



ฟิสิกส์ 2 (Physics 2)

บทที่ 1

ประจุไฟฟ้า กฎของคูลอมบ์ และสนามไฟฟ้า

ผู้สอน

อาจารย์ ดร.วุฒิชัย ไชยภักษา

สาขาฟิสิกส์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี



หัวข้อเนื้อหาประจำบท

- 1. ประจุไฟฟ้า
- 2. กฎของคูลอมบ์
- 3. สนามไฟฟ้า



ประจุไฟฟ้า

ทาลีส (Thales) => อำนาจไฟฟ้า (electricity) => ประจุไฟฟ้า (electric charge)

เบนจามิน แฟรงคลิน
(Benjamin Franklin)



ประจุไฟฟ้า (electric charge)



Charge (ประจุ)



Positive (+)

Negative (-)

ประจุไฟฟ้า



ตารางที่ 1.1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของอิเล็กตรอน โปรตอน และนิวตรอน

อนุภาค	ประจุ (C)	มวล (kg)	$\frac{q}{m} (\frac{C}{kg})$
อิเล็กตรอน (e)	-1.60×10^{-19}	9.10×10^{-31}	1.76×10^{11}
โปรตอน (p)	$+1.60 \times 10^{-19}$	1.67×10^{-27}	9.58×10^7
นิวตรอน (n)	0	1.67×10^{-27}	0

ที่มา (Serway and Jewett, 2008, หน้า 646)

กฎของคูลอมบ์

ชาร์ล คูลอมบ์ (Charles Coulomb)



๒

จากกฎคูลอมบ์



∴

จากการทดลองค่าคงที่คือ

$$F \propto Q_1 Q_2$$

$$F \propto \frac{1}{r^2}$$

$$F \propto \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

(1.1)

เครื่องวัดแรงบิดคูลอมบ์

$$= 8.9875 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$$

ที่มา (Serway and Beicher, 2000, หน้า 714)

กฎของคูลอมบ์



โดย ϵ_0 เป็นค่าสภาพยอม (permittivity) ของตัวกลางที่เป็นสุญญากาศ

$$\epsilon_0 = 8.8542 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2$$

สรุปเป็นสูตรได้ดังนี้

$$F = \frac{kQ_1Q_2}{r^2} \quad (1.2)$$

เมื่อ F แทนขนาดของแรงระหว่างประจุ 2 ประจุ หน่วยนิวตัน (N)

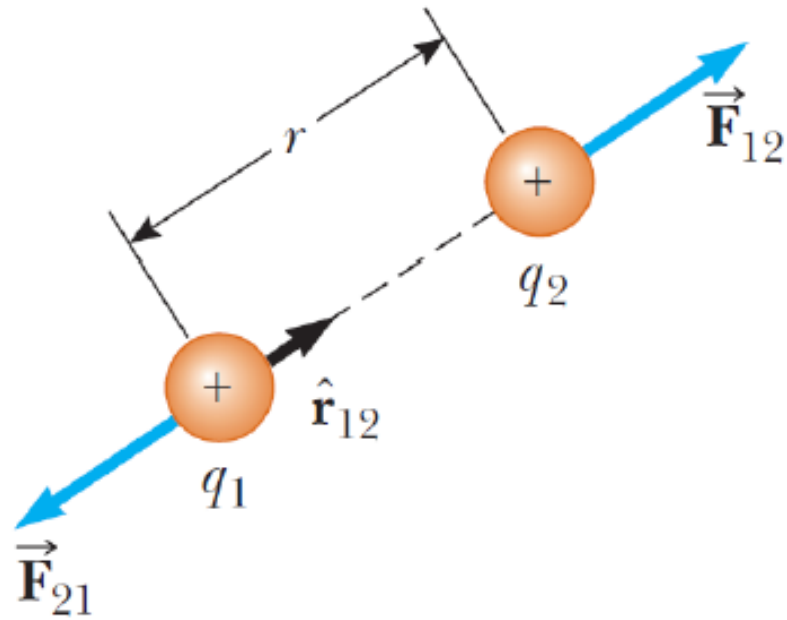
Q_1, Q_2 แทนขนาดประจุ หน่วยคูลอมบ์ (C)

r แทนระยะระหว่างประจุ หน่วยเมตร (m)

