitance)

บรรยายครั้งที่ 4

28 สิงหาคม 2554

ดร.ภาณุวัฒน์ ชิมะลาวงค์

ห้องพัก 2643 อาคาร 26 โทร 0-2942-6900-99 ต่อ 5018

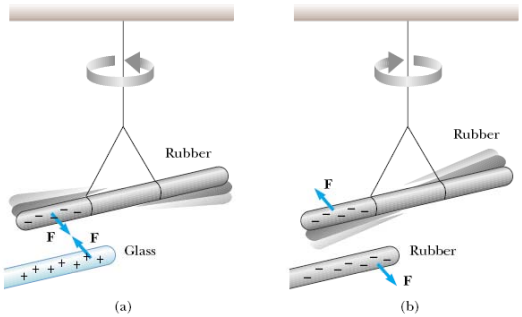
Website: http://p-chimalawong.freevar.com/page/teaching.html

e-mail: p.chimalawong@gmail.com

Static Electricity

ไฟฟ้าสถิตย์

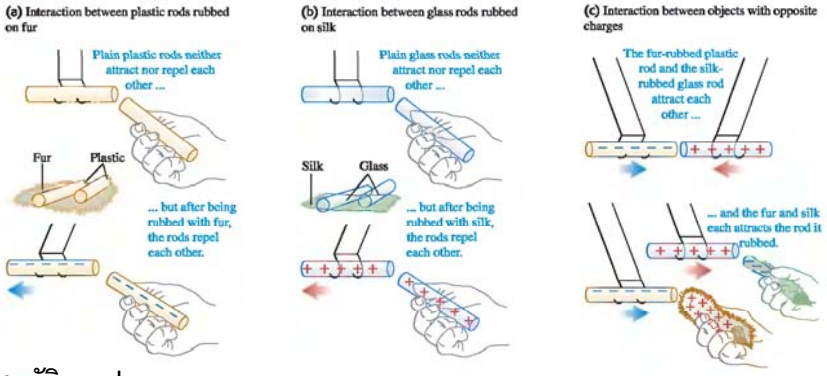
Benjamin Franklin (1706-1790) ได้ทำการทดลองโดยการนำแท่งแก้วและยางที่ผ่านการขัดด้วยผ้าขนสัตว์เพื่อทำให้เกิดประจุ และมาวางใกล้ๆ แท่งยางที่แขวนไว้ด้วยเชือก พบว่าแท่งแก้วจะออกแรงดูด แต่แท่งยางจะออกแรงผลัก



แสดงว่ามีประจุสองชนิด ตั้งชื่อว่า ประจุบวก และ ประจุลบ โดยแรงที่เกิดจากประจุต่างชนิดกันจะดูดกัน ประจุชนิดเดียวกันจะผลักกัน

Static Electricity

ไฟฟ้าสถิตย์



คุณสมบัติของประจุ

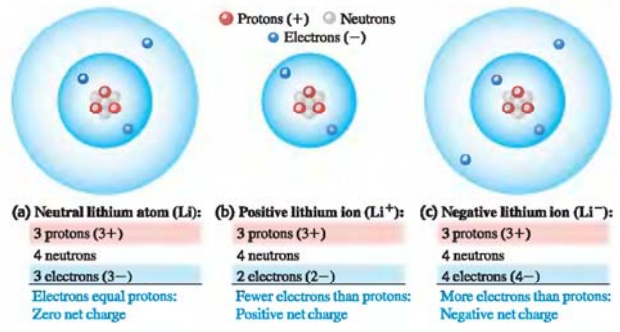
- ❑ อนุภาคประจุบวก เรียกว่า proton, p มีประจุเท่ากับ +e
- ❑ อนุภาคประจุลบ เรียกว่า electron, e มีประจุเท่ากับ -e
- ❑ การเกิดประจุบนแท่งยาง เนื่องจาก การขัดสีทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนประจุกับผ้าขนสัตว์
- ❑ ในภายหลังเราทราบว่าประจุลบมีมวลน้อยกว่าประจุบวกมาก ดังนั้นการแลกเปลี่ยนประจุเกิดขึ้นเพราะประจุลบเคลื่อนที่

