

ทัศนศาสตร์

ผศ.สุชาติ สุภาพ

พิมพ์และจัดจำหน่ายโดย

สุชาติ สุภาพ

250/1 หมู่ 1 ต.บ้านแพ้ว อ.เมืองบ้านแพ้ว จังหวัดสมุทรสาคร 74120

E - mail suchart11111@hotmail.com

พิมพ์ที่ จก. SPS ม.เพชรบูรณ์ เขตคันนาวา กรุงเทพฯ ๑ 10230 โทร 086-341-1410

ข้อมูลทางบรรณานุกรม

สุชาติ สุภาพ

ทัศนศาสตร์

530

ISBN 978-616-485-191-7

คำนำ

หนังสือ ฟิสิกส์ 2 เรื่องทัศนศาสตร์นี้ เรียบเรียงขึ้น เพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอน วิชาฟิสิกส์ของนักศึกษาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ราคาของหนังสืออาจจะแพงไปบ้าง เนื่องจากเป็นการจัดทำแบบปรินท์ หวังว่าผู้อ่านคงจะเข้าใจและให้การสนับสนุน

หนังสือนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ไมนา เกษณะมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา รองศาสตราจารย์ระ รอดสัมพันธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธ บุณยธรรมมา (ครูวิทยาศาสตร์ดีเด่นระดับอุดมศึกษา) ที่ได้ให้คำแนะนำที่มีประโยชน์

นอกจากนั้นยังได้รับความช่วยเหลือจากผู้บริหารมหาวิทยาลัยฯ ทุกระดับชั้น ที่สนับสนุนส่งเสริมการทำผลงานวิชาการ และส่งเสริมการให้บริการทางวิชาการแก่ชุมชน และสังคม จึงขอขอบพระคุณทุกท่านมา ณ โอกาสนี้

สำหรับท่านที่สนใจหนังสือของกระผมแต่หาซื้อไม่ได้ สามารถสั่งซื้อได้ทางไลน์ หรือเฟสบุ๊กสุชาติ สุภาพ

สุชาติ สุภาพ

โทรศัพท์ 084-091-9310



ID LINE

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 13 ทัศนศาสตร์เชิงเรขาคณิต	4
13.1 ธรรมชาติของแสง	4
13.2 การประมาณรังสีด้านแสงเชิงเรขาคณิต	5
13.3 การสะท้อนและการหักเห	6
13.4 อัตราหักเหของแสง	10
13.5 การสะท้อนกลับหมด	14
13.6 หลักของฮอยเกนส์	15
13.7 ภาพที่เกิดจาก กระจกเงาราบ	16
13.8 ภาพที่เกิดจากกระจกโค้ง	18
13.9 ภาพที่เกิดจากการหักเหของแสง	25
13.10 เลนส์บาง	30
13.11 ความคลาดของเลนส์	36
13.12 ทัศนอุปกรณ์	38
13.13 น้ำขึ้นน้ำลงและการมองเห็น	45
บทที่ 14 ทัศนศาสตร์เชิงกายภาพ	47
14.1 การแทรกสอดของแสงที่ผ่านสลิตคู่	48
14.2 การเลี้ยวเบนของแสง	78
14.3 เกรตติงเลี้ยวเบน	92
14.4 การโพลาไรซ์ของคลื่นแสง	105
14.5 การทำแสงไม่โพลาไรซ์ให้เป็นแสงโพลาไรซ์	107
14.6 กฎของมาลุส หรือกฎโคไซน์กำลังสอง	111
14.7 บทประยุกต์เกี่ยวกับแสงโพลาไรซ์	117

