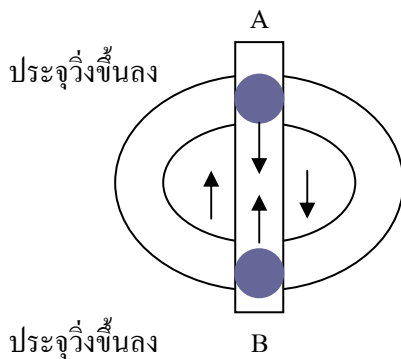


## คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

### 16.1 ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์และการทดลองของเฮิรตซ์

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าตลอดเวลาเหนี่ยวนำ ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กพอเกิดสนามแม่เหล็กจะเหนี่ยวนำ ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าเกิดต่อเนื่องกันตลอดเวลาและสนามแม่เหล็กกับสนามไฟฟ้าตั้งฉากกันตลอดเวลาหาทิศของความเร็วโดยใช้กฎมือขวา และเกิดคลื่นแม่เหล็กในทุกที่ไม่ว่าจะเป็นที่ว่างตัวนำหรือฉนวน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิดจะมีความเร็วเท่ากัน คือเท่ากับ  $3 \times 10^8$  m/s แต่ความถี่ไม่เท่ากัน

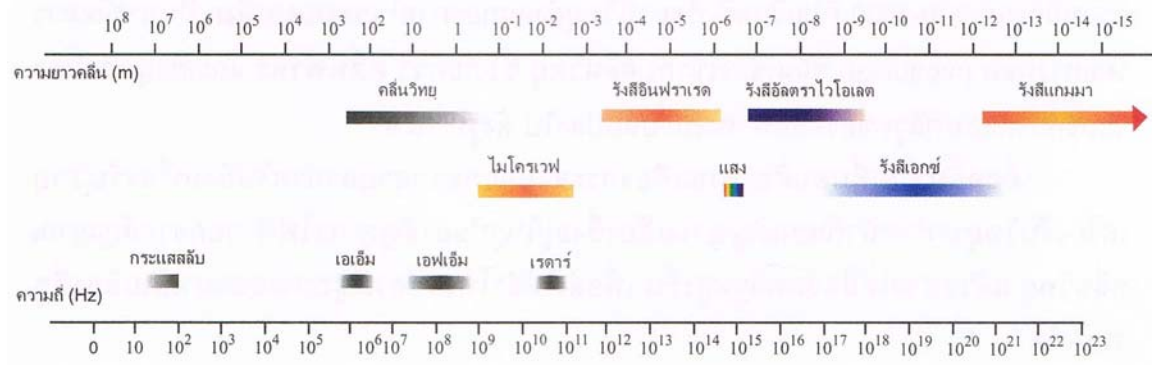
### 16.2 การแผ่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายอากาศ



เมื่อประจุเคลื่อนที่ขึ้นลงด้วยความเร่งหรือความหน่วง จะแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาทุกทิศทาง ยกเว้นเหนือเสาอากาศที่จุด A และ B

### 16.3 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คือ แถบแสดงความถี่ หรือความยาวคลื่นต่าง ๆ ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเรียงตามลำดับความถี่ เรียงจากความถี่น้อยที่สุดถึงความถี่มากที่สุด



รูป 16.1 ชนิดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจึงเป็นคลื่นที่มีความถี่ตั้งแต่หลายสิบกิโลเฮิรตซ์ จนกระทั่งถึงรังสีเอ็กซ์หรือรังสีแกมมาที่มีความถี่สูงมากๆ เมื่อความถี่เปลี่ยนไปคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นๆ ก็ย่อมเปลี่ยนแปลงไปด้วยแต่ก็ยังมีคุณสมบัติร่วมกันอยู่คือมีอัตราเร็วเท่ากับ  $3 \times 10^8$  เมตร/วินาที

#### 16.3.1 คลื่นวิทยุ

1. ช่วงความถี่อยู่ในช่วง  $10^6 - 10^9$  เฮิรตซ์
2. คลื่นวิทยุความถี่ตั้งแต่ 530 - 1600 กิโลเฮิรตซ์ สถานีวิทยุจะส่งออกอากาศในระบบ A.M.
3. ช่วงความถี่ที่ต่ำกว่าช่วง 530 - 1600 กิโลเฮิรตซ์ เรียกว่าคลื่นยาว ความถี่ที่สูงกว่านี้เรียกว่าคลื่นสั้น

4. ช่วงความถี่จาก 88 - 108 เมกะเฮิร์ตซ์ เป็นการส่งคลื่นแบบ F.M.

