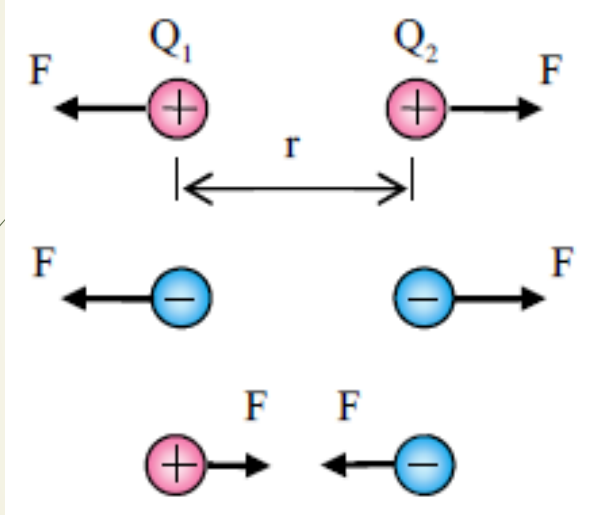
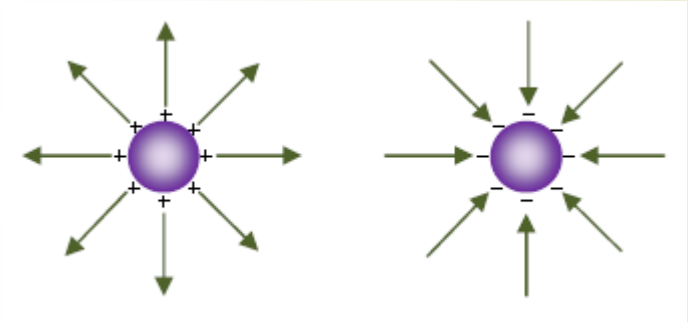
เอกสารประกอบการสอนรายวิชา ฟิสิกส์ 2

บทที่ 1 ไฟฟ้าสถิต





อาจารย์รัตนาภรณ์ สมฤทธิ์

สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

ประวัติย่อเกี่ยวกับไฟฟ้า

William Gilbert

Thales

Francis Hauksbee

Benjamin Franklin

Charles-Augustin de Coulomb

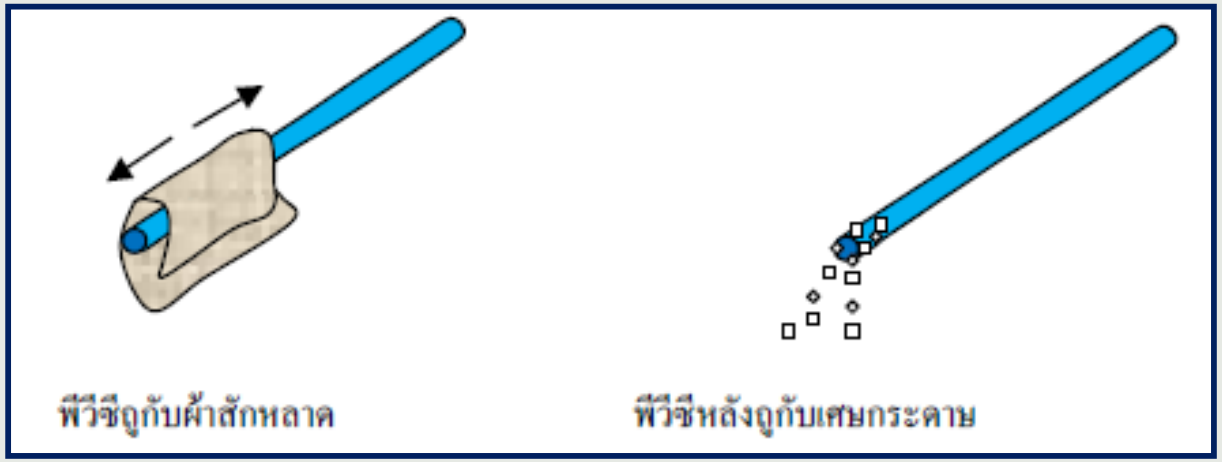
Gustav Robert Kirchhoff

- เมื่อนำแท่งอำพันถูกับผ้าขนสัตว์จะทำให้อำพันดูดวัตถุอื่นที่มีน้ำหนักเบาได้
- มีวัตถุอีกหลายอย่างเมื่อนำมาถูกกันสามารถดูดวัตถุอื่นได้ เรียกอำนาจที่ได้จากการนำวัตถุมาถูกันว่า “ไฟฟ้า”
- ประดิษฐ์อิเล็กโทรสโคป
- กระแสไฟฟ้าไหลจากขั้ว + ไปยังขั้ว –
- พบกฎกำลังสองผกผันสำหรับแรงระหว่างไฟฟ้า
- เสนอกฎที่ใช้ในการคำนวณวงจรไฟฟ้า

1.1 Electric Charge

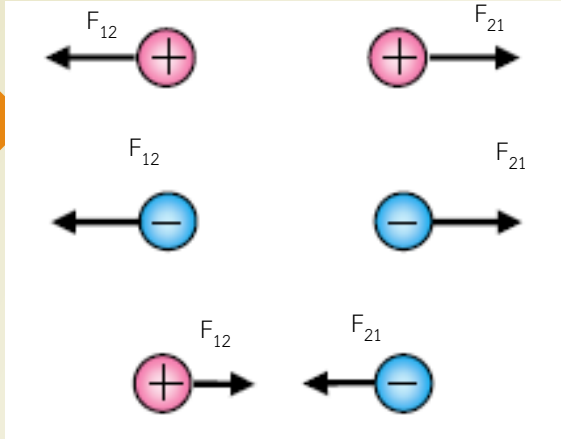
- **เกิดจาก** การนำวัตถุสองชนิดมาถูกัน แล้วทำให้เกิดอำนาจดึงดูด หรือผลักกันบนวัตถุนั้น เรียกว่า ***วัตถุนั้นมีประจุ*** และ ***เรียกแรงดึงดูดหรือผลัก***นี้ว่า

แรงระหว่างประจุ



- **กฎเกี่ยวกับประจุไฟฟ้า**

แรงระหว่างประจุไฟฟ้า แบ่งเป็น 2 ชนิด
- ***แรงดึงดูด*** เป็นแรงกระทำระหว่าง***ประจุต่างชนิดกัน***
- ***แรงผลัก*** เป็นแรงกระทำระหว่าง***ประจุชนิดเดียวกัน***



ก. ประจุบวกกับประจุบวก จะผลักกัน (Repulsion)

ข. ประจุลบกับประจุลบ จะผลักกัน (Repulsion)

ค. ประจุบวกกับประจุลบ จะดูดกัน (Attraction)

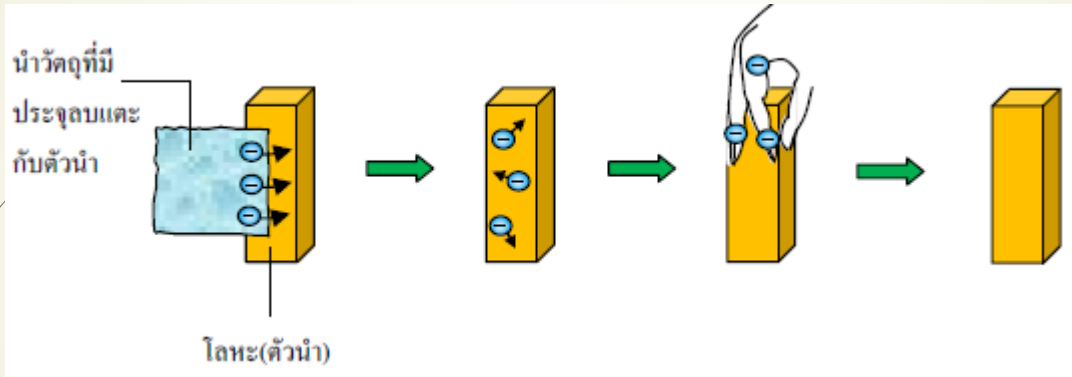
"ประจุชนิดเดียวกันจะผลักกัน ต่างชนิดกันจะดูดกัน"

อนุภาค	ประจุไฟฟ้า (C)	มวล (kg)
โปรตอน (p)	$+ 1.6021917 \times 10^{-19}$	1.67261×10^{-27}
อิเล็กตรอน (e)	$- 1.6021917 \times 10^{-19}$	9.1095×10^{-31}
นิวตรอน	0	1.67492×10^{-27}

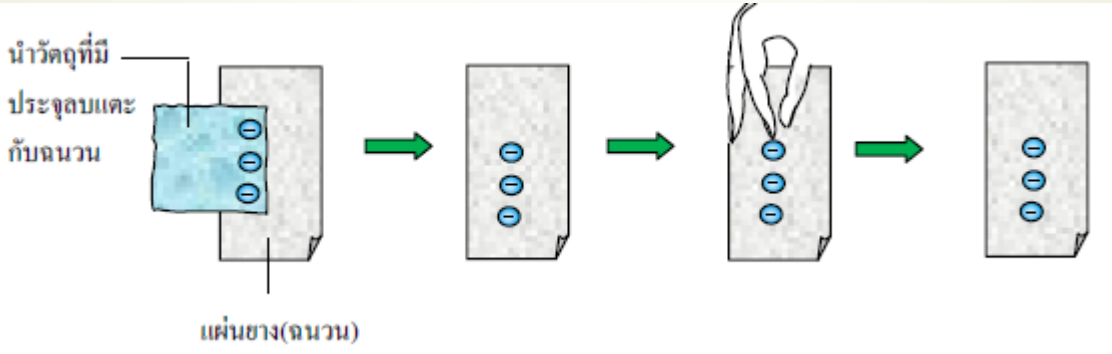
Conductor and Insulator

- Conductor = วัตถุที่ยอมให้ประจุไฟฟ้า เคลื่อนที่ไปได้สะดวกตลอดเนื้อวัตถุ

เช่น โลหะต่างๆ น้ำธรรมดา ร่างกาย



- Insulator = วัตถุที่ไม่ยอมให้ประจุไฟฟ้าผ่านไปมาได้สะดวก เช่น ยาง แก้ว พลาสติก

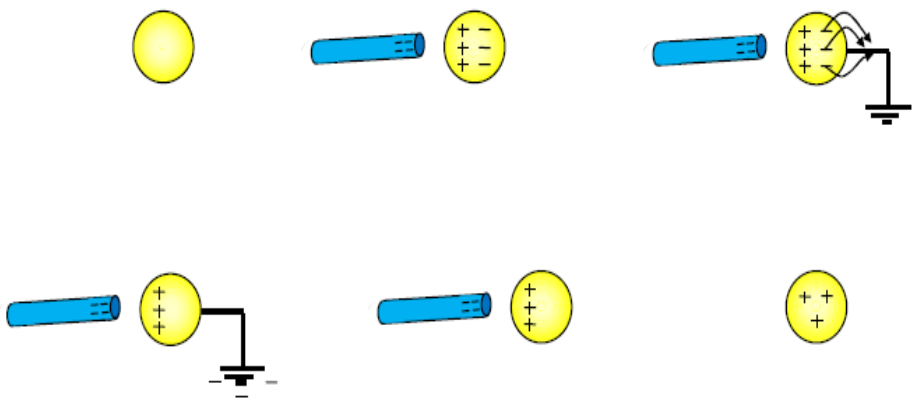


1.2 การทำให้วัตถุที่เป็นกลางเกิดประจุไฟฟ้า

- **การขัดสีหรือการถู** พลังงานกล → พลังงานความร้อน → อิเล็กตรอนหลุดออกมา
- **การสัมผัสหรือการแตะ** โดยการวิ่งของอิเล็กตรอนอิสระจากวัตถุที่มีศักย์ต่ำไปยังวัตถุที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่า จนทำให้ศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน โดยหลังจากการแตะสามารถหาจำนวนประจุได้ดังนี้

$$Q' = \frac{r\Sigma Q}{\Sigma r}$$

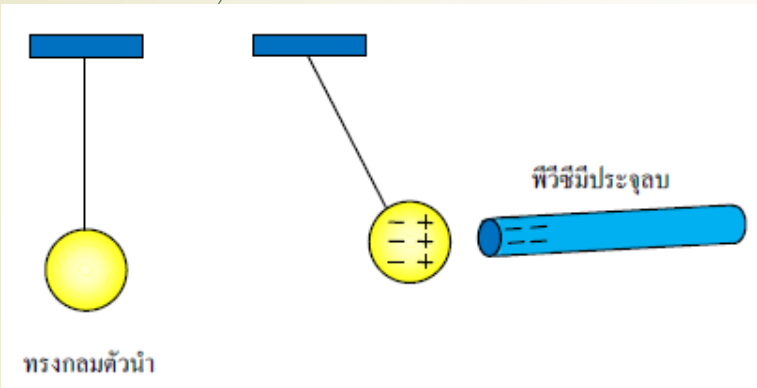
- **การเหนี่ยวนำไฟฟ้า** เป็นการนำวัตถุที่มีประจุเข้าใกล้วัตถุที่เป็นตัวนำ ซึ่งจะทำให้เกิดประจุชนิดตรงข้ามขึ้นบนด้านตัวนำที่ใกล้วัตถุ



