

ฟิสิกส์

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่

6

ตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551



ผู้เรียบเรียง

รศ. ดร.ณรงค์ สักวาเรนที
ดร.สุธิษา เละเซ็น
น.ท.หญิง ปวีณา ธารักษ์

ผู้ตรวจ

ผศ. ดร.อารียา เอี่ยมมู่
ดร.จามรี อมรโกศลพันธ์
ดร.เข้ม พุ่มสะอาด
ดร.อุดมเดช ภัคดี

บรรณาธิการ

ผศ. ดร.สุโกสินทร์ ทองรัตนศิริ
นางสาวชุลีพร สุวัฒนาพิบูล

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติ

ปีที่พิมพ์ 2567

พิมพ์ครั้งที่ 1

จำนวนพิมพ์ 20,000 เล่ม

ISBN : 978-616-606-085-0

รหัสสินค้า 3618016

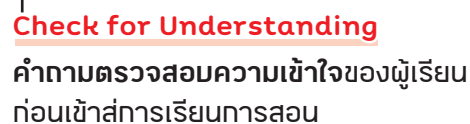
A+ อักษร
www.aksorn.com

จัดพิมพ์และจำหน่ายทั่วประเทศโดย
บริษัท อักษรเจริญทัศน์ อจก. จำกัด
142 ถนนตะนาว เขตพระนคร กรุงเทพมหานคร 10200
โทร. 0 2622 2999 (อัตโนมัติ 20 คู่สาย)
พิมพ์ที่: **บริษัท ไทยรับกล้ำ จำกัด** โทร. 0 2903 9101-6





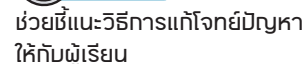
คำถามกระตุ้น
การเรียนรู้
ก่อนเข้าสู่เนื้อหา
เพื่อให้เกิด
กระบวนการ
สืบเสาะหาความรู้



H.O.T.S.

คำถามท้ายภาคการคิดขั้นสูง

คำถามเพื่อให้ผู้เรียนพัฒนา
การคิดวิเคราะห์ คิดสร้างสรรค์
คิดอย่างมีวิจารณญาณ



Core Concept

เชื่อมโยงให้ผู้เรียนได้สรุป
สาระสำคัญในแต่ละหัวข้อ



ความรู้เสริมจากเนื้อหา
เพื่อขยายความรับของนักเรียน



คำถามตรวจสอบความเข้าใจ
ของนักเรียนระหว่างเรียน



คำถามตรวจสอบความเข้าใจ
ของนักเรียนระหว่างเรียน



เชื่อมโยงความรู้ทางฟิสิกส์ สู่ชีวิตประจำวัน



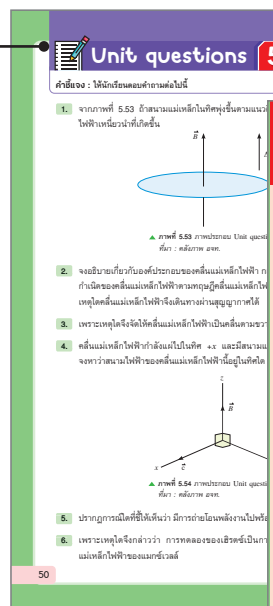
QR Code
ใช้สมาร์ตโฟนเพื่อสแกน
เข้าดูสื่อดิจิทัลเพิ่มเติม



เชื่อมโยงสู่แบบฝึกหัด
เพื่อให้ผู้เรียนฝึกฝน
จนเกิดความเชี่ยวชาญ

- Unit questions

**แบบฝึกหัดประจำหน่วยการเรียนรู้
เพื่อใช้ประเมินผลสัมฤทธิ์
ทางการเรียน**



กิจกรรม

กิจกรรมให้ผู้เรียนฝึกปฏิบัติเพื่อเสริมสร้างทักษะทางวิทยาศาสตร์

Summary

สรุปเนื้อหาเพื่อให้ผู้เรียนได้ทบทวน
สาระสำคัญประจำหน่วยการเรียนรู้

- **Apply Your Knowledge**

กิจกรรมให้
ผู้เรียนประยุกต์
ใช้ความรู้
ในสถานการณ์
ที่กำหนด

Self Check

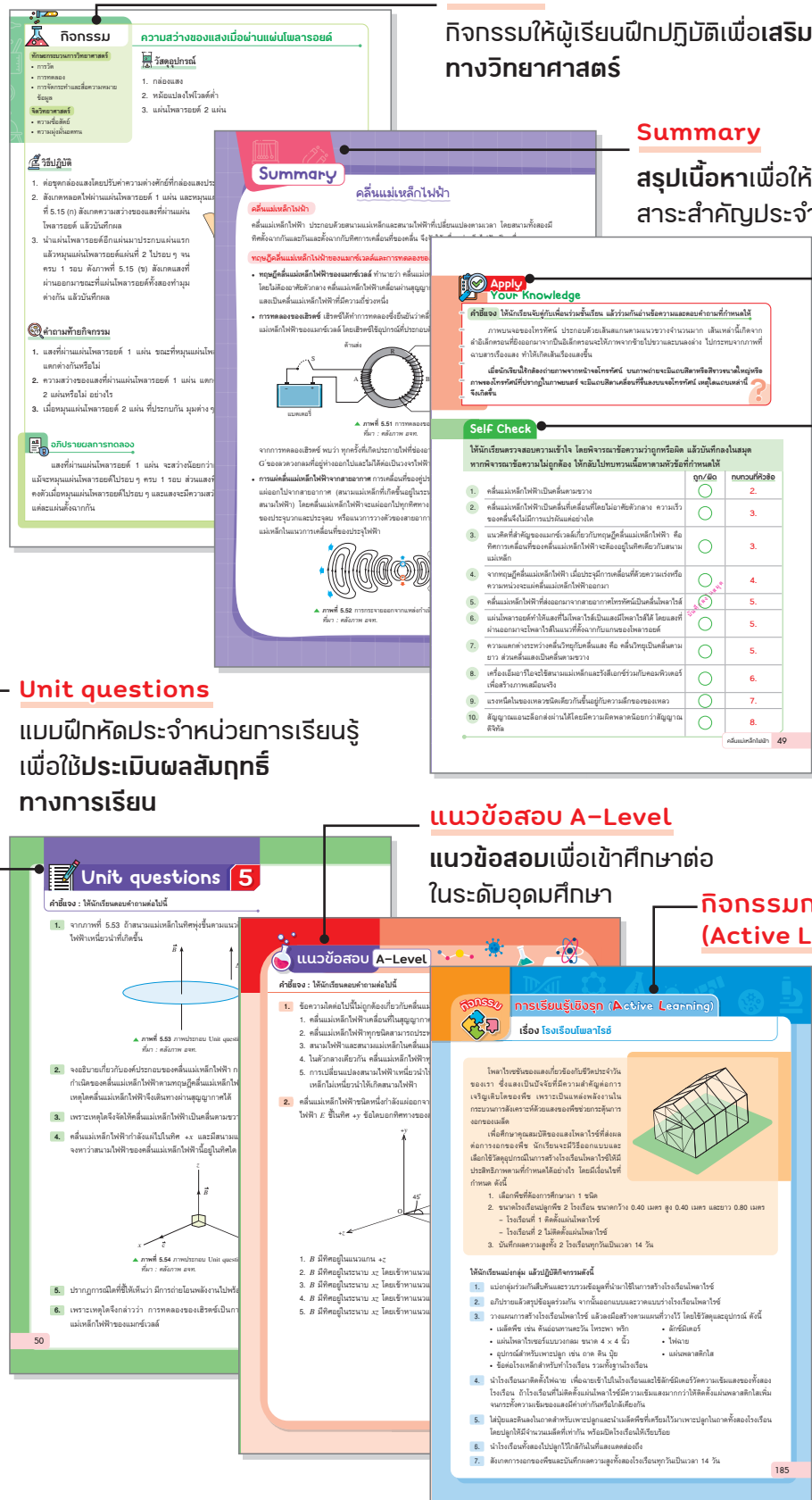
คำถามเพื่อ
ให้ผู้เรียน
ตรวจสอบ
ความรู้
ความเข้าใจ
ด้วยตนเอง

แนวข้อสอบ A-Level

แนวข้อสอบเพื่อเข้าศึกษาต่อ
ในระดับอุดมศึกษา

– กิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning)

กิจกรรมที่เน้น
ให้ผู้เรียนได้
ลงมือปฏิบัติจริง
เพื่อให้เกิด
การเรียนรู้ และ
สร้างองค์ความรู้
ด้วยตนเอง





คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

ฟิสิกส์ เล่ม 2

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เวลา 80 ชั่วโมง

ศึกษา วิเคราะห์ และอธิบายลักษณะเฉพาะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แสงไม่โพลาไรส์ แสงโพลาไรส์เชิงเส้น แสงโพลาไรซ์ การนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่ต่าง ๆ ไปประยุกต์ใช้ รวมทั้งการสื่อสารโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ฟิสิกส์อะตอม อะตอมและการค้นพบอิเล็กตรอน รั้งสีแคโทด การทดลองของทอมสัน การทดลองของมิลลิแกน แบบจำลองอะตอม แบบจำลองอะตอมของทอมสัน แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด สเปกตรัมของอะตอม สเปกตรัมจากอะตอมของแก๊ส การแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัตถุดำ ทฤษฎีอะตอมของโบร์ ระดับพลังงานของอะตอม การทดลองของฟรังค์และเฮิร์ตซ์ รั้งสีเอกซ์ ความไม่สมบูรณ์ของทฤษฎีอะตอมของโบร์ ทวิภาวะของคลื่นและอนุภาค ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ปรากฏการณ์คอมป์ตัน สมมติฐานเดอบรอยล์ กลศาสตร์ควอนตัม หลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์ก โครงสร้างอะตอมตามแนวคิดกลศาสตร์ควอนตัม ฟิสิกส์นิวเคลียร์ การค้นพบกัมมันตภาพรังสี การเปลี่ยนสภาพนิวเคลียส องค์ประกอบของนิวเคลียส การค้นพบนิวตรอน การสลายของนิวเคลียสกัมมันตรังสี ไอโซโทป เสถียรภาพของนิวเคลียส แรงนิวเคลียร์ พลังงานยึดเหนี่ยว ปฏิกิริยานิวเคลียร์ ฟิชชัน ฟิวชัน ประโยชน์ของกัมมันตภาพรังสีและการใช้พลังงานนิวเคลียร์ รังสีในธรรมชาติ อันตรายจากรังสี และการป้องกัน การค้นคว้าวิจัยและประโยชน์ด้านฟิสิกส์อนุภาค

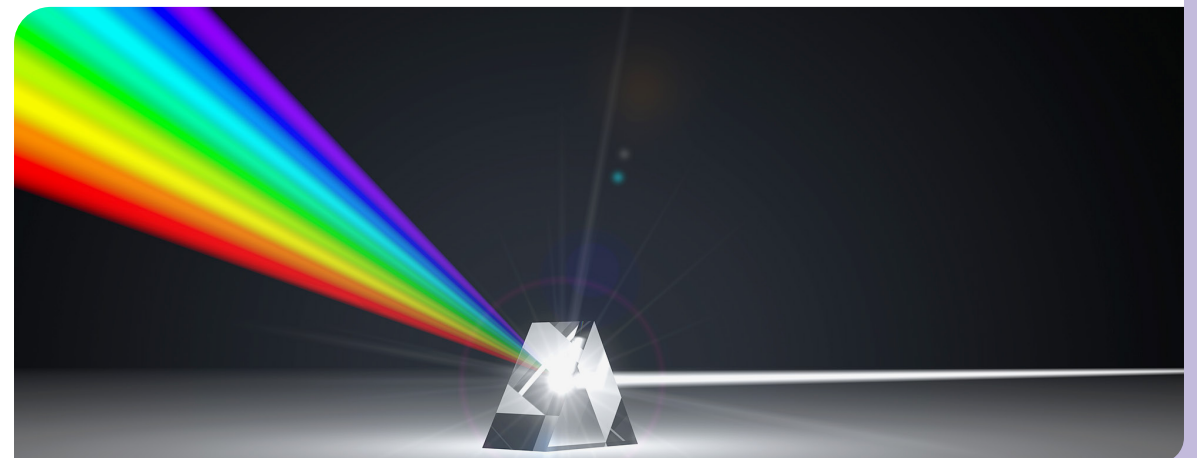
โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ การสืบค้นข้อมูล การสังเกต การวิเคราะห์ การอภิปราย การอธิบาย และการสรุปผล เพื่อให้ผู้เรียนเกิดความรู้ ความคิด และความเข้าใจ มีความสามารถในการตัดสินใจ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ในชีวิตตนเอง ตลอดจนมีจิตวิทยาศาสตร์ จริยธรรม คุณธรรม และค่านิยมที่ถูกต้อง



ผลการเรียนรู้

- อธิบายการเกิดและลักษณะเฉพาะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แสงไม่โพลาไรส์ แสงโพลาไรส์เชิงเส้น และแผ่นโพลาไรซ์ รวมทั้งอธิบายการนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่ต่าง ๆ ไปประยุกต์ใช้และหลักการการทำงานของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง
- สืบค้นและอธิบายการสื่อสารโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการส่งผ่านสารสนเทศและเปรียบเทียบการสื่อสารด้วยสัญญาณแอนะล็อกกับสัญญาณดิจิทัล
- อธิบายสมมติฐานของพลังค์ ทฤษฎีอะตอมของโบร์ และการเกิดเส้นสเปกตรัมของอะตอมไฮโดรเจน รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
- อธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกและคำนวณพลังงานโฟตอน พลังงานจลน์ของโฟโตอิเล็กตรอน และฟังก์ชันงานของโลหะ
- อธิบายทวิภาวะของคลื่นและอนุภาค รวมทั้งอธิบายและคำนวณความยาวคลื่นเดอบรอยล์
- อธิบายกัมมันตภาพรังสีและความแตกต่างของรั้งสีแอลฟา บีตา และแกมมา
- อธิบายและคำนวณกัมมันตภาพของนิวเคลียสกัมมันตรังสี รวมทั้งทดลอง อธิบาย และคำนวณจำนวนนิวเคลียสกัมมันตภาพรังสีที่เหลือจากการสลาย และครึ่งชีวิต
- อธิบายแรงนิวเคลียร์ เสถียรภาพของนิวเคลียส และพลังงานยึดเหนี่ยว รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
- อธิบายปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชันและฟิวชัน รวมทั้งคำนวณพลังงานนิวเคลียร์
- อธิบายประโยชน์ของพลังงานนิวเคลียร์และรังสี รวมทั้งอันตรายและการป้องกันรังสีในด้านต่าง ๆ
- อธิบายการค้นคว้าวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาค แบบจำลองมาตรฐาน และการใช้ประโยชน์จากการค้นคว้าวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาคในด้านต่าง ๆ

รวม 11 ผลการเรียนรู้



หน่วยการเรียนรู้ที่ 5



คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 2-55

ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์ และการทดลองของเฮิร์ตซ์

- ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์
- การทดลองของเฮิร์ตซ์
- การแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายอากาศ

โพลาริเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

- โพลาริเซชันของแสง
- โพลาริเซชันโดยการดูดกลืน
- โพลาริเซชันโดยการสะท้อน
- โพลาริเซชันโดยการหักเห
- โพลาริเซชันโดยการกระเจิง

สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

- คลื่นวิทยุ
- คลื่นไมโครเวฟ
- รังสีอินฟราเรด
- แสงที่มองเห็นได้
- รังสีอัลตราไวโอเล็ต
- รังสีเอกซ์
- รังสีแกมมา

อุปกรณ์ที่ทำงานโดยอาศัย คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

- เครื่องควบคุมระยะไกล
- เครื่องถ่ายภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์
- เครื่องถ่ายภาพการสั่นพ้องแม่เหล็ก
- เครื่องสแกนรังสีเอกซ์
- เครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นโลก

การสื่อสารโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

- กระบวนการรับและส่งข้อมูล
- สื่อกลางในการสื่อสารข้อมูล

Unit questions 5

แนวข้อสอบ A-Level

หน่วยการเรียนรู้ที่ 6



ฟิสิกส์อะตอม 56-119

การค้นพบอิเล็กตรอน

- รังสีแคโทด
- การทดลองของทอมสัน
- การทดลองของมิลลิแกน

แบบจำลองอะตอม

- แบบจำลองอะตอมของทอมสัน
- แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด

สเปกตรัมของอะตอม

- การแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัตถุดำ
- สมมติฐานของพลังค์
- สเปกตรัมจากอะตอมของแก๊ส

ทฤษฎีอะตอมของโบร์

- ระดับพลังงานของอะตอม
- การทดลองของฟรังค์และเฮิร์ตซ์
- รังสีเอกซ์
- ความไม่สมบูรณ์ของทฤษฎีอะตอมของโบร์

ทวิภาวะของคลื่นและอนุภาค

- ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก
- ปรากฏการณ์คอมป์ตัน
- สมมติฐานของเดอบรอยล์

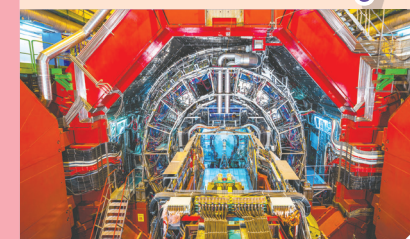
กลศาสตร์ควอนตัม

- หลักความไม่แน่นอน
- โครงสร้างอะตอมตามแนวคิด กลศาสตร์ควอนตัม

Unit questions 6

แนวข้อสอบ A-Level

หน่วยการเรียนรู้ที่ 7



ฟิสิกส์นิวเคลียร์ 120-184

กัมมันตภาพรังสี

- การค้นพบกัมมันตภาพรังสี
- การแผ่รังสีของธาตุกัมมันตรังสี

การเปลี่ยนสภาพนิวเคลียส

- องค์ประกอบของนิวเคลียส
- การค้นพบนิวตรอน

การสลายของนิวเคลียสกับมันดริงส์

ไอโซโทป

เสถียรภาพของนิวเคลียส

- แรงนิวเคลียร์
- พลังงานยึดเหนี่ยว

ปฏิกิริยานิวเคลียร์

- ฟิชชัน
- ฟิวชัน

ประโยชน์และการป้องกันอันตรายจากรังสี

- การนำรังสีมาใช้ประโยชน์
- การป้องกันอันตรายจากรังสี

การค้นคว้าวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาค

- แบบจำลองมาตรฐาน
- ประโยชน์จากการค้นคว้าวิจัย ด้านฟิสิกส์อนุภาค

Unit questions 7

แนวข้อสอบ A-Level

กิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning)

บรรณานุกรม



? กลไกการเกิดและการแผ่ออกจากแหล่งกำเนิดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าคืออะไร

หน่วยการเรียนรู้ที่

5

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ประกอบด้วยสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา โดยสนามทั้งสองมีทิศตั้งฉากกันและกัน และตั้งฉากกับทิศการแผ่หรือทิศการถ่ายโอนพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจึงเป็นคลื่นตามขวาง การเกิดและการแผ่ออกไปจากแหล่งกำเนิดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นผลจากการเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่องระหว่างสนามแม่เหล็กกับสนามไฟฟ้าที่เป็นองค์ประกอบ

Check for Understanding

พิจารณาข้อความตามความเข้าใจของนักเรียนว่าถูกหรือผิด แล้วบันทึกลงในสมุดบันทึก

ถูก/ผิด

1. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นตามขวาง
2. แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบหนึ่ง
3. ถ้ามีกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กเหมือนแท่งแม่เหล็ก
4. การสื่อสารโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบ่งสัญญาณออกเป็นสัญญาณแอนะล็อกและสัญญาณดิจิทัล
5. สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นการจัดเรียงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามค่าความถี่หรือความยาวคลื่น

บันทึกลงในสมุด

Key

Question



ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกี่ยวข้องกับการทดลองของเฮิร์ตซ์อย่างไร

1

ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์และการทดลองของเฮิร์ตซ์

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic wave) เป็นคลื่นที่เกิดจากการถูกรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทำให้สนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นตามขวางที่ประกอบด้วยสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่มีการสั่นในแนวตั้งฉากซึ่งกันและกัน

ความสำเร็จทางฟิสิกส์ครั้งสำคัญในคริสต์ศตวรรษที่ 19 คือ ความสำเร็จในการพัฒนาทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยใน พ.ศ. 2416 เจมส์ คลาร์ก แมกซ์เวลล์ (James Clerk Maxwell) ได้รวบรวมกฎต่าง ๆ เกี่ยวกับสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ซึ่งเป็นการค้นพบของคาร์ล ฟรีดริช เกาส์ (Carl Friedrich Gauss) อองเดร-มารี อองแปร์ (André-Marie Ampère) ไมเคิล ฟาราเดย์ (Michael Faraday) และเฮนรี คาเวนดิช (Henry Cavendish) เข้าด้วยกัน และแมกซ์เวลล์ได้เพิ่มเติมผลบางประการลงไปในการสมการของแอมแปร์ แล้วสรุปเป็นทฤษฎี เรียกว่า **ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์** โดยนำเสนอในรูปแบบสมการ 4 สมการ เรียกว่า **สมการของแมกซ์เวลล์ (Maxwell's equation)**

ผลสำคัญประการหนึ่งของสมการของแมกซ์เวลล์ คือ การทำนายว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถแผ่ออกไปจากแหล่งกำเนิดโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง และผลจากการแก้สมการของแมกซ์เวลล์ได้คำตอบว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนผ่านสุญญากาศด้วยอัตราเร็ว 3×10^8 เมตรต่อวินาที



Physics Focus

สมการของแมกซ์เวลล์

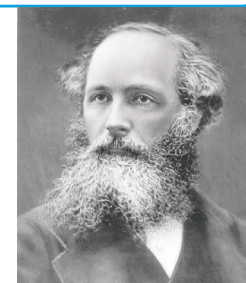
แมกซ์เวลล์เป็นคนแรกที่เสนอสมการคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวกับสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า และได้สรุปเป็นสมการของแมกซ์เวลล์ ดังนี้

กฎของเกาส์สำหรับสนามไฟฟ้า $\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q}{\epsilon_0}$

กฎของเกาส์สำหรับสนามแม่เหล็ก $\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$

กฎการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าของฟาราเดย์ $\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\phi_B}{dt}$

กฎของแอมแปร์-แมกซ์เวลล์ $\oint_L \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \left(i + \epsilon_0 \frac{d\phi_E}{dt} \right)$



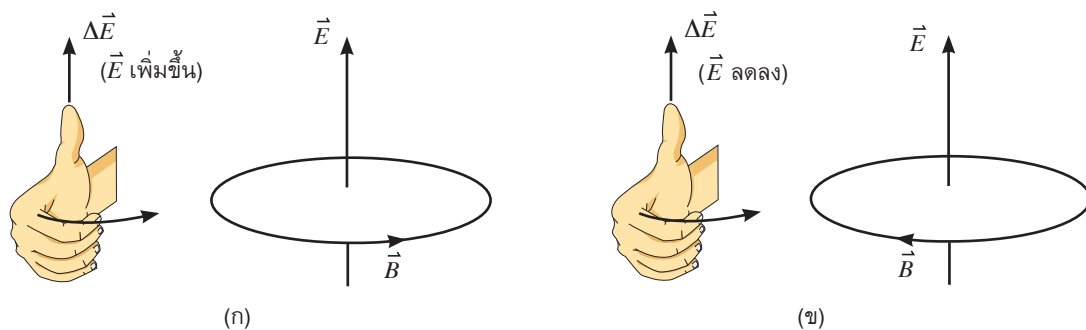
▲ ภาพที่ 5.1 เจมส์ คลาร์ก แมกซ์เวลล์
ที่มา : คลังภาพ อจท.

สมการที่ 1 หมายความว่า ฟลักซ์ไฟฟ้าสุทธิที่ผ่านผิวปิดเท่ากับประจุภายในผิวปิดหารด้วย ϵ_0 สมการที่ 2 หมายความว่า ฟลักซ์แม่เหล็กสุทธิที่ผ่านผิวปิดเป็นศูนย์ สมการที่ 3 หมายความว่า ฟลักซ์แม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงทำให้เกิดสนามไฟฟ้า และสมการที่ 4 หมายความว่า ฟลักซ์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก

1.1 กฎของแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์

จากการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ สนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาจะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามไฟฟ้าที่กำลังเปลี่ยนแปลง แมกซ์เวลล์ได้เสนอแนวคิดในทางกลับกัน คือ สนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาจะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่กำลังเปลี่ยนแปลง

เมื่อนำแนวคิดทั้งสองมาประกอบกันจะอธิบายเกี่ยวกับการเกิดและการแผ่ออกไปจากแหล่งกำเนิดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ว่า สนามไฟฟ้าที่กำลังเปลี่ยนแปลงตามเวลาจะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่กำลังเปลี่ยนแปลงขึ้นในระนาบที่ตั้งฉากกับระนาบการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้า บริเวณรอบ ๆ ไม่ว่าบริเวณนั้นจะเป็นบริเวณในตัวนำ ฉนวน หรือที่ว่าง โดยทิศของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นหาได้จากกฎมือขวา กล่าวคือ เมื่อให้นิ้วหัวแม่มือขวาชี้ตามทิศของสนามไฟฟ้าที่กำลังเปลี่ยนแปลง ($\Delta \vec{E}$) และถ้าสนามไฟฟ้ากำลังเพิ่มขึ้นในทิศทางนั้น ทิศของสนามแม่เหล็ก $\vec{B}$ ที่เกิดขึ้นจะวนไปในทิศเดียวกับทิศการวนของนิ้วทั้งสี่ ดังภาพที่ 5.2 (ก) แต่ถ้าสนามไฟฟ้ากำลังลดลงในทิศทางนั้น ทิศของสนามแม่เหล็ก $\vec{B}$ ที่เกิดขึ้น จะวนสวนทิศกับทิศการวนของนิ้วทั้งสี่ ดังภาพที่ 5.2 (ข)

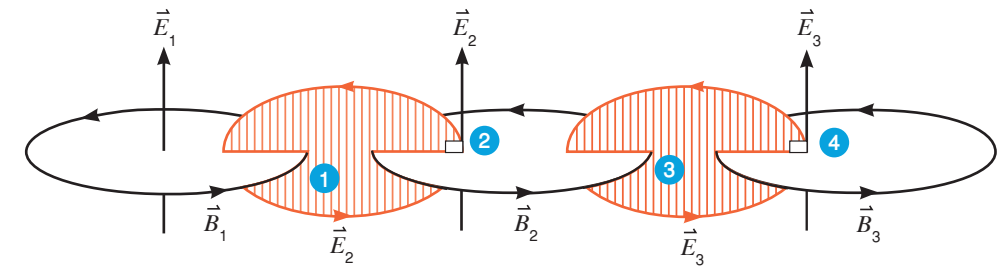


▲ ภาพที่ 5.2 ทิศของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากสนามไฟฟ้าที่กำลังเปลี่ยนแปลง
ที่มา : คลังภาพ อจท.

