

คู่มือเรียนรายวิชา กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์
เพิ่มเติม ตามหลักสูตรแกนกลาง พ.ศ. 2551
(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)



ฟิสิกส์

เรียบเรียงโดย

นิรันดร์ สุวรรณ์

กค.บ. (ฟิสิกส์), ค.ม. (ฟิสิกส์)

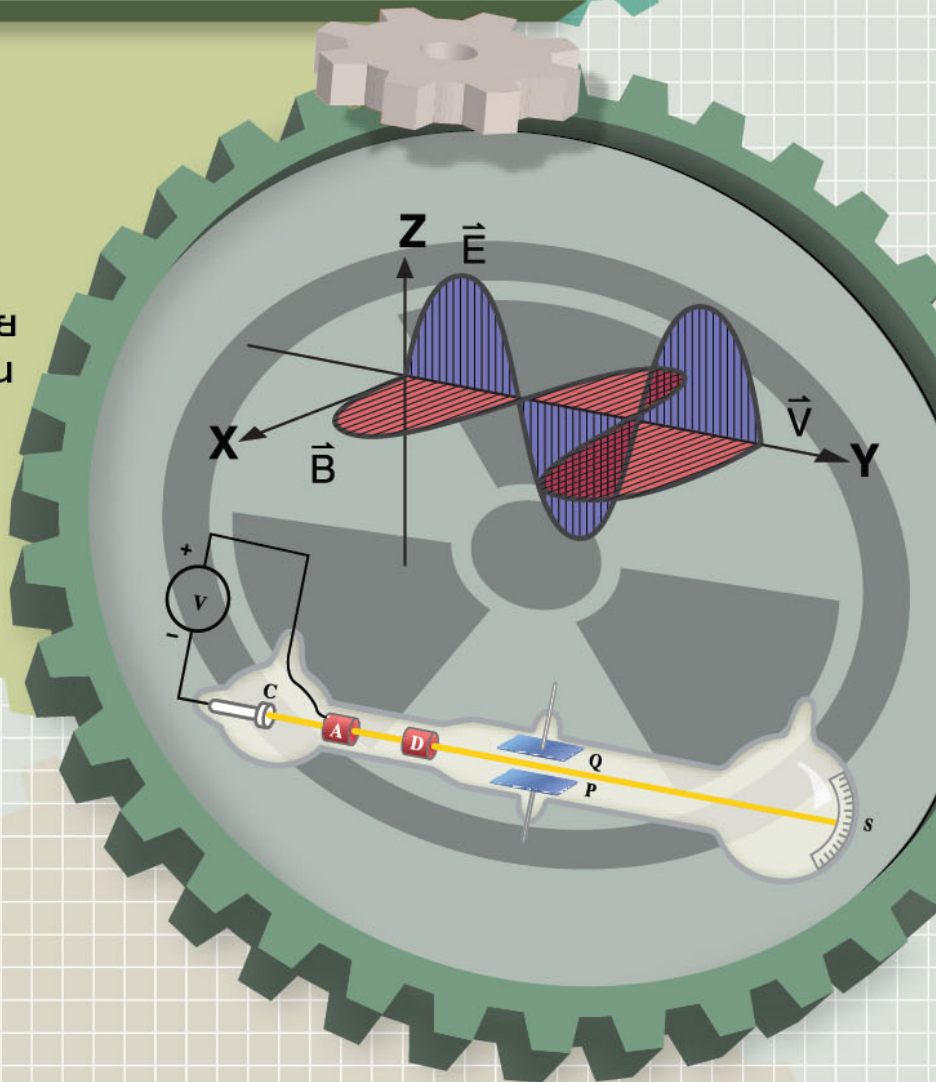
ม.6 เล่ม 6

สรุปเนื้อหาสำคัญ

- คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
- ฟิสิกส์อะตอม
- ฟิสิกส์นิวเคลียร์

แบบทดสอบท้ายบท

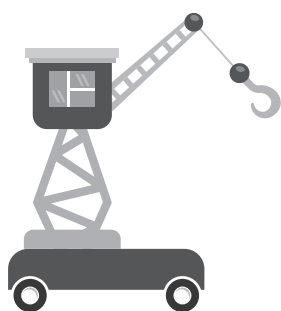
ข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัย
พร้อมเฉลยครบถ้วน



ฝึกกล่ ม.6 เล่ม 6



กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์
ตามหลักสูตรแกนกลาง พ.ศ. 2551
(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)



สรุปเนื้อหาสำคัญ

💡 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

💡 ฟิสิกส์อะตอม

💡 ฟิสิกส์นิวเคลียร์



สำนักพิมพ์ พ.ศ.พัฒนา

เรียบเรียงโดย นิรันดร์ สุวรรตน์ กศ.บ. (ฟิสิกส์), ค.ม. ฟิสิกส์ (จุฬา)

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ (ฉบับเพิ่มเติม) พ.ศ.2558

คู่มือเรียนรัฐาษวิชา **พีลิกส์** ม. 6 เล่ม 6

ผู้เขียน **นิรันดร์ สุวรรตน์**

บรรณาธิการ **อรศรี ไรจน์พจนรัตน์**

ผู้ช่วยบรรณาธิการ (ศิลปกรรม) **อมรศักดิ์ บุญเรือง**

พิสูจน์อักษร **นิรันดร์ สุวรรตน์**

พิสูจน์วิชา **ใบสุวรรณ**

รูปเล่ม **อุไรพรรณ บุญเรือง**

ศิลปกรรม **สิทธิพันธ์ สุกุลชัยสิริวิช**

ปก **อมรศักดิ์ บุญเรือง**



หนังสือเล่มนี้พิมพ์ด้วย กระดาษรีไซเคิล เอ
กระดาษจากไม้ปลูก ไม่รบกวนไม้ธรรมชาติ



สำนักพิมพ์นี้เป็นสมาชิกสมาคมผู้จัดพิมพ์
และผู้จำหน่ายหนังสือแห่งประเทศไทย
แนะนำหรือวิจารณ์หนังสือเล่มนี้ได้ที่

www.thaibookrecommend.com

จัดพิมพ์ : บริษัทสำนักพิมพ์ พ.ศ. พัฒนา จำกัด

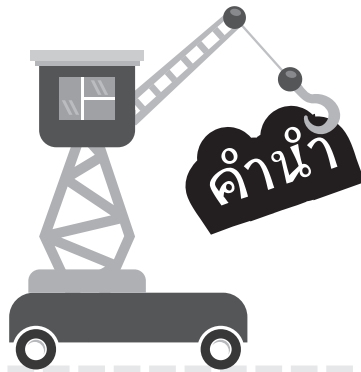
12 ซอยหม่อมแล้ว แยก 3 ถนนพระราม 6 (ซอย 41) แขวงสามเสนใน เขตพญาไท
กรุงเทพมหานคร โทร. 02-279-6222 (อัตโนมัติ 15 คู่สาย) โทรสาร 02-279-6203

พิมพ์ที่ : เพ็ชรทรัพย์ การพิมพ์

117/22 หมู่ 5 ซอยบางไผ่พัฒนา ถนนนครอินทร์ ต. บางไผ่

อ. เมือง จ. นนทบุรี 11000

(ธนวัฒน์ สุขมงคลกุล ผู้พิมพ์ผู้โฆษณา)

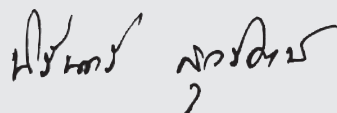


เนื่องด้วยในปี พ.ศ. 2551 กระทรวงศึกษาธิการได้ประกาศให้ใช้หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน โดยวิชาฟิสิกส์จัดอยู่ในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ และในปี พ.ศ. 2560 ได้มีการปรับปรุงเนื้อหาฟิสิกส์ โดยจัดเรียงเนื้อหาสาระใหม่ โดยในรายวิชาเพิ่มเติมฟิสิกส์ เล่ม 6 เพื่อใช้ในระดับมัธยมศึกษาปีที่ 6 เป็นการศึกษาเกี่ยวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ฟิสิกส์อะตอมและฟิสิกส์นิวเคลียร์ โดยรายละเอียดประกอบด้วย

1. เนื้อหาครบสมบูรณ์ครอบคลุม
2. มีตัวอย่างต่อจากทฤษฎีทุกทฤษฎี
3. มีข้อสรุปที่สำคัญเป็นระยะๆ
4. มีการวิเคราะห์โจทย์ตัวอย่าง เพื่อฝึกหัดการวิเคราะห์โจทย์ของนักเรียน ให้ความเข้าใจอย่างถ่องแท้
5. แบบทดสอบตามบทเรียน เพื่อช่วยทบทวนและประเมินตนเอง
6. เฉลยแบบทดสอบอย่างละเอียด
7. ข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัยปี 2518 - ปัจจุบัน เพื่อให้นักเรียนเห็นแนวข้อสอบ
8. เฉลยข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัยอย่างละเอียด

ผู้เขียนได้อาศัยประสบการณ์จากการสอนฟิสิกส์มากกว่า 40 ปี ทำการเรียบเรียงหนังสือคู่มือฟิสิกส์ ม.6 เล่ม 6 เล่มนี้ขึ้นมา เพื่อช่วยให้นักเรียนมีความเข้าใจในเนื้อหาครบตามหลักสูตร และเป็นพื้นฐานในการศึกษาขั้นสูงต่อไป หวังว่านักเรียนที่ได้อ่านและศึกษาจากคู่มือเล่มนี้จะประสบความสำเร็จในการเรียนวิชาฟิสิกส์ต่อไป

ด้วยความปรารถนาดี


(นิรันดร์ สุวรรรัตน์)



บทที่ 18	คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	1
18.1	คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	1
18.2	สมการของแมกซ์เวลล์	1
18.3	การเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	3
18.4	การทดลองของเฮิร์ตซ์	5
18.5	การติดตั้งเสาอากาศเพื่อรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	5
18.6	สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	6
18.6.1	คลื่นวิทยุ	7
18.6.2	คลื่นโทรทัศน์	9
18.6.3	คลื่นไมโครเวฟ	10
18.6.4	รังสี อินฟราเรด	10
18.6.5	แสง	11

18.6.6	เลเซอร์	11
18.6.7	รังสีอัลตราไวโอเล็ต	15
18.6.8	รังสีเอกซ์	15
18.6.9	รังสีแกมมา	16
18.7	โพลาริเซชันแม่เหล็กไฟฟ้า	16
18.8	โพลาริเซชันของแสง	17
	แบบทดสอบบทที่ 18 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	22
	เฉลยแบบทดสอบบทที่ 18 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	25
	ข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัยบทที่ 18 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	27
	เฉลยข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัยบทที่ 18 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	31
บทที่ 19	ฟิสิกส์อะตอม	33
19.1	อะตอม	33
19.2	การเคลื่อนที่ของประจุในสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก	35
19.3	การค้นพบอิเล็กตรอน	38
19.4	พลังงานหน่วยอิเล็กตรอนโวลต์	52
19.5	แบบจำลองอะตอมของทอมสัน	53
19.6	แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด	54
19.7	การทดลองเกี่ยวกับสเปกตรัม	58

19.8	แบบจำลองอะตอมไฮโดรเจนตามทฤษฎีของโบร์	63
19.9	การทดลองของฟรังค์และเฮิร์ตซ์	82
19.10	รังสีเอกซ์	85
19.11	ความไม่สมบูรณ์ของทฤษฎีอะตอมโบร์	90
19.12	ทวิภาวะของคลื่นและอนุภาค	91
19.13	กลศาสตร์ควอนตัม	113
■	แบบทดสอบบทที่ 19 ฟิสิกส์อะตอม	117
□	เฉลยแบบทดสอบบทที่ 19 ฟิสิกส์อะตอม	130
■	ข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัยบทที่ 19 ฟิสิกส์อะตอม	150
□	เฉลยข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัยบทที่ 19 ฟิสิกส์อะตอม	164
บทที่ 20	ฟิสิกส์นิวเคลียร์	185
20.1	กัมมันตภาพรังสี	185
20.2	การเปลี่ยนสภาพนิวเคลียส	189
20.3	การสลายของนิวเคลียสกัมมันตรังสี	192
20.4	ไอโซโทป	223
20.5	เสถียรภาพของนิวเคลียส	228
20.6	ปฏิกิริยานิวเคลียร์	240
20.7	รังสีกับมนุษย์	253
20.8	การกำจัดสารกัมมันตรังสี	255

20.9	ประโยชน์และโทษของกัมมันตภาพรังสี	256
20.10	การใช้พลังงานนิวเคลียร์	259
20.11	ฟิสิกส์อนุภาค	261
■	แบบทดสอบบทที่ 20 ฟิสิกส์นิวเคลียร์	268
■	เฉลยแบบทดสอบบทที่ 20 ฟิสิกส์นิวเคลียร์	280
■	ข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัยบทที่ 20 ฟิสิกส์นิวเคลียร์	300
■	เฉลยข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัยบทที่ 20 ฟิสิกส์นิวเคลียร์	312







บทที่ 18

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

18.1 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นในธรรมชาติที่เราพบเห็นมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน เช่น คลื่นในเส้นเชือกที่เกิดจากการสั่นปลายเชือก คลื่นที่ผิวน้ำซึ่งเกิดจากแหล่งกำเนิดคลื่นเคลื่อนกระทบผิวน้ำ คลื่นเสียงเกิดจากการอัดตัวและขยายตัวของโมเลกุลอากาศ แต่ในธรรมชาติยังมีคลื่นอีกหลายชนิดที่ไม่สามารถปรากฏตัวออกมาให้เห็นได้ เช่น คลื่นวิทยุ คลื่นแสง คลื่นรังสีเอกซ์ เป็นต้น คลื่นเหล่านี้เราเรียกว่า **คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic waves)** ซึ่งเราจะพิจารณาลักษณะต่างๆ ของคลื่นดังหัวข้อต่อไปนี้

