



หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่



ฟิสิกส์

เล่ม ๖

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

๖



๕๐.-

ตัวอักษรกรีก

ตัวอักษรเล็ก	ตัวอักษรใหญ่	ชื่อ	
α	A	alpha	แอลฟา
β	B	beta	บีตา
γ	Γ	gamma	แกมมา
δ, ϑ	Δ	delta	เดลตา
ϵ	E	epsilon	เอปไซลอน
ζ	Z	zeta	ซีตา
η	H	eta	อีตา
θ	Θ	theta	ทีตา
ι	I	iota	ไอโอตา
κ	K	kappa	แคปปา
λ	Λ	lambda	แลมบ์ดา
μ	M	mu	มิว

ตัวอักษรเล็ก	ตัวอักษรใหญ่	ชื่อ	
ν	N	nu	นิว
ξ	Ξ	xi	ไซ
$\omicron$	O	omicron	โอไมครอน
π	Π	pi	พาย
ρ	P	rho	โร
σ	Σ	sigma	ซิกมา
τ	T	tau	เทา
υ	Y	upsilon	อูปไซลอน
ϕ	Φ	phi	ฟาย, ฟิ
χ	X	chi	ไค
ψ	Ψ	psi	ชาย
ω	Ω	omega	โอเมกา

ราชบัณฑิตยสถาน ศัพท์คณิตศาสตร์ ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พิมพ์ครั้งที่ ๙ แก้ไขเพิ่มเติม กรุงเทพฯ : ราชบัณฑิตยสถาน, ๒๕๔๙.



รูปปกหน้า เครื่องตรวจวัดอนุภาคซีเอ็มเอส (CMS หรือ Compact Muon Solenoid) เป็นหนึ่งในเครื่องตรวจวัดอนุภาคที่องค์กรเพื่อการวิจัยนิวเคลียร์แห่งยุโรป หรือ เซิร์น (CERN หรือ Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire) ใช้ศึกษาพฤติกรรมและอันตรกิริยาของอนุภาคมูลฐาน ซึ่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยได้เข้าร่วมเป็นสมาชิกของ CMS นี้ด้วย



หนังสือเรียน

รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี

ฟิสิกส์

ชั้น

มัธยมศึกษาปีที่ ๖ เล่ม ๖

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

จัดทำโดย

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ

จัดทำเป็นฉบับ e-book ครั้งที่ ๒ พ.ศ. ๒๕๖๖

มีลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำหนังสือเรียน ฉบับ e-book นี้ขึ้น โดยมีเนื้อหาเช่นเดียวกับหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๖ เล่ม ๖ ฉบับสื่อสิ่งพิมพ์ ที่จัดทำตามมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัด กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช ๒๕๕๑ ทุกประการ เพื่อให้นักเรียน ครู ผู้ปกครอง นักวิชาการ และผู้สนใจทั่วไป เข้าถึงได้ง่ายและสะดวกรวดเร็ว รวมทั้งสามารถเลือกใช้ตามความเหมาะสมกับจุดประสงค์ต่าง ๆ ทั้งนี้ สสวท. ขอสงวนสิทธิ์ในหนังสือเรียน ฉบับ e-book นี้ ตามกฎหมายลิขสิทธิ์ ห้ามผู้ใดทำซ้ำ คัดลอก ดัดแปลง เลียนแบบ จำหน่าย หรือ เผยแพร่ โดยมีได้รับอนุญาต

สามารถเข้าถึงสื่อดิจิทัลต่าง ๆ ของ สสวท. ได้ที่ <http://www.ipst.ac.th/ebook-resource/>

คำชี้แจง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช ๒๕๕๑ โดยมีจุดเน้นเพื่อพัฒนาผู้เรียนให้มีความรู้ความสามารถที่ทัดเทียมกับนานาชาติ ได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เชื่อมโยงความรู้อันซับซ้อนกับกระบวนการใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้และแก้ปัญหาที่หลากหลาย มีการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติเพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ซึ่งในปีการศึกษา ๒๕๖๑ เป็นต้นไป โรงเรียนจะต้องใช้หลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) สสวท. จึงได้จัดทำหนังสือเรียนที่เป็นไปตามมาตรฐานหลักสูตรเพื่อให้โรงเรียนได้ใช้สำหรับจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียน

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๖ เล่ม ๖ มีผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติมที่ครอบคลุมเนื้อหาบางส่วนที่ปรากฏตามตัวชี้วัดรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์กายภาพ เล่ม ๒ โดยเมื่อผู้เรียนเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิสิกส์ เล่ม ๑ – เล่ม ๖ ครบทุกชั้นปีในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ – ๖ แล้วจะสามารถบรรลุผลสัมฤทธิ์ตามตัวชี้วัดของรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์กายภาพ เล่ม ๒ ได้ และในขณะเดียวกันก็สามารถต่อยอดเนื้อหาจากรายวิชาพื้นฐานไปสู่เนื้อหาในรายวิชาเพิ่มเติมได้โดยไม่ต้องเสียเวลาเรียนซ้ำซ้อน ทั้งนี้หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิสิกส์ เล่ม ๖ นี้ มีเนื้อหาที่จำเป็นที่ต้องเรียนประกอบด้วยเรื่อง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ฟิสิกส์อะตอม ฟิสิกส์นิวเคลียร์ และฟิสิกส์อนุภาค ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษาในด้านวิทยาศาสตร์ หรือประกอบอาชีพในสาขาที่ใช้วิทยาศาสตร์เป็นฐาน เช่น แพทย์ วิศวกร สถาปนิก นักอุตุนิยมวิทยา นักธรณีวิทยา ฯลฯ โดยเน้นกระบวนการคิดวิเคราะห์และการแก้ปัญหา เชื่อมโยงความรู้สู่การนำไปใช้ในชีวิตจริง ผู้เรียนจะได้ทำกิจกรรมที่เป็นพื้นฐานที่สำคัญ รวมทั้งกิจกรรมที่ผู้เรียนสามารถคิดค้นและออกแบบการทดลองด้วยตนเอง มีแบบตรวจสอบความรู้ความเข้าใจก่อนเรียน มีแบบฝึกหัดเพื่อให้ตรวจทานความรู้หลังจากที่เรียนไปแล้ว รวมทั้งสรุปความรู้ในแต่ละบทด้วย ในการจัดทำหนังสือเรียนเล่มนี้ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจากผู้ทรงคุณวุฒิ นักวิชาการอิสระ คณาจารย์ทั้งหลาย รวมทั้งครูผู้สอน นักวิชาการ จากสถาบันและสถานศึกษาทั้งภาครัฐและเอกชน จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิสิกส์ เล่ม ๖ นี้ จะเป็นประโยชน์แก่ผู้เรียน และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ที่จะช่วยให้การจัดการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีประสิทธิภาพและประสิทธิผล หากมีข้อเสนอแนะใดที่จะทำให้หนังสือเรียนเล่มนี้ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โปรดแจ้ง สสวท. ทราบด้วย จะขอบคุณยิ่ง

(ศาสตราจารย์ชูกิจ ลิ้มปิจำนงค์)

ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กระทรวงศึกษาธิการ

คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

ฟิสิกส์ เล่ม ๒

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๒

เวลา ๘๐ ชั่วโมง จำนวน ๒ หน่วยกิต

ศึกษาการเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โพลาริเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การสื่อสารโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สมมติฐานของพลังค์ ทฤษฎีอะตอมของโบร์ ปฏิกิริยานิวเคลียส พลังงานนิวเคลียร์และฟิสิกส์อนุภาค โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การสืบเสาะหาความรู้ การสืบค้นข้อมูล การสังเกต วิเคราะห์ เปรียบเทียบ อธิบาย อภิปราย และสรุป เพื่อให้เกิดความรู้ ความเข้าใจ มีความสามารถในการตัดสินใจ มีทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ รวมทั้งทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ในด้านการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ ด้านการคิดและการแก้ปัญหา ด้านการสื่อสาร สามารถสื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ในชีวิตของตนเอง มีจิตวิทยาศาสตร์ จริยธรรม คุณธรรม และค่านิยมที่เหมาะสม

ผลการเรียนรู้

๑. อธิบายการเกิดและลักษณะเฉพาะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แสงไม่โพลาไรส์ แสงโพลาไรส์เชิงเส้น และแผ่นโพลาไรซ์ รวมทั้งอธิบายการนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่ต่าง ๆ ไปประยุกต์ใช้และ หลักการทำงานของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง
๒. สืบค้นและอธิบายการสื่อสารโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการส่งผ่านสารสนเทศ และเปรียบเทียบการสื่อสารด้วยสัญญาณแอนะล็อกกับสัญญาณดิจิทัล
๓. อธิบายสมมติฐานของพลังค์ ทฤษฎีอะตอมของโบร์ และการเกิดเส้นสเปกตรัมของอะตอมไฮโดรเจน รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
๔. อธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกและคำนวณพลังงานโฟตอน พลังงานจลน์ของโฟโตอิเล็กตรอนและฟังก์ชันงานของโลหะ
๕. อธิบายทวิภาวะของคลื่นและอนุภาค รวมทั้งอธิบายและคำนวณความยาวคลื่นเดอบรอกลี
๖. อธิบายกัมมันตภาพรังสีและความแตกต่างของรังสีแอลฟา บีตาและแกมมา
๗. อธิบายและคำนวณกัมมันตภาพของนิวเคลียสกัมมันตรังสี รวมทั้งทดลอง อธิบาย และคำนวณจำนวนนิวเคลียสกัมมันตรังสีที่เหลือจากการสลายและครึ่งชีวิต
๘. อธิบายแรงนิวเคลียร์ เสถียรภาพของนิวเคลียส และพลังงานยึดเหนี่ยว รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
๙. อธิบายปฏิกิริยานิวเคลียร์ ฟิชชัน และฟิวชัน รวมทั้งคำนวณพลังงานนิวเคลียร์
๑๐. อธิบายประโยชน์ของพลังงานนิวเคลียร์และรังสี รวมทั้งอันตรายและการป้องกันรังสีในด้านต่าง ๆ
๑๑. อธิบายการค้นคว้าวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาค แบบจำลองมาตรฐาน และการใช้ประโยชน์จากการค้นคว้าวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาคในด้านต่าง

รวมทั้งหมด ๑๑ ผลการเรียนรู้

ข้อเสนอแนะทั่วไปในการใช้หนังสือเรียน

หนังสือเรียนเป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อให้นักเรียนได้ใช้ในการศึกษาเนื้อหาที่สำคัญและเกิดทักษะที่จำเป็นที่สอดคล้องกับมาตรฐานและสาระการเรียนรู้ รวมทั้งยังมีสื่อที่ช่วยเสริมการเรียนรู้ของนักเรียน โดยสามารถเชื่อมต่อไปยังหน้าเว็บไซต์รายการสื่อได้จาก QR code หรือ URL ที่อยู่ประจำแต่ละบท การทำความเข้าใจเกี่ยวกับสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียน จะช่วยให้นักเรียนใช้หนังสือเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียน มีดังนี้

- คำถามสำคัญ
- จุดประสงค์การเรียนรู้
- ความรู้ก่อนเรียน
- ข้อสังเกต
- ขวนคิด
- กิจกรรม
- คำถามท้ายกิจกรรม
- กิจกรรมลองทำดู
- ความรู้เพิ่มเติม
- รู้หรือไม่
- สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน
- แบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ
- แบบฝึกหัดท้ายบท



คำถามสำคัญ

คำถามประจำบทที่นักเรียนต้องอาศัยความรู้ทั้งหมดในบทเรียนในการตอบคำถาม ซึ่งนักเรียนควรตอบได้หลังจากได้เรียนรู้ในบทนั้นแล้ว



จุดประสงค์การเรียนรู้

เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ที่ต้องการให้นักเรียนเกิดความรู้หรือทักษะหลังจากผ่านกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ ซึ่งนักเรียนควรศึกษาทำความเข้าใจก่อนเริ่มเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ



ความรู้ก่อนเรียน

คำสำคัญหรือข้อความสั้น ๆ ที่เกี่ยวกับความรู้ที่นักเรียนควรมีสำหรับเป็นพื้นฐานของการศึกษาความรู้ใหม่ในแต่ละบท



ข้อสังเกต

ความรู้ที่เกี่ยวข้องเพื่อให้นักเรียนเห็นแนวคิดสำคัญและความเชื่อมโยงของเนื้อหา



ชวนคิด

คำถามระหว่างเรียนที่เชื่อมโยงหรือต่อยอดความรู้เดิมที่ศึกษาแล้วกับความรู้ใหม่หรือความรู้ในศาสตร์อื่น เพื่อให้นักเรียนเห็นความสัมพันธ์หรือความต่อเนื่องของเนื้อหา



กิจกรรม

การปฏิบัติที่ช่วยในการเรียนรู้เนื้อหาหรือฝึกฝนให้เกิดทักษะตามจุดประสงค์การเรียนรู้ของบทเรียน โดยอาจเป็นการทดลอง การสืบค้นข้อมูล หรือกิจกรรมอื่น ๆ ซึ่งนักเรียนควรลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง



คำถามท้ายกิจกรรม

คำถามที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมนั้น ๆ ช่วยเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ อภิปรายและสรุปผลการทำกิจกรรม



กิจกรรมลองทำดู

การปฏิบัติที่ช่วยเสริมความรู้ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาในบทเรียน ซึ่งอาจเป็นกิจกรรมที่ลงมือปฏิบัติในห้องเรียนหรือนอกเวลาเรียนได้



ความรู้เพิ่มเติม

ความรู้ที่เพิ่มเติมจากเนื้อหาในบทเรียน เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจมากขึ้น โดยไม่มีการวัดและประเมินผล



รู้หรือไม่

ความรู้ที่เชื่อมโยงให้เห็นความสอดคล้องของเนื้อหาบทเรียนกับปรากฏการณ์หรือสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน



สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

การสรุปเนื้อหาสำคัญภายในบทเรียน เพื่อช่วยให้เห็นภาพรวมของเนื้อหาทั้งหมด

แบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ

ประกอบด้วย 2 ส่วน ดังนี้



คำถามตรวจสอบความเข้าใจ

คำถามระหว่างเรียนที่ช่วยประเมินการเรียนรู้ ซึ่งนักเรียนสามารถใช้ตรวจสอบว่า ตนเองมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาแล้วหรือยัง



แบบฝึกหัด

แบบฝึกหัดระหว่างเรียนที่ช่วยฝึกทักษะการคิด การคำนวณ และการแก้ปัญหาเบื้องต้น โดยใช้ความรู้ในหัวข้อนั้น ๆ ซึ่งนักเรียนสามารถใช้ตรวจสอบความเข้าใจของเนื้อหา และฝึกฝนตนเองให้มีทักษะที่จำเป็นตามจุดประสงค์การเรียนรู้ได้