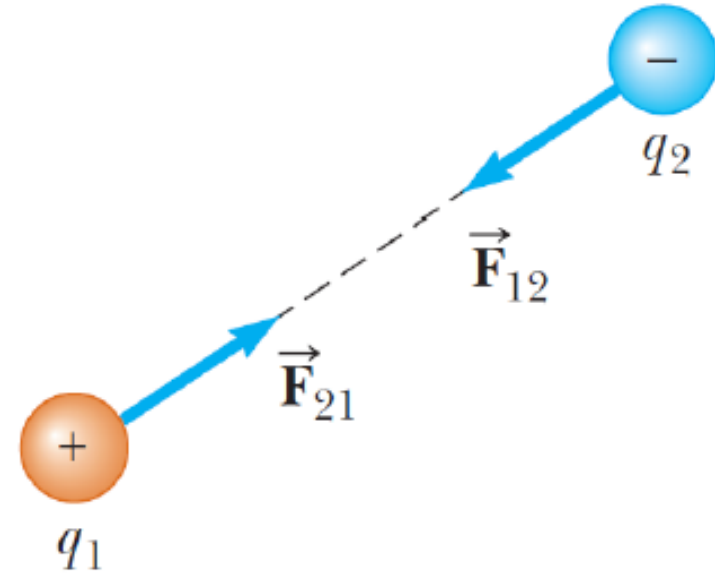
ข้อควรทราบบางประการเกี่ยวกับของกฎคูลอมบ์

1. แรงระหว่างประจุไฟฟ้า (F) เป็นแรงต่างร่วม (mutual force) หมายความว่า มีแรงกระทำเกิดขึ้นทั้งบนประจุ Q_1 และบนประจุ Q_2 โดยขนาดของแรงมีค่าเท่ากัน แม้ว่าปริมาณของ Q_1 และ Q_2 จะมีค่าต่างกัน
2. ทิศของแรง (F) ที่เกิดขึ้น จะอยู่บนแนวเส้นตรงที่ลากผ่านตำแหน่งของประจุทั้งสองหรือจุดศูนย์กลางของทรงกลมประจุทั้งสอง (กรณีประจุมีขนาด)
3. ในการคำนวณไม่ต้องใส่เครื่องหมายประจุ เราใช้เวกเตอร์ของแรงแทน โดยพิจารณาว่าประจุทั้งสองเป็นชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกัน
4. กฎของคูลอมบ์เมื่อใช้กับประจุที่มากกว่า 2 ตัวต้องคิดแผ่งในรูปปริมาณเวกเตอร์แรงที่เกิดขึ้นบนประจุแต่ละตัวจะมีค่าไม่เท่ากัน ดังตัวอย่างที่จะแสดงให้ดูต่อไป

กฎของคูลอมบ์



(ก) ประจุต่างชนิดกัน



(ข) ประจุชนิดเดียวกัน

ภาพที่ 1.3 ทิศทางของแรงระหว่างประจุ
ไฟฟ้า (Serway and Jewett, 2008, หน้า 647)

กฎของคูลอมบ์



N P R U

จากภาพที่ 1.3 และจากกฎคูลอมบ์ จะได้

$$\vec{F}_{21} = \frac{kq_1q_2}{r_{21}^2} \hat{r}_{21} \quad (1.3)$$

ให้ q_1 และ q_2 เป็นขนาดของประจุไฟฟ้า มีหน่วย คูลอมบ์ (C)