5. สัญญาณคลื่นวิทยุที่ส่งออกจากสถานีส่งไปถึงเครื่องรับมี 2 ชนิด คือ

5.1 คลื่นพื้นดิน หมายถึง คลื่นวิทยุที่ส่งจากสถานีส่งไปถึงเครื่องรับวิทยุโดยตรงมีทั้งระบบ A.M. และ F.M.

5.2 คลื่นฟ้า หมายถึง คลื่นวิทยุที่ส่งขึ้นไปสะท้อนในบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ แล้วกลับมายังเครื่องรับวิทยุ ( มีในระบบ A.M. ส่วนระบบ F.M. ไม่มีเพราะคลื่น F.M. ทะลุผ่านบรรยากาศชั้นนี้ได้ )

6. คลื่นวิทยุสามารถผลิตขึ้นได้ โดยอาศัยวงจรวิทยุของหลอดสูญญากาศหรือวงจรทรานซิสเตอร์

7. ไม่สามารถทะลุผ่านโลหะ หรือสิ่งกีดขวางขนาดใหญ่ แต่สามารถอ้อมผ่านสิ่งกีดขวางที่มีขนาดเล็กใกล้เคียงกับความยาวคลื่นได้

8. สามารถสะท้อนในบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ได้

### 16.3.2 คลื่นโทรทัศน์

1. มีความถี่ประมาณ  $10^8$  เฮิร์ตซ์

2. การส่งโทรทัศน์ต้องใช้คลื่นส่งถ่ายโทรทัศน์ ซึ่งสามารถเปลี่ยนภาพให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าได้ในอัตรา  $\frac{1}{25}$  วินาที ใช้คลื่นวิทยุที่มีความถี่สูง เช่น สถานีโทรทัศน์ช่อง 9 อ.ส.ม.ท. ใช้ความถี่ในช่วง 202 ถึง 209 เมกะเฮิร์ตซ์

3. ภาพส่งออกไปในระบบเอเอ็ม (A.M.) ส่วนเสียงส่งออกไปในระบบเอฟเอ็ม (F.M.)

4. หลอดส่งภาพทำหน้าที่สร้างสัญญาณไฟฟ้าของภาพ มีส่วนประกอบสำคัญคือ แผ่นรับภาพ แผ่นรับสัญญาณ ปืนอิเล็กตรอน วงแหวนโลหะ

5. เครื่องรับโทรทัศน์ รับคลื่นโทรทัศน์จากเครื่องส่งแล้วจะแยกสัญญาณไฟฟ้าของภาพส่งไปยังหลอดภาพ เพื่อเปลี่ยนเป็นภาพได้ในอัตราภาพละ  $\frac{1}{50}$  วินาที

6. เครื่องรับโทรทัศน์ระบบ 625 เส้น เป็นระบบสากล

7. เครื่องรับวิทยุโทรทัศน์ ระบบจะมีหลอดภาพซึ่งภายในมีเครื่องกำเนิดอิเล็กตรอนจะถูกยิงออกไปบนจอภาพ ตามสัญญาณไฟฟ้าที่ได้รับ สำหรับโทรทัศน์สีจะมีแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน 3 ชุด ใช้ควบคุมความเข้มสัญญาณ สีแดง สีน้ำเงิน และสีเขียว