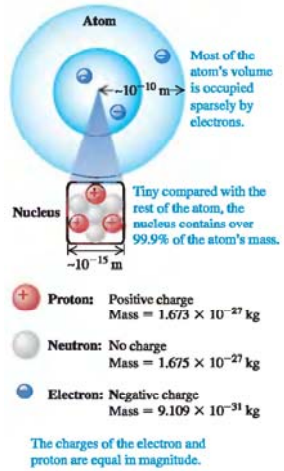
Static Electricity

ไฟฟ้าสถิตย์

คุณสมบัติของประจุ (ต่อ)

- ❑ จำนวนประจุที่เกิดขึ้นจะเป็นจำนวนเท่า (จำนวนเต็ม) ของประจุลบประจุ (Charge); q = ne
- ❑ วัสดุที่เป็นกลางทางไฟฟ้า จะมีจำนวนของอนุภาคประจุบวกเท่ากับประจุลบ ถ้าเราเอา electron จำนวน n ตัวออกจากวัสดุ จะทำให้วัสดุมีประจุสุทธิเป็นบวกเท่ากับ +ne





Charge; $q = ne$

Static Electricity

ไฟฟ้าสถิตย์

วัสดุตัวนำ (Conductor) และฉนวน (Insulator)

- ❑ วัสดุโดยทั่วไปจะเป็นกลางทางไฟฟ้า (ประจุ+ เท่ากับ -) และมีอิเล็กตรอนจำนวนมหาศาลในเนื้อวัสดุ
- ❑ ฉนวน เช่น แก้วและยาง เป็นวัสดุที่ไม่นำไฟฟ้า เมื่อนำไปขัดถู จะเกิดประจุที่บริเวณดังกล่าว ประจุที่เกิดขึ้นจะไม่สามารถเคลื่อนที่ไปยังส่วนอื่นๆ ของวัสดุได้
- ❑ ตัวนำ เช่น ทองแดง อลูมิเนียม และ เงิน เมื่อมีประจุเกิดขึ้นในส่วนหนึ่งของวัสดุ ประจุจะกระจายตัวออกไปทั่วทั้งพื้นผิวของวัสดุ เพราะอิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระที่ผิวตัวนำ

Static Electricity

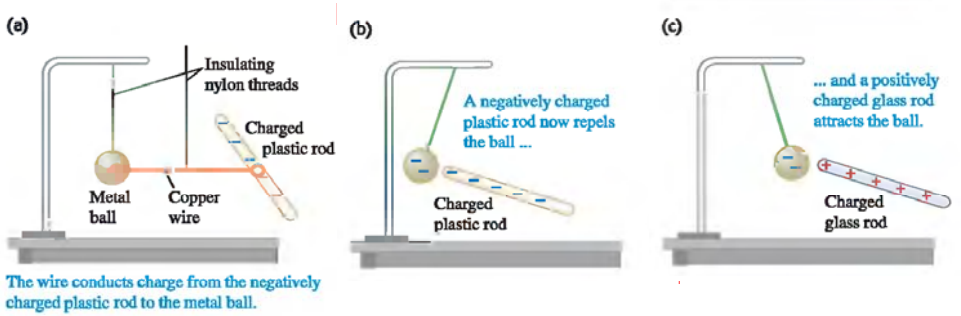
ไฟฟ้าสถิตย์

การทำให้เกิดประจุ

(1) การทำให้เกิดประจุโดยการนำ (Charging by Conduction)

(2) การทำให้เกิดประจุโดยการเหนี่ยวนำ (Charging by Induction)

(1) การทำให้เกิดประจุโดยการนำ (Charging by Conduction)