บทที่ 13

ทัศนศาสตร์เชิงเรขาคณิต

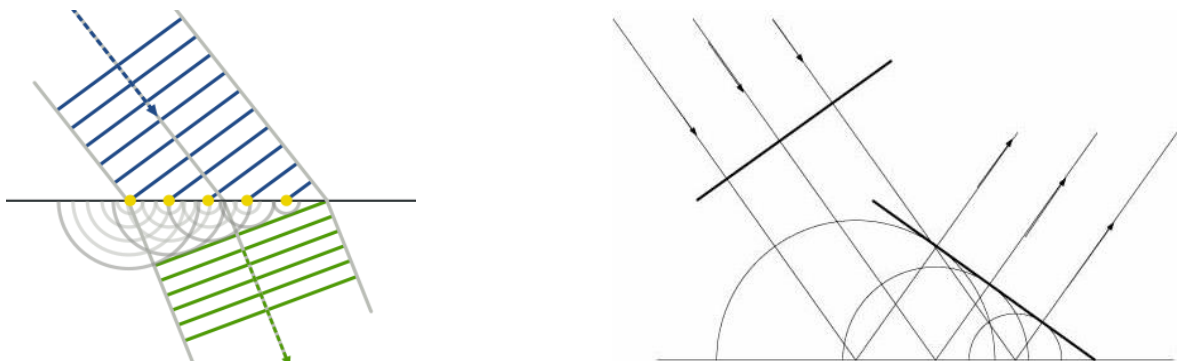
ทัศนศาสตร์หมายถึงวิชาฟิสิกส์แขนงหนึ่งที่ศึกษาเกี่ยวกับเรื่องของแสง ทัศนศาสตร์แบ่งเป็นทัศนศาสตร์เชิงเรขาคณิต และทัศนศาสตร์เชิงกายภาพ โดยทัศนศาสตร์เชิงเรขาคณิต จะศึกษาปรากฏการณ์ของแสงในระดับมหภาค เช่น การสะท้อนแสง และการหักเหของแสง ใช้เส้นตรงที่ตั้งฉากกับหน้าคลื่นของแสง เพื่อแทนเส้นทางการเคลื่อนที่ของแสง เส้นตรงนี้เรียกว่ารังสีของแสง ทิศทางของเส้นรังสีจะเปลี่ยนไป เมื่อแสงมีการเปลี่ยนตัวกลาง

ส่วนทัศนศาสตร์เชิงกายภาพเป็นการศึกษาปรากฏการณ์ของแสงในระดับจุลภาคหรือระดับที่ใกล้เคียงความยาวคลื่นแสง เช่น การแทรกสอด การเลี้ยวเบน โฟลาไรเซชัน และการกระเจิงของแสง เป็นต้น

13.1 ธรรมชาติของแสง

ในศตวรรษที่ 17 คนทั่วไปเชื่อว่า แสงเป็นลำอนุภาคเล็กๆ ที่แหล่งกำเนิดแสงปล่อยออกมา โดยอนุภาคเหล่านั้นเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดแสงในแนวเส้นตรง และจะผ่านวัตถุโปร่งใสได้ แต่ถ้าอนุภาคเหล่านั้นตกกระทบวัตถุทึบแสงจะสะท้อนกลับออกมา นักวิทยาศาสตร์ที่แสดงข้อโต้แย้งว่าแสงเป็นอนุภาคเหล่านี้คือ เซอร์ไอแซกนิวตัน เขาได้อธิบายว่าแสงเป็นสสารของอนุภาค วัตถุที่เรามองเห็นจะปล่อยอนุภาคออกมา อนุภาคดังกล่าวเมื่อเข้ามาในดวงตาจะกระตุ้นความรู้สึกในการมองเห็น ปรากฏการณ์ต่างๆ ของแสงด้วย ทฤษฎีอนุภาค นักวิทยาศาสตร์ในยุคนั้น ส่วนใหญ่ยอมรับทฤษฎีที่ว่าแสงเป็นอนุภาค

