สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก

วิชาบังคับเรียนก่อน ฟิสิกส์ 2 สำหรับวิศวกร
สภาพรายวิชา 3(3-0-6)

คำอธิบายรายวิชา

4-211-209 สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก 3(3-0-6)

Electromagnetic Fields

วิชาบังคับก่อน : 2-131-103 ฟิสิกส์ 2 สำหรับวิศวกร

การวิเคราะห์เวกเตอร์ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าสถิตย์ ตัวนำและไดอิเล็กตริก คาปาซิแตนซ์ การพาและการนำกระแส สนามแม่เหล็กสถิตย์ ความเหนี่ยวนำ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา สมการแมกซ์เวลล์ คลื่นระนาบ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในตัวกลางชนิดไอโซทรอปิก

จุดมุ่งหมายรายวิชา

1. เข้าใจสนามเวกเตอร์
2. วิเคราะห์สนามไฟฟ้า
3. วิเคราะห์สนามแม่เหล็ก
4. คำนวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในตัวกลางเชิงสสาร
5. วิเคราะห์ทางไฟฟ้าด้วยทฤษฎีสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก

ระบบการให้คะแนน

สอบกลางภาค 50 คะแนน สอบปลายภาค 50 คะแนน

ต้องสอบได้ขั้นต่ำ 30 คะแนน

คะแนนการบ้านและชั้นเรียน 20 คะแนน

รวมคะแนนสอบผ่านไม่ต่ำกว่า 50 คะแนน

ผู้สอน
รศ.ชัยณรงค์ วิเศษศักดิ์วิชัย

กฎของคูลอมบ์(Coulomb's Law)

- นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศษ

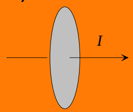
Charles-Augustin de Coulomb
(1736-1806)

- การเกิดกระแสไฟฟ้าในตัวนำเป็นผลมาจาก แรงคูลอมบ์

- ซึ่งคำว่า กระแสไฟฟ้า แท้จริงเป็นคำเรียกอาการของการที่มีประจุไฟฟ้า(electric charges)ไหล กระแสในตัวนำมีหน่วยวัดค่าเป็นคูลอมบ์ต่อวินาที (Coulombs /second ; C/s)

กระแสกับประจุไฟฟ้า

- กำหนดให้ประจุไฟฟ้าไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดของตัวนำดังภาพ มีค่าคงที่ (การกล่าวว่าประจุไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดมีค่าคงที่หมายความว่าไม่ว่าผู้สังเกตจะสังเกต ณ เวลาใดก็ตามจะพบกับจำนวนประจุไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดนั้นเท่าเดิมเสมอ)



  ซึ่งถ้ากำหนดให้เท่ากับ 120 คูลอมบ์ภายใน 1 นาที(minute; *min*) หรือ 120 C/min ดังนั้นค่ากระแสไฟฟ้าในตัวนำจะมีค่าเท่าไร
- จากที่ หน่วยวัดของกระสไฟฟ้าคือ C/s และกระแสคงที่ การสังเกต ณ เวลาใด จะพบประจุไฟฟ้าสมมุติว่ามีค่าเป็น x C/s
- ถ้าปล่อยเวลาเป็น 10 วินาทีก็จะมีประจุไหลผ่านเท่ากับ
  10 x C/10s
- ถ้าปล่อยเวลาเป็น 60 วินาทีก็จะมีประจุไหลผ่านเท่ากับ
  60 x C/min
- I = x C/s แต่กรณีนี้ 120 = 60 x ดังนั้น x = 2 ได้ I = 2 C/s

กระแสกับประจุไฟฟ้า(ต่อ)

- วิศวกรไฟฟ้าใช้คำว่า แอมป์ (amp; A) หรือ แอมแปร์(ampere; A) แทนคำว่า คูลอมบ์ต่อวินาที นั่นคือ ใช้ A แทน C/s
- กระแสในตัวนำมีค่าเท่ากับ 2 C/s ก็จะกล่าวเป็นว่า กระแสในตัวนำมีค่าเท่ากับ 2 A
- พิจารณา กระแสไฟฟ้ในตัวนำ