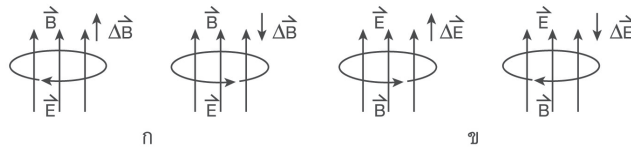
18.2 สมการของแมกซ์เวลล์

จากการศึกษาเรื่องราวเกี่ยวกับไฟฟ้าสถิต ไฟฟ้ากระแส และแม่เหล็กไฟฟ้ามาแล้ว เราพอที่จะสรุปหลักการที่สำคัญได้ดังนี้ คือ

1. เมื่อมีประจุอิสระจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้ารอบๆ ประจุอิสระ โดยความเข้มของสนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งใดๆ จะแปรผันตามส่วนกลับของระยะทางกำลังสองจากประจุไฟฟ้านั้น ซึ่งเป็นกฎของคูลอมบ์
2. เมื่อประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ในตัวนำไฟฟ้า ย่อมมีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นรอบๆ ตัวนำ โดยทิศของสนามแม่เหล็กจะวนรอบตัวนำและตั้งฉากกับทิศของกระแส ซึ่ง **เออร์สเตด** เป็นผู้พบปรากฏการณ์นี้
3. เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก ย่อมมีการเหนี่ยวนำ ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น แสดงว่า ได้มีการเหนี่ยวนำให้เกิดสนามไฟฟ้าในตัวนำ ซึ่งผู้ค้นพบปรากฏการณ์นี้คือ **ฟาราเดย์**

จากหลักการทั้งสามข้างต้น ซึ่งได้มีการยืนยันโดยการทดลอง แมกซ์เวลล์ได้รวบรวมให้อยู่ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ขั้นสูง และจากการวิเคราะห์ผลทางคณิตศาสตร์ ทำให้สามารถขยายความคิดของหลักฐานออกกว้างขึ้นโดยในปีค.ศ. 1864 แมกซ์เวลล์ได้เสนอเป็นสมมติฐานออกมา (ในขณะนั้นยังไม่มีใครทดลองได้) ว่า “ถ้าบริเวณใดมีการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าแล้ว จะพบว่รอบๆ บริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงจะมีการเหนี่ยวนำทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้น ไม่ว่าบริเวณนั้นจะเป็นตัวนำ ฉนวนหรือที่ว่างเปล่า หรือสุญญากาศ” นอกจากนี้เขายังขยายผลการทดลองของฟาราเดย์ให้กว้างขึ้น คือ จากการทดลองของฟาราเดย์

เขาพบแต่เพียงว่า ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กจะสามารถทำให้เกิดสนามไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในตัวนำ ซึ่งวางอยู่ใกล้ๆ แต่จากผลทางคณิตศาสตร์ของแมกซ์เวลล์ สามารถขยายได้ว่า สนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลง จะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้นรอบๆ ไม่ว่าบริเวณนั้นจะเป็นตัวนำ ฉนวนหรือที่ว่างเปล่า และทิศทางของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่ถูกเหนี่ยวนำ ได้แสดงให้เห็นดังรูป 18.1



รูป 18.1 ก) การเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำให้เกิดสนามไฟฟ้ารอบๆ การเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก

ข) การเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กรอบๆ การเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้า

สรุปจากสมการของแมกซ์เวลล์ ได้ว่า

1. ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก ($\Delta \vec{B}$) จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้า ($\vec{E}$) รอบๆ การเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กนั้น
2. ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้า ($\Delta \vec{E}$) จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก ($\vec{B}$) รอบๆ การเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้านั้น

การหาทิศสนามไฟฟ้าจากการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก ($\Delta \vec{B}$) อาศัยกฎเกณฑ์ของเลนซ์ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดทิศการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก ($\Delta \vec{B}$)
2. กำหนดทิศสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำ ($\vec{B}_p$) ซึ่งมีทิศตรงข้ามกับ $\Delta \vec{B}$ โดยใช้กฎมือขวา คือให้นิ้วหัวแม่มือแทนทิศของสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำ หรือมีทิศตรงข้ามกับ $\Delta \vec{B}$ แล้วปลายนิ้วทั้งสี่จะแทนทิศของสนามไฟฟ้า

การกำหนดทิศของ $\Delta \vec{B}$ พิจารณาได้ดังนี้

1. ถ้าสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะเพิ่ม จะทำให้ $\Delta \vec{B}$ มีทิศเดียวกับสนามเดิม
2. ถ้าสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะลดลง จะได้ $\Delta \vec{B}$ มีทิศตรงข้ามกับสนามเดิม

ข้อสังเกต การเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กเกิดได้จากสาเหตุ 3 ประการ คือ

- ก. เกิดจากการเคลื่อนที่ของแท่งแม่เหล็ก
- ข. เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในวงจร โดยการสับและยกสวิตช์
- ค. เกิดจากการเคลื่อนที่ของขดลวดตัดสนามแม่เหล็ก

การหาทิศสนามแม่เหล็กจากการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้า ($\Delta \vec{E}$)

1. หาทิศการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้า ($\Delta \vec{E}$)
2. หาทิศสนามแม่เหล็กที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้า ($\Delta \vec{E}$) โดยใช้กฎมือขวา ให้นิ้วหัวแม่มือแทนทิศของ $\Delta \vec{E}$ ปลายนิ้วทั้งสี่จะแทนทิศสนามแม่เหล็ก

การกำหนดทิศของ $\Delta \vec{E}$ พิจารณาได้ดังนี้

ทิศของเส้นแรงสนามไฟฟ้าพิจารณาได้จากทิศการไหลของกระแสไฟฟ้า เพราะเส้นแรงไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงไปสู่บริเวณที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำ ดังนั้น การพิจารณาสนามไฟฟ้าจึงดูได้จากกระแสไฟฟ้า

จากสูตร $I = nAve$ จะเห็นว่ากระแสไฟฟ้ามีขนาดแปรผันตามอัตราเร็วของประจุไฟฟ้า ($I \propto v$) ดังนั้นถ้าอัตราเร็วประจุเปลี่ยน จะทำให้กระแสเปลี่ยน สนามไฟฟ้าก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยมีหลักการพิจารณาได้ดังนี้

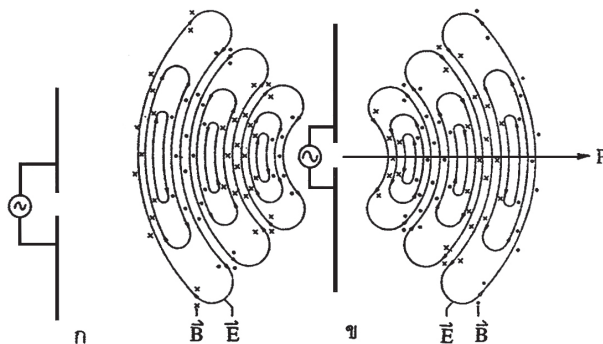
ก. ถ้าประจุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วสูงขึ้น หรือกระแสไฟฟ้ามีค่าเพิ่ม จะได้สนามไฟฟ้าเพิ่มขึ้น $\Delta \vec{E}$ มีทิศเดียวกับกระแสไฟฟ้า

ข. ถ้าประจุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วลดลงหรือกระแสไฟฟ้ามีค่าลดลง จะได้สนามไฟฟ้าลดลง $\Delta \vec{E}$ มีทิศตรงข้ามกับกระแสไฟฟ้า

18.3 การเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ถ้าสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงพร้อมกัน ก็เกิดสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าพร้อมกัน แมกซ์เวลล์ได้เสนอต่อไปว่า ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงทั้งสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องแล้ว จะเป็นผลให้การเหนี่ยวนำสนามไฟฟ้าและแม่เหล็กแผ่ออกไปเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยพบว่าแผ่ออกไปด้วยความเร็วเท่ากับ 3×10^8 เมตรต่อวินาที ซึ่งก็คือความเร็วของแสง ด้วยเหตุนี้แมกซ์เวลล์จึงสรุปว่า **แสงก็คือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า** นั่นเอง

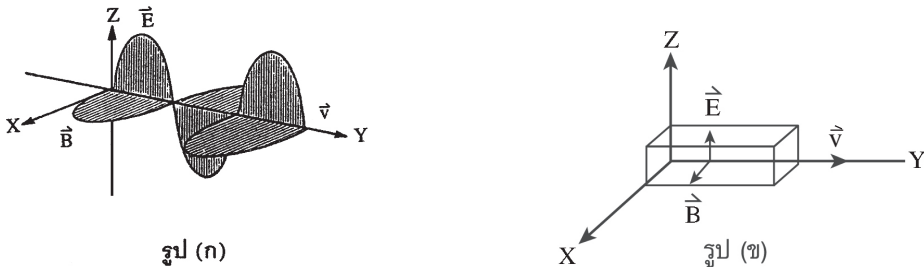
การแผ่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเปรียบเทียบกับกับการแผ่กระจายของคลื่นน้ำที่แผ่ออกจากจุดที่กระทุ้งน้ำโดยสมมติให้ลวดตัวนำ (metal rod) คู่หนึ่งเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (oscillator) (ดังรูปที่ 18.2) เพื่อง่ายต่อการพิจารณา เราจะสมมติว่ามีเพียงประจุเดียวอยู่ที่ลวดตัวนำแต่ละเส้นต่อกับแหล่งกำเนิด ไฟฟ้ากระแสสลับทำให้ประจุบวกและลบเคลื่อนที่ในลวดตัวนำกลับไปกลับมา เป็นผลให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่ออกมา ดังรูป 18.2



รูป 18.2 แสดงการเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการเคลื่อนที่ของประจุในลวด

จากรูป 18.2 การเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามหลักของแมกซ์เวลล์ อธิบายได้ว่า เกิดจากการเคลื่อนที่ของประจุที่ถูกเร่ง ทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่ออกจากลวดตัวนำทุกทิศทาง ยกเว้นทิศที่อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกับลวดตัวนำนั้น

จากการที่มีการเปลี่ยนแปลงสนามทำให้เส้นแรงสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจะต่อกันเป็นวงปิดและจะมีระยะห่างกันสม่ำเสมอ เมื่อสนามเปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอ จะได้วงปิดของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กออกมาสม่ำเสมอ ดังรูป 18.3



รูป 18.3 (ก) ทิศทางกระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

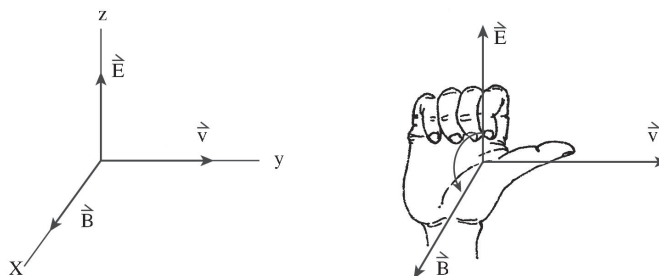
(ข) แสดงทิศของสนามแม่เหล็กสนามไฟฟ้าและทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

สนามจริงๆ จะเป็นสามมิติ คือ เส้นแรงแม่เหล็กจะต่อกันเป็นวงอยู่รอบๆ ซึ่งตั้งฉากกับแนวการเคลื่อนที่ของประจุทั้งคู่ อาจสรุปสิ่งที่สำคัญเกี่ยวกับลักษณะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดังต่อไปนี้

1. การเปลี่ยนแปลงค่าของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน ดังนั้นสนามทั้งสองจึงมีค่าสูงสุดหรือต่ำสุดพร้อมๆ กัน หรือมีเฟสตรงกัน
2. ทิศของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าจะตั้งฉากซึ่งกันและกัน และตั้งฉากกับทิศการกระจายของคลื่นจะมีลักษณะเป็นคลื่นตามขวาง ดังรูป 18.3
3. ณ บริเวณใดมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านบริเวณนั้นจะมีสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าทันที
4. อนุภาคที่มีประจุถ้าเคลื่อนที่ด้วยความเร็วไม่คงที่ จะมีการปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา

ในรูป 18.2 เป็นการแสดงให้เห็นเส้นแรงที่แผ่ออกมาในเวลาหนึ่งๆ และในขณะที่มีการแผ่เส้นแรงออกมามาดังรูป ถ้าเราวัดความเข้มของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ณ ตำแหน่งต่างๆ ที่ห่างจากแหล่งกำเนิด แล้วนำมาเขียนกราฟก็จะได้กราฟคล้ายกับรูปคลื่น ซึ่งถ้าแหล่งกำเนิดสั่นอย่างต่อเนื่อง เป็นผลทำให้วงของเส้นแรงแผ่ออกไปเรื่อยๆ กราฟความเข้มของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กก็จะเคลื่อนไปด้วย ซึ่งพิจารณาแล้วก็มีลักษณะเหมือนกับคลื่นเคลื่อนที่นั่นเอง

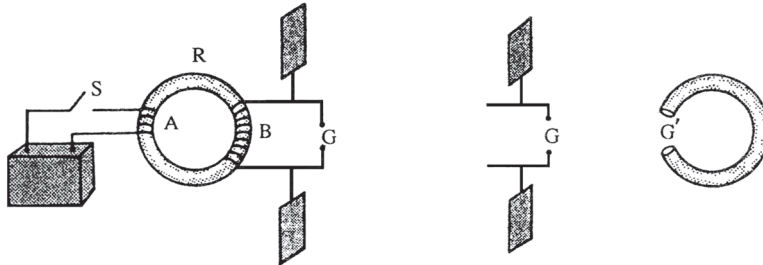
จากรูป 18.3 ถ้า $\vec{v}$ แสดงถึงทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น เราจะพบว่าทิศของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่ปรากฏขึ้น ณ ตำแหน่งหนึ่งๆ จะมีความสัมพันธ์กันโดยใช้กฎมือขวาให้ปลายนิ้วทั้งสี่พุ่งไปตามทิศสนามไฟฟ้า แล้วหมุนปลายนิ้วทั้งสี่เข้าหาสนามแม่เหล็ก จะได้ว่านิ้วหัวแม่มือแทนทิศการแผ่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังรูป 18.4