กรณีของสนามแม่เหล็กก็เช่นเดียวกัน เมื่อสนามแม่เหล็กในบริเวณหนึ่งเปลี่ยนแปลง ($\Delta \vec{B}$) จะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามไฟฟ้า $\vec{E}$ โดยสนามไฟฟ้าที่ถูกเหนี่ยวนำจะมีระนาบตั้งฉากกับทิศของสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลง

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์จะประกอบด้วยสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาในระนาบที่ตั้งฉากกัน โดยการเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่องระหว่างสนามแม่เหล็กกับสนามไฟฟ้าที่เป็นองค์ประกอบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กล่าวคือ สนามแม่เหล็กที่กำลังเปลี่ยนแปลงตามเวลาจะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามไฟฟ้าใหม่ขึ้นมา และสนามไฟฟ้าที่กำลังเปลี่ยนแปลงตามเวลาจะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็ก ซึ่งการเหนี่ยวนำลักษณะนี้จะเกิดสลับกันอย่างต่อเนื่องและเกิดขึ้นได้แม้แต่ในสุญญากาศ

จากภาพที่ 5.3 ถ้าสนามไฟฟ้า $\vec{E}_1$ ซึ่งอยู่ในระนาบแนวดิ่งกำลังเพิ่มขึ้น จากกฎมือขวา สนามไฟฟ้า $\vec{E}_1$ ที่กำลังเปลี่ยนแปลงจะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็ก $\vec{B}_1$ ในระนาบแนวนอน มีทิศวนทวนเข็มนาฬิกาเมื่อมองจากสนามไฟฟ้า $\vec{E}_1$



▲ ภาพที่ 5.3 การแผ่ออกไปจากแหล่งกำเนิดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
ที่มา : คลังภาพ อจท.

ที่ตำแหน่ง ① สนามแม่เหล็ก $\vec{B}_1$ มีทิศพุ่งเข้าระนาบหน้ากระดาษ สนามแม่เหล็ก $\vec{B}_1$ ที่กำลังเปลี่ยนแปลงจะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามไฟฟ้า $\vec{E}_2$ ในระนาบแนวดิ่ง มีทิศวนทวนเข็มนาฬิกาเมื่อมองจากสนามแม่เหล็ก $\vec{B}_1$ ที่ตำแหน่ง ①

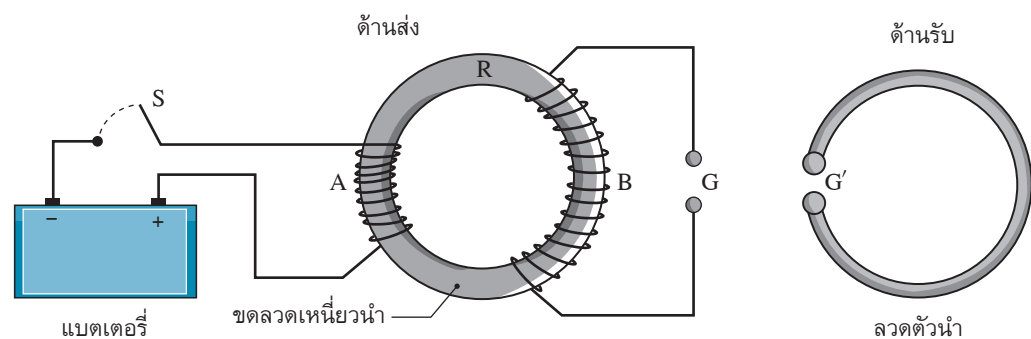
ที่ตำแหน่ง ② สนามไฟฟ้า $\vec{E}_2$ มีทิศพุ่งขึ้นตามแนวดิ่ง จากกฎมือขวา สนามไฟฟ้า $\vec{E}_2$ ที่กำลังเปลี่ยนแปลงจะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็ก $\vec{B}_2$ ในระนาบแนวนอน มีทิศวนทวนเข็มนาฬิกาเมื่อมองจากสนามไฟฟ้า $\vec{E}_2$ ที่ตำแหน่ง ②

ที่ตำแหน่ง ③ และ ④ สามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกันกับผลที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่ง ① และตำแหน่ง ② โดยการเหนี่ยวนำในลักษณะดังกล่าวจะเกิดต่อเนื่องกันไป ส่งผลให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่ออกไปจากแหล่งกำเนิด

1.2 การทดลองของเฮิร์ตซ์

หลังจากแมกซ์เวลล์ทำนายเกี่ยวกับการมีอยู่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและตั้งทฤษฎีขึ้นมาเพื่ออธิบายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในตอนแรกยังไม่ได้รับการยืนยันว่าคำทำนายเกี่ยวกับการมีอยู่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นจริงหรือไม่ จนเวลาผ่านไปประมาณ 15 ปี คือ ใน พ.ศ. 2430 ไฮน์ริช รูดอล์ฟ เฮิร์ตซ์¹ (Heinrich Rudolf Hertz) ได้ทำการทดลองเพื่อพิสูจน์ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์ โดยใช้ขดลวด 2 ขด พันรอบแกนเหล็กวงแหวน ดังภาพที่ 5.4

¹ เนื่องจากราชบัณฑิตยสภากำหนดให้สะกดตัวสะกดชื่อและสกุล ตามเสียงในชื่อชาติดั้งเดิมตามกำเนิดของนักวิทยาศาสตร์ผู้นั้น กล่าวคือ ชื่อ Heinrich Rudolf Hertz กำหนดให้ใช้ว่า ไฮน์ริช รูดอล์ฟ แฮทซ์ แต่เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจ ในหนังสือเล่มนี้จะใช้ว่า ไฮน์ริช รูดอล์ฟ เฮิร์ตซ์



▲ ภาพที่ 5.4 อุปกรณ์การทดลองของเฮิร์ตซ์
ที่มา : คลังภาพ อจท.

อุปกรณ์ด้านส่ง จะประกอบด้วยขดลวดเหนี่ยวนำ แบตเตอรี่ สวิตช์ และลวดตัวนำทรงกลม ขดลวดเหนี่ยวนำประกอบด้วยขดลวด A และขดลวด B พันรอบแกนวงแหวนโลหะ R (จำนวนรอบของขดลวด B มากกว่าจำนวนรอบของขดลวด A มาก) โดยปลายทั้งสองของขดลวด A ต่อกับขั้วทั้งสองของแบตเตอรี่ และมีสวิตช์ S ต่ออยู่ระหว่างปลายข้างหนึ่งของขดลวด A กับแบตเตอรี่ ส่วนปลายทั้งสองของขดลวด B ต่อกับโลหะทรงกลม โดยระหว่างโลหะทรงกลมทั้งสองเป็นช่องอากาศแคบ ๆ (G) ดังภาพที่ 5.4

ส่วนอุปกรณ์ด้านรับ จะเป็นลวดตัวนำที่โค้งเป็นวงกลมโดยเว้นช่องว่างระหว่างปลายทั้งสองไว้ แล้วนำโลหะทรงกลมมาติดไว้ที่ปลายทั้งสอง ระหว่างโลหะทั้งสองจะเป็นช่องอากาศแคบ ๆ (G')

สวิตช์ S เป็นสวิตช์แบบสั้นปิด-เปิด ทำหน้าที่ปิด-เปิดวงจรไฟฟ้าของขดลวด A กับแบตเตอรี่ ซึ่งส่งผลให้มีกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไหลผ่านขดลวด A ตามจังหวะการปิด-เปิดของสวิตช์ S ส่วนขดลวดเหนี่ยวนำทำหน้าที่เป็นหม้อแปลงไฟฟ้า (ขดลวด A เป็นขดลวดปฐมภูมิ ขดลวด B เป็นขดลวดทุติยภูมิ วงแหวนโลหะ R เป็นแกนของหม้อแปลงไฟฟ้า) โดยจะเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างโลหะทรงกลมตรงช่องอากาศ G ให้สูงกว่าค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ซึ่งมากพอที่จะทำให้โมเลกุลอากาศบริเวณช่องอากาศ G แตกตัวเป็นไอออนและเคลื่อนผ่านช่องอากาศได้ เมื่อปิด-เปิดสวิตช์ S อย่างรวดเร็ว ก็จะทำให้เกิดประกายไฟบริเวณช่องอากาศ G

จากการทดลองเฮิร์ตซ์พบว่า ทุกครั้งที่สวิตช์ปิดหรือเปิดจะเกิดประกายไฟที่ช่องอากาศ G และจะเกิดประกายไฟบริเวณช่องอากาศ G' ของลวดวงกลมที่อยู่ห่างออกไปเสมอ โดยไม่ได้ต่อเนื่องกัน

เฮิร์ตซ์อธิบายผลที่เกิดขึ้นว่า ขณะสวิตช์ S สับลง (วงจรปิด) กระแสไฟฟ้าในขดลวด A จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กในแกนวงแหวน R ซึ่งตัดผ่านขดลวด B แต่เมื่อโยกสวิตช์ S ขึ้น (วงจรเปิด) กระแสไฟฟ้าในขดลวด A จะลดลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกิด

การเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำบริเวณขดลวด B จึงเหนี่ยวนำให้เกิดสนามไฟฟ้าบริเวณช่องอากาศ G ขณะที่สวิตช์ S ปิด-เปิดเป็นจังหวะอย่างรวดเร็ว สนามไฟฟ้าเหนี่ยวนำบริเวณช่องอากาศ G จะเปลี่ยนแปลงกลับไปกลับมาตามจังหวะการปิด-เปิดสวิตช์ และเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็ก ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงตามสนามไฟฟ้าขึ้น สนามแม่เหล็กที่กำลังเปลี่ยนแปลงจะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามไฟฟ้า เป็นเช่นนี้สลับกันต่อเนื่องกันไป

การแผ่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากช่องอากาศ G ไปยังช่องอากาศ G' ของลวดวงกลม ที่ช่องอากาศ G' สนามแม่เหล็กจะมีทิศกลับไปกลับมาในแนวตั้งฉากกับระนาบของลวดวงกลม ขณะที่สนามไฟฟ้าซึ่งทำให้เกิดประกายไฟบริเวณช่องอากาศ G' จะมีทิศกลับไปกลับมาในแนวตั้งเช่นเดียวกับสนามไฟฟ้าที่ช่องอากาศ G จึงกล่าวได้ว่า การเกิดประกายไฟที่ช่องอากาศ G' เกิดจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เดินทางจากช่องอากาศ G ไปยังช่องอากาศ G'

ผลการทดลองของเฮิร์ตซ์จึงสนับสนุนทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์ที่ว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดจากการเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่องระหว่างสนามไฟฟ้ากับสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลง และยืนยันว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีอยู่จริง โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เฮิร์ตซ์ค้นพบจากการทดลองครั้งนี้ คือ **คลื่นวิทยุ** นอกจากนี้ เฮิร์ตซ์ยังพบว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีอัตราเร็วเท่ากับอัตราเร็วแสง และแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งสอดคล้องกับผลจากการคำนวณตามทฤษฎีของแมกซ์เวลล์

Concept Question?

การทดลองของเฮิร์ตซ์นำไปสู่การสรุปว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบหนึ่งได้อย่างไร



Physics Focus

ไฮน์ริช รู돌์ฟ เฮิร์ตซ์

- ไฮน์ริช รู돌์ฟ เฮิร์ตซ์ เป็นนักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน จบการศึกษาจากมหาวิทยาลัยเบอร์ลิน สาขาวิชาฟิสิกส์ เมื่อจบการศึกษาเขาได้เป็นอาจารย์ที่มหาวิทยาลัยคิล ก่อนที่จะได้เป็นศาสตราจารย์เมื่ออายุเพียง 28 ปี โดยสอนอยู่ที่มหาวิทยาลัยคาร์ลสรูเอ
- เฮิร์ตซ์ได้ศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ต่อยอดการค้นพบของแมกซ์เวลล์จนสามารถพัฒนาสายอากาศสำหรับส่งสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า และทดสอบคุณสมบัติทางแม่เหล็กไฟฟ้าของวัสดุหลายชนิด และในช่วงนี้ที่หน่วยความถี่คลื่น "เฮิร์ตซ์ (Hertz)" ได้ถือกำเนิดขึ้น ในขณะที่เขาอายุได้เพียง 32 ปี

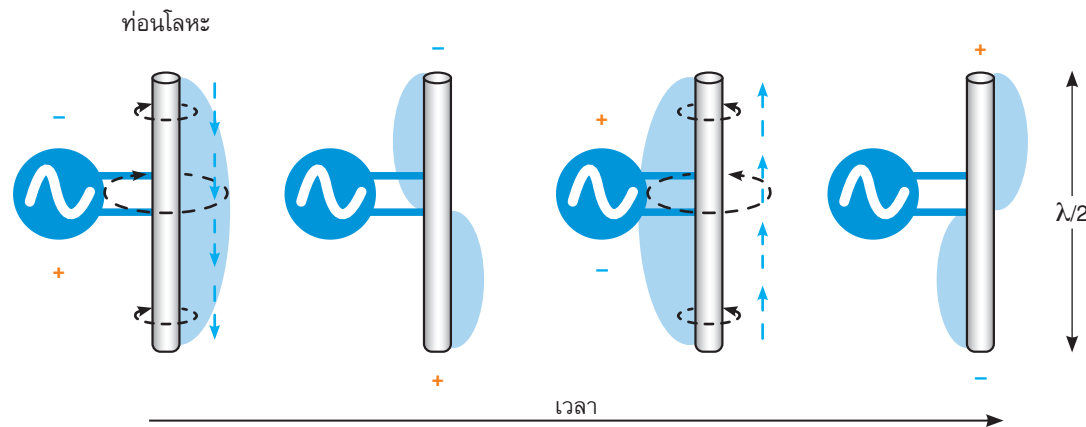


▲ ภาพที่ 5.5 ไฮน์ริช รู돌์ฟ เฮิร์ตซ์
ที่มา : คลังภาพ อจท.

1.3 การแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายอากาศ

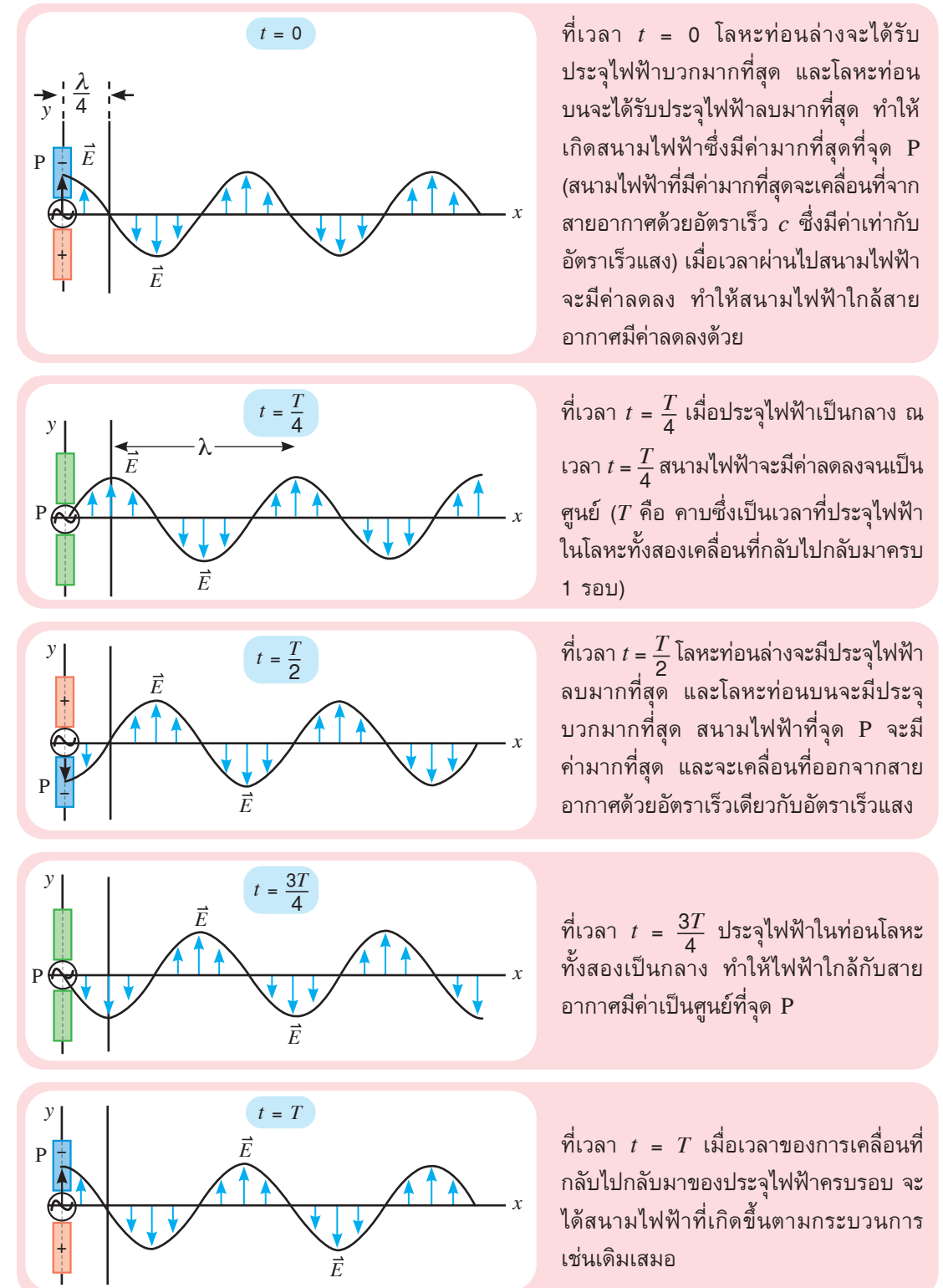
จากทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์และการทดลองของเฮิร์ตซ์ ทำให้ทราบถึงกลไกการเกิดและการแผ่อกไปจากแหล่งกำเนิดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแล้ว ยังทำให้ทราบว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดจากประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ด้วยความเร่ง ซึ่งนำไปอธิบายการแผ่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายอากาศ

ในการทดลองของเฮิร์ตซ์ใช้การเร่งประจุไฟฟ้าด้วยการปิด-เปิดไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ นอกจากวิธีการแบบเฮิร์ตซ์แล้ว อาจเร่งประจุไฟฟ้าด้วยไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในสายอากาศ ทำได้โดยต่อสายอากาศเข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ส่งผลให้ประจุไฟฟ้าในสายอากาศเคลื่อนที่กลับไปกลับมาแบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย (simple harmonic motion) เนื่องจากการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย เป็นการเคลื่อนที่แบบมีความเร่ง จึงทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่อกไปจากสายอากาศ โดยกลไกการเกิดและการแผ่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายอากาศพิจารณาได้จากภาพที่ 5.6 เมื่อสายอากาศเป็นแบบครึ่งคลื่น (half-wave dipole antenna) ที่วางตัวในแนวดิ่ง



▲ ภาพที่ 5.6 สายอากาศแบบครึ่งคลื่น
ที่มา : คลังภาพ อจท.

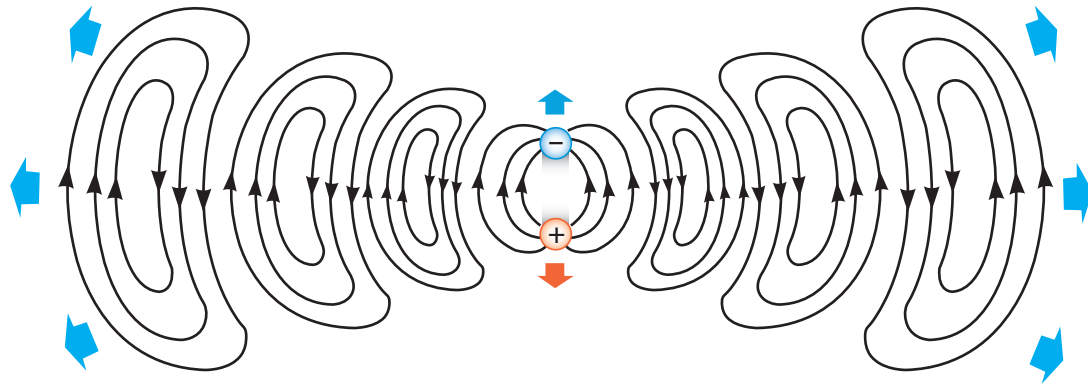
เมื่อต่อแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเข้ากับสายอากาศที่วางตัวในแนวดิ่ง ดังภาพที่ 5.6 ประจุไฟฟ้าในสายอากาศจะเคลื่อนที่ขึ้นลงกลับไปกลับมาในท่อนโลหะทั้งสายด้วยความเร่งในแนวดิ่ง ประจุไฟฟ้าที่มีความเร่งจะแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกไปโดยรอบ จึงทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากระจายออกมาจากสายอากาศในทุกทิศทาง ยกเว้นในแนวเดียวกับแนวเส้นตรงของสายอากาศ การเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในทิศทางตั้งฉากกับสายอากาศ ดังภาพที่ 5.7



▲ ภาพที่ 5.7 การเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเนื่องจากประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่กลับไปกลับมาในสายอากาศและสนามไฟฟ้า $\vec{E}$ ซึ่งเคลื่อนที่จากสายอากาศด้วยความเร็วแสง
ที่มา : คลังภาพ อจท.

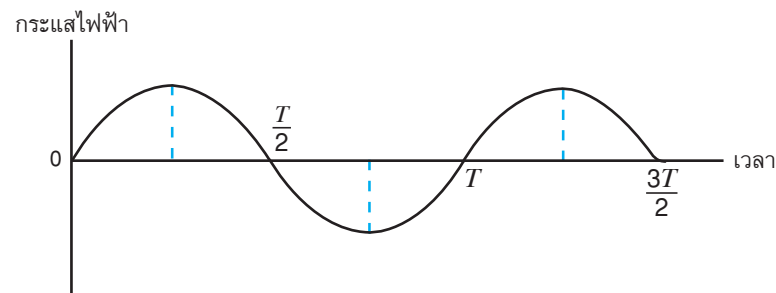


การเคลื่อนที่ของคู่ประจุบวกและลบในลักษณะดังกล่าว ทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่ออกไปจากสายอากาศ ดังภาพที่ 5.8 (สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นอยู่ในระนาบที่ตั้งฉากกับระนาบการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้า) โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะแผ่ออกไปทุกทิศทุกทาง ยกเว้นในแนวเส้นตรงเดียวกับการเคลื่อนที่ของประจุบวกและประจุลบ หรือแนวการวางตัวของสายอากาศ เนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กในแนวการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้า



▲ ภาพที่ 5.8 การกระจายออกจากแหล่งกำเนิดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
ที่มา : คลังภาพ อจท.

ประจุไฟฟ้าที่กำลังเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ (ไม่คงตัว) และมีทิศกลับไปกลับมา เช่นเดียวกับไฟฟ้ากระแสสลับ ดังภาพที่ 5.9

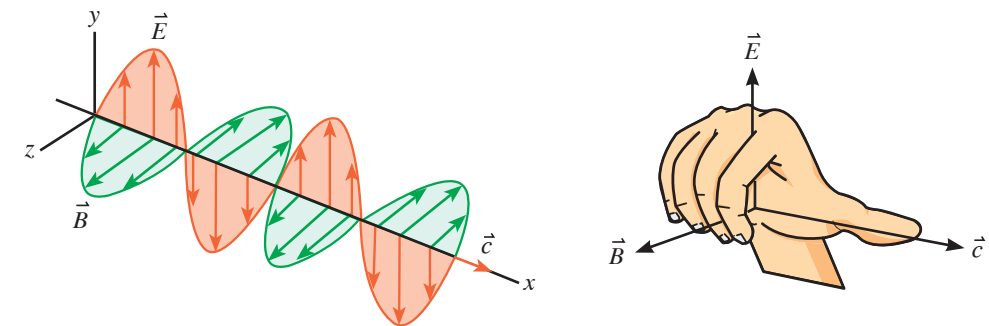


▲ ภาพที่ 5.9 กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของประจุแบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย
ที่มา : คลังภาพ อจท.

กระแสไฟฟ้าที่ไหลนี้จะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบ ๆ บริเวณที่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน โดยสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะมีขนาดไม่สม่ำเสมอและมีทิศกลับไปกลับมาเช่นเดียวกับกระแสไฟฟ้า สนามแม่เหล็กที่กำลังเปลี่ยนแปลงนี้จะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามไฟฟ้าที่มีค่าไม่คงตัว การเปลี่ยนแปลงค่าสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะแบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายเช่นเดียวกับการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าที่เป็นแหล่งกำเนิด

จากการศึกษาการเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จึงสรุปได้ว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีลักษณะสำคัญดังนี้

1. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วยสนามแม่เหล็ก ($\vec{B}$) และสนามไฟฟ้า ($\vec{E}$) ที่มีทิศตั้งฉากกัน และต่างตั้งฉากกับทิศการแผ่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
2. สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีเฟสตรงกัน คือ เปลี่ยนแปลงถึงค่าสูงสุดและต่ำสุดพร้อมกัน
3. ทิศการแผ่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ($\vec{c}$) อยู่ในทิศเดียวกับทิศของ $\vec{E} \times \vec{B}$ ซึ่งหาได้กฎมือขวาของผลคูณเชิงเวกเตอร์ ดังภาพที่ 5.10



▲ ภาพที่ 5.10 ขนาดและทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
ที่มา : คลังภาพ อจท.

4. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นตามขวาง เพราะสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่เป็นองค์ประกอบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงในแนวตั้งฉากกับทิศการแผ่ของคลื่น
5. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่ออกไปจากแหล่งกำเนิดโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางและเดินทางผ่านสุญญากาศหรืออากาศด้วยอัตราเร็วเท่ากับแสง คือ 3×10^8 เมตรต่อวินาที
6. วัตถุใดดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า อุณหภูมิของวัตถุนั้นจะสูงขึ้น แสดงว่ามีการถ่ายโอนพลังงานไปพร้อมกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่นเดียวกับคลื่นกล

Core Concept

ให้นักเรียนสรุปสาระสำคัญ เรื่อง
ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของ
แมกซ์เวลล์และการทดลองของเฮิรตซ์



Topic Questions

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกจากสายอากาศมีการเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กันอย่างไร
2. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายอากาศจะแผ่ออกไปทุกทิศทุกทางยกเว้นทิศทางใด
3. การทำให้ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ด้วยความเร่งในสายอากาศต่างจากวิธีการของเฮิรตซ์อย่างไร และประจุไฟฟ้าในสายอากาศเคลื่อนที่แบบใด





โพลาไรเซชันของแสงคืออะไร แตกต่างจากการกระจายแสงอย่างไร

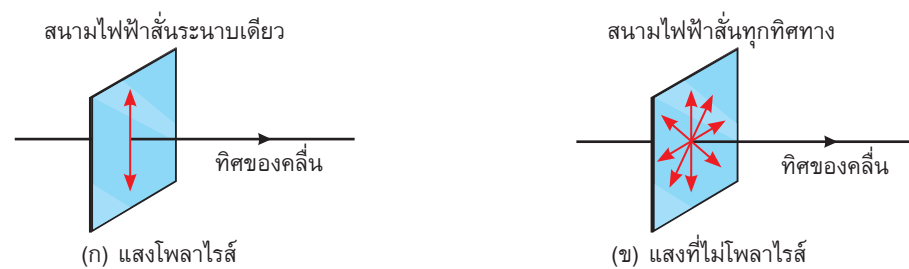
2 โพลาไรเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

โพลาไรเซชัน (polarization) เป็นสมบัติของคลื่นตามขวาง โดยทั่วไปคลื่นตามขวางมีระนาบของการสั่นตั้งฉากกับแนวการแผ่ของคลื่น ถ้าคลื่นตามขวางใดมีระนาบการสั่นนี้เพียงระนาบเดียว จะเรียกคลื่นตามขวางนั้นว่า คลื่นโพลาไรส์ (polarized wave)

2.1 โพลาไรเซชันของแสง

จากทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้ทราบว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าในระนาบที่ตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น และเนื่องจากสนามทั้งสองตั้งฉากกันตลอดเวลา จึงสามารถพิจารณาเพียงสนามเดียวได้ โดยจะพิจารณาเพียงสนามไฟฟ้าเท่านั้น

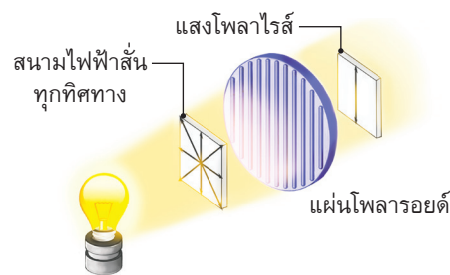
ถ้าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าใดที่มีระนาบการสั่นของสนามไฟฟ้าเพียงระนาบเดียว เรียกคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นว่า **คลื่นโพลาไรส์** อย่างไรก็ตาม แสงในธรรมชาติ เช่น ดวงอาทิตย์ เทียนไข จะมีระนาบของการโพลาไรส์หรือทิศของการโพลาไรส์ต่างกัน จึงเป็น**แสงที่ไม่โพลาไรส์** (unpolarized light) กล่าวคือ ระนาบการสั่นของสนามไฟฟ้าจะทำมุมอย่างต่อเนื่องกับแนวการแผ่ของคลื่น ดังภาพที่ 5.11



▲ ภาพที่ 5.11 แสงโพลาไรส์และแสงไม่โพลาไรส์
ที่มา : คลังภาพ อจท.

2.2 โพลาไรเซชันโดยการดูดกลืน

การทำให้แสงไม่โพลาไรส์เป็นแสงโพลาไรส์มีหลายวิธี แต่วิธีที่สะดวก คือ การใช้แผ่นโพลาไรซ์ (polaroid) เนื่องจากยอมให้แสงที่มีระนาบของการสั่นของสนามในแนวของแผ่นโพลาไรซ์เท่านั้นที่ผ่านออกมาได้ ดังภาพที่ 5.12

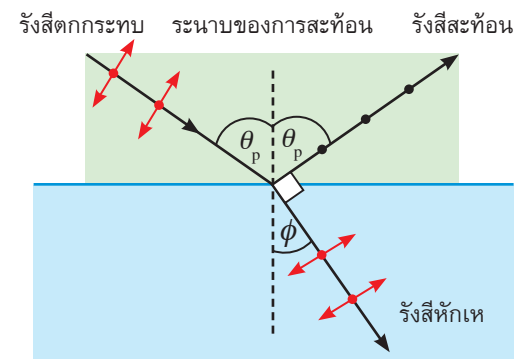


▲ ภาพที่ 5.12 แสงโพลาไรส์โดยใช้แผ่นโพลาไรซ์
ที่มา : คลังภาพ อจท.

การยอมให้แสงที่มีระนาบการสั่นในทิศทางเดียวผ่านแผ่นโพลาไรซ์ได้ ทำให้เมื่อนำแผ่นโพลาไรซ์ 2 แผ่น ที่มีทิศทางเดียวกันมาวางซ้อนกัน แสงจะผ่านแผ่นโพลาไรซ์ทั้งสองได้ และเมื่อเอียงแผ่นโพลาไรซ์แผ่นใดแผ่นหนึ่ง โดยยังคงให้แผ่นโพลาไรซ์อีกแผ่นอยู่ในทิศเดิม แสงที่ผ่านแผ่นโพลาไรซ์ทั้งสองจะค่อย ๆ ลดลง จนเมื่อทิศของแผ่นโพลาไรซ์ตั้งฉากกัน ก็จะไม่มีความสว่างออกมาเลย

2.3 โพลาไรเซชันโดยการสะท้อน

ถ้าแสงตกกระทบบนตัวกลางที่ยอมให้แสงผ่านไปได้ เช่น ผิวแก้ว ผิวน้ำ หรือพลาสติก จะเกิดการสะท้อนและการหักเหในเวลาเดียวกัน จะพบว่า เมื่อมุมระหว่างแนวการแผ่ของรังสีสะท้อนและหักเหเป็น 90 องศา จะได้ว่า แสงสะท้อนทั้งหมดเป็นแสงโพลาไรส์ และเรียกมุมตกกระทบบที่ทำให้รังสีสะท้อนทั้งหมดเป็นแสงโพลาไรส์นี้ว่า **มุมโพลาไรส์** (polarizing angle; θ_p) หรือ**มุมบรูสเตอร์** (Brewster's angle; θ_B) ดังภาพที่ 5.13



▲ ภาพที่ 5.13 แสงโพลาไรส์จากการสะท้อน
ที่มา : คลังภาพ อจท.

มุมโพลาไรส์จะขึ้นอยู่กับดัชนีหักเห (n) ของพื้นผิวเรียบที่แสงหักเหผ่านเข้าไป ซึ่งพิจารณาได้ ดังนี้

$$\text{จากกฎของสเนลล์} \quad n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

$$\text{จะได้} \quad n_1 \sin \theta_p = n_2 \sin \phi$$

$$n_1 \sin \theta_p = n_2 \sin (90^\circ - \theta_p)$$

$$n_1 \sin \theta_p = n_2 \cos \theta_p$$

$$\frac{\sin \theta_p}{\cos \theta_p} = \frac{n_2}{n_1}$$

และ

$$\tan \theta_p = \frac{n_2}{n_1} \quad (5.1)$$

ถ้าแสงไม่โพลาไรส์เคลื่อนผ่านอากาศไปตกกระทบบนพื้นผิวเรียบที่มีดัชนีหักเหเป็น n คือ และ $n_1 = 1$ และ $n_2 = n$ จากสมการที่ 2.1 จะได้

$$\tan \theta_p = n$$

ดังนั้น

$$\theta_p = \tan^{-1}(n) \quad (5.2)$$

ตัวอย่างที่ 5.1

แสงไมโพลาไรส์เดินทางผ่านน้ำไปตกกระทบแผ่นแก้ว ถ้าแสงสะท้อนจากผิวแก้วเป็นแสงโพลาไรส์ มุมตกกระทบผิวแผ่นแก้วมีค่าเท่าใด เมื่ออัตราส่วนหักเหของน้ำและแก้วมีค่าเป็น $\frac{4}{3}$ และ $\frac{3}{2}$ ตามลำดับ

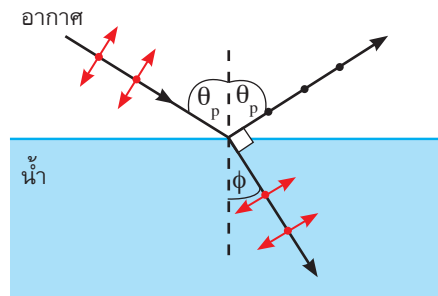
วิธีทำ มุมตกกระทบที่ทำให้แสงสะท้อนเป็นแสงโพลาไรส์ คือ มุมโพลาไรส์

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad \tan \theta_p &= \frac{n_2}{n_1} \\ \text{จะได้} \quad \tan \theta_p &= \frac{\frac{3}{2}}{\frac{4}{3}} \\ \theta_p &= \tan^{-1} \left(\frac{9}{8} \right) \\ \theta_p &= 48.4^\circ \end{aligned}$$

ดังนั้น มุมตกกระทบผิวแผ่นแก้วจึงมีค่าเท่ากับ 48.4 องศา

ตัวอย่างที่ 5.2

แสงไมโพลาไรส์เดินทางผ่านอากาศไปตกกระทบผิวน้ำ ถ้าแสงสะท้อนเป็นแสงโพลาไรส์ จงหามุมตกกระทบ และมุมหักเหของแสงในน้ำ เมื่ออัตราส่วนหักเหของน้ำมีค่าเป็น $\frac{4}{3}$



▲ ภาพที่ 5.14 ภาพประกอบตัวอย่างที่ 5.2
ที่มา : คลังภาพ อจท.

วิธีทำ มุมตกกระทบที่ทำให้แสงสะท้อนเป็นแสงโพลาไรส์ คือ มุมโพลาไรส์

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad \tan \theta_p &= n \\ \text{จะได้} \quad \tan \theta_p &= \frac{4}{3} \\ \text{จึงได้} \quad \theta_p &= \tan^{-1} \left(\frac{4}{3} \right) \\ \theta_p &= 53^\circ \end{aligned}$$

เมื่อแสงสะท้อนเป็นแสงโพลาไรส์ระนาบ $\theta_p + \phi = 90^\circ$

มุมหักเหของแสงในน้ำ จึงมีค่าเป็น $\phi = 90^\circ - 53^\circ = 37^\circ$

ดังนั้น มุมตกกระทบของแสงในน้ำเท่ากับ 53 องศา และมุมหักเหของแสงในน้ำเท่ากับ 37 องศา



กิจกรรม

ทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์

- การวัด
- การทดลอง
- การจัดทำและสื่อความหมายข้อมูล

จิตวิทยาศาสตร์

- ความซื่อสัตย์
- ความมุ่งมั่นอดทน

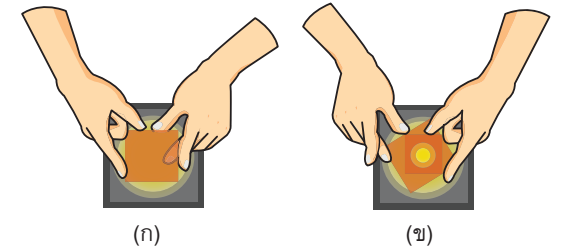
ความสว่างของแสงเมื่อผ่านแผ่นโพลาไรซ์

วัสดุอุปกรณ์

1. กล้องแสง
2. หม้อแปลงไฟโวลต์ต่ำ
3. แผ่นโพลาไรซ์ 2 แผ่น

วิธีปฏิบัติ

1. ต่อชุดกล้องแสงโดยปรับค่าความต่างศักย์ที่กล้องแสงประมาณ 8-10 โวลต์
2. สังเกตหลอดไฟผ่านแผ่นโพลาไรซ์ 1 แผ่น และหมุนแผ่นโพลาไรซ์ไปรอบ ๆ จนครบหนึ่งรอบ ดังภาพที่ 5.15 (ก) สังเกตความสว่างของแสงที่ผ่านแผ่นโพลาไรซ์ แล้วบันทึกผล
3. นำแผ่นโพลาไรซ์อีกแผ่นมาประกบแผ่นแรก แล้วหมุนแผ่นโพลาไรซ์แผ่นที่ 2 ไปรอบ ๆ จนครบ 1 รอบ ดังภาพที่ 5.15 (ข) สังเกตแสงที่ผ่านออกมาขณะที่แผ่นโพลาไรซ์ทั้งสองทำมุมต่างกัน แล้วบันทึกผล



▲ ภาพที่ 5.15 การจัดอุปกรณ์กิจกรรมความสว่างของแสงเมื่อผ่านแผ่นโพลาไรซ์
ที่มา : คลังภาพ อจท.

คำถามท้ายกิจกรรม

1. แสงที่ผ่านแผ่นโพลาไรซ์ 1 แผ่น ขณะที่หมุนแผ่นโพลาไรซ์ไปรอบ ๆ ความสว่างของแสงที่มองเห็นแตกต่างกันหรือไม่
2. ความสว่างของแสงที่ผ่านแผ่นโพลาไรซ์ 1 แผ่น แตกต่างกับความสว่างของแสงที่ผ่านแผ่นโพลาไรซ์ 2 แผ่นหรือไม่ อย่างไร
3. เมื่อหมุนแผ่นโพลาไรซ์ 2 แผ่น ที่ประกบกัน มุมต่าง ๆ มีผลต่อความสว่างของแสงหรือไม่ อย่างไร

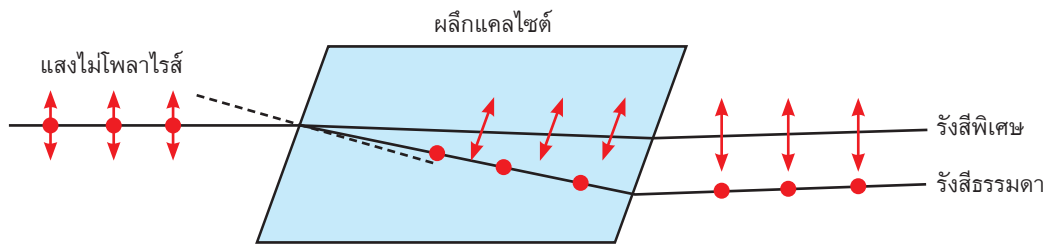


อภิปรายผลการทดลอง

แสงที่ผ่านแผ่นโพลาไรซ์ 1 แผ่น จะสว่างน้อยกว่าการมองด้วยตาเปล่า แต่จะมีค่าความสว่างคงตัว แม้จะหมุนแผ่นโพลาไรซ์ไปรอบ ๆ ครบ 1 รอบ ส่วนแสงที่ผ่านแผ่นโพลาไรซ์ 2 แผ่น จะมีความสว่างไม่คงตัวเมื่อหมุนแผ่นโพลาไรซ์ไปรอบ ๆ และแสงจะมีความสว่างน้อยที่สุดเมื่อแกนโพลาไรซ์ของแผ่นโพลาไรซ์แต่ละแผ่นตั้งฉากกัน

2.4 โพลาริเซชันโดยการหักเห

การหักเหของแสงในแท่งแก้วหรือน้ำจะเป็นไปตามกฎของสเนลล์ แต่รังสีหักเหของรังสีตกกระทบหนึ่งที่ตกกระทบและหักเหผ่านเข้าไปในผลึกแคลไซต์หรือควอตซ์จะแยกออกเป็น 2 รังสี ส่งผลให้เห็นภาพของวัตถุในผลึกแคลไซต์แยกออกเป็น 2 ภาพ ซึ่งการหักเหในผลึกแคลไซต์ดังกล่าว เรียกว่า การหักเหสองแนว (double refraction หรือ birefringent) โดยรังสีหักเหจากการหักเหสองแนวทั้ง 2 รังสี ต่างเป็นแสงโพลาไรส์ที่มีระนาบของการโพลาไรส์หรือทิศของการโพลาไรส์ตั้งฉากกันและกัน รังสีหักเหทั้งสองจะแสดงแทนด้วยจุดและลูกศร รังสีที่แทนด้วยจุดเรียกว่า รังสีธรรมดา (ordinary ray) และรังสีที่แทนด้วยลูกศร เรียกว่า รังสีพิเศษ (extraordinary ray) โดยรังสีธรรมดามีอัตราเร็วเท่ากันในทุกทิศทาง ขณะที่รังสีพิเศษมีอัตราเร็วต่างกันในทุกทิศทางที่ต่างกัน ขณะอยู่ในผลึกแคลไซต์แนวรังสีทั้งสองจะไม่ขนานกัน แต่เมื่อผ่านพ้นผลึกแคลไซต์ออกมาแนวรังสีทั้งสองจะขนานกัน และระนาบของการโพลาไรส์หรือทิศของการโพลาไรส์ของรังสีทั้งสองยังคงตั้งฉากกัน ดังภาพที่ 5.16

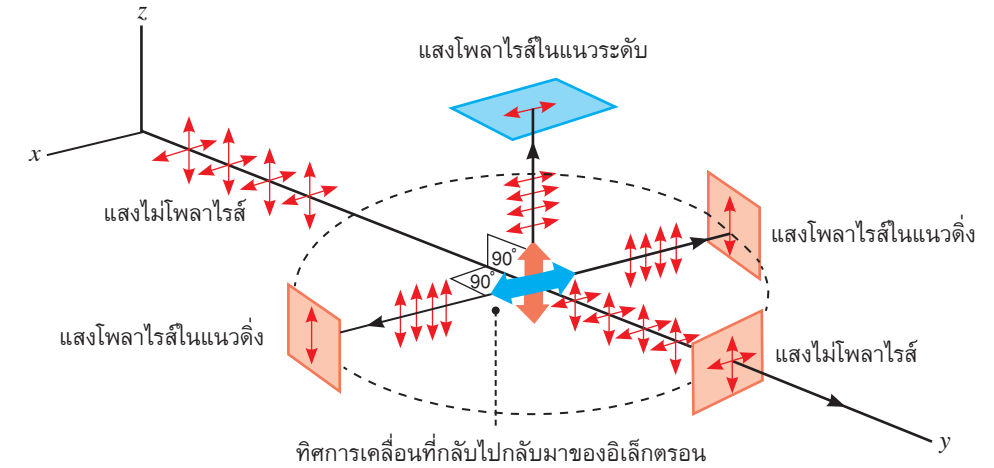


▲ ภาพที่ 5.16 แสงโพลาไรส์โดยการหักเหสองแนว
ที่มา : คลังภาพ อจท.

2.5 โพลาริเซชันโดยการกระเจิง

แสงอาทิตย์ที่เดินทางผ่านบรรยากาศโลกจะตกกระทบอนุภาคต่าง ๆ ในบรรยากาศโลก เช่น โมเลกุลของอากาศและอนุภาคอื่น ๆ อนุภาคเหล่านี้จะดูดกลืนแสงอาทิตย์ไว้ ส่งผลให้อิเล็กตรอนในโมเลกุลของอากาศเคลื่อนที่กลับไปกลับมาด้วยความเร่ง อิเล็กตรอนในโมเลกุลของอากาศจึงปลดปล่อยแสงที่โมเลกุลอากาศดูดกลืนไว้ออกมาในทุกทิศทาง ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้ เรียกว่า การกระเจิง (scattering)

แสงอาทิตย์ที่เดินทางผ่านบรรยากาศโลกเกิดการกระเจิงโดยโมเลกุลของอากาศในบรรยากาศโลก ซึ่งระนาบของการโพลาไรส์ของแสงที่กระเจิงโดยโมเลกุลอากาศสัมพันธ์กับทิศการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของอิเล็กตรอนในโมเลกุลอากาศ



▲ ภาพที่ 5.17 การกระเจิงของแสงไม่โพลาไรส์โดยโมเลกุลของอากาศ
ที่มา : คลังภาพ อจท.

จากภาพที่ 5.17 แสงอาทิตย์ซึ่งเป็นแสงไม่โพลาไรส์เดินทางในแนวแกน y เมื่อตกกระทบโมเลกุลของอากาศ สนามไฟฟ้าของแสงไม่โพลาไรส์ซึ่งมีทิศของการโพลาไรส์ต่าง ๆ รอบแนวแกน y จะทำให้อิเล็กตรอนในโมเลกุลของอากาศเคลื่อนที่กลับไปกลับมาทุกทิศทางในระนาบ xz โดยสนามไฟฟ้าของแสงที่มีทิศของการโพลาไรส์ในแนวระดับทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่กลับไปกลับมาในแนวระดับ และสนามไฟฟ้าของแสงที่มีทิศของการโพลาไรส์ในแนวตั้งทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่กลับไปกลับมาในแนวตั้ง อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่กลับไปกลับมาในแนวระดับจะให้แสงโพลาไรส์อยู่ในแนวระดับ และอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่กลับไปกลับมาในแนวตั้งจะให้แสงโพลาไรส์อยู่ในแนวตั้ง

Core Concept

ให้นักเรียนสรุปสาระสำคัญ เรื่อง โพลาริเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า



Topic Questions

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. แสงไม่โพลาไรส์ต่างจากแสงโพลาไรส์อย่างไร
2. แสงไม่โพลาไรส์ทำมุม 58 องศา กับแผ่นแก้วในแนวระดับ พบว่า แสงที่สะท้อนออกมาเป็นแสงโพลาไรส์ จงหาทิศทางหักเหของแก้ว และมุมที่แสงหักเหในแก้ว
3. แผ่นโพลาไรซ์ 2 แผ่น มีทิศของโพลาไรส์ ทำมุมกัน 90 องศา ถูกกั้นกลางด้วยสารละลายน้ำตาล เมื่อนำแสงที่ไม่โพลาไรส์ผ่านระบบนี้ แสงจะเป็นอย่างไร



โพลาริเซชัน
ของแสง



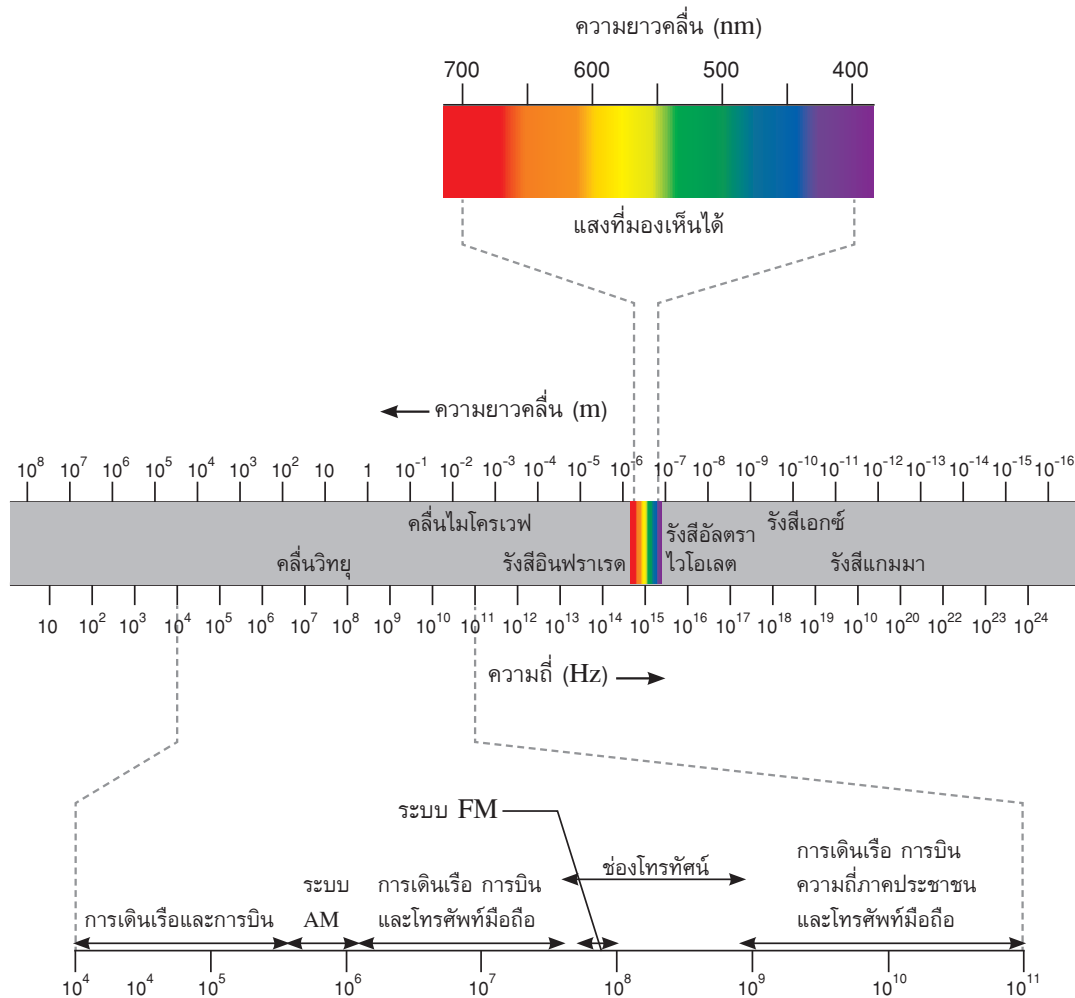


มนุษย์ใช้ประโยชน์จาก
คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
อย่างไรบ้าง

3 สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความถี่ต่อเนื่องกันเป็นช่วงกว้าง โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกย่านความถี่หรือความยาวคลื่น รวมกันเรียกว่า **สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า** (electromagnetic spectrum) ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในแต่ละช่วงความถี่นั้นจะมีชื่อเรียกต่าง ๆ กันตามแหล่งกำเนิดและวิธีการตรวจวัดคลื่น

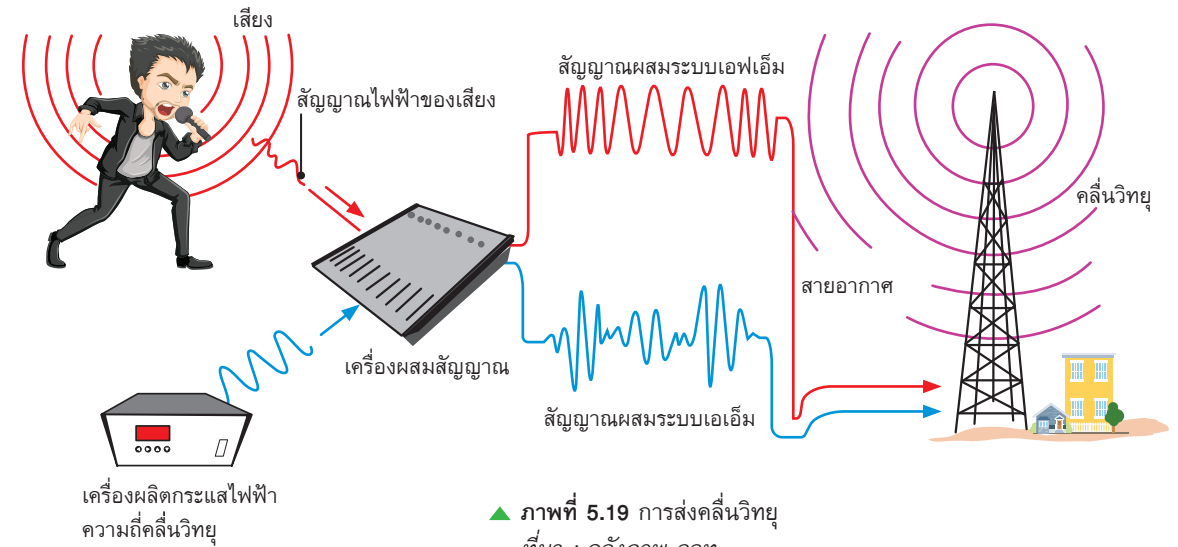
คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีหลายรูปแบบและมีชื่อเรียกต่าง ๆ กัน ซึ่งเรียงลำดับจากความถี่ต่ำไปสู่ความถี่สูง หรือเรียงลำดับจากความยาวคลื่นยาวไปสู่ความยาวคลื่นสั้น ดังภาพที่ 5.18