$\vec{F}_{21}$ เป็นแรงไฟฟ้าที่กระทำต่อ q_2 เนื่องจากประจุ q_1 มีหน่วย นิวตัน (N)

r_{21} เป็นระยะห่างระหว่างประจุ q_1 และ q_2 มีหน่วย เมตร (m)

$\hat{r}_{21}$ เป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วยในแนวที่ลากจาก q_1 ไปยัง q_2

สมการ (1.1) และ (1.3) จึงเขียนได้เป็น

$$\vec{F}_{21} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1q_2}{r_{21}^2} \hat{r}_{21} \quad (1.4)$$

ในกรณีที่มีประจุหลายประจุ เป็น $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$ เราสามารถหาแรงลัพธ์ $\vec{F}$ ที่เกิดขึ้นได้เช่นเดียวกันโดยใช้สมการ (1.5) คำนวณหาแรงระหว่าง 2 ประจุแล้วหาแรงลัพธ์ที่กระทำต่อประจุใดๆ เช่น หาแรงที่กระทำต่อประจุ q_1 เนื่องจากประจุ $q_2, q_3, \dots, q_n$ ซึ่งแรงเป็น $\vec{F}_{12}, \vec{F}_{13}, \vec{F}_{14}, \dots, \vec{F}_{1n}$ แรงลัพธ์ $\vec{F}$ จะเป็น

$$\begin{aligned}\vec{F} &= \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13} + \vec{F}_{14} + \dots + \vec{F}_{1n} \\ \vec{F} &= \sum_{i=2}^n \vec{F}_{1i} = \sum_{i=2}^n \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_i}{r_{1i}^2} \hat{r}_{1i}\end{aligned}\quad (1.6)$$

ตัวอย่างที่ 1.1 ระยะระหว่างอิเล็กตรอนและโปรตอนในไฮโดรเจนอะตอม เท่ากับ 5.3×10^{-11} เมตร

จงเปรียบเทียบแรงกระทำที่เกิดขึ้นระหว่างแรงทางไฟฟ้ากับแรงดึงดูดระหว่างมวล

วิธีทำ แรงทางไฟฟ้า (F_e)

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

$$F = \frac{(9 \times 10^9)(1.6 \times 10^{-19})(1.6 \times 10^{-19})}{(5.3 \times 10^{-11})^2} \dots\dots\dots(1)$$

แรงดึงดูดระหว่างมวล (F_G)

$$F = \frac{G m_1 m_2}{r^2}$$

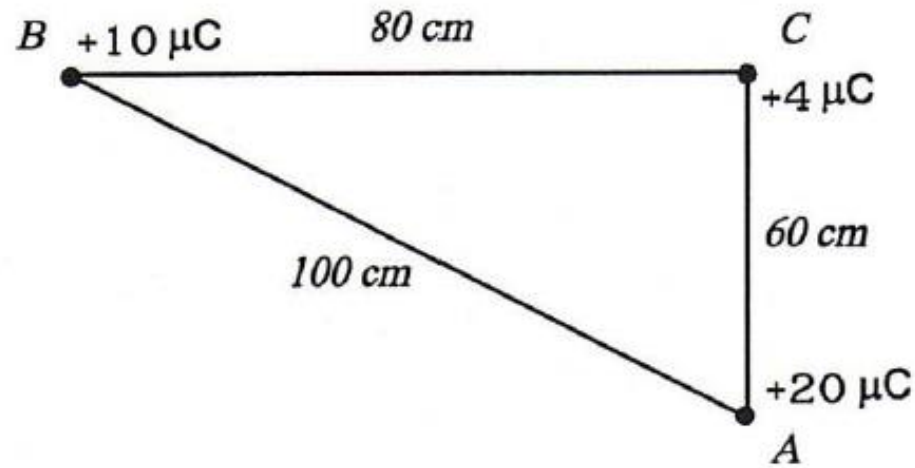
$$F_G = \frac{(6.7 \times 10^{-11})(9.1 \times 10^{-31})(1.67 \times 10^{-27})}{(5.3 \times 10^{-11})^2} \dots\dots\dots(2)$$

$$\frac{(1)}{(2)}; \quad \frac{F_e}{F_G} = \frac{8.2 \times 10^{-8}}{3.6 \times 10^{-47}} = 2.28 \times 10^{39}$$

