

ความจุไฟฟ้า

ความจุไฟฟ้า เป็นความสามารถของวัตถุในการที่จะรับประจุไฟฟ้า พิจารณาสมการศักย์ไฟฟ้าบนตัวนำทรงกลมรัศมี a คือ

$$V = kQ/a$$

จะเห็นว่า สำหรับทรงกลม 2 อัน ที่มีศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน ทรงกลมอันที่มีรัศมีมากย่อมรับประจุ(Q) ได้มากกว่าทรงกลมที่มีรัศมีน้อยกว่า จึงกล่าวได้ว่าทรงกลมอันใหญ่มีค่าความจุสูงกว่าทรงกลมอันเล็ก ความสามารถในการเก็บประจุนอกจากจะพิจารณาที่ขนาดของวัตถุดังกล่าวมาแล้วยังสามารถพิจารณาจากค่า อัตราส่วนของประจูดต่อศักย์ไฟฟ้าได้อีก เมื่อให้ C เป็นค่าความจุ

$$\text{จึงได้ } C = Q/V$$

ตามสมการนี้ค่าความจุมีหน่วยเป็น คูลอมป์/โวลต์ เรียกว่า ฟารัด(F) ในทางปฏิบัติ ฟารัดเป็นหน่วยที่ใหญ่เกินไปไม่ค่อยพบเห็น ส่วนใหญ่จะอยู่ในระดับ ไมโครฟารัด หรือ พิโกฟารัดเท่านั้น

อุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมาเพื่อใช้สำหรับเก็บประจุไฟฟ้าโดยเฉพาะเรียกว่า ตัวเก็บประจุ (capacitor หรือ condenser)

สำหรับตัวนำทรงกลมที่มีรัศมี a เมื่อแทนค่า V ได้ว่า $C = a/k$ เมื่อ k เป็นค่าคงที่ ความจุไฟฟ้าแปรผันโดยตรงกับรัศมีทรงกลมนั่นเอง

เช่น ทรงกลมตัวนำอันหนึ่งมีศักย์ไฟฟ้า 300 โวลต์ เมื่อรับประจุ 60 ไมโคร คูลอมป์ ทรงกลมนี้จะมีค่าความจุ $= Q/V = 60 \times 10^{-6} / 300 = 0.2 \times 10^{-6} \text{ F}$ หรือ 0.2 ไมโครฟารัดนั่นเอง

กิจกรรม 2.9

1) ตัวเก็บประจุมีค่าความจุ 10 ไมโครฟารัด แล้วทำให้มีศักย์ไฟฟ้าเป็น 50

โวลต์ จะมีประจุไฟฟ้าบนตัวความจุนี้เท่าใด

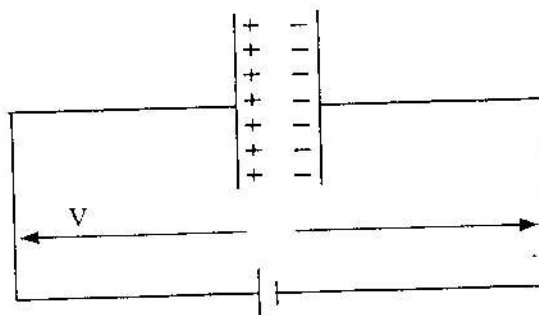
2) ทรงกลม A มีรัศมีเป็น 2 เท่าของทรงกลม B จงหาอัตราส่วนความจุของ

ทรงกลม B ต่อทรงกลม A

(โปรดตอบในแบบฝึกปฏิบัติ)

ความจุไฟฟ้าของแผ่นตัวนำคู่ขนาน

แผ่นตัวนำคู่ขนานเมื่อวางห่างกันระยะหนึ่ง แล้วต่อแผ่นทั้งสองเข้ากับความต่างศักย์ แผ่นตัวนำนี้สามารถเก็บประจุไฟฟ้าได้เช่นเดียวกับตัวนำทรงกลม โดยประจุบวกจะอยู่บนแผ่นตัวนำแผ่นหนึ่ง ส่วนประจุลบจะอยู่บนอีกแผ่นหนึ่ง ดังรูป 2.13



รูป 2.13 การเก็บประจุของแผ่นตัวนำคู่ขนาน

ถ้าหากว่าที่ค่าประจุบนแต่ละแผ่นมีค่าเท่ากันแต่เป็นกณละชนิด สมมติว่ามีประจุบนแต่ละแผ่นเท่ากับ Q ค่าความจุของแผ่นตัวนำคู่นี้คือ C โดยที่แผ่นทั้งสองมีความต่างศักย์ V โวลต์ ได้

$$C = Q/V$$

ตัวอย่าง 2.7

ตัวเก็บประจุแผ่นโลหะคู่ขนานอันหนึ่งมีค่าความจุ 40 ไมโครฟารัด นำตัวเก็บประจุนี้ไปต่อเข้ากับความต่างศักย์ 12 โวลต์ จงหาประจุที่อยู่บนแผ่นโลหะแต่ละแผ่น

วิธีทำ

$$\text{จาก } Q = CV$$

$$= (40 \times 10^{-6})(12) = 4.8 \times 10^{-4} \text{ คูลอมป์ ตอบ}$$

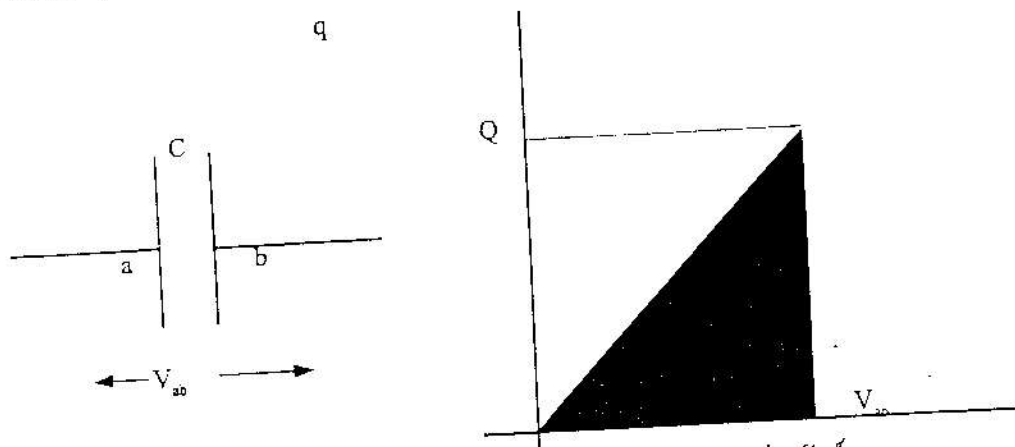
กิจกรรม 2.10

บนแต่ละแผ่นของตัวนำคู่ขนานมีประจุอยู่แผ่นละ 100 ไมโครคูลอมป์ ถ้าความต่างศักย์ระหว่างแผ่นทั้งสองนี้มีค่าเท่ากับ 50 โวลต์ จงหาความจุไฟฟ้าของแผ่นตัวนำคู่ขนานนี้

(โปรดตอบในแบบฝึกปฏิบัติ)

พลังงานที่สะสมในตัวเก็บประจุ

เมื่อเราให้ประจุไฟฟ้าแก่เครื่องเก็บประจุไฟฟ้า ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นย่อมขึ้นอยู่กับจำนวนประจุไฟฟ้าขณะนั้น โดยการเพิ่มประจุเป็นไปดังกราฟในรูป 2.14



รูป 2.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประจุกับความต่างศักย์

ประจุไฟฟ้าจะเริ่มจากศูนย์แล้วมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความต่างศักย์ของเครื่องเก็บประจุเพิ่มขึ้น

โดย

$$V_{ab} = q/C$$

ดังนั้นเมื่อ $q = 0$ แล้ว $V_{ab} = 0$ และเมื่อ $q = Q$ แล้ว $V_{ab} = V = Q/C$

จะเห็นว่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเพิ่มจาก 0 ถึง Q/C

ค่าความต่างศักย์เฉลี่ยจะมีค่า $(0 + Q/C)/2 = Q/2C$

พลังงานที่เครื่องเก็บประจุ $W = qV$ เฉลี่ย

$$= Q(Q/2C) = Q^2/2C = QV/2 = CV^2/2$$

ตัวอย่าง 2.8

ตัวเก็บประจุขนาด 2 ไมโครฟารัด มีประจุอยู่ 5 ไมโครคูลอมบ์ จงหาพลังงานที่สะสมบน

ตัวเก็บประจุนี้

วิธีทำ

$$W = Q^2/2C = (5 \times 10^{-6})^2 / (2 \times 2 \times 10^{-6})$$

$$= 6.25 \times 10^{-6} \text{ จูล} \text{ ตอบ}$$

กิจกรรม 2.11

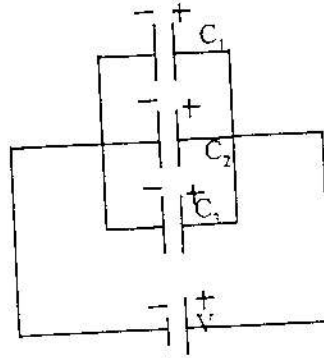
ตัวเก็บประจุขนาด 5.0 ไมโครฟารัด มีพลังงานที่สะสมอยู่ภายใน 2.0 จูล จงหาประจุไฟฟ้าบนตัวนำนี้

