

# ฟิสิกส์ : ไฟฟ้า - แม่เหล็ก

ทบทวนรวดเร็ว เข้าใจง่าย จำได้ไว มั่นใจก่อนสอบ

## ไฟฟ้าสถิต

### กฎของคูลอมบ์

สมการของไฟฟ้าระหว่างจุดประจุ

- $Q_1$  และ  $Q_2$  แทน วัตถุที่มีประจุไฟฟ้า มีขนาดเป็นจุดประจุ
- $R$  แทน ระยะห่างระหว่างจุดประจุทั้งสอง
- $F$  แทน แรงระหว่างจุดประจุ
- $K$  แทน ค่าคงที่ทางไฟฟ้าของตัวกลาง วัสดุค่าได้เท่ากับ  $9.0 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$

$$F = \frac{KQ_1Q_2}{R^2}$$

### สนามไฟฟ้า

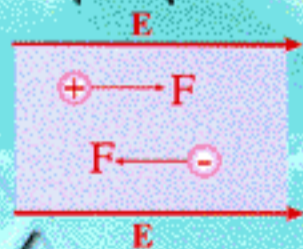
**สนามไฟฟ้า** คือ บริเวณที่แรงไฟฟ้า (แรงคูลอมบ์) ส่งไปถึง การวัดสนามไฟฟ้า

- กำหนดให้**  $q$  แทน ค่าประจุไฟฟ้าของจุดประจุซึ่งนำไปวางในสนาม
- $E$  แทน แรงไฟฟ้าที่กระทำต่อจุดประจุ
- $E$  แทน สนามไฟฟ้า

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

หน่วยของสนามไฟฟ้า คือ นิวตันต่อคูลอมบ์ (N/C)

- สนามไฟฟ้าจากสมการ เป็น ปริมาณเวกเตอร์ ทิศของสนามไฟฟ้าตาม ทิศแรงไฟฟ้าที่มีต่อจุดประจุบวกซึ่งนำไปวางในสนาม แต่มีทิศตรงกัน ข้ามกับทิศแรงไฟฟ้าที่มีต่อจุดประจุลบซึ่งนำไปวางในสนาม



### เส้นแรงไฟฟ้า

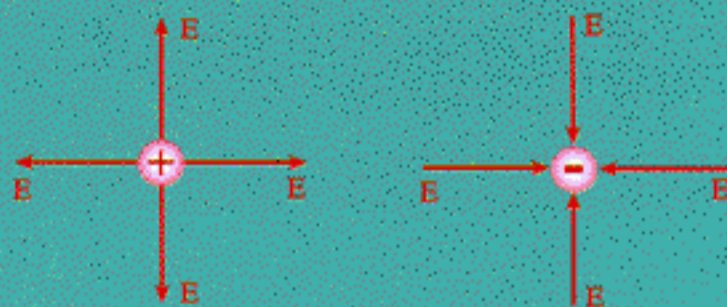
- ที่มาของเส้นแรงไฟฟ้า กำหนดมาจาก แนวของแรงลัพธ์ของแรงไฟฟ้า ที่มีต่อจุดประจุบวกซึ่งนำไปวางในสนามไฟฟ้า
- คุณสมบัติเส้นแรงไฟฟ้า
  - ทิศเส้นแรงไฟฟ้าพุ่งออกจาก จุดประจุบวก พุ่งเข้าหา จุดประจุลบ
  - เส้นแรงไฟฟ้าไม่ตัดกัน
  - เส้นแรงไฟฟ้ามีทิศตั้งฉากกับผิวตัวนำไฟฟ้า
  - จุดสะเทิน คือ จุดที่เส้นแรงไฟฟ้าไม่ผ่าน (จุดที่สนามไฟฟ้าหักล้างกันเป็นศูนย์)

- สนามไฟฟ้าคงที่ หรือ สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ
- สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ ทิศารณาได้จาก บริเวณเส้นแรงไฟฟ้าขนานกัน
- การคำนวณสนามไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุ

### จุดประจุเดียว

- กำหนดให้**  $Q$  แทน ค่าประจุไฟฟ้าของจุดประจุซึ่งสร้างสนาม
- $R$  แทน ระยะห่างจากจุดประจุ  $Q$  ไปยังตำแหน่งที่ ต้องการทราบค่าสนามไฟฟ้า
- $E$  แทน สนามไฟฟ้า ณ ระยะห่าง  $R$

$$E = \frac{KQ}{R^2}$$



### กลุ่มจุดประจุ

หาสนามไฟฟ้าของแต่ละจุดประจุ ตามสมการสนามไฟฟ้าจุดประจุ ข้างบน จากนั้น หาสนามไฟฟ้ารวม (สนามไฟฟ้าลัพธ์) โดยวิธีการ กล้ายคลึงกันกับการหาเวกเตอร์ลัพธ์

### จุดสะเทิน

**จุดสะเทิน** คือ ตำแหน่งที่สนามไฟฟ้าหักล้างกันจนกระทั่งมีค่าสนาม ไฟฟ้าเป็นศูนย์ การหาจุดสะเทิน โดยการคำนวณของจุดประจุ

ต้องมี จุดสะเทิน เพียงจุดเดียวเท่านั้น และอยู่บนเส้นตรงที่โยง ระหว่างประจุทั้งสอง (อาจจะอยู่ข้างในหรือข้างนอกก็ได้)

- เมื่อขนาดของประจุเท่ากัน
  - ชนิดประจูดตรงกันข้าม ไม่พบจุดสะเทิน
  - ชนิดประจudevกัน จุดสะเทินอยู่ตรงกลาง บนเส้นตรงที่เชื่อม ระหว่างจุดประจุทั้งสอง
- เมื่อขนาดประจุไม่เท่ากัน
  - ชนิดประจูดตรงกันข้าม จุดสะเทินอยู่ข้างนอก ใกล้กับประจุเล็ก
  - ชนิดประจudevกัน จุดสะเทินอยู่ข้างใน ใกล้กับประจุเล็ก

