รูปที่ 1 *เปรียบเทียบการหาแรงทางไฟฟ้ากับสนามไฟฟ้า*

เอกสารประกอบการบรรยาย: ***วิชา 2304102 ฟิสิกส์ทั่วไป 2***
ครั้งที่ 2 ภาคการศึกษาปลาย พ.ศ. 2551
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
วันที่ 29 ตุลาคม พ.ศ. 2551

สารบัญ

1 สนามไฟฟ้า **1**

2 ฟลักซ์ไฟฟ้า **6**

3 กฎของเกาส์ **6**

4 แบบฝึกหัด **7**

1 สนามไฟฟ้า

สนามไฟฟ้า (Electric field, $\vec{\mathbf{E}}$*)* เป็นปริมาณที่แสดงถึงอิทธิพล (แรง) ทางไฟฟ้าของประจุเจ้าของสนามต่อประจุไฟฟ้าตัวอื่น ๆ

$$\vec{\mathbf{E}} = \frac{\vec{\mathbf{F}}}{q_0} = k\frac{q}{r^2}\hat{\mathbf{r}}$$
$$\vec{\mathbf{F}} = q_1\vec{\mathbf{E}}$$

q_0: ประจุทดสอบ (test charge)

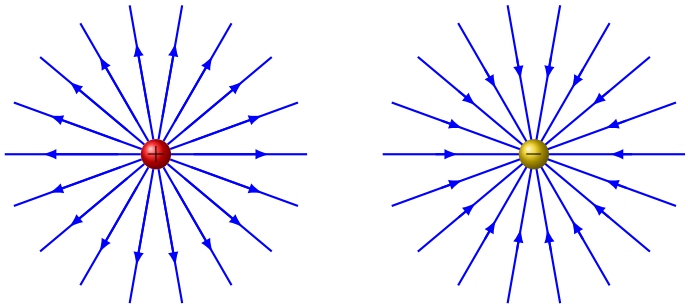
เส้นสนามไฟฟ้าของจุดประจุเดี่ยว

สนามของจุดประจุเดี่ยวต้องพิจารณาในสามมิติ

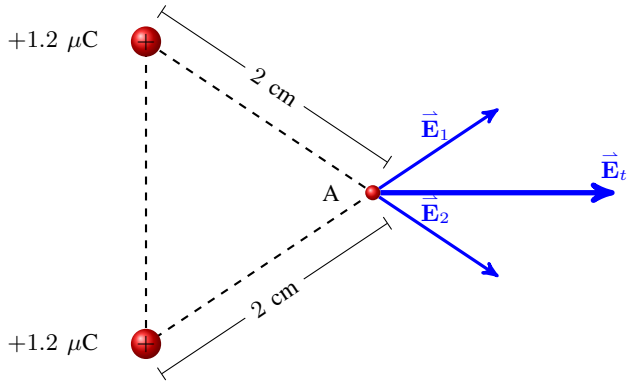
สนามไฟฟ้าของประจุมากกว่าหนึ่งจุดประจุ

การคิดสนามไฟฟ้าของประจุมากกว่าหนึ่งประจุจำเป็นต้องคิดสนามไฟฟ้ารวมแบบเวกเตอร์

$$\vec{\mathbf{E}} = \vec{\mathbf{E}}_1 + \vec{\mathbf{E}}_2 + \vec{\mathbf{E}}_3 + \cdots$$