การต่อตัวเก็บประจุ

การต่อตัวเก็บประจุมี 2 แบบคือการต่อแบบอนุกรมและแบบขนาน

1. การต่อตัวเก็บประจุแบบขนาน

ตัวเก็บประจุ 3 ตัวนำมาต่อกันแบบขนานลักษณะการต่อเป็นดังรูป 2.15



รูป 2.15 การต่อตัวเก็บประจุแบบขนาน

พิจารณาประจุที่อยู่บนตัวเก็บประจุ

ให้ Q_1 เป็นประจุที่อยู่บนตัวเก็บประจุ C_1

Q_2 เป็นประจุที่อยู่บนตัวเก็บประจุ C_2

Q_3 เป็นประจุที่อยู่บนตัวเก็บประจุ C_3

$$\text{ดังนั้นประจุรวม (Q)} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

และจาก $Q = CV$

$$\text{ได้ } CV = C_1 V_1 + C_2 V_2 + C_3 V_3$$

พิจารณาความต่างศักย์บนตัวเก็บประจุ

เนื่องจากตัวเก็บประจุทั้ง 3 ต่อแบบขนาน จึงได้

$$V = V_1 = V_2 = V_3$$

$$\text{ดังนั้น } C = C_1 + C_2 + C_3$$

ทำนองเดียวกันถ้ามีตัวเก็บประจุต่อกันอยู่ n ตัว จะได้

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

ตัวอย่าง 2.9

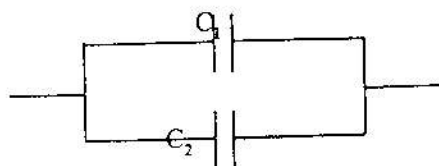
ตัวเก็บประจุ 2 ตัวมีค่าความจุ 7 และ 3 ไมโครฟารัด นำมาต่อกันแบบขนานแล้วให้ประจุ

เข้าไป 6000 ไมโครคูลอมบ์ จงหา

ก. ความจุรวมและความต่างศักย์ที่ขั้วของแต่ละตัว

ข. ประจุบนเครื่องเก็บประจุแต่ละตัว

วิธีทำ



ก. $C = C_1 + C_2 = 7 + 3 = 10 \text{ } \mu\text{F}$

ตอบ

$$V = Q/C = 6000 \times 10^{-6} / 10 \times 10^{-6}$$

$$V = 600 \text{ V}$$

การต่อแบบขนาน ศักย์ไฟฟ้ารวม = ศักย์แต่ละตัว = 600 V ตอบ

ข. $Q_1 = C_1 V_1 = 7 \times 10^{-6} \times 600 = 4.2 \times 10^{-3} \text{ คูลอมป์}$ ตอบ

$Q_2 = C_2 V_2 = 3 \times 10^{-6} \times 600 = 1.8 \times 10^{-3} \text{ คูลอมป์}$ ตอบ

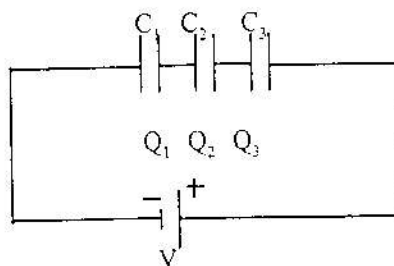
กิจกรรม 2.12

ตัวเก็บประจุ 2 ตัวมีความจุ 2 และ 4 ไมโครฟารัด นำมาต่อแบบขนานกัน แล้วนำมาต่อเข้ากับความต่างศักย์ 50 โวลต์ จงหาค่าความจุรวม และประจุไฟฟ้าบนตัวเก็บประจุแต่ละตัว และหาค่าประจุทั้งหมด

(โปรดตอบในแบบฝึกปฏิบัติแล้วตรวจกับแนวคำตอบท้ายเอกสาร)

2. การต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรม

ตัวเก็บประจุ 3 ตัวต่อกันแบบอนุกรมแสดงได้ดังรูป 2.16



รูป 2.16 การต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรม

ให้ V_1 เป็นความต่างศักย์คร่อมตัวเก็บประจุ C_1

V_2 เป็นความต่างศักย์คร่อมตัวเก็บประจุ C_2

V_3 เป็นความต่างศักย์คร่อมตัวเก็บประจุ C_3

$$\text{ศักย์รวม (V)} = V_1 + V_2 + V_3$$

และจาก $V = Q/C$

ได้ $Q/C = Q_1/C_1 + Q_2/C_2 + Q_3/C_3$

พิจารณาประจุบนตัวเก็บประจุ

เนื่องจากตัวเก็บประจุทั้ง 3 ต่อแบบอนุกรม จึงได้

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3$$

ดังนั้น $1/C = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3$

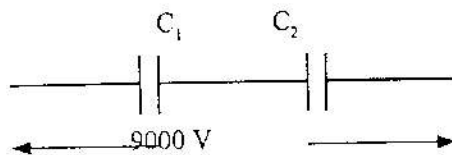
ทำนองเดียวกันถ้ามีตัวเก็บประจุต่อกันแบบอนุกรมอยู่ n ตัว จะได้

$$1/C = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + \dots + 1/C_n$$

ตัวอย่าง 2.10

ตัวเก็บประจุ 2 ตัวมีค่าความจุ 6 และ 3 ไมโครฟารัด นำมาต่อกันแบบอนุกรมแล้วต่อเข้ากับ ความต่างศักย์ 9000 โวลต์ ต่อไปถอดออกแล้วนำมาต่อเข้าด้วยกันแบบขนาน โดยให้ขั้วบวกต่อเข้ากับขั้วลบ ของความต่างศักย์ระหว่างขั้วของตัวเก็บประจุแต่ละตัว

วิธีทำ



เมื่อต่อกันแบบอนุกรม

$$\begin{aligned} 1/C &= 1/C_1 + 1/C_2 \\ &= 1/6 + 1/3 = 3/6 = 1/2 \end{aligned}$$

$$C = 2 \mu\text{F}$$

จาก $Q = CV$

$$Q = Q_1 = Q_2 = 2 \times 10^{-6} \times 9000 = 1.8 \times 10^{-2} \text{ C}$$

เมื่อนำมาต่อขนานกันโดยขั้วเดียวกันต่อกัน จึงได้

$$Q = Q_1 + Q_2 = 3.6 \times 10^{-2} \text{ C}$$

$$C = C_1 + C_2 = 9 \mu\text{F}$$

$$V = Q/C = 3.6 \times 10^{-2} / 9 \times 10^{-6} = 4000 \text{ V}$$

การต่อแบบขนาน ศักย์ไฟฟ้ารวม = ศักย์แต่ละตัว = 4000 V ตอบ

กิจกรรม 2.13

ตัวเก็บประจุ 2 ตัว ขนาด 2 และ 8 ไมโครฟารัด ต่ออนุกรมกัน แล้วนำไปต่อเข้ากับความต่างศักย์ 300 โวลต์ จงหาค่าประจุไฟฟ้าและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าบนตัวความจุแต่ละตัว

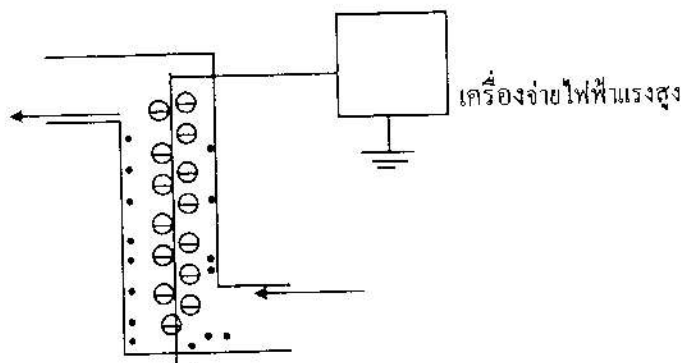
เครื่องมือที่ใช้หลักไฟฟ้าสถิต

เราสามารถนำหลักการของไฟฟ้าสถิตมาประดิษฐ์เป็นเครื่องมือที่ใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันได้หลายชนิด เช่น เครื่องกำจัดฝุ่นละอองในอากาศ เครื่องพ่นสี เครื่องถ่ายลายนิ้วมือ และเครื่องถ่ายเอกสาร

