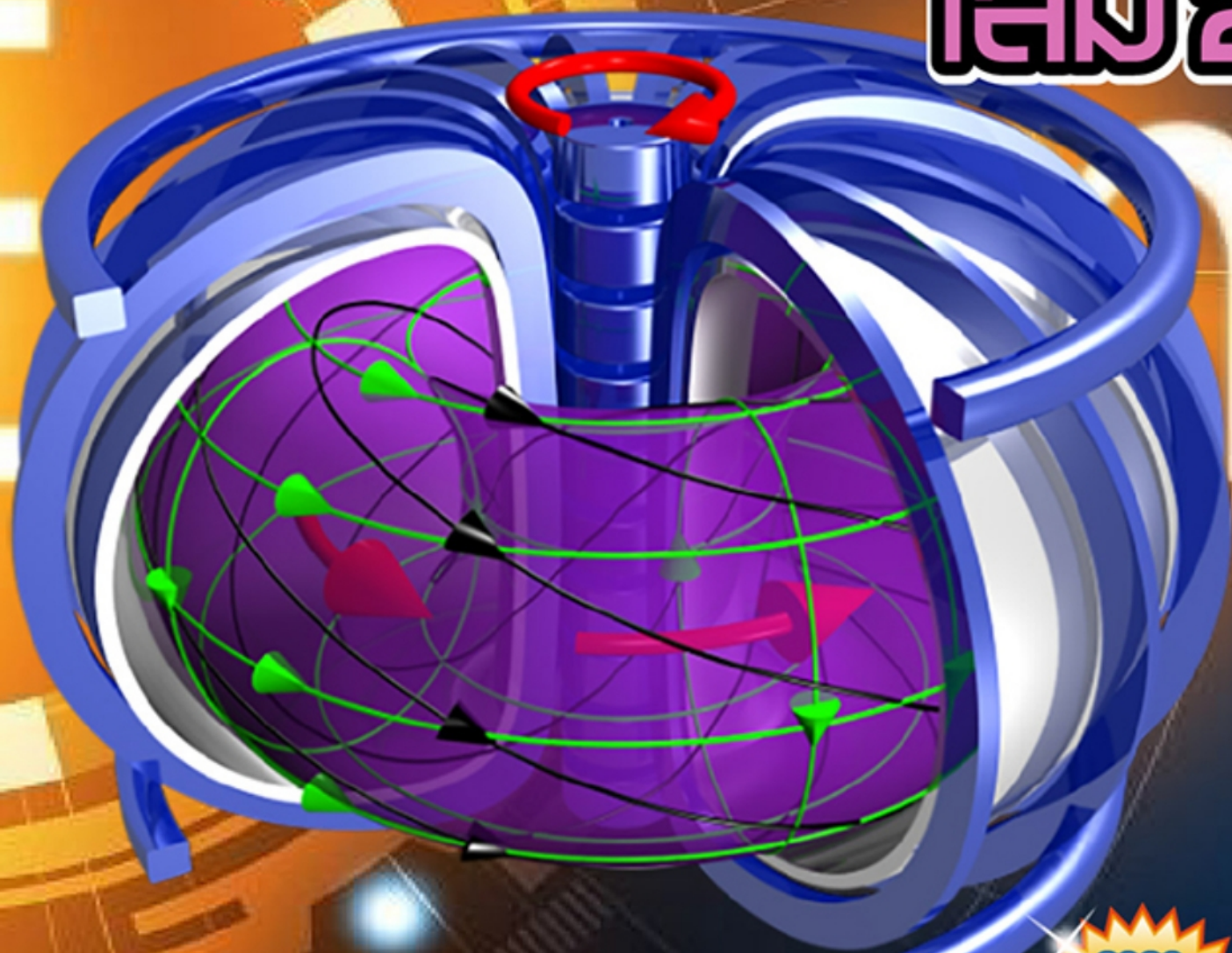




ฟิสิกส์ ๒

ระดับมหาวิทยาลัย

เล่ม ๒

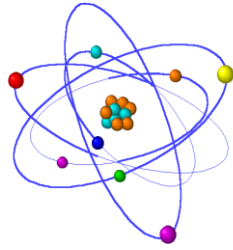


แนะนำ
ผู้เขียนและผู้จัดทำ
ขอพ. พศ. สุชาติ สุภาพ
ในฉบับนี้ สามารถ หาร TIKTok
และ Line QR Code ได้

