

บทที่ 2

สนามไฟฟ้าและกฎของเกาส์

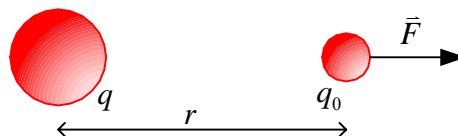


ภูเขาไฟกับฟ้าผ่า

ขณะที่ภูเขาไฟซากุระจิม่า ในประเทศญี่ปุ่นเกิดระเบิดขึ้น บริเวณปากปล่องภูเขาไฟมีการสปาร์กของไฟฟ้าอย่างรุนแรง ส่งเสียงคำรามอย่างสนั่นหวั่นไหว คล้ายกับเสียงฟ้าผ่า อย่างไรก็ตามที่เราเห็นฟ้าผ่าตามปกติทั่วไปกับที่เห็นอยู่เหนือปากปล่องภูเขาไฟไม่ใช่ปรากฏการณ์เดียวกัน เพราะฟ้าจะผ่าจากเมฆลงดิน แต่ที่เห็นในรูปภาพมีทั้งฟ้าขึ้นบน ฟ้าผ่าลงล่าง จากซ้ายไปขวา หรือผ่าอยู่หน้าปล่องเลยก็มี เราสามารถอธิบายการผ่าของสายฟ้าในลักษณะนี้ได้อย่างไร [คลิกครับ](#) 🌟

2-1 สนามไฟฟ้า

ถ้าวางประจุ q ไว้อย่างโดดเดี่ยวจะไม่มีแรงไฟฟ้าปรากฏขึ้น แต่ถ้านำประจุ q_0 มาวางไว้ใกล้ ๆ ประจุ q พบว่าจะมีแรงไฟฟ้ากระทำบน q_0 ดังรูป 2-1 ขนาดของแรงจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของ q_0 และระยะห่างระหว่างประจุทั้งสองตามกฎของคูลอมบ์ กล่าวได้ว่า q_0 อยู่ในบริเวณสนามของแรงไฟฟ้าของ q หรืออยู่ในสนามไฟฟ้า (electric field) ของ q นิยามของสนามไฟฟ้าที่จุดหนึ่ง ๆ คือ แรงที่กระทำต่อประจุที่จุดนั้นหารด้วยขนาดของประจุ ดังนั้นสนามไฟฟ้าจึงเป็นปริมาณเวกเตอร์ใช้สัญลักษณ์ \vec{E} มีทิศพุ่งออกจากประจุบวกและพุ่งเข้าหาประจุลบ



รูป 2-1 แรงกระทำกับ q_0 เนื่องจากสนามไฟฟ้าของ q

ดังนั้น

$$\vec{E} = \lim_{q_0 \rightarrow 0} \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (2-1)$$



หน่วยของสนามไฟฟ้ามีหน่วยเป็น นิวตัน/คูลอมบ์ (N/C) และเรียก q_0 ว่าประจุทดสอบ (test charge) ประจุทดสอบ q_0 นี้จะต้องมีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ มิฉะนั้นสนามไฟฟ้าของ q_0 กระทบกับสนามไฟฟ้าของ q ทำให้ประจุ q มีการเคลื่อนที่ หรือไม่ก็จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำระหว่างประจุทั้งสองทำให้สนามเนื่องจาก q เปลี่ยนไปจากเดิม

จากนิยามของสนามไฟฟ้าจะต้องมีประจุทดสอบจึงจะรู้ว่าบริเวณนั้นมีสนามไฟฟ้าหรือไม่ แต่ในความเป็นจริงแล้วถึงแม้ไม่มีประจุทดสอบ ถ้าบริเวณนั้นมีสนามไฟฟ้า สนามนั้นก็ยังคงมีอยู่

บทความออนไลน์



ฟ้าผ่าจะสว่างขึ้นมาในทันทีราวกับถูกฉาบด้วย แสงเลเซอร์ในเวลาที่เกิด ฟ้าผ่าเป็นเรื่องที่น่าตื่นเต้นและเป็นอันตราย พลังงานที่ทรงพลังและแปลกประหลาดนี้คืออะไรกันแน่

ฟ้าผ่าคือไฟฟ้ารูปแบบหนึ่งที่เกิดขึ้นในระหว่างที่มีพายุฝนฟ้าคะนอง โดยก้อนเมฆจะสะสมพลังงานไฟฟ้าเอาไว้จนมากพอที่จะวิ่งไปมาระหว่างกันหรือผ่าลงมาสู่พื้นดินทำให้เกิดเป็นฟ้าผ่า คลิก [อ่านต่อครับ](#)

2-1-1 สนามไฟฟ้าของประจุจุด

สนามไฟฟ้าจากสมการ (2-1) นั้น เป็นสนามจากประจุจุดเดี่ยว q จากกฎของคูลอมบ์ $\vec{F} = k \frac{qq_0}{r^2} \hat{r}$

สมการ (2-1) เขียนได้เป็น

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

$$\vec{E} = k \frac{qq_0}{r^2} \hat{r} \left(\frac{1}{q_0} \right)$$

$$\vec{E} = k \frac{q}{r^2} \hat{r} \tag{2-2}$$



เมื่อ \hat{r} คือ เวกเตอร์หน่วยที่มีทิศชี้จาก q สู่ q_0 และ $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$

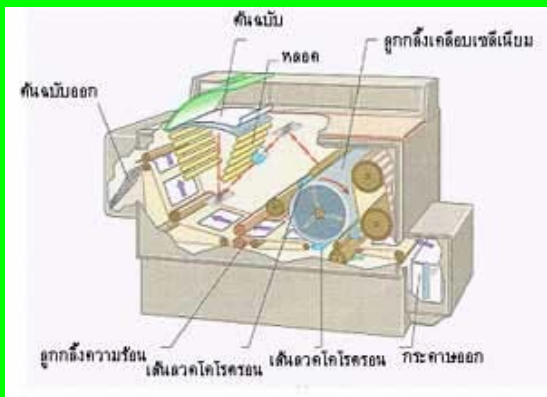
ถ้ามีประจุอยู่ n ตัว คือ q_1, q_2, \dots, q_n สนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งใดเนื่องจากประจุเหล่านี้ หาได้โดย หาสนามของประจุแต่ละประจุทีละตัวทำอย่างนี้เรื่อย ๆ ไปจนถึง q_n แล้วหาสนามรวมโดยอาศัยการรวมแบบเวกเตอร์ถึงแม้ว่าจะมีประจุเรียงรายอยู่หลายตัวก็ตาม สนามไฟฟ้าของประจุตัวอื่นที่มีได้นำมาคิดจะไม่มีผลรบกวนต่อค่าสนามนี้ จึงสามารถหาสนามของประจุแต่ละตัวได้ วิธีการเช่นนี้เรียกว่า Principle of superposition

ตัวอย่าง 2-1 โปรตอนตัวหนึ่งวางอยู่ในสนามไฟฟ้า 2.0×10^4 N/C มีทิศในแนวแกน $+x$ จงหาแรงไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนโปรตอนนี้

หลักการคำนวณ ขนาดประจุของโปรตอนคือ 1.6×10^{-19} C แรงไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ประจุคือ

$$\begin{aligned} \vec{E} &= \frac{\vec{F}}{q_0} \\ \vec{F} &= q_0 \vec{E} \\ &= (1.6 \times 10^{-19} \text{ C})(2.0 \times 10^4 \hat{i} \text{ N/C}) \\ &= 3.2 \times 10^{-15} \hat{i} \text{ N} \quad \text{เมื่อ } \hat{i} \text{ คือ เวกเตอร์หน่วย} \end{aligned}$$

บทความออนไลน์



แรงที่เกิดจากไฟฟ้าสถิต เป็นหลักการที่สำคัญสำหรับงานถ่ายเอกสาร เราเรียกกระบวนการถ่ายเอกสารว่า ซีโรกราฟฟี แปลมาจากภาษากรีกว่า การเขียนแบบแห้ง อุปกรณ์ที่สำคัญที่สุดในเครื่องถ่ายเอกสารคือลูกกลิ้งที่ทำจากอลูมิเนียม เคลือบด้วยเซลิเนียม (selenium) ดังรูป อลูมิเนียมเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีที่สุด ส่วนเซลิเนียมเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ไวต่อแสง คือทำตัวเป็นฉนวนเมื่ออยู่ในที่มืด และเปลี่ยนเป็นตัวนำไฟฟ้าเมื่อโดนแสง [อ่านต่อครับ](#) ☀



ตัวอย่าง 2-2 ประจุ $q_1 = 7 \mu\text{C}$ วางอยู่ที่จุดกำเนิดและประจุ $q_2 = -5 \mu\text{C}$ วางอยู่บนแกน x ห่างจากจุดกำเนิด 0.3 m จงหาสนามไฟฟ้าที่จุด P ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่ง (0,0.40) m

หลักการคำนวณ ขั้นแรก หาขนาดของสนามไฟฟ้าที่เกิดจากจุดประจุแต่ละตัว \vec{E}_1 เป็นสนามไฟฟ้าที่เกิดจากประจุ $7.0 \mu\text{C}$ และ \vec{E}_2 เป็นสนามไฟฟ้าที่เกิดจากประจุ $-5.0 \mu\text{C}$ ขนาดของสนามไฟฟ้าทั้งสองคือ

$$\begin{aligned} E_1 &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{r_1^2} \\ &= (9 \times 10^9 \frac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{C}}) \frac{(7.0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(0.4 \text{ m})^2} \\ &= 3.9 \times 10^5 \text{ N/C} \\ E_2 &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2}{r_2^2} \\ &= (9 \times 10^9 \frac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{C}}) \frac{(5.0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(0.5 \text{ m})^2} \\ &= 1.8 \times 10^5 \text{ N/C} \end{aligned}$$