ต่อมาเริ่มมีนักวิทยาศาสตร์บางส่วนคิดมีความคิดว่าแสงไม่น่าจะเป็นอนุภาคแต่ควรจะเป็นคลื่น พร้อมกับการอธิบายการสะท้อน และการหักเหของแสงโดยใช้ทฤษฎีคลื่นได้ นักวิทยาศาสตร์ผู้นั้นก็คือ นักวิทยาศาสตร์ชาวอิตาลีชื่อว่า ฮอเวนส์ แต่ในขณะนั้นก็มีข้อโต้แย้งอยู่หลายอย่าง เช่น คลื่นที่รู้จักกันสมัยนั้น เช่น คลื่นในเส้นเชือก คลื่นเสียง คลื่นน้ำ ต้องอาศัยตัวกลางแต่ แสงเดินทางไปในที่ต่างๆ ได้โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยตัวกลาง นอกจากนั้นแล้วคลื่นสามารถเลี้ยวเบนได้ แต่แสงเลี้ยวเบนไม่ได้ (ความรู้สึกละโม้กัน)



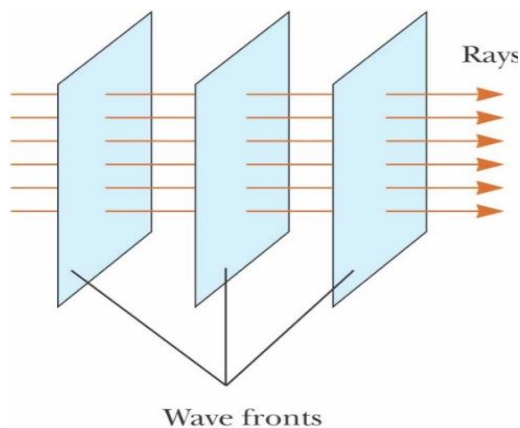
รูป 13.1 ฮอเวนส์ สามารถอธิบายการหักเหและการสะท้อนของแสงด้วยทฤษฎีคลื่น

ต่อมาในปี ค.ศ. 1801 โทมัสยัง พบว่าแสงสามารถแทรกสอดซึ่งกันและกันได้เหมือนคลื่นน้ำและคลื่นเสียง บริเวณไหนมีการแทรกสอดแบบเสริมกัน บริเวณนั้นก็จะสว่าง บริเวณไหนมีการแทรกสอดแบบหักล้างกัน บริเวณนั้นก็จะมืด ซึ่งอนุภาคจะไม่มีสมบัติแบบนี้ หลุยส์บรอว์นเฟรสนเอลได้ทำการทดลองเรื่องการแทรกสอดและเลี้ยวเบนของแสง ในปี 1850 Jean Foucault พบว่าอัตราเร็วแสงในแก้วและของเหลวสูงกว่าในอากาศ ซึ่งตามแบบการจำลองอนุภาค อัตราเร็วของแสงในแก้วและของเหลวสูงกว่าในอากาศ ก็ทำให้แนวความคิดว่าแสงเป็นอนุภาคเริ่มคลอนแคลนลงไป ต่อมาแมกซ์เวลล์ก็พบว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง

ต่อมาในศตวรรษที่ 19 สถาบันการพลศึกษาอีก เมื่อพบปรากฏการณ์ของแสงบางอย่างที่ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีของคลื่น เช่น ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ปรากฏการณ์คอมตัน แนวความคิดเดิมที่เชื่อว่าแสงเป็นอนุภาคก็กลับมาอีกครั้งหนึ่ง ปัจจุบันยอมรับว่าแสงมีสมบัติคู่คือ เป็นได้ทั้งคลื่นและทั้งอนุภาค แนวความคิดดังกล่าวนี้เกิดขึ้นมาในศตวรรษที่ 20 เกิดขึ้นหลังจากที่มีการพัฒนาวิชาควอนตัม

