

บทที่ 14

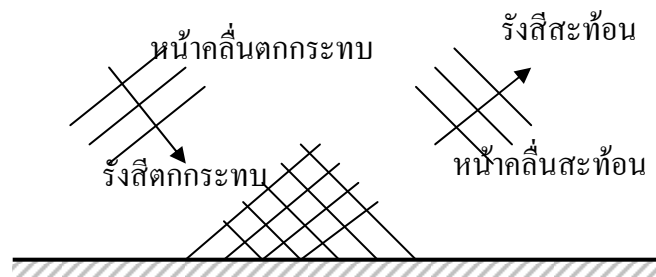
แสงและทัศนอุปกรณ์

การเคลื่อนที่ของแสงและอัตราเร็วของแสง

แสงจะเกี่ยวข้องกับชีวิตของเราตลอด รวมทั้งปรากฏการณ์ต่าง ๆ ของแสง จากแหล่งกำเนิดหลากหลายชนิด แต่เราทราบหรือไม่ว่า ธรรมชาติของแสงเป็นอย่างไร แสงเคลื่อนที่อย่างไร และเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเท่าใด

การศึกษาแสงที่ตามองเห็น มีสมบัติเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่นเดียวกับ ไมโครเวฟ อุลตราไวโอเลต ฯลฯ ในสุญญากาศแสงจะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงด้วยอัตราเร็วประมาณ 3.00×10^8 เมตรต่อวินาที เมื่อแสงเคลื่อนที่ได้เร็วมาก การเรียกระยะทางที่แสงเคลื่อนที่ได้ในสุญญากาศในเวลา 1 ปี จะเรียกว่า ระยะทาง 1 ปีแสง สำหรับอัตราเร็วของแสงในตัวกลางต่าง ๆ จะมีค่าไม่เท่ากัน และทุกอัตราเร็วจะมีค่าน้อยกว่าอัตราเร็วแสงในสุญญากาศ

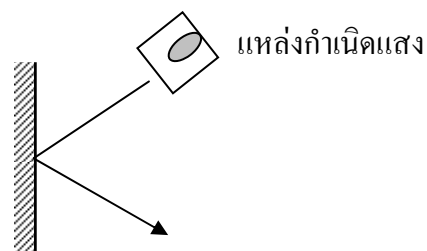
จากการศึกษาลึกลงไปเกี่ยวกับการสะท้อน การเลี้ยวเบน การอธิบายปรากฏการณ์เหล่านี้ พบว่าการเขียนเส้นตรงแสดงหน้าคลื่น และใช้รังสีแสดงทิศทางจะทำให้เข้าใจดี ดังรูป



การศึกษาสมบัติของแสงโดยอาศัยรังสีและวิชาเรขาคณิตในการวิเคราะห์ เรียกว่า ทัศนศาสตร์เชิงเรขาคณิต

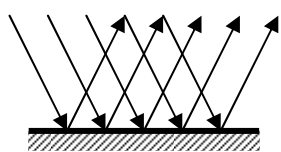
การสะท้อนของแสง

เมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นสม่ำเสมอ แสงจะเคลื่อนที่เป็นแนวตรง และถ้าแสงเคลื่อนที่ไปกระทบวัตถุต่างชนิดกันแล้วเป็นวัตถุทึบแสงที่มีผิวขรุขระ แสงจะเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ ณ ตำแหน่งบนผิวที่แสงกระทบและเคลื่อนที่ย้อนกลับในตัวกลางเดิม เรียกการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของแสงนี้ว่า การสะท้อน

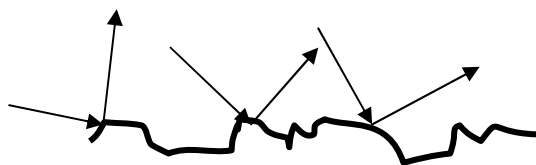


ตามปกติเมื่อแสงตกกระทบวัตถุใด วัตถุส่วนมากจะดูดกลืนแสงไว้ส่วนหนึ่ง และแสงส่วนที่เหลือจะสะท้อนที่ผิววัตถุ สำหรับวัตถุที่เป็นกระจกเงา แสงจะสะท้อนเกือบทั้งหมด

โดยทั่วไปลักษณะการสะท้อนของแสงขึ้นกับลักษณะผิวของวัตถุ ดังรูป

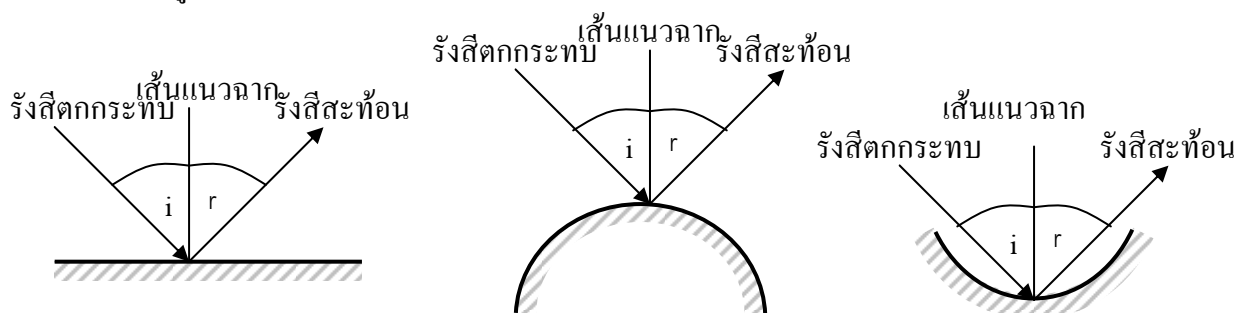


วัตถุที่มีผิวเรียบ



วัตถุที่มีผิวขรุขระ

การสะท้อนของแสงที่เกิดขึ้นบนวัตถุในแต่ละผิวจะให้ผล เช่นเดียวกันคือ รังสีตกกระทบ รังสีสะท้อนและเส้นแนวฉาก จะอยู่บนระนาบเดียวกัน นอกจากนี้ มุมตกกระทบ i และมุมสะท้อน r ในแต่ละกรณีก็มีค่าเท่ากัน ดังรูป



รูป การสะท้อนของแสงที่ผิวเรียบแบบต่าง ๆ

จึงสรุปเป็น กฎการสะท้อนของแสง ที่ผิววัตถุใด ๆ ได้ดังนี้

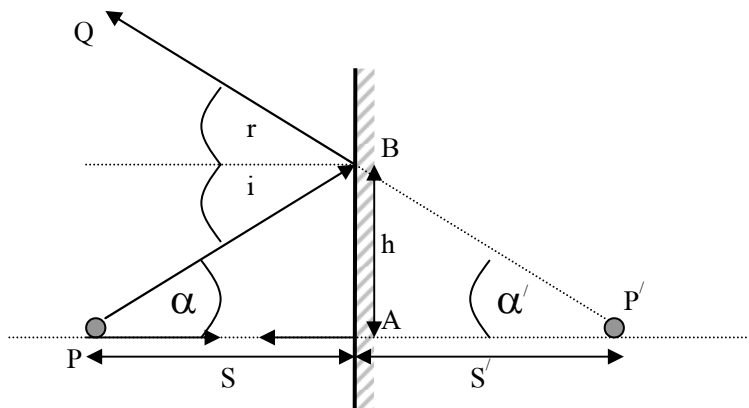
1. ณ ตำแหน่งที่แสงตกกระทบ รังสีตกกระทบ รังสีสะท้อน และเส้นแนวฉาก อยู่บนระนาบเดียวกัน

2. มุมตกกระทบ i เท่ากับ มุมสะท้อน r

ภาพในกระจกเงาราบ

ภาพของวัตถุในกระจกเงาราบ จะอยู่หลังกระจก ถ้าวัตถุนั้นมีลักษณะเป็นจุด ภาพก็เป็นจุด วัตถุที่มีขนาด ภาพก็มีขนาด โดยมีขนาดภาพเท่ากับขนาดวัตถุเสมอ และระยะภาพจะเท่ากับระยะวัตถุด้วยเมื่อวัดจากกระจกเงาราบ ภาพที่เกิดขึ้นในลักษณะนี้ จึงเรียกว่า ภาพเสมือน เราสามารถแสดง ตำแหน่งและขนาดของภาพที่เกิดหลังกระจกได้ โดยใช้กฎการสะท้อนของแสง ดังต่อไปนี้

รูปต่อไปนี้ แสดงการหาระยะภาพ
การหาระยะภาพ ของวัตถุ P ที่เป็นจุด
ถ้า PB เป็นรังสีจากวัตถุตกกระทบกระจก
เงาราบ และ BQ เป็นรังสีสะท้อนต่อ QB
ไปตัดส่วนต่อของ PA ที่จุด P' ดังรูป P'
เป็นภาพของ P



พิจารณา $\triangle ABP$ จะได้

$$\tan \angle APB = \tan i = \frac{AB}{S}$$

พิจารณา $\triangle ABP'$ จะได้

$$\tan \angle AP'B = \tan r = \frac{AB}{S'}$$

เพราะว่า $i = r$ จะได้ $\frac{AB}{S} = \frac{AB}{S'}$
 นั่นคือ $S = S'$

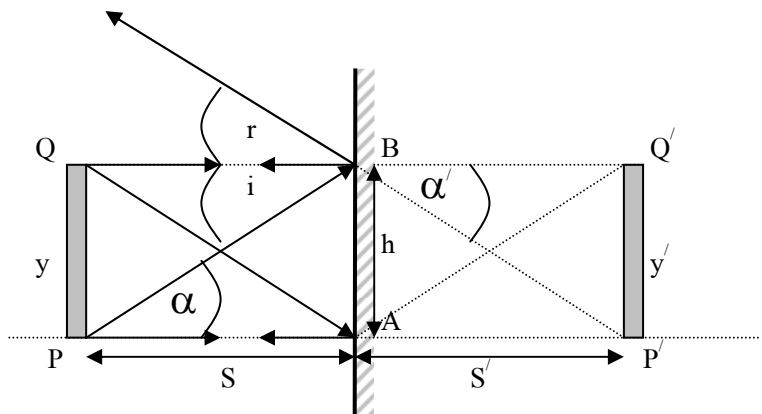
สรุปได้ว่า ระยะวัตถุเท่ากับระยะภาพเสมอ

รูปต่อไปนี้ แสดงการหาขนาดของภาพ

ถ้าวัตถุ PQ มีขนาด y จากรูปด้านข้าง
 ภาพของวัตถุ PQ คือ P'Q' มีขนาด y'
 เพราะ PA = AP' และ QB = BQ' จาก
 เรขาคณิตจะได้ว่า

$$PQ = P'Q'$$

หรือ $y = y'$



จะเห็นได้ว่า สำหรับกระจกเงาราบ ขนาดของภาพเท่ากับขนาดของวัตถุเสมอ

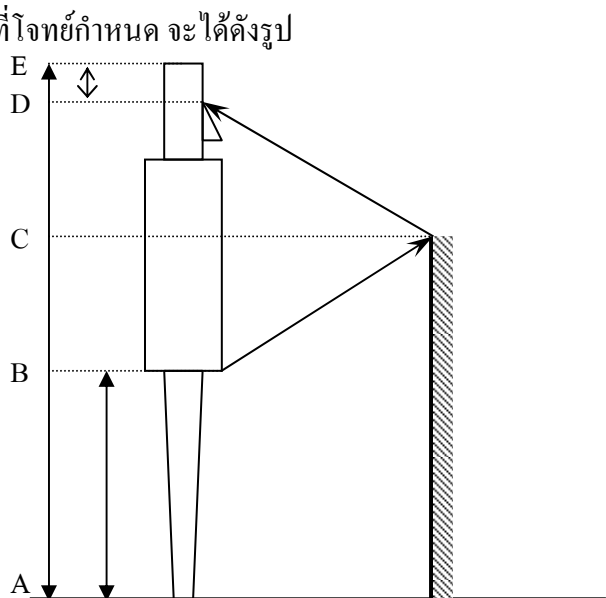
สรุปเกี่ยวกับวัตถุที่อยู่หน้าผิวสะท้อนราบได้ว่า

1. ระยะภาพเท่ากับระยะวัตถุ
2. ขนาดภาพเท่ากับขนาดวัตถุ

ตัวอย่าง ถ้าชายคนหนึ่งสูง 170 เซนติเมตร และตาของเขาอยู่ต่ำจากส่วนที่สูงที่สุดในร่างกายเป็นระยะ 10 เซนติเมตร มีกระจกเงาราบตั้งอยู่บนพื้นในแนวตั้ง ขอบบนของกระจกต้องอยู่สูงจากพื้นเท่าใด จึงจะทำให้เขา มองเห็นเอวซึ่งอยู่สูงจากพื้น 100 เซนติเมตร

