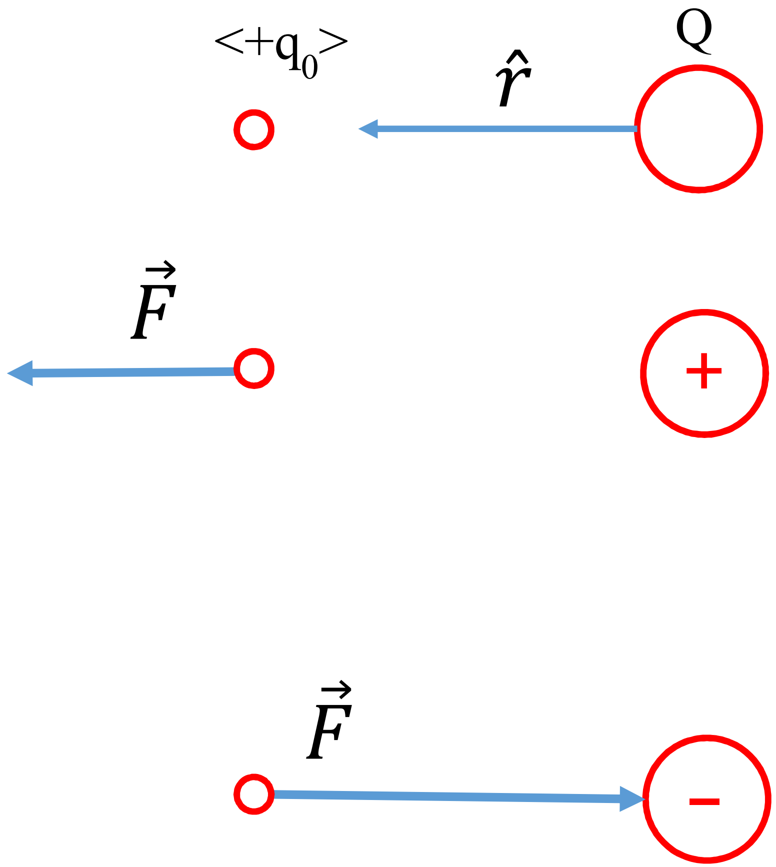
สนามไฟฟ้า $\vec{E}$

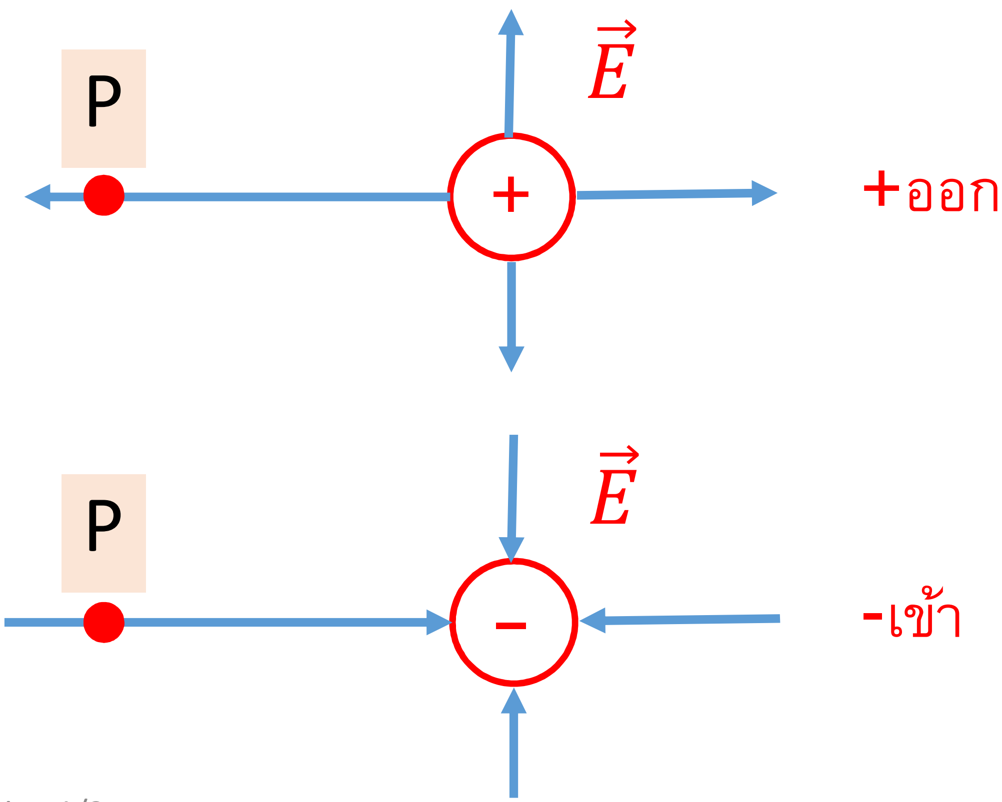
นิยาม : สนามไฟฟ้าเกิดจากแรงทางไฟฟ้ากระทำกับประจุทดสอบ $+q_0$

$+q_0$ มีค่าประจุน้อย เมื่อเทียบกับ Q ??

$$\vec{F} = k\frac{Qq_0}{r^2}\,\hat{r} = q_0\vec{E}$$

$$\vec{E} = k\frac{Q}{r^2}\,\hat{r}$$





สนามไฟฟ้า เมื่อจุดประจุมากกว่าหนึ่งประจุ

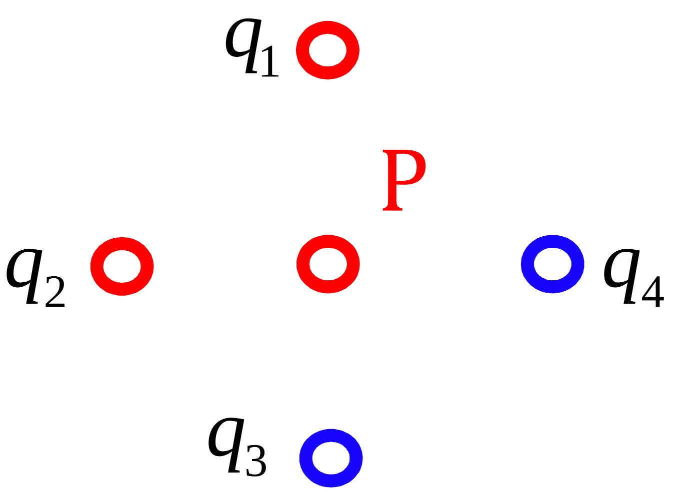
สนามไฟฟ้าที่ตำแหน่ง P เนื่องจากประจุ q_1 : $\overrightarrow{E_1}$

สนามไฟฟ้าที่ ตำแหน่ง P เนื่องจากประจุ q_2 : $\overrightarrow{E_2}$

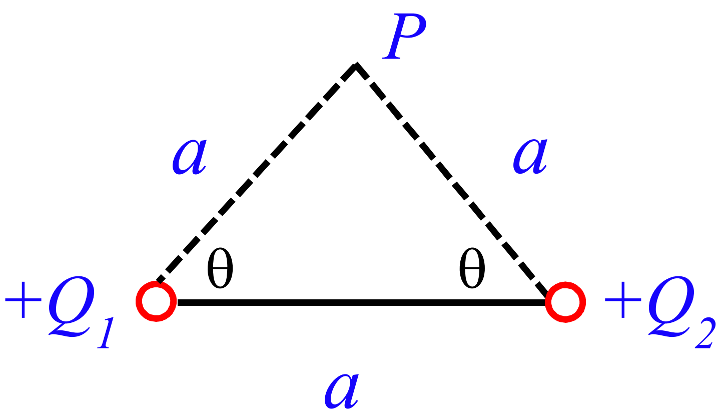
สนามไฟฟ้าที่ ตำแหน่ง P เนื่องจากประจุ q_3 : $\overrightarrow{E_i}$

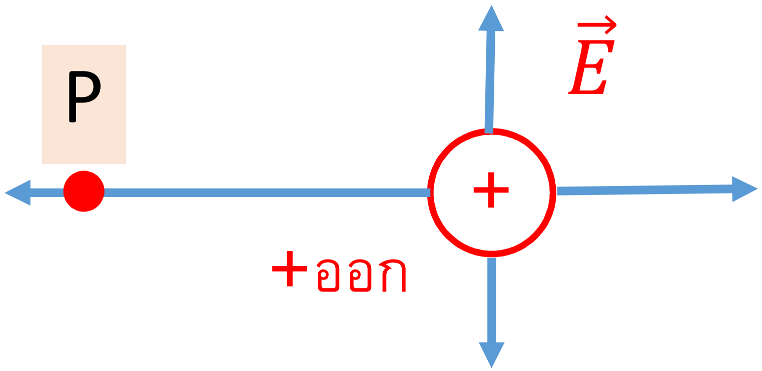
สนามไฟฟ้าที่ตำแหน่ง P

$$\overrightarrow{E_p} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \cdots = \sum_i \vec{E}_i$$