### งานในการเลื่อนประจุที่อยู่ในสนามไฟฟ้า

- กำหนดให้**  $q$  แทน ค่าของจุดประจุซึ่งเลื่อนจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุด ในสนาม
- $Q$  แทน ค่าของจุดประจุซึ่งสร้างสนาม
- $R_1$  และ  $R_2$  แทน ระยะห่างจากจุดประจุสร้างสนามไปยังจุดที่ 1 และจุดที่ 2
- $W_{1 \rightarrow 2}$  แทน งานเลื่อนจุดประจุ  $q$  จากจุดที่ 1 ไปยังจุดที่ 2

$$W_{2 \rightarrow 1} = KQq \left( \frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right)$$

## พลังงานศักย์ไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้า

### พลังงานศักย์ไฟฟ้า

**กำหนดให้**  $E_p$  แทน พลังงานศักย์ไฟฟ้าของประจุ  $q$  วางในสนาม  
 $Q$  แทน ค่าของจุดประจุซึ่งสร้างสนาม  
 $R$  แทน ระยะห่างระหว่างจุดประจุ  $Q$  และ  $q$

$$E_p = K \frac{Qq}{R}$$

หน่วยของพลังงานศักย์ไฟฟ้า เป็น จูล (J)

พลังงานศักย์ไฟฟ้า เป็น ปริมาณสเกลาร์ ตลอดจนเป็น บวก หรือ ลบ ตามผลคูณของชนิดประจุ  $Q$  และ  $q$

### ศักย์ไฟฟ้า

**ศักย์ไฟฟ้า** วัดมาจาก งานต่อหนึ่งหน่วยประจุซึ่งได้รับการเคลื่อนมาจาก ระยะอนันต์

**กำหนดให้**  $V$  แทน ศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุ  $Q$  ซึ่งสร้างสนาม  
 $Q$  แทน ค่าของจุดประจุซึ่งสร้างสนาม  
 $R$  แทน ระยะห่างจากจุดประจุ  $Q$  ไปยังจุดที่ต้องการทราบค่าศักย์

$$V = K \frac{Q}{R}$$

ศักย์ไฟฟ้า เป็นปริมาณสเกลาร์ เป็นบวก หรือลบ ตามชนิดของประจุ  $Q$   
 หน่วยของศักย์ไฟฟ้า เป็น จูลต่อคูลอมบ์ (J/C) หรือ โวลต์ (V)

## ความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าและสนามไฟฟ้า

### สนามไฟฟ้าคงที่หรือสนามสม่ำเสมอ

**กำหนดให้**  $E$  แทน ขนาดของสนามไฟฟ้า  
 $V$  แทน ความต่างศักย์ระหว่างสองจุดใดๆ ภายในสนาม  
 $d$  แทน ระยะห่างระหว่างสองจุดใดภายในสนามไฟฟ้า

$$E = \frac{V}{d}$$

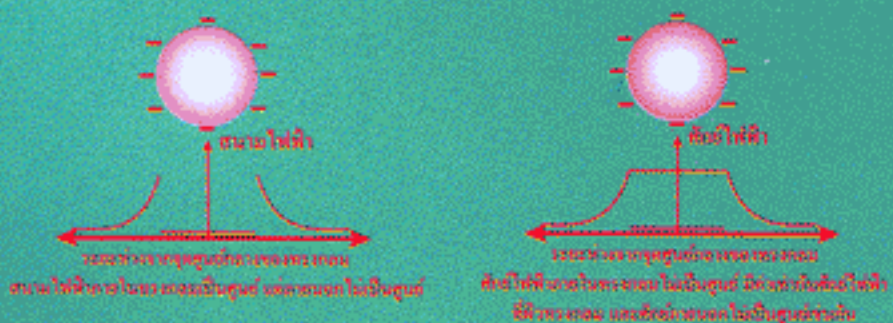
หน่วยของสนามไฟฟ้าเพิ่มขึ้นมา คือ โวลต์ต่อเมตร (V/m)

### สนามไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้าของตัวนำทรงกลม

- ภายในตัวนำ สนามไฟฟ้าเป็นศูนย์เสมอ แต่ศักย์ไฟฟ้าไม่เป็นศูนย์
- ศักย์ไฟฟ้าภายในตัวนำทรงกลมเท่ากับ ศักย์ไฟฟ้าที่ผิวทรงกลมเสมอ

การคำนวณหาค่าของสนามไฟฟ้าของตัวนำทรงกลม ซึ่งมีประจุ  
 ยังคงใช้สมการ  $E = KQ/R^2$   
 การคำนวณหาค่าของศักย์ไฟฟ้าของตัวนำทรงกลม ซึ่งมีประจุ  
 ยังคงใช้สมการ  $V = KQ/R$   
 โดยที่  $R$  ต้องวัดจาก จุดศูนย์กลางทรงกลมตัวนำออกไปยังตำแหน่งที่  
 ต้องการทราบค่าสนามหรือศักย์ไฟฟ้าเสมอ

- ประจุอิสระจะกระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอตลอดทั่วผิวตัวนำ
- ในการคำนวณ ต้องสมมติว่า ประจุอิสระทั้งหมดบนผิว รวมศูนย์อยู่ที่จุดศูนย์กลางทรงกลม



## เมื่ออนุภาคที่มีประจุเคลื่อนที่ด้วยความเร่งในสนามไฟฟ้า

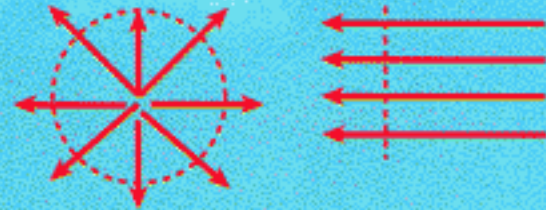
เมื่ออนุภาคที่มีประจุเคลื่อนที่ในสนามไฟฟ้าด้วยความเร่งคงที่ เนื่องจากแรงของสนามไฟฟ้า

$$W_{1 \rightarrow 2} = q \cdot \Delta V = q \cdot (V_2 - V_1) = \Delta E_K = E_{K_2} - E_{K_1}$$

**กำหนดให้**  $W_{1 \rightarrow 2}$  แทน งานที่อนุภาคเคลื่อนจากจุดเริ่มต้น (1) ไปยังจุดสุดท้าย (2)

### เส้นสมศักย์ (Equipotential line)

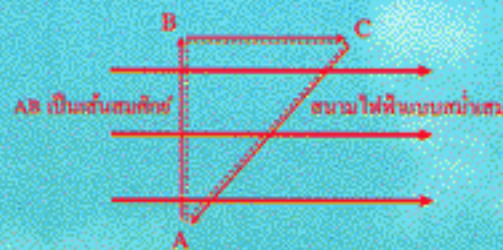
**เส้นสมศักย์** คือ เส้นที่ลากผ่านทุกๆ จุดที่มีศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน



เส้นประ (เส้นไขปลา) คือ เส้นสมศักย์

### คุณสมบัติของเส้นสมศักย์

เมื่อเคลื่อนประจุไฟฟ้าผ่านไปตามเส้นสมศักย์เส้นเดียวกัน จะไม่เกิดงาน



ตั้งฉากกับเส้นแรงไฟฟ้าเสมอ

- งานเคลื่อนประจุจาก A ไป B เป็นศูนย์ เพราะ AB ตั้งฉากกับสนามไฟฟ้า เป็นเส้นสมศักย์เส้นเดียวกัน
- งานเคลื่อนประจุจาก B ไป C เกิด เนื่องจากศักย์ที่ B สูงกว่า C
- งานเคลื่อนประจุจาก C ไป A เท่ากับ งานเคลื่อนประจุจาก B ไป C แต่เครื่องหมายตรงกันข้าม

## ความจุไฟฟ้าและตัวเก็บประจุ

### ตัวเก็บประจุทรงกลมตัวนำ

**กำหนดให้**  $Q$  แทน ค่าของประจุไฟฟ้าอิสระบนผิวตัวนำทรงกลม  
 $V$  แทน ศักย์ไฟฟ้าที่ผิวตัวนำทรงกลม  
 $K$  แทน ค่าคงที่ไฟฟ้าเนื่องจากตัวกลาง  
 $R$  แทน รัศมีของทรงกลมตัวนำ

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{R}{K}$$

หน่วยของความจุไฟฟ้า คือ คูลอมบ์/โวลต์ หรือ ฟารัด (Farad ย่อเป็น F)

### การถ่ายเทประจุของทรงกลมตัวนำ 2 ลูกขึ้นไป

ผลรวมประจุแบบที่ชกชนิดก่อนสัมผัส เท่ากับ ผลรวมประจุแบบที่ชกชนิดหลังสัมผัส  
 ศักย์ไฟฟ้าที่ผิวของทรงกลมทั้งสองต้องเท่ากัน เมื่อเสร็จสิ้นการสัมผัสแล้ว

### พลังงานของตัวเก็บประจุ

$$W = \frac{1}{2} CV^2$$

### การต่อตัวเก็บประจุแบบต่างๆ

การต่อแบบอนุกรม

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots$$

$$V_{\text{total}} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots = \Sigma V$$

$$\frac{1}{C_{\text{total}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots = \Sigma \left[ \frac{1}{C} \right]$$

**การต่อแบบขนาน**

$$Q_{\text{total}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots = \Sigma Q$$

$$V_{\text{total}} = V_1 = V_2 = V_3 = \dots$$

$$C_{\text{total}} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots = \Sigma C$$

## ไฟฟ้ากระแส

**ปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระแสไฟฟ้า**

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

- หน่วยของกระแสไฟฟ้า คือคูลอมบ์ต่อวินาที (C/s) หรือแอมแปร์ (A)
- เมื่อกระแสไฟฟ้าไม่คงที่ เราสามารถหาค่าปริมาณของประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ผ่านได้ โดยการเขียนกราฟ แล้วหาพื้นที่ใต้กราฟ



**ความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนอิสระ (Drift Velocity)**

- เมื่อไม่มีสนามไฟฟ้า อิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่แบบสุ่ม (Random Motion) ความเร็วเฉลี่ยเป็นศูนย์

$$v = \frac{I}{A \cdot n \cdot e}$$

- กำหนดให้**
- v แทน ความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนอิสระ
  - I แทน กระแสไฟฟ้าภายในตัวนำ
  - n แทน ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนอิสระ (จำนวนอิเล็กตรอนอิสระต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร)
  - e แทน ค่าประจุของอิเล็กตรอน

**ความต้านทานและกฎของโอห์ม**

$$R = \frac{V}{I} = \text{constant}$$

หน่วยของความต้านทาน คือ โอห์ม ( $\Omega$ )

**สมบัติตัวต้านทาน**

**ผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อความต้านทาน**

**ตัวนำ**

- สำหรับตัวนำที่ดี การเพิ่มอุณหภูมิภายในตัวนำจะส่งผลให้ระดับความต้านทานภายในตัวนำเพิ่มขึ้นด้วย
- สรุปได้ว่า ความต้านทาน แปรผันตรงกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ (หน่วยเคลวิน) R & T

**สารกึ่งตัวนำและฉนวน**

- สำหรับสารกึ่งตัวนำและฉนวนที่มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ระดับความต้านทานในสารกึ่งตัวนำลดลง

**ปัจจัยของรูปร่างเส้นลวดที่มีผลต่อต้านทาน**

- R แทน ค่าของความต้านทาน
- T แทน อุณหภูมิของตัวต้านทาน
- L แทน ความยาวลวดต้านทาน
- A แทน พื้นที่หน้าตัด

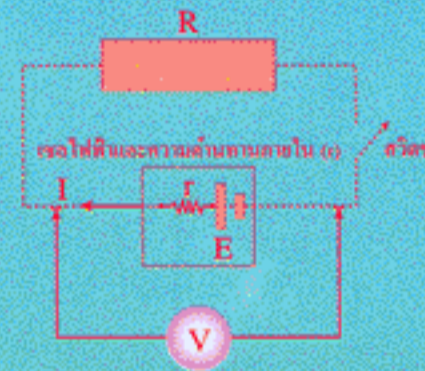
สรุปได้ว่า ความต้านทาน แปรผันตรงกับ ความยาว และแปรผกผันกับพื้นที่หน้าตัด

$$R \propto \frac{L}{A} \rightarrow R = \rho \frac{L}{A}$$

- สภาพต้านทานทางไฟฟ้าหรือความต้านทานจำเพาะ
- สภาพต้านทานทางไฟฟ้า คือ ปริมาณ  $\rho$  (อ่านว่า Rho) เป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของสาร
- หน่วยของสภาพต้านทานทางไฟฟ้า คือ โอห์ม.เมตร ( $\Omega \cdot m$ )