วิธีทำ เขียนทางเดินของแสง และกำหนดจุดตามที่โจทย์กำหนด จะได้ดังรูป

- จากรูป AE คือ ความสูงของชายคนนี้
 เท่ากับ 170 ซม.
 DE คือ ระยะจากตาถึงส่วนที่สูงที่สุด
 เท่ากับ 10 ซม.
 AB คือ ความสูงจากพื้นถึงเอว
 เท่ากับ 100 ซม.
 AC คือ ระยะขอบบนของกระจกถึงพื้น



จากกฎการสะท้อนของแสงจะได้ $BC = CD = X$

จะได้ $AE = AB + BC + CD + DE$

$$170 = 100 + X + X + 10$$

$$2X = 170 - 110 = 60$$

$$X = \frac{60}{2} = 30 \text{ จะได้ } BC = 30$$

แต่ $AC = AB + BC = 100 + 30 = 130$ เซนติเมตร

\therefore ขอบบนของกระจกสูงจากพื้น เท่ากับ 130 เซนติเมตร **ตอบ**

ภาพที่เกิดจากการสะท้อนของแสงบนกระจกผิวโค้งทรงกลม

ภาพที่เกิดจากการสะท้อนของแสงบนกระจกผิวโค้งทรงกลม จะเกิดภาพที่อยู่ได้ทั้งด้านหน้ากระจก และหลังกระจก ในลักษณะทั้งหัวตั้งและหัวกลับ ระยะภาพอยู่ใกล้หรือไกลจากกระจกเมื่อเทียบกับระยะวัตถุ และขนาดของภาพเล็กกว่าหรือใหญ่กว่าวัตถุ ภาพที่ได้เป็นเช่นนี้เนื่องจากการสะท้อนของแสง และลักษณะความโค้งของกระจก ทำให้เห็นภาพลักษณะต่าง ๆ กันออกไป ดังนั้นการอธิบายภาพที่เกิดขึ้นจึงต้องเข้าใจส่วนต่าง ๆ ของกระจกเงาโค้ง และชนิดของกระจกเงาโค้ง

กระจกเงาโค้งทรงกลม จะมี 2 ชนิด คือ 1. กระจกเว้า 2. กระจกนูน

ส่วนต่าง ๆ ของกระจกที่ควรทราบ

C คือ ศูนย์กลางความโค้งของกระจก

R คือ รัศมีความโค้งของกระจก เป็นเส้นตรงที่ลากจุดยอดถึงศูนย์กลางความโค้งของกระจก

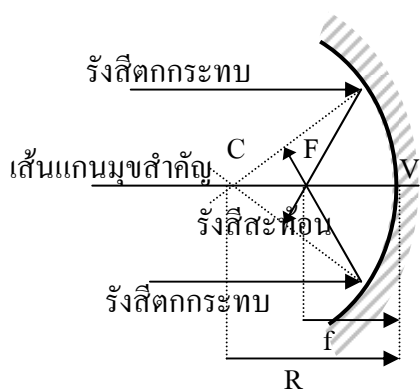
V คือ จุดยอดของกระจกโค้ง

เส้นแกนमुखสำคัญ เป็นเส้นตรงที่ลากผ่านจุดยอด V และจุดศูนย์กลางความโค้ง C

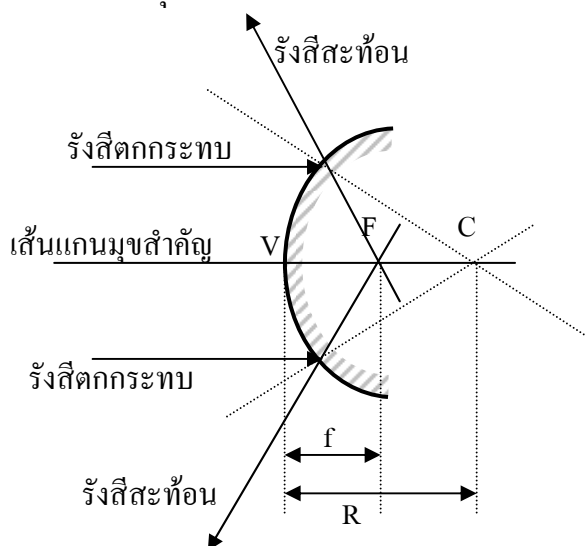
F คือ จุดโฟกัส เป็นจุดรวมของรังสีสะท้อน ที่สะท้อนมาจากรังสีตกกระทบทั้งหลายที่ขนานกับเส้นแกนमुखสำคัญ

f คือ ความยาวโฟกัส เป็นระยะจากจุดยอดของกระจกถึงจุดโฟกัส

พิจารณาจากรูป



โพลัสกระจกเว้า

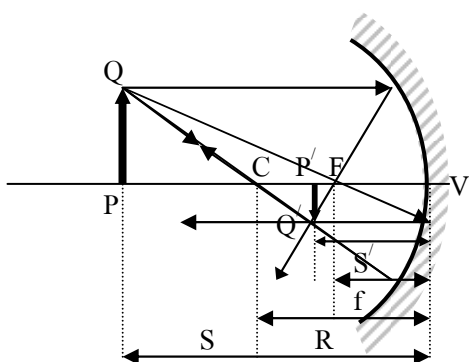


โพลัสกระจกนูน

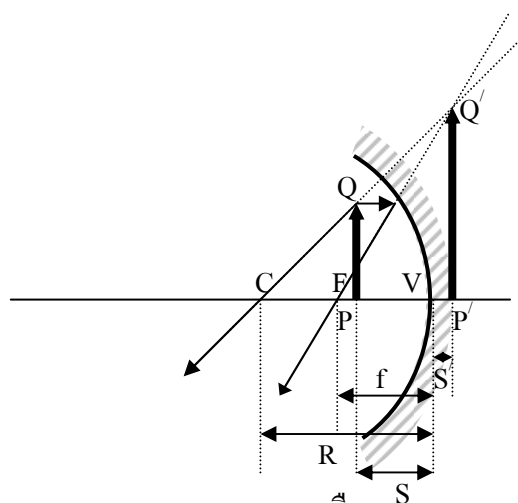
จะได้ ความสัมพันธ์ระหว่าง ความยาวโฟกัส และรัศมีความโค้งของกระจก คือ $f = \frac{R}{2}$

การหาตำแหน่งภาพของวัตถุมีขนาดที่อยู่หน้ากระจกเว้า สรุปลงเป็นหลักการที่ใช้ในการเขียนรูปแสดงการเกิดภาพ ดังนี้

1. เขียนรังสีตกกระทบจากปลายวัตถุถึงผิวกระจกในแนวซึ่งมีขนานกับเส้นแกนमुखสำคัญจะได้ รังสีสะท้อนจากผิวกระจกผ่านโฟกัส
2. เขียนรังสีตกกระทบจากปลายวัตถุผ่านโฟกัสถึงผิวกระจก จะได้รังสีสะท้อนจากผิวกระจกขนานกับแกนमुखสำคัญ
3. เขียนรังสีตกกระทบจากปลายวัตถุผ่านศูนย์กลางความ โค้งถึงผิวกระจก จะได้รังสีสะท้อนจากผิวกระจกย้อนกลับทางเดิม



ก. ภาพจริง



ข. ภาพเสมือน

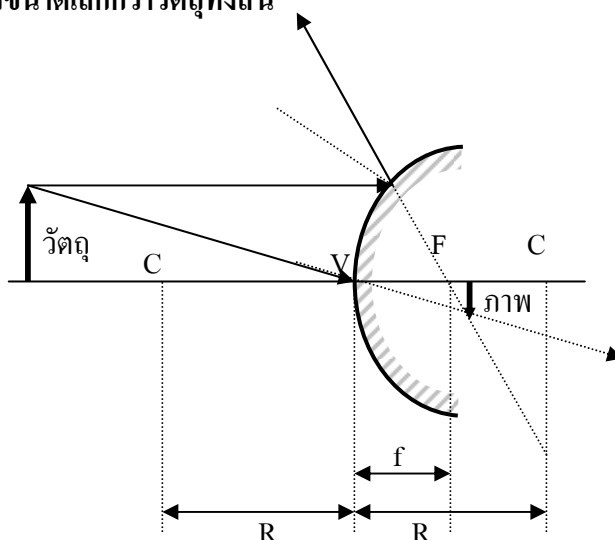
จากรูป ข้างบน แสดงการเขียนภาพของวัตถุ QP โดยเขียนรังสีตกกระทบจากจุดปลายวัตถุ Q ตามหลักการเขียนรูป แสดงการเกิดภาพดังกล่าวข้างต้น ได้รังสีสะท้อนทั้งสามรวมกันที่ Q' ส่วนรังสีอื่น ๆ จาก Q เมื่อสะท้อนจากกระจกก็จะผ่านจุด Q' ด้วย ดังนั้น Q' เป็นภาพของจุดปลาย Q อาจแสดงลักษณะเดียวกันได้ว่า ภาพของจุดวัตถุทั้งหลายที่อยู่ต่ำลงมาในช่วง QP ก็จะอยู่ในช่วง Q'P' ดังนั้น Q'P' ก็คือภาพของ QP

จากรูป ก. รังสีสะท้อนทั้งหลายตัดกันจริงหน้ากระจกเว้า ภาพที่เกิดเป็น **ภาพจริง** ที่สามารถใช้นาฬิกาจับภาพได้ พบว่า ถ้าวัตถุอยู่ห่างจากกระจกเว้าไกลกว่าความยาวโฟกัส f จะเกิดภาพจริงทุกครั้งไป แต่ถ้าวัตถุอยู่ระหว่างจุดโฟกัสกับขั้วกระจก การเขียนรังสีของแสงสะท้อน พบว่า รังสีสะท้อนเสมือนตัดกันหลังกระจกเว้า ภาพที่เกิดหลังกระจกจึงเป็น ภาพเสมือน ดังรูป ข.

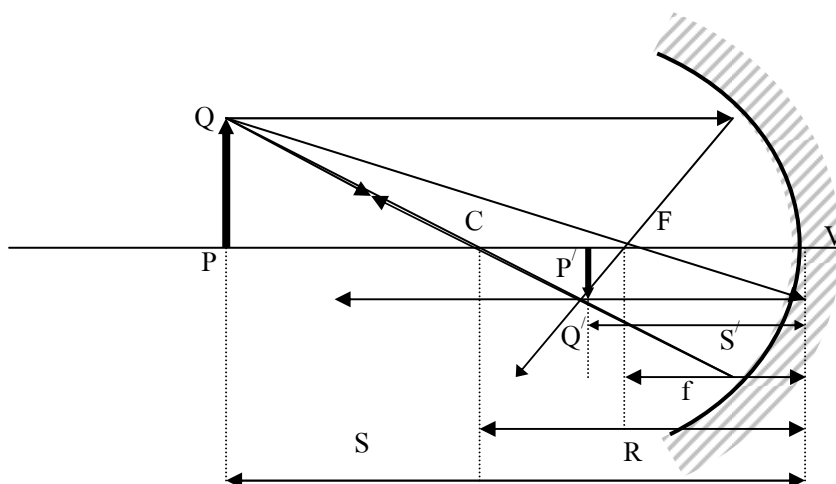
สำหรับขนาดของภาพมีทั้งใหญ่กว่า เท่า และเล็กกว่าวัตถุ เรียกการเปรียบเทียบขนาดของภาพกับขนาดของวัตถุว่า การขยาย ให้ M แทนการขยาย จะได้

$$M = \frac{\text{ขนาดภาพ}}{\text{ขนาดวัตถุ}}$$

สำหรับการเกิดภาพของกระจกนูน อาจแสดงได้ในทำนองเดียวกัน ดังรูป ข้างล่างนี้ พบว่าภาพจากกระจกนูนเป็น ภาพเสมือนที่มีขนาดเล็กกว่าวัตถุทั้งสิ้น

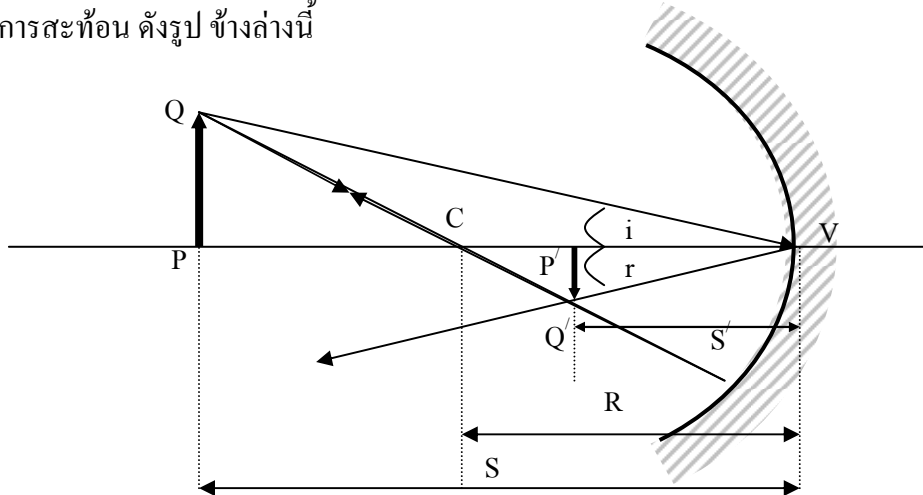


การหาดำแหน่งภาพ นอกจากจะใช้วิธีเขียนรังสีของแสงตกกระทบและรังสีของแสงสะท้อนแล้ว ยังสามารถใช้วิชาคณิตศาสตร์คำนวณหาดำแหน่งภาพได้ พิจารณารูปข้างล่างนี้เป็นตัวอย่างสำหรับกระจกเว้า



$$\begin{aligned}
 \text{ใน } \triangle CPQ, \quad \tan \angle PCQ &= \frac{PQ}{PC} = \frac{PQ}{S-R} \\
 \text{ใน } \triangle CP'Q', \quad \tan \angle P'CQ' &= \frac{P'Q'}{P'C} = \frac{P'Q'}{R-S'} \\
 \angle PCQ &= \angle P'CQ' \\
 \frac{PQ}{S-R} &= \frac{P'Q'}{R-S'} \\
 \frac{P'Q'}{PQ} &= \frac{R-S'}{S-R} \dots\dots\dots (1)
 \end{aligned}$$