แบบฝึกหัดท้ายบท

ประกอบด้วย 3 ส่วน ดังนี้



คำถาม

คำถามที่เน้นให้นักเรียนตอบโดยการเขียนบรรยายแสดงความเข้าใจ จนถึงการวิเคราะห์



ปัญหา

ปัญหาที่มีความซับซ้อนน้อยจนถึงปานกลาง เน้นให้นักเรียนได้ใช้ทักษะการคำนวณ และการแก้ปัญหา



ปัญหาท้าทาย

ปัญหาที่มีความซับซ้อนมาก เน้นให้นักเรียนได้ใช้ทักษะการคิดระดับสูงในการคำนวณ และการแก้ปัญหา

18

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

18.1 การเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	3
18.2 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	12
18.2.1 คลื่นวิทยุ	13
18.2.2 ไมโครเวฟ	14
18.2.3 รังสีใต้แดงหรือรังสีอินฟราเรด	14
18.2.4 แสง	16
18.2.5 รังสีเหนือม่วงหรือรังสีอัลตราไวโอเล็ต	17
18.2.6 รังสีเอกซ์	20
18.2.7 รังสีแกมมา	21
18.3 โพลาริเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	23
18.4 การประยุกต์ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	28
18.4.1 เครื่องฉายรังสีเอกซ์	28
18.4.2 เครื่องถ่ายภาพเอกซ์เรย์คอมพิวเตอร์	31
18.4.3 เครื่องควบคุมระยะไกล	33
18.4.4 เครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นโลก	35
18.4.5 เครื่องถ่ายภาพการลั่นพังของแม่เหล็ก	36
18.5 การสื่อสารโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	39
18.5.1 การสื่อสารโดยอาศัยคลื่นวิทยุ	39
18.5.2 การสื่อสารโดยอาศัยไมโครเวฟ	43
18.5.3 การสื่อสารโดยอาศัยแสง	44
18.5.4 สัญญาณแอนะล็อกและสัญญาณดิจิทัล	45
สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน	47
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 18	49

19

ฟิสิกส์อะตอม

19.1 สมมติฐานของพลังค์และทฤษฎีอะตอมของโบร์	53
19.1.1 การแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัตถุดำ	53
19.1.2 ทฤษฎีอะตอมของโบร์	59
19.2 ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก	81
19.2.1 ควอนตัมของแสงและโฟตอน	81
19.2.2 ฟังก์ชันงานและพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอน	83
19.3 ทวิภาวะของคลื่นและอนุภาค	93
19.3.1 สมมติฐานของเดอบรอยล์	93
19.3.2 กลศาสตร์ควอนตัมและการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์	97
สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน	104
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 19	105

20

ฟิสิกส์นิวเคลียร์และฟิสิกส์อนุภาค

20.1 เสถียรภาพของนิวเคลียส	114
20.1.1 แรงแม่เหล็กนิวเคลียร์	114
20.1.2 พลังงานยึดเหนี่ยว	119
20.2 กัมมันตภาพรังสี	131
20.2.1 การค้นพบกัมมันตภาพรังสี	131
20.2.2 รังสีจากธาตุและไอโซโทปกัมมันตรังสี	134
20.2.3 การสลายและสมการการสลาย	137
20.2.4 กัมมันตภาพ	145
20.2.5 ครึ่งชีวิต	150
20.3 ปฏิกิริยานิวเคลียร์และพลังงานนิวเคลียร์	161
20.3.1 ฟิชชัน	163
20.3.2 ฟิวชัน	170

สารบัญ	บทที่ 20 - ภาคผนวก	
บทที่	เนื้อหา	หน้า
	20.4 ประโยชน์และการป้องกันอันตรายจากรังสี	177
	20.4.1 การนำรังสีไปใช้ประโยชน์	177
	20.4.2 รังสีในธรรมชาติและการป้องกันอันตรายจากรังสี	181
	20.5 ฟิสิกส์อนุภาค	186
	20.5.1 อนุภาคมูลฐาน	186
	20.5.2 แบบจำลองมาตรฐาน	194
	20.5.3 ประโยชน์จากการค้นคว้าวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาค	200
	สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน	206
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 20	209

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ตารางธาตุ	221
ภาคผนวก ข คณิตศาสตร์สำหรับฟิสิกส์	222
ภาคผนวก ค ระบบหน่วยระหว่างชาติ	233
ภาคผนวก ง ตารางฟังก์ชันตรีโกณมิติ	236
ภาคผนวก จ ตารางเลขกำลังสอง รากที่สองและส่วนกลับ	237
ภาคผนวก ฉ ตัวอย่างการบันทึกผลการทดลอง	238
ภาคผนวก ช ลอการิทึม	241
คำศัพท์	244
บรรณานุกรม	247
ที่มาของรูป	249
คณะกรรมการจัดทำหนังสือเรียน	253

บทที่



ipst.me/11067

18

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า



โลกในยุคโลกาภิวัตน์มีการใช้เทคโนโลยีในการส่งและรับข่าวสารต่าง ๆ การส่งเสริมทางด้านการศึกษา การทำธุรกิจออนไลน์ อีกทั้งปัจจุบันยังสามารถควบคุมการทำงานเครื่องมือเครื่องใช้ภายในบ้านผ่านสมาร์ทโฟนได้ ที่เรียกว่า อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (internet of things) กิจกรรมดังกล่าวเกี่ยวข้องกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งสิ้น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดขึ้นได้อย่างไร แต่ละชนิดมีลักษณะเป็นอย่างไร และนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ ได้อย่างไร จะได้ศึกษาในบทนี้



คำถามสำคัญ

- คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดขึ้นได้อย่างไร มีลักษณะเฉพาะอย่างไร และนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้อย่างไร
- การสื่อสารโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในระบบดิจิทัล และระบบแอนะล็อกแตกต่างกันอย่างไร



จุดประสงค์การเรียนรู้

18.1 การเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

1. อธิบายการเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
2. อธิบายลักษณะเฉพาะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

18.2 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

3. บอกความหมายของสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
4. อธิบายการนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่ต่าง ๆ ไปประยุกต์ใช้

18.3 โพลาริเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

5. อธิบายโพลาริเซชันของแสง แสงไม่โพลาไรส์และแสงโพลาไรส์เชิงเส้น
6. สังเกตความสว่างของแสงเมื่อผ่านแผ่นโพลาไรซ์สองแผ่น

18.4 การประยุกต์ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

7. ยกตัวอย่างและอธิบายหลักการทำงานอุปกรณ์บางชนิดที่ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

18.5 การสื่อสารโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

8. สืบค้นและอธิบายการสื่อสารโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
9. เปรียบเทียบการสื่อสารด้วยสัญญาณแอนะล็อกกับสัญญาณดิจิทัล



ความรู้ก่อนเรียน

สมบัติของคลื่น คลื่นกล ไฟฟ้าสถิต ไฟฟ้ากระแส แม่เหล็กและไฟฟ้า

เราทราบมาแล้วว่า คลื่น เกิดจากการรบกวนสิ่งใดสิ่งหนึ่งแล้วมีการส่งผ่านพลังงานของการรบกวนนั้น จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง สำหรับคลื่นกล การส่งผ่านพลังงานดังกล่าวต้องอาศัยตัวกลางเท่านั้น เช่น คลื่นในเส้นเชือก คลื่นน้ำ และ คลื่นเสียง ขณะคลื่นกลเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง อนุภาคตัวกลางจะเคลื่อนที่แบบแกว่งกวัดรอบจุดสมดุลของแต่ละอนุภาค และส่งผ่านพลังงานไปยังอนุภาคในบริเวณถัดไป ทำให้อนุภาคเหล่านั้นเคลื่อนที่แบบแกว่งกวัดต่อเนื่องกันไป สำหรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถส่งผ่านพลังงานออกไปได้โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดขึ้นได้อย่างไร และแผ่ออกจากแหล่งกำเนิดอย่างไร จะได้ศึกษาต่อไป