13.2 การประมาณรังสีอานแสงเชิงเรขาคณิต

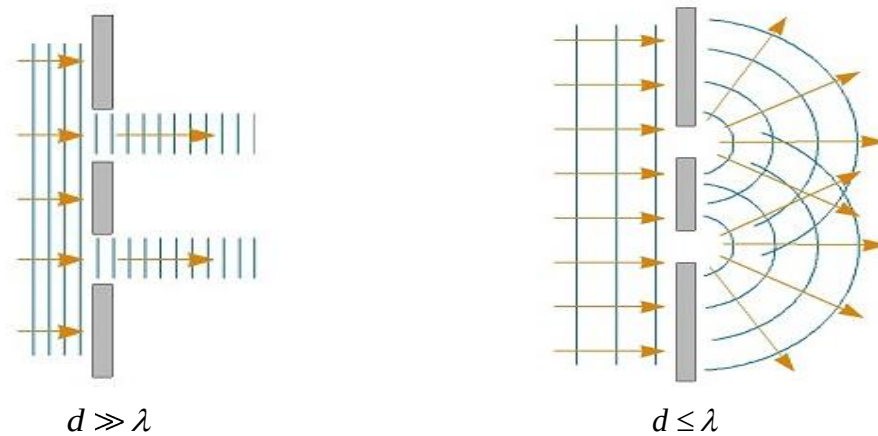
ในการศึกษาเกี่ยวกับแสงเชิงเรขาคณิต จะถือว่าแสงมีความยาวคลื่นน้อยมากเมื่อเทียบกับวัตถุหรือสิ่งของต่างๆที่แสงเกี่ยวข้องด้วย และแสงก็จะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในอวกาศที่มีเนื้อเดียวกัน การศึกษาปรากฏการณ์ของแสงที่มีพื้นฐานว่า แสงเดินทางเป็นเส้นตรงในอวกาศเนื้อเดียวกัน เรียกว่า "ทัศนศาสตร์เชิงเรขาคณิต" ดังนั้น ทัศนศาสตร์เชิงเรขาคณิต จึงใช้ได้กับขอบเขตจำกัด ดังที่กล่าวแล้ว แต่ก็ถือว่าใช้ได้ดี และสะดวกกว่าการอธิบายโดยคิดว่าแสงเป็นคลื่น



รูป 13.2 รังสีของแสงเดินทางกับหน้าคลื่น

แสงเชิงเรขาคณิต ศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของแสง โดยให้รังสีของแสงเป็นตัวแทนของลำแสงรังสีหนึ่งก่อนอื่นนักศึกษาคควรรู้จักสมบัติของแสง บางประการ ดังนี้

- 1) ถ้าช่อง 2 ช่องที่แสงผ่านใหญ่กว่าความยาวคลื่นของแสงมากๆ แสงจะไม่มีการเลี้ยวเบนและไม่แทรกสอด เช่น เมื่อฉายไฟฉายไปที่หน้าต่างหรือประตู แสงจะไม่มีการเลี้ยวเบนและแทรกสอด
- 2) ถ้าช่อง 2 ช่อง ที่แสงผ่านมีขนาดเท่ากับหรือเล็กกว่าความยาวคลื่นของแสง จะมีการเลี้ยวเบนและแทรกสอดของแสง ถ้าเอาฉากมารับก็จะเห็นแถบมืดและแถบสว่าง



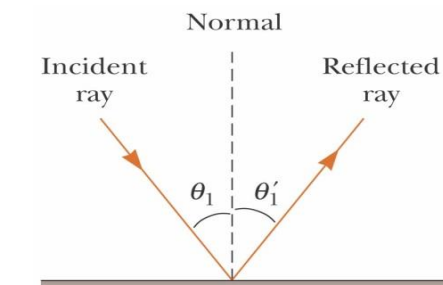
รูป 13.3 สมบัติของแสงที่ควรรู้

เพิ่มเติม ในยุคแรกๆ นักวิทยาศาสตร์ไม่เคยคิดว่าแสงเป็นคลื่น เนื่องจากไม่สามารถทดลองให้เห็นการเลี้ยวเบนและการแทรกสอดของแสงได้

