

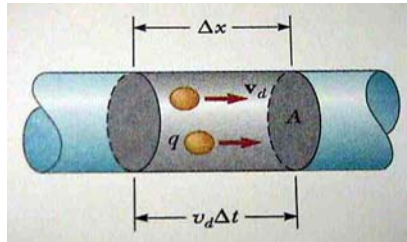
ในบทที่ 1-5 ได้ศึกษาถึง ไฟฟ้าสถิตซึ่งเกิดจากประจุในสภาวะที่ไม่เคลื่อนที่ ต่อไปจะได้ศึกษาถึงไฟฟ้ากระแสซึ่งเป็น ไฟฟ้าที่นำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในปัจจุบัน

### 6.1 กระแสไฟฟ้า

กระแสไฟฟ้าคือ อัตราการไหลของประจุผ่านพื้นที่หน้าตัดหนึ่ง

$$I_{av} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \tag{6-1}$$

$$I \equiv \frac{dQ}{dt} \tag{6-2}$$



ภาพที่ 6-1 ประจุเคลื่อนที่ผ่านลวดตัวนำพื้นที่หน้าตัด A

กำหนดให้ n คือจำนวนอิเล็กตรอนอิสระต่อปริมาตร จากภาพ จำนวนประจุที่ไหลผ่าน คือ

$$\Delta Q = nA\Delta x \cdot q = nA(v_d \Delta t)q \tag{6-3}$$

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = nqv_d A \tag{6-4}$$

โดยที่  $v_d$  คืออัตราเร็วลอยเลื่อน (Drift Velocity) เป็นอัตราเร็วที่เกิดจากสนามไฟฟ้า ต่างจากอัตราเร็วเนื่องจากพลังงานความร้อน

นิยาม ความหนาแน่นกระแส (Current Density) คือ กระแสต่อพื้นที่หน้าตัด

$$J \equiv \frac{I}{A} = nqv_d \tag{6-5}$$

**ตัวอย่างที่ 1 :** (Serway27.1) Drift Speed in a copper wire ลวดทองแดงมี พื้นที่หน้าตัด  $3.31 \times 10^{-6} \text{ m}^2$  ถ้ามีกระแสผ่าน 10A จงหาความเร็วของอิเล็กตรอน (ทองแดงมีความหนาแน่น  $8.95 \text{ g/cm}^3$ )

วิธีทำ : มวลอะตอมทองแดงมีค่า 63.5 ดังนั้นสามารถคำนวณปริมาตรของทองแดง 1 โมลได้

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{63.5}{8.95} = 7.09 \text{ cm}^3$$

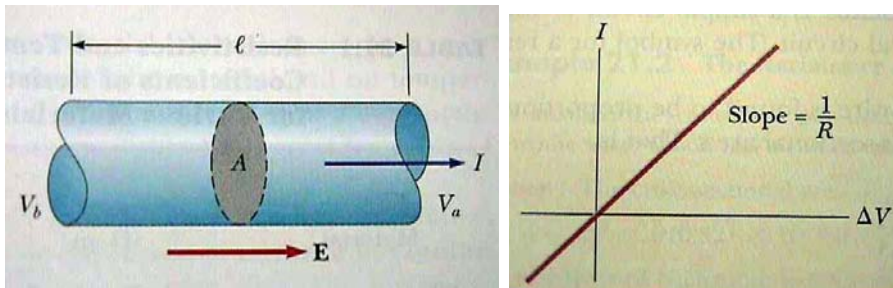
ความหนาแน่นประจุเป็น

$$n = \frac{N}{V} = \frac{6.02 \times 10^{23}}{7.09 \times 10^{-6}} = 8.49 \times 10^{28} \text{ electron/m}^3$$

$$I = nqv_d A \rightarrow v_d = \frac{I}{nqA}$$

$$v_d = \frac{10}{(8.49 \times 10^{28})(1.6 \times 10^{-19})(3.31 \times 10^{-6})} = 2.22 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

## 6.2 ความต้านทานและกฎของโอห์ม



ภาพที่ 6-2 การนำกระแสไฟฟ้าในลวด และกราฟกระแส-ความต่างศักย์ตามกฎของโอห์ม

เมื่อมีความต่างศักย์ตกคร่อมตัวนำ จะทำให้อิเล็กตรอนไหลด้วยความเร็วลอยเลื่อน เนื่องจากอิทธิพลของสนามไฟฟ้า จากการทดลอง เมื่อเพิ่มความต่างศักย์ที่ตกคร่อมลวดตัวนำ พบว่ากระแส จะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรง ซึ่งหมายความว่า กราฟเป็นเส้นตรงมีความชันที่คงที่ตลอดการทดลอง ส่วนกลับของความชันนี้เรียกว่า **ความต้านทานไฟฟ้า** ( $R$ ) ของตัวนำนั้น ความจริงเรื่องนี้ ทำให้โอห์ม (คศ. 1787-1854) ซึ่งเป็นผู้แรกที่ทำการทดลองเกี่ยวกับเรื่องความต้านทานอย่างเป็นระบบ ตั้งเป็น**กฎของโอห์ม**ขึ้น ดังนี้

$$\Delta V = IR \quad (6-6)$$

อย่างไรก็ตาม สำหรับสารที่ไม่ใช่โลหะ ตัวอย่างเช่น สารกึ่งตัวนำ กระแสไม่ได้แปรผันตรงตามความต่างศักย์