รูปที่ 2 *ภาคตัดขวางของสนามไฟฟ้าของจุดประจุเดี่ยว*



รูปที่ 3 *ตัวอย่างการคำนวณสนามไฟฟ้าของจุดประจุสองอัน*

สนามไฟฟ้าต้องพิจารณาในสามมิติ

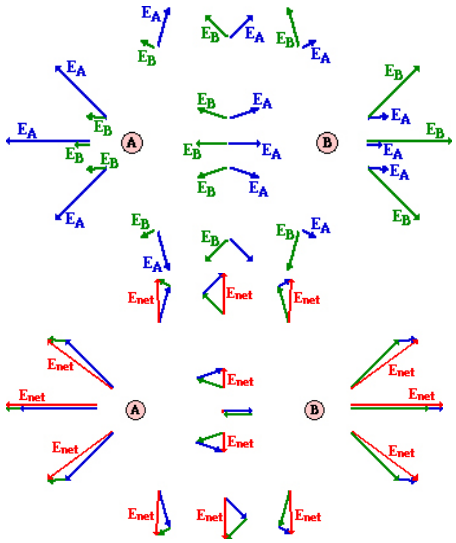
สนามไฟฟ้าของจุดประจุ 2 อัน

เส้นสนามไฟฟ้าของประจุบวก 2 อัน

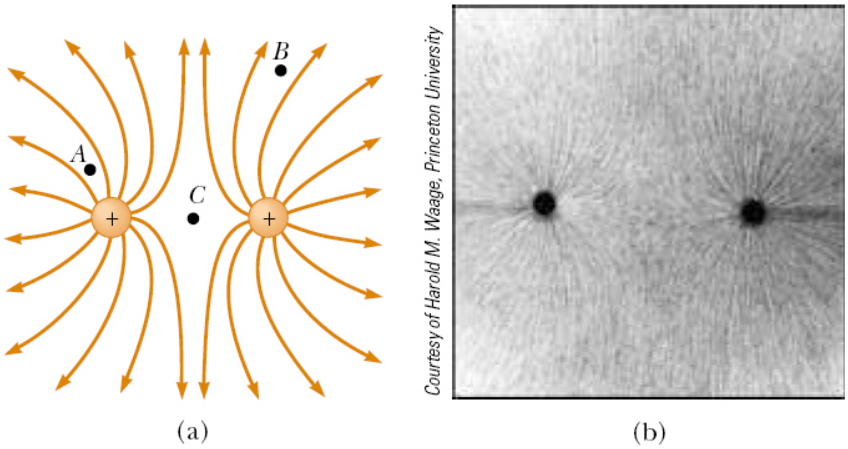
เส้นสนามไฟฟ้าของประจุบวกและลบ

สนามไฟฟ้าของแท่งตัวนำ

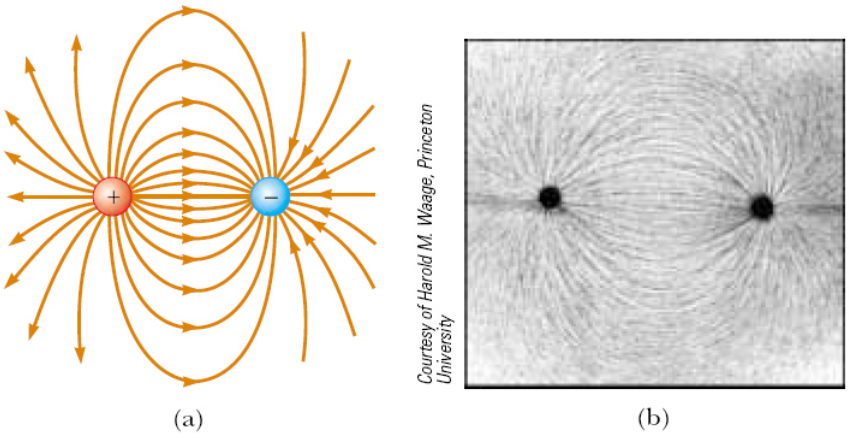
$$\begin{aligned}\vec{\mathbf{E}} &= \sum d\vec{\mathbf{E}} = \int d\vec{\mathbf{E}} \\ &= \int k\frac{dq}{r^2}\hat{\mathbf{r}}\end{aligned}$$



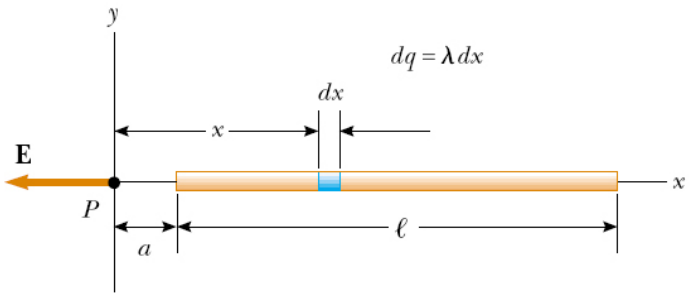
รูปที่ 4 *สนามไฟฟ้าของจุดประจุเดี่ยว 2 อัน*



