

ในบทนี้เป็นการศึกษาสมการคณิตศาสตร์ ที่ใช้บรรยายแรงทางไฟฟ้า นอกจากนี้แรงทางไฟฟ้ายังนำไปสู่ปริมาณพื้นฐานที่สำคัญมากทางไฟฟ้าอีกปริมาณหนึ่ง นั่นคือสนามไฟฟ้า

2.1 แรงคูลอมบ์ (Coulomb Force)

คูลอมบ์ค้นพบว่าวัตถุขนาดเล็กมีประจุ (อาจเรียกว่าจุดประจุ) มีแรงกระทำระหว่างกันเรียกว่า แรงทางไฟฟ้าหรือ แรงคูลอมบ์ ขนาดของแรงสามารถเขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$|\vec{F}_{21}| = |\vec{F}_{12}| = k_e \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (2-1)$$

โดย F_{21} เป็นแรงที่กระทำบนจุดประจุที่ 2 เนื่องจากจุดประจุที่ 1 และมีแรง F_{12} เป็นแรงปฏิกิริยากระทำที่จุดประจุที่ 1 และ k_e เป็นค่าคงที่ของคูลอมบ์มีค่าดังนี้

$$k_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8.99 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2} \quad (2-2)$$

ค่า Permittivity ของ Free Space คือ $\epsilon_0 = 8.8542 \times 10^{-12} C^2 / N \cdot m^2$ ในกรณีที่พิจารณาแรงในตัวกลางอื่น ๆ เช่น น้ำ ดิน ค่า Permittivity ก็จะไปตามตัวกลางนั้น ๆ ประจุมีหน่วยเป็น คูลอมบ์ (C) เช่น อิเล็กตรอนมีค่าประจุ q เป็น $-1.6021917 \times 10^{-19} C$ โปรตอนมีค่าประจุ q เป็น $+1.6021917 \times 10^{-19} C$ ทิศของแรงคูลอมบ์สามารถหาได้จากความรู้ว่า วัตถุที่มีประจุเหมือนกันจะผลักกัน แต่วัตถุที่มีประจุตรงข้ามจะดูดกัน

แรงคูลอมบ์เป็นปริมาณเวกเตอร์ ดังนั้นในกรณีที่จุดประจุมากกว่า 1 (มีจำนวน n) แรงลัพธ์ที่ประจุ i ก็สามารถคำนวณได้จากผลรวมแบบเวกเตอร์ของแรงระหว่าง ประจุ i กับประจุตัวอื่น ๆ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\vec{F}_i = \vec{F}_{i1} + \vec{F}_{i2} + \dots + \vec{F}_{i(i-1)} + \vec{F}_{i(i+1)} + \dots + \vec{F}_{in} = \sum_{j=1}^{j=i-1} \vec{F}_{ij} + \sum_{j=i+1}^{j=n} \vec{F}_{ij} \quad (2-3)$$

ตัวอย่างที่ 1: (Serway 23.1) Hydrogen atom อิเล็กตรอนและโปรตอนในไฮโดรเจนอยู่ห่างกันประมาณ $5.3 \times 10^{-11} m$ จงคำนวณหาขนาดแรงทางไฟฟ้า

วิธีทำ :

$$|\vec{F}| = k_e \frac{q_1 q_2}{r^2} = (8.99 \times 10^9) \frac{(1.6 \times 10^{-19})^2}{(5.3 \times 10^{-11})^2} = 8.2 \times 10^{-8} N$$

เปรียบเทียบกับแรงดึงดูดระหว่างมวลของ อิเล็กตรอนและโปรตอนมีค่า $3.6 \times 10^{-47} N$

ตัวอย่างที่ 2: (Serway 23.2) Find the Resultant Force ประจุ 3 จุด วางตัวดังภาพ โดยที่ $q_1 = q_3 = 5.0 \mu\text{C}$, $q_2 = -2.0 \mu\text{C}$ และ $a = 0.10 \text{ m}$ จงหาแรงลัพธ์ที่กระทำบน q_3