  กระแสไฟฟ้าในตัวนำมีค่า 1 แอมป์ก็คือจำนวนประจุไฟฟ้าทั้งหมดที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดของตัวนำไฟฟ้ามีค่า 1 คูลอมบ์ภาย ในเวลา 1 วินาที
- แต่ละประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนไหวในตัวนำถูกเรียกว่า ประจุหลักมูล (fun damental charge; e) มีค่าเท่ากับ $e = 1.60206 \times 10^{-19}$ C และมีมวลเท่ากับ $9.1083 \times 10^{-31}\,kg$ (kilogram; kg)
- ประจุหลักมูลมีขนาดเล็กมาก จึงมีการตั้งคำเฉพาะขึ้นมาคือ ประจุจุด (point charge) เพื่อบ่งชี้ถึงมิติที่เล็กมากของประจุไฟฟ้า
- ท่านคิดว่าจะมีกี่ประจุหลักมูลหรือมีกี่ประจุจุดรวมกันถึงจะได้ค่าประจุไฟฟ้า 1 คูลอมบ์

Electromag Note For AEC Fever

Electric charge can be measured using the law for the forces between charges (Coulomb's Law). Charge is a *scalar* and is measured in **coulombs** [1]. The coulomb is actually *defined* in terms of electric current (the flow of electrons), which is measured in **amperes**[2]; when the current in a wire is 1 ampere, the amount of charge that flows past a given point in the wire in 1 second is 1 coulomb. Thus,

$$1\,\text{ampere} = 1\,\text{A} = 1\,\tfrac{\text{C}}{\text{s}}\,.$$

As we now know, when charges are transferred by simple interactions (i.e. rubbing), it is a *negative* charge which is transferred, and this charge is in the form of the fundamental particles called **electrons**. The charge of an electron is 1.6022×10^{-19} C, or, using the definition

$$e = 1.602177 \times 10^{-19}\,\text{C}$$

the electron's charge is $-e$. The proton has charge $+e$. The particles found in nature all have charges which are integral multiples of the **elementary charge** e: $q = ne$ where $n = 0, \pm1, \pm2 \ldots$. Because of this, we say that charge is **quantized**.

The mass of the electron is

$$m_e = 9.1094 \times 10^{-31}\,\text{kg}$$

แนวข้อสอบ

1. What is the total charge of 75.0 kg of electrons? [HRW6 22-19]

The mass of *one* electron is 9.11×10^{-31} kg, so that a mass $M = 75.0$ kg contains

$$N = \frac{M}{m_e} = \frac{(75.0\,\mathrm{kg})}{(9.11 \times 10^{-31}\,\mathrm{kg})} = 8.23 \times 10^{31} \quad \text{electrons}$$

The charge of *one* electron is $-e = -1.60 \times 10^{-19}$ C, so that the total charge of N electrons is:

$$Q = N(-e) = (8.23 \times 10^{31})(-1.60 \times 10^{-19}\,\mathrm{C}) = -1.32 \times 10^{13}\,\mathrm{C}$$

2. How many electrons would have to be removed from a penny to leave it with a charge of $+1.0 \times 10^{-7}$ C?

From Eq. 1.1 we know that as *each* electron is removed the penny picks up a charge of $+1.60 \times 10^{-19}$ C. So to be left with the given charge we need to remove N electrons, where N is:

$$N = \frac{q_{\text{Total}}}{q_e} = \frac{(1.0 \times 10^{-7}\,\mathrm{C})}{(1.60 \times 10^{-19}\,\mathrm{C})} = 6.2 \times 10^{11} \, .$$

ขนาดของแรงคูลอมบ์

- ประจุจุด 2 ประจุมีค่าเท่ากับ q_1 คูลอมบ์(C) และ q_2 คูลอมบ์(C) ตามลำดับ โดยประจุจุดมีระยะห่างระหว่างกันเท่ากับ r เมตร (meter; m) จะเกิดขนาดของแรงไฟฟ้ากระทำระหว่างกันมีค่าเท่ากับ F นิวตัน (Newton; N) ดังนี้

$$F = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$

- เมื่อใช้ ε_0 แสดงแทนค่าคงที่เท่ากับ $8.854 \times 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2}$ ค่าคงที่นี้มีหน่วยเป็น คูลอมบ์กำลังสองต่อนิวตันเมตรกำลังสอง และถูกตั้งชื่อเรียกว่า **ค่าคงที่สภาพยอม** (permittivity constant)
- สมการ F ข้างต้นก็คือ **กฎของคูลอมบ์(Coulomb's law)**
- ถ้าสามารถจัดให้สองประจุหลักมูลอยู่ห่างกัน $4.38 \times 10^{-13}\,m$ ในปริภูมิว่าง (สามมิติที่ว่างเปล่า)ขนาดของแรงไฟฟ้า (แรงคูลอมบ์) จะคำนวณได้ดังนี้
- ขนาดของแรงไฟฟ้า คำนวณโดยกฎของคูลอมบ์มีค่าเท่ากับ

$$F = \frac{(1.60206 \times 10^{-19})^2}{4\pi\varepsilon_0 (4.38 \times 10^{-13})^2} = 0.0012\ N$$

Electromag Note For AEC Fever

Coulomb's Law gives the force of attraction or repulsion between two point charges. If two point charges q_1 and q_2 are separated by a distance r then the magnitude of the force of repulsion or attraction between them is

$$F = k\frac{|q_1|\,|q_2|}{r^2} \qquad \text{where} \qquad k = 8.9876 \times 10^9\,\frac{\mathrm{N{\cdot}m^2}}{\mathrm{C^2}}$$

This is the magnitude of the force which *each charge exerts on the other charge* (recall Newton's 3rd law). The symbol k as used here has to do with electrical forces; it has nothing to do with any spring constants or Boltzmann's constant!