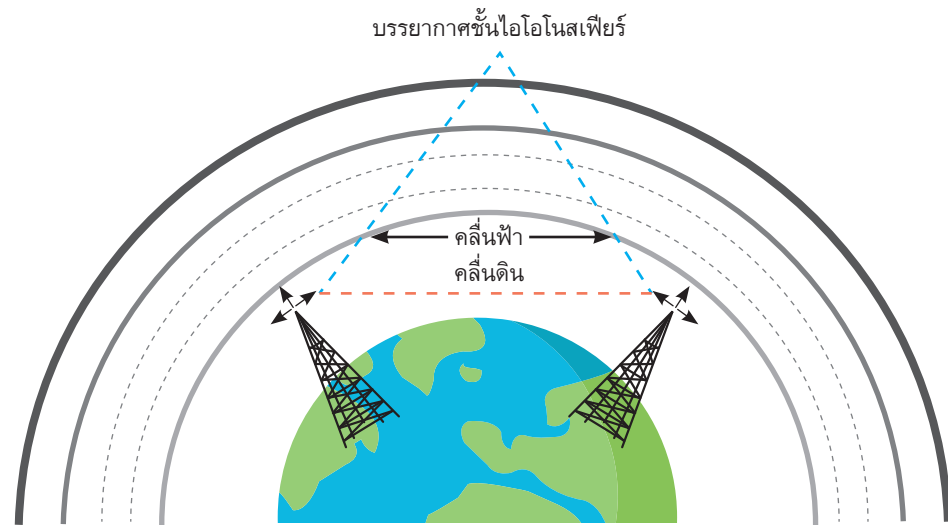
▲ ภาพที่ 5.18 สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
ที่มา : Halliday and Resnick (2014: 973)

3.1 คลื่นวิทยุ

คลื่นวิทยุ (radio wave) มีความถี่ในช่วง 10^4 – 10^9 เฮิรตซ์ คลื่นวิทยุผลิตโดยวงจรออสซิลเลเตอร์ซึ่งเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์และตรวจวัดได้จากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ใช้ประโยชน์ในระบบสื่อสารวิทยุและโทรทัศน์ โดยทั่วไปใช้ในการส่งข่าวสารและสาระบันทั้งจากสถานีส่งไปยังผู้รับโดยการแปลงสัญญาณข่าวสารให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าก่อนแล้วนำไปผสม (modulate) กับคลื่นวิทยุซึ่งเรียกว่า **คลื่นพาหะ** (carrier wave) โดยคลื่นผสมของสัญญาณไฟฟ้าของข่าวสารกับคลื่นพาหะจะส่งออกจากสายอากาศของสถานีส่งไปยังเครื่องรับ ซึ่งเครื่องรับจะแยกสัญญาณข่าวออกจากคลื่นพาหะ แล้วขยายสัญญาณข่าวสารนั้นก่อนจะแปลงกลับเป็นเสียงผ่านลำโพงหรือภาพและเสียงผ่านหน้าจอและลำโพงที่สถานีส่งนั้นส่งมา เนื่องจากคลื่นวิทยุมีอัตราเร็ว 3×10^8 เมตรต่อวินาที ทำให้เครื่องรับตามสถานที่ต่าง ๆ บนโลก แม้จะอยู่ใกล้หรือไกลจากสถานีส่งก็สามารถรับชมรายการออกอากาศรายการเดียวกันพร้อมกันได้ การผสมสัญญาณข่าวสารกับคลื่นวิทยุที่เป็นคลื่นพาหะซึ่งนิยมใช้กันในปัจจุบันมี 2 ระบบ คือ **ระบบเอเอ็ม** (Amplitude Modulation; AM) และ**ระบบเอฟเอ็ม** (Frequency Modulation; FM) ดังภาพที่ 5.19



สำหรับการกระจายเสียงทางวิทยุแบ่งเป็นระบบเอเอ็มและระบบเอฟเอ็มตามลักษณะการผสมคลื่น ระบบเอเอ็มใช้คลื่นวิทยุที่มีความถี่ช่วง 530–1,600 กิโลเฮิรตซ์ ขณะที่ระบบเอฟเอ็มใช้คลื่นวิทยุที่มีความถี่ช่วง 88–108 เมกะเฮิรตซ์ เนื่องจากการกระจายเสียงในระบบเอเอ็มมีความถี่ต่ำกว่าระบบเอฟเอ็มจึงสะท้อนได้ดีกว่าที่บรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ เครื่องรับวิทยุจึงรับคลื่นวิทยุเอเอ็มได้ 2 ทาง คือ รับได้ทั้ง**คลื่นดิน** (ground wave) เป็นคลื่นที่ส่งไปตรง ๆ ในระดับสายตา และ**คลื่นฟ้า** (sky wave) เป็นคลื่นที่ส่งออกจากสายอากาศชั้นสู่บรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ซึ่งอยู่สูงจากพื้นดิน 50–500 กิโลเมตร แล้วสะท้อนกลับมายังพื้นผิวโลกเข้าสู่เครื่องรับ ดังภาพที่ 5.20



▲ ภาพที่ 5.20 การส่งคลื่นวิทยุในลักษณะของคลื่นดินและคลื่นฟ้า
ที่มา : คลังภาพ อจท.

ขณะที่ระบบเอฟเอ็มใช้ความถี่สูงจึงสามารถทะลุผ่านบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ไปได้ ไม่สะท้อนกลับมายังพื้นผิวโลก เครื่องรับวิทยุรับได้เพียงคลื่นดิน การส่งกระจายเสียงระบบเอฟเอ็ม จึงส่งไปได้ไม่ไกลเท่าระบบเอเอ็มเนื่องจากผิวโค้งของโลกบังไว้ ในกรณีที่ต้องการให้รับฟังได้ใน ที่ซึ่งอยู่ไกลจากเครื่องส่งมาก ๆ สถานีส่งต้องใช้เสาอากาศสูง ๆ และมีสถานีถ่ายทอดเป็นระยะ ๆ ส่วนผู้รับต้องติดตั้งเสาอากาศในที่สูง

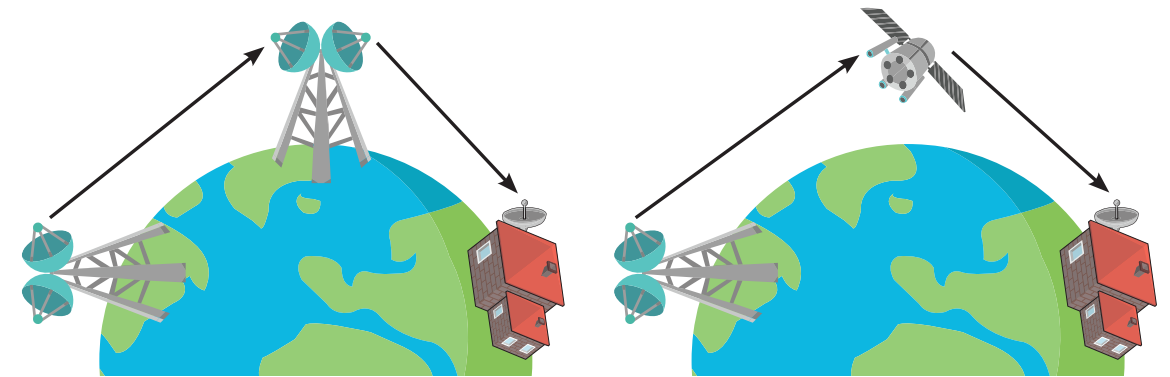
การกระจายเสียงระบบเอเอ็มถูกรบกวนง่ายกว่าระบบ เอฟเอ็ม เนื่องจากมีความถี่อยู่ในช่วงที่ถูกรบกวนได้ง่ายจาก คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน เช่น คลื่นวิทยุจากการเปิด-ปิดสวิตช์ไฟฟ้า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากฟ้าแลบ หรือฟ้าผ่า แต่ระบบเอฟเอ็มมีความถี่ต่างจากคลื่นวิทยุเหล่านี้มาก และไม่อาจผสมรวมกันได้จึงไม่ถูกรบกวน ทำให้ระบบเอฟเอ็ม มีคุณภาพเสียงดีกว่า ประกอบกับสัญญาณคลื่นผสมจากแต่ละ สถานีที่ส่งกระจายเสียงระบบเอเอ็มมีค่าแอมพลิจูดไม่แน่นอน เมื่อเข้าสู่เครื่องรับที่รับสัญญาณจากสถานีส่งที่ส่งกระจายเสียงด้วยความถี่ใกล้เคียงกันได้ จึงรบกวน กันได้ง่ายทำให้ได้ยินเสียงของแต่ละสถานีนั้นไม่ชัดเจน และหากคลื่นวิทยุลากกระทบสิ่งกีดขวาง ที่มีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่นจะสามารถเลี้ยวเบนผ่านสิ่งกีดขวางไปได้ แต่ถ้าสิ่งกีดขวาง มีขนาดใหญ่มาก เช่น ภูเขา คลื่นวิทยุจะไม่สามารถอ้อมผ่านสิ่งกีดขวางไปได้ บริเวณด้านหลัง สิ่งกีดขวางจึงเป็นจุดบอดคลื่น

คลื่นวิทยุในย่านความถี่นอกเหนือจากการส่งกระจายเสียงตามปกติ อาจนำไปใช้ในการสื่อสาร เฉพาะกรณี เช่น ใช้สื่อสารระหว่างเจ้าหน้าที่ตำรวจ ทหาร หน่วยงานทางราชการ

Physics in Real Life

ขณะฟังวิทยุในรถยนต์ หาก รถยนต์ขับเคลื่อนผ่านใต้ สะพานที่มีโครงสร้างเป็นเหล็ก สัญญาณจะหายไป เนื่องจาก โลหะมีสมบัติในการสะท้อนและ ดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดี

สำหรับการแพร่ภาพโทรทัศน์ใช้คลื่นโทรทัศน์ซึ่งมีความถี่ประมาณ 10^8 เฮิรตซ์ คลื่นโทรทัศน์ มีความถี่สูงจึงทะลุผ่านชั้นบรรยากาศไปนอกโลก การส่งคลื่นโทรทัศน์ในระยะไกล ๆ จึงต้องมีสถานี ถ่ายทอดคลื่นเป็นระยะ เพื่อรับคลื่นโทรทัศน์จากสถานีส่งในแนวตรง (คลื่นดิน) แล้วขยายสัญญาณ ให้แรงขึ้นก่อนส่งไปยังสถานีถ่ายทอดที่อยู่ถัดไป ดังภาพที่ 5.21 (ก) เนื่องจากสัญญาณเดินทาง เป็นเส้นตรง แต่ผิวโลกโค้ง สัญญาณจึงไปได้ไกลสุดเพียง 80 กิโลเมตร บนผิวโลก ซึ่งแก้ไขได้ โดยใช้คลื่นไมโครเวฟเป็นสื่อนำสัญญาณจากสถานีส่งไปยังดาวเทียมค้างฟ้า ดาวเทียมจะส่งคลื่น โทรทัศน์ต่อไปยังสถานีรับที่อยู่ไกล ๆ เกิน 80 กิโลเมตร ได้ เพราะไม่ถูกผิวโค้งของโลกบังไว้ ดังภาพที่ 5.21 (ข)



(ก) การใช้สถานีถ่ายทอดเป็นระยะ

(ข) การถ่ายทอดผ่านดาวเทียม

▲ ภาพที่ 5.21 การส่งคลื่นโทรทัศน์ในระยะทางไกล
ที่มา : คลังภาพ อจท.

คลื่นโทรทัศน์มีความยาวคลื่นสั้น จึงไม่สามารถเลี้ยวเบนอ้อมผ่านสิ่งกีดขวางขนาดใหญ่ ได้ เมื่อคลื่นตกกระทบรถยนต์หรือเครื่องบินจะสะท้อนกลับไปแทรกสอดกับคลื่นที่ส่งตรงมาจาก สถานีส่งแล้วเข้าสู่เครื่องรับโทรทัศน์ทำให้เกิดภาพซ้อนบนจอภาพ ซึ่งแก้ไขได้โดยใช้ระบบส่งสัญญาณ โทรทัศน์ทางสาย

ประโยชน์ของสัญญาณโทรทัศน์ ปัจจุบันจะพบว่าการใช้ประโยชน์จากสัญญาณโทรทัศน์นั้น มีมากมาย เช่น ในภาคครัวเรือน รับชมสัญญาณโทรทัศน์ผ่านเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ เพื่อรับ ฟังข้อมูลข่าวสารต่าง ๆ รวมทั้งสื่อบันเทิงต่าง ๆ ในหน่วยงานภาครัฐ ใช้ในการกระจายข่าวสาร ให้ประชาชนได้รับทราบข้อมูลที่ถูกต้อง ในหน่วยงานเอกชน ใช้ในการโฆษณาสินค้า หรือบริการ ต่าง ๆ ให้บุคคลหรือประชาชนได้รับทราบสินค้า หรือบริการขององค์กรนั้น ๆ เพื่อประโยชน์ทาง ธุรกิจและการลงทุนต่าง ๆ ของหน่วยงาน

Concept Question?

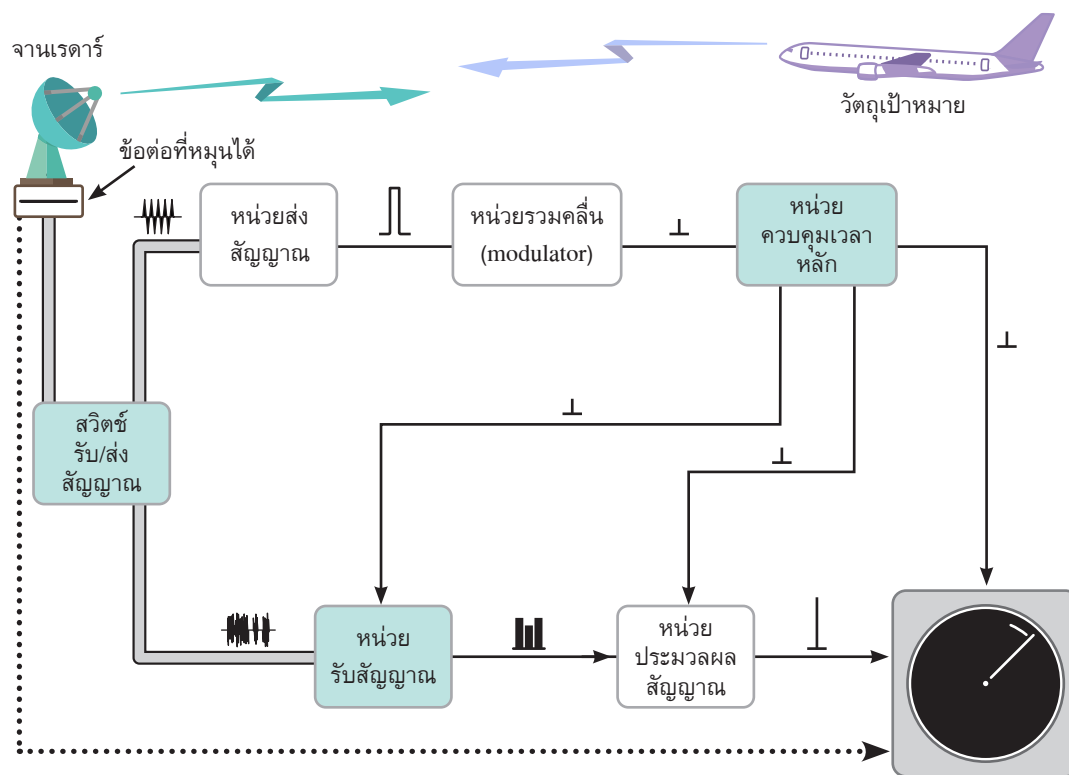
ปรากฏการณ์ใดที่ทำให้เกิดคลื่นรบกวน เครื่องรับวิทยุและโทรทัศน์

3.2 คลื่นไมโครเวฟ

คลื่นไมโครเวฟ (microwave) มีความถี่ประมาณ 10^9 – 10^{11} เฮิร์ตซ์ หรืออยู่ในช่วงความยาวคลื่น 10^{-3} – 0.3 เมตร มีสมบัติและการใช้ประโยชน์หลายประการ ดังนี้

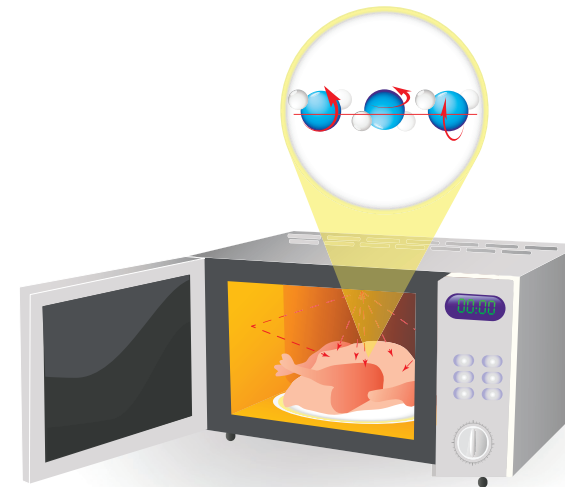
1. คลื่นไมโครเวฟมีความถี่อยู่ในช่วงที่ใช้ในการสื่อสารได้ โดยเฉพาะการสื่อสารทางไกล เช่น การติดต่อระหว่างโลกกับยานอวกาศหรือสถานีอวกาศ การสื่อสารผ่านระบบดาวเทียมโดยมีจานสายอากาศสำหรับส่งสัญญาณติดต่อกับดาวเทียมและถ่ายทอดสัญญาณ

2. คลื่นไมโครเวฟสะท้อนผิวโลหะได้ดี จึงนำไปใช้ในระบบเรดาร์ที่ใช้นำทางเครื่องบินหรือตรวจค้นหาตำแหน่งและทิศทางของวัตถุ โดยส่งคลื่นไมโครเวฟเป็นห้วง ๆ ออกจากแหล่งกำเนิดที่อยู่ใกล้ของจานเรดาร์ เมื่อคลื่นไมโครเวฟไปกระทบวัตถุจะสะท้อนกลับสู่จานเรดาร์ แล้วสะท้อนไปรวมกันที่โฟกัสของจานเรดาร์ซึ่งมีเครื่องรับไมโครเวฟติดตั้งอยู่ ดังภาพที่ 5.22 เมื่อทราบอัตราเร็วคลื่นและเวลาที่คลื่นเดินทางไป-กลับ จะสามารถหาระยะห่างของวัตถุจากแหล่งกำเนิดคลื่น (ที่อยู่ใกล้ของจานเรดาร์) ได้



▲ ภาพที่ 5.22 ระบบเรดาร์
ที่มา : คลังภาพ อจท.

3. คลื่นไมโครเวฟนำมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดความร้อน เช่น การทำอาหารโดยใช้เตาไมโครเวฟ โดยแหล่งกำเนิดคลื่นในเตาจะผลิตคลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่พอเหมาะ (ประมาณ 2,500 MHz) ที่ทำให้โมเลกุลของน้ำที่เป็นส่วนประกอบในอาหารสั่นอย่างรุนแรง น้ำจึงมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ความร้อนจากน้ำที่ถ่ายโอนไปยังอาหารส่งผลให้อาหารสุก



▲ ภาพที่ 5.23 โมเลกุลของน้ำเกิดการสั่นไหวตามความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ เกิดเป็นความร้อนจนสามารถทำให้อาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนสุก
ที่มา : คลังภาพ อจท.

4. ในทางการแพทย์มีการใช้คลื่นไมโครเวฟเพื่อการรักษาโรคด้วยความร้อน (diathermy) โดยมีหลักการ คือ ความร้อนที่ได้รับจากคลื่นไมโครเวฟจะทำให้การหมุนเวียนเลือดดีขึ้น เนื่องจากการขยายตัวของหลอดเลือดนำไปสู่กระบวนการซ่อมแซมของร่างกายที่มีการอักเสบหรือได้รับบาดเจ็บ ลักษณะของการที่สามารถนำคลื่นไมโครเวฟมาใช้ในการรักษา (microwave therapy) เช่น การบวมแดง เคล็ดขัดยอก ข้อกระดูกอักเสบ

3.3 รังสีอินฟราเรด

รังสีอินฟราเรด (infrared ray) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ในช่วง 10^{11} – 10^{14} เฮิร์ตซ์ ซึ่งมีความถี่ต่ำกว่าแสงสีแดง จึงเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า รังสีใต้แดง มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 1–1,000 ไมโครเมตร รังสีอินฟราเรดแบ่งตามช่วงค่าความยาวคลื่นได้ 3 ช่วง ได้แก่

1. อินฟราเรดใกล้ มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 0.7–1.5 ไมโครเมตร
2. อินฟราเรดปานกลาง มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 1.5–4.0 ไมโครเมตร
3. อินฟราเรดไกล มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 4.0–1,000 ไมโครเมตร

Physics in Real Life

การใช้เตาไมโครเวฟมีข้อควรระวัง คือ ไม่ควรนำโลหะเข้าไปในเตา เพราะโลหะจะสะท้อนคลื่นไมโครเวฟกลับสู่แหล่งกำเนิด ทำให้แหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟในเตาเสียหายได้ และถ้าโลหะมีรูปร่างโค้งหรือมีปลายแหลม อาจทำให้เกิดประกายไฟขึ้นในเตาไมโครเวฟและเกิดการลุกไหม้ได้

รังสีอินฟราเรดเมื่อตกกระทบวัตถุจะถูกดูดกลืนและทำให้วัตถุนั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากพลังงานจากรังสีอินฟราเรดที่วัตถุได้รับส่งผลให้อะตอมหรือโมเลกุลของวัตถุนั้นเร็วขึ้น หรือเกิดการเคลื่อนที่ หากเทียบรังสีอินฟราเรดกับคลื่นวิทยุ ร่างกายของมนุษย์สามารถรับรู้รังสีอินฟราเรดได้ดี โดยประสาทสัมผัสของผิวหนังจะรู้สึกร้อนเมื่อได้รับรังสีอินฟราเรด เช่น จะรู้สึกร้อนเมื่อนำมือไปอังใกล้ ๆ หลอดไฟที่ติดอยู่ หรือสัมผัสกับเตารีดขณะกำลังรีดผ้า รังสีอินฟราเรดนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายประการ ดังนี้

1. รังสีอินฟราเรดจากแสงแดดช่วยให้ความอบอุ่นแก่ร่างกายมนุษย์โดยไม่เกิดอันตราย
2. ใช้ในรีโมตคอนโทรลเพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องรับโทรทัศน์หรือเครื่องเสียง เช่น ใช้ในการเปิด-ปิดเครื่อง การเปลี่ยนช่อง การปรับระดับเสียง
3. รังสีอินฟราเรดความเข้มสูงจากเลเซอร์ไดโอด (infrared laser diode) ใช้ในการอ่านข้อมูลในแผ่นซีดีและการบันทึกข้อมูลลงในแผ่นซีดี
4. อุณหภูมิภายในร่างกายมนุษย์มีค่าประมาณ 37 องศาเซลเซียส จึงแผ่รังสีอินฟราเรดออกมาได้ จากผลข้อนี้ทำให้มีผู้ประดิษฐ์เทอร์มอมิเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิของร่างกาย เรียกว่า **อินฟราเรดเทอร์มอมิเตอร์ (infrared Thermometer)** หรือเครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรดขึ้นมาใช้งาน ซึ่งเป็นวิธีวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส ดังภาพที่ 5.24 (ก) ข้อดีของการวัดอุณหภูมิแบบนี้ คือ เครื่องวัดปราศจากการปนเปื้อนของสิ่งสกปรกหรือเชื้อโรค

นอกจากวัดอุณหภูมิของร่างกายแล้ว อินฟราเรดเทอร์มอมิเตอร์ยังใช้วัดอุณหภูมิในพื้นที่ที่ยากต่อการเข้าถึงหรือพื้นที่อันตราย เช่น พื้นที่แคบ พื้นที่อุณหภูมิสูง พื้นที่ไฟฟ้าแรงสูง ดังภาพที่ 5.24 (ข) โดยต้องเลือกใช้อินฟราเรดเทอร์มอมิเตอร์ที่มีย่านการวัดอุณหภูมิที่เหมาะสมและครอบคลุมช่วงอุณหภูมิของวัตถุที่ต้องการวัด



(ก)



(ข)

▲ ภาพที่ 5.24 การวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสโดยใช้อินฟราเรดเทอร์มอมิเตอร์
ที่มา : คลังภาพ อจท.

5. ในทางการทหารจะนำรังสีอินฟราเรดมาใช้ควบคุมจรวดนำวิถีให้เคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ โดยจรวดจะติดตามเป้าหมายจากรังสีอินฟราเรดที่แผ่ออกมาจากแหล่งความร้อนของเป้าหมาย แล้วนำสัญญาณนั้นไปควบคุมการเคลื่อนที่ของจรวดต่อไป

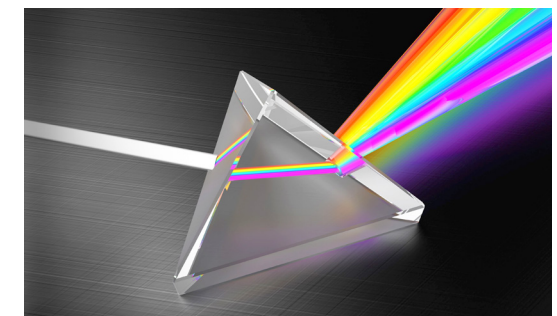
6. ในทางอุตสาหกรรมการใช้รังสีอินฟราเรดในการอบสีที่ทับซ้อนกันหลาย ๆ ชั้น เช่น การอบสีรถยนต์

7. รังสีอินฟราเรดจะทะลุผ่านเมฆหมอกที่หนาเกินกว่าแสงธรรมดาดำเนินได้ ประกอบกับสิ่งต่าง ๆ แผ่รังสีอินฟราเรดได้ไม่เท่ากัน จึงมีการนำวิธีถ่ายภาพด้วยรังสีอินฟราเรดไปใช้ในการถ่ายภาพพื้นผิวโลกจากที่สูง เช่น เครื่องบิน ดาวเทียม ซึ่งเรียกว่า **ภาพถ่ายทางอากาศ (aerial photography)** โดยภาพถ่ายทางอากาศจะบอกถึงความแตกต่างของบริเวณที่เป็นพื้นผิวน้ำ ภูเขา ป่าไม้ และแหล่งแร่ได้ จากผลของการแผ่รังสีอินฟราเรดที่แตกต่างกัน ภาพถ่ายทางอากาศจึงอาจใช้ในการศึกษาการแปรสภาพของป่าไม้ การสำรวจแหล่งแร่หรือทรัพยากรธรรมชาติอื่น ๆ การตรวจหาไฟป่าหรือพายุ

3.4 แสงที่มองเห็นได้

แสงที่มองเห็นได้ (visible light) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในช่วง 10^{14} – 10^{15} เฮิรตซ์ และมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 400–700 นาโนเมตร ซึ่งประสาทตาของมนุษย์จะไวต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงนี้มาก โดยวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงมาก ๆ จะเปล่งแสงที่ตามองเห็นได้ เช่น ดวงอาทิตย์ หลอดไฟ เมื่อแสงขาวหักเหผ่านปริซึมหรือสเปกโตรสโคปจะแยกออกเป็นแสงสีต่าง ๆ เรียงชิดติดกันเป็นแถบสี เรียกว่า **สเปกตรัมของแสงขาว** ประกอบด้วยแสงสีม่วง แสงสีน้ำเงิน แสงสีฟ้า แสงสีเขียว แสงสีเหลือง แสงสีส้ม และแสงสีแดง ดังภาพที่ 5.25

เมื่อวัตถุได้รับความร้อนจนมีอุณหภูมิสูง วัตถุจะแผ่รังสีที่มีความยาวคลื่นที่ตามนุษย์มองเห็นได้ โดยแสงที่มีความยาวคลื่นประมาณ 700 นาโนเมตร ประสาทตาจะรับรู้เป็นแสงสีแดง ส่วนแสงที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า ประสาทตาจะรับรู้เป็นแสงสีส้ม สีเหลือง สีเขียว สีน้ำเงิน จนถึงแสงสีม่วง ซึ่งมีความยาวคลื่นประมาณ 400 นาโนเมตร โดยแสงสีของวัตถุที่เปล่งออกมาเนื่องจากความร้อนนั้นเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงอุณหภูมิของวัตถุนั้นได้ อย่างน้อยทำให้ทราบว่าวัตถุใดร้อนหรือมีอุณหภูมิสูงกว่า เช่น ดาวฤกษ์สีน้ำเงินจะมีอุณหภูมิสูงกว่าดาวฤกษ์สีแดง เปลวไฟจากเตาแก๊สมีอุณหภูมิสูงกว่าเปลวไฟจากเตาถ่าน



▲ ภาพที่ 5.25 สเปกตรัมของแสงขาวที่ส่องผ่านปริซึม
ที่มา : คลังภาพ อจท.

