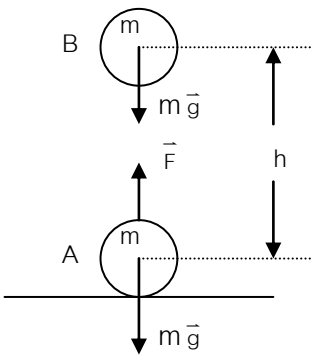
รายวิชา ฟิสิกส์ 4	ใบความรู้ 3	รหัสวิชา ว33201
ระดับชั้น ม. 6		ร.ร.เทศบาลวัดกลาง
ศักย์ไฟฟ้า		

ศักย์ไฟฟ้า (Electric potential)

จากการศึกษาเรื่องพลังงานศักย์โน้มถ่วง เมื่อวัตถุอยู่ในสนามโน้มถ่วงก็จะมีพลังงานกระทำต่อวัตถุนั้น สังเกตได้จากวัตถุนั้นจะตกลงสู่จุดอ้างอิงเสมอ ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก โดยจุดอ้างอิงนั้นจะมีพลังงานต่ำกว่า เราเรียกพลังงานนี้ว่า พลังงานศักย์โน้มถ่วง

เมื่อพิจารณาจากรูป 1. เมื่อเรายกวัตถุมวล m จาก A ไป B ต้องทำงานเท่ากับพลังงานศักย์ของวัตถุที่ B มีค่ามากกว่าที่ A ซึ่งเท่ากับ mgh เมื่อกำหนดให้พลังงานศักย์ของวัตถุที่ A เป็นศูนย์ ดังนั้นพอสรุปได้ว่า “พลังงานศักย์โน้มถ่วง ณ จุดใด คืองานในการย้าย วัตถุจากจุดอ้างอิงไปยังจุดนั้น”

จากรูป 1. สามารถเขียนสมการ พลังงานศักย์โน้มถ่วงดังนี้



รูป 1.พลังงานศักย์โน้มถ่วง

เมื่อ E_p คือ พลังงานศักย์โน้มถ่วง

W คือ งานที่เคลื่อนมวล m จาก A ไป B

$$E_{p(B)} - E_{p(A)} = W_{A \rightarrow B}$$

$$E_{p(B)} - E_{p(A)} = F.s$$

$$E_{p(B)} - E_{p(A)} = mgh$$

เมื่อ A เป็นจุดอ้างอิง ทีกำหนดให้เป็น ศูนย์ จะได้

$$E_{p(B)} = mgh$$

ในทำนองเดียวกับที่กล่าวมานี้ เมื่อพิจารณาประจุในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าก็จะพบว่า ประจุจะได้รับแรงกระทำจากสนามไฟฟ้า ซึ่งอาจทำให้ประจุเคลื่อนที่และเกิดงานได้ จึงกล่าวได้ว่าประจุเมื่ออยู่ที่ตำแหน่งต่างๆที่มีสนามไฟฟ้า จะมีพลังงานศักย์ ซึ่งเรียกว่า พลังงานศักย์ไฟฟ้า

เมื่อนำประจุจำนวน q ไปไว้ที่ตำแหน่งหนึ่งแล้วมีพลังงานศักย์ไฟฟ้าเป็น E_p พลังงานศักย์ไฟฟ้าต่อ 1 หน่วยประจุที่ตำแหน่งนั้นจะมีค่าเป็น $\frac{E_p}{q}$ เรียกปริมาณนี้ว่า **ศักย์ไฟฟ้า** ณ ตำแหน่งนั้น และเมื่อให้ V เป็นศักย์ไฟฟ้า ที่ตำแหน่งนั้น จะเขียนได้ว่า

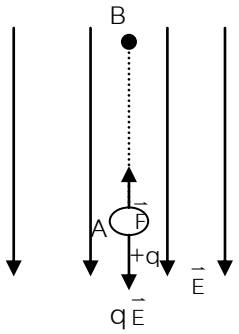
$$V = \frac{E_p}{q}$$

จากสมการ $v = \frac{E_p}{q}$ จะเห็นได้ว่า ศักย์ไฟฟ้าเป็นปริมาณสเกลาร์ เพราะเป็นขนาดของพลังงานต่อหนึ่งหน่วยประจุ และเมื่อพลังงานศักย์ไฟฟ้ามีหน่วยเป็นจูล (J) ประจุมีหน่วยเป็นคูลอมบ์(C) ศักย์ไฟฟ้าก็จะมีหน่วยเป็น จูลต่อคูลอมบ์ ซึ่งเรียกว่า โวลต์ (V)

ในกรณีสนามโน้มถ่วงของโลก พลังงานศักย์โน้มถ่วงของวัตถุที่ตำแหน่งต่างๆ ขึ้นอยู่กับความสูงของวัตถุ เมื่อเทียบกับระดับอ้างอิง โดยจะเป็นระดับใดก็ได้แล้วแต่จะกำหนดและให้ระดับอ้างอิงนี้มีพลังงานศักย์โน้มถ่วงเป็นศูนย์

ในการหาพลังงานศักย์ไฟฟ้าของประจุที่ตำแหน่งต่างๆก็ต้องกำหนดระดับอ้างอิงเช่นเดียวกัน

เมื่อพิจารณาประจุ +q วางไว้ในสนามไฟฟ้า (E) สม่ำเสมอดังรูป 2. จะเกิดแรงกระทำ (F = qE) ในทิศทางเดียวกับสนามไฟฟ้า ถ้าต้องการย้ายประจุ +q จาก A ไป B จะต้องให้แรงภายนอกกระทำต่อประจุ +q ในทิศทางสวนสนามไฟฟ้ามีขนาดเท่ากับแรงที่สนามไฟฟ้ากระทำซึ่งก็เป็นการให้งานแก่ประจุไฟฟ้า เราอาจกล่าวได้ว่าประจุไฟฟ้าที่ B มีพลังงานศักย์ไฟฟ้ามากกว่าเมื่อประจุไฟฟ้าอยู่ที่ A