ถ้าเขียนรังสีจาก Q อีกเส้นหนึ่งไปตกกระทบกระจกเว้าที่จุดกระจก V แสงสะท้อนผ่าน Q' เช่นกันซึ่ง
 เป็นไปตามกฎการสะท้อน ดังรูป ข้างล่างนี้



ใน ΔPQV , $\tan \angle PVQ = \frac{PQ}{S}$

ใน $\Delta P'Q'V$, $\tan \angle P'VQ' = \frac{P'Q'}{S'}$

เนื่องจาก $\angle PVQ = \angle P'VQ'$ (มุมตกกระทบ $i =$ มุมสะท้อน r)

ดังนั้น $\frac{PQ}{S} = \frac{P'Q'}{S'}$
 $\frac{P'Q'}{PQ} = \frac{S'}{S}$ (2)

(1) = (2) จะได้ $\frac{S'}{S} = \frac{R-S'}{S-R}$

$$\frac{1}{S} + \frac{1}{S'} = \frac{2}{R}$$

แต่ $f = \frac{R}{2}$

จะได้ $\frac{1}{S} + \frac{1}{S'} = \frac{1}{f}$

เมื่อใช้สมการ $M = \frac{\text{ขนาดภาพ}}{\text{ขนาดวัตถุ}}$ วิเคราะห์จะได้ $\frac{P'Q'}{PQ} = \frac{S'}{S}$ นั่นคือ การขยายเท่ากับ

อัตราส่วนระหว่างระยะภาพกับระยะวัตถุ

$$\text{นั่นคือ} \quad M = \frac{S'}{S}$$

หลักที่ใช้ในการเขียนรูปแสดงการเกิดภาพ หรือการคำนวณหาตำแหน่งภาพ หรือการหาการขยาย สำหรับกระจกนูนก็เป็นเช่นเดียวกับกระจกเว้า

การใช้สมการ $\frac{1}{S} + \frac{1}{S'} = \frac{1}{f}$ หรือสมการกระจกเงา หาตำแหน่งของภาพ หรือการขยายจะต้อง กำหนดเครื่องหมาย + หรือ - สำหรับ S, S' และ f ดังนี้

1. ให้ระยะวัตถุและระยะภาพมีเครื่องหมาย + เมื่อวัตถุระยะจากขั้วกระจกไปยังวัตถุและภาพที่อยู่หน้ากระจกเงา
2. สำหรับภาพที่เกิดหลังกระจกเงาระยะภาพมีเครื่องหมาย -
3. ความยาวโฟกัสของจุดโฟกัสที่อยู่ด้านหน้ากระจกเงามีเครื่องหมาย + แต่ถ้าจุดโฟกัสอยู่ด้านหลังกระจกเงา ความยาวโฟกัสมีเครื่องหมาย -

ตัวอย่าง 1 เทียนไขสูง 20 เซนติเมตร ตั้งอยู่บนแกนमुखสำคัญของกระจกเว้าที่มีความยาวโฟกัส 10 เซนติเมตร ทำให้เกิดภาพหน้ากระจกเว้า ณ ที่ห่างจากกระจกเว้า 15 cm จงหาว่าเทียนไขอยู่ห่างจากกระจกเว้ากี่ เซนติเมตร และเกิดภาพสูงกี่เซนติเมตร

วิธีทำ ภาพเทียนไขที่ได้เป็นภาพจริง เพราะอยู่หน้ากระจก และกระจกเว้า โฟกัสจะอยู่หน้ากระจก

$$\text{จะได้ } S' = +15 \text{ cm}, f = +10 \text{ cm}$$

$$\text{หาระยะวัตถุ } S = ?$$

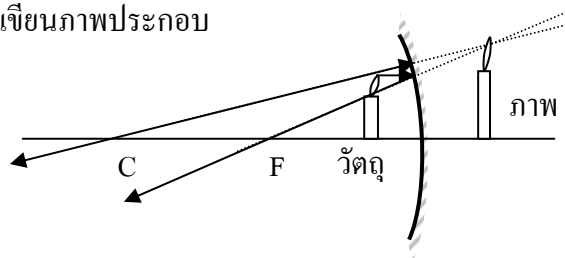
$$\begin{aligned} \text{จาก } \frac{1}{S} + \frac{1}{S'} &= \frac{1}{f} \\ \frac{1}{S} + \frac{1}{15} &= \frac{1}{10} \\ \frac{1}{S} &= \frac{1}{10} - \frac{1}{15} \\ S &= +30 \text{ cm} \end{aligned}$$

หาขนาดภาพ

$$\begin{aligned} \text{จาก } M &= \frac{\text{ขนาดภาพ}}{\text{ขนาดวัตถุ}} = \frac{\text{ระยะภาพ}}{\text{ระยะวัตถุ}} \\ &= \frac{\text{ขนาดภาพ}}{20 \text{ cm}} = \frac{15 \text{ cm}}{30 \text{ cm}} \\ \text{ขนาดภาพ} &= 10 \text{ cm} \end{aligned}$$

ตอบ เทียนไขอยู่หน้ากระจกเว้า 30 เซนติเมตร และ ภาพเทียนไขสูง 10 เซนติเมตร

ตัวอย่าง 2 จากตัวอย่าง 1 ถ้าวางเทียนไขห่างกระจกเว้า 5 เซนติเมตร ภาพเทียนไขเป็นภาพชนิดใด และอยู่ห่างกระจกเว้าเท่าใดเขียนภาพประกอบ



วิธีทำ จากโจทย์ จะได้ $S = +5 \text{ cm}$, $f = +10 \text{ cm}$
หาระยะภาพ จาก

$$\frac{1}{S} + \frac{1}{S'} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{5} + \frac{1}{S'} = \frac{1}{10}$$

$$\frac{1}{S'} = \frac{1}{10} - \frac{1}{5}$$

$$S' = -10 \text{ cm}$$

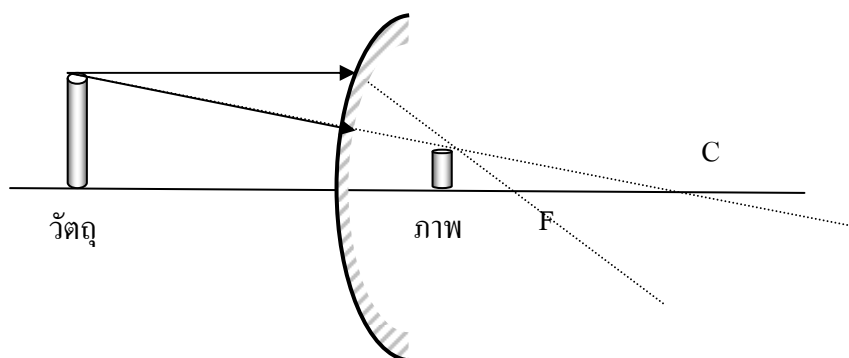
ตอบ ภาพเทียนไขเป็นภาพเสมือน และอยู่หลังกระจกกระจกเว้าห่างเท่ากับ 10 เซนติเมตร

ตัวอย่าง 3 วางวัตถุไว้หน้ากระจกนูนที่มีรัศมีความโค้ง 24 เซนติเมตร ให้ห่างกระจก 20 เซนติเมตร

ก) ภาพเกิดขึ้นที่ใด และเป็นภาพชนิดใด

ข) การขยายของภาพเป็นเท่าใด

ก) จากการเขียนภาพ จะได้ ภาพเกิดหลังกระจก และเป็นภาพเสมือน



จาก $\frac{1}{S} + \frac{1}{S'} = \frac{1}{f}$ จาก $f = \frac{R}{2} = \frac{24}{2} = -12 \text{ cm}$

$$\frac{1}{20} + \frac{1}{S'} = \frac{1}{-12}$$

$$\frac{1}{S'} = \frac{1}{-12} - \frac{1}{20}$$

$$S' = -7.5 \text{ cm}$$

ตอบ ภาพเกิดหลังกระจกห่างกระจก 7.5 เซนติเมตร และเป็นภาพเสมือน

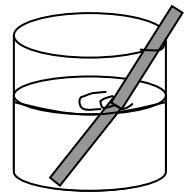
ข) หาการขยายของภาพ

จาก $M = \frac{\text{ระยะภาพ}}{\text{ระยะวัตถุ}}$

$$M = \frac{7.5}{20} = 0.38$$

ตอบ การขยายของภาพเท่ากับ 0.38 (ภาพเล็กกว่าวัตถุ)

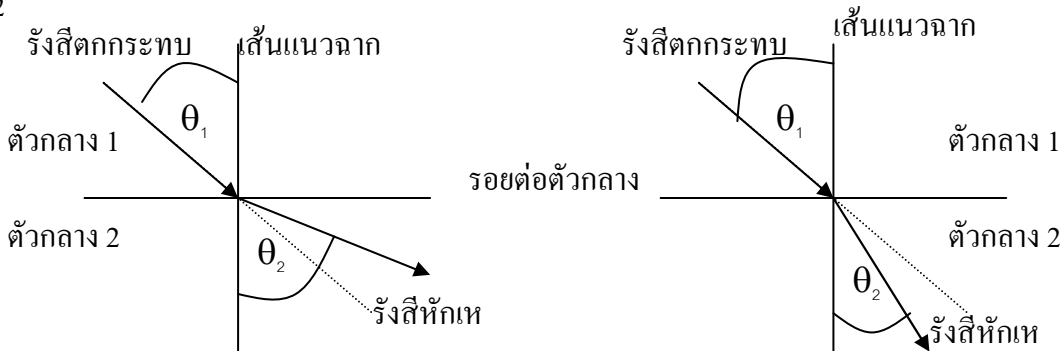
เมื่อมองแท่งไม้ที่จุ่มอยู่ในน้ำ ดังรูป 1 จะเห็นแท่งไม้ จะไม่เป็นแท่งตรง และเห็นแท่งไม้ส่วนที่อยู่ในน้ำอยู่ที่ตำแหน่งสูงกว่าเป็นจริง แสดงว่า แสงจากแท่งไม้เดินทางเข้าสู่ตาผิดไปจากแนวเดิม



รูป 1

ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเรียกว่า การหักเหของแสง

เราอาจ จะให้คำจำกัดความ การหักเหของแสงได้ว่า เป็นการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของแสง ซึ่งเป็นผลจากการเคลื่อนที่ของแสงจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง โดยมีทิศทางการเคลื่อนที่ของแสง ดังรูป 2



รูป 2 การหักเหของแสงเมื่อผ่านตัวกลางต่างกัน

กฎการหักเหของแสง เมื่อแสงเดินทางจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง แสงจะเกิดการหักเห และเป็นไปตามกฎการหักเหของแสง ดังต่อไปนี้

1. รังสีหักเหอยู่ในระนาบเดียวกันกับรังสีตกกระทบ และเส้นแนวฉาก ณ จุดกระทบ

2. สำหรับตัวกลางคู่หนึ่ง อัตราส่วนระหว่างไซน์ของมุมตกกระทบ ($\sin \theta_1$) กับ ไซน์ของมุมหักเห ($\sin \theta_2$) มีค่าคงตัวเสมอ ความสัมพันธ์นี้เรียกว่า กฎของสเนลล์

$$\text{ความสัมพันธ์นี้ เขียนได้ดังนี้} \quad \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \text{ค่าคงตัว}$$

ถ้าแสงเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว v_1 และ v_2 ในตัวกลาง 1 และตัวกลาง 2 ตามลำดับ จากความรู้เรื่องการหักเหของคลื่น (แสงจะแสดงคุณสมบัติของคลื่นด้วย) จะได้

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

ถ้าตัวกลาง 1 เป็นสุญญากาศ และตัวกลาง 2 เป็นตัวกลางใด ๆ

ให้ c เป็นอัตราเร็วของแสงในสุญญากาศ

v เป็นอัตราเร็วของแสงในตัวกลางใด ๆ

$$\text{จะได้} \quad \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{c}{v}$$