เครื่องฟอกอากาศ

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการกำจัดอนุภาคหรือฝุ่นละอองออกจากแก๊สอันเกิดจากการเผาไหม้ หลักการที่นำมาใช้ในการประดิษฐ์เครื่องมือนี้คือ เมื่อต่อไฟฟ้ากระแสตรงความต่างศักย์สูงโดยขั้วลบต่อกับแกนกลางของท่อโลหะและขั้วบวกต่อเข้ากับท่อ จะเกิดสนามไฟฟ้าที่สูงมาก เมื่อมีอนุภาคที่มากับอากาศสกปรกผ่านเข้ามาในท่อจะรับอิเล็กตรอนจากแกนกลางของท่อ กลายเป็นอนุภาคที่มีประจุลบ แล้วถูกดึงเข้าไปเกาะที่ตัวท่อ จากนั้นเมื่อทำให้ท่อสั้นอนุภาคเหล่านั้นก็จะร่วงลงมากองรวมกันอยู่ตอนล่างของท่อ ดังนั้นอากาศที่ผ่านท่อออกไปจึงเป็นอากาศที่สะอาด ดังรูป

2.17

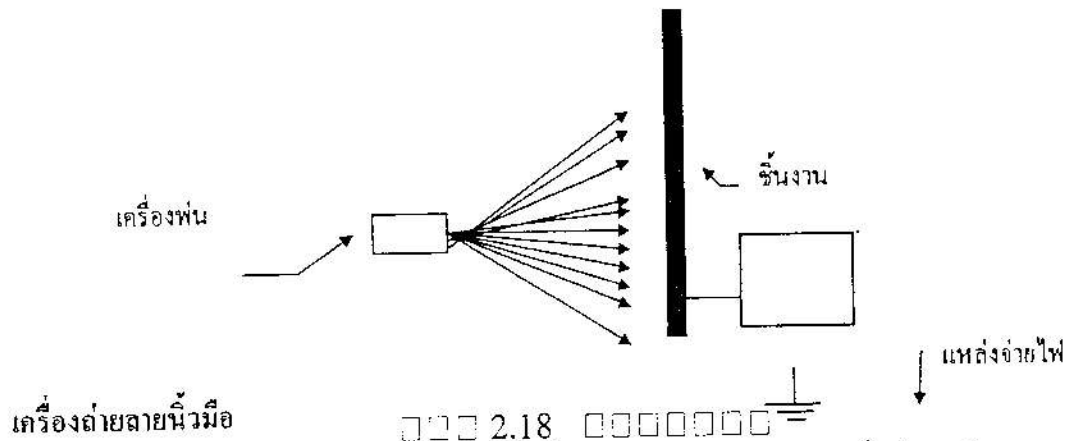


รูป 2.17 เครื่องฟอกอากาศ



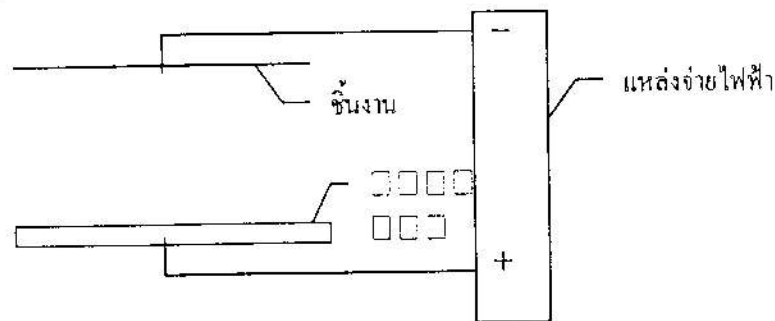
เครื่องพ่นสี

เครื่องพ่นสีแบบนี้ดีกว่าการพ่นสีโดยทั่ว ๆ ไปที่ว่า เมื่อละอองสีกับชิ้นงานมีประจุไฟฟ้าที่ตรงข้ามจะทำให้สีเกาะติดกับชิ้นงานได้ดียิ่งขึ้น ทำให้สีไม่ฟุ้งกระจายอันเป็นการประหยัดสี หลักการของเครื่องพ่นสีก็คือ การทำให้ละอองสีมีประจุไฟฟ้าขณะที่พ่นออกจากเครื่องพ่น และตัวชิ้นงานก็ต่อเข้ากับไฟฟ้าที่มีขั้วตรงข้ามกับละอองสี ดังรูป 2.18



เครื่องถ้ำลายนิ้วมือ

เป็นเครื่องมือที่ใช้ถ้ำลายนิ้วมือจากวัตถุที่เป็นกระดาษหรือพลาสติก เพื่อสืบหาเจ้าของลายนิ้วมือ หลักการของเครื่องมือนี้ก็คือ ต่อขั้วไฟฟ้าที่ต่างกันเข้ากับชิ้นงานและแผ่นโลหะ โดยแผ่นโลหะต่อเข้ากับขั้วบวก ส่วนชิ้นงานต่อเข้ากับขั้วลบ ที่แผ่นโลหะเคลือบด้วยผงซิลิโคนคาร์บอน เมื่อเครื่องมือทำงานผงซิลิโคนคาร์บอนจะเป็นประจุบวก จึงลอยไปติดที่ชิ้นงานทำให้ชิ้นงานปรากฏรอยนิ้วมือขึ้นมา ดังรูป 2.19

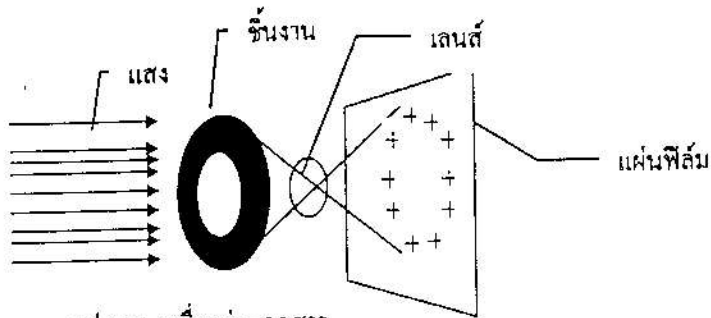


รูป 2.19 เครื่องถ้ำลายนิ้วมือ

เครื่องถ้ำลายเอกสาร

เครื่องถ้ำลายเอกสารเป็นเครื่องคัดลอกสิ่งพิมพ์ต่าง ๆ ลงบนกระดาษหรือวัสดุ ต่าง ๆ ทำให้ได้ภาพเหมือนต้นฉบับ หลักการทำงานก็คือ เมื่อแสงฉายไปสะท้อนชิ้นงาน ผ่านเลนส์ไปยังแผ่นฟิล์ม โดยปกติแผ่นฟิล์มจะมีประจุเป็นบวก แต่ถ้าวบริเวณใดที่ถูกแสงสว่างแผ่นฟิล์มจะเป็นตัวนำทำให้เป็นกลางทางไฟฟ้า ส่วนบริเวณที่ไม่ถูกแสงคือบริเวณที่เก็บตัวอักษรยังเป็นฉนวนอยู่จึงมีประจุเป็นบวก เมื่อพ่นผงหมึกลงบนแผ่นฟิล์มผงหมึกจะเกาะติดเฉพาะบริเวณที่มีประจุบวกเท่านั้นจึงได้ภาพของเอกสารบนแผ่นฟิล์ม เมื่อนำกระดาษที่มีประจุบวกกดลงไปบนแผ่นฟิล์มจึงได้ภาพที่อยู่นบน

แผ่นฟิล์มติดลงบนกระจก จากนั้นนำแผ่นกระจกนี้ไปอบด้วยความร้อนเพื่อให้ผงหมึกติดแน่นบนกระจก การทำงานของเครื่องถ่ายภาพเอกซเรย์แสดงดังรูป 2.20



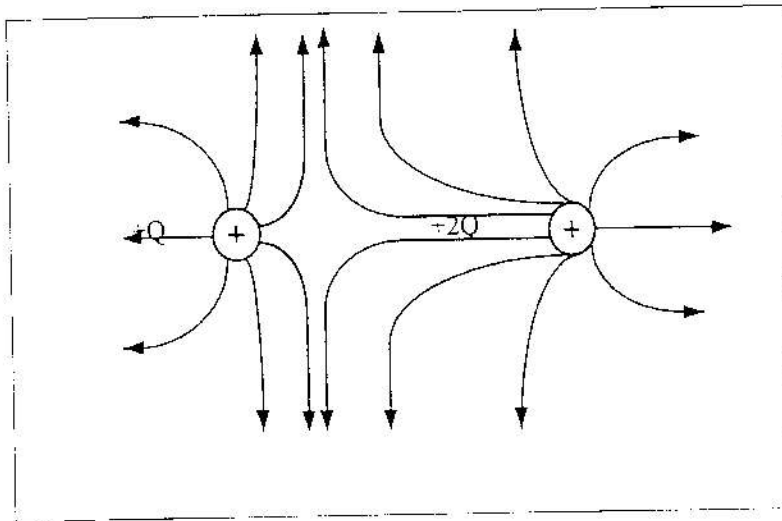
รูป 2.20 เครื่องถ่ายภาพเอกซเรย์

แนวตอบกิจกรรม

แนวตอบกิจกรรมที่ 2.1

1) มี เส้น บริเวณตรงกลางระหว่างจุดประจุชนิดเดียวกัน

2)