ตัวอย่าง 1E: จงหาสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่ง P





1) $2E\ \cos\theta\ \hat{x}$

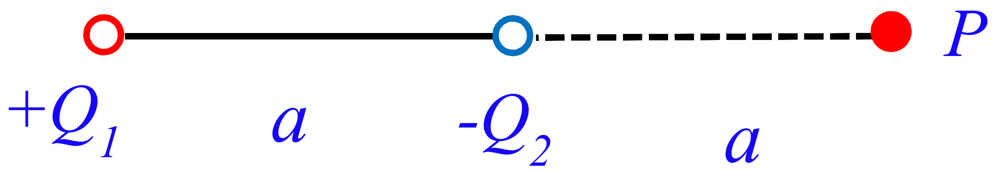
2) $-2E\ \cos\theta\ \hat{x}$

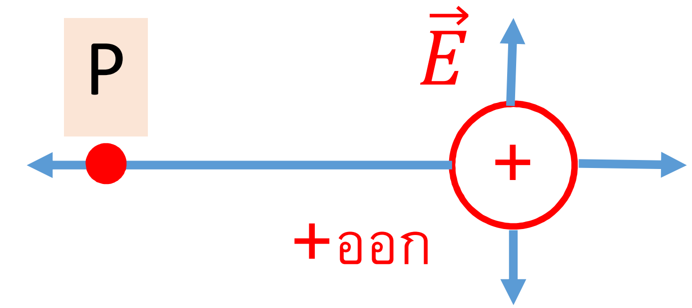
3) $2E\ \sin\theta\ \hat{y}$

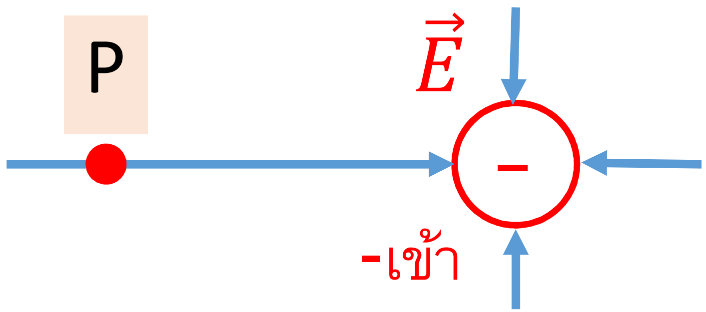
4) $-2E\ \sin\theta\ \hat{y}$

5) $-E\ \sin\theta\ \hat{x} - E\ \sin\theta\ \hat{y}$

ตัวอย่าง 2E: จงหาสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่ง P $Q_1 = Q$, $Q_2 = -Q$







1) 0

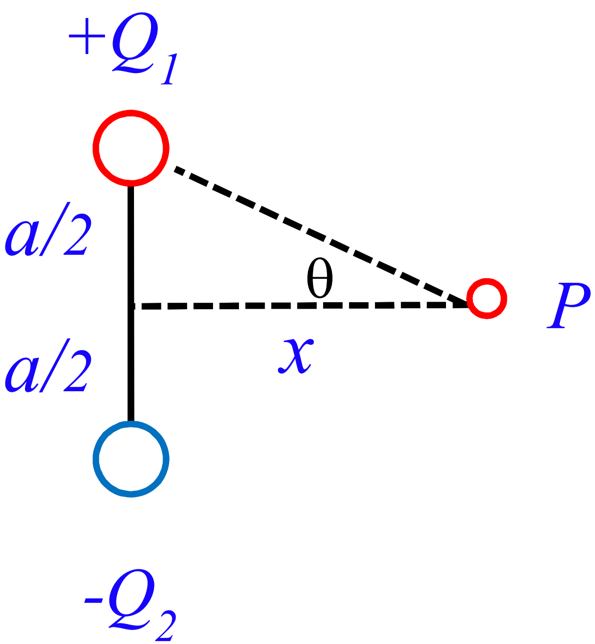
2) $-\dfrac{kQ}{a}$

3) $-\dfrac{kQ}{a^2}$

4) $-\dfrac{3kQ}{4a^2}$

5) $+\dfrac{3kQ}{4a^2}$

ตัวอย่าง 3E: จงหาสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่ง P $Q_1 = Q$, $Q_2 = -Q$



1) $2E\ \cos\theta\ \hat{x}$

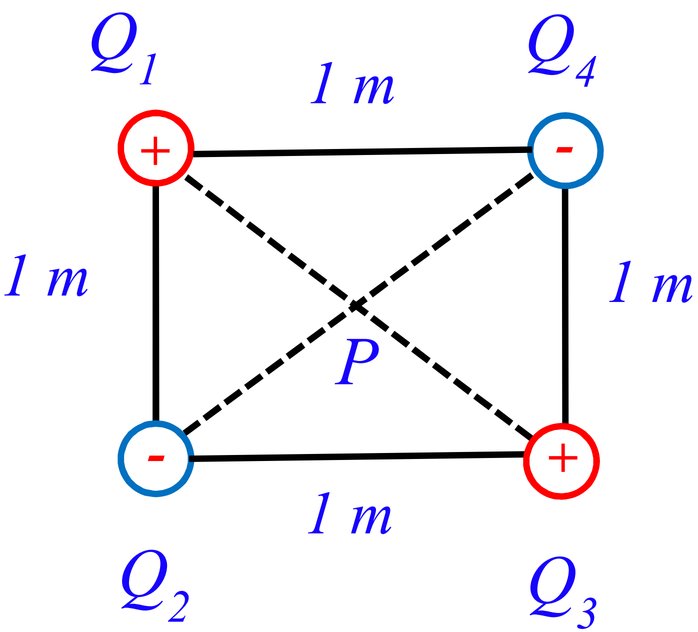
2) $-2E\ \cos\theta\ \hat{x}$

3) $2E\ \sin\theta\ \hat{y}$

4) $-2E\ \sin\theta\ \hat{y}$

5) $-E\ \sin\theta\ \hat{x} - E\ \sin\theta\ \hat{y}$

ตัวอย่าง 4E: จงหาสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่ง P $Q_1 = Q_3 = Q$, $Q_2 = Q_4 = -Q$



1) 0

2) $\sqrt{2}kQ\,\hat{x}$

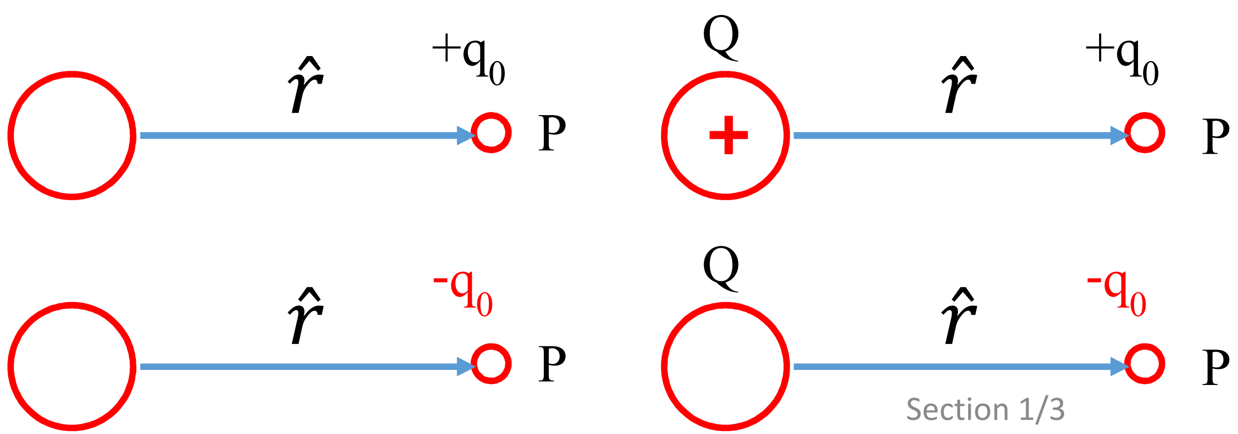
3) $2\sqrt{2}kQ\,\hat{x}$

4) $2\sqrt{2}kQ\,\hat{x} + 2\sqrt{2}kQ\,\hat{y}$

5) ไม่มีข้อใดถูก

ตัวอย่าง 5E: ที่ตำแหน่ง P มีประจุทดสอบมีค่า 2 μC และมีค่าสนามไฟฟ้ามีทิศไปทางขวาขนาด 4×10^{6} N/C ถ้าเปลี่ยนประจุทดสอบเป็น -3 μC   สนามไฟฟ้าที่ตำแหน่ง P จะเป็นอย่างไร