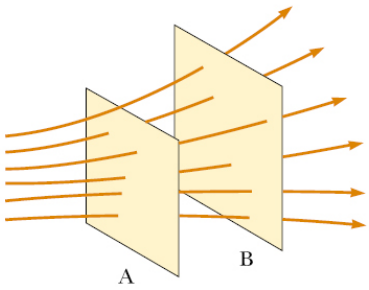
รูปที่ 5 *เส้นสนามไฟฟ้าของจุดประจุบวก 2 อัน*



รูปที่ 6 *เส้นสนามไฟฟ้าของจุดประจุบวกและลบ*



รูปที่ 7 *การหาสนามไฟฟ้าของแท่งตัวนำ*



รูปที่ 8 *ความหนาแน่นของสนามไฟฟ้า*

สิ่งที่ได้จากสนามไฟฟ้า

- ทิศทางของแรงที่เกิดขึ้นกับประจุใด ๆ ที่เข้าสู่สนามไฟฟ้า
- ความหนาแน่นของเส้นแรงไฟฟ้าแสดงถึงขนาดของสนามไฟฟ้า (หนาแน่นมากมีขนาดมาก หนาแน่นน้อยมีขนาดน้อย

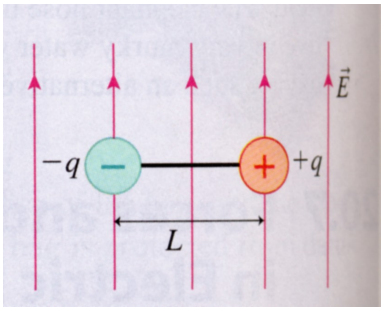
การกระจายของประจุในตัวนำ

- ประจุจะกระจายอยู่ที่ผิวของตัวนำเท่านั้นไม่ว่าตัวนำนั้นจะตันหรือกลวงก็ตาม เพราะอะไร ? ตอบ ถ้าตอนเริ่มต้นประจุกระจายอย่างสม่ำเสมอในตัวนำ ที่ตำแหน่งตรงกลางประจุที่เหมือนกันจะผลักกัน ซึ่งจะทำให้ท้ายที่สุดแล้วประจุทั้งหมดจะเคลื่อนที่ไปอยู่ที่ผิวของตัวนำเสมอ
- เมื่อวางตัวนำไว้ในสนามไฟฟ้า สนามไฟฟ้าภายในตัวนำมีค่าเป็นศูนย์ ทำให้มีการใช้ตัวนำเพื่อป้องกันการรบกวนสัญญาณที่ส่งผ่านสายโลหะใน 1 มิติได้ สนามไฟฟ้าภายนอกตัวนำจะทำให้ประจุบวกและลบเคลื่อนที่ไปทิศตรงข้ามและเกิดการหักล้างกับสนามภายในตัวนำทำให้สนามไฟฟ้าภายในตัวนำกรณีนี้มีค่าเป็นศูนย์
- ประจุไฟฟ้าจะสะสมอย่างหนาแน่นที่ผิวที่มีพื้นที่ปลายแหลมมากกว่า ทำให้ใช้ในการสร้างสายล่อฟ้า

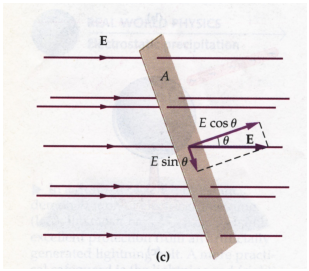
ตัวอย่าง
เกิดอะไรขึ้นเมื่อขั้วคู่ไฟฟ้าอยู่ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ

$$\begin{aligned}\tau &= \tau_+ + \tau_- \\ &= F_+(\frac{L}{2}) + F_-(\frac{L}{2}) = qEL\end{aligned}$$

โมเมนต์ขั้วคู่ไฟฟ้า (Electric dipole moment): ทอร์กลัพธ์เป็นศูนย์เมื่อโมเมนต์ขั้วคู่ไฟฟ้าอยู่ในแนวเดียวกับสนามไฟฟ้า



รูปที่ 9 *รูปประกอบตัวอย่าง*



รูปที่ 10 *นิยามฟลักซ์ไฟฟ้า*

2 ฟลักซ์ไฟฟ้า

นิยามฟลักซ์ไฟฟ้า

ฟลักซ์ไฟฟ้า (Electric flux, Φ) เป็นปริมาณของขนาด (จำนวนเส้นแรง) ของสนามแม่เหล็กในพื้นที่ที่กำหนดใด ๆ

$$\Phi = EA = \oint \vec{\mathbf{E}} \cdot \hat{\mathbf{n}} dA$$
$$= EA\cos\theta$$