**สภาพต้านทานไฟฟ้า** ( $\rho$ ) เป็นปริมาณที่นิยามขึ้น โดยมีความสัมพันธ์ กับความต้านทาน ดังสมการ

$$R = \frac{\rho l}{A} \quad (6-7)$$

โดยที่  $l$  คือความยาว และ  $A$  คือพื้นที่หน้าตัด ของเส้นลวด สภาพต้านทานของวัสดุ มีหน่วยโอห์ม-เมตร

ส่วนกลับของสภาพต้านทานไฟฟ้า เรียกว่า **สภาพนำไฟฟ้า** ( $\sigma$ ) ซึ่งนิยามเป็น

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (6-8)$$

สภาพนำไฟฟ้าสัมพันธ์กับความหนาแน่นกระแส ตามสมการ

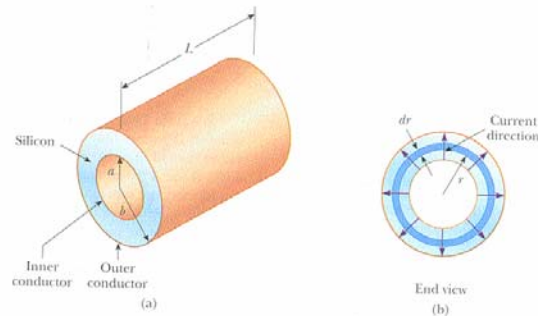
$$J = \sigma E \quad (6-9)$$

**ตัวอย่างที่ 2** : (Serway27.2) Resistance of a Conductor จงคำนวณความต้านทานของลวดอลูมิเนียมรูปทรงกระบอกยาว 10cm และพื้นที่หน้าตัด  $2 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

วิธีทำ :

$$R = \rho \frac{l}{A} = (2.82 \times 10^{-8}) \frac{0.1}{2 \times 10^{-4}} = 1.41 \times 10^{-5} \Omega$$

**ตัวอย่างที่ 3 :** (Serway27.4) Resistance of a Coaxial Cable จงคำนวณหาความต้านทานของซิลิกอนระหว่างตัวนำ ส่วนนอกและส่วนในของ coaxial cable ถ้าเคเบิลยาว  $L=15\text{cm}$  รัศมีของตัวนำส่วนในมีค่า  $a=0.5\text{ cm}$  ส่วนนอกมีค่า  $b=1.75\text{ cm}$



ภาพที่ 6-3 ภาพประกอบตัวอย่างที่ 3

วิธีทำ : แบ่งซิลิกอนเป็นชั้น ๆ หนา  $dr$  โดยแต่ละชั้นมีความต้านทาน  $dR$

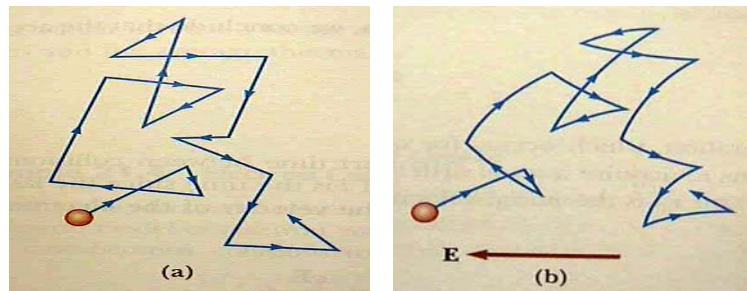
$$dR = \frac{\rho}{2\pi rL} dr$$

$$R = \int_a^b dR = \frac{\rho}{2\pi L} \int_a^b \frac{dr}{r} = \frac{\rho}{2\pi L} \ln\left(\frac{b}{a}\right) = \frac{640}{2\pi(0.15)} \ln\left(\frac{1.75}{0.50}\right) = 851\Omega$$

### 6.3 แบบจำลองการนำไฟฟ้า(Model for Electrical Conduction)

แบบจำลองคลาสสิกกล่าวว่าความต้านทานของวัสดุเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในสสารนั้น ๆ อิเล็กตรอนที่เป็นตัวนำพากระแสไฟฟ้า ไม่ได้เคลื่อนที่อย่างอิสระเสียทีเดียว แต่เกิดการชนที่ต้องเสียพลังงานไปกับการชนนั้น ๆ การชนกับการสั่นของโครงผลึก (Lattice Vibration) และ ความไม่สมบูรณ์ของโครงผลึก (Lattice Imperfection) เป็นเหตุผลหลักที่ทำให้เกิดความต้านทานในวัสดุ

อิเล็กตรอนมีการเคลื่อนที่แบบสุ่ม (Random Motion) เนื่องจากพลังงานความร้อน การเคลื่อนที่ลัพธ์ของอิเล็กตรอนจึงแทบไม่มี ไม่เกิดกระแสไฟฟ้า แต่เมื่อมีการให้ความต่างศักย์ อิเล็กตรอนเหล่านี้จะเริ่มมีทิศทางเคลื่อนที่แน่นอนชัดเจน นั่นคือไปตามทิศของสนามไฟฟ้า ทำให้มีอัตราเร็วลอยเลื่อน



ภาพที่ 6-4 แบบจำลองการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน (a) กรณีสนามไฟฟ้าเป็นศูนย์ (b) กรณีสนามไฟฟ้ามีทิศไปทางซ้าย

จากการทดลอง สภาพต้านทานของโลหะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ เนื่องจากอัตราการชน/การกระเจิง เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ บางช่วงมีความสัมพันธ์เชิงเส้น เขียนได้ตามสมการ

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha T) \quad (6-10)$$

โดยที่  $\rho$  คือ สภาพต้านทานที่  $T$  องศาเซลเซียส,  $\rho_0$  คือสภาพต้านทานที่  $0$  องศาเซลเซียส,  $\alpha$  คือ Temperature Coefficient

ความเร็วลอยเลื่อน สามารถเขียนได้ในรูป

$$v_d = \frac{qE}{m} \tau \quad (6-11)$$

โดยที่  $\tau$  คือ วิถีอิสระเฉลี่ย (Mean Free Path) หาได้จาก

$$\tau = \frac{\ell}{v} \quad (6-12)$$

โดยที่  $\ell$  คือ อัตราเร็วเฉลี่ยเชิงความร้อน และ  $v$  คือ เวลาเฉลี่ยระหว่างการชน

จากนิยามของ  $J$  และแทนค่า  $v_d$

$$J = nqv_d = \frac{nq^2E}{m} \tau \quad (6-13)$$

และจากความสัมพันธ์

$$J = \sigma E \quad (6-14)$$

สรุปได้ว่า

$$\sigma = \frac{nq^2\tau}{m} \quad (6-15)$$

สมการนี้ได้เชื่อมโยงปริมาณมหภาค (Macroscopic Quantities) ได้แก่  $\sigma$  เข้ากับปริมาณจุลภาค (Microscopic Quantities) ได้แก่  $\tau$  และสอดคล้องกับกฎของโอห์ม แต่ยังไม่ถูกต้องสมบูรณ์สอดคล้องกับการทดลองทุกอย่าง แบบจำลองที่ถูกต้องกว่านี้ต้องใช้ทฤษฎีควอนตัมมาช่วยในการคำนวณ

**ตัวอย่างที่ 4 :** (Serway27.5) Electron Collision in a wire จากข้อมูลในตัวอย่าง 1 และ 2 จงประมาณเวลาเฉลี่ย ระหว่างการชนของอิเล็กตรอนในลวดทองแดง และ ถ้าอัตราเร็วเฉลี่ยของอิเล็กตรอนเป็น  $1.6 \times 10^6$  m/s จงหาระยะทางอิสระที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ก่อนเกิดการชน

วิธีทำ :

$$\tau = \frac{m_e}{nq^2\rho} = \frac{9.11 \times 10^{-31}}{(8.49 \times 10^{28})(1.6 \times 10^{-19})^2(1.7 \times 10^{-8})} = 2.5 \times 10^{-14} \text{ s}$$

$$l = v\tau = (1.6 \times 10^6)(2.5 \times 10^{-14}) = 4 \times 10^{-8} \text{ m}$$

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	ตารางธาตุไทย1) 2 (Eng)
พจนานุกรมฟิสิกส์	ลับสมองกับปัญหาฟิสิกส์
ธรรมชาติมหัศจรรย์	สูตรพื้นฐานฟิสิกส์
การทดลองมหัศจรรย์	ดาราศาสตร์ราชมงคล
แบบฝึกหัดกลาง	
แบบฝึกหัดโลหะวิทยา	แบบทดสอบ
ความรู้รอบตัวทั่วไป	อะไรเอ่ย ?
ทดสอบ)เกมเศรษฐี(	คติปริศนา
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	