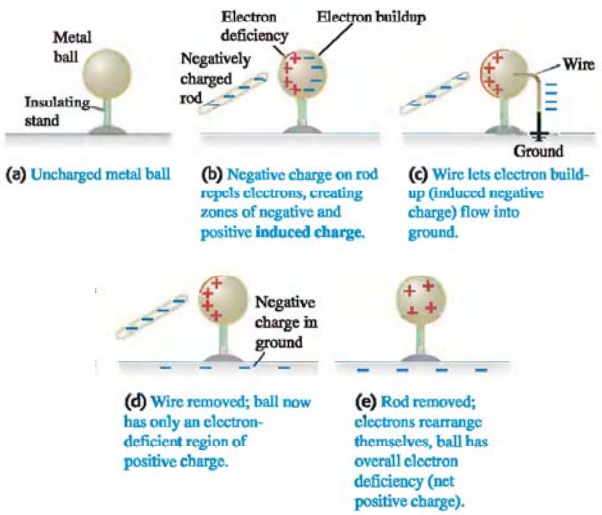


Static Electricity

ไฟฟ้าสถิตย์

การทำให้เกิดประจุ

(2) การทำให้เกิดประจุโดยการเหนี่ยวนำ (Charging by Induction)



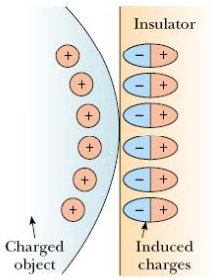
Static Electricity

ไฟฟ้าสถิตย์

กฎของคูลอมบ์ (Coulomb's Law)

- ❑ Charles Coulomb (1736-1806) อธิบายแรงระหว่างประจุที่เกิดขึ้น
- ❑ แรงที่เกิดขึ้นระหว่างประจุ จะมีทิศตามแนวเส้นตรงที่เชื่อมระหว่างประจุนั้น และลดลงตามระยะห่างยกกำลังสอง
- ❑ ขึ้นกับปริมาณประจุ และถ้าประจุเป็นชนิดเดียวกันจะเป็นแรงผลักประจุต่างชนิดเป็นแรงดูด

$$F_e = k_e \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$



Coulomb constant ; $k_e = 8.987\,5 \times 10^9\ \mathrm{N \cdot m^2/C^2}$ ≈ 9.0×10^9 N.m^2/C^2

Static Electricity

ไฟฟ้าสถิตย์

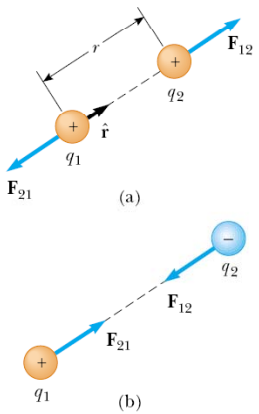
กฎของคูลอมบ์ (Coulomb's Law)

$$F_e = k_e \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \quad ; \quad k_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

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

- ในหน่วย SI ค่าคงที่คูลอมบ์ ; k_e = 9.0×10^9 N.m^2/C^2
- ประจุมีหน่วยเป็น คูลอมบ์ (C)
- ระยะห่างระหว่างประจุ (r) มีหน่วยเป็น เมตร (m)

Vector form of Coulomb's law



Particle	Charge (C)	Mass (kg)
Electron (e)	$-1.602\,191\,7 \times 10^{-19}$	$9.109\,5 \times 10^{-31}$
Proton (p)	$+1.602\,191\,7 \times 10^{-19}$	$1.672\,61 \times 10^{-27}$
Neutron (n)	0	$1.674\,92 \times 10^{-27}$

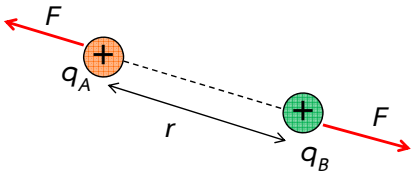
Static Electricity

ไฟฟ้าสถิตย์

ตัวอย่าง 1 อนุภาค A มีประจุ +2.0 μC และอนุภาค B มีประจุ +6.0 μC อยู่ห่างกันเป็นระยะ 1.0 m แรงที่อนุภาค B กระทำต่ออนุภาค A มีขนาดเท่าใดและมีทิศใด

วิธีทำ

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{|q_A||q_B|}{r^2}$$



= 0.108 N

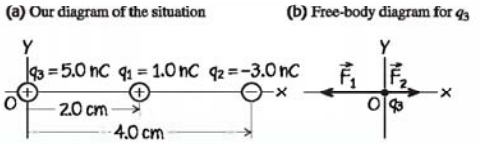
ดังนั้น มีแรงกระทำขนาด 0.108 N มีทิศตามแนวเส้นตรงที่เชื่อมระหว่างอนุภาค A และ B ทำให้อนุภาค A พุ่งออกจากอนุภาค B