รูป 2.การเคลื่อนประจุ จาก A ไป B

เมื่อปล่อยประจุ +q เคลื่อนที่ได้อิสระ แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าก็จะทำให้ประจุ +q เคลื่อนที่ในทิศของสนาม คือ จาก B มา A นั่นคือ เมื่อปล่อยให้ประจุเคลื่อนที่อิสระโดยประจุบวกจะเคลื่อนที่จากตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงมายังศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าเช่นเดียวกับการตกเสรีของวัตถุภายใต้อิทธิพลของสนามโน้มถ่วง และสนามไฟฟ้ามีทิศชี้จากตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงไปยังตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำ

ถ้าให้ศักย์ไฟฟ้าที่ B และที่ A เป็น V_B และ V_A ตามลำดับ ผลต่างของศักย์ไฟฟ้า $V_B - V_A$ ระหว่างสองตำแหน่งนี้ เรียกว่า ความต่างศักย์ไฟฟ้า หรือความต่างศักย์และถ้าให้งานในการเคลื่อนประจุ +q จากจุด A ไปยังจุด B ด้วยอัตราเร็วคงตัวเป็น W งานในการเคลื่อนประจุ +1 หน่วยจาก A ไป B จะมีค่าเท่ากับ $\frac{W}{q}$ แสดงว่า

ศักย์ไฟฟ้าที่ B มากกว่าที่ A เป็นปริมาณ $\frac{W}{q}$ จึงกล่าวได้ว่า งานที่เกิดขึ้นในการเคลื่อนที่ประจุ +1 หน่วยจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง ภายในบริเวณที่มีสนามในสนามไฟฟ้า คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่าง 2 ตำแหน่งนั้น

ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ว่า $V_B - V_A = \frac{W}{q}$

เนื่องจากความต่างศักย์เป็นค่าของงานต่อหนึ่งหน่วยประจุจึงเป็นปริมาณสเกลาร์และมีหน่วยเป็นโวลต์ เช่นเดียวกับหน่วยของศักย์ไฟฟ้า

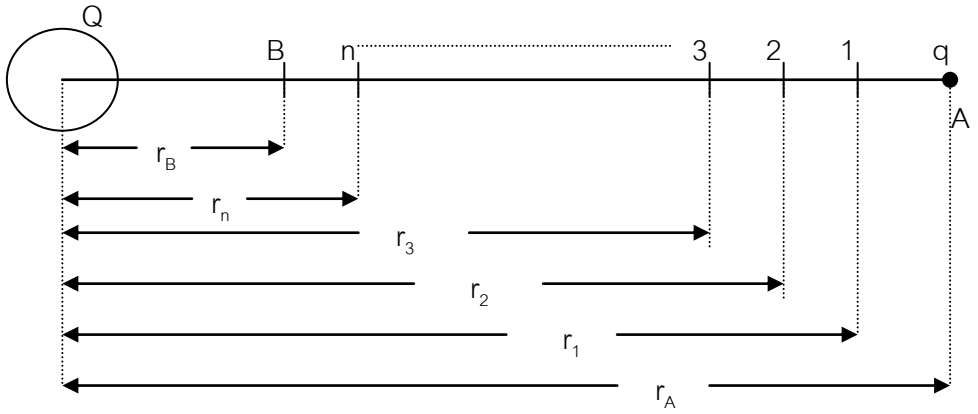
จากสมการ $V_B - V_A = \frac{W}{q}$ ถ้ากำหนดให้ V_A เป็นศูนย์

จะได้ $V_B = \frac{W}{q}$

กล่าวได้ว่า ศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งใดๆ คือความต่างศักย์ระหว่างตำแหน่งนั้นกับตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์

ศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุ

จากความหมายของศักย์ไฟฟ้าถ้าต้องการหาศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งใดๆ ต้องหางานที่ต้องทำในการย้ายประจุ +1 หน่วย จากระยะอนันต์มายังจุดนั้น จากรูป ต้องการหาศักย์ไฟฟ้าที่จุด A และจุด B ซึ่งอยู่ห่างจากจุดประจุ Q เป็นระยะต่างกัน



รูป 3. งานในการเคลื่อนประจุจาก A ไป B

จากรูป 3. จุด A และ B ซึ่งอยู่ห่างจากจุดประจุ Q ออกมาเป็นระยะ r_A และ r_B ตามลำดับ โดยประจุ Q จุด A และ B อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกันดังรูป ถ้าเคลื่อนประจุ +q จาก A ไป B ด้วยอัตราเร็วคงที่ เราต้องออกแรง F โดยขนาดของแรง F จะเท่ากับขนาดของแรงที่สนามไฟฟ้าเนื่องจากประจุ Q ด้านการเคลื่อนที่ของประจุ +q งานที่เกิดเนื่องจากการย้ายประจุ +q จาก A ไป B หาได้ดังนี้

โดยการแบ่งระยะจาก A ถึง B ออกเป็นช่วงสั้นๆ ซึ่งในแต่ละช่วงอาจถือได้ว่าแรงกระทำคงที่ตลอดช่วงนั้นๆ โดย $W = Fs$

ให้ W_{A1} คือ งานในการย้ายประจุ +q จากตำแหน่ง A ไปยังตำแหน่ง 1 จะได้ว่า

$$W_{A1} = F(r_A - r_1)$$

และ $F = \frac{KQq}{r^2}$ โดย r_A มีค่าใกล้เคียง r_1 มากจนถือได้ว่า $r^2 \cong r_A r_1$