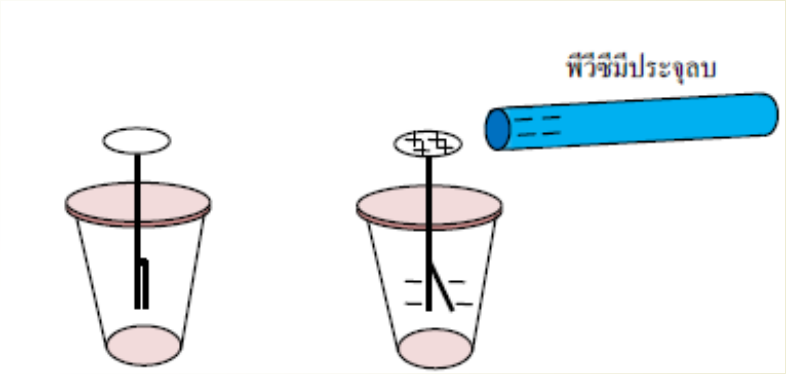
ล่อ → ต่อ ground
↓
ground ออก
↓
ล่อออก

Electroscope

(Pith-ball Electroscope)



(Leaf Electroscope)



- ทดสอบว่าวัตถุมีประจุหรือไม่ (จานเป็นกลาง)
- ทดสอบว่าวัตถุมีประจุชนิดใด (จานมีประจุ)
- ทดสอบว่าวัตถุใดเป็นตัวนำหรือฉนวน (จานมีประจุ)
- เปรียบเทียบความมากน้อยของจำนวนประจุบนตัวนำ (จานเป็นกลาง)

กฎการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า

"การทำให้วัตถุมีประจุไฟฟ้า ไม่ใช่การสร้างประจุขึ้นใหม่ แต่เป็นการย้ายประจุจากที่หนึ่งไปที่หนึ่ง โดยผลรวมของจำนวนประจุทั้งหมดของระบบที่พิจารณาจะเท่าเดิมเสมอ"

- วัตถุที่เป็นกลางทางไฟฟ้าจะมีจำนวนโปรตอนเท่ากับอิเล็กตรอน
- วัตถุที่สูญเสียอิเล็กตรอนจะมีประจุบวก (p>e)
- วัตถุที่รับอิเล็กตรอนจะมีประจุลบ (e>p)
- จำนวนประจุรวมของวัตถุทั้งสองมีค่าคงเดิม
- การถูไม่ได้สร้างประจุใหม่ แต่เป็นการแยกประจุไฟฟ้า

$q = ne$

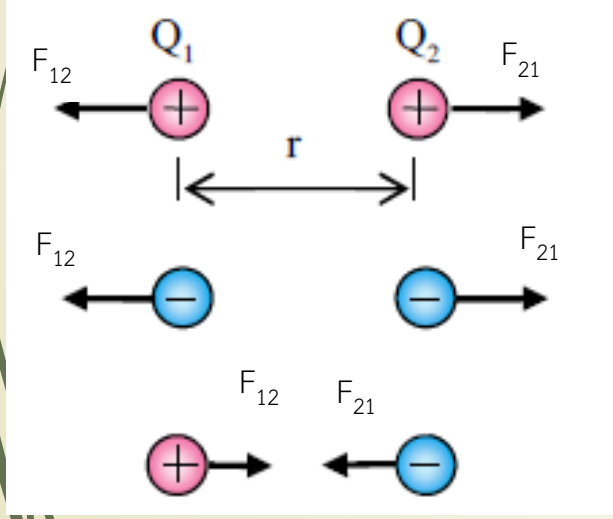
เมื่อ q = ขนาดของประจุไฟฟ้าหรือประจุสุทธิ หน่วย C

e = หน่วยหลักมูลหรือประจุไฟฟ้ามูลฐาน = 1.6×10^{-19} C

n = จำนวนประจุไฟฟ้า = 1, 2, 3, ...ตัว หรืออนุภาค

1.3 แรงระหว่างประจุ (Electric Force) และกฎของคูลอมบ์ (Coulomb' s Law)

" แรงระหว่างประจุจะเป็นสัดส่วนของผลคูณของประจุ และแปรผกผันกับระยะระหว่างประจุยกกำลังสอง "



$$F = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$$

$$F_{21} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q_1Q_2}{r^2}\hat{r}_{21}$$

โดยที่ F_{21} เป็นเวกเตอร์ของแรงทางไฟฟ้าจากประจุ Q_1 กระทำต่อประจุ Q_2 (N)

k เป็นค่าคงที่ของคูลอมบ์ มีค่าเท่ากับ 9×10^9 $(N.m^2/C^2)$

ε_0 เป็นค่าสภาพะยอมในสุญญากาศ มีค่าเท่ากับ 8.85×10^{-12} C^2/Nm^2

r เป็นระยะห่างระหว่างประจุทั้งสอง (m)

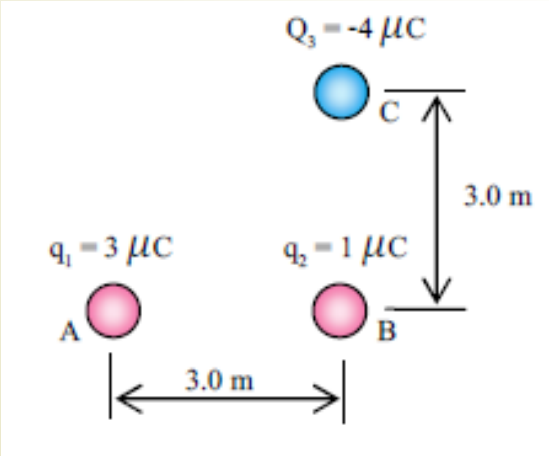
Q_1 และ Q_2 เป็นขนาดประจุไฟฟ้าตัวที่ 1 ตัวที่ 2 (C)

ตัวอย่างที่ 1 ประจุไฟฟ้า Q_1 และ Q_2 มีขนาดเท่ากัน คือ +1 μC วางห่างกัน 2.0 m จงหาแรงระหว่างประจุทั้งสองมีขนาดเท่าใด

$$F = \frac{KQ_1Q_2}{r^2} = \frac{9x10^9 x1x10^{-6} x1x10^{-6}}{2.0^2}$$

$$F = 2.25x10^{-3} N$$

ตัวอย่างที่ 2 จากรูปที่ตำแหน่ง A B และ C มีประจุ q_1 = 3 μC q_2 = 1 μC และ q_3 = -4 μC วางอยู่ตามลำดับ เมื่อระยะ AB = 3 m และ BC = 3 m จงหาขนาดและทิศทางของแรงที่กระทำต่อประจุที่ตำแหน่ง B



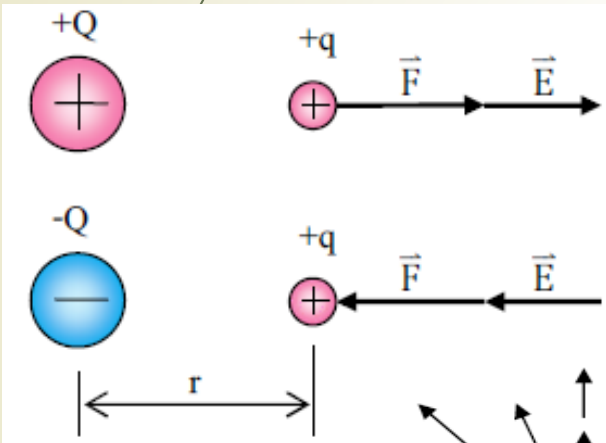
ตัวอย่างที่ 3 ประจุขนาด + 5.0 $\times 10^{-6}$ C และ - 3.0 $\times 10^{-6}$ C วางห่างกัน 20.0 cm ถ้านำประจุทดสอบขนาด + 1.0 $\times 10^{-6}$ C มาวางไว้ที่จุดกึ่งกลางระหว่างประจุทั้งสอง ขนาดและทิศทางของแรงที่กระทำต่อประจุทดสอบ

ตัวอย่างที่ 4 จุดประจุ 26.0 $\times 10^{-3}$ C วางไว้ที่จุด B และประจุชนิดตรงข้าม –Q วางไว้ที่จุด D ดังรูป ถ้านำประจุ P ไปวางที่จุด C หรือ A จะเกิดแรงผลักประจุ P ไปทางขวามือและซ้ายมือของจุด B ตามลำดับ และแรงผลักทั้งสองมีค่าเท่ากัน จงหาค่าขนาดของประจุ -Q

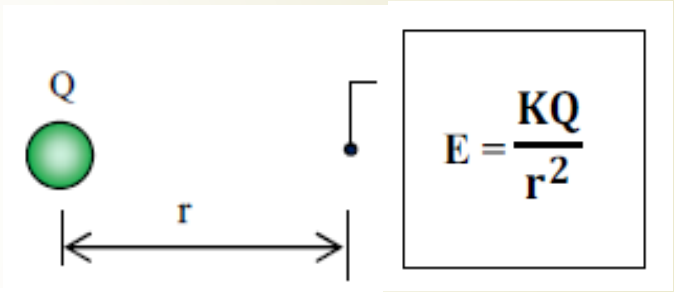
<u>ตัวอย่างเพิ่มเติม</u> ตัวนำชนิดเดียวกันขนาดเท่ากัน 2 ลูก ลูกหนึ่งมีประจุ $+4 \times 10^{-5}$ C อีกลูกหนึ่งมีประจุ -2×10^{-5} C นำมาแตะกันแล้วแยกออกจากกัน โดยวางห่างกัน 0.1 m จงหาแรงระหว่างประจุที่เกิดขึ้นบนตัวนำแต่ละลูก

1.4 สนามไฟฟ้า (Electric Field)

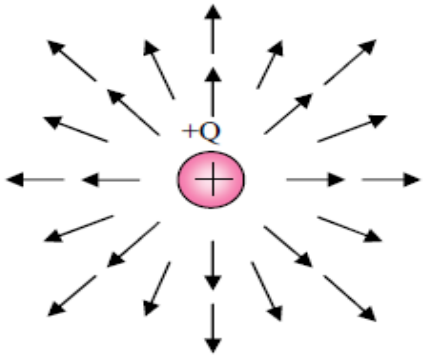
หมายถึง อัตราส่วนของแรงที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยประจุ ซึ่งวางอยู่ในสนามไฟฟ้า สนามไฟฟ้าเป็นปริมาณเวกเตอร์ มีทิศเดียวกับทิศของแรงที่กระทำต่อประจุทดสอบ + q และมีหน่วยเป็น N/C หรือ V/m



$$E = \frac{F}{q}$$

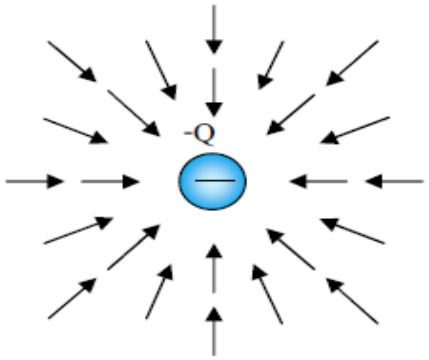


$$E = \frac{KQ}{r^2}$$



สนามไฟฟ้าเนื่องจาก

ประจุ +Q

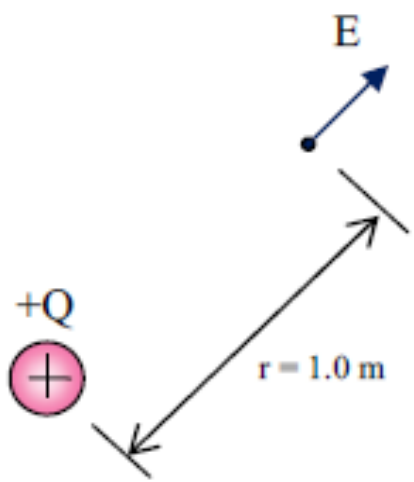


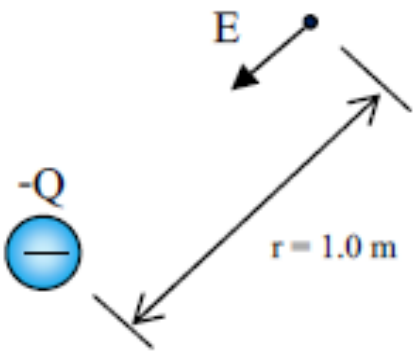
สนามไฟฟ้าเนื่องจาก

ประจุ -Q

สนามไฟฟ้าของจุดประจุ

ตัวอย่างที่ 5 จงหาขนาดและทิศทาง ของสนามไฟฟ้า เนื่องจากประจุ Q ขนาด 1 μC ที่ระยะห่าง 1 m จากจุดประจุ ถ้าจุดประจุเป็นบวกและลบ





หาขนาดของสนามไฟฟ้า จาก $E = \frac{KQ}{r^2}$

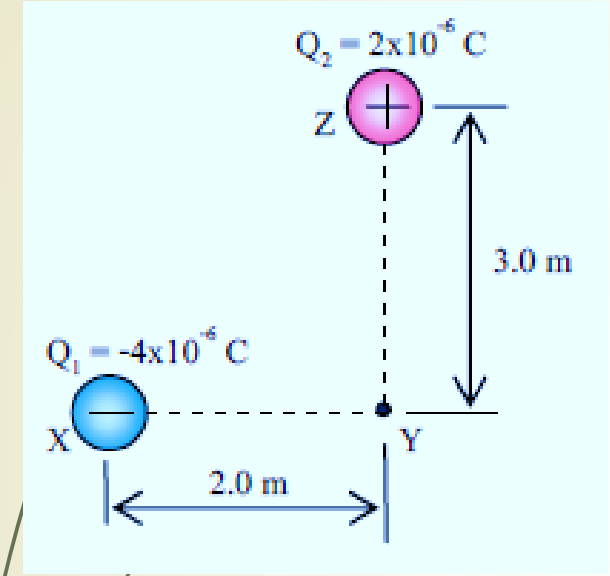
$$= \frac{9x10^9 x 1x10^{-6}}{1.0^2}$$

$$\therefore E = 9.0x10^3 \ N/C$$

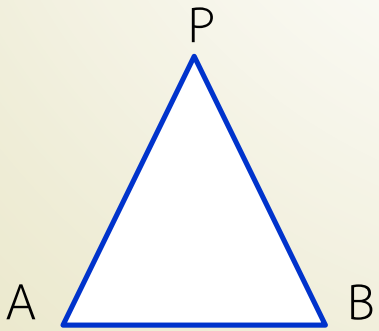
ขนาดของสนามไฟฟ้าจากประจุ Q มีค่าเท่ากับ $9.0x10^3$ N/C ทั้งประจุบวก และลบ **Ans**