ข้อสังเกต แรงที่อนุภาค A กระทำต่ออนุภาค B มีขนาดเท่ากับแรงที่อนุภาค B กระทำต่ออนุภาค A คือ 0.108 N แต่มีทิศตามแนวเส้นตรงที่เชื่อมระหว่างพุ่งออกจากอนุภาค A

Static Electricity

ไฟฟ้าสถิตย์

Example 2 Two point charge are located on the positive x-axis of a coordinate system. Charge q_1 = 10 nC is 2.0 cm from origin, and charge q_2 = -3.0 nC is 4.0 cm from origin. What is the total force exerted by these two charges on a charge q_3 = 5.0 nC located at the origin?



Solution

The net electric force exerted on charge q_3 ; $\sum \vec{F} = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23}$

$$F_{13} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{|q_1||q_3|}{r^2} \longrightarrow$$

$= 1.12x10^{-4}\ N \quad = 112\,\mu N$ (negative x-direction)

$$F_{23} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{|q_2||q_3|}{r^2} \longrightarrow$$

$= 8.4x10^{-5}\ N \quad = 84\,\mu N$ (positive x-direction)

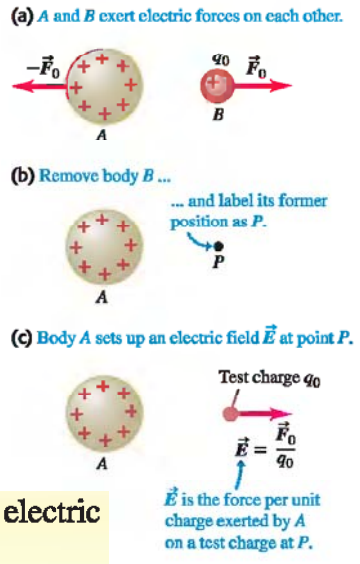
$$\sum \vec{F} = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23} \quad = -112\,\mu N + 84\,\mu N \quad = -28\,\mu N$$

Static Electricity

ไฟฟ้าสถิตย์

สนามไฟฟ้า (Electric Field)

- ทำให้เกิดแรงระหว่างประจุโดยไม่ต้องสัมผัสกัน (แรงเนื่องจากสนามของแรงทางไฟฟ้า)
- Faraday เสนอแนวคิดของสนามไฟฟ้า ว่า สนามไฟฟ้าจะเกิดขึ้นรอบๆ วัตถุที่มีประจุ Q ซึ่งเรียกว่า ประจุต้นกำเนิด(source charge)
- ถ้านำประจุทดสอบ (test charge) q_0 เข้ามาในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าจะเกิดแรงกระทำต่อประจุทดสอบ

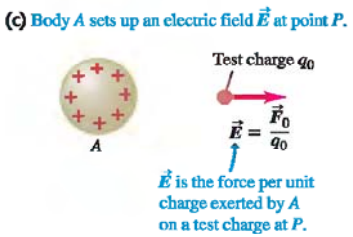


$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_0}{q_0}$$ **(definition of electric field as electric force per unit charge)**

Static Electricity

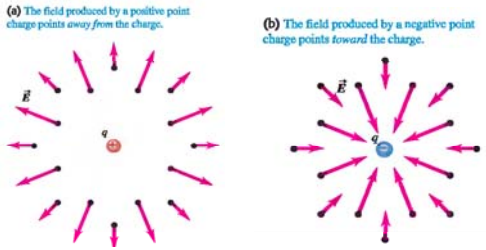
ไฟฟ้าสถิตย์

ขนาดของสนามไฟฟ้า



- สนามไฟฟ้าหาได้จากการวางประจุสมมติ q_0 เป็นประจุทดสอบ
- ขนาดของสนามที่เกิดจากประจุ q เท่ากับ

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{|q|}{r^2}$$ (magnitude of electric field of a point charge)



- เมื่อเรารู้สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากแหล่งกำเนิด สามารถหาแรงที่กระทำกับประจุได้จาก

$$\vec{F}_0 = q_0\vec{E}$$

(force exerted on a point charge q_0 by an electric field $\vec{E}$)

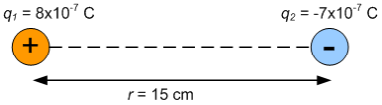
Static Electricity

ไฟฟ้าสถิตย์

Example 3 Two charge, $q_1 = 8.0\times10^{-7}$ C and $q_2 = -7.0\times10^{-8}$ C, are separated by a distance of 15 cm. (a) Find the electric field at q_2 due to q_1.