### 16.3.3 คลื่นไมโครเวฟ

1. ช่วงความถี่อยู่ในช่วง  $10^9 - 3 \times 10^{11}$  เฮิร์ตซ์

2. ใช้ในการสื่อสาร เช่น ดาวเทียม โทรศัพท์มือถือ

3. ใช้ทำเรดาร์

**เรดาร์(RADAR ย่อมาจาก Radio Detection And Ranging)**

1. เรดาร์เป็นการส่งคลื่นไมโครเวฟออกไปเป็นช่วง ๆ แล้วรับสัญญาณที่สะท้อนกลับมาเข้าสู่เครื่องรับปรากฏให้เห็นบนจอภาพ ซึ่งจะบอกชนิดและระยะห่างของวัตถุที่สะท้อนได้

2. สายอากาศของเรดาร์ มีลักษณะเป็นจานโค้งรูปพาราโบลา หมุนได้รอบแกน ทำหน้าที่ส่งและรับคลื่นไมโครเวฟ เหตุที่นิยมใช้คลื่นไมโครเวฟในระบบเรดาร์เพราะคลื่นไมโครเวฟมีความถี่สูงสามารถทะลุบรรยากาศและสะท้อนที่ผิววัตถุที่เปียกได้ดี

3. จอรับคลื่นภาพ ลักษณะเป็นวงกลมมีเส้นขอบระยะทางเป็นวงรอบศูนย์กลาง และมีทิศทางกำกับภาพที่ปรากฏบนจอโดยจะบอกตำแหน่งระยะห่าง และทิศทางของวัตถุจากงานสายอากาศด้วย

#### 4. ประโยชน์ของเรดาร์

4.1 ใช้ในการคมนาคม ควบคุมการจราจรทางอากาศ สนามบิน การเดินเรือ นำทางเรือเมื่อหมอกลงจัด

4.2 ใช้ในกรมอุตุนิยมวิทยา เช่น ใช้ตรวจหาตำแหน่งและทิศทางของลมพายุ พายุทอร์นาโด

4.3 ใช้ในทางการทหาร ใช้ตรวจหาเครื่องบินข้าศึกเพื่อออกสกัด หรือเตือนภัยทางอากาศ และตรวจการเคลื่อนไหวของศัตรู

4.4 ด้านประมง เช่น ใช้ตรวจหาฝูงปลา

โดยทั่วไปเรดาร์จะพบการนำคลื่นไมโครเวฟไปใช้ในการสื่อสาร ปัจจุบันการปรุงอาหารนิยมใช้เตาไมโครเวฟกันทั้งนี้เพราะสะดวกและรวดเร็ว หลักการทำงานของเตาไมโครเวฟคือ แหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟยิงคลื่นไมโครเวฟไปยังพัตลมเพื่อให้พัตลมกระจายคลื่นไมโครเวฟไปทั่วเตา เมื่อคลื่นไมโครเวฟกระทบกับอาหารมันจะส่งสนามไฟฟ้าเข้าไปในอะตอมของน้ำที่อยู่ในอาหารนั้น ทำให้อะตอมของน้ำซึ่งมีประจุชนิดตรงกันข้าม (dipole) เกิดการหมุนอย่างรวดเร็วทั่วไปประมาณ  $2.4 \times 10^9$  รอบต่อวินาที ทำให้เกิดพลังงานความร้อนขึ้น อาหารที่ถูกปรุงโดยไมโครเวฟจะสุกทั่วหมดและรวดเร็ว เพราะคลื่นไมโครเวฟกระจายไปทั่ว