สนามไฟฟ้าของกลุ่มประจุ

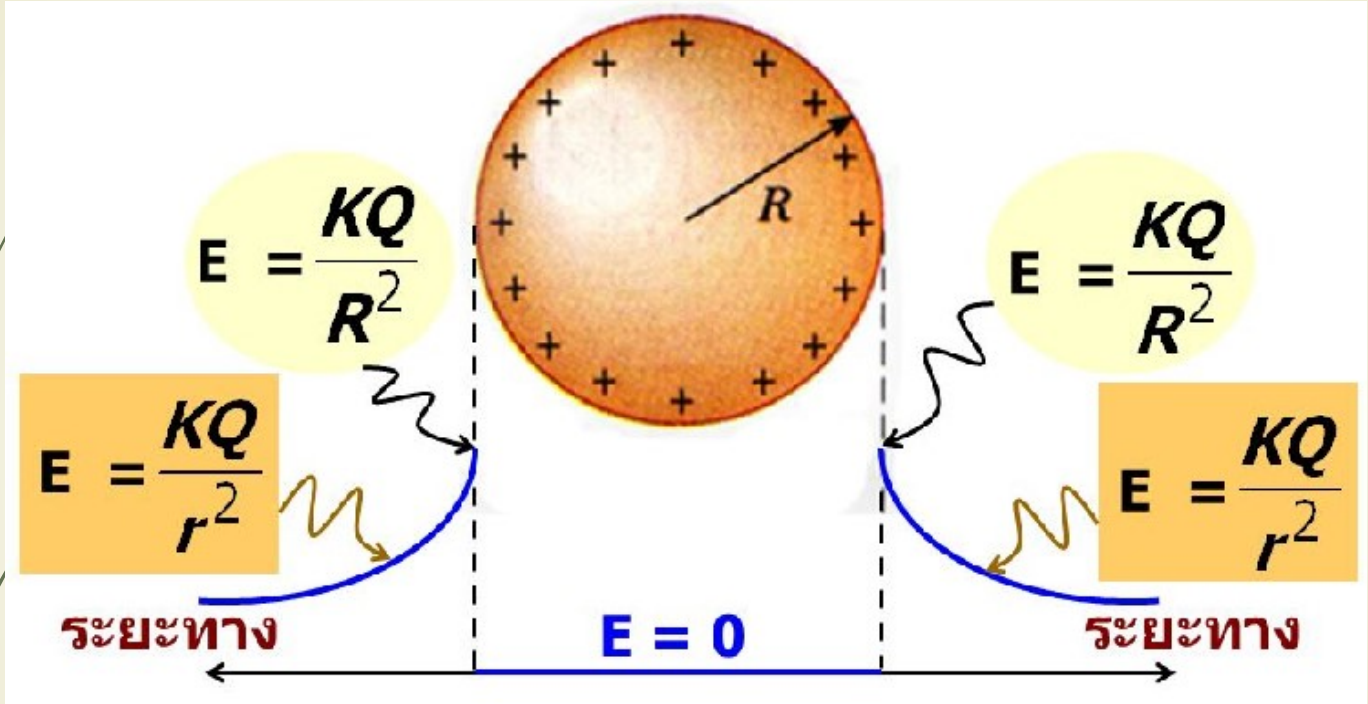
ตัวอย่างที่ 6 ที่ตำแหน่ง X และ Z มีประจุ Q_1 และ Q_2 ขนาด -4 μC และ 2 μC ตามลำดับ ดังรูป เมื่อระยะ XY เท่ากับ 2 m และ YZ เท่ากับ 3 m จงหาขนาดและทิศทางของสนามไฟฟ้าที่ Y



ตัวอย่างที่ 7 จากรูป ถ้า ABP เป็นสามเหลี่ยมด้านเท่ามีแต่ละด้านยาว 0.1 m ถ้านำจุดประจุ 1.0 μC วางไว้ที่จุด A และนำจุดประจุ -1.0 μC วางไว้ที่จุด B สนามไฟฟ้าที่จุด P เนื่องจากจุดประจุทั้งสองมีค่าเท่าใด



สนามไฟฟ้าเนื่องจากประจุบนทรงกลมตัวนำ



สนามไฟฟ้าเนื่องจากประจุกระจายอย่างต่อเนื่อง

- กระจายอย่างต่อเนื่องในวัตถุ เช่น เส้นลวด ทรงกลม วงแหวน เป็นต้น

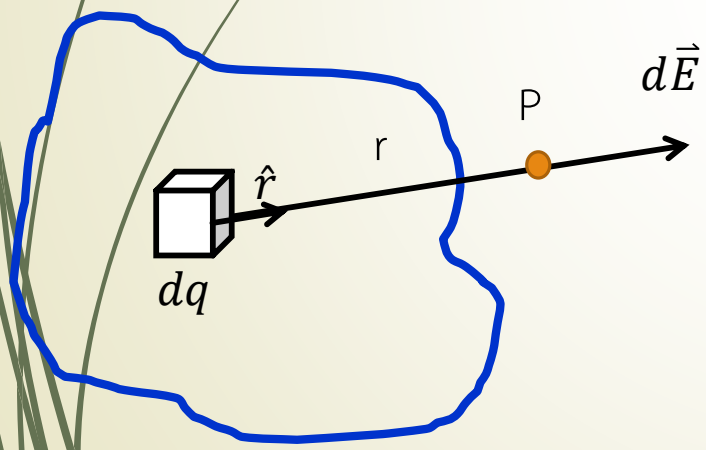
$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int \frac{dq}{r^2}\hat{a_r}$$

จำนวนชิ้นประจุ ขึ้นกับความหนาแน่นของการกระจายประจุในแต่ละแบบ

$$dq = \rho dv$$

$$dq = \sigma da$$

$$dq = \lambda dl$$

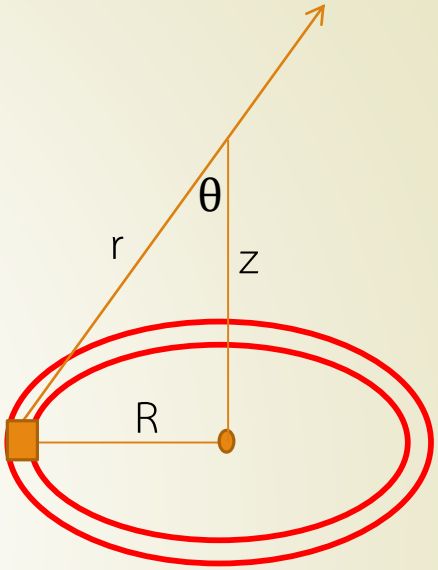


โดย ρ แทนความหนาแน่นเชิงปริมาตร (C/m^3)

σ แทน ความหนาแน่นเชิงพื้นที่ (C/m^2)

λ แทนความหนาแน่นเชิงเส้น (C/m)

ตัวอย่างที่ 8 จากรูปจงหาสนามไฟฟ้าที่จุด P เนื่องจากประจุกระจายสม่ำเสมอในวงแหวนรัศมี R



จากรูปตัวนำเป็นแบบวงแหวน เมื่อพิจารณาเวกเตอร์สนามไฟฟ้า จะได้

$$E = \int dE\, cos\theta$$

เพราะ $dE\, sin\theta$ หักล้างกันหมดไป และ $dE = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{dq}{r^2}$

จะได้ $$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int \frac{dq}{r^2} cos\theta$$

จากรูป $r^2 = z^2 + R^2$ และ $cos\theta = \frac{z}{(R^2+Z^2)^{1/2}}$

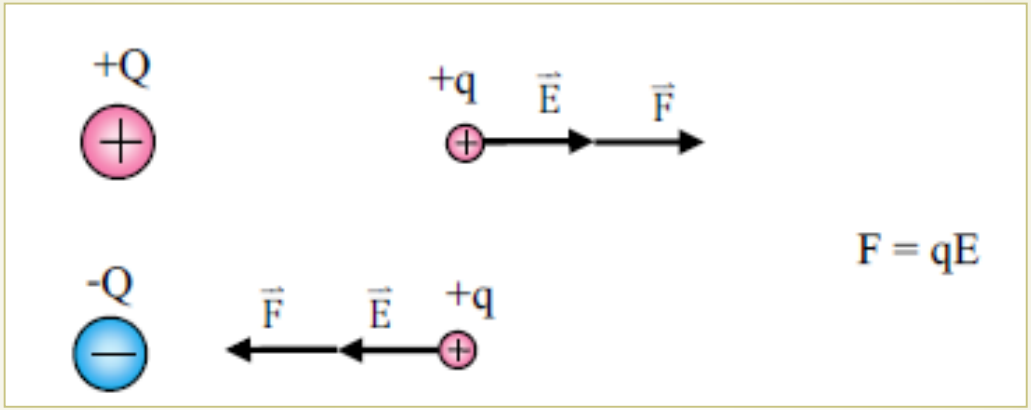
ดังนั้น $$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int_0^q \frac{dq}{(z^2+R^2)^2}\frac{z}{(R^2+z^2)^{1/2}}$$

$$E = \frac{z}{(R^2+z^2)^{3/2}}\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int_0^q dq$$

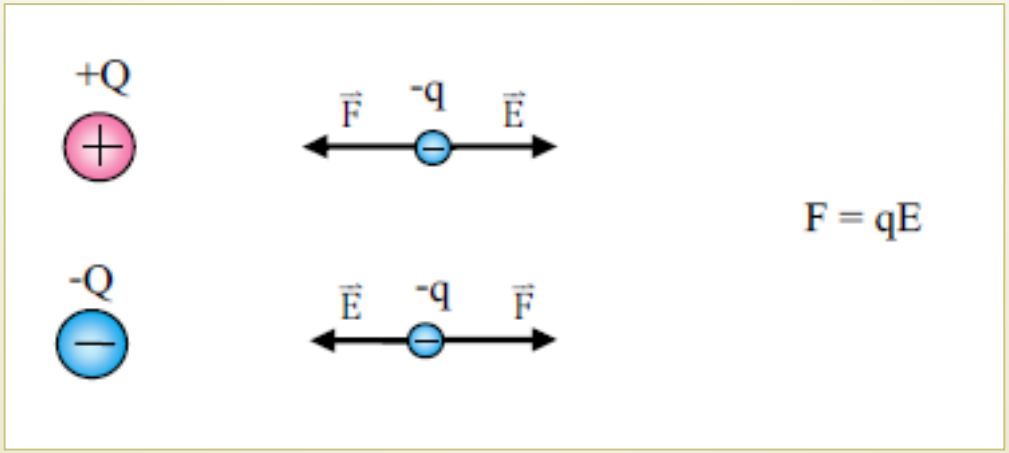
$$E = \frac{qz}{4\pi\varepsilon_0(R^2+z^2)^{3/2}}$$

สรุป
ทิศทางของแรงระหว่างประจุ และทิศทางขอสนามไฟฟ้า

- เมื่อนำประจุ + q มาวางไว้ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้า ที่เกิดจากประจุ Q



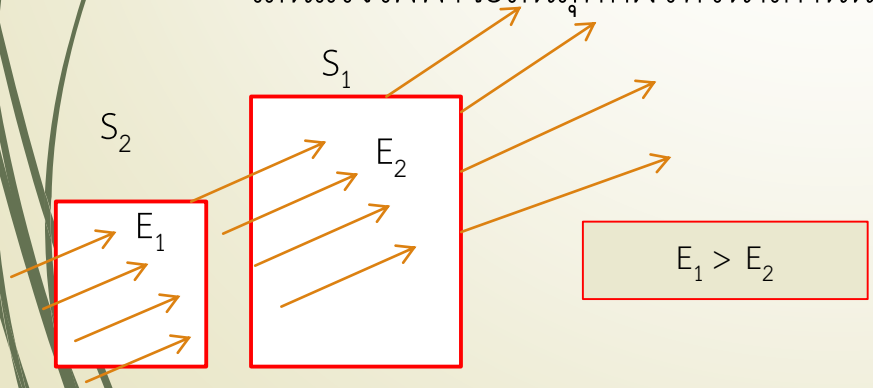
- เมื่อนำประจุ -q มาวางไว้ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้า ที่เกิดจากประจุ Q

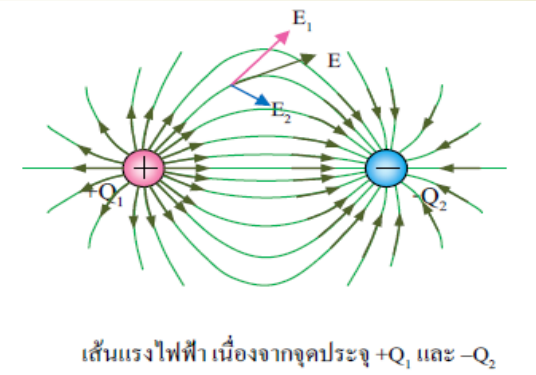


1.7 เส้นสนามไฟฟ้า (Electric Field Lines)

เป็นเส้นที่เราสมมติขึ้น เพื่อแสดงทิศทางของสนามไฟฟ้าในบริเวณรอบๆจุดประจุ หรือเส้นที่ลากต่อตำแหน่งของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่มีทิศทางไปทางเดียวกัน บางครั้งเรียกว่า **เส้นแรงไฟฟ้า** (electric line of force)

