

โรงเรียน ดีดี



ที่พึ่งทางการศึกษา ช่วยไขปัญหาให้ทุกคน SchoolDD.com

บทที่ 18

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า





บทที่ 18

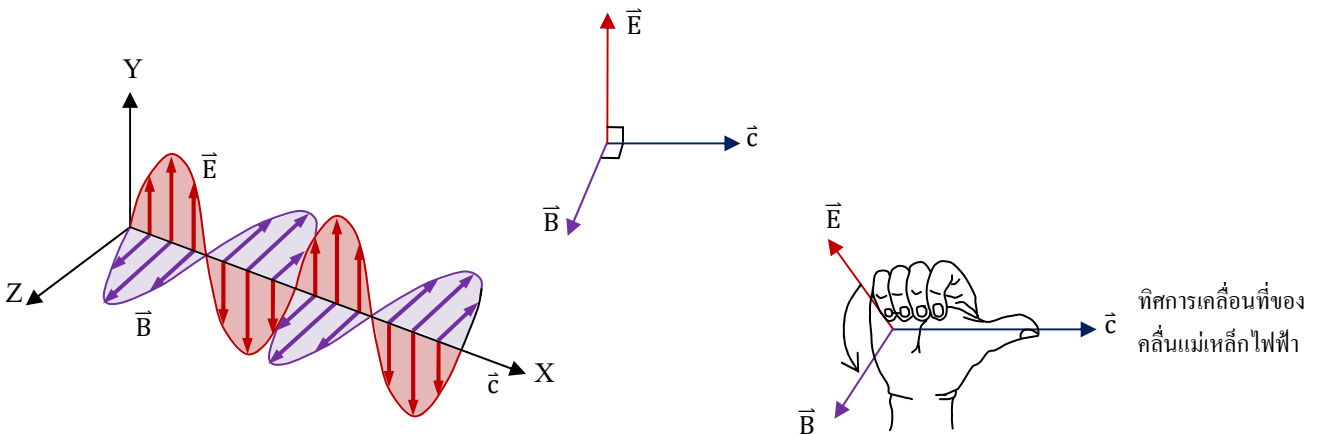
คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

อุปกรณ์ เครื่องใช้ที่เกี่ยวข้องกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น โทรศัพท์มือถือ วิทยุ โทรทัศน์ เรดาร์

18.1 ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์

สรุปได้ว่า

1. ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้า (ΔE) จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก (ΔB)
2. ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก (ΔB) จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้า (ΔE)
3. สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กมีทิศตั้งฉาก
4. การเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง จะเหนี่ยวนำสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็ก แ่่ออกไปเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

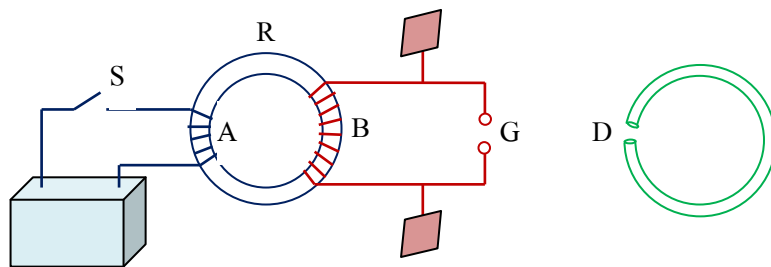


คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วย E และ B ตั้งฉากกัน

ทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ตามกฎมือขวา

- คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นตามขวาง มีสมบัติของคลื่น เหมือนคลื่นทั่วไป คือมีการสะท้อน การหักเห การเลี้ยวเบน และการแทรกสอด
- คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถเคลื่อนที่ในสุญญากาศได้ ไม่ต้องใช้ตัวกลางในการเคลื่อนที่
- คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีความเร็วเท่ากับความเร็วของแสง (3×10^8 m/s)

18.2 การทดลองของเฮิร์ตซ์

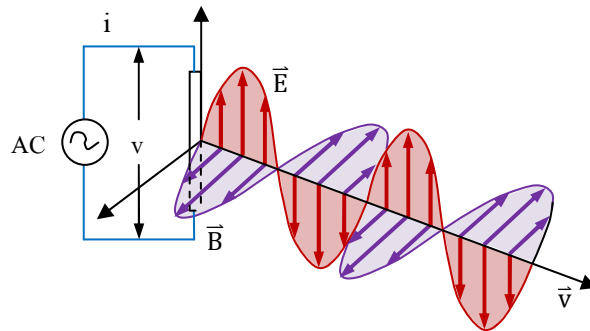


เครื่องมือทดลองการเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของเฮิร์ตซ์