แสงขาวจากแหล่งกำเนิด เช่น แสงจากดวงอาทิตย์ แสงจากหลอดไฟชนิดต่าง ๆ เป็นแสงที่กระจายออกได้ทุกทิศทาง ซึ่งมีความถี่แตกต่างกันไป แต่มีแหล่งกำเนิดอีกชนิดหนึ่งที่ทำให้แสงที่มีความถี่เดียวกัน เคลื่อนที่ไปทางเดียวกัน และมีความเข้มสูง เราเรียกแสงนี้ว่า เลเซอร์ (laser) ซึ่งเป็นแสงที่มีความยาวคลื่นเพียงขนาดเดียว จึงมีสมบัติเพียงอย่างเดียว เลเซอร์สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ ได้อย่างกว้างขวาง ดังนี้

1. ด้านการสื่อสารและโทรคมนาคมผ่านเส้นใยนำแสง โดยส่งสัญญาณแสงเลเซอร์ที่เป็นสัญญาณดิจิทัลไปตามเส้นใยนำแสง ซึ่งเส้นใยนำแสงส่งข้อมูลในระยะไกลโดยไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์พักและขยายสัญญาณเป็นระยะ ๆ เพราะการลดทอนของสัญญาณต่ำ ทำให้ไม่มีสัญญาณรบกวน มีความถูกต้องและความปลอดภัยของข้อมูลสูง นิยมใช้ในการสื่อสารด้วยความเร็วสูงและการเชื่อมต่อระยะไกล เช่น การสื่อสารผ่านระบบอินเทอร์เน็ต โดยข้อมูลที่ส่งมีทั้งข้อมูลที่เป็นตัวอักษร ข้อความ เสียง ภาพ และภาพเคลื่อนไหว
2. ด้านทางอุตสาหกรรม ใช้ในกระบวนการผลิต เช่น การเชื่อม การตัด การเจาะ การวัด การทดสอบ การตรวจสอบ การควบคุมการผลิต
3. ด้านการศึกษา การวิจัยและพัฒนา เช่น ใช้เลเซอร์ในการศึกษาการเลี้ยวเบนและการแทรกสอดของแสง ศึกษาอะตอม ปฏิกริยาทางเคมี การแยกไอโซโทป
4. ด้านการแพทย์และศัลยกรรม ใช้ในการผ่าตัดแทนมีดผ่าตัด เช่น การผ่าตัดเนื้องอกและมะเร็ง การทำเลสิกโดยใช้เลเซอร์ปรับสภาพกระจกตาเพื่อแก้ไขสายตาสั้นหรือสายตายาว รวมถึงการทำศัลยกรรมตกแต่ง ซึ่งไม่ทำให้เนื้อเยื่อรอบข้างถูกทำลายหรือเกิดความเสียหาย ผู้ป่วยจึงเสียเลือดน้อยและฟื้นตัวเร็วหลังการผ่าตัด



▲ ภาพที่ 5.26 เลเซอร์ใช้ในด้านจักษุแพทย์ เช่น การผ่าตัดต่อ เส้นเลือดในจอประสาทตาอุดตัน รวมทั้งการรักษาปัญหาสายตาสั้นและยาวผิดปกติ
ที่มา : คลังภาพ อจท.



▲ ภาพที่ 5.27 เลเซอร์สามารถเจาะทะลุโลหะได้ จึงนำมาใช้ตัดหรือเจาะวัสดุต่าง ๆ ซึ่งจะได้ผลงานที่มีความละเอียดสูงมาก
ที่มา : คลังภาพ อจท.

3.5 รังสีอัลตราไวโอเล็ต

รังสีอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet ray) หรือรังสียูวี เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในช่วง 10^{15} – 10^{18} เฮิรตซ์ มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า รังสีเหนือม่วง เนื่องจากมีความถี่สูงกว่าแสงสีม่วงซึ่งเป็นแสงที่มีความถี่สูงสุด รังสีอัลตราไวโอเล็ตมีความยาวคลื่นสั้นเกินกว่าที่ตามนุษย์จะรับรู้ได้ โดยปกติรังสีอัลตราไวโอเล็ตไม่สามารถเคลื่อนที่ทะลุผ่านสิ่งกีดขวางหนา ๆ ได้ แต่สามารถทะลุผ่านแก้วได้เล็กน้อยและทะลุผ่านควอตซ์ได้ดี โดยแหล่งกำเนิดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่สำคัญ คือ ดวงอาทิตย์

รังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ส่วนใหญ่จะถูกโอโซน (ozone; O_3) ในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ (stratosphere) ดูดกลืนไว้ ชั้นโอโซนจึงเป็นเหมือนเกราะป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ผ่านลงมาถึงพื้นผิวโลกได้มากขึ้นซึ่งรังสีนี้จะกระตุ้นให้ผิวหนังมนุษย์ผลิตวิตามินดี หากได้รับมากเกินไปผิวหนังจะมีสีคล้ำขึ้น และอาจทำให้เกิดมะเร็งผิวหนัง

นอกจากนี้ รังสีอัลตราไวโอเล็ตสามารถผลิตขึ้นได้จากการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในหลอดที่บรรจุไอปรอทไว้ อะตอมปรอทที่ได้รับพลังงานจากอิเล็กตรอนในกระแสไฟฟ้าจะปลดปล่อยรังสีอัลตราไวโอเล็ตออกมา โดยหลักการนี้นำไปใช้ในการผลิต อัลตราไวโอเล็ตในหลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดแบล็กไลท์ และหลอดรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ในหลอดแบล็กไลท์ที่มีรูปร่างคล้ายกับหลอดเรืองแสงทั่วไปแต่มีสีดำ เมื่อรังสีอัลตราไวโอเล็ตตกกระทบสารเรืองแสงที่ฉาบไว้ที่ผิวในของหลอด สารเรืองแสงจะดูดกลืนรังสีไว้ แล้วแผ่รังสีออกมาเป็นแสงสีน้ำเงินอ่อน ๆ หลอดแบล็กไลท์นำไปใช้ในงานโฆษณา การแสดงละคร การตกแต่งร้านอาหาร งานปาร์ตี้เรืองแสง และการตรวจสอบธนบัตร ดังภาพที่ 5.28



▲ ภาพที่ 5.28 หลอดแบล็กไลท์และการใช้ประโยชน์
ที่มา : คลังภาพ อจท.

Physics
in Real Life

ตาของคนเราไม่อาจมองเห็น รังสีอัลตราไวโอเล็ตได้ เพราะ รังสีจะถูกดูดกลืนโดยกระจกตา (cornea) ก่อนจะตกกระทบ จอตา (retina) ถ้ากระจกตา ได้รับรังสีมาก ๆ อาจทำให้เกิด ต้อกระจก (cataract) ได้ จึงไม่ควรมองดวงอาทิตย์โดยตรง หรือมองแสงที่เกิดจากการเชื่อม ไฟฟ้า

ในหลอดรังสีอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งตัวหลอดทำจากควอตซ์ รังสีที่เกิดขึ้นจะทะลุผ่านหลอดออกมาเป็นแสงสีม่วงจางๆ นำไปใช้ในงานเฉพาะด้าน เช่น ใช้ฆ่าเชื้อโรคในห้องผ่าตัด ใช้ฆ่าเชื้อโรคในการทำน้ำดื่ม และยังใช้ในด้านความ



▲ ภาพที่ 5.29 หลอดรังสีอัลตราไวโอเล็ตและการใช้ประโยชน์
ที่มา : คลังภาพ อจท.

3.6 รังสีเอกซ์

รังสีเอกซ์ (X-rays) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในช่วง $10^{17}-10^{21}$ เฮิรตซ์ เกิดจากการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนของอะตอม หรือเกิดจากอิเล็กตรอนที่มีความเร็วสูงมาก ถูกหน่วงให้ช้าลงหรือหยุดลงเมื่อชนเป้าโลหะ และจากสมบัติดังกล่าวจึงนำรังสีเอกซ์ไปใช้ประโยชน์ในงานด้านต่าง ๆ ดังนี้

1. ทางทางการแพทย์ใช้ในการถ่ายภาพรังสีเอกซ์ (radiography) เพื่อตรวจดูอวัยวะภายในร่างกายประกอบกับการวินิจฉัยโรค เช่น การตรวจหามะเร็งปอด นิ่วในกระเพาะปัสสาวะ การถ่ายภาพโครงสร้างกระดูกและฟัน รวมทั้งในบางกรณีสามารถใช้ในการถ่ายภาพเนื้อเยื่อบางชนิด เช่น สมองและกล้ามเนื้อได้
2. ทางอุตสาหกรรมใช้ในการตรวจสอบรอยร้าวหรือรอยร้าวของโลหะ และตรวจสอบภายในของเครื่องจักรกล
3. ใช้ตรวจหาอาวุธและสิ่งผิดกฎหมายโดยไม่ต้องเปิดกระเป๋าเดินทางหรือหีบห่อสัมภาระ
4. ในการศึกษาโครงสร้างของสารและวัสดุโดยอาศัยการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ผ่านอะตอม (X-ray diffraction) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างผลึก แนวโน้มการเรียงตัวของผลึก และความสมบูรณ์ของผลึก

รังสีเอกซ์เป็นอันตรายต่อเซลล์ของสิ่งมีชีวิตจึงต้องระวังอย่าให้ได้รับรังสีเอกซ์ในปริมาณมากจนถึงค่าที่ทำให้เกิดอันตราย

H.O.T.S.

คำถามท้าทาย การคิดขั้นสูง

รังสีเอกซ์ช่วยให้มองเห็น
อวัยวะภายในได้อย่างไร



3.7 รังสีแกมมา

รังสีแกมมา (gamma ray) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่มากกว่ารังสีเอกซ์ และมีช่วงคลื่นที่สั้นมาก ทำให้มีพลังงานสูงที่สุดเมื่อเทียบกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดอื่น ๆ รังสีแกมมาอาจปลดปล่อยออกจากปฏิกิริยานิวเคลียร์บางปฏิกิริยา หรือปลดปล่อยมาจากการเร่งอนุภาคที่มีประจุในเครื่องเร่งอนุภาคพลังงานสูง หรือออกมาจากการระเบิดของระเบิดนิวเคลียร์ นอกจากนี้ยังมีรังสีแกมมาที่มาจากอวกาศและจากรังสีคอสมิก รังสีแกมมามีอำนาจทะลุทะลวงสูงมาก จึงอันตรายมากกว่ารังสีเอกซ์

ในทางการแพทย์ได้นำรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 (Co-60) และซีเซียม-137 (Cs-137) มาใช้ในการรักษาโรคมะเร็ง โดยการฉายรังสีในบริเวณที่เป็นโรค และใช้สำหรับฆ่าเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งแบคทีเรียบางชนิดเป็นเชื้อโรคที่ขอบอาศัยอยู่ในที่อับชื้นหรือในภาชนะปิด จึงใช้รังสีแกมมาฉายทะลุผ่านภาชนะเหล่านั้น เพราะรังสีแกมมามีอำนาจทะลุทะลวงสูง สามารถทำลายเซลล์ของเชื้อโรคร้ายนั้นได้

รังสีแกมมายังใช้ในการศึกษาการดูดซึมแร่ธาตุของรากพืชและการสังเคราะห์ด้วยแสง การรักษาโรคพืชบางชนิด การเปลี่ยนแปลงพันธุ์พืช และการฉายลงบนผลผลิตทางการเกษตรบางชนิดเพื่อให้สามารถเก็บรักษาผลผลิต

Physics in Real Life

การฉายรังสีลงบนผลิตภัณฑ์อาหาร เป็นการแปรรูปอาหารโดยไม่ใช้ความร้อน เพื่อฆ่าจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ยืดอายุการเก็บรักษา สะดวกการสุก ลดปริมาณปรสิตร้าย การยับยั้งการงอกระหว่างการเก็บรักษา และยับยั้งการแพร่พันธุ์ของแมลง

Core Concept

ให้นักเรียนสรุปสาระสำคัญ เรื่อง
สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า



Topic Questions

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบใดบ้างที่ใช้ในการสื่อสารได้
2. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบใดที่ประสาทสัมผัสของผิวหนังรับรู้ได้โดยตรง
3. เตาไมโครเวฟทำให้อาหารร้อนขึ้นได้อย่างไร
4. การตรวจหาตำแหน่งของวัตถุด้วยเรดาร์อาศัยสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบใด
5. การเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้าทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบใด



อุปกรณ์ที่ทำงานโดย
อาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
มีอะไรบ้าง

4 อุปกรณ์ที่ทำงานโดยอาศัย คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

นอกจากใช้ประโยชน์จากพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยตรงแล้ว มนุษย์มีวิธีใช้ประโยชน์จากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในลักษณะอื่นอีกหลายแบบ ได้แก่ การสร้างอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ทำงานโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น เครื่องฉายรังสีเอกซ์ เครื่องควบคุมระยะไกล เครื่องถ่ายภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ เครื่องถ่ายภาพการสั่นพ้องแม่เหล็ก เครื่องสแกนรังสีเอกซ์ เครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นโลก

4.1 เครื่องควบคุมระยะไกล

เครื่องควบคุมระยะไกลหรือรีโมตคอนโทรล (remote control) หรือเรียกกันทั่วไปว่า รีโมต (remote) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องมือหรืออุปกรณ์อื่น ๆ ซึ่งเป็นการควบคุมจากระยะไกลแบบไร้สาย คือ ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสื่อกลางในการส่งสัญญาณ โดยรีโมตแบ่งตามชนิดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้เป็นสื่อกลางในการส่งสัญญาณเป็น 2 ชนิด ดังนี้

1. รีโมตอินฟราเรด (IR remote control) หรือรีโมตไออาร์ เป็นรีโมตที่ใช้แสงอินฟราเรดเป็นสื่อกลางในการส่งสัญญาณ ส่วนประกอบหลักของรีโมตไออาร์ คือ แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์ส่งสัญญาณอินฟราเรด (IR transmitter) อุปกรณ์ประมวลผล (microprocessor) และหลอดแอลอีดี (1 หลอด หรือ 2 หลอด)

รีโมตไออาร์ที่พบเห็นได้ทั่วไป คือ รีโมตที่ใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน เช่น โทรทัศน์ เครื่องเสียง เครื่องเล่นดีวีดี เครื่องปรับอากาศ โดยในเครื่องใช้ไฟฟ้าเหล่านี้ต้องติดตั้งอุปกรณ์รับสัญญาณอินฟราเรด (IR receiver) และอุปกรณ์ประมวลผล

2. รีโมตคลื่นวิทยุ (RF remote control) หรือรีโมตอาร์เอฟ เป็นรีโมตใช้คลื่นวิทยุเป็นสื่อกลางในการส่งสัญญาณ ส่วนประกอบหลักของรีโมตอาร์เอฟ คือ แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์ส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ และอุปกรณ์ประมวลผล รีโมตอาร์เอฟที่พบเห็นได้ทั่วไป ได้แก่ กุญแจรีโมตที่ใช้เปิด-ปิดประตูรถยนต์ รีโมตที่ใช้เปิด-ปิดประตูโรงเก็บรถ รีโมตที่ใช้เปิด-ปิดประตูรั้วบ้าน



▲ ภาพที่ 5.30 กุญแจรีโมตที่ใช้คลื่นวิทยุเปิด-ปิดประตูรถยนต์
ที่มา : คลังภาพ อจท.

รีโมตอาร์เอฟมีหลักการทำงานเหมือนรีโมตไออาร์ แต่เปลี่ยนจากส่งสัญญาณอินฟราเรดเป็นการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุที่สอดคล้องกับคำสั่งตัวเลขฐานสองของปุ่มกดไปยังเครื่องรับคลื่นวิทยุในอุปกรณ์ที่ควบคุมการทำงานโดยรีโมตอาร์เอฟ เครื่องรับคลื่นวิทยุจะถอดรหัสของสัญญาณที่ได้รับ ทำให้อุปกรณ์นั้นรับรู้และเข้าใจคำสั่งที่ได้รับ

ปัญหาของรีโมตอาร์เอฟ คือ การแทรกสอดกับสัญญาณคลื่นวิทยุจากแหล่งกำเนิดอื่น เช่น โทรศัพท์มือถือ วิทยุสื่อสาร (walkie-talkie) สัญญาณไวไฟ (Wi-Fi) ข้อได้เปรียบของรีโมตอาร์เอฟที่เหนือกว่ารีโมตไออาร์ คือ ระยะทำการ เพราะรีโมตอาร์เอฟส่งสัญญาณได้ไกลถึง 100 ฟุต (30.48 เมตร) และสัญญาณสามารถทะลุผ่านผนังและตู้กระจกได้

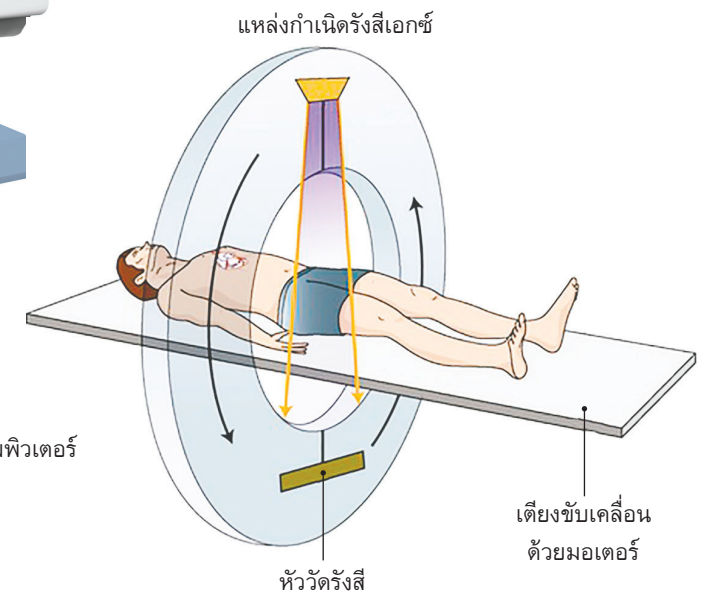
4.2 เครื่องถ่ายภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์

เครื่องถ่ายภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์หรือเครื่องซีทีสแกน (CT scanner) พัฒนามาจากเครื่องเอกซเรย์ดิจิทัล (ไม่ใช่ฟิล์ม แสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์) ที่สร้างภาพอวัยวะทั้งก้อนเหมือนเครื่องเอกซเรย์ธรรมดา (ใช้ฟิล์ม) มาเป็นการสร้างภาพภาคตัดขวาง (cross section) ของลำตัว

ผู้รับการตรวจ ทำให้ได้ภาพอวัยวะเป็นชั้น ๆ หนา 0.2–1.0 มิลลิเมตรตามขนาดอวัยวะที่ตรวจ ลักษณะเหมือนชอยอวัยวะนั้นเป็นแผ่นบาง ๆ แล้วนำมาถ่ายภาพรังสีเอกซ์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ธรรมดา โดย CT ย่อมาจาก Computed Tomography ซึ่งหมายถึง การถ่ายภาพรังสีส่วนตัดโดยอาศัยคอมพิวเตอร์



(ก) ลักษณะภายนอกของเครื่องซีทีสแกน

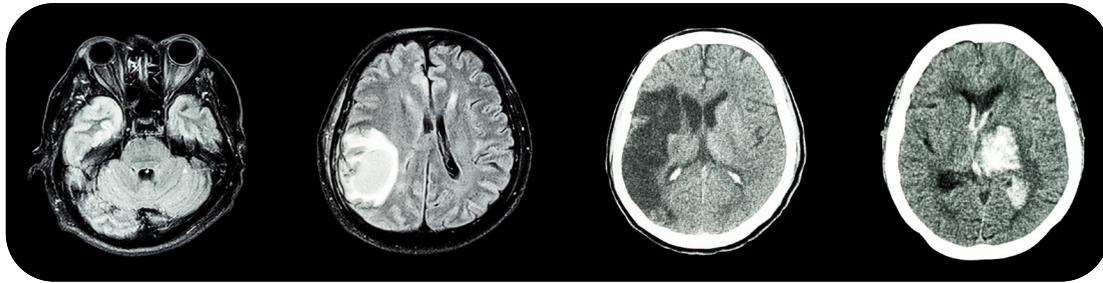


▲ ภาพที่ 5.31 เครื่องถ่ายภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์
ที่มา : คลังภาพ อจท.

(ข) ส่วนประกอบหลักของเครื่องซีทีสแกน

เครื่องซีทีสแกนแบ่งหน่วยงานทำงานเป็น 3 หน่วย คือ หน่วยสแกน หน่วยเก็บและประมวลผลข้อมูล และหน่วยแสดงผล โดยหน่วยสแกน ประกอบด้วยหลอดรังสีเอกซ์ ตัวบังคับรังสีเอกซ์ และหัววัดรังสีเอกซ์ สำหรับเครื่องซีทีสแกนที่ใช้งานกันในปัจจุบันเป็นเครื่องซีทีสแกนที่มีลักษณะภายนอก ดังภาพที่ 5.31 (ก)

การทำซีทีสแกน หลอดรังสีเอกซ์จะฉายลำรังสีเอกซ์รูปพัดผ่านตัวผู้รับการตรวจไปยังหัววัดรังสีเอกซ์ซึ่งอยู่ตรงกันข้าม โดยหลอดรังสีเอกซ์และหัววัดรังสีเอกซ์จะหมุนไปรอบตัวผู้รับการตรวจพร้อมกัน ดังภาพที่ 5.31 (ข) หัววัดรังสีเอกซ์จะส่งสัญญาณความเข้มรังสีเอกซ์ในมุมต่าง ๆ ขณะหมุนรอบตัวผู้รับการตรวจที่ผ่านการแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล แล้วให้หน่วยเก็บและประมวลผลข้อมูลทำการวิเคราะห์และสร้างภาพภาคตัดขวางของร่างกายหรืออวัยวะที่ตำแหน่งนั้นแล้วจัดเก็บไว้ จากนั้นคอมพิวเตอร์จะทำให้เตียงขยับไปข้างหน้าเล็กน้อยเพื่อทำการสแกนที่ตำแหน่งใหม่จนครบทุกภาคตัดขวางที่กำหนด



▲ ภาพที่ 5.32 ภาพซีทีสแกนแสดงลักษณะของเลือดออกในเนื้อสมอง
ที่มา : คลังภาพ อจท.

ภาพซีทีสแกนมีรายละเอียดและชัดเจนกว่าถ่ายภาพรังสีเอกซ์จากเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป ทำให้เห็นความผิดปกติได้ดีกว่า ประกอบกับสมบัติการดูดกลืนรังสีเอกซ์ที่แตกต่างกันของเนื้อเยื่อชนิดต่าง ๆ เลือด น้ำ และอากาศ ทำให้ส่วนต่าง ๆ ของภาพซีทีสแกนมีความแตกต่างกันจนสามารถแยกส่วนที่เป็นรอยโรคออกจากส่วนเนื้อเยื่อปกติได้ เช่น ภาพซีทีสแกนของสมองในภาพที่ 5.32 ช่วยให้สังเกตเห็นบริเวณเลือดออกในเนื้อสมอง (บริเวณสีขาวในภาพ)

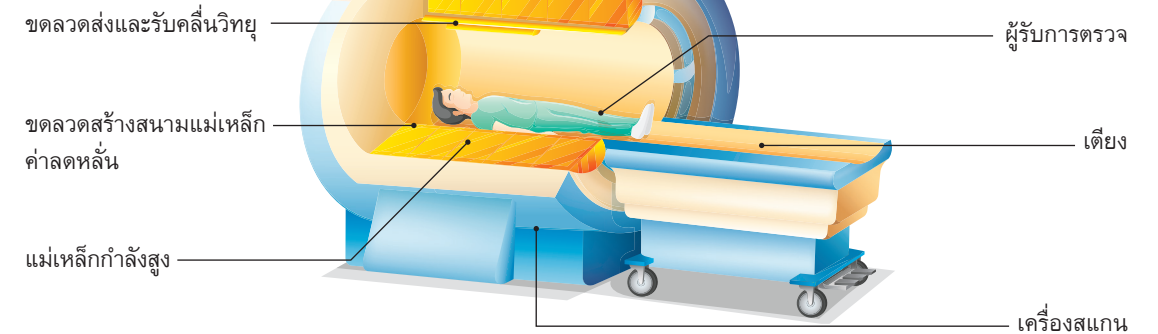
จุดประสงค์หลักในการทำซีทีสแกน คือ การตรวจหาความผิดปกติในเนื้อเยื่อ กระดูก หรือโครงสร้างของร่างกาย และใช้ช่วยในการบอกตำแหน่งที่แม่นยำในการวางแผนการผ่าตัดหรือการฉายรังสีรักษา โดยการทำซีทีสแกนนิยมใช้กับการตรวจร่างกาย บริเวณศีรษะและคอ บริเวณช่องท้อง บริเวณช่องอกและกระดูกสันหลัง ส่วนกล้ามเนื้อและกระดูกส่วนอื่น ๆ ไม่นิยมใช้การตรวจด้วยวิธีนี้

Concept Question?