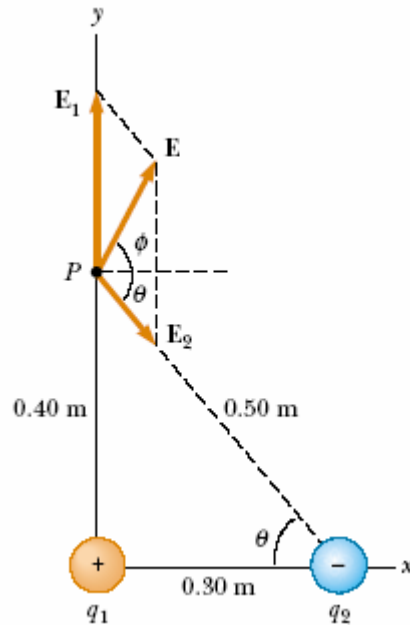
เวกเตอร์ \vec{E}_1 มีทิศในแนวแกน $+y$ ส่วนเวกเตอร์ \vec{E}_2 สามารถแตกเป็นเวกเตอร์ย่อยในแนวแกน x จะได้ $E_2 \cos \theta = \frac{3}{5} E_2$ และเวกเตอร์ย่อยในแนวแกน $-y$ จะได้ $-E_2 \sin \theta = -\frac{4}{5} E_2$ สามารถเขียนเป็นเวกเตอร์ได้เป็น

$$\vec{E}_1 = 3.9 \times 10^5 \hat{j} \text{ N/C}$$

$$\vec{E}_2 = (1.1 \times 10^5 \hat{i} - 1.4 \times 10^5 \hat{j}) \text{ N/C}$$

สนามไฟฟ้าลัพธ์ \vec{E} ที่จุด P หาได้จากการรวมสนาม \vec{E}_1 และ \vec{E}_2 ด้วยวิธี superposition

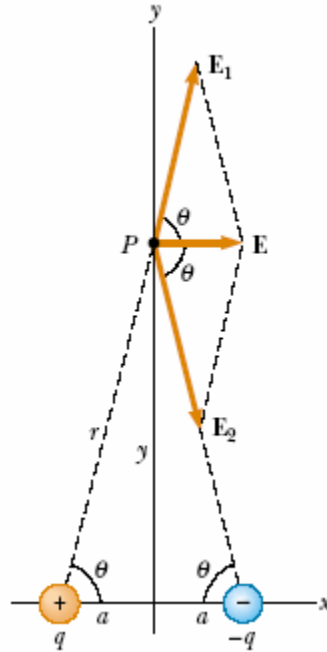
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = (1.1 \times 10^5 \hat{i} + 2.5 \times 10^5 \hat{j}) \text{ N/C}$$



รูป 2-2 แสดงการหาสนามไฟฟ้าในตัวอย่าง 2-2 สนามไฟฟ้าลัพธ์ที่จุด P เกิดจากผลรวมแบบเวกเตอร์ของสนาม E_1 และ E_2



ตัวอย่าง 2-3 ประจุไฟฟ้าแบบขั้วคู่ (dipole) ประกอบด้วยประจุบวกและลบ ขนาด q เท่ากัน วางห่างกัน เป็นระยะ $2a$ ดังรูป 2-3 จงหาสนามไฟฟ้าที่เกิดจากขั้วคู่นี้ ที่ตำแหน่ง P ซึ่งอยู่บนแกน y ให้คิดว่า $y \gg a$



รูป 2-3 สนามไฟฟ้าที่เกิดจากขั้วคู่ไฟฟ้า

หลักการคำนวณ ประจุบวกและลบอยู่ห่างจากจุดกำเนิดเป็นระยะ a เท่ากัน จุด P ซึ่งอยู่บนแกน y จึงอยู่ห่างจากประจุทั้งสองเป็นระยะเท่ากัน สนามไฟฟ้า \vec{E}_1 และ \vec{E}_2 ซึ่งเป็นเกิดจากประจุบวกและลบตามลำดับจะมีขนาดเท่ากันด้วย สนามไฟฟ้าลัพธ์ \vec{E} หาได้จาก $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$ โดยที่

$$\vec{E}_1 = \vec{E}_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{(y^2 + a^2)}$$

เมื่อพิจารณาจากรูป 2-3 จะเห็นว่าสนามไฟฟ้าย่อยของ \vec{E}_1 และ \vec{E}_2 ในแนวแกน y จะหักล้างกันหมดไป เหลือแต่สนามไฟฟ้าย่อยในแนวแกน x เท่านั้น สนามไฟฟ้าลัพธ์จึงมีแต่สนามในแนวแกน x หรือมีทิศทางขนานกับแกน x ขนาดเท่ากับ $2E_1 \cos \theta$

$$\begin{aligned} E &= 2E_1 \cos \theta = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2q}{y^2 + a^2} \frac{a}{\sqrt{y^2 + a^2}} \\ &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2qa}{(y^2 + a^2)^{\frac{3}{2}}} \end{aligned}$$

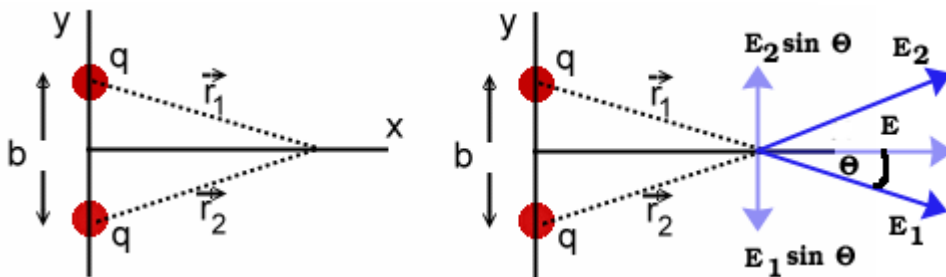
เมื่อ $y \gg a$ สามารถใช้การประมาณค่าโดยตัดเทอม a^2 ที่จะได้ สมการจะกลายเป็น



$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2qa}{y^3} \text{ N/C}$$

จะเห็นว่าขนาดของสนามไฟฟ้าที่เกิดจากประจุขั้วคู่ไฟฟ้าจะแปรผันกับ $1/y^3$ ซึ่งต่างจากกรณีของจุดประจุซึ่งจะแปรผันตาม $1/y^2$ สนามไฟฟ้าที่เกิดจากขั้วคู่ไฟฟ้าจะลดค่าลงอย่างรวดเร็วกว่าทั้งนี้เพราะมีการหักล้างกันระหว่างสนามไฟฟ้าของประจุต่างชนิดกัน โมเลกุลของสารบางชนิดมีลักษณะเหมือนขั้วคู่ไฟฟ้า เช่น HCl

ตัวอย่าง 2-4 ระยะห่างระหว่างนิวเคลียสของโมเลกุลไฮโดรเจนเป็น b ที่ระยะใดความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เกิดจากประจุบวกจะมีค่ามากที่สุด ให้ถือว่านิวเคลียสทั้งสองของไฮโดรเจนไม่มีการเคลื่อนที่ ไม่คำนึงถึงสนามไฟฟ้าจากอิเล็กตรอน



รูป 2-4 สนามไฟฟ้าของโมเลกุลไฮโดรเจน

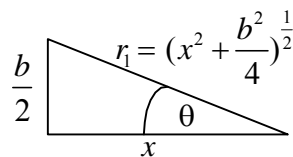
หลักการคำนวณ ต้องการหาระยะ x ซึ่งทำให้เกิดสนามไฟฟ้าค่ามากที่สุด สนามไฟฟ้าที่จุด x ใด ๆ เกิดจากผลรวมของสนามไฟฟ้า E_1 และ E_2

$$E_1 = \frac{kq}{r_1^2} = \frac{kq}{\left(x^2 + \frac{b^2}{4}\right)}$$

$$E_2 = \frac{kq}{r_2^2} = \frac{kq}{\left(x^2 + \frac{b^2}{4}\right)}$$

ขนาดของ E_1 และ E_2 มีค่าเท่ากัน สนามไฟฟ้าลัพธ์ที่จุด x ใด ๆ $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$ จากรูป 2-4 จะเห็นว่าสนามไฟฟ้าย่อยในแนวแกน y จะหักล้างกันหมดไปเหลือเฉพาะสนามไฟฟ้าในแนวแกน x เท่านั้น

$$E = E_x = E_1 \cos \theta + E_2 \cos \theta = 2 E_1 \cos \theta$$



จากรูปสามเหลี่ยมคล้ายจะได้
$$\cos \theta = \frac{x}{\left(x^2 + \frac{b^2}{4}\right)^{1/2}}$$

ดังนั้น
$$E = \frac{2kqx}{\left(x^2 + \frac{b^2}{4}\right)^{3/2}} \quad \text{N/C ทิศในแนวแกน } +x$$