วิธีทำ : คำนวณแรงที่กระทำบนประจุตัวที่ 3 เนื่องจากตัวที่ 1 (\vec{F}_{31}) และ นำมารวมกับแรงที่กระทำบนประจุตัวที่ 3 เนื่องจากตัวที่ 2 (\vec{F}_{32}) โดยใช้การรวมแบบเวกเตอร์

$$|F_{32}| = k_e \frac{|q_2||q_3|}{a^2} = (8.99 \times 10^9) \frac{(2.0 \times 10^{-6})(5.0 \times 10^{-6})}{(0.1)^2} = 9.0 \text{ N}$$

$$|\vec{F}_{31}| = k_e \frac{|q_1||q_3|}{(\sqrt{2}a)^2} = (8.99 \times 10^9) \frac{(5.0 \times 10^{-6})(5.0 \times 10^{-6})}{2 \times (0.1)^2} = 11 \text{ N}$$

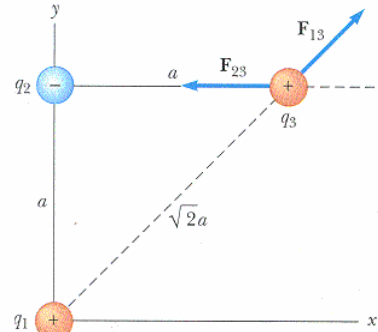
$$F_{31x} = F_{31} \cos 45^\circ, F_{31y} = F_{31} \sin 45^\circ$$

$$F_{31} \cos 45^\circ = F_{31} \sin 45^\circ = 11 \times \frac{\sqrt{2}}{2} = 7.9 \text{ N}$$

$$F_{3x} = F_{31x} + F_{32} = 7.9 \text{ N} - 9.0 \text{ N} = -1.1 \text{ N}$$

$$F_{3y} = F_{31y} = 7.9 \text{ N}$$

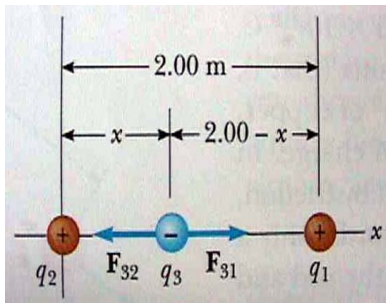
$$\vec{F}_3 = (-1.1\text{i} + 7.9\text{j}) \text{ N}$$



ภาพที่ 2-1 ภาพประกอบตัวอย่างที่ 2

ตัวอย่างที่ 3 : (Serway 23.3) Where is the Resultant Force Zero? จงคำนวณตำแหน่ง x ที่จะวางประจุ q_3 โดยให้แรงลัพธ์ที่กระทำต่อประจุ q_3 มีค่าเป็น 0 (สมดุล) โดยกำหนดให้ $q_1 = 15 \mu\text{C}$ และ $q_2 = 6 \mu\text{C}$

วิธีทำ : ที่ตำแหน่ง x แรงลัพธ์เป็น 0 นั่นคือ แรงที่กระทำเนื่องจากประจุ q_1 กับแรงเนื่องจากประจุ q_2 มีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศตรงกันข้าม



ภาพที่ 2-2 ภาพประกอบตัวอย่างที่ 3

$$|\vec{F}_{32}| = k_e \frac{|q_2||q_3|}{x^2}; |\vec{F}_{31}| = k_e \frac{|q_1||q_3|}{(2-x)^2}$$

$$k_e \frac{|q_2||q_3|}{x^2} = k_e \frac{|q_1||q_3|}{(2-x)^2}$$

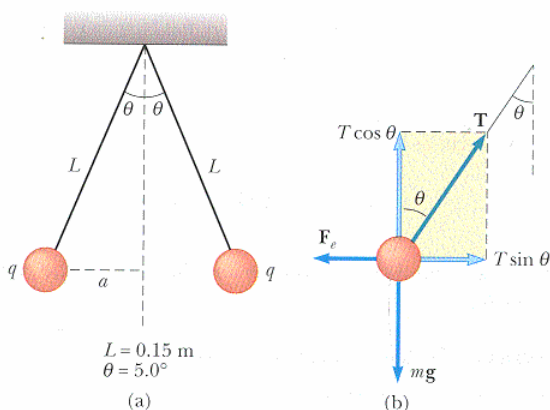
$$(2-x)^2 |q_2| = x^2 |q_1|$$

$$(4-4x+x^2)(6 \times 10^{-6}) = x^2(15 \times 10^{-6})$$

$$x = 0.775 \text{ m}$$

ตัวอย่างที่ 4 : (Serway 23.4) Find the Charge on the Spheres ทรงกลมที่มีประจุ 2 อัน มีมวล $3.0 \times 10^{-2} \text{ kg}$ เท่ากัน ถูกแขวนด้วยเชือกยาว 0.15 m อยู่ในสภาพสมดุลดังภาพ ถ้ามุม $\theta = 5^\circ$ จงคำนวณขนาดของประจุบนทรงกลม