เมื่อ อัตราส่วนระหว่างไซน์ของมุมตกกระทบ ($\sin \theta_1$) กับ ไซน์ของมุมหักเห ($\sin \theta_2$) มีค่าคงตัวเสมอ ดังนั้น แสดงว่า จะต้องเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของตัวกลางคู่หนึ่ง ซึ่งคุณสมบัตินี้เรียกว่า ดรรชนีหักเหของตัวกลาง หรือ อาจกล่าวได้ว่า ดรรชนีหักเหของตัวกลาง คือ อัตราส่วนระหว่างอัตราเร็วของแสงในสุญญากาศกับอัตราเร็วของแสงในตัวกลางนั้น

ถ้าให้ n แทน ดรรชนีหักเหของตัวกลาง

$$\text{จะได้} \quad n = \frac{c}{v}$$

ให้ n_1 เป็น ดรรชนีหักเหของตัวกลาง 1

$$\text{จะได้} \quad n_1 = \frac{c}{v_1}$$

$$v_1 = \frac{c}{n_1}$$

ให้ n_2 เป็น ดรรชนีหักเหของตัวกลาง 2

$$\text{จะได้} \quad n_2 = \frac{c}{v_2}$$

$$v_2 = \frac{c}{n_2}$$

แทนค่า v_1 และ v_2 ในสมการ

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

จะได้

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

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

สมการนี้ ถือเป็น รูปหนึ่งกฎของสเนลล์

ตัวอย่าง แสงเดินทางออกจากแก้วควาน์สู่อากาศ ทำมุมตกกระทบ 30° ที่ผิวรอยต่อระหว่างแก้วควาน์กับอากาศ มุมหักเหเป็นเท่าใด กำหนดดัชนีหักเหของอากาศ เท่ากับ 1.00 และดัชนีหักเหของแก้วควาน์ เท่ากับ 1.52

วิธีทำ ใช้กฎของสเนลล์หามุมหักเห

$$\text{จาก } n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

$$n_1 = 1.52, \theta_1 = 30^\circ, n_2 = 1.00, \theta_2 = ?$$

$$\text{แทนค่า } 1.52 \sin 30^\circ = 1.00 \sin \theta_2$$

$$\sin \theta_2 = \frac{1.52 \times 0.5}{1.00} = 0.760$$

$$\theta_2 = 49.5^\circ$$

ตอบ แสงที่ออกจากแก้วควาน์จะหักเหที่ผิวรอยต่อระหว่างแก้วควาน์กับอากาศ โดยมีมุมหักเห เท่ากับ 49.5 องศา

ตัวอย่าง แสงความยาวคลื่น 589 nm. เดินทางจากสุญญากาศเข้าสู่ซิลิกาด้วยอัตราเร็ว 2.06×10^8 m/s ดรรชนีหักเหของซิลิกาเป็นเท่าใด กำหนดอัตราเร็วของแสงในสุญญากาศเท่ากับ 3.00×10^8 m/s

วิธีทำ การหาค่าดรรชนีหักเหของซิลิกา หาได้จาก

$$n = \frac{c}{v}$$

$$c \text{ เป็นอัตราเร็วของแสงในสุญญากาศ} = 3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$v \text{ เป็นอัตราเร็วของแสงในซิลิกา} = 2.06 \times 10^8 \text{ m/s}$$

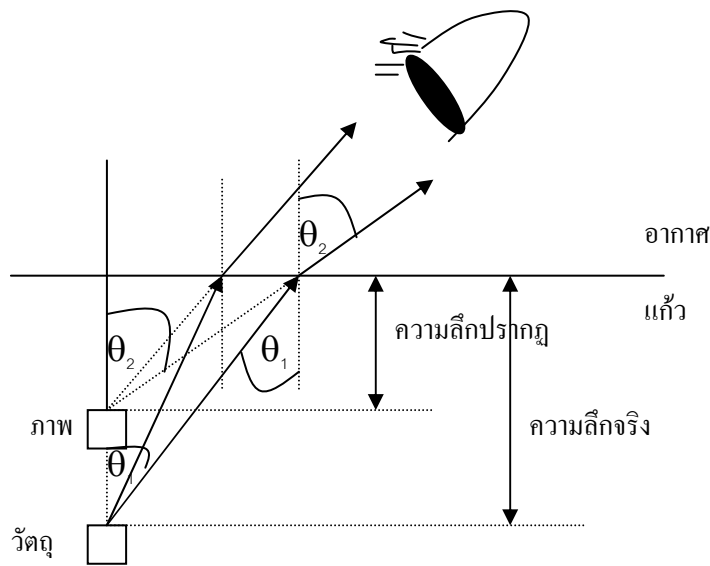
$$\text{แทนค่า } n = \frac{3.00 \times 10^8 \text{ m/s}}{2.06 \times 10^8 \text{ m/s}}$$

$$\text{จะได้ } n = 1.46$$

ตอบ ครรชนีหักเหของซิลิกาเท่ากับ 1.46

ความลึกจริง-ความลึกปรากฏ

นำแท่งพลาสติกใสผิวระนาบวางทับตัวหนังสือ ดังรูป เมื่อมองดูตัวหนังสือใต้แท่งพลาสติก จะมองเห็นตัวหนังสือที่ตำแหน่งที่ไม่ใช่ตำแหน่งจริง เป็นตำแหน่งที่ไม่ใช่ตำแหน่งจริง เป็นตำแหน่งที่สูงขึ้นกว่าตำแหน่งเดิม การเห็นวัตถุในลักษณะนี้เนื่องจากอากาศมีดรรชนีหักเหต่ำกว่าแก้ว ดังนั้นมุมหักเหในอากาศจึงมีค่ามากกว่ามุมตกกระทบในแก้ว ภาพที่มองเห็น จึงเรียกว่า ความลึกปรากฏ ส่วนตำแหน่งของวัตถุจริง จึงเรียกว่า ความลึกจริง ดังแสดงได้จาก รูปต่อไปนี้



รูป ความลึกของวัตถุที่ปรากฏต่อสายตา และความลึกจริงของวัตถุ

เราสามารถหาค่าตำแหน่งภาพ หรือความลึกปรากฏของวัตถุ ทำได้ดังนี้

จากสมการ
$$\frac{\text{ความลึกจริง}}{\text{ความลึกปรากฏ}} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

ตัวอย่าง ปลาอยู่ในน้ำที่ระดับความลึกจากผิวน้ำ 2 เมตร ความลึกปรากฏของปลาเป็นเท่าใด เมื่อผู้สังเกตมองปลาในแนวตั้งตรงตัวปลา กำหนดดรรชนีหักเหของอากาศ = 1.00 และดรรชนีหักเหของน้ำ = $\frac{4}{3}$

วิธีทำ จากโจทย์ $n_2 = 1, n_1 = \frac{4}{3}$

จาก
$$\frac{\text{ความลึกจริง}}{\text{ความลึกปรากฏ}} = \frac{n_1}{n_2}$$

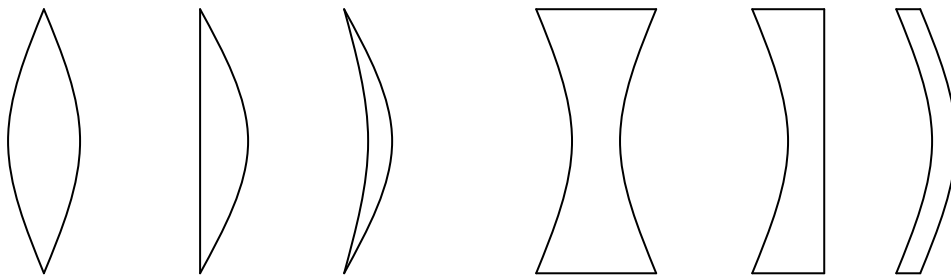
$$\frac{2 \text{ m}}{\text{ความลึกปรากฏ}} = \frac{4/3}{1}$$

ความลึกปรากฏ = 1.5 เมตร

ตอบ ระยะลึกของปลาที่ปรากฏต่อสายตา เท่ากับ 1.5 เมตร

เลนส์บาง

กล้องจุลทรรศน์ กล้องดูดาว และกล้องถ่ายรูป ล้วนเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เลนส์ช่วยในการทำให้เกิดภาพ โดยใช้หลักการหักเหของแสง เลนส์ทำด้วยแก้วหรือพลาสติกที่มีผิวโค้งทรงกลมสองข้างไม่ขนานกัน เลนส์มี 2 ชนิด คือ เลนส์นูนและเลนส์เว้า ดังรูป 1



รูป 1 เลนส์นูนและเลนส์เว้าแบบต่างๆ

ส่วนสำคัญของเลนส์มีอะไรบ้าง เมื่อรังสีต่าง ๆ ผ่านเลนส์ การหักเหของรังสีจะเป็นอย่างไร เมื่อเลนส์ทำให้เกิดภาพ ภาพจะมีลักษณะอย่างไร

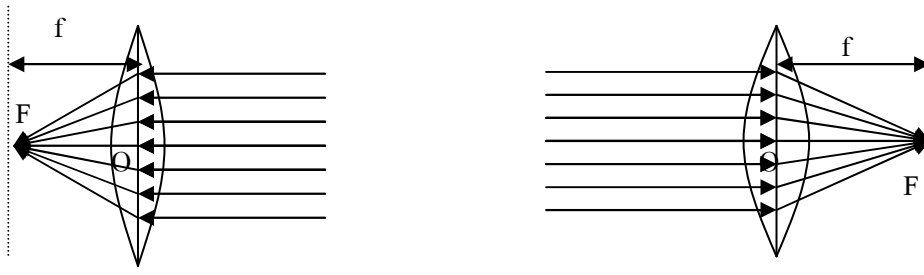
ส่วนสำคัญของเลนส์มีดังนี้

1. แกนमुखสำคัญ คือ เส้นที่ลากผ่าน ศูนย์กลางเลนส์ และศูนย์กลางความโค้งของผิวทั้งสอง
2. ศูนย์กลางเลนส์ O เป็นจุดบนเส้นแกนमुखสำคัญ ที่ห่างจากผิวทั้งสองของเลนส์เท่ากัน
3. ศูนย์กลางความโค้ง C₁ และ C₂ เป็นจุดศูนย์กลางความโค้งของผิวเลนส์ทั้งสอง

พิจารณาได้จากรูป 2



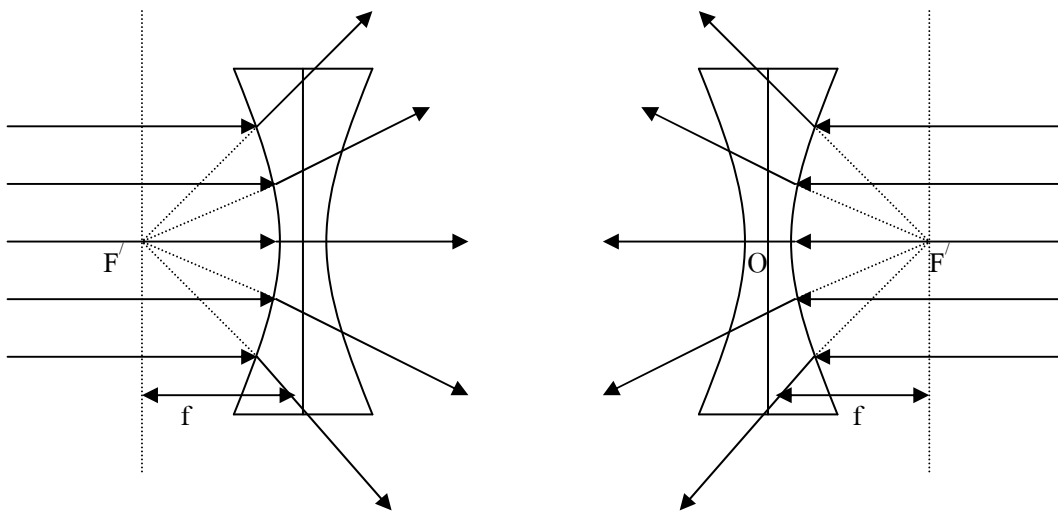
รูป 2 ส่วนสำคัญของเลนส์



รูป 3 แสงขนานกับแกนमुखสำคัญ ผ่านเลนส์นูน ทำให้แสงรวมกันที่จุดโฟกัส

จากรูป 3 ถ้ามีรังสีขนานกับแกนमुखสำคัญตกกระทบเลนส์นูน และถ้ารังสีเหล่านี้อยู่ใกล้แกนमुखสำคัญ เมื่อผ่านเลนส์นูนจะหักเหไปรวมกันที่จุด ๆ หนึ่งบนแกนमुखสำคัญของเลนส์นูน จุดนี้เรียกว่า จุดโฟกัส ระยะ f คือ ความยาวโฟกัส