หาดำแหน่งที่สนามไฟฟ้ามีค่ามากที่สุด นั่นคือ

$$\frac{d|\vec{E}|}{dx} = 0$$

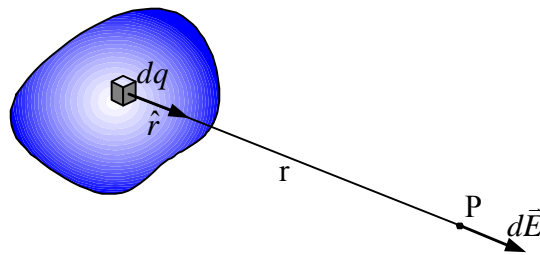
$$\frac{d}{dx} \left(\frac{2kqx}{\left(x^2 + \frac{b^2}{4}\right)^{3/2}} \right) = 0$$

$$x = \pm \frac{b}{2\sqrt{2}}$$

สนามไฟฟ้าที่เกิดจากนิวเคลียสของโมเลกุลไฮโดรเจนมีค่ามากที่สุดที่ระยะ $x = \pm b/2\sqrt{2}$

2-1-2 สนามไฟฟ้าของประจุซึ่งกระจายอย่างต่อเนื่อง

กรณีที่ประจุกระจายอย่างต่อเนื่อง การหาสนามไฟฟ้าทำได้โดยแบ่งประจุเป็นส่วนเล็ก ๆ ขนาด dq ประจุขนาด dq จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าที่ระยะ r มีค่าเท่ากับ $d\vec{E}$



รูป 2-5 การหาสนามไฟฟ้าที่จุด P เมื่อประจุกระจายอย่างสม่ำเสมอ

$$d\vec{E} = \frac{kdq}{r^2} \hat{r}$$

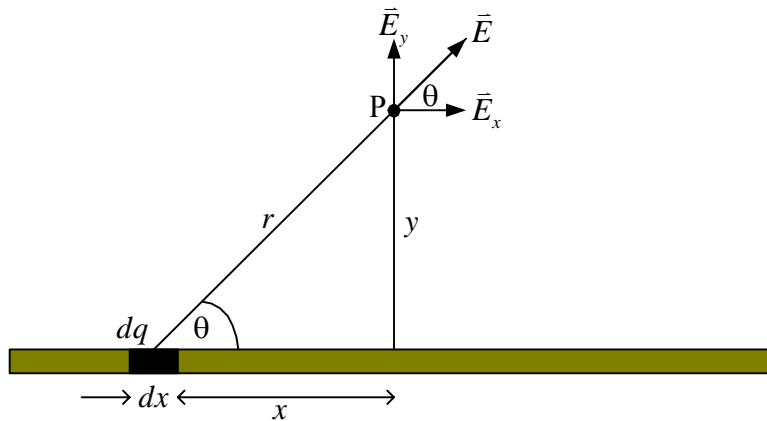
หาสนามไฟฟ้าของประจุทั้งหมดทำได้โดยการอินทิเกรต



$$\vec{E} = \int_{\text{all } q} \frac{k dq}{r^2} \hat{r} \quad (2-3)$$

การกระจายของประจุ dq จะอยู่ในรูปความหนาแน่นประจุต่อความยาว หรือต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ หรือต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ขึ้นอยู่กับการเรียงตัวของประจุมีลักษณะอย่างไร ดังที่จะได้เห็นจากตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่าง 2-5 แท่งโลหะยาวอนันต์ มีประจุบวกกระจายอย่างสม่ำเสมอ ความหนาแน่นประจุเชิงเส้น = λ จงหาสนามไฟฟ้าที่จุด P ดังรูป



รูป 2-6 สนามไฟฟ้าที่เกิดจากประจุต่อเนื่องเป็นรูปเส้นตรงยาวอนันต์

หลักการคำนวณ สนามไฟฟ้าที่จุด P หาได้โดยแบ่งแท่งโลหะออกเป็นส่วนเล็กๆ dx ประจุที่อยู่ในส่วน dx มีค่า $dq = \lambda dx$ ให้สนาม dE เนื่องมาจากประจุ dq คือ

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

ตามรูป 2-6 $r = y \csc \theta$ แทนค่าจะได้

$$dE = \frac{k \lambda dx}{y^2 \csc^2 \theta}$$

แต่ $x = y \cot \theta$ ดังนั้น $dx = -y \csc^2 \theta d\theta$ แทนค่าในสมการจะได้

$$dE = \frac{k \lambda y \csc^2 \theta d\theta}{y^2 \csc^2 \theta} = \frac{k \lambda d\theta}{y}$$



ดังนั้นสนามไฟฟ้ารวมทั้งหมดที่เกิดจากแท่งโลหะยาวอนันต์คือ

$$E = \int \frac{k\lambda d\theta}{y}$$

ในแนวแกน x , $E_x = E \cos \theta = \int \frac{k\lambda \cos \theta d\theta}{y}$ ทำการอินทิเกรตและแทนค่าเงื่อนไขจะได้

$$\begin{aligned} E_x &= \int \frac{k\lambda \cos \theta d\theta}{y} = \frac{k\lambda}{y} \int_0^\pi \cos \theta d\theta \\ &= \frac{k\lambda}{y} (\sin \theta) \Big|_0^\pi = \frac{k\lambda}{y} (\sin \pi - \sin 0) \end{aligned}$$

$$E_x = 0$$

สนามในแนวแกน x เป็นศูนย์เนื่องจากแท่งโลหะมีความสมมาตร

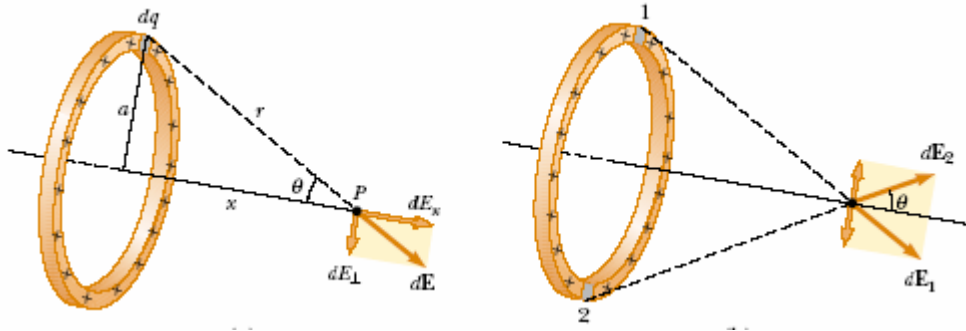
ในแนวแกน y , $E_y = E \sin \theta = \int \frac{k\lambda \sin \theta d\theta}{y}$ ทำการอินทิเกรตและแทนค่าเงื่อนไขจะได้

$$\begin{aligned} E_y &= \int \frac{k\lambda \sin \theta d\theta}{y} = \frac{k\lambda}{y} \int_0^\pi \sin \theta d\theta \\ &= \frac{k\lambda}{y} (-\cos \theta) \Big|_0^\pi = \frac{k\lambda}{y} (\cos 0 - \cos \pi) \\ E_y &= \frac{2k\lambda}{y} \end{aligned}$$

นั่นคือสนามไฟฟ้าจากเส้นลวดจะมีเฉพาะตามแนวรัศมีเท่านั้นและมีขนาดเป็น $E = \frac{2k\lambda}{y}$ N/C



ตัวอย่าง 2-6 จงหาสนามไฟฟ้าจากประจุไฟฟ้าบวกที่กระจายตัวสม่ำเสมอทั้งหมด Q อยู่บนวงแหวนรัศมี a ที่จุดห่างจากศูนย์กลางวงแหวนไปเป็นระยะ x ดังรูป 2-7



รูป 2-7 ประจุกระจายอย่างสม่ำเสมอเป็นรูปวงแหวน

หลักการคำนวณ

สนามไฟฟ้าที่จุด P อันเนื่องมาจากประจุ dq ตามรูปคือ

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

ตามรูป $r^2 = a^2 + x^2$, $\cos \theta = \frac{x}{r} = \frac{x}{(a^2 + x^2)^{1/2}}$ แทนค่าจะได้

$$dE = \frac{k x dq}{(x^2 + a^2)^{3/2}}$$

เนื่องจากลักษณะสมมาตรจะทำให้สนามไฟฟ้ามีเฉพาะในแนวแกน x ดังรูป 2-7 ประกอบ ดังนั้นสนามไฟฟ้าทั้งหมดที่เกิดจากวงแหวนคือ

$$E_x = \int \frac{k x dq}{(x^2 + a^2)^{3/2}} = \frac{k x}{(x^2 + a^2)^{3/2}} \int dq$$

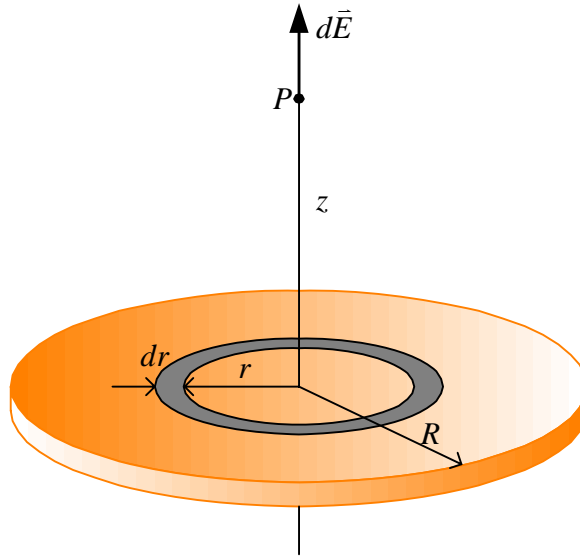
หรือ

$$E_x = \frac{k Q x}{(x^2 + a^2)^{3/2}}$$

จะเห็นว่า ที่ จุดศูนย์กลางของวงแหวน $x = 0$ สนามไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์