SHOPEE LAZADA

ราคา
199
บาท

เรียบเรียงโดย : ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุชาติ สุภาพ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



ฟิสิกส์ ๒

ระดับมหาวิทยาลัย เล่ม ๒

ผศ.สุชาติ สุภาพ

พิมพ์และจำหน่ายโดย

สุชาติ สุภาพ

133/471 หมู่ ๒ (ติดกับ สนง. ที่ดินบางบัวทอง) ต.พิมลราช อ.บางบัวทอง
จ.นนทบุรี 11110

E-mail suchart11111@hotmail.com

พิมพ์ที่ หจก.สปส 1999 ม.เพชรอนันต์ เขตคันนายาว กรุงเทพฯ ๑ 10230

คำนำ

ฟิสิกส์เป็นศาสตร์ที่วัดด้วยการอธิบายธรรมชาติอย่างเป็นระบบ โดยใช้หลักเหตุผลและคณิตศาสตร์เป็นเครื่องมือในการทำความเข้าใจปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นรอบตัวเรา ในระดับอุดมศึกษา การเรียนรู้ฟิสิกส์ได้เข้าสู่เนื้อหาที่ลึกซึ้งและครอบคลุมมากขึ้น โดยเฉพาะในประเด็นที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้าและแม่เหล็ก ซึ่งไม่เพียงเป็นหัวใจสำคัญของเทคโนโลยีในโลกยุคใหม่ หากยังเป็นพื้นฐานในการพัฒนาเครื่องใช้ไฟฟ้า และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ไปจนถึงระบบสื่อสารสมัยใหม่ ในหนังสือฟิสิกส์ ๒ เล่มนี้ประกอบด้วย ๕ บทเรียน คือ บทที่ ๕ กระแสไฟฟ้าและความต้านทานไฟฟ้า บทที่ ๖ วงจรไฟฟ้ากระแสตรง บทที่ ๗ สนามแม่เหล็ก บทที่ ๘ แหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็ก บทที่ ๑ กฎของฟาราเดย์ ซึ่งล้วนมีบทบาทสำคัญทั้งในทางทฤษฎีและการประยุกต์ใช้งาน โดยหวังว่าเนื้อหาในบทเรียนนี้ไป จะช่วยเสริมสร้างความเข้าใจอย่างลึกซึ้ง และเป็นรากฐานที่มั่นคงในการศึกษาฟิสิกส์ระดับสูงต่อไป

หรือถ้านักศึกษาสนใจหนังสือในรูปแบบ E-BOOK ก็มีจำหน่ายที่เว็บไซต์ ร้านนายอินทร์ , MEB , อุกปี, ซีเอ็ด , hyltexts และศูนย์หนังสือจุฬาฯ

สำหรับท่านที่สนใจหนังสือของกระผมแต่หาซื้อตามร้านหนังสือทั่วไปไม่ได้ สามารถซื้อออนไลน์ที่แอปต่าง ๆ โดยสแกน QR โค้ดข้างล่างนี้
(ที่ช้อปปีมีหนังสือมากที่สุด)



