

ทัศนศาสตร์ (Optics)

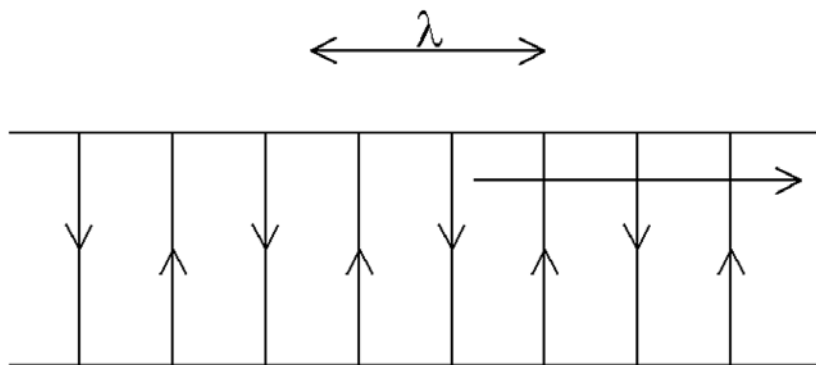
สุทัศน์ ยกส้าน*

ทัศนศาสตร์⁶

เป็นวิชาที่ว่าด้วยการเคลื่อนที่ของแสงในสถานการณ์ต่าง ๆ วิชาที่มีบทบาทมากในเทคโนโลยีการทำกล้องจุลทรรศน์ กล้องโทรทรรศน์ แว่นตา และกล้องถ่ายรูป ฯลฯ และเพราะเหตุผลนี้เอง เนื้อหาของวิชานี้จึงเกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ ศิลปศาสตร์ และเทคโนโลยี

หลักสูตรระดับ ม. 4 - 6 เรื่องทัศนศาสตร์ มีเนื้อหาเรื่องการสะท้อน การหักเห การเลี้ยวเบน และการแทรกสอด ซึ่งปรากฏการณ์ทั้งสองประการหลังนี้เราไม่เห็นบ่อยครั้งในชีวิตประจำวัน แต่มัน

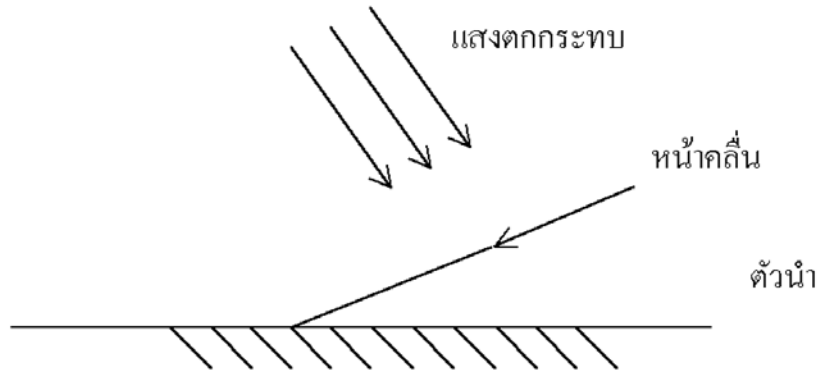
มีความสำคัญมากในเทคโนโลยี ตามปกติเราสามารถอธิบายปรากฏการณ์สะท้อนและหักเหได้โดยใช้จินตนาการว่าแสงมีคุณสมบัติเสมือนเป็นคลื่นหรืออนุภาค แต่ปรากฏการณ์แทรกสอดและเลี้ยวเบนนั้นเกิดจากการที่แสงมีคุณสมบัติเป็นคลื่นเพียงอย่างเดียว เราทุกคนคงรู้แล้วว่าคลื่นแสงประกอบด้วยสนามแม่เหล็ก และสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา รูปข้างล่างแสดงแสงที่มีความยาวคลื่นเดียว (Monochromatic light) ซึ่งกำลังเคลื่อนที่ไปทางขวา เราใช้ลูกศรที่ชี้ขึ้นและลงแสดงสันคลื่นและท้องคลื่นตามลำดับ



*ศาสตราจารย์, ดร. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มศว. ประสานมิตร / นักวิทยาศาสตร์ดีเด่น สาขาฟิสิกส์ทฤษฎี พ.ศ. 2530
ภาควิชาฟิสิกส์บัณฑิตยสถาน E-mail : suthat@swu.ac.th