ภาพที่ได้จากเครื่องถ่ายภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ต่างจากเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปอย่างไร

4.3 เครื่องถ่ายภาพการสั่นพ้องแม่เหล็ก

เครื่องถ่ายภาพการสั่นพ้องแม่เหล็ก (magnetic resonance scanner) หรือเครื่องเอ็มอาร์ไอ (MRI scanner) เป็นอุปกรณ์ถ่ายภาพภาคตัดขวางเนื้อเยื่อหรืออวัยวะของร่างกายเช่นเดียวกับเครื่องซีทีสแกนที่ใช้สนามแม่เหล็กและคลื่นวิทยุร่วมกับคอมพิวเตอร์สร้างภาพเสมือนจริงของเนื้อเยื่อหรืออวัยวะ ภาพที่ได้มีรายละเอียดเหมือนภาพถ่ายจริง จึงให้ข้อมูลได้มากกว่าเครื่องซีทีสแกน ทำให้สามารถจำแนกสมบัติที่แตกต่างกันของเนื้อเยื่อได้ดีกว่าและสามารถตรวจได้ทุกทิศทางและทุกระนาบโดยไม่ต้องเปลี่ยนท่าทางของผู้รับการตรวจ และเนื่องจากไม่ใช้รังสีเอกซ์หรือรังสีใด ๆ ใช้เพียงสนามแม่เหล็กและคลื่นวิทยุเครื่องเอ็มอาร์ไอจึงเป็นอุปกรณ์บันทึกภาพเพื่อการวินิจฉัยที่ปลอดภัยที่สุดของวงการแพทย์



▲ ภาพที่ 5.33 ลักษณะภายนอกและส่วนประกอบภายในของเครื่องเอ็มอาร์ไอ
ที่มา : คลังภาพ อจท.

เครื่องเอ็มอาร์ไอมีส่วนประกอบสำคัญ 4 ส่วน คือ แม่เหล็กกำลังสูง ขดลวดแม่เหล็กเกรเดียนต์ (gradient coil) ขดลวดส่งและรับคลื่นวิทยุ (radio frequency coil) และคอมพิวเตอร์ ดังภาพที่ 5.33 โดยส่วนประกอบแต่ละส่วนทำหน้าที่แตกต่างกัน ดังนี้

1. แม่เหล็กกำลังสูง เป็นแม่เหล็กตัวนำยิ่งยวด (superconductive magnet) อยู่ภายในโครงสร้างรูปโดนัท (donut shape) ขณะใช้งานต้องหล่อเย็นด้วยไนโตรเจนเหลวหรือฮีเลียมเหลวให้อยู่ที่อุณหภูมิวิกฤต (ประมาณ 10 เคลวิน หรือ -263 องศาเซลเซียส) ในสภาวะดังกล่าวแม่เหล็กตัวนำยิ่งยวดทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่มีค่าสูงถึง 2.0–3.0 เทสลา ในช่องว่างตรงกลางของโครงสร้างรูปโดนัท สนามแม่เหล็กนี้มีค่าคงตัวและเสถียรมาก ปกติการเปลี่ยนแปลงต้องน้อยกว่า 10 ส่วนในล้านส่วน (10 ppm) ตลอดบริเวณที่ต้องการถ่ายภาพ

2. ขดลวดแม่เหล็กเกรเดียนต์ อยู่ภายในโพรงแม่เหล็กกำลังสูง โดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมการเปิดสวิตช์ให้กระแสไฟฟ้าผ่านเข้าสู่ขดลวดนี้ เพื่อปรับเปลี่ยนค่าสนามแม่เหล็กตามต้องการ ขดลวดนี้ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กให้แก่เนื้อเยื่อที่ต้องการสร้างภาพ การปรับค่าสนามแม่เหล็กนี้ทำให้สามารถสร้างภาพในระนาบใดระนาบหนึ่ง ซึ่งอาจเป็นภาพตัดขวาง ตัดตามยาว หรือตัดตามเฉียงที่หนาหรือบางตามต้องการได้ โดยไม่ต้องเปลี่ยนท่าทางของผู้รับการตรวจ

3. ขดลวดส่งและรับคลื่นวิทยุ ทำหน้าที่ส่งคลื่นวิทยุเข้าไปยังเนื้อเยื่อหรืออวัยวะที่ต้องการถ่ายภาพและรับคลื่นวิทยุที่ปลดปล่อยออกมาจากเนื้อเยื่อหรืออวัยวะนั้นเพื่อนำไปสร้างภาพด้วยระบบคอมพิวเตอร์ โดยขดลวดส่งและรับคลื่นวิทยุอาจสร้างเป็นขดเดียวกันหรือแยกกันเป็น 2 ขด ส่วนความถี่คลื่นวิทยุที่ใช้อยู่ในแถบความถี่สูง (High Frequency; HF) หรือแถบความถี่สูงมาก (Very High Frequency; VHF) บนสเปกตรัมคลื่นวิทยุ ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับค่าสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กตัวนำยิ่งยวด

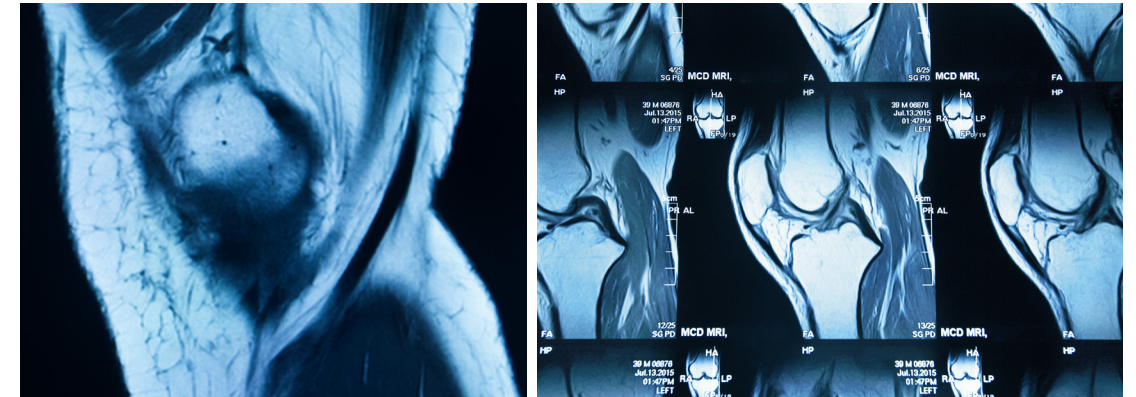
4. คอมพิวเตอร์ ทำหน้าที่นำข้อมูลของคลื่นวิทยุที่ปลดปล่อยออกมาจากเนื้อเยื่อไปสร้างภาพโดยทั่วไปเครื่องเอ็มอาร์ไอจะสร้างภาพจากการตรวจรับข้อมูลของคลื่นวิทยุจากเนื้อเยื่อประมาณ 256 แห่ง ส่วนความเปรียบต่างของภาพ (image contrast) จากเครื่องเอ็มอาร์ไอจะขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของเนื้อเยื่อแต่ละชนิด

เครื่องเอ็มอาร์ไอให้ภาพถ่ายที่มีความละเอียดสูงของเนื้อเยื่อในร่างกายของผู้รับการตรวจ ซึ่งอาศัยการสั่นพ้องทางแม่เหล็กของนิวเคลียส (nuclear magnetic resonance) โดยให้ผู้รับการตรวจไปนอนในอุโมงค์ของแม่เหล็กตัวนำยิ่งยวด เมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็กความเข้มสูง นิวเคลียสของไฮโดรเจนในเนื้อเยื่อจะวางตัวในลักษณะที่โมเมนต์แม่เหล็กชี้ไปในทิศเดียวกับสนามแม่เหล็ก แต่เมื่อถูกกระตุ้นด้วยพัลส์ (pulse) ของคลื่นวิทยุจากขดลวดส่งคลื่นวิทยุ นิวเคลียสไฮโดรเจนในเนื้อเยื่อจะเปลี่ยนแนวการวางตัวและเกิดการหมุนส่ายพร้อมกับปลดปล่อยคลื่นวิทยุความถี่เดียวกันออกมาขณะกลับสู่แนวการวางตัวเดิม ขดลวดรับคลื่นวิทยุจะตรวจจับสัญญาณคลื่นวิทยุที่ปลดปล่อยออกมาจากนิวเคลียสไฮโดรเจนในเนื้อเยื่อที่ถูกกระตุ้นแล้วนำไปสร้างภาพและจัดเก็บไว้ในระบบคอมพิวเตอร์ โดยเนื้อเยื่อที่มีไฮโดรเจนน้อย เช่น กระดูก จะแสดงภาพเป็นสีดำ ส่วนเนื้อเยื่อที่มีไฮโดรเจนมาก เช่น เนื้อเยื่อไขมัน จะแสดงภาพเป็นสีขาวกว่า ดังภาพที่ 5.34



▲ ภาพที่ 5.34 ภาพถ่ายเอ็มอาร์ไอของสมอง
ที่มา : คลังภาพ อจท.

เครื่องเอ็มอาร์ไอเหมาะสำหรับการตรวจหารอยโรคในสมอง ไขสันหลัง และเส้นประสาท เช่น ภาวะสมองขาดเลือด ความผิดปกติบริเวณก้านสมอง ซึ่งตรวจหาความผิดปกติได้ดีกว่าการทำซีทีสแกน โรคเนื้องอกของสมอง และโรคลมชัก เครื่องเอ็มอาร์ไอยังใช้ได้ดีในการตรวจกระดูกสันหลัง ระบบกล้ามเนื้อ เส้นเอ็นยึดกระดูก



▲ ภาพที่ 5.35 ภาพถ่ายเอ็มอาร์ไอของข้อเข่าและกล้ามเนื้อ
ที่มา : คลังภาพ อจท.

เครื่องเอ็มอาร์ไอจึงเหมาะที่จะใช้ในการวินิจฉัยรอยโรคต่าง ๆ ในกระดูกสันหลังและระบบกล้ามเนื้อและข้อ เช่น หมอนรองกระดูกทับเส้นประสาท หรือการบาดเจ็บต่อเส้นเอ็นบริเวณข้อต่าง ๆ ภาพถ่ายเอ็มอาร์ไอช่วยให้เห็นความผิดปกติที่เกิดขึ้นภายในโพรงกระดูกหรือไขกระดูกได้อย่างชัดเจน เช่น เนื้องอกภายในกระดูก โดยบอกขอบเขตของโรคได้ถูกต้องแม่นยำ ซึ่งเป็นประโยชน์ในการวางแผนการรักษาโรคของกระดูกบางอย่าง เช่น การขาดเลือดไปเลี้ยงที่กระดูกต้นขา

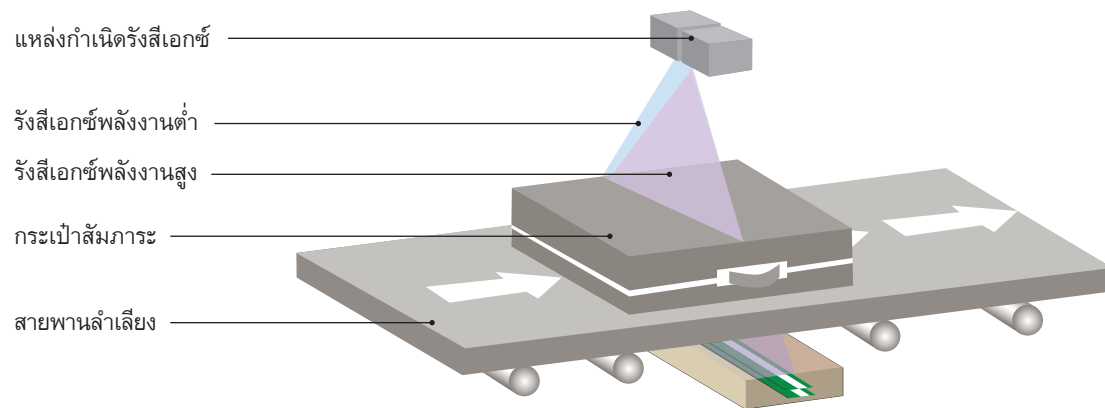
4.4 เครื่องสแกนรังสีเอกซ์

เครื่องสแกนรังสีเอกซ์หรือเครื่องสแกนกระเป๋า (X-ray baggage scanner) เป็นเครื่องตรวจสอบสัมภาระของผู้โดยสารด้วยรังสีเอกซ์เพื่อความปลอดภัยในสนามบินหรือสถานี ซึ่งกระเป๋าเดินทางจะถูกตรวจด้วยรังสีเอกซ์จากเครื่องสแกนกระเป๋าว่ามีวัตถุอันตรายชนิดใดอยู่บ้าง ดังภาพที่ 5.36



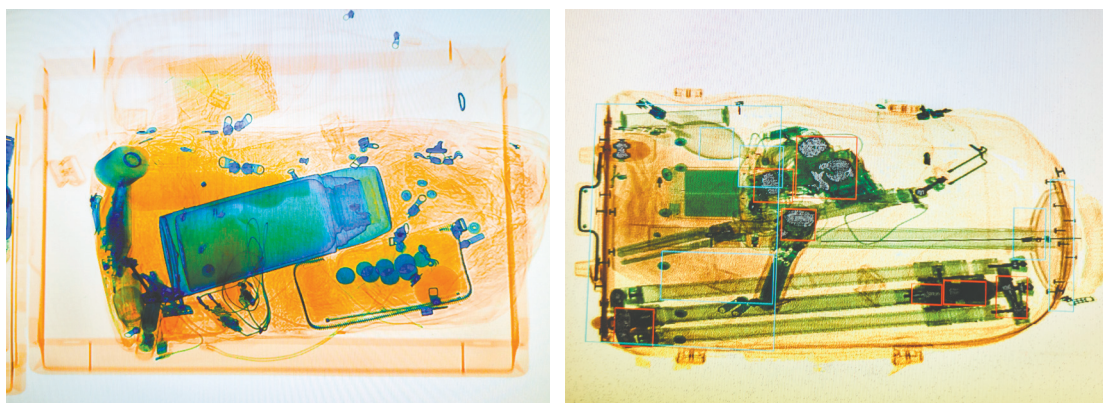
▲ ภาพที่ 5.36 เครื่องสแกนรังสีเอกซ์
ที่มา : คลังภาพ อจท.

รังสีเอกซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถทะลุผ่านวัตถุต่าง ๆ ได้ พลังงานของรังสีเอกซ์บางส่วนจะถูกวัตถุดูดกลืนไว้ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุ พลังงานของเครื่องสแกนรังสีเอกซ์ที่ใช้กันในสนามบินโดยทั่วไปเป็นระบบที่เรียกว่า ระบบตรวจจذبรังสีเอกซ์ (dual energy x-ray system)



▲ ภาพที่ 5.37 ระบบตรวจจذبรังสีเอกซ์
ที่มา : คลังภาพ อจท.

จากภาพที่ 5.37 เมื่อรังสีเอกซ์ส่องผ่านวัตถุต่าง ๆ ในกระเป๋าดำเนินทาง รังสีจะทะลุผ่านไปยังตัวตรวจจذبตัวแรก (1st detector) และทะลุผ่านไปยังตัวกรอง (filter) ซึ่งส่วนใหญ่ทำจากทองแดง โดยตัวกรองนี้จะกั้นรังสีเอกซ์พลังงานต่ำไว้ และยอมให้รังสีเอกซ์ส่วนที่เหลือซึ่งมีพลังงานสูงผ่านต่อไปยังตัวตรวจจذبรังสีชุดที่ 2 (2nd detector) ภาพที่ปรากฏบนหน้าจอแสดงผลนั้นจะเห็นเป็นสีต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุและความสามารถในการดูดกลืนรังสีเอกซ์ของวัตถุนั้น ๆ โดยโลหะและวัตถุหนักอื่น ๆ จะดูดกลืนรังสีเอกซ์พลังงานต่ำ และวัตถุอินทรีย์ (organic materials) จะดูดกลืนรังสีเอกซ์พลังงานสูงได้ดีกว่า ดังภาพที่ 5.38



▲ ภาพที่ 5.38 ตัวอย่างการแสดงผลของวัตถุชนิดต่าง ๆ ที่ถูกสแกนโดยเครื่องสแกนรังสีเอกซ์
ที่มา : คลังภาพ อจท.

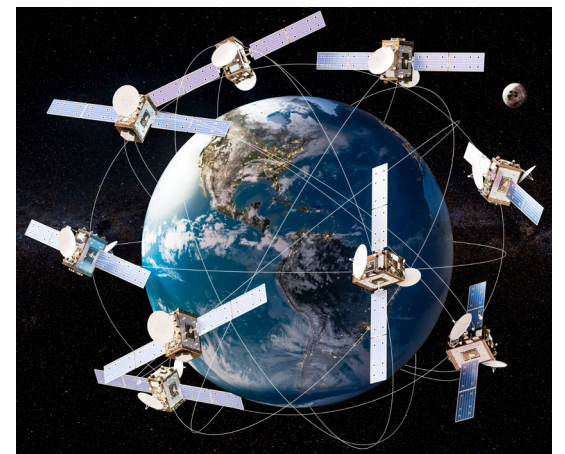
เครื่องสแกนรังสีเอกซ์จะตรวจหาวัตถุ 3 ประเภท และแบ่งเป็นสีเพื่อแสดงบนหน้าจอ เพื่อให้เจ้าหน้าที่สามารถตรวจสอบได้ง่าย คือ วัตถุอินทรีย์ (organic) วัตถุอนินทรีย์ (inorganic) และโลหะ (metal) สีที่ใช้แสดงผลบนหน้าจอของเครื่องของวัตถุอินทรีย์และโลหะจะแตกต่างกันตามแต่บริษัทผู้ผลิตเครื่อง แต่จะกำหนดให้เครื่องสแกนรังสีเอกซ์ใช้สีส้มแสดงถึงวัตถุอินทรีย์เท่านั้น ซึ่งมักเป็นส่วนผสมสำคัญของวัตถุระเบิด หรือวัตถุที่อาจเป็นส่วนผสมของระเบิด (IED) สีที่ใช้แสดงผลของวัตถุชนิดต่าง ๆ เช่น สีฟ้าแสดงถึงวัตถุอนินทรีย์ สีเขียวแสดงถึงโลหะเบาและของผสมระหว่างสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์

4.5 เครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นโลก

เครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นโลก หรือ GPS (Global Positioning System) เป็นระบบการระบุตำแหน่งและนำทางด้วยดาวเทียม ซึ่งถูกพัฒนาเสร็จสมบูรณ์และนำมาใช้งานตั้งแต่ พ.ศ. 2533 ประกอบด้วยดาวเทียมจำนวน 24 ดวง ที่โคจรรอบโลกวันละ 2 รอบ ทำให้เครื่องรับสัญญาณมองเห็นดาวเทียมไม่น้อยกว่า 4 ดวง บนท้องฟ้า ไม่ว่าจะอยู่ที่ใดบนพื้นผิวโลก เป็นผลทำให้สามารถนำข้อมูลการรับสัญญาณ GPS ไปคำนวณหาตำแหน่งได้ตลอดเวลา 24 ชั่วโมง ในทุกสภาพอากาศ และทุกแห่งบนพื้นโลก

1. ส่วนประกอบของ GPS

1) ส่วนอวกาศ (space segment) ประกอบด้วยดาวเทียมจำนวน 24 ดวง ซึ่งโคจรรอบโลก วงโคจรของดาวเทียมจะอยู่สูงจากพื้นโลก 20,162.81 กิโลเมตร (หรือ 12,600 ไมล์) ทำมุมกับเส้นศูนย์สูตร (equator) เป็นมุม 55 องศา ในลักษณะสานกันคล้ายลูกเต๋าก่อ ดังภาพที่ 5.37 มีวงโคจรทั้งหมด 6 เส้นทาง ในแต่ละเส้นทางจะมีดาวเทียมโคจรรอบอยู่ 4 ดวง โดยดาวเทียม 1 ดวง จะสามารถโคจรรอบโลกได้ 1 รอบ ใน 12 ชั่วโมง (ประมาณ 1.8 ไมล์ต่อวินาที) ในระหว่างการโคจรรอบโลกนั้น ดาวเทียมจะมีการส่งสัญญาณสู่พื้นโลกผ่านเสาส่งสัญญาณที่ติดตั้งจากดาวเทียมมายังโลก



▲ ภาพที่ 5.37 การโคจรของดาวเทียม GPS รอบโลก
ที่มา : คลังภาพ อจท.

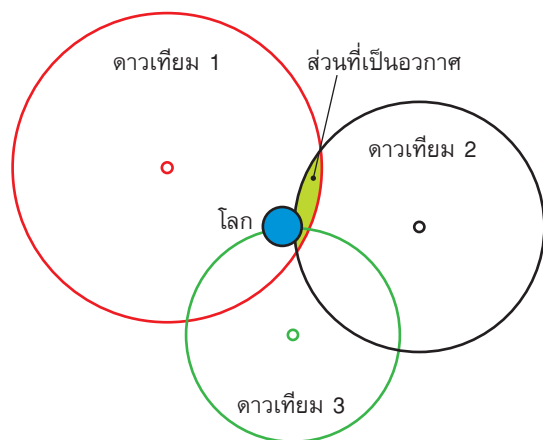
Physics in Real Life

สิ่งที่ไม่สามารถนำติดตัวขึ้นเครื่องบินได้ คือ กลุ่มวัตถุระเบิดอาวุธต่าง ๆ กระป๋องอัดแก๊สที่ติดไฟได้ สารฟอกขาว ยาพิษ สารหนู สารไซยาไนด์ สารกัมมันตรังสี เช่น แบตเตอรี่รถยนต์กรด พรอท

2) ส่วนสถานีควบคุม (control station segment) ทำหน้าที่ติดต่อสื่อสารกับดาวเทียม ด้วยสัญญาณเรดาร์ ทำการคำนวณผลเพื่อให้ดาวเทียมอยู่ในวงโคจร ในความสูง ความเร็ว และ ตำแหน่งที่ถูกต้อง แล้วส่งข้อมูลที่ไปยังดาวเทียมอยู่ตลอดเวลา สถานีควบคุมจะประกอบด้วย 5 สถานีย่อย ตั้งอยู่ที่หมู่เกาะดีเอโกการ์เซีย (Diego Garcia) มหาสมุทรอินเดีย หมู่เกาะอัสเซนชัน (Ascension Island) มหาสมุทรแอตแลนติก หมู่เกาะควาจาเลียน (Kwajalein) ประเทศฟิลิปปินส์ และหมู่เกาะฮาวาย (Hawaii) ในมหาสมุทรแปซิฟิก และมีสถานีควบคุมหลัก ตั้งอยู่ที่เมือง โคโลราโดสปริงส์ (Colorado Springs) ประเทศสหรัฐอเมริกา

3) ส่วนผู้ใช้ (user segment) ประกอบด้วยเครื่องรับสัญญาณ (GPS receiver) แบบ เคลื่อนที่ที่ใช้กันทั่วไป ภายในเครื่อง GPS นั้นจะมีโปรแกรมคอมพิวเตอร์อยู่ในตัวเครื่องเพื่อทำการ คำนวณ ตรวจสอบ และถอดรหัสสัญญาณที่ได้จากดาวเทียม แล้วจึงส่งข้อมูลออกมาทางหน้าจอของ เครื่อง GPS นั้น ๆ เพื่อให้ผู้ใช้ได้ทราบข้อมูล การแสดงผลอาจแตกต่างกันได้ขึ้นอยู่กับโปรแกรม ในเครื่อง GPS แต่ละรุ่นและแต่ละยี่ห้อ

2. หลักการทำงานของ GPS การคำนวณระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่อง GPS จะต้องใช้ระยะทางจากดาวเทียมอย่างต่ำ 3 ดวง เพื่อให้ได้ตำแหน่งที่แน่นอน เมื่อเครื่อง GPS สามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมได้ 3 ดวงขึ้นไปแล้ว จะมีการคำนวณระยะทางที่คลื่นวิทยุใช้ในการเดินทางจากดาวเทียมถึงเครื่อง GPS (ความเร็ว $\times$ เวลาที่ใช้เดินทาง = ระยะทาง) โดย ดาวเทียมทั้ง 3 ดวง จะส่งสัญญาณที่เหมือนกันมายังเครื่อง GPS ด้วยความเร็วคงตัว (186,000 ไมล์ต่อวินาที) แต่ระยะเวลาในการรับสัญญาณจากดาวเทียมแต่ละดวงนั้นจะไม่เท่ากัน เนื่องจาก ระยะทางไม่เท่ากัน



▲ ภาพที่ 5.40 ระยะสัญญาณของดาวเทียมทั้ง 3 ดวง ที่มา : คลังภาพ อจท.

