

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)



รูปภาพจาก : www.pixabay.com

บทที่ 13 ไฟฟ้าสถิต

หลายปรากฏการณ์ในธรรมชาติเกิดขึ้นจากอิทธิพลของประจุไฟฟ้า ในบทนี้จะอธิบายการเคลื่อนที่ของวัตถุเนื่องจากอิทธิพลของประจุไฟฟ้าภายใต้ขอบเขตที่ประจุไฟฟ้ายังไม่มี การเคลื่อนที่ และยังอธิบายถึงหลักการทำงานของตัวเก็บประจุไฟฟ้าซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้ความรู้ทางด้านไฟฟ้าสถิต

การเหนี่ยวนำประจุไฟฟ้า (Electric Charge Induction)



สมบัติของประจุไฟฟ้า

1. ประจุไฟฟ้ามีสองชนิด คือ ประจุบวกและประจุลบ เมื่อประจุต่างกันมาพบกันจะมีแรงดึงดูดเข้าหากัน และเมื่อประจุชนิดเดียวกันมาพบกันจะมีแรงผลักรอกออกจากกัน
2. ประจุไฟฟ้าอนุรักษ์ในระบบโดดเดี่ยว (Isolated System)
3. ขนาดของประจุไฟฟ้าเป็นค่าไม่ต่อเนื่อง (เป็นจำนวนเท่าของขนาดประจุอิเล็กตรอน)



ปรากฏการณ์ไตรโบอิเล็กทริก (Triboelectric Effect)

เมื่อวัตถุเสียดสีกันจะทำให้เกิดการถ่ายโอนอิเล็กตรอน ซึ่งวัสดุแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการรับและเสียอิเล็กตรอนแตกต่างกัน ดังรูปด้านล่าง

สูญเสียอิเล็กตรอนได้ง่าย

สะสมอิเล็กตรอนได้ดี



อากาศ ผิวหนังมนุษย์ แก้ว ไบรอน ผ้าฝ้าย กระดาษ เหล็ก ไม้ ทองแดง ทองคำ ยางธรรมชาติ เทฟลอน



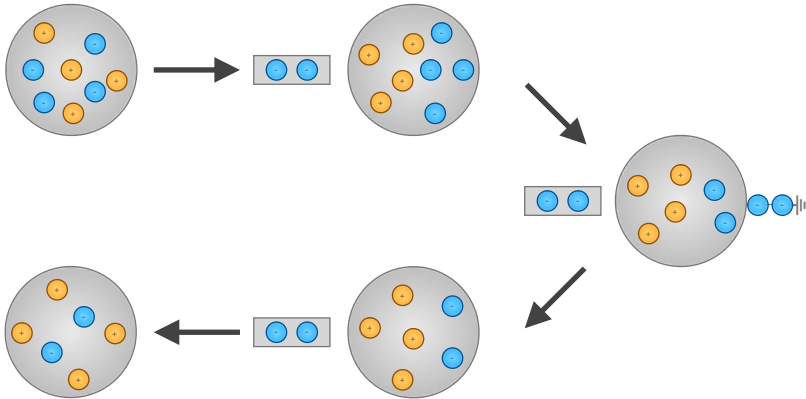
เช่น เมื่อนำแก้วกับกระดาษมาขัดถูกัน แก้วมีแนวโน้มจะสูญเสียอิเล็กตรอนไปยังกระดาษ ทำให้แก้วมีประจุเป็นบวก และกระดาษมีประจุเป็นลบ แก้วกับกระดาษจึงมีแรงดึงดูดเข้าหากัน

เมื่อนำกระดาษกับไม้มาขัดถูกัน กระดาษมีแนวโน้มจะสูญเสียอิเล็กตรอนไปยังไม้ ทำให้กระดาษมีประจุเป็นบวก และไม้มีประจุเป็นลบ กระดาษกับไม้จึงมีแรงดึงดูดเข้าหากัน

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

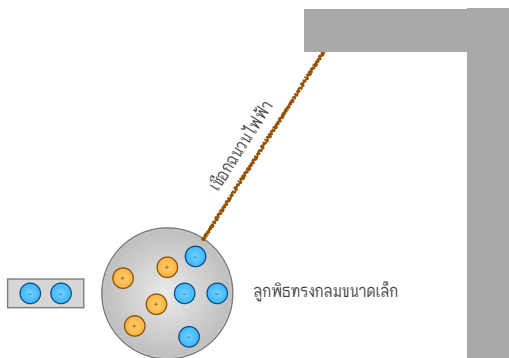


การชาร์จประจุโดยการเหนี่ยวนำ



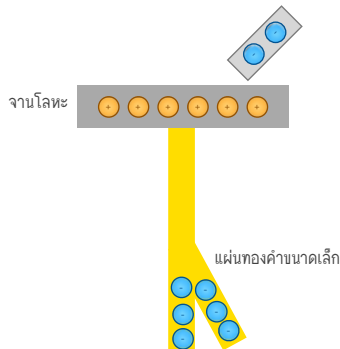
อิเล็กโตรสโคป (Electroscope)

อิเล็กโตรสโคปแบบพืธบอล (Pith Ball Electroscope)



ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

อิเล็กโตรสโคปแบบแผ่นทองคำ (Gold-Leaf Electroscope)



ข้อสังเกต

วัตถุที่มีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า คือ วัตถุที่มีประจุบวกและประจุลบเท่ากัน
เราสามารถทำให้วัตถุที่เป็นกลางทางไฟฟ้าเป็นวัตถุมีประจุไฟฟ้าได้ โดยการถ่ายโอนประจุลบเข้าหรือออกจากวัตถุนั้น

เมื่อต่อสายดิน (Ground ; $\oplus$) กับวัตถุที่มีประจุไฟฟ้า อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่จนกว่าวัตถุนั้นจะเป็นกลางทางไฟฟ้า

Problem 13.1

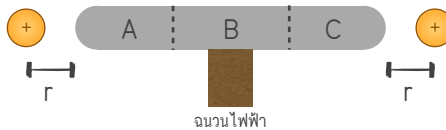
นำแผ่นพีวีซีที่มีประจุไฟฟ้าลบเข้าใกล้ลูกฟิวของอิเล็กโตรสโคป ปรากฏว่าลูกฟิวเคลื่อนที่เข้าหาแผ่นพีวีซี ลูกฟิวดังกล่าวมีประจุไฟฟ้าชนิดใด?

Answer : อาจมีประจุเป็นบวกหรือเป็นกลางทางไฟฟ้าก็ได้

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.2

แท่งโลหะทรงกระบอกยาวปลายมนเป็นกลางทางไฟฟ้าตั้งอยู่บนฐานซึ่งเป็นฉนวนไฟฟ้า เมื่อนำประจุบวกขนาดเท่ากันมาใกล้ปลายทั้งสองข้างของแท่งโลหะพร้อมกัน โดยมีระยะห่างจากปลายทั้งสองเท่ากัน ดังรูปด้านล่าง การกระจายของประจุในบริเวณ A, B และ C ของทรงกระบอกเป็นชนิดใด?



Answer : บริเวณ A เป็นประจุลบ, บริเวณ B เป็นประจุบวก
และบริเวณ C เป็นประจุลบ

Problem 13.3

ตัวนำไฟฟ้า A และ B แขนด้วยเชือกซึ่งเป็นฉนวนและผิวตัวนำไฟฟ้าทั้งสองสัมผัสกันอยู่ เมื่อนำวัตถุ C ซึ่งมีประจุไฟฟ้าเป็นบวกเข้ามาใกล้ตัวนำไฟฟ้า A หลังจากนั้นได้แยกตัวนำไฟฟ้า A และ B ออกจากกันโดยที่ยังไม่ได้ขยับวัตถุ C และเมื่อนำวัตถุ C ออห่างจากตัวนำไฟฟ้า A และ B ไกลมากๆ ตัวนำไฟฟ้าทั้งสองจะมีประจุไฟฟ้าชนิดใด?

Answer : A เป็นประจุลบ และ B เป็นประจุบวก

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.4

นำแท่งวัตถุซึ่งมีประจุลบมาวางใกล้ๆ ทรงกลมตัวนำ A, B, C และ D ที่มีขนาดเท่ากัน ดังรูปด้านล่าง หลังจากนั้นเลื่อนทรงกลม B และ C มาสัมผัสกันสักครู่ แล้วแยกทรงกลม B และ C ออกมาไว้ที่เดิม ต่อจากนั้นนำแท่งวัตถุที่มีประจุลบออก ทรงกลมตัวนำ A, B, C และ D จะมีประจุชนิดใด?



Answer : A เป็นกลางทางไฟฟ้า, B เป็นประจุบวก, C เป็นประจุลบ
และ D เป็นกลางทางไฟฟ้า

Problem 13.5

เมื่อหย่อนทรงกลมตัวนำที่มีประจุบวกลงไปในที่ตำแหน่งกลางของกระป๋องโลหะ ในขณะที่ทรงกลมตัวนำได้เอียงไปแตะผนังด้านในของกระป๋องโลหะดังกล่าว แล้วจึงกลับมาอยู่ในตำแหน่งกลางกระป๋องโลหะดังเดิม หลังจากเหตุการณ์ดังกล่าว ประจุบนทรงกลมตัวนำและกระป๋องโลหะเป็นประจุชนิดใด?

Answer : ทรงกลมตัวนำมีประจุเป็นบวก และกระป๋องโลหะมีประจุเป็นบวก

Problem 13.6

ในขณะที่อิเล็กโตรสโคปกำลังทำงานอยู่ เมื่อนำวัตถุ A ซึ่งเป็นประจุบวกเข้ามาใกล้จานโลหะ ประจุไฟฟ้าของอิเล็กโตรสโคปเป็นประจุชนิดใด?

Answer : ถ้าอิเล็กโตรสโคปกางเพิ่มขึ้น แสดงว่าอิเล็กโตรสโคปเป็นประจุบวก
แต่ถ้าอิเล็กโตรสโคปกางน้อยลง แสดงว่าอิเล็กโตรสโคปเป็นประจุลบ

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.7

ในการทดลองการเหนี่ยวนำประจุไฟฟ้า โดยใช้อิเล็กโตรสโคปแบบแผ่นทองคำ ถ้าอิเล็กโตรสโคปดังกล่าวไม่ได้เป็นกลางทางไฟฟ้า เมื่อมีการขยับแท่งประจุเข้ามาใกล้ระหว่างแผ่นทองคำมากขึ้นเรื่อยๆ แผ่นทองคำจะกางออกมากขึ้น หรือน้อยลง?

Answer : แผ่นทองคำจะกางออกน้อยลง (หุบลงเข้าหากัน)

Problem 13.8

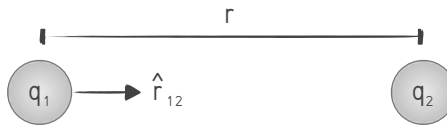
เมื่อให้ประจุอิสระแก่จานโลหะของอิเล็กโตรสโคปแบบแผ่นทองคำ แล้วนำแท่งประจุเข้ามาใกล้จานโลหะดังกล่าว ปรากฏว่าแผ่นทองคำหุบเข้าหากัน เมื่อนำแท่งประจุขยับเข้าใกล้จานโลหะมากขึ้น ปรากฏว่าแผ่นทองคำกางยิ่งหุบเข้าหากันมากขึ้น จานโลหะและแท่งประจุเป็นประจุชนิดใด?

Answer : จานโลหะมีประจุชนิดเดียวกับแท่งโลหะ แต่เป็นประจุชนิดใดก็ได้

กฎของคูลอมบ์ (Coulomb's Law)



กฎคูลอมบ์ (Coulomb's Law)



$$\vec{F}_{12} = \frac{kq_1q_2}{r^2} \hat{r}_{12}$$

$\vec{F}_{12}$ คือ แรงไฟฟ้าที่จุดประจุ q_1 กระทำกับจุดประจุ q_2

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 8.99 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$$

ϵ_0 คือ ค่าสภาพยอมได้ในสุญญากาศ (Permittivity of Free Space $\approx 8.8542 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N}\cdot\text{m}^2$)

q_1 และ q_2 คือ ประจุไฟฟ้าของจุดประจุ

r คือ ระยะห่างระหว่างจุดประจุ q_1 กับ q_2

$\hat{r}_{12}$ คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยซึ่งชี้จาก q_1 ไปหา q_2

ข้อสังเกต

ประจุไฟฟ้าที่ใช้คำนวณในกฎของคูลอมบ์ต้องเป็นจุดประจุเท่านั้น

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.9

จุดประจุสองประจุ แต่ละประจุมีขนาด $1.0 \mu\text{C}$ เมื่ออยู่ห่างกันเป็นระยะ 50 cm แรงไฟฟ้าระหว่างประจุทั้งสองมีขนาดเป็นเท่าใด?

Answer : 36 mN

Problem 13.10

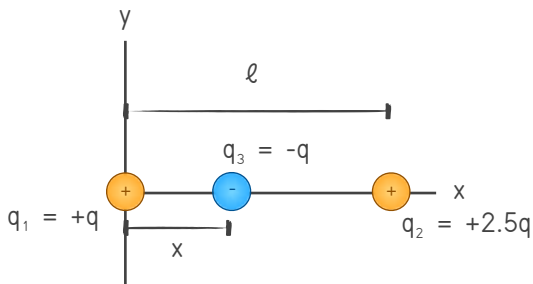
จุดประจุขนาด $5.0 \mu\text{C}$ และ $-3.0 \mu\text{C}$ อยู่ห่างกันเป็นระยะ 20 cm ถ้านำประจุทดสอบขนาด $1.0 \mu\text{C}$ มาวางที่จุดกึ่งกลางระหว่างประจุทั้งสอง ขนาดและทิศทางของแรงไฟฟ้าที่กระทำกับประจุทดสอบเป็นเท่าใด?

Answer : 7.2 N และมีทิศชี้จาก q_1 ไปยัง q_2

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.11

จากรูปด้านล่าง จงหาตำแหน่ง x ของประจุ q_3 เพื่อให้แรงลัพธ์ที่กระทำกับจุดประจุ q_3 มีขนาดเท่ากับศูนย์?



Answer : $0.387l$

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.12

จุดประจุ q_1 ขนาด $-1.0 \mu\text{C}$ และประจุ q_2 ขนาด $10 \mu\text{C}$ มวล 2.0 g ประจุทั้งสองอยู่นิ่งบนรางลื่นเอียงทำมุม 30° กับแนวระดับ ถ้าค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกเท่ากับ 10 m/s^2 ประจุทั้งสองจะอยู่ห่างกันเท่าใด?

Answer : 3.0 m

Problem 13.13

จุดประจุ q_1 และ q_2 ต่างมีมวล m และประจุ $+q$ เมื่อวางจุดประจุ q_1 ที่พื้นและวางจุดประจุ q_2 ให้ลอยนิ่งอยู่เหนือจุดประจุ q_1 เป็นระยะ r จงหาค่า q ในรูปของ m , r , k และ g ?

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Answer : $r\sqrt{\frac{mg}{k}}$

Problem 13.14

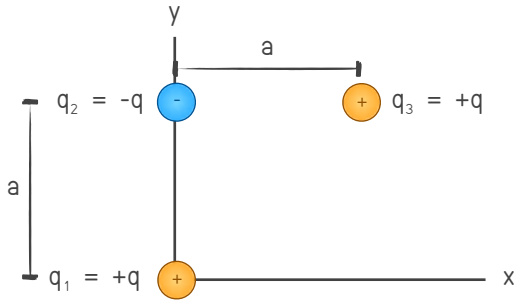
จุดประจุ q_1 มวล 3 เท่าของประจุ q_2 ถูกแขวนในแนวตั้ง โดยมีจุดประจุ q_2 ลอย
 นิ่งใต้จุดประจุ q_1 และจุดประจุทั้งสองห่างกันเป็นระยะ d แรงดึงในเส้นเชือก
 ดังกล่าวนี้น่าจะมีขนาดเท่าใด?

Answer : $\frac{4kq_1q_2}{d^2}$

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.15

จากรูปด้านล่าง จงหาขนาดแรงไฟฟ้าที่กระทำกับประจุ q_3 ?

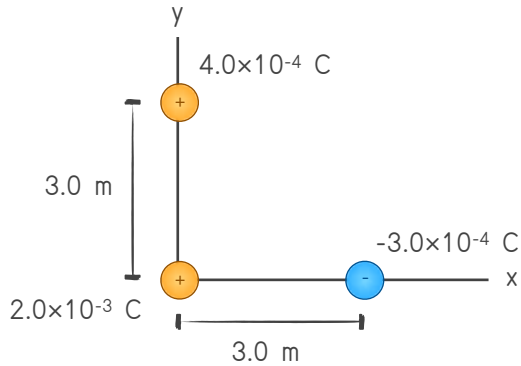


Answer : $0.737 \frac{kq^2}{a^2}$

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.16

จากรูปด้านล่าง จงหาขนาดแรงไฟฟ้าที่กระทำกับประจุ $2 \times 10^{-3} \text{ C}$?

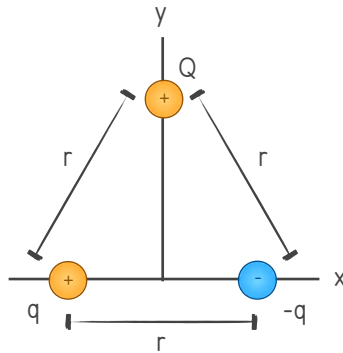


Answer : 1.0 kN

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.17

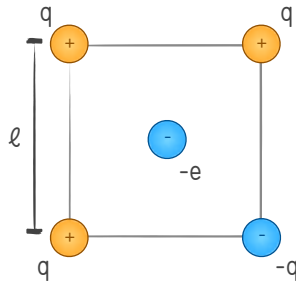
จากรูปด้านล่าง จงหาขนาดแรงไฟฟ้าที่กระทำกับประจุ Q?



Answer : $\frac{kqQ}{r^2}$

Problem 13.18

จากรูปด้านล่าง เมื่อนำอิเล็กตรอนประจุ $-e$ มวล m มาไว้ตรงกลางของรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส อิเล็กตรอนดังกล่าวจะมีความเร่งขนาดเท่าใด?