วิธีทำ : ทรงกลมสมดุลด้วยแรงตึงเชือก (T) น้ำหนัก (mg) และแรงไฟฟ้า (F_e) พิจารณาแรงลัพธ์ในแต่ละแกน



ภาพที่ 2-3 ภาพประกอบตัวอย่างที่ 4

$$\sum F_x = T \sin \theta - F_e = 0$$

$$\sum F_y = T \cos \theta - mg = 0$$

$$F_e = mg \tan \theta$$

$$F_e = (3.0 \times 10^{-2})(9.8) \tan 5^\circ = 2.6 \times 10^{-2} \text{ N}$$

$$F_e = k_e \frac{|q|^2}{r^2} \Rightarrow |q|^2 = \frac{F_e r^2}{k_e} = \frac{(2.6 \times 10^{-2})(0.026)^2}{8.99 \times 10^9}$$

$$|q| = 4.4 \times 10^{-8} \text{ C}$$

2.2 สนามไฟฟ้า (Electric Field)

วัตถุที่มีประจุทั้งหลายจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้นในบริเวณรอบ ๆ สามารถทราบได้จากการนำเอาประจุก่ออันหนึ่งซึ่งเรียกว่า ประจุกทดสอบไปวางแล้วจะมีแรงทางไฟฟ้ากระทำ

นิยามของสนามไฟฟ้าคือ แรงทางไฟฟ้าที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยประจุ ดังสมการ

$$\vec{E} \equiv \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (2-4)$$

การคำนวณสนามไฟฟ้า (E) ที่ตำแหน่งใด ๆ ทำได้โดยนำประจุกทดสอบ (q_0) ไปวางทำการวัดแรงคูลอมบ์ (F) แล้วหารด้วย q_0 สนามไฟฟ้าคือสนามที่สร้างขึ้นโดยประจุกอื่น ๆ ไม่ขึ้นกับขนาดของประจุกทดสอบที่นำไปวาง

จากสมการที่ 2-4 ซึ่งเป็นสมการเวกเตอร์ จึงสรุปได้ว่า สนามไฟฟ้าเป็นปริมาณเวกเตอร์ มีทิศเดียวกับแรงคูลอมบ์ ในกรณีที่ประจุกทดสอบเป็นบวก หน่วยของสนามไฟฟ้าคือ หน่วยของแรงหารด้วยหน่วยของประจุ คือ นิวตันต่อคูลอมบ์ (N/C)

จากความรู้อ้างต้น ประจุก q อยู่ในสนามไฟฟ้า E จะมีแรง กระทำบนประจุก

$$\vec{F} = q\vec{E} \quad (2-5)$$

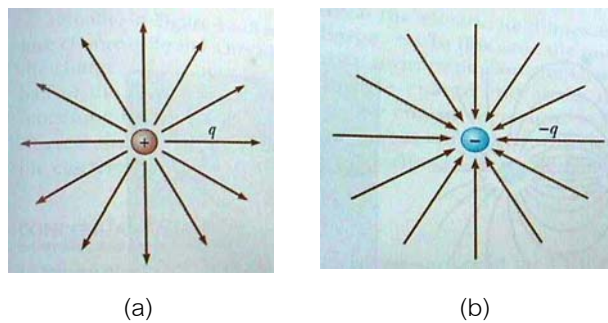
ประจุกเคลื่อนที่ตามทิศสนามไฟฟ้า ประจุกลบเคลื่อนที่สวนสนามไฟฟ้า สามารถคำนวณความเร่งได้จาก

$$\begin{aligned} \vec{F} &= q\vec{E} = m\vec{a} \\ \vec{a} &= \frac{q\vec{E}}{m} \end{aligned} \quad (2-6)$$