3) ขนานกัน

แนวตอบกิจกรรมที่ 2.2

1) $E \propto 1/r^2$

$$E_1 / E_2 = (r_2 / r_1)^2$$

$$E / E_2 = (2r/r)^2$$

$$E_2 = E/4 \quad \text{ตอบ}$$

2) เป็นประจุบวก

$$qE = mg$$

$$q = mg/E = (5 \times 10^{-3}) \times 10 / 2.5 \times 10^4$$

$$= 2 \times 10^{-6} \quad \text{C} \quad \text{ตอบ}$$

แนวตอบกิจกรรมที่ 2.3

1) ศูนย์

2) ไม่เปลี่ยนแปลง เพราะชนิดของประจุไม่มีผลต่อขนาดของสนามไฟฟ้า มีผลเฉพาะทิศทางของสนามไฟฟ้าเท่านั้น

แนวตอบกิจกรรมที่ 2.4

1) พลังงานศักย์ไฟฟ้าเป็นค่าพลังงานศักย์ของประจุใดๆ ส่วนศักย์ไฟฟ้าเป็นพลังงานศักย์ต่อหนึ่งหน่วยประจุ

2) เคลื่อนที่จากจุดที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำไปยังจุดที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าที่สูงกว่า

แนวตอบกิจกรรมที่ 2.5

1) ลดลง เพราะ พลังงานศักย์เปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์

2) ต่างกัน พลังงานศักย์ไฟฟ้ามีหน่วยเป็นจูล ศักย์ไฟฟ้ามีหน่วยเป็นจูล/คูลอมบ์ หรือเรียกว่าโวลต์

แนวตอบกิจกรรมที่ 2.6

ศักย์ไฟฟ้าบนตัวนำทรงกลมมีค่าสูงสุด ส่วนสนามไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์ เมื่อห่างจากผิวออกไปศักย์ไฟฟ้าจะลดลงเป็นสัดส่วนผกผันกับระยะห่างส่วนสนามไฟฟ้าเป็นสัดส่วนผกผันกับระยะห่างยกกำลังสอง

แนวตอบกิจกรรมที่ 2.7

1) ค่าบวกและลบของศักย์ไฟฟ้าแสดงถึงค่าศักย์ที่มีขนาดมากหรือน้อยกว่าศูนย์

$$2) \text{ จาก } V = Kq/r = (9 \times 10^9)(-20 \times 10^{-6}) / 2 \times 10^{-2}$$

$$= -9.0 \times 10^6 \quad \text{V}$$

แนวตอบกิจกรรมที่ 2.8

1) ศักย์ไฟฟ้าเป็นพลังงานแต่สนามไฟฟ้าเป็นแรง

$$2) N/C = (kg \cdot m/s^2)/C = (kg \cdot m \cdot m/m^2 s^2)/C = J/m \cdot C = V/m$$

แนวตอบกิจกรรมที่ 2.9

$$1) C = Q/V \text{ หรือ } Q = CV = 10 \times 10^{-6} \times 50 = 5.0 \times 10^{-4} \quad \text{คูลอมบ์}$$

$$2) C \propto a$$

$$C_B / C_A = a_B / a_A$$

$$C_B / C_A = 2a / a = 2$$

แนวตอบกิจกรรมที่ 2.10

$$C = Q/V = (100 \times 10^{-6}) / (50) = 2 \times 10^{-6} \text{ F}$$

แนวตอบกิจกรรมที่ 2.11

$$Q^2 = 2WC = 2 \times 2.0 \times 5.0 \times 10^{-6}$$

$$Q = 2/5 \times 10^{-3} \text{ C}$$

แนวตอบกิจกรรมที่ 2.12

$$C = C_1 + C_2 = 2 + 4 = 6 \text{ ไมโครฟารัด}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = C_1V + C_2V = (2 \times 10^{-6})50 + (4 \times 10^{-6})50$$

$$= (1.0 \times 10^{-4}) + (2.0 \times 10^{-4}) \text{ คูลอมบี้}$$

$$= (3.0 \times 10^{-4}) \text{ คูลอมบี้}$$

โดย ประจุบน 2 ไมโครฟารัด $Q_1 = 1.0 \times 10^{-4}$ คูลอมบี้

ประจุบน 4 ไมโครฟารัด $Q_2 = 2.0 \times 10^{-4}$ คูลอมบี้

แนวตอบกิจกรรมที่ 2.13

หาความจุรวม

$$1/C = 1/C_1 + 1/C_2 = 1/2 + 1/8 = 5/8$$

$$C = 1.6 \text{ } \mu\text{F}$$

จาก $Q = CV = 1.6 \times 10^{-6} \times 300 = 4.8 \times 10^{-4} \text{ C}$ ตอบ

$$V_1 = 4.8 \times 10^{-4} / 2 \times 10^{-6} = 2.4 \times 10^2 \text{ V} = 240 \text{ V} \text{ ตอบ}$$

$$V_2 = 4.8 \times 10^{-4} / 8 \times 10^{-6} = 0.6 \times 10^2 \text{ V} = 60 \text{ V} \text{ ตอบ}$$

เฉลยแบบประเมินผลตนเอง

เฉลยแบบประเมินผลตนเองก่อนเรียนหน่วยที่ 2

1. ข 2. ข 3. ก 4. ก 5. ค 6. ง 7. ค 8. ก 9. ข 10. ก
11. ค 12. ค 13. ง 14. ก 15. ก 16. ก 17. ง 18. ง 19. ง 20. ค
21. ง 22. ข 23. ค 24. ก 25. ข

เฉลยแบบประเมินผลตนเองหลังเรียนหน่วยที่ 2

1. ค 2. ข 3. ข 4. ก 5. ก 6. ง 7. ค 8. ก 9. ข 10. ก
11. ค 12. ก 13. ง 14. ก 15. ก 16. ก 17. ง 18. ง 19. ง 20. ค
21. ง 22. ข 23. ค 24. ก 25. ข

แบบประเมินผลตนเองก่อนเรียนและหลังเรียนหน่วยที่ 2

คำชี้แจง จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียวแล้วทำเครื่องหมาย x ลงใน
กระดานคำตอบให้ตรงกับข้อที่นักเรียนเลือก

1. ข้อใดเป็นความหมายของสนามไฟฟ้า

- ก. แรงที่กระทำต่อประจุไฟฟ้าใดๆที่วางในบริเวณที่มีอำนาจไฟฟ้า
- ข. แรงที่กระทำต่อประจุ $+1\text{ C}$ ที่วางในบริเวณที่มีอำนาจไฟฟ้า
- ค. แรงที่กระทำต่อประจุ -1 C ที่วางในบริเวณที่มีอำนาจไฟฟ้า
- ง. พลังงานไฟฟ้าในการเคลื่อนที่หนึ่งหน่วยประจุ

2. เมื่อนำประจุไฟฟ้า b คูบลอมน์ไปวางในบริเวณที่มีความเข้มสนามไฟฟ้าเท่ากับ E
จะเกิดแรงกระทำต่อประจุไฟฟ้านี้เท่าใด

- ก. E/b
- ข. Eb
- ค. b/E
- ง. $E+b$

3. สนามไฟฟ้ามีทิศทางอย่างไร

- ก. มีทิศทางออกจากประจุบวก
- ข. มีทิศทางออกจากประจุลบ
- ค. มีทิศทางไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับชนิดของประจุที่นำมาวาง
- ง. ไม่มีทิศทางเพราะเป็นปริมาณสเกลาร์

4. ตัวนำทรงกลมที่มีประจุไฟฟ้าจะมีค่าสนามไฟฟ้ามากที่สุดที่ใด

- ก. ผิวทรงกลม
- ข. ภายในทรงกลม
- ค. นอกผิวทรงกลม
- ง. ระยะอนันต์

5. สนามไฟฟ้าของประจุ q ที่ระยะห่างจากประจุนี้เป็นระยะ r มีค่าเท่าใด

- ก. Kqr
- ข. Kq/r
- ค. Kq/r^2
- ง. Kr^2/q

6. สนามไฟฟ้าที่จุดห่างจากอนุภาคโปรตอนเป็นระยะ 1 cm มีค่าเท่าใด

- ก. $1.6 \times 10^{-19}\text{ N/C}$
- ข. $9.1 \times 10^{-31}\text{ N/C}$
- ค. $14.4 \times 10^{-10}\text{ N/C}$
- ง. $1.44 \times 10^{-5}\text{ N/C}$

7. อนุภาคโปรตอนและอนุภาคอิเล็กตรอนอยู่ห่างกัน 2 cm สนามไฟฟ้าที่จุดห่างจากประจุทั้งสอง
เป็นระยะ 1 cm มีค่าเท่าใด

- ก. 0
- ข. $1.44 \times 10^{-5}\text{ N/C}$
- ค. $2.88 \times 10^{-5}\text{ N/C}$
- ง. $3.6 \times 10^{-6}\text{ N/C}$

2 -

7. อนุภาคโปรตอนและอนุภาคอิเล็กตรอนอยู่ห่างกัน 2 cm สนามไฟฟ้าที่จุดห่างจากประจุทั้งสองเป็นระยะ 1 cm มีค่าเท่าใด