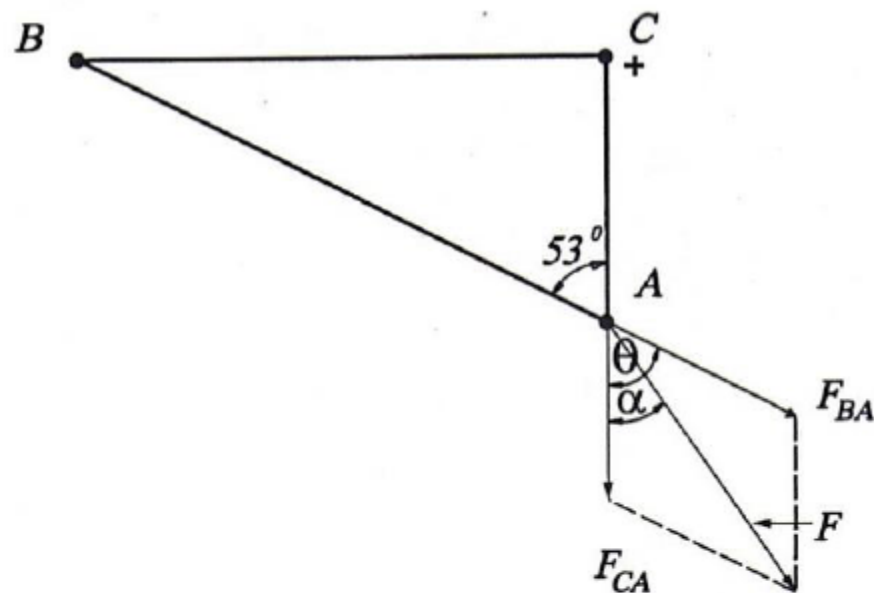
หมายเหตุ จากตัวอย่างนี้จะเห็นว่าแรงทางไฟฟ้ามีค่ามากกว่าแรงดึงดูดระหว่างมวลมากมายมหาศาล
ดังนั้นในการคำนวณทางไฟฟ้าจะไม่คำนึงค่าแรงจากมวลของประจุมาพิจารณาด้วย



ตัวอย่างที่ 1.2 จากรูป A, B และ C เป็นจุดประจุที่มีค่า $+20$, $+10$ และ $+4$ ไมโครคูลอมบ์ ตามลำดับ จงหาแรงที่กระทำต่อประจุไฟฟ้า A



ในตัวอย่างนี้ต้องพิจารณาผลของประจุ B และ C กระทำต่อ A จะได้เวกเตอร์แรงที่เกิดบนประจุ A ดังรูป



จากกฎคูลอมบ์

แรงที่ประจุ C ทำกับ A

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

$$\begin{aligned} F_{CA} &= \frac{(9 \times 10^9)(4 \times 10^{-6})(20 \times 10^{-6})}{(0.6)^2} \\ &= 2 \text{ N} \end{aligned}$$

แรงที่ประจุ B ทำกับ A

$$\begin{aligned} F_{BA} &= \frac{(9 \times 10^9)(10 \times 10^{-6})(20 \times 10^{-6})}{(1)^2} \\ &= 1.8 \text{ N} \end{aligned}$$

หาแรงลัพธ์บนประจุ A โดยทฤษฎีสี่เหลี่ยมด้านขนานของแรง

จาก
$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \theta}$$

แทนค่า
$$\begin{aligned} F &= \sqrt{2^2 + 1.8^2 + 2(2)(1.8)\cos 53^\circ} \\ &= 3.4 \text{ N} \end{aligned}$$