#### 16.3.4 รังสีอินฟราเรด

1. มีความถี่ในช่วง  $10^{11} - 10^{14}$  เฮิรตซ์
2. วัตถุร้อนจะแผ่รังสีอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่า  $10^{-4}$  เมตรออกมา
3. ประสาทสัมผัสทางผิวหนังของมนุษย์สามารถรับรังสีอินฟราเรดได้
4. ฟิล์มถ่ายภาพบางชนิดสามารถถ่ายภาพได้โดยอาศัยรังสีอินฟราเรด
5. สิ่งมีชีวิตจะแผ่รังสีอินฟราเรดออกมาตลอดเวลา
6. สามารถทะลุผ่านเมฆหมอกที่หนาเกินกว่าแสงธรรมดาคะผ่านได้ จึงอาศัยสมบัตินี้ถ่ายภาพพื้นโลกจากดาวเทียม เพื่อศึกษาการแปรสภาพของป่าไม้หรือการเคลื่อนย้ายของฝูงสัตว์
7. รังสีอินฟราเรดเป็นตัวนำคำสั่งจากอุปกรณ์ควบคุมไปยังเครื่องรับที่เรียกว่า รีโมทคอนโทรล หรือการควบคุมระยะไกล สำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องรับโทรทัศน์ เช่น การปิด การเปิด การเปลี่ยนสถานี
8. ใช้ในทางการทหารนำไปใช้เกี่ยวกับการควบคุมการใช้อาวุธนำวิถีเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมาย
9. แหล่งกำเนิดของรังสีอินฟราเรด ได้จากแหล่งกำเนิดความร้อนทุกชนิด เช่น ดวงอาทิตย์ หลอดไฟ
10. ใช้ในวงการแพทย์ เช่น การฆ่าเชื้อโรค รักษาอาการปวด การตรวจวินิจฉัยโรค
11. ใช้ในวงการอุตสาหกรรม เช่น การผลิตรถยนต์ การอบสีรถ การฆ่าเชื้อโรคก่อนบรรจุใส่ภาชนะ

#### 16.3.5 แสง

1. มีความถี่ประมาณ  $10^{14}$  เฮิรตซ์
2. ประสาทตาของมนุษย์ไวต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงนี้มาก
3. วัตถุที่มีอุณหภูมิสูงมาก ๆ จะเปล่งแสงได้ เช่น ไส้หลอดไฟฟ้า ดวงอาทิตย์
4. เครื่องกำเนิดเลเซอร์ เป็นแหล่งกำเนิดแสงอาพันธ์ที่ให้แสงได้โดยไม่อาศัยความร้อน เช่น วงการแพทย์ ใช้เลเซอร์ในการผ่าตัดเนื้องอก

### 16.3.6 รังสีอัลตราไวโอเล็ต

1. มีความถี่อยู่ในช่วง  $10^{15} - 10^{18}$  เฮิร์ตซ์
2. รังสีนี้เป็นตัวการที่ทำให้เกิดประจุอิสระ และไอออนในบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์
3. ทำให้สารเรืองแสง เกิดการเรืองแสง
4. สามารถทะลุผ่านวัตถุบาง ๆ บางชนิดได้ เช่น เสื้อผ้า แผ่นพลาสติก
5. ทำลายเซลล์เล็ก ๆ บางชนิดได้ เช่น เชื้อโรค
6. ประโยชน์ของรังสีอัลตราไวโอเล็ต
  - 6.1 ใช้ทำการพิสูจน์เอกสาร ตรวจสอบลายเซ็น
  - 6.2 ช่วยร่างกายสังเคราะห์วิตามินดี
  - 6.3 ใช้ตรวจคุณภาพอาหารว่าเสียหรือไม่
  - 6.4 ใช้ในการแสดงบนเวที
  - 6.5 ใช้ตรวจสอบสารเคมี

โทษจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต อันตรายต่อผิวหนัง และตาคน เมื่อรับมาจำนวนมาก ๆ อาจเป็นมะเร็งที่ผิวหนังได้

รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มาจากดวงอาทิตย์ ส่วนใหญ่จะถูกสกัดกั้นไว้จากบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ ซึ่งมีแก๊สโอโซนเป็นองค์ประกอบ แต่ปัจจุบันโอโซนในบรรยากาศมีจำนวนลดลงมากจึงทำให้รังสีอัลตราไวโอเล็ตแผ่ลงมายังผิวโลกมากขึ้น