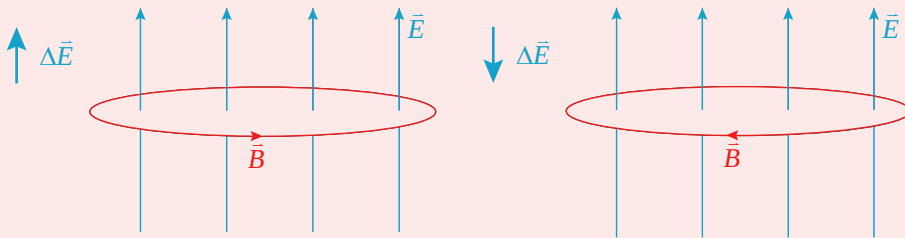
18.1 การเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

จากการศึกษาเกี่ยวกับสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก เราทราบแล้วว่าประจุไฟฟ้าทำให้เกิดสนามไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก นอกจากนี้ยังทราบอีกว่า เมื่อฟลักซ์แม่เหล็กเปลี่ยนแปลงผ่านขดลวดตัวนำ จะทำให้เกิดอีเอ็มเอฟเหนี่ยวนำในขดลวดตัวนำนั้น ในปี พ.ศ. 2407 เจมส์ คลาร์ก แมกซ์เวลล์ (James Clerk Maxwell) ได้รวบรวมแนวคิดเกี่ยวกับไฟฟ้าและแม่เหล็ก โดยนำเสนอในรูปแบบของสมการคณิตศาสตร์ว่า สนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก และสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาทำให้เกิดสนามไฟฟ้า โดยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กมีทิศทางตั้งฉากซึ่งกันและกัน แมกซ์เวลล์ได้ทำนายว่ามีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic waves) ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่องระหว่างสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก โดยเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วประมาณ 3×10^8 เมตรต่อวินาที ซึ่งเท่ากับอัตราเร็วของแสง จึงได้เสนอแนวคิดว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ช่วงหนึ่ง คำทำนายนี้ได้รับการยืนยันว่าเป็นจริงโดยการทดลองของเฮิร์ตซ์ ในปี พ.ศ. 2430



ความรู้เพิ่มเติม

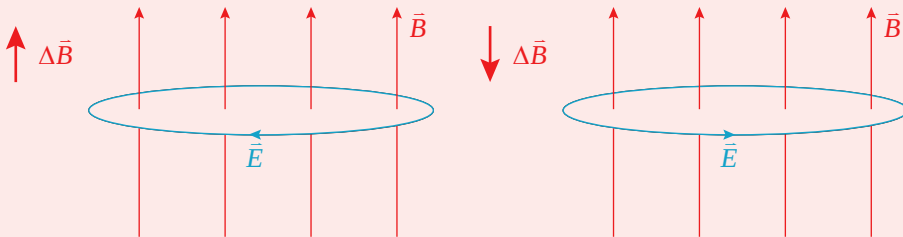
สนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก และสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาทำให้เกิดสนามไฟฟ้า สามารถเขียนภาพแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้



ก. เมื่อสนามไฟฟ้าเพิ่ม

ข. เมื่อสนามไฟฟ้าลด

รูป การเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็ก



ก. เมื่อสนามแม่เหล็กเพิ่ม

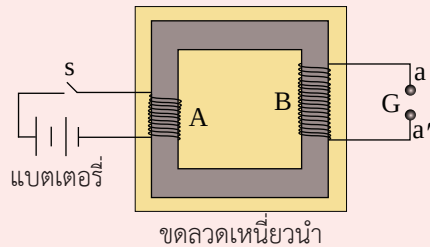
ข. เมื่อสนามแม่เหล็กลด

รูป การเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำให้เกิดสนามไฟฟ้า



ความรู้เพิ่มเติม

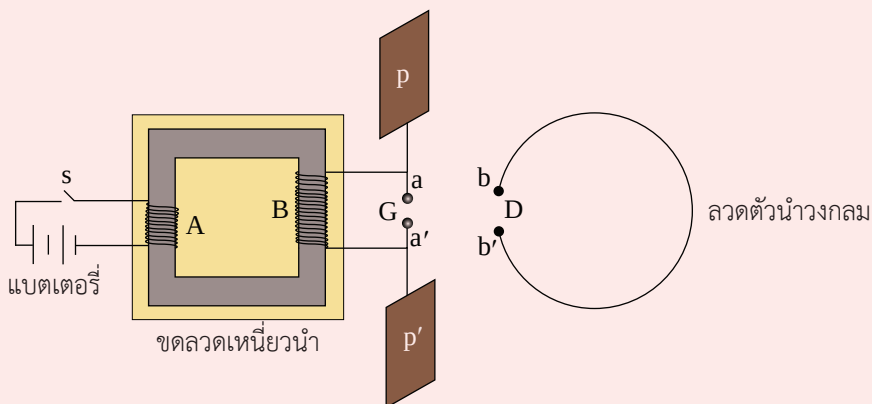
เฮิร์ตซ์ได้ทดลองพิสูจน์หาคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามคำทำนายของแมกซ์เวลล์ โดยใช้ **ขดลวดเหนี่ยวนำ (induction coil)** ประกอบด้วยขดลวดสองขดพันรอบแกนเหล็ก ขดลวด A เป็นขดลวดปฐมภูมิ ขดลวด B เป็นขดลวดทุติยภูมิ ซึ่งมีจำนวนรอบมากกว่าขดลวด A มาก ปลายของขดลวดทุติยภูมิทั้งสองข้างต่อกับตัวนำทรงกลม a และ a' อยู่ห่างกันเป็นช่องแคบ G ส่วนขดลวดปฐมภูมิต่อกับสวิตช์ S เป็นสวิตช์แบบสั่น ทำหน้าที่ปิดเปิดวงจรไฟฟ้าของขดลวดปฐมภูมิซึ่งต่อกับแบตเตอรี่ มีผลทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ผ่านขดลวดปฐมภูมิตามจังหวะการปิดเปิดของสวิตช์ ดังรูป



รูป แผนภาพอุปกรณ์การทดลองของเฮิร์ตซ์

เมื่อสวิตช์ปิดเปิดวงจรไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าที่ผ่านขดลวดปฐมภูมิจะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นจังหวะตามไปด้วย ซึ่งจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงภายในแกนเหล็กของขดลวด เนื่องจากขดลวด B มีจำนวนรอบมากกว่า ดังนั้นสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงนี้จะเหนี่ยวนำให้เกิดอีเอ็มเอฟที่สูงมากในช่วงเวลาสั้นๆ ที่ขดลวด B ส่งผลให้ตัวนำทรงกลมทั้งสองเกิดสนามไฟฟ้าภายในช่องแคบ G ที่มีค่ามากพอที่จะทำให้อากาศระหว่างช่องแคบแตกตัว เกิดเป็นประกายไฟขึ้น เพราะฉะนั้นทุกครั้งที่เราสวิตช์ปิดหรือเปิดวงจรจะเห็นประกายไฟที่ช่องแคบนี้