จากภาพที่ 5.40 จะเห็นได้ว่า จะเหลือ ตำแหน่งอยู่ 2 จุด ที่บริเวณวงกลมทั้งสาม ตัดกัน คือ ตำแหน่งที่อยู่ในอวกาศ ซึ่งแน่นอนว่าเราไม่สามารถไปอยู่ในอวกาศได้ ตำแหน่งนี้ จึงถูกตัดทิ้งโดยอัตโนมัติ โดยเครื่อง GPS อีก ตำแหน่งคือ ตำแหน่งบนพื้นโลก ซึ่งความถูกต้องแม่นยำของตำแหน่งจะขึ้นอยู่กับจำนวน ดาวเทียมที่สามารถรับสัญญาณได้ในขณะนั้น หากมีดาวเทียมมากกว่า 3 ดวง ก็จะมี ความละเอียดมากขึ้น และขึ้นอยู่กับความสามารถ ของเครื่อง GPS

3. การประยุกต์ใช้งานเครื่อง GPS ปัจจุบันได้พัฒนาระบบ GPS ลงในโทรศัพท์เคลื่อนที่ เพื่อประโยชน์ในการค้นหาตำแหน่งของสถานที่ต่าง ๆ อีกทั้งพัฒนาระบบ GPS เข้ากับรถยนต์เพื่อเป็น ระบบนำทางให้แก่ผู้ขับขี่ โดยเฉพาะระยะทางไกลหรือในเส้นทางที่ไม่คุ้นเคย ซึ่งจะมีระบบนำทาง (navigation) ช่วยเตือนผู้ขับขี่ให้ทราบถึงลักษณะของเส้นทางต่าง ๆ ล่วงหน้า เช่น ทางเลี้ยว ทางเบี่ยง ทางโค้ง พร้อมกับการบอกเส้นทางด้วยเสียง

ประโยชน์การใช้งานของระบบ GPS ไม่ได้มีเพียงแค่นี้รถยนต์หรือโทรศัพท์เคลื่อนที่ เท่านั้น แต่ระบบ GPS สามารถประยุกต์ใช้กับระบบทางน้ำ ทางบก และทางอากาศได้ ตัวอย่าง เช่น



สัญญาณแอนะล็อกและ
สัญญาณดิจิทัลต่างกัน
อย่างไร

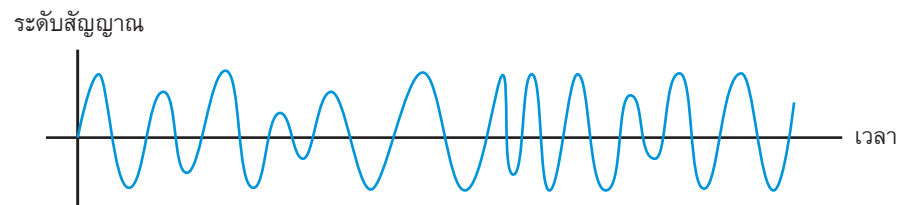
5 การสื่อสารโดยอาศัย คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

การสื่อสารข้อมูลจะพบลักษณะร่วมกัน คือ การส่งข้อมูลหรือสารสนเทศต้องส่งผ่านสื่อกลาง แต่ข้อมูลหรือสารสนเทศจะส่งผ่านสื่อกลางโดยตรงไม่ได้ต้องแปลงเป็นสัญญาณหรือรหัสก่อน แล้วจึงส่งผ่านสื่อกลางไปยังผู้รับ และเมื่อถึงปลายทางหรือผู้รับจะต้องแปลงสัญญาณหรือรหัสนั้นกลับมาเป็นข้อมูลหรือสารสนเทศเหมือนที่ส่งมา ในระหว่างการส่งอาจมีสิ่งรบกวน (noise) จากภายนอก ทำให้ข้อมูลบางส่วนเสียหายหรือผิดเพี้ยนไป โดยการส่งในระยะไกลจะเกิดสิ่งรบกวนมากกว่าการส่งในระยะใกล้ จึงต้องหาวิธีลดสิ่งรบกวนเหล่านี้ โดยการพัฒนาตัวกลางในการสื่อสารให้เกิดการรบกวนน้อยที่สุด

5.1 กระบวนการรับและส่งข้อมูล

ข้อมูลไม่สามารถส่งไปในระยะทางไกลได้โดยตรง การส่งข้อมูลในระยะทางไกลต้องแปลงข้อมูลให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าที่เรียกว่า **สัญญาณข้อมูล** (data signal) ก่อนส่งผ่านสื่อกลางในการส่งข้อมูล ซึ่งนอกจากจะส่งข้อมูลไปในระยะทางไกลแล้ว ยังเป็นการส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงด้วย สัญญาณข้อมูลที่ใช้ในการสื่อสารมี 2 ชนิด คือ สัญญาณแอนะล็อกและสัญญาณดิจิทัล

1. **สัญญาณแอนะล็อก** (analog signal) เป็นสัญญาณที่มีลักษณะเป็นคลื่นต่อเนื่อง โดยแต่ละคลื่นอาจมีความถี่และความเข้มของสัญญาณหรือแอมพลิจูดต่างกัน โดยความถี่และความเข้มของสัญญาณจะเปลี่ยนแปลงตามเวลาอย่างต่อเนื่องแบบค่อยเป็นค่อยไป เช่น สัญญาณเสียงในสายโทรศัพท์ ลักษณะของสัญญาณแอนะล็อกพิจารณาได้จากภาพที่ 5.41

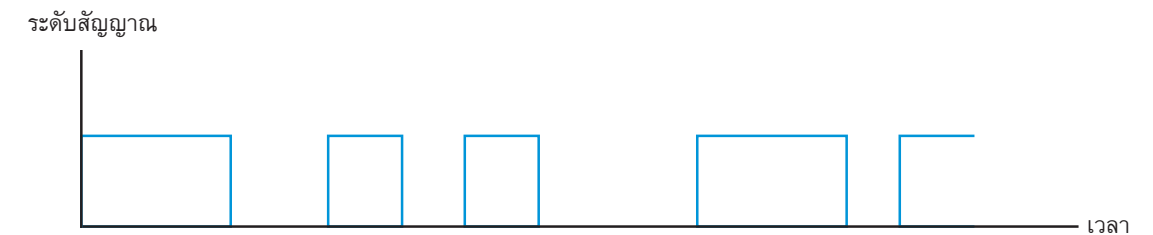


▲ ภาพที่ 5.41 ลักษณะของสัญญาณแอนะล็อก
ที่มา : คลังภาพ อจท.

สัญญาณแอนะล็อกถูกรบกวนให้เปลี่ยนแปลงได้ง่าย เนื่องจากสัญญาณรบกวนจะเติมเข้าไปในสัญญาณจริงโดยตรง ทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของสัญญาณซึ่งส่งผลให้แปลความหมายผิดพลาดไป โดยเฉพาะการส่งสัญญาณแอนะล็อกไปในระยะไกล ๆ ไม่ว่าจะส่งไปตามสายหรือคลื่นวิทยุ การรบกวนโดยสัญญาณรบกวนจากสิ่งแวดล้อม เช่น การส่งสัญญาณไปยังดาวเทียมจะ

มีการรบกวนเนื่องจากการแผ่รังสีและฟ้าแลบ ทำให้สัญญาณผิดเพี้ยนได้ง่าย จึงไม่นิยมใช้สัญญาณแอนะล็อกในการส่งสัญญาณเพื่อการสื่อสารที่ต้องการความแม่นยำสูง แต่มักใช้ในการสื่อสารทางวิทยุในระยะใกล้ เช่น ใช้ในระบบวิทยุเอเอ็มและเอฟเอ็ม

2. **สัญญาณดิจิทัล** (digital signal) เป็นสัญญาณที่มีลักษณะเป็นคลื่นไม่ต่อเนื่อง คล้ายขั้นบันได ขนาดของสัญญาณดิจิทัลมีค่าคงตัวเป็นช่วง ๆ และการเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณเป็นแบบทันทีทันใด เช่น สัญญาณที่คอมพิวเตอร์ใช้ในการทำงานและติดต่อสื่อสารกัน ลักษณะของสัญญาณดิจิทัลพิจารณาได้จากภาพที่ 5.42



▲ ภาพที่ 5.42 ลักษณะของสัญญาณดิจิทัล
ที่มา : คลังภาพ อจท.

เมื่อสัญญาณดิจิทัลถูกรบกวนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมได้น้อย เนื่องจากสัญญาณรบกวนต้องมีค่าสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้เท่านั้นจึงจะเกิดการเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้การส่งสัญญาณดิจิทัลไปในระยะไกลน่าเชื่อถือมากกว่าการส่งสัญญาณแอนะล็อก เพราะความผิดเพี้ยนที่เกิดจากการรบกวนโดยสัญญาณรบกวนจากสิ่งแวดล้อมมีน้อยกว่า ซึ่งเป็นจุดเด่นของสัญญาณดิจิทัลที่เหนือกว่าสัญญาณแอนะล็อก

Concept Question?

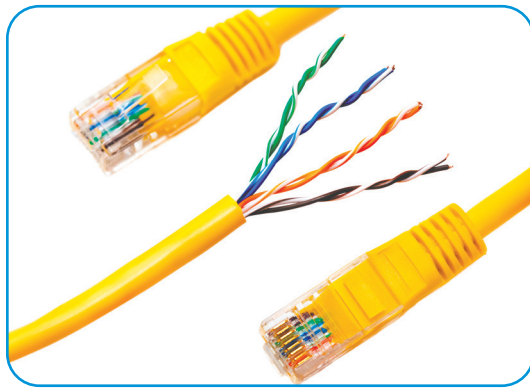
การส่งและรับสัญญาณดิจิทัลแตกต่างจากการส่งสัญญาณแอนะล็อกอย่างไร

5.2 สื่อกลางในการสื่อสารข้อมูล

การสื่อสารข้อมูลต้องอาศัยสื่อกลางในการส่งผ่านข้อมูลเพื่อนำข้อมูลไปยังจุดหมายปลายทาง สื่อกลางในการสื่อสารข้อมูลมีความสำคัญเพราะเป็นปัจจัยหนึ่งที่กำหนดประสิทธิภาพในการสื่อสาร เช่น ความเร็วในการส่งข้อมูล ปริมาณของข้อมูลที่สามารถนำไปได้ในหนึ่งหน่วยเวลารวมถึงคุณภาพของการส่งข้อมูล โดยสื่อกลางในการสื่อสารข้อมูลแบ่งได้ 2 ประเภท คือ สื่อกลางแบบใช้สายและสื่อกลางแบบไร้สาย

1. สื่อกลางแบบใช้สาย มีดังนี้

1) **สายนำสัญญาณไฟฟ้า** ส่งข้อมูลด้วยระดับสัญญาณไฟฟ้าที่ต่างกัน อุปกรณ์รับสัญญาณที่ปลายทางจะตรวจวัดระดับสัญญาณเพื่อแปลงกลับเป็นข้อมูลหรือสารสนเทศที่ใกล้เคียงหรือเหมือนกับทางด้านส่งสัญญาณ สายนำสัญญาณไฟฟ้าที่สำคัญ ได้แก่ สายบิดเกลียวคู่ (twisted pair cable) เป็นสายทองแดงจะถูกพันบิดเป็นเกลียว เพื่อลดการรบกวนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากคู่สายข้างเคียงภายในสายเดียวกันหรือจากภายนอก ทำให้สามารถส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูง และสายโคแอกซ์ (coaxial cable) เป็นสายนำสัญญาณที่เรารู้จักกันดี โดยใช้เป็นสายนำสัญญาณที่ต่อจากเสาอากาศเครื่องรับโทรทัศน์หรือสายเคเบิลทีวี



(ก) สายบิดเกลียวคู่



(ข) สายโคแอกซ์

▲ ภาพที่ 5.43 สายนำสัญญาณไฟฟ้าที่ใช้ในการส่งสัญญาณ
ที่มา : คลังภาพ อจท.



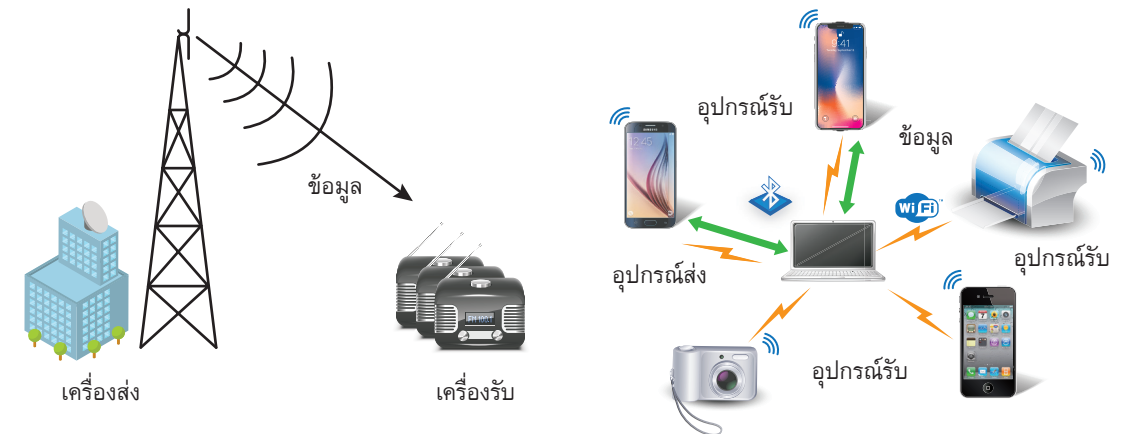
▲ ภาพที่ 5.44 เส้นใยนำแสงที่ใช้
ในการส่งสัญญาณ
ที่มา : คลังภาพ อจท.

2) **สายใยนำแสง** ประกอบด้วยเส้นใยนำแสงหลาย ๆ เส้นอยู่รวมกัน ดังภาพที่ 5.44 ข้อดีของสายใยนำแสง คือ ขนาดเล็กกว่าและน้ำหนักน้อยกว่าสายนำสัญญาณไฟฟ้ามาก มีการลดทอนของสัญญาณต่ำ ทำให้ส่งสัญญาณไปได้ในระยะทางไกลโดยไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์พักและขยายระดับสัญญาณเป็นระยะ และข้อมูลที่ส่งผ่านสายใยนำแสงมีความถูกต้องและความปลอดภัยสูงเนื่องจากไม่มีสัญญาณรบกวน

การส่งข้อมูลผ่านสายใยนำแสงสามารถส่งด้วยความเร็วสูงระดับกิกะบิตต่อวินาที (Gbps) และส่งด้วยอัตราความหนาแน่นของสัญญาณข้อมูลสูงมาก ทำให้สามารถส่งข้อมูลทั้งที่เป็นตัวอักษร เสียง ภาพกราฟิก หรือวีดิทัศน์ในเวลาเดียวกันได้ และส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงระดับหลายร้อยเมกะบิต ส่วนข้อเสียของสายใยนำแสง คือ การบิดงอของสายจะทำให้เส้นใยนำแสงหัก จึงไม่สามารถวางสายใยนำแสงไปตามมุมตึกได้ เหมาะกับการเชื่อมต่อแบบจุดต่อจุด (Point-to-Point) และเหมาะสำหรับใช้เชื่อมโยงระหว่างอาคารกับอาคาร หรือระหว่างเมืองกับเมือง

2. **สื่อกลางแบบไร้สาย** สื่อกลางแบบไร้สาย คือ การใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการสื่อสารข้อมูล ได้แก่ คลื่นวิทยุ คลื่นไมโครเวฟ และรังสีอินฟราเรด

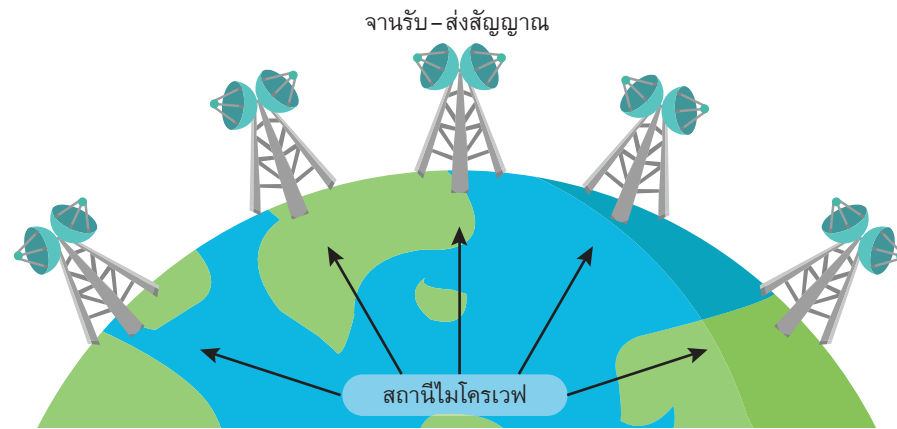
1) **คลื่นวิทยุ** ใช้เป็นสื่อกลางในการสื่อสารได้ทั้งระยะไกลและใกล้ โดยเครื่องหรืออุปกรณ์ส่งจะส่งข้อมูลในรูปสัญญาณคลื่นวิทยุ (ช่วงความถี่ 3-300 เมกะเฮิรตซ์) ผ่านอากาศไปยังเครื่องรับหรืออุปกรณ์รับสัญญาณ ตัวอย่างการใช้คลื่นวิทยุเป็นสื่อกลางในการสื่อสารระยะไกล ได้แก่ การกระจายเสียงวิทยุระบบเอเอ็มและระบบเอฟเอ็ม ส่วนตัวอย่างการใช้คลื่นวิทยุเป็นสื่อกลางในการสื่อสารระยะใกล้ ได้แก่ การสื่อสารข้อมูลโดยใช้เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย (Wi-Fi) และบลูทูธ (Bluetooth) ดังภาพที่ 5.45 ซึ่งใช้คลื่นวิทยุในแถบความถี่ต่างกันในการส่งข้อมูล



▲ ภาพที่ 5.45 การใช้คลื่นวิทยุเป็นสื่อกลางในการสื่อสารข้อมูล
ที่มา : คลังภาพ อจท.

2) **คลื่นไมโครเวฟ** ใช้เป็นสื่อกลางในการสื่อสารในระยะไกล โดยเครื่องส่งจะส่งข้อมูลในรูปสัญญาณไมโครเวฟ (ช่วงความถี่ 3-30 กิกะเฮิรตซ์) ผ่านอากาศไปยังเครื่องรับเช่นเดียวกับคลื่นวิทยุ สัญญาณไมโครเวฟเดินทางเป็นเส้นตรงจึงสามารถปรับทิศทางการส่งได้แน่นอนและสามารถส่งสัญญาณออกไปเป็นลำแคบ ๆ ได้ ทำให้มีพลังงานสูง รบกวนได้ยาก แต่คลื่นไมโครเวฟเดินทางผ่านวัตถุที่กีดขวางไม่ได้ การใช้คลื่นไมโครเวฟเป็นสื่อกลางในการสื่อสารระหว่าง 2 ตำแหน่ง

จึงต้องอาศัยจานรับหรือส่งสัญญาณไมโครเวฟซึ่งติดตั้งอยู่ในที่สูง เช่น ดาดฟ้า ตึกสูง หรือยอดเขา โดยติดตั้งในลักษณะหันจานรับ-ส่งสัญญาณเข้าหากัน เพื่อหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวางการเดินทางของสัญญาณไมโครเวฟ แต่การสื่อสารระหว่าง 2 ตำแหน่ง โดยใช้คลื่นไมโครเวฟเป็นสื่อกลางมีรัศมีทำการอยู่ในช่วง 40-50 กิโลเมตร การสื่อสารในระยะไกลจึงต้องมีสถานีพักและขยายสัญญาณ (relay station) เป็นระยะๆ ภายในรัศมีทำการดังกล่าว ดังภาพที่ 5.46 ซึ่งเป็นข้อจำกัดของการส่งสัญญาณไมโครเวฟภาคพื้นดิน (terrestrial microwave transmission)



▲ ภาพที่ 5.46 การส่งสัญญาณไมโครเวฟภาคพื้นดิน
ที่มา : คลังภาพ อจท.

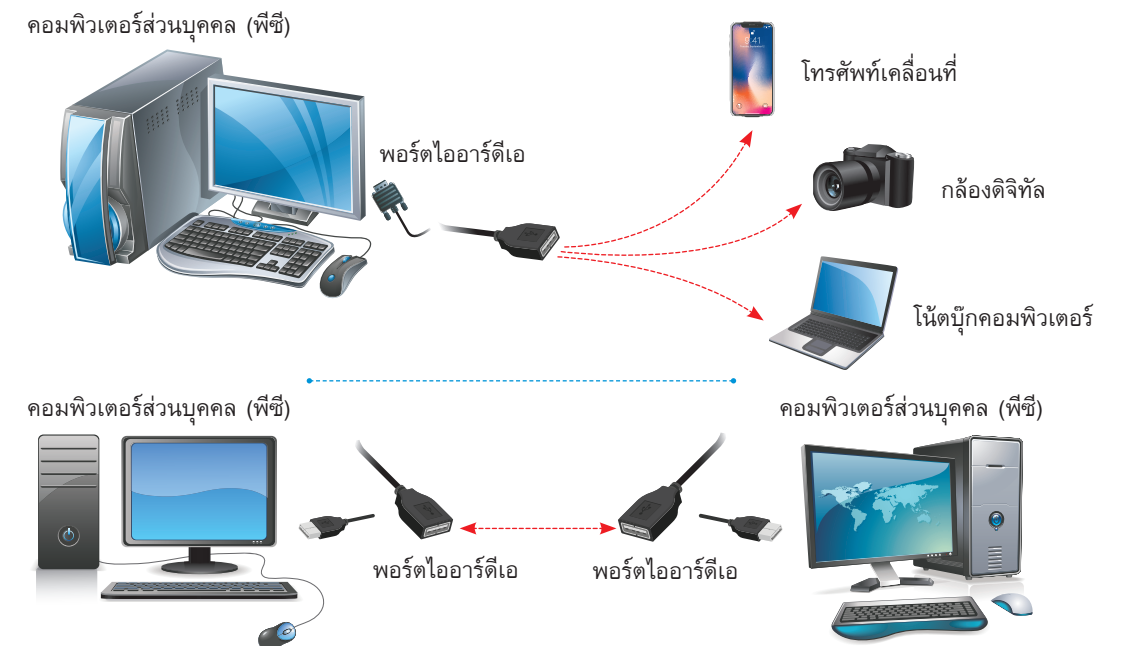
นอกจากการส่งสัญญาณไมโครเวฟภาคพื้นดินแล้ว ยังมีการส่งสัญญาณไมโครเวฟอีกแบบ คือ การส่งสัญญาณไมโครเวฟผ่านดาวเทียม (satellite microwave transmission) ซึ่งพัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาที่เป็นข้อจำกัดเกี่ยวกับระยะทำการของการส่งสัญญาณไมโครเวฟภาคพื้นดิน โดยใช้ดาวเทียมที่โคจรอยู่นอกโลกเป็นสถานีพักหรือขยายสัญญาณและกระจายสัญญาณไปยังสถานีตามจุดต่าง ๆ บนพื้นผิวโลกหรือจานรับสัญญาณที่ติดตั้งไว้ตามสถานที่ต่าง ๆ ครอบคลุมพื้นที่เป็นวงกว้าง ดังภาพที่ 5.47



▲ ภาพที่ 5.47 การส่งสัญญาณไมโครเวฟผ่านดาวเทียม
ที่มา : คลังภาพ อจท.

การสื่อสารโดยใช้คลื่นไมโครเวฟเป็นสื่อกลางจะส่งข้อมูลด้วยอัตราการส่งข้อมูลสูง แต่มีข้อจำกัด คือ สัญญาณจะถูกรบกวนจากพายุและฝน ทำให้สัญญาณขาดหายไปในการส่ง ที่พบบ่อยๆ คือ การขาดหายไปของสัญญาณโทรทัศน์ที่รับสัญญาณด้วยจานสายอากาศขณะมีพายุหรือฝนตกหนัก

3) ริงส์อินฟราเรด ใช้เป็นสื่อกลางในการสื่อสารระยะไกลโดยไม่มีสิ่งกีดขวางระหว่างผู้ส่งกับผู้รับ เช่น การรับ-ส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับเครื่องพิมพ์หรือเมาส์แบบไร้สาย การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับคอมพิวเตอร์ในเครือข่ายระยะไกล (2-4 เมตร) ดังภาพที่ 5.48



▲ ภาพที่ 5.48 การใช้อินฟราเรดเป็นสื่อกลางในการสื่อสารข้อมูล
ที่มา : คลังภาพ อจท.

Core Concept

ให้นักเรียนสรุปสาระสำคัญ เรื่อง
อุปกรณ์ที่ทำงานโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
และการสื่อสารโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

Topic Questions

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. การทำงานของอุปกรณ์ควบคุมระยะไกลหรือรีโมตคอนโทรลต้องอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดใดบ้าง
2. สัญญาณที่ใช้ในการสื่อสารมีกี่ชนิด อะไรบ้าง และสัญญาณเหล่านั้นแตกต่างกันอย่างไร
3. โทรศัพท์ที่ใช้ระบบสัญญาณดิจิทัลแตกต่างจากระบบสัญญาณแอนะล็อกหรือไม่ อย่างไร



แว่นตาโพลาไรซ์

ภาพยนตร์ 3 มิติ ถ่ายทำโดยใช้เครื่องถ่ายภาพยนตร์ 2 เครื่อง ถ่ายภาพเดียวกันในเวลาเดียวกัน แต่ถ่ายคนละมุมกัน (ขวาและซ้าย) และการฉายต้องใช้เครื่องฉายภาพยนตร์ 2 เครื่อง ฉายภาพ 2 ภาพ ลงบนจอภาพพร้อมๆ กัน ส่วนวิธีการดูภาพยนตร์ 3 มิติ ต้องสวมแว่นตาแล้วดูผ่านแว่นตา โดยแว่นตาสำหรับดูภาพยนตร์ 3 มิติ เช่น แว่นตาโพลาไรซ์ (polarized 3D glasses)



▲ ภาพที่ 5.49 แว่นตาโพลาไรซ์
ที่มา : คลังภาพ อจท.

แว่นตาโพลาไรซ์ที่ใช้ดูภาพยนตร์ 3 มิติ จะต่างจากแว่นตาโพลาไรซ์ที่ใช้กันแดดตรงที่แผ่นโพลาไรซ์ทางด้านซ้ายและขวาของแว่นตาโพลาไรซ์ที่ใช้ดูภาพยนตร์ 3 มิติ มีแนวแกนโพลาไรซ์ตั้งฉากกัน ขณะที่แผ่นโพลาไรซ์ทางด้านซ้ายและขวาของแว่นตาโพลาไรซ์ที่ใช้เป็นแว่นกันแดดจะมีแนวแกนโพลาไรซ์ขนานกัน

การฉายภาพยนตร์ 3 มิติ ที่ดูโดยใช้แว่นตาโพลาไรซ์ ใช้เครื่องฉายภาพยนตร์ 2 เครื่อง ฉายภาพลงบนจอ (โลหะ) พร้อมกัน โดยฉายผ่านกระจกโพลาไรซ์ที่กันอยู่หน้าเลนส์ฉาย ภาพจากเครื่องฉายทั้งสองจึงเป็นแสงโพลาไรซ์ เนื่องจากกระจกโพลาไรซ์หน้าเลนส์ฉายของเครื่องฉายทั้งสองมีแนวแกนโพลาไรซ์ตั้งฉากกันและการสะท้อนแสงของโลหะจะไม่เปลี่ยนทิศการโพลาไรซ์ของแสง ทำให้ทิศของการโพลาไรซ์ของแสงโพลาไรซ์จากเครื่องฉายทั้งสองอยู่ในแนวตั้งฉากกันภาพที่ปรากฏบนจอจะเหลื่อมซ้อนกันในลักษณะ ดังภาพที่ 5.50



▲ ภาพที่ 5.50 ภาพที่เกิดจากการฉายภาพจากกล้อง 2 สี (น้ำเงิน-แดง) ลงบนจอภาพยนตร์
ที่มา : คลังภาพ อจท.

Summary

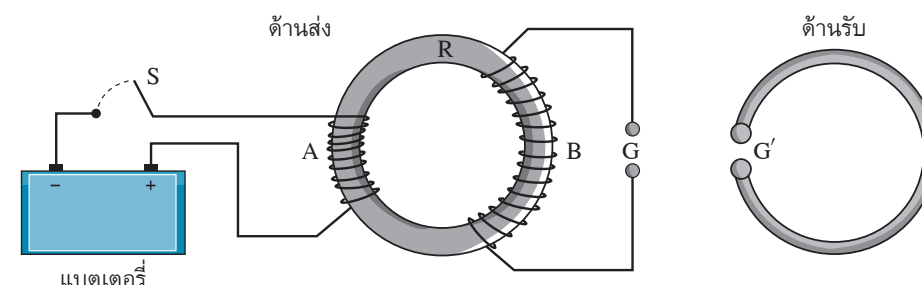
คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ประกอบด้วยสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา โดยสนามทั้งสองมีทิศตั้งฉากกันและกันและตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น จึงจัดให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นตามขวาง

ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์และการทดลองของเฮิร์ตซ์

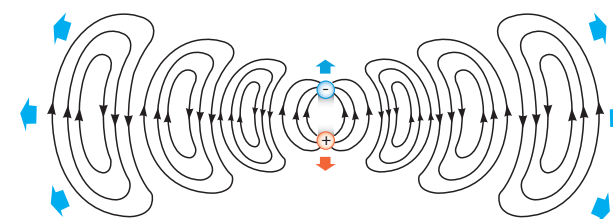
- ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์ ทำนายว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถแผ่ออกจากแหล่งกำเนิดได้โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนผ่านสุญญากาศด้วยอัตราเร็ว 3×10^8 เมตรต่อวินาที และแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ช่วงหนึ่ง
- การทดลองของเฮิร์ตซ์ เฮิร์ตซ์ได้ทำการทดลองซึ่งยืนยันว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีจริง และพิสูจน์ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์ โดยเฮิร์ตซ์ใช้อุปกรณ์ที่ประกอบด้วยขดลวดเหนี่ยวนำ 2 ขด พันรอบแกนเหล็ก



▲ ภาพที่ 5.51 การทดลองของเฮิร์ตซ์
ที่มา : คลังภาพ อจท.