ก. 0

ข. 1.44×10^{-5} N/C

ค. 2.88×10^{-5} N/C

ง. 3.6×10^{-6} N/C

8. สนามไฟฟ้าที่จุดห่างจากประจุ 100 ไมโครคูลอมบ์เป็นระยะ 3 cm มีค่าเท่าใด

ก. 1×10^9 N/C

ข. 9×10^9 N/C

ค. 3×10^9 N/C

ง. 27×10^9 N/C

9. วัตถุมวล m สามารถลอยอยู่ในสนามสม่ำเสมอทิศทางขึ้นตามแนวดิ่งได้ วัตถุนี้ควรมีประจุชนิดใด

ก. บวก

ข. ลบ

ค. เป็นกลาง

ง. ไม่สามารถลอยอยู่ได้

10. โลหะทรงกลมกลวงมีรัศมีภายนอก 5 cm รัศมีภายใน 3 cm มีประจุไฟฟ้า 100 ไมโครคูลอมบ์ ค่าสนามไฟฟ้าที่ผิวในทรงกลมมีค่าเท่าใด

ก. 0

ข. 9×10^8 N/C

ค. 3.6×10^8 N/C

ง. 1×10^9 N/C

11. จากข้อ 10 สนามไฟฟ้าที่ผิวนอกทรงกลมมีค่าเท่าใด

ก. 0

ข. 9×10^8 N/C

ค. 3.6×10^8 N/C

ง. 1×10^9 N/C

12. อิเล็กตรอนตัวหนึ่งวางอยู่ในสนามไฟฟ้าขนาด 200 N/C มีแรงกระทำต่ออิเล็กตรอนตัวนี้เท่าใด

ก. 8.0×10^{-22} N

ข. 3.2×10^{-21} N

ค. 3.2×10^{-17} N

ง. 6.4×10^{-15} N

13. ที่จุดห่างประจุไฟฟ้าอันหนึ่ง 20 mm มีค่าสนามไฟฟ้าเท่ากับ 1.0×10^5 N/C ขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะห่างจากประจุนี้ 10 mm มีค่าเท่าใด

ก. 2.5×10^4 N/C

ข. 5.0×10^4 N/C

ค. 2.0×10^5 N/C

ง. 4.0×10^5 N/C

14. ศักย์ไฟฟ้าจัดเป็นปริมาณใด

ก. สเกลาร์

ข. เวกเตอร์

ค. ไม่จัดเป็นปริมาณ

ง. ถูกข้อ ก และ ข

□□□□□□□□ □ 023 □□□□□□□□ 2

2 -

23. ตัวความจุขนาด 20 ไมโครฟารัด มีพลังงาน 2.5 จูล แสดงว่าจะต้องต่อเข้ากับความต่างศักย์กี่โวลต์

ก. 150 V

ข. 350 V

ค. 500 V

ง. 0.25 MV

24. ตัวความจุขนาด 50 ไมโครฟารัด 2 ตัวต่อกันแบบอนุกรม ความจุรวมมีค่าเท่าใด

ก. 25 μF

ข. 50 μF

ค. 100 μF

ง. 200 μF

25. ถ้าตัวความจุในข้อ 24 ต่อเข้ากับแบตเตอรี่ขนาด 100 V ความต่างศักย์ที่คร่อมตัวความจุแต่ละตัวมีค่าเท่าใด

ก. 25 V

ข. 50 V

ค. 100 V

ง. 200 V

2 -

กระดาษคำตอบสำหรับแบบประเมินผลตนเองก่อนเรียนหน่วยที่ 2

ข้อ	ก	ข	ค	ง	ข้อ	ก	ข	ค	ง
1					16				
2					17				
3					18				
4					19				
5					20				
6					21				
7					22				
8					23				
9					24				
10					25				
11					26				
12					27				
13					28				
14					29				
15					30				

(โปรดตรวจคำตอบกับเฉลยในเอกสารการสอน)

□□□□□□□□ □ 023 □□□□□□□□ 2

2 -

กระดานคำตอบกิจกรรม 2.1

(โปรดตรวจคำตอบกับเฉลยท้ายเอกสารการสอน)

กระดานคำตอบกิจกรรม 2.2

กระดานคำตอบกิจกรรม 2.3

กระดานคำตอบกิจกรรม 2.4

2 -

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

กระดาษคำตอบกิจกรรม 2.5

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

(โปรดตรวจคำตอบกับเฉลยท้ายเอกสารการสอน)

กระดาษคำตอบกิจกรรม 2.6

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

กระดาษคำตอบกิจกรรม 2.7

□□□□□□□□ □ 023 □□□□□□□ 2

2 -

กระดาศำคอบกัฏกรรม 2.8

กระดาศำคอบกัฏกรรม 2.9

(ไปรคครวงคำคอบกัฏเฉลยท่ายเอกสการการสอน)

กระดาศำคอบกัฏกรรม 2.10

□□□□□□□□ □ 023 □□□□□□□□ 2

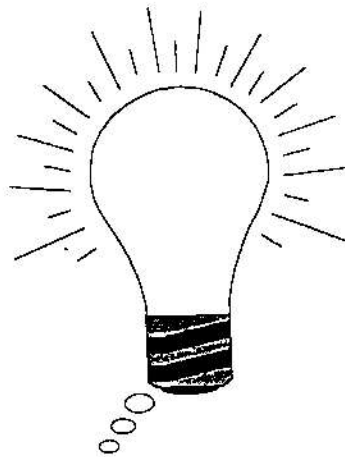
2 -

กระดาษคำตอบกิจกรรม 2.11

กระดาษคำตอบกิจกรรม 2.12

กระดาษคำตอบกิจกรรมที่.2.13

เอกสารการสอน
หน่วยที่ 3
เรื่อง
กระแสไฟฟ้าและกฎของโอห์ม



จัดทำโดย

นายสุรจิตร ศรีรักษ์
อาจารย์ 2 ระดับ 7 โรงเรียนชัยภูมิภักดีชุมพล

สารบัญหน่วยที่ 3

เรื่อง	หน้า
แผนการสอนประจำหน่วยที่ 3	196
คำแนะนำในการศึกษาด้วยตนเอง	197
กระแสไฟฟ้า	198
กระแสไฟฟ้าในโลหะตัวนำ	199
กฎของโอห์มและความต้านทาน	201
ผลของอุณหภูมิที่มีต่อความต้านทาน	203
สภาพต้านทานไฟฟ้า	204
การต่อความต้านทาน	205
การต่อความต้านทานแบบอนุกรม	205
การต่อความต้านทานแบบขนาน	206
การต่อความต้านทานแบบผสม	207
แนวตอบกิจกรรม	209
เฉลยแบบประเมินผลตนเอง	210
แบบประเมินผลตนเองก่อนเรียน	211
แบบฝึกปฏิบัติ ว 023 หน่วยที่ 3	215
แบบประเมินผลตนเองหลังเรียน	217

แผนการสอนประจำหน่วยที่ 3

วิชา ว 023 ฟิสิกส์

เรื่อง กระแสไฟฟ้าและกฎของโอห์ม

แนวคิด

1. กระแสไฟฟ้าเป็นการเคลื่อนที่ของประจุโดยกำหนดเป็นลูอมบ์/วินาที
2. กฎของโอห์มแสดงให้เห็นว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านลวดตัวนำเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความต่างศักย์ไฟฟ้า
3. ความต้านทานของลวดตัวนำเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความยาวและเป็นสัดส่วนผกผันกับพื้นที่หน้าตัดของเส้นลวด
4. การต่อความต้านทานสามารถต่อได้แบบอนุกรมและแบบขนาน

จุดประสงค์การเรียนรู้

เมื่อนักเรียนศึกษาหน่วยที่ 3 จบแล้วนักเรียนสามารถอธิบายเกี่ยวกับกฎของโอห์มและกระแสไฟฟ้าได้ โดย

1. บอกความหมายของกระแสไฟฟ้าได้
2. อธิบายลักษณะการเกิดกระแสไฟฟ้าในโลหะตัวนำได้
3. อธิบายกฎของโอห์มได้
4. อธิบายสภาพต้านทานได้
5. อธิบายและคำนวณเกี่ยวกับการต่อความต้านทานแบบอนุกรมและขนานได้

กิจกรรมการเรียนการสอน

ให้นักเรียนดำเนินการศึกษาเรียงตามลำดับขั้นดังนี้

1. ทำแบบประเมินผลตนเองก่อนเรียนหน่วยที่ 3
2. ศึกษาเอกสารการสอนหน่วยที่ 3
3. ทำกิจกรรมตามที่ได้รับมอบหมายจากเอกสารการสอน
4. ทำแบบประเมินผลตนเองหลังเรียน

การประเมินผล

1. ประเมินจากแบบประเมินผลตนเองก่อนเรียนและหลังเรียน
2. ประเมินจากการทำกิจกรรมในแบบฝึกปฏิบัติ
3. ประเมินผลจากการสอบประจำภาคเรียน