13.3 การสะท้อนและการหักเห

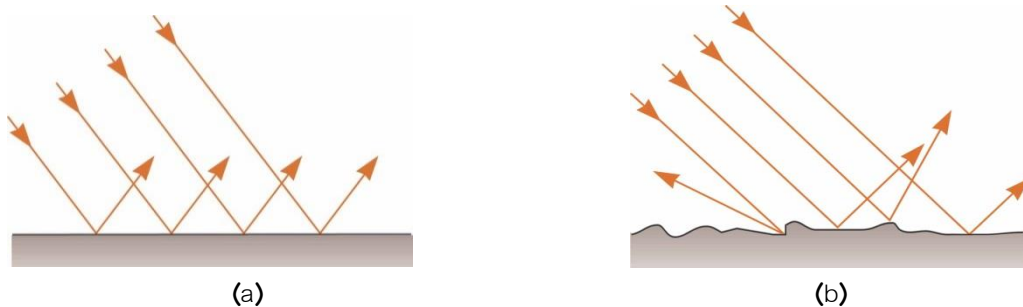
กฎการสะท้อน

มุมตกกระทบ = มุมสะท้อน



รูป 13.4 มุมตกกระทบ = มุมสะท้อน

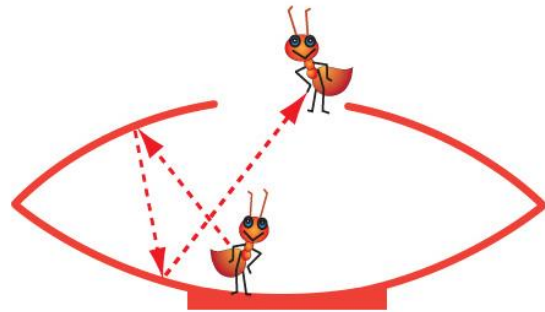
แสงที่สะท้อนที่วัตถุผิวเรียบจะขนานกัน แสงที่สะท้อนที่วัตถุผิวขรุขระจะไม่ขนานกัน การสะท้อนแบบนี้เรียกว่าการสะท้อนแบบกระจาย ดังรูป 13.5



รูป 13.5 (a) แสงที่สะท้อนที่วัตถุผิวเรียบ

(b) แสงที่สะท้อนที่วัตถุผิวขรุขระ

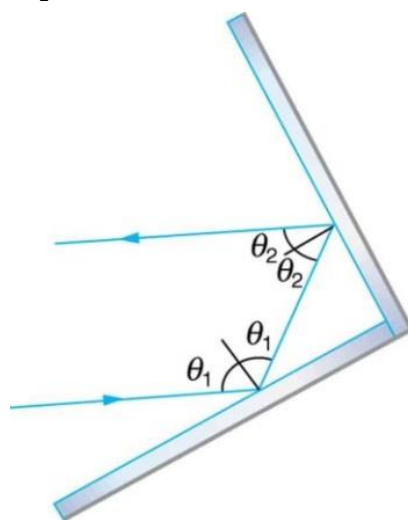
การสะท้อนของแสงทำให้เกิดภาพลวงตาได้หลากหลายอย่าง