- เส้นแรงไฟฟ้ามีจำนวนเป็นสเกลาร์ ขณะที่สนามไฟฟ้าเป็นเวกเตอร์ เวกเตอร์สนามไฟฟ้าจะเป็นเส้นสัมผัสของเส้นแรงไฟฟ้า
- จำนวนเส้นแรงไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวที่ตั้งฉากกับเส้นแรงไฟฟ้านั้น เป็นสัดส่วนตรงกับความเข้มสนามไฟฟ้าที่บริเวณนั้น (E=N/A) ความหนาแน่นของเส้นแรงในบริเวณใดมาก แสดงว่าความเข้มสนามไฟฟ้าก็จะมาก
- เส้นแรงไฟฟ้าจะพุ่งออกจากประจุบวกและพุ่งประจุลบ เส้นแรงไฟฟ้าจะไม่ตัดกัน
- เส้นแรงไฟฟ้าจะตั้งฉากกับผิวของวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าเสมอ
- เส้นแรงไฟฟ้าจะสิ้นสุดที่ผิวตัวนำเท่านั้น แสดงว่าภายในตัวนำจะไม่มีเส้นแรงฟ้า $E_{ใน}=0$

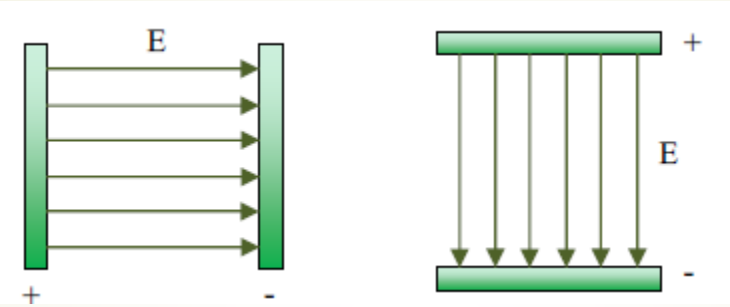




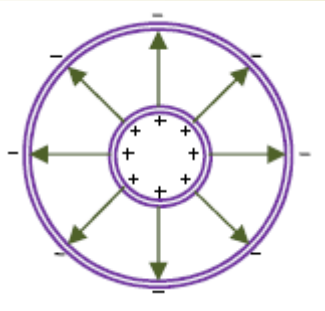
เส้นแรงไฟฟ้า เนื่องจากจุดประจุ $+Q_1$ และ $-Q_2$

เส้นแรงไฟฟ้าลักษณะอื่นๆ

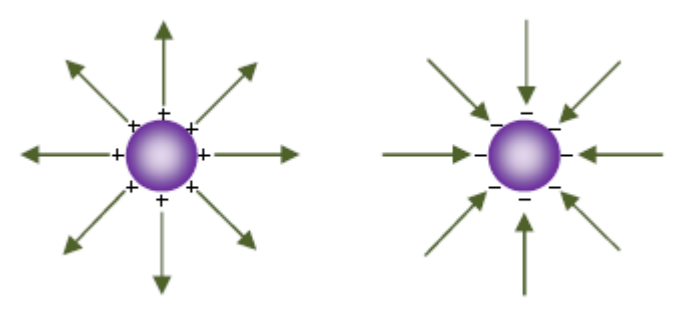
1. แผ่นตัวนำที่ขนานกัน



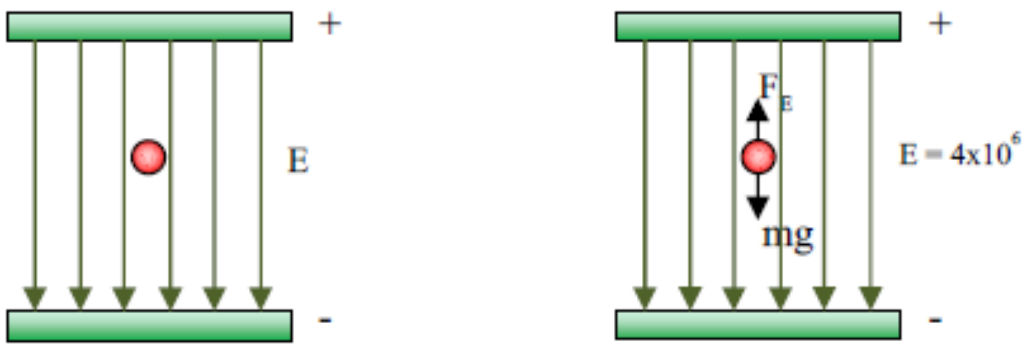
2. ตัวนำวงกลมที่มีประจุต่างชนิดกัน วางซ้อนกัน



3. ตัวนำทรงกลม



ตัวอย่างที่ 9 หยดน้ำมันมวล 8.4×10^{-14} kg เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้า ของแผ่นตัวนำขนานแนวดิ่ง ดังรูป ถ้าขนาดสนามไฟฟ้าเป็น 4.0×10^{6} N/C จงหาประจุบนหยดน้ำมัน (ไม่คิดแรงต้านของอากาศ)



หยดน้ำมันเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว ∴ ความเร่ง a = 0

แสดงว่า $F_E = mg$

$qE = mg$ จาก $(E = \frac{F}{q})$

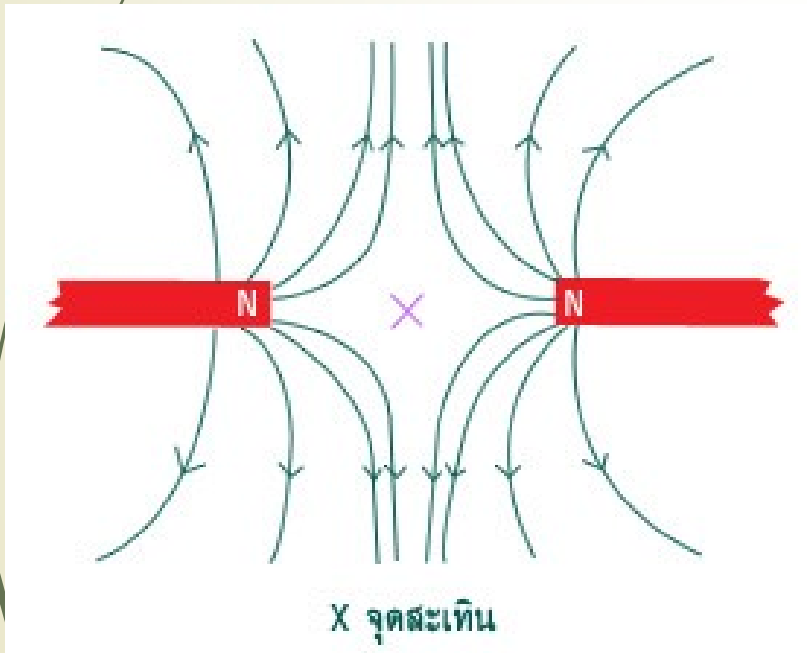
$q(4x10^6) = 8.4x10^{-14}x10$

$q = 2.1x10^{-19}$

∴ หยดน้ำมันมีประจุ $-2.1x10^{-19}$ C **Ans** (เพราะ F_E มีทิศเข้าหาประจุ +)

จุดสะเทิน (Neutral Point)

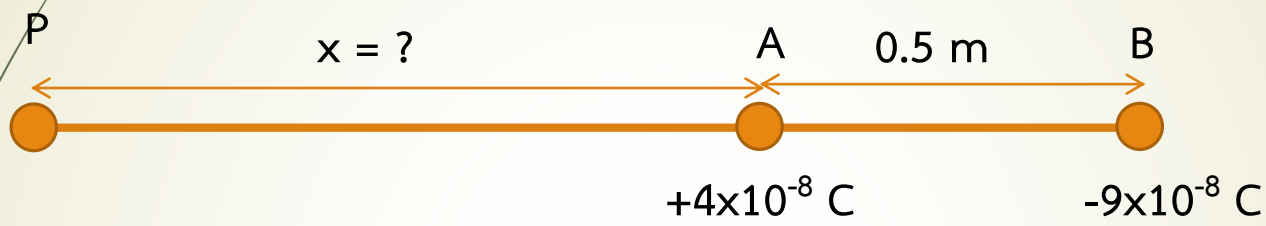
- คือ จุดที่สนามไฟฟ้าลัพธ์เป็นศูนย์ หรือจุดที่ไม่มีแรงกระทำบนประจุไฟฟ้าซึ่งนำไปวางที่จุดนั้นเลย



- เมื่อ 2 จุดประจุเป็น**<u>ชนิดเดียวกัน ขนาดต่างกัน</u>** จุดสะเทินจะอยู่บนเส้นตรงในระหว่างจุดประจุทั้งสองและอยู่ใกล้ประจุที่มีค่าน้อย
- หากประจุทั้งสองมี**<u>ขนาดเท่ากัน</u>** จุดสะเทินจะอยู่ตรงกลาง

- เมื่อ 2 จุดประจุ**<u>ต่างชนิดกัน ขนาดต่างกัน</u>** จุดสะเทินจะอยู่บนเส้นตรงระหว่างจุดประจุทั้งสองและอยู่ข้างนอกใกล้ประจุที่มีค่าน้อย
- หากประจุทั้งสองมี**<u>ขนาดเท่ากัน</u>** จะไม่มีจุดสะเทินเกิดขึ้น

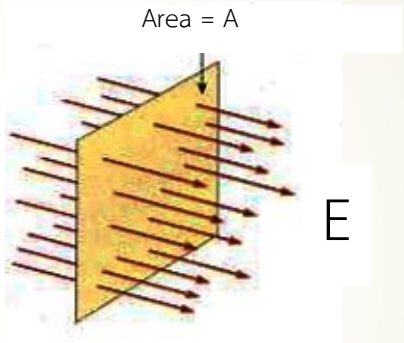
ตัวอย่าง จุดประจุ $+4\times10^{-8}$ C และ -9×10^{-8} C วางห่างกัน 0.5 m ดังรูป จุด P เป็นจุดที่สนามไฟฟ้าเป็นศูนย์ ระยะ x มีค่ากี่เมตร

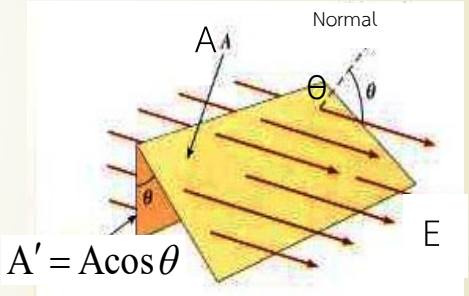


1.5 ฟลักซ์ไฟฟ้า (Electric Flux)

- **ฟลักซ์ไฟฟ้า** หมายถึง เส้นแรงไฟฟ้าที่ผ่านผิวที่เราสมมติขึ้น แทนด้วย Ø
- **ฟลักซ์ไฟฟ้า ณ ที่ใด** คือ ผลคูณเชิงสเกลาร์ระหว่างสนามไฟฟ้า ณ ที่นั้นกับพื้นที่ที่สนามไฟฟ้าผ่าน

$$\emptyset = \vec{E}.\vec{A} = EA\cos\theta$$

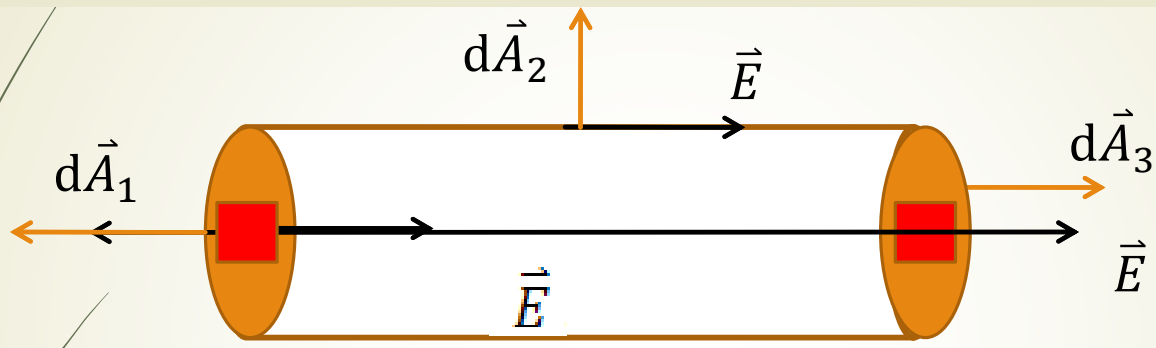




- θ เป็นมุมระหว่างสนามไฟฟ้ากับพื้นที
- จากสูตร หน่วยฟลักซ์ไฟฟ้า คือ.....
- ถ้า θ = 0 องศา ฟลักซ์ไฟฟ้ามีค่าเป็น.....มีทิศ.....
- ถ้า θ = 180 องศา ฟลักซ์ไฟฟ้ามีค่าเป็น.....มีทิศ.....
- ถ้าพื้นที่ผิวที่ฟลักซ์ไฟฟ้าผ่านแบ่งเป็นพื้นที่เล็กๆ $d\vec{A}$ ฟลักซ์ไฟฟ้าที่ผ่านพื้นที่ผิวทั้งหมด

$$\emptyset = \int \vec{E}\,.\,d\vec{A}$$

ตัวอย่างที่ 10 ทรงกระบอกรัศมี R วางอยู่ในสนามไฟฟ้าที่มีขนาด $\vec{E}$ สม่ำเสมอ โดยแกนของทรงกระบอกขนานกับทิศของสนามไฟฟ้า จงหาค่าฟลักซ์ไฟฟ้าที่ผ่านผิวปิดนี้