เฮิร์ตซ์ใช้แผ่นโลหะแบน p และ p' ทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุ ต่อเข้ากับตัวนำทรงกลม a และ a' ตามลำดับทำหน้าที่ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แล้วใช้เส้นลวดตัวนำงอเป็นรูปวงกลมต่อกับตัวนำทรงกลมเล็ก ๆ b และ b' โดยเหลือช่องแคบ D ไว้ แล้วนำมาไว้ห่างช่องแคบ G พอสมควรทำหน้าที่รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แสดงการส่งและรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังรูป



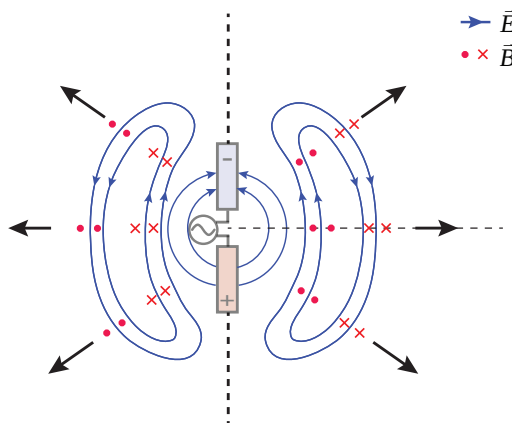
รูป การส่งและรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามการทดลองของเฮิร์ตซ์

การส่งและรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะสังเกตจากประกายไฟฟ้าที่ช่องแคบ G และช่องแคบ D ตามลำดับ เฮอร์ตซ์ยืนยันว่ามีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่ออกจากช่องแคบ G ตามแนวคิดของแมกซ์เวลล์ โดยอธิบายการเกิดประกายไฟฟ้าที่ช่องแคบ D ดังนี้

ขณะที่เกิดอีเอ็มเอฟเหนี่ยวนำสูงช่วงเวลาสั้น ๆ ในขดลวด B ความต่างศักย์ซึ่งมีความถี่สูงมาก จะเกิดระหว่างแผ่นโลหะแบนทั้งสองที่ต่อไว้ ความถี่นี้ขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวด B ขนาดแผ่นโลหะแบนและระยะห่างช่อง G ในการทดลองทั่วไป ความถี่จะมีค่าประมาณ 10^8 เฮิร์ตซ์ ความต่างศักย์แปรเปลี่ยนที่เกิดขึ้นช่วงเวลาหนึ่งและมีความถี่สูง จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงและประกายไฟที่ช่องแคบ G

การที่สนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงและเกิดประกายไฟที่ช่องแคบ G ทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่ออกจากช่องแคบ G เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านลวดตัวนำวงกลมในรูป โดยรัศมีของลวดตัวนำวงกลมและขนาดช่องแคบ D ที่เหมาะสม จะทำให้เกิดความต่างศักย์และสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง จึงเกิดประกายไฟที่ช่องแคบ D มีความถี่ของสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงเท่ากับที่ช่องแคบ G

ตัวอย่างการเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยพิจารณาการเปลี่ยนสนามไฟฟ้ากับเวลา ซึ่งเกิดจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงมากพอที่ต่อเข้ากับสายอากาศ เช่น ท่อนโลหะของสายอากาศที่วางตัวอยู่ในแนวดิ่ง จะมีอิเล็กตรอนในสายอากาศเคลื่อนที่กลับไปมาด้วยความเร่งในแนวดิ่ง ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ซึ่งเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาด้วย เกิดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่ออกรอบสายอากาศทุกทิศทางในแนวรัศมี ยกเว้นในแนวดิ่งซึ่งเป็นแนวเส้นตรงเดียวกับสายอากาศ ดังรูป 18.1



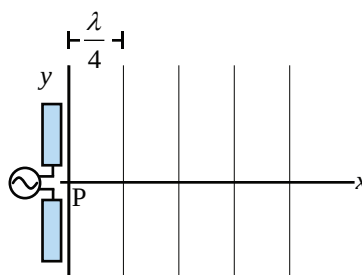
รูป 18.1 การแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายอากาศที่อยู่ในสุญญากาศ

จากรูป 18.1 พิจารณากรณีสายอากาศอยู่ในสุญญากาศ ประกอบด้วยท่อนโลหะ 2 ท่อน ต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ที่ทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างท่อนโลหะทั้งสองเปลี่ยนแปลงกับเวลาในรูปของฟังก์ชันแบบไซน์ ในที่นี้จะอธิบายการเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่น λ แผ่ออกไปในแนวเส้นตรงที่ตั้งฉากกับสายอากาศได้ดังนี้

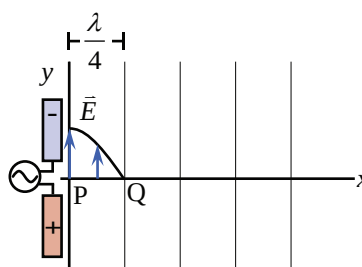
เมื่อพิจารณาตำแหน่ง P ใกล้สายอากาศ โดยเวลาที่เริ่มพิจารณา $t = 0$ ความต่างศักย์ระหว่างท่อนโลหะทั้งสองเป็นศูนย์ ท่อนโลหะจะมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า ณ ขณะนี้สนามไฟฟ้าที่จุด P จะมีค่าเป็นศูนย์ ดังรูป 18.2 ก.

เมื่อเวลาผ่านไป ตำแหน่ง P จะมีค่าสนามไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและมีการเหนี่ยวนำต่อเนื่อง ให้เกิดสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงแผ่ออกไปที่ตำแหน่งอื่น ๆ โดยขณะที่ $t = \frac{T}{4}$ (T เป็นคาบการเคลื่อนที่ครบรอบของประจุไฟฟ้า) ความต่างศักย์ระหว่างท่อนโลหะทั้งสองมีค่าสูงสุด โดยท่อนโลหะล่างมีประจุไฟฟ้าบวกมากที่สุด และท่อนโลหะบนมีประจุไฟฟ้าลบมากที่สุด ทำให้ตำแหน่ง P เกิดสนามไฟฟ้า $\vec{E}$ มีค่ามากที่สุดและมีทิศทางชี้ขึ้น ซึ่งขณะนี้การเหนี่ยวนำต่อเนื่อง ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงแผ่ไปถึงจุด Q ด้วยอัตราเร็วแสง ดังรูป 18.2 ข.

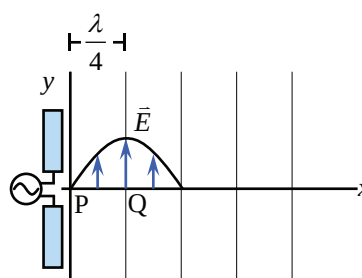
เมื่อเวลาผ่านไป ตำแหน่ง P จะมีค่าสนามไฟฟ้าลดลงและมีการเหนี่ยวนำต่อเนื่อง ให้เกิดสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงแผ่ออกไป โดยขณะที่ $t = \frac{T}{2}$ ความต่างศักย์ระหว่างท่อนโลหะทั้งสองเป็นศูนย์ ท่อนโลหะจะมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้าอีก ณ ขณะนี้สนามไฟฟ้าที่จุด P จะลดลงเป็นศูนย์ การเหนี่ยวนำต่อเนื่องทำให้สนามไฟฟ้าที่ตำแหน่ง Q เพิ่มขึ้นสูงสุด ดังรูป 18.2 ค.