เฮิร์ตซ์ นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน ได้ทำการทดลองยืนยัน ทฤษฎีของแมกซ์เวลล์ จากรูปเมื่อต่อแบตเตอรี่เข้ากับขดลวด A ซึ่งมีจำนวนรอบที่พันรอบวงแหวนโลหะ น้อยกว่าขดลวด B แล้วทำการเปิด - ปิด สวิตช์ เป็นจังหวะตลอดเวลา ทำให้กระแสไฟฟ้า เกิดการเปลี่ยนแปลงไปตามจังหวะของการ ปิด - เปิด สวิตช์ ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงภายในแกน เหล็กของวงแหวน และเหนี่ยวนำให้เกิดการเหนี่ยวนำสนามไฟฟ้าขึ้นในขดลวด B และเนื่องจากจำนวนขดลวดที่ B มากกว่าจำนวนขดลวดที่ A มาก ทำให้ที่ช่องแคบ G เกิดความต่างศักย์สูง ทำให้เกิดสนามไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าสลับ เคลื่อนที่ผ่านช่อง G จึงเกิดการ spark เป็นประกายไฟขึ้น และเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่ออกไป มีความถี่เท่ากับ ความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่กระโดดผ่านช่องแคบ G เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านช่องแคบ D ของลวดวงกลม ทำให้ช่องแคบ D เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้น โมเลกุลของอากาศเกิดการแตกตัวเป็นไอออน จึงเกิดการ spark ทำให้เห็นประกายไฟขึ้นที่ช่องแคบ D ทุกครั้งที่เกิดประกายไฟที่ช่องแคบ G

18.3 การแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายอากาศ

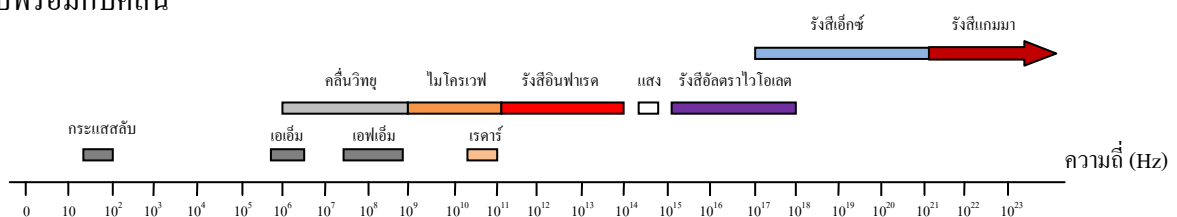


เมื่อต่อแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเข้ากับสายอากาศที่อยู่ในแนวตั้ง ประจุไฟฟ้าในสายอากาศ จะเคลื่อนที่กลับไปมาด้วยความเร่งในแนวตั้ง และแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กระจายออกมาจากสายอากาศทุกทิศทาง ยกเว้นทิศที่อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกับสายอากาศ

- สนามไฟฟ้า E และสนามแม่เหล็ก B เป็นฟังก์ชันรูปไซน์ เปลี่ยนแปลง ตามเวลา ด้วยความถี่เดียวกัน และเฟสตรงกัน

18.3 สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หมายถึง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ต่างๆ ต่อเนื่องกันเป็นช่วงกว้าง รวมกัน โดยแต่ละช่วงมีชื่อเรียกแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิด และวิธีตรวจวัดคลื่นนั้นๆ แต่ทุกคลื่นจะมีคุณสมบัติที่เหมือนกันคือ เคลื่อนที่ไปในสุญญากาศ ด้วยความเร็วแสง คือ 3.0×10^8 m/s และมีการส่งผ่านพลังงานไปพร้อมกับคลื่น