รูป 18.4 แสดงความสัมพันธ์ของทิศสนามแม่เหล็ก, สนามไฟฟ้าและทิศทางการเคลื่อนที่

18.4 การทดลองของเฮิร์ตซ์

หลังจากที่แมกซ์เวลล์ได้ทำนายการเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กอย่างต่อเนื่องประมาณ 20 ปีต่อมา จึงได้มีการทดลองยืนยันซึ่งทดลองโดยเฮิร์ตซ์ (Hertz) ซึ่งเครื่องมือของเขามีลักษณะ ดังในรูป 18.5



รูป 18.5 เครื่องมือทดลองการเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของเฮิร์ตซ์

เครื่องมือที่ใช้ทดลองประกอบด้วยแบตเตอรี่ วงแหวนโลหะ และลวดวงกลมต่อกัน ดังรูป 18.5 โดยจัดให้จำนวนรอบของเส้นลวดที่พันวงแหวนโลหะทางด้าน A น้อยกว่าทางด้าน B มาก ๆ

เมื่อทำการเปิด - ปิดสวิตช์อยู่ตลอดเวลา ทำให้กระแสไฟฟ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงไปตามจังหวะการเปิด - ปิดสวิตช์ เป็นผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กที่ขดลวด A เนื่องจากขดลวด A และ B ต่อถึงกันด้วยแกนเหล็ก R จึงทำให้การเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กที่ A ส่งผลไปยังขดลวด B ขดลวด B ก็จะได้รับ การเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กเช่นกันจากการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กที่ขดลวด B ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำ สนามไฟฟ้าขึ้นในเส้นลวด และเนื่องจากจำนวนขดลวดที่ B มากกว่าจำนวนขดลวดที่ A มาก ทำให้ที่ช่องแคบ G เกิดความต่างศักย์สูง โมเลกุลอากาศที่อยู่ระหว่างช่องแคบเกิดการแตกตัวเป็นไอออน จึงเกิดการ Spark เป็นประกายไฟขึ้น

เนื่องจากกระแสไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามจังหวะของการเปิด-ปิดสวิตช์ จึงทำให้การแผ่ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกไปทุกทิศทางและเมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านช่องแคบ G' ของลวดวงกลม ทำให้ ช่องแคบ G' เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้น โมเลกุลอากาศเกิดการแตกตัวเป็นไอออน จึงเกิดการ Spark ทำให้เห็น เป็นประกายไฟขึ้นที่ช่องแคบ G' ทุกครั้งที่เกิดประกายไฟฟ้าที่ช่องแคบ G

จากการทดลองจึงสรุปได้ว่า

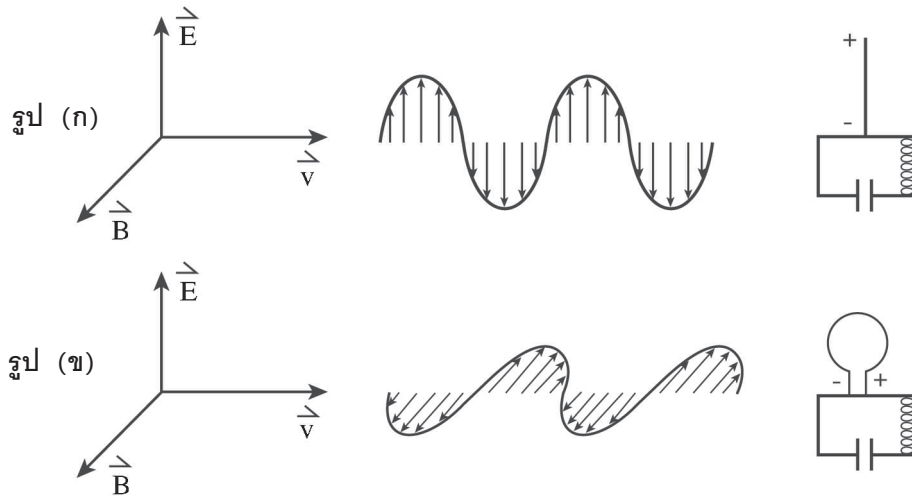
1. การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าแสดงว่าประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วไม่คงที่ ทำให้ มีการปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา ดังรูป คลื่นเคลื่อนที่จาก G ไป G'
2. เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่าน G' ทำให้ช่องแคบ G' เกิดประกายไฟ แสดงว่า สนามไฟฟ้าเกิดขึ้น นั่นคือ บริเวณใดมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า บริเวณนั้นต้องมีสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก

18.5 การติดตั้งเสาอากาศเพื่อรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

เราสามารถติดตั้งเสาอากาศรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ 2 ลักษณะด้วยกัน คือ

แบบที่ 1 ติดตั้งเสาอากาศแบบตรงจรับสนามไฟฟ้าที่มากับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังรูป 18.6 (ก)

แบบที่ 2 ติดตั้งเสาอากาศแบบตรงจรับสนามแม่เหล็กที่มากับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังรูป 18.6 (ข)



รูป 18.6 การติดตั้งเสาอากาศเพื่อรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

รูป 18.6 (ก) เสาอากาศรับสนามไฟฟ้าที่มากับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

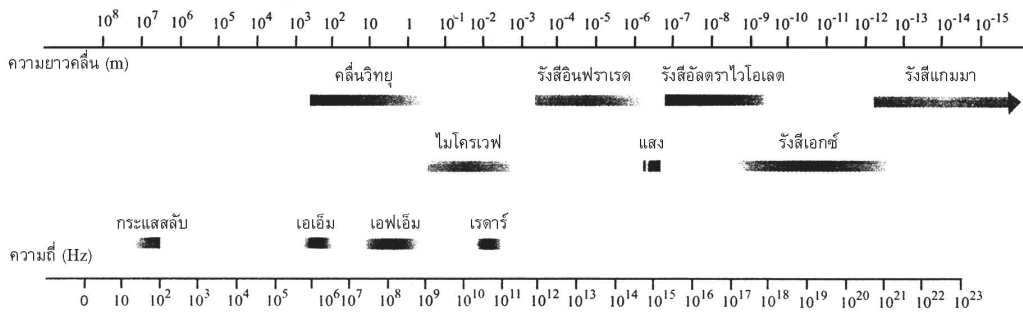
รูป 18.6 (ข) เสาอากาศรับสนามแม่เหล็กที่มากับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

รูป 18.6 (ก) เป็นเสาอากาศที่ตรงจรับสนามไฟฟ้าที่มากับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เสาอากาศชนิดนี้จะเป็นแท่งโลหะตรง และรับสัญญาณคลื่นได้โดยจัดให้ตัวเสาอยู่ในแนวเดียวกับทิศของสนามไฟฟ้า เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านเสาเกิดการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้า จะทำให้ประจุในเสาเกิดการเคลื่อนที่ไปตามจังหวะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า วงจรเครื่องรับก็จะได้รับสัญญาณคลื่นเท่ากับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทันที ดังนั้น ความยาวของเสาอากาศที่ใช้จะต้องมีความยาวอย่างน้อยเท่ากับ $\frac{\lambda}{2}$ จึงจะรับสัญญาณได้ดี

รูป 18.6 (ข) เป็นเสาอากาศที่ตรงจรับสนามแม่เหล็กที่มากับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เสาอากาศชนิดนี้จะเป็นแท่งโลหะงอเป็นวงรอบปิด โดยทั่วไปมักจะงอเป็นวงกลมและรับสัญญาณคลื่นได้ โดยจัดให้ระนาบของวงกลมตั้งฉากกับทิศการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กในคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านเสาอากาศ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กในวงกลม เป็นผลทำให้เกิดสนามไฟฟ้าในเสาอากาศประจุในเสาอากาศก็จะเคลื่อนที่ไปตามจังหวะของการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก ทำให้วงจรเครื่องรับได้รับสัญญาณคลื่นเท่ากับค่าความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทันที

18.6 สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

จากการทดลองของเฮิร์ตซ์ พบว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความถี่ประมาณ 10^8 เฮิร์ตซ์ นอกจากนี้ยังพบว่า ในธรรมชาติมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีความถี่ต่างๆ กันมากมาย ปัจจุบันได้มีการศึกษาทำให้ทราบว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความถี่ต่างๆ กันมากมายเป็นความถี่ต่อเนื่องกันเป็นช่วงกว้างโดยเรียกรวมกันว่า **สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า** ดังรูป 18.7



รูป 18.7 สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

จากสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะเห็นว่าแต่ละช่วงมีชื่อเรียกแตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดและวิธีตรวจวัดคลื่นนั้นๆ เช่น คลื่นบางช่วงที่มีความถี่เท่ากันแต่มีชื่อเรียกแตกต่างกัน เนื่องจากมีแหล่งกำเนิดคลื่นแตกต่างกัน แต่ทุกคลื่นก็ยังมีสมบัติที่สำคัญเหมือนกันอยู่อย่างหนึ่งคือ **มีอัตราเร็วในสุญญากาศเท่ากัน คือ 3×10^8 เมตรต่อวินาที**

ในปัจจุบันพบว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติและที่ถูกสร้างขึ้นเพื่ออำนวยความสะดวกในการดำเนินชีวิต มีด้วยกันหลายช่วงความถี่ซึ่งจะได้ศึกษาดังต่อไปนี้

18.6.1 คลื่นวิทยุ

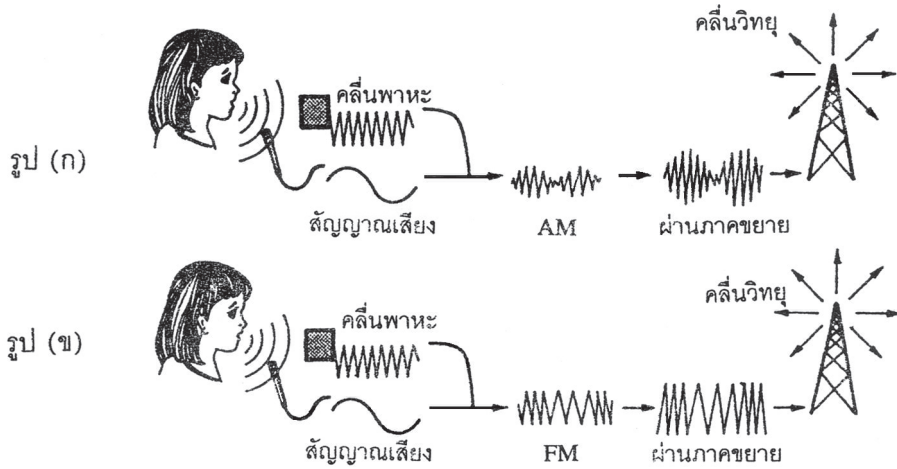
คลื่นวิทยุเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในช่วง $10^6 - 10^9$ เฮิรตซ์ การจัดแบ่งชนิดของคลื่นวิทยุจะแบ่งตามความถี่ของคลื่นวิทยุ โดยแต่ละช่วงความถี่จะมีชื่อเรียกต่างๆ กัน

ในการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุหรือโทรศัพท์ลงไปในคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เราเรียกกระบวนการนี้ว่า **การโมดูเลท หรือโมดูเลชัน (Modulation)** เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ถึงปลายทางแล้ว จะถูกแยกเอาสัญญาณที่ต้องการออกมา กระบวนการแยกสัญญาณคลื่นนี้ เรียกว่า **การดีโมดูเลท หรือ ดีโมดูเลชัน**

ในการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุโดยการใส่คลื่นเสียงลงไปในคลื่นพาหะที่เรียกว่าโมดูเลชันนี้ที่นิยมกันมีอยู่ 2 วิธี คือ **แอมพลิจูดโมดูเลชัน** เขียนย่อๆ ว่า **AM (Amplitude Modulation)** และ**ความถี่โมดูเลชัน** เขียนย่อๆ ว่า **FM (Frequency Modulation)**

โดยปรกติคลื่นพาหะที่ถูกส่งออกไปเมื่อยังไม่มีสัญญาณ จะมีความถี่เท่ากับความถี่ของคลื่นวิทยุและมีแอมพลิจูดคงที่แต่พอมีสัญญาณเสียงดัง - ค่อยส่งออกมา ดังรูป 18.8 ได้แก่ เสียงที่ออกมาจากไมโครโฟน การส่งคลื่นวิทยุแบบ AM จะมีเครื่องมอดูเลท (ในรูปคือ Mixer) ทำให้แอมพลิจูดของคลื่นพาหะเปลี่ยนไปตามจังหวะความดังของสัญญาณเสียง ดังรูป 18.8 (ก) คือ คลื่นที่ออกมาจาก Mixer หลังจากนั้นจะถูกส่งออกจากเสาอากาศไปยังเครื่องรับต่างๆ จะสังเกตเห็นได้ว่าการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุแบบ AM นั้น ความถี่จะมีค่าคงที่ แต่แอมพลิจูดจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

สำหรับการส่งคลื่นวิทยุแบบ FM จะพบว่าเราส่งสัญญาณคลื่นในแบบที่ทำให้คลื่นพาหะมีความถี่เปลี่ยนแปลงไปตามจังหวะของเสียงที่ส่งออกมา ดังนั้น จึงมีความถี่สูงและต่ำสลับกัน แต่แอมพลิจูดของคลื่นคงที่ ดังรูป 18.8 (ข)