รูป 13.6 ภาพลวงตาที่เกิดจากการสะท้อนของแสง

แบบทอสอบ

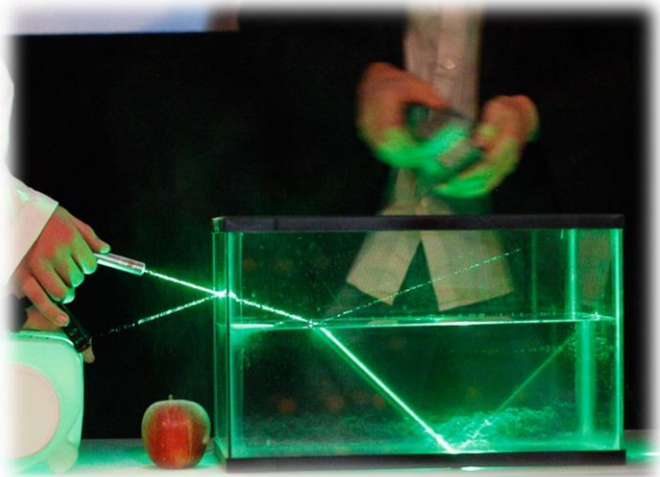
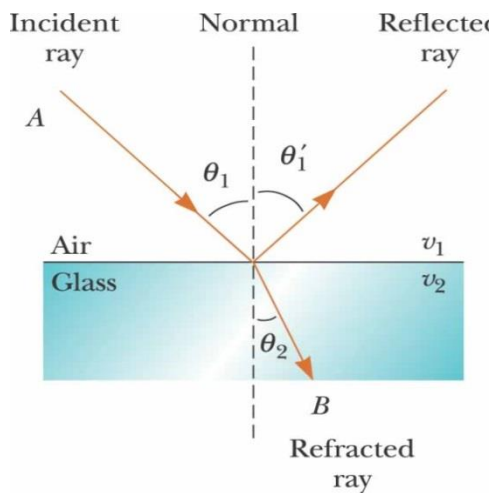
- 1) ถ้า มุม θ_1 เท่ากับ 60 องศาแล้วมุม θ_2 เท่ากับกี่องศา



.....

การหักเหของแสง

เมื่อแสงเคลื่อนที่จากตัวกลางหนึ่งเข้าไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง หรือตัวกลางเดียวกันแต่ความหนาแน่นต่างกัน จะมีทั้งการทะลุผ่านและการสะท้อนกลับพร้อมๆ กัน และถ้ามุมตกกระทบไม่เท่ากับศูนย์แสงจะเปลี่ยนทิศทางหรือที่เรียกว่าการหักเห ดังรูป 13.8



รูป 13.8 การทะลุผ่านและการสะท้อนกลับของแสง

การหักเหของแสงเกิดขึ้นเนื่องจาก เมื่อแสงเคลื่อนที่จากตัวกลางหนึ่งเข้าไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง หรือตัวกลางเดียวกันแต่ความหนาแน่นแตกต่างกัน ความเร็วจะเปลี่ยน ความสัมพันธ์ระหว่างมุมตกกระทบ มุมหักเห และความเร็วในตัวกลางทั้งสองเป็นดังนี้

$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{v_2}{v_1} \quad (13 - 1)$$

สมการ (13 - 1) คือกฎของสเนลล์

การหักเหของแสงทำให้เกิดภาพลวงตาได้ ดังรูป 13.9



รูป 13.9 ภาพลวงตาที่เกิดจากการหักเหของแสง

13.4 อัตราหักเหแสงของวัสดุ

อัตราหักเหแสงของวัสดุ คืออัตราส่วนระหว่างความเร็วของแสงในสุญญากาศ กับความเร็วของแสงในวัสดุตัวกลางใดๆ ความเร็วของแสงในสุญญากาศ (c) นั้นคงที่เสมอ และมีค่าประมาณ 3×10^8 เมตรต่อวินาที ถ้าแสงมีความเร็วในวัสดุตัวกลางหนึ่งเท่ากับ v อัตราหักเหแสงของวัสดุตัวกลางนั้น จะมีค่าเท่ากับ

$$n = \frac{c}{v} \quad (13 - 2)$$

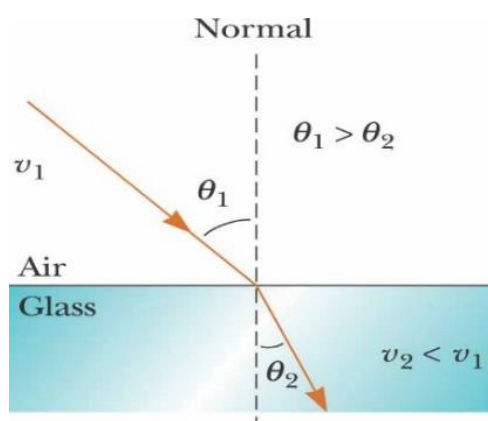
อัตราหักเหแสงของวัสดุ เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณการเปลี่ยนแปลงทิศทางของแสง เมื่อเดินทางผ่านตัวกลางที่มีค่าอัตราหักเหต่างกัน อัตราหักเหของแสงวัสดุตัวกลางต่าง ๆ จะขึ้นกับความหนาแน่นของวัสดุตัวกลางนั้น โด่วัสดุที่มีความหนาแน่นสูงก็จะมีอัตราหักเหสูงด้วย นอกจากนี้อัตราหักเหแสงของวัสดุต่าง ๆ ยังขึ้นกับอุณหภูมิของวัสดุตัวกลางด้วย และโดยทั่วไปแล้ว อัตราหักเหแสงของวัสดุจะมีค่าน้อยลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