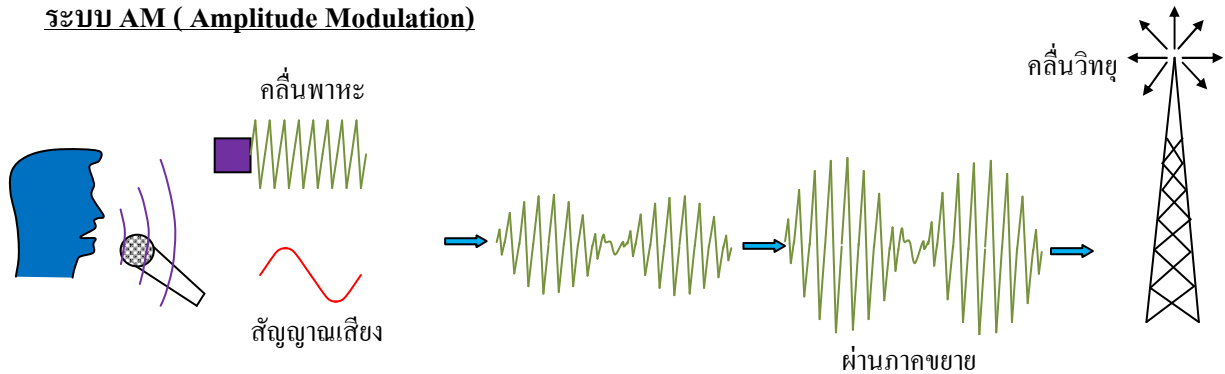
สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า



18.3.1 คลื่นวิทยุ

คลื่นวิทยุเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีความถี่อยู่ในช่วง $10^6 - 10^9$ เฮิรตซ์ การส่งสัญญาณ คลื่นวิทยุทำได้ โดยการ ไล่คลื่นเสียงลงไป ในคลื่นวิทยุซึ่งเป็นคลื่นพาหะ เรียกว่าการผสม (modulate) มีอยู่ 2 ระบบคือ

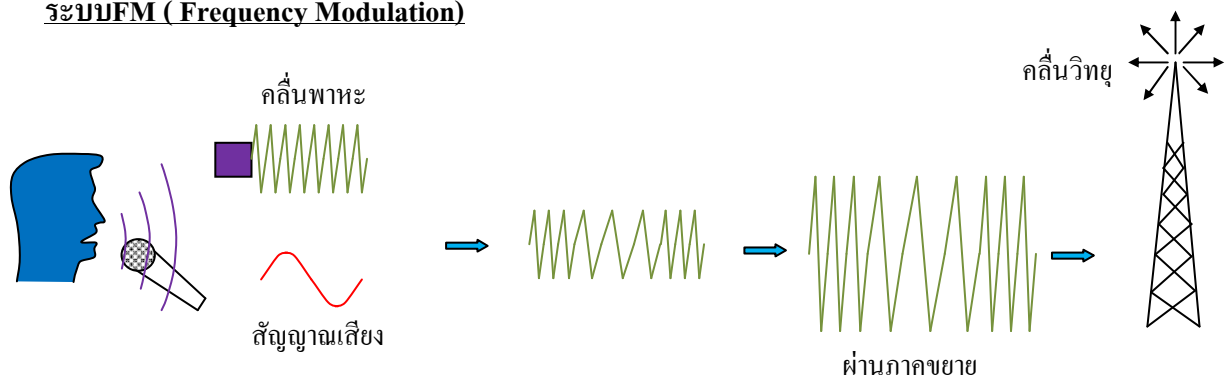
ระบบ AM (Amplitude Modulation)



การส่งสัญญาณวิทยุระบบ AM ทำได้โดยการผสมคลื่นเสียงเข้ากับคลื่นพาหะและสัญญาณเสียง(ตั้ง – ค่อย) จะบังคับให้ แอมพลิจูด ของคลื่นพาหะ เปลี่ยนแปลงไป จากนั้นจะถูกส่งออกจากเสาอากาศไปยังเครื่องรับ ต่างๆ

- การส่งสัญญาณแบบ AM ความถี่จะมีค่าคงที่ แต่แอมพลิจูดจะเปลี่ยนตลอดเวลา
- คลื่นวิทยุระบบ AM ใช้คลื่นความถี่ขนาด 530 - 1600 กิโลเฮิรตซ์ คลื่นที่มีช่วงความถี่ต่ำกว่านี้เรียกว่าคลื่นยาว และคลื่นที่มีช่วงความถี่สูงกว่านี้เรียกคลื่นสั้น
- เมื่อเกิดฟ้าแลบ ฟ้าผ่า เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า รบกวนการส่งสัญญาณระบบ AM

ระบบ FM (Frequency Modulation)