ตัวอย่าง 2-7 ประจุบวกกระจายบนจานกลมรัศมี R ความหนาแน่นประจุเชิงพื้นที่ เท่ากับ σ ต้องการหาสนามไฟฟ้าที่จุด P ซึ่งเป็นจุดใด ๆ บนแนวแกน z ดังรูป 2-8



รูป 2-8 ประจุบนแผ่นจานกลมรัศมี R

หลักการคำนวณ เพื่อหลีกเลี่ยงการอินทิเกรตแบบสองชั้น จึงแบ่งพื้นที่จานกลมออกเป็นวงแหวนเล็ก ๆ จำนวนมากตั้งแต่ $r = 0$ จนถึง $r = R$ พิจารณาวงแหวนเล็ก ๆ วงหนึ่งซึ่งอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของจานกลมเท่ากับ r ใด ๆ ความกว้างของวงแหวนเท่ากับ dr พื้นที่ของวงแหวนนี้คือ $dA = 2\pi r dr$ ประจุที่กระจายอยู่บนวงแหวนเล็ก ๆ ที่พิจารณานี้คือ dq

$$dq = \sigma dA = \sigma(2\pi r dr)$$

ประจุ dq ที่อยู่บนวงแหวนนี้จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าที่จุด P สนามไฟฟ้าที่เกิดจากวงแหวนนี้ เราเคยหาไว้แล้วในตัวอย่างที่ 2-6 จะนำผลที่ได้มาใช้ในตัวอย่างนี้ จะได้

$$dE = \frac{k\sigma z(2\pi r dr)}{(z^2 + r^2)^{3/2}} \quad \text{แทนค่า } k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

ต้องการหาสนามไฟฟ้าที่เกิดจากจานกลมทั้งแผ่น ซึ่งจานกลมนี้เกิดจากวงแหวนเล็ก ๆ เรียงเป็นวงตั้งแต่ $r = 0$ ถึง $r = R$ นั่นคือจะต้องอินทิเกรตตั้งแต่ $r = 0$ ถึง $r = R$ จึงจะได้สนามไฟฟ้ารวมทั้งหมดของจานกลมนี้

$$E = \frac{\sigma z}{4\epsilon_0} \int_{r=0}^R \frac{2r dr}{(z^2 + r^2)^{3/2}}$$



$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left(1 - \frac{z}{(z^2 + R^2)^{1/2}}\right)$$

ผลลัพธ์ที่ได้คือขนาดของสนามไฟฟ้าที่เกิดจากประจุรูปจานกลม และคือว่า $z > 0$ ถ้าแผ่นประจุรูปจานกลมนี้มีขนาดใหญ่่มาก ๆ ($R \rightarrow \infty$) ขนาดของสนามจะได้เป็น

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \quad \text{N/C}$$

ถ้าแผ่นประจุมีขนาดใหญ่่มาก ๆ ขนาดของสนามจะไม่ขึ้นกับระยะทางที่ห่างจากแผ่น

การทดลองเสมือนจริง



เตาอบไมโครเวฟ

คุณเคยสงสัยไหมว่าทำไมเจ้าไมโครเวฟ อุปกรณ์ไฟฟ้าชิ้นย่อมๆ จึงทำให้น้ำเดือดได้ และยิ่งไปกว่านั้นหากคุณเคยประสบอุบัติเหตุจากการต้มกาแฟด้วยไมโครเวฟ ทำไมแค่เติมผงกาแฟลงไปเพียงเล็กน้อย กลับทำให้เกิดการระเบิดของน้ำกาแฟเต็มเจ้าเตาไมโครเวฟของคุณ และเจ้าไมโครเวฟทำอาหารอร่อยๆ ให้คุณได้อย่างไร [คลิกที่นี่เพื่อเข้าสู่การทดลอง](#) 🔥

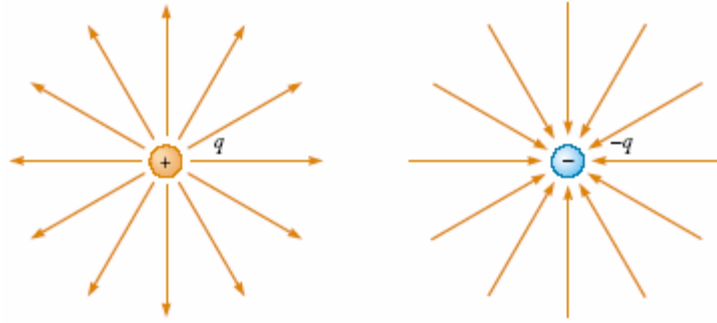
2-1-3 เส้นสนามไฟฟ้า

เพื่อความสะดวกในการมองภาพของสนามไฟฟ้า โดยการเขียนเส้นตามทิศทางของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าของแต่ละจุด เส้นเหล่านี้ ฟาราเดย์ เรียกว่าเส้นแรงไฟฟ้า ปัจจุบันเรียกว่า เส้นสนามไฟฟ้า (electric field lines) ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นสนามกับเวกเตอร์สนามเป็นดังนี้

1. ทิศของเส้นสัมผัสของเส้นสนามที่จุดใดๆ คือทิศของเวกเตอร์สนามที่จุดนั้นๆ
2. จำนวนของเส้นต่อหน่วยพื้นที่ของผิวที่ตั้งฉากกับเส้นทั้งหมด แปรผันตามขนาดของสนามในบริเวณนั้น หมายความว่าบริเวณที่เส้นสนามอยู่ชิดกันมากจะมีค่าสนามไฟฟ้ามากกว่าบริเวณที่สนามอยู่ห่างกัน

จากความสัมพันธ์ข้างต้น เราสามารถวาดภาพสนามของจุดประจุได้ตามรูป 2-9

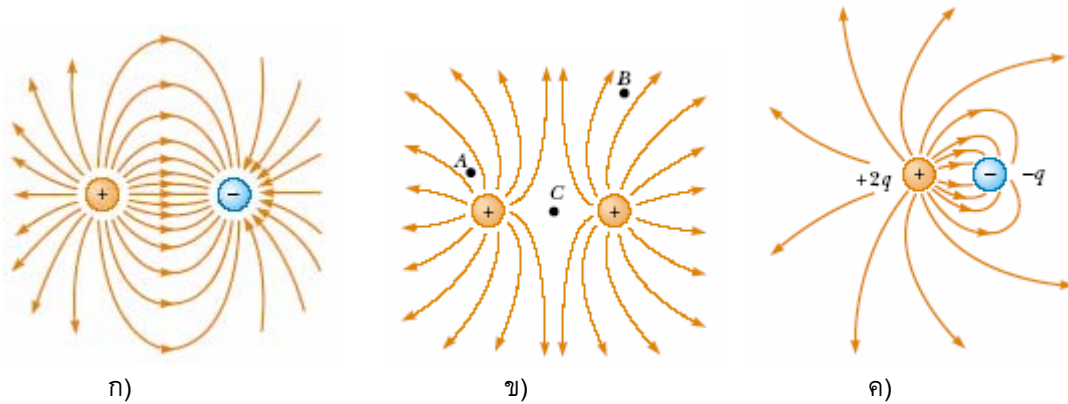




รูป 2-9 สนามของประจุบวกและประจุลบ

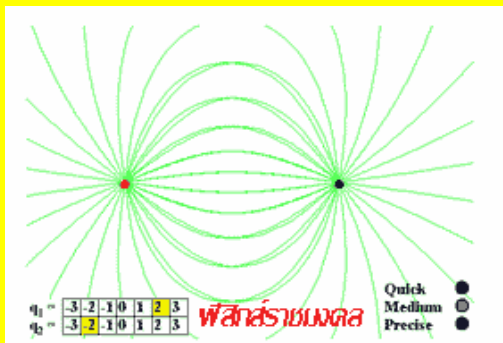
กฎในการเขียนเส้นสนามโดยทั่วๆ ไปมีดังนี้

1. เส้นจะเริ่มต้นจากประจุบวกไปสิ้นสุดที่ประจุลบ
2. จำนวนเส้นที่ออกจากประจุบวกหรือเส้นที่ไปสิ้นสุดที่ประจุลบจะแปรผันตามขนาดของประจุ
3. เส้นสนามจะไม่ตัดผ่านกัน



รูป 2-10 สนามของประจุ ก) ต่างชนิดกัน ข) เหมือนกัน และ ค) ขนาดประจุไม่เท่ากัน

การทดลองเสมือนจริง



เส้นสนามไฟฟ้า

ในห้องทดลองนี้คุณสามารถลากประจุ 2 อัน ได้ด้วยเมาส์ และเปลี่ยนขนาดและชนิดของประจุ โดยการคลิกลงบนกล่อง ถ้าคุณมีคอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วค่อนข้างต่ำ การแสดงผลอาจจะช้า เพราะจะต้องคำนวณทิศทางของสนามไฟฟ้าอยู่ตลอดเวลา [คลิกเข้าทำการทดลองครับ](#)