ดังนั้น $$W_{A1} = \frac{KQq}{r_A r_1}(r_A - r_1)$$

$$W_{A1} = KQq\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_A}\right)$$

ทำนองเดียวกัน

$$W_{12} = KQq\left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1}\right)$$

$$W_{23} = KQq\left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$W_{nB} = KQq\left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_n}\right)$$

ดังนั้น งานทั้งหมด W ในการย้ายประจุ +q จาก A มา B มีค่า

$$W_{A\to B} = W_{A1} + W_{12} + W_{23} + \ldots + W_{nB}$$

$$W_{A\to B} = KQq\left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_A}\right) + \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1}\right) + \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_2}\right) + \ldots + \left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_n}\right)\right]$$

$$W_{A\to B} = KQq\left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A}\right)$$

จาก $V_B - V_A = \frac{W}{q}$ ดังนั้น $V_B - V_A = \frac{KQ}{r_B} - \frac{KQ}{r_A}$

ถ้า A อยู่ที่ระยะอนันต์ ($V_A = 0$) จะได้ $V_B = \frac{KQ}{r_B}$

นั่นคือ ศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งซึ่งห่างจากจุดประจุ Q เป็นระยะ r หาได้จาก

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

จากการกำหนดให้ตำแหน่งที่ระยะอนันต์มีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์ทำให้กล่าวได้ว่า ศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งใดก็คืองานในการนำประจุ +1 หน่วยจากระยะอนันต์มายังตำแหน่งนั้น

ศักย์ไฟฟ้าจะมีค่าเป็นบวกหรือลบขึ้นอยู่กับชนิดของประจุที่ทำให้เกิดสนาม เช่น ศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่างๆในบริเวณที่สนามไฟฟ้าของประจุบวกจะมีค่าเป็นบวก

ตัวอย่าง จงหาศักย์ไฟฟ้า ณ ตำแหน่งต่างๆ ของประจุต่อไปนี้

1. ตำแหน่งที่อยู่ห่างจากจุดประจุ 4 ไมโครคูลอมบ์ เป็นระยะ 5 เซนติเมตร
2. ตำแหน่งที่อยู่ห่างจากจุดประจุ - 4 ไมโครคูลอมบ์ เป็นระยะ 10 เซนติเมตร

วิธีทำ 1. จาก $V = \frac{KQ}{r}$

$$V = \frac{9x10^{9} x4x10^{-6}}{5x10^{-2}}$$

$$V = 7.2x10^{5} \quad V$$

ศักย์ไฟฟ้า ณ ตำแหน่งที่อยู่ห่างจากจุดประจุ 4 ไมโครคูลอมบ์ เป็นระยะ 5 ซม.เท่ากับ $7.2x10^{5}$ โวลต์

2. จาก $V = \frac{KQ}{r}$

$$V = \frac{9x10^{9} x - 4x10^{-6}}{10x10^{-2}}$$

$$V = - 3.6x10^{5} \quad V$$

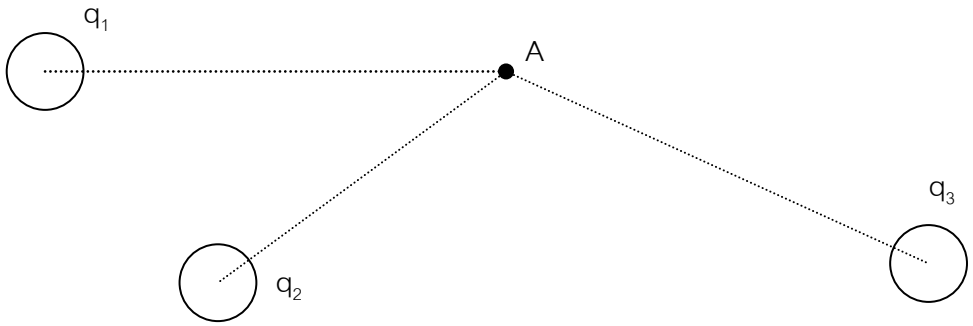
ศักย์ไฟฟ้า ณ ตำแหน่งที่อยู่ห่างจากจุดประจุ - 4 μC เป็นระยะ 10 cm. เท่ากับ $-3.6x10^{5}$ โวลต์

ศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุหนึ่งจุดประจุ และมากกว่า 1 จุดประจุ

ศักย์ไฟฟ้าจะมีค่าเป็นบวกหรือลบขึ้นอยู่กับชนิดของประจุที่ทำให้เกิดสนาม เช่น ศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่างๆในบริเวณที่สนามไฟฟ้าของประจุบวกจะมีค่าเป็นบวก

ในกรณีที่ตำแหน่งที่พิจารณานั้นมีสนามไฟฟ้าเนื่องจากเนื่องจากจุดประจุหลายๆจุดประจุ ศักย์ไฟฟ้ารวมที่ตำแหน่งนั้นก็จะเป็นผลรวมทางพีชคณิตของศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุแต่ละจุดที่ตำแหน่งนั้น เช่นในรูป เมื่อให้ V_1 , V_2 และ V_3 เป็นศักย์ไฟฟ้าที่จุด A เนื่องจากจุดประจุ q_1 , q_2 และ q_3 ตามลำดับ ศักย์ไฟฟ้า V ที่จุด A เนื่องจากจุดประจุทั้ง 3 จะมีค่า

$$V_A = V_1 + V_2 + V_3$$



รูป 4. ศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุ q_1 , q_2 และ q_3

ดังนั้น ศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งหนึ่งเนื่องจาก n จุดประจุ จึงเขียนสมการได้ว่า

