

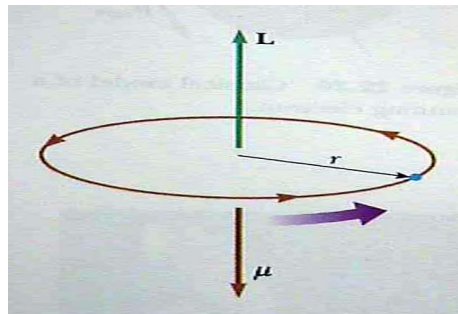
ปัจจุบัน มนุษย์ใช้ประโยชน์แม่เหล็กในการยกของ ติดของ มอเตอร์ ไดนาโม หม้อแปลง ลำโพง ที่วี สวิทช์รีเลย์ บันทึกข้อมูล เซนเซอร์และทรานส์ดิวเซอร์ ในบทยี่เป็นการทำความเข้าใจว่า เหตุใดวัสดุบางชนิดจึงแสดงสมบัติเป็นแม่เหล็ก นอกจากนี้ยังทำความรู้จักกับสารที่มีคุณสมบัติน่าสนใจอีกพวกหนึ่ง คือ สารนำไฟฟ้ายิ่งยวด

14.1 ความเป็นแม่เหล็กในสาร (Magnetism)

ความเป็นแม่เหล็กของวัสดุ เริ่มมาจากระดับพื้นฐาน คือการเกิดโมเมนต์แม่เหล็ก เนื่องจากออร์บิทัล และ สปินของอิเล็กตรอน

14.1.1 โมเมนต์แม่เหล็กเนื่องจากออร์บิทัล

การที่กระแสไหลในขดลวดตัวนำก่อให้เกิดสนามแม่เหล็ก เป็นแบบจำลองที่ดีของการทำความเข้าใจว่ามีอะไรเกิดขึ้นในอะตอมและโมเลกุลของสารบางอย่างที่ทำให้มีสมบัติแม่เหล็กแตกต่างกัน



ภาพที่ 14-1 อิเล็กตรอนโคจรรอบนิวเคลียสทำให้เกิดโมเมนต์แม่เหล็ก

การศึกษาเริ่มต้นด้วยแบบจำลองอะตอมง่าย ๆ ที่ประกอบด้วยอิเล็กตรอนโคจรรอบ (Orbital Motion) นิวเคลียส ด้วยรัศมี r ซึ่งสามารถคำนวณกระแส (I) ได้ดังนี้

$$I = \frac{e}{T} = \frac{e}{2\pi r / v} = \frac{ev}{2\pi r} \tag{14-1}$$

ขนาดของโมเมนต์แม่เหล็ก (μ) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\mu = IA = \left(\frac{ev}{2\pi r} \right) \pi r^2 = \frac{1}{2} evr \tag{14-2}$$

และจากนิยามโมเมนต์เชิงมุมของการเคลื่อนที่เป็นวงกลม

$$L = mvr$$

$$\mu = \left(\frac{e}{2m} \right) L \tag{14-3}$$

นั่นคือโมเมนต์แม่เหล็กของอะตอมแปรผันตรงกับโมเมนต์เชิงมุมของอิเล็กตรอน

เนื่องจากสารทุกชนิดประกอบด้วยอิเล็กตรอนที่ทำให้เกิดโมเมนต์แม่เหล็ก แต่ทำไมสารส่วนใหญ่ไม่แสดงความเป็นแม่เหล็กให้สังเกตได้เหมือนแท่งแม่เหล็กถาวร? เหตุผลก็คือโมเมนต์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะถูกหักล้างกับโมเมนต์แม่เหล็กของอิเล็กตรอนตัวอื่น ทำให้สารส่วนใหญ่มีโมเมนต์แม่เหล็กรวมมีค่า 0