### 16.3.7 รังสีเอกซ์

1. มีความถี่อยู่ในช่วง  $10^{16} - 10^{21}$  เฮิร์ตซ์
2. แหล่งกำเนิดของรังสีเอกซ์ คือ ดวงอาทิตย์ หลอดรังสีเอกซ์ เครื่องรับโทรทัศน์
3. คุณสมบัติของรังสีเอกซ์
  - 3.1 ไม่เบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า
  - 3.2 เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นมาก
  - 3.3 มีอำนาจทะลุทะลวงสูง
  - 3.4 ทำให้แก๊สหรืออากาศรอบ ๆ แตกตัวเป็นไอออนได้
  - 3.5 ทำให้สารเรืองแสงเกิดการเรืองแสง
  - 3.6 ทำปฏิกิริยากับแผ่นฟิล์มถ่ายรูปเหมือนกับแสง
  - 3.7 รังสีเอกซ์มีอันตรายและทำลายเซลล์ของสิ่งมีชีวิตได้
4. ประโยชน์ของรังสีเอกซ์
  - 4.1 ใช้ในวงการแพทย์ ตรวจวินิจฉัยโรค ตลอดจนการรักษาโรคมะเร็ง
  - 4.2 ใช้ในวงการอุตสาหกรรม และการก่อสร้าง เพื่อตรวจสอบรูรั่วหรือรอยร้าวต่าง ๆ
  - 4.3 ใช้ตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม หรืออาวุธในกระเป๋าหรือหีบห่อต่าง ๆ
  - 4.4 ใช้ตรวจสอบวัตถุโบราณว่ามีอายุยาวนานเท่าไร

## 5. โทษของรังสีเอกซ์

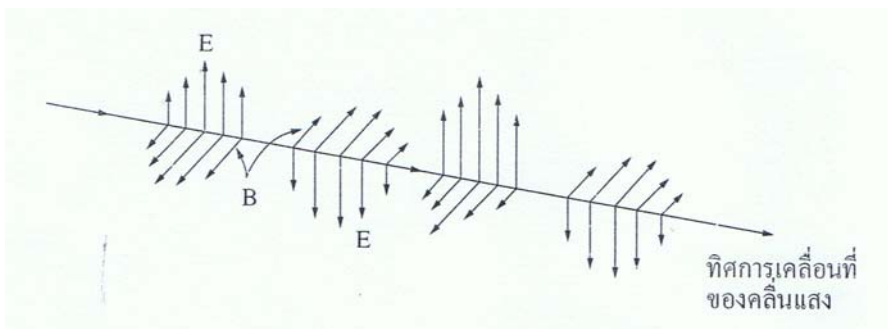
- 5.1 เมื่อร่างกายรับเข้าไปมาก เซลล์จะตายหรือเสื่อมคุณภาพ
- 5.2 อาจทำให้เกิดโรคมะเร็งได้
- 5.3 อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในยีน มีผลต่อกรรมพันธุ์

### 16.3.8 รังสีแกมมา

1. มีความถี่สูงกว่ารังสีเอกซ์
2. แหล่งกำเนิดของรังสีแกมมา คือ การสลายตัวของนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสี รังสีคอสมิกที่มาจากนอกโลก จะมีรังสีแกมมาอยู่ด้วย การแผ่รังสีของอนุภาค ประจุไฟฟ้าที่ถูกร่งในเครื่องเร่งอนุภาคก็ทำให้เกิดรังสีแกมมาได้
3. คุณสมบัติของรังสีแกมมา
  - 3.1 ไม่เบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า
  - 3.2 ทำให้สารเรืองแสงเกิดการเรืองแสง
  - 3.3 ทำปฏิกิริยากับแผ่นฟิล์มถ่ายรูป และฟิล์มที่ไม่ไวต่อแสง
4. ประโยชน์ของรังสีแกมมา
  - 4.1 ใช้ในวงการแพทย์ ใช้รักษาโรคมะเร็ง
  - 4.2 ใช้ในวงการเกษตร ศึกษาโรคพืชต่างๆ การดูซึมแร่ธาตุของรากพืช การสังเคราะห์ด้วยแสง การเปลี่ยนแปลงพันธุ์พืช
  - 4.3 ออบผลไม้ต่างๆ ตลอดจนผลิตผลอื่น ๆ ให้เก็บรักษาไว้ได้นาน ๆ
5. โทษของรังสีแกมมา ทำลายเซลล์ร่างกาย เนื้อเยื่อต่างๆ อาจทำให้เกิดมะเร็งได้