สุชาติ สุภาพ

มือถือ ๐๘๓-๐๒๐-๓๘๒๕

สารบัญ

	หน้า
บทที่ ๕ กระแสไฟฟ้าและความต้านทานไฟฟ้า	5
5.1 กระแสไฟฟ้า	5
5.2 ความต้านทานไฟฟ้าและกฎของโอห์ม	11
5.3 สภาพต้านทาน และอุณหภูมิ	17
5.4 ตัวนำขดขึง	22
5.5 แบบจำลองการนำไฟฟ้าในโลหะตัวนำ	24
5.6 พลังงานและกำลังไฟฟ้า	27
บทที่ 6 วงจรไฟฟ้ากระแสตรง	31
6.1 แรงเคลื่อนไฟฟ้า	31
6.2 การต่อตัวต้านทานไฟฟ้าแบบอนุกรมและแบบขนาน	33
6.3 กฎของเคอร์ชอฟฟ์	38
6.4 วงจร RC	46
6.5 เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า	59
บทที่ 7 สนามแม่เหล็ก	61
7.1 ความเป็นแม่เหล็กของสาร เกิดขึ้นได้อย่างไร	61
7.2 สนามแม่เหล็กโลก	62
7.3 แรงแม่เหล็ก ที่กระทำต่อประจุไฟฟ้า	63
7.4 การเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า ในสนามแม่เหล็ก	72
7.5 แรงแม่เหล็กบนตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้า	81
7.6 แรงบิดที่กระทำต่อลูปกระแสที่อยู๋ในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ	89
7.7 การเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า ในสนามแม่เหล็ก	95
7.8 ปฏิกิริยาการแผ่รังสี	102

สารบัญ

	หน้า
บทที่ ๘ แหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็ก	106
8.1 กฎของบีโอดี - ซาวาร์ต	108
8.2 แรงแม่เหล็กระหว่างลวดตัวนำสองเส้นขนานกัน	126
8.3 กฎของแอมแปร์	134
8.4 สนามแม่เหล็กของลวดลวดโซลินอยด์	141
8.5 ฟลักซ์แม่เหล็ก	143
8.6 กฎของเกาส์สำหรับสนามแม่เหล็ก	151
บทที่ 9 กฎของฟาราเดย์	158
9.1 กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์	159
9.2 กฎของเลนซ์	160
9.3 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของตัวนำในสนามแม่เหล็ก	174
9.4 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ และสนามไฟฟ้า	184
9.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	186
9.6 กระแสไหลวน	189

%%%%%%%%%

บทที่ ๕

กระแสไฟฟ้าและความต้านทานไฟฟ้า

ในชีวิตประจำวันของเรา พลังงานไฟฟ้าเป็นสิ่งที่ขาดไม่ได้ ตั้งแต่การเปิดไฟในห้องนอน การชาร์จโทรศัพท์ ไปจนถึงการขับเคลื่อนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และระบบอัตโนมัติต่าง ๆ และเบื้องหลังความสะดวกสบายเหล่านี้ก็คือ “กระแสไฟฟ้า” และ “ความต้านทานไฟฟ้า” ถึงแม้ว่าเราจะมองไม่เห็นกระแสไฟฟ้าแต่กระแสไฟฟ้าก็มีพฤติกรรมที่สามารถวิเคราะห์และพยากรณ์ได้อย่างเป็นระบบด้วยกฎเกณฑ์ทางไฟฟ้า เช่น กฎของโอห์ม นอกจากนี้ เรายังสามารถเข้าใจได้ว่า ปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลต่อความต้านทาน เช่น ชนิดของวัสดุ ความยาว พื้นที่หน้าตัด และอุณหภูมิ การศึกษาเรื่องกระแสไฟฟ้าและความต้านทานไฟฟ้า จึงเป็นจุดเริ่มต้นสำคัญในการทำความเข้าใจวงจรไฟฟ้าทั้งอย่างง่ายและซับซ้อน ซึ่งมีบทบาทโดยตรงต่อการออกแบบระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ในวันนี้จะนำผู้อ่านไปสู่พื้นฐานของการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า เข้าใจพฤติกรรมของกระแสที่ไหลในตัวนำ และเตรียมความพร้อมสำหรับการเรียนรู้เนื้อหาที่ลึกซึ้งยิ่งขึ้นเกี่ยวกับวงจรและสนามแม่เหล็กในบทถัดไป