ความต้านทาน (R) เป็นสมบัติเฉพาะรูป  
สภาพต้านทาน ( $\rho$ ) เป็นสมบัติเฉพาะชนิดของโลหะ

**แรงเคลื่อนไฟฟ้าและความต่างศักย์ระหว่างขั้วเซลล์**



- ความต่างศักย์ระหว่างขั้วเซลล์ สัมพันธ์กับแรงเคลื่อนไฟฟ้า ดังสมการต่อไปนี้

$$V = E - Ir$$

**กำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้า**

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} = IV$$

หน่วยของกำลังไฟฟ้า คือ จูลต่อวินาที (J/s) หรือ วัตต์ (Wt หรือ W)

**กำลังไฟฟ้าและกฎของโอห์**

เมื่อกระแสไฟฟ้าผ่านตัวต้านทาน ส่วนใหญ่จะเกิดพลังงานความร้อน อัตราการเกิดพลังงานความร้อน เขียนเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์กับปริมาณไฟฟ้า ได้ดังนี้

$$P = I^2 \cdot R = \frac{V^2}{R}$$

**พลังงานไฟฟ้าที่รับในชีวิตประจำวัน (ยูนิท)**

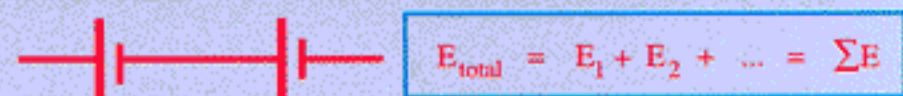
$$U = P(\text{kw}) \cdot \Delta t(\text{hours})$$

**วงจรไฟฟ้า**

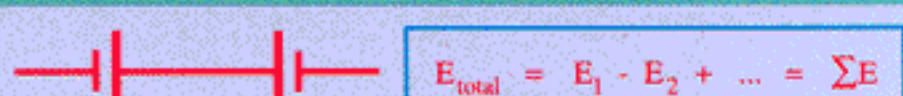
$$I = \frac{\Sigma E}{\Sigma R + \Sigma r}$$

การพิจารณาหาผลของผลไฟฟ้ารวม ( $\Sigma E$ ) ถ้ายกกับ การหาค่าความต้านทานรวมด้วย

- การต่อเซลล์แบบอนุกรมเสริม คือ การต่อขั้วต่างกันเข้าด้วยกัน



- การต่อเซลล์แบบอนุกรมหักล้าง คือ การต่อขั้วเหมือนกันเข้าด้วยกัน



การต่อเซลล์แบบขนานเสริม คือ การต่อเซลล์ที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่ากันและหันขั้วเดียวกันไปทางเดียวกัน



- เมื่อ แรงเคลื่อนไฟฟ้าในแต่ละแถวเท่ากัน
- แรงเคลื่อนไฟฟ้ารวม ต้องเท่ากับแรงเคลื่อนไฟฟ้าในแต่ละแถว

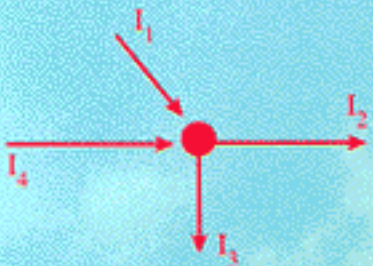
**วงจรประยุกต์**

ใช้หลักการของ Kirchoff (เคอร์ชอฟฟ์) สรุปสั้นๆ ได้ดังนี้

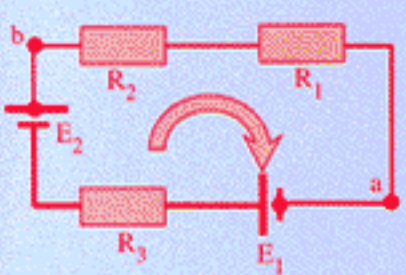
- ที่จุดใดๆ ในวงจรไฟฟ้า ผลรวมกระแสที่ไหลเข้า = ผลรวมกระแสที่ไหลออก
- เมื่อพิจารณาครบวงจรหนึ่งของวงจรไฟฟ้า
- ผลรวมของแรงเคลื่อนไฟฟ้า - ผลรวมความต่างศักย์ไฟฟ้า

$$\Sigma I_{in} = \Sigma I_{out}$$

$$\Sigma E = \Sigma(IR)$$



$$I_1 + I_4 = I_2 + I_3$$



Loop a-b ตามเข็มนาฬิกา  
พิจารณาตามเข็มนาฬิกาเพื่อให้ตามทิศกระแสไฟฟ้าในวงจร จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์

$$\Sigma E = \Sigma(IR)$$

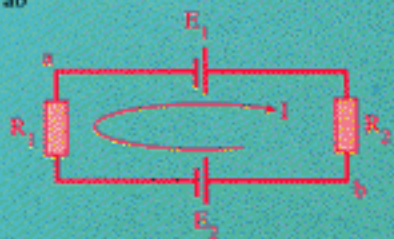
$$E_1 + E_2 = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

**การคำนวณความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างสองจุดใด ๆ ในวงจร**

สำหรับวงจร Loop เดียว เราสามารถคำนวณหา ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างสองจุดใด ๆ ในวงจรได้ โดยใช้กฎของโอห์ม ดังสมการต่อไปนี้

$$V_{ab} = \Sigma(IR) - \Sigma E$$

กำหนดให้  $V_{ab}$  แทน ความต่างศักย์ระหว่างจุด a และ b



จากวงจรดังกล่าว ถ้ากระแสไหลตามเข็มนาฬิกา เนื่องจาก  $E_1 > E_2$  ดังนั้น

$$\Sigma E = E_1 - E_2$$

หลักการพิจารณาเครื่องหมาย ใช้ดังนี้

- ทิศจาก a ไป b เป็น บวกเสมอ
  - ทิศกระแสไฟฟ้าตาม a ไป b เป็น บวก ถ้าสวน เป็น ลบ
  - ทิศแรงเคลื่อนไฟฟ้า ให้ใส่ ลูกศรเล็กๆ จากขั้วลบไปขั้วบวก
  - ทิศแรงเคลื่อนไฟฟ้าตาม a ไป b เป็น บวก ถ้าสวน เป็น ลบ
- และถ้าพิจารณาวงจรไฟฟ้า โดยถือว่า a คือ มุมบนซ้ายสุดของวงจร และ b คือ มุมขวาล่างสุดของวงจร

พิจารณาตามการไหลของกระแสไฟฟ้าตามเข็มนาฬิกา จะได้ว่า

$$V_{ab} = IR_2 - E_1$$

พิจารณาตามการไหลของกระแสไฟฟ้าทวนเข็มนาฬิกา จะได้ว่า

$$V_{ab} = -IR_1 - E_2$$

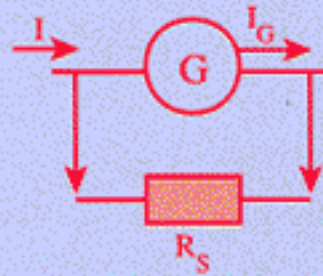
**มิเตอร์วัดปริมาณไฟฟ้า (แอมมิเตอร์ โวลต์มิเตอร์และโอห์มมิเตอร์)**

**แกลวานอมิเตอร์**

คุณสมบัติของแกลวานอมิเตอร์ คือ ความต้านทานต่ำมาก และกระแสไฟฟ้าที่ผ่านมีขีดจำกัดสูงสุดค่อนข้างน้อย เราเขียนสัญลักษณ์ทั้งสองปริมาณได้เป็น  $R_G$  และ  $I_G$

**แอมมิเตอร์**

เมื่อนำแกลวานอมิเตอร์ มาดัดแปลงเป็นแอมมิเตอร์ จำเป็นต้องต่อตัวต้านทานแบบขนานเข้าไป เรียกว่า Shunt เพื่อช่วยแบ่งกระแสไฟฟ้า ดังรูป



หลักการคำนวณหาค่า Shunt

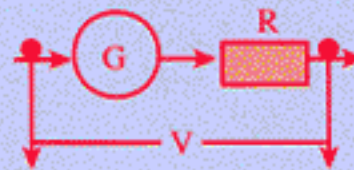
$$V_G = V_S$$

$$I_G \cdot R_G = (I - I_G) \cdot R_S$$

ความต้านทานของ Shunt มีค่าน้อยมาก น้อยกว่า  $R_G$  อีก

**โวลต์มิเตอร์**

เมื่อนำแกลวานอมิเตอร์ มาดัดแปลงเป็นโวลต์มิเตอร์ จำเป็นต้องต่อตัวต้านทานแบบอนุกรมเข้าไป เพื่อช่วยเพิ่มความต่างศักย์ ดังรูป



$$V = V_G + V_R$$

$$V_G = I_G \cdot R_G ; V_R = I \cdot R$$

**ไฟฟ้าแม่เหล็ก**

**ฟลักซ์แม่เหล็กและสนามแม่เหล็ก**

$$B = \frac{\Phi}{A_{\perp}}$$

กำหนดให้  $\Phi$  แทน ฟลักซ์แม่เหล็ก หน่วย เวเบอร์ (Wb)

$B$  แทน สนามแม่เหล็ก หน่วย เวเบอร์ต่อตารางเมตร ( $Wb/m^2$ ) หรือ เทสลา (T)

**แรงที่กระทำต่อประจุไฟฟ้าซึ่งกำลังเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก**

- ความสัมพันธ์ระหว่างแรงแม่เหล็กกับสนามแม่เหล็กที่กระทำต่ออนุภาคที่มีประจุ
- เมื่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ตัดผ่านสนามแม่เหล็ก จะเกิดแรงกระทำต่ออนุภาคโดยสนามแม่เหล็ก ตามสมการ

$$\vec{F}_B = q \cdot (\vec{V} \times \vec{B})$$

ทิศของแรงแม่เหล็ก ตามทิศการ Cross เวกเตอร์ โดยใช้มือขวา ดังนี้ ระบุว่าข้อมือขวาตามเวกเตอร์  $V$  แล้วหันฝ่ามือไปทางเวกเตอร์  $B$  งอนิ้วทั้งสี่และเวกเตอร์  $B$  ชี้นิ้วโป้งออก เวกเตอร์แรง ( $F_B$ ) ตามทิศนิ้วโป้ง การให้ทิศเช่นนี้ ใช้ได้กับแรงที่กระทำต่ออนุภาคประจุบวก ส่วนประจุลบ ให้กลับทิศแรงไปตรงกันข้าม

ในการคำนวณ การใช้สมการเวกเตอร์ไม่สะดวก ต้องเปลี่ยนเป็นสมการสเกลาร์ ดังนี้

$$F_B = q \cdot V \cdot B \cdot \sin\theta$$

- สภาพการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุในสนามแม่เหล็ก
  - เมื่ออนุภาคเคลื่อนที่ขนานกับเส้นแรงแม่เหล็ก อนุภาคจะเคลื่อนที่ตามสภาพเดิม คือเป็นเส้นตรงด้วยความเร็วคงที่
  - เมื่ออนุภาคเคลื่อนที่ตัดตั้งฉากกับเส้นแรงแม่เหล็ก อนุภาคจะเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งวงกลม รัศมีคงที่
  - เมื่ออนุภาคเคลื่อนที่ตัดทำมุม (มากกว่าศูนย์ แต่น้อยกว่า 90 องศา) อนุภาคจะเคลื่อนที่เป็นเกลียว (Helix)

### แรงแม่เหล็กและสนามแม่เหล็ก

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงแม่เหล็กกับสนามแม่เหล็กที่กระทำต่อเส้นลวดที่มีกระแสผ่าน

สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงแม่เหล็ก กระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก

$$\vec{F}_B = L \cdot (\vec{I} \times \vec{B})$$

สมการสเกลาร์ซึ่งใช้คำนวณ จะเป็นดังนี้

$$F_B = I L B \sin\theta$$

- มุม  $\theta$  แทน มุมระหว่างกระแสไฟฟ้าและเส้นแรงแม่เหล็ก
- ทิศของแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อเส้นลวด ให้ใช้กฎเกณฑ์เดียวกับ แรงแม่เหล็กที่กระทำต่ออนุภาคประจุบวก
- โมเมนต์ของแรงแม่เหล็กที่บิดขดลวดให้หมุนได้ในสนามแม่เหล็ก
- เมื่อนำขดลวด ที่มีพื้นที่หน้าตัด  $N$  รอบ มีกระแสผ่าน  $I$  พื้นที่หน้าตัดของระนาบขดลวดเท่ากับ  $A$  วางในสนามแม่เหล็ก  $B$  จะเกิดแรงแม่เหล็กบิดขดลวด วัดโมเมนต์ของแรงแม่เหล็กได้เท่ากับ

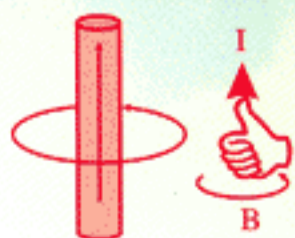
$$M = N I A B \cos\theta$$

- เมื่อ  $\theta$  แทน มุมระหว่าง ระนาบของขดลวดกับสนามแม่เหล็ก
- โมเมนต์ที่บิดขดลวด มีค่ามากที่สุดเมื่อ ระนาบของขดลวดขนานกับสนามแม่เหล็ก และมีค่าเป็นศูนย์ เมื่อระนาบขดลวดตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก

### อำนาจไฟฟ้าสร้างสนามแม่เหล็ก

สนามแม่เหล็กจากเส้นลวดที่มีกระแสผ่าน

- เมื่อพิจารณาเป็น เส้นแรงแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบเส้นลวด จะเป็นเส้นรอบวงของวงกลม โดยมีแนวของเส้นลวดเป็นจุดศูนย์กลางของวงกลม
- ความแรงของสนามแม่เหล็ก แปรผันตรงกับขนาดของกระแสที่ผ่านเส้นลวด และแปรผกผันกับระยะห่างในแนวตั้งฉากจากเส้นลวด



$$B \propto \frac{I}{A}$$

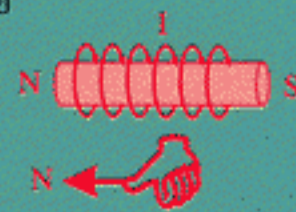
- ทิศของสนามแม่เหล็ก กำหนดได้จาก มือขวา โดยใช้มือขวากำรอบเส้นลวด นิ้วโป้งชี้ตามทิศกระแสไฟฟ้า นิ้วทั้งสี่ที่โอบรอบเส้นลวด แทนทิศของสนามแม่เหล็ก

สนามแม่เหล็กจากขดลวดที่มีกระแสผ่าน

- ความแรงของสนามแม่เหล็ก แปรผันตรงกับขนาดของกระแสที่ผ่าน

เส้นลวด ชนิดของโลหะที่นำมาทำเป็นแกนซึ่งขดลวดพันรอบ และจำนวนรอบของขดลวดที่พันรอบ

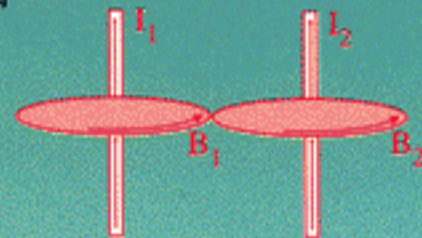
- เราสามารถหาขั้วแม่เหล็กของแท่งแม่เหล็กไฟฟ้านี้ได้ โดยใช้มือขวาให้นิ้วทั้งสี่กำรอบแท่ง และชี้ไปตามการวนของกระแสไฟฟ้า นิ้วโป้งที่ชี้คออกจะชี้ขั้วเหนือ



### แรงแม่เหล็กระหว่างเส้นลวดที่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน

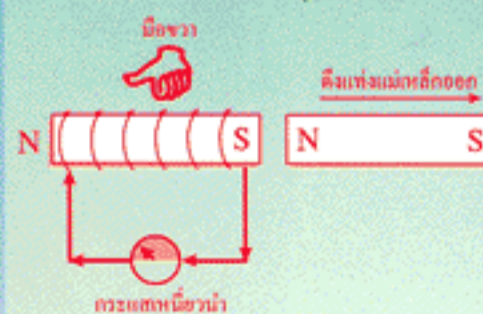
การเกิดแรงแม่เหล็ก

- ลวดแต่ละเส้นจะสร้างสนามแม่เหล็กออกเป็นเส้นรอบวงกลม พุ่งไปยังลวดตรงกันข้าม ดังนั้น จึงทำให้สนามแม่เหล็กมีผลต่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านลวดตรงกันข้ามทันที
- เมื่อพิจารณาแต่ละเส้นลวดแล้ว จะพบสองกรณี คือ
  - ทิศกระแสของลวดทั้งสองไหลตามกัน จะเกิดแรงดึงดูดระหว่างเส้นลวดทั้งสอง
  - ทิศกระแสของลวดทั้งสองไหลตรงกันข้าม จะเกิดแรงผลักระหว่างลวดทั้งสอง

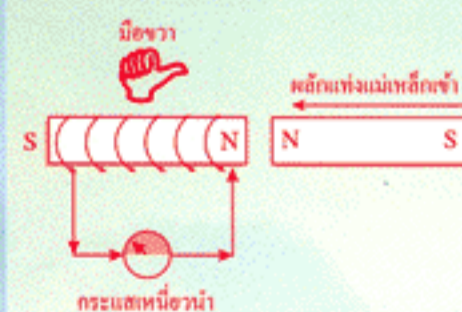


### กระแสเหนี่ยวนำ

- กฎของฟาราเดย์และเซนรี เกี่ยวกับการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า มีใจความว่า ถ้านำขดลวดตัวนำไฟฟ้ามาวางในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก ถ้าฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านขดลวดนั้นเปลี่ยนแปลงตามเวลา พบว่า จะเกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวด และเรียกกระแสที่เกิดขึ้นนี้ว่า กระแสเหนี่ยวนำ (induced current)



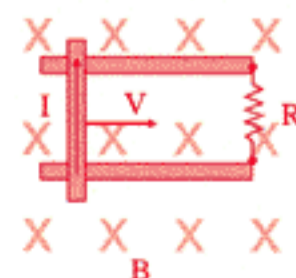
เมื่อดึงแท่งแม่เหล็กออก ขดลวดจะประพฤติตัวเสมือนเป็นแม่เหล็กเพื่อลดแท่งแม่เหล็กที่กำลังจะเคลื่อนที่หนีจากไว้ ทำให้ปลายขวาของขดลวดกลายเป็นขั้วใต้ เมื่อใช้มือขวากำรอบขดลวด นิ้วโป้งชี้ขั้วเหนือ นิ้วทั้งสี่ที่กำรอบขดลวด



เมื่อผลักแท่งแม่เหล็กเข้า ขดลวดจะประพฤติตัวเสมือนเป็นแม่เหล็กเพื่อผลักแท่งแม่เหล็กที่กำลังจะเคลื่อนที่เข้าหาไว้ ทำให้ปลายขวาของขดลวดกลายเป็นขั้วเหนือ เมื่อใช้มือขวากำรอบขดลวด นิ้วโป้งชี้ขั้วเหนือ นิ้วทั้งสี่ที่กำรอบขดลวด จะแทนทิศกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

- จากการพิจารณาการเกิดกระแสเหนี่ยวนำในเส้นลวดแล้ว เมื่อนำตัวต้านทานมาต่อคร่อมปลายทั้งสองของเส้นลวดที่เคลื่อนที่ตัดผ่านเส้นแรงแม่เหล็ก ก็จะเกิดกระแสไหลครบวงจร ดังรูป



- แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ หาได้จากสมการดังต่อไปนี้
- กำหนดให้ E แทน แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ หน่วย โวลต์
- B แทน ความเข้มสนามแม่เหล็ก หน่วย เทสลา
- L แทน ความยาวของเส้นลวดหน่วย เมตร
- V แทน ความเร็วของลวดเมื่อเคลื่อนที่ตัดผ่านเส้นแรงแม่เหล็ก หน่วย เมตรต่อวินาที

$$E = BLV$$

ทิศของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ หาได้จาก มือขวาเช่นเดียวกับ การหาทิศของแรงแม่เหล็กที่กระทำต่ออนุภาคประจุบวกเคลื่อนที่ตัดผ่านเส้นแรงแม่เหล็ก

### กฎของฟาราเดย์และเซนรีเกี่ยวกับการเหนี่ยวนำ

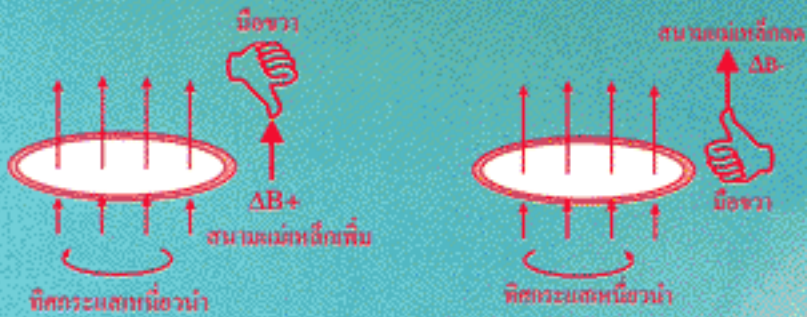
- กำหนดให้ E แทน แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ
- $\Delta\phi$  แทน ปริมาณของฟลักซ์แม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงไป
- $\Delta t$  แทน ช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลง

$$E = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

เครื่องหมายลบ แสดงว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้าเกิดขึ้นในทิศตรงกันข้ามกับ เวกเตอร์ของสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลง

### กฎของเลนซ์

- กฎของเลนซ์ เป็นกฎที่ใช้หาทิศทางของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยกล่าวว่า กระแสเหนี่ยวนำจะปรากฏในทิศทางที่สร้างสนามแม่เหล็กต่อต้านการเปลี่ยนของสนามเดิม

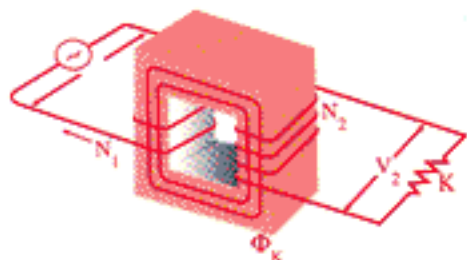


### แรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับในขดลวดที่ก้ำกั้วหมุนตัดผ่านเส้นแรงแม่เหล็ก

- การที่ขดลวดหมุนตัดผ่านเส้นแรงแม่เหล็ก ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งผ่านระนาบขดลวดมีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงเกิด กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำภายในขดลวด ลักษณะนี้เสมือนกับว่า ขดลวดประพฤติตัวเสมือนเป็น เซลล์ไฟฟ้าที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่อต้านกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไป (กรณีของมอเตอร์ไฟฟ้า) และต้านกระแสเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น (กรณีของไดนาโม)
- ปริมาณของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น จะมากหรือน้อยขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ จำนวนรอบของขดลวด ความเร็วในการหมุนรอบตัวเองของขดลวด และชนิดของแกนที่ขดลวดพันรอบ

### หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)

- หม้อแปลงไฟฟ้ามีหน้าที่ ถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้า (กำลังไฟฟ้า) จากขดลวดชุดหนึ่ง (ขดลวดปฐมภูมิ) ไปยังขดลวดอีกชุดหนึ่ง (ขดลวดทุติยภูมิ) โดยการปรับเปลี่ยน (ลดหรือเพิ่ม) แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวด หรือ กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวด
- สมการคำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้องกับหม้อแปลงไฟฟ้า



$$\begin{aligned} P_1 &= P_2 \\ I_1 E_1 &= I_2 E_2 \\ \frac{E_1}{E_2} &= \frac{N_1}{N_2} \end{aligned}$$

- $E_1$  และ  $E_2$  แทน แรงเคลื่อนไฟฟ้าของขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ
- $I_1$  และ  $I_2$  แทน กระแสเหนี่ยวนำของขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ
- $P_1$  และ  $P_2$  แทน กำลังไฟฟ้าของขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ
- $N_1$  และ  $N_2$  แทน จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ

## ไฟฟ้ากระแสสลับ

### ค่าขณะใด

- ค่าขณะใด หมายถึง ค่าชั่วขณะของแรงเคลื่อนไฟฟ้า หรือกระแสไฟฟ้าสลับในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งของคลื่นรูป sine

v แทน ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าขณะใด	$v = V_{\max} \sin\theta$
i แทน ค่ากระแสไฟฟ้าขณะใด	$i = I_{\max} \sin\theta$