คำแนะนำในการศึกษาด้วยตนเอง

1. นักเรียนศึกษาแผนการสอนประจำหน่วยให้เข้าใจ
2. ทำแบบประเมินผลก่อนเรียนและตรวจสอบกับคำตอบ
3. ศึกษาเนื้อเรื่องและทำกิจกรรมลงในแบบฝึกปฏิบัติลงในสมุดกิจกรรม
4. ตรวจสอบการทำกิจกรรมกับแนวการตอบที่อยู่ท้ายเอกสาร
5. ทำแบบประเมินผลหลังเรียนและตรวจสอบกับคำตอบ



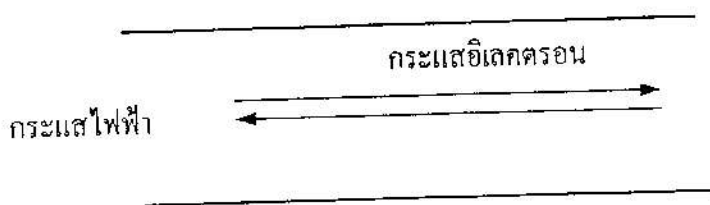
เอกสารการสอนวิชา ฟิสิกส์ ๖๐๒๓

หน่วยที่ 3

เรื่อง กระแสไฟฟ้าและกฎของโอห์ม

กระแสไฟฟ้า

กระแสไฟฟ้า เกิดจากการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าในตัวนำ โดยกำหนดว่ากระแสไฟฟ้าไหลจากจุดที่มีศักย์สูงกว่าไปยังจุดที่มีศักย์ต่ำกว่า ลักษณะเช่นนี้ก็คือทิศทางการเคลื่อนที่ของประจุบวกนั่นเอง ดังนั้นทิศทางของกระแสไฟฟ้าจึงเป็นทิศทางของประจุบวกที่เคลื่อนที่ในตัวนำโดยไหลออกจากขั้วบวกของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าออกสู่วงจรภายนอกไปยังขั้วลบ แต่เมื่อพิจารณาโครงสร้างอะตอมพบว่าอนุภาคในอะตอมที่สามารถเคลื่อนที่ได้สะดวกก็คืออิเล็กตรอน ดังนั้นขณะที่มีกระแสไฟฟ้าไหลอนุภาคที่เคลื่อนที่ซึ่งเป็นอิเล็กตรอน กระแสนี้เรียกว่ากระแสอิเล็กตรอน เนื่องจากอิเล็กตรอนมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ จึงเคลื่อนที่จากศักย์ไฟฟ้าต่ำไปสู่ศักย์ไฟฟ้าสูง ทำให้กระแส อิเล็กตรอนมีทิศทางตรงข้ามกับกระแสไฟฟ้าที่กำหนดไว้ในตอนแรก สรุปได้ว่าทันทีที่มีกระแสอิเล็กตรอนก็จะมีกระแสไฟฟ้าไหลในทิศทางตรงข้ามนั่นเอง



รูปที่ 3.1 กระแสไฟฟ้าและกระแสอิเล็กตรอนไหลในทิศทางตรงข้าม

ชนิดของกระแสไฟฟ้า

กระแสไฟฟ้าแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

1. ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct current หรือ D.C.) เป็นกระแสไฟฟ้าที่ออกจากแหล่งกำเนิดออกจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและมีทิศทางการไหลทางเดียวอยู่ตลอดเวลา ตัวอย่างแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ได้แก่ เซลล์แห้ง แบตเตอรี่ ไดนาโมกระแสตรง เซลล์สุริยะ คู่ความวร้อน
2. ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating current หรือ A.C.) เป็นกระแสไฟฟ้าที่ออกจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับและมีทิศทางการไหลกลับทิศอยู่ตลอดเวลา เช่น ไฟฟ้าที่ได้จากไดนาโมกระแสสลับ

กิจกรรม 3.1

- 1) กระแสไฟฟ้าและกระแสอิเล็กตรอนแตกต่างกันอย่างไร
- 2) ไฟฟ้ากระแสสลับและไฟฟ้ากระแสตรงแตกต่างกันอย่างไร

กระแสไฟฟ้าในโลหะตัวนำ

ในลวดโลหะตัวนำตามปกติแล้วจะมีอิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่อยู่แล้วแต่ยังไม่เป็นระเบียบ แต่เมื่อให้ความต่างศักย์เข้าที่ปลายทั้งสองของตัวนำ อิเล็กตรอนเหล่านี้ก็จะเคลื่อนที่อย่างเป็นระเบียบไปในทิศทางเดียวกัน คล้ายกับมีน้ำบรรจุอยู่เต็มท่อเมื่อเราเปิดลิ้น น้ำจะไหลทันที เมื่อมีกระแสอิเล็กตรอนจึงมีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นในทิศทางตรงข้าม เพื่อให้เกิดความชัดเจนในการวัดปริมาณ กระแสไฟฟ้าจึงกำหนดว่า กระแสไฟฟ้าคือปริมาณประจุไฟฟ้าที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดในหนึ่งหน่วยเวลา

หรือ กระแสไฟฟ้า = ประจุไฟฟ้า/เวลา

ให้ I แทนกระแสไฟฟ้า

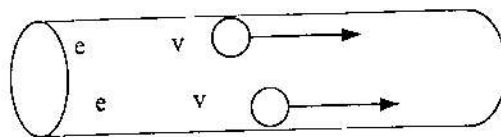
Q แทนประจุไฟฟ้า

t แทนเวลา

$$I = Q/t$$

กระแสไฟฟ้ามีหน่วยเป็น คูลอมบ์/โวลต์ (C/V) หรือเรียกว่า แอมแปร์

พิจารณาเส้นลวดโลหะพื้นที่หน้าตัด A ตารางเมตร ยาว 1 เมตร มีอิเล็กตรอนในหนึ่งหน่วยปริมาตรเท่ากับ n และอิเล็กตรอนแต่ละตัวมีประจุเท่ากับ e



รูปที่ 3.2 ความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอน

ประจุไฟฟ้าในหนึ่งหน่วยปริมาตรเท่ากับ ne คูลอมบ์/ลูกบาศก์เมตร

ประจุไฟฟ้าทั้งหมด = $neIA$ คูลอมบ์

ถ้าปลายทั้งสองของเส้นลวดได้รับความต่างศักย์ไฟฟ้า จะทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ยซึ่งเรียกว่าความเร็วลอยเลื่อน (drift velocity) v และใช้เวลา t ในการไหลผ่านเส้นลวดนี้

$$\text{ได้ว่า } I = vt$$

$$\text{ดังนั้น } Q = ne(vt)A$$

$$I = Q/t = nevA$$

ตัวอย่างที่ 3.1

กระแสไฟฟ้าขนาด 200 แอมแปร์ ผ่านในแท่งทองแดงซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด 1 cm^2 ตามปกติทองแดงมีอิเล็กตรอนอิสระอยู่ 8.5×10^{22} ตัว/ cm^3 อิเล็กตรอน 1 ตัวมีประจุ 1.6×10^{-19} จูลอมป์ จงหาความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอน

วิธีทำ

$$I = 200 \text{ A ,}$$

$$A = 1 \text{ cm}^2 = 1 \times 10^{-4} \text{ m}^2 ,$$

$$n = 8.5 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3} = 8.5 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$$

$$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$\text{จาก } I = nevA \text{ หรือ } v = I/neA$$

$$= 200 / (8.5 \times 10^{28}) (1.6 \times 10^{-19}) (1 \times 10^{-4})$$

$$v = 1.5 \times 10^{-4} \text{ m/s} \quad \text{ตอบ}$$

จากตัวอย่างที่ 3.1 ความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนมีค่าต่ำมาก แต่ที่พบว่าเมื่อปิดวงจรกระแสไฟฟ้าจะเดินทางไปถึงจุดหมายทันที ก็ด้วยเหตุผลที่ว่าอิเล็กตรอนมีอยู่เต็มไปหมด เช่นเดียวกับน้ำที่มีอยู่เต็มในท่อ เมื่อปลายด้านหนึ่งเคลื่อนก็จะถึงปลายอีกด้านหนึ่งทันที

ตัวอย่างที่ 3.2

กระแสไฟฟ้าคงที่ขนาด 5 A ไหลในเส้นลวดตัวนำเป็นเวลานาน 2 นาที ประจุไฟฟ้าที่ไหลในเส้นลวดมีจำนวนเท่าใด และเป็นอิเล็กตรอนกี่ตัว

วิธีทำ

$$I = Q/t$$

$$Q = It = 5 \times 2 \times 60 = 600 \text{ C} \quad \text{ตอบ}$$

$$ne = 600$$

$$n = 600 / 1.6 \times 10^{-19} = 3.75 \times 10^{19} \text{ อนุภาค} \quad \text{ตอบ}$$

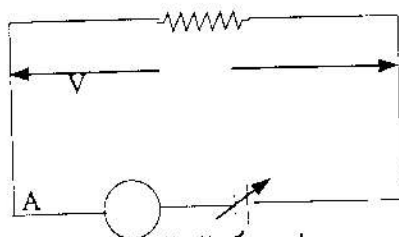
กิจกรรม 3.2

1) ลวดเงินขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 mm. มีประจุไฟฟ้าผ่านจำนวน 90 คูლობ์ ใช้เวลานาน 1 ชั่วโมง 15 นาที ถ้าเงินมีอิเล็กตรอนอิสระอยู่ 5.8×10^{22} ตัว/cm² จงหากระแสไฟฟ้าและความเร็วเฉลี่ยของอิเล็กตรอน

2) ลวดเส้นหนึ่งมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน 1 แอมแปร์ กระแสไฟฟ้านี้ผ่านอยู่นาน 10 นาที จะมีจำนวนอิเล็กตรอนผ่านไปกี่อนุภาค

กฎของโอห์มและความต้านทาน

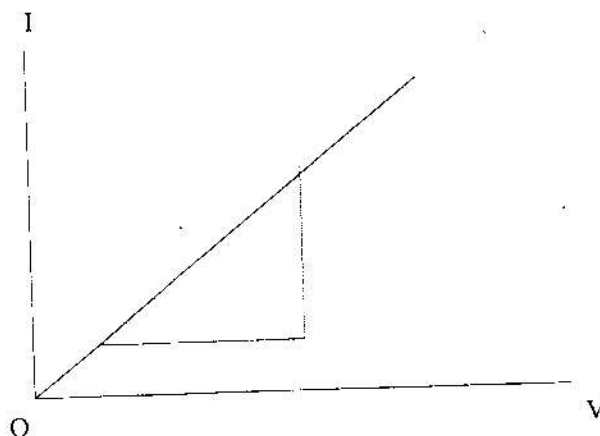
กฎของโอห์มเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโลหะตัวนำกับความต่างศักย์ระหว่างปลายทั้งสองของตัวนำ การจัดการทดลองเพื่อศึกษาเรื่องนี้แสดงดังวงจรในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การทดลองความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.3 (A) เป็นแอมมิเตอร์ที่ใช้วัดกระแสไฟฟ้าในวงจร V เป็นโวลต์มิเตอร์ที่ใช้วัดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างปลายทั้งสองของโลหะตัวนำ ทั้งหมดต่อเข้ากับเซลล์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนค่าได้ เช่นอาจใช้การเปลี่ยนจากถ่านไฟฉาย 1 ก้อน เป็น 2 ก้อน 3 ก้อน หรือ 4 ก้อนตามลำดับ

ผลการศึกษาพบว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านลวดตัวนำเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความต่างศักย์ระหว่างปลายทั้งสองของตัวนำนั้น เมื่ออุณหภูมิของตัวนำนั้นคงที่ กราฟระหว่างกระแสไฟฟ้า (I) กับความต่างศักย์ (V) เป็นดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ของตัวนำ

$$I \propto V$$

$$I = kV \quad \text{เมื่อ } k \text{ เป็นค่าคงที่ของการแปรผัน}$$

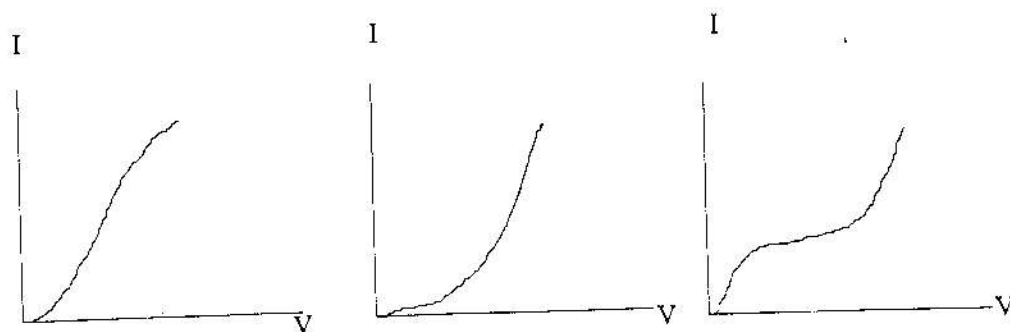
$$k = I/V$$

$$\text{หรือ } 1/k = V/I \quad \text{หรือ } R = V/I \quad \text{เมื่อ } R = 1/k$$

$$\text{ได้ } V = IR$$

R เป็นค่าคงที่เรียกว่า ความต้านทาน(resistance) มีหน่วยเป็น โวลต์/แอมแปร์ ซึ่งเรียกว่า โอห์ม (Ohm) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ Ω และสัญลักษณ์ของความต้านทานเมื่อเขียนในวงจรไฟฟ้าคือ $\sim\sim\sim\sim$ นอกจากนี้ในการใช้งานทางไฟฟ้าสามารถประดิษฐ์ความต้านทานค่าต่าง ๆ ขึ้นมาใช้อุปกรณ์นี้เรียกว่า ตัวต้านทาน (resistor)

จากการศึกษาการนำไฟฟ้าของสารอื่นๆ นอกจากโลหะตัวนำ พบว่าไม่เป็นไปตามกฎของโอห์ม คือได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง V กับ I ไม่เป็นเส้นตรงดังรูปที่ 3.5



ก. หลอดไดโอด

ข. สารกึ่งตัวนำ

ค. หลอดบรรจุไส้

รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าของตัวนำชนิดอื่น

ผลของอุณหภูมิที่มีต่อความต้านทาน

อุณหภูมิของวัสดุส่งผลต่อความต้านทาน กล่าวคือสำหรับพวกโลหะ เช่น เงิน ทองแดง ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นความต้านทานจะเพิ่มขึ้น ส่วนพวกสารกึ่งตัวนำ เช่น ซีลีคอน เยอรมานียม เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความต้านทานจะลดลง พวกฉนวนเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นความต้านทานจะลดลง

ตัวอย่างที่ 3.3

หลอดตัวนำอันหนึ่งคือไวน์วงจรไฟฟ้าวัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านได้ได้ 2.0 มิลลิแอมแปร์ และความต่างศักย์ระหว่างปลายทั้งสองของหลอดนี้วัดได้ 1.4 โวลต์ ความต้านทานของเส้นหลอดนี้มีค่าเท่าใด

วิธีทำ

$$\begin{aligned} \text{จาก } R &= V/I = 1.4/2.0 \times 10^{-3} \\ &= 700 \text{ โอห์ม} \quad \text{ตอบ} \end{aligned}$$

กิจกรรม 3.3

- 1) จากตัวอย่างที่ 3.3 ถ้าเพิ่มความต่างศักย์เป็น 2.0 โวลต์ จะมีกระแสไหลผ่านกี่แอมแปร์
- 2) ในการทดลองเกี่ยวกับกฎของโอห์ม สิ่งที่ต้องรักษาไว้ให้คงที่คือปริมาณใด

สภาพต้านทานไฟฟ้า

จากการที่ศึกษาความต้านทานของลวดตัวนำพบว่าเมื่ออุณหภูมิของตัวนำคงที่ ความต้านทานเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความยาวของลวด แต่เป็นสัดส่วนผกผันกับพื้นที่หน้าตัดของเส้นลวดนั้น

ให้ l แทนความยาวของลวดตัวนำมีหน่วยเป็นเมตร

a แทนพื้นที่หน้าตัดหรือพื้นที่ภาคตัดขวางของเส้นลวดในหน่วยตารางเมตร

R แทนความต้านทานในหน่วยโอห์ม

ได้ว่า $R \propto l$

$$\propto 1/a$$

ดังนั้น $R \propto l/a$

$R = \rho l/a$ เมื่อ ρ เป็นค่าคงที่ของการแปรผันและเรียกว่าสภาพต้านทาน (resistivity)

หรือ $\rho = Ra/l$

ρ จึงมีหน่วยเป็นโอห์ม-เมตร

สภาพต้านทานเป็นค่าคงที่สำหรับโลหะแต่ละชนิด ตัวอย่างค่าสภาพต้านทานของสารบางชนิดแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สภาพต้านทานของสารบางชนิดที่ 20°C

ประเภท	ชนิดของสาร	สภาพต้านทาน($\Omega\cdot\text{m}$)
ตัวนำ	เงิน	1.6×10^{-8}
	ทองแดง	1.7×10^{-8}
	อะลูมิเนียม	2.6×10^{-8}
	แมงกานีน	4.4×10^{-7}
	พลาสติก	1.1×10^{-7}
สารกึ่งตัวนำ	กราไฟต์	10^{-5}
	เซมิคอนดักเตอร์	5×10^{-1}
	คาร์บอน	3.5×10^{-5}
ฉนวน	แก้ว	$10^{10} - 10^{14}$
	ไม้ก้ำ	$10^{11} - 10^{15}$
	พลาสติกพีวีซี	$10^{14} - 10^{18}$