ในกรณีของเลนส์เว้า รังสีทั้งหลายที่ขนานกับแกนमुखสำคัญ เมื่อผ่านเลนส์เว้าแล้ว รังสีจะเบนหรือกระจายออก ถ้ารังสีเหล่านี้ถูกต่อย้อนกลับไปที่จะพบกันที่จุด F' ดังรูป 4 จุดนี้จะเป็นจุดโฟกัสเสมือนของเลนส์เว้า และระยะ f ก็จะเป็น ความยาวโฟกัสของเลนส์เว้า นั้น

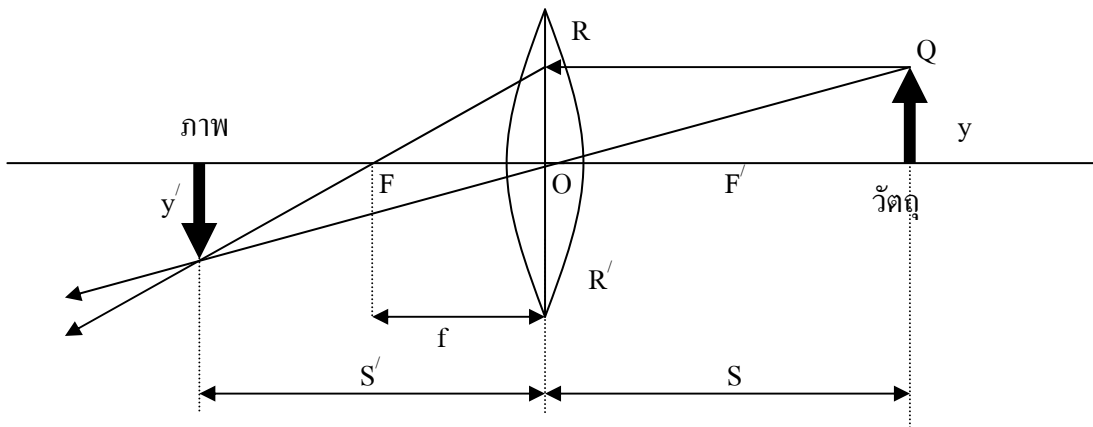


รูป 4 แสงขนานกับแกนमुखสำคัญ ผ่านเลนส์เว้า ทำให้แสงกระจาย

ภาพของวัตถุที่เกิดจากเลนส์นูน หรือ เลนส์เว้า จะมีลักษณะของภาพที่แตกต่างกัน โดยภาพที่เกิดจะมีขนาดใหญ่ หรือเล็กกว่าวัตถุ ขึ้นอยู่กับ การวางวัตถุนั้นไว้ที่ตำแหน่งใด เราสามารถแสดงให้เห็นได้ว่า ภาพจะมีลักษณะใดโดยใช้รังสีจากวัตถุเพียง 2 รังสีเท่านั้น ในการเขียนแผนภาพตามกฎการหักเหของแสง ดังรูป 5 ภาพที่เกิดจากเลนส์นูน และ รูป 6 ภาพที่เกิดจากเลนส์เว้า ดังต่อไปนี้

เลนส์นูน

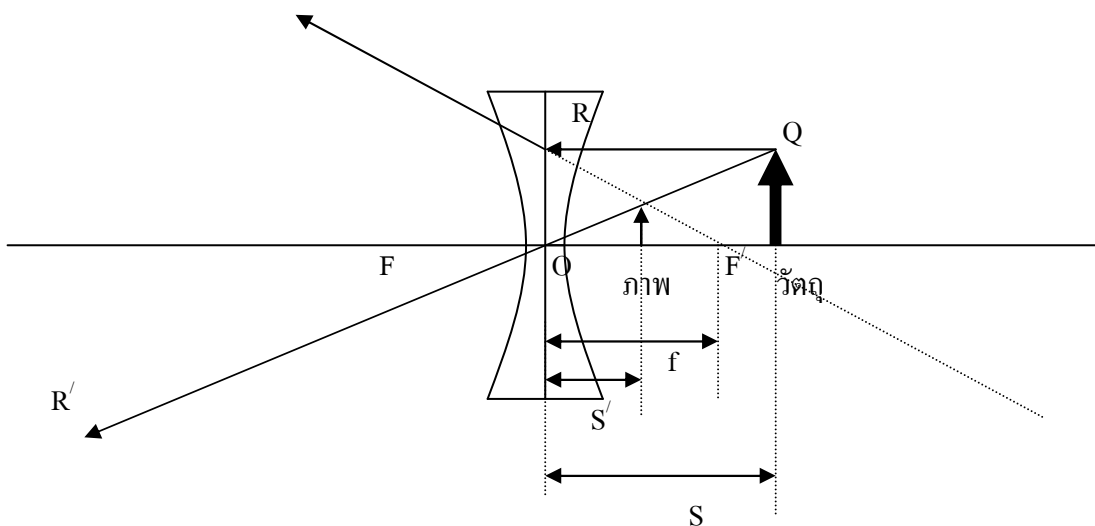
1. เขียนรังสีตกกระทบ QR ขนานกับเส้นแกนमुखสำคัญ รังสีหักเหจะผ่านโฟกัส
2. เขียนรังสีตกกระทบ QO ผ่านศูนย์กลางเลนส์ O รังสีหักเหจะผ่านเลนส์ออกไปในแนวเดิม



รูป 5 ภาพที่เกิดจากเลนส์นูน

เลนส์เว้า

1. เขียนรังสีตกกระทบ QR ขนานกับเส้นแกนमुखสำคัญ รังสีหักเหกระจายออก ถ้าต่อย้อนกลับจะผ่านจุดโฟกัสเสมือน
2. เขียนรังสีตกกระทบ QO ผ่านศูนย์กลางเลนส์ O รังสีหักเหจะผ่านเลนส์ออกไปในแนวเดิม



รูป 6 ภาพที่เกิดจากเลนส์เว้า

เราสามารถหาค่าตำแหน่งภาพ และชนิดของภาพ ได้จากสมการต่อไปนี้

$$\frac{1}{S} + \frac{1}{S'} = \frac{1}{f}$$

โดยสมการนี้ จะใช้ได้ทั้งกรณีเลนส์นูนและเลนส์เว้า แต่การหาค่าตำแหน่งภาพและชนิดของภาพ จะต้องมีการกำหนดเครื่องหมาย + และ - สำหรับปริมาณต่าง ๆ ในสมการดังนี้

1. S มีเครื่องหมาย + ถ้าวัตถุอยู่หน้าเลนส์ และ S' มีเครื่องหมาย - ถ้าวัตถุอยู่หลังเลนส์
2. S' มีเครื่องหมาย + ถ้าภาพอยู่หลังเลนส์ และ S มีเครื่องหมาย - ถ้าภาพอยู่หน้าเลนส์
3. f ของเลนส์นูนมีเครื่องหมาย + และ f ของเลนส์เว้ามีเครื่องหมาย -

จากการทดลองพบว่า กราฟระหว่าง $\frac{1}{S}$ กับ $\frac{1}{S'}$ เป็นเส้นตรงที่ตัดแกนทั้งสองโดยมีความชันเป็น -1 นอกจากนี้จุดตัดบนแกน y และนอที่ยังมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{f}$

$$\text{นั่นคือ} \quad \frac{1}{S} + \frac{1}{S'} = \frac{1}{f}$$

จากรูป 5 ขนาดภาพ y' และขนาดวัตถุ y มีความสัมพันธ์กับ ระยะภาพ S' และระยะวัตถุ S ดังสมการดังนี้

$$\frac{y'}{y} = \frac{S'}{S}$$

ตัวอย่าง 1 เลนส์นูนมีความยาวโฟกัส 10 เซนติเมตร เมื่อวางวัตถุอยู่ห่างเลนส์นูน 30 เซนติเมตร ภาพที่เกิดขึ้นเป็นภาพชนิดใด และอยู่ที่ใด และถ้าวัตถุอยู่ห่างเลนส์นูน 6 เซนติเมตร ภาพที่เกิดขึ้นเป็นภาพชนิดใด

วิธีทำ เมื่อวัตถุอยู่ห่างเลนส์นูน 30 เซนติเมตร

$$\text{จาก} \quad \frac{1}{S} + \frac{1}{S'} = \frac{1}{f}$$

$$\text{แทนค่า} \quad \frac{1}{30} + \frac{1}{S'} = \frac{1}{10}$$

$$S' = 15 \text{ cm}$$

S' มีเครื่องหมาย + แสดงว่า ภาพที่ได้เป็นภาพจริง

ตอบ ได้ภาพจริงที่อยู่ห่างเลนส์นูน 15 เซนติเมตร

เมื่อวัตถุอยู่ห่างเลนส์นูน 6 เซนติเมตร

$$\text{จาก} \quad \frac{1}{S} + \frac{1}{S'} = \frac{1}{f}$$

$$\text{แทนค่า} \quad \frac{1}{6} + \frac{1}{S'} = \frac{1}{10}$$

$$S' = -15 \text{ cm}$$

S' มีเครื่องหมาย - แสดงว่า ภาพเสมือน จะได้ภาพหัวตั้ง

ตอบ ได้ภาพเสมือนหัวตั้งอยู่ห่างเลนส์นูน 15 เซนติเมตร

ตัวอย่าง 2 วางวัตถุที่ยาว 1.4 เซนติเมตร ในแนวตั้งฉากกับแกนหลักหน้าเลนส์เว้าที่มีความยาวโฟกัส 20 เซนติเมตร โดยอยู่ห่างเลนส์เว้า 15 เซนติเมตร ภาพที่เกิดขึ้นเป็นภาพชนิดใด และอยู่ห่างเลนส์เว้าเท่าใด และภาพมีขนาดเท่าใด

วิธีทำ

$$\text{จาก } \frac{1}{f} = \frac{1}{S} + \frac{1}{S'}$$

$$f = -20 \text{ cm.} \quad S = 15 \text{ cm.}$$

แทนค่า

$$\frac{1}{-20} = \frac{1}{15} + \frac{1}{S'}$$

$$S' = \frac{-60}{7} = -8.57 \text{ cm.}$$

แสดงว่า ภาพเป็นภาพเสมือน เพราะ S' มีเครื่องหมาย - และเป็นภาพหัวตั้งหาขนาดของภาพ

จาก

$$\frac{y'}{y} = \frac{S'}{S}$$

แทนค่า

$$\frac{y'}{1.4 \text{ cm}} = \frac{60 \text{ cm}}{7} \times \frac{1}{20 \text{ cm}}$$

$$y' = 0.6 \text{ cm}$$

ตอบ เกิดภาพเสมือนหัวตั้งหน้าเลนส์เว้าที่ระยะ 8.57 เซนติเมตร และภาพมีขนาดยาว 0.6 เซนติเมตร

ตัวอย่าง 3 เลนส์นูน L_1 และ L_2 ซึ่งมีความยาวโฟกัส 15 เซนติเมตร และ 30 เซนติเมตร ตามลำดับ อยู่ห่างกัน 20 เซนติเมตร วางวัตถุไว้หน้าเลนส์ L_1 ห่างจากเลนส์ 20 เซนติเมตร จงหาตำแหน่งของภาพสุดท้าย

วิธีทำ หาภาพของวัตถุที่เกิดจากเลนส์ L_1 ซึ่งมีความยาวโฟกัส $f = 15 \text{ cm}$

จาก

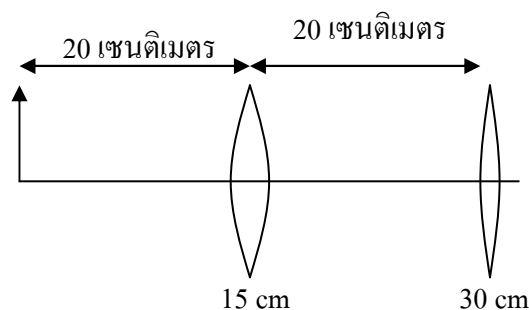
$$\frac{1}{S} + \frac{1}{S'} = \frac{1}{f}$$

$$S = +20 \text{ cm.} \quad f = +15 \text{ cm.} \quad S' = ?$$

แทนค่า

$$\frac{1}{+20} + \frac{1}{S'} = \frac{1}{+15}$$

$$S' = 60 \text{ cm.}$$



เพราะ L_2 อยู่ห่างจาก L_1 เพียง 20 cm ดังนั้นภาพเกิดทางขวามือของเลนส์ L_2 และภาพนี้จะทำให้เป็นวัตถุของเลนส์ L_2 และเป็นวัตถุที่อยู่หลังเลนส์