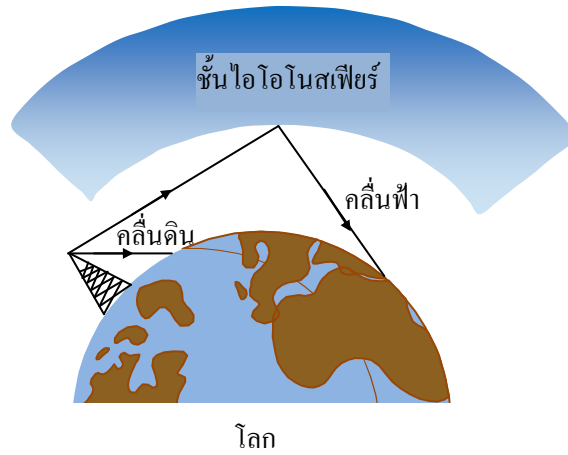


การส่ง คลื่นวิทยุระบบ FM เป็นการผสมสัญญาณเสียงเข้ากับคลื่นพาหะ โดยให้ความถี่ของคลื่นพาหะ เปลี่ยนแปลงตามจังหวะสัญญาณเสียง

- การส่งสัญญาณแบบ FM ความถี่จะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาแต่แอมพลิจูดคงที่
- ระบบ FM ใช้คลื่นความถี่ 88 - 108 เมกะเฮิรตซ์



การกระจายคลื่นวิทยุ

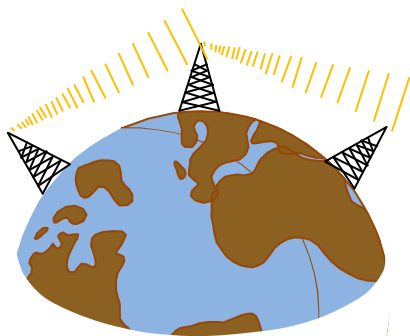


การเคลื่อนที่ของคลื่นวิทยุไปเครื่องรับ

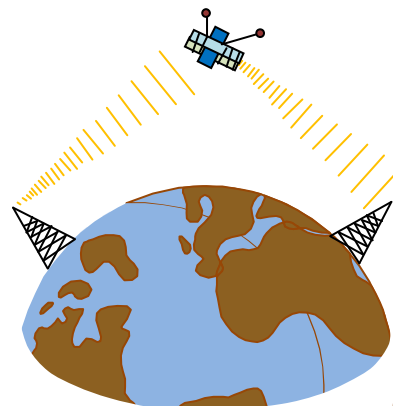
การส่งกระจายคลื่นวิทยุระบบ AM คลื่นสามารถเดินทางไปถึงเครื่องรับวิทยุได้ 2 ทาง คือ คลื่นดิน และ คลื่นฟ้า ส่วนในระบบ FM ส่งได้ทางคลื่นดิน เพียงอย่างเดียวเนื่องจากคลื่น FM มีความถี่สูง จะสะท้อนที่ชั้น ไอโอโนสเฟียร์ได้น้อย ดังนั้นถ้าต้องการกระจายเสียงระบบ FM ให้ครอบคลุมพื้นที่ไกลๆต้องมีสถานีย่อยทอดเป็น ระยะๆ

18.3.2 คลื่นโทรทัศน์

คลื่นโทรทัศน์ เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ประมาณ 10^8 เฮิรตซ์ อยู่ในช่วงเดียวกับคลื่นวิทยุ FM จึงไม่สะท้อนที่ชั้น ไอโอ โนสเฟียร์ และจะทะลุผ่านชั้นบรรยากาศไปนอกโลก การส่งคลื่นโทรทัศน์ไปไกลๆจึงต้องใช้ สถานีถ่ายทอดคลื่นเป็นระยะๆ โดยที่สัญญาณจะไปได้ไกลสุดเพียง 80 กิโลเมตรบนผิวโลกเท่านั้น ทั้งนี้เพราะผิวโลกโค้ง การถ่ายทอดผ่านดาวเทียมโดยใช้คลื่นไมโครเวฟนำสัญญาณจากสถานีส่งไปยังดาวเทียมที่โคจรรอบโลก โดยมีความเร็วเชิงมุมเท่ากับความเร็วในการหมุนรอบตัวเองของโลก จากนั้นดาวเทียมก็จะส่งคลื่นต่อไปยังสถานีรับที่อยู่ไกลๆได้