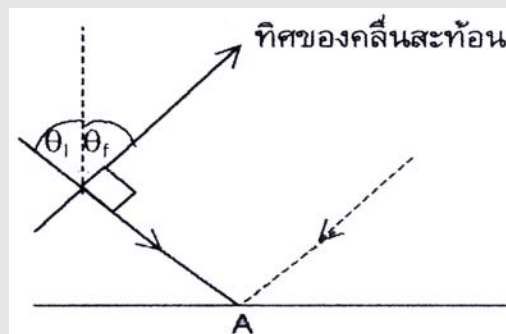
เราเรียกระยะระหว่างสันหรือท้องคลื่นว่า ความยาวคลื่น (λ) ตามรูปนี้เมื่อสนามไฟฟ้าชี้ขึ้นและลงสนามแม่เหล็กจะพุ่งเข้าและออกในแนวตั้งฉากกับหน้ากระดาษ ทำให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเคลื่อนที่ไปทางขวาด้วยความเร็วแสง

ในการอธิบายกฎการสะท้อนของแสงที่ว่า มุมตกกระทบ = มุมสะท้อน โดยใช้คุณสมบัติด้านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแสงนั้น เราพิจารณารูปข้างล่างนี้



เมื่อแสงตกกระทบตัวนำ ตามหลักของวิชาแม่เหล็กไฟฟ้า สนามไฟฟ้าจะต้องตั้งฉากกับผิวตัวนำเสมอ เพราะสนามไฟฟ้าของคลื่นตกกระทบที่มีทิศตั้งฉากซ้าย ดังนั้นสนามไฟฟ้าของคลื่นสะท้อนก็ต้องชี้ลงในทิศล่างขวา เพื่อให้สนามไฟฟ้าตั้งฉากกับผิวของตัวนำพอดี ด้วยเหตุนี้คลื่นสะท้อนจึงต้องพุ่งเอียงทำมุมสะท้อนเท่ากับมุมตกกระทบ

นั่นคือ $\theta = \theta$

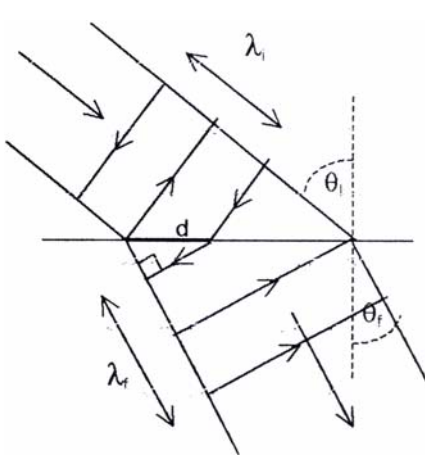


ดังนั้นโดยสรุป **มุมตกกระทบ = มุมสะท้อน**

เวลาแสงเคลื่อนที่ในตัวกลางที่ต่างกัน แสง จะเปลี่ยนทิศทางดังรูปข้างล่าง

- ถ้าให้ V_i = ความเร็วแสงในตัวกลางบน
 และ V_f = ความเร็วแสงในตัวกลางล่าง
 สมมติว่า $V_i > V_f$ ทั้งนี้เพราะแสงเคลื่อนที่ในน้ำและแก้วได้ช้ากว่าอากาศ

เพราะไม่ว่าแสงหรือคลื่นใด ๆ จะมีความถี่เท่าใด ความถี่ของมันจะไม่เปลี่ยนแปลงไม่ว่ามันจะเคลื่อนที่ในตัวกลางชนิดใด ดังนั้น



เมื่อ $f_i = f_r$

นั่นคือ $\frac{v_i}{\lambda_i} = \frac{v_r}{\lambda_r}$ หรือ $\frac{v_i}{v_r} = \frac{\lambda_i}{\lambda_r}$

จากรูป $\therefore \lambda_i = 2d \sin \theta_i$
 $\lambda_r = 2d \sin \theta_r$

$\therefore \frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_r} = \frac{v_i}{v_r}$ นี่คือกฎการหักเห