ก. สนามไฟฟ้าที่เวลา $t = 0$



ข. สนามไฟฟ้าที่เวลา $t = \frac{T}{4}$



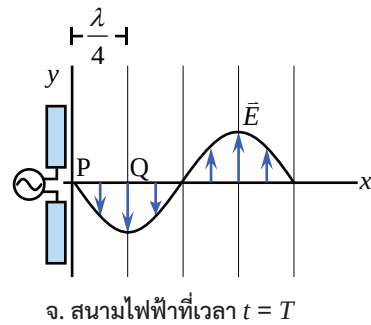
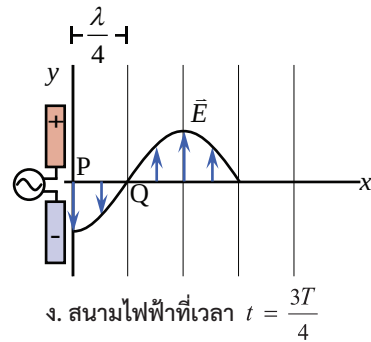
ค. สนามไฟฟ้าที่เวลา $t = \frac{T}{2}$

เมื่อเวลาผ่านไปสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่ง P จะกลับทิศ มีขนาดเพิ่มขึ้นและมีการเหนี่ยวนำต่อเนื่องให้เกิดสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงแผ่ออกไป โดยขณะที่ $t = \frac{3T}{4}$ ความต่างศักย์ระหว่างท่อนโลหะทั้งสองมีค่าสูงสุด แต่ครั้งนี้ท่อนโลหะบนมีประจุไฟฟ้าบวกมากที่สุด และท่อนโลหะล่างมีประจุไฟฟ้าลบมากที่สุด ทำให้สนามไฟฟ้าที่จุด P มีค่ามากที่สุดแต่มีทิศทางซีก โดยมีการเหนี่ยวนำต่อเนื่อง ให้เกิดสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงแผ่ออกไป ดังรูป 18.2 จ.

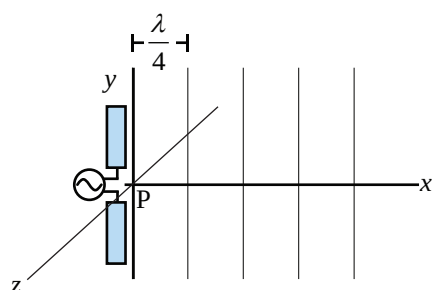
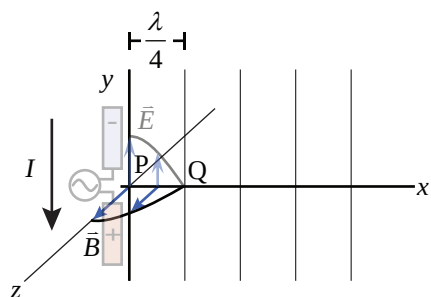
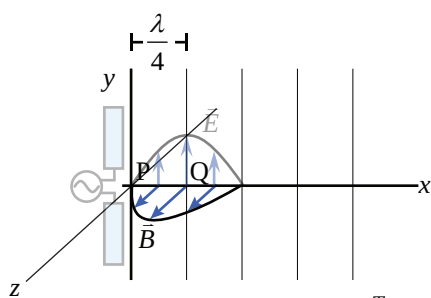
ทำนองเดียวกัน เมื่อเวลา $t = T$ ประจุเคลื่อนที่กลับไปครบรอบ ความต่างศักย์ระหว่างท่อนโลหะทั้งสองเปลี่ยนกลับมาเป็นศูนย์ ท่อนโลหะจะมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้าอีกครั้ง ทำให้สนามไฟฟ้าที่จุด P เป็นศูนย์ การเหนี่ยวนำต่อเนื่อง ให้เกิดสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงแผ่ออกไปจากสายอากาศ ดังรูป 18.2 จ.

สนามไฟฟ้าที่เกิดการเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่องจากสายอากาศที่ต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ เกิดสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงและแผ่ออกไปจากสายอากาศ (คล้ายกับการแผ่ของคลื่นในเส้นเชือก)

สำหรับสนามแม่เหล็ก $\vec{B}$ เกิดจากการเหนี่ยวนำต่อเนื่อง พร้อมกับการเกิดของสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง พิจารณาค่ายกับสนามแม่เหล็กที่เกิดจากเส้นลวดตรงที่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน



รูป 18.2 แผนภาพการเกิดสนามไฟฟ้า $\vec{E}$ เนื่องจากประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่กลับไปมาในสายอากาศและเคลื่อนที่จากสายอากาศด้วยความเร็วแสง

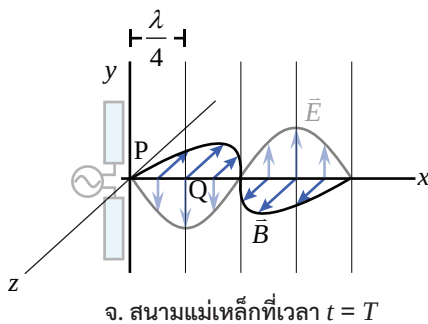
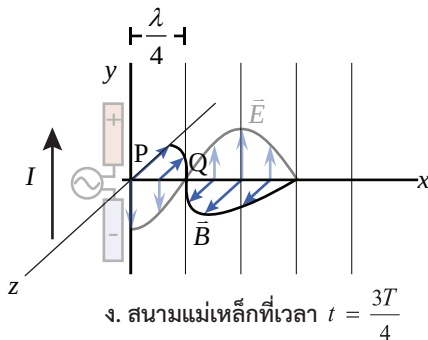
ก. สนามแม่เหล็กที่เวลา $t = 0$ ข. สนามแม่เหล็กที่เวลา $t = \frac{T}{4}$ ค. สนามแม่เหล็กที่เวลา $t = \frac{T}{2}$

หากพิจารณาตำแหน่งใกล้สายอากาศ (จุด P) โดยเวลาที่เริ่มพิจารณา $t = 0$ ความต่างศักย์ระหว่างแท่งโลหะทั้งสองเป็นศูนย์ กระแสไฟฟ้าที่ผ่านสายอากาศจะเป็นศูนย์ ณ ขณะนี้สนามแม่เหล็กที่จุด P จะมีค่าเป็นศูนย์เช่นเดียวกับสนามไฟฟ้า ดังรูป 18.3 ก.

เมื่อเวลาผ่านไป ตำแหน่ง P มีการเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่อง ให้เกิดสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงค่าและจะมีค่าเพิ่มขึ้น แผล่ออกไป โดยขณะที่ $t = \frac{T}{4}$ ความต่างศักย์ระหว่างแท่งโลหะทั้งสองมีค่าสูงสุด โดยท่อนล่างมีประจุบวกมากที่สุด เสมือนมีกระแสไฟฟ้าในสายอากาศในทิศทางลงมีค่ามากที่สุดด้วย

ทิศทางของสนามแม่เหล็กจากสายอากาศ หาได้โดยใช้มือขวา นิ้วหัวแม่มือขวาชี้ตามทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านสายอากาศ ทิศทางการวนของนิ้วทั้งสี่จะแสดงทิศทางของสนามแม่เหล็ก ดังนั้นทิศทางของสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงบนแกน x ที่ตำแหน่ง P จะมีทิศทางชี้ออกไปทาง +z และมีค่ามากที่สุด ซึ่งขณะนี้อการเหนี่ยวนำต่อเนื่อง ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงแผ่ไปถึงจุด Q ด้วยอัตราเร็วแสง c พร้อม ๆ กับสนามไฟฟ้า ดังรูป 18.3 ข.