การใช้สถานีถ่ายทอดเป็นระยะ



การถ่ายทอดผ่านดาวเทียม



18.3.3 คลื่นไมโครเวฟ

คลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในช่วง $10^9 - 10^{11}$ เฮิร์ตซ์ สามารถนำคลื่นไมโครเวฟไปใช้ประโยชน์หลายด้าน เช่น ด้านการสื่อสาร ผ่านดาวเทียม เป็นอุปกรณ์เรดาร์ ตรวจสอบความเร็วหรือหาตำแหน่งของวัตถุและใช้ในเตาไมโครเวฟ เพื่อทำอาหารให้สุก เป็นต้น

18.3.4 รังสีอินฟราเรด

รังสีอินฟราเรด เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในช่วง $10^{11} - 10^{14}$ เฮิร์ตซ์ วัตถุร้อนจะแผ่รังสีอินฟราเรด ประสาทสัมผัสทางผิวหนังของมนุษย์สามารถรับรังสีอินฟราเรดบางส่วนได้ ประโยชน์ของการนำรังสีอินฟราเรดไปใช้งานเช่น ใช้ในการถ่ายภาพพื้นโลกจากดาวเทียม ใช้กับรีโมทคอนโทรล ใช้ควบคุมอาวุธนำวิถี และใช้เป็นพาหะนำสัญญาณในการส่งสัญญาณด้วยเส้นใยนำแสง เป็นต้น

18.3.5 แสง

แสง เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ประมาณ $4 \times 10^{14} - 8 \times 10^{14}$ เฮิร์ตซ์ หรือมีความยาวคลื่นประมาณ 400 ถึง 700 นาโนเมตร สามารถรับรู้ได้โดยประสาทตา วัตถุที่ได้รับความร้อน มีอุณหภูมิสูงจะเปล่งแสงออกมาได้ เช่นแสงจากหลอดไฟฟ้า เปลวไฟสีแดงจากเตาถ่านจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าเปลวไฟสีม่วงจากเตาแก๊ส ในบางครั้งแสงอาจเกิดได้โดยไม่ต้องใช้ความร้อนเช่น แสงจากจอโทรทัศน์ หลอดเรืองแสง หรือแสงจากหิ่งห้อย การที่เราไม่ใช้แสงเป็นคลื่นพาหะการส่งคลื่นวิทยุ เพราะวัตถุที่ร้อนจะให้แสงที่มีความถี่และเฟสไม่แน่นอน ปัจจุบันเราสามารถสร้างเครื่องกำเนิดเลเซอร์เป็นแหล่งกำเนิดอาพันธ์ที่ให้แสงได้ เพื่อใช้ในการส่งสัญญาณภาพและเสียงได้

18.3.6 เลเซอร์ (LASER)

เลเซอร์ เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้จากกระบวนการปล่อยรังสีแบบเร่งเร้าและสัญญาณแสงถูกขยาย เลเซอร์ถูกนำไปใช้งานได้อย่างกว้างขวางดังนี้

1. การเก็บข้อมูลโดยใช้แสง เช่นการเก็บข้อมูลของแผ่นซีดี , DVD
2. การอ่านแถบบาร์โค้ดของสินค้า
3. การถ่ายภาพสามมิติ (holography)
4. การตัด เจาะ เชื่อมทางอุตสาหกรรม
5. การผ่าตัดทางการแพทย์
6. เลเซอร์นำวิถีในการทหาร
7. การวิจัยและพัฒนา
8. การสื่อสาร
9. การวัดและการควบคุมการผลิต
10. การพิมพ์ และกราฟฟิก



18.6.7 รังสีอัลตราไวโอเล็ต (รังสีเหนือม่วง)

เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงกว่าแสง คือมีความถี่อยู่ในช่วง $10^{15} - 10^{18}$ เฮิรตซ์ ส่วนใหญ่เกิดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ และรังสีนี้ทำให้เกิดประจุ และไอออน ในบรรยากาศชั้น ไอโอโนสเฟียร์ เพราะรังสีอัลตราไวโอเล็ตมีพลังงานสูงพอที่จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากโมเลกุลของอากาศได้ รังสีอัลตราไวโอเล็ตไม่สามารถทะลุผ่านสิ่งกีดขวางที่หนาได้ แต่สามารถฆ่าเชื้อโรคบางชนิดได้ จึงใช้รักษาโรคผิวหนังบางชนิดได้ การได้รับรังสีอัลตราไวโอเล็ตปริมาณมากเกินไป อาจเป็นมะเร็งผิวหนังได้