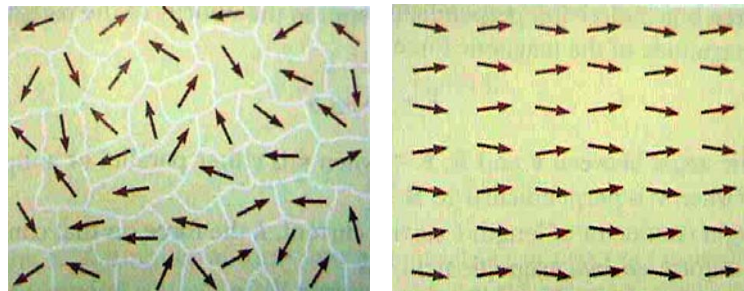
14.1.2 โมเมนต์แม่เหล็กเนื่องจากสปิน

นอกจากออร์บิทัลแล้วอิเล็กตรอนยังมีสปิน (Spin) ที่ทำให้เกิดโมเมนต์แม่เหล็ก สปินเป็นสมบัติทางควอนตัมของอนุภาคเปรียบเทียบง่าย ๆ กับการหมุนรอบตัวเอง สปินของอิเล็กตรอนมี 2 ชนิด คือ อัป และ ดาวน์ โมเมนต์แม่เหล็กที่เกิดจากสปินในบางสารจะหักล้างกันหมด (โดยเฉพาะที่มีจำนวนอิเล็กตรอนเป็นเลขคู่ ที่มีสปินอัปและดาวน์เท่ากัน) สปินของโปรตรอนและนิวตรอน ก่อให้เกิดโมเมนต์แม่เหล็กเช่นกันแต่น้อยมากเมื่อเทียบกับอิเล็กตรอน เนื่องจากอนุภาคทั้งสองนี้ต่างมีมวลมากกว่าอิเล็กตรอน

14.1.3 ประเภทของความเป็นแม่เหล็ก

ความเป็นแม่เหล็กแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ Diamagnetism, Paramagnetism, Ferromagnetism

- **Diamagnetism** คือความเป็นแม่เหล็กที่อ่อนที่สุด เกิดในอะตอมที่มีโมเมนต์ลัพท์เป็นศูนย์ เมื่อมีสนามแม่เหล็กภายนอกมากกระทำสารจะแสดงความเป็นแม่เหล็กอย่างอ่อน ๆ ในทิศต่อต้าน สนามแม่เหล็กภายนอกนั้น ตามกฎของเลนซ์
- **Paramagnetism** อะตอมของสารพาราแมกเนติกส์มีโมเมนต์แม่เหล็กลัพท์ไม่เป็นศูนย์แต่พลังงานความร้อนจะทำให้ โมเมนต์แม่เหล็กลัพท์ของแต่ละอะตอมชี้แบบสุ่ม ทำให้ความเป็นแม่เหล็กของสารทั้งก้อนเป็นศูนย์ ในกรณีที่มีสนามแม่เหล็กภายนอกมากกระทำเท่านั้น ที่ โมเมนต์แม่เหล็ก จะเรียงตัวไปในแนวเดียวกัน และแสดง ความเป็นแม่เหล็ก
- **Ferromagnetism** ที่อุณหภูมิห้องมี ธาตุสามชนิด คือ เหล็ก โคบอลท์ และนิกเกิล ที่แสดงความเป็นแม่เหล็กแรงกว่าสารอื่น ๆ เรียกว่าเป็นสารเฟอร์โรแมกเนติกส์ สารประกอบและโลหะผสมอื่น ๆ ที่มีธาตุใด ๆ ในสามธาตุนี้ คือสารที่นำมาใช้ทำแม่เหล็กถาวร ความพิเศษของสารประเภทนี้คือมีการแบ่งเป็นส่วนย่อย ๆ เรียกว่าโดเมนแม่เหล็ก (Magnetic Domain) ภายในโดเมนโมเมนต์แม่เหล็กชี้ไปทางเดียวกัน ระหว่างโดเมนจะถูกกั้นด้วยเรียกส่วนที่เรียกว่าผนังโดเมนแม่เหล็ก (Domain Wall)



ภาพที่ 14-2 ภาพจำลองโดเมนของสารแม่เหล็กเฟอร์โร เมื่อชี้แบบสุ่มและเมื่อชี้ไปทิศเดียวกันตามสนามแม่เหล็กภายนอก

จากภาพที่ 14-2 ในสภาพปกติ โมเมนต์แม่เหล็กของแต่ละโดเมนจะชี้สุ่มหักล้างกัน ทำให้ไม่มีสนามแม่เหล็กลัพท์ เมื่อมีสนามแม่เหล็กภายนอกมากกระทำ สารนี้จะปรับตัวทำให้มีการเรียงตัวใหม่ ผนังโดเมนจะหายไป และแม้ว่าจะหยุดให้สนามแม่เหล็กภายนอก โมเมนต์แม่เหล็กของสสารก็ยังคงมีการเรียงตัวไปทางเดียวกันเดิม ทำให้สารแม่เหล็กเฟอร์โรนี้มี ความเป็นแม่เหล็กอย่างแรง