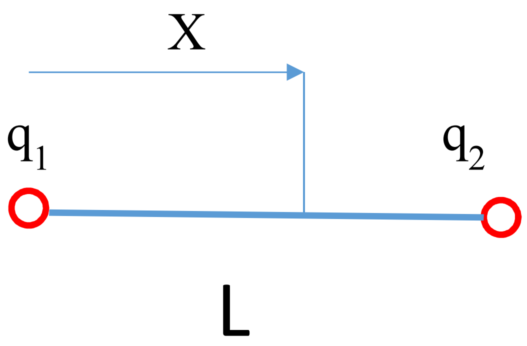
1) มีขนาดเท่าเดิมแต่มีทิศตรงกันข้าม
2) มีขนาดเพิ่มขึ้น และมีทิศตรงกันข้าม
3) มีขนาดลดลงและมีทิศเดิม
4) มีขนาดลดลงแต่มีทิศตรงกันข้าม
5) ไม่เปลี่ยนแปลง



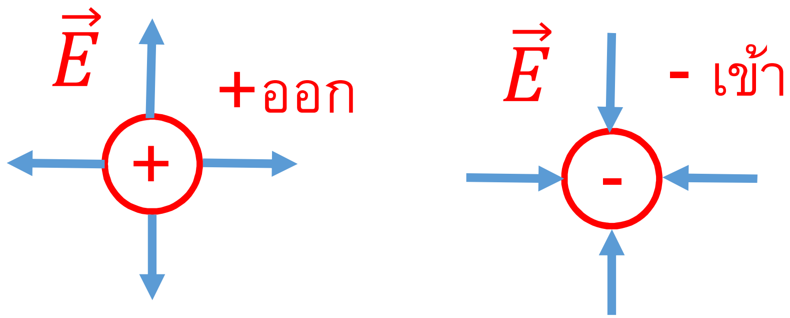
$$\vec{E} = k\frac{Q}{r^2}\,\hat{r}$$

ตัวอย่าง 6E: ที่ตำแหน่ง X มีค่าสนามไฟฟ้าเป็นศูนย์ หาว่า X มีค่าเท่าไร ถ้า L = 10 cm

$q_1 = +q$ และ $q_2 = +2q$

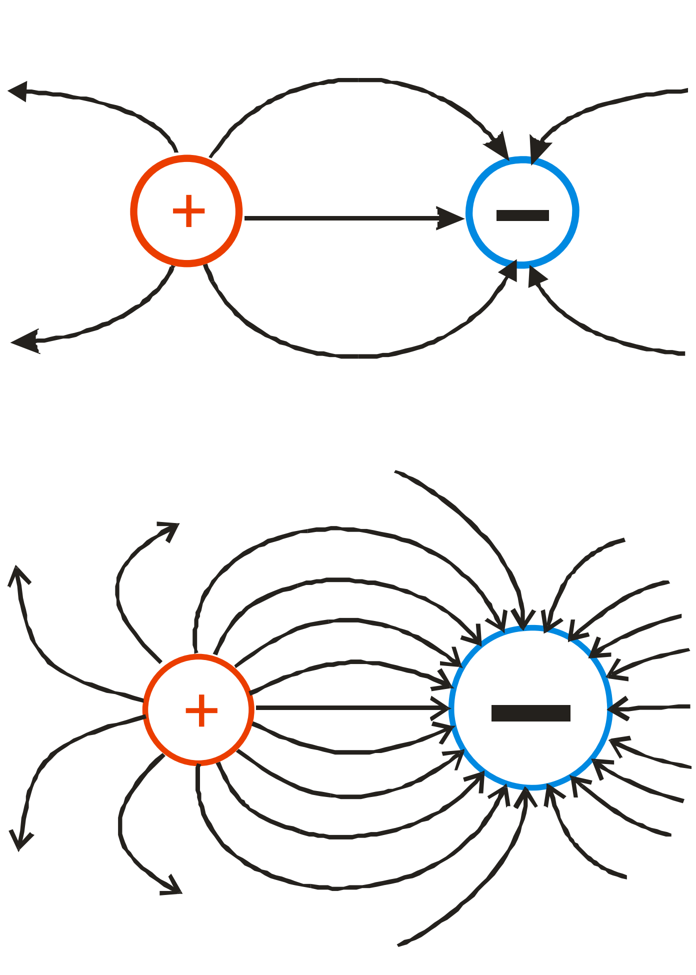


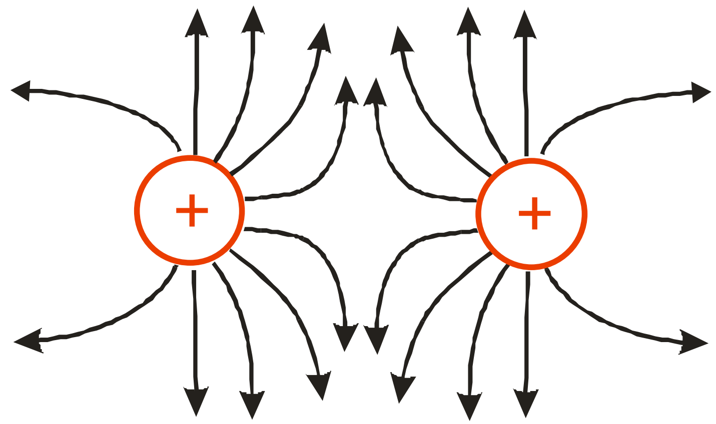
เส้นสนามไฟฟ้า

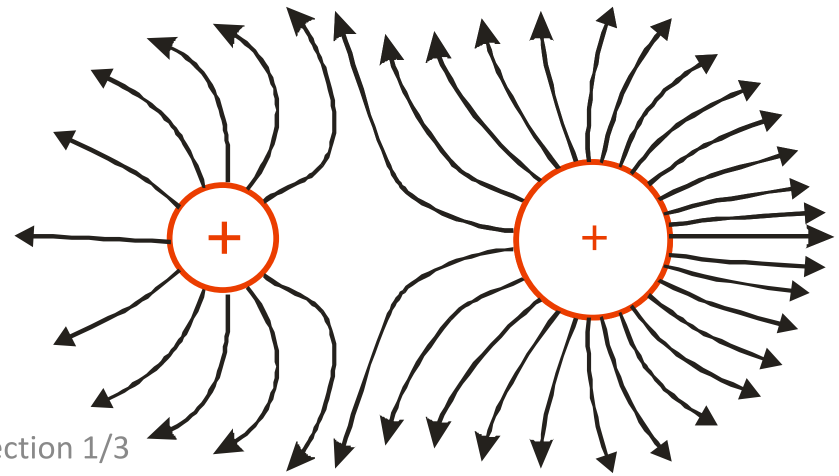


1) เส้นสนามไฟฟ้าต้องไม่ตัดกัน

2) จำนวนเส้นสนามไฟฟ้า N แปรผันตรงกับขนาดของประจุ



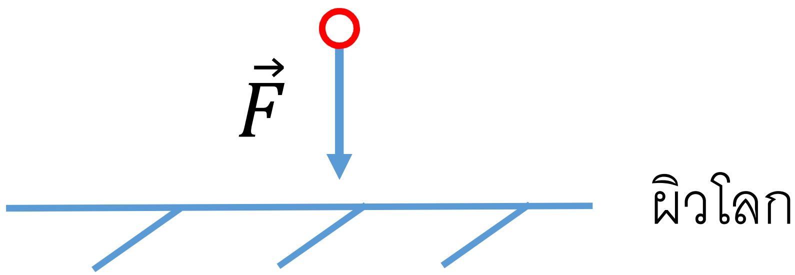




แรงไฟฟ้า และแรงโน้มถ่วง

ตัวอย่าง 7E: ที่บริเวณใกล้กับผิวของโลกมีค่าสนามไฟฟ้าคงตัว มีอนุภาคที่มีประจุ -2.0×10^{-9} C ทำให้มีแรงไฟฟ้ากระทำกับประจุนี้มีทิศชี้ลงสู่ผิวโลก มีขนาดเท่ากับ 3.0×10^{-6} N เนื่องจากสนามไฟฟ้าดังกล่าว