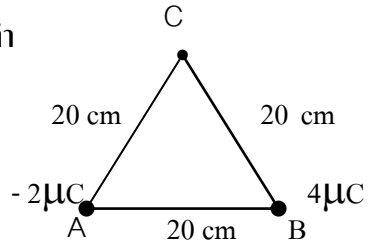
$$V = \sum_{i=1}^{n} V_1$$

เมื่อ V คือ ศักย์ไฟฟ้ารวมที่ตำแหน่งหนึ่ง

V_I คือ ศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งนั้นเนื่องจากจุดประจุแต่ละจุด

ตัวอย่าง สามเหลี่ยมด้านเท่า ABC มีความยาวด้านละ 20 เซนติเมตร ที่จุด A และ B มีประจุ - 2 ไมโครคูลอมบ์ และ 4 ไมโครคูลอมบ์ ตามลำดับ จงหาศักย์ไฟฟ้าที่จุด C

วิธีทำ



จาก $V_c = \frac{KQ_A}{r_A} + \frac{KQ_B}{r_B}$

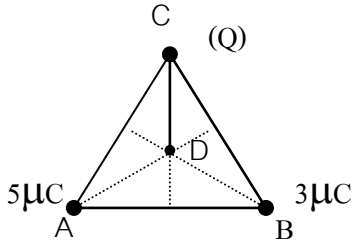
$V_c = \frac{9x10^{9}}{2x10^{-1}}(- 2x10^{-6} + 4x10^{-6})$

$\therefore \quad V_c = 9x10^{4} \quad V$

ตอบ ดังนั้นศักย์ไฟฟ้าที่จุด C เท่ากับ $9x10^4$ โวลต์

ตัวอย่าง จุดประจุ 3 จุดประจุ วางอยู่ที่มุมของสามเหลี่ยมด้านเท่ายาวด้านละ 4 เซนติเมตร ทำให้จุดที่เส้นมัธยฐาน ทั้งสามเส้นตัดกันมีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์หากจุดประจุ 2 จุดประจุ มีค่า 5 ไมโครคูลอมบ์ และ 3 ไมโครคูลอมบ์ จงหาค่าจุดประจุจุดที่ 3

วิธีทำ



จาก $V_D = 0$

$\frac{KQ_A}{AD} + \frac{KQ_B}{BD} + \frac{KQ_C}{CD} = 0$

(เนื่องจาก ABC เป็นΔด้านเท่า จะได้ว่า AD = BD=CD)

จะได้ $Q_A + Q_B + Q_C = 0$

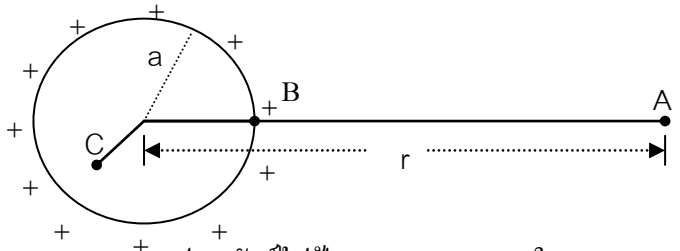
$5 + 3 + Q = 0$

$\therefore \quad Q = - 8 \quad \mu C$

ตอบ ดังนั้นจุดประจุจุดที่ 3 มีค่า – 8 ไมโครคูลอมบ์ (คือเป็นประจุลบ ขนาด 8 ไมโครคูลอมบ์)

ศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากประจุบนตัวนำทรงกลม

จากความรู้เรื่องตัวนำทรงกลมที่มีประจุ พบว่าการกระจายของประจุจะอยู่เฉพาะที่ผิวอย่างสม่ำเสมอ และรอบๆตัวนำทรงกลมจะมีสนามไฟฟ้า ซึ่งได้ศึกษาไปแล้ว ในที่นี้จะศึกษาศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากประจุบนตัวนำทรงกลม ทั้งภายนอกและภายในทรงกลมดังรูป 1.



รูป 1. ศักย์ไฟฟ้าภายนอกและภายในทรงกลม

จากรูป 1. ให้ตัวนำทรงกลมรัศมี a มีประจุ +Q ที่ผิวนอกของทรงกลม จุด A อยู่ภายนอก ทรงกลม ห่างจากจุดศูนย์กลางของทรงกลมเป็นระยะ r จุด B อยู่ที่ผิวทรงกลม จุด C อยู่ภายในผิว ทรงกลม

ศักย์ไฟฟ้า ณ จุดภายนอกทรงกลม

ในการหาศักย์ไฟฟ้า ณ จุดภายนอกทรงกลม จะเสมือนว่าประจุ +Q จะรวมอยู่ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลม ดังนั้น ศักย์ไฟฟ้าที่จุด A ซึ่งมีค่า V_A จะหาได้จาก

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

ศักย์ไฟฟ้า ณ จุดภายในทรงกลม

การศักย์ไฟฟ้าภายในทรงกลมที่จุด C อาจหาได้จากงานในการย้ายประจุ +q จากจุด B ไปยังจุด C ดังนี้

จาก $W_{B\rightarrow C} = q(V_C - V_B)$,(เมื่อ $W = Fs$)

$Fs = q(V_C - V_B)$,(เมื่อ $F = qE$)

$qE(BC) = q(V_C - V_B)$

แต่ภายในทรงกลมสนามไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์ ($E = 0$) ดังนั้น