จากการทดลองเฮิร์ตซ์ พบว่า ทุกครั้งที่เกิดประกายไฟที่ช่องอากาศ G จะเกิดประกายไฟบริเวณช่องอากาศ G' ของขดลวดวงกลมที่อยู่ห่างออกไปและไม่ได้ต่อเนื่องวงจรไฟฟ้าเดียวกันเสมอ

- การแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายอากาศ การเคลื่อนที่ของคู่ประจุบวกและลบจะทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่ออกไปจากสายอากาศ (สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นอยู่ในระนาบที่ตั้งฉากกับระนาบการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้า) โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะแผ่ออกไปทุกทิศทาง ยกเว้นในแนวเส้นตรงเดียวกับการเคลื่อนที่ของประจุบวกและประจุลบ หรือแนวการวางตัวของสายอากาศ เนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กในแนวการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้า



▲ ภาพที่ 5.52 การกระจายออกจากแหล่งกำเนิดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
ที่มา : คลังภาพ อจท.

โพลาริเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

โพลาริเซชัน (polarization) เป็นสมบัติของคลื่นตามขวาง โดยทั่วไปคลื่นตามขวางมีระนาบของการสั่นตั้งฉากกับแนวการแผ่ของคลื่น ถ้าคลื่นตามขวางใดมีระนาบการสั่นนี้เพียงระนาบเดียว จะเรียกคลื่นตามขวางนั้นว่า คลื่นโพลาริส์ (polarized wave)

วิธีทำให้แสงไม่โพลาริส์เปลี่ยนเป็นแสงโพลาริส์

- การสะท้อน แสงไม่โพลาริส์ที่ตกกระทบผิววัตถุ โดยทำมุมตกกระทบที่ทำให้ได้รังสีสะท้อนตั้งฉากกับรังสีหักเห แสงที่สะท้อนจากผิววัตถุจะเป็นแสงโพลาริส์
- การหักเห แสงไม่โพลาริส์ที่ผ่านเข้าไปในผลึกแคลไซต์หรือควอตซ์จะเกิดการหักเห โดยรังสีหักเหจะแยกออกเป็น 2 รังสี โดยทั้ง 2 รังสี ต่างเป็นแสงโพลาริส์
- การกระเจิง แสงอาทิตย์เมื่อตกกระทบโมเลกุลอากาศ สนาบไฟฟ้าของแสงจะทำให้ไอเล็กตรอนในโมเลกุลอากาศสั่นไปมาในแนวเดียวกับแนวการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้า แล้วปลดปล่อยแสงออกมา (กระเจิงแสง) เป็นแสงโพลาริส์ในแนวระดับและแสงโพลาริส์ในแนวตั้ง

สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความถี่ต่อเนื่องกันเป็นช่วงกว้าง ($10^4 - 10^{23}$ เฮิรตซ์) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกย่านความถี่ (หรือความยาวคลื่น) รวมกัน เรียกว่า สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยคลื่นวิทยุ ไมโครเวฟ รังสีอินฟราเรด แสง รังสีอัลตราไวโอเล็ต รังสีเอกซ์ และรังสีแกมมา เมื่อเรียงลำดับจากความถี่ต่ำไปสูง หรือเรียงลำดับจากความยาวคลื่นยาวไปสั้น

อุปกรณ์ที่ทำงานโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านำไปใช้ประโยชน์ในการทำงานของอุปกรณ์บางชนิด ได้แก่ อุปกรณ์ควบคุมระยะไกล (รังสีอินฟราเรดและคลื่นวิทยุ) เครื่องถ่ายภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (รังสีเอกซ์) และเครื่องถ่ายภาพการสั่นพ้องแม่เหล็ก (คลื่นวิทยุ) และใช้ในการสื่อสารเพื่อส่งผ่านสารสนเทศจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่งผ่านสื่อกลางแบบใช้สาย (แสงเลเซอร์) และสื่อกลางแบบไร้สาย (รังสีอินฟราเรด คลื่นไมโครเวฟ และคลื่นวิทยุ)

การสื่อสารโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

สัญญาณข้อมูลที่ใช้ในการสื่อสาร มี 2 ชนิด คือ สัญญาณแอนะล็อกและสัญญาณดิจิทัล

- สัญญาณแอนะล็อก เป็นสัญญาณที่มีลักษณะเป็นคลื่นต่อเนื่อง โดยแต่ละคลื่นอาจมีความถี่และความเข้มของสัญญาณ (แอมพลิจูด) ต่างกัน โดยความถี่และความเข้มของสัญญาณจะเปลี่ยนแปลงตามเวลาอย่างต่อเนื่องแบบค่อยเป็นค่อยไป เช่น สัญญาณเสียงในสายโทรศัพท์
- สัญญาณดิจิทัล เป็นสัญญาณที่มีลักษณะเป็นคลื่นไม่ต่อเนื่อง คล้ายขั้นบันได ขนาดของสัญญาณดิจิทัลมีค่าคงที่เป็นช่วง ๆ และการเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณเป็นแบบทันทีทันใด เช่น สัญญาณที่คอมพิวเตอร์ใช้ในการทำงานและติดต่อสื่อสารกัน

สัญญาณดิจิทัลส่งผ่านได้ง่ายกว่าและมีโอกาสเกิดความผิดพลาดน้อยกว่าสัญญาณแอนะล็อก ซึ่งนำไปสู่การส่งข้อมูลที่ถูกต้อง อัตราการส่งข้อมูลที่เร็วกว่าและได้ผลลัพธ์ที่ดี



Apply Your Knowledge

คำชี้แจง ให้นักเรียนจับคู่กับเพื่อนร่วมชั้นเรียน แล้วร่วมกันอ่านข้อความและตอบคำถามที่กำหนดให้

ภาพบนจอของโทรทัศน์ ประกอบด้วยเส้นสแกนตามแนวขวางจำนวนมาก เส้นเหล่านี้เกิดจากลำอิเล็กตรอนที่ยิงออกมาจากปืนอิเล็กตรอนจะให้ภาพจากซ้ายไปขวาและบนลงล่าง ไปกระทบจากภาพที่ฉาบสารเรืองแสง ทำให้เกิดเส้นเรืองแสงขึ้น

เมื่อนักเรียนใช้กล้องถ่ายภาพจากหน้าจอโทรทัศน์ บนภาพถ่ายจะมีแถบสีดำหรือสีขาวขนาดใหญ่หรือภาพของโทรทัศน์ที่ปรากฏในภาพยนตร์ จะมีแถบสีดำเคลื่อนที่ขึ้นลงบนจอโทรทัศน์ เหตุใดแถบเหล่านี้จึงเกิดขึ้น



Self Check

ให้นักเรียนตรวจสอบความเข้าใจ โดยพิจารณาข้อความว่าถูกหรือผิด แล้วบันทึกลงในสมุด หากพิจารณาข้อความไม่ถูกต้อง ให้กลับไปทบทวนเนื้อหาตามหัวข้อที่กำหนดให้

	ถูก/ผิด	ทบทวนหัวข้อ
1. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นตามขวาง	☐	2.
2. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นที่เคลื่อนที่โดยไม่อาศัยตัวกลาง ความเร็วของคลื่นจึงไม่มีการแปรผันแต่อย่างใด	☐	3.
3. แนวคิดที่สำคัญของแมกซ์เวลล์เกี่ยวกับทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คือ ทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะต้องอยู่ในทิศเดียวกับสนามแม่เหล็ก	☐	3.
4. จากทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อประจุมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร่งหรือความหน่วงจะแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา	☐	4.
5. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งออกมาจากสายอากาศโทรทัศน์เป็นคลื่นโพลาริส์	☐	5.
6. แผ่นโพลารอยด์ทำให้แสงที่ไม่โพลาริส์เป็นแสงมีโพลาริส์ได้ โดยแสงที่ผ่านออกมาจะโพลาริส์ในแนวที่ตั้งฉากกับแกนของโพลารอยด์	☐	5.
7. ความแตกต่างระหว่างคลื่นวิทยุกับคลื่นแสง คือ คลื่นวิทยุเป็นคลื่นตามยาว ส่วนคลื่นแสงเป็นคลื่นตามขวาง	☐	5.
8. เครื่องเอ็มอาร์ไอจะใช้สนามแม่เหล็กและรังสีเอกซ์ร่วมกับคอมพิวเตอร์เพื่อสร้างภาพเสมือนจริง	☐	6.
9. แรงหนีศูนย์กลางของเหลวชนิดเดียวกันขึ้นอยู่กับความลึกของของเหลว	☐	7.
10. สัญญาณแอนะล็อกส่งผ่านได้โดยมีความผิดพลาดน้อยกว่าสัญญาณดิจิทัล	☐	8.

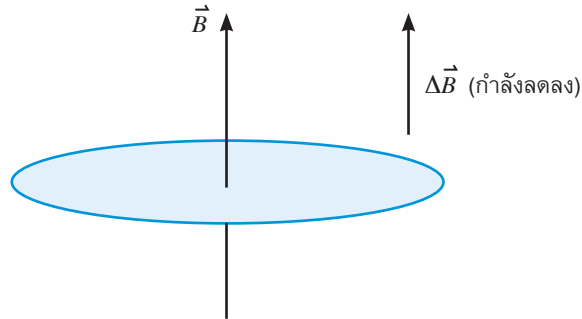


Unit questions

5

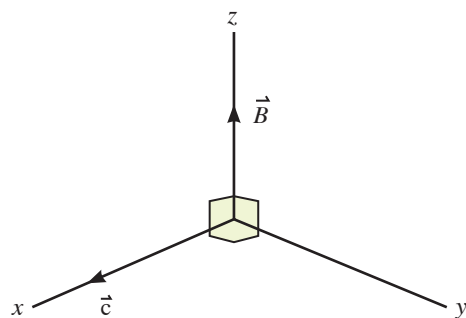
คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. จากภาพที่ 5.53 ถ้าสนามแม่เหล็กในทิศพุ่งขึ้นตามแนวดิ่งกำลังมีค่าลดลง จงหาทิศของสนามไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น



▲ ภาพที่ 5.53 ภาพประกอบ Unit question 5 ข้อ 1.
ที่มา : คลังภาพ อจท.

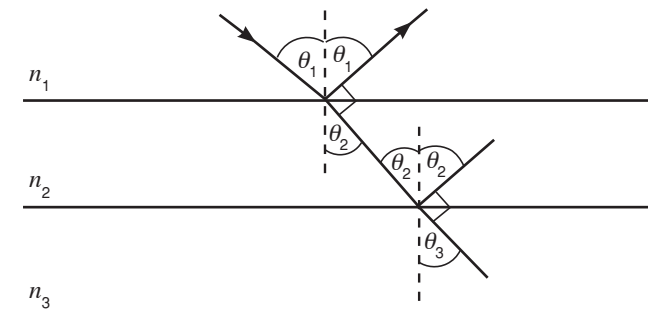
2. จงอธิบายเกี่ยวกับองค์ประกอบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กลไกการเกิด และการแผ่ออกจากแหล่งกำเนิดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์ พร้อมทั้งอธิบายว่าเหตุใดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจึงเดินทางผ่านสุญญากาศได้
3. เพราะเหตุใดจึงจัดให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นตามขวาง
4. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากำลังแผ่ไปในทิศ $+x$ และมีสนามแม่เหล็กอยู่ในทิศ $+z$ ดังภาพที่ 5.54 จงหาว่าสนามไฟฟ้าของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้อยู่ในทิศใด



▲ ภาพที่ 5.54 ภาพประกอบ Unit question 5 ข้อ 4.
ที่มา : คลังภาพ อจท.

5. ปรากฏการณ์ใดที่ชี้ให้เห็นว่า มีการถ่ายโอนพลังงานไปพร้อมกับการแผ่ไปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
6. เพราะเหตุใดจึงกล่าวว่า การทดลองของเฮิร์ตซ์เป็นการยืนยันความถูกต้องของทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์

7. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดจากประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ด้วยความเร่ง จงอธิบายว่า การเร่งประจุไฟฟ้าจากการทดลองของเฮิร์ตซ์กับการเร่งประจุไฟฟ้าในสายอากาศต่างกันอย่างไร
8. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่จากสายอากาศในทุกทิศทาง ยกเว้นทิศทางใด เพราะเหตุใด
9. แสงไมโครเวฟเดินทางผ่านอากาศไปตกกระทบบนผิวของของเหลวใสอย่างหนึ่ง โดยทำมุมตกกระทบบน 53.7 องศา ปรากฏว่าแสงสะท้อนเป็นแสงโพลาไรส์ จงหาว่าดรรชนีหักเหของของเหลวนี้มีค่าเท่าใด
10. ถ้าน้ำมีดรรชนีหักเหเท่ากับ $\frac{4}{3}$ จงหามุมโพลาไรส์ที่เกิดขึ้น เมื่อแสงมีการเดินทางดังต่อไปนี้
- 10.1 แสงเดินทางจากอากาศไปตกกระทบบนและสะท้อนกลับที่ผิวน้ำ
- 10.2 แสงเดินทางจากน้ำไปตกกระทบบนและสะท้อนกลับที่ผิวน้ำ โดยเหนือผิวน้ำเป็นอากาศ
11. แสงไมโครเวฟเดินทางผ่านอากาศไปตกกระทบบนแผ่นแก้วใส ถ้าแสงสะท้อนเป็นแสงโพลาไรส์ จงหา มุมตกกระทบบนและมุมหักเหของแสงในแผ่นแก้ว เมื่อดรรชนีหักเหของแผ่นแก้วมีค่าเท่ากับ 1.54
12. แสงไมโครเวฟเดินทางผ่านอากาศไปตกกระทบบนแผ่นแก้วทำมุมตกกระทบบนเป็นมุมโพลาไรส์ ถ้า มุมหักเหในแผ่นแก้วมีขนาด 32.0 องศา มุมโพลาไรส์และดรรชนีหักเหของแผ่นแก้วมีค่าเท่าใด
13. แผ่นวัตถุโปร่งใสผิวเรียบแผ่นบาง ๆ 3 แผ่น ซึ่งมีดรรชนีหักเห n_1 , n_2 และ n_3 ตามลำดับ วางซ้อนกัน ถ้าแสงเดินทางจากแผ่นวัตถุที่มีดรรชนีหักเห n_1 ไปตกกระทบบนผิวของแผ่นวัตถุที่มีดรรชนีหักเห n_2 ทำมุมตกกระทบบน θ_1 ซึ่งเป็นมุมบรูสเตอร์ที่ผิวรอยต่อระหว่างแผ่นวัตถุที่มีดรรชนีหักเห n_1 และ n_2 แล้วหักเหผ่านแผ่นวัตถุที่มีดรรชนีหักเห n_2 ไปตกกระทบบนผิวของแผ่นวัตถุที่มีดรรชนีหักเห n_3 ทำมุมตกกระทบบน θ_2 ซึ่งเป็นมุมบรูสเตอร์ที่ผิวรอยต่อระหว่างแผ่นวัตถุที่มีดรรชนีหักเห n_2 และ n_3 จงแสดงว่าแผ่นวัตถุแผ่นบนและแผ่นล่างมีดรรชนีหักเหเท่ากัน ($n_1 = n_3$)



▲ ภาพที่ 5.53 ภาพประกอบ Unit question 5 ข้อ 13.
ที่มา : คลังภาพ อจท.

14. มุมโพลาริซของแท่งแก้วมีขนาด 57 องศา เมื่อวางในอากาศ โดยแสงเดินทางผ่านอากาศไปตกกระทบแท่งแก้ว จงหามุมโพลาริซของแท่งแก้วเมื่อวางใต้น้ำ โดยแสงเดินทางผ่านน้ำไปตกกระทบแท่งแก้ว (กำหนดให้น้ำมีดัชนีหักเหเท่ากับ 1.33)
15. จงหาความสัมพันธ์ระหว่างมุมโพลาริซ (θ_p) กับมุมวิกฤต (θ_c) ของตัวกลางหนึ่งที่วางอยู่ในอากาศ
16. ถ้ามุมบรูสเตอร์ของนิลในอากาศมีค่าเป็น 60.5 องศา มุมวิกฤตของนิลมีค่าเท่าใด และมุมวิกฤตนี้เป็นมุมตกกระทบหรือมุมหักเหในนิล
17. รังสีธรรมดากับรังสีพิเศษเกิดขึ้นได้อย่างไร และรังสีทั้งสองเหมือนกันหรือต่างกัน อย่างไร
18. ความเข้มของแสงไม่โพลาริซเมื่อผ่านโพลาไรซ์แผ่นหนึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร เพราะเหตุใด
19. เมื่อมองผ่านโพลาไรซ์แผ่นหนึ่งไปยังแหล่งกำเนิดแสงพร้อม ๆ กับหมุนแผ่นโพลาไรซ์รอบแกนที่ตั้งฉากกับระนาบของแผ่นโพลาไรซ์ จะสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงหรือไม่ อย่างไร เพราะเหตุใด
 - 19.1 เมื่อแหล่งกำเนิดแสงเป็นกองไฟ
 - 19.2 เมื่อแหล่งกำเนิดแสงเป็นแสงที่สะท้อนจากผิวแท่งแก้ว เมื่อรังสีสะท้อนตั้งฉากกับรังสีหักเหในแท่งแก้ว
 - 19.3 เมื่อแหล่งกำเนิดแสงเป็นแสงที่หักเหผ่านผลึกควอตซ์
20. ส่องแสงผ่านแผ่นโพลาไรซ์แผ่นหนึ่งไปตกบนฉาก ขณะที่แกนส่งผ่านของแผ่นโพลาไรซ์อยู่ในแนวระดับ จากนั้นให้คนที่ยืนหันหน้าเข้าหาฉากหมุนแผ่นโพลาไรซ์ไป 45 องศา ทิศตามเข็มนาฬิกา ความเข้มแสงเริ่มต้นบนฉากมีค่าเท่าใดเมื่อเทียบกับความเข้มแสงก่อนผ่านแผ่นโพลาไรซ์ และในระหว่างการหมุนแผ่นโพลาไรซ์ ความเข้มของแสงบนฉากจะเพิ่มขึ้น ลดลง หรือเท่าเดิม ถ้าแสงที่ส่องผ่านแผ่นโพลาไรซ์เป็นแสงดังกรณีต่อไปนี้
 - 20.1 แสงไม่โพลาริซ
 - 20.2 แสงโพลาริซที่สนามไฟฟ้าของแสงมีทิศของการโพลาริซอยู่ในแนวตั้ง
 - 20.3 แสงโพลาริซที่สนามไฟฟ้าของแสงมีทิศของการโพลาริซอยู่ในแนวระดับ
 - 20.4 แสงโพลาริซที่สนามไฟฟ้าของแสงมีทิศของการโพลาริซเอียงทำมุม 45 องศา กับแนวระดับ โดยเอียงลงมาทางขวา เมื่อหันหน้าเข้าหาฉาก

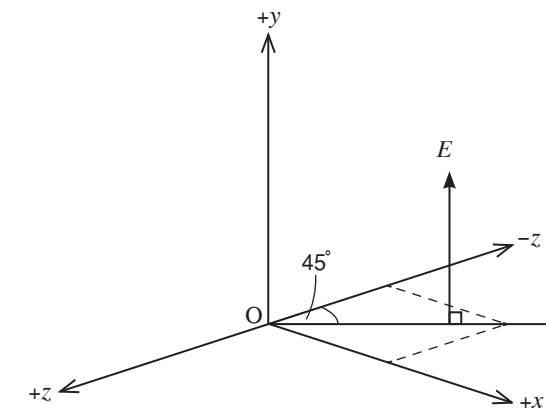
21. ถ้าต้องการตัดแสงจากดวงไฟของรถคันหนึ่งไม่ให้พุ่งเข้าตาคนขับรถอีกคันหนึ่งที่วิ่งสวนทางกัน เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดอุบัติเหตุ โดยให้รถยนต์ทั้ง 2 คัน ติดแผ่นโพลาไรซ์ไว้หน้าดวงไฟและกระจกหน้ารถยนต์ จะต้องติดตั้งแผ่นโพลาไรซ์อย่างไร เพราะเหตุใด
22. ถ้ายืนหันหน้าเข้าหาดวงอาทิตย์ในตอนเช้า แสงอาทิตย์ในทิศทางใดบ้างที่เป็นแสงโพลาริซ
23. แผ่นโพลาไรซ์ 2 แผ่น วางซ้อนกัน ถ้าแสงเคลื่อนที่ผ่านแผ่นโพลาไรซ์ทั้ง 2 แผ่น ไปได้เป็น 45 เปอร์เซ็นต์ ของแสงไม่โพลาริซที่ตกกระทบโพลาไรซ์แผ่นแรก จงหามุมระหว่างแกนส่งผ่านของโพลาไรซ์ 2 แผ่นนี้
24. แสงไม่โพลาริซผ่านแผ่นโพลาไรซ์ 2 แผ่น ที่มุมระหว่างแกนส่งผ่านเป็น 60 องศา จงหาส่วนของพลังงานของแสงตกกระทบที่แผ่นโพลาไรซ์ทั้งสองดูดกลืนไว้
25. จงเรียงลำดับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จากความยาวคลื่นยาวไป ความยาวคลื่นสั้น
26. จงระบุแหล่งกำเนิดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ ต่อไปนี้
 - 26.1 คลื่นวิทยุ
 - 26.2 รังสีอินฟราเรด
 - 26.3 แสงที่ตามองเห็น
 - 26.4 รังสีอัลตราไวโอเลต
 - 26.5 รังสีเอกซ์
 - 26.6 รังสีแกมมา
27. ถ้าคลื่นวิทยุ ไมโครเวฟ และแสงเลเซอร์ มีความถี่อยู่ในช่วง 10^4 - 10^8 เฮิรตซ์ 10^9 - 10^{12} เฮิรตซ์ และ 10^{14} เฮิรตซ์ ตามลำดับ หากส่งคลื่นเหล่านี้จากโลกไปยังดาวเทียมดวงหนึ่ง คลื่นทั้งสามจะใช้เวลาเท่ากันหรือไม่ เพราะเหตุใด
28. จากข้อมูลต่อไปนี้ จงระบุชนิดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
 - 28.1 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงานต่ำสุด
 - 28.2 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีอำนาจทะลุผ่านสูงสุด
 - 28.3 เกิดจากการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในหลอดบรรจุไอปรอท ทะลุผ่านแก้วได้น้อย แต่ทะลุผ่านควอตซ์ได้ดี
 - 28.4 ใช้ในระบบเรดาร์เพื่อนำทางเครื่องบินหรือตรวจค้นหาดำแหน่งและทิศทางของวัตถุ
 - 28.5 ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของของแข็ง

29. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดใดบ้างที่ประสาทสัมผัสของมนุษย์สามารถรับรู้ได้โดยตรง เป็นการรับรู้โดยประสาทสัมผัสใด และรับรู้ในลักษณะใด
30. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่ใดสามารถนำข่าวสารออกไปนอกโลกได้
31. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่ใดบ้างที่ใช้ในการสื่อสาร และมีวิธีการใช้อย่างไร
32. เพราะเหตุใดการส่งคลื่นวิทยุระบบเอเอ็มจึงครอบคลุมพื้นที่ได้มากกว่าการส่งคลื่นวิทยุระบบเอฟเอ็ม
33. รังสีชนิดใดที่นิยมใช้ในการอาบรังสีเพื่อการปรับปรุงพันธุ์พืช กำจัดแมลง และถนอมอาหาร
34. ระบุความเหมือนและความแตกต่างระหว่างรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา
35. บอกประโยชน์ของรังสีเอกซ์ที่นักเรียนพบเห็น พร้อมทั้งอธิบายมาพอสังเขป
36. กาแล็กซีที่อยู่ใกล้กาแล็กซีของเรามากที่สุด คือ กาแล็กซีแอนโดรเมตา โดยอยู่ห่างออกไปเป็นระยะ 2.2 ล้านปีแสง จงหาว่ากาแล็กซีแอนโดรเมตาอยู่ห่างจากกาแล็กซีของเรากี่กิโลเมตร
37. ดวงอาทิตย์อยู่ห่างจากโลก 150 ล้านกิโลเมตร จงหาเวลาที่แสงอาทิตย์เดินทางจากดวงอาทิตย์มาถึงโลก
38. สถานีวิทยุ จส.100 ออกอากาศด้วยความถี่ 100 เมกะเฮิร์ตซ์ จงหาความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งจากสถานีวิทยุ จส.100 และความยาวของเสาอากาศที่ใช้ในการส่งกระจายเสียง ถ้าเสาอากาศที่ใช้เป็นแบบไดโพลครึ่งคลื่น
39. จงหาช่วงความถี่ของรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อไปนี้
 - 39.1 รังสีอัลตราไวโอเล็ต A ที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 320 นาโนเมตร ถึง 400 นาโนเมตร
 - 39.2 รังสีอัลตราไวโอเล็ต B ที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 280 นาโนเมตร ถึง 320 นาโนเมตร
40. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นดังข้อต่อไปนี้ เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดใด
 - 40.1 0.1 นาโนเมตร
 - 40.2 100 นาโนเมตร
 - 40.3 0.5 ไมโครเมตร
 - 40.4 1 ไมโครเมตร
 - 40.5 1 เซนติเมตร
 - 40.6 1 เมตร
 - 40.7 1 กิโลเมตร



คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. ข้อความใดต่อไปนี้ไม่ถูกต้องเกี่ยวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
 1. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ในสุญญากาศได้
 2. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิดสามารถประพฤติตัวเป็นโฟตอนได้
 3. สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กในคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีเฟสเหมือนกัน
 4. ในตัวกลางเดียวกัน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกความถี่มีความเร็วเท่ากันหมด
 5. การเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็ก แต่การเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กไม่เหนี่ยวนำให้เกิดสนามไฟฟ้า
2. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งกำลังแผ่ออกจากจุด O ในระนาบ xz ดังภาพ เมื่อเวลาใด ๆ สนามไฟฟ้า E ชี้ในทิศ $+y$ ข้อใดบอกทิศทางของสนามแม่เหล็ก B ที่ตำแหน่งนั้นได้ถูกต้อง



1. B มีทิศอยู่ในแนวแกน $+z$
2. B มีทิศอยู่ในระนาบ xz โดยเข้าหาแนวแกน $+y$ ทำมุม 45 องศา กับทิศ $+y$
3. B มีทิศอยู่ในระนาบ xz โดยเข้าหาแนวแกน $-z$ ทำมุม 45 องศา กับทิศ $-z$
4. B มีทิศอยู่ในระนาบ xz โดยเข้าหาแนวแกน $+x$ ทำมุม 45 องศา กับทิศ $+x$
5. B มีทิศอยู่ในระนาบ xz โดยเข้าหาแนวแกน $+y$ ทำมุม 90 องศา กับทิศ $+y$