เมื่อเวลาผ่านไป ตำแหน่ง P จะมีค่าสนามแม่เหล็กลดลงและการเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่อง เกิดสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงแผ่ออกไป โดยขณะที่ $t = \frac{T}{2}$ ความต่างศักย์ระหว่างแท่งโลหะทั้งสองเป็นศูนย์ ดังนั้น สนามแม่เหล็กที่จุด P จะลดลงเป็นศูนย์ ขณะเดียวกัน การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลง จะแผ่ออกไปโดยการเหนี่ยวนำต่อเนื่อง ทำให้สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่ง Q เพิ่มขึ้นสูงสุดพร้อมกัน ดังรูป 18.3 ค.

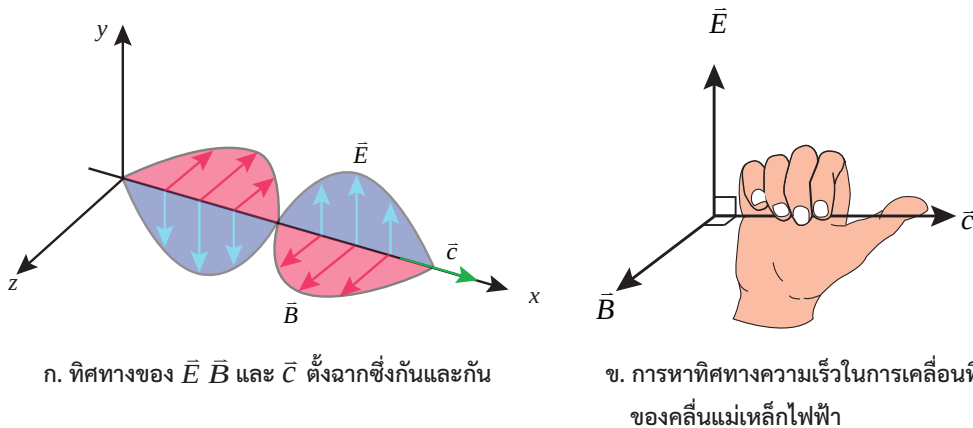


รูป 18.3 แผนภาพการเกิดสนามแม่เหล็ก

เมื่อเวลาผ่านไปสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่ง P จะกลับทิศ มีขนาดเพิ่มขึ้นและการเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่องเกิดสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงแผ่ออกไป โดยขณะที่ $t = \frac{3T}{4}$ ความต่างศักย์ระหว่างแท่งโลหะทั้งสองมีค่าสูงสุด เสมือนมีกระแสไฟฟ้าในทิศทางขึ้นมีค่าสูงสุดอีกครั้ง สนามแม่เหล็กที่จุด P จึงมีค่ามากที่สุดและมีทิศทางชี้เข้าไปทาง $-z$ โดยการเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่องเกิดสนามแม่เหล็กพร้อมทั้งสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงแผ่ออกไปจากสายอากาศ ดังรูป 18.3 จ.

เมื่อเวลา $t = T$ ประจุเคลื่อนที่กลับไปครบรอบ ความต่างศักย์ระหว่างแท่งโลหะทั้งสองเป็นศูนย์ ท่อนโลหะจะมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้าอีกครั้ง ทำให้สนามแม่เหล็กที่จุด P เป็นศูนย์อีก การเหนี่ยวนำต่อเนื่องเกิดสนามแม่เหล็กพร้อมทั้งสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงแผ่ออกไปจากสายอากาศ ดังรูป 18.3 จ.

การต่อสายอากาศกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับข้างต้น ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำต่อเนื่องระหว่างสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า เกิดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่ออกจากสายอากาศ การเปลี่ยนแปลงสนามทั้งสองมีเฟสตรงกัน กล่าวคือมีค่าเป็นศูนย์พร้อมกัน และมีค่าสูงสุดพร้อมกัน โดยทิศทางสนามทั้งสองตั้งฉากกัน ดังรูป 18.4 ก. ทิศทางความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หาได้โดยใช้มือขวา ชี้นิ้วทั้งสี่ไปตามทิศทางของสนามไฟฟ้า จากนั้นนิ้วทั้งสี่ชี้ไปหาทิศทางของสนามแม่เหล็ก นิ้วหัวแม่มือจะชี้ทิศทางของความเร็ว c ดังรูป 18.4 ข.



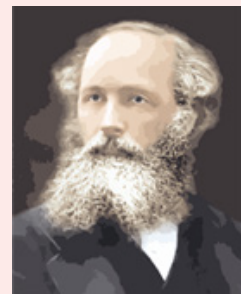
รูป 18.4 การแผ่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

จากรูป จะเห็นว่าทิศทางของสนามทั้งสองตั้งฉากกับทิศทางของความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าด้วย คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจึงเป็นคลื่นตามขวาง



ความรู้เพิ่มเติม

เจมส์ คลาร์ก แมกซ์เวลล์ (James Clerk Maxwell ค.ศ. 1831 - 1879 หรือ พ.ศ. 2374 - 2422) เป็นนักฟิสิกส์ที่อธิบายการมีอยู่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคนแรก ได้รวบรวมสมการเกี่ยวกับสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก แล้วนำเสนอสมการคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แสดงให้เห็นว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วแสง นำไปสู่ข้อสรุปว่าแสงเป็น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า



รูป แมกซ์เวลล์

ไฮน์ริช แฮทซ์ (Heinrich Hertz ค.ศ. 1857 - 1894 หรือ พ.ศ. 2400 - 2437) เป็นนักฟิสิกส์คนแรกที่สามารถทำให้เกิดและการตรวจจับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ในห้องทดลอง โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สร้างขึ้นในห้องทดลองของเขานั้นเป็นคลื่นวิทยุ



รูป แฮทซ์



คำถามตรวจสอบความเข้าใจ 18.1

1. ขณะที่กระแสไฟฟ้าผ่านสายไฟฟ้าที่ต่อระหว่างแบตเตอรี่กับหลอดไฟฟ้า จะเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่ออกมาจากสายไฟฟ้านั้นหรือไม่ เพราะเหตุใด
2. ชายคนหนึ่งอยู่ที่เส้นศูนย์สูตรของโลก ทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่ขนานกับพื้นไปทางทิศเหนือ และตรวจพบว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกไปนั้นมีการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าอยู่ในแนวทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก การเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กจะอยู่ในแนวใด
3. จงระบุความแตกต่างระหว่างคลื่นกลและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

18.2 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีหลายชนิดขึ้นอยู่กับช่วงความถี่ โดยแต่ละชนิดถูกเรียกชื่อแตกต่างกัน เช่น แสง คลื่นวิทยุ ไมโครเวฟ ริงส์เอกซ์และริงส์แกมมา คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิดสามารถแผ่ออกไปได้ในสุญญากาศด้วยอัตราเร็วประมาณ 3×10^8 เมตรต่อวินาที หากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่มีตัวกลางอยู่จะมีอัตราเร็วลดลง ขึ้นกับตัวกลางและชนิดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

อัตราเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในตัวกลาง (v) กับความถี่ (f) และความยาวคลื่น (λ) มีความสัมพันธ์กันเช่นเดียวกับคลื่นกลที่ต่อเนื่อง ตามสมการ

$$v = f\lambda$$

เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ในตัวกลางอื่น ๆ อัตราเร็วและความยาวคลื่นจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไป แต่ความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะไม่เปลี่ยนแปลง