2-2 แรงกระทำต่อประจุที่อยู่ในสนามไฟฟ้า

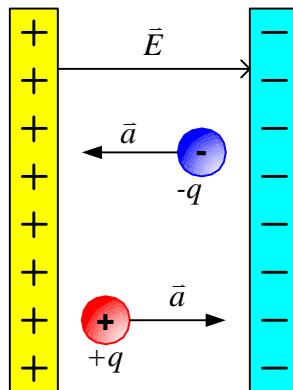
เมื่ออนุภาคมวล m มีประจุ q อยู่ภายใต้สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ \vec{E} จะเกิดแรงไฟฟ้ากระทำต่อประจุเป็น $q\vec{E}$ จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน จะได้

$$\vec{F} = q\vec{E} = m\vec{a} \quad (2-4)$$

และความเร่งคือ

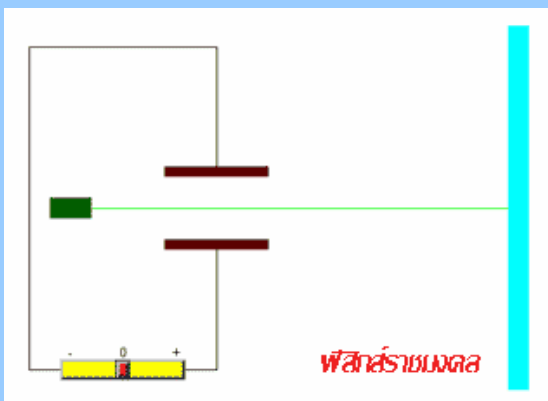
$$\vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m} \quad (2-5)$$

ถ้าสนามสม่ำเสมอความเร่งก็จะมีค่าคงตัว ทิศของความเร่งถ้าเป็นประจุบวกจะมีทิศเดียวกันกับสนาม แต่ถ้าเป็นประจุลบจะสวนทางกับสนาม



รูป 2-11 ประจุที่อยู่ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ

การทดลองเสมือนจริง



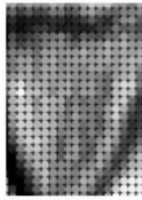
การเบี่ยงเบน

ของประจุไฟฟ้าในสนามไฟฟ้า

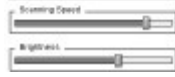
มีแรงกระทำกับประจุไฟฟ้าที่วางอยู่ในสนามไฟฟ้า ขนาดของแรง $F = qE$ คุณจะเห็นผลของสนามไฟฟ้า (เกิดขึ้นระหว่างแผ่นประจุไฟฟ้าสีน้ำตาล) บนลำของอิเล็กตรอน (เส้นสีเขียว) โดยการเลื่อนตัวสไลด์ (สีแดง) สามารถเปลี่ยนขนาดของสนามไฟฟ้า และสังเกตผลการเบี่ยงเบนของลำอิเล็กตรอนว่าจะวิ่งไปในทิศทางใดได้ [คลิกครับ](#) 🌟



จอทีวี เครื่องจักรไฟฟ้าที่มองเห็นได้



จุดแสง



การสแกน



ลำอิเล็กตรอน



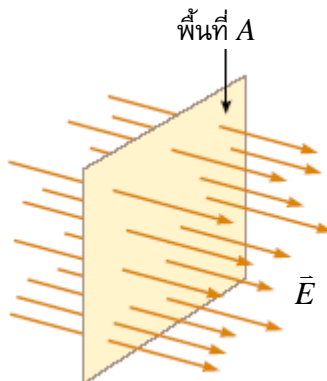
บังคับลำอิเล็กตรอน

2-3 ฟลักซ์ไฟฟ้า

พิจารณาสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอทั้งขนาดและทิศทาง \vec{E} พุ่งผ่านพื้นที่ A ที่ตั้งฉากกับสนาม ตามรูป 2-12 จำนวนเส้นสนามที่พุ่งผ่านพื้นที่ A ทั้งหมดหาได้จาก ขนาดของสนามคูณกับพื้นที่ EA ผลคูณนี้เรียกว่า **ฟลักซ์ไฟฟ้า** (electric flux) ใช้สัญลักษณ์ Φ_E ดังนั้น ฟลักซ์ไฟฟ้าหมายถึง จำนวนเส้นสนามไฟฟ้าที่พุ่งผ่านพื้นที่ที่กำหนดให้

$$\Phi_E = EA \quad (2-6)$$

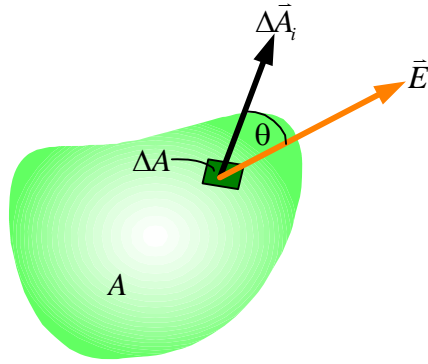
หน่วยของฟลักซ์ไฟฟ้าคือ $N \cdot m^2 / C$



รูป 2-12 สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ \vec{E} พุ่งผ่านพื้นที่ A

ถ้าพื้นที่ A ไม่ได้เป็นแผ่นเรียบและไม่ได้ตั้งฉากกับสนาม ฟลักซ์ไฟฟ้าหาได้โดยแบ่งพื้นที่ออกเป็นส่วนเล็กๆ ขนาด ΔA ให้ $\Delta \vec{A}$ เป็นเวกเตอร์ปกติ (normal vector) ของ ΔA เรียก $\Delta \vec{A}$ ว่าเป็นเวกเตอร์พื้นที่ มีทิศตั้งฉากกับพื้นที่ ΔA ให้สนามไฟฟ้า \vec{E} ทำมุม θ กับ $\Delta \vec{A}$ ดังรูป 2-13





รูป 2-13 แสดงเส้นสนามไฟฟ้าผ่านพื้นที่ผิว ΔA ทิศของ \vec{E} ทำมุม θ กับ $\Delta \vec{A}$

ฟลักซ์ที่ผ่านพื้นที่ผิวเล็กๆ ΔA หาได้จาก

$$\Phi_E = E \Delta A \cos \theta = \vec{E} \cdot \Delta \vec{A}$$

ฟลักซ์ทั้งหมดที่ผ่านพื้นที่ A ทำได้โดยรวมพื้นที่เล็กๆ ΔA ทุก ๆ ค่า

$$\Phi_E = \sum_{i=1}^n \vec{E} \cdot \Delta \vec{A}_i$$

ถ้าเราแบ่ง ΔA ให้มีค่าน้อยมาก ($\Delta A \rightarrow 0$) ดังนั้น

$$\Phi_E = \lim_{\Delta A_i \rightarrow 0} \sum \vec{E} \cdot \Delta \vec{A}_i = \oint_A \vec{E} \cdot d\vec{A}$$

ถ้า \vec{E} มีทิศพุ่งเข้าสู่ภายในผิว ฟลักซ์จะเป็นลบ แต่ถ้า \vec{E} มีทิศพุ่งออกจากผิว ฟลักซ์เป็นบวก

ถ้าพื้นที่ผิวที่เส้นสนามพุ่งผ่านไม่มีช่องว่างติดต่อกันระหว่างผิวภายในกับผิวภายนอก เรียกพื้นที่ผิวนี้ว่าเป็นผิวปิด (closed surface) ฟลักซ์ทั้งหมดที่ผ่านผิวปิดคือ

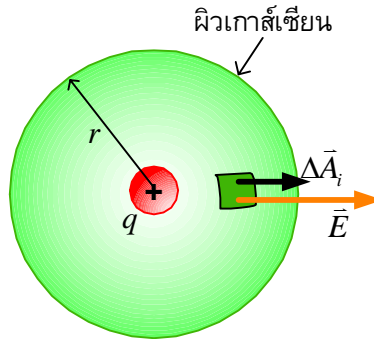
$$\Phi_E = \oint_A \vec{E} \cdot d\vec{A} \quad (2-7)$$

เครื่องหมายวงกลมรอบอินทิเกรตเป็นการบอกว่าอินทิเกรตนี้ คือ การอินทิเกรตรอบผิวปิด (closed surface integral)



2-4 กฎของเกาส์

ในหัวข้อนี้จะศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์ไฟฟ้าที่ผ่านผิวปิดใดๆ กับประจุที่อยู่ภายในผิวปิดนั้น เรียกผิวปิดนั้นว่าผิวเกาส์เซียน (Gaussian surface) พิจารณาฟลักซ์ไฟฟ้าเนื่องจากประจุ $+q$ ที่ผ่านพื้นที่ผิวทรงกลมรัศมี r ที่ล้อมรอบประจุ $+q$ ไว้



รูป 2-14 ผิวเกาส์เซียนที่ล้อมรอบประจุ $+q$ สนาม \vec{E} ตั้งฉากกับ ΔA_i

จากรูป 2-14 ฟลักซ์ไฟฟ้าที่ผ่านพื้นที่เล็กๆ ΔA_i คือ

$$\vec{E} \cdot \Delta \vec{A}_i = E \Delta A_i$$

ฟลักซ์ไฟฟ้าทั้งหมดที่ผ่านผิวทรงกลมคือ

$$\Phi_E = \oint_A \vec{E} \cdot d\vec{A} = \oint E dA = E \oint dA$$

แทนค่า เมื่อ $\oint dA$ คือพื้นที่ผิวทั้งหมด $\oint dA = 4\pi r^2$ และ $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}$