2.2.1 สนามไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุ

กรณีที่ง่ายที่สุดในการคำนวณสนามไฟฟ้าคือ กรณีของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากจุดประจุ หากมีประจุกทดสอบวางห่างออกไปเป็นระยะ r แรงคูลอมบ์ระหว่างประจุก q ที่ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าและประจุกทดสอบ q_0 อยู่ในภาพ

$$|\vec{F}| = \frac{kqq_0}{r^2} \quad (2-7)$$



ภาพที่ 2-4 ทิศของสนามไฟฟ้า (a) สนามไฟฟ้ามีทิศออกจากประจุกบวก (b) สนามไฟฟ้ามีทิศพุ่งเข้าสู่ประจุกลบ

เมื่อคำนวณสนามไฟฟ้าโดยใช้นิยาม

$$\vec{E} \equiv \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (2-8)$$

ก็จะได้

$$|\vec{E}| = \frac{kq}{r^2} \quad (2-9)$$

สำหรับทิศของสนามไฟฟ้า

- ในกรณี q เป็นประจุบวก เวกเตอร์สนามมีทิศพุ่งออกจากจุดประจุ ทุกทิศทาง
- ในกรณี q เป็นประจุลบ เวกเตอร์สนามจะมีทิศตรงข้าม นั่นคือมีทิศพุ่งเข้า

ถ้าต้องการคำนวณสนามไฟฟ้าที่เกิดจากหลาย ๆ จุดประจุ ก็สามารถทำได้ โดยการรวมสนามไฟฟ้าเนื่องจากของแต่ละจุดประจุเข้าด้วยกันแบบเวกเตอร์

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n \quad (2-10)$$

ตัวอย่างที่ 5: (Serway 23.5) Electric Field Due to Two Charges จุดประจุ $q_1 = 7.0 \mu\text{C}$ อยู่ที่จุดกำเนิด และ จุดประจุ $q_2 = -5.0 \mu\text{C}$ อยู่บนแกน x ห่างจาก จุดกำเนิด 0.30 m จงหาสนามไฟฟ้าที่จุด P ที่มีพิกัด $(0, 0.40) \text{ m}$

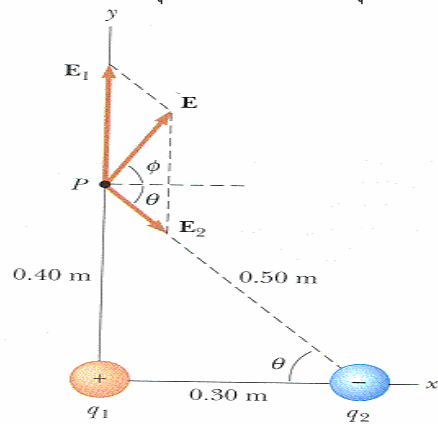
วิธีทำ : คำนวณสนามไฟฟ้าที่จุด P เนื่องจากประจุตัวที่ 1 และนำมารวมกับสนามไฟฟ้าที่จุด P เนื่องจากประจุตัวที่ 2 โดยใช้การรวมแบบเวกเตอร์

$$|\vec{E}_1| = k_e \frac{|q_1|}{r_1^2} = (8.99 \times 10^9) \frac{(7.0 \times 10^{-6})}{(0.40)^2} = 3.9 \times 10^5 \text{ N/C}$$

$$|\vec{E}_2| = k_e \frac{|q_2|}{r_2^2} = (8.99 \times 10^9) \frac{(5.0 \times 10^{-6})}{(0.50)^2} = 1.8 \times 10^5 \text{ N/C}$$

$$\vec{E}_1 = 3.9 \times 10^5 \text{ j}; \quad \vec{E}_2 = 1.1 \times 10^5 \text{ i} - 1.4 \times 10^5 \text{ j}$$

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = 1.1 \times 10^5 \text{ i} + 2.5 \times 10^5 \text{ j} \Rightarrow |\vec{E}| = 2.7 \times 10^5 \text{ N/C}$$