18.6.8 รังสีเอ็กซ์

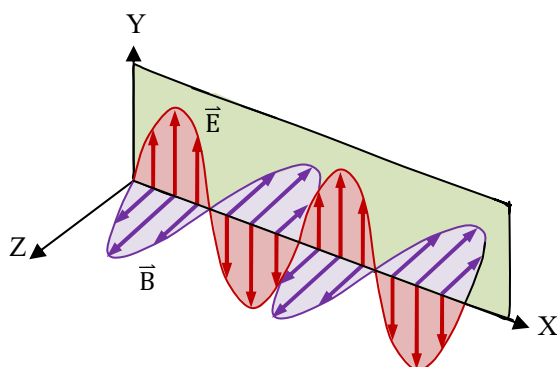
เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในช่วง $10^{17} - 10^{21}$ เฮิรตซ์ สามารถผลิตรังสีเอ็กซ์ได้โดยวิธีเปลี่ยนความเร็วของอิเล็กตรอน รังสีเอ็กซ์สามารถทะลุผ่านสิ่งกีดขวางหนาๆ ได้ มักใช้ตรวจหารอยร้าวภายในชิ้นส่วนโลหะขนาดใหญ่ ตรวจหาอาวุธ หรือระเบิดในกระเป๋าเดินทาง ใช้เอ็กซ์เรย์ ร่างกายเพื่อดูลักษณะผิดปกติ ใช้รังสีเอ็กซ์ตรวจสอบโครงสร้างของผลึกได้ด้วย

18.6.9 รังสีแกมมา

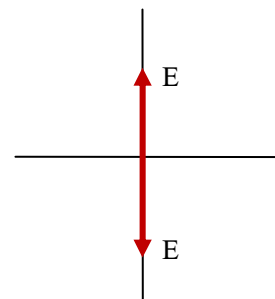
เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงกว่ารังสีเอ็กซ์ และเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตทุกชนิดปฏิกิริยานิวเคลียร์บางปฏิกิริยาสามารถปล่อยรังสีแกมมาออกมาได้

18.7 โพลาริเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ในการส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายอากาศโทรทัศน์ที่วางตัวอยู่ในแนวดิ่ง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกส่งออกไป ลักษณะของสนามไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงทิศกลับไปกลับมาในแนวดิ่งตามแนวสายอากาศเสมอ เรียกคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้เป็นคลื่นโพลาริซในแนวดิ่ง หากสายอากาศอยู่ในแนวระดับเมื่อส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกไปสนามไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงทิศกลับไปกลับมาในแนวระดับ เรียกว่าเป็นคลื่นโพลาริซในแนวระดับ



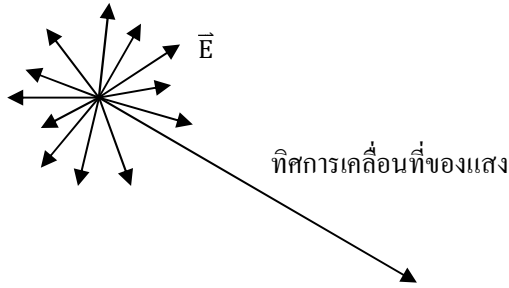
การเปลี่ยนทิศกลับไปมาในระนาบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโพลาริซ



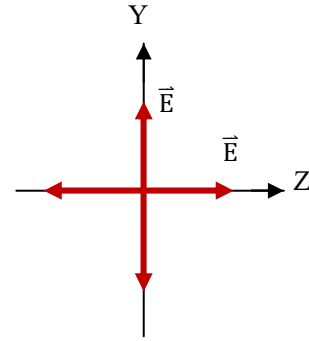
ดูกรแสดงการเปลี่ยนแปลงทิศกลับไปมาของสนามไฟฟ้า E