(b) Find the electric field at q_1 due to q_2.

(c) Find the forces on each charge.



Solution (a) Find the electric field at q_2 due to q_1.

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{|q|}{r^2}$$

$E_1 = 3.2\times10^5$ N/C away from the charge q_1

(b) Find the electric field at q_1 due to q_2.

$E_2 = -2.8\times10^5$ N/C toward the charge q_2

Static Electricity

ไฟฟ้าสถิตย์

Example 3 (con't) (c) Find the forces on each charge.

Solution $F = qE$

The forces on q_2 due to the field of q_1 : F_{21}

$F_{21} = 2.24\times10^{-2}$ N from q_2 toward q_1

The forces on q_1 due to the field of q_2 : F_{12}

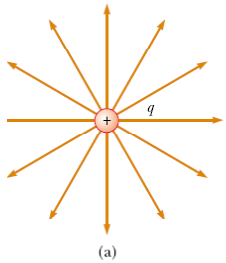
$F_{12} = 2.24\times10^{-2}$ N from q_1 toward q_2

Note: $F_{12} = -F_{21}$, These two forces are action-reaction forces

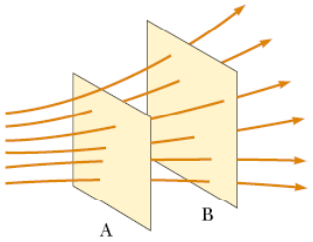
Static Electricity

ไฟฟ้าสถิตย์

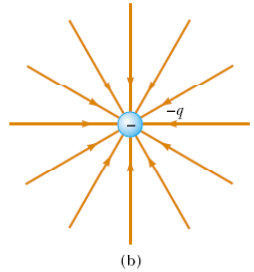
เส้นแรงไฟฟ้า (Lines of Force)



- เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เส้นสนามไฟฟ้า (Electric field lines)
- เส้นที่บอกทิศของสนามไฟฟ้า
- สนามไฟฟ้ามีทิศในแนวเส้นสัมผัสกับเส้นสนาม
- จำนวนเส้นสนามที่ทะลุผ่านพื้นที่ที่ตั้งฉากกับเส้นสนาม แปรผันตรงกับขนาดของสนามไฟฟ้า ดังนั้น บริเวณที่เส้นสนามอยู่ชิดกันมากจะมีค่าสนามไฟฟ้าสูง



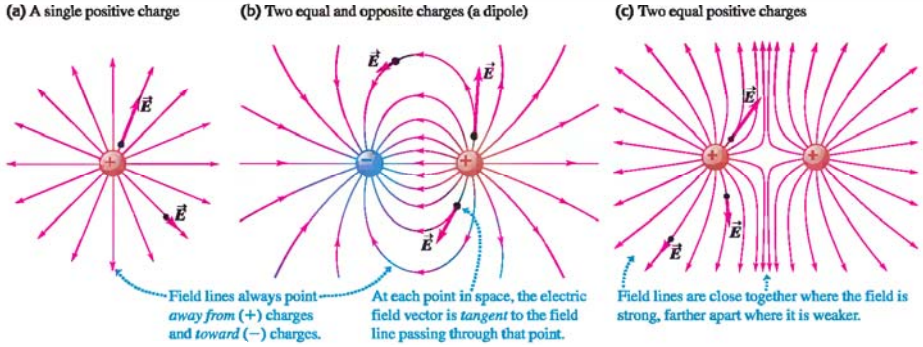
เส้นสนามไฟฟ้าไม่ใช่เส้นทางการเคลื่อนที่ของประจุ

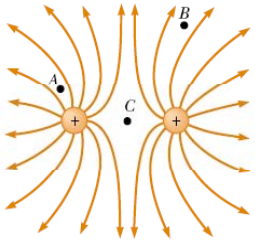


Static Electricity

ไฟฟ้าสถิตย์

เส้นแรงไฟฟ้า (Lines of Force)