จากสมการ (13 - 1) เขียนใหม่ได้เป็น $v_1 \sin \theta_2 = v_2 \sin \theta_1$ (13 - 3)

$$\frac{c}{n_1} \sin \theta_2 = \frac{c}{n_2} \sin \theta_1$$

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (13 - 4)$$

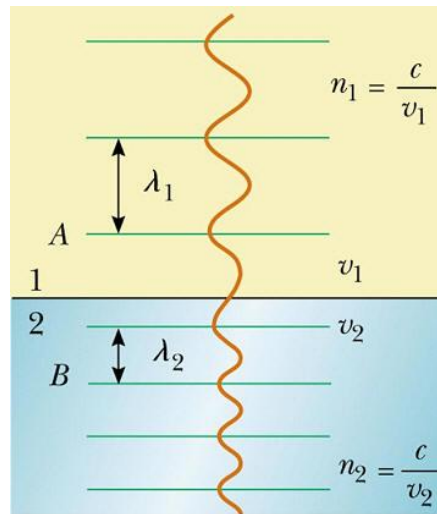
สมการ (13 - 4) ก็คือกฎของสเนลล์ เช่นเดียวกับสมการ (13 - 1)



รูป 13.10 การหักเหของแสงเมื่อเดินทางจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง

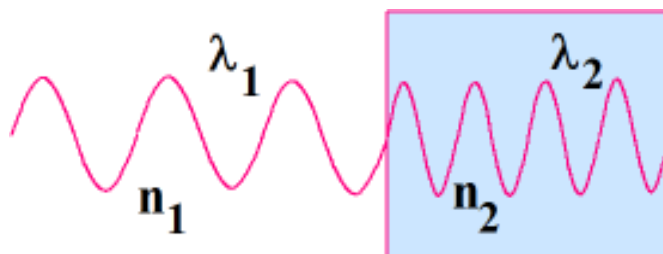
ทางเดินของแสงในรูป 13.10 สามารถย้อนกลับได้ คือถ้าเราฉายแสงจากตัวกลางที่ 2 ในทิศทำมุมตกกระทบ θ_2 ก็จะได้มุมหักเหเป็น θ_1

เราได้ทราบแล้วว่าเมื่อคลื่นเคลื่อนที่จากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง ความเร็วและความยาวคลื่นจะเปลี่ยนไป แต่สิ่งที่ไม่เปลี่ยนแปลงคือ ความถี่ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อคลื่นเคลื่อนที่มาถึงตัวกลางใหม่ หน้าคลื่นก็คือหน้าคลื่นเดิม ดังนั้นความถี่จึงเท่าเดิม



รูป 13.11 เมื่อคลื่นเคลื่อนที่จากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง ความยาวคลื่นจะเปลี่ยนแปลง

เมื่อแสงเดินทางจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่งความเร็วจะเปลี่ยน คือถ้าเดินทางจากตัวกลางที่โปร่งกว่าไปยังตัวกลางที่ทึบกว่าความเร็วจะลดลง หรือความยาวคลื่นจะสั้นลงด้วยรูป แต่สิ่งที่จะไม่เปลี่ยนแปลงก็คือความถี่ เนื่องจากความถี่ของคลื่นขึ้นอยู่กับความถี่ของแหล่งกำเนิดเพียงอย่างเดียว