### 16.4 โพลาริเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

เนื่องจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นตามขวาง ซึ่งมีทิศทางการสั่นของสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นดังรูป

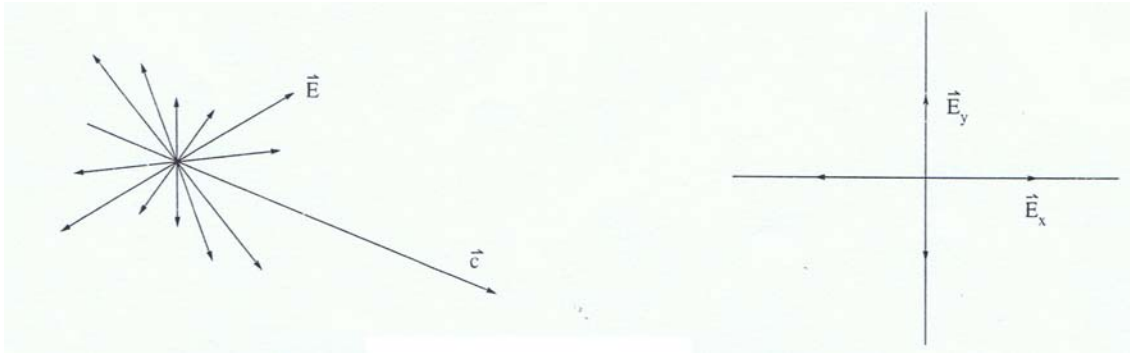


รูปแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นแสง

จากรูปสนามไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงทิศกลับไปมาในแนวตั้งเสมอ เราเรียกคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้ว่า คลื่นโพลาไรส์ (polarized wave) หรืออาจกล่าวได้ว่า คลื่นโพลาไรส์ คือ คลื่นตามขวางที่มีระนาบการสั่นราบเดียวนั่นเอง

### 16.4.1 โพลาริเซชันของแสง

แหล่งกำเนิดโดยทั่วไป เช่น ดวงอาทิตย์ หลอดไฟ ให้กำเนิดแสงจากการสั่นสะเทือนของอะตอมและโมเลกุลจำนวนมากที่มีระนาบของการสั่นเรียงอย่างกระจัดกระจายไม่เป็นระเบียบ ดังนั้นแสงที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิด จึงประกอบด้วยขบวนคลื่นจำนวนมากมายในทุกทิศทาง ดังนั้นแสงจากแหล่งกำเนิดแสงโดยทั่วไป จึงเป็นแสงไม่โพลาริส์ (unpolarized light)



รูปแสดง (ก) ทิศของสนามไฟฟ้าของคลื่นแสงจากแหล่งกำเนิด

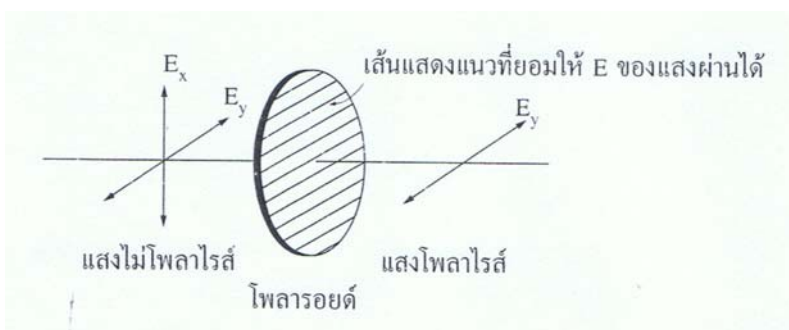
(ข) การรวมสนามไฟฟ้าจากรูป (ก) ให้อยู่ใน x และ y