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

ดังนั้น

$$\Phi_E = \frac{q}{\epsilon_0}$$

กฎของเกาส์กล่าวว่า

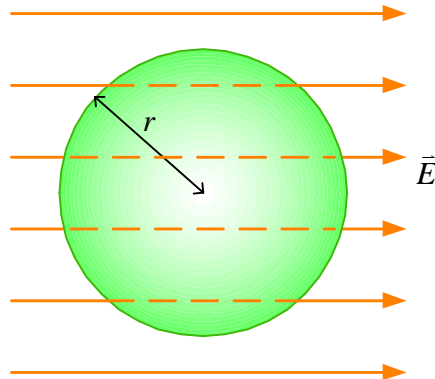
“ฟลักซ์ไฟฟ้าที่ผ่านผิวปิดใดๆ มีค่าแปรตามประจุที่อยู่ภายในผิวปิดนั้น” เขียนสมการได้เป็น

$$\Phi_E = \oint_A \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q_{in}}{\epsilon_0} \quad (2-8)$$

เมื่อ q_{in} คือประจุสุทธิภายในผิวปิด



ตัวอย่าง 2-8 ผิวปิดทรงกลมรัศมี r วางอยู่ในสนามไฟฟ้าขนาดคงตัว \vec{E} จงหาฟลักซ์ทั้งหมดที่ผ่านพื้นที่ผิวปิดนี้



รูป 2-15 ผิวปิดรูปทรงกลมในสนามไฟฟ้าค่าคงตัว

หลักการคำนวณ เนื่องจากไม่มีประจุอยู่ภายในผิวปิดนี้ $q_{in} = 0$ จากกฎของเกาส์

$$\Phi_E = \oint_A \vec{E} \cdot d\vec{A} = 0$$

นั่นคือ สนามไฟฟ้าที่ผ่านเข้าสู่ผิวปิด มีค่าเท่ากับ สนามที่ออกจากผิวปิด

2-4-1 การนำกฎของเกาส์ไปหาสนามไฟฟ้า

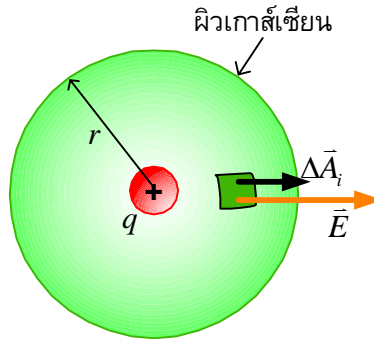
หลักการนำกฎของเกาส์ไปหาสนามไฟฟ้ามีดังนี้

1. ต้องรู้ทิศทางของสนามไฟฟ้ามาก่อน กฎของเกาส์ใช้หาเฉพาะขนาดของสนามไฟฟ้าเท่านั้น
2. ต้องให้ตำแหน่งที่ต้องการหาสนามเป็นจุด ๆ หนึ่งบนผิวปิดนั้น
3. ผิวปิดควรมีรูปทรงเป็นแบบเรขาคณิต และเส้นสนามที่ผ่านผิวปิดควรตั้งได้ฉากหรือขนานกับผิวปิด และขนาดของ E ควรมีค่าคงตัว
4. ผิวปิดควรมีลักษณะสมมาตร



ตัวอย่าง 2-9 จงหาสนามไฟฟ้าของจุดประจุที่ระยะ r ใดๆ

หลักการคำนวณ สนามไฟฟ้าของจุดประจุมีทิศพุ่งออกจากประจุบวกทุกทิศทุกทาง ผิวปิดที่เหมาะสมคือผิวปิดรูปทรงกลมรัศมี r โดยให้จุดประจุอยู่ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลม



รูป 2-16 ผิวปิดของเกาส์รูปทรงกลมรัศมี r ปิดล้อมจุดประจุ q

เส้นสนามไฟฟ้าจะมีทิศตั้งฉากกับเส้นสัมผัสของผิวทรงกลมที่จุดใดๆ (หรือมีทิศเดียวกับทิศ $d\vec{A}$) ขนาดของสนามไฟฟ้าบนผิวทรงกลมจะมีค่าเท่ากันทุกจุด

$$\text{จากกฎของเกาส์จะได้} \quad \oint_A \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

เพราะ E มีค่าคงที่ทุก ๆ จุดบนผิวปิด จะได้

$$E \oint dA = \frac{q}{\epsilon_0}$$

$$\oint dA \text{ คือ พื้นที่ผิวทรงกลมทั้งหมด} = 4\pi r^2$$

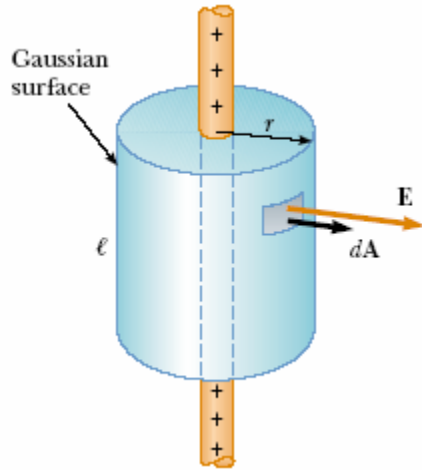
$$E(4\pi r^2) = \frac{q}{\epsilon_0}$$

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

ซึ่งเป็นค่าสนามไฟฟ้าของจุดประจุ สมการที่ได้เหมือนกับที่หาได้จากกฎของคูลอมบ์



ตัวอย่าง 2-10 เส้นประจุยาวอนันต์ ความหนาแน่นประจุเชิงเส้น = λ C / m ต้องการหาสนามไฟฟ้าที่อยู่ห่างจากเส้นประจุเป็นระยะ r



รูป 2-17 ผิวปิดทรงกระบอกยาว l ปิดล้อมเส้นประจุยาวอนันต์

หลักการคำนวณ เลือกผิวปิดรูปทรงกระบอกยาว l รัศมี r ให้เส้นประจุผ่านแกนของทรงกระบอก

ประจุสุทธิในผิวปิด

$$q = \lambda l \quad \text{C}$$

จากกฎของเกาส์

$$\oint_A \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

พิจารณาฟลักซ์ไฟฟ้าที่ผ่านผิวแต่ละส่วน

$$\int_{upper} E dA_{upper} \cos 90^\circ + \int_{side} E dA_{side} \cos 0^\circ + \int_{lower} E dA_{lower} \cos 90^\circ = \frac{\lambda l}{\epsilon_0}$$

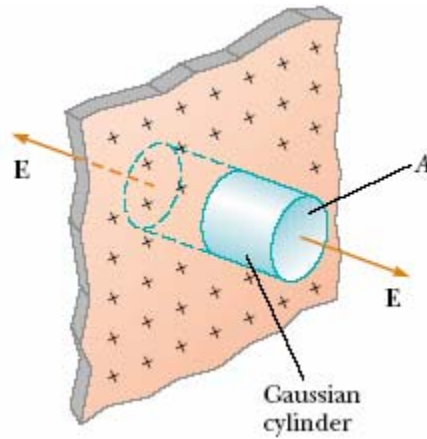
ฟลักซ์ไฟฟ้าที่ผ่านผิวด้านบนและด้านล่าง เป็นศูนย์ พื้นที่ด้านข้างของทรงกระบอก $A_{side} = 2\pi r l$

$$E 2\pi r l = \frac{\lambda l}{\epsilon_0}$$

$$E = \frac{\lambda}{2\pi r \epsilon_0} \quad \text{N/C}$$



ตัวอย่าง 2-11 จงหาสนามไฟฟ้าของประจุที่กระจายเป็นแผ่นขนาดอนันต์ มีความหนาแน่นประจุต่อพื้นที่เท่ากับ $\sigma \text{ C/m}^2$



รูป 2-18 ผิวปิดทรงกระบอกยาว $2r$ ปิด ล้อมแผ่นประจุขนาดอนันต์

หลักการคำนวณ ให้ E เป็นสนามไฟฟ้าที่จุดซึ่งอยู่ห่างจากแผ่นประจุในแนวตั้งฉากเป็นระยะ r

เพราะประจุกระจายเป็นแผ่นขนาดอนันต์ สนามในแนวราบที่ขนานกับแผ่นจะหักล้างกันหมดไป เหลือแต่สนามไฟฟ้าในแนวตั้งฉากกับแผ่นซึ่งมีอยู่ 2 ทางคือ ซ้ายมือ และขวามือ เพื่อที่จะให้มีลักษณะสมมาตรและครอบคลุมเส้นแรงทั้งสองด้านจึงเลือกผิวปิดรูปทรงกระบอกพื้นที่หน้าตัด A ยาว $2r$

$$\int_{\text{left}} EdA \cos 0^\circ + \int_{\text{side}} EdA \cos 90^\circ + \int_{\text{right}} EdA \cos 0^\circ = \frac{\sigma A}{\epsilon_0}$$

ฟลักซ์ไฟฟ้าที่ผ่านผิวด้านข้าง เป็นศูนย์ มีเฉพาะฟลักซ์ไฟฟ้าที่ผ่านผิวด้านซ้ายและด้านขวา

$$EA + EA = \frac{\sigma A}{\epsilon_0}$$

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \quad \text{N/C}$$

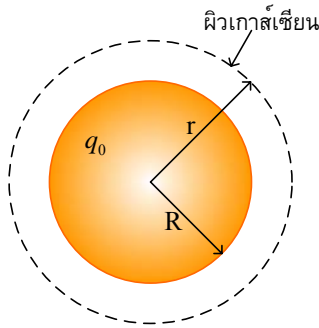
ขนาดของสนามไฟฟ้าขึ้นอยู่กับ σ ไม่ขึ้นอยู่กับ r