$0 = q(V_C - V_B)$

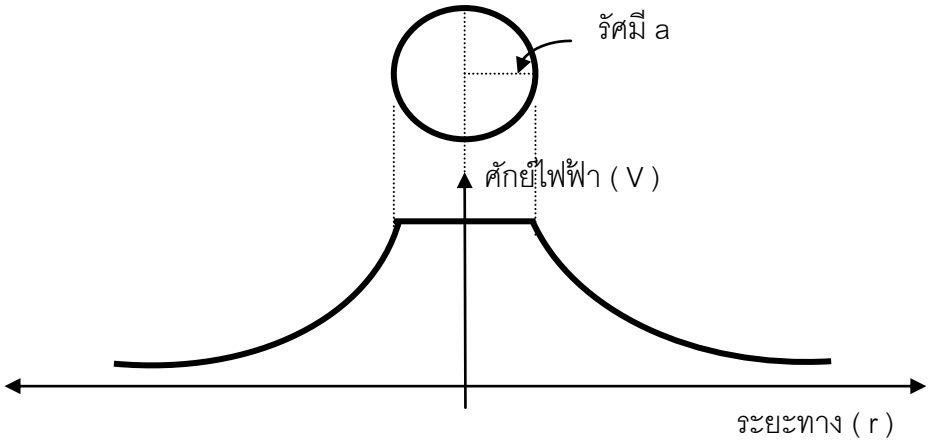
$\therefore \quad V_C = V_B$

นั่นคือ ศักย์ไฟฟ้า ณ จุดใดๆในทรงกลมย่อมมีค่าคงที่เท่ากับที่ผิวทรงกลมเสมอ

เมื่อ (a คือ รัศมีของทรงกลม)

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

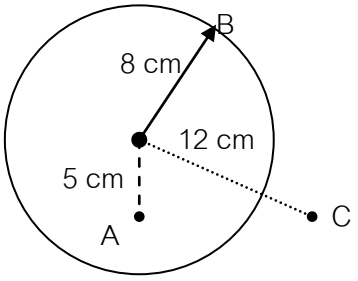
ศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากประจุบนตัวนำทรงกลมแสดงได้ดังกราฟในรูป 2.



รูป 2. กราฟแสดงศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากประจุบนตัวนำทรงกลม

ตัวอย่าง ทรงกลมตัวนำซึ่งมีรัศมี 8 เซนติเมตร และมีประจุ 2.4 ไมโครคูลอมบ์ จงหาศักย์ไฟฟ้า ณ ตำแหน่งซึ่งอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของกลมตัวนำเป็นระยะทางเท่ากับ 5 เซนติเมตร และ 12 เซนติเมตร

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



ที่ตำแหน่ง A และ B จะมีศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน

โดย เราหาศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่ง B แล้วจะได้ศักย์ไฟฟ้าที่ A

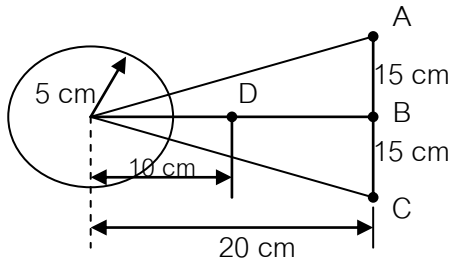
$$V_B = \frac{9x10^{9} \; x2.4x10^{-6}}{8x10^{-2}} = 2.7x10^{5} \quad V$$

$$\therefore \quad V_A = 2.7x10^{5} \quad V$$

$$V_C = \frac{9x10^{9} \; x2.4x10^{-6}}{12x10^{-2}} = 1.8x10^{5} \quad V$$

ตอบ ศักย์ไฟฟ้าที่ห่างจากจุดศูนย์กลางเป็นระยะ 5 ซม.เท่ากับ $2.7x10^{5}$ V (ศักย์ไฟฟ้าภายในทรงกลมตัวนำเท่ากับที่ผิวทรงกลม) , ศักย์ไฟฟ้าที่ห่างจากจุดศูนย์กลางเป็นระยะ 12 ซม.เท่ากับ $1.8x10^{5}$ V

ตัวอย่าง ทรงกลมโลหะรัศมี 5 เซนติเมตร มีประจุบวกกระจายบนผิวอย่างสม่ำเสมอ 9×10^{-6} คูลอมบ์ จากรูป จงหางานในการเคลื่อนประจุ $+2x10^{-6}$ คูลอมบ์ ตามเส้นทาง $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow D$



วิธีทำ งานในการเคลื่อนประจุ นั้นจะไม่คำนึงถึงเส้นทางในการเคลื่อนประจุเป็นหลักสำคัญ แต่จะคำนึงถึงการเคลื่อนที่จากศักย์ไฟฟ้าหนึ่งไปอีกศักย์ไฟฟ้าหนึ่ง

จากรูป ศักย์ไฟฟ้าที่ ตำแหน่ง A และ D มีค่า

$$V_A = \frac{9x10^{9} \; x9x10^{-6}}{25 \; x10^{-2}}$$

$$V_D = \frac{9x10^{9}\ x9x10^{-6}}{10\ x10^{-2}}$$

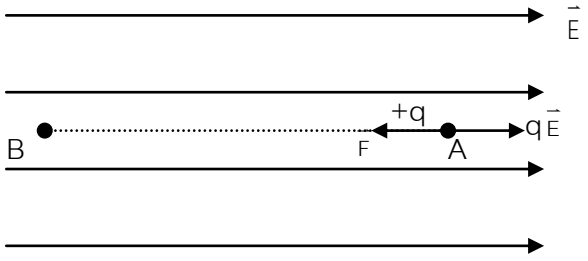
$$W_{A\rightarrow D} = q(V_D - V_A) = 2x10^{-6}x9x10^{9}x9x10^{-6}\left(\frac{1}{0.10} - \frac{1}{0.25}\right) = 0.162x6 = 0.972\ J$$

ตอบ งานในการเคลื่อนประจุ $+2x10^{-6}$ คูลอมบ์ มีค่าเท่ากับ 0.972 จูล

การหาความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ

จากการศึกษาเรื่องการเคลื่อนย้ายประจุไฟฟ้าในสนามไฟฟ้าพบว่างานที่ใช้ในการเคลื่อนประจุ +1 หน่วย จากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งในสนามไฟฟ้าคือ ความต่างศักย์ระหว่างสองตำแหน่งนั้น โดยความต่างศักย์ระหว่างสองตำแหน่งใดๆ จะมีความสัมพันธ์กับขนาดสนามไฟฟ้า ดังจะได้พิจารณาต่อไปนี้