จากตารางที่ 3.3 สภาพต้านทานของเงินเท่ากับ $1.6 \times 10^{-8} \Omega\text{-m}$ มีความหมายว่าสำหรับ ลวดโลหะเงินที่มีความยาว 1 m และมีพื้นที่หน้าตัด 1 ตารางเมตร มีความต้านทาน $1.6 \times 10^{-8} \Omega$ ส่วนลวดทองแดงที่มีขนาดเท่ากันมีความต้านทานมากกว่าคือเท่ากับ $1.8 \times 10^{-8} \Omega$ ดังนั้นจากตาราง จึงทำให้ทราบว่าโลหะเงินมีค่าสภาพต้านทานน้อยที่สุด หรือนำไฟฟ้าได้ดีที่สุดนั่นเอง

ตัวอย่างที่ 3.4

เครื่องทำน้ำอุ่นต้องการกระแสไฟฟ้า 30 A จากแหล่งกำเนิดไฟฟ้า 120 V ที่ตั้งอยู่ห่างออกไปเป็นระยะทาง 10 เมตร จงหาพื้นที่หน้าตัดน้อยที่สุดของสายไฟที่จะให้ความต่างศักย์แก่เครื่องทำน้ำอุ่นไม่น้อยกว่า 115 V ถ้าสายไฟที่ใช้ทำด้วยทองแดง

วิธีทำ

ความต่างศักย์ที่ลดลงเนื่องจากความต้านทานของสายไฟ = 5 V

หาค่าความต้านทาน(R) ของสายไฟ

$$R = V/I = 5/30 = 0.167 \text{ A}$$

ความยาวของสายไฟฟ้าทั้งหมดในระหว่าง 10 เมตร คือ $2 \times 10 = 20 \text{ m}$

$$a = \rho I R = (1.7 \times 10^{-8})(20)/0.167 = 2.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$a = 2.0 \text{ mm}^2 \quad \text{ตอบ}$$

กิจกรรม 3.4

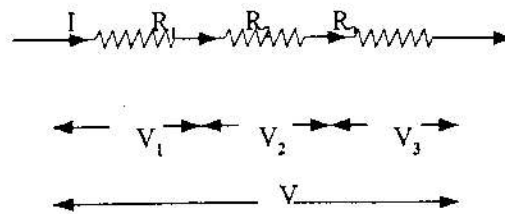
- 1) ลวดทองแดงมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.4 mm ยาว 20 เมตร มีความต้านทานเท่าใด
- 2) ถ้าต้องการให้ลวดในข้อ 1) มีความต้านทาน 1 โอห์ม ต้องใช้ลวดยาวเท่าใด

การต่อความต้านทาน

เมื่อนำความต้านทานมาต่อกันความต้านทานรวมจะมีค่าเปลี่ยนไปจากเดิม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการต่อ วิธีหลักของการต่อความต้านทานมี 2 วิธีคือ การต่อความต้านทานแบบอนุกรม และการต่อความต้านทานแบบขนาน ซึ่งแต่ละแบบมีลักษณะดังนี้

1. การต่อความต้านทานแบบอนุกรม

สมมติว่านำความต้านทาน 3 ตัว มาคือ R_1 , R_2 และ R_3 มาต่อกันแบบอนุกรมลักษณะการต่อเป็นดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การต่อความต้านทานแบบอนุกรม

1) กระแสไฟฟ้า การต่อความต้านทานแบบอนุกรมกระแสไฟฟ้าที่ผ่านความต้านทานแต่ละตัวมีค่าเท่ากัน คือเท่ากับกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจร (I)

$$\text{หรือ } I_1 = I_2 = I_3 = I$$

2) ความต่างศักย์ไฟฟ้ารวม (V) เท่ากับผลรวมของความต่างศักย์ของความต้านทานแต่ละตัว คือ

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

3) จากกฎของโอห์ม $V = IR$

$$IR = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

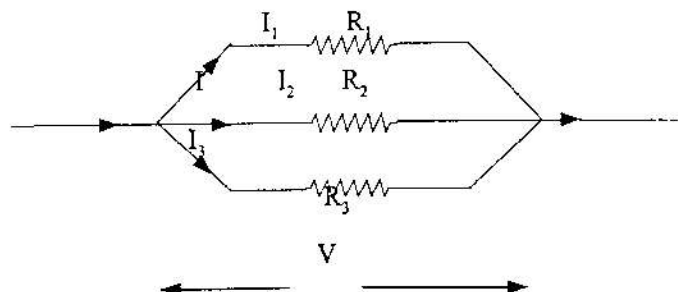
$$\text{จึงได้ } R = R_1 + R_2 + R_3$$

ถ้ามีความต้านทาน n ตัวมาต่อกันแบบอนุกรม ความต้านทานรวม (R) หาได้จาก

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

2. การต่อความต้านทานแบบขนาน

สมมุติว่านำความต้านทาน 3 ตัว มาคือ R_1 , R_2 และ R_3 มาต่อกันแบบขนานลักษณะการต่อเป็นดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การต่อความต้านทานแบบขนาน

1) กระแสไฟฟ้า ในการต่อความต้านทานแบบขนานกระแสไฟฟ้ารวมเท่ากับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านความต้านทานแต่ละตัวรวมกัน คือ

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

2) ความต่างศักย์ไฟฟ้า ในการต่อความต้านทานแบบขนานความต่างศักย์ไฟฟ้าของตัวต้านทานแต่ละตัวเท่ากับความต่างศักย์รวม คือ

$$V = V_1 = V_2 = V_3$$

3) จากกฎของโอห์ม $I = V/R$

$$V/R = V/R_1 + V/R_2 + V/R_3$$

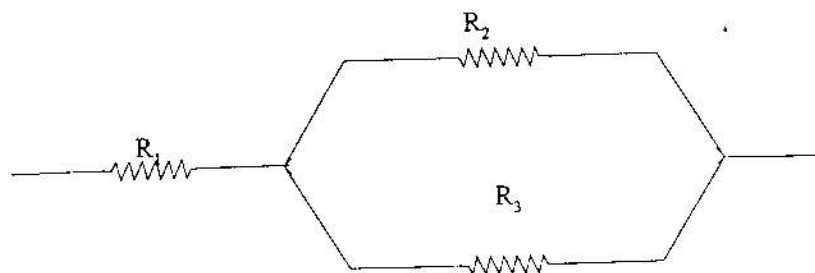
$$1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$$

ถ้ามีความต้านทานจำนวน n ตัวมาต่อขนานกันความต้านทานรวม (R) หาได้จาก

$$1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots + 1/R_n$$

3. การต่อความต้านทานแบบผสม เป็นการนำความต้านทานหลายๆ ตัวมาต่อกันทั้งแบบอนุกรม และแบบขนานในวงจรเดียวกัน การหาความต้านทานรวมสำหรับการต่อแบบนี้ ใช้หลักการของการต่อความต้านทานแบบอนุกรมและแบบขนานที่กล่าวมาแล้ว กล่าวคือ วงจรช่วงใดที่เป็นการต่อแบบอนุกรมก็ใช้หลักการต่อแบบอนุกรม และวงจรช่วงใดที่เป็นการต่อแบบขนานก็นำหลักการต่อแบบขนานมาใช้ เช่น ความต้านทาน

R_1 , R_2 และ R_3 นำมาต่อกันแบบผสมลักษณะการต่ออาจเป็นดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 การต่อความต้านทานแบบผสม

วิธีการหาความต้านทานรวม

1) R_2 และ R_3 ต่อกันแบบขนาน

2) นำความต้านทานรวมที่ได้จาก 1) มาต่ออนุกรมกับความต้านทาน R_1

ตัวอย่างที่ 3.5

นำตัวต้านทาน $5.0 \, \Omega$ และ $20.0 \, \Omega$ มาต่อกันแบบอนุกรมแล้วต่อเข้ากับความต่างศักย์ไฟฟ้า 100 โวลต์ จงหา

ก) ความต้านทานรวม

ข) กระแสที่ไหลผ่านความต้านทาน

ค) ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่คร่อมความต้านทานแต่ละตัว

วิธีทำ

ก) ความต้านทานรวม

$$R = R_1 + R_2 = 5 + 20 = 25 \, \Omega \quad \text{ตอบ}$$

ข) กระแสที่ผ่านความต้านทาน

$$I = V/R = 100/25 = 4 \, \text{A} \quad \text{ตอบ}$$

ค) ความต่างศักย์ที่คร่อม R_1 และ R_2

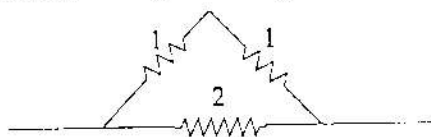
$$V_1 = IR_1 = 4 \times 5 = 20 \, \text{V} \quad \text{ตอบ}$$

$$V_2 = IR_2 = 4 \times 20 = 80 \, \text{V} \quad \text{ตอบ}$$

กิจกรรม 3.5

จงหาความต้านทานระหว่างจุด AB ของรูปต่อไปนี้

ก)



ข)