จาก $$\emptyset = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A}$$

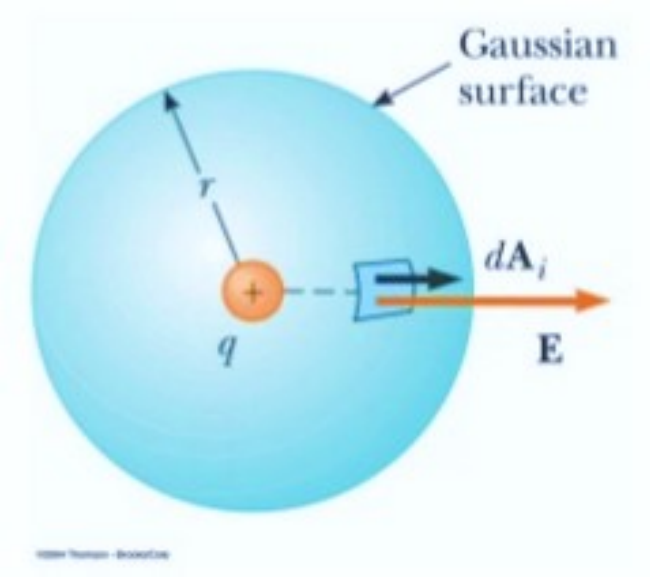
$$\emptyset = \int \vec{E} \cdot d\overrightarrow{A_1} + \int \vec{E} \cdot d\overrightarrow{A_2} + \int \vec{E} \cdot d\overrightarrow{A_3}$$

$$\emptyset = -EA + 0 + EA = 0$$

แสดงว่าฟลักซ์ไฟฟ้าที่พุ่งออกเท่ากับฟลักซ์ไฟฟ้าที่พุ่งเข้า

1.6 กฎของเกาส์ (Gauss's Law)

- ใช้สำหรับคำนวณหาความเข้มสนามไฟฟ้า เมื่อประจุกระจายกันอยู่อย่างสมมาตร(symmetry) โดยเลือกใช้ผิวปิดที่เราสมมติขึ้นและให้ฟลักซ์ผ่าน เรียกว่า "**ผิวเกาเซียน** (Gaussian surface)"
- พิจารณาจุดประจุ q (point charge) ต้องการหาสนามไฟฟ้า ที่ระยะห่างจากจุดประจุ q เท่ากับ r โดยผิวเกาเซียนเป็นรูปทรงกลมรัศมี r



จะได้สนามไฟฟ้าที่ผิวทรงกลมมีค่าเป็น

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{kq}{r^2}\hat{a}_r = \frac{q}{4\pi\,\epsilon_0\,r^2}\hat{a}_r$$

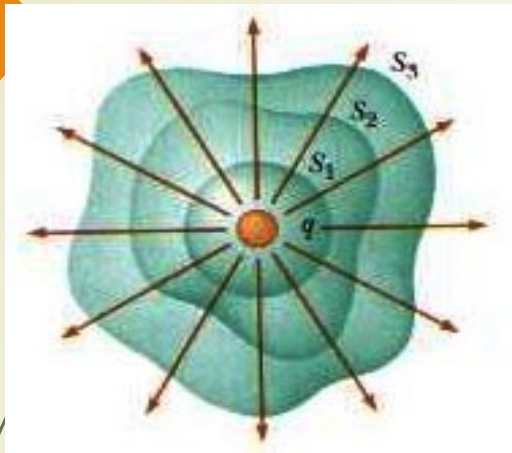
จากสูตร $\emptyset = \oint \vec{E}\,.\,d\vec{A} = \oint \frac{q}{4\pi\,\epsilon_0\,r^2}\hat{a}_r.\hat{a}_r dA$

$$= \frac{q}{4\pi\,\epsilon_0\,r^2}.4\pi r^2$$

$$\boxed{\emptyset = \frac{q}{\epsilon_0}}$$

กฎของเกาส์

ถ้าสร้างทรงกลมร่วมจุดศูนย์กลางกันเป็น s_1 s_2 s_3 ห่อหุ้มประจุ q ตัวเดียวกัน ฟลักซ์ไฟฟ้าที่ผ่านแต่ละผิวจะเป็นอย่างไร ??



ถ้าประจุ $q_1, q_2, q_3, \ldots, q_n$ วางอยู่ภายในผิวปิด s และประจุ q' , q", ... อยู่ภายนอกผิวปิด s ฟลักซ์ไฟฟ้าที่ผ่านผิวจะมีค่าเท่าไร??

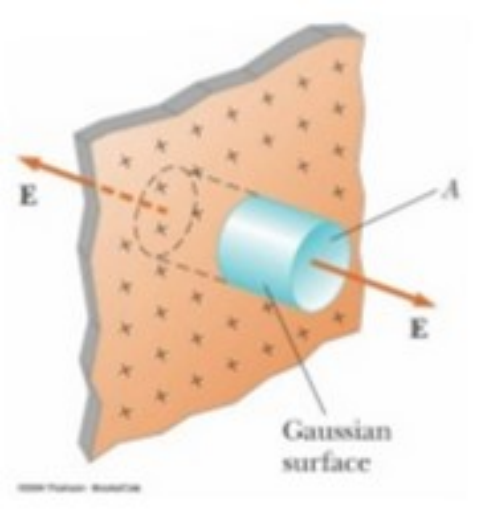
$$\phi_E = \oint \vec{\mathbf{E}} \cdot d\vec{\mathbf{A}} = \frac{q_{in}}{\varepsilon_0}$$

เมื่อ q_{in} คือประจุสุทธิภายในพื้นผิว
และ E แสดงสนามไฟฟ้าที่จุดใดๆ บนพื้นผิว

กฎของเกาส์

กฎของเกาส์ใช้กับประจุที่อยู่ในผิวปิดเท่านั้น

ตัวอย่าง จงหาสนามไฟฟ้าเนื่องจากแผ่นประจุขนาดอนันต์ที่มีความหนาแน่นประจุเชิงพื้นที่ ดังรูป



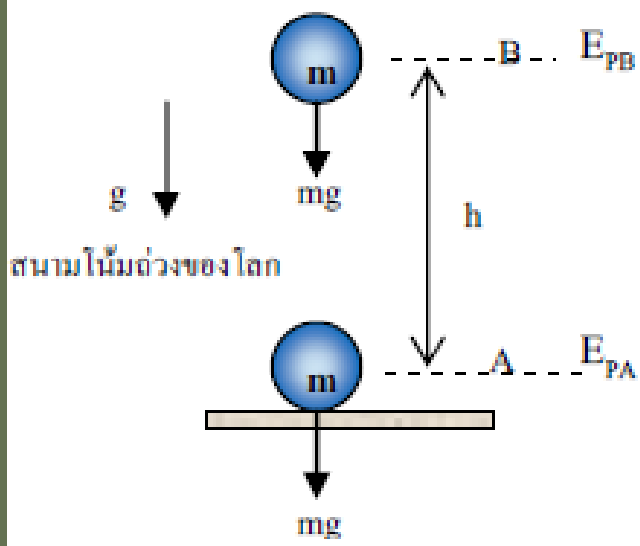
วิธีทำ เนื่องจากสนามไฟฟ้ามีทิศทางตั้งฉากกับแผ่นประจุ ดังนั้น ฟลักซ์ไฟฟ้าบนผิวหัวท้ายจะมีค่าเท่ากับ 2EA

จากกฎของเกาส์ $\phi = \dfrac{q}{\varepsilon_0}$

จะได้ $2EA = \dfrac{q_{in}}{\varepsilon_0} = \dfrac{\sigma A}{\varepsilon_0}$

ดังนั้น $E = \dfrac{\sigma}{2\varepsilon_0}$

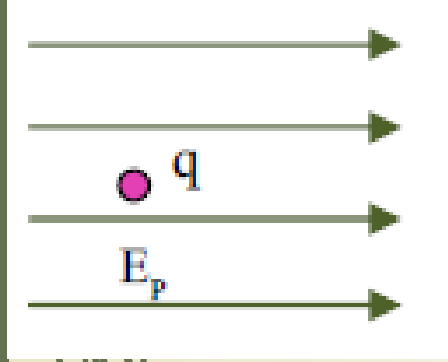
1.7 พลังงานศักย์ไฟฟ้า(Electric Potential Energy)



พลังงานศักย์โน้มถ่วงอันเนื่องมาจากแรงดึงดูดของโลก "E_p" ของวัตถุที่ตำแหน่ง B สูงกว่าตำแหน่ง A อยู่เท่ากับ mgh ซึ่งเท่ากับงานในการยกวัตถุจาก A ไป B ด้วยความเร็วคงที่

$$E_{PB} - E_{PA} = mgh$$

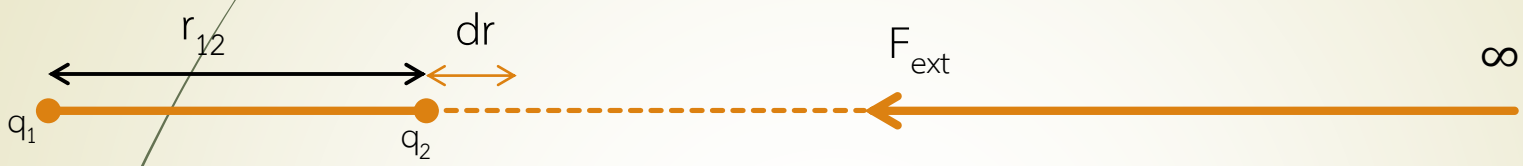
$$E_{PB} - E_{PA} = W_{A \to B}$$



พิจารณาประจุ q ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้า E ประจุจะมีพลังงานศักย์ไฟฟ้า "E_p" เนื่องจากแรงไฟฟ้าที่กระทำต่อประจุเช่นกัน

สมมติว่านำประจุ q_2 จากระยะอนันต์มาวางห่างจากประจุ q_1 เป็นระยะ r_{12}

ต้องทำงาน w_2



$$\vec{F}_{ext} = -\vec{F} = \frac{q_1 q_2(-\vec{r})}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$

จาก $$w_2 = \int_{r=\infty}^{r_{12}} \vec{F}_{ext}.d\vec{r} = \int_{\infty}^{r_{12}} \frac{q_1 q_2(-\vec{r})}{4\pi\varepsilon_0 r^2}.d\vec{r}$$

$$w_2 = \frac{-q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0}\int_{\infty}^{r_{12}} \frac{dr}{r^2}$$

คิดเครื่องหมายประจุ

$$w_2 = \frac{-q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0}\int_{\infty}^{r_{12}} r^{-2}dr$$

$$\boxed{w_2 = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 r_{12}} = \frac{k q_1 q_2}{r_{12}}}$$

- ถ้านำประจุ q_3 จากระยะอนันต์เข้ามาในสนามไฟฟ้าของ q_1 และ q_2 เราจะต้องทำงานเท่าไหร่????

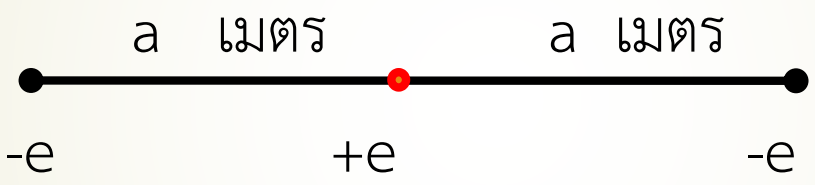
- งานที่ทำทั้งหมดในการนำประจุทั้งสามมาอยู่ใกล้กันเป็นระบบ คือ

$W = W_2 + W_3 = E_p$ เรียกว่าพลังงานศักย์ไฟฟ้าของระบบประจุไฟฟ้า

$$E_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\sum_{\text{ทุกคู่}}\frac{q_i q_j}{r_{ij}}$$

ผลบวกของประจุทุกคู่ที่ไม่ซ้ำกัน

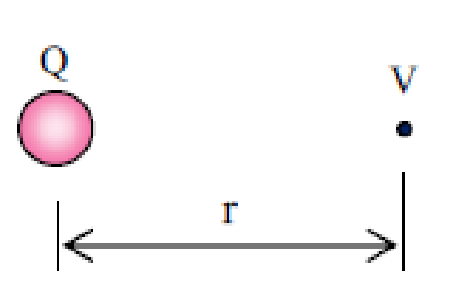
ตัวอย่างที่ 11 ประจุ –e +e และ –e คูลอมบ์ อยู่ห่างกัน a เมตร ดังรูป จงหาพลังงานศักย์ทั้งหมดของระบบประจุไฟฟ้านี้



1.11 ศักย์ไฟฟ้าที่จุดใดๆ "V" หมายถึงพลังงานศักย์ไฟฟ้าต่อ 1 หน่วยประจุที่วางอยู่ ณ จุดนั้น ซึ่งบอกถึงระดับทางไฟฟ้าว่าสูงหรือต่ำ หน่วย J/C หรือ V