ให้ A และ B เป็นตำแหน่งที่อยู่ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ E โดยอยู่ห่างกันเป็นระยะ d และมีศักย์ไฟฟ้า เป็น V_A และ V_B ตามลำดับ เมื่อให้ F เป็นแรงที่ทำให้ประจุ +q เคลื่อนที่จาก A ไป B ด้วยอัตราเร็วคงที่ ขนาดของแรง F จะเท่ากับขนาดของแรงที่สนามไฟฟ้าต่อต้านการเคลื่อนที่ของประจุ +q ดังรูป 1



รูป 1. การเคลื่อนประจุในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ

ดังนั้น งานที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนประจุ +q จาก A ไป B หาได้จาก

$$W_{A\rightarrow B} = q(V_B - V_A) \quad ,(W = Fs)$$

$$Fs = q(V_B - V_A) \quad ,(F = qE\ ,\ s = d)$$

$$qEd = q(V_{BA}) \quad ,(V_{BA} = V_B - V_A)$$

$$E = \frac{V_{BA}}{d}$$

หรือ

$$\boxed{E = \frac{V_B - V_A}{d}}$$

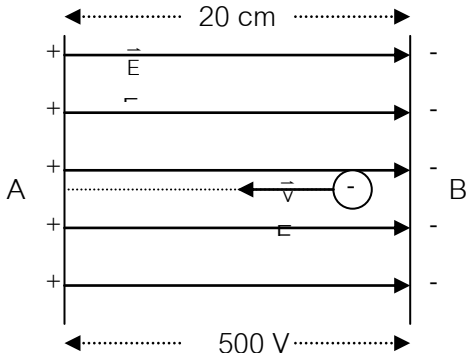
เมื่อ $V_B - V_A$ คือความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุดทั้งสองที่ห่างกัน d หน่วยของสนามไฟฟ้านอกจากเป็น นิวตัน/คูลอมบ์ (N/C) อาจเขียนใหม่ได้เป็น โวลต์/เมตร (V / m)

ตัวอย่าง แผ่นคู่ขนาน 2 แผ่น ห่างกัน 20 เซนติเมตร มีความต่างศักย์ระหว่างแผ่นทั้งสอง 500 โวลต์ จงหา

ก. สนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นคู่ขนานทั้งสอง

ข. ถ้าอิเล็กตรอนหลุดจากแผ่นลบด้วยความเร่ง $1x10^{15}$ เมตรต่อวินาทียกกำลังสองจะเคลื่อนที่ไปถึงแผ่นบวกด้วยอัตราเร็วเท่าไร

วิธีทำ



ก. สนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นคู่ขนานทั้งสอง

จาก $E = \frac{\Delta V}{d}$

$E = \frac{500}{0.2}$

$\therefore E = 2500 \quad V/m$

ตอบ สนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นคู่ขนานทั้งสอง มีค่าเท่ากับ 2500 โวลต์ต่อเมตร

ข. จะเคลื่อนที่ถึงแผ่นบวกด้วยอัตราเร็วเท่ากับ $v^2 = u^2 + 2as$

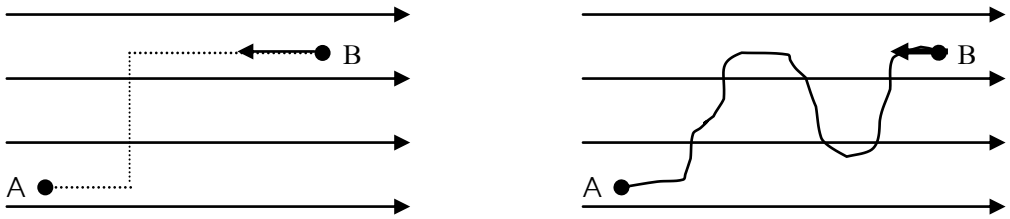
$v^2 = 2(1x10^{15})(0.2)$

$v = 2x10^7 \quad m/s$

ตอบ อิเล็กตรอนหลุดจากแผ่นลบถึงแผ่นบวกด้วยอัตราเร็ว เท่ากับ $2x10^7$ เมตรต่อวินาที

งานในการเคลื่อนประจุ

งานในการเคลื่อนประจุจะไม่ขึ้นกับเส้นทางการเคลื่อนที่ของประจุ แต่จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งแรกกับตำแหน่งสุดท้ายของการเคลื่อนที่ ดังรูป 1.

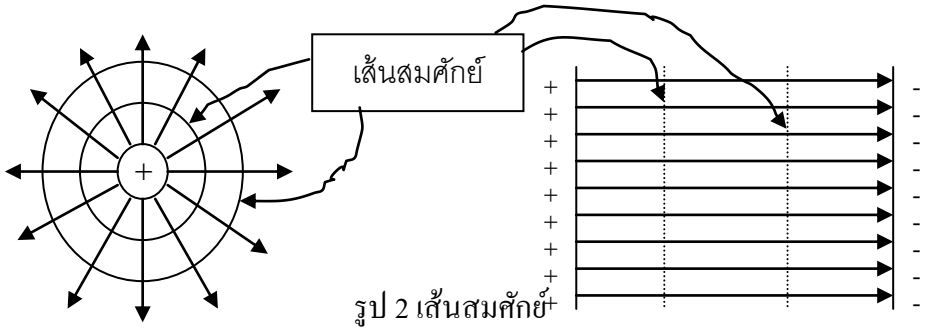


รูป 1. การเคลื่อนประจุจากตำแหน่ง B ไป A

งานในการเคลื่อนประจุมีค่า $W = q(V_B - V_A)$ จากสมการจะไม่ขึ้นอยู่กับระยะการเคลื่อนประจุ