18.7.1 โพลาริเซชันของแสง



ก. ทิศของสนามไฟฟ้าของคลื่นแสงจากแหล่งกำเนิดแสง

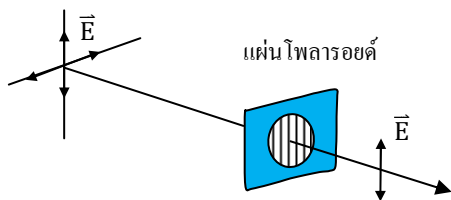


ข. การรวมสนามไฟฟ้าให้อยู่ในแกน Y และ Z แทนลักษณะแสงไม่โพลาไรซ์

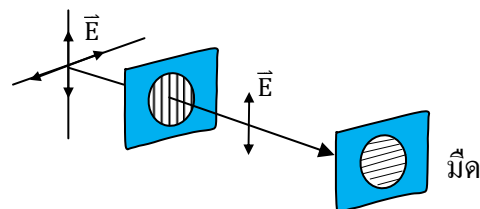
จากเนื้อหาที่เรียนมาทราบว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ประกอบด้วยสนามแม่เหล็ก และสนามไฟฟ้ามีระนาบตั้งฉากกัน และตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น เมื่อพิจารณาสนามไฟฟ้า เพียงสนามเดียว จะพบว่าเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าของแสงจากแหล่งกำเนิด จะมีระนาบการสั่นได้ทุกทิศทาง ดังรูป ก. เรียกแสงในลักษณะนี้ว่าแสงไม่โพลาไรซ์ แต่ถ้าแสงมีระนาบการสั่นเพียงทิศทางเดียวจะเรียกว่าเป็นแสงโพลาไรซ์

การทำให้แสงไม่โพลาไรซ์เป็นแสงโพลาไรซ์ (Polarization)

1. ใช้แผ่นโพลาไรซ์ดูดคลื่นแสง



ก. แสงไม่โพลาไรซ์ผ่านแผ่นโพลาไรซ์ จะได้แสงโพลาไรซ์

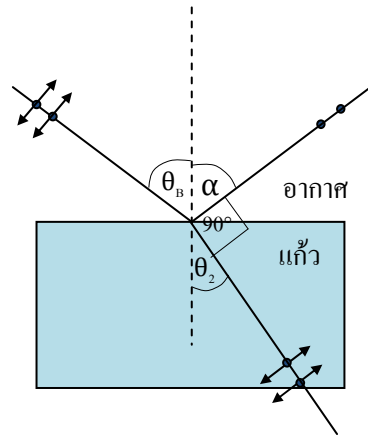


ข. แสงไม่โพลาไรซ์ไม่สามารถผ่านแผ่นโพลาไรซ์สองแผ่นที่มีทิศของโพลาไรซ์ตั้งฉากกัน

จากรูป ก. เมื่อให้แสงไม่โพลาไรซ์ผ่านแผ่นโพลาไรซ์ 1 แผ่น ที่มีทิศของโพลาไรซ์ในแนวตั้งจะยอมให้แสงที่สนามไฟฟ้าในทิศแนวตั้งผ่านเท่านั้น และจะดูดคลื่นแสงที่สนามไฟฟ้ามีทิศตั้งฉากซึ่งอยู่ในแนวระดับ แสงที่ผ่านออกมาจะเป็นแสงโพลาไรซ์ในแนวตั้ง

2. โพลาริเซชันโดยการสะท้อน

เมื่อให้แสงไม่โพลาไรซ์ตกกระทบผิววัตถุ เช่น แก้ว น้ำ หรือกระเบื้อง แสงสะท้อนจะเป็นแสงโพลาไรซ์ เมื่อแสงทำมุมตกกระทบเป็นค่าเฉพาะค่าหนึ่ง



แสงสะท้อนเป็นแสงโพลาไรส์

พิจารณาจากรูป ให้แสงไม่โพลาไรส์ตกกระทบผิวแก้ว แสงตกกระทบประกอบด้วยสนามไฟฟ้าสองสนามตั้งฉากกัน คือสนามไฟฟ้าที่ขนานกับผิวแก้ว แทนด้วยสัญลักษณ์จุด • และสนามไฟฟ้าที่ตั้งฉากกับผิวแก้ว แทนด้วยลูกศรสองหัว จากการศึกษาค้นคว้าว่าถ้าเลือกมุมตกกระทบ θ_b ที่ทำให้แสงสะท้อนทำมุม 90° กับแสงหักเหในแท่งแก้วแล้ว แสงสะท้อนจะเป็นแสงโพลาไรส์ ซึ่งมีสนามไฟฟ้าขนานกับผิวแก้ว เรียกมุมตกกระทบนี้ว่ามุมโพลาไรส์ (polarizing angle) หรือมุมบรูสเตอร์

ถ้ากำหนดดัชนีหักเหของแก้วหรือวัสดุใดๆเป็น n และของอากาศเป็น 1

จากกฎของสเนลล์ $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$ (เรื่องการหักเหของแสง)

เมื่อ $\theta_1 = \theta_b$, $\theta_2 = 90 - \alpha = 90 - \theta_b$, $\alpha = \theta_b$ (มุมตกกระทบ = มุมสะท้อน)