ตัวอย่าง 2-12 จงหาขนาดของสนามไฟฟ้าที่เกิดจากประจุขนาด q_0 กระจายเป็นรูปทรงกลมตันรัศมี R ความหนาแน่นประจุต่อปริมาตร เท่ากับ ρ ให้ r เป็นระยะใด ๆ วัดจากจุดศูนย์กลางไปยังจุดที่ต้องการหาสนามไฟฟ้า

- ก) $r > R$ ข) $r < R$

หลักการคำนวณ ก) เมื่อ $r > R$ สร้างผิวปิดเป็นทรงกลมรัศมี r ประจุสุทธิมีค่า = q_0



รูป 2-19 สร้างผิวปิดล้อมประจุ เมื่อ $r > R$

จากกฎของเกาส์

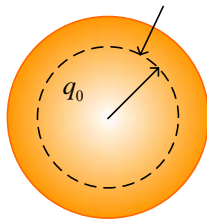
$$\oint_A \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q_0}{\epsilon_0}$$

ดังนั้น

$$E = \frac{q_0}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

ประจุที่กระจายบนผิวทรงกลมจะประพฤติตัวเสมือนกับว่าประจุทั้งหมดรวมตัวกันอยู่ที่จุดศูนย์กลางของวงกลม

ข) เมื่อ $0 < r < R$ กรณีนี้ต้องสร้างผิวปิดทรงกลมรัศมี r เช่นกันแต่ประจุสุทธิภายในผิวปิดจะไม่เท่ากับ q_0 ต้องหาประจุที่อยู่ภายในทรงกลมรัศมี r ดังนั้น ความหนาแน่นประจุต่อปริมาตร $\rho = \frac{q_0}{\frac{4}{3}\pi R^3}$



รูป 2-20 ผิวปิดรูปทรงกลมรัศมี r เมื่อ $0 < r < R$



ประจุภายในรัศมี r

$$\begin{aligned}q_r &= \rho - \pi r^3) \\ &= \frac{q_0}{\frac{4}{3}\pi R^3} (\frac{4}{3}\pi r^3) \\ q_r &= \frac{q_0 r^3}{R^3}\end{aligned}$$

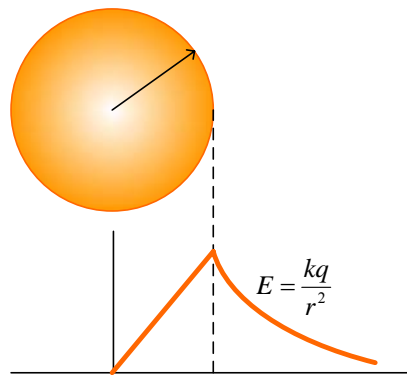
จากกฎของเกาส์

$$\begin{aligned}\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} &= \frac{q_r}{\epsilon_0} \\ &= \frac{q_0 r^3}{\epsilon_0 R^3}\end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned}E 4\pi r^2 &= \frac{q_0 r^3}{\epsilon_0 R^3} \\ E &= \frac{q_0 r}{4\pi\epsilon_0 R^3}\end{aligned}$$

สนามไฟฟ้าภายในประจุทรงกลมจะแปรผันตรงกับ r ส่วนสนามภายนอกแปรผันกับ $1/r^2$



รูป 2-21 สนามไฟฟ้าเป็นฟังก์ชันกับ r



วิดีโอเพื่อการศึกษา



ฟ้าผ่า

ฟ้าผ่าไม่จำเป็นต้องเกิดท่ามกลางพายุฝนแต่เพียงอย่างเดียว ถ้าภูเขาไฟ ลมทอร์นาโด หิมะ และพายุทราย ก็สามารถทำให้เกิดได้ทั้งสิ้น ยังมีฟ้าผ่าอีกหลายประเภท ในปี 1989 นักวิทยาศาสตร์ค้นพบฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นบนชั้นบรรยากาศของโลก มีการถ่ายภาพไว้ ฟ้าผ่านี้เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง [คลิก](#)
[กรับ \(windows media 3.3 MB\)](#) 🌟

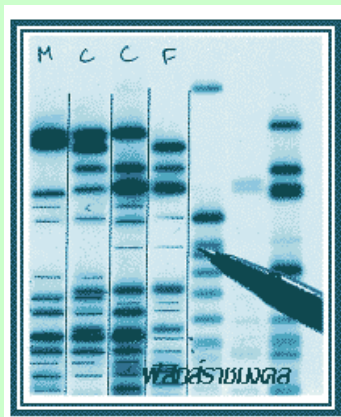
บทความออนไลน์



ความกว้างของสายฟ้า

การผ่าของสายฟ้าแต่ละครั้ง มีจำนวนอิเล็กตรอนประมาณ 10^{20} ตัววิ่งจากเมฆลงสู่พื้นดินด้านล่าง คุณอยากทราบไหมว่า **ความกว้างของสายฟ้ามันมีขนาดเท่าไรกันแน่** เพื่อที่จะได้อยู่ห่างอย่างปลอดภัยที่สุด [คลิกกรับ](#) 🌟

บรรยายลงในกระดานฟลิคส์ราชมงคล



แบบพิมพ์ดีเอ็นเอของครอบครัวหนึ่ง มีพ่อ (F) แม่ (M) ลูก 2 คน (C) โดยผ่านกระบวนการแยกทางไฟฟ้าให้นักศึกษาบรรยายภาพความสัมพันธ์ระหว่างลายพิมพ์ดีเอ็นเอกับสนามไฟฟ้า [ลงในกระดานฟลิคส์ราชมงคล](#) 🌟 โดยการหาตัวอย่างอื่นประกอบด้วย



ทดสอบก่อนและหลังเรียน

วิธีทำ ให้ ใส่ชื่อ สกุล เลือกวิชาที่สอบ และจำนวนข้อ แต่ต้องไม่เกินจากที่กำหนดไว้ เช่น กำหนดไว้ 10 ข้อ เวลาเลือกจำนวนข้อ ให้เลือก 5 และ 10 ข้อไม่เกินจากนี้ เป็นต้นเมื่อทำเสร็จสามารถดูคะแนนจากรายละเอียดผู้ทำข้อสอบได้ที่ เรื่องสนามไฟฟ้า คลิกเข้าสู่ [การทดสอบก่อนและหลังเรียนครับ](#) 🌟

ทดสอบก่อนและหลังเรียน

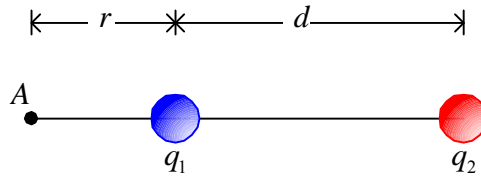
วิธีทำ ให้ ใส่ชื่อ สกุล เลือกวิชาที่สอบ และจำนวนข้อ แต่ต้องไม่เกินจากที่กำหนดไว้ เช่น กำหนดไว้ 10 ข้อ เวลาเลือกจำนวนข้อ ให้เลือก 5 และ 10 ข้อไม่เกินจากนี้ เป็นต้นเมื่อทำเสร็จสามารถดูคะแนนจากรายละเอียดผู้ทำข้อสอบได้ที่ เรื่องกฎของเกาส์ คลิกเข้าสู่ [การทดสอบก่อนและหลังเรียนครับ](#) 🌟

แบบฝึกหัดเรื่องสนามไฟฟ้าและกฎของเกาส์

1. ความเข้มสนามไฟฟ้าค่าเท่าใด จึงจะพอดีหักล้างกับน้ำหนักของโปรตอนพอดี
2. ถ้าเราสามารถสกัดเส้นแรงของสนามไฟฟ้าบริเวณหนึ่งได้ เมื่อนำประจุขนาด q ไปวางไว้ในสนามไฟฟ้า เส้นแรงจะบอกอะไรให้เราทราบเกี่ยวกับแรงที่กระทำบนประจุนั้น
3. เส้นแรงไฟฟ้าสามารถตัดกันได้หรือไม่ จงอธิบาย
4. ประจุไฟฟ้า $q_1 = 15 \times 10^{-6} \text{ C}$ และ $q_2 = 10 \times 10^{-6} \text{ C}$ วางห่างกันเป็นระยะ 1 เมตร ในแนวระดับ จงคำนวณหาขนาดและทิศทางของสนามไฟฟ้าลัพท์ที่ตำแหน่ง P ซึ่งอยู่ห่างจาก q_1 และ q_2 เป็นระยะ 0.6 m และ 0.8 m ตามลำดับ
[ตอบ $1.87 \times 10^{-5} \text{ N}$, $\theta = \tan^{-1} 0.892$]