๕.1 กระแสไฟฟ้า

เมื่อเรากดสวิตช์เปิดไฟ หลอดไฟสว่างขึ้นทันที หรือเมื่อเสียบที่ชาร์จ โทรศัพท์มือถือก็เริ่มชาร์จไฟทันที ปรากฏการณ์เหล่านี้ล้วนเกิดจากสิ่งหนึ่งที่มีมองไม่เห็นแต่ทรงพลัง นั่นคือ กระแสไฟฟ้า ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญของเทคโนโลยีและอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ **กระแสไฟฟ้า หมายถึง การไหลของประจุไฟฟ้า โดยส่วนใหญ่แล้วเป็นการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนผ่านตัวนำ** การไหลของประจุนี้จำเป็นต้องมีแรงผลักดัน ซึ่งได้มาจากความต่างศักย์ไฟฟ้า หรือที่เราเรียกกันทั่วไปว่า “แรงดันไฟฟ้า” การทำความเข้าใจว่าอะไรทำให้กระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นและมีคุณสมบัติอย่างไร ถือเป็นก้าวแรกของการเรียนรู้เกี่ยวกับระบบไฟฟ้า โดยจะนำไปสู่ความเข้าใจในเรื่องของความต้านทานไฟฟ้า วงจรไฟฟ้า และการควบคุมพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบต่าง ๆ ในหัวข้อนี้ ผู้อ่านจะได้เรียนรู้ถึงที่มาของกระแสไฟฟ้า หน่วยที่ใช้วัดทิศทางของการไหลและความสัมพันธ์กับประจุไฟฟ้าและเวลา ซึ่งเป็นรากฐานของการศึกษาวิชาฟิสิกส์ในหมวดไฟฟ้าและแม่เหล็กทั้งหมด



รูป ๕.๑ ปริมาณของประจุไฟฟ้าที่ผ่านพื้นที่หน้าตัด A

เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน (ในตัวนำไฟฟ้า) หรือเกิดจากการเคลื่อนที่ของไอออน (ในสารละลาย) จากบริเวณหนึ่งไปยังอีกบริเวณหนึ่ง ปริมาณของกระแสไฟฟ้าขึ้นอยู่กับจำนวนประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ผ่านจุดหนึ่งในหนึ่งวินาที หรือเขียนในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ได้ว่า

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

I = Current
Q = Total charge
t = time taken

(๕ -1)

จากสมการ (๕-1) กระแสไฟฟ้าจะมีหน่วยเป็น คูลอมบ์/วินาที หรือแอมแปร์

ประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดของตัวนำ อาจเป็นประจุบวก / ลบ หรือทั้งสองอย่างก็ได้ เช่นประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ในสารละลายมีทั้งประจุบวกและลบ ทิศการไหลของกระแสไฟฟ้ากำหนดตามทิศการเคลื่อนที่ของประจุบวก สำหรับประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ในเส้นลวดตัวนำคืออิเล็กตรอนอิสระ ดังนั้นทิศการไหลของกระแสไฟฟ้าในเส้นลวดตัวนำจึงตรงข้ามกับการไหลของกระแสอิเล็กตรอน กระแสไฟฟ้ามีหน่วยเป็นคูลอมบ์ต่อวินาที หรือแอมแปร์

ถ้าเราพิจารณาในระดับจุลภาค สมการ (๕-1) สามารถเปลี่ยนรูปได้เป็น

$$I = nAve$$

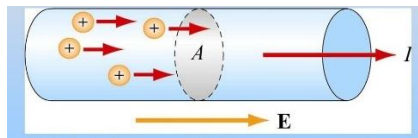
(๕-๒)