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีทิศพุ่งออกจากกระดาษ)

จากรูป (ก) แสดงแสงไม่โพลาริส์จากแหล่งกำเนิดแสงใด ๆ ซึ่งสามารถรวมให้อยู่ในแกน x และ y ซึ่งตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (รูป ข) ดังนั้นเราสามารถแสดงแสงไม่โพลาริส์ด้วยลูกศรสองอันในแต่ละแกนดังรูป (ข) ได้

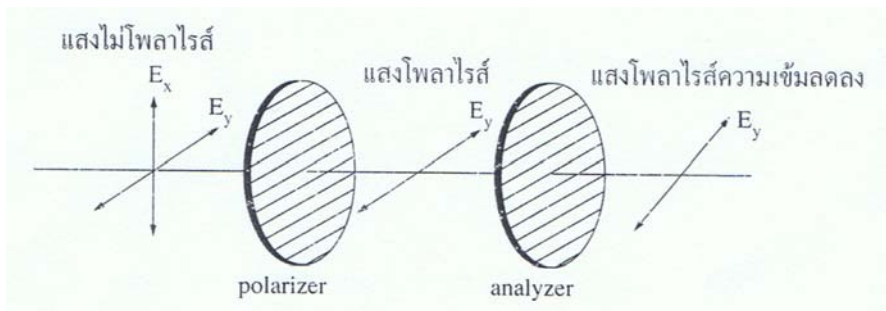
การทำให้แสงไม่โพลาริส์เป็นแสงโพลาริส์สามารถทำได้หลายวิธี เช่น

1. ใช้แผ่นโพลารอยด์ แผ่นโพลารอยด์เป็นแผ่นที่มีสมบัติยอมให้สนามไฟฟ้าของแสงบางระนาบผ่านไปเท่านั้น สนามไฟฟ้าที่ผ่านแผ่นโพลารอยด์ได้แสดงว่ามีทิศทางการสั่นอยู่แนวเดียวกัน ทิศของโพลาริส์ (ระนาบที่ยอมให้สนามไฟฟ้า ผ่านไปได้)



รูปแสดงแสงไม่โพลาริส์เมื่อผ่านแผ่นโพลารอยด์จะได้แสงโพลาริส์

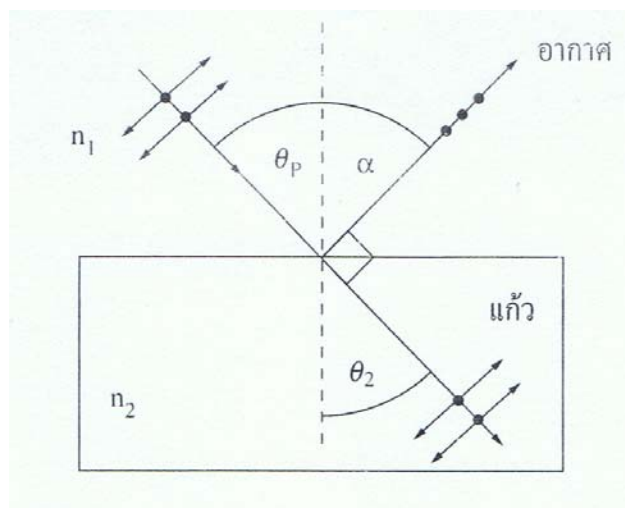
ในกรณีที่ผ่านโพลาไรซ์ 2 แผ่น เราสามารถที่จะจัดแผ่นโพลาไรซ์ทั้งสองให้แสงที่ผ่านออกมาโพลาไรซ์ได้มากหรือน้อย ดังรูป