เส้นสมศักย์

คือ เส้นที่ต่อจุดต่างๆ ที่มีศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน เส้นสมศักย์จะตั้งฉากกับเส้นแรงไฟฟ้าเสมอ จุด 2 จุดที่อยู่บนเส้นสมศักย์เดียวกันจะมีความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์ ดังรูป 2



รูป 2 เส้นสมศักย์

ตำแหน่งที่ศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์

คือ อยู่ไกลมากๆ จากต้นกำเนิด การต่อสายลงดินถือว่าจุดที่ต่อมีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์

สรุป สมการที่ใช้ในการแก้ปัญหาศักย์ไฟฟ้า

พลังงานศักย์ไฟฟ้า $E_p = q\Delta V$

ความต่างศักย์ไฟฟ้า $V_{AB} = V_B - V_A$

สนามไฟฟ้า $E = \frac{\Delta V}{d}$

ตัวอย่างการคำนวณ ปริมาณต่างๆที่เกี่ยวข้องกับศักย์ไฟฟ้า

ตัวอย่าง ทรงกลมตัวนำรัศมี 2 cm และ 3 cm มีประจุ – 4 μC และ 6 μC ตามลำดับ เมื่อนำมาสัมผัสกันแล้วแยกออกที่ผิวของทรงกลมจะมีศักย์ไฟฟ้ากี่โวลต์

วิธีทำ เมื่อตัวนำทรงกลมมาสัมผัสกันจะมีการถ่ายเทประจุมีประจุรวม $Q_1 + Q_2 = -4 + 6 = 2\ \mu$C ตัวนำทรงกลมทั้งสองมีขนาดไม่เท่ากัน ดังนั้นทรงกลมทั้งสองจึงมีประจุไม่เท่ากัน แต่จะมีศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน

เมื่อ $Q_1 = Q$ จะได้ $Q_2 = 2 - Q$

$V_1 = V_2$

$\frac{KQ_1}{r_1} = \frac{KQ_2}{r_2}$

$\frac{KQ}{2} = \frac{K(2-Q)}{3}$

$Q = \frac{4}{5} = 0.8\ \mu$C

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

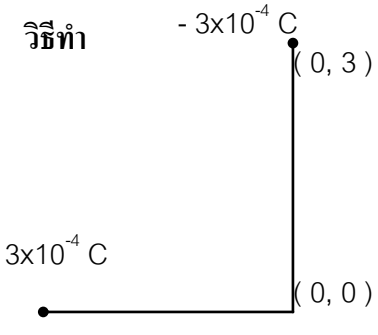
$= \frac{9x10^{9}\ x0.8x10^{-6}}{2x10^{-2}}$

$= 3.6x10^{5}$ โวลต์

หลังแตะแต่ละลูกมีศักย์ไฟฟ้า = $3.6x10^{5}$ โวลต์

ตัวอย่าง วางประจุไฟฟ้า $3x10^{-4}$ คูลอมบ์ ที่ตำแหน่ง x = -2 เมตร , y = 0 เมตร และวางประจุลบขนาดเท่ากันที่ตำแหน่ง x = 0 เมตร , y = 3 เมตร ศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งจุดกำเนิด (0, 0) เป็นกี่โวลต์

วิธีทำ



$$V = V_1 + V_2$$

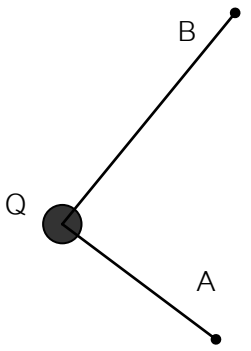
$$V = \frac{KQ_1}{r_1} + \frac{KQ_2}{r_2}$$

$$V = \frac{9x10^{9} x3x10^{-4}}{2} + \frac{9x10^{9} x(-3)x10^{-4}}{3}$$

$$V = 4.5x10^{5} \text{ โวลต์}$$

ตอบ ศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งจุดกำเนิด (0, 0) เท่ากับ $4.5x10^{5}$ โวลต์

ตัวอย่าง จุด A อยู่ห่างจากประจุ $+8x10^{-9}$ C เป็นระยะ 0.9 m และจุด B อยู่ห่างจากประจุ $+8x10^{-9}$ C เป็นระยะ 1.6 m จงหางานที่ใช้ในการเลื่อนประจุ +4 μC จาก B ไปยัง A



วิธีทำ จาก $V_A = \frac{KQ}{r} = \frac{9x10^{9}(8x10^{-9})}{0.9}$

$= 80$ V

$V_B = \frac{KQ}{r} = \frac{9x10^{9}(8x10^{-9})}{1.6}$

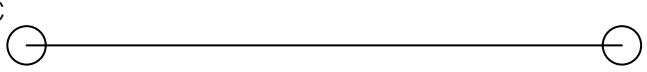
$= 45$ V

$\therefore \quad W_{B\rightarrow A} = q(V_A - V_B) = 4x10^{-6}(80 - 45) = 1.4x10^{-4}$ J

ตอบ งานที่ใช้ในการเลื่อนประจุ +4 μC จาก B ไปยัง A เท่ากับ $1.4x10^{-4}$ จูล

ตัวอย่าง จงหางานที่ใช้ในการนำเอาประจุไฟฟ้า – 2.4 μC และ – 3.6 μC มาวางห่างกันเป็นระยะ 6 เซนติเมตร