ดังนั้น ระยะวัตถุ $S = -(60 - 20) = -40 \text{ cm.}$

หาภาพเนื่องจากเลนส์อันที่ L_2

$$\text{จาก } \frac{1}{S} + \frac{1}{S'} = \frac{1}{f}$$

$$S = -40 \text{ cm. } f = +30 \text{ cm. } S' = ?$$

$$\text{แทนค่า } \frac{1}{-40} + \frac{1}{S'} = \frac{1}{+30}$$

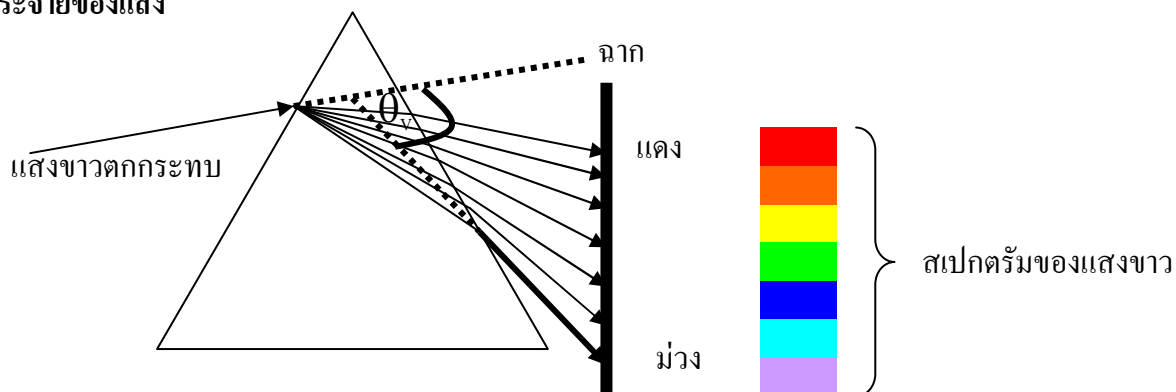
$$S' = 17.14 \text{ cm.}$$

คำตอบ จะได้ภาพสุดท้ายเกิดขึ้นทางขวาของเลนส์ L_2 และห่างจากเลนส์ 17.14 เซนติเมตร และเป็นภาพจริง

ปรากฏการณ์ที่เกี่ยวกับแสง

การกระจายของแสง

1) การกระจายแสงผ่านปริซึม เมื่อให้แสงขาวซึ่งประกอบด้วยแสงหลายสีผ่านปริซึมสามเหลี่ยม พบว่าแสงที่หักเหออกมาจากปริซึมจะไม่เป็นแสงขาว แต่จะมีสีต่าง ๆ กัน แสงแต่ละสีที่หักเหออกมาจะทำมุมหักเหต่าง ๆ กัน แสงแต่ละสีจึงปรากฏบนฉาก ณ ตำแหน่งต่าง ๆ กัน ดังรูป 6 ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การกระจายของแสง

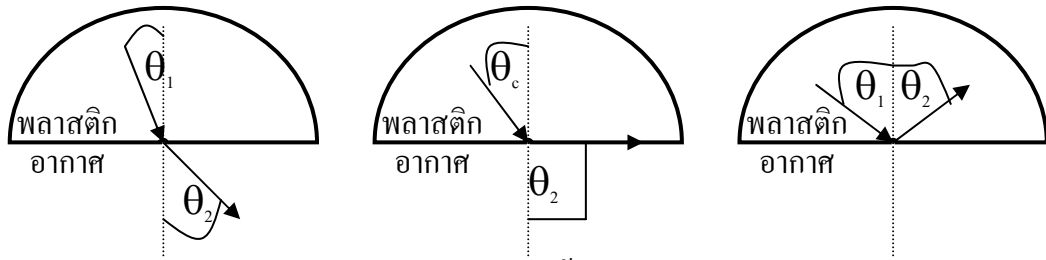


รูป 6 การกระจายของแสง

มุมที่หักเหออกจากปริซึมทำกับรังสีตกกระทบบที่ผิวแรกของปริซึม เรียกว่า **มุมเบี่ยงเบน** จากรูป 6 θ_v คือ มุมเบี่ยงเบนของแสงสีม่วงซึ่งมีค่ามากที่สุด เพราะ มีความยาวคลื่นสั้นที่สุด ส่วนมุมเบี่ยงเบนของแสงสีแดง θ_r นั้นมีค่าน้อยที่สุด เพราะมีความยาวคลื่นยาวที่สุด ถ้าให้ปริซึมนี้รับแสงอาทิตย์ แถบสีที่ได้ก็จะมีลักษณะเช่นเดียวกับที่ใช้รับแสงจากกล้องแสง เรียกแถบนี้ว่า **สเปกตรัมของแสงขาว**

2) การสะท้อนกลับหมด เมื่อแสงจากตัวกลางหนึ่งผ่านเข้าไปในตัวกลางหนึ่ง ซึ่งมีดรรชนีหักเหมีค่าน้อยกว่าพบว่า มุมหักเห θ_2 ในตัวกลางที่ดรรชนีหักเหมีค่าน้อยกว่าจะใหญ่กว่ามุมตกกระทบบ θ_1 เช่น เมื่อแสงจากแท่งพลาสติกผ่านเข้าไปในตัวกลางที่ดรรชนีหักเหมีค่าน้อยกว่า เช่น จากพลาสติกไปยังอากาศ มุมหักเห θ_2 จะมีค่ามากกว่า มุมตกกระทบบ θ_1 และมุมหักเหนี้จะสามารถมีค่าได้เท่ากับ 90° องศา เมื่อได้มุมตก

กระทบที่ระดับหนึ่ง เรียกมุมตกกระทบ ที่ทำให้เกิดมุมหักเหเท่ากับ 90 องศาเรียกว่า มุมวิกฤต (θ_c) และปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การสะท้อนกลับหมด ดังรูป 7



รูป 7 การสะท้อนกลับหมด

ตัวอย่าง จงหามุมวิกฤตของแท่งพลาสติก ดรรชนีหักเหมีค่าประมาณ 1.5

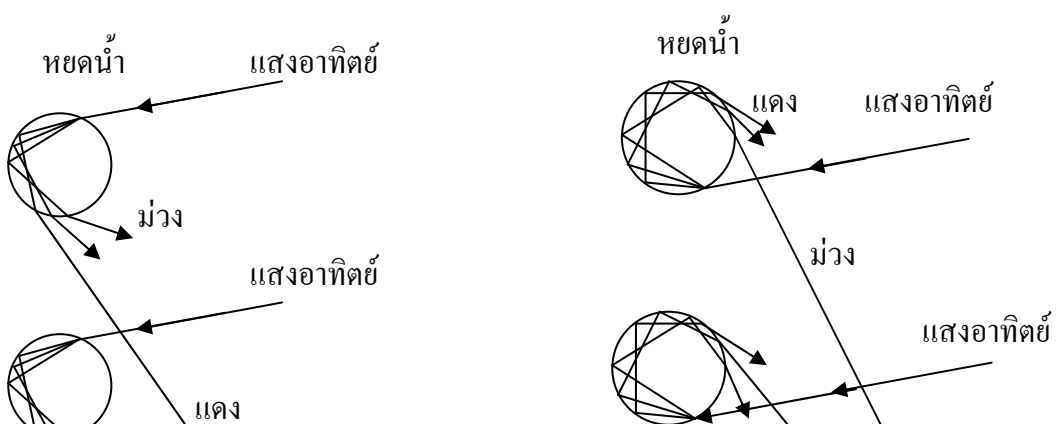
วิธีทำ เพราะพลาสติกมีความหนาแน่นมากกว่าอากาศ ดังนั้น แสงเกิดปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมด จะต้องคิดว่าแสงเดินทางแท่งพลาสติกไปยังอากาศ แท่งพลาสติกจึงเป็นตัวกลางที่ 1 และอากาศเป็นตัวกลางที่ 2

จาก $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$
 n_1 คือ ดรรชนีหักเหของแท่งพลาสติก เท่ากับ 1.5
 n_2 คือ ดรรชนีหักเหของแท่งอากาศ เท่ากับ 1
 θ_1 คือ มุมตกกระทบ ซึ่งในที่นี้เท่ากับ มุมวิกฤต θ_c
 θ_2 คือ มุมหักเหเท่ากับ 90 องศา

แทนค่า $1.5 \sin \theta_c = 1 \sin 90^\circ$
 $\sin \theta_c = 0.667$
 $\theta_c = 42^\circ$

คำตอบ นั่นคือ มุมวิกฤตของแท่งพลาสติก มีค่าประมาณ 42 องศา

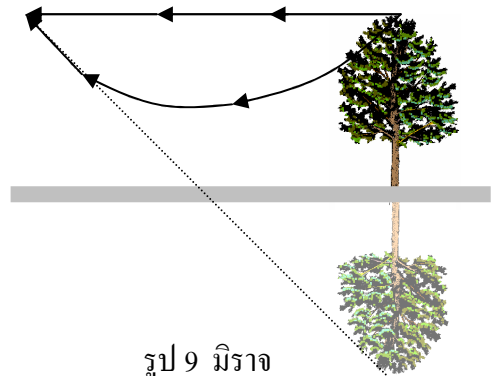
3) รุ้ง เป็นผลมาจากการกระจายของแสง การสะท้อนกลับหมด และการหักเหของแสง ซึ่งมีสาเหตุเนื่องมาจากการที่แสงแดดส่องผ่านละอองน้ำที่มีอยู่มาก ก่อนหรือหลังฝนตก แล้วเกิดการกระจายของแสง เกิดการสะท้อนกลับหมด ทำให้ได้สเปกตรัมของแสงขาว แล้วหักเหออกสู่อากาศเข้าสู่ตาของผู้สังเกต รุ้งที่เกิดขึ้นมีได้ 2 แบบ คือ รุ้งปฐมภูมิ และรุ้งทุติยภูมิ ดังรูป 8



3.1 รุ้งปฐมภูมิ เกิดจากแสงแดดตกกระทบเข้ามาทางด้านบนของละอองน้ำ แล้วเกิดการกระจายของแสงในละอองน้ำ และการสะท้อนกลับหมดภายในละอองน้ำหนึ่งครั้ง จึงหักเหออกจากละอองน้ำสู่อากาศ ดังรูป 8 ก. ดังนั้นรุ้งปฐมภูมิเกิดการหักเห 2 ครั้ง สะท้อน 1 ครั้ง (หักเห → สะท้อน → หักเห) รุ้งปฐมภูมิมีสีแดงอยู่ด้านบน และสีม่วงอยู่ด้านล่าง

3.2 รุ้งทุติยภูมิ เกิดจากแสงแดดตกกระทบเข้ามาทางด้านล่างของละอองน้ำ แล้วเกิดการกระจายของแสงภายในละอองน้ำ จากนั้นก็เกิดการสะท้อนกลับหมดภายในละอองน้ำ 2 ครั้ง จึงหักเหออกจากละอองน้ำสู่อากาศ ดังรูป 8 ข. ดังนั้น รุ้งทุติยภูมิเกิดการหักเห 2 ครั้ง และสะท้อน 2 ครั้ง (หักเห → สะท้อน → สะท้อน → หักเห) รุ้งทุติยภูมิมีสีแดงอยู่ด้านล่าง และสีม่วงอยู่ด้านบน

4) มิราจ เป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติชนิดหนึ่งที่เกิดจากการหักเหของแสงในบรรยากาศในชั้นต่าง ๆ เพราะความหนาแน่นของอากาศในชั้นต่าง ๆ ไม่เท่ากัน มีผลทำให้เรามองเห็นภาพ 2 ภาพพร้อม ๆ กัน เช่น คนในทะเลทรายอาจเห็นต้นไม้ต้นหนึ่งเป็นสองต้นพร้อม ๆ กัน โดยเห็นต้นเดิมกับภาพ ที่มียอดต้นไม้ปรากฏอยู่ใต้พื้นทราย ดังรูป 9 ซึ่งมักเกิดในบริเวณที่อากาศมีความหนาแน่นแตกต่างกันมาก เช่น ทะเลทรายหรือถนน ซึ่งถูกแดดจัด เพราะบริเวณนี้ อุณหภูมิของอากาศเหนือผิวถนนจะสูงมาก และจะลดลงอย่างรวดเร็วตามความสูง ทำให้ดัชนีหักเหของอากาศเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ตามความสูง ตัวอย่างของมิราจนอกจากที่กล่าวมาได้แก่ การเห็นน้ำปรากฏบนผิวน้ำที่ร้อน ทั้ง ๆ ที่ถนนแห้ง การเห็นเรือลอยคว่ำอยู่ในอากาศเหนือท้องทะเล เป็นต้น

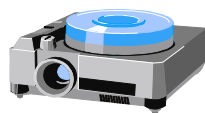


รูป 9 มิราจ

ทัศนอุปกรณ์

เราสามารถนำความรู้เรื่องการหักเหของแสงผ่านเลนส์ มาสร้างอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น เครื่องฉายภาพนิ่ง กล้องถ่ายรูป กล้องจุลทรรศน์ กล้องโทรทรรศน์ และกล้องส่องทางไกล เป็นต้น หลักการทำงานของอุปกรณ์เหล่านี้เป็นอย่างไร

1) เครื่องฉายภาพนิ่ง เป็นพื้นฐานของเครื่องฉายภาพยนตร์และเครื่องฉายข้ามศรียะ โดยใช้หลักให้แสงผ่านวัตถุ (แผ่นสไลด์ แผ่นฟิล์ม แผ่นใส) เมื่อแสงจากวัตถุหักเหผ่านเลนส์ฉายภาพ จะทำให้เกิดภาพจริงขนาดขยาย