1) หาขนาดของสนามไฟฟ้านี้
2) จงหาขนาดและทิศทางของแรงทางไฟฟ้า ที่กระทำบนโปรตอนตัวหนึ่งที่อยู่ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้านี้
3) แรงโน้มถ่วงของโลก ที่กระทำบนโปรตอน
4) หาอัตราส่วนระหว่างแรงไฟฟ้า กับแรงโน้มถ่วง ที่กระทำบนโปรตอน



มวลของ โปรตอน : m_p = 1.67×10^{-27} kg

$$k = 9 \times 10^9 \, \frac{N.m^2}{C^2}$$

ตัวอย่าง 8E: อิเล็กตรอน และโปรตอนอิสระ อยู่ในสนามไฟฟ้าที่เหมือนกันทุกประการ ข้อใดถูก

1) $\left|F_e\right| = \left|F_p\right|$ ความเร่งของอนุภาคทั้งสองเท่ากัน

2) $\left|F_e\right| < \left|F_p\right|$ และมีทิศตรงกันข้าม

3) $\left|F_e\right| = \left|F_p\right|$ และมีทิศตรงกันข้าม

4) $\left|a_e\right| = \left|a_p\right|$

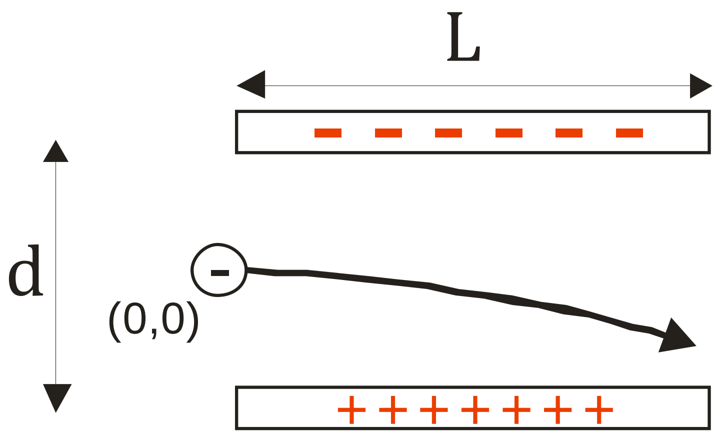
5) ไม่มีข้อถูก

ตัวอย่าง 9E: Milikan Oil Drop experiment ได้ปล่อยหยดน้ำมัน เข้าไประหว่างขั้วไฟฟ้าในระบบสุญญากาศ ซึ่งมีสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอขนาด 5.92×10^{4} N/C มีทิศชี้ลง ถ้าหยดน้ำมันมีมวล 2.93×10^{-15} kg และลอยตัวต้านแรงโน้มถ่วงอยู่ได้ จงหาว่า

1) หยดน้ำมันจะมีประจุมีค่าเท่าใด
2) จำนวนอิเล็กตรอนมีค่ามากกว่าจำนวนโปรตอนเท่าใด

การเคลื่อนที่ของประจุภายใต้สนามไฟฟ้า

อิเล็กตรอนเคลื่อนที่เข้าไปยังสนามไฟฟ้าที่มีค่าสม่ำเสมอ



$$\vec{F} = m\vec{a}$$

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

$$q\vec{E} = m\vec{a}$$

$$-e\vec{E} = m\vec{a}$$

$$-eE\hat{y} = m\vec{a}$$

$$v_{0x} = v_0$$

$$v_{0y} = 0$$

$$\vec{a} = -\frac{eE}{m}\hat{y}$$

$$\vec{v} = \vec{u} + \vec{a}t$$

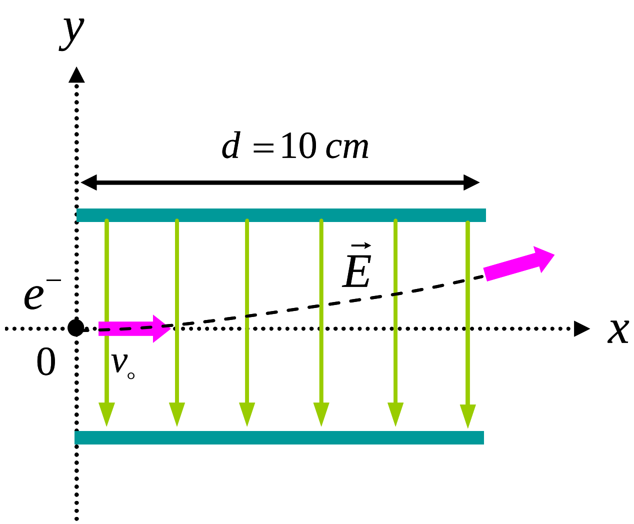
$$S = ut + \frac{1}{2}at^2$$

$$v_x = v_{0x} + a_x \mathrm{t} \qquad v_y = v_{0y} + a_y \mathrm{t}$$

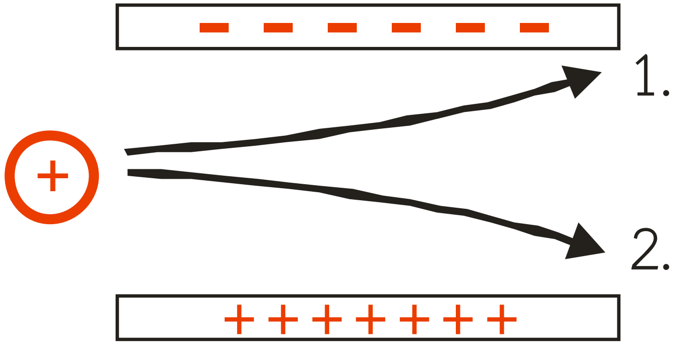
$$x = v_{0x}t + \frac{1}{2}a_x t^2 \qquad y = v_{0y}t + \frac{1}{2}a_y t^2$$

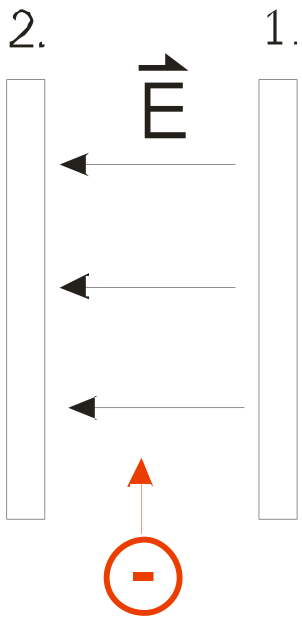
ตัวอย่าง 10E: ในการทดลองหนึ่ง อิเล็กตรอนตัวหนึ่งถูกจัดให้เคลื่อนที่ในแนวระนาบเข้าไปในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอในแนวดิ่งดังรูป กำหนดให้อิเล็กตรอนมีความเร็วต้น $v_0 = 1x10^7$ m/s และสนามไฟฟ้ามีขนาด $E = 9.1x10^3$ N/C

จงหาตำแหน่ง ความเร็ว และ ความเร่งของอิเล็กตรอนหลังจากเคลื่อนที่เข้าไปในสนามไฟฟ้าดังกล่าวแล้วเป็นเวลา 1 ns



การเคลื่อนที่ของประจุภายใต้สนามไฟฟ้า





การกระจายตัวประจุ

$$Q = \sum_i q_i = \int dq$$

$$E = \frac{kQ}{r^2}$$

$$E = \frac{k \int dq}{r^2}$$

A. ประจุกระจายตัวสม่ำเสมอบนปริมาตร = $\frac{Q}{V}$

$$\rho = \frac{dq}{dV} \Rightarrow \mathrm{d}q = \rho\, dV$$

$$Q = \int dq = \int \rho\, dV$$

B. ประจุกระจายตัวสม่ำเสมอบนพื้นที่ = $\frac{Q}{A}$

$$\sigma = \frac{dq}{dA} \Rightarrow \mathrm{d}q = \sigma\, dA$$

$$Q = \int dq = \int \sigma\, dA$$

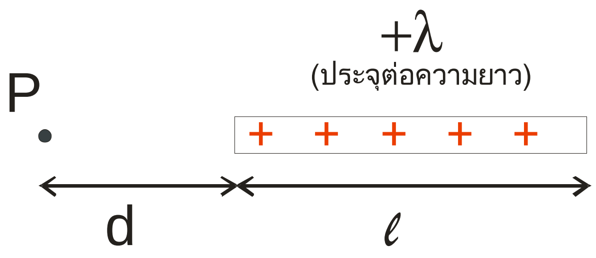
C. ประจุกระจายตัวสม่ำเสมอบนความยาว = $\frac{Q}{l}$

$$\lambda = \frac{dq}{dl} \Rightarrow \mathrm{d}q = \lambda dl$$

$$Q = \int dq = \int \lambda dl$$

การกระจายตัวประจุตลอดความยาว

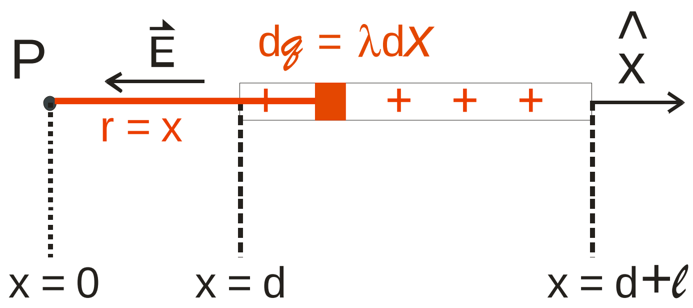
ตัวอย่าง 12A: หาค่า E ที่จุด P เมื่อแท่งประจุบวก มีการกระจายตัวตลอดความยาว l มีค่าความหนาแน่นของประจุ λ (ประจุ ต่อความยาว) โดยมีระยะห่าง d จากแท่งประจุ



$$dq = \lambda\, dx$$

$$E = \frac{k \int dq}{r^2}$$

$$\int_{x=d}^{x=d+l}$$

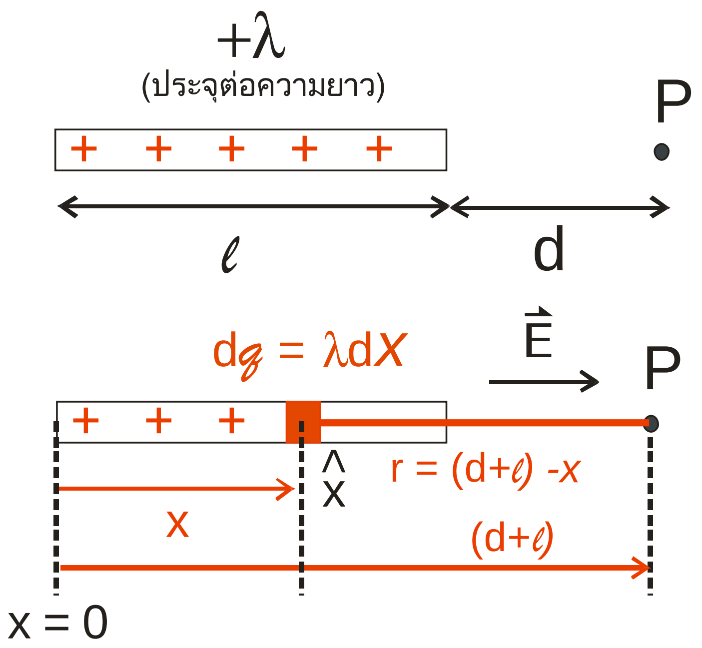


r ตำแหน่งที่ประจุอยู่ จนถึงจุด P : r = x

$$E = \frac{k \int_{x=d}^{x=d+l} \lambda dx}{x^2}$$

การกระจายตัวประจุตลอดความยาว

ตัวอย่าง 12B: หาค่า E ที่จุด P เมื่อแท่งประจุบวก มีการกระจายตัวตลอดความยาว l มีค่าความหนาแน่นของประจุ λ (ประจุ ต่อความยาว) โดยมีระยะห่าง d จากแท่งประจุ



$$E = \frac{k\int dq}{r^2}$$

$$dq = \lambda\, dx$$

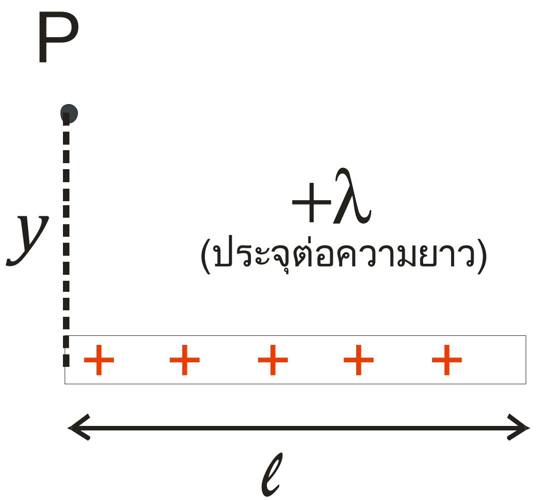
$$\int_{x=0}^{x=l}$$

r ตำแหน่งที่ประจุอยู่ จนถึงจุด P : r = (d+ℓ) - x

$$E = \frac{k\int_{x=0}^{x=l}\lambda dx}{((d+l)-x)^2}$$

การกระจายตัวประจุตลอดความยาว

ตัวอย่าง 12C: หาค่า E ที่จุด P เมื่อแท่งประจุบวก มีการกระจายตัวตลอดความยาว l มีค่าความหนาแน่นของประจุ λ (ประจุ ต่อความยาว) โดยมีระยะห่าง d จากแท่งประจุ

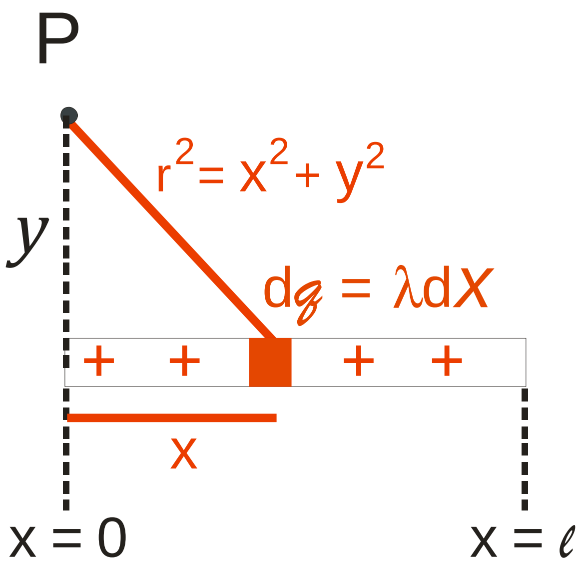


$$E = \frac{k\int dq}{r^2}$$

$$dq = \lambda\, dx$$

$$\int_{x=0}^{x=l}$$

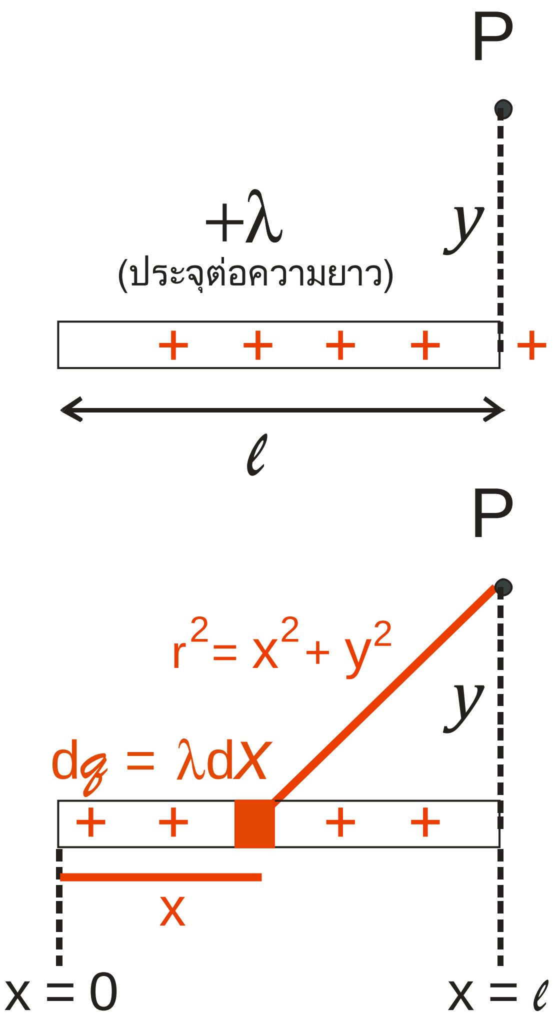
r ตำแหน่งที่ประจุอยู่ จนถึงจุด P : $r^2 = x^2 + y^2$



$$E = \frac{k\int_{x=0}^{x=l} \lambda dx}{x^2 + y^2}$$

การกระจายตัวประจุตลอดความยาว

ตัวอย่าง 12D: หาค่า E ที่จุด P เมื่อแท่งประจุบวก มีการกระจายตัวตลอดความยาว l มีค่าความหนาแน่นของประจุ λ (ประจุ ต่อความยาว) โดยมีระยะห่าง d จากแท่งประจุ



$$E = \frac{k \int dq}{r^2}$$

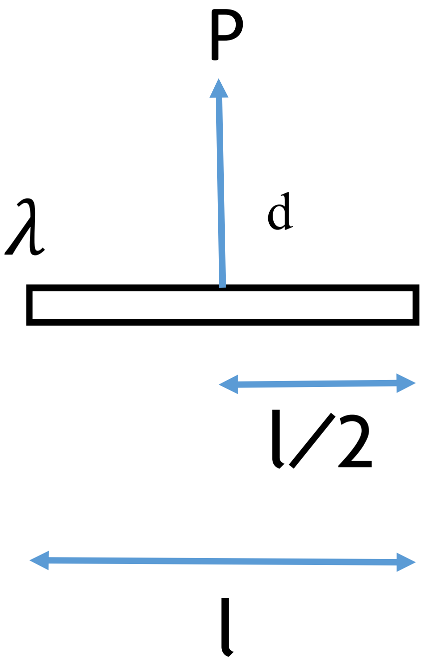
$$dq =$$

$$\int$$

r ตำแหน่งที่ประจุอยู่ จนถึงจุด P :

การกระจายตัวประจุตลอดความยาว

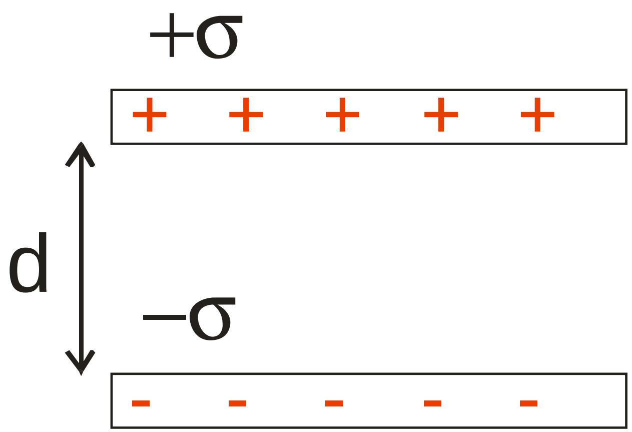
ตัวอย่าง 12E: หาค่า E ที่จุด P เมื่อแท่งประจุบวก มีการกระจายตัวตลอดความยาว l มีค่าความหนาแน่นของประจุ λ (ประจุ ต่อความยาว) โดยมีระยะห่าง d จากแท่งประจุ



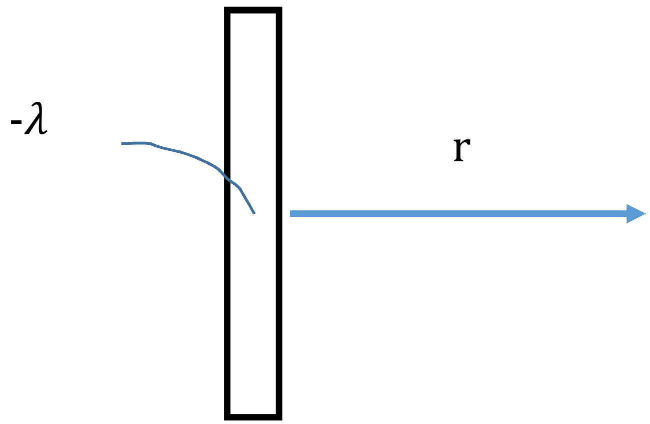
การกระจายตัวประจุบนพื้นที่

ตัวอย่าง 13A: หาค่า E ที่ตำแหน่งใดๆ เมื่อมีค่าความหนาแน่นของประจุ σ (ประจุ ต่อพื้นที่) สม่ำเสมอ

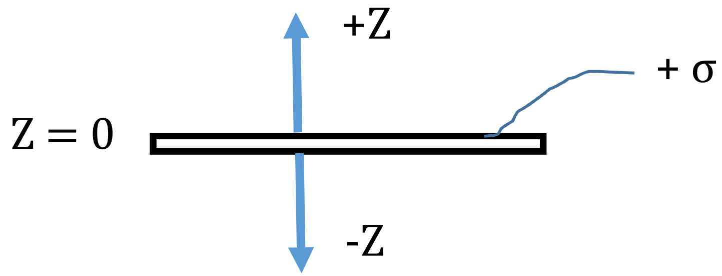
ตัวอย่าง 13B: หาค่า E ที่ตำแหน่งใดๆ เมื่อมีค่าความหนาแน่นของประจุ σ (ประจุ ต่อพื้นที่) สม่ำเสมอ



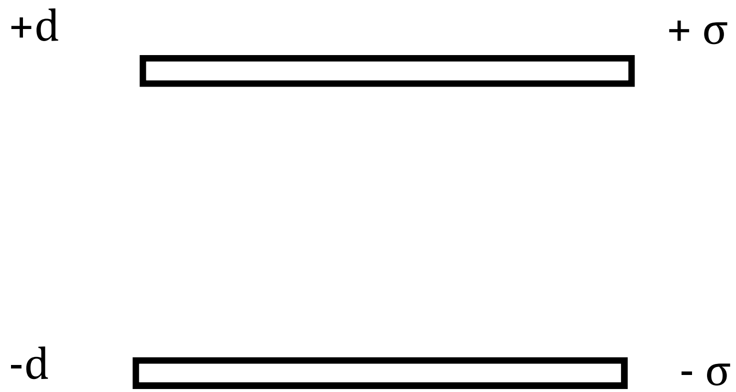
แท่งประจุ มีความหนาแน่นของประจุ $-\lambda$ (C/m) โดยแท่งประจุมีความยาวอนันต์วางตัวในแนวแกน Z อยู่ที่ตำแหน่ง (0, 0) จงหาค่าสนามไฟฟ้าที่ห่างจากแท่งประจุเป็นระยะทาง r



ประจุมีการกระจายบนแผ่นตัวนำที่มีขนาดใหญ่ และบางมาก วางอยู่ที่ตำแหน่ง $Z = 0$ มีความหนาแน่นของประจุ σ (C/m^2) จงหาค่าสนามไฟฟ้าที่ห่างจากแผ่นตัวนำเป็นระยะทาง +Z และ -Z



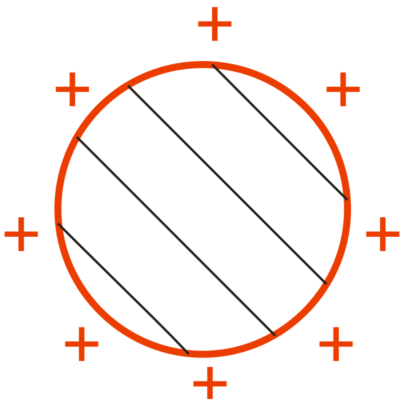
ประจุมีหนาแน่นของประจุ σ (C/m^2) กระจายบนแผ่นตัวนำที่มีขนาดใหญ่ และบางมาก มีรายละเอียดดังรูป จงหาค่าสนามไฟฟ้าที่ห่างจากแผ่นตัวนำเป็นระยะทาง Z>d

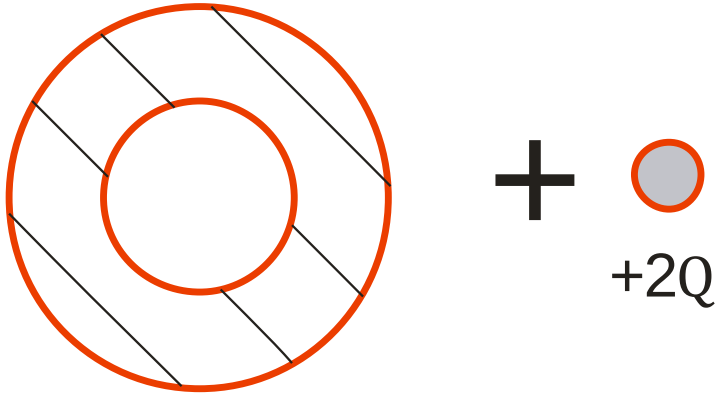


ตัวนำ กับกฎของเกาส์: $\oint \vec{E}\,.\,d\vec{A} = \dfrac{q_{in}}{\epsilon_0}$

ตัวนำ :

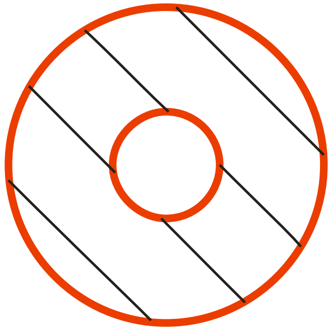
1. ประจุอยู่ที่ผิวเสมอ
2. สนามไฟฟ้าภายในตัวนำ E = 0



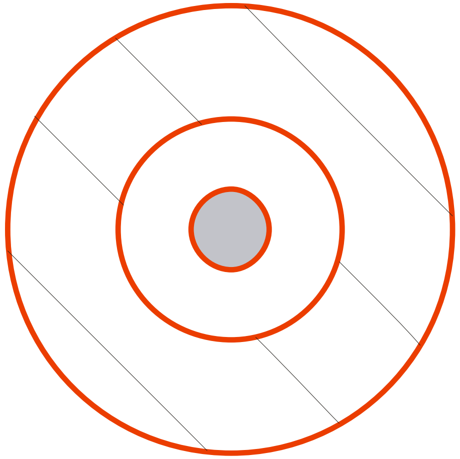


+2Q

+2Q

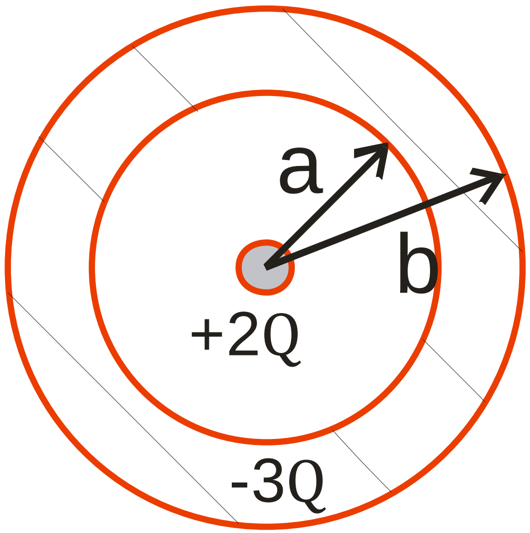


Qรวม = +2Q



ตัวนำ กับกฎของเกาส์: $\oint \vec{E}\,.\,d\vec{A} = \frac{q_{in}}{\epsilon_0}$

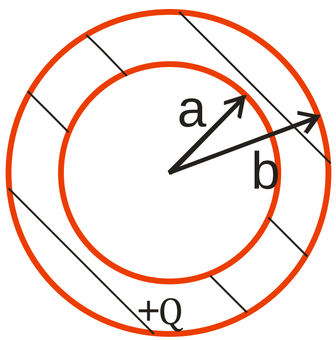
ตัวอย่าง 14A: ทรงกลมตัวนำ กลวงดังรูปมีประจุสุทธิ -3Q รัศมีใน a รัศมีนอก b ถ้านำประจุ +2Q ไปวางไว้ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมทั้งสอง จงหาความหนาแน่นของประจุไฟฟ้าต่อพื้นที่ ณ ผิวด้านในของทรงกลม



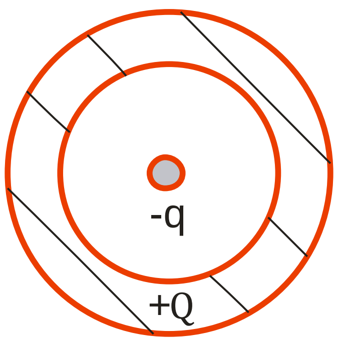
ตัวนำ กับกฎของเกาส์: $\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q_{in}}{\epsilon_0}$

ตัวอย่าง 14B: ทรงกลมตัวนำ กลวงดังรูปรัศมีใน a รัศมีนอก b มีประจุสุทธิ Q = +5 nC กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอบนผิวทรงกลม

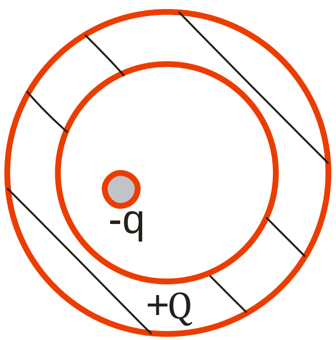
1. ประจุไฟฟ้า มีการกระจายตัวบนผิวตัวนำอย่างไร วาดรูปประกอบ ใน a)
2. เมื่อมีประจุไฟฟ้า –q = -5 nC มาวางไว้ที่ตำแหน่งตรงกึ่งกลางของตัวนำทรงกลม ดังรูป b) ประจุไฟฟ้าจัดเรียงตัวอย่างไร วาดรูปประกอบ
3. ค่าสนามไฟฟ้าที่ระยะ $a < r < b$ มีค่าเท่าไร
4. ค่าสนามไฟฟ้าที่ ระยะ $r > b$ มีค่าเท่าไร
5. ถ้าขยับประจุไฟฟ้า -q ออกจากกึ่งกลางไปวางไว้ที่ตำแหน่ง ดังรูป c) วาดรูปการจัดเรียงตัวของประจุ



a)



b)



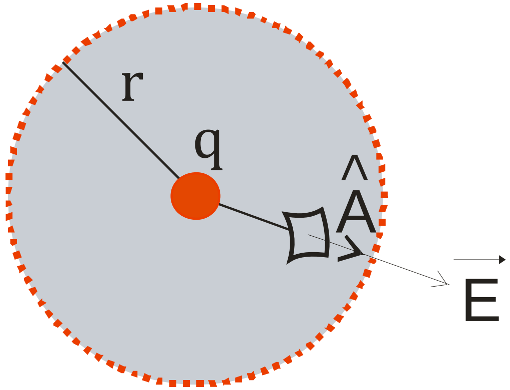
c)

ฟลักซ์ไฟฟ้า (Electric Flux) : Φ_E

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

$$\vec{A} = A\hat{A}$$

ผิวปิดสมมติ



$$\Phi_E = E\oint d\vec{A}$$

$$\oint d\vec{A} = 4\pi r^2$$

$$\Phi_E = E(4\pi r^2)$$

หาค่า E จากกฎของเกาส์ : $\int \vec{E} \cdot d\vec{A} = \dfrac{q_{in}}{\epsilon_0}$

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

$$E = \frac{q}{\epsilon_0 A}$$

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

ฟลักซ์ไฟฟ้า (Electric Flux) : Φ_E

ทดสอบ ถ้าฟลักซ์เป็นศูนย์ ข้อความใดต่อไปนี้เป็นจริงเสมอ

(1) ไม่มีประจุภายในผิวปิด

(2). ประจุสุทธิในผิวปิดเป็นศูนย์

(3) สนามไฟฟ้าเป็นศูนย์ทุกๆ จุดบนผิวปิด

(4). จำนวนเส้นสนามที่เข้าเท่ากับออกจากผิวปิด

ทดสอบ มีประจุ q อยู่ที่จุดศูนย์กลางภายในผิวปิดทรงกลม อธิบายฟลักซ์ที่เกิดขึ้นเมื่อ

(1) ประจุเพิ่มขึ้นเป็น 3 เท่า

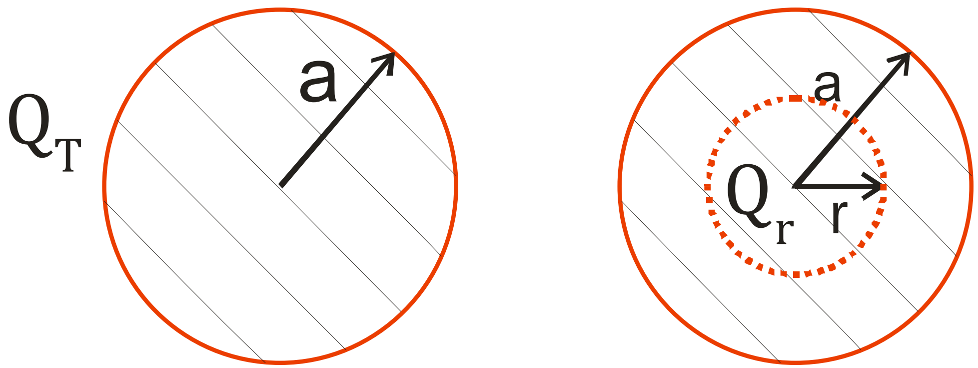
(2) รัศมีของผิวปิดเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า