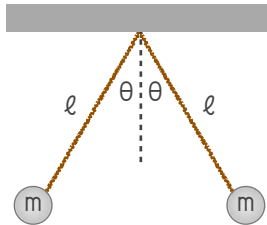


Answer : $\frac{4kqe}{m\ell^2}$

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.19

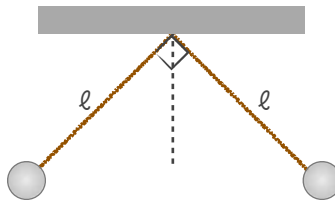
ประจุทรงกลมขนาดเล็กเหมือนกันมวล m อยู่อย่างสมดุลดังรูปด้านล่าง จงหาขนาดของประจุไฟฟ้าของทรงกลมดังกล่าว?



$$\text{Answer : } 2l\sin\theta\sqrt{\frac{mg\tan\theta}{k}}$$

Problem 13.20

ประจุทรงกลมขนาดเล็กเหมือนกันแต่ละลูกมีประจุขนาด q และอยู่อย่างสมดุลดังรูปด้านล่าง จงหาขนาดมวลของทรงกลมดังกล่าว?



$$\text{Answer : } \frac{kq^2}{2gl^2}$$

สนามไฟฟ้า (The Electric Field)



สนามไฟฟ้า (The Electric Field)

สนามไฟฟ้า (The Electric Field ; $\vec{E}$ [N/C]) คือ แรงไฟฟ้าที่กระทำกับจุดประจุทดสอบ ($\vec{F}_0$) ต่อขนาดของประจุทดสอบนั้น (q_0)

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_0}{q_0}$$

การหาแรงไฟฟ้าที่กระทำกับประจุ q ซึ่งอยู่ในสนามไฟฟ้า $\vec{E}$

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

สนามไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุ q



จาก

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_0}{q_0}$$

$$\vec{E} = \frac{kqq_0\hat{r}}{q_0r^2}$$

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

r คือ ระยะห่างระหว่างจุดประจุ q กับตำแหน่งของสนามไฟฟ้า

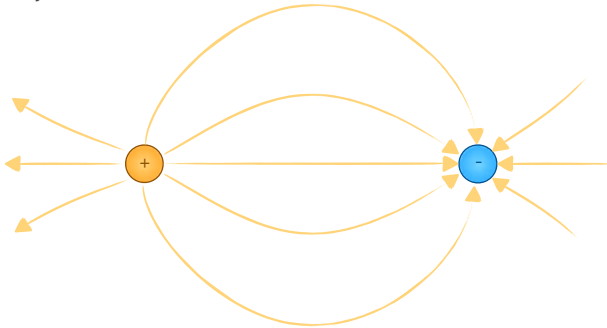
$\hat{r}$ คือ เวกเตอร์ 1 หน่วยที่ชี้จากจุดประจุ q ไปยังตำแหน่งของสนามไฟฟ้า

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)



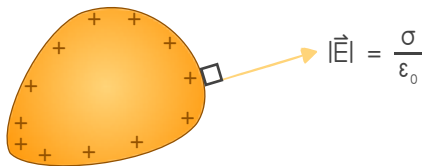
เส้นสนามไฟฟ้า (Electric Field Lines)

1. เส้นสนามไฟฟ้ามีทิศพุ่งออกจากประจุบวก และพุ่งเข้าหาประจุลบ
2. เส้นของสนามไฟฟ้าจะต้องไม่ตัดกัน
3. ผลรวมของเส้นสนามไฟฟ้าที่ตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดจะแปรผันตามกับขนาดของประจุไฟฟ้า ($\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} \propto Q$)



สมบัติของตัวนำในสมดุลไฟฟ้าสถิต

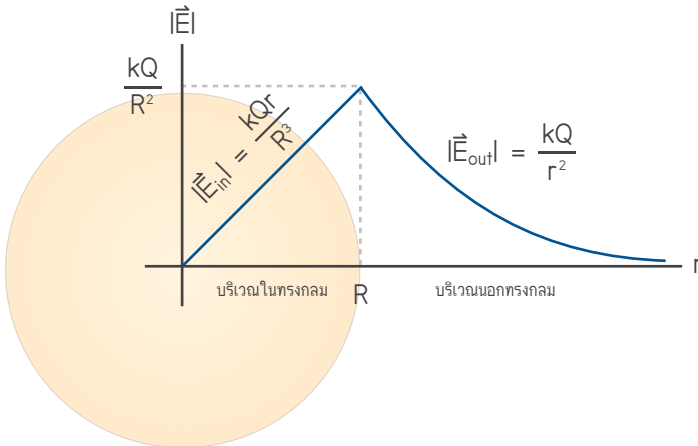
1. สนามไฟฟ้าภายในตัวนำไฟฟ้ามีขนาดเป็นศูนย์
2. ประจุกระจายอยู่ที่ผิวของตัวนำ
3. สนามไฟฟ้าภายนอกตัวนำมีทิศตั้งฉากกับผิวของตัวนำ และมีขนาดเท่ากับ $\frac{\sigma}{\epsilon_0}$
4. ตัวนำซึ่งมีความโค้งไม่สม่ำเสมอ ความหนาแน่นของประจุจะมีขนาดมากในบริเวณที่รัศมีความโค้งน้อย



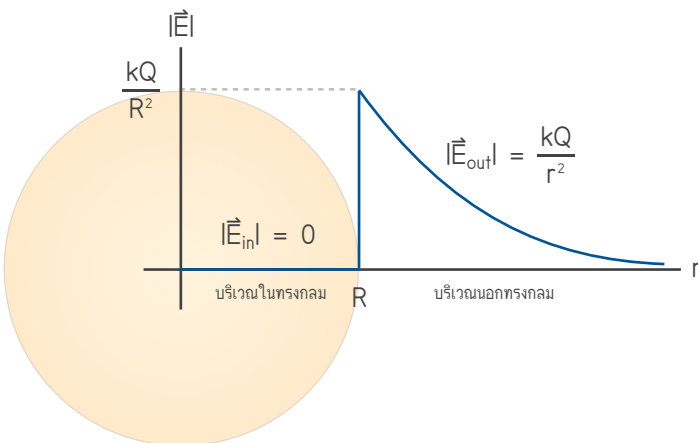
ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)



สนามไฟฟ้าเนื่องจากฉนวนทรงกลมรัศมี R ประจุ Q กระจายสม่ำเสมอ



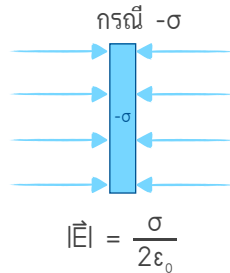
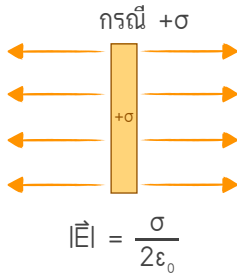
สนามไฟฟ้าเนื่องจากตัวนำทรงกลมรัศมี R ประจุ Q



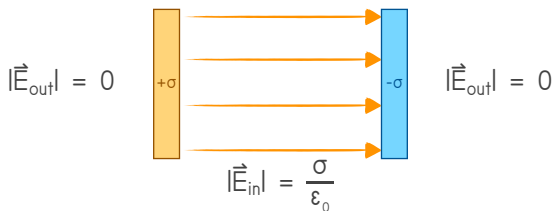
ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)



สนามไฟฟ้าเนื่องจากแผ่นประจุใหญ่มากกระจายสม่ำเสมอ ความหนาแน่นของประจุเชิงพื้นที่ $+\sigma$ และ $-\sigma$



สนามไฟฟ้าเนื่องจากแผ่นคู่ขนานใหญ่มากๆ ประจุกระจายสม่ำเสมอ ความหนาแน่นของประจุเชิงพื้นที่ $+\sigma$ และ $-\sigma$



ข้อสังเกต

เมื่อประจุไฟฟ้าอยู่ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าจะมีแรงกระทำต่อประจุไฟฟ้านั้นในทิศทางเดียวกับสนามไฟฟ้าหรือทิศทางตรงข้ามกับสนามไฟฟ้าก็ได้ขึ้นอยู่กับชนิดของประจุไฟฟ้า

เส้นสนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งหนึ่งแสดงเฉพาะทิศทางของสนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งนั้น ส่วนขนาดของสนามไฟฟ้าพิจารณาจากความหนาแน่นของเส้นสนามไฟฟ้าในบริเวณที่พิจารณา

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.21

จุดที่ 1, จุดที่ 2 และประจุ q อยู่บนแกน x ถ้าจุดที่ 1 ห่างจากประจุ q เป็นระยะ $2x$ และจุดที่ 2 ห่างจากประจุ q เป็นระยะ $5x$ ถ้าสนามไฟฟ้าบนจุดที่ 1 มีขนาด 5 N/C สนามไฟฟ้าบนจุดที่ 2 จะมีขนาดเท่าใด?

Answer : 0.8 N/C

Problem 13.22

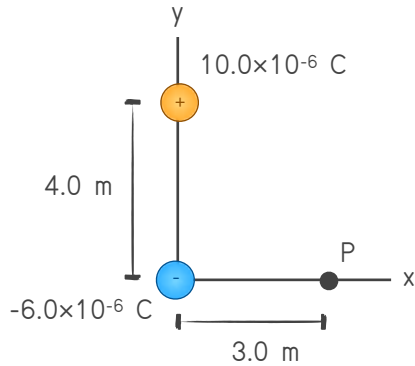
เมื่อประจุ Q อยู่ที่ตำแหน่ง $(-0.1 \text{ m}, 0 \text{ m})$ ปรากฏว่ามีสนามไฟฟ้าที่จุดกำเนิดขนาด 0.5 N/C ถ้านำประจุ $-Q$ มาไว้ที่ตำแหน่ง $(0.1 \text{ m}, 0 \text{ m})$ สนามไฟฟ้าที่จุดกำเนิดจะมีขนาดเป็นเท่าใด?

Answer : 1.0 N/C

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.23

จากรูปด้านล่าง จงหาขนาดสนามไฟฟ้าที่จุด P?

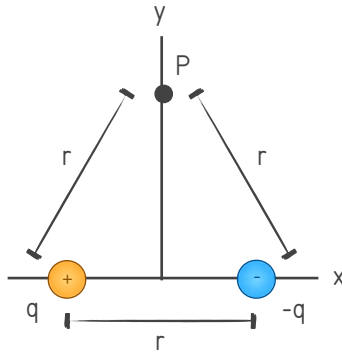


Answer : 4.8 kN/C

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.24 Electric Dipole

จากรูปด้านล่าง จงหาขนาดสนามไฟฟ้าที่จุด P?

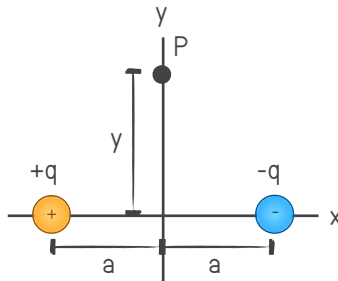


Answer : $\frac{kq}{r^2}$

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.25 Electric Dipole

ประจุ $+q$ และ $-q$ ต่างอยู่บนแกน x ห่างจากจุดกำเนิดเป็นระยะ a จงหาสนามไฟฟ้าที่จุด P ซึ่งอยู่บนแกน y ห่างจากจุดกำเนิดเป็นระยะ y ดังรูปด้านล่าง และแสดงว่าที่ระยะไกลมากๆ ($y \gg a$) สนามไฟฟ้าจะเท่ากับ $\frac{2kqa}{y^3}\hat{i}$?

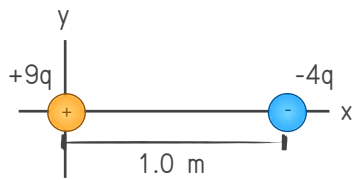


$$\text{Answer : } \frac{2kqa}{(y^2 + a^2)^{3/2}}\hat{i}$$

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.26

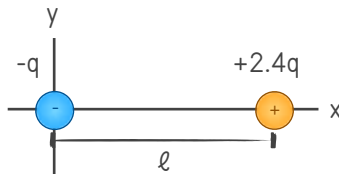
จากรูปด้านล่าง จงหาตำแหน่งบนแนวแกน x ที่สนามไฟฟ้าเท่ากับศูนย์?



ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Answer : 3.0 m

Problem 13.27

จากรูปด้านล่าง จงหาตำแหน่งบนแนวแกน x ที่สนามไฟฟ้าเท่ากับศูนย์?

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Answer : -1.82ℓ

Problem 13.28

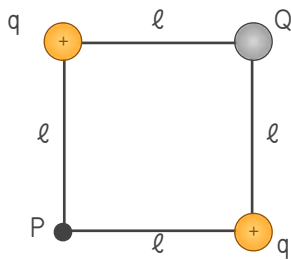
จุดประจุ q_1 อยู่ที่ตำแหน่ง $(0, 0)$ จุดประจุ q_2 อยู่ที่ตำแหน่ง $(\ell, 0)$ ทำให้สนามไฟฟ้าที่ตำแหน่ง $(2\ell, 0)$ เท่ากับศูนย์ จงหาขนาดประจุไฟฟ้า $q_1 : q_2$?

Answer : 4

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.29

จากรูปด้านล่าง ถ้าสนามไฟฟ้าที่จุด P เท่ากับศูนย์ ประจุ Q ต้องเป็นเท่าใด?

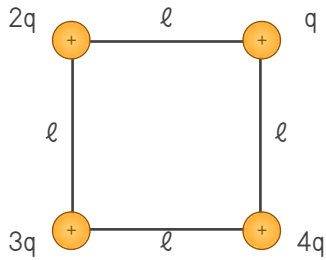


Answer : $-2\sqrt{2}q$

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.30

จากรูปด้านล่าง จงหาสนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งที่จุดประจุ q และหาแรงไฟฟ้าที่กระทำกับจุดประจุ q ?



$$\text{Answer : } (3.06\hat{i} + 5.06\hat{j})\frac{kq}{l^2} \text{ and } (3.06\hat{i} + 5.06\hat{j})\frac{kq^2}{l^2}$$

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.31

ทรงกลมตัวนำประจุ q มวล m ขนาดเล็กมากๆแขวนด้วยเชือกเบา อยู่ภายใต้สนามไฟฟ้าขนาด E ในทิศขนานกับพื้นโลก ทำให้เชือกเอียงทำมุม 45° กับแนวดิ่ง จงหามวลของทรงกลมดังกล่าว?

Answer : $\frac{qE}{g}$

Problem 13.32 Challenge

ระบบประจุ N ตัว แต่ละตัวมีประจุเท่ากัน และประจุรวมทั้งระบบเท่ากับ Q ถ้าประจุเรียงตัวกันเป็นเส้นแนวราบรัศมี R บนระนาบ yz โดยมีจุดศูนย์กลางวงกลมอยู่ที่จุดกำเนิดพอดี จงหาสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งใดๆ บนแกน $+x$ ซึ่งเกิดจากระบบประจุดังกล่าวในรูปของ Q, R และ x และจงแสดงว่าที่ระยะไกลมากๆ บนแกน x สนามไฟฟ้าของระบบประจุดังกล่าวจะสามารถลดรูปสมการเป็น $\frac{kQ}{x^2} \hat{i}$ ซึ่งเท่ากับสนามไฟฟ้าของจุดประจุ Q ?

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

$$\text{Answer : } \frac{kQx}{(R^2 + x^2)^{3/2}} \hat{i} \quad \#$$

Problem 13.33

ตัวนำทรงกลมรัศมี 5.0 cm มีสนามไฟฟ้าสูงสุด 1.8 kN/C ตัวนำดังกล่าวมีประจุไฟฟ้าขนาดเท่าใด มีสนามไฟฟ้าที่ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของตัวนำที่ระยะ 2.0 cm และ 10 cm เป็นเท่าใด?

Answer : 0.50 nC, 0 N/C and 0.45 kN/C

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.34

อนุภาคมวล m ประจุ q อยู่ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ E ถ้าเริ่มต้นอนุภาคดังกล่าวอยู่นิ่ง เมื่อเวลาผ่านไป t อนุภาคดังกล่าวจะมีความเร็วขนาดเท่าใด?

$$\text{Answer : } \frac{qEt}{m}$$

Problem 13.35

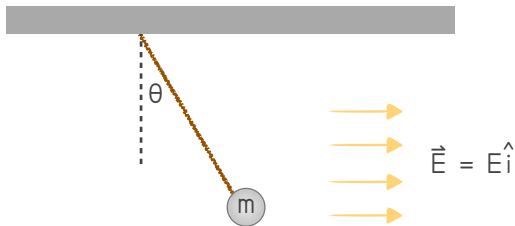
อนุภาคมวล m ประจุ q อยู่ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอโดยมีทิศตามแนวดิ่ง ถ้าอนุภาคดังกล่าวเคลื่อนที่ขึ้นตามแนวดิ่งจากหยุดนิ่งเป็นระยะทาง ℓ ภายในเวลา t จงหาขนาดและทิศทางของสนามไฟฟ้าดังกล่าว?

$$\text{Answer : } \frac{m}{q} \left(g + \frac{2\ell}{t^2} \right) \text{ และมีทิศเดียวกับสนามโน้มถ่วง}$$

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.36

วัตถุมวล m อยู่ในสนามไฟฟ้าคงที่ขนาด E ดังรูปด้านล่าง จงหาขนาดประจุของวัตถุ ดังกล่าว?



Answer : $\frac{mg \tan \theta}{E}$

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.37

อิเล็กตรอนประจุ $-e$ มวล m เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว v ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอระหว่างแผ่นประจุคู่ขนาน โดยแผ่นขนานห่างกัน d ถ้าเริ่มต้นอิเล็กตรอนอยู่กึ่งกลางระหว่างแผ่นคู่ขนานดังกล่าวพอดี ปรากฏว่าอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ตามแนวแผ่นคู่ขนานได้ระยะทาง x จึงเข้าชนกับแผ่นประจุแผ่นหนึ่งของแผ่นคู่ขนาน สนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นประจุคู่ขนานมีขนาดเท่าใด?

$$\text{Answer : } \frac{mdv^2}{ex^2}$$

Problem 13.38

อนุภาคมวล m ประจุ $+q$ เคลื่อนที่ในแนวแกน x ด้วยความเร็วขนาด v เข้าสู่สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอขนาด E ซึ่งมีทิศ $+y$ ถ้าไม่คิดถึงแรงโน้มถ่วง เมื่ออนุภาคดังกล่าวเคลื่อนที่ไปในแกน x เป็นระยะ ℓ อนุภาคดังกล่าวจะเบนออกจากแนวเดิมในแกน y เป็นระยะเท่าใด?

Answer : $\frac{qE\ell^2}{2mv^2}$

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.39

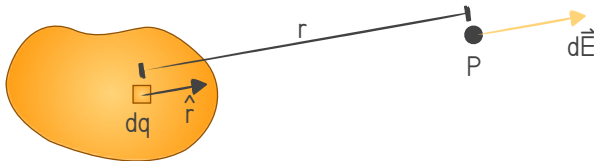
ยิงอนุภาคมวล m ประจุ $-q$ ด้วยพลังงานจลน์ K ทำมุม θ กับแกน $+x$ เข้าไปยังสนามไฟฟ้าขนาด E ในทิศ $+y$ ประจุดังกล่าวจะเคลื่อนที่โค้งกับมายังในระดับค่า y เดิมที่เริ่มเคลื่อนที่เข้าสู่สนามไฟฟ้าที่ระยะห่างเท่าใด?

$$\text{Answer : } \frac{4K\sin\theta\cos\theta}{qE}$$

การหาสนามไฟฟ้าของประจุที่กระจายตัวต่อเนื่อง (Electric Field of a Continuous Charge Distribution) [Additional]



การหาสนามไฟฟ้าของประจุที่กระจายตัวต่อเนื่อง
แนวคิดของการหาสนามไฟฟ้าของประจุที่กระจายตัวต่อเนื่อง คือ การแบ่งประจุออกเป็นจุดประจุเล็กๆ แล้วใช้สมการสนามไฟฟ้าของจุดประจุในหัวข้อก่อนหน้านี้มาหาสนามไฟฟ้าของแต่ละจุดประจุ แล้วทำการรวมเวกเตอร์สนามไฟฟ้าของทุกๆ จุดประจุ ซึ่งสามารถทำได้ตามขั้นตอนดังนี้



1) แบ่งพิจารณาจุดประจุเล็ก dq และหาสนามไฟฟ้าเล็กๆ เนื่องจากจุดประจุดังกล่าว

โดยใช้สมการ $d\vec{E} = \frac{k dq}{r^2} \hat{r}$ หรือ $d\vec{E} = \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r^2} \hat{r}$

2) ลองเปลี่ยนตำแหน่งจุดประจุ dq ในวัตถุ เพื่อพิจารณาว่าอะไรเป็นค่าคงที่ และอะไรเป็นตัวแปร

3) จัดรูปตัวแปรให้พร้อมสำหรับการอินทิเกรต

ในขั้นตอนนี้อาจจะต้องใช้ความหนาแน่นเข้ามาช่วยในการอินทิเกรต ดังนี้

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

ในกรณีวัตถุ 1 มิติ ความหนาแน่นเชิงเส้น คือ $\lambda = \frac{\text{ประจุ}}{\text{ความยาว}} = \frac{dq}{d\ell}$

ในกรณีวัตถุ 2 มิติ ความหนาแน่นเชิงพื้นที่ คือ $\sigma = \frac{\text{ประจุ}}{\text{พื้นที่}} = \frac{dq}{dA}$

ในกรณีวัตถุ 3 มิติ ความหนาแน่นเชิงปริมาตร คือ $\rho = \frac{\text{ประจุ}}{\text{ปริมาตร}} = \frac{dq}{dV}$

4) ทำการอินทิเกรตเพื่อหาสนามไฟฟ้าลัพท์ $\vec{E} = \int d\vec{E}$ โดยใส่ขอบเขตการอินทิเกรตให้ครบทุกๆ จุดประจุ

5) จัดสมการให้อยู่ในรูปของตัวแปรที่โจทย์กำหนดมาเท่านั้น
ในขั้นตอนนี้อาจต้องแปลงความหนาแน่นกลับมายุ่ในรูปของประจุ ถ้าวัตถุมีประจุกระจายตัวสม่ำเสมอ หรือความหนาแน่นคงที่ จะได้

ในกรณีวัตถุ 1 มิติ $\lambda = \frac{\text{ประจุทั้งหมด}}{\text{ความยาวทั้งหมด}} = \frac{Q}{\ell}$

ในกรณีวัตถุ 2 มิติ $\sigma = \frac{\text{ประจุทั้งหมด}}{\text{พื้นที่ทั้งหมด}} = \frac{Q}{A}$

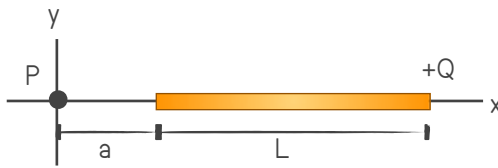
ในกรณีวัตถุ 3 มิติ $\rho = \frac{\text{ประจุทั้งหมด}}{\text{ปริมาตรทั้งหมด}} = \frac{Q}{V}$

6) ตรวจสอบคำตอบที่ได้ โดยมีแนวคิดที่ว่าตำแหน่งไกลมากๆ เราจะสามารถมองวัตถุเป็นจุดได้ ดังนั้นที่ตำแหน่งไกลจากวัตถุมากๆ สนามไฟฟ้าจะต้องลดรูปสมการมาเป็นสมการสนามไฟฟ้าของจุดประจุ $\vec{E} = \frac{kQ}{r^2} \hat{r}$ หรือ สนามไฟฟ้าจะมีค่าน้อยมากจนเข้าใกล้ศูนย์

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.40 Challenge

จากรูปด้านล่าง แท่งประจุยาว L มีประจุกระจายสม่ำเสมอ Q (ความหนาแน่นคงที่) จงหาสนามไฟฟ้าที่จุด P ?

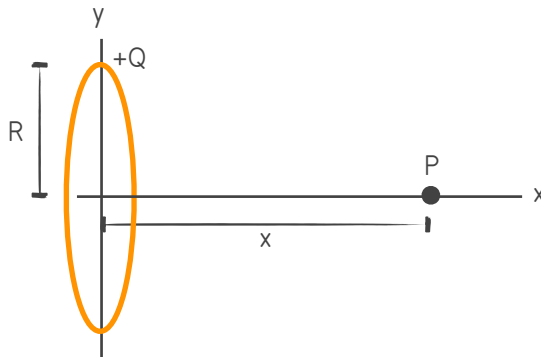


ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

$$\text{Answer : } \frac{kQ}{a(a + L)} (-\hat{i})$$

Problem 13.41 Challenge

จากรูปด้านล่าง วงแหวนรัศมี R มีประจุ $+Q$ กระจายสม่ำเสมอ จงหาสนามไฟฟ้าที่จุด P ?

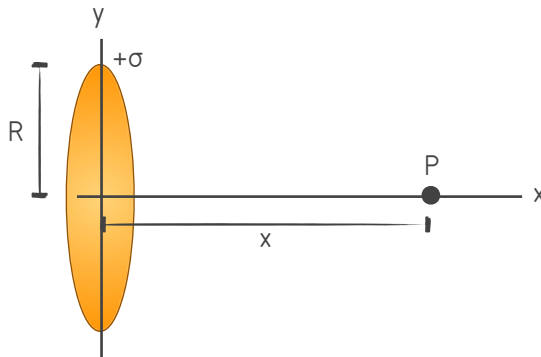


ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

$$\text{Answer : } \frac{kQx}{(R^2 + x^2)^{3/2}} \hat{i}$$

Problem 13.42 Challenge

จากรูปด้านล่าง จานวงกลมรัศมี R มีความหนาแน่นของประจุเชิงพื้นที่คงที่เท่ากับ $+\sigma$ จงหาสนามไฟฟ้าที่จุด P ?



ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

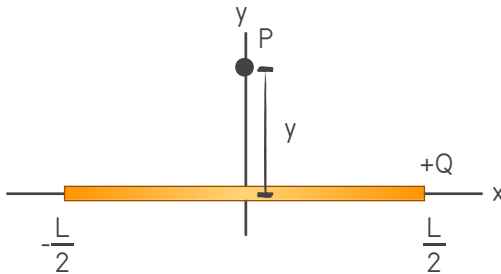
ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

$$\text{Answer : } \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left(1 - \frac{x}{\sqrt{R^2 + x^2}} \right) \hat{i}$$

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.43 Challenge

แท่งประจุยาว L มีประจุ $+Q$ กระจายสม่ำเสมอ โดยปลายของแท่งประจุอยู่ที่ตำแหน่ง $-\frac{L}{2}$ และ $\frac{L}{2}$ ดังรูปด้านล่าง (Hint : $\int \frac{dx}{(a^2 + x^2)^{3/2}} = \frac{x}{a^2 \sqrt{a^2 + x^2}} + c$ เมื่อ a และ c คือ ค่าคงที่) จงหาสนามไฟฟ้าที่จุด P ?



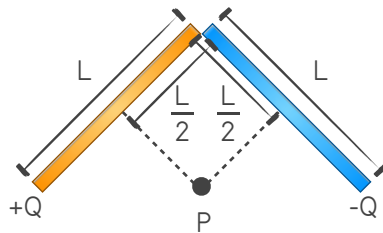
ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

$$\text{Answer : } \frac{kQ}{y\sqrt{y^2 + (L/2)^2}} \hat{j}$$

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.44 Challenge

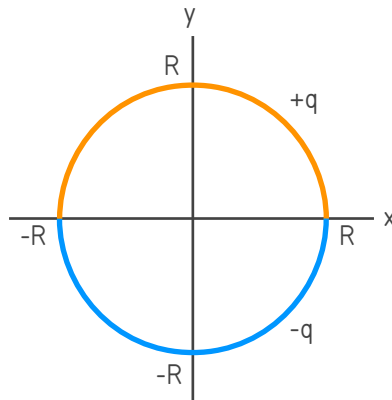
แท่งประจุยาว L มีประจุ $+Q$ กระจายสม่ำเสมอ และแท่งประจุยาว L มีประจุ $-Q$ กระจายสม่ำเสมอ วางตัวดังรูปด้านล่าง จงหาสนามไฟฟ้าที่จุด P ?



Answer : $\frac{4kQ}{L^2} \hat{i}$

Problem 13.45 Challenge

ครึ่งวงกลมรัศมี R มีประจุไฟฟ้า $+q$ กระจายสม่ำเสมอ ถูกนำมาต่อกับครึ่งวงกลมรัศมี R มีประจุไฟฟ้า $-q$ กระจายสม่ำเสมอ ดังรูปด้านล่าง จงหาสนามไฟฟ้าที่จุดศูนย์กลางของวงกลม?

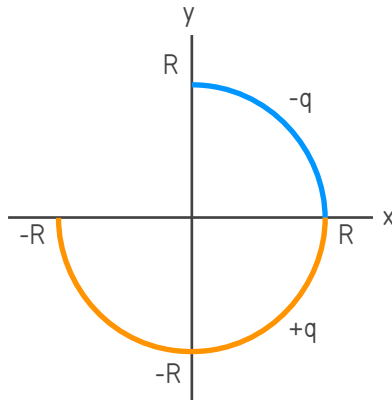


ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

$$\text{Answer : } -\frac{4kq}{\pi R^2} \hat{j}$$

Problem 13.46 Challenge

เส้นลวดประจุกระจายสม่ำเสมอวางต่อกัน ดังรูปด้านล่าง จงหาสนามไฟฟ้าที่จุดศูนย์กลางของวงกลม?



ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

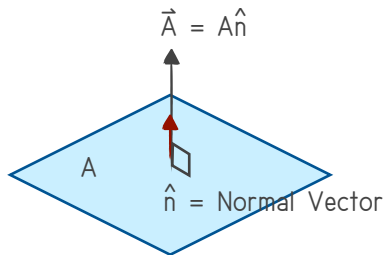
$$\text{Answer : } \frac{2kq}{\pi R^2}(\hat{i} + 2\hat{j})$$

ฟลักซ์ไฟฟ้า (Electric Flux)



ฟลักซ์ไฟฟ้า (Electric Flux)

เวกเตอร์พื้นที่ (Vector Area ; $\vec{A}$ [m^2]) คือ เวกเตอร์ซึ่งมีขนาดเท่ากับพื้นที่และมีทิศทางตั้งฉากกับระนาบของพื้นที่นั้น



ฟลักซ์ไฟฟ้า (Electric Flux ; ϕ_E [$\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}$]) คือ ขนาดสนามไฟฟ้าที่ไหลผ่านตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัด ณ เวลานั้น

ในกรณีที่สนามไฟฟ้าคงที่บนพื้นที่หน้าตัด

$$\phi_E = \vec{E} \cdot \vec{A}$$

$\vec{E}$ คือ สนามไฟฟ้า

$\vec{A}$ คือ เวกเตอร์ของพื้นที่หน้าตัด

ในกรณีที่สนามไฟฟ้าไม่คงที่บนพื้นที่หน้าตัด

$$\phi_E = \int \vec{E} \cdot d\vec{A}$$

$d\vec{A}$ คือ เวกเตอร์ของพื้นที่หน้าตัดในส่วนเล็กๆ



ทบทวนผลคูณเชิงสเกลาร์

$$\vec{A} = A_x \hat{i} + A_y \hat{j} + A_z \hat{k} \rightarrow |\vec{A}|^2 = A_x^2 + A_y^2 + A_z^2$$

$$\vec{B} = B_x \hat{i} + B_y \hat{j} + B_z \hat{k} \rightarrow |\vec{B}|^2 = B_x^2 + B_y^2 + B_z^2$$

(Note: The angle θ is shown between the two vectors $\vec{A}$ and $\vec{B}$ in the diagram.)

จากรูปด้านบนเราสามารถหา $\vec{A} \cdot \vec{B}$ ได้จาก

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = |\vec{A}| |\vec{B}| \cos \theta = A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z$$

· (Dot) คือ สัญลักษณ์ของการคูณเวกเตอร์แบบผลลัพท์เป็นสเกลาร์ และนิยมเรียกผลคูณเชิงสเกลาร์ว่า “Dot Product”

สมบัติบางข้อของการ dot เวกเตอร์

สมบัติการสลับที่

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = \vec{B} \cdot \vec{A}$$

สมบัติการแจกแจง

$$\vec{C} \cdot (\vec{A} + \vec{B}) = \vec{C} \cdot \vec{A} + \vec{C} \cdot \vec{B}$$

เวกเตอร์ dot ตัวเอง

$$\vec{A} \cdot \vec{A} = A_x A_x + A_y A_y + A_z A_z$$

$$\vec{A} \cdot \vec{A} = A_x^2 + A_y^2 + A_z^2$$

$$\vec{A} \cdot \vec{A} = |\vec{A}|^2$$

การ dot ระหว่างเวกเตอร์หนึ่งหน่วย

การ dot กับตัวเอง

$$\hat{i} \cdot \hat{i} = \hat{j} \cdot \hat{j} = \hat{k} \cdot \hat{k} = 1$$

การ dot กับเวกเตอร์หนึ่งหน่วยอื่น

$$\hat{i} \cdot \hat{j} = \hat{j} \cdot \hat{k} = \hat{k} \cdot \hat{i} = 0$$

Problem 13.47

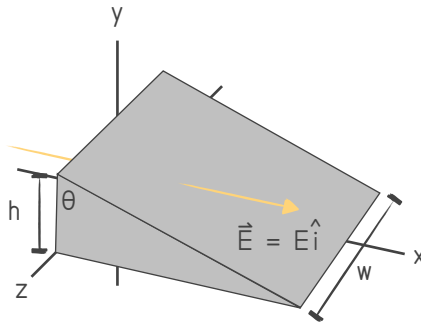
สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ $a\hat{i} + b\hat{j}$ พุ่งผ่านพื้นที่ขนาด A จงหาฟลักซ์ไฟฟ้าที่ผ่านพื้นดังกล่าว

- a) พื้นที่อยู่บนระนาบ xy ?
- b) พื้นที่อยู่บนระนาบ yz ?
- c) พื้นที่อยู่บนระนาบ zx ?

Answer : a) 0, b) $\pm aA$ and c) $\pm bA$

Problem 13.48

กล่องสามเหลี่ยมปิดทุกด้าน วางในสนามไฟฟ้าขนาด E ซึ่งมีทิศทางในแนวระดับ ดังรูปด้านล่าง จงหาฟลักซ์ไฟฟ้าที่ผ่านพื้นผิวทั้งหมดของกล่องดังกล่าว?

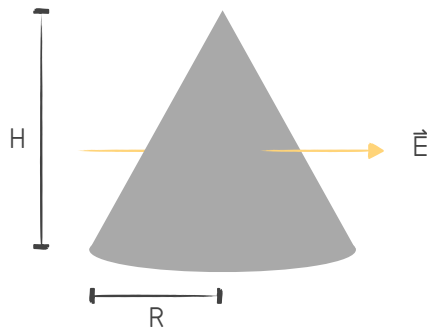


ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Answer : 0

Problem 13.49

ฉนวนกรวยรัศมี R สูง H วางอยู่ในสนามไฟฟ้าขนาด E คงที่ดังรูปด้านล่าง จงหาฟลักซ์ไฟฟ้าที่พุ่งออกมาจากฉนวนกรวยดังกล่าว?

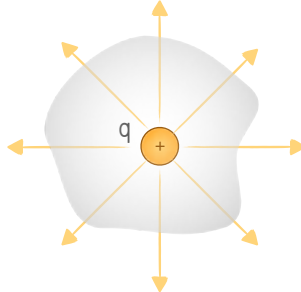


Answer : EHR

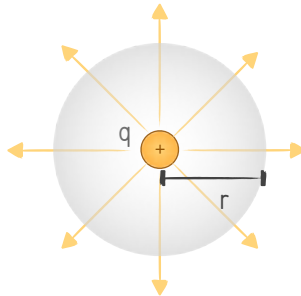
ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

กฎของเกาส์ (Gauss's Law) [Additional]

พิจารณาฟลักซ์ไฟฟ้าบนผิวปิด ซึ่งปิดล้อมจุดประจุ $+q$ ดังรูปด้านล่าง



เนื่องจากสนามไฟฟ้าจะมีทิศทางแนวรัศมีของทรงกลม ดังนั้นพื้นที่ผิวซึ่งตั้งฉากกับสนามไฟฟ้า (ตั้งฉากกับรัศมี) คือ พื้นผิวทรงกลม เมื่อใช้เทคนิคการวิเคราะห์เงาจะสามารถใช้พื้นที่ผิวทรงกลมมาหาฟลักซ์ไฟฟ้าในผิวปิดได้ ดังรูปด้านล่าง



หาฟลักซ์บนผิวปิดจาก

$$\phi = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} \quad ; \quad \oint \text{ คือ อินทิเกรตผิวปิด}$$

$$\phi = \int |\vec{E}| |\vec{dA}| \cos\theta \quad ; \quad \vec{E} \text{ คงที่และทิศเดียวกับ } d\vec{A}$$

$$\phi = \left(\frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \right) (4\pi r^2)$$

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

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)



กฎของเกาส์ (Gauss's Law)

$$\phi_{E,enc} = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q_{enc}}{\epsilon_0}$$

$\phi_{E,enc}$ คือ ฟลักซ์ไฟฟ้าบนผิวปิด

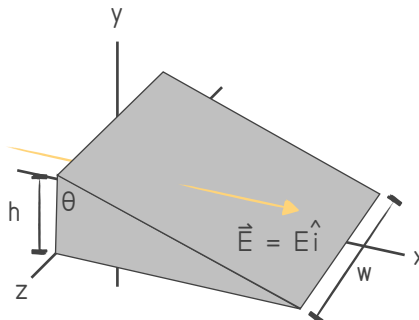
$\vec{E}$ คือ สนามไฟฟ้าบนผิวปิด

$d\vec{A}$ คือ ส่วนเล็กๆ ของผิวปิด

q_{enc} คือ ประจุไฟฟ้าสุทธิในผิวปิด

Problem 13.50 Challenge (Problem 13.48)

กล่องสามเหลี่ยมปิดทุกด้าน วางในสนามไฟฟ้าขนาด E ซึ่งมีทิศทางในแนวระดับ ดังรูปด้านล่าง จงหาฟลักซ์ไฟฟ้าที่ผ่านพื้นผิวทั้งหมดของกล่องดังกล่าว?



Answer : 0

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.51 Challenge

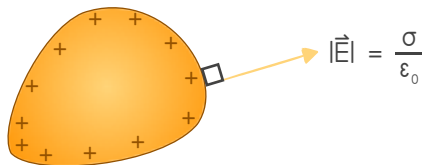
จุดประจุ $+q$ อยู่กลางกล่องลูกบาศก์ จงหาฟลักซ์ไฟฟ้าที่ผ่านด้านใดด้านหนึ่งของกล่องลูกบาศก์ดังกล่าว?

Answer : $\frac{q}{6\epsilon_0}$



สมบัติของตัวนำในสมดุลไฟฟ้าสถิต

1. สนามไฟฟ้าภายในตัวนำไฟฟ้ามีขนาดเป็นศูนย์
2. ประจุกระจายอยู่ที่ผิวของตัวนำ
3. สนามไฟฟ้าภายนอกตัวนำมีทิศตั้งฉากกับผิวของตัวนำ และมีขนาดเท่ากับ $\frac{\sigma}{\epsilon_0}$
4. ตัวนำซึ่งมีความโค้งไม่สม่ำเสมอ ความหนาแน่นของประจุจะมีขนาดมากในบริเวณที่รัศมีความโค้งน้อย



Problem 13.52 Challenge

ตัวนำทรงกลมตันรัศมี a ประจุ $+Q$ วางอยู่ภายในตัวนำทรงกลมกลวงประจุ $-Q$ รัศมีภายใน b และรัศมีภายนอก c โดยทรงกลมทั้งสองมีจุดศูนย์กลางร่วมกัน จงหาความหนาแน่นของประจุเชิงพื้นที่ในแต่ละผิวของทรงกลมทั้งสอง?

$$\text{Answer : } \sigma_a = \frac{Q}{4\pi a^2}, \sigma_b = -\frac{Q}{4\pi b^2} \text{ and } \sigma_c = 0$$

Problem 13.53 Challenge

ตัวนำทรงกระบอกตันยาว L รัศมี a ประจุ $+Q$ วางอยู่ภายในตัวนำทรงกระบอกกลวงยาว L ประจุ $+Q$ รัศมีภายใน b และรัศมีภายนอก c โดยทรงกระบอกทั้งสองมีจุดศูนย์กลางร่วมกัน และประมาณได้ว่าทรงกระบอกนั้นยาวมากๆ จงหาความหนาแน่นของประจุเชิงพื้นที่ในแต่ละผิวของทรงกลมทั้งสอง?

$$\text{Answer : } \sigma_a = \frac{Q}{2\pi aL}, \sigma_b = -\frac{Q}{2\pi bL} \text{ and } \sigma_c = \frac{Q}{\pi cL}$$



การใช้กฎของเกาส์ในการหาสนามไฟฟ้า

1. เริ่มพิจารณาจากสมการ $\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q_{enc}}{\epsilon_0}$
2. สร้างผิวเกาส์ให้สัมพันธ์กับตำแหน่งที่ต้องการหาสนามไฟฟ้า โดยสร้างผิวเกาส์รูปทรงเดียวกับวัตถุ และใช้จุดศูนย์กลางร่วมกับวัตถุ เพื่อให้ $\vec{E}$ และ $\vec{A}$ มีทิศเดียวกัน

จะได้
$$\oint E dA = \frac{q_{enc}}{\epsilon_0}$$

3. จากข้อ 2. ถ้าผิวเกาส์กับผิวของวัตถุมีระยะห่างสม่ำเสมอทั่วทั้งผิวเกาส์ จะทำให้สนามไฟฟ้าคงที่บนผิวเกาส์นั้น

จะได้
$$E \oint dA = \frac{q_{enc}}{\epsilon_0}$$

$$E A_G = \frac{q_{enc}}{\epsilon_0}$$

$$\therefore E = \frac{q_{enc}}{\epsilon_0 A_G}$$

4. พิจารณาหา q_{enc} เพื่อแทนค่าในสมการ $E = \frac{q_{enc}}{\epsilon_0 A_G}$

ในกรณีของฉนวนไฟฟ้าอาจต้องใช้ความหนาแน่นมาช่วยหา q_{enc} และในกรณีของตัวนำไฟฟ้าจะต้องกระจายประจุเหนี่ยวนำตามสมบัติของตัวนำเพื่อหา q_{enc}



ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

รูปทรงที่เหมาะสมที่ทำให้สนามไฟฟ้าคงที่บนผิวเกาส์ คือ รูปทรงที่ไม่มีเหลี่ยมมุม เนื่องจากบริเวณเหลี่ยมมุมจะมีระยะห่างระหว่างผิววัดกับผิวเกาส์ต่างจากบริเวณที่ไม่เป็นเหลี่ยมมุม ทำให้สนามไฟฟ้าบนผิวเกาส์ไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นรูปทรงที่สะดวกในการใช้กฎของเกาส์ในการหาสนามไฟฟ้ามี ดังนี้

1. ทรงกลม

จะได้ $A_G =$ ผิวทรงกลม

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

r คือ รัศมีของผิวเกาส์

2. ทรงกระบอกยาวมากๆ เมื่อทรงกระบอกประมาณได้ว่ามีความยาวมากๆ เราจะละเลยการพิจารณาด้านปิดที่ปลายทรงกระบอกทั้งสองด้านของผิวเกาส์ เหลือพิจารณาเพียงแค่ผิวด้านข้างของทรงกระบอก ทำให้ไม่มีปัญหาเรื่องเหลี่ยมมุมของผิวเกาส์

จะได้ $A_G =$ ผิวด้านข้างทรงกระบอก

$$A_G = 2\pi rL$$

r คือ รัศมีของผิวเกาส์

L คือ ความยาวของทรงกระบอก

3. แผ่นประจุใหญ่มากๆ เมื่อแผ่นประจุใหญ่มากๆ เราจะละเลยการพิจารณาขอบทั้งหมดของผิวเกาส์ เหลือพิจารณาเพียงแค่ผิวด้านหน้าและผิวด้านหลังของผิวเกาส์ ซึ่งผิวทั้งสองด้านมีขนาดประมาณผิวของวัตถุ ทำให้ไม่มีปัญหาเรื่องเหลี่ยมมุมของผิวเกาส์

จะได้ $A_G =$ พื้นที่แผ่นประจุด้านหน้า + พื้นที่แผ่นประจุด้านหลัง

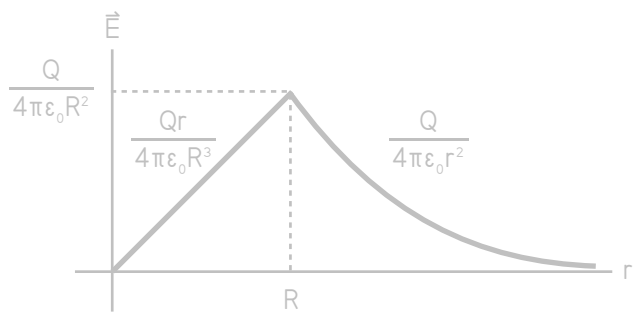
$$A_G = 2A$$

A คือ พื้นที่ของแผ่นประจุ

Problem 13.54 Challenge

จงวาดกราฟสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่างๆ ของฉนวนทรงกลมรัศมี R ซึ่งมีประจุกระจายสม่ำเสมอ $+Q$?

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)



Answer :

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.55 Challenge

จงหาสนามไฟฟ้าที่ระยะห่าง r จากเส้นประจุยาวมากๆ ซึ่งมีความหนาแน่นเชิงเส้น
คงที่ λ ดังรูปด้านล่าง?

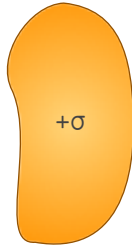


Answer : $\frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.56 Challenge

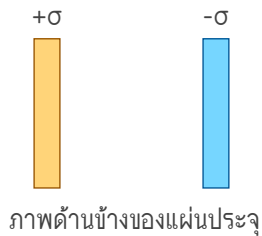
จงหาสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งใดๆ ของแผ่นประจุใหญ่มากๆ ซึ่งมีความหนาแน่นของประจุเชิงพื้นที่เป็น $+\sigma$ ดังรูปด้านล่าง?



Answer : $\frac{\sigma}{2\epsilon_0}$

Problem 13.57 Challenge

แผ่นประจุขนาดใหญ่หลายๆ สองแผ่น แผ่นหนึ่งมีความหนาแน่นเชิงพื้นที่เป็น $-\sigma$ และอีกแผ่นหนึ่งมีความหนาแน่นเชิงพื้นที่เป็น $+\sigma$ วางขนานกันดังรูปด้านล่าง จงหา



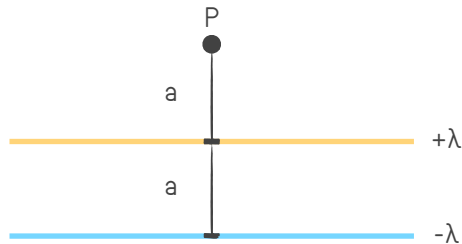
- ขนาดสนามไฟฟ้าทางด้านซ้ายของแผ่น $+\sigma$?
- ขนาดสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นประจุทั้งสอง?
- ขนาดสนามไฟฟ้าทางด้านขวาของแผ่น $-\sigma$?

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Answer : a) 0, b) $\frac{\sigma}{\epsilon_0}$ and c) 0

Problem 13.58 Challenge

เส้นประจุยาวมากๆ สองเส้น มีประจุกระจายสม่ำเสมอ $+\lambda$ และ $-\lambda$ วางขนานกัน และห่างกันเป็นระยะ a จงหาสนามไฟฟ้าที่จุด P ซึ่งอยู่ห่างจากเส้นประจุ $+\lambda$ เป็นระยะ a ดังรูปด้านล่าง?

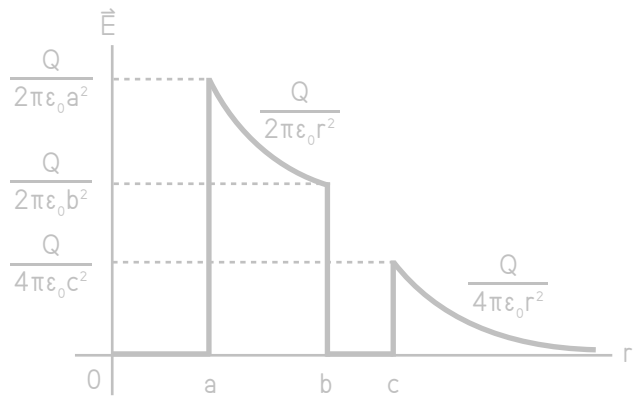


Answer : $\frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0 a} \hat{j}$

Problem 13.59 Challenge

ตัวนำทรงกลมตันรัศมี a ประจุ $+2Q$ วางอยู่ภายในตัวนำทรงกลมกลวงประจุ $-Q$ รัศมีภายใน b และรัศมีภายนอก c โดยมีจุดศูนย์กลางร่วมกัน จงวาดกราฟของสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่างๆ?

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

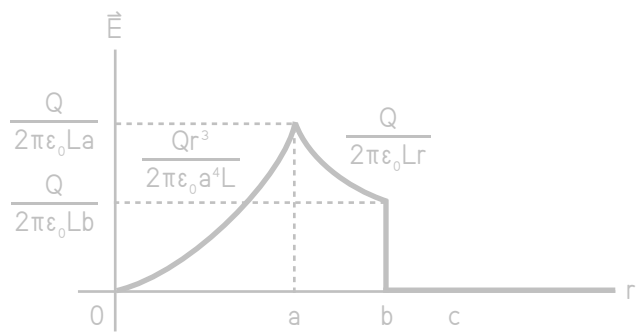


Answer :

Problem 13.60 Challenge

ฉนวนทรงกระบอกตันยาว L ซึ่งประมาณได้ว่ายาวมากๆ รัศมี a มีความหนาแน่นตามสมการ $\rho = \frac{2Qr^2}{\pi La^4}$ เมื่อ r คือ ระยะห่างตามแนวรัศมีจากจุดศูนย์กลางทรงกระบอก และทรงกระบอกตันดังกล่าววางอยู่ในตัวนำทรงกระบอกกลวง ยาว L ประจุ $-Q$ รัศมีภายใน b และรัศมีภายนอก c โดยมีจุดศูนย์กลางร่วมกัน จงวาดกราฟของสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่างๆ?

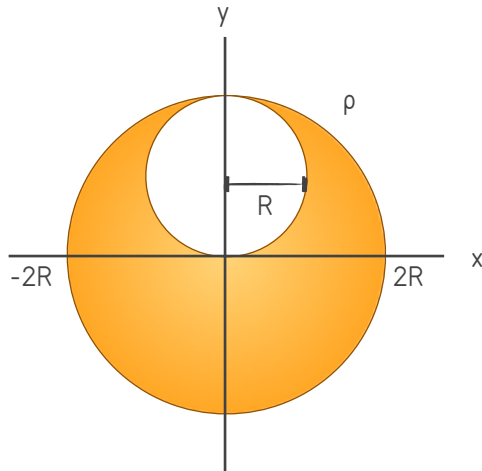
ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)



Answer :

Problem 13.61 Challenge

ทรงกลมรัศมี $2R$ มีความหนาแน่นประจุเชิงปริมาตรสม่ำเสมอ ρ ถูกคว่ำมออกเป็นรูปทรงกลมรัศมี R ดังรูปด้านล่าง จงหาสนามไฟฟ้าภายในช่องว่างที่ถูกคว่ำ?



ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

$$\text{Answer : } \frac{\rho R}{3\epsilon_0} \hat{j}$$

พลังงานศักย์ไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้า (Electric Potential Energy and Electric Potential)



งานเนื่องจากแรงไฟฟ้า, พลังงานศักย์ไฟฟ้า และศักย์ไฟฟ้า

$$W = \int q\vec{E} \cdot d\vec{r}$$

W คือ งานเนื่องจากแรงไฟฟ้า

q คือ ประจุไฟฟ้า

$\vec{E}$ คือ สนามไฟฟ้า

$d\vec{r}$ คือ การกระจัดของประจุ q ในช่วงเล็กๆ

ในกรณีสนามไฟฟ้าคงที่

จะได้

$$W = q\vec{E} \cdot \Delta\vec{r}$$

$\Delta\vec{r}$ คือ การกระจัดของประจุ q

การเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์ไฟฟ้า

$$\Delta U = -W = -\int q\vec{E} \cdot d\vec{r}$$

ΔU คือ การเปลี่ยนแปลงของพลังงานศักย์ไฟฟ้า

การเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้า

$$V_2 - V_1 = \Delta V_{12} = \frac{\Delta U_{12}}{q} = -\int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{r}$$

ΔV_{12} คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุด 2 กับจุด 1

V_2 คือ ศักย์ไฟฟ้า ณ จุดที่ 2

V_1 คือ ศักย์ไฟฟ้า ณ จุดที่ 1

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

ศักย์ไฟฟ้า ณ ตำแหน่ง r ใดๆ

$$V = - \int_{\infty}^r \vec{E} \cdot d\vec{r} \quad \text{หรือ} \quad \vec{E} = -\nabla V \quad ; \quad \nabla \text{ คือ Del Operator}$$

V คือ ศักย์ไฟฟ้า ณ ตำแหน่ง r ใดๆ

พิจารณาศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุ q ณ ตำแหน่งห่างจากจุดประจุ r

จะได้

$$V = - \int_{\infty}^r \vec{E} \cdot d\vec{r}$$

$$V = - \int_{\infty}^r \left(\frac{kq}{r^2} \hat{r} \right) \cdot (dr \hat{r}) \quad ; \quad \vec{E} = \frac{kq}{r^2} \hat{r}$$

$$V = - \int_{\infty}^r \frac{kq}{r^2} dr$$

$$V = \frac{kq}{r} \Big|_{\infty}^r$$

$$V = \frac{kq}{r}$$

พิจารณาพลังงานศักย์ไฟฟ้าในการย้ายประจุ q_1 จากที่ไกลมากๆ (∞)

มายังตำแหน่งซึ่งห่างจากจุดประจุ q_2 เป็นระยะ r

จะได้

$$\Delta U = q_1 \Delta V_2$$

$$U - U_{\infty} = q_1 \left(\frac{kq_2}{r} - 0 \right)$$

$$U - (0) = \frac{kq_1 q_2}{r}$$

$$U = \frac{kq_1 q_2}{r}$$

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

พิจารณาประจุจุดประจุ N ตัว โดยที่ระยะห่างระหว่างจุดประจุตัวที่ i กับจุดประจุตัวที่ j เป็น r_{ij} การหาพลังงานศักย์ไฟฟ้าของระบบประจุดังกล่าวสามารถทำได้โดยการมองว่าเริ่มต้นจุดประจุทุกตัวอยู่ที่ระยะไกลมากๆ (∞) แล้วจึงทำการย้ายประจุเข้ามาในระบบทีละตัว

พลังงานศักย์ไฟฟ้าในการย้ายประจุตัวที่ 1 จาก (∞) เข้ามาในระบบจะได้

$$U_1 = 0$$

พลังงานศักย์ไฟฟ้าในการย้ายประจุตัวที่ 2 จาก (∞) เข้ามาในระบบจะได้

$$U_2 = \frac{kq_1q_2}{r_{12}}$$

พลังงานศักย์ไฟฟ้าในการย้ายประจุตัวที่ 3 จาก (∞) เข้ามาในระบบจะได้

$$U_3 = \frac{kq_1q_3}{r_{13}} + \frac{kq_2q_3}{r_{23}}$$

พลังงานศักย์ไฟฟ้าในการย้ายประจุตัวที่ 4 จาก (∞) เข้ามาในระบบจะได้

$$U_4 = \frac{kq_1q_4}{r_{14}} + \frac{kq_2q_4}{r_{24}} + \frac{kq_3q_4}{r_{34}}$$

เราจะหาแบบนี้ต่อไปเรื่อยๆ จนครบจุดประจุทุกตัวในระบบ แล้วนำพลังงานศักย์ไฟฟ้าทั้งหมดมารวมกัน

จะได้

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + U_4 + \dots + U_N$$

$$U = \frac{kq_1q_2}{r_{12}} + \frac{kq_1q_3}{r_{13}} + \frac{kq_2q_3}{r_{23}} + \dots$$

หรือ

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + U_4 + \dots + U_N$$

$$U = q_1(V_{21} + V_{31} + \dots) + q_2(V_{12} + V_{32} + \dots)$$

$$U = \frac{1}{2} \sum q_i V(r_i)$$

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)



ศักย์ไฟฟ้าของจุดประจุ

$$V = \frac{kq}{r}$$

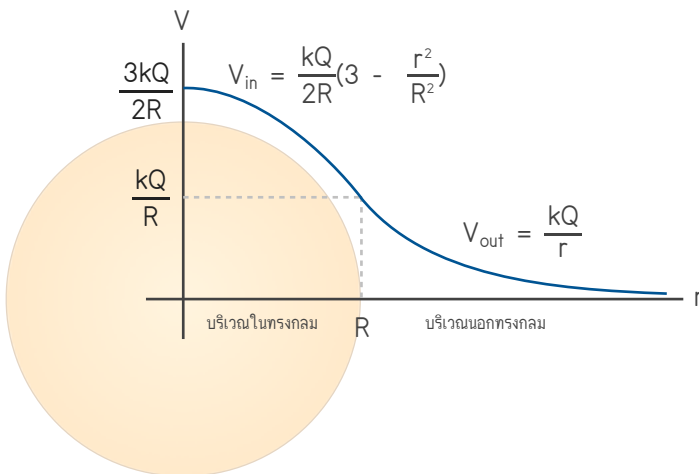
V คือ ศักย์ไฟฟ้า

q คือ ประจุไฟฟ้า

r คือ ระยะห่างจากจุดประจุ q



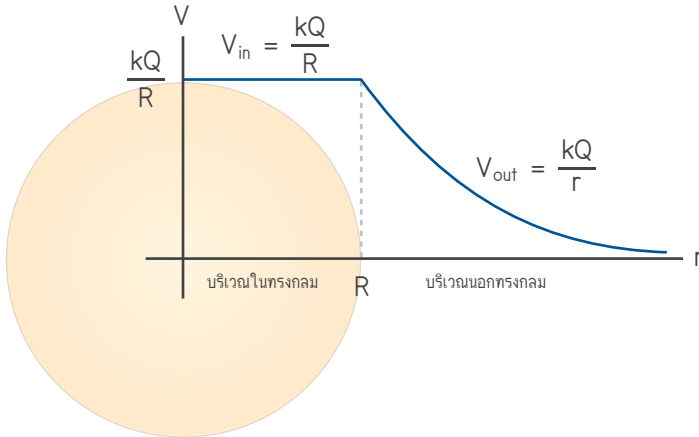
ศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากฉนวนทรงกลมรัศมี R ประจุ Q กระจายสม่ำเสมอ



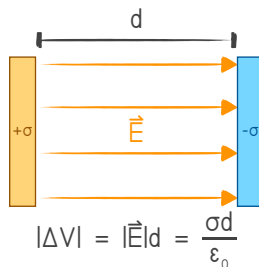
ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)



ศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากตัวนำทรงกลมรัศมี R ประจุ Q



ศักย์ไฟฟ้าระหว่างแผ่นคู่ขนานใหญ่มากๆ ประจุกระจายสม่ำเสมอ ความหนาแน่นของประจุเชิงพื้นที่ $+\sigma$ และ $-\sigma$



พลังงานศักย์ไฟฟ้าของระบบประจุ N ตัว

$$U = \frac{kq_1q_2}{r_{12}} + \frac{kq_1q_3}{r_{13}} + \frac{kq_2q_3}{r_{23}} + \dots \quad \text{หรือ} \quad U = \frac{1}{2} \sum q_i V(r_i)$$

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

ข้อสังเกต

ระยะห่าง d คือ ระยะห่างระหว่างตำแหน่ง A กับตำแหน่ง B ที่วัดในแนวขนานกับสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ

สนามไฟฟ้ามีทิศทางจากตำแหน่งศักย์ไฟฟ้าสูงไปยังตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำ หรือชี้ไปทางตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าลดลง

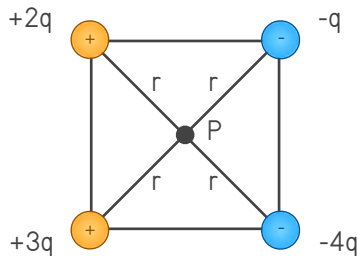
ถ้าใช้แรงภายนอกเคลื่อนย้ายประจุไฟฟ้าไปยังตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าสูง พลังงานศักย์ไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้น

ตำแหน่งที่อยู่ใกล้ประจุต้นกำเนิดจะมีศักย์ไฟฟ้ามากกว่าหรือน้อยกว่าตำแหน่งที่อยู่ไกลกว่าก็ได้ ขึ้นกับชนิดของประจุต้นกำเนิดนั้น

ประจุไฟฟ้าจะถูกแรงไฟฟ้าทำให้เคลื่อนที่ในทิศทางจากศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าไปยังศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่า หรือจากศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าไปยังศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าก็ได้ ขึ้นกับชนิดของประจุต้นกำเนิด

Problem 13.62

จากรูปด้านล่าง จงหาศักย์ไฟฟ้าที่จุด P?



Answer : 0 V

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.63

จุดประจุไฟฟ้า $300\ \mu\text{C}$ อยู่ที่ตำแหน่ง $(2.0\ \text{m}, 0\ \text{m})$ และจุดประจุไฟฟ้า $-300\ \mu\text{C}$ อยู่ที่ตำแหน่ง $(0\ \text{m}, 3.0\ \text{m})$ ศักย์ไฟฟ้าที่จุดกำเนิดเป็นเท่าใด?

Answer : $0.45\ \text{MV}$

Problem 13.64

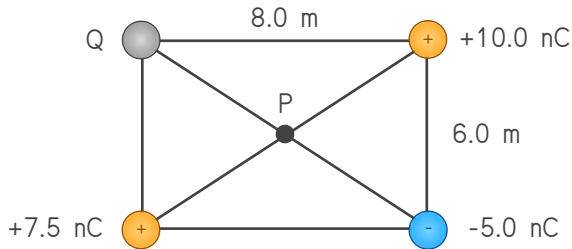
จุดประจุ $+q_1$ อยู่ที่จุดกำเนิด และจุดประจุ $-q_2$ อยู่ที่ตำแหน่ง $(3.0\ \text{cm}, 0\ \text{cm})$ จะให้ศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่ง $(0\ \text{cm}, 4.0\ \text{cm})$ เป็นสองเท่าของกรณีที่ประจุ $-q_2$ อยู่ที่จุดเดียวกันกับประจุ $+q_1$ อัตราส่วน $\frac{q_1}{q_2}$ เป็นเท่าใด?

Answer : $\frac{6}{5}$

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.65

จากรูปด้านล่าง ประจุ Q จะต้องเป็นเท่าใดจึงจะทำให้จุด P ซึ่งเป็นจุดที่เส้นทแยงมุมตัดกันมีศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 18 V ?

Answer : -2.5 nC

Problem 13.66

จุดประจุ $2 \mu\text{C}$, $4 \mu\text{C}$ และ Q อยู่ที่มุมของสามเหลี่ยมด้านเท่าซึ่งยาวด้านละ 2 cm ทำให้ศักย์ไฟฟ้าที่จุดตัดของเส้นมัธยฐานทั้งสามด้าน (จุดศูนย์กลางของสามเหลี่ยม) เท่ากับศูนย์พอดี ประจุ Q เป็นเท่าใด?

Answer : $-6 \mu\text{C}$

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.67

จุดประจุไฟฟ้า $10\ \mu\text{C}$ อยู่ที่ตำแหน่ง $(4\ \text{cm}, 0\ \text{cm})$ และจุดประจุไฟฟ้า $-6\ \mu\text{C}$ อยู่ที่จุดกำเนิด ปรากฏว่าศักย์ไฟฟ้าที่จุด $(0\ \text{cm}, x)$ เท่ากับศูนย์ ค่า x เป็นเท่าใด?

Answer : $\pm 3\ \text{cm}$

Problem 13.68

จุด 1, 2, 3 และ 4 เรียงตัวตามแนวเส้นตรงตามลำดับ โดยแต่ละจุดมีประจุ $+Q$ และระยะห่างในแต่ละจุดเท่ากับ a ถ้าศักย์ไฟฟ้าที่จุด 3 เท่ากับ $6\ \text{V}$ ความต่างศักย์ระหว่างจุด 2 กับ 3 เป็นเท่าใด?

Answer : $0\ \text{V}$

Problem 13.69

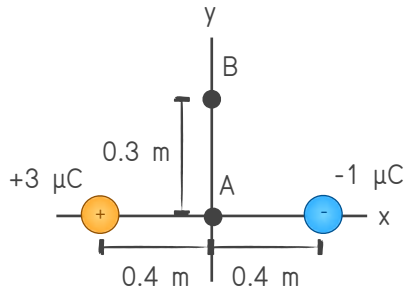
จุดประจุ q อยู่ที่จุด A ซึ่งห่างจากจุด B เป็นระยะ d จะต้องวางประจุที่เหมาะสมห่างจากจุด B เป็นระยะเท่าใด จึงจะทำให้ทุกจุดบนผิวทรงกลมรัศมี R ซึ่งมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่จุด B มีศักย์ไฟฟ้าเท่ากับศูนย์ โดยที่ $R < d$?

Answer : $\frac{R^2}{d}$

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.70

จากรูปด้านล่าง จงหาความต่างศักย์ระหว่างจุด A กับจุด B?

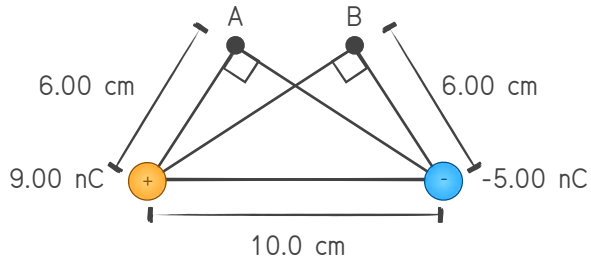


Answer : 9 kV

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.71

จากรูปด้านล่าง จงหาความต่างศักย์ระหว่างจุด A กับจุด B

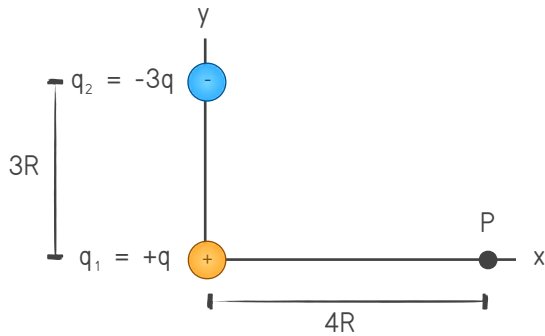


Answer : 525 V

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.72

จากรูปด้านล่าง จงหา



a) ศักย์ไฟฟ้าที่จุด P?

b) การเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์ในการย้ายประจุ Q จากที่ไกลมากๆ มายังจุด P?

$$\text{Answer : a) } -\frac{7kq}{20R} \text{ and b) } -\frac{7kqQ}{20R}$$

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.73

ประจุไฟฟ้า 2 C เคลื่อนที่ในสนามไฟฟ้าจากจุด A ไปยังจุด B ทำให้เกิดงาน 10 J ถ้าศักย์ไฟฟ้าที่จุด A เท่ากับ 2 V ศักย์ไฟฟ้าที่จุด B เป็นเท่าใด?

Answer : -3 V

Problem 13.74

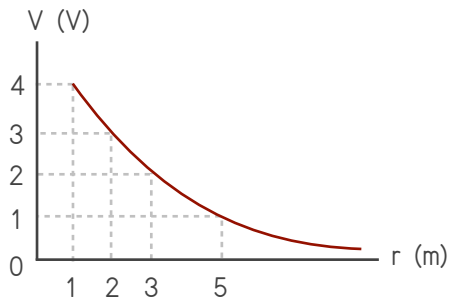
จุด A และ B ห่างจากจุดประจุ 4.0 μC เป็นระยะ 2.0 m และ 12.0 m ตามลำดับ ถ้าต้องการย้ายประจุ 4.0 C จากจุด B ไปยังจุด A ต้องใช้งานเท่าใด?

Answer : 60 kJ

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.75

จากกราฟระหว่างศักย์ไฟฟ้า (V) กับตำแหน่ง (r) ดังรูปด้านล่าง ถ้าต้องการย้ายประจุ $2\ \mu\text{C}$ จากตำแหน่ง $5\ \text{m}$ เข้ามายังตำแหน่ง $1\ \text{m}$ ต้องใช้งานเท่าใด?

Answer : $6\ \mu\text{J}$

Problem 13.76

ตัวนำทรงกลมรัศมี $10.0\ \text{cm}$ ประจุ $1.00\ \text{nC}$ จงหางานในการย้ายโปรตอนจากจุด B ซึ่งห่างจากศูนย์กลางของตัวนำเป็นระยะ $50.0\ \text{cm}$ มายังจุด A ซึ่งห่างจากศูนย์กลางของตัวนำเป็นระยะ $20.0\ \text{cm}$?

Answer : $4.32 \times 10^{-18}\ \text{J}$

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.77

จุด A ห่างจากประจุไฟฟ้า Q เป็นระยะ 12.0 cm ถ้าในการย้ายประจุ 2.00 nC จากตำแหน่งไกลมากๆ มายังจุด A ต้องใช้งาน 1.00 μJ ประจุ Q เป็นเท่าใด?

Answer : 6.67 nC

Problem 13.78

จุดประจุไฟฟ้า +Q จำนวน 6 ตัว วางอยู่บนเส้นรอบวงของวงกลมรัศมี r โดยวางห่างเท่าๆ กัน จงหางานในการย้ายประจุ +Q จากจุดศูนย์กลางของวงกลมดังกล่าว ไปยังตำแหน่งซึ่งอยู่ไกลมากๆ?

Answer : $-\frac{6kQ^2}{r}$

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.79

ถ้าต้องเร่งอนุภาคมวล 4.0×10^{-12} kg ประจุ 8.0×10^{-9} C จากหยุดนิ่งให้มีอัตราเร็ว 100 m/s ต้องใช้ความต่างศักย์เท่าใด?

Answer : 2.5 V

Problem 13.80

จุดประจุ $+10q$ และ $-10q$ ห่างกันเป็นระยะ $3x$ ถ้าวางจุดประจุ $-q$ ระหว่างประจุทั้งสอง โดยห่างจากจุดประจุ $-10q$ เป็นระยะ x จุดประจุ $-q$ จะเคลื่อนผ่านจุดซึ่งห่างจากจุดประจุ $+10q$ เป็นระยะ x ด้วยพลังงานจลน์เท่าใด?

Answer : $\frac{10kq^2}{x}$

Problem 13.81

อนุภาคมวล m ประจุ q เริ่มเคลื่อนที่จากขั้วบวกไปยังขั้วลบ เมื่อถึงขั้วลบอนุภาคดังกล่าวมีอัตราเร็วเท่ากับ v ถ้าเปลี่ยนอนุภาคเป็นมวล $4m$ ประจุ $2q$ เมื่อถึงขั้วลบอนุภาคจะมีอัตราเร็วเท่าใด?

$$\text{Answer : } \frac{v}{\sqrt{2}}$$

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.82

สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอขนาด 12 V/m ในทิศ $-y$ จงหางานในการเคลื่อนย้ายประจุ $3.0 \text{ } \mu\text{C}$ จากตำแหน่ง $(0 \text{ cm}, 0 \text{ cm})$ ไปยังตำแหน่ง $(10.0 \text{ cm}, 10.0 \text{ cm})$ และต่อไปยังตำแหน่ง $(10.0 \text{ cm}, 5.0 \text{ cm})$?

Answer : $1.8 \text{ } \mu\text{J}$

Problem 13.83

ระบบจุดประจุสามประจุ อยู่ห่างกันเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า แต่ละด้านยาว L โดยประจุ $q_1 = +q$, $q_2 = -4q$ และ $q_3 = +2q$ จงหา

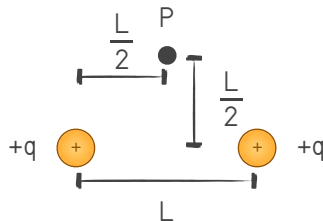
- ศักย์ไฟฟ้าที่จุดประจุ q_2 เนื่องจากจุดประจุ q_1 และ q_3 ?
- พลังงานศักย์ไฟฟ้าของระบบประจุดังกล่าว?

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Answer : a) $\frac{3kq}{L}$ and b) $-\frac{10kq^2}{L}$

Problem 13.84

จากรูปด้านล่าง จงหา



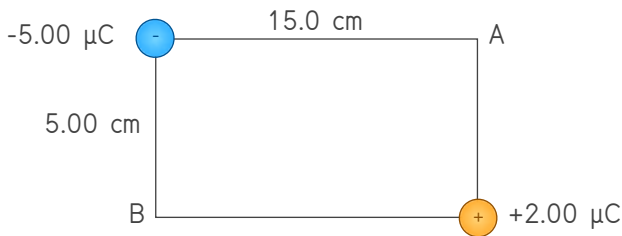
- ศักย์ไฟฟ้าที่จุด P ?
- งานเนื่องจากแรงไฟฟ้าที่ย้ายประจุไฟฟ้า $+Q$ จากที่ระยะอนันต์มายังจุด P ?
- พลังงานศักย์ไฟฟ้ารวมของระบบประจุทั้งสาม?

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Answer : a) $\frac{2\sqrt{2}kq}{L}$, b) $-\frac{2\sqrt{2}kqQ}{L}$ and c) $\frac{kq}{L}(q + 2\sqrt{2}Q)$

Problem 13.85

จากรูปด้านล่าง จงหา



- ศักย์ไฟฟ้าที่จุด A และ B?
- งานในการย้ายจุดประจุ $+3.00 \mu\text{C}$ จากจุด A ไปยังจุด B?
- พลังงานศักย์ไฟฟ้าของระบบประจุทั้งสาม ($+3.00 \mu\text{C}$ อยู่ที่จุด B)?

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Answer : a) $V_A = 59.9 \text{ kV}$ and $V_B = -779 \text{ kV}$, b) -2.52 J
and c) -2.91 J

Problem 13.86

แผ่นโลหะสองแผ่นมีพื้นที่เท่ากันและวางขนานห่างกัน 2.0 cm ถ้าต่อแผ่นโลหะแผ่นหนึ่งเข้ากับขั้วบวก และต่อแผ่นโลหะอีกแผ่นเข้ากับขั้วลบของแบตเตอรี่ โดยแบตเตอรี่ดังกล่าวมีความต่างศักย์เท่ากับ 12 V สนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะคู่ขนานดังกล่าวมีขนาดเท่าใด?

Answer : 0.60 kV/m

Problem 13.87

แผ่นโลหะขนาดสองแผ่นวางห่างกันเป็นระยะ d มีความต่างศักย์เท่ากับ ΔV ถ้ามีอนุภาคมวล m ประจุ q ลอยอยู่ระหว่างแผ่นโลหะทั้งสอง จะมีแรงไฟฟ้ากระทำกับอนุภาคดังกล่าวขนาดเท่าใด?

Answer : $\frac{q\Delta V}{d}$

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.88

อนุภาคมวล m ประจุ $-q$ ลอยนิ่งระหว่างแผ่นโลหะคู่ขนาน ซึ่งห่างกัน d ถ้าโลหะแผ่นล่างมีศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 0 V โลหะแผ่นบนจะมีศักย์ไฟฟ้าเท่าใด?

$$\text{Answer : } \frac{mgd}{q}$$

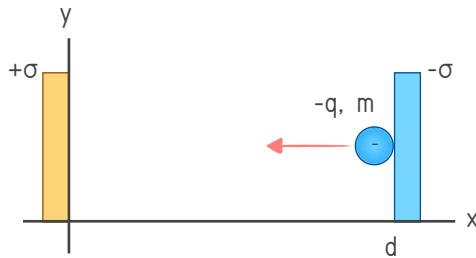
Problem 13.89

แผ่นตัวนำขนานห่างกัน d ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอในแนวดิ่ง เมื่อปล่อยอิเล็กตรอนมวล m ประจุ $-e$ จากหยุดนิ่งบนแผ่นตัวนำแผ่นล่าง อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปถึงแผ่นตัวนำแผ่นบนภายในเวลา t ถ้าไม่มีแรงต้านอากาศเข้ามารบกวน ความต่างศักย์ระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสองเป็นเท่าใด?

$$\text{Answer : } \frac{md}{q} \left(\frac{2}{t^2} + g \right)$$

Problem 13.90

แผ่นประจุขนานใหญ่มากๆ 2 แผ่นวางขนานกันและห่างกันเป็นระยะ d แผ่นซ้ายมีความหนาแน่นเชิงพื้นที่ $+\sigma$ และแผ่นขวามีความหนาแน่นเชิงพื้นที่ $-\sigma$ ดังรูปด้านล่าง จงหา



- ขนาดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างแผ่นประจุสองแผ่น?
- การเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์ไฟฟ้า เมื่อประจุ $-q$ มวล m เคลื่อนที่จากหยุดนิ่งจากแผ่น $-\sigma$ ไปยังแผ่น $+\sigma$?
- จากข้อ b) จงหาอัตราเร็วที่ประจุดังกล่าวเข้าชนแผ่น $+\sigma$?

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Answer : a) $\frac{\sigma d}{\epsilon_0}$, b) $-\frac{q\sigma d}{\epsilon_0}$ and c) $\sqrt{\frac{2q\sigma d}{m\epsilon_0}}$

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.91

ตัวนำทรงกลมรัศมี 30.00 cm มีศักย์ไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 1.000 MV แรงไฟฟ้าที่ตัวนำทรงกลมดังกล่าวจะผลักประจุ $30.00 \mu\text{C}$ ซึ่งห่างจากผิวทรงกลม 10.00 cm มีขนาดเป็นเท่าใด?

Answer : 56.25 mN

Problem 13.92

ตัวนำทรงกลมรัศมี 30 cm เมื่อให้ประจุแก่ตัวนำดังกล่าว ปรากฏว่าที่จุดห่างจากผิวตัวนำทรงกลม 60 cm มีสนามไฟฟ้า 10 kN/C ที่ตำแหน่งห่างจากผิวตัวนำทรงกลม 15 cm ศักย์ไฟฟ้าจะมีขนาดเท่าใด?

Answer : 18 kV

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.93

ตัวนำทรงกลมที่ 1 มีรัศมีเป็นสองเท่าของตัวนำทรงกลมที่ 2 ถ้าตัวนำทรงกลมทั้งสองมีประจุไฟฟ้าเท่ากัน ศักย์ไฟฟ้าบนผิวตัวนำที่ 1 จะเป็นกี่เท่าของศักย์ไฟฟ้าบนผิวตัวนำที่ 2?

Answer : 2

Problem 13.94

ตัวนำทรงกลมรัศมี 90 cm มีประจุไฟฟ้า $1.0 \mu\text{C}$ ศักย์ไฟฟ้าที่ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของทรงกลมที่ระยะ 45 cm เป็นเท่าใด?

Answer : 10 kV

Problem 13.95

ตัวนำทรงกลมรัศมี 5 cm มีประจุไฟฟ้า $5 \mu\text{C}$ จงหางานในการย้ายประจุ $1 \mu\text{C}$ จากระยะไกลมากๆ มายังจุดที่ห่างจากศูนย์กลางของทรงกลมตัวนำ 15 cm?

Answer : 0.3 J

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.96

ตัวนำทรงกลมรัศมี 10.00 cm นำประจุไฟฟ้า 1.000 C จากระยะอนันต์มาไว้ที่ตำแหน่งห่างจากศูนย์กลางทรงกลม 20.00 cm ทำให้ต้องใช้งาน 1.000 J ความหนาแน่นของประจุไฟฟ้าบนผิวตัวนำทรงกลมดังกล่าวเป็นเท่าใด?

Answer : 0.1768 nC/m²

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.97

ตัวนำทรงกลมที่ 1 ประจุ 400 nC มีรัศมีเป็น $\frac{5}{3}$ เท่าของตัวนำทรงกลมที่ 2 ซึ่งมีประจุ $-1,200 \text{ nC}$ เมื่อนำทรงกลมทั้งสองมาแตะกัน ประจุบนตัวนำทั้งสองจะเป็นเท่าใด?

Answer : -500 nC

Problem 13.98

ตัวนำทรงกลมที่ 1 ประจุ Q รัศมี $2R$ และตัวนำทรงกลมที่ 2 เป็นกลางทางไฟฟ้า รัศมี R เมื่อนำตัวนำทั้งสองมาแตะกัน อัตราส่วนของประจุไฟฟ้าของตัวนำที่ 1 ต่อตัวนำที่ 2 เป็นเท่าใด?

Answer : 2

Problem 13.99

ตัวนำทรงกลมที่ 1 ประจุ -1.0 C รัศมี 10 cm และตัวนำทรงกลมที่ 2 ประจุ 2.5 C รัศมี 20 cm เมื่อนำตัวนำทั้งสองมาแตะกัน หลังจากแยกกันศักย์ไฟฟ้าที่ผิวของตัวนำที่ 1 จะเป็นเท่าใด?

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Answer : 45 GV

Problem 13.100

ตัวนำทรงกลมที่ 1 ประจุ $2.0 \mu\text{C}$ รัศมี 1.0 m และตัวนำทรงกลมที่ 2 ประจุ $1.0 \mu\text{C}$ รัศมี 0.20 m เมื่อนำลวดตัวนำเส้นเล็กๆ ต่อระหว่างทรงกลมตัวนำทั้งสอง ประจุบนตัวนำทั้งสองจะเป็นเท่าใด?

Answer : $2.5 \mu\text{C}$

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.101

ตัวนำทรงกลม 3 ลูก รัศมี 2.0 cm, 4.0 cm และ 6.0 cm ตามลำดับ เมื่อให้ประจุไฟฟ้ากับตัวนำทั้งสามจนศักย์ไฟฟ้าที่ผิวของตัวนำแต่ละตัวเป็น 10 V, 25 V และ 30 V ตามลำดับ เมื่อนำเส้นลวดเส้นเล็กๆ มาต่อตัวนำทั้งสามเข้าด้วยกัน ศักย์ไฟฟ้าที่ผิวตัวนำทั้งสามจะเป็นเท่าใด?

Answer : 25 V

Problem 13.102

ตัวนำทรงกลม 2 ลูก รัศมีเท่ากัน แต่ละลูกมีประจุไฟฟ้า $2.00\ \mu\text{C}$ ทำให้เกิดแรงไฟฟ้าผลักดันขนาด $360\ \text{N}$ ต่อมาได้นำทรงกลมตัวนำซึ่งเป็นกลางทางไฟฟ้า และรัศมีเท่ากันกับตัวนำทรงกลมสองลูกก่อนหน้า มาแตะกับทรงกลมตัวนำหนึ่ง หลังจากนั้นได้นำไปแตะกับอีกตัวนำทรงกลม จงหาขนาดของแรงไฟฟ้าที่กระทำกับตัวนำทรงกลมสองลูกแรก เมื่อนำตัวนำทรงกลมตัวที่สามออกไปไกลๆ?

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

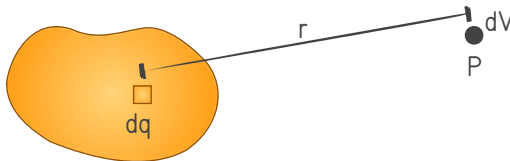
Answer : 135 N

การหาค่าศักย์ไฟฟ้าของประจุที่กระจายตัวต่อเนื่อง (Electric Potential Due to Continuous Charge Distributions) [Additional]



การหาค่าศักย์ไฟฟ้าของประจุที่กระจายตัวต่อเนื่อง

แนวคิดของการหาค่าศักย์ไฟฟ้าของประจุที่กระจายตัวต่อเนื่อง คือ การแบ่งประจุออกเป็นจุดประจุเล็กๆ แล้วใช้สมการศักย์ไฟฟ้าของจุดประจุในหัวข้อก่อนหน้านี้มาหาค่าศักย์ไฟฟ้าของแต่ละจุดประจุ แล้วทำการรวมค่าศักย์ไฟฟ้าของทุกๆ จุดประจุ ซึ่งสามารถทำได้ตามขั้นตอนดังนี้



1) แบ่งพิจารณาจุดประจุเล็ก dq และหาสนามไฟฟ้าเล็กๆ เนื่องจากจุดประจุดังกล่าว

โดยใช้สมการ $dV = \frac{k dq}{r}$ หรือ $dV = \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r}$

2) ลองเปลี่ยนตำแหน่งจุดประจุ dq ในวัตถุ เพื่อพิจารณาว่าอะไรเป็นค่าคงที่ และอะไรเป็นตัวแปร

3) จัดรูปตัวแปรให้พร้อมสำหรับการอินทิเกรต

ในขั้นตอนนี้อาจจะต้องใช้ความหนาแน่นเข้ามาช่วยในการอินทิเกรต ดังนี้

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

ในกรณีวัตถุ 1 มิติ ความหนาแน่นเชิงเส้น คือ $\lambda = \frac{\text{ประจุ}}{\text{ความยาว}} = \frac{dq}{d\ell}$

ในกรณีวัตถุ 2 มิติ ความหนาแน่นเชิงพื้นที่ คือ $\sigma = \frac{\text{ประจุ}}{\text{พื้นที่}} = \frac{dq}{dA}$

ในกรณีวัตถุ 3 มิติ ความหนาแน่นเชิงปริมาตร คือ $\rho = \frac{\text{ประจุ}}{\text{ปริมาตร}} = \frac{dq}{dV}$

4) ทำการอินทิเกรตเพื่อหาสนามไฟฟ้า $V = \int dV$ โดยใช้ขอบเขตการอินทิเกรตให้ครบทุกๆ จุดประจุ

5) จัดสมการให้อยู่ในรูปของตัวแปรที่โจทย์กำหนดมาเท่านั้น
ในขั้นตอนนี้อาจต้องแปลงความหนาแน่นกลับมามีอยู่ในรูปของประจุ ถ้าวัตถุมีประจุกระจายตัวสม่ำเสมอ หรือความหนาแน่นคงที่ จะได้

ในกรณีวัตถุ 1 มิติ $\lambda = \frac{\text{ประจุทั้งหมด}}{\text{ความยาวทั้งหมด}} = \frac{Q}{\ell}$

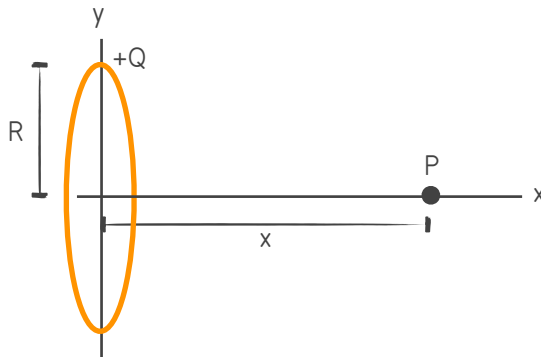
ในกรณีวัตถุ 2 มิติ $\sigma = \frac{\text{ประจุทั้งหมด}}{\text{พื้นที่ทั้งหมด}} = \frac{Q}{A}$

ในกรณีวัตถุ 3 มิติ $\rho = \frac{\text{ประจุทั้งหมด}}{\text{ปริมาตรทั้งหมด}} = \frac{Q}{V}$

6) ตรวจสอบคำตอบที่ได้ โดยมีแนวคิดที่ว่าตำแหน่งไกลมากๆ เราจะสามารถมองวัตถุเป็นจุดได้ ดังนั้นที่ตำแหน่งไกลจากวัตถุมากๆ ศักย์ไฟฟ้าจะต้องลดรูปสมการมาเป็นสมการศักย์ไฟฟ้าของจุดประจุ $V = \frac{kQ}{r}$ หรือ ศักย์ไฟฟ้าจะมีค่าน้อยมากๆ จนเข้าใกล้ศูนย์

Problem 13.103 Challenge

จากรูปด้านล่าง วงแหวนรัศมี R มีประจุ $+Q$ กระจายสม่ำเสมอ จงหาค่าศักย์ไฟฟ้าที่จุด P ?

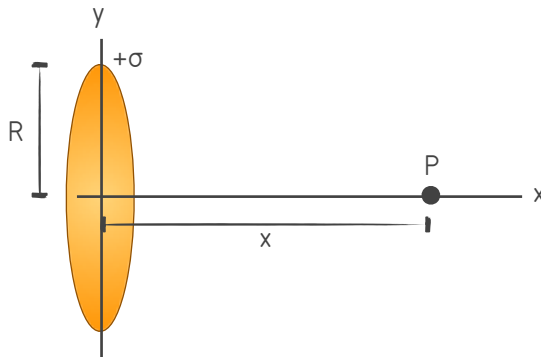


ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

$$\text{Answer : } \frac{kQ}{\sqrt{R^2 + x^2}}$$

Problem 13.104 Challenge

จากรูปด้านล่าง จานวงกลมรัศมี R มีความหนาแน่นของประจุเชิงพื้นที่คงที่เท่ากับ $+\sigma$ จงหาค่าศักย์ไฟฟ้าที่จุด P ?



ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

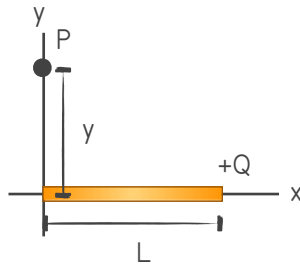
ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

$$\text{Answer : } \frac{\sigma}{2\epsilon_0}(\sqrt{R^2 + x^2} - x)$$

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.105 Challenge

จากรูปด้านล่าง เส้นประจุยาว L มีประจุ $+Q$ กระจายสม่ำเสมอ จงหาค่าศักย์ไฟฟ้าที่จุด P (Hint : $\int \frac{1}{\sqrt{x^2 + a^2}} dx = \ln(x + \sqrt{x^2 + a^2}) + c$ เมื่อ a และ c เป็นค่าคงที่)



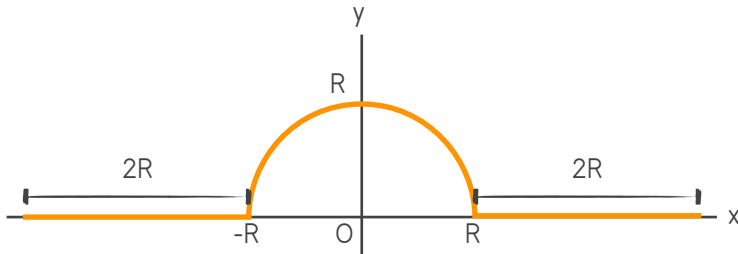
ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

$$\text{Answer : } \frac{kQ}{L} \ln\left(\frac{L + \sqrt{L^2 + y^2}}{y}\right)$$

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.106 Challenge

ลวดเส้นหนึ่งมีความหนาแน่นของประจุไฟฟ้าเชิงเส้นสม่ำเสมอ λ ดังรูปด้านล่าง จงหาศักย์ไฟฟ้าที่จุด O?

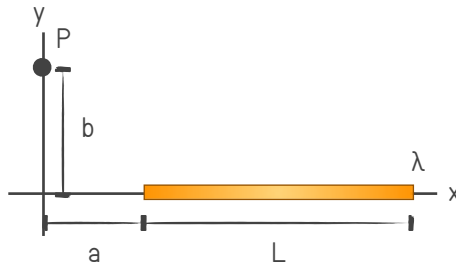


Answer : $k\lambda(\pi + 2\ln(3))$

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.107 Challenge

แท่งประจุความหนาแน่นของประจุไฟฟ้าเชิงเส้นสม่ำเสมอ λ ยาว L ดังรูปด้านล่าง
 จงหาค่าศักย์ไฟฟ้าที่จุด P (Hint : $\int \frac{1}{\sqrt{x^2 + a^2}} dx = \ln(x + \sqrt{x^2 + a^2}) + c$
 เมื่อ a และ c เป็นค่าคงที่)?

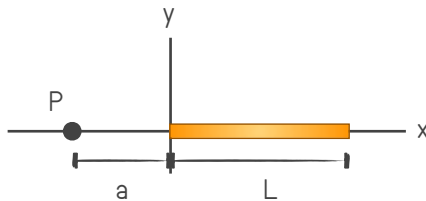


ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

$$\text{Answer : } k\lambda \ln\left(\frac{a + L + \sqrt{(a + L)^2 + b^2}}{a + \sqrt{a^2 + b^2}}\right)$$

Problem 13.108 Challenge

แท่งประจุยาว L วางตัวตามแนวแกน x โดยปลายด้านซ้ายอยู่ที่จุดกำเนิดดังรูปด้านล่าง ถ้าความหนาแน่นของประจุเชิงเส้นไม่สม่ำเสมอ และเป็นไปตามสมการ $\lambda = \alpha x$ เมื่อ α เป็นค่าคงที่ที่มากกว่าศูนย์ จงหา



- หน่วยของ α ?
- ศักย์ไฟฟ้าที่จุด P?

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Answer : a) $\frac{C}{m^2}$ and b) $k\alpha a(\frac{L}{a} - \ln(1 + \frac{L}{a}))$

การหาคักย์ไฟฟ้าจากสนามไฟฟ้า (Obtaining the Value of the Electric Potential from the Electric Field) [Additional]



การหาคักย์ไฟฟ้าจากสนามไฟฟ้า

$$V = - \int_{\infty}^r \vec{E} \cdot d\vec{r}$$

V คือ ศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่ง r ใดๆ

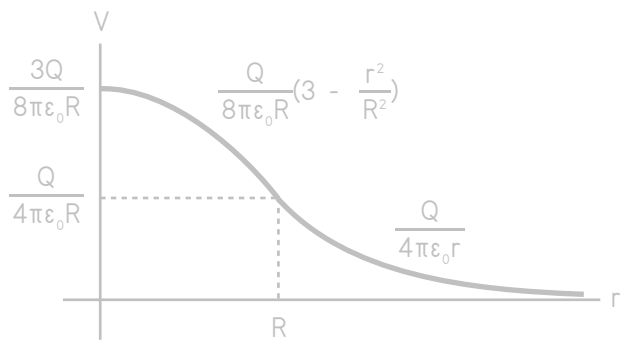
$\vec{E}$ คือ สนามไฟฟ้า

$d\vec{r}$ คือ การกระจัดในช่วงเล็กๆ

Problem 13.109 Challenge

จงวาดกราฟศักย์ไฟฟ้าของฉนวนทรงกลมตันรัศมี R ประจุ $+Q$ กระจายสม่ำเสมอ?

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)



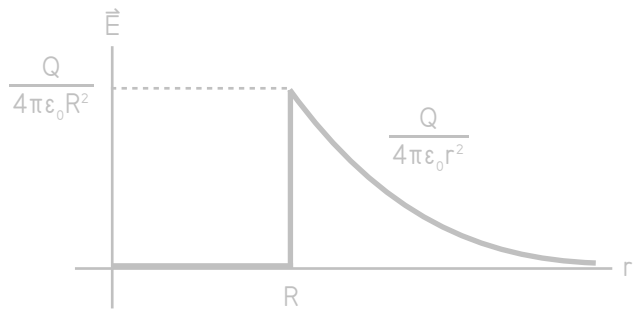
Answer :

Problem 13.110 Challenge

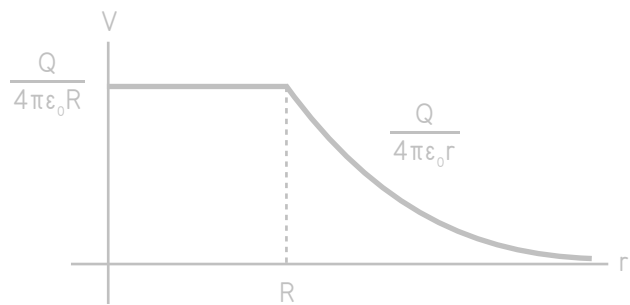
จงวาดกราฟสนามไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้าของตัวนำทรงกลมรัศมี R ประจุ $+Q$?

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)



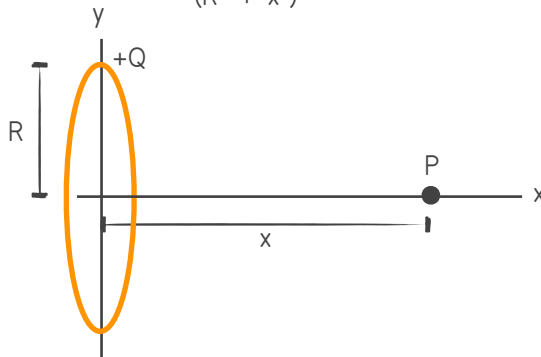
Answer :



and

Problem 13.111 Challenge

จากรูปด้านล่าง วงแหวนรัศมี R มีประจุ $+Q$ กระจายสม่ำเสมอ มีสนามไฟฟ้าที่จุด P เป็นไปตามสมการ $\vec{E} = \frac{kQx}{(R^2 + x^2)^{3/2}} \hat{i}$ จงหาค่าศักย์ไฟฟ้าที่จุด P ?

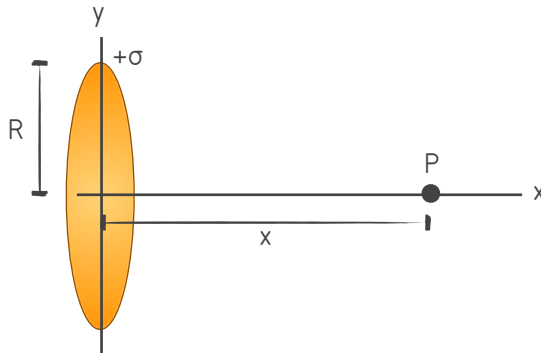


ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

$$\text{Answer : } \frac{kQ}{\sqrt{R^2 + x^2}}$$

Problem 13.112 Challenge

จากรูปด้านล่าง จานวงกลมรัศมี R มีความหนาแน่นของประจุเชิงพื้นที่คงที่เท่ากับ $+\sigma$ มีสนามไฟฟ้าที่จุด P เป็นไปตามสมการ $\vec{E} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left(1 - \frac{x}{\sqrt{R^2 + x^2}}\right) \hat{i}$ จงหาศักย์ไฟฟ้าที่จุด P ?



ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

$$\text{Answer : } \frac{\sigma}{2\epsilon_0}(\sqrt{R^2 + x^2} - x)$$

การหาสนามไฟฟ้าจากศักย์ไฟฟ้า (Obtaining the Value of the Electric Field from the Electric Potential) [Additional]



การหาสนามไฟฟ้าจากศักย์ไฟฟ้า

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

$\vec{E}$ คือ สนามไฟฟ้า

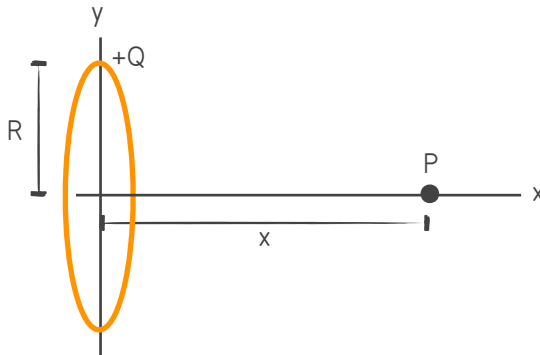
V คือ ศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่ง r ใดๆ

∇ คือ Del Operator

Problem 13.113 Challenge

จากรูปด้านล่าง วงแหวนรัศมี R มีประจุ $+Q$ กระจายสม่ำเสมอ มีศักย์ไฟฟ้าที่

จุด P เป็นไปตามสมการ $V = \frac{kQ}{\sqrt{R^2 + x^2}}$ จงหาสนามไฟฟ้าที่จุด P ?

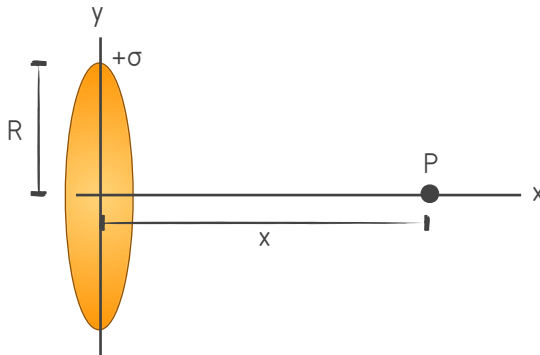


ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

$$\text{Answer : } \frac{kQx}{(R^2 + x^2)^{3/2}} \hat{i}$$

Problem 13.114 Challenge

จากรูปด้านล่าง จานวงกลมรัศมี R มีความหนาแน่นของประจุเชิงพื้นที่คงที่เท่ากับ $+\sigma$ มีศักย์ไฟฟ้าที่จุด P เป็นไปตามสมการ $V = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}(\sqrt{R^2 + x^2} - x)$ จงหาสนามไฟฟ้าที่จุด P ?



$$\text{Answer : } \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left(1 - \frac{x}{\sqrt{R^2 + x^2}}\right) \hat{i}$$

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.115 Challenge

ศักย์ไฟฟ้าในบริเวณ $x = 0$ m ถึง $x = 6.00$ m เป็นไปตามสมการ

$$V(x) = 10.0 - 7.00x$$

เมื่อ V คือ ศักย์ไฟฟ้าในหน่วย V และ x คือ ตำแหน่งบนแกน x ในหน่วย m

- จงหาศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่ง $x = 0$ m, 3.00 m และ 6.00 m?
- จงหาขนาดและทิศทางของสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่ง (x, y, z) ใดๆ?
- จงหาขนาดและทิศทางของสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่ง $x = 6.00$ m?

Answer : a) $V(0) = 10.0$ V, $V(3.00) = -11.0$ V, $V(6.00) = -32.0$ V,

b) $|\vec{E}| = 7.00$ V/m และ ทิศทาง $+\hat{i}$

and c) $|\vec{E}| = 7.00$ V/m และ ทิศทาง $+\hat{i}$

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.116 Challenge

ศักย์ไฟฟ้าในบริเวณหนึ่งเป็นไปตามสมการ

$$V(x, y, z) = -2xz - xy^3 + 3yz^2$$

เมื่อ V คือ ศักย์ไฟฟ้าในหน่วย V และ x , y , และ z คือตำแหน่งในหน่วย m

- จงหาศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่ง $(1.00 \text{ m}, -2.00 \text{ m}, 0 \text{ m})$?
- จงหาสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งใดๆ?
- จงหาขนาดและทิศทางของสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่ง $(1.00 \text{ m}, -2.00 \text{ m}, 0 \text{ m})$?

Answer : a) 8.00 V ,

$$b) (2z + y^3)\hat{i} + (3xy^2 - 3z^2)\hat{j} + (2x - 6yz)\hat{k} \text{ V/m}$$

$$\text{and c) } |\vec{E}| = 14.6 \text{ V/m and } \hat{r} = -0.548\hat{i} + 0.822\hat{j} + 0.137\hat{k}$$

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.117 Challenge

ศักย์ไฟฟ้าในบริเวณหนึ่งเป็นไปตามสมการ

$$V(x, y, z) = 5x - 3xy^2 + 2yz^2$$

เมื่อ V คือ ศักย์ไฟฟ้าในหน่วย V และ x , y , และ z คือตำแหน่งในหน่วย m

a) จงหาศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่ง $(0\text{ m}, 2.00\text{ m}, -1.00\text{ m})$?

b) จงหาสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งใดๆ?

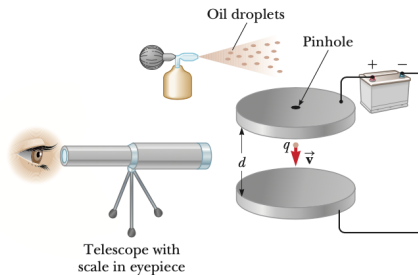
c) จงหาขนาดของสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่ง $(0\text{ m}, 2.00\text{ m}, -1.00\text{ m})$?

Answer : a) 4.00 V , b) $(3y^2 - 5)\hat{i} + (6xy - 2z^2)\hat{j} - 4yz\hat{k}\text{ V/m}$

and c) 10.8 V/m

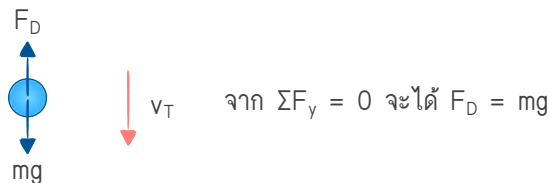
ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

การทดลองหยดน้ำมันของมิลลิแกน (The Millikan Oil-Drop Experiment)

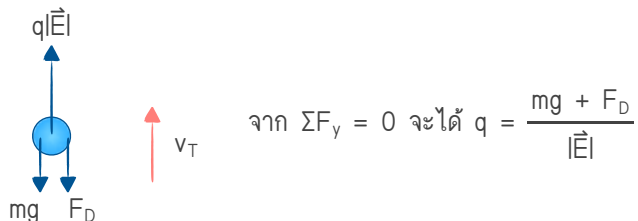


รูปภาพจาก : Serway & Jewett - Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics 9ed

พิจารณาในกรณีที่หยดน้ำมันเคลื่อนที่ลงตามแนวดิ่งด้วยความเร็วสุดท้าย ในขณะที่ยังไม่มีสนามไฟฟ้าจะได้แผนภาพอิสระ ดังรูปด้านล่าง



พิจารณาในกรณีที่หยดน้ำมันเคลื่อนที่ขึ้นตามแนวดิ่งด้วยความเร็วสุดท้าย ในขณะที่มีสนามไฟฟ้าจะได้แผนภาพอิสระ ดังรูปด้านล่าง



การทดลองดังกล่าวนำไปสู่ข้อสรุปว่าประจุไฟฟ้ามีขนาดไม่ต่อเนื่อง โดยจะมีขนาดเป็นจำนวนเท่าของขนาดประจุของอิเล็กตรอน ($e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$)

Problem 13.118

หยดน้ำมันมวล 1.96×10^{-24} kg มีอิเล็กตรอนอิสระอยู่จำนวนหนึ่ง ทำให้ลอยอยู่นิ่งระหว่างแผ่นประจุขนานซึ่งมีสนามไฟฟ้าในแนวดิ่งขนาด 6.00×10^{-8} N/C หยดน้ำมันดังกล่าวมีอิเล็กตรอนจำนวนเท่าใด?

Answer : 200 อิเล็กตรอน

Problem 13.119

ในการทดลองหยดน้ำมันของมิลลิแกน พบว่าหยดน้ำมันมวล 1.60×10^{-14} kg ลอยนิ่งระหว่างแผ่นประจุขนาน ซึ่งห่างกัน 1.00 cm โดยประจุแผ่นบนมีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าแผ่นล่าง 392 V หยดน้ำมันดังกล่าวมีอิเล็กตรอนอิสระจำนวนเท่าใด?

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Answer : 25.0 อิเล็กตรอน

Problem 13.120

แผ่นประจุขนานห่างกัน 1.00 cm ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอในแนวดิ่ง ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างแผ่นประจุทั้งสองจะต้องมีขนาดเท่าใดจึงจะทำให้อนุภาคมวล 1.60×10^{-15} kg ประจุ 1.60×10^{-19} C เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่?

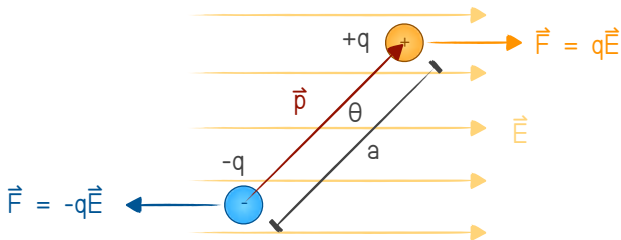
Answer : 980 V

ขั้วไฟฟ้าในสนามไฟฟ้า (Electric Dipole in an Electric Field) [Additional]



ขั้วไฟฟ้าในสนามไฟฟ้า (Electric Dipole in an Electric Field)

พิจารณาทอร์กของ Dipole ภายในสนามไฟฟ้า ดังรูปด้านล่าง



จะได้ $\tau = 2aqE\sin\theta$

เมื่อ $p \equiv 2aq$ ทิศชี้จากประจุ $-q$ ไปยังประจุ $+q$

จะได้ $\tau = |p|E\sin\theta$

$\therefore \tau = p \times E$

พิจารณาพลังงานศักย์ของ Dipole ภายในสนามไฟฟ้า

$$\text{จาก } \Delta U = \int_{\theta_0}^{\theta} \tau d\theta$$

$$U - 0 = \int_{\pi/2}^{\theta} |p|E\sin\theta d\theta$$

$$U = -|p|E\cos\theta$$

$$\therefore U = -\vec{p} \cdot \vec{E}$$

ความจุไฟฟ้า (Capacitance)



ความจุไฟฟ้า (Capacitance)

ความจุไฟฟ้า (Capacitance ; C [F]) คือ อัตราส่วนของขนาดประจุบนแต่ละตัวนำต่อขนาดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างคู่ตัวนำนั้น

$$C = \frac{|Q|}{|\Delta V|}$$

$|Q|$ คือ ขนาดประจุบนแต่ละตัวนำ

$|\Delta V|$ คือ ขนาดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างคู่ตัวนำ

ในแผนภาพวงจรไฟฟ้าจะใช้สัญลักษณ์แทนตัวเก็บประจุ คือ $\text{+}||\text{-}$ หรือ $\text{+}\text{C}\text{-}$

ข้อสังเกต

ตัวเก็บประจุอาจมีหรือไม่มีประจุสะสมอยู่ข้างในก็ได้ การที่ตัวเก็บประจุจะมีประจุสะสมต้องได้รับการประจุ (Charging) ก่อน

ประจุที่สะสมบนตัวเก็บประจุมีค่าเท่ากับขนาดประจุที่สะสมบนแผ่นตัวนำแต่ละแผ่น โดยไม่พิจารณาชนิดของประจุ ดังนั้นประจุที่สะสมบนตัวเก็บประจุจะมีค่าเป็นศูนย์เฉพาะตอนที่แผ่นตัวนำแต่ละแผ่นไม่มีประจุเท่านั้น

ความจุของตัวเก็บประจุอาจไม่ใช่ปริมาณประจุมากที่สุดที่ตัวเก็บประจุสามารถเก็บสะสมไว้ได้

การนำตัวเก็บประจุไปใช้งานต้องพิจารณาความต่างศักย์ที่นำตัวเก็บประจุไปต่อเข้ากับวงจร ถ้าความต่างศักย์มากกว่าค่าที่ระบุไว้บนตัวเก็บประจุจะทำให้ตัวเก็บประจุเสียหายและอาจเกิดอันตรายได้

ตัวเก็บประจุบางชนิดมีการระบุขั้วบวกและลบสำหรับต่อเข้าในวงจร ถ้าต่อตัวเก็บประจุไม่ถูกต้องกับขั้วที่ระบุไว้บนตัวเก็บประจุจะทำให้ตัวเก็บประจุเสียหายได้

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

ตัวเก็บประจุไม่ใช่แบตเตอรี่ ตัวเก็บประจุสะสมพลังงานไฟฟ้าจากประจุไฟฟ้า สามารถให้พลังงานไฟฟ้าได้ในเวลาสั้นๆ ในขณะที่แบตเตอรี่สะสมพลังงานเคมีและเปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า สามารถให้พลังงานไฟฟ้าได้ต่อเนื่องเป็นช่วงเวลานาน

สายล่อฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ทำให้ประจุไฟฟ้าจากก้อนเมฆถ่ายโอนผ่านสายล่อฟ้า ช่วยให้อลดปริมาณประจุไฟฟ้าในบรรยากาศรอบๆ ทำให้ไม่เกิดฟ้าผ่าตึกหรือสิ่งก่อสร้างที่มีสายล่อฟ้าติดตั้งอยู่

Problem 13.121

ตัวเก็บประจุขนาด 0.10 nF มีความต่างศักย์ 50 V ถ้าตัวเก็บประจุดังกล่าวต่อเข้ากับตัวเก็บประจุอีกตัวหนึ่งซึ่งไม่มีประจุสะสมอยู่เลย หลังการต่อดังกล่าวทำให้ความต่างศักย์คร่อมตัวเก็บประจุตัวแรกลดลงเหลือ 20 V ค่าความจุของตัวเก็บประจุตัวหลังเป็นเท่าใด?

Answer : 0.15 nF

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.122

แผ่นประจุขนานห่างกัน 10.0 cm มีค่าความจุไฟฟ้า 90.0 pF ถ้าสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นคู่ขนานดังกล่าวมีขนาด 300 N/C แผ่นคู่ขนานแต่ละแผ่นมีประจุอยู่ขนาดเท่าใด?

Answer : 2.7 nC

Problem 13.123

แผ่นประจุขนานห่างกัน 1.00 mm มีประจุไฟฟ้าสะสมอยู่ $1.50 \mu\text{C}$ และมีสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นประจุทั้งสองขนาด 500 V/m ค่าความจุไฟฟ้าของแผ่นประจุคู่ขนานดังกล่าวเป็นเท่าใด?

Answer : 3.00 μF

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

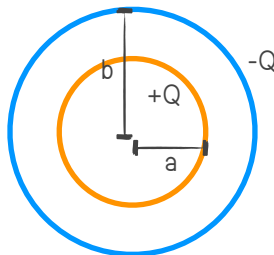
Problem 13.124 Challenge

จงหาค่าความจุไฟฟ้าของแผ่นประจุขนานพื้นที่หน้าตัด A โดยแผ่นประจุอยู่ห่างกันเป็นระยะ d และประมาณได้ว่าแผ่นประจุมีขนาดใหญ่มากๆ?

$$\text{Answer : } \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

Problem 13.125 Challenge

ทรงกระบอกตัวนำรัศมี a มีประจุ Q อยู่บนทรงกระบอกตัวนำบางรัศมี b ซึ่งมีประจุ $-Q$ ดังรูปด้านล่าง ถ้าทรงกระบอกทั้งสองยาว L จงหาค่าความจุไฟฟ้าของทรงกระบอกดังกล่าว?

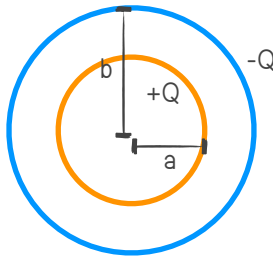


ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

$$\text{Answer : } \frac{2\pi\epsilon_0 L}{\ln(b/a)}$$

Problem 13.126 Challenge

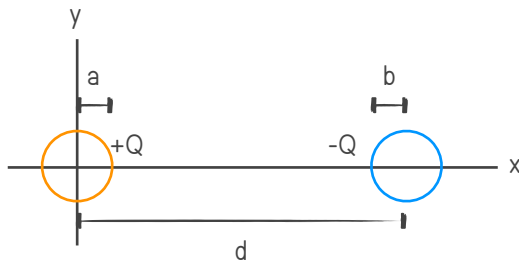
ทรงกลมตัวนำรัศมี a มีประจุ Q อยู่ในทรงกลมตัวนำบางรัศมี b ซึ่งมีประจุ $-Q$ ดังรูปด้านล่าง จงหาค่าความจุไฟฟ้าของทรงกลมดังกล่าว?



$$\text{Answer : } \frac{4\pi\epsilon_0 ab}{b - a}$$

Problem 13.127 Challenge

ตัวนำทรงกลมสองอันรัศมี a และ b วางอยู่คนละตำแหน่งโดยมีจุดศูนย์กลางห่างกันเป็นระยะ d ($d \gg a$ และ $d \gg b$) จงหาค่าความจุไฟฟ้าของระบบนี้?

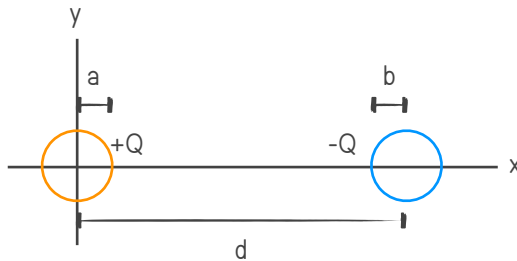


ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

$$\text{Answer : } \frac{4\pi\epsilon_0}{\frac{1}{a} + \frac{1}{b} - \frac{2}{d}}$$

Problem 13.128 Challenge

ตัวนำทรงกระบอกสองอันรัศมี a และ b ยาว L วางอยู่คนละตำแหน่งโดยมีจุดศูนย์กลางห่างกันเป็นระยะ d ($d \gg a$ และ $d \gg b$) จงหาค่าความจุไฟฟ้าของระบบนี้?



ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

$$\text{Answer : } \frac{2\pi\epsilon_0 L}{\ln\left(\frac{d^2}{ab}\right)}$$

พลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ (Energy Stored in a Charged Capacitor)

จาก $\Delta U = \int \Delta V dq$

เริ่มพิจารณาจากตอนที่ยังไม่มีประจุสะสมในตัวเก็บประจุ ไปถึงตอนที่มีประจุสะสมในตัวเก็บประจุเท่ากับ Q

จะได้
$$\Delta U = \int_0^Q \left(\frac{q}{C}\right) dq \quad ; \quad \Delta V = \frac{q}{C}$$

$$U - 0 = \frac{q^2}{2C} \Big|_0^Q$$

$$U = \frac{Q^2}{2C}$$

จาก $C = \frac{|Q|}{|\Delta V|}$ จะได้
$$U = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2}C\Delta V^2 = \frac{1}{2}Q\Delta V$$



พลังงานที่สะสมในตัวเก็บประจุไฟฟ้า

$$U = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2}C\Delta V^2 = \frac{1}{2}Q\Delta V$$

U คือ พลังงานที่สะสมในตัวเก็บประจุไฟฟ้า

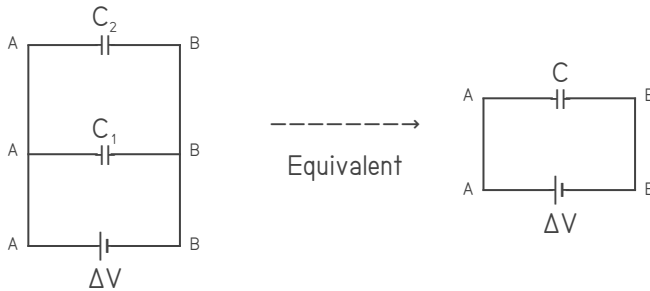
Q คือ ขนาดของประจุที่สะสมในตัวเก็บประจุไฟฟ้า

C คือ ค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุไฟฟ้า

ΔV คือ ขนาดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่คร่อมตัวเก็บประจุไฟฟ้า

การรวมกันของตัวเก็บประจุ (Combinations of Capacitors)

การรวมตัวเก็บประจุแบบขนาน (Parallel Combination)



จาก

$$Q_1 + Q_2 = Q$$

$$C_1 \Delta V_1 + C_2 \Delta V_2 = C \Delta V$$

$$C_1 \Delta V_{AB} + C_2 \Delta V_{AB} = C \Delta V_{AB}$$

$$C_1 + C_2 = C$$

หรือ

$$C = C_1 + C_2$$

$$C = C_1 + C_2 + \dots = \Sigma C_i$$



การรวมตัวเก็บประจุแบบขนาน (Parallel Combination)

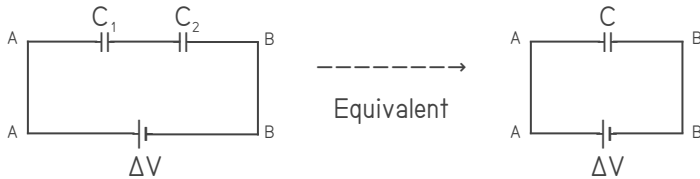
$$C = \Sigma C_i$$

C คือ ความจุไฟฟ้าหนึ่งตัวซึ่งสมมูลกับระบบความจุไฟฟ้าซึ่งต่อขนานกัน

C_i คือ ความจุไฟฟ้าแต่ละตัวในระบบซึ่งต่อขนานกัน

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

การรวมตัวเก็บประจุแบบอนุกรม (Series Combination)



จาก

$$\Delta V_1 + \Delta V_2 = \Delta V$$

$$\frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} = \frac{Q}{C}$$

$$\frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} = \frac{Q}{C}$$

$$\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{C}$$

 $\therefore$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots$$

$$\frac{1}{C} = \sum \frac{1}{C_i}$$



การรวมตัวเก็บประจุแบบอนุกรม (Series Combination)

$$\frac{1}{C} = \sum \frac{1}{C_i}$$

C คือ ความจุไฟฟ้าหนึ่งตัวซึ่งสมมูลกับระบบความจุไฟฟ้าซึ่งต่ออนุกรมกัน

 C_i คือ ความจุไฟฟ้าแต่ละตัวในระบบซึ่งต่ออนุกรมกัน

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)



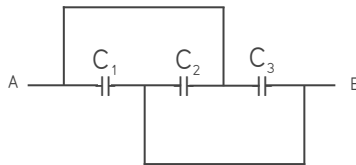
ข้อสังเกต

การนำตัวเก็บประจุมาต่อกันแบบอนุกรมหรือแบบขนาน ประจุไฟฟ้าจะไม่เคลื่อนที่ผ่านตัวเก็บประจุแต่ละตัว แต่จะถูกเหนี่ยวนำให้มีการสะสมประจุบนตัวเก็บประจุ

การนำตัวเก็บประจุมาต่อกันแบบขนานจะทำให้ได้ความจุสมมูลเพิ่มขึ้น และการนำตัวเก็บประจุมาต่อกันแบบอนุกรมจะทำให้ได้ความจุสมมูลลดลง

Problem 13.129

จากรูปด้านล่าง เมื่อ $C_1 = 10 \mu\text{F}$, $C_2 = 15 \mu\text{F}$ และ $C_3 = 30 \mu\text{F}$ ค่าความจุไฟฟ้าที่สมมูลของวงจรดังกล่าวเป็นเท่าใด?

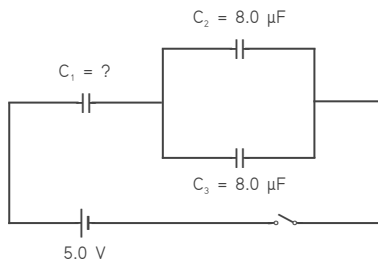


Answer : $55 \mu\text{F}$

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Problem 13.130

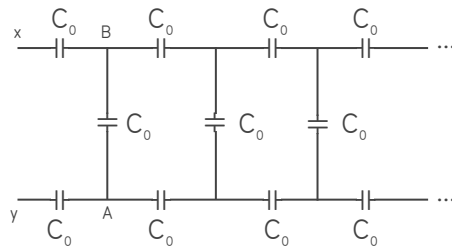
จากรูปด้านล่าง เมื่อเริ่มสับสวิตช์จะมีประจุขนาด $40\ \mu\text{C}$ ไหลออกจากแบตเตอรี่ ไปสะสมบนตัวเก็บประจุทั้งสาม ค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ C_1 เป็นเท่าใด?



Answer : $16\ \mu\text{F}$

Problem 13.131

ตัวเก็บประจุไฟฟ้าจำนวนอนันต์ตัวมีการต่อเชื่อมโยงกันเป็นวงจรดังรูปด้านล่าง จงหาค่าความจุไฟฟ้าคร่อมจุด x และ y ?

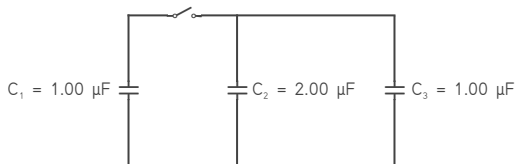


ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

$$\text{Answer : } \left(\frac{\sqrt{3} - 1}{2}\right)C_0$$

Problem 13.132

จากรูปด้านล่างก่อนสับสวิตช์ คักย์ไฟฟ้าคร่อมตัวเก็บประจุ C_1 เท่ากับ 5.00 V คักย์ไฟฟ้าคร่อมตัวเก็บประจุ C_2 และ C_3 เท่ากับ 0 V หลังจากสับสวิตช์คักย์ไฟฟ้าคร่อมตัวเก็บประจุ C_1 จะเป็นเท่าใด?

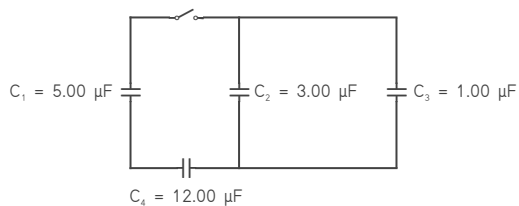


ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Answer : 1.25 V

Problem 13.133

จากรูปด้านล่างก่อนสับสวิตช์ มีประจุสะสมอยู่ที่ตัวเก็บประจุ C_1 เท่ากับ $40.0 \mu\text{C}$ และตัวเก็บประจุอื่นๆ ไม่มีประจุสะสมอยู่เลย หลังจากสับสวิตช์ ศักย์ไฟฟ้าคร่อมตัวเก็บประจุ C_1 เป็นเท่าใด?

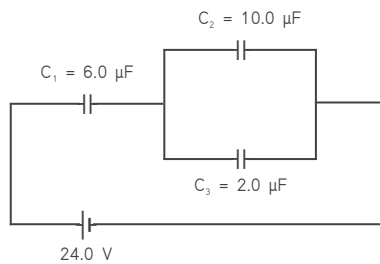


ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Answer : 5.00 V

Problem 13.134

จากรูปด้านล่าง ถ้าความต่างศักย์คร่อมตัวเก็บประจุ C_2 และ C_3 เท่ากับ 8.0 V ประจุที่อยู่บนตัวเก็บประจุแต่ละตัวเป็นเท่าใด?

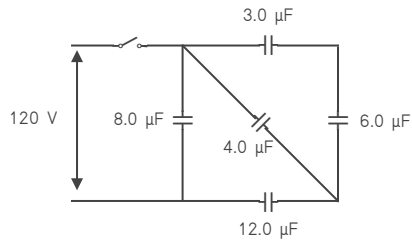


ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Answer : $Q_1 = 96 \mu\text{C}$, $Q_2 = 80 \mu\text{C}$ and $Q_3 = 16 \mu\text{C}$

► Problem 13.135

จากรูปด้านล่าง จงหาประจุสะสมบนตัวเก็บประจุ $6.0 \mu\text{F}$?

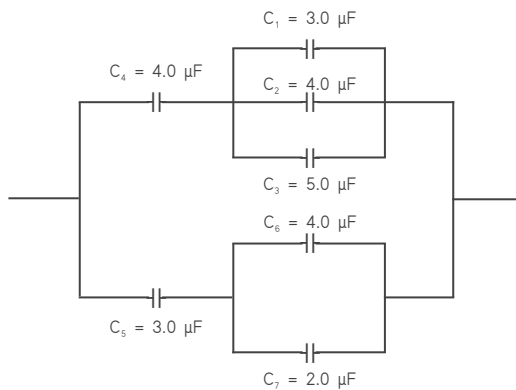


ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Answer : 0.16 mC

Problem 13.136

จากรูปด้านล่าง ถ้าตัวเก็บประจุ C_3 มีประจุอยู่ $120\ \mu\text{C}$ ความต่างศักย์คร่อมตัวเก็บประจุ C_5 เป็นเท่าใด?



ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Answer : 64 V

Problem 13.137

นำตัวเก็บประจุขนาด 2.0 pF มาทำการชาร์จประจุด้วยความต่างศักย์ 12 V แล้วถอดออก และนำตัวเก็บประจุดังกล่าวมาต่อกับตัวเก็บประจุขนาด 1.0 pF ที่ไม่มีประจุสะสมอยู่เลย ความต่างศักย์คร่อมตัวเก็บประจุทั้งสองจะเป็นเท่าใด?

Answer : 8.0 V

Problem 13.138

นำตัวเก็บประจุขนาด 6.0 pF และ 12.0 pF ต่ออนุกรมกัน แล้วนำระบบตัวเก็บประจุดังกล่าวไปต่อเข้ากับความต่างศักย์ 3.0 V ระบบตัวเก็บประจุดังกล่าวจะมีพลังงานสะสมเท่าใด?

Answer : 18 pJ

Problem 13.139

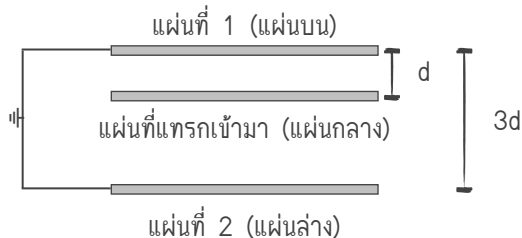
ตัวเก็บประจุสองตัว C_1 และ C_2 ($C_1 > C_2$) ถูกชาร์จจนมีความต่างศักย์ไฟฟ้าเริ่มต้นเท่ากัน ซึ่งเท่ากับ V_0 เมื่อนำตัวเก็บประจุทั้งสองมาต่ออนุกรมกัน โดยตอนเริ่มต้นนำขั้วบวกของ C_1 ต่อเข้ากับขั้วลบของ C_2 และนำขั้วบวกของ C_2 ต่อเข้ากับขั้วลบของ C_1 เมื่อปล่อยให้ประจุถ่ายเทจนสุดท้ายกระแสไฟฟ้าในวงจรเป็นศูนย์ (ความต่างศักย์คร่อมตัวเก็บประจุทั้งสองตัวเท่ากัน) จงหา

- ความต่างศักย์คร่อมตัวเก็บประจุทั้งสองในตอนสุดท้าย?
- พลังงานรวมของตัวเก็บประจุทั้งสองในตอนสุดท้าย?

Answer : a) $(\frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2})V_0$ and b) $\frac{(C_1 - C_2)^2 V_0^2}{2(C_1 + C_2)}$

Problem 13.140 Challenge

แผ่นโลหะขนาดใหญ่พื้นที่ A วางขนานกันอยู่โดยอยู่ห่างกันเป็นระยะ $3d$ แผ่นทั้งสองเชื่อมอยู่กับสายดิน ทำให้ศักย์ไฟฟ้าบนแผ่นโลหะทั้งสองเป็นศูนย์ หากนำแผ่นโลหะอีกแผ่นหนึ่งซึ่งพื้นที่ A และมีประจุ $+Q$ มาวางแทรกระหว่างโลหะทั้งสอง ให้มีระยะห่างจากแผ่นบนเป็นระยะ d ดังรูปด้านล่าง จงหา



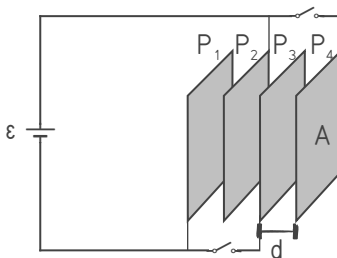
- ประจุเหนี่ยวนำบนแผ่นโลหะสองแผ่นแรก?
- ขนาดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะตรงกลางกับแผ่นโลหะสองแผ่นแรก?

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Answer : a) $Q_1 = -\frac{2Q}{3}$ and $Q_2 = -\frac{Q}{3}$ and b) $|\Delta V_1| = |\Delta V_2| = \frac{2Qd}{3\epsilon_0 A}$

Problem 13.141 Challenge

แผ่นโลหะสี่แผ่น P_1 , P_2 , P_3 และ P_4 มีพื้นที่ A เท่ากันวางอยู่ห่างกันเป็นระยะ d ดังรูปด้านล่าง โดยแผ่น P_1 เชื่อมอยู่กับขั้วลบ ส่วนแผ่น P_2 เชื่อมอยู่กับขั้วบวกของแบตเตอรี่ขนาด $\mathcal{E}$



- ถ้าแผ่น P_3 เชื่อมต่อกับขั้วลบ ค่าความจุไฟฟ้าของระบบดังกล่าวเป็นเท่าใด?
- ประจุบนแผ่น P_2 เป็นเท่าใด?
- ถ้าต่อแผ่น P_4 เชื่อมต่อกับขั้วบวก ค่าความจุไฟฟ้าของระบบดังกล่าวเป็นเท่าใด?
- ประจุบนแผ่น P_4 เป็นเท่าใด?

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

Answer : a) $\frac{2\varepsilon_0 A}{d}$, b) $\frac{2\varepsilon_0 A \varepsilon}{d}$, c) $\frac{3\varepsilon_0 A}{d}$ and d) $\frac{\varepsilon_0 A \varepsilon}{d}$

ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (Capacitors with Dielectrics) [Additional]



ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (Capacitors with Dielectrics)

ในกรณีที่ภายในตัวเก็บประจุไม่ใช่สุญญากาศ แต่เป็นสารไดอิเล็กทริก จะส่งผลให้ค่า ϵ_0 เปลี่ยนไปเป็นค่า ϵ ของสารไดอิเล็กทริกนั้น โดยที่ ϵ และ ϵ_0 สัมพันธ์กันดังนี้

$$\epsilon = K\epsilon_0$$

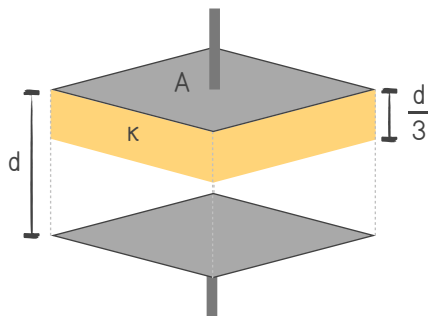
K คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (Dielectric Constant)

ในกรณีแผ่นประจุคู่ขนาน ที่มีสารไดอิเล็กทริกระหว่างแผ่นคู่ขนาน

$$C = \frac{\epsilon A}{d} = \frac{K\epsilon_0 A}{d} = KC_0 \quad ; \quad C_0 = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

Problem 13.142 Challenge

จงหาค่าความจุไฟฟ้าของระบบดังรูปด้านล่าง?

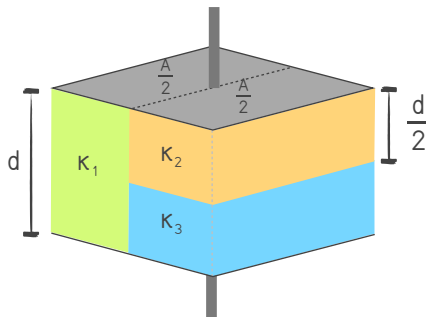


ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

$$\text{Answer : } \left(\frac{3\kappa}{1 + 2\kappa} \right) \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

Problem 13.143 Challenge

จงหาค่าความจุไฟฟ้าของระบบดังรูปด้านล่าง?



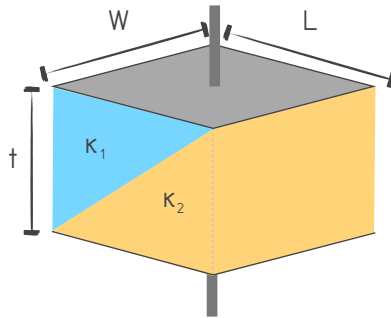
Pinfist : มีรถยนต์ตอนปลาย และอุดมศึกษา

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

$$\text{Answer : } \left(\frac{K_1}{2} + \frac{K_2 K_3}{K_2 + K_3} \right) \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

Problem 13.144 Challenge

จงหาค่าความจุไฟฟ้าของระบบดังรูปด้านล่าง?



ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

$$\text{Answer : } \frac{K_1 K_2}{(K_2 - K_1)} \ln\left(\frac{K_2}{K_1}\right) \frac{\epsilon_0 WL}{\dagger}$$

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

ปรากฏการณ์ฟ้าผ่า (Lightning)

ในปี 1752 Benjamin Franklin ได้พิสูจน์ให้เห็นว่าฟ้าผ่า คือ การคายประจุไฟฟ้าอย่างรุนแรงในก้อนเมฆ นั้นเป็นข้อมูลสำคัญที่นำมาสู่แนวทางในการศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์ฟ้าผ่า

ภายในเมฆคิวมูโลนิมบัส (Cumulonimbus) ซึ่งเป็นเมฆก้อนใหญ่ มีการเคลื่อนที่ของกระแสอากาศอย่างรุนแรง ทำให้เกิดการเสียดสีของหยดน้ำและก้อนน้ำแข็งจนเกิดการแยกตัวของประจุไฟฟ้า โดยทั่วไปยอดเมฆจะเป็นประจุบวกและฐานเมฆจะเป็นประจุลบ เมื่อประจุลบที่ฐานเมฆมีปริมาณมากพอ จะเหนี่ยวนำให้เกิดประจุบวกบนพื้นดิน เมื่อความต่างศักย์ระหว่างประจุมีค่าสูงมากพอ จะเกิดการแตกตัวของอากาศทำให้เกิดช่องทางให้ประจุไฟฟ้าไหลผ่าน เกิดเป็นกระแสไฟฟ้าพลังงานสูงพุ่งผ่านช่องทางดังกล่าวอย่างรวดเร็ว



รูปภาพเมฆคิวมูโลนิมบัสจาก : www.wikipedia.org

ประเภทของฟ้าผ่า

แบบเมฆสู่พื้น (Cloud to Ground ; CG) เป็นการถ่ายโอนประจุไฟฟ้าระหว่างเมฆกับพื้น อาจจะเป็นจากเมฆไปสู่พื้น หรือจากพื้นไปสู่เมฆก็ได้ ในประเทศไทยเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “ฟ้าผ่า”

แบบเมฆสู่เมฆ (Cloud to Cloud ; CC) เป็นการถ่ายโอนประจุไฟฟ้าระหว่างเมฆก้อนหนึ่งกับเมฆอีกก้อนหนึ่ง ในประเทศไทยเรียกรวมปรากฏการณ์นี้ว่า “ฟ้าผ่า” ซึ่งเป็นฟ้าผ่าในแบบที่ขนานกับพื้น

แบบภายในเมฆ (Intra Cloud ; IC) เป็นการถ่ายโอนประจุไฟฟ้าภายในก้อนเมฆเอง ซึ่งเป็นรูปแบบของฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุด ในประเทศไทยเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “ฟ้าแลบ”

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)



แบบเมฆสูงพื้น



แบบเมฆสูงเมฆ



แบบภายในเมฆ

รูปภาพจาก : www.nssl.noaa.gov

ประจุไฟฟ้าที่เกิดการแยกตัวในบริเวณยอดเมฆและฐานเมฆอาจมีการสลับตัวกันได้ หรือในบางครั้งมีการแยกตัวของประจุไฟฟ้าเป็นหลายชั้นในก้อนเมฆ พลวัตของประจุไฟฟ้าในก้อนเมฆจึงเป็นสิ่งที่ซับซ้อนและมีประเด็นให้ศึกษาอีกมาก

จากการทดลองของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) กระทรวงการอุดมศึกษาวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (อว.) พบว่าฟ้าไม่ผ่าลงโทรศัพท์มือถือ และทุกเครื่องยังสามารถใช้งานได้ตามปกติ

พลังงานของสัญญาณโทรศัพท์มือถือไม่สามารถทำให้อากาศแตกตัวเป็นตัวนำได้ แต่มีรายงานว่าการใช้โทรศัพท์อยู่ใกล้บริเวณที่เกิดฟ้าผ่าอาจจะมีผลเหนี่ยวนำให้แบตเตอรี่เกิดการลัดวงจรและเกิดการระเบิดได้ ซึ่งเป็นผลข้างเคียงจากปรากฏการณ์ฟ้าผ่า แต่นั่นไม่ใช่ข้อล่อให้เกิดฟ้าผ่า อย่างไรก็ตามการใช้โทรศัพท์มือถือในสภาวะที่เกิดฝนฟ้าคะนองอาจทำให้น้ำเข้าไปในโทรศัพท์ ทำให้แบตเตอรี่เกิดการลัดวงจรได้

ในขณะที่เกิดฟ้าฝนคะนองควรหลีกเลี่ยงการอยู่ในบริเวณที่โล่งแจ้ง ควรถอดวิทยุหรือเครื่องประดับที่เป็นโลหะออกจากร่างกาย ไม่ควรชูโลหะปลายแหลมสูงขึ้นจากตัวในบริเวณที่โล่งแจ้ง ไม่ควรหลบต้นไม้ใหญ่ ตึกสูง ป้ายโฆษณาขนาดใหญ่ เสาไฟฟ้า ในกรณีที่หลบอยู่ในรถยนต์ควรดับเครื่องยนต์ ปิดกระจก นั่งกดอกหรือวางมือบนตัก และไม่สัมผัสกับส่วนใดส่วนหนึ่งของรถที่เป็นโครงโลหะ

ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics)