รูป 1 เครื่องฉายภาพนิ่ง



รูป 2 เครื่องฉายข้ามศรียะ



รูป 3 กล้องถ่ายรูป

2) กล้องถ่ายรูป มีส่วนประกอบที่สำคัญ ดังนี้

1. วัตถุประสงค์ ทำหน้าที่เป็นห้องมืด ภายในทาสีดำเพื่อป้องกันแสงจากภายนอก และช่วยลดการสะท้อนแสงภายในกล้อง
2. เลนส์นูน ทำหน้าที่รับแสงจากวัตถุที่อยู่ไกลเกินระยะ $2f$ เพื่อให้เกิดภาพจริงขนาดย่อบนฟิล์ม
3. วงแหวนปรับความชัด เป็นตัวที่ใช้เลื่อนเลนส์นูนให้ออกห่างหรือเข้าใกล้ฟิล์ม เพื่อให้ได้ภาพชัดตามต้องการ
4. ไดอะแฟรม เป็นช่องกลม ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณแสงที่ผ่านเข้ากล้อง
5. ชัตเตอร์ เป็นแผ่นทึบแสง ทำหน้าที่ ปิด เปิด ให้แสงเข้ามาในกล้อง ซึ่งสามารถตั้งช่วงเวลาการปิด – เปิด โดยการปรับ ความเร็วชัตเตอร์ ถ้าวัตถุมีความสว่างมากต้องลดขนาดช่องของไดอะแฟรมหรือเพิ่มความเร็วชัตเตอร์ แต่ถ้าวัตถุมีความสว่างน้อย เราต้องเพิ่มขนาดของไดอะแฟรมหรือลดความเร็วชัตเตอร์
6. ฟิล์ม ทำหน้าที่เป็นฉากรับภาพ เมื่อแสงตกบนฟิล์มจะเกิดปฏิกิริยาเคมี และเมื่อนำฟิล์มไปล้างตามขั้นตอน ก็จะได้ภาพจริงหัวกลับ ขนาดเล็กกว่าวัตถุบนฟิล์ม

3) กล้องจุลทรรศน์ เป็นกล้องที่ใช้ส่องดูวัตถุเล็ก ๆ เช่น เชื้อโรค ให้มีขนาดขยายใหญ่ขึ้นมาก ๆ จนมองเห็นได้ชัดเจน กล้องจุลทรรศน์ประกอบด้วยเลนส์นูน 2 อัน คือ

1. เลนส์ใกล้วัตถุ เป็นเลนส์ที่อยู่ใกล้วัตถุ มีความยาวโฟกัสสั้นมาก และเป็นเลนส์หนา เพื่อให้มีกำลังขยายสูง ถ้าปรับเลนส์ใกล้วัตถุให้ห่างจากวัตถุมากกว่าความยาวโฟกัส จะได้ภาพจริง ขนาดใหญ่กว่าวัตถุ ภาพนี้จะเกิดระหว่างเลนส์ทั้งสอง



รูป 4 กล้องจุลทรรศน์

2. **เลนส์ใกล้ตา** เป็นเลนส์ที่อยู่ใกล้ตา มีความยาวโฟกัสมากกว่าเลนส์วัตถุ ทำหน้าที่รับแสงจากภาพที่เกิดจากเลนส์ใกล้วัตถุ เพื่อทำให้เกิดภาพเสมือนขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นภาพที่ตามองเห็น

4) **กล้องโทรทรรศน์** เป็นกล้องที่ใช้สำหรับส่องดูวัตถุที่อยู่ไกล ๆ เพื่อให้เห็น ใกล้เข้ามา และมีขนาดใหญ่ขึ้น กล้องโทรทรรศน์ประกอบด้วยเลนส์นูน 2 อัน คือ

1. **เลนส์ใกล้วัตถุ** เป็นเลนส์ที่มีความยาวโฟกัสมาก ทำหน้าที่รับแสงขนานจากวัตถุที่อยู่ไกล ๆ แล้วทำให้เกิดภาพจริงหัวกลับ

2. **เลนส์ใกล้ตา** เป็นเลนส์ที่มีความยาวโฟกัสน้อย ทำหน้าที่ขยายภาพ จากเลนส์ใกล้วัตถุ ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น และเหมาะที่จะใช้งานทางดาราศาสตร์

ความสว่าง

เป็นที่ทราบกันดีว่าแสงเป็นพลังงานรูปหนึ่งที่สามารถทำให้พื้นที่ที่แสงตกกระทบสว่าง ปริมาณพลังงานแสงที่เปล่งออกจากแหล่งกำเนิดแสงใด ๆ ต่อหนึ่งหน่วยเวลา เรียกว่า ฟลักซ์ส่องสว่าง (Luminous Flux) มีหน่วยวัดเป็น ลูเมน หลอดไฟฟ้าซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่นิยมใช้กันตามบ้านเรือนมี 2 ชนิด คือหลอดไฟฟ้าแบบไส้ และหลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์ ตาราง 1 แสดงการเปรียบเทียบฟลักซ์ส่องสว่างของหลอดไฟสองชนิด

ตาราง 1 แสดงการเปรียบเทียบฟลักซ์ส่องสว่างของหลอดไฟสองชนิด

กำลังไฟฟ้า ของหลอด (วัตต์)	ฟลักซ์ส่องสว่าง (ลูเมน)	
	หลอดไฟฟ้าแบบไส้ (หลอดใส)	หลอดฟลูออเรสเซนต์
15	120	750
40	500	2,700

จากตาราง 1 จะเห็นได้ว่าฟลักซ์ส่องสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์มากกว่าแบบไส้ประมาณ 6 เท่า ดังนั้นเมื่อหลอดทั้งสองใช้กำลังไฟฟ้าเท่ากันประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นความสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์จึงสูงกว่าแบบไส้

ถ้าพิจารณาพื้นที่รับแสง ความสว่างบนพื้นที่ทำได้

จาก

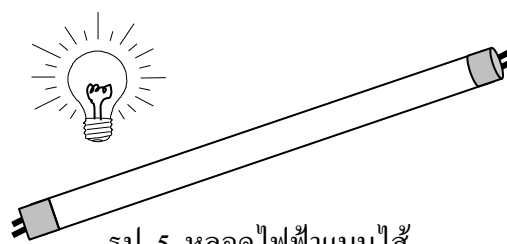
$$\text{ความสว่าง} = \frac{\text{ฟลักซ์ส่องสว่างที่ตกตั้งฉากกับพื้น}}{\text{พื้นที่รับแสง}}$$

$$E = \frac{F}{A}$$

เมื่อ F เป็น ฟลักซ์ส่องสว่างที่ตกกระทบพื้น มีหน่วยเป็นลูเมน

A เป็น พื้นที่รับแสง มีหน่วยเป็นตารางเมตร

E เป็น ความสว่าง มีหน่วยเป็นลักซ์



รูป 5 หลอดไฟฟ้าแบบไส้ และหลอดฟลูออเรสเซนต์

ดังนั้น 1 ลักซ์ = 1 ลูเมนต่อตารางเมตร

ตัวอย่าง คิดหลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์ 40 วัตต์ 3 หลอด โดยมีตัวสะท้อนแสงให้พลังงานแสงทั้งหมดตกบนพื้นโต๊ะที่มีพื้นที่ 10 ตารางเมตร ให้หาความสว่างบนพื้นโต๊ะนี้

วิธีทำ เนื่องจากมีตัวสะท้อนแสงจึงอาจถือได้ว่าพลังงานแสงทั้งหมดตกบนพื้นโต๊ะ เพราะฉะนั้น

ฟลักซ์ส่องสว่างที่ตกบนพื้นโต๊ะ = ฟลักซ์ส่องสว่างของหลอดไฟฟ้า

$$\text{ความสว่างบนโต๊ะ} = \frac{\text{ฟลักซ์ส่องสว่างที่ตกตั้งฉากกับพื้นโต๊ะ}}{\text{พื้นที่ของโต๊ะ}}$$

$$= \frac{2,700 \times 3}{10} \quad \text{ลูเมนต่อตารางเมตร}$$

$$= 810 \quad \text{ลูเมนต่อตารางเมตร}$$

ตอบ ความสว่างบนพื้นโต๊ะเท่ากับ 810 ลักซ์

ตัวอย่าง คิดหลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์ 40 วัตต์ ที่มีฟลักซ์ส่องสว่าง 2,700 ลูเมน ในห้องสี่เหลี่ยมที่มีขนาด $3 \times 2 \times 2$ เมตร ความสว่างของห้องนี้โดยเฉลี่ยมีค่าเท่าไร ให้ฟลักซ์ส่องสว่างที่สูญเสียไปเนื่องจากตัวสะท้อนแสงเท่ากับ 500 ลูเมน และแสงกระทบเพดานห้องน้อยมาก

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ} \quad \text{พื้นที่ของห้องนี้} &= \text{พื้นที่ของห้อง} + \text{พื้นที่ของผนังทั้งสี่} \\ &= (2 \times 3) + \{ (3 \times 2) + (2 \times 2) + (3 \times 2) + (2 \times 2) \} \\ &= 6 + (6 + 4 + 6 + 4) = 26 \quad \text{ตารางเมตร} \end{aligned}$$

$$\text{ฟลักซ์ส่องสว่างที่ตกกระทบพื้นทั้งหมด} = 2,700 - 500 \quad \text{ลูเมน}$$

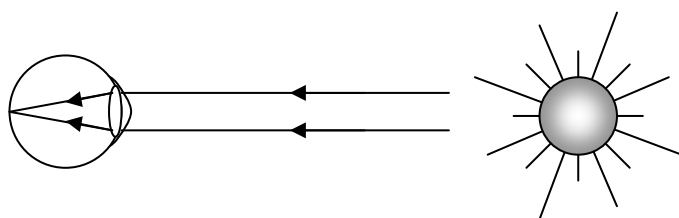
$$= 2,200 \quad \text{ลูเมน}$$

$$\text{เพราะฉะนั้นความสว่างโดยเฉลี่ย} = \frac{2,200}{26} = 84.6 \quad \text{ลักซ์}$$

ตอบ ดังนั้น ความสว่างโดยเฉลี่ยของห้องเท่ากับ 84.6 ลักซ์

การถนอมสายตา

1) การดูวัตถุที่มีความสว่างมาก ไม่ควรดูวัตถุหรือแหล่งกำเนิดแสงที่มีความสว่างมาก เช่น ดวงอาทิตย์ แสงจากสปอตไลท์ แสงจากการเชื่อมโลหะ เป็นต้น เพราะเลนส์ตาจะรวมแสงให้ไปตกบนเรตินา ดังรูป 6 ซึ่งอาจทำให้เรตินาถูกทำลายอย่างถาวร ถ้าจำเป็นต้องดูวัตถุที่มีความสว่างมาก ๆ เช่น ดวงอาทิตย์ขณะเกิดสุริยุปราคา ควรดูผ่านฟิล์มกรองแสง



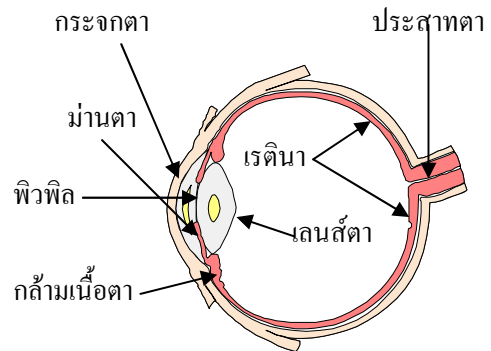
รูป 6 การหักเหของแสงภายในตาไปตกบนเรตินา

2) การดูวัตถุที่มีความสว่างน้อย การดูวัตถุที่มีความสว่างน้อยไม่ทำอันตรายเรตินา แต่เป็นการดูที่ต้องพึงพิจารณา เช่น การอ่านหนังสือ กล้ามเนื้อตาจะต้องทำงานหนักกว่าปกติ และถ้าอ่านในที่ที่มีความสว่างน้อยเป็นระยะเวลานานหรือบ่อย กล้ามเนื้อตาจะเสื่อมเร็วกว่าที่ควร

3) การดูผ่านทัศนอุปกรณ์ ไคแก่ กล้องส่องทางไกล กล้องโทรทรรศน์ วัตถุหรือแหล่งกำเนิดแสงที่มีความสว่างมาก จะทำให้เรตินาเป็นอันตราย ดังนั้นการดู หรือถ่ายภาพดวงอาทิตย์ เมื่อเกิดสุริยุปราคา จึงต้องทำด้วยความระมัดระวัง โดยดูผ่านฟิล์มกรองแสง หรือดูโดยมีผู้เชี่ยวชาญ ด้านดาราศาสตร์ดูแล