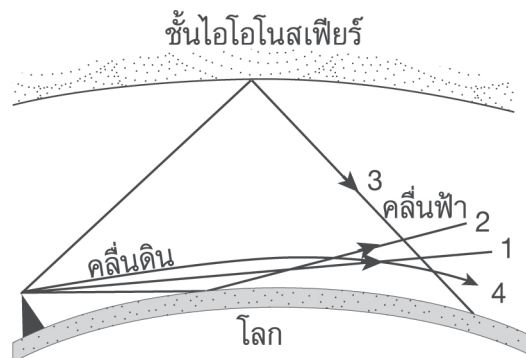
รูป 18.8 การส่งสัญญาณคลื่นวิทยุแบบ AM และ FM

เมื่อพิจารณาความถี่ของคลื่นวิทยุในระบบ AM มีความถี่อยู่ในช่วง 530 - 1800 กิโลเฮิรตซ์ ส่วนความถี่ของคลื่นวิทยุในระบบ FM มีความถี่อยู่ในช่วง 88 - 108 เมกะเฮิรตซ์ นอกจากนี้ยังมีคลื่นที่มีความถี่ต่ำกว่าช่วงวิทยุระบบ AM ซึ่งเรียกว่า **คลื่นยาว** และเรียกคลื่นที่มีความถี่สูงกว่าช่วงวิทยุระบบ AM ว่า **คลื่นสั้น**

การกระจายคลื่นวิทยุ

เสาอากาศจะทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายคลื่นวิทยุให้กระจายออกไปในบรรยากาศ หลักการกระจายคลื่นวิทยุนั้นขึ้นอยู่กับความถี่ และระยะห่างจากแหล่งกำเนิดคลื่น (สถานีส่ง) จนถึงแหล่งรับคลื่น (สถานีรับ)

ดังรูป 18.9



รูป 18.9 วิธีการกระจายคลื่นวิทยุแบบต่างๆ

ตารางที่ 18.1 วิธีการกระจายคลื่นจากรูปที่ 18.9

วิธีการกระจาย	หมายเหตุ	ชนิดคลื่น	ตัวอย่าง
1. คลื่นส่งโดยตรง	กระจายออกโดยตรงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง	คลื่นทั่วไป	คลื่นโทรทัศน์และคลื่นสื่อสารไมโครเวฟ (FM)
2. คลื่นสะท้อนพื้นโลก	อาศัยการสะท้อนของพื้นโลก		ไม่นิยมใช้
3. คลื่นเหนือบรรยากาศ	สะท้อนกับชั้นบรรยากาศที่แตกตัวเป็นไอออน	คลื่นสั้น, คลื่นกลาง คลื่นยาว	คลื่นที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างประเทศระยะไกล ๆ (A.M.)
4. คลื่นเหนือระดับพื้นโลก	กระจายขนานกับผิวพื้นโลก	คลื่นกลาง, คลื่นยาว	การส่งกระจายเสียงวิทยุ

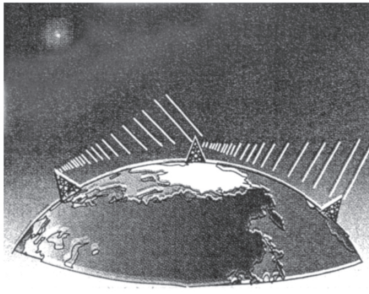
จากตารางที่ 18.1 การส่งกระจายคลื่นวิทยุระบบ AM คลื่นสามารถเดินทางไปถึงเครื่องรับวิทยุได้ 2 ทางคือ **คลื่นดิน** และ **คลื่นฟ้า** ส่วนคลื่นวิทยุระบบ FM เดินทางไปถึงเครื่องรับวิทยุได้ทางเดียวคือ **คลื่นดิน** ถ้าต้องการกระจายเสียงในระบบ FM ให้ครอบคลุมพื้นที่ไกล ๆ ต้องมีสถานีถ่ายทอดเป็นระยะ ๆ

ปัญหาในการส่งกระจายคลื่นวิทยุ

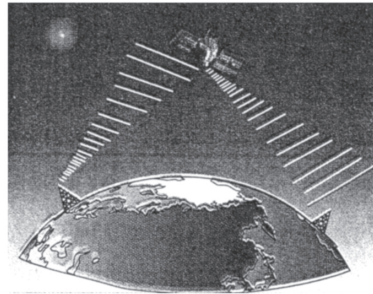
1. คลื่นวิทยุสามารถเคลื่อนที่อ้อมสิ่งกีดขวาง ที่มีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่น แต่ไม่สามารถอ้อมผ่านสิ่งกีดขวางขนาดใหญ่มาก ๆ เช่น ภูเขา หรือ ดึกขนาดใหญ่ ทำให้เกิดจุดปลอดคลื่นด้านหลังสิ่งกีดขวาง
2. คลื่นวิทยุจะถูกดูดกลืนหรือสะท้อนโดยโลหะ เช่น ขณะขับรถยนต์ผ่านเข้าไปในบริเวณสะพานที่มีโครงสร้างเป็นโลหะ คลื่นวิทยุจะไม่สามารถผ่านเข้าไปยังเครื่องรับวิทยุได้ เสียงวิทยุจะเบาลงหรือเงียบไป
3. สถานีส่งคลื่นวิทยุหนึ่ง ๆ จะใช้ความถี่เดียวกันไม่ได้เพราะคลื่นวิทยุจะรบกวนกันทำให้ฟังไม่รู้เรื่อง แต่ถ้าสถานีส่งวิทยุอยู่ห่างกันมาก ๆ จนคลื่นไม่รบกวนกัน สถานีวิทยุก็อาจส่งคลื่นความถี่เดียวกันได้

18.6.2 คลื่นโทรทัศน์

คลื่นโทรทัศน์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความถี่ประมาณ 10^8 เฮิรตซ์ซึ่งอยู่ในช่วงเดียวกับคลื่นวิทยุระบบ FM ซึ่งมีสมบัติเหมือนคลื่น FM คือ ไม่สะท้อนที่บรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ โดยจะทะลุผ่านชั้นบรรยากาศไปสู่นอกโลก ดังนั้นการส่งคลื่นโทรทัศน์ไปไกล ๆ จะต้องมีสถานีถ่ายทอดเป็นระยะเพื่อรับและขยายสัญญาณเพื่อส่งต่อ โดยสัญญาณของคลื่นโทรทัศน์ไปโดยตรงได้ไกลสุดประมาณ **80 กิโลเมตร** เนื่องจากความโค้งของโลก หรือ อาจใช้คลื่นไมโครเวฟนำสัญญาณจากสถานีส่งไปยังดาวเทียม ที่โคจรไปพร้อมกับโลกซึ่งเสมือนอยู่นิ่งเมื่อเทียบกับโลกดาวเทียมดวงนั้นก็จะส่งคลื่นสัญญาณไปยังสถานีรับที่อยู่ไกล ๆ ได้



ก. การใช้สถานีถ่ายทอดเป็นระยะ



ข. การถ่ายทอดผ่านดาวเทียม

รูป 18.10 การส่งคลื่นโทรทัศน์ในระยะไกล

ปัญหาในการรับสัญญาณของคลื่นโทรทัศน์ เนื่องจากคลื่นโทรทัศน์มีความถี่สูง มีความยาวคลื่นสั้น จึงไม่สามารถเลี้ยวเบนอ้อมสิ่งกีดขวางจำพวก ดึก หรือแม้กระทั่งเมื่อคลื่นโทรทัศน์ไปตกกระทบรถยนต์ หรือ เครื่องบิน จะเกิดการสะท้อนและแทรกสอดกับคลื่นที่ส่งมาจากสถานีแล้วไปเข้าเครื่องรับโทรทัศน์พร้อมกัน จะทำให้เกิดภาพซ้อนในจอภาพ จึงเห็นภาพไม่ชัดเจน เวลาที่มีเครื่องบินบินผ่านบริเวณที่อยู่อาศัย

18.6.3 คลื่นไมโครเวฟ

คลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในช่วง $10^9 - 10^{11}$ เฮิรตซ์ ซึ่งช่วงความถี่ของคลื่นไมโครเวฟสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน เช่น

การสื่อสาร มีการนำคลื่นไมโครเวฟไปใช้ในการสื่อสารผ่านระบบดาวเทียม หรือติดต่อระหว่างโลกกับอวกาศที่ห่างไกลออกไป เช่น การติดต่อสื่อสารกับนักบินอวกาศที่อยู่ห่างไกลจากโลกมาก ๆ

เรดาร์ ในการตรวจจับวัตถุเคลื่อนที่บนท้องฟ้าก็อาศัยคลื่นไมโครเวฟส่งออกจากแหล่งกำเนิด(เรดาร์) เป็นห้วงๆ เมื่อคลื่นไมโครเวฟไปตกกระทบวัตถุ เช่น เครื่องบิน จรวด ฯลฯ คลื่นไมโครเวฟ มีสมบัติในการสะท้อนที่ผิวโลหะได้ดี คลื่นที่สะท้อนกลับเข้าสู่แหล่งกำเนิดซึ่งมีลักษณะเป็นจานพาราโบลา ซึ่งต่อกับเครื่องอ่านสัญญาณทำให้รู้ตำแหน่งของวัตถุนั้นๆ ได้

เตาไมโครเวฟ ในปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์จากคลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่ 2400 เมกะเฮิรตซ์ ในการทำให้อาหารสุก โดยคลื่นความถี่นี้ทำให้โมเลกุลของน้ำสั่นรุนแรงมาก ซึ่งทำให้เกิดความร้อนขึ้นแล้วแผ่ไปทั่วอาหารนั้น

18.6.4 รังสีอินฟราเรด

รังสีอินฟราเรด เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในช่วง $10^{11} - 10^{14}$ เฮิรตซ์ วัตถุร้อนจะมีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ประมาณ 10^{12} เฮิรตซ์ ซึ่งอยู่ในช่วงของรังสีอินฟราเรด ดังนั้น รังสีอินฟราเรด จึงมีชื่อเรียกอีกอย่างว่า **รังสีความร้อน** ประสาทสัมผัสทางผิวหนังของมนุษย์จึงสามารถรับรังสีอินฟราเรดบางช่วงได้

โดยปกติสิ่งมีชีวิตจะแผ่รังสีอินฟราเรด (คลื่นความร้อน) ออกมาตลอดเวลา และรังสีอินฟราเรดนี้มีสมบัติในการทะลุผ่านเมฆหมอกที่มีความหนาที่เกินกว่าที่แสงธรรมดาจะผ่านได้ จึงมีการนำสมบัตินี้มาใช้ในการถ่ายภาพพื้นโลกจากดาวเทียม โดยใช้ฟิล์มถ่ายรูปเฉพาะรับรังสีอินฟราเรด เพื่อศึกษาการแปรสภาพของป่าไม้หรือการอพยพของฝูงสัตว์ รวมถึงสภาพแวดล้อมของโลก

นอกจากนี้ยังมีการใช้รังสีอินฟราเรด ในระบบควบคุมระยะไกลที่เรียกว่า **รีโมทคอนโทรล (remote control)** สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าบางชนิด เช่น โทรทัศน์ เครื่องปรับอากาศ เครื่องเล่น CD, VCD, DVD เป็นต้น และในทางทหารยังมีการนำรังสีอินฟราเรดมาใช้ในการควบคุมอาวุธนำวิถีหรือกล้องมองในเวลากลางคืน

18.6.5 แสง

เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ประมาณ 10^{14} Hz หรือมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 4×10^{-7} ถึง 7×10^{-7} เมตร สามารถรับรู้ได้ด้วยประสาทตา เมื่อวัตถุได้รับความร้อน อุณหภูมิสูงจะเปล่งแสงออกมาได้ เช่น แสงจากหลอดไฟฟ้า เป็นต้น แสงที่ประสาทตาสามารถรับรู้ได้ คือ แสงสีม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง แสด แดง เมื่อแสงทั้งเจ็ดสีรวมกันจะเป็นสีขาว เปลวไฟสีแดงจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าเปลวไฟสีม่วง ในบางครั้งแสงอาจเกิดได้โดยไม่ต้องใช้ความร้อน เช่น แสงจากจอโทรทัศน์ แสงจากหลอดเรืองแสง หรือแสงจากหิ่งห้อยก็ได้

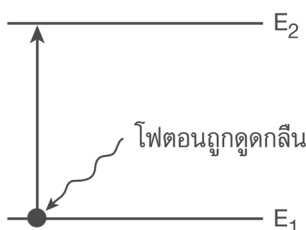
การที่เราไม่ใช้แสงเป็นคลื่นพาหะในการส่งคลื่นวิทยุ เพราะแสงจากวัตถุที่ร้อนจะให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาหลายความยาวคลื่น แต่ในปัจจุบันเราสามารถสร้างกำเนิดแสงเลเซอร์เพื่อใช้ในการส่งสัญญาณเสียงและภาพได้ ซึ่งนับว่ามีประโยชน์มากในวงการแพทย์

18.6.6 เลเซอร์ (LASER)

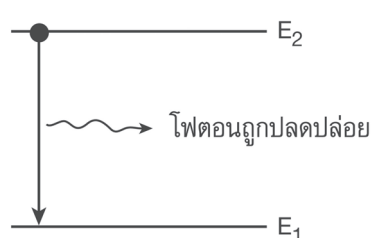
เลเซอร์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งย่อมาจาก Light Amplification by stimulated Emission of Radiation แปลว่า “**การขยายสัญญาณแสงโดยการปล่อยรังสีแบบเร่งเร้า**”