หาทิศทางของแรง F

$$\begin{aligned} \tan \alpha &= \frac{F_2 \sin \theta}{F_1 + F_2 \cos \theta} \\ &= \frac{F_2 \sin 53^\circ}{2 + 1.8 \cos 53^\circ} \\ &= 0.4675 \end{aligned}$$

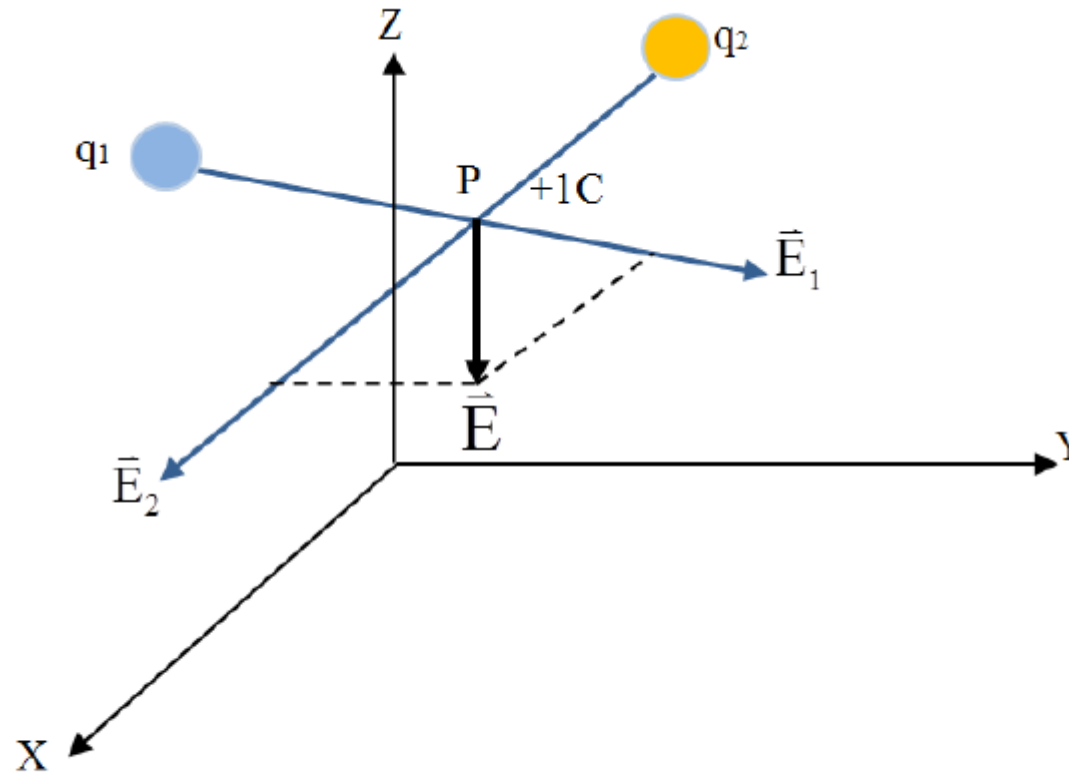
$$\begin{aligned} \therefore \alpha &= \tan^{-1} (0.4675) \\ &= 25^\circ \end{aligned}$$

แรงที่กระทำกับประจุ $20 \mu\text{C}$ มีขนาด 3.4 N อยู่ในทิศ 25° อกสากับแกน $-y$



สนามไฟฟ้า

สนามไฟฟ้า (electric field, $\vec{E}$) หมายถึง บริเวณรอบๆ ประจุไฟฟ้าที่อำนาจไฟฟ้าส่งแรงไปถึง นั่นหมายความว่า เมื่อมีประจุทดสอบวางอยู่บริเวณนี้ จะเกิดแรงกระทำต่อประจุทดสอบนี้ แสดงว่าบริเวณนี้มีสนามไฟฟ้า