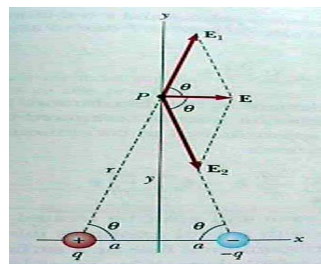


ภาพที่ 2-5 ภาพประกอบตัวอย่างที่ 5

ตัวอย่างที่ 6: (Serway 23.6) Electric Field of a Dipole ไดโพลคือระบบที่ประกอบด้วยอนุภาคมีประจุสองอนุภาคที่มีขนาดประจุเท่ากันแต่มีเครื่องหมายต่างกัน ดังภาพ โดยประจุทั้งสองอยู่ห่างกันเป็นระยะ $2a$ จงคำนวณสนามไฟฟ้า E ที่จุด P ซึ่งห่างจากแกนที่เชื่อมประจุทั้งสองเป็นระยะ y และพิจารณารกรณีที่มีเงื่อนไขว่า $y \gg a$

วิธีทำ : ที่จุด P สนามไฟฟ้าจากประจุทั้งสองมีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศทางทำมุมกัน

$$|\vec{E}_1| = |\vec{E}_2| = k \frac{q}{r^2} = k \frac{q}{y^2 + a^2}$$



ภาพที่ 2-6 ภาพประกอบตัวอย่างที่ 6

องค์ประกอบของสนามไฟฟ้าทั้งสองในแกน y มีขนาดเท่ากันแต่ทิศทางตรงข้าม เวกเตอร์ลัพธ์ในแกน y จึงมีค่าเป็นศูนย์ ส่วนองค์ประกอบรวมในแกน x มีค่าเป็น

$$E_x = 2E_1 \cos \theta = 2k \frac{q}{(y^2 + a^2)} \frac{a}{\sqrt{y^2 + a^2}} = 2k \frac{qa}{(y^2 + a^2)^{3/2}}$$

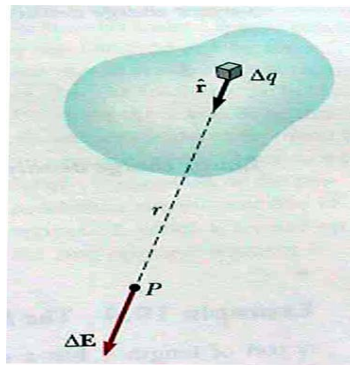
ในกรณีที่ $y \gg a$ สามารถละเทอม a ในส่วนได้เป็น $E \approx k \frac{2qa}{y^3}$

2.2.2 สนามไฟฟ้าเนื่องจากประจุที่กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ

ในกรณีของวัตถุที่มีประจุมีขนาด (ไม่เป็นจุด) การคำนวณจะซับซ้อนกว่า เนื่องจากแต่ละจุดบนวัตถุมีระยะห่างจากจุดที่ต้องการหาสนามไฟฟ้าไม่เท่ากัน ในกรณีที่ประจุกระจายบนวัตถุอย่างสม่ำเสมอ เช่น ฉนวน สามารถคำนวณสนามไฟฟ้าได้ตามขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนในการคำนวณมีดังนี้

1. แบ่งปริมาตร พื้นผิว หรือเส้น ออกเป็นส่วนย่อยๆ โดยมีประจุอยู่ในส่วนย่อยๆ นั้นเป็น dq ซึ่งก่อให้เกิด สนามไฟฟ้าย่อยๆ dE
2. รวมสนามไฟฟ้าย่อยๆ เหล่านั้นแบบเวกเตอร์ โดยใช้การอินทิเกรตเข้าช่วย
3. การอินทิเกรตเวกเตอร์ทำได้ยาก ดังนั้นจึงควรพิจารณาทิศของเวกเตอร์ในภาพ (และหาส่วนที่หักล้างกันได้) แล้วจะได้การอินทิเกรตสเกลาร์แทน



ภาพที่ 2-7 การแบ่งวัตถุออกเป็นส่วนย่อยและพิจารณาสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้น

เปรียบเทียบการหาสนามไฟฟ้า

สนามไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุ หลายจุด

$$|\vec{E}_i| = k_e \frac{q_i}{r_i^2}$$

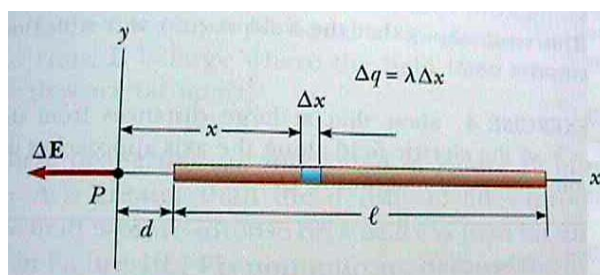
$$\vec{E} = \sum_i \vec{E}_i$$

สนามไฟฟ้าเนื่องจากวัตถุที่มีประจุที่กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ

$$|d\vec{E}| = k_e \frac{dq_i}{r_i^2}$$

$$\vec{E} = \int d\vec{E}$$

ตัวอย่างที่ 7: (Serway 23.7) Electric Field Due to a Charged Rod แท่งฉนวนยาว l มีประจุทั้งหมด Q กระจายอย่างสม่ำเสมอ จงคำนวณหาค่าสนามไฟฟ้า ณ จุด P ซึ่งห่างจากด้านหนึ่งของแท่ง เป็นระยะ d ดังภาพ



ภาพที่ 2-8 ภาพประกอบตัวอย่างที่ 7

วิธีทำ : แบ่งแท่งออกเป็นส่วย่อยขนาด dx และ ประจุในส่วย่อยมีค่า dq ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าส่วย่อย dE

$$dE = k \frac{dq}{x^2}$$

คำนวณประจุในส่วย่อย ๆ โดยใช้หลักอัตราส่วน เนื่องจากเป็นการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ

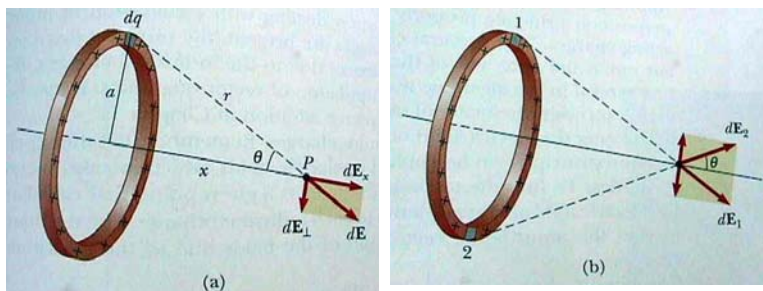
$$dq = \frac{Q}{l} dx = \lambda dx$$

เขียนแผนภาพ พิจารณาทิศของสนามไฟฟ้าลัทธิ์ ที่จุด P เนื่องจากแท่งฉนวน

รวมสนามไฟฟ้า ส่วย่อย dE โดยการอินทิเกรตเพื่อหาค่าตอบ พิจารณา dE ทั้งหมดจะมีทิศในแนวแกน X จึงสามารถอินทิเกรตรวม dE แบบสเกลาร์ได้

$$\begin{aligned} E &= \int dE = \int \frac{k_e dq}{x^2} \\ &= \int_d^{l+d} \frac{k_e}{x^2} \lambda dx = k_e \lambda \int_d^{l+d} \frac{dx}{x^2} \\ &= k_e \lambda \left[-\frac{1}{x} \right]_d^{l+d} = k_e \lambda \left[-\frac{1}{l+d} - \left(-\frac{1}{d} \right) \right] = \frac{k_e \lambda l}{d(d+l)} \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 8: (Serway 23.8) Electric Field Due to a Uniform Ring of Charge วงแหวนรัศมี a มีประจุทั้งสิ้น Q กระจายอย่างสม่ำเสมอ จงคำนวณสนามไฟฟ้าตามแนวแกนของวงแหวน ณ จุด P ที่มีระยะห่าง x จากจุดศูนย์กลางของ วงแหวน



ภาพที่ 2-9 ภาพประกอบตัวอย่างที่ 7

วิธีทำ : แบ่งวงแหวนออกเป็นส่วย่อย ๆ ยาว dl ที่มีประจุ dq ที่ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าส่วย่อย dE

$$dE = k \frac{dq}{x^2}$$

เขียนแผนภาพ พิจารณาทิศของสนามไฟฟ้าลัทธิ์ ที่จุด P เนื่องจากวงแหวน องค์ประกอบของ dE ในแนวตั้งฉากกับ x จะหักล้างกันไป เหลือแต่องค์ประกอบในแกน x สนามไฟฟ้าลัทธิ์จึงหาได้จากการอินทิเกรตรวมองค์ประกอบในแนวแกน x ของ dE นั่นคือ $dE \cos \theta$

$$\begin{aligned} E &= \int dE \cos \theta = \int \frac{k_e dq}{r^2} \frac{x}{r} \\ &= \int \frac{k_e x dq}{(x^2 + a^2)^{3/2}} = \frac{k_e x}{(x^2 + a^2)^{3/2}} \int dq = \frac{k_e x Q}{(x^2 + a^2)^{3/2}} \end{aligned}$$