If the charges q_1 and q_2 are of the same sign (both positive or both negative) then the force is mutually *repulsive* and the force on each charge points *away from* the other charge. If the charges are of opposite signs (one positive, one negative) then the force is mutually *attractive* and the force on each charge points *toward* the other one. This is illustrated in Fig. 1.1.

The constant k in Eq. 1.3 is often written as

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \qquad \text{where} \qquad \epsilon_0 = 8.85419 \times 10^{-12}\,\frac{\mathrm{C^2}}{\mathrm{N{\cdot}m^2}}$$

แนวข้อสอบ

3. A point charge of $+3.00 \times 10^{-6}\,\mathrm{C}$ is 12.0 cm distant from a second point charge of $-1.50 \times 10^{-6}\,\mathrm{C}$. Calculate the magnitude of the force on each charge. [HRW6 22-2]

Being of opposite signs, the two charges *attract* one another, and the magnitude of this force is given by Coulomb's law (Eq. 1.3),

$$\begin{aligned} F &= k\frac{|q_1 q_2|}{r^2} \\ &= (8.99 \times 10^{9}\,\tfrac{\mathrm{N\,m^2}}{\mathrm{C^2}})\frac{(3.00 \times 10^{-6}\,\mathrm{C})(1.50 \times 10^{-6}\,\mathrm{C})}{(12.0 \times 10^{-2}\,\mathrm{m})^2} = 2.81\,\mathrm{N} \end{aligned}$$

Each charge experiences a force of attraction of magnitude 2.81 N.

แนวข้อสอบ

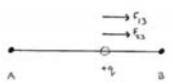
4. A small sphere A carries a charge of $+120\,\mu\mathrm{C}$. Calculate the magnitude and direction of the force which it exerts on a second small sphere B carrying a charge of $-300\,\mu\mathrm{C}$ if the distance between them is 30.0 cm.

The magnitude of the force is therefore given by

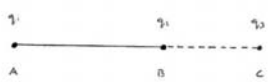
$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{|q_A||q_B|}{r^2} \\ &= (9 \times 10^{9})\frac{(120 \times 10^{-6})(300 \times 10^{-6})}{(0.3)^2} \\ &= 3.60 \times 10^{3}\,\mathrm{N} \end{aligned}$$

แนวข้อสอบ

A 4.5 μC and a -0.50 μC charge are placed 18 cm apart. Where can a third charge be placed so that it experiences no net force?



If a third charge, q_3, is placed in between the two original charges, it would not be possible for it to experience a net force of zero since the force due to both charges would point in the same direction.
For a positive q_3, the repulsive force due to the 4.5 μC charge would point in the positive x direction. The attractive force due to the -0.5 μC charge would also point in the positive x direction.
Similarly, a negative q_3 would experience an attractive force due to the 4.5 μC charge, pointing in the negative x direction. The repulsive force due to the -0.5 μC charge would also point in the negative x direction.



แนวข้อสอบ

The only possibility is for the third charge q_3 to be placed beyond the -0.5 μC. Let this charge be a distance x away from B. The force $\mathbf{F}_B$ due to the -0.5 μC charge on q_3 is

$$F_B = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{(0.5\times10^{-6})q_3}{x^2}$$

and $\mathbf{F}_A$ due to the 4.5 μC charge on q_3 is

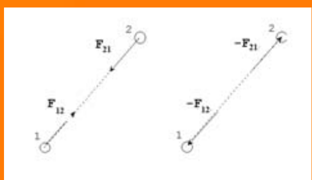
$$F_A = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{(4.5\times10^{-6})q_3}{(0.18+x)^2}$$

At the neutral point (with a net force of zero), F_A must be equal to F_B:

$$\begin{aligned} F_A &= F_B \\ \therefore \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{(4.5\times10^{-6})q_3}{(0.18+x)^2} &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{(0.5\times10^{-6})q_3}{x^2} \\ &= \\ &= \\ &= \\ &= \\ &= \\ &= \\ &= \end{aligned}$$