หลักการกำเนิดเลเซอร์

จากการศึกษาโครงสร้างของอะตอมซึ่งเป็นหน่วยย่อยของธาตุหรือสสาร นักฟิสิกส์ ได้เสนอแบบจำลองอะตอมว่าประกอบด้วยนิวเคลียสซึ่งมีประจุบวกอยู่ตรงกลาง และมีอิเล็กตรอนซึ่งมีประจุลบโคจรรอบนิวเคลียส โดยอิเล็กตรอนมีการจัดเรียงตัวเป็นวงๆ หรือชั้นๆ ทำให้อะตอมมีพลังงานค่าหนึ่งๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนอิเล็กตรอนและประจุบวกในนิวเคลียส โดยปกติอะตอมจะมีพลังงานอยู่ที่ระดับต่ำสุดที่เรียกว่า **สถานะพื้น (ground state)** “ E_1 ” และสถานะถัดๆ ไป เรียกว่า **สถานะกระตุ้น (excited state)** ($E_2, E_3, \dots$) เมื่ออะตอมได้รับพลังงานจากภายนอก เช่น พลังงานแสงที่เรียกว่า **โฟตอน** ($hf = E_2 - E_1$) อิเล็กตรอนจะถูกกระตุ้นให้เปลี่ยนระดับพลังงานจาก E_1 ให้ไปอยู่ที่ระดับพลังงาน E_2 ซึ่งเป็นระดับพลังงานที่สูงขึ้น กระบวนการนี้เรียกว่า **Absorption** ดังรูป 18.11



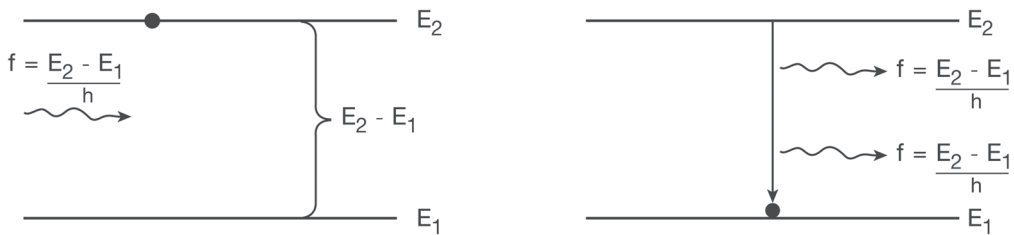
18.11 การเกิด absorption



18.12 การเกิด spontaneous emission

แต่โดยปกติอะตอมจะต้องอยู่ที่ระดับพลังงานต่ำสุด อิเล็กตรอนที่ไปอยู่ที่ระดับพลังงาน E_2 จะโดดกลับมายังระดับพลังงาน E_1 และปลดปล่อยพลังงานในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือโฟตอนออกมาซึ่งมีพลังงาน $hf = E_2 - E_1$ หรือมีความถี่ $f = \frac{E_2 - E_1}{h}$ ซึ่งเป็นไปโดยธรรมชาติ เรียกกระบวนการนี้ว่า **Spontaneous emission** ดังรูป 18.12

นอกจากนี้ ไฮสไตน์ พบว่า การปลดปล่อยโฟตอนมี 2 แบบ คือ แบบ Spontaneous emission และอีกแบบหนึ่งเรียกว่า **Stimulated emission** ซึ่งมีหลักการดังรูป 18.13

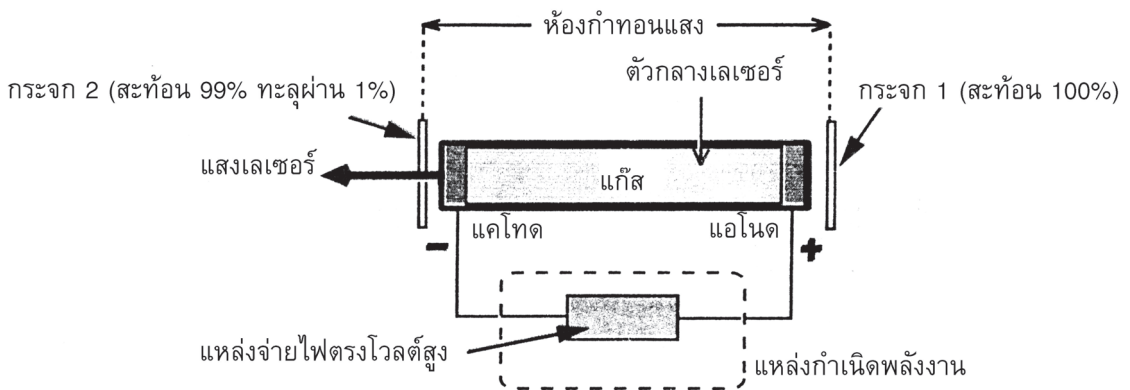


รูป 18.13 แสดงการเกิด *Stimulated emission*

จากรูป 18.13 ถ้าเริ่มแรกอะตอมอยู่ในระดับพลังงาน E_2 แล้วให้โฟตอนจากภายนอกที่มีความถี่ $f = \frac{E_2 - E_1}{h}$ เข้ามากระตุ้นและเป็นจังหวะเดียวกันกับที่อิเล็กตรอน เปลี่ยนระดับพลังงานจาก E_2 กลับมายัง E_1 ก็ปลดปล่อยพลังงานหรือโฟตอนออกมาอีก 1 โฟตอน กลายเป็น 2 โฟตอน ดังรูป 18.13 ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่า **Stimulated emission** เนื่องจากโฟตอนทั้งสองมีพลังงานเท่ากัน ความถี่จึงมีค่าเท่ากันและยังมีเฟสเดียวกัน ซึ่งเรียกว่าเป็น **แสงอาพันธ์ (coherent)** โดยแสงอาพันธ์จะมีความเข้มแสงหรือพลังงานสูง นั่นคือ **แสงเลเซอร์**

ขั้นตอนในการสร้างแสงเลเซอร์

ในการสร้างแสงเลเซอร์ต้องอาศัยเครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์ ซึ่งมีโครงสร้างพื้นฐานดังรูป 18.14



รูป 18.14 โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์

จากรูป 18.14 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของเครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์ซึ่งมีองค์ประกอบสำคัญดังนี้

1. **ตัวกลางเลเซอร์ (Laser medium)** เป็นวัสดุที่กระตุ้นแล้วให้แสงเลเซอร์ออกมาซึ่งอาจเป็นของแข็ง ของเหลว แก๊ส หรือสารกึ่งตัวนำซึ่งอาจเรียกว่า **Active medium** หรือ **Working medium**

2. **ประชากรผกผัน (Population inversion)** เป็นกระบวนการที่ทำให้จำนวนประชากรอะตอมในชั้นพลังงานสูง (E_2) มีมากกว่าประชากรอะตอมในชั้นพลังงานต่ำ (E_1) เรียกกระบวนการนี้ว่า **Laser pumping**

กำหนดให้ N_1 = จำนวนอะตอมที่ระดับพลังงาน E_1 (ground state)

N_2 = จำนวนอะตอมที่ระดับพลังงาน E_2 (excited state)



โดย $N_2 > N_1$

ในการ pumping อาจทำได้โดย

1. ใช้แสง เรียกว่า Optical pumping
2. ใช้ไฟฟ้า เรียกว่า Electrical discharge

3. **การแกว่งกวัดของเลเซอร์ (Laser oscillation)** เป็นกระบวนการเพื่อเพิ่ม (amplify) ความเข้มของกระบวนการ stimulated emission โดยการใช้กระจกเลเซอร์สะท้อนแสงจนสามารถปล่อยแสงเลเซอร์ที่มีความเข้มหรือพลังงานตามต้องการ กระบวนการนี้กระจกเลเซอร์ทำหน้าที่เป็นห้องกักทอนแสง (optical resonator) หรือห้องแสง (optical cavity)

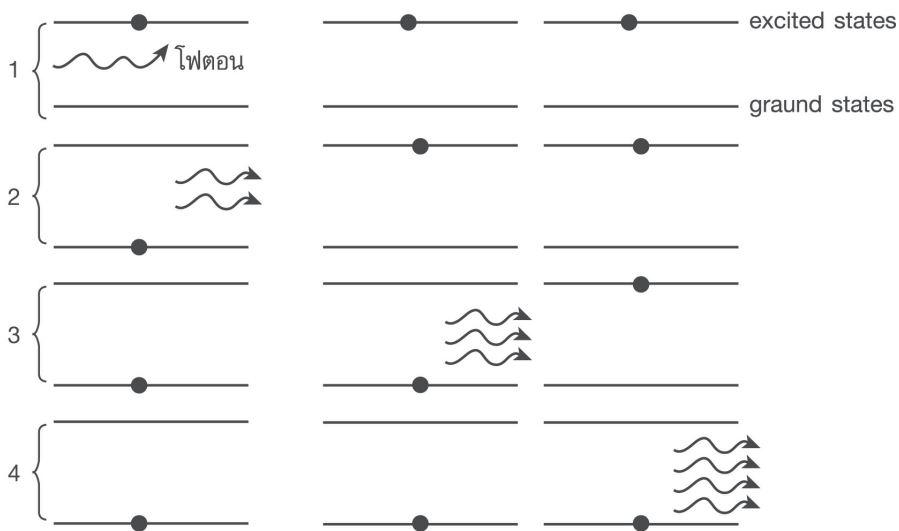
เมื่อ M_1 เป็นกระจกด้านหลังของเครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์ สามารถสะท้อนแสงได้ 100%

M_2 เป็นกระจกด้านหน้า (ด้านที่ปล่อยลำแสงเลเซอร์ออก) สามารถสะท้อนแสงได้ประมาณ 60 - 99%

เลเซอร์แต่ละชนิดจะใช้กระจก M_1 และ M_2 แตกต่างกันไป โดยกระจก M_1 และ M_2 จะเคลือบด้วยสารไดอิเล็กทริก หรือ โลหะ เพื่อสะท้อนลำแสงเลเซอร์เฉพาะความยาวคลื่นที่ต้องการเท่านั้น จากสมบัติของกระจกเลเซอร์จะทำหน้าที่สะท้อนโฟตอนให้วิ่งกลับไปกลับมาระหว่างกระจก M_1 และ M_2 เพื่อทำให้เกิดการขยายเพิ่ม (amplify) จำนวนโฟตอน โดยวิธี stimulated emission ดังรูป 18.15, 18.16



รูป 18.15 การเกิด stimulated emission



รูป 18.16 แสดงการเพิ่มขยายจำนวนโฟตอน (amplification process)

จากรูป 18.16 เมื่อโฟตอนทั้งหมดผ่าน laser medium จนกระทั่งถึงจุดที่เกิด laser oscillation ลำแสงเลเซอร์จะถูกปล่อยผ่านออกมาทางกระจก M_2 เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ตามต้องการ

แสงเลเซอร์ มีสมบัติพิเศษแตกต่างจากแสงทั่ว ๆ ไป ดังนี้

1. Monochromaticity แสงเลเซอร์เป็นแสงที่มีความถี่เดียว
2. Directionality แสงเลเซอร์มีทิศทางเดียวที่แน่นอน โดยลำแสงเลเซอร์มีทิศอยู่ในแนวแกนของ laser medium

3. Coherency แสงเลเซอร์มีความเป็นแสงอะพันธ์สูงมาก

4. Brightness แสงเลเซอร์เป็นแสงที่มีความจ้าหรือความเข้มสูงมาก

ชนิดของเครื่องกำเนิดเลเซอร์

เครื่องกำเนิดเลเซอร์แบ่งตามชนิดของ laser medium ที่ใช้ได้เป็น 4 ชนิด ดังนี้

1. เลเซอร์แบบแก๊ส ใช้แก๊สเป็นตัวกลางเลเซอร์ เช่น แก๊สผสมระหว่างฮีเลียมกับนีออน (He - Ne) แก๊สอาร์กอน (Ar) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (C_2O) เป็นต้น ซึ่งจะให้แสงเลเซอร์สีต่างๆ ตามชนิดของแก๊ส

2. เลเซอร์แบบของแข็ง ใช้ของแข็งเป็นตัวกลางเลเซอร์ เช่น ผลึกทับทิม, แท่งแก้วนีโอดีเมียม, นีโอดีเมียม - แก้ว เลเซอร์แบบนี้จะใช้วิธีกระตุ้นโดยใช้แสงจากหลอดอาร์กอน หรือ หลอดซินออน ซึ่งขดล้อมรอบแท่งตัวกลาง

3. เลเซอร์แบบของเหลว ใช้ของเหลวเป็นตัวกลางเลเซอร์โดยทั่วไปใช้สีย้อมผ้าผสมแอลกอฮอล์

4. เลเซอร์แบบสารกึ่งตัวนำ ใช้สารกึ่งตัวนำที่เป็นสารประกอบ เช่น แกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs)

ปัจจุบันมีการค้นพบเลเซอร์ชนิดอื่นๆ อีกมากมาย ซึ่งให้แสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่รังสีเอกซ์ รังสีอัลตราไวโอเล็ต แสง จนถึงรังสีอินฟราเรด เลเซอร์ที่ได้มีทั้งชนิดปล่อยคลื่นอย่างต่อเนื่องและแบบเป็นห้วงๆ จึงมีการนำเลเซอร์ไปใช้ในงานต่างๆ อย่างกว้างขวาง เช่น

1. การเก็บข้อมูลโดยใช้แสง (optical storage) เช่นการเก็บข้อมูลของแผ่นซีดี (compact disc) และ แผ่นดีวีดี (digital video disc)

2. การอ่านแถบรหัสสินค้า โดยการใช้เลเซอร์ในการอ่านแถบรหัสเพื่อบอกข้อมูล
3. ฮอโลกราฟี (holography) วิธีการถ่ายภาพสามมิติ
4. การผลิตทางอุตสาหกรรม เช่น การใช้แสงเลเซอร์ในการตัด เจาะ เชื่อม
5. การแพทย์ด้านศัลยกรรม เช่น การผ่าตัดเนื้อเยื่อ เนื้องอก และ มะเร็ง ศัลยกรรมตกแต่ง
6. การทหาร เช่น ใช้เลเซอร์ในการนำวิถี ตรวจหา และทำลายเป้าหมาย
7. การวิจัยและพัฒนา เช่น ใช้ศึกษาอะตอม ปฏิกิริยาเคมี การแยกไอโซโทป
8. การสื่อสาร โดยให้แสงผ่านเส้นใยนำแสง
9. การวัดและควบคุม โดยใช้เลเซอร์ในการวัด นับ ทดสอบ ตรวจสอบและควบคุมในการผลิต
10. การพิมพ์และกราฟิก ได้แก่ เครื่องพิมพ์ด้วยเลเซอร์ สามารถพิมพ์ได้รวดเร็วมาก