วิธีทำ



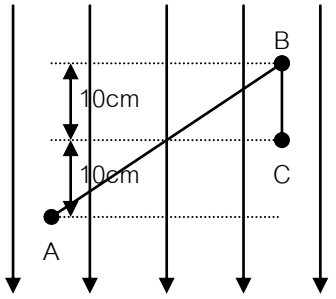
1. งานในการนำประจุตัวแรกจากระยะอนันต์ มาวาง จะมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นงานในการนำ – 2.4 μC จึงเป็นศูนย์
2. งานในการนำ – 3.6 μC มาวาง ให้ห่างกัน 6 เซนติเมตร หาจาก

$$W_{\alpha\rightarrow A} = q(V_A - V_\alpha) = -2.4x10^{-6}\left(\frac{9x10^{9}(-3.6x10^{-6})}{6x10^{-2}} - 0\right)$$

$$W_{\alpha\rightarrow A} = 1.296 \text{ J}$$

ตอบ งานที่ใช้ในการนำเอาประจุไฟฟ้า – 2.4 μC และ – 3.6 μC มาวางห่างกันเป็นระยะ 6 เซนติเมตร เท่ากับ 1.296 จูล

ตัวอย่าง ถ้า E เป็นสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ มีขนาด 20 โวลต์ / เมตร จงหางานที่ใช้ในการเคลื่อนที่ประจุ $2x10^{-9}$ คูลอมบ์ จากจุด A ไปตาม A $\rightarrow$ B $\rightarrow$ C จนถึง C ดังรูป



วิธีทำ

จาก $W_{A\rightarrow C} = q(V_C - V_A)$ .....$\leftarrow$

และ $E = \frac{\Delta V}{d} = \frac{(V_C - V_A)}{d}$

จะได้ $(V_C - V_A) = Ed$ .....$\uparrow$

แทนค่า $\uparrow$ ใน $\leftarrow$

จะได้ $W_{A\rightarrow C} = q\,Ed$

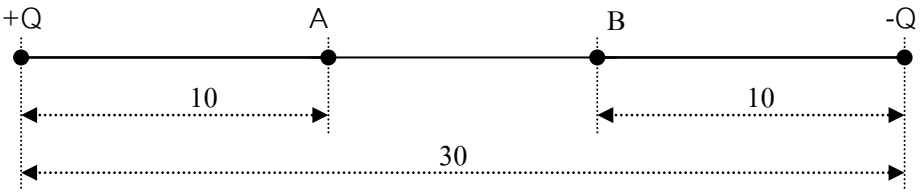
แทนค่า $W_{A\rightarrow C} = 2x10^{-9}x20x10^{-1}$

$\therefore W_{A\rightarrow C} = 4x10^{-9}$ J

ตอบ งานที่ใช้ในการย้ายประจุมีค่า $4x10^{-9}$ จูล

ตัวอย่าง ประจุไฟฟ้าสองประจุ +Q และ –Q มีขนาด 10^{-9} คูลอมบ์ เท่ากันวางห่างกัน 30 เซนติเมตร ดังรูป ถ้าปล่อยประจุ 10^{-6} คูลอมบ์ จากจุด A ประจุนั้นจะผ่านจุด B ด้วยพลังงานจลน์เท่าใด

วิธีทำ



หา V_A , V_B ; จาก $V_A = \frac{KQ}{r} + \frac{K(-Q)}{r}$

$= \frac{9x10^{9}x10^{-9}}{0.1} - \frac{9x10^{9}x10^{-9}}{0.2}$

$V_A = 45$ V

จาก $V_B = \frac{KQ}{r} + \frac{K(-Q)}{r}$

$= \frac{9x10^{9}x10^{-9}}{0.2} - \frac{9x10^{9}x10^{-9}}{0.1}$

$V_B = -45$ V

หา $E_{K(B)}$; จากหลักทรงพลังงาน

$E_{p(A)} + E_{K(A)} = E_{p(B)} + E_{K(B)}$

เริ่มปล่อย $E_{K(A)} = 0$ (เพราะขณะเริ่มปล่อยความเร็วเริ่มต้นเป็นศูนย์)

$E_{K(B)} = E_{p(A)} - E_{p(B)}$

$E_{K(B)} = qV_A - qV_B = q(V_A - V_B)$

$E_{K(B)} = 10^{-6}(45 + 45)$

$E_{K(B)} = 9x10^{-5}$ J

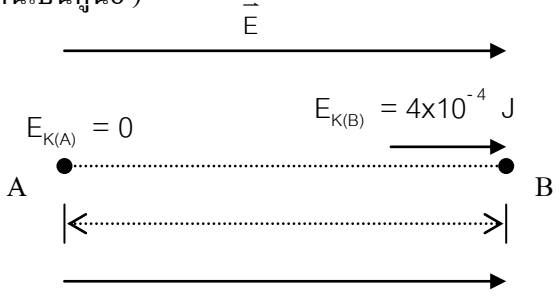
ตอบ ประจุผ่านจุด B ด้วยพลังงานจลน์ $9x10^{-5}$ จูล

ตัวอย่าง อนุภาคหนึ่งมีประจุ $5x10^{-6}$ คูลอมบ์ เริ่มเคลื่อนทีจากจุดหยุดนิ่ง ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอขนาด 100 โวลต์ / เมตร เมื่ออนุภาคนี้เคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกับสนามไฟฟ้าได้ไกลเท่าใดจึงจะมีพลังงานเป็น $4x10^{-4}$ จูล

วิธีทำ จากหลักทรงพลังงาน

$E_{p(A)} + E_{K(A)} = E_{p(B)} + E_{K(B)}$

เริ่มปล่อย $E_{K(A)} = 0$ (เพราะขณะเริ่มปล่อยความเร็วเริ่มต้นเป็นศูนย์)



$E_{p(A)} - E_{p(B)} = E_{K(B)}$

$q(V_A - V_B) = E_{K(B)}$

$qEd = E_{K(B)}$

$d = \frac{E_{K(B)}}{qE}$

$d = \frac{4x10^{-4}}{5x10^{-6} x100}$

$d = 0.8$ m

ตอบ อนุภาคเคลื่อนที่ได้ไกล 0.8 เมตร

##