รูปแสดงแสงไม่โพลาไรซ์ เมื่อผ่านแผ่นโพลาไรซ์สองแผ่น

แผ่นโพลาไรซ์แผ่นแรกเรียกว่า polarizer มีหน้าที่ ทำให้แสงไม่โพลาไรซ์ให้เป็นแสงโพลาไรซ์ แผ่นที่สองเรียกว่า analyzer มีหน้าที่ ทำให้แสงที่ผ่านออกมาโพลาไรซ์มากขึ้นตามต้องการ โดยแสงที่ผ่านออกมาจากแผ่นที่สองจะมีความสว่างมากที่สุด เมื่อทิศโพลาไรซ์ของทั้งสองแผ่นขนานกัน และจะมีค่าน้อยที่สุด เมื่อทิศโพลาไรซ์ของทั้งสองแผ่นตั้งฉากกัน (ถ้าแผ่นโพลาไรซ์คุณภาพดีมากจะไม่มีแสงผ่านออกมาเลย)

2. โดยการสะท้อน เมื่อให้แสงไม่โพลาไรซ์ตกกระทบผิววัตถุ เช่น แก้ว น้ำ หรือกระเบื้อง แสงสะท้อนจะเป็นแสงโพลาไรซ์เมื่อแสงทำมุมตกกระทบเป็นค่าเฉพาะค่าหนึ่ง เรียกมุมตกกระทบนี้ว่า มุมโพลาไรซ์ (polarizing angle) หรือมุมบรูสเตอร์ (Brewster's angle) โดยมุมโพลาไรซ์นี้จะทำให้รังสีสะท้อน (ซึ่งเป็นแสงโพลาไรซ์แล้ว) ทำมุม  $90^\circ$  กับรังสีหักเห ดังรูป



รูปแสดงโพลาไรซ์เซชันโดยการสะท้อน

จากรูป แสงไม่โพลาไรซ์ตกกระทบผิวแก้ว แสงตกกระทบประกอบด้วยสนามไฟฟ้าของสนามตั้งฉากกัน คือ สนามที่ขนานกับผิวแก้วแทนด้วย  $\bullet$  และสนามที่ทำมุมกับผิวแก้วแทนด้วย  $\updownarrow$  ให้  $n$  แทนดัชนีหักเหของแก้ว และดัชนีหักเหของอากาศมีค่าเท่ากับ 1 ของกฎของเซนลล์

---

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

$$(1) \sin \theta_p = n \sin(90^\circ - \theta_p)$$

จาก  $\theta_2 = 180^\circ - 90^\circ - \alpha = 90^\circ - \theta_p$ ;  $\alpha = \theta_p$  (มุมตกกระทบ = มุมสะท้อน)

$$\sin \theta_p = n \cos \theta_p$$

$$\tan \theta_p = n$$

$$\theta_p = \tan^{-1} n$$

เรียกว่า กฎของบรูสเตอร์ แสดงว่าถ้าให้แสงมุมตกกระทบ  $\tan^{-1} n$  แสงที่สะท้อนจะเป็นแสงโพลาไรซ์

3. โดยการหักเห เมื่อแสงผ่านเข้าไปผลึกแคลไซต์และควอตซ์ แสงจะมีอัตราเร็วไม่เท่ากันทุกทิศทางแสงที่หักเหผ่านมายังแยกออกเป็น 2 แนว เป็นแสงโพลาไรซ์

4. โดยการกระเจิงของแสง เมื่อแสงอาทิตย์ผ่านเข้าไปในบรรยากาศของโลก แสงจะกระทบโมเลกุลของอากาศหรืออนุภาคในบรรยากาศ อิเล็กตรอนในโมเลกุลจะดูดกลืนแสงที่ตกกระทบนั้น และจะปลดปล่อยแสงนั้นออกมาอีกครั้งในทุกทิศทาง เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การกระเจิงของแสง เมื่อเราใช้ผ่านโพลาไรซ์สังเกตแสงจากท้องฟ้า เมื่อหมุนแผ่นโพลาไรซ์ไปรอบ ๆ จะพบว่าความสว่างเปลี่ยนไป แสดงว่าแสงจากท้องฟ้าส่วนหนึ่งมีแสงโพลาไรซ์รวมอยู่ด้วย