สนามไฟฟ้าบนจุด P เนื่องจากประจุไฟฟ้าอิสระ q_1 และ q_2

สนามไฟฟ้าจึงเป็นปริมาณเวกเตอร์ใช้สัญลักษณ์ $\vec{E}$ มีทิศพุ่งออกจากประจุบวกและพุ่งเข้าหาประจุลบ

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^n \frac{k q_0 q_i}{r_{oi}^2} \cdot \hat{r}_{oi} \quad (1.7)$$

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (1.8)$$

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \frac{k q_i}{r_{oi}^2} \cdot \hat{r}_{oi} \quad (1.9)$$

- เมื่อ $\hat{r}_{oi}$ เป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วยที่ชี้จาก q_0 ไปยัง q_i
 $\vec{E}$ แทนขนาดสนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งนั้น หน่วย นิวตันต่อคูลอมบ์ (N/C)
 $\vec{F}$ แทนขนาดของแรงที่กระทำต่อประจุที่ตำแหน่งนั้น หน่วย นิวตัน (N)
 q แทนขนาดประจุที่อยู่ ณ ตำแหน่งนั้น หน่วย คูลอมบ์ (C)



ตัวอย่างที่ 1.5 จงหาความเข้มสนามไฟฟ้าในอากาศ ณ ตำแหน่งที่ห่างจากประจุ 5×10^{-9} คูลอมป์ เท่ากับ 30 เซนติเมตร และเมื่อนำประจุ 4×10^{-10} คูลอมป์ มาวางไว้ ณ ตำแหน่งนั้น จงหาแรงไฟฟ้าที่กระทำต่อประจุ 4×10^{-10} คูลอมป์

วิธีทำ

$$\begin{aligned} E &= \frac{kq_1}{r^2} \\ &= \frac{(9 \times 10^9)(5 \times 10^{-9})}{(30 \times 10^{-2})^2} \\ &= 5 \times 10^2 \text{ NC}^{-1} \end{aligned}$$

ความเข้มสนามไฟฟ้ามีค่า 5×10^2 นิวตันต่อคูลอมป์

$$\begin{aligned} F &= qE \\ &= (4 \times 10^{-10})(5 \times 10^2) \\ &= 2 \times 10^{-7} \text{ N} \end{aligned}$$