กฎข้อที่ 3 ของนิวตัน

- แรงที่เกิดจากการปฏิสัมพันธ์กันของสองอนุภาค จะกระทำต่อกันในลักษณะ แรงที่ให้ออกมาโดยอนุภาคที่หนึ่งไปยังอีกอนุภาคที่สองจะเท่ากันและตรงข้าม กับแรงที่ให้ออกมาโดยอนุภาคที่สอง ไปยังอนุภาคที่หนึ่ง แรงทั้งคู่จะชี้ไปตามแนวเส้นตรงลากเชื่อมระหว่างอนุภาคทั้งสอง

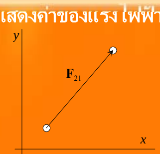


- โดยการใช้กฎข้อที่ 3 ของนิวตันจะแทนที่คำว่า อนุภาค ด้วย ประจุจุด ทำให้ได้ลักษณะแรงที่เกิดขึ้นบนคู่ของประจุจุดตามกฎของคูลอมบ์ 2 ลักษณะดังนี้

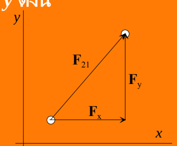
แรงไฟฟ้าหรือแรงคูลอมบ์มี 2 ลักษณะคือแรงดูด และแรงผลัก

การแสดงค่าของแรงไฟฟ้า

- พิจารณาเส้นลูกศรแสดงค่าของแรง ไฟฟ้า



- การกำหนดค่าให้ $\mathbf{F}_{21}$ จะต้องสร้างเส้นลูกศรให้กับ $\mathbf{F}_{21}$ อีกสองเส้นขนานนักบแกน x และ y ดังนี้



- เขียนสมการแสดงแทนรูปเส้นลูกศรทั้ง 3 เส้นดังนี้

$$\mathbf{F}_{21} = \mathbf{F}_X + \mathbf{F}_Y$$

การแสดงค่าของแรงไฟฟ้า(ต่อ)

- กำหนดสัญลักษณ์อักษรแทนเส้นลูกศรยาวหนึ่งหน่วยขนานกับแกน x ชี้ไปในทิศทางการเพิ่มค่าคือ $\mathbf{i}$
- กำหนดสัญลักษณ์อักษรแทนเส้นลูกศรยาวหนึ่งหน่วยขนานกับแกน y ชี้ไปในทิศทางการเพิ่มค่าคือ $\mathbf{j}$
- ดังนั้นถ้า $\mathbf{F}_x$ มีความยาว 3 หน่วยจะได้ว่า

$$\mathbf{F_x} = 3\mathbf{i}$$

- ถ้า $\mathbf{F}_y$ มีความยาว 4 หน่วยจะได้ว่า

$$\mathbf{F_y} = 4\mathbf{j}$$

- ด้วยเหตุนี้ค่าของแรงไฟฟ้า $\mathbf{F}_{21}$ จึงกำหนดได้ด้วยสมการ

$$\mathbf{F}_{21} = 3\mathbf{i} + 4\mathbf{j}$$

- ความยาวของ $\mathbf{F}_{21}$ เรียกว่า **ขนาดของแรง** ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$F_{21} = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5$$

การบ้านและแนวข้อสอบ

- จงอิบายความหมายของคำว่า คูลอมบ์ และ แอมแปร์ พร้อมทั้งบอกด้วยว่าคำทั้งสองเกี่ยวข้องกับบุคคลหรือไม่อย่างไร
- กระแสไฟฟ้าคงที่ไหลในตัวนำ ถ้าประจุไฟฟ้ามีอัตราการไหลผ่านพื้นที่หน้า ตัดของตัวนำมีค่า 720 คูลอมบ์ต่อนาที จะคิดเป็นกระแสในตัวนำเท่ากับกี่แอมป์
- จงหาว่าจะต้องมีจำนวนประจุหลักมูลจำนวนเท่าใดไหลในตัวนำจึงจะมีกระแสในตัวนำเท่ากับ 1 แอมป์
- ประจุจุด 2 ประจุ q_1 มีค่าเท่ากับ 100 μC และ q_2 มีค่าเท่ากับ 1 μC จงหาว่าประจุทั้งสองต้องอยู่ห่างกันเท่าไรจึงจะเกิดแรงไฟฟ้าขึ้น 1 N
- กำหนดให้ $|\mathbf{F}|$ หมายถึงขนาดหรือความยาวของเส้นลูกศร $\mathbf{F}$ จงหาค่า $|\mathbf{F}|$ เมื่อ

$$\mathbf{F} = 2\mathbf{i} + 4\mathbf{j} + 2\mathbf{k}$$

สวัสดี