Concept Test

จงเรียงลำดับตำแหน่งที่มีขนาดของสนามไฟฟ้าจากมากไปน้อย

1) A, B, C.
2) A, C, B
3) A, C, B
4) ขนาดของสนามไฟฟ้าดูจากภาพไม่ได้

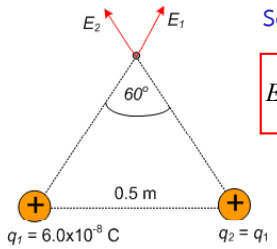
Static Electricity

ไฟฟ้าสถิตย์

Example 4 Two charges 6.0×10^{-8} C each are located on two vertices of equilateral triangle 0.5 m on a side.

(a) What is the electric field at the third vertex?

(b) What force would act on a third charge of 6.0×10^{-8} C placed on this third vertex?



Solution (a) What is the electric field at the third vertex?

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{|q|}{r^2}$$

The electric field at the third vertex; E = 3.8x103 N/C

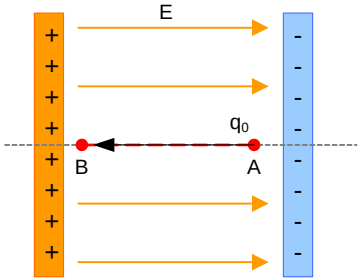
(b) $F = qE$

The force act on a third charge; $F = 2.3\times10^{-4}$ N

Static Electricity

ไฟฟ้าสถิตย์

ศักย์ไฟฟ้า (Electric Potential)



$$V_B - V_A = \frac{W_{AB}}{q_0} \qquad [V] = \frac{[J]}{[C]}$$

- กรณีประจุอยู่ในสนามไฟฟ้า (E) ที่สม่ำเสมอ (uniform field)
- งานภายนอกที่กระทำต่อประจุ q_0 ให้เคลื่อนจากจุด A ไปยังจุด B คือ WAB
- ความต่างศักย์ (potential difference) ระหว่างจุด A และ B นิยามโดย การเปลี่ยนแปลงของพลังงานศักย์ต่อหน่วยประจุ
- มีค่าเท่ากับงานภายนอกที่ใช้ในการเลื่อนประจุ q_o จากจุด A ไปยังจุด B หรือ

ศักย์ไฟฟ้า คือ พลังงานศักย์ต่อหน่วยประจุ

ความต่างศักย์ คือ ผลต่างของศักย์ไฟฟ้าระหว่างสองจุด $\Delta V = V_B - V_A$

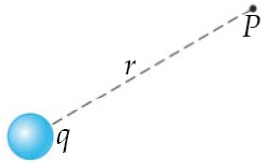
Static Electricity

ไฟฟ้าสถิตย์

ศักย์ไฟฟ้าจากจุดประจุ (Electric Potential of Point charge)

- ให้จุดอ้างอิงของศักย์ไฟฟ้าเท่ากับศูนย์ที่ระยะอนันต์
- ศักย์ไฟฟ้าจากจุดประจุ q เท่ากับ

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r} \quad ; \quad \frac{Nm^2}{C^2}\cdot\frac{C}{m} = \frac{Nm}{C} = \frac{J}{C} = [V]$$



- เท่ากับงานที่ใช้ในการเคลื่อนประจุหนึ่งหน่วยจากระยะอนันต์มาที่ระยะ r
- หน่วยของศักย์ไฟฟ้าคือ โวลต์ (Volt) 1 V = 1 J/C

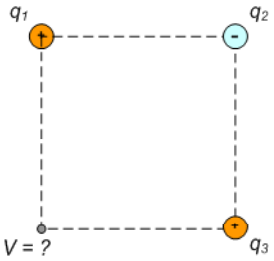
ศักย์ไฟฟ้าที่จุด P เท่ากับ งานที่ใช้ในการเคลื่อนประจุหนึ่งหน่วยมาที่ตำแหน่ง P

กรณีมีหลายจุดประจุ $V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sum_i^n \frac{q_i}{r_i} = V_1 + V_2 + \ldots + V_n$

Example 5 Charges of 1.0×10^{-8} C, -3.0×10^{-8} C and 2.0×10^{-8} C are located at successive corners of a 20.0 cm square.