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

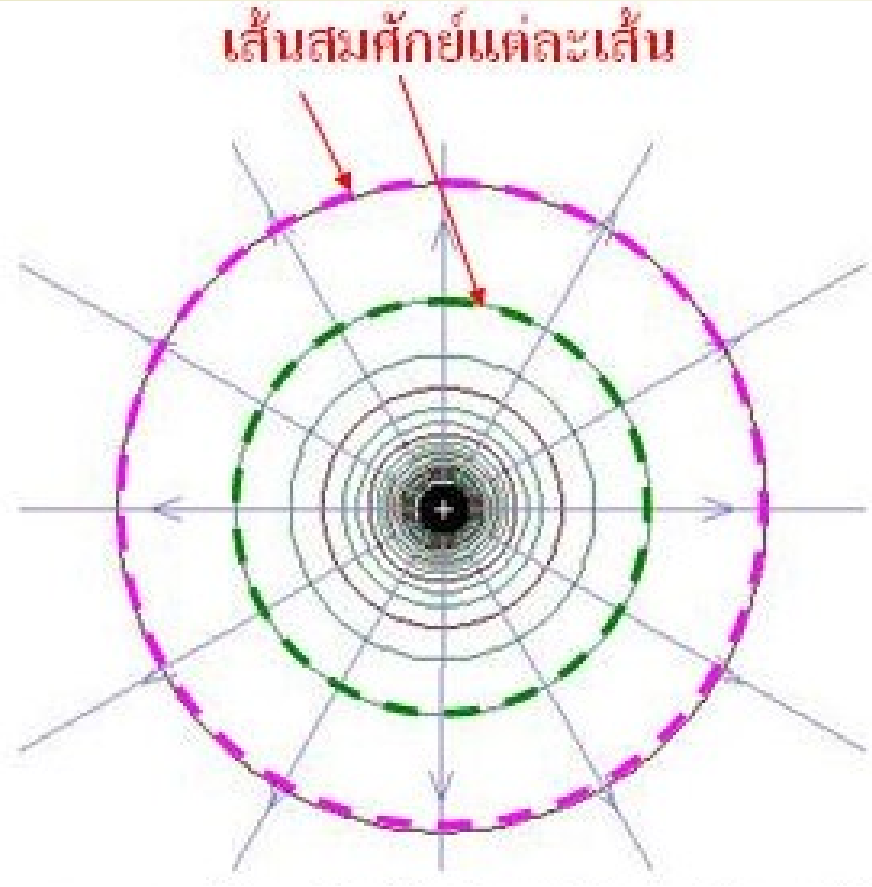
ศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุ

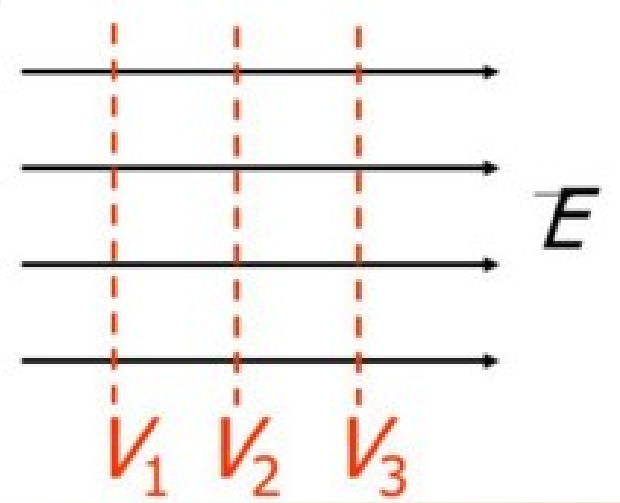


$$V = \frac{KQ}{r}$$

ศักย์ไฟฟ้าอาจเป็นบวกหรือลบก็ได้ ขึ้นกับประจุ Q

(+ > 0 > -)



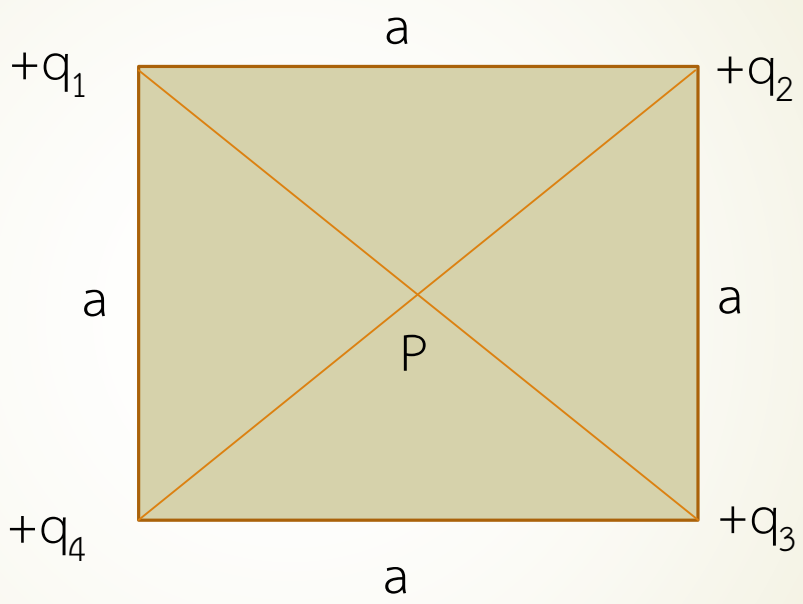


- ทุกจุดบนเส้นสมศักย์สีเขียว มีศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน
- ทุกจุดบนเส้นสมศักย์สีชมพู มีศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน
- แต่ศักย์ไฟฟ้าบนเส้นสีเขียวและสีชมพู มีศักย์ไฟฟ้าไม่เท่ากัน
- เส้นสมศักย์จะตั้งฉากกับเส้นสนามไฟฟ้าเสมอ

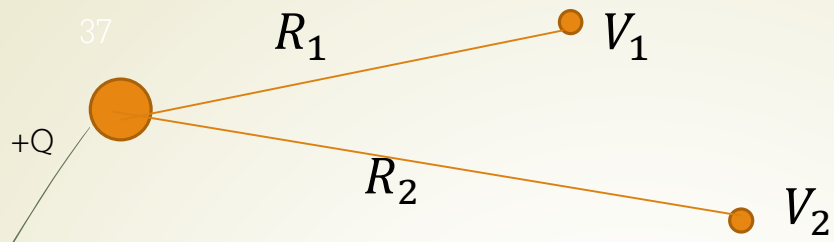
ตัวอย่างที่ 12 จงหาศักย์ไฟฟ้าที่จุด P โดย $q_1 = +1 \times 10^{-3}$ C ,

$q_2 = +2 \times 10^{-3}$ C, $q_3 = +3 \times 10^{-3}$ C , $q_4 = +2 \times 10^{-3}$ C

a = 1 m

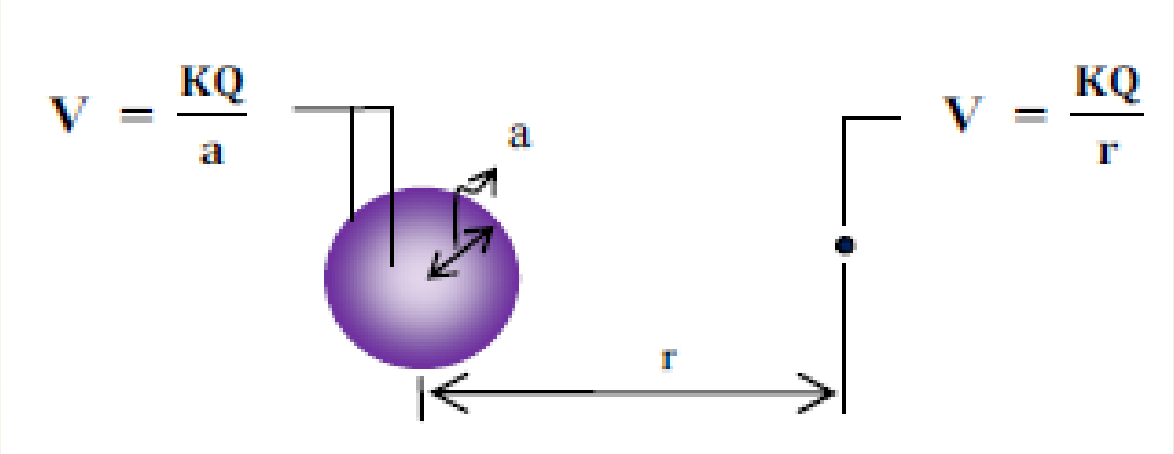


ศักย์ที่ระยะต่างๆเนื่องจากประจุต้นกำเนิดตัวเดิม



$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{R_1}{R_2}$$

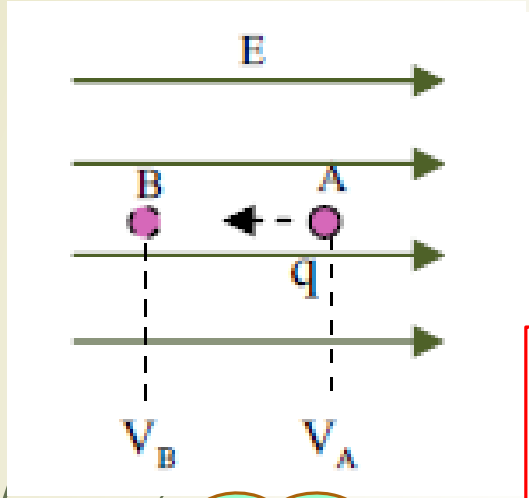
ศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากประจุกระจายอยู่ที่ผิวตัวนำทรงกลมใดๆ



☆ภายในตัวนำทรงกลมและที่ผิวของตัวนำทรงกลม ให้คิดระยะรัศมีทรงกลม มีค่าเท่ากับ KQ/a เมื่อ a คือรัศมีของทรงกลม

☆ภายนอกตัวนำทรงกลม ให้คิดระยะ r จากจุดศูนย์กลางทรงกลมจนถึงจุดที่หาศักย์นั้น มีค่าเท่ากับ KQ/r

ความต่างศักย์ไฟฟ้า หมายถึง ผลต่างของศักย์ไฟฟ้าระหว่าง B และ A (V_B-V_A) ซึ่งมีค่าเท่ากับงานในการเคลื่อนที่ประจุ 1 หน่วย จากตำแหน่ง A ไปยัง B



$$V_B - V_A = \frac{W_{A\to B}}{q}$$

งานเนื่องจากแรงภายนอก

จากสมการศักย์ไฟฟ้า มาเป็นสมการนี้ได้ อย่างไร

$$W_{A\to B} = q(V_B - V_A) = qEd_{BA}$$

งานเนื่องจากแรงภายนอก กรณี สนามไฟฟ้ามีค่าสม่ำเสมอ

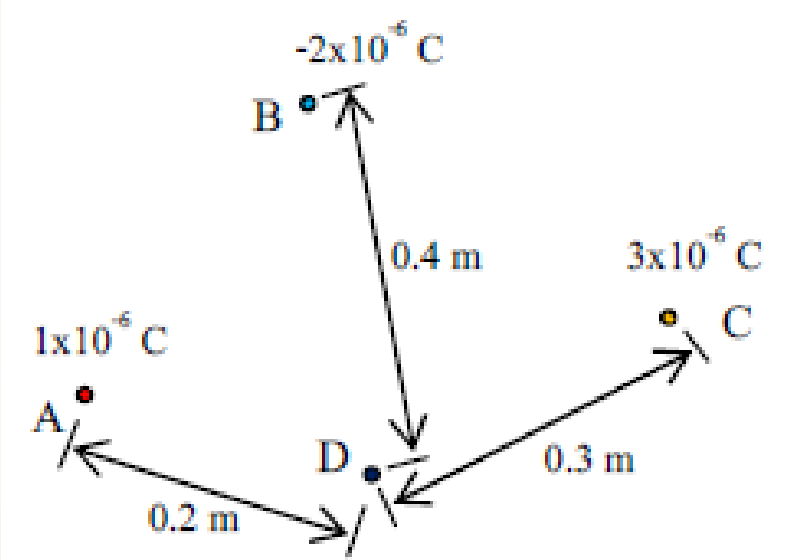
$$V_A - V_B = \frac{W_{A\to B}}{q}$$

งานเนื่องจากแรงภายใน

ตัวอย่างที่ 13 ที่ตำแหน่ง A B และ C มีประจุ 1×10^{-6} -2×10^{-6} C และ 3×10^{-6} C ตามลำดับดังรูป จงหา

ก.ศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่ง D

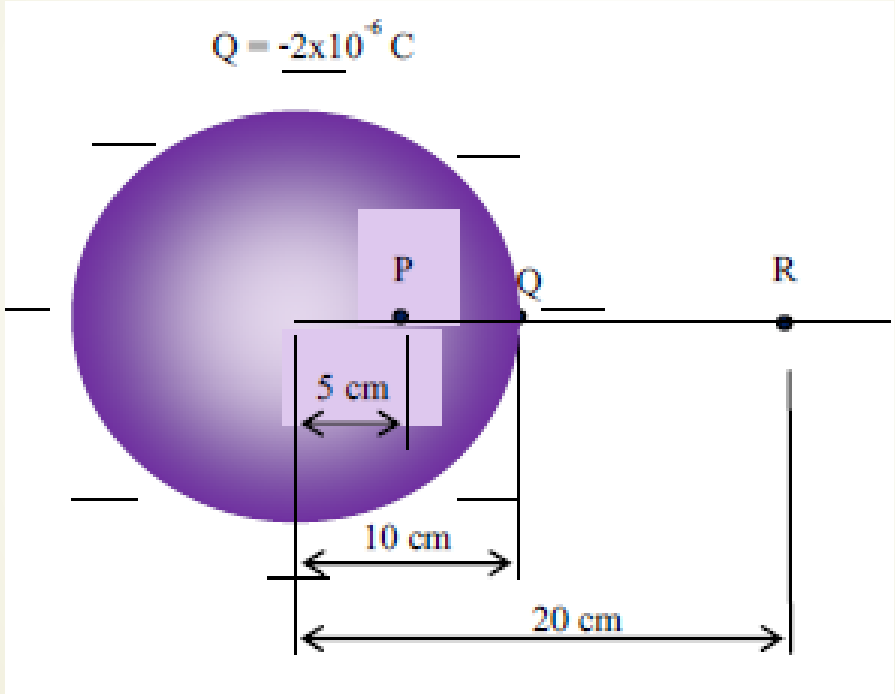
ข.งานที่ต้องทำในการนำประจุ 1.2×10^{-6} C จากระยะอนันต์มายังจุด D