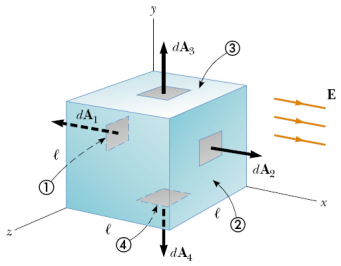
เมื่อ $\hat{\mathbf{n}}$ คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยที่ตั้งฉากกับพื้นที่ dA $\oint$ หมายถึงการอินทิเกรทรอบพื้นที่ผิว

ตัวอย่าง
จงหาฟลักซ์ไฟฟ้าสำหรับผิวปิดสี่เหลี่ยมลูกบาศก์นี้

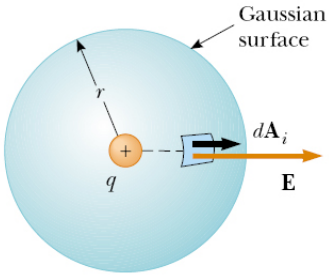
3 กฎของเกาส์

ผิวเกาเซียน

ผิวเกาเซียน (Gaussian surface เป็นผิวสมมติที่ใช้ในกฎของเกาส์



รูปที่ 11 *รูปประกอบตัวอย่าง*



รูปที่ 12 *รูปประกอบตัวอย่าง*

จากความรู้ที่ว่าขนาด(จำนวน)ของสนามไฟฟ้ารวมที่ผ่านพื้นที่ผิวปิดใด ๆ จะมีค่าเท่ากัน ซึ่งทำให้ได้ความสัมพันธ์กับประจุไฟฟ้าดังนี้

$$\epsilon_0 \Phi = \epsilon_0 \oint \vec{\mathbf{E}} \cdot \hat{\mathbf{n}} = q$$

เรียก *กฎของเกาส์*

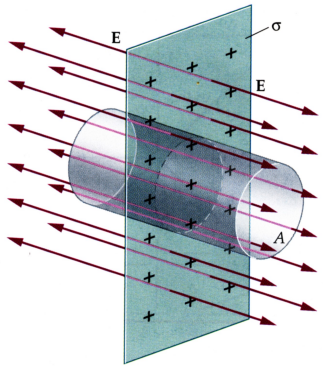
ตัวอย่าง
จงหาสนามไฟฟ้าของจุประจุบวก

ตัวอย่าง
จงหาสนามไฟฟ้าของแผ่นตัวนำบางที่มีประจุบวกกระจายสม่ำเสมอ

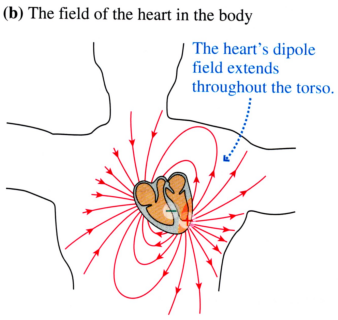
สนามไฟฟ้าของหัวใจ

4 แบบฝึกหัด

1. จุลินทรีย์เช่นแบคทีเรียเล็ก ๆ จะมีประจุเป็นบวกเมื่ออยู่ในสารละลาย ถ้าต้องการวัดจำนวนของจุลินทรีย์พวกนี้ด้วยวิธีการทางไฟฟ้า นิสิตจะมีแนวทางอย่างไร

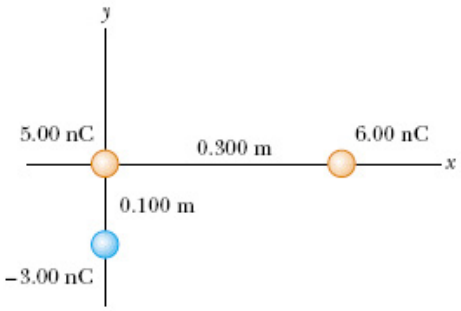


รูปที่ 13 *รูปประกอบตัวอย่าง*



รูปที่ 14 *สนามไฟฟ้าของหัวใจ*

รูปที่ 15 *รูปสำหรับคำถาม 2*



รูปที่ 16 *รูปสำหรับคำถาม 3*

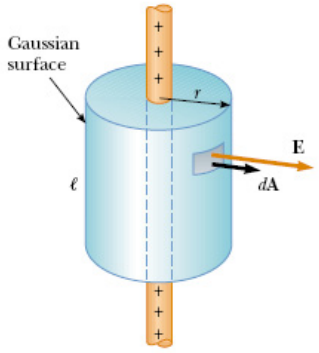
2. จงหาว่าทิศทางของสนามไฟฟ้าที่จุด O ในรูปที่ 15 เป็นอย่างไร พร้อมทั้งวาดเส้นสนามไฟฟ้าของตัวนำครึ่งวงกลมนี้ดู