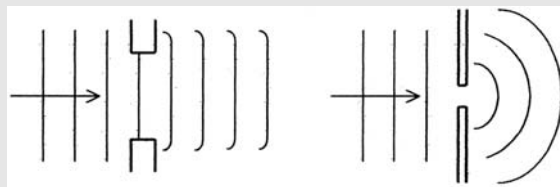
เพราะ $v_i = c/n_i$ และ $v_r = c/n_r$

เมื่อ n_i, n_r คือ ดรรชนีหักเหของแสงในตัวกลาง i และ r เราก็จะได้

$n_i \sin \theta_i = n_r \sin \theta_r$ นี่คือกฎการหักเหของ Snell

การเลี้ยวเบนและการแทรกสอด

คลื่นในทะเล คลื่นแผ่นดินไหว หรือคลื่นเสียงจากกลอง เป็นปรากฏการณ์คลื่นที่สลับซับซ้อนมากจนยากจะบรรยาย เพราะคลื่นมีการเคลื่อนที่ปะทะสิ่งกีดขวาง และเหตุการณ์มีต้นกำเนิดคลื่นมากมาย ถ้าเราพิจารณารูปแบบของคลื่นในสระเมื่อปะทะแผ่นกั้นที่มีรูเจาะ เราจะเห็นได้ชัดว่า คลื่นน้ำหลังจากเคลื่อนที่ผ่านรูเจาะไปแล้ว จะมีรูปร่างอย่างไรนั้นขึ้นกับขนาดของรูเจาะ



เช่น ถ้ารูมีขนาดใหญ่มากเมื่อเปรียบเทียบกับความยาวคลื่นน้ำ คลื่นจะตรงตรงไปหรือถ้าเป็นกรณีแสงเราจะเห็นบริเวณหลังแผ่นกั้นมีส่วนที่ไม่มีคลื่น

แสงผ่านเป็นเงามืด แต่ถ้ารูเจาะมีขนาดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับความยาวคลื่นน้ำ คลื่นจะกระจายเป็นรูปครึ่งวงกลมสำหรับกรณีแสงและบริเวณหลังแผ่นกั้น เราจะเห็นทุกบริเวณมีคลื่นแสงผ่าน นั่นคือ เราจะไม่เห็นเงามืดเลย นี่คือปรากฏการณ์เลี้ยวเบนของคลื่นน้ำและคลื่นแสง แต่ถ้ารูมีขนาดพอ ๆ กับความยาวคลื่นลักษณะและรูปแบบของคลื่นหลังแผ่นกั้นจะซับซ้อน ซึ่งเราจะไม่กล่าวถึงในที่นี้

สำหรับกรณีแสงที่จะเลี้ยวเบน เวลาเราปล่อยแสงผ่านรูเจาะขนาดเล็ก เราจะเห็นว่าถ้าแสงมีความยาวคลื่น = λ และรูเจาะมีความกว้าง = d หากเราวางฉาก ณ ที่ ๆ ห่างจากรูเจาะ = L ในกรณีที่ d มีขนาดใหญ่ เราจะเห็นภาพรูปนจ้อมีขนาดใหญ่ $\sim d$ ด้วย แต่ถ้าวัดทำให้ d มีขนาดเล็กลง ๆ เราจะเห็นการเปลี่ยนแปลงของภาพที่หน้าตาดูตาตื่นใจ เพราะภาพจะมีริ้วมืดริ้วสว่างปรากฏ และเราจะพบว่าภาพจะขยายใหญ่ขึ้น เวลาขนาด

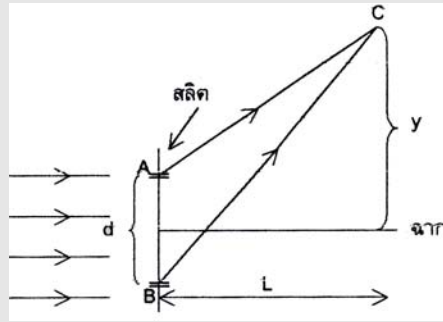
ของรูลดลง เหตุการณ์นี้เกิดจากการแทรกสอดชนิดเสริมและทำลายของแสงจากบริเวณต่าง ๆ ของรูในกรณีรูเดี่ยว จุดสว่างตรงกลางจะเท่ากับ $2L\lambda/d$ ดังนั้นถ้ารูกว้าง 1 มิลลิเมตร และระยะของฉากจากรู = 5 เมตร หากเราใช้แสงสีเหลืองที่มีความยาวคลื่น $\lambda = 6 \times 10^{-7}$ เมตร เราก็จะได้ภาพของรูมีขนาด $= \frac{2 \times 5 \times 6 \times 10^{-7}}{1 \times 10^{-3}} = 6 \times 10^{-3}$ เมตร