เมื่อแสงเดินทางจากตัวกลางที่โปร่งกว่าไปยังตัวกลางที่ทึบกว่า ความยาวคลื่นจะสั้นลง

$$f_1 = f_2 \quad (1)$$

$$\frac{v_1}{\lambda_1} = \frac{v_2}{\lambda_2} \quad (2)$$

กลับเศษเป็นส่วน

$$\frac{\lambda_1}{v_1} = \frac{\lambda_2}{v_2}$$

คูณตลอด

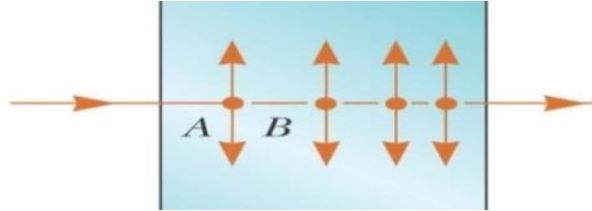
$$\frac{c\lambda_1}{v_1} = \frac{c\lambda_2}{v_2} \quad (3)$$

เนื่องจาก $n = \frac{c}{v}$

$$n_1\lambda_1 = n_2\lambda_2$$

ความเร็วของแสงในตัวกลางใด ๆ

เราได้ทราบแล้วว่าความเร็วของแสงในสุญญากาศมีค่ามากที่สุด และเมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางอื่นๆ อัตราเร็วจะลดลง เราสามารถอธิบายการลดลงของความเร็วแสงในตัวกลางอื่นๆ ได้ดังนี้

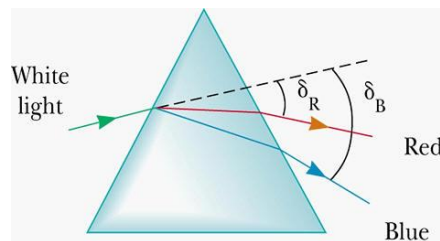


รูป 13.12 อันตรกิริยาระหว่างคลื่นแสงกับอนุภาคตัวกลาง

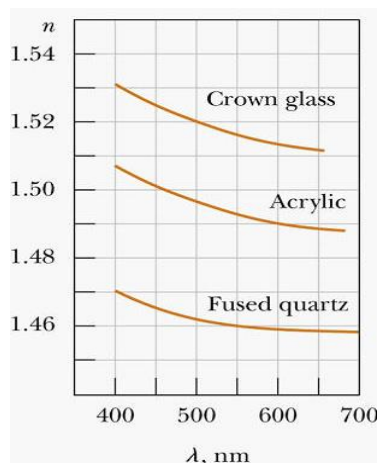
ให้ลองครหาทางด้านซ้ายมือ แทนรังสีของแสงที่เดินทางในสุญญากาศ เมื่อแสงเดินทางเข้ามาในตัวกลางใด ๆ ก็จะชนกับอะตอมของตัวกลางนั้น ๆ สมมติว่าแสงชนอะตอม A ก่อน อะตอม A ก็จะดูดกลืนพลังงานของแสงส่วนหนึ่ง พลังงานนี้ก็จะทำให้อิเล็กตรอนในอะตอมสั่น การสั่นของอิเล็กตรอนก็จะมีการปล่อยแสงออกมา การดูดกลืนและการปล่อยรังสีทำให้อัตราเร็วของแสงในตัวกลางมีค่าลดลง แล้วกระบวนการนี้กับอะตอมที่ B ในลำดับต่อไป เป็นอย่างนี้ไปเรื่อย ๆ

การกระจายและปริซึม

ทุกคนได้ทราบแล้วว่าแสงแต่ละสีมีดัชนีหักเหไม่เท่ากัน แสงสีม่วงมีดัชนีหักเหมากที่สุด แสงสีแดงมีดัชนีหักเหน้อยที่สุด



รูป 13.13 การหักเหของแสงขาวเมื่อผ่านปริซึม



รูป 13.14 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีหักเห กับความยาวคลื่นแสง