3. ประจุ 3 อันมีการจัดเรียงตัวกันดังรูป 16 ก) จงหาเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าที่จุดกำเนิดที่เกิดจากประจุ 6.00 nC และ -3.00 nC ข) จงหาเวกเตอร์ของแรงที่ทำกับประจุ 5.00 nC

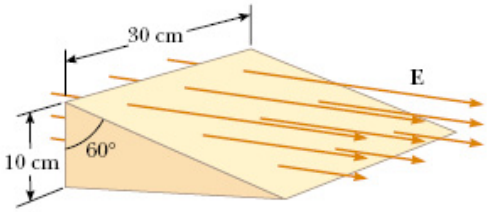
4. พลาสติกทรงกลมสองอันมีประจุ +17 nC และ -17 nC ตามลำดับต่อด้วยแท่งฉนวนยาว 25 mm ถ้าขั้วคู่ไฟฟ้านี้ถูกวางไว้ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอขนาด 7.4×10^5 N/C ทอร์กของไดโพลที่มากที่สุดที่เป็นไปได้ควรมีค่าเท่าใด

5. โปรตีนโมเลกุลในเจลอิเล็กโตรโฟซีสมีประจุเป็นลบซึ่งมีขนาดขึ้นอยู่กับค่า pH ของสารละลาย ซึ่งพบว่าปกติจะมีค่าประจุประมาณ 30 อิเล็กตรอน จงหาว่าแรงไฟฟ้าที่ทำกับโปรตีนชนิดนี้จะมีขนาดเป็นเท่าใดเมื่อวางในสนามไฟฟ้าขนาด 1500 N/C

6. สนามไฟฟ้าในเยื่อหุ้มเซลซึ่งเป็นเหตุที่ทำให้ไอออนเคลื่อนที่ผ่านผนังเซลมีขนาด 1.0×10^7 N/C



รูปที่ 17 *รูปสำหรับคำถาม 7*



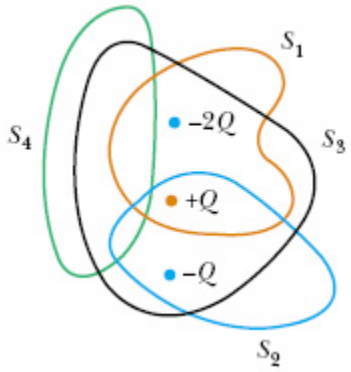
รูปที่ 18 *รูปสำหรับคำถาม 8*

จะทำให้ไอออนของแคลเซียมที่มีขนาดประจุ $+e$ เคลื่อนที่ด้วยแรงเท่าใด

7. พิจารณาแท่งประจุบวกยาวมากและมีประจุกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ โดยมีประจุต่อความยาวเป็น λ ถ้าให้ผิวเกาเซียนเป็นทรงกระบอกรัศมี r รอบแท่งประจุดังรูป 17 จงหา ก) ฟลักซ์ไฟฟ้าสำหรับผิวปิดเกาเซียนนี้ ข) สนามไฟฟ้าที่ระยะทางห่างจากแท่งประจุนี้เป็น r

8. พิจารณากล่องปิดรูปสามเหลี่ยมวางตามแนวขนานกับสนามไฟฟ้าขนาด $E = 7.80 \times 104$ N/C ดังรูป 18 จงหาฟลักซ์ที่ผ่าน ก) พื้นผิวที่ตั้งฉาก ข) พื้นผิวเอียง และ ค) พื้นผิวทุกผิว

9. พื้นผิวปิด S_1 จนถึง S_4 อยู่รอบ ๆ ประจุ $-2Q$, Q และ $-Q$ ดังรูป 19 จงหาฟลักซ์ไฟฟ้าที่ผ่านพื้นผิวแต่ละผิว



รูปที่ 19 *รูปสำหรับคำถาม 9*