แรงไฟฟ้าที่กระทำต่อประจุ 4×10^{-10} คูลอมป์ มีค่า 2×10^{-7} นิวตัน

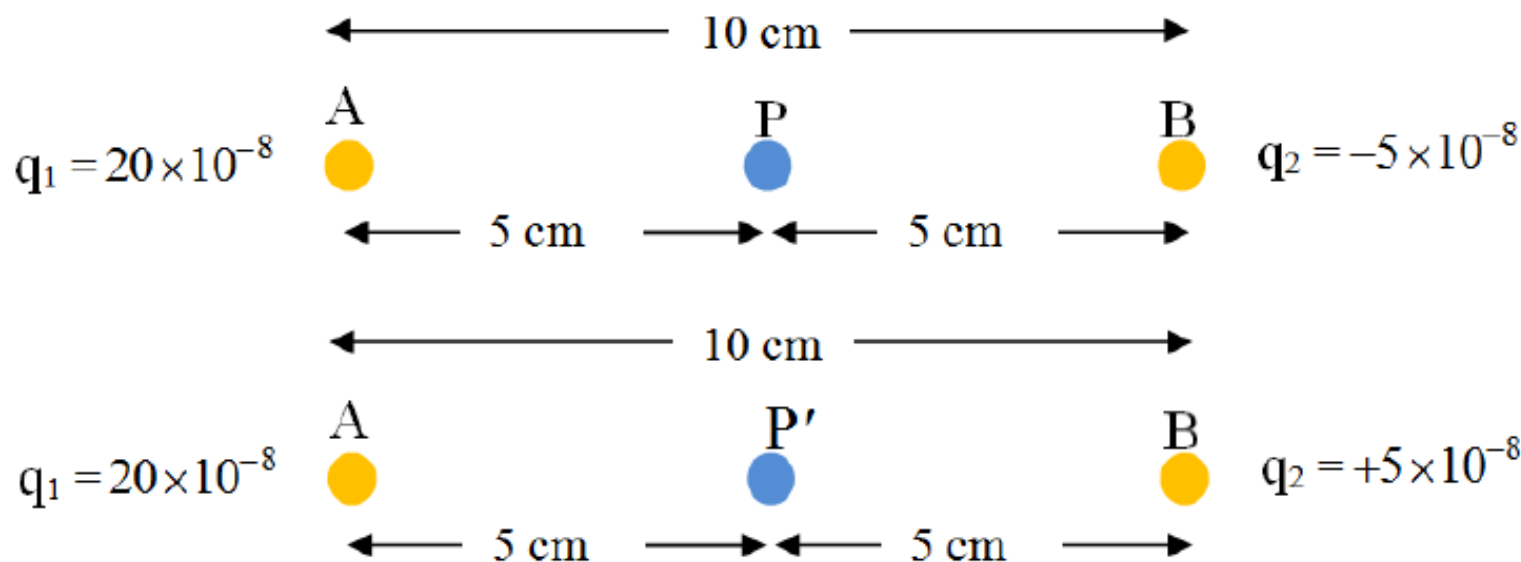


ตัวอย่างที่ 1.6 จงคำนวณหาความเข้มสนามไฟฟ้าที่จุดกึ่งกลางระหว่างประจุ 20×10^{-8} และ -5×10^{-8} คูลอมบ์ ซึ่งอยู่ห่างกัน 10 เซนติเมตร ถ้าที่ตำแหน่งของ -5×10^{-8} คูลอมบ์ มีประจุ $+5 \times 10^{-8}$ คูลอมบ์ แทนจงหาความเข้มของสนามไฟฟ้า ณ จุดเดิม

วิธีทำ P เป็นจุดกึ่งกลางระหว่างประจุ $+20 \times 10^{-8}$ คูลอมบ์ และ -5×10^{-8} คูลอมบ์

P' เป็นจุดกึ่งกลางระหว่างประจุ $+20 \times 10^{-8}$ คูลอมบ์ และ $+5 \times 10^{-8}$ คูลอมบ์

E_1 และ E_2 เป็นขนาดของสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่ง P และ P' ตามลำดับ



$$\begin{aligned} E_1 &= \frac{kq_1}{r_1^2} + \frac{kq_2}{r_2^2} && \text{มีทิศไปทาง PB} \\ &= \frac{9 \times 10^9}{(5 \times 10^{-2})^2} [20 + 5] \times 10^{-8} \\ &= 9 \times 10^5 \text{ NC}^{-1} \end{aligned}$$

สนามไฟฟ้า ณ จุดกึ่งกลางระหว่าง $+20 \times 10^{-8}$ และ -5×10^{-8} คูลอมบ์ มีค่า 9×10^5 นิวตันต่อคูลอมบ์

$$\begin{aligned} E_2 &= \frac{kq_1}{r_1^2} - \frac{kq_2}{r_2^2} && \text{มีทิศไปทาง P'B} \\ &= \frac{9 \times 10^9}{(5 \times 10^{-2})^2} [20 - 5] \times 10^{-8} \\ &= 5.4 \times 10^5 \text{ NC}^{-1} \end{aligned}$$

ณ จุดกึ่งกลางระหว่าง $+20 \times 10^{-8}$ และ $+5 \times 10^{-8}$ คูลอมบ์ สนามไฟฟ้ามีค่า 5.4×10^5 นิวตันต่อคูลอมบ์