ซึ่งใหญ่กว่ารูจริง ≈ 6 เท่า และถ้าเราทำให้ห้องทดลองมืดสนิท เราก็จะเห็นริ้วมืดริ้วสว่างปรากฏในทุกทิศทางบนฉาก

ในการทดลองของ Young ที่ใช้สลิต 2 รู หากรูอยู่ห่างกัน d แล้วเราให้แสงสีเดียวตกกระทบรูทั้งสอง สลิตแต่ละรูจะกระจายคลื่นแสงออกเป็นบริเวณกว้าง แล้วคลื่นแสงจากทั้งสองสลิตจะรวมกัน (แทรกสอด) ถ้าการรวมกันนั้นเป็นการแทรกสอดแบบเสริม ที่นั่นก็จะสว่าง แต่ถ้าบริเวณที่คลื่นรวมกัน ทำให้เกิดการแทรกสอดแบบทำลาย บริเวณนั้นก็จะมืด เราจึงเห็นริ้วมืดและริ้วสว่างปรากฏบนฉาก

การพิจารณาว่า ณ ตำแหน่งใด การแทรกสอดจะเป็นแบบเสริมหรือแบบทำลายนั้นขึ้นกับเงื่อนไขระยะทางที่บริเวณนั้นอยู่ห่างจากสลิตทั้งสอง เช่น ถ้าระยะห่างจากสลิตทั้งสองต่างกันเท่ากับจำนวนเต็มของความยาวคลื่น ที่นั่นก็จะสว่าง แต่ถ้าระยะทางทั้งสองแตกต่างกันเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นที่ตรงนั้นก็จะมืด

ให้เราพิจารณาจุด C บนฉากซึ่งอยู่เหนือจุดศูนย์กลางของฉาก $= y$



$$\therefore \text{ระยะ } AC = \sqrt{L^2 + (y-d/2)^2} = L\left[1 + \frac{1}{2}\left(\frac{y-d/2}{L}\right)^2\right]$$

$$BC = \sqrt{L^2 + (y+d/2)^2} = L\left[1 + \frac{1}{2}\left(\frac{y+d/2}{L}\right)^2\right]$$

เพราะ $L \gg d$ ดังนั้นระยะที่ต่างกัน

$$BC - AC = \frac{yd}{L} + \frac{d}{L} \approx \frac{yd}{L}$$

เราตัดเทอม d^2/L ที่ทิ้ง เพราะ $d \ll y$ และ $d \ll L$

$$\text{ดังนั้น ถ้า } BC - AC = n\lambda$$

เมื่อ n เป็นเลขจำนวนเต็ม $= -2, -1, 0, 1, 2$ จุด C ก็จะเป็นจุดสว่าง

ในทำนองเดียวกันถ้า $BC - AC = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda$ เราก็จะได้จุด C เป็นจุดมืด

การมีคุณสมบัติเช่นนี้ ทำให้กล้องจุลทรรศน์มีขีดจำกัดด้านประสิทธิภาพ เพราะไม่ว่าเราจะใช้เทคโนโลยีอย่างไรหรืออะไร ถ้าสิ่งที่เราดูมีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นแสง เราก็จะมองไม่เห็นสิ่งนั้น และด้วยเหตุผลเดียวกันนี้ เราก็จะเห็นว่าถ้าเราใช้แสงที่มีความยาวคลื่นยิ่งสั้น เราก็จะเห็นรายละเอียดต่าง ๆ ดีขึ้น นั่นคือกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้แสงอุลตราไวโอเล็ตจะมีประสิทธิภาพสูงยิ่งกว่ากล้องจุลทรรศน์ที่ใช้แสงธรรมดา ☹