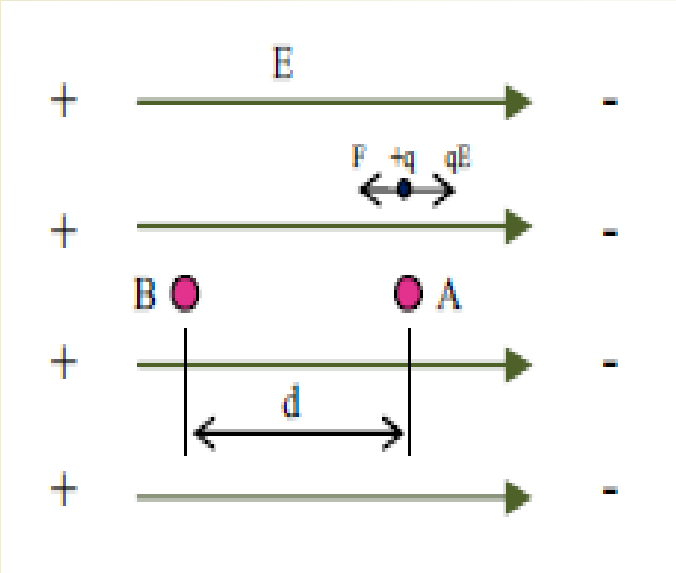
ตัวอย่างที่ 14 ตัวนำทรงกลมรัศมี 10 cm มีประจุ -2 μm จุด P Q และ R อยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของทรงกลมเป็นระยะ 5 10 และ 20 cm จงหา

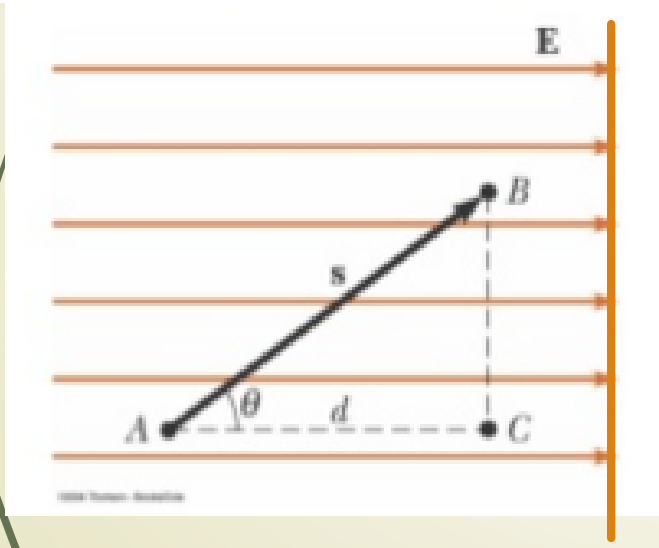
ก.ศักย์ไฟฟ้าที่จุด P Q และ R

ข.งานในการย้ายประจุ 1×10^{-9} C จากระยะอนันต์มายัง จุด P Q และ R



ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ





งานที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนที่ประจุ +q จาก A ไป B จึงหาได้จาก

$$W_{A\to B} = Fd = qEd$$

แทนค่าในสมการความต่างศักย์จะได้

$$V_B - V_A = \frac{qEd}{q} = Ed$$

เมื่อ E เป็นสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ มีหน่วย.....

และ d เป็นระยะระหว่าง A กับ B มีหน่วย เมตร (m)

E กับ d ต้องอยู่ในแนวเดียวกัน หากไม่อยู่ต้องย้ายจุดบนเส้นสมศักย์เดียวกันก่อน

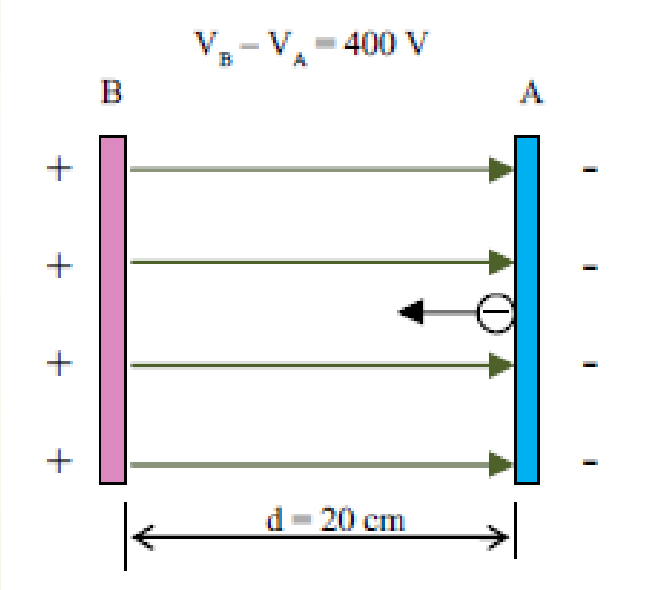
หาก E กับ d มีทิศเดียวกัน แทน d เป็น +

แต่ถ้า d มีทิศตรงข้ามกับ E แทน d เป็น -

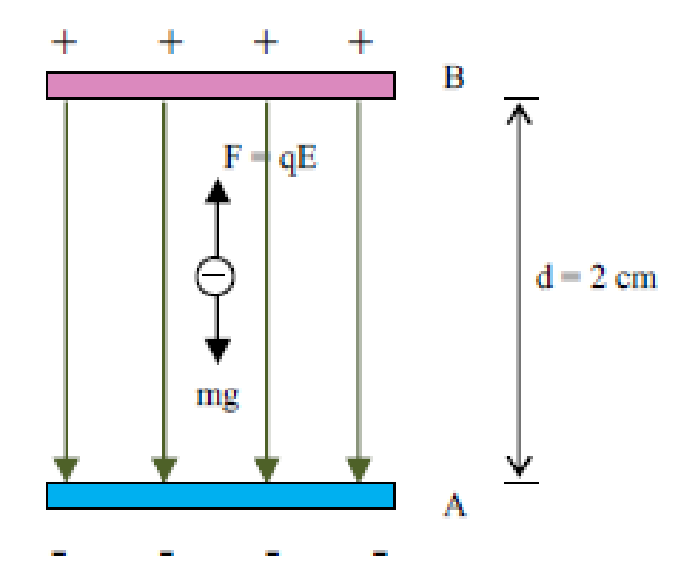
ตัวอย่างที่ 15 แผ่นคู่ขนานสองแผ่นวางห่างกัน 20 cm มีความต่างศักย์ระหว่างแผ่นทั้งสองเป็น 400 V จงหา

ก.สนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นคู่ขนานทั้งสอง

ข.ถ้าอิเล็กตรอนหลุดออกจากแผ่นลบจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งเท่าใด

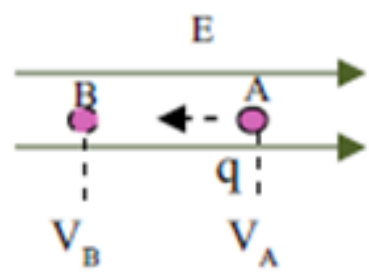


ตัวอย่างที่ 16 แผ่นตัวนำขนานที่อยู่ห่างกัน 2 cm ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอตามแนวดิ่ง ถ้าต้องการให้อิเล็กตรอนลอยอยู่ระหว่างแผ่นตัวนำขนานนี้ ความต่างศักย์ระหว่างแผ่นตัวนำขนาดต้องเป็นเท่าใด



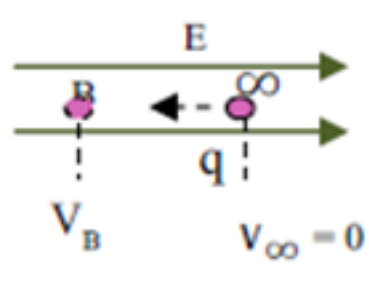
สรุปเรื่องศักย์ไฟฟ้า

1.ความต่างศักย์ระหว่าง A และ B คืองานในการเคลื่อนประจุ 1 หน่วย จาก A ไป B



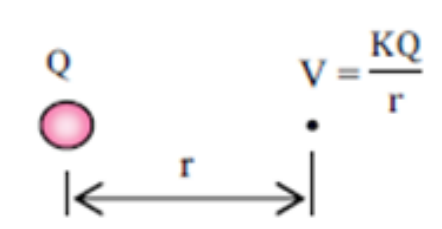
$$V_B - V_A = \frac{W_{A\to B}}{q}$$

2.ศักย์ไฟฟ้าที่ B คืองานในการเคลื่อนที่ประจุ 1 หน่วยจาก ∞ ไป B



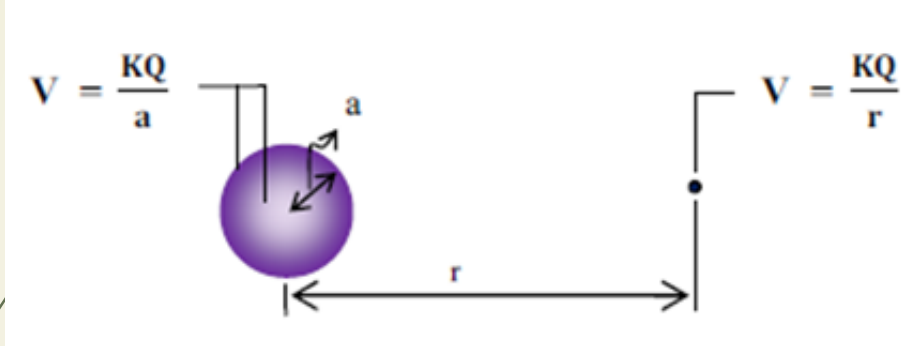
$$V_B = \frac{W_{\infty\to B}}{q}$$

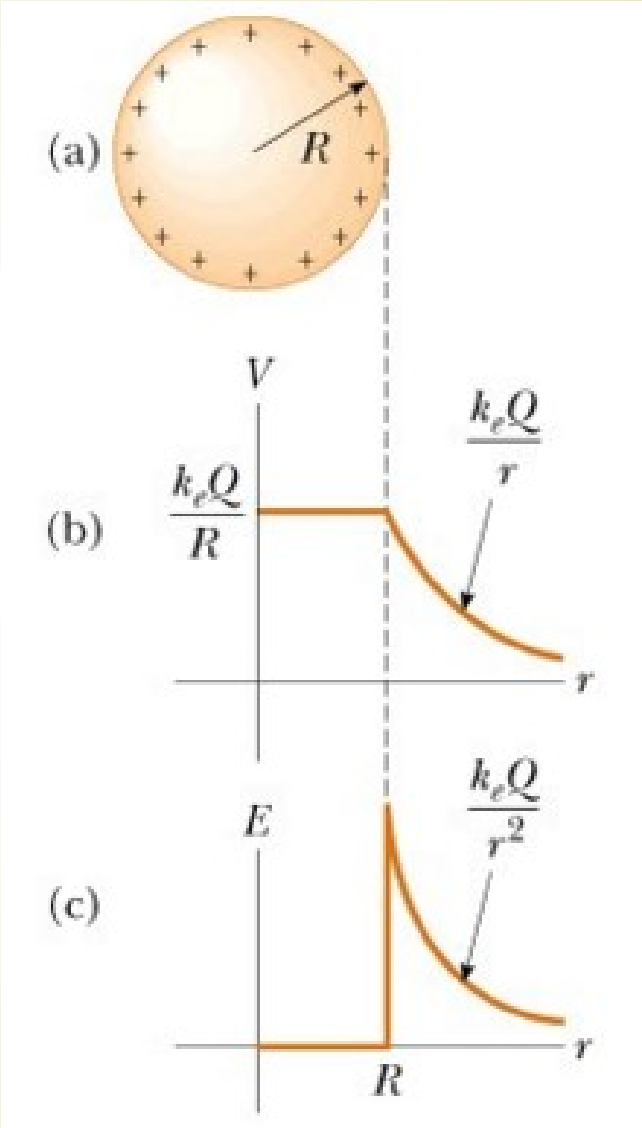
3.ศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุ Q ที่ระยะ r



สรุปเรื่องศักย์ไฟฟ้า

4.ศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากประจุ Q บนตัวนำทรงกลม





5. ศักย์ไฟฟ้ามีค่า + หรือ – หรือ 0 ได้

1.8 ตัวเก็บประจุ(Capacitor) และความจุ(Capacitance)

- **ตัวเก็บประจุ** เป็นตัวนำชนิดหนึ่งในวงจรไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ในการเก็บประจุ
- **ความจุ** (C) คือ ความสามารถในการเก็บประจุของตัวนำ มีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างประจุไฟฟ้า (Q) บนแผ่นประจุแต่ละแผ่นต่อความต่างศักย์ระหว่างแผ่นประจุทั้งสอง (V) มีหน่วย ฟารัด (F)

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

ความจุของตัวนำทรงกลม

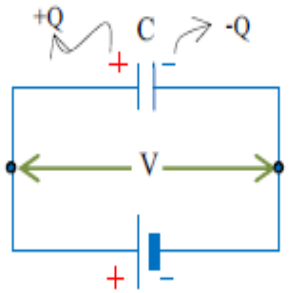
สำหรับตัวนำทรงกลมรัศมี r=a ศักย์ไฟฟ้าที่ผิวและภายในตัวนำ $V = \frac{kQ}{a}$

จาก $$C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{\frac{kQ}{a}} = \frac{a}{k}$$