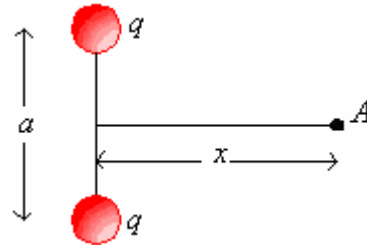


5. จุดประจุ 2 ตัววางห่างกัน d ไม่ทราบชนิดของประจุ



- ก) ถ้าตำแหน่ง A เป็นตำแหน่งที่สนามไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์ q_1 และ q_2 ต้องเป็นประจุชนิดใด และขนาดเป็นอย่างไร จงหาระยะ r ด้วย [ตอบ $q_1 < q_2$ เป็นประจุชนิดตรงข้ามกัน, $r = \frac{d\sqrt{q_1}}{\sqrt{q_1} - \sqrt{q_2}}$]
- ข) จงหาตำแหน่งที่สนามไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์อีกตำแหน่งหนึ่ง [ตอบ ไม่มี]

6. จากรูปจงแสดงว่า $|\vec{E}| = \frac{2kq}{x^2}$ เมื่อ $x \gg a$



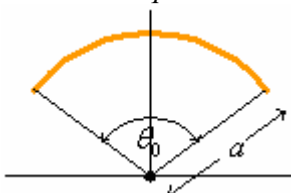
- ก) จงหาทิศของสนามไฟฟ้า
- ข) เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับกรณีของไดโพล

7. ประจุ 2 ตัว ขนาด $1.5 \mu\text{C}$ และ $3 \mu\text{C}$ ห่างกัน 0.2 m จงหาตำแหน่งที่ สนามไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์ [ตอบ 0.0828 m]

8. ก) จงหาความเร่งของอิเล็กตรอนที่วางอยู่ในสนามไฟฟ้าขนาด 10^{-6} N/C [ตอบ $1.76 \times 10^5 \text{ m/s}^2$]
- ข) อิเล็กตรอนจะมีความเร็ว $1/10$ เท่าของความเร็วแสง เมื่อเวลาผ่านไปนานเท่าใด ให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากจุดหยุดนิ่ง แสงมีความเร็ว $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ในสุญญากาศ [ตอบ $1.7 \times 10^{-10} \text{ s}$]
- ค) กลศาสตร์ของนิวตันสามารถใช้คำนวณในระดับความเร็วสูงเช่นนี้ได้หรือไม่ [ตอบ กลศาสตร์นิวตันมีขีดจำกัดตรงที่ความเร็วของอนุภาคไม่ควรเกิน $1/10$ ของความเร็วแสง]

9. ประจวบขนาด $q, 2q$ และ $3q$ วางที่มุมของสามเหลี่ยมด้านเท่ายาวด้านละ d จงหาทิศและขนาดของสนามไฟฟ้า ที่จุดกึ่งกลางของเส้นตรงที่ลากเชื่อมระหว่าง q และ $2q$ [ตอบ $\frac{-4kq(\hat{i} + \hat{j})}{d^2}$]

10. แท่งประจูปโค้งของวงกลมรัศมี a รองรับมุม θ_0 ที่จุดศูนย์กลางของวงกลม ประจุมีการกระจายสม่ำเสมอรวมทั้งสิ้น $q \text{ C}$ จงแสดงว่าสนามที่จุดศูนย์กลางของความโค้งมีค่าเป็น $\vec{E} = \frac{q}{2\pi\epsilon_0\theta_0 a^2} \sin\left(\frac{\theta_0}{2}\right)(-\hat{j})$

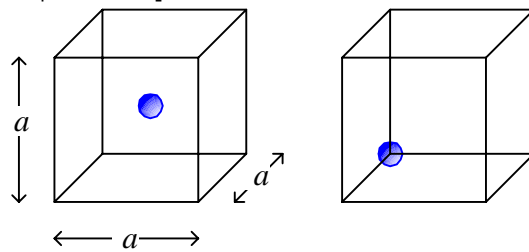


11. ประจุจุดขนาด Q วางอยู่ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมรัศมี a ที่ผิวของทรงกลมมีประจุขนาด $Q' - Q$ กระจาย
 อยู่อย่างสม่ำเสมอ จงหาฟลักซ์ที่ผ่านผิวทรงกลมรัศมี r เมื่อ $r < a$ และ $r > a$ [ตอบ $\frac{Q}{\epsilon_0}$, $\frac{Q'}{\epsilon_0}$]

12. ในการหาแรงไฟฟ้าหรือสนามไฟฟ้าของประจุไฟฟ้าที่อยู่บนทรงกลม ทำไมจึงคิดระยะทางจากจุดศูนย์กลาง
 ของทรงกลม

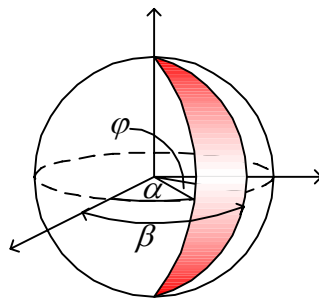
13. ประจุจุดอยู่ที่จุดศูนย์กลางของผิวปิดรูปทรงกลม ฟลักซ์ทั้งหมดที่ผ่านผิวปิดจะเปลี่ยนไป หรือไม่อย่างไร ถ้า
 ก) ผิวนี้เปลี่ยนเป็นรูปลูกบาศก์ที่มีปริมาตรเท่ากับทรงกลม
 ข) ผิวนี้เป็นรูปลูกบาศก์ที่มีปริมาตรเป็น $1/10$ ของปริมาตรเดิม
 ค) ประจุอยู่ที่ผิวของทรงกลม

14. ประจุมีขนาด q วางอยู่ที่จุดศูนย์กลางของลูกบาศก์ขนาด a^3 จงหาฟลักซ์ที่ผ่านผิวแต่ละด้านของลูกบาศก์นี้
 ถ้าประจุเคลื่อนมาอยู่ที่มุมใดมุมหนึ่งของลูกบาศก์ จงหาฟลักซ์ของสนามไฟฟ้าที่ผ่านผิวแต่ละด้าน



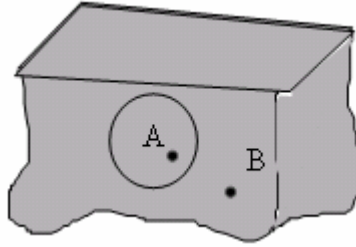
[ตอบ $\frac{q}{6a^2\epsilon_0}$ และ $\frac{q}{24a^2\epsilon_0}$]

15. จุดประจุขนาด q วางที่จุดศูนย์กลางของทรงกลม จงหาฟลักซ์ที่พุ่งผ่านผิวส่วนหนึ่งของทรงกลมตรงส่วน
 $\alpha \leq \varphi \leq \beta$ [ตอบ $\frac{(\beta - \alpha)q}{2\pi\epsilon_0}$]

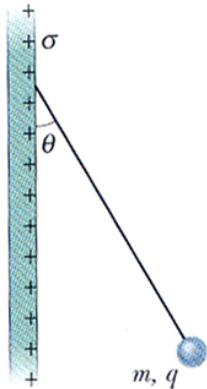


16. ประจุจุดขนาด 10^{-7} C อยู่ที่จุดศูนย์กลางของโพรงทรงกลม รัศมี 3 cm ในฉนวนโลหะ จงใช้กฎของเกาส์หาสนามไฟฟ้าที่จุด A เมื่อ A เป็นจุดแบ่งครึ่งของรัศมีทรงกลม และจุด B ซึ่งอยู่ในฉนวนโลหะ

[ตอบ 4×10^6 N/C , 0]



17. แผ่นโลหะบางขนาด $1 \times 1 \times 0.01$ m มีประจุขนาด $10 \mu\text{C}$ กระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอ จงใช้กฎของเกาส์หาสนามที่จุดเหนือผิวโลหะเพียงเล็กน้อย ตรงบริเวณกึ่งกลางของแผ่นโลหะ [ตอบ 5.6×10^5 N/C]



18. ลูกบอลมวล $m = 1.0$ mg มีประจุ $q = 2.0 \times 10^{-8}$ C แขวนด้วยเส้นเชือก ลอยอยู่บนแผ่นประจุขนาดใหญ่ ทำมุม $\theta = 30^\circ$ กับแนวตั้ง จงคำนวณหาความหนาแน่นประจุต่อพื้นที่ σ ของแผ่นประจุนี้

[ตอบ 5.0 nC/m²]

19. ท่อยาวบางรัศมี R มีประจุต่อหน่วยความยาวเท่ากับ λ ที่ผิว จงหาค่า E ที่ระยะ r เมื่อ r วัดจากแกนกลางของท่อในแนวตั้งฉาก

ก) เมื่อ $r > R$ [ตอบ $\frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$]

ข) เมื่อ $r < R$ [ตอบ 0]

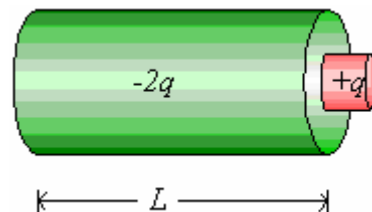
ค) ให้ $\lambda = 2 \times 10^{-8}$ N/m, $R = 3$ cm จงเขียนกราฟของสนามไฟฟ้าในช่วง $r = 0$ ถึง $r = 5$ cm

20. ตัวนำทรงกระบอกยาว L มีประจุ q ถูกล้อมรอบด้วยท่อตัวนำมีประจุ $-2q$ จงใช้กฎของเกาส์ คำนวณหา

ก) สนามภายนอกท่อกลวง

ข) สนามระหว่างทรงกระบอกทั้งสอง

ค) การกระจายของประจุในท่อกลวง



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	ตารางธาตุ(ไทย1) 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	