18.6.7 รังสีอุลตราไวโอเล็ต

เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงกว่าแสง โดยมีความถี่อยู่ในช่วง 10^{15} ถึง 10^{18} Hz ส่วนใหญ่เกิดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ และรังสีนี้เป็นตัวการทำให้เกิดประจุอิสระและไอออนในบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์เพราะรังสีอุลตราไวโอเล็ตมีพลังงานพอเหมาะที่จะไปชนให้อิเล็กตรอนหลุดจากโมเลกุลของอากาศ รังสีอุลตราไวโอเล็ตไม่สามารถเคลื่อนที่ทะลุผ่านสิ่งกีดขวางหนาๆ ได้ แต่สามารถทำให้เชื้อโรคบางชนิดตายได้ ในวงการแพทย์จึงใช้รังสีอุลตราไวโอเล็ตรักษาโรคเกี่ยวกับผิวหนัง รังสีอุลตราไวโอเล็ตปริมาณมากอาจทำให้เกิดอันตรายต่อผิวหนังและตาคนได้ แต่เนื่องจากบรรยากาศรอบๆ โลกดูดกลืนรังสีอุลตราไวโอเล็ตจากแสงอาทิตย์ไว้บางส่วน ทำให้แสงจากดวงอาทิตย์มาถึงที่พื้นผิวโลกมีรังสีอุลตราไวโอเล็ตในปริมาณที่ปลอดภัยต่อสิ่งมีชีวิต เราสามารถทำให้เกิดรังสีอุลตราไวโอเล็ตได้ โดยผ่านกระแสไฟฟ้าไปในหลอดที่บรรจุไอปรอทไว้ ไอปรอท นี้จะรับพลังงานจากอิเล็กตรอนของกระแสไฟฟ้า แล้วปลดปล่อยรังสีอุลตราไวโอเล็ตมาพร้อมกับได้แสงสีม่วงจางๆ รังสีอุลตราไวโอเล็ตทะลุผ่านแก้วได้บ้างเล็กน้อย แต่ผ่านควอตซ์ได้ดี ดังนั้นหลอดผลิตรังสีอุลตราไวโอเล็ตจึงทำด้วยควอตซ์ในหลอดเรืองแสงจะมีไอปรอทบรรจุอยู่ภายในเมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านจะทำให้เกิดรังสีอุลตราไวโอเล็ต แต่สิ่งที่ต้องการคือ แสงขาว จึงฉาบสารเรืองแสงไว้ที่ผิวในของหลอด เมื่อรังสีอุลตราไวโอเล็ตกระทบ ก็จะถ่ายเทพลังงานให้สารเรืองแสงและสารเรืองแสงจะแผ่แสงสว่างออกมาอีกทอดหนึ่ง ส่วนรังสีอุลตราไวโอเล็ตจะถูกแก้วขวางกั้นไว้ไม่ให้แผ่ออกมานอกหลอด นอกจากนี้การเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้ายังทำให้เกิดรังสีอุลตราไวโอเล็ตความเข้มสูง ในปริมาณซึ่งเป็นอันตรายต่อนัยน์ตา จึงจำเป็นต้องสวมแว่นสำหรับป้องกันโดยเฉพาะ

18.6.8 รังสีเอกซ์

เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในช่วง $10^{18} - 10^{22}$ เฮิรตซ์ หรือความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง $10^{-8} - 10^{-13}$ เมตร มักเรียกรวมกันว่า **รังสีเอกซ์** การผลิตรังสีเอกซ์วิธีหนึ่งใช้หลักการเปลี่ยนความเร็วของอิเล็กตรอน ส่วนวิธีอื่นๆ จะได้กล่าวถึงในบทต่อไป

รังสีเอกซ์สามารถเคลื่อนที่ทะลุผ่านสิ่งกีดขวางหนาๆ ได้ ดังนั้น ในทางอุตสาหกรรมจึงใช้รังสีเอกซ์หารอยร้าวภายในชิ้นส่วนโลหะขนาดใหญ่ เจ้าหน้าที่ด้านตรวจใช้รังสีเอกซ์ตรวจหาอาวุธหรือระเบิดในกระเป๋าเดินทาง โดยไม่ต้องเปิดกระเป๋า ทั้งนี้โดยอาศัยหลักที่ว่ารังสีเอกซ์จะถูกกั้นโดยอะตอมของธาตุนั้นๆ ได้ดีกว่าธาตุเบา แพทย์ใช้รังสีเอกซ์ฉายผ่านร่างกายมนุษย์ไปตกบนฟิล์ม เพื่อตรวจดูลักษณะผิดปกติของอวัยวะภายในและกระดูก

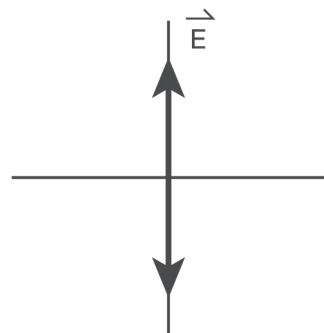
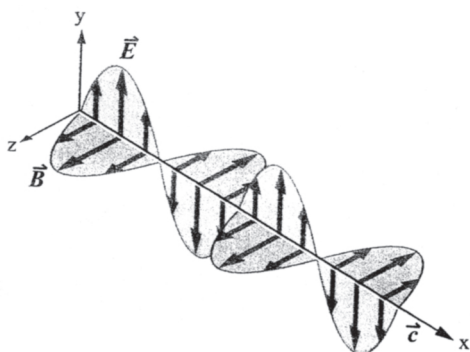
เมื่อให้รังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นประมาณ 10^{-10} เมตร ซึ่งเป็นขนาดที่ใกล้เคียงกับขนาดของอะตอม และระยะห่างระหว่างอะตอมของผลึกผ่านก่อนผลึก อะตอมที่จัดเรียงตัวกันอย่างมีระเบียบในก้อนผลึก จะทำให้รังสีเอกซ์เลี้ยวเบนอย่างมีระเบียบเช่นเดียวกับเมื่อแสงผ่านเกรตติง เมื่อศึกษาลักษณะการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ก็จะสามารถคำนวณหาระยะห่างระหว่างอะตอมและวิธีการจัดเรียงของอะตอม ทำให้ทราบโครงสร้างของผลึกแต่ละชนิดได้

18.6.9 รังสีแกมมา

รังสีแกมมาเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงกว่ารังสีเอกซ์ แต่เดิมคำว่ารังสีแกมมาใช้เรียกชื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงที่เกิดจากการสลายตัวของนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสี แต่ในปัจจุบันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงกว่ารังสีเอกซ์โดยทั่วไปแล้วแล้วจะเรียกว่ารังสีแกมมาทั้งนั้น รังสีแกมมาที่มีได้เกิดจากการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี เช่น รังสีคอสมิก ก็มีรังสีแกมมาหรือการแผ่รังสีของอนุภาคประจุไฟฟ้าที่ถูกเร่งด้วยความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงๆ ทำให้เกิดรังสีแกมมาได้

18.7 โพลาริเซชันแม่เหล็กไฟฟ้า

ในการส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น เมื่อสายอากาศสำหรับส่งคลื่นโทรทัศน์วางตัวอยู่ในแนวตั้ง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกส่งออกไปลักษณะของสนามไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงทิศกลับไปกลับมาในแนวตั้งตามแนวสายอากาศเสมอ (ทิศทางเดียวเท่านั้น) เรากล่าวว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าลักษณะนี้เป็น **คลื่นโพลาริซ์** (polarized wave) ในแนวตั้ง แต่ถ้าสายอากาศอยู่ในแนวระดับ เมื่อส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกไป สนามไฟฟ้าจะมีทิศเปลี่ยนแปลงกลับไปกลับมาในแนวระดับ เราก็บอกว่าเป็น **คลื่นโพลาริซ์ในแนวระดับ**

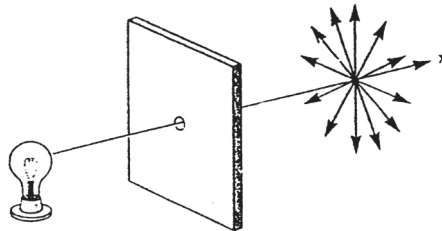


- (ก) แสดงระนาบของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า (ข) แสดงทิศของสนามไฟฟ้าหรือทิศคลื่นโพลาริซ์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

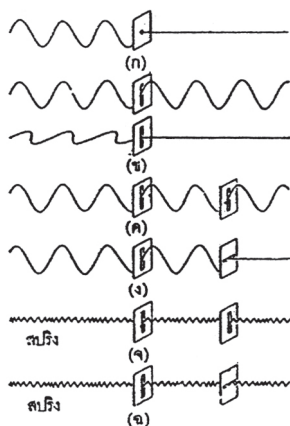
รูป 18.17 แสดงคลื่นโพลาริซ์

18.8 โพลาริเซชันของแสง

จากทฤษฎีเกี่ยวกับแสงพบว่า แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วยสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า ซึ่งมีระนาบการสั่นตั้งฉากซึ่งกันและกัน และระนาบของสนามทั้งสองตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น เมื่อพิจารณาสนามไฟฟ้าเพียงสนามเดียวจะพบว่าเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าของแสงจะมีระนาบการสั่นได้ทุกทิศทางโดยมีทิศตั้งฉากกับแนวการเคลื่อนที่ดังรูป 18.18



รูป 18.18 แสดงเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าของแสงไม่โพลาไรซ์

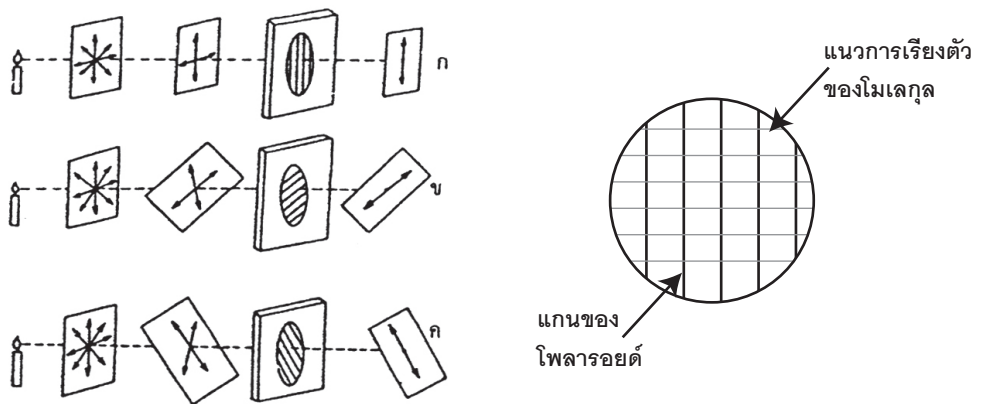


โดยทั่วไปแสงจากแหล่งกำเนิด ประกอบด้วย คลื่นย่อยจำนวนมาก แต่ละคลื่นมีสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้ามีระนาบการสั่นต่างๆ กัน เรียกแสงลักษณะนี้ว่า **แสงไม่โพลาไรซ์** แต่ถ้าแสงที่มีระนาบการสั่นเพียงระนาบเดียวเรียกว่า **แสงโพลาไรซ์** เราอาจศึกษาการเกิดคลื่นโพลาไรซ์กับคลื่นในเส้นเชือก ดังรูป 18.19

รูป 18.19 แสดงการโพลาไรซ์ของคลื่นกล

จากรูป 18.19 (ข) เมื่อสับัดเชือกให้เกิดคลื่น ซึ่งเป็นคลื่นกลและเป็นคลื่นตามขวางโดยมีระนาบการสั่นเพียงระนาบเดียว หรือในที่นี้เราเรียกคลื่นในเส้นเชือกว่าเป็น **คลื่นโพลาไรซ์** ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ผ่านช่องที่มีระนาบของช่องขนานกับระนาบการสั่นของเชือก แต่ไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านช่องที่มีระนาบของช่องตั้งฉากกับระนาบการสั่นของเชือกไปได้ เราเรียกปรากฏการณ์เช่นนี้ว่า **โพลาไรเซชันของคลื่นในเส้นเชือก** และเรียกระนาบของการสั่นว่า **ระนาบโพลาไรเซชัน** ส่วนคลื่นในสปริงซึ่งเป็นคลื่นตามยาวจะไม่เกิดปรากฏการณ์ดังคลื่นในเส้นเชือกนั่นคือ **คลื่นตามยาวไม่มีโพลาไรเซชัน**

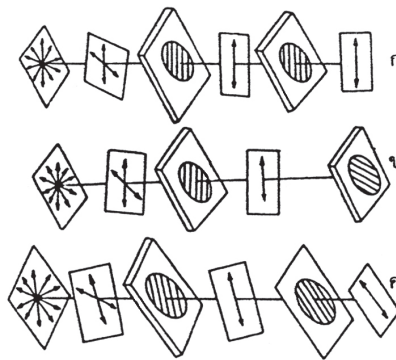
ในการศึกษาโพลาไรเซชันของคลื่นแสง เราใช้แผ่นโพลาไรซ์ซึ่งเป็นแผ่นพลาสติกที่มีโมเลกุลของพอลิเมอร์ไวนิลแอลกอฮอล์ (polyvinyl alcohol) ฝังอยู่ในเนื้อพลาสติก และแผ่นพลาสติกถูกยึดโดยโมเลกุลของพอลิเมอร์ไวนิลแอลกอฮอล์เรียงตัวในแนวขนานกับแนวการเรียงตัวของโมเลกุล เมื่อแสงผ่านโพลาไรซ์องค์ประกอบสนามไฟฟ้าในแนวขนานกับแนวการเรียงตัวของโมเลกุล จะถูกโมเลกุลดูดกลืน ส่วนองค์ประกอบสนามไฟฟ้าแนวตั้งฉากกับการเรียงตัวของโมเลกุลจะผ่านแผ่นโพลาไรซ์ออกไปได้ ซึ่งเราจะเรียกแนวที่ตั้งฉากกับแนวการเรียงตัวของโมเลกุลนี้ว่า **แนวโพลาไรซ์** หรือ **แกนของโพลาไรซ์** ส่วนแสงในแนวระนาบอื่นสามารถแยกออกเป็น 2 ระนาบตามหลักการแยกเวกเตอร์ดังรูป 18.20