(3) ผิวปิดเปลี่ยนเป็นรูปลูกบาศก์

(4) ประจุเลื่อนไปอยู่ที่ตำแหน่งอื่นที่ไม่ได้อยู่กึ่งกลาง

ทดสอบ ถ้ามีเส้นสนามพุ่งออกจากผิวเกาส์เซียนมากกว่าเส้นที่พุ่งเข้า จะทราบได้หรือไม่ว่ามีประจุชนิดใดอยู่ภายในผิวปิด

การกระจายตัวของประจุบนพื้นที่ : σ (Q/A)



$$\sigma = \sigma_T = \sigma_r$$

$$\left.\begin{aligned} \sigma_T &= \frac{Q_T}{\pi a^2} \\ \sigma_r &= \frac{Q_r}{\pi r^2} \end{aligned}\right\} \quad \frac{Q_T}{\pi a^2} = \frac{Q_r}{\pi r^2}$$

$$\frac{Q_T}{Q_r} = \frac{a^2}{r^2}$$

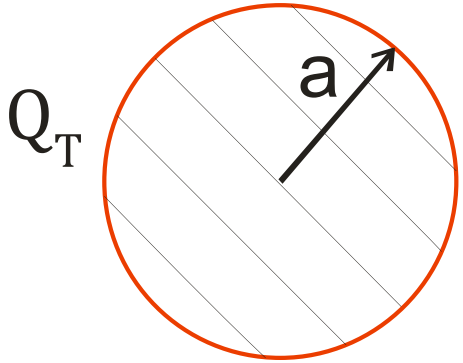
E ที่ระยะ r $(r<a)$: E (r)

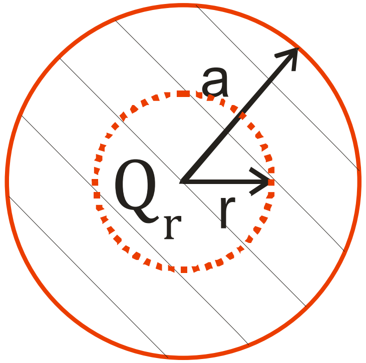
หาค่า E จากกฎของเกาส์ : $\displaystyle\int \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q_{in}}{\epsilon_0}$

$$q_{in} = Q_r = \frac{r^2}{a^2} Q_T \quad \Rightarrow \quad E\,(4\pi r^2) = \frac{Q_r}{\epsilon_0} = \frac{r^2}{\epsilon_0 a^2} Q_T$$

$$E = \frac{1}{4\pi a^2 \epsilon_0} Q_T$$

การกระจายตัวของประจุบนปริมาตร : ρ (Q/Vol)





$$\rho = \rho_T = \rho_r$$

$$\rho_T = \frac{Q_T}{\frac{4}{3}\pi a^3}$$

$$\rho_r = \frac{Q_r}{\frac{4}{3}\pi r^3}$$

$$\frac{Q_T}{\frac{4}{3}\pi a^3} = \frac{Q_r}{\frac{4}{3}\pi r^3}$$

$$\frac{Q_T}{Q_r} = \frac{a^3}{r^3}$$

ค่า E ที่ระยะ r (r<a) : E (r)

หาค่า E จากกฎของเกาส์ : $\int \vec{E} \, . \, d\vec{A} = \frac{q_{in}}{\epsilon_0}$

$$q_{in} = Q_r = \frac{r^3}{a^3} Q_T \quad \Rightarrow \quad E\,(4\pi r^2) = \frac{Q_r}{\epsilon_0} = \frac{r^3}{\epsilon_0 a^3} Q_T$$

$$E(r) = \frac{r}{4\pi\epsilon_0 a^3} Q_T = \frac{k_e r}{a^3} Q_T$$

การกระจายตัวของประจุบนปริมาตร : ρ (Q/Vol)

A. E ที่เกิดภายใน r : E (0<r<a) = $\frac{k_e r}{a^3} Q_T$

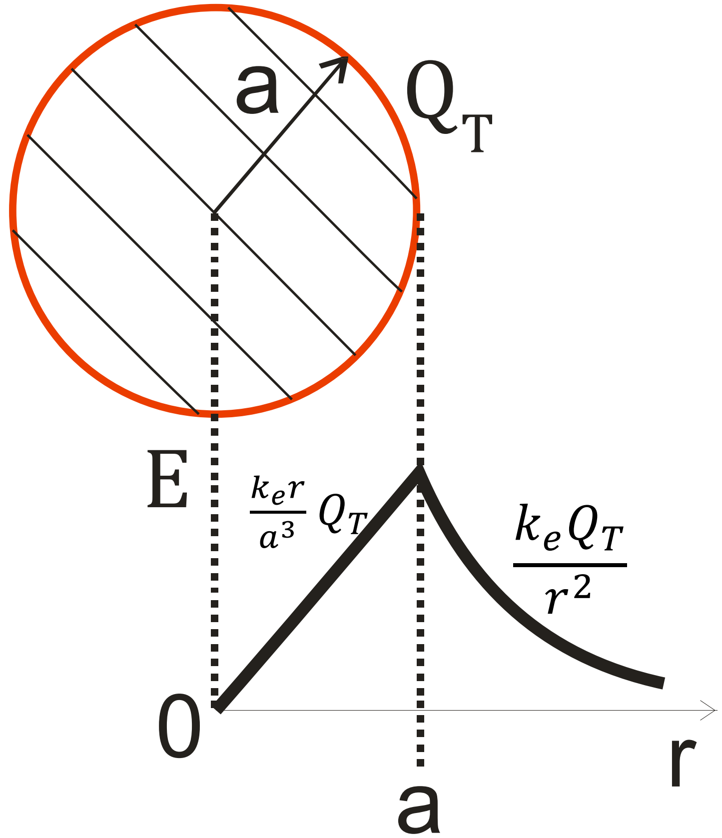
B. E ที่เกิดภายนอก r : E (r>a)

หาค่า E จากกฎของเกาส์ : $\int \vec{E} \, . \, d\vec{A} = \frac{q_{in}}{\epsilon_0}$

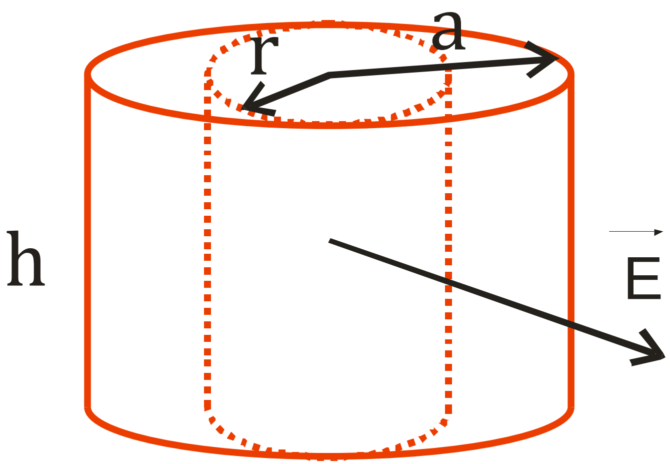
$$q_{in} = Q_T$$

$$A = 4\pi r^2$$

$$E(r) = \frac{Q_T}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{k_e Q_T}{r^2} \quad \text{At r>a}$$



การกระจายตัวของประจุบนปริมาตร : ρ (Q/Vol)



ρ = ประจุ/ปริมาตร

$$\rho = \rho_T = \rho_r$$

$$\left.\begin{array}{l} \rho_T = \dfrac{Q_T}{\pi a^2 h} \\ \rho_r = \dfrac{Q_r}{\pi r^2 h} \end{array}\right\} \quad \frac{Q_T}{\pi a^2 h} = \frac{Q_r}{\pi r^2 h}$$

$$\frac{Q_T}{Q_r} = \frac{a^2}{r^2}$$

E (r) โดย r < a:

หาค่า E จากกฎของเกาส์ : $\int \vec{E} \,.\, d\vec{A} = \frac{q_{in}}{\epsilon_0}$

$$q_{in} = Q_r = \frac{r^2}{a^2} Q_T \quad \Rightarrow \quad E\,(2\pi r h) = \frac{Q_r}{\epsilon_0} = \frac{r^2}{\epsilon_0 a^2} Q_T$$

At r <a, $E(r) = \frac{r^2}{\epsilon_0 a^2} Q_T \frac{1}{2\pi r h}$