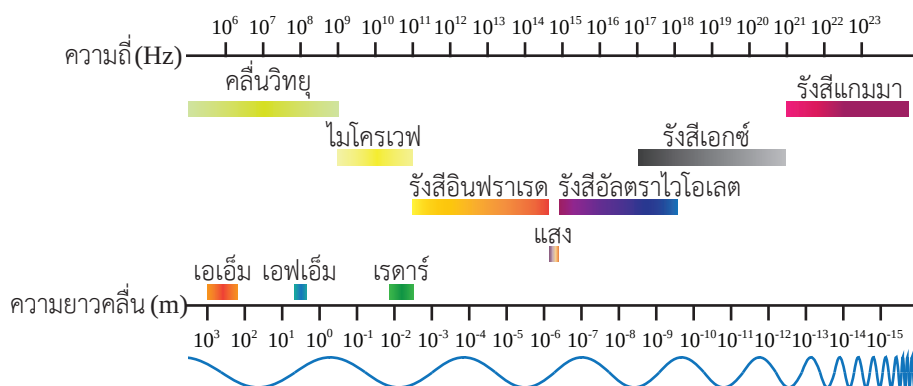


ความรู้เพิ่มเติม

อัตราเร็วของแสงในสุญญากาศเป็นค่าคงตัวเท่ากับ 299 792 458 เมตรต่อวินาที* ซึ่งถูกใช้ในการนิยามระยะทางมาตรฐาน 1 เมตร โดยระยะทางมาตรฐาน 1 เมตร มีค่าเท่ากับระยะที่แสงเดินทางในสุญญากาศในเวลา $\frac{1}{299\,792\,458}$ วินาที

* General Conference on Weights And Measures, 1983 Oct 21.

ในปัจจุบันได้มีการศึกษาจนทราบว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความถี่ต่าง ๆ สัมพันธ์กับพลังงาน โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงจะมีพลังงานสูง และเป็นความถี่ต่อเนื่องกันเป็นช่วงกว้าง เรียกรวมกันว่า สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic spectrum) ดังรูป 18.5



รูป 18.5 สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า*

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแต่ละชนิดที่มีชื่อเรียกต่าง ๆ กัน เนื่องจากแหล่งกำเนิดและการนำไปใช้งาน เมื่อพิจารณาสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะเห็นว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าบางชนิดมีความถี่บางช่วงคาบเกี่ยวกัน เช่น ไมโครเวฟกับรังสีอินฟราเรด รังสีอัลตราไวโอเล็ตกับรังสีเอกซ์ หมายความว่ารังสีช่วงนี้ถ้าเกิดจากแหล่งกำเนิดต่างกันเรียกชื่อต่างกัน แต่มีความยาวคลื่นและความถี่เท่ากัน

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่หรือความยาวคลื่นต่างกัน ทั้งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในธรรมชาติและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มนุษย์สร้างขึ้น จะถูกนำไปประยุกต์ใช้แตกต่างกัน ซึ่งจะได้ศึกษาต่อไป

18.2.1 คลื่นวิทยุ

คลื่นวิทยุ (radio waves) เป็นคลื่นที่มีความถี่น้อยกว่า 10^9 เฮิรตซ์ และความยาวคลื่นอยู่ในระดับเซนติเมตรจนถึงกิโลเมตร คลื่นวิทยุสามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย โดยความยาวคลื่นของคลื่นวิทยุที่แตกต่างกันก็จะมีการนำไปใช้ประโยชน์ที่แตกต่างกันด้วย

คลื่นวิทยุนิยมนำมาประยุกต์ใช้ในการส่งสารสนเทศจากตำแหน่งหนึ่ง (ผู้ส่ง) ไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง (ผู้รับ) โดยไม่ต้องมีสายส่งระหว่างสองตำแหน่งนั้น ในชีวิตประจำวัน สถานีวิทยุจะส่งสารสนเทศจากสถานีส่งไปยังผู้รับ โดยการผสมสัญญาณไฟฟ้าที่แปลงจากเสียงหรือภาพกับสัญญาณคลื่นวิทยุ ซึ่งสามารถผสมสัญญาณได้ 2 แบบ คือ แบบเอเอ็มและแบบเอฟเอ็ม แล้วส่งสัญญาณคลื่นผสมเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสถานีส่งไปยังผู้รับ รายละเอียดจะกล่าวถึงในหัวข้อ 18.5 การสื่อสารโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

* การแบ่งช่วงความถี่ของสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า อาจแตกต่างกันตามแหล่งที่มาของข้อมูล

18.2.2 ไมโครเวฟ

ไมโครเวฟ (microwaves) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในช่วง 10^9 ถึง 10^{11} เฮิรตซ์ และความยาวคลื่นอยู่ในระดับ มิลลิเมตร จนถึง เซนติเมตร มีสมบัติทะลุผ่านชั้นบรรยากาศได้ดีกว่าคลื่นวิทยุ มีการนำไมโครเวฟมาใช้ประโยชน์หลายอย่าง เช่น

- การทำให้อาหารร้อนด้วยเตาไมโครเวฟ กล่าวคือ ไมโครเวฟทำให้อาหารร้อนขึ้นได้ เนื่องจากทำให้โมเลกุลของน้ำสั่นจนเกิดความร้อน เตาไมโครเวฟจะใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ประมาณ 2.45 จิกะเฮิรตซ์
- การส่งสัญญาณเสียงและภาพ โดยการส่งสัญญาณดังกล่าวเป็นการผสมสัญญาณแบบ เอมป์ และไมโครเวฟยังใช้ในการส่งสัญญาณระยะไกล โดยการส่งสัญญาณจากเครื่องส่ง ไปยังดาวเทียม จากนั้นดาวเทียมจะส่งสัญญาณต่อไปยังเครื่องรับที่อยู่ไกลออกไป
- เรดาร์ (RADAR หรือ radio detection and ranging) เป็นระบบที่นำไปใช้ระบุตำแหน่งและอัตราเร็วของวัตถุ เช่น พายุ เครื่องบิน หรือการตรวจจับความเร็วรถบนท้องถนนโดยตำรวจจราจร

นอกจากนี้ไมโครเวฟยังนำไปประยุกต์ใช้ในการระบุตำแหน่งบนพื้นโลก โดยรายละเอียดจะกล่าวถึงในหัวข้อ 18.4 การประยุกต์ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

18.2.3 รังสีใต้แดงหรือรังสีอินฟราเรด

รังสีใต้แดงหรือรังสีอินฟราเรด (infrared) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในช่วง 10^{11} ถึง 10^{14} เฮิรตซ์ หรือความยาวคลื่นในระดับไมโครเมตรจนถึงระดับมิลลิเมตร รังสีอินฟราเรดมีสมบัติผ่านชั้นบรรยากาศได้ดี และยังสามารถผ่านเมฆหมอกที่หนาทึบเกินกว่าที่แสงธรรมดาคะผ่านได้ ประสาทสัมผัสทางผิวหนังของมนุษย์ สามารถรับรู้รังสีอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นบางช่วงได้ โดยปกติวัตถุต่าง ๆ จะแผ่รังสีอินฟราเรดตลอดเวลา จึงมีการพัฒนากล้องที่อาศัยรังสีอินฟราเรดในการถ่ายภาพ ซึ่งภาพที่ถ่ายได้จากกล้องนี้จะแสดงอุณหภูมิของวัตถุได้ ดังรูป 18.6



รูป 18.6 ตัวอย่างภาพถ่ายโดยใช้รังสีอินฟราเรด