รูป 18.20 แสดงเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าเมื่อผ่านโพลาไรซ์ 1 แผ่น

จากรูป 18.20 เมื่อใช้แผ่นโพลาไรซ์ 1 แผ่นมากขึ้น แสงที่ไม่โพลาไรซ์ จะได้แสงที่ผ่านออกมาเป็นเพียงระนาบเดียว ซึ่งเรียกว่า **แสงโพลาไรซ์** ส่วนปรากฏการณ์ที่สนามไฟฟ้าถูกทำให้เป็นเพียงระนาบเดียวว่า **โพลาไรเซชันของแสง**

ในการตรวจสอบว่าแสงเป็นคลื่นตามขวางทำได้โดยมองผ่านแผ่นโพลาไรซ์ 2 แผ่น โดยการหมุนแผ่นหนึ่งไปแล้วพบว่า ความสว่างของแสงที่ผ่านออกมาจะเปลี่ยนไปด้วย โดยแสงที่ผ่านออกมาจะมีความสว่างมากที่สุดเมื่อแกนของแผ่นโพลาไรซ์ทั้งสองขนานกัน และมีความสว่างน้อยที่สุดเมื่อแกนของแผ่นโพลาไรซ์ทั้งสองตั้งฉากกัน ดังรูป 18.21



รูป 18.21 แสดงเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าเมื่อผ่านโพลาไรซ์ 2 แผ่น

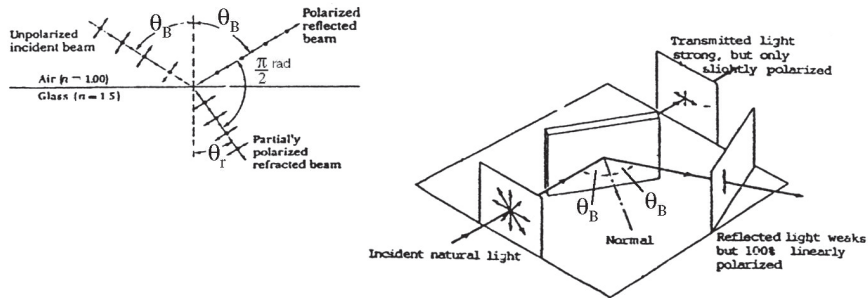
จากรูป 18.21 แผ่นโพลาไรซ์แผ่นแรกทำให้แสงไม่โพลาไรซ์เป็นแสงโพลาไรซ์ เราเรียกแผ่นโพลาไรซ์แผ่นแรกนี้ว่า **โพลาไรเซอร์** และเรียกแผ่นโพลาไรซ์แผ่นที่สองซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้อธิบายว่าแสงเป็นคลื่นตามขวาง เราเรียกแผ่นโพลาไรซ์แผ่นที่สองนี้ว่า **อะนาลิเซอร์**

การทำให้แสงไม่โพลาไรซ์เป็นแสงโพลาไรซ์ นอกจากให้แสงผ่านแผ่นโพลาไรซ์แล้วยังมีวิธีการอื่นอีก เช่น

1. การทำให้แสงโพลาไรซ์โดยวิธีการสะท้อน

เมื่อมีลำแสงไม่โพลาไรซ์ตกกระทบผิววัตถุโปร่งใส เช่น แก้ว น้ำ ทำให้เกิดการสะท้อนและการหักเห แสงสะท้อนอาจเป็นแสงโพลาไรซ์ทั้งหมดหรือเป็นแสงโพลาไรซ์บางส่วน นอกจากแสงตกกระทบตั้งฉากกับผิวสะท้อน แสงสะท้อนจะไม่เป็นแสงโพลาไรซ์เลย **บรูว์สเตอร์ (Sir David Brewster)** พบว่า “**เมื่อมีแสงไม่**

โพลาไรซ์ตกกระทบกับผิววัตถุโปร่งใสด้วยมุมตกกระทบที่พอดีค่าหนึ่งแล้วทำให้แนวแสงสะท้อนและแนวแสงหักเหตั้งฉากกันพอดี แสงสะท้อนจะเป็นแสงโพลาไรซ์อย่างสมบูรณ์” ดังรูป 18.22



รูป 18.22 โพลาไรเซชันของแสงสะท้อนและแสงหักเหที่ผิวของตัวกลางหักเห

จากรูป 18.22 มุมตกกระทบ (θ_B) ที่ทำให้แสงสะท้อนเป็นแสงโพลาไรซ์อย่างสมบูรณ์เรียกว่า **มุมโพลาไรซ์ หรือมุมบรูว์สเตอร์ (Brewster angle)**

จากรูป 18.22 เมื่อให้แสงไม่โพลาไรซ์ตกกระทบวัตถุโปร่งใสที่มีดัชนีหักเห n ด้วยมุมตกกระทบ θ_B และเกิดมุมหักเห θ_r

$$\text{เมื่อ } \theta_B + \theta_r = 90^\circ$$

จากกฎการหักเหของ

$$\frac{\sin \theta_B}{\sin \theta_r} = n$$

หรือ

$$\frac{\sin \theta_B}{\sin (90 - \theta_B)} = n$$

$$\frac{\sin \theta_B}{\cos \theta_B} = n$$

$$\tan \theta_B = n$$

1. จงหามุมโพลาไรซ์ของแสงที่ตกกระทบก้อนน้ำแข็งสี่เหลี่ยมเรียบ ซึ่งมีดัชนีหักเห 1.309 ($\tan 37.38^\circ = 0.76$, $\tan 52.62^\circ = 1.309$)

วิเคราะห์โจทย์ เมื่อรู้ n ต้องการหา θ_B

$$\text{จาก } \tan \theta_B = n = 1.309$$

$$\theta_B = \tan^{-1} 1.309$$

$$\therefore \theta_B = 52.62^\circ$$

ดังนั้น มุมโพลาไรซ์มีค่า 52.62 องศา

2. เมื่อให้ลำแสงตกกระทบผิวผลึกโปร่งใสหนึ่งพบว่า เมื่อมุมตกกระทบมีค่า 48° แสงสะท้อนจะเป็นแสงโพลาไรซ์อย่างสมบูรณ์ จงหาดัชนีหักเหของผลึกนี้ ($\tan 42^\circ = 0.90$, $\tan 48^\circ = 1.11$)

วิเคราะห์โจทย์ เมื่อรู้ $\theta_B = 48^\circ$ ต้องการหา n

$$\text{จาก } \tan \theta_B = n$$

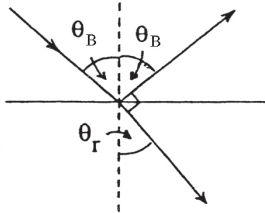
$$n = \tan 48^\circ$$

$$\therefore n = 1.11$$

ดังนั้น ดัชนีหักเหของผลึกมีค่า 1.11

3. เมื่อให้ลำแสงตกกระทบบนแท่งแก้วพลินท์ ซึ่งมีค่าดัชนีหักเห 1.65 ปรากฏว่าแสงสะท้อนเป็นแสงโพลาไรซ์ 100% จงหามุมหักเหของแสงที่ผ่านไปบนแท่งแก้วนี้ ($\tan 58.78^\circ = 1.65$)

วิเคราะห์โจทย์ เมื่อรู้ $n = 1.65$ หา θ_B ได้ ก็หา θ_r ได้ด้วย



$$\text{จาก } \tan \theta_B = n$$

$$\tan \theta_B = 1.65$$

$$\theta_B = \tan^{-1} 1.65 = 58.78^\circ$$

$$\theta_r = 90^\circ - \theta_B = 90^\circ - 58.78^\circ$$

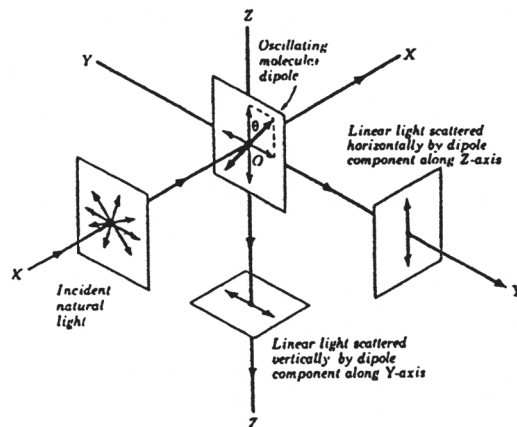
$$\therefore \theta_r = 31.2^\circ$$

ดังนั้น มุมหักเหมีค่า 31.2 องศา

2. การทำให้แสงโพลาไรซ์โดยการกระเจิงของแสง

การกระเจิงของแสงเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่มีอนุภาคขนาดเล็กๆ เช่น ฝุ่นละออง คิวบิกไฟ หรืออนุภาคอื่นๆ ในอากาศ แล้วมีแสงแผ่กระจายออกโดยรอบอนุภาคนั้น ซึ่งอาจเรียกว่า **แสงมีการกระเจิง (scattering of light)** ทำให้เห็นแสงในแนวตั้งฉากกับลำแสงที่มาจากแหล่งกำเนิด ดังรูป

18.23

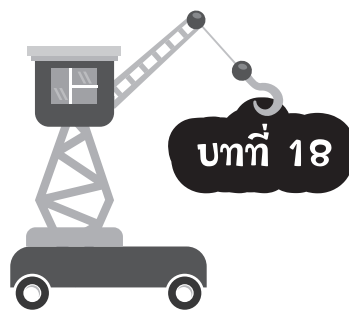


รูป 18.23 การกระเจิงของแสง

การกระเจิงของแสง จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของแสงนั้น กับขนาดของอนุภาค เช่น แสงจากดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นแสงขาวประกอบด้วยแสงสีต่างๆ มีความยาวคลื่นต่างๆ กัน เมื่อเคลื่อนที่มายังโลก จะผ่านชั้นบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลก ถ้าอากาศแห้งเมื่อแสงขาวตกกระทบบนฝุ่นละอองเล็กๆ แสงสีน้ำเงินซึ่งมีความยาวคลื่นสั้นจะกระเจิงได้ดีกว่าแสงสีอื่น ๆ จึงเห็นท้องฟ้ามีสีน้ำเงิน แต่ในเวลาที่อากาศชื้นมีละอองน้ำกระจายอยู่ทั่วไป ขนาดของละอองน้ำใหญ่มากกว่าขนาดของฝุ่นละอองแสงสีเขียวและแสงสีเหลือง จะมีการกระเจิงได้มากขึ้นทำให้เห็นท้องฟ้าเป็นสีฟ้าใส ในที่สูงมากๆ อากาศเบาบางสีของท้องฟ้าจะเปลี่ยนเป็นสีดำ และถ้าไม่มีบรรยากาศเลย เช่น ในอวกาศ ท้องฟ้าจะมีดสนิท

นอกจากนี้ยังพบว่า การกระเจิงของแสงแปรผกผันกับกำลังสี่ของความยาวคลื่นของแสง ดังนั้น แสงสีน้ำเงินซึ่งคลื่นสั้นกว่าแสงสีแดง จึงถูกโมเลกุลของอากาศกระเจิงนั้นไปมากกว่าแสงสีแดงหลายเท่า เมื่อเรามองดูท้องฟ้าจึงเห็นเป็นฉากสีน้ำเงิน แต่ถ้ามองดูดวงอาทิตย์ตรงๆ ในตอนเช้าหรือตอนเย็นจะเห็นเป็นดวงกลมสีแดงๆ เพราะแสงที่เหลือมาเข้าตาส่วนใหญ่จะเป็นสีแดง

ในการกระเจิงของแสงพบว่า แสงที่กระเจิงรอบๆ อนุภาคเป็นแสงโพลาไรซ์ ซึ่งอธิบายได้จากรูป 18.23 เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบอนุภาคที่มีประจุในบรรยากาศ สนามไฟฟ้าของแสงที่มีอยู่ในทุกทิศทางจะกระตุ้นให้อนุภาคนั้นสั่นตามความถี่ของแสง ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับความถี่ธรรมชาติของอนุภาคนั้นด้วย โดยความถี่นั้นอยู่ในช่วงของแสงอัลตราไวโอเล็ต ทำให้อนุภาคนี้อุดกคลื่นแสงในย่านนี้ พร้อมกับการสั่น แล้วเปล่งแสงทีุ่ดกคลื่นออกมา ซึ่งอาจพิจารณาการสั่นของอนุภาคได้ 2 ทิศทาง คือ แนวตั้ง (แกน z) กับแนวราบ (แกน y) การสั่นในแนวราบให้แสงโพลาไรซ์ในระนาบ yz ถ้าผู้สังเกตบนโลกแห่งนั้นหันมองดูท้องฟ้าในทิศตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของแสงจะทำให้เห็นแสงสีครามหรือฟ้า



แบบทดสอบ

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

1. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดจาก

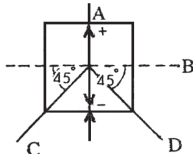
- 1) กระแสไฟฟ้าไหลผ่านเส้นลวดตัวนำ
 - 2) การเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่องระหว่างสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า
- คำตอบที่ถูกต้อง คือ

1. ข้อ 1
2. ข้อ 2
3. ข้อ 1 และข้อ 2
4. ไม่มีข้อถูก

2. แนวความคิดที่สำคัญอย่างหนึ่งของแมกซ์เวลล์ (Maxwell) เกี่ยวกับทฤษฎีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คือ

1. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิดจะต้องมีความยาวคลื่นต่างกัน
2. เมื่อสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงจะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้น
3. การเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จำเป็นต้องอาศัยการสั่นของอนุภาคตัวกลาง
4. ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะต้องอยู่ในทิศเดียวกับสนามแม่เหล็ก

3.