แทนค่าจะได้ $1 \sin \theta_b = n \sin (90 - \theta_b)$

$$\sin \theta_b = n \cos \theta_b$$

$$\tan \theta_b = n$$

$$\therefore \theta_b = \tan^{-1} n$$

ซึ่งเรียกว่ากฎของบรูสเตอร์ “เมื่อให้แสงทำมุมตกกระทบ $\theta_b = \tan^{-1} n$ แสงที่สะท้อนจะเป็นแสงโพลาไรส์”

ตัวอย่างที่ 1

สถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งหนึ่งออกอากาศด้วยความถี่ 100.0 เมกะเฮิรตซ์ จงหาความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งจากสถานีนั้น

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความเร็วเท่ากับความเร็วแสงคือ 3×10^8 m/s

$$\text{จาก } v = f\lambda$$

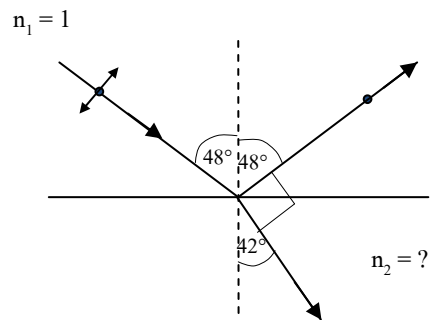
$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{3 \times 10^8}{100 \times 10^6}$$

$$\therefore \lambda = 3.0 \text{ m} \quad \text{Ans}$$



ตัวอย่างที่ 2

แสงไม่โพลาไรส์ตกกระทบผิววัตถุ โดยทำมุมตกกระทบเท่ากับ 48° พบว่าแสงสะท้อนจากผิววัตถุ เป็นแสงโพลาไรส์ ครรชนหักเหของวัตถุนี้เป็นเท่าใด



ใช้กฎของสเนลล์ $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$

$$1 \sin 48 = n_2 \sin 42$$

$$\frac{\sin 48}{\sin 42} = n_2$$

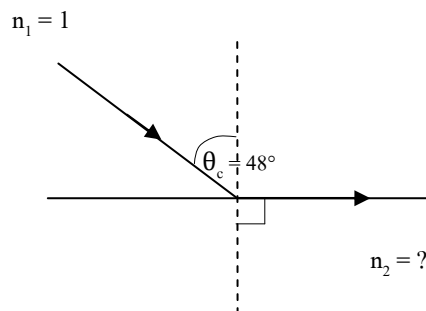
$$n_2 = \frac{\sin 48}{\cos 48} = \tan 48 = 1.11 \quad \text{Ans}$$

หรือใช้กฎของบรูสเตอร์หา ก็ได้เช่นกัน

ตัวอย่างที่ 3

นิตในอากาศ จงคำนวณหามุมบรูสเตอร์ของนิต ถ้ามุมวิกฤตของนิตเท่ากับ 37°

มุมวิกฤต



$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

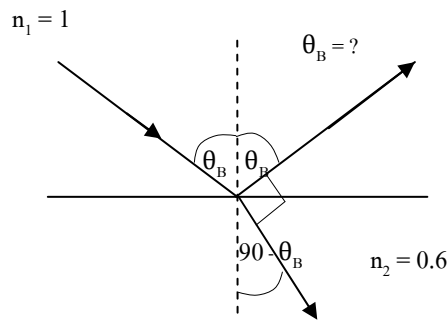
$$n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin 90$$

$$1 \sin 37 = n_2 (1.0)$$

$$n_2 = \sin 37 = \frac{3}{5} = 0.6$$



มุม Brewster



$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

$$n_1 \sin \theta_B = n_2 \sin (90 - \theta_B)$$

$$1 \sin \theta_B = n_2 \cos \theta_B$$

$$n_2 = \tan \theta_B$$

$$0.6 = \tan \theta_B$$

$$\therefore \theta_B = \tan^{-1} 0.6 = 30.96^\circ \quad \underline{\text{Ans}}$$

๑๑ ไม่มีพหุคูณ ไม่มีทางลัด การจะ
 ๑๒ ที่ 1 ๑๓ ไม่ใช่เรื่องง่าย แต่ก็ไม่ยาก
 ๑๔ ความพยายาม...จงอดทนไว้เพื่อ
 ๑๕ ความสำเร็จที่แสนสบาย ๑๑