### ค่าที่วัดได้ หรือค่าที่ใช้งาน

(Effective Value or Root-Mean-Square Value = RMS)

- ค่าที่วัดได้ หรือ ค่าที่ใช้งาน หมายถึง ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า หรือค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากแอมมิเตอร์ หรือ โวลต์มิเตอร์ ซึ่งเป็นค่าที่ใช้งาน หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าเป็นค่า Root Mean Square Value

$V_{\text{eff}}$ or $V_{\text{rms}}$ แทน ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าขณะใด	$V_{\text{eff}} = \frac{V_{\max}}{\sqrt{2}}$
$I_{\text{eff}}$ or $I_{\text{rms}}$ แทน ค่ากระแสไฟฟ้าขณะใด	$I_{\text{eff}} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}$

### ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor)

- ความต้านทานต่อกระแสไฟฟ้าสลับ เรียกว่า ความต้านเชิงเหนี่ยวนำ ( $X_L$ )

$$X_L = \omega L = 2\pi fL$$

### ตัวเก็บประจุ (Conductor)

- ความต้านทานต่อกระแสไฟฟ้าสลับ เรียกว่า ความต้านเชิงเหนี่ยวนำ ( $X_C$ )

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$$

### เฟสของกระแสและความต่างศักย์ของกระแสไฟฟ้าสลับ

อุปกรณ์	ความสัมพันธ์ของเฟส
ตัวต้านทาน	กระแสและความต่างศักย์มีเฟสตรงกัน
ตัวเหนี่ยวนำ	กระแสมีเฟสตามหลังความต่างศักย์ 90 องศา
ตัวเก็บประจุ	กระแสมีเฟสนำหน้าความต่างศักย์ 90 องศา

โดย : เจริญ ศรีเพชรพงษ์  
วท.บ. (ฟิสิกส์) จุฬาฯ  
ก.ม. (ฟิสิกส์) จุฬาฯ

สำนักพิมพ์ ที เอส ที 305/31 อ.พัฒนาการ ประชาส กรุงเทพมหานคร 10250  
โทร. 3220291-9 โทรสาร : 3220290  
ฝ่ายจัดจำหน่าย : โทร. 3746830 โทรสาร 3749786

หนังสืออิเล็กทรอนิกส์	
ฟิสิกส์ 1(ภาคกลศาสตร์(	ฟิสิกส์ 1 (ความร้อน)
ฟิสิกส์ 2	กลศาสตร์เวกเตอร์
โลหะวิทยาฟิสิกส์	เอกสารคำสอนฟิสิกส์ 1
ฟิสิกส์ 2 (บรรยาย(	แก้ปัญหาฟิสิกส์ด้วยภาษา C
ฟิสิกส์พิศวง	สอนฟิสิกส์ผ่านทางอินเทอร์เน็ต
ทดสอบออนไลน์	วิดีโอการเรียนการสอน
หน้าแรกในอดีต	แผ่นใสการเรียนการสอน
เอกสารการสอน PDF	กิจกรรมการทดลองทางวิทยาศาสตร์
แบบฝึกหัดออนไลน์	สุดยอดสิ่งประดิษฐ์
การทดลองเสมือน	
บทความพิเศษ	ตารางธาตุ(ไทย1) 2 (Eng)
พจนานุกรมฟิสิกส์	ลับสมองกับปัญหาฟิสิกส์
ธรรมชาติมหัศจรรย์	สูตรพื้นฐานฟิสิกส์
การทดลองมหัศจรรย์	ดาราศาสตร์ราชมงคล
แบบฝึกหัดกลาง	
แบบฝึกหัดโลหะวิทยา	แบบทดสอบ
ความรู้รอบตัวทั่วไป	อะไรเอ่ย ?
ทดสอบ)เกมเศรษฐี(	คดีปริศนา
ข้อสอบเอนทรานซ์	เฉลยกลศาสตร์เวกเตอร์
คำศัพท์ประจำสัปดาห์	
ความรู้รอบตัว	
การประดิษฐ์ของโลก	ผู้ได้รับโนเบลสาขาฟิสิกส์
นักวิทยาศาสตร์เทศ	นักวิทยาศาสตร์ไทย
ดาราศาสตร์พิศวง	การทำงานของอุปกรณ์ทางฟิสิกส์
การทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ	

 <b>การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 1 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต</b> 	
1. การวัด	2. เวกเตอร์
3. การเคลื่อนที่แบบหนึ่งมิติ	4. การเคลื่อนที่บนระนาบ
5. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน	6. การประยุกต์กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน
7. งานและพลังงาน	8. การดลและโมเมนตัม
9. การหมุน	10. สมดุลของวัตถุแข็งเกร็ง
11. การเคลื่อนที่แบบคาบ	12. ความยืดหยุ่น
13. กลศาสตร์ของไหล	14. ปริมาณความร้อน และ กลไกการถ่ายโอนความร้อน
15. กฎข้อที่หนึ่งและสองของเทอร์โมไดนามิก	16. คุณสมบัติเชิงโมเลกุลของสสาร
17. คลื่น	18. การสั่น และคลื่นเสียง
 <b>การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 2 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต</b> 	
1. ไฟฟ้าสถิต	2. สนามไฟฟ้า
3. ความกว้างของสายฟ้า	4. ตัวเก็บประจุและการต่อตัวต้านทาน
5. ศักย์ไฟฟ้า	6. กระแสไฟฟ้า
7. สนามแม่เหล็ก	8. การเหนี่ยวนำ
9. ไฟฟ้ากระแสสลับ	10. ทรานซิสเตอร์
11. สนามแม่เหล็กไฟฟ้าและเสาอากาศ	12. แสงและการมองเห็น
13. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ	14. กลศาสตร์ควอนตัม
15. โครงสร้างของอะตอม	16. นิวเคลียร์
 <b>การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ทั่วไป ผ่านทางอินเทอร์เน็ต</b> 	
1. จลศาสตร์ (kinematic)	2. จลพลศาสตร์ (kinetics)
3. งานและโมเมนตัม	4. ซิมเปิลฮาร์โมนิก คลื่น และเสียง
5. ของไหลกับความร้อน	6. ไฟฟ้าสถิตกับกระแสไฟฟ้า
7. แม่เหล็กไฟฟ้า	8. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับแสง
9. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ อะตอม และนิวเคลียร์	