หนังสืออิเล็กทรอนิกส์	
ฟิสิกส์ 1(ภาคกลศาสตร์(ฟิสิกส์ 1 (ความร้อน)
ฟิสิกส์ 2	กลศาสตร์เวกเตอร์
โลหะวิทยาฟิสิกส์	เอกสารคำสอนฟิสิกส์ 1
ฟิสิกส์ 2 (บรรยาย(แก้ปัญหาฟิสิกส์ด้วยภาษา C
ฟิสิกส์พิศวง	สอนฟิสิกส์ผ่านทางอินเทอร์เน็ต
ทดสอบออนไลน์	วิดีโอการเรียนการสอน
หน้าแรกในอดีต	แผ่นใสการเรียนการสอน
เอกสารการสอน PDF	กิจกรรมการทดลองทางวิทยาศาสตร์
แบบฝึกหัดออนไลน์	สุดยอดสิ่งประดิษฐ์
การทดลองเสมือน	
บทความพิเศษ	ตารางธาตุไทย1) 2 (Eng)
พจนานุกรมฟิสิกส์	ลับสมองกับปัญหาฟิสิกส์
ธรรมชาติมหัศจรรย์	สูตรพื้นฐานฟิสิกส์
การทดลองมหัศจรรย์	ดาราศาสตร์ราชมงคล
แบบฝึกหัดกลาง	
แบบฝึกหัดโลหะวิทยา	แบบทดสอบ
ความรู้รอบตัวทั่วไป	อะไรเอ่ย ?
ทดสอบ)เกมเศรษฐี(คติปริศนา
ข้อสอบเอนทรานซ์	เฉลยกลศาสตร์เวกเตอร์
คำศัพท์ประจำสัปดาห์	
ความรู้รอบตัว	
การประดิษฐ์ของโลก	ผู้ได้รับโนเบลสาขาฟิสิกส์
นักวิทยาศาสตร์เทศ	นักวิทยาศาสตร์ไทย
ดาราศาสตร์พิศวง	การทำงานของอุปกรณ์ทางฟิสิกส์
การทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ	

 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 1 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต 	
1. การวัด	2. เวกเตอร์
3. การเคลื่อนที่แบบหนึ่งมิติ	4. การเคลื่อนที่บนระนาบ
5. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน	6. การประยุกต์กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน
7. งานและพลังงาน	8. การดลและโมเมนตัม
9. การหมุน	10. สมดุลของวัตถุแข็งเกร็ง
11. การเคลื่อนที่แบบคาบ	12. ความยืดหยุ่น
13. กลศาสตร์ของไหล	14. ปริมาณความร้อน และ กลไกการถ่ายโอนความร้อน
15. กฎข้อที่หนึ่งและสองของเทอร์โมไดนามิก	16. คุณสมบัติเชิงโมเลกุลของสสาร
17. คลื่น	18. การสั่น และคลื่นเสียง
 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 2 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต 	
1. ไฟฟ้าสถิต	2. สนามไฟฟ้า
3. ความกว้างของสายฟ้า	4. ตัวเก็บประจุและการต่อตัวต้านทาน
5. ศักย์ไฟฟ้า	6. กระแสไฟฟ้า
7. สนามแม่เหล็ก	8. การเหนี่ยวนำ
9. ไฟฟ้ากระแสสลับ	10. ทรานซิสเตอร์
11. สนามแม่เหล็กไฟฟ้าและเสาอากาศ	12. แสงและการมองเห็น
13. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ	14. กลศาสตร์ควอนตัม
15. โครงสร้างของอะตอม	16. นิวเคลียร์
 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ทั่วไป ผ่านทางอินเทอร์เน็ต 	
1. จลศาสตร์ (kinematic)	2. จลพลศาสตร์ (kinetics)
3. งานและโมเมนตัม	4. ซิมเปิลฮาร์โมนิก คลื่น และเสียง
5. ของไหลกับความร้อน	6. ไฟฟ้าสถิตกับกระแสไฟฟ้า
7. แม่เหล็กไฟฟ้า	8. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับแสง
9. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ อะตอม และนิวเคลียร์	