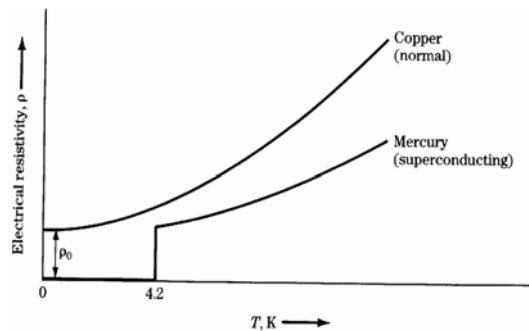
สารแม่เหล็กเฟอร์โร แบ่งได้เป็น 2 ชนิดย่อย

1. **Hard Ferromagnetic Materials** หรือ อาจเรียกว่าแม่เหล็กถาวร รักษาความเป็นแม่เหล็กได้นาน โดเมนแม่เหล็กไม่อ่อนตัวง่าย ต้องใช้ความร้อนหรือสนามแม่เหล็กแรงในการเปลี่ยนทิศโมเมนต์แม่เหล็ก ตัวอย่างเช่น Nd-Fe-B, Samarium-cobalt, Alnico
2. **Soft Ferromagnetic Materials** สูญเสียความเป็นแม่เหล็กได้ง่าย โดเมนแม่เหล็กอ่อนตัว พลิกไปมาด้วยความร้อนภายในระบบเอง ตัวอย่างเช่น เหล็ก โคบอลท์ และนิกเกิล

14.2 สภาพนำไฟฟ้ายิ่งยวด

คุณสมบัติของสารนำไฟฟ้ายิ่งยวดสามารถสรุปได้สั้น ๆ ว่าเป็น Perfect Electrical Conductor และ Perfect Diamagnet คือ การนำไฟฟ้าได้อย่างปราศจากความต้านทาน และสร้างฟลักซ์แม่เหล็กต่อต้านได้เท่ากับฟลักซ์แม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลง

ในปี ค.ศ. 1911 ฮอนเนสเป็นคนที่ค้นพบสภาพนำไฟฟ้ายิ่งยวดของโลหะที่อุณหภูมิของฮีเลียมเหลว (4K) โดยพบว่า ความต้านทานไฟฟ้าของปรอทจะลดลงเป็นศูนย์ที่อุณหภูมิต่ำกว่าค่าที่เรียกว่า **อุณหภูมิวิกฤต (Critical Temperature)** เปรียบเทียบความต้านทานของทองแดงและปรอทที่อุณหภูมิต่ำ ปรอทจะมีสภาพความต้านทานเป็นศูนย์ หรือเกือบเป็นศูนย์ ($\rho = 10^{-25} \Omega\text{m}$ เทียบกับ $10^{-12} \Omega\text{m}$ ของทองแดง) นอกจากการนำไฟฟ้าโดยปราศจากความต้านทานแล้ว ยังแสดง Diamagnetism ที่สมบูรณ์ นั่นคือต่อต้านฟลักซ์แม่เหล็กจากภายนอก 100% สามารถแสดงให้เห็นได้ในปรากฏการณ์ไมส์เนอร์



ภาพที่ 14-3 สภาพต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของทองแดงและปรอท

14.2.1 High- T_c Superconductor

ก่อนปี ค.ศ. 1986 วัสดุที่มี T_c สูงสุด ได้แก่ Nb_3Ge Alloy ที่ 23.2 K การที่โลหะนำไฟฟ้ายิ่งยวดได้ที่อุณหภูมิต่ำ (<20K) เท่านั้น ทำให้นำมาใช้ประโยชน์ได้ไม่มากนัก ในปี 1986 มีการค้นพบสำคัญคือ เซรามิกส์พวก Y-Ba-Cu-O มี T_c สูงกว่าอุณหภูมิของไนโตรเจนเหลว (ประมาณ 70K) เรียกว่า High- T_c Superconductor สิ่งที่น่าแปลกคือสารเหล่านี้เป็น **ฉนวน** ที่อุณหภูมิต่ำ

สภาพนำไฟฟ้ายิ่งยวดมีศักยภาพในการใช้ประโยชน์มหาศาล แต่ติดปัญหาที่ไม่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ตลอดมาจึงมีการวิจัยที่จะสังเคราะห์สารที่มี T_c สูงขึ้น

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	

 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 1 	
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
 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 2 	
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
 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ทั่วไป 	
1. จลศาสตร์ (kinematic)	2. จลพลศาสตร์ (kinetics)
3. งานและโมเมนตัม	4. ซิมเปิลฮาร์โมนิก คลื่น และเสียง
5. ของไหลกับความร้อน	6. ไฟฟ้าสถิตกับกระแสไฟฟ้า
7. แม่เหล็กไฟฟ้า	8. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับแสง
9. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ อะตอม และนิวเคลียร์	