เมื่อ n คือจำนวนอิเล็กตรอนอิสระใน 1 ลูกบาศก์เมตร

A คือพื้นที่หน้าตัดของเส้นลวดตัวนำ

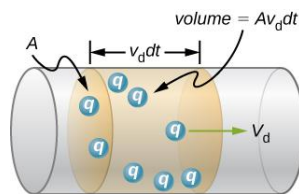
v คือความเร็วเฉลี่ยของอิเล็กตรอนอิสระ

e คือประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน



รูป ๕.๒ ทิศของกระแสไฟฟ้า กำหนดตามทิศการเคลื่อนที่ของประจุบวก หรือมีตรงข้ามกับทิศการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน

ดูที่มาของสมการ ๕-๒ ได้ดังนี้



รูป ๕.๓ ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ในตัวนำ

พิจารณาเส้นลวดที่ยาว Δx

กำหนดให้ เส้นลวดตัวนำมีอิเล็กตรอนอิสระ n ตัวต่อลูกบาศก์เมตร

อิเล็กตรอนอิสระทุกตัวมีความเร็วเฉลี่ยเลื่อน v_d

ในเวลา Δt อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้ระยะทาง $\Delta x = v_d \Delta t$

พิจารณาเส้นลวดที่ยาว Δx มีปริมาตร

$$= \text{พื้นที่ฐาน} \times \text{สูง}$$

$$= A \times v_d \Delta t$$

$$= Av_d \Delta t$$

เส้นลวดที่ยาว Δx มีอิเล็กตรอนจำนวน

$$= nAv_d \Delta t$$

ดังนั้นเส้นลวดที่ยาว Δx มีประจุไฟฟ้า

$$\Delta Q = qnAv_d \Delta t$$

(๕-๓)

แทนสมการ (๕-๓) ในสมการ (๕-1) ได้

$$I = qnAv_d$$

เนื่องจากประจุไฟฟ้าในเส้นลวดตัวนำ คืออิเล็กตรอน ดังนั้นจะเปลี่ยน q เป็น e และจัดสมการใหม่ได้

$$I = nAve$$

(๕-๔)

สมการ (๕-๔) เป็นสมการที่เปลี่ยนรูปมาจาก (๕-๑) เพื่อให้จำสมการ (๕-๔) ได้ง่ายขึ้น อาจจำว่า ไอ เท่ากับ วินา เมื่อ n คือจำนวนอิเล็กตรอนต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร A คือพื้นที่หน้าตัดของสายไฟฟ้า v คือความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอน e คือประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน

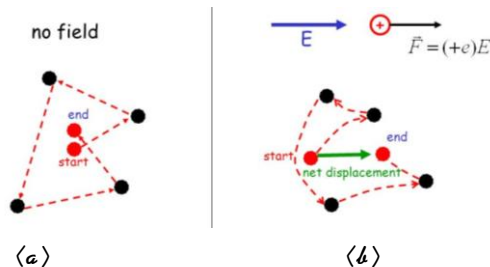
Current $I = Anvq$
 Cross-sectional Area A
 number of electrons per m^3 n
 Electron Charge q
 Drift Velocity v

ความหมายของสัญลักษณ์ต่าง ๆ

ความเร็วลอยเลื่อน (drift velocity)

ความเร็วลอยเลื่อน คือความเร็วเฉลี่ยของอิเล็กตรอนอิสระที่เคลื่อนที่ในเนื้อของตัวนำในทิศที่ตรงข้ามกับสนามไฟฟ้า

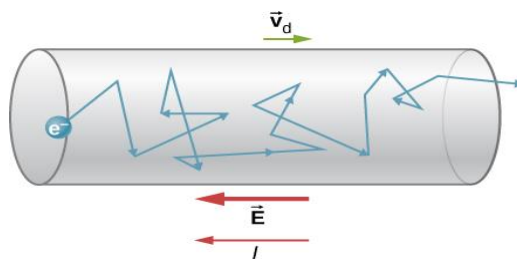
หลายคนยังพอจำได้เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของแก๊ส ว่าโมเลกุลของแก๊สมีการเคลื่อนที่แบบวอกไปวนมา หรือที่เรียกกันว่าการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน อิเล็กตรอนอิสระที่เคลื่อนที่ในเนื้อของตัวนำไฟฟ้าก็มีการเคลื่อนที่แบบวอกไปวนมาเช่นเดียวกัน ดังรูป ๕.๔



รูป ๕.๔ การเคลื่อนที่แบบวอกไปวนมาของอิเล็กตรอนอิสระในเนื้อของตัวนำ

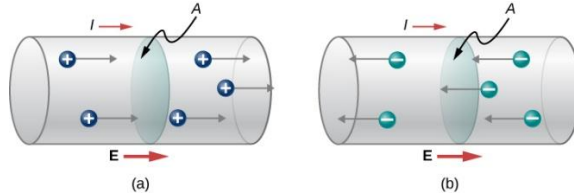
(๐) เมื่อไม่มีสนามไฟฟ้าในเนื้อโลหะ (๔) เมื่อมีสนามไฟฟ้าในเนื้อโลหะ

จากรูป ๕.๕ จะเห็นว่า การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ จะมีการเปลี่ยนทิศทางการข่งทันทันทีบ่อยมาก การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้เกิดจากการที่อิเล็กตรอนอิสระชนเข้ากับอะตอมของตัวนำ หรือเกิดการชนกันเอง



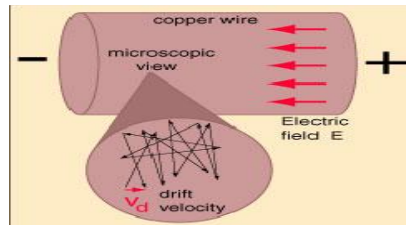
รูป ๕.๕ ลักษณะของการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน

ที่เรียกว่าความเร็วลอยเลื่อนเนื่องจากอิเล็กตรอนอิสระในโลหะตัวนำจะเคลื่อนที่วุ่นวายไปวนมา เนื่องจากเกิดการชนกับนิวเคลียส และความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนอิสระในโลหะตัวนำก็ไม่ได้มีค่ามากเหมือนกับที่หลายคนคิด คือมีความเร็วประมาณ 10^{-4} เมตร/วินาที (0.1 มิลลิเมตร/วินาที) ในขณะที่อัตราเร็วของอิเล็กตรอนขณะชนกับอะตอมหรือชนกันเองมีความเร็วประมาณ 10^6 เมตร/วินาที



ทิศของกระแสไฟฟ้ากำหนดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของประจุบวก

ตัวอย่าง ๕.1 ลวดทองแดงมีพื้นที่หน้าตัด 3.31×10^{-6} ตารางเมตร มีกระแสไหลผ่าน 10 แอมแปร์ จงหาความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนในลวดทองแดงนี้



กำหนดให้ ทองแดงมีความหนาแน่นเท่ากับ 8.95 กรัมต่อหนึ่งลูกบาศก์เซนติเมตร
ทองแดง 1 อะตอม มีอิเล็กตรอนอิสระ 1 ตัว

วิธีทำ จาก
$$I = venA \quad (1)$$

ข้อมูลสำคัญที่โจทย์ไม่ได้บอกมาคือ n จึงต้องหาข้อมูลเพิ่มเติมจากตารางธาตุ ที่บอกว่า มวลอะตอมของทองแดงเท่ากับ 63.5 กรัม/โมล ซึ่งแสดงว่า

ทองแดงมวล 63.5 กรัม มี 6.02×10^{23} อะตอม

หรือทองแดง 7 ลูกบาศก์เซนติเมตรมี 6.02×10^{23} อะตอม

ดังนั้นทองแดง 10^6 ลูกบาศก์เซนติเมตรมี $\frac{6.02 \times 10^{23} \times 10^6}{7} = 8 \times 10^{28}$ อะตอม