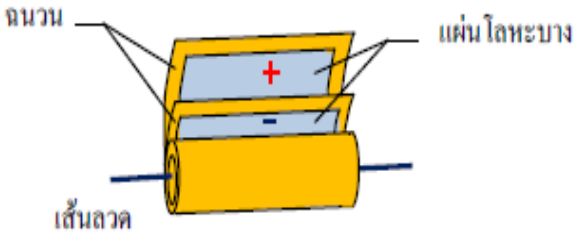
ดังนั้น สำหรับตัวนำทรงกลม $C \propto a$

☆ ตัวนำทรงกลมขนาดใหญ่มีความจุไฟฟ้ามากจึงเก็บประจุได้มาก ☆

การต่อตัวเก็บประจุในวงจรไฟฟ้า ขาด้าน (+) ต่อกับศักย์ไฟฟ้าสูง (+) ส่วนขาด้าน (-) ต่อกับศักย์ไฟฟ้าต่ำ (-)



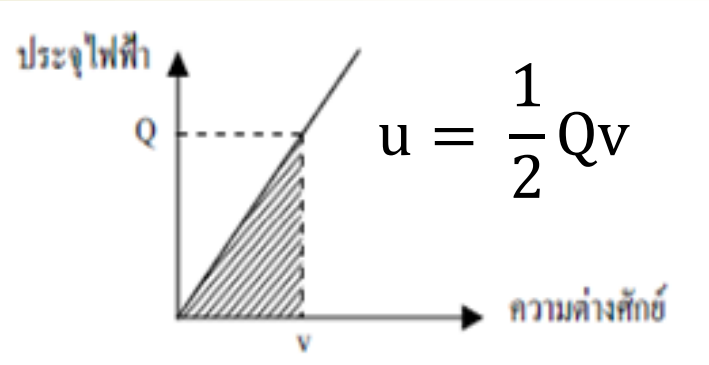
ตัวเก็บประจุทั่ว ๆไป ประกอบด้วย แผ่นตัวนำขนานวางแยกกัน โดยมีฉนวนกั้นกลาง ประจุที่เก็บในแต่ละแผ่น (+หรือ -)มีค่าประจุเท่ากัน คือ Q = CV



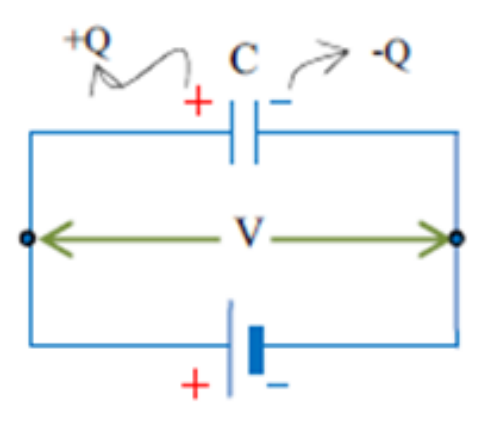
ตัวเก็บประจุ

พลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ (u)

หาได้จากพื้นที่ใต้กราฟระหว่างความต่างศักย์ (v) กับประจุไฟฟ้า (Q) พลังงานสะสมมีหน่วยเป็นจูล (J)



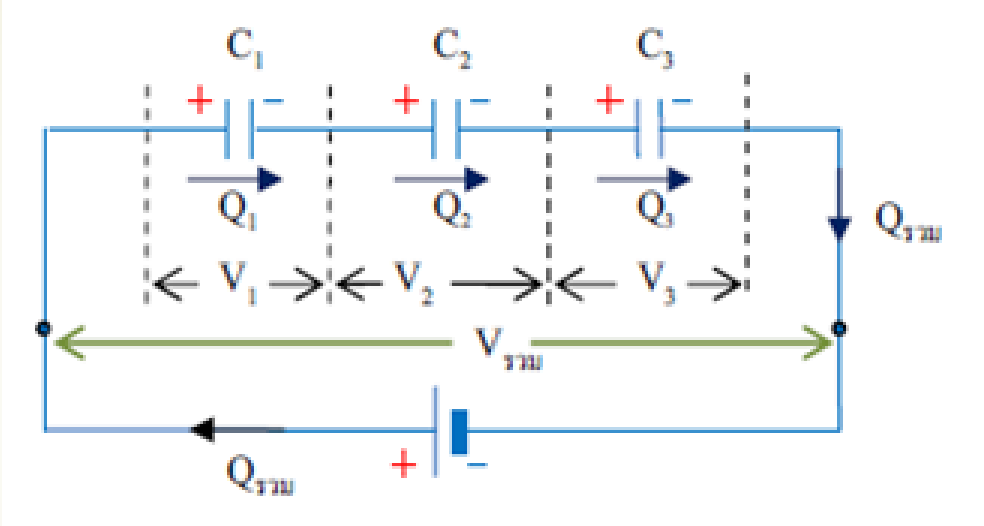
$$u = \frac{1}{2}Qv$$



กราฟ Q กับ v ได้จากความสัมพันธ์ของสมการ c= Q/v จะได้ Q แปรผันตรงกับ v

ตัวอย่างที่ 17 จงหาพลังงานสะสมในตัวเก็บประจุที่มีความจุ 50 μF ซึ่งต่อเข้ากับความต่างศักย์ 10 V

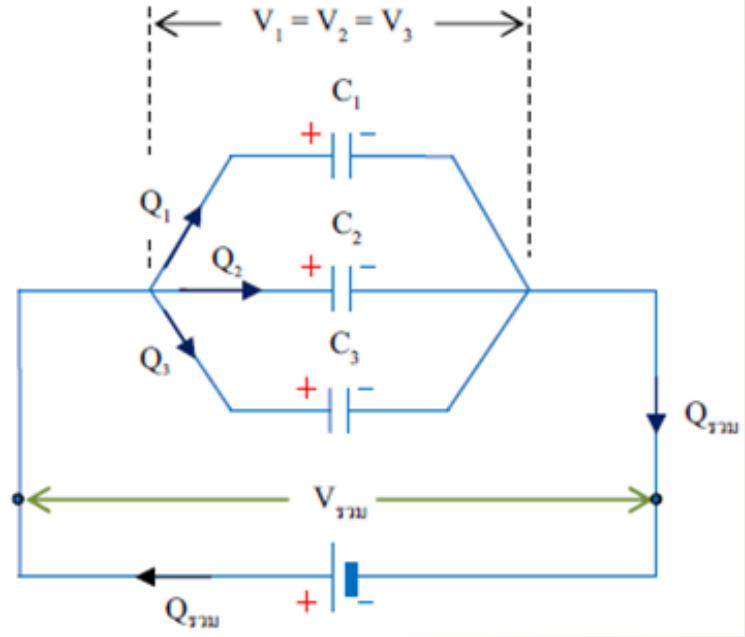
1. การต่อแบบอนุกรมหรือแบบอันดับ



สรุปได้ว่า

1. $Q_{total} = Q_1 = Q_2 = Q_3$
2. $V_{total} = V_1+V_2+V_3$
3. $1/C_{total} = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3$

2. การต่อแบบขนาน



สรุปได้ว่า

1. $Q_{total} = Q_1 + Q_2 + Q_3$
2. $V_{total} = V_1 = V_2 = V_3$
3. $C_{total} = C_1 + C_2 + C_3$

ตัวอย่างที่ 18 จงหาความจุรวมของตัวเก็บประจุสองตัวที่มีความจุ 10 และ 20 μF เมื่อตัวเก็บประจุทั้งสองต่อกันแบบอนุกรม และแบบขนาน

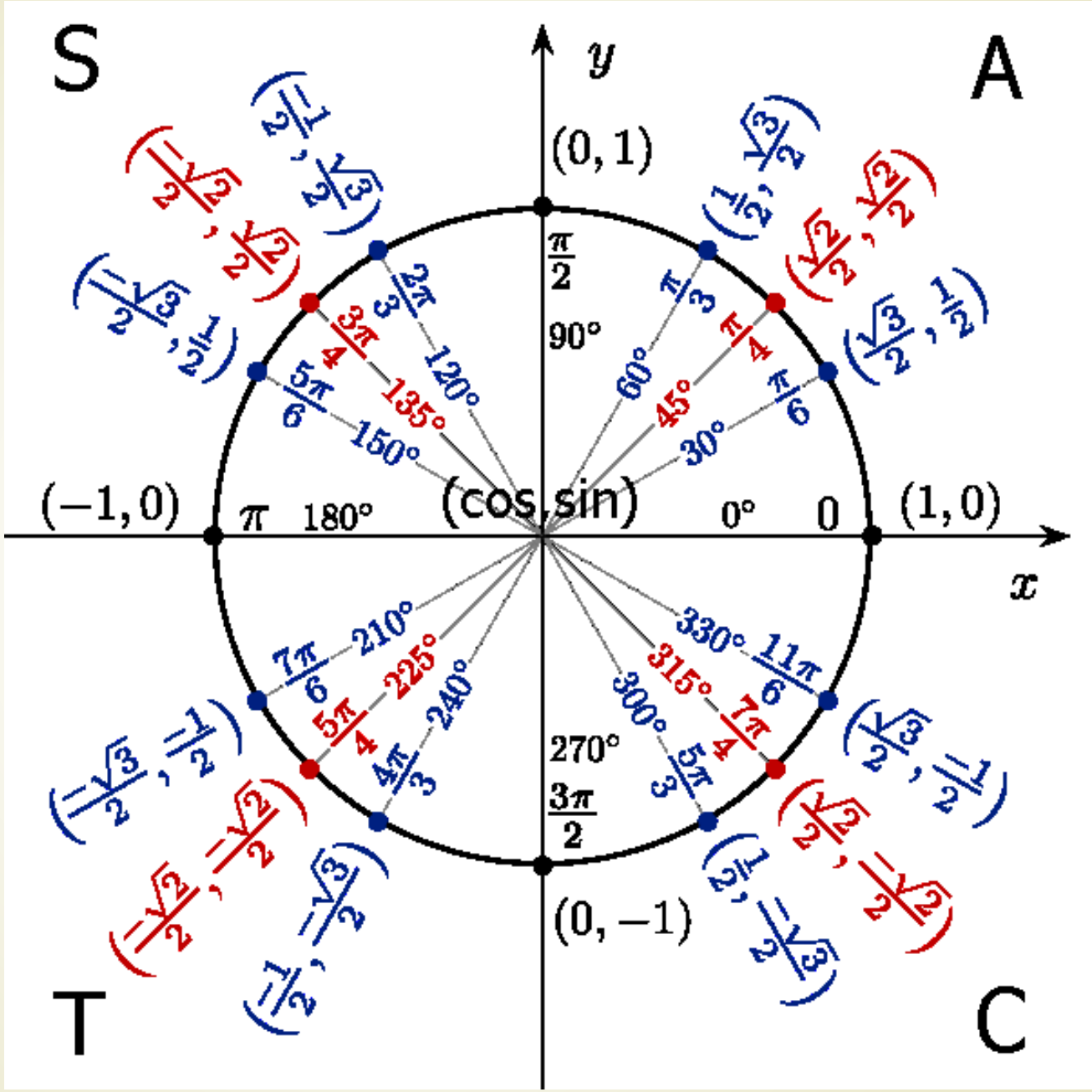
ตัวอย่างที่ 19 นำตัวเก็บประจุสองตัวที่มีความจุ 2 μF และ 4 μF มาต่อกันและต่อกับความต่างศักย์ 120 V จงหาประจุทั้งหมดและพลังงานทั้งหมดที่สะสมในตัวเก็บประจุ เมื่อต่อตัวเก็บประจุ

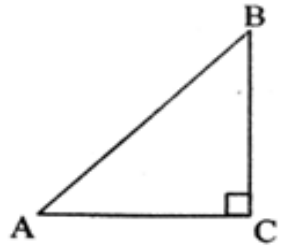
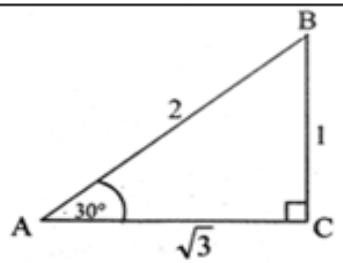
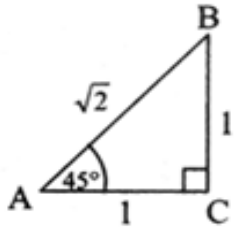
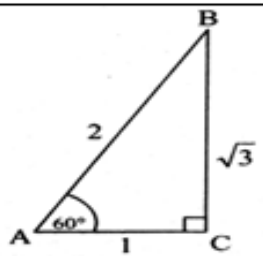
ก. แบบอนุกรม

ข. แบบขนาน

ตัวอย่างที่ 20 จงหาจำนวนตัวเก็บประจุที่มีความจุ 140 μF ซึ่งเมื่อนำมาต่อขนานกันจะเก็บประจุได้ 1 C เมื่อต่อกับความต่างศักย์ 1,000 V

ควรรู้


S
A
T
C
y
x
(0, 1)
(1, 0)
(−1, 0)
(0, −1)
(cos, sin)
π/2
90°
π
180°
0°
0
270°
3π/2
π/6
30°
π/4
45°
π/3
60°
2π/3
120°
3π/4
135°
5π/6
150°
7π/6
210°
5π/4
225°
4π/3
240°
5π/3
300°
7π/4
315°
11π/6
330°
(√3/2, 1/2)
(√2/2, √2/2)
(1/2, √3/2)
(−1/2, √3/2)
(−√2/2, √2/2)
(−√3/2, 1/2)
(−√3/2, −1/2)
(−√2/2, −√2/2)
(−1/2, −√3/2)
(1/2, −√3/2)
(√2/2, −√2/2)
(√3/2, −1/2)

	มุม	ไซน์	โคไซน์	แทนเจนต์
	A	$\frac{BC}{AB}$	$\frac{AC}{AB}$	$\frac{BC}{AC}$
	30°	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{3}$
	45°	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	1
	60°	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\sqrt{3}$

To be continued..