ตาและการมองเห็นสี

ตาคนและกล้องถ่ายรูปมีส่วนประกอบที่ทำหน้าที่คล้ายกันมาก ตาประกอบด้วยเลนส์ตา เป็นเลนส์รับแสง เรตินาทำหน้าที่คล้ายฟิล์มถ่ายรูป ถัดจากเรตินาเป็นไขประสาทซึ่งติดต่อกับประสาทตา ผ่านไปยังสมอง เวลาที่มีแสงจากวัตถุตกบนเลนส์ตาจะเกิดภาพชัดที่เรตินา ตาจะเห็นวัตถุในลักษณะเดียวกับภาพของวัตถุที่ตกบนฟิล์มถ่ายรูป นอกจากนี้ตายังมีม่านตาเพื่อทำหน้าที่ปรับความเข้มของแสงบนเรตินาให้เหมาะสมโดยเปลี่ยนขนาดของพิวพิล ม่านตาจึงทำหน้าที่คล้ายไดอะแฟรมของกล้องถ่ายรูป นอกจากนี้ตายังมีกล้ามเนื้อยึดเลนส์ตาทำหน้าที่บังคับเลนส์ตาให้หนาขึ้นหรือน้อย เพื่อให้เกิดภาพชัดบนเรตินา ส่วนนี้แตกต่างจากกล้องถ่ายรูป เพราะกล้องถ่ายรูปใช้วิธีเลื่อนตำแหน่งเลนส์เพื่อให้เกิดภาพชัดบนฟิล์ม



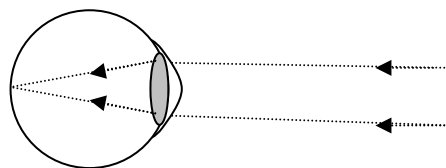
รูป 7 ส่วนประกอบที่สำคัญตา

ในการมองวัตถุ ตำแหน่ง โกลที่ตาเห็นภาพชัด เรียก **จุดใกล้** และตำแหน่งไกลสุดที่ตามองเห็นภาพชัด เรียกว่า **จุดไกล**

สำหรับคนสายตาปกติ ดังรูป 8

จุดใกล้ อยู่ที่ระยะประมาณ 25 เซนติเมตร

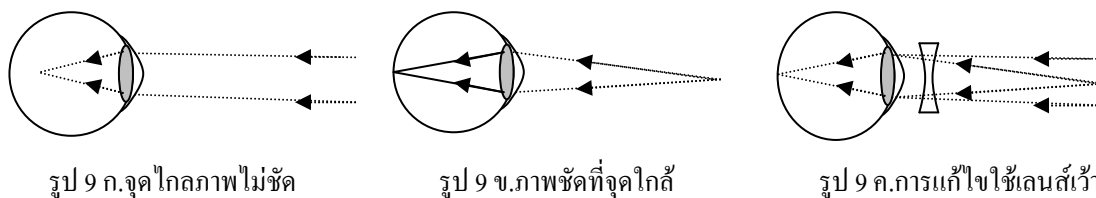
จุดไกล อยู่ที่ระยะไกลมาก หรือที่ระยะอนันต์



รูป 8 ก.จุดใกล้

รูป 8 ข.จุดไกล

สำหรับคนสายตาสั้น ระยะใกล้ที่ตามองเห็นภาพชัด จะไม่ใช่ระยะอนันต์ (จุดไกล) แต่จะเห็นภาพชัดคือ จุดใกล้ การแก้ไขให้มองเห็นภาพชัดเหมือนสายตปกติ จะต้องสวมแว่นที่ทำด้วยเลนส์เว้า ดังรูป 9

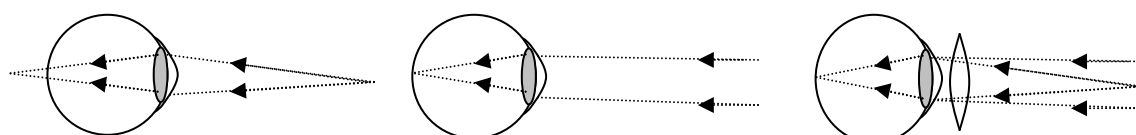


รูป 9 ก.จุดไกลภาพไม่ชัด

รูป 9 ข.ภาพชัดที่จุดใกล้

รูป 9 ค.การแก้ไขใช้เลนส์เว้า

สำหรับคนสายตายาว ระยะใกล้ที่ตามองเห็นภาพชัด จะไม่ใช่จุดใกล้ แต่จะเห็นภาพชัดที่ จุดไกล คือ ระยะอนันต์ การแก้ไขให้มองเห็นภาพชัดเหมือนคนสายตปกติ จะต้องสวมแว่นที่ทำด้วยเลนส์นูน ดังรูป 10



รูป 10 ก.จุดใกล้ภาพไม่ชัด

รูป 10 ข.ภาพชัดที่จุดไกล

รูป 10 ค.การแก้ไขใช้เลนส์นูน

ในการมองเห็นสีต่าง ๆ ส่วนสำคัญของตา คือ เรตินา เพราะมีเซลล์รับแสงจำนวนมาก มีอยู่ 2 ชนิด คือ เซลล์รูปกรวย และเซลล์รูปแท่ง เซลล์รูปแท่งจะไวต่อแสงที่มีความเข้มน้อย จึงไม่สามารถจำแนกสีได้ ส่วนเซลล์รูปกรวยจะไม่ไวต่อแสงที่มีความเข้ม แต่สามารถจำแนกสีต่าง ๆ ได้ คนที่ตาบอดสี จะมีความผิดปกติของเซลล์รูปกรวย จะทำให้สีผิดไปจากเดิม

สี

เมื่อให้แสงสีขาวตกกระทบวัตถุต่าง ๆ เราจะเห็นวัตถุมีสีแตกต่างกัน การมองเห็นสีต่าง ๆ นอกจากจะขึ้นอยู่กับ เซลล์รูปกรวยในเรตินาของตาแล้ว ยังมีสิ่งอื่นอีกที่มีอิทธิพลต่อการเห็นสีของวัตถุ คือ การที่จากนั้นผ่านสีต่าง ๆ ของตัวกลาง ก่อนเข้าสู่ตาเรา เช่น แสงขาวของดวงอาทิตย์ เมื่อผ่านปริซึม จะมองเห็นแสงสีถึง 7 สี เป็นต้น หรือ แสงสีต่าง ๆ ผ่านแผ่นกรองแสงสี เพื่อต้องการให้ได้แสงสีที่ต้องการ

จากการให้แสงตกกระทบวัตถุ จะพบว่าเราอาจแบ่งชนิดวัตถุตามปริมาณ และลักษณะที่แสงผ่านวัตถุ ดังนี้

1. วัตถุโปร่งใส คือ วัตถุที่ให้แสงผ่านไปได้อย่างทั่วถึงและเป็นระเบียบ เราจึงสามารถมองผ่านวัตถุชนิดนี้ได้ชัดเจน ตัวอย่างวัตถุชนิดนี้ได้แก่ กระจกใส และ อแก้วใส เป็นต้น
2. วัตถุโปร่งแสง คือ วัตถุที่ให้แสงผ่านไปได้อย่างไม่เป็นระเบียบ ดังนั้นเราจึงไม่สามารถมองผ่านวัตถุนี้ได้ชัดเจน ตัวอย่างวัตถุชนิดนี้ได้แก่ น้ำขุ่น กระจกฝ้า และกระดาษขุ่นขาว

3. วัตถุทึบแสง คือ วัตถุที่ไม่ให้แสงผ่านเลย แสงทั้งหมดจะถูกดูดกลืนไว้หรือสะท้อนกลับเราจึงไม่สามารถมองผ่านวัตถุชนิดนี้ได้ ตัวอย่างของวัตถุชนิดนี้ได้แก่ ไม้ ผนังตึก และกระจกเงา

ในกรณีที่แสงขาวตกกระทบวัตถุทึบแสง วัตถุนั้นจะดูดกลืนแสงแต่ละสีที่ประกอบเป็นแสงขาวนั้นไว้ในปริมาณต่าง ๆ กัน แสงส่วนที่เหลือจากการดูดกลืนจะสะท้อนกลับเข้าตา ทำให้เราเห็นวัตถุเป็นสีเดียวกับแสงที่สะท้อนมาเข้าตามากที่สุด ตามปกติวัตถุมีสารที่เรียกว่า สารสีทำหน้าที่ดูดกลืนแสง วัตถุที่มีสีต่างกันจะมีสารสีต่างกัน การเห็นใบไม้เป็นสีเขียว เป็นเพราะใบไม้มีคลอโรฟิลเป็นสารดูดกลืนแสงสีม่วงและสีแดง แล้วปล่อยแสงสีเขียวและสีใกล้เคียงให้สะท้อนกลับเข้าตามากที่สุด ส่วนดอกไม้ที่มีสีแดงเพราะดอกมีสารสีแดงซึ่งดูดกลืนแสงสีม่วง สีน้ำเงิน และสีเขียวส่วนใหญ่ไว้ แล้วปล่อยให้แสงสีแดงปนสีส้มและสีเหลืองให้สะท้อนกลับเข้าตามากที่สุด ส่วนสารที่มีสีดำนั้นจะดูดกลืนแสงทุกสีที่ตกกระทบทำให้ไม่มีแสงสีใดสะท้อนกลับเข้าสู่ตาเลย เราจึงเห็นวัตถุเป็นสีดำ แต่สารสีขาวนั้นจะสะท้อนแสงทุกสีที่ตกกระทบ

1) การผสมสารสี การที่เรามองเห็นวัตถุเป็นสีต่าง ๆ ส่วนใหญ่เราเห็นสีเนื่องมาจากแสงที่สะท้อนมาจากวัตถุ มากกว่าเห็นสีจากแสงที่ทะลุผ่านวัตถุ ดังนั้นสีตามธรรมชาติของวัตถุ ที่เราต้องการเห็น จะต้องดูวัตถุนั้นด้วยแสงขาวของดวงอาทิตย์ เมื่อเป็นเช่นนี้สีของวัตถุที่เห็น จะต้องมีสีที่กำหนดสีบนวัตถุ ได้แก่ แสงที่กระทบผิววัตถุ และสารสีบนวัตถุ (สารสีที่ผสมในเนื้อวัตถุ) สารสีต่าง ๆ ที่อยู่ในเนื้อวัตถุ ที่ไม่สามารถสร้างขึ้นได้จากการผสมสารสีต่าง ๆ เข้าด้วยกันมี อยู่ 3 สี คือ สีเหลือง สีแดงม่วง และสีน้ำเงินเขียว ซึ่งเรียกว่า สารสีปฐมภูมิ สารสีทั้ง 3 นี้ จะมีหน้าที่ดังนี้

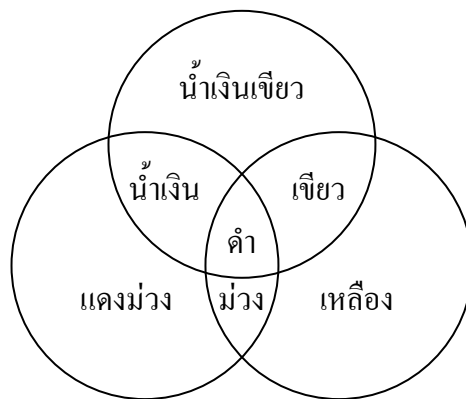
สารสีเหลือง จะไม่ดูดกลืนแถบสีเหลืองที่อยู่ถัดสีแดง นอกนั้นดูดกลืนหมด

สารสีแดงม่วง จะไม่ดูดกลืนแถบสีแดง นอกนั้นดูดกลืนหมด

สารสีน้ำเงินเขียว จะไม่ดูดกลืนแถบสีน้ำเงินม่วง นอกนั้นดูดกลืนหมด

ถ้านำสารสีปฐมภูมิทั้ง 3 สี มาผสมกันด้วยปริมาณที่เท่า ๆ กัน จะได้ สารสีดำ ซึ่งมีสมบัติดูดกลืนแสงสีทุกแถบสีในสเปกตรัมของแสงขาว

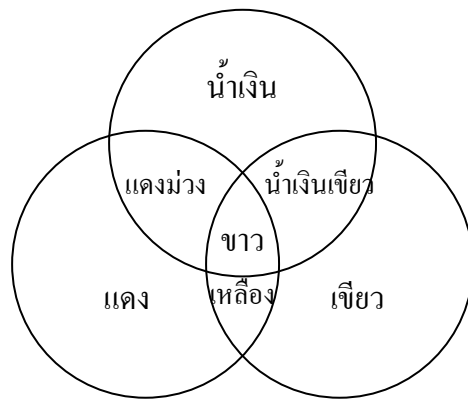
ถ้านำสารสีปฐมภูมิทั้ง 3 สีมาผสมกัน ด้วยสัดส่วนต่าง ๆ กัน จะเกิดเป็นสารผสมได้หลายสี ยกเว้น สารสีขาว ไม่อาจทำให้เกิดได้ด้วยการผสมสารสีอื่น ๆ ดังรูป 11



รูป 11 แสดงการผสมสารสีปฐมภูมิ

2) การผสมