



มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม



ฟิสิกส์ 2 (Physics 2)

บทที่ 3 ศักย์ไฟฟ้า

ผู้สอน

อาจารย์ ดร.วุฒิชัย ไชยภักษา

สาขาฟิสิกส์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี



Nakhon Pathom Rajabhat University



หัวข้อเนื้อหาประจำบท

- 3.1 ศักย์ไฟฟ้า
- 3.2 ศักย์ไฟฟ้าของกลุ่มจุดประจุ



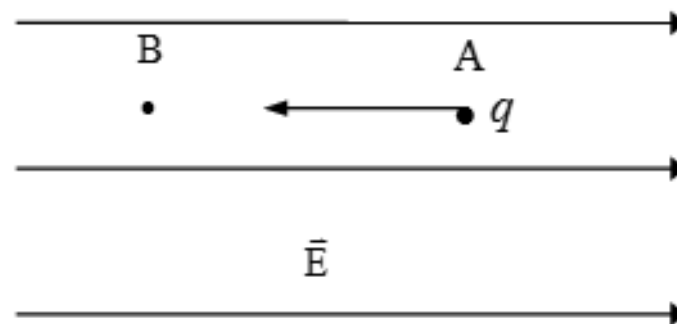
ศักย์ไฟฟ้า

ศักย์ไฟฟ้า (electric potential) มีนิยามว่าศักย์ไฟฟ้า V ที่จุดใดๆ คือ พลังงานศักย์ E_p ต่อหนึ่งหน่วยของประจุไฟฟ้า q ณ จุดนั้น เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$V = \frac{E_p}{q} \quad (3.1)$$

หรือ

$$E_p = qV \quad (3.2)$$



การเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้า q จากจุด A ไปยังจุด B



จากภาพการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้า ถ้าเลื่อนประจุทดสอบ q จากจุด A ไปยังจุด B ตามเส้นทางหรือวิถี ใดๆ ในสนามไฟฟ้า จะต้องทำงาน W_{AB} งานที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้า q ดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับผลต่างของพลังงานศักย์ ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}W_{AB} &= E_{PB} - E_{PA} \\ &= q(V_B - V_A)\end{aligned}\quad (3.3)$$

หรือ

$$V_B - V_A = \frac{W_{AB}}{q}\quad (3.4)$$

งาน W_{AB} จะมีค่าเป็นบวกหรือลบขึ้นกับผลต่างระหว่างศักย์ไฟฟ้า A และ B กล่าวคือ

ถ้า $V_B > V_A$ แล้ว W_{AB} จะมีค่าเป็นบวก

$V_B < V_A$ แล้ว W_{AB} จะมีค่าเป็นลบ

แรงมีทิศทางเดียวกับสนามไฟฟ้า ขนาดของแรง

$$F = qE$$

งานของแรงคือ

$$W = Fd$$



อนุภาคมีประจุไฟฟ้า $q = 3 \times 10^{-9} \text{ C}$ เคลื่อนที่จากจุด a ไปยังจุด b เป็นเส้นตรงระยะทาง $d = 0.5 \text{ m}$ ในสนามไฟฟ้า $E = 200 \text{ N.C}^{-1}$ จงหาแรง งานและความต่างศักย์ $V_a - V_b$
วิธีทำ

แรงมีทิศทางเดียวกับสนามไฟฟ้า ขนาดของแรงคือ

$$\begin{aligned} F &= qE \\ &= (3 \times 10^{-9} \text{ C})(200 \text{ N.C}^{-1}) \\ &= 600 \times 10^{-9} \text{ N} \end{aligned}$$

งานของแรงคือ

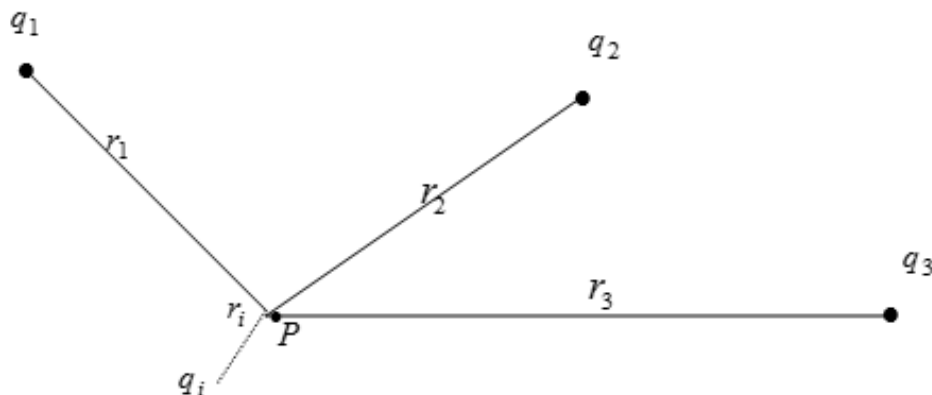
$$\begin{aligned} W &= Fd \\ &= (600 \times 10^{-9} \text{ N})(0.5 \text{ m}) \\ &= 300 \times 10^{-9} \text{ J} \\ V_a - V_b &= \frac{W}{q} \\ &= \frac{300 \times 10^{-9} \text{ J}}{3 \times 10^{-9} \text{ C}} \\ &= 100 \text{ J.C}^{-1} = 100 \text{ V} \end{aligned}$$

หรือ

$$\begin{aligned} V_a - V_b &= Ed \\ &= (200 \text{ N.C}^{-1})(0.5 \text{ m}) \\ &= 100 \text{ J.C}^{-1} = 100 \text{ V} \end{aligned}$$



ศักย์ไฟฟ้าของกลุ่มจุดประจุ



ภาพที่ 3.2 ศักย์ไฟฟ้าลัพท์ของจุดประจุไฟฟ้า
ที่มา (Sears, Zemansky and Young, 1982)

พิจารณากรณีประจุไฟฟ้าหลายจุดประจุ คือ จุดประจุ $q_1, q_2, q_3, \dots$ อยู่ที่ระยะทาง $r_1, r_2, r_3, \dots$ มีศักย์ไฟฟ้าเป็น $V_1, V_2, V_3, \dots$ ตามลำดับ สามารถคำนวณหาศักย์ไฟฟ้าลัพท์ของประจุไฟฟ้าเหล่านี้ที่ตำแหน่ง P โดยการหาผลรวมสเกลาร์ของศักย์ไฟฟ้าของจุดประจุเหล่านั้น นั่นคือ

$$\begin{aligned} V &= V_1 + V_2 + V_3 + \dots \\ &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{r_1} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2}{r_2} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_3}{r_3} + \dots \\ &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_i \frac{q_i}{r_i} \text{ เมื่อ } i = 1, 2, 3, \dots \end{aligned}$$

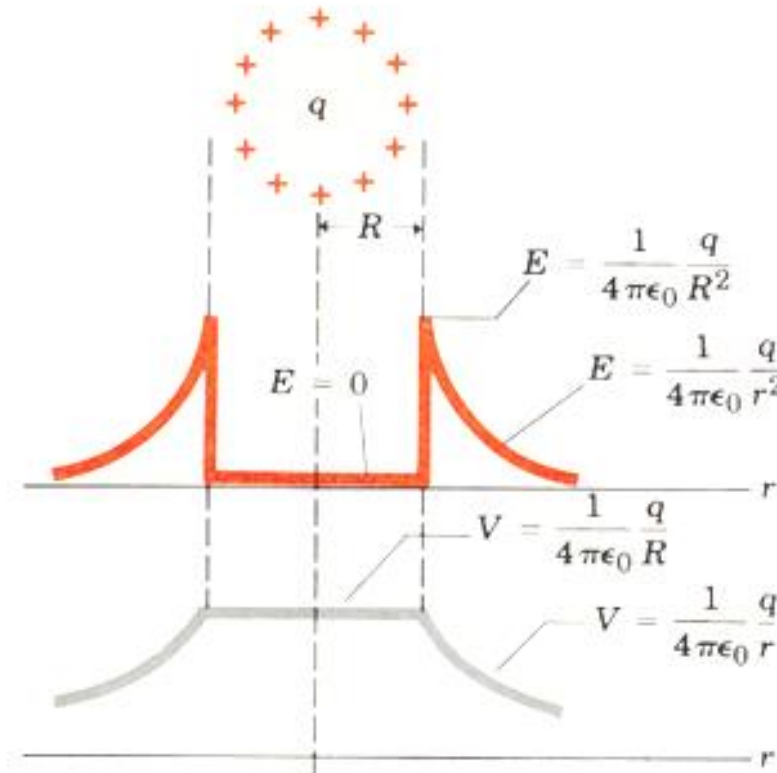
ถ้าประจุไฟฟ้ากระจายอย่างต่อเนื่องลงบนรูปร่างใดๆ ศักย์ไฟฟ้าสามารถเขียนในรูปปริพันธ์ได้ว่า

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



ตัวนำทรงกลมรัศมี R

สำหรับตัวนำทรงกลมรัศมี R มีประจุไฟฟ้าสุทธิ q กระจายที่ผิวของทรงกลมสม่ำเสมอ โดยอาศัยกฎของเกาส์ สามารถสรุปได้ว่าทุกจุดภายนอกทรงกลมจะมีสนามไฟฟ้าเท่ากัน ถ้าระยะทางจากจุดศูนย์กลางของทรงกลมเท่ากัน แต่ที่จุดภายในทรงกลมสนามไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์เสมอ ไม่ว่าทรงกลมจะมีประจุไฟฟ้าภายในหรือไม่ก็ตาม



สนามไฟฟ้า E และศักย์ไฟฟ้า V ที่จุดภายในและภายนอกตัวนำทรงกลมมีประจุ
ที่มาก (Sears, Zemansky and Young, 1982)





สนามไฟฟ้า $\vec{E}$ ที่ผิวทรงกลมมีขนาด

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R^2}$$

ศักย์ไฟฟ้าภายนอกทรงกลม $r \gg R$

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

ศักย์ไฟฟ้าภายในทรงกลม

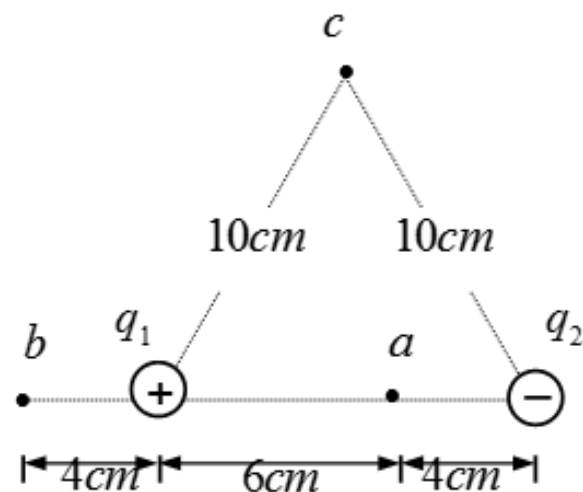
$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R}$$





จุดประจุขนาด $q_1 = +12 \times 10^{-9} \text{ C}$ และ $q_2 = -12 \times 10^{-9} \text{ C}$ วางห่างกัน 10 cm ดังภาพตัวอย่าง

3.2 จงหาศักย์ไฟฟ้าที่ a, b และ c



วิธีทำ

ศักย์ไฟฟ้าลัพธ์เป็นผลรวมทางพีชคณิตของศักย์ไฟฟ้าแต่ละจุดประจุ

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_i \frac{q_i}{r_i}$$

ดังนั้นศักย์ไฟฟ้าที่จุด a

$$\begin{aligned} V_a &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} \right) \\ &= (9 \times 10^9 \text{ N.m}^2.\text{C}^{-2}) \left(\frac{12 \times 10^{-9} \text{ C}}{0.06 \text{ m}} + \frac{-12 \times 10^{-9} \text{ C}}{0.04 \text{ m}} \right) \\ &= 1,800 \text{ N.m.C}^{-1} - 2,700 \text{ N.m.C}^{-1} \\ &= 1,800 \text{ J.C}^{-1} - 2,700 \text{ J.C}^{-1} \\ &= 1,800 \text{ V} - 2,700 \text{ V} \\ &= -900 \text{ V} \end{aligned}$$





ศักย์ไฟฟ้าที่จุด b

$$\begin{aligned}V_b &= (9 \times 10^9 \text{ N.m}^2.\text{C}^{-2}) \left(\frac{12 \times 10^{-9} \text{ C}}{0.04 \text{ m}} + \frac{-12 \times 10^{-9} \text{ C}}{0.14 \text{ m}} \right) \\&= 2,700 \text{ V} - 771 \text{ V} \\&= 1,929 \text{ V}\end{aligned}$$

ศักย์ไฟฟ้าที่จุด c

$$\begin{aligned}V_c &= (9 \times 10^9 \text{ N.m}^2.\text{C}^{-2}) \left(\frac{12 \times 10^{-9} \text{ C}}{0.10 \text{ m}} + \frac{-12 \times 10^{-9} \text{ C}}{0.10 \text{ m}} \right) \\&= 1,080 \text{ V} - 1,080 \text{ V} \\&= 0\end{aligned}$$





จากตัวอย่าง 2.2 จงหาพลังงานศักย์ ถ้านำประจุไฟฟ้าขนาด $+4 \times 10^{-9}$ C

วางที่จุด a, b และ c

วิธีทำ

จากสมการพลังงานศักย์

$$E_p = qV$$

ที่จุด a

$$\begin{aligned} E_{pa} &= qV_a \\ &= (4 \times 10^{-9} \text{ C})(-900 \text{ J.C}^{-1}) \\ &= -36.0 \times 10^{-7} \text{ J} \end{aligned}$$

ที่จุด b

$$\begin{aligned} E_{pb} &= qV_b \\ &= (4 \times 10^{-9} \text{ C})(1,929 \text{ J.C}^{-1}) \\ &= 77.16 \times 10^{-7} \text{ J} \end{aligned}$$

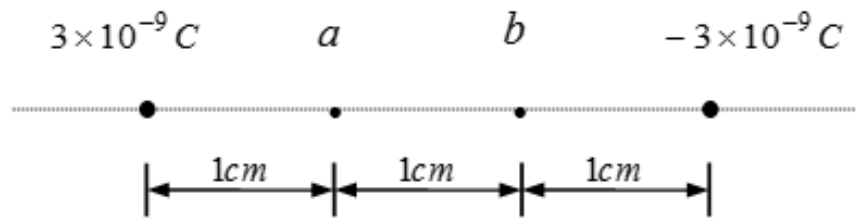
ที่จุด c

$$\begin{aligned} E_{pc} &= qV_c \\ &= 0 \end{aligned}$$





จากภาพตัวอย่าง 3.4 อนุภาคมวล $m = 5 \text{ g}$ ประจุไฟฟ้า $q' = 2 \times 10^{-9} \text{ C}$ เริ่มจากหยุดนิ่งที่จุด a เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงไปยังจุด b จงหาอัตราเร็ว v ที่จุด b



ภาพตัวอย่าง 3.4

วิธีทำ

จากหลักการอนุรักษ์ของพลังงาน

$$E_{ka} + E_{pa} = E_{kb} + E_{pb}$$

พลังงานศักย์อยู่ในเทอมของศักย์ไฟฟ้า $E_p = q' V$

โดยที่

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_i \frac{q_i}{r_i}$$

จากโจทย์

$$0 + q' V_a = \frac{1}{2}mv^2 + q' V_b$$

อัตราเร็ว

$$v = \sqrt{\frac{2q'(V_a - V_b)}{m}}$$

ศักย์ไฟฟ้า

$$\begin{aligned} V_a &= (9 \times 10^9 \text{ N.m}^2.\text{C}^{-2}) \left(\frac{3 \times 10^{-9} \text{ C}}{0.01 \text{ m}} + \frac{-3 \times 10^{-9} \text{ C}}{0.02 \text{ m}} \right) \\ &= 1,350 \text{ V} \end{aligned}$$

และ

$$\begin{aligned} V_b &= (9 \times 10^9 \text{ N.m}^2.\text{C}^{-2}) \left(\frac{3 \times 10^{-9} \text{ C}}{0.02 \text{ m}} + \frac{-3 \times 10^{-9} \text{ C}}{0.01 \text{ m}} \right) \\ &= -1,350 \text{ V} \end{aligned}$$



ดังนั้นอัตราเร็ว

$$v = \sqrt{\frac{2(2 \times 10^{-9} \text{ C})[1,350 \text{ V} - (-1,350 \text{ V})]}{5 \times 10^{-3} \text{ kg}}}$$
$$= 4.65 \times 10^{-2} \text{ m.s}^{-1}$$



3.3 เกรเดียนต์ศักย์ไฟฟ้า

สนามไฟฟ้า $\vec{E}$ และศักย์ไฟฟ้า V ในปริภูมิเป็นฟังก์ชันของโคออร์ดิเนตของจุดที่พิจารณา ความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้า $\vec{E}$ และศักย์ไฟฟ้า V เป็นไปอย่างใกล้ชิด กล่าวคือ $\vec{E}$ เป็นอนุพันธ์ของ V ดังสมการ (3.5)

$$\vec{E} = -\nabla V$$

อ่านว่า “ $\vec{E}$ เป็นค่าลบของเกรเดียนต์ V ” ความสัมพันธ์ดังกล่าวเขียนได้ว่า

$$E_x = -\frac{\partial V}{\partial x}$$

$$E_y = -\frac{\partial V}{\partial y}$$

$$E_z = -\frac{\partial V}{\partial z}$$

เขียนในเทอมของเวกเตอร์หนึ่งหน่วย

$$\begin{aligned}\vec{E} &= -\left(\hat{i}\frac{\partial V}{\partial x} + \hat{j}\frac{\partial V}{\partial y} + \hat{k}\frac{\partial V}{\partial z}\right) \\ &= -\left(\hat{i}\frac{\partial}{\partial x} + \hat{j}\frac{\partial}{\partial y} + \hat{k}\frac{\partial}{\partial z}\right)V\end{aligned}\quad (3.14)$$





ปริมาณ $\hat{i}\frac{\partial}{\partial x} + \hat{j}\frac{\partial}{\partial y} + \hat{k}\frac{\partial}{\partial z} = \nabla$ เรียกว่าเกรเดียนต์ (gradient)

ศักย์ไฟฟ้าคือพลังงานศักย์ต่อหน่วยประจุไฟฟ้า ดังนั้นหน่วยของศักย์ไฟฟ้าจะมีความสัมพันธ์
ดังต่อไปนี้

$$1 \text{ V.m}^{-1} = 1 \text{ J.C}^{-1} = 1 \text{ N.m.C}^{-1}.\text{m}^{-1} = 1 \text{ N.C}^{-1}$$



ตัวอย่างที่ 3.7 จงแสดงว่าศักย์ไฟฟ้าที่ระยะทางของรัศมี r จากจุดประจุ q คือ

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

สมมาตรสนามไฟฟ้าในทิศทางของรัศมีเป็นไปตามกฎคูลอมบ์คือ

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}$$

วิธีทำ

จากสมการ

$$\begin{aligned} E &= -\frac{dV}{dr} \\ &= -\frac{d}{dr} \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r} \right) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \end{aligned}$$





มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม