

ไฟฟ้าสถิต

โครงสร้างของสสาร และ ประจุไฟฟ้า

สสารประกอบด้วยอะตอมหนึ่งตัว เช่น ทองแดง Cu เหล็ก Fe หรือ ประกอบด้วยอะตอมมากกว่าหนึ่งตัว เช่น น้ำประกอบด้วย H_2O ก๊าซไฮโดรเจน H_2 ก๊าซออกซิเจน O_2 อะตอมประกอบด้วย อนุภาคมูลฐาน อนุภาคที่หนักที่สุดคือ นิวตรอน 1.675×10^{-27} kg รองลงมาคือ โปรตรอน 1.673×10^{-27} kg และอิเล็กตรอน 9.11×10^{-31} kg นิวตรอน และ โปรตรอน อยู่ร่วมกันเป็นแกนของอะตอมเรียกว่านิวเคลียส อิเล็กตรอน โคจรรอบ ๆ ขนาดของนิวเคลียส 10^{-15} m วงโคจรของอิเล็กตรอนมีขนาด 10^{-10} ต่างกันประมาณ 100,000 เท่า และ ขนาดของอะตอมกำหนดโดยวงโคจรของอิเล็กตรอน

เมื่อเทียบอะตอมกับ อำเภาศรีราชา (616.4 ตารางกิโลเมตร) นิวเคลียสเทียบได้กับอย่างลบบก้องหนึ่งอยู่บริเวณตำบลหนองขาม (ตรงกลางอำเภอ)

อะตอมปกติจะมีนิวตรอน โปรตรอนและอิเล็กตรอนจำนวนเดียวกัน นิวตรอนเป็นกลางทางไฟฟ้า อิเล็กตรอน และ โปรตรอน มีประจุไฟฟ้าจำนวนเท่ากันแต่ต่างชนิดกัน อิเล็กตรอนมีประจุลบ โปรตรอนมีประจุบวก แรงที่ยึดให้นิวเคลียสและอิเล็กตรอนให้อยู่ร่วมกันคือแรงระหว่างประจุต่างชนิดกันซึ่งจะดึงดูดกัน เป็นระหว่างประจุบวกในนิวเคลียส กับ ประจุลบของอิเล็กตรอน ภายในนิวเคลียส โปรตรอนแต่ละตัวจะผลักกัน แรงที่ยึดให้โปรตรอนอยู่ร่วมกันเป็นนิวเคลียสคือแรงนิวเคลียร์ (ซึ่งเรายังไม่เข้าใจ)

กฎการอนุรักษ์ประจุและประจุส่วนเกิน

"ประจุในจักรวาลมีจำนวนคงที่จำนวนหนึ่ง"

"ประจุไหลเข้าสสารหนึ่งเท่ากับประจุไหลออกจากสสารอีกสสารหนึ่ง"

เป็นหลักในการพิจารณาหลักหนึ่งทางฟิสิกส์ ซึ่งสามารถใช้ได้กับหลายปรากฏการณ์ อย่างเช่น การถูแท่งแก้วด้วยผ้าไหมถ้าเราถูนานพอจะพบว่าผ้าไหมและแท่งแก้วออกแรงดูดกัน โดยหลักการนี้เราเข้าใจว่ามีการแลกเปลี่ยนประจุระหว่างผ้าไหมกับแท่งแก้วโดยมีประจุลบออกจากผ้าไหมเข้าไปอยู่ในแท่งแก้วผลคือผ้าไหมขาดประจุลบจึงมีประจุบวกจึงเกิน ส่วนแท่งแก้วมีประจุลบเกิน แรงดูดระหว่างสสารจึงเป็นแรงระหว่างประจุส่วนเกิน

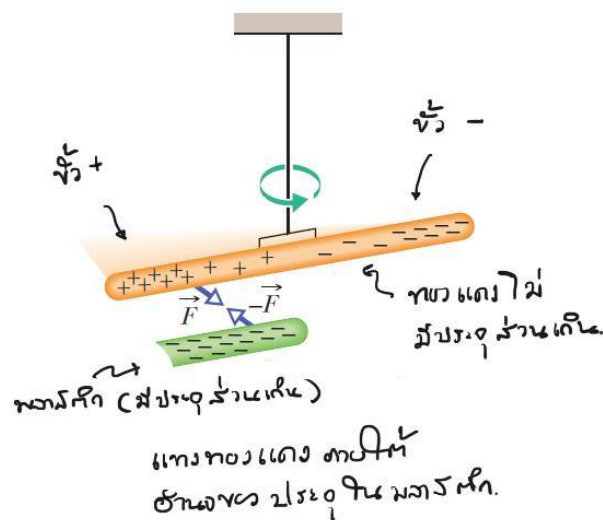
ฉนวน ตัวนำ และ การเกิดขั้วไฟฟ้า

ถ้าแบ่งสารตามสมบัติทางไฟฟ้า เรา แบ่งออกเป็น สามประเภท คือ ฉนวน ตัวนำ และ สารกึ่งตัวนำ สารที่เป็นฉนวนอย่างเช่น แก้ว กระจก ผ้า น้ำ ฯลฯ ไม่มีอิเล็กตรอนอิสระ ซึ่งหมายความว่าอิเล็กตรอนในอะตอมของฉนวนจะอยู่ในอะตอมของมันไม่สามารถเคลื่อนที่ไปอะตอมอื่น

สารที่เป็นตัวนำอย่างเช่น ทองแดง เหล็ก ทองคำ ฯลฯ มีอิเล็กตรอนบางส่วนเป็นอิสระ ซึ่งหมายความว่าบางอิเล็กตรอนในอะตอมของตัวนำสามารถเคลื่อนที่จากอะตอมหนึ่งไปยังอีกอะตอมหนึ่งได้ (คล้ายกับว่ามีทะเลอิเล็กตรอน)

สารกึ่งตัวนำ เป็นฉนวน (เช่นทราย) ที่มีสารอื่นปนอยู่ ซึ่งอาจเกิดขึ้น โดยธรรมชาติ หรือ อาจสร้างขึ้น สารกึ่งตัวนำปกติจะเป็นฉนวน และ เมื่ออยู่ในอำนาจไฟฟ้า(สนามไฟฟ้า)ที่เหมาะสมจะเป็นตัวนำ

โดยปกติสารไม่แสดงอำนาจของขั้วไฟฟ้าเนื่องจาก ประจุลบและบวกในสารมีจำนวนเท่ากัน และ ประจุเหล่านั้นกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอสารมีขั้วได้สองวิธี วิธีแรกคือมีประจุส่วนเกิน (ประจุลบและบวกไม่เท่ากัน) ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้โดยการถ่ายโอนประจุ (อาจโดยการเสียดสี หรือ กลไกอื่น ๆ) และ ถ้าไม่มีประจุส่วนเกิน ประจุที่มีอยู่ในสารจะต้องกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้เมื่อ สารอยู่ภายใต้อำนาจไฟฟ้าของประจุอื่น ดังแสดง ในภาพ

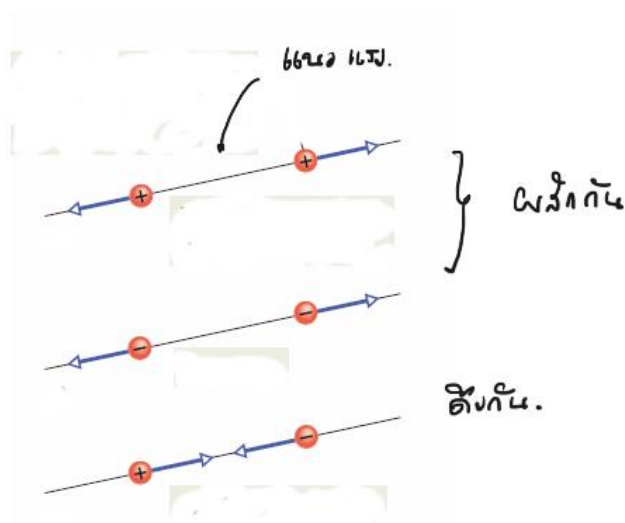


กฎของคูลอมป์ และ หน่วยวัดประจุ

กฎของคูลอมป์ เป็น กฎของแรง กล่าวถึงทิศและขนาดของแรงระหว่างประจุ ดังนี้

ทิศ

แรงกระทำระหว่างจุดประจุสองจุด อยู่ในแนวเส้นตรงที่เชื่อมสองจุด เป็นแรงดึงดูดเข้าหากันถ้าเป็นประจุ ต่างชนิดกัน เป็นแรงผลักถ้าเป็นประจุชนิดเดียวกัน



ขนาด

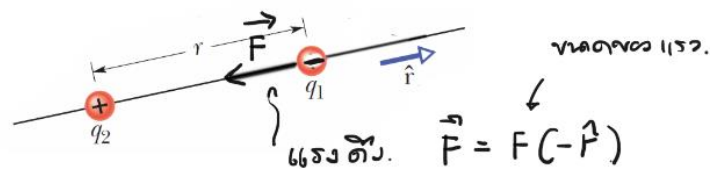
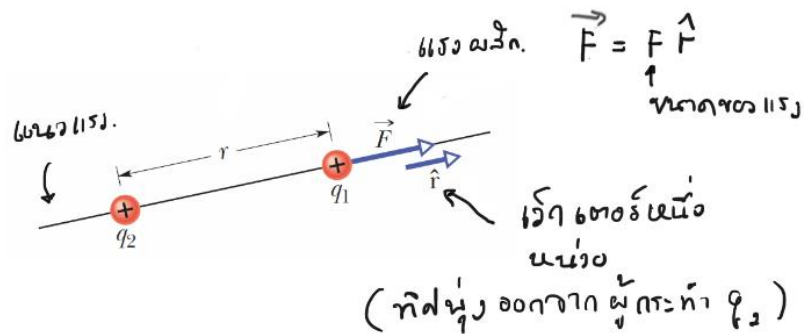
ขนาดของแรงผลักหรือดึงดูดขึ้นแปรผันตรงกับประจุทั้งสอง q_1, q_2 และแปรผกผันกับกำลังสองของระยะระหว่างจุดประจุ r^2 ตามสมการ

$$F = \frac{k|q_1q_2|}{r^2}, k = 8.99 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2} \quad (1)$$

ในสมการ (1) ประจุ q_1 และ q_2 วัดเป็นคูลอมป์ (C) จากสมการนี้เราทราบได้ว่าประจุหนึ่งคูลอมป์อยู่ห่างกันหนึ่งเมตรจะออกแรงกระทำต่อกัน $8.99 \times 10^9 \text{ N}$ ซึ่งเท่ากับน้ำหนักของมวล 8.99×10^8 กิโลกรัม หรือประมาณ เก้าแสนตัน

กฎของคูลอมบ์ในแบบเวกเตอร์

เราสนใจแรง \vec{F} ซึ่งเป็นแรงที่จุดประจุที่สองทำต่อจุดประจุที่หนึ่งจากระยะห่าง r จุดประจุที่สองจะออกแรงกระทำได้สองแบบคือ ผลัก (ออกจากตัวมัน) หรือ ดึง (ดึงเข้าหาตัวมัน) เราสามารถบอกทิศทางผลักหรือดึงได้โดยใช้เวกเตอร์หนึ่งหน่วย \hat{r} ดังรูป



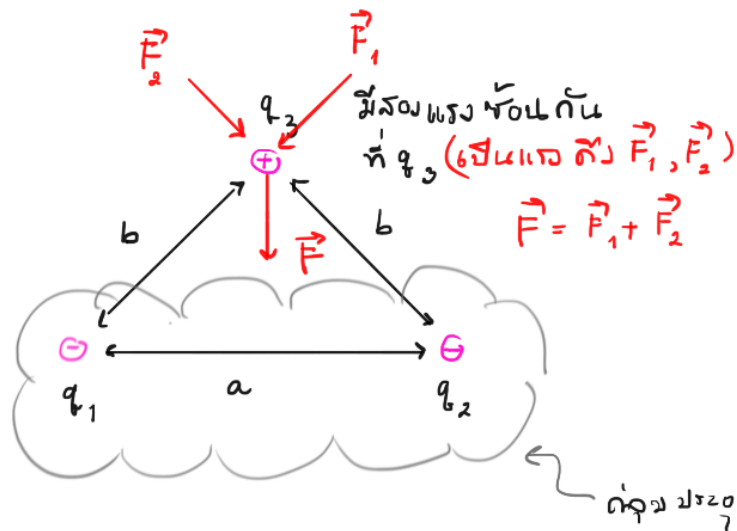
หรือเขียนกฎของคูลอมบ์ในแบบเวกเตอร์ได้ดังนี้

$$\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r} \quad (2)$$

โดยให้ q_1 หรือ q_2 มีค่าเป็นลบเมื่อเป็นประจุชนิดลบ และ มีค่าบวกเมื่อประจุเป็นชนิดบวก

การซ้อนทับกันของแรง (การรวมแรง)

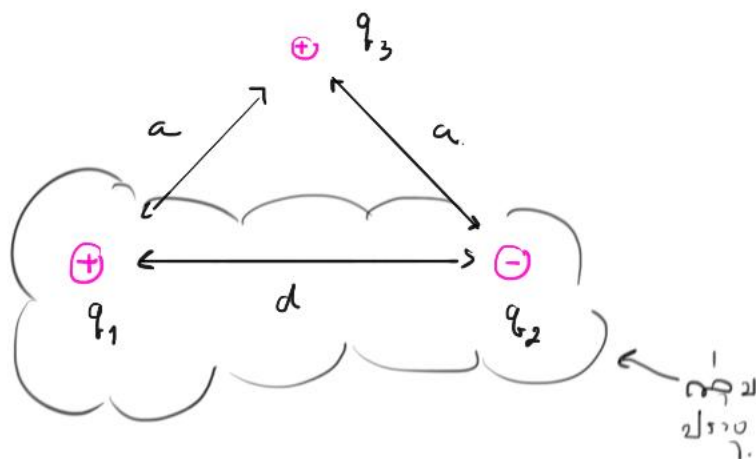
เมื่อจุดประจุหนึ่งอยู่ใกล้กลุ่มจุดประจุอื่น จะถูกแรงจากแต่ละประจุในกลุ่มกระทำ (อาจเป็นแรงดึงดูดหรือผลัก) แรงเหล่านี้จะซ้อนทับกันบนประจุที่มาอยู่ใกล้รวมเป็นแรงลัพธ์แรงหนึ่ง ตัวอย่างเช่น ประจุ q_3 เข้ามาอยู่ใกล้กลุ่มประจุที่ประกอบด้วยสองจุดประจุลบ คือ q_1 และ q_2 ดังแสดงในรูปผลคือมีสองแรงซ้อนกันบน q_3 เป็นแรงดึงดูดทั้งคู่ และ รวมกันเป็นแรงลัพธ์ \vec{F}



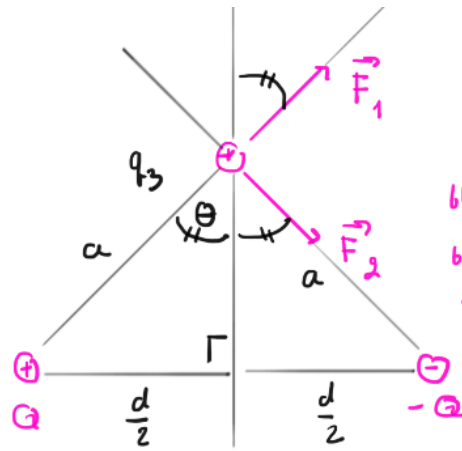
ตัวอย่างการคำนวณแรงลัพธ์

ตัวอย่าง 1.

มีกลุ่มประจุ q_1, q_2 ประจุทั้งสองห่างกันเป็นระยะ d และมีประจุขนาดเดียวกัน Q แต่ต่างชนิดกัน จงหาแรงที่กลุ่มประจุนี้ทำต่อจุดประจุบวก q_3 ซึ่งอยู่ห่างจากประจุทั้งสองในกลุ่มเป็นระยะเท่ากัน คือ a ดังแสดงในรูป



วิธีทำ



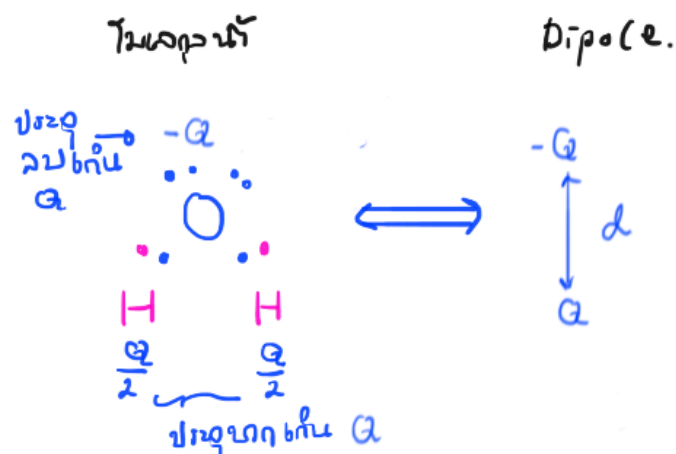
$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$
 แรง \vec{F}_1 และ \vec{F}_2
 แยกกันเป็น x
 และ y

ทราบ $\sin \theta = \left(\frac{d}{2}\right) / a = \frac{d}{2a}$
 แรง \vec{F}_1 และ \vec{F}_2 ในแนว x มีทิศไปทาง \hat{x}
 ขนาดเท่ากันคือ $F \sin \theta$, $F = k \frac{q_3 Q}{a^2}$
 $\therefore \vec{F} = 2 F \sin \theta \hat{x} = 2 \left(k \frac{q_3 Q}{a^2} \right) \left(\frac{d}{2a} \right) \hat{x}$

$$\vec{F} = \frac{k q_3 Q d}{a^3} \hat{x}$$

กลุ่มประจุในตัวอย่างนี้เรียกว่า ไดโพล (Dipole) ซึ่งเป็นระบบประจุที่พบบ่อยครั้งในธรรมชาติ จากตัวอย่างนี้จะเห็นว่าแรงที่ Dipole ทำกับประจุอื่น q_3 จะลดลงไว้มากเมื่อประจุห่างออกไป (a มาก) ซึ่งจะแปรผกผันกับระยะทางกำลังสาม

ตัวอย่างของระบบประจุแบบนี้ คือ โมเลกุลของน้ำ ดังแสดงในรูป



สนามไฟฟ้า

นิยามของสนามไฟฟ้า

สนามไฟฟ้า \vec{E} นิยามโดยอาศัยแรงไฟฟ้าลัพธ์ \vec{F} ของกลุ่มประจุ ที่กระทำต่อประจุบวกหนึ่งหน่วย ซึ่งอยู่ที่ใดที่หนึ่ง(ไม่ห่างจากกลุ่มประจุนั้นมากนัก) สนามไฟฟ้าของกลุ่มประจุหาได้จาก แรง \vec{F}_0 ซึ่งเป็นแรง ที่กลุ่มประจุกระทำต่อประจุทดสอบ q_0 (ซึ่งเป็นประจุบวก) ที่อยู่ที่ตำแหน่ง (x, y, z) ตามสมการ

$$\vec{E}(x, y, z) = \frac{\vec{F}_0}{q_0} \quad (3)$$

โดยนิยามนี้ ถ้าเราทราบสนามของกลุ่มประจุที่ตำแหน่งใด เราจะรู้ว่ามีแรงเท่าใดถ้ามีประจุอื่นไปอยู่ที่ตำแหน่งนั้น ถ้าประจุ q อยู่ในที่ตำแหน่ง (x, y, z) ใกลักษณะกลุ่มประจุ ถ้าเรารู้สนามไฟฟ้าของกลุ่มประจุที่ตำแหน่งนั้น $\vec{E}(x, y, z)$ เราจะหาแรงที่กลุ่มประจุกระทำต่อประจุ q ได้ตามสมการ

$$\vec{F} = q\vec{E}(x, y, z), \quad \vec{F} \text{ คือแรงที่สนามทำกับประจุ } q \quad (4)$$

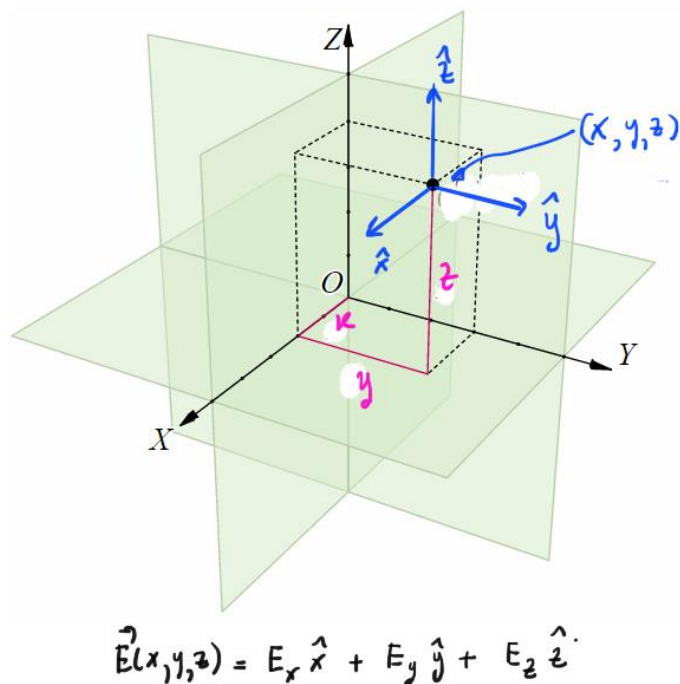
ดังนั้นสนามไฟฟ้าคือตัวแทนของระบบ(กลุ่ม)ประจุ การบอกว่าสนามไฟฟ้าออกแรงกระทำกับประจุใด ก็เท่ากับบอกว่าระบบประจุออกแรงกระทำกับประจุนั้น