(a) What is the electric potential of each charge at the uncharged corner?

(b) What is the potential at the uncharged corner?

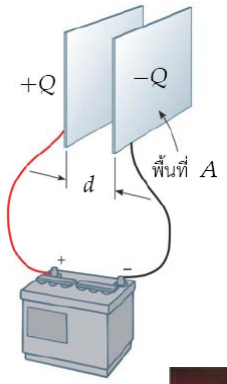


Solution (a) $V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r}$

(b)

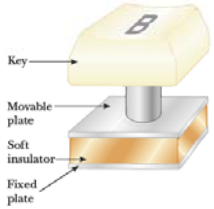
The potential at the uncharged corner ; V = 390 V

ความจุไฟฟ้า (Capacitance)



- เมื่อต่อแผ่นตัวนำเข้ากับขั้วไฟฟ้าบวก และขั้วลบ แล้วต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้า
- อิเล็กตรอนจะเคลื่อนออกจากขั้วหนึ่งทำให้เกิดประจุ +Q และอิเล็กตรอนจะไปสะสมที่อีกขั้วหนึ่งทำให้เกิดประจุ –Q
- การถ่ายเทประจุจะหยุดลงถ้าความต่างศักย์ของแผ่นขนานเท่ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้า ตัวเก็บประจุจะสะสมพลังงานที่เกิดจากการเคลื่อนประจุ
- ตัวเก็บประจุ (capacitor) จะทำหน้าที่สะสมประจุไฟฟ้า โดยตัวเก็บประจุที่มีค่าความจุไฟฟ้า (capacitance) สูงจะสามารถสะสมประจุไฟฟ้าได้ดี

Capacitor symbol



ความจุไฟฟ้า (Capacitance)

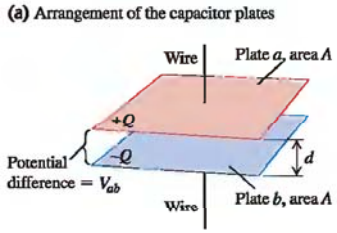
- ค่าความจุไฟฟ้า (C) ของตัวเก็บประจุ คือ อัตราส่วนของประจุไฟฟ้าในแผ่นตัวนำกับความต่างศักย์ระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสอง

$$C = \frac{Q}{\Delta V}$$

ความจุไฟฟ้ามีหน่วยเป็น ฟารัด (farad, F)
โดยที่ 1 F = 1 C/V

- สำหรับตัวเก็บประจุที่มีลักษณะเป็นแผ่นตัวนำคู่ขนาน (parallel-plate capacitor)

$$C = \frac{Q}{V_{ab}} = \epsilon_0\frac{A}{d}$$

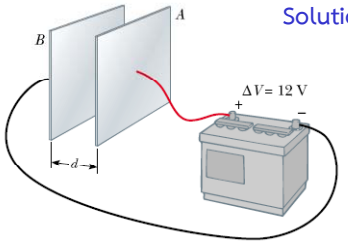


เมื่อ A คือ พื้นที่หน้าตัดของแผ่นตัวนำ (m^2)
และ d คือ ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ (m)

$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ F/m

1 F = 1 $C^2/N \cdot m$ = 1 C^2/J

Example 6 A parallel-plate capacitor has a capacitance of 1.0 nF. If plates are 1.0 mm apart, what is the area of the plates? If these capacitor is applied with battery 12 V, what is the charge on each plate.



Solution $C = \varepsilon_o\frac{A}{d}$ $\longrightarrow$ $A = \frac{Cd}{\varepsilon_o}$

= 0.11 m^2

The area of the plates is 0.11 m^2

$C = \frac{Q}{\Delta V}$ $\longrightarrow$ $Q = C\Delta V$

= 1.2×10^{-8} C

The charge on each plate is 1.2×10^{-8} C

Static Electricity

ไฟฟ้าสถิตย์

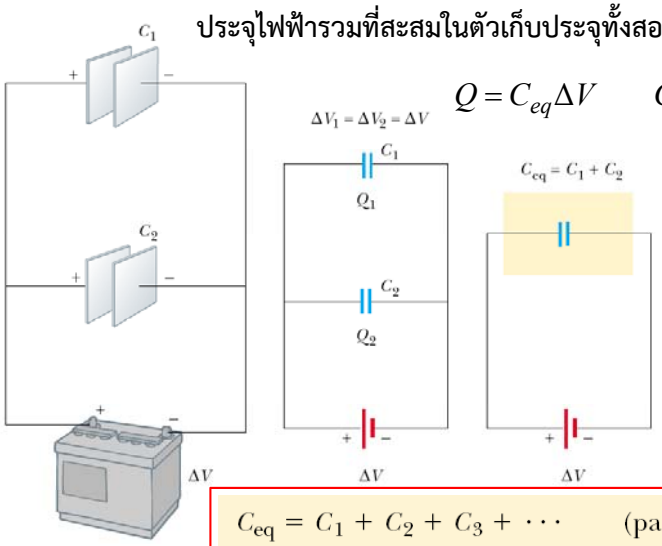
การต่อตัวเก็บประจุ

❑ การต่อแบบขนาน (Capacitors in Parallel)

ประจุไฟฟ้ารวมที่สะสมในตัวเก็บประจุทั้งสอง ; $Q = Q_1 + Q_2$

$Q = C_{eq}\Delta V \qquad C_{eq}\Delta V = C_1\Delta V + C_2\Delta V$

$C_{eq} = C_1 + C_2$



$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + \cdots \qquad \text{(parallel combination)}$$

Static Electricity

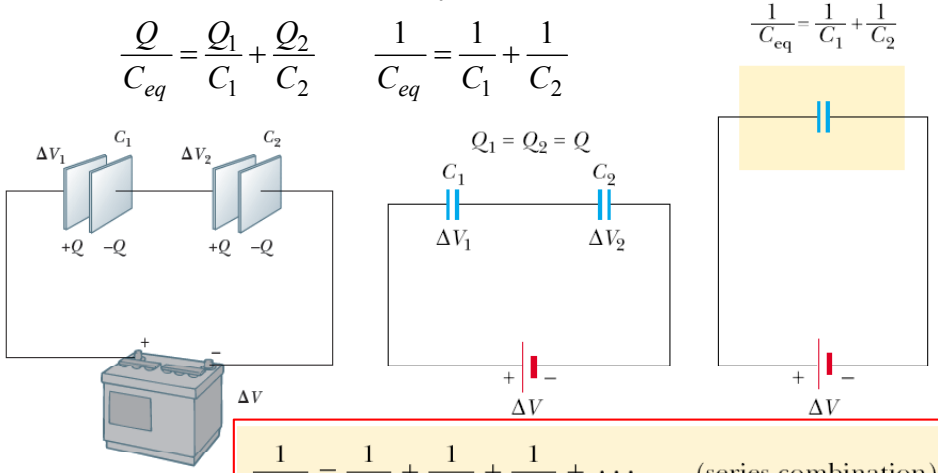
ไฟฟ้าสถิตย์

การต่อตัวเก็บประจุ

❑ การต่อแบบอนุกรม (Capacitors in Series)

ศักย์ไฟฟ้ารวมที่ต่อกับตัวเก็บประจุทั้งสอง ; $\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2$

$$\frac{Q}{C_{eq}} = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} \qquad \frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$



$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \cdots \qquad \text{(series combination)}$$

Static Electricity

ไฟฟ้าสถิตย์

Example 7 Three capacitors of 2.0 μF, 3.0 μF and 4.0 μF are connected in a parallel. A potential difference of 24 V is applied to this parallel assembly.

(a) What is the equivalent capacitance of the three capacitors connected together?

(b) What is the charge on each capacitor?

Solution

Static Electricity

ไฟฟ้าสถิตย์

Example 8 Three capacitors of 2.0 μF, 3.0 μF and 4.0 μF are connected in a series. A potential of 24 V is applied to this series assembly.

(a) What is the equivalent capacitance of the three capacitors connected together?

(b) What is the charge on each capacitor?

(c) What is the potential difference across each capacitor?

Solution