หากมีประจุเคลื่อนที่กลับไปมาคู่หนึ่ง ดังรูป ตามทฤษฎีแมกซ์เวลล์ ประจุนี้จะมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาแต่มีแนวหนึ่งที่ไม่มีการแผ่คลื่นออกมาเลย แนวนั้นคือ

1. A
2. B
3. C
4. D

4. จงพิจารณาข้อความต่อไปนี้ ข้อใดไม่ถูกต้อง

1. การเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าทำให้เกิดสนามแม่เหล็กและการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กทำให้เกิดสนามไฟฟ้า
2. สนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีเฟสต่างกัน 90°
3. สำหรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กมีทิศตั้งฉากซึ่งกันและกัน และตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นด้วย
4. ในตัวกลางเดียวกัน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกความถี่ มีความเร็วเท่ากันหมด

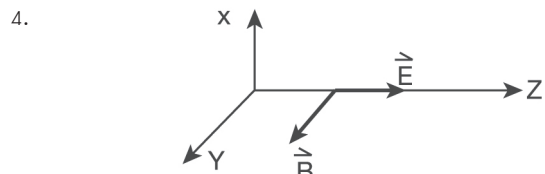
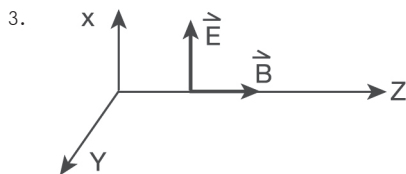
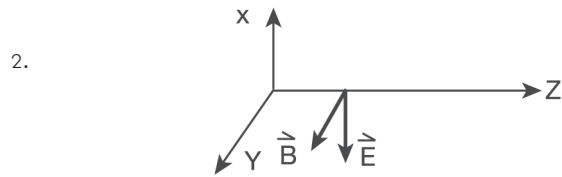
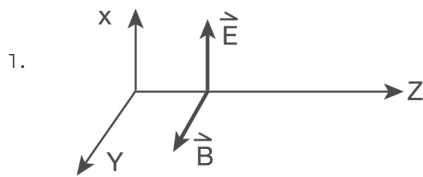
5. ในเรื่องเกี่ยวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ข้อใดผิด

1. ทิศทางของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าจะตั้งฉากกันเสมอ
2. สนามแม่เหล็ก และสนามไฟฟ้าเกิดจากการเหนี่ยวนำซึ่งกันและกัน
3. ผลิตรังสีได้จากการที่ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง
4. บางความยาวคลื่นต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่

6. สนามแม่เหล็กที่มาพร้อมกับการเคลื่อนที่ของแสงนั้น จะมีทิศทาง

1. ขนานกับทิศทางของการเคลื่อนที่ของแสง
2. ขนานกับสนามไฟฟ้า แต่เฟสต่างกัน 90° องศา
3. ตั้งฉากกับทั้งสนามไฟฟ้าและทิศทางการเคลื่อนที่ของแสง
4. ตั้งฉากกับสนามไฟฟ้า แต่ขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่ของแสง

7. เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปทางแกน z , ที่เวลา t ค่าหนึ่ง ความสัมพันธ์ของสนามแม่เหล็ก $\vec{B}$ และสนามไฟฟ้า $\vec{E}$ ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้จะเป็นตามข้อใด



8. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิดขณะเคลื่อนที่ในสุญญากาศจะมีสิ่งหนึ่งเท่ากันเสมอ คือ
1. ความยาวคลื่น
 2. แอมพลิจูด
 3. ความถี่
 4. ความเร็ว
9. ถ้าคลื่นวิทยุในอากาศมีอัตราเร็ว 3×10^8 เมตร/วินาทีและความถี่ 500 กิโลเฮิรตซ์ คลื่นวิทยุนี้มีความยาวคลื่นเท่าใดในหน่วยของเมตร
1. 1.67×10^{-3}
 2. 3.33×10^{-5}
 3. 6.00×10^2
 4. 8.00×10^4
10. คลื่นวิทยุ 2 คลื่น มีความถี่ 1.5×10^8 และ 3×10^7 เฮิรตซ์ตามลำดับ คลื่นวิทยุทั้งสองนี้ จะมีความยาวคลื่นต่างกัน
1. 1.5 เมตร
 2. 4 เมตร
 3. 8 เมตร
 4. 12 เมตร
11. ในการติดตั้งเสาตรวจรับสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ลักษณะของเสาอากาศและการติดตั้งคือ
1. ใช้แท่งโลหะตรงและให้ความยาวของโลหะตั้งฉากกับทิศการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก
 2. ใช้แท่งโลหะตรงและให้ความยาวของโลหะขนานกับทิศการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก
 3. ใช้โลหะขดเป็นวงกลมและให้ระนาบของวงกลมตั้งฉากกับทิศการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก
 4. ใช้โลหะขดเป็นวงกลมและให้ระนาบของวงกลมขนานกับทิศทางการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก
12. การแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่อไปนี้ ข้อใดมีความยาวคลื่นสั้นที่สุด
1. รังสีแกมมา
 2. แสงที่ตามองเห็น
 3. ไมโครเวฟ
 4. รังสีอัลตราไวโอเล็ต
13. คลื่นต่อไปนี้ชนิดใดที่มีความถี่สูงสุด
1. รังสีแกมมา
 2. รังสีอัลตราไวโอเล็ต
 3. ไมโครเวฟ
 4. คลื่นวิทยุ
14. ข้อใดเรียงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดต่างๆ ตามความถี่จากน้อยไปมากได้ถูกต้อง
1. รังสีแกมมา แสง ไมโครเวฟ คลื่นวิทยุ
 2. คลื่นวิทยุ ไมโครเวฟ แสง รังสีแกมมา
 3. คลื่นวิทยุ แสง ไมโครเวฟ รังสีแกมมา
 4. ไมโครเวฟ คลื่นวิทยุ แสง รังสีแกมมา
15. การตรวจหาตำแหน่งของวัตถุด้วยเรดาร์อาศัยการส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในข้อใด
1. คลื่นสั้น
 2. อินฟราเรด
 3. ไมโครเวฟ
 4. อัลตราไวโอเล็ต
16. นักวิทยาศาสตร์รู้ว่าดาวฤกษ์ดวงหนึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าอีกดวงหนึ่ง จากคุณสมบัติตามข้อใด
1. คลื่นแสงที่ดาวฤกษ์ปล่อยออกมา
 2. คลื่นอัลตราไวโอเล็ตที่ดาวฤกษ์ปล่อยออกมา
 3. คลื่นรังสีเอกซ์ที่ดาวฤกษ์ปล่อยออกมา
 4. คลื่นรังสีอินฟราเรดที่ดาวฤกษ์ปล่อยออกมา

17. แหล่งกำเนิดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีหลายอย่างข้อใดที่ไม่ใช่
1. วัตถุที่มีอุณหภูมิสูง
 2. อะตอมปลดปล่อยพลังงาน
 3. อิเล็กตรอนปลดปล่อยพลังงาน
 4. อิเล็กตรอนในกระแสไฟฟ้าตรงปลดปล่อยพลังงาน
18. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีได้เฉพาะคลื่นดิน คือ
1. คลื่นที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่าคลื่นวิทยุระบบ เอฟเอ็ม
 2. คลื่นที่มีความยาวคลื่นมากกว่าคลื่นวิทยุระบบ เอฟเอ็ม
 3. คลื่นที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่าคลื่นวิทยุระบบ เอเอ็ม
 4. คลื่นที่มีความยาวคลื่นมากกว่าคลื่นวิทยุระบบ เอเอ็ม
19. ในกรณีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ข้อความใดผิด
1. ขณะประจุเคลื่อนที่ด้วยความเร่งจะแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา
 2. รังสีแกมมาเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นมากกว่ารังสีเอกซ์
 3. การสะท้อนของคลื่นวิทยุระบบเอฟเอ็มอาศัยคลื่นฟ้าเป็นส่วนน้อย
 4. เเรตราอวกาศของหลักการทำงานของการสะท้อนของคลื่นไมโครเวฟ
20. เมื่อผ่านรังสีเอกซ์เข้าไปในบริเวณสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าแล้ว รังสีเอกซ์
1. ไม่มีการเบี่ยงเบนในทิศทางใดๆ ในสนามนั้นๆ
 2. เบี่ยงเบนเข้าหาขั้วบวกของสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้านั้น
 3. เบี่ยงเบนเข้าหาขั้วลบของสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้านั้น
 4. มีการเคลื่อนที่เป็นรูปคลื่นไซน์
21. รังสีอินฟราเรด รังสีอัลตราไวโอเลต รังสีแกมมา ต่างก็มีสมบัติที่สำคัญเหมือนกัน คือ
- 1) มีการเคลื่อนที่ไปได้โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยตัวกลางที่มีความยืดหยุ่น
 - 2) มีการเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วของคลื่นวิทยุระบบเอฟเอ็ม และมีพลังงานส่งผ่านไปพร้อมกันด้วย
 - 3) มีทิศทางของสนามไฟฟ้าตั้งฉากกับทิศทางของสนามแม่เหล็กและสนามทั้งสองมีทิศตั้งฉากกับทิศทางของการเคลื่อนที่
1. ข้อ 1 และข้อ 2
 2. ข้อ 2 และข้อ 3
 3. ข้อ 1 และข้อ 3
 4. ข้อ 1 ข้อ 2 และข้อ 3
22. “คลื่นวิทยุ คลื่นโทรทัศน์ และไมโครเวฟ รังสีอินฟราเรด แสง รังสีอัลตราไวโอเลต รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา” สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าข้างบนเรียงโดยสมบัติอะไร
1. พลังงานของสเปกตรัมต่างๆ ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากค่าน้อยไปยังค่ามาก
 2. โมเมนตัมของสเปกตรัมต่างๆ ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากค่ามากไปยังค่าน้อย
 3. ความถี่ของสเปกตรัมต่างๆ ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากค่ามากไปยังค่าน้อย
 4. ความยาวของสเปกตรัมต่างๆ ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากค่าน้อยไปยังค่ามาก



1. วิเคราะห์โจทย์ คลื่นแม่เหล็กเกิดจากการเหนี่ยวนำระหว่างสนามแม่เหล็ก และสนามไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง และอาจเกิดจากอนุภาคที่มีประจุเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง ข้อ 1 จึงผิด ข้อ 2 ถูก
คำตอบที่ถูกต้องคือข้อ 2
2. วิเคราะห์โจทย์ แนวคิดของแมกซ์เวลล์เกี่ยวกับทฤษฎีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าคือสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงจะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้น
คำตอบที่ถูกต้องคือข้อ 2
3. วิเคราะห์โจทย์ ทิศที่อยู่ในแนวเดียวกับ การสั่นของประจุ จะไม่มีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่ออกมาเลย
คำตอบที่ถูกต้องคือข้อ 1
4. วิเคราะห์โจทย์ สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า จะมีเฟสตรงกันเสมอ
คำตอบที่ถูกต้องคือข้อ 2
5. วิเคราะห์โจทย์ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิด ไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่
คำตอบที่ถูกต้องคือข้อ 4
6. วิเคราะห์โจทย์ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สนามแม่เหล็ก สนามไฟฟ้า และทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นจะตั้งฉากต่อกันเสมอ
คำตอบที่ถูกต้องคือข้อ 3
7. วิเคราะห์โจทย์ ความสัมพันธ์ของทิศทาง $\vec{B}$, $\vec{E}$, $\vec{v}$ ซึ่งตั้งฉากกันเสมอหาได้โดยวิธีการ cross vector โดย ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นอยู่ในทิศ cross vector จาก $\vec{E}$ ไป $\vec{B}$ โดยกฎการ cross vector จะได้ดังรูป (1)
คำตอบที่ถูกต้องคือข้อ 1
8. วิเคราะห์โจทย์ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิดเคลื่อนที่ในสุญญากาศจะมีความเร็วเท่ากันเสมอ $= 3 \times 10^8 \text{ m/s}$
คำตอบที่ถูกต้องคือข้อ 4
9. วิเคราะห์โจทย์ เมื่อรู้ $v = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$, $f = 500 \times 10^3 \text{ Hz}$ ต้องการหา λ

$$\text{จาก } v = \lambda f$$

$$3 \times 10^8 = \lambda \times 500 \times 10^3$$

$$\therefore \lambda = 6 \times 10^2 \text{ m}$$
คำตอบที่ถูกต้องคือข้อ 3
10. วิเคราะห์โจทย์ เมื่อรู้ $f_1 = 1.5 \times 10^8 \text{ Hz}$, $f_2 = 3 \times 10^7 \text{ Hz}$, $v \text{ คงตัว} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ต้องการหา $\lambda_2 - \lambda_1$

$$\text{จาก } v = \lambda f \text{ หรือ } \lambda = \frac{v}{f}$$

$$\text{ได้ว่า } \lambda_1 = \frac{3 \times 10^8}{1.5 \times 10^8} = 2 \text{ m}$$

$$\text{และ } \lambda_2 = \frac{3 \times 10^8}{3 \times 10^7} = 10 \text{ m}$$

$$\therefore \lambda_2 - \lambda_1 = 10 - 2 = 8 \text{ m}$$
คำตอบที่ถูกต้องคือข้อ 3
11. วิเคราะห์โจทย์ ในการติดตั้งเสาตรวจรับสนามแม่เหล็ก ซึ่งอยู่หนึ่งต้องใช้ขดลวดวงกลมหันให้ระนาบตั้งฉากกับทิศการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก ($\vec{\Delta B}$) จะรับคลื่นได้ชัดเจนที่สุด
คำตอบที่ถูกต้องคือข้อ 3