แทนค่าต่างๆในสมการ (1) ได้
$$10A = v(1.6 \times 10^{-19} C)(8 \times 10^{28} \text{ atom})(3.31 \times 10^{-6} \text{ m}^2)$$

ความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอน
$$v = 2 \times 10^{-4} \text{ m/s} \quad \text{ตอบ}$$

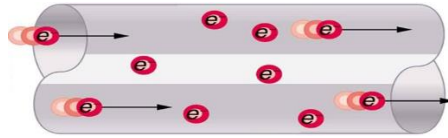
ตัวอย่าง ลวดทองแดงยาว l รัศมี r ต่อเข้ากับความต่างศักย์ไฟฟ้า V ถ้ารัศมีเพิ่มเป็น 2r ความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนมีค่าเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร

วิธีทำ จาก
$$I = venA$$

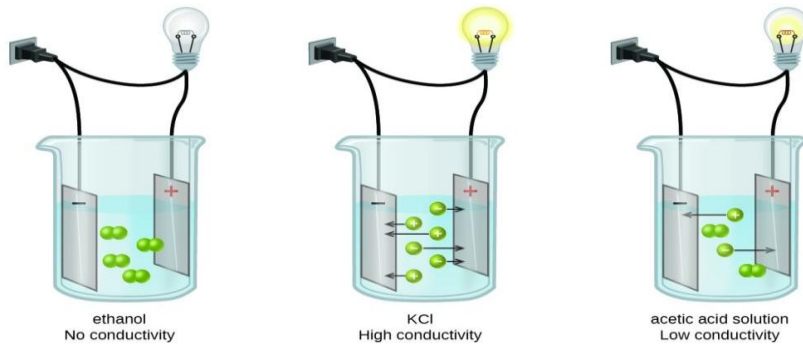
$$v = \frac{I}{enA} = \frac{I}{en\pi r^2}$$

ความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนมีค่าลดลง ตอบ

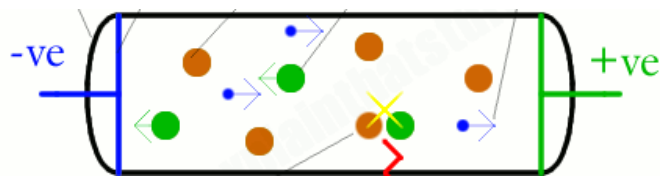
ข้อควรจำเกี่ยวกับกระแสไฟฟ้า



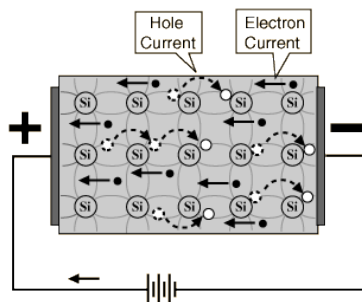
กระแสไฟฟ้าในตัวนำ เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน



กระแสไฟฟ้าในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เกิดจากการเคลื่อนที่ของไอออนบวกและอิเล็กตรอน

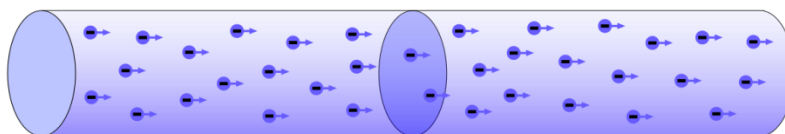


กระแสไฟฟ้าในหลอดบรรจุแก๊ส เกิดจากการเคลื่อนที่ของไอออนบวกและอิเล็กตรอน



กระแสไฟฟ้าในสารกึ่งตัวนำ เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮล

Coulomb / sec



กระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ มีประจุเคลื่อนที่ผ่าน 1 คูลอมบ์/วินาที หรืออิเล็กตรอน 6.25×10^{18} อนุภาค/วินาที