องค์ประกอบของเวกเตอร์ และ ระบบพิกัด

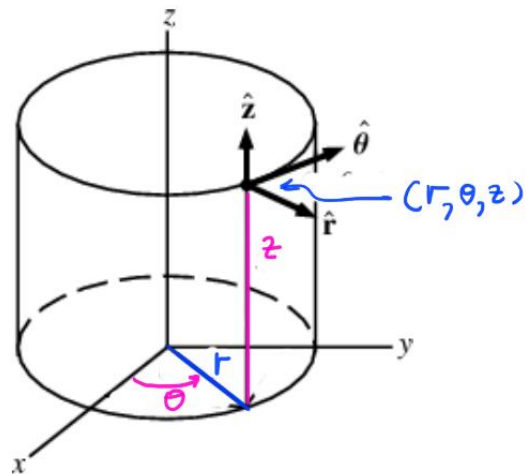
ในทางคณิตศาสตร์สนามไฟฟ้าคือ เวกเตอร์ที่เป็นฟังก์ชันของตำแหน่ง (หนึ่งตำแหน่ง x, y, z มีหนึ่งเวกเตอร์) ในระบบพิกัด x, y, z เขียนได้ว่า $\vec{E}(x, y, z) = E_x\hat{x} + E_y\hat{y} + E_z\hat{z}$ หมายความว่าเวกเตอร์สนามเป็นผลบวกของเวกเตอร์สนามสามเวกเตอร์คือ เวกเตอร์ในแนวแกน \hat{x} คือ $E_x\hat{x}$ ในแนว \hat{y} คือ $E_y\hat{y}$ และในแนว \hat{z} คือ $E_z\hat{z}$ ตามลำดับ

ในการบอกตำแหน่งเราสามารถเลือกระบบพิกัดแบบอื่นนอกจากแบบระบบพิกัดแกนฉาก (x, y, z) จะเลือกแบบใดขึ้นอยู่กับลักษณะของระบบประจุ ระบบพิกัดที่นิยมคือ ระบบระนาบ ระบบทรงกระบอก และ ระบบทรงกลม ดังแสดงในรูป

ระบบพิกัด ระนาบ

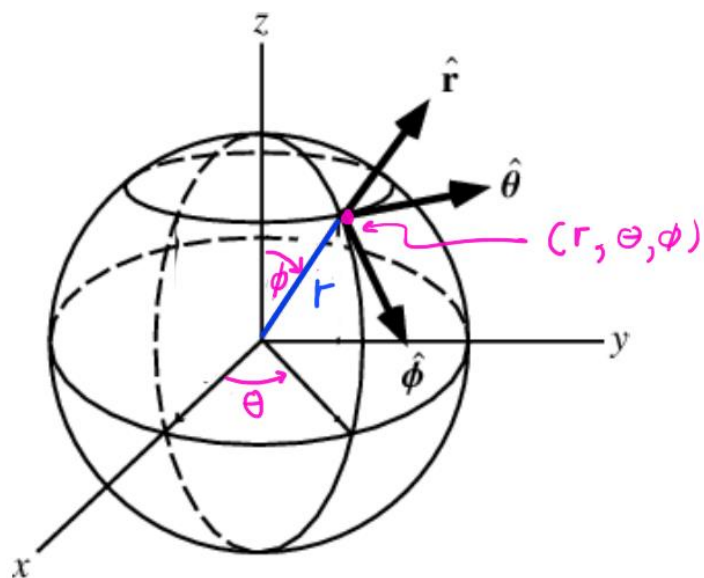


ระบบพิกัดทรงกระบอก



$$\vec{E}(r, \theta, z) = E_r \hat{r} + E_\theta \hat{\theta} + E_z \hat{z}$$

ระบบพิกัดทรงกลม



$$\vec{E}(r, \theta, \phi) = E_r \hat{r} + E_\theta \hat{\theta} + E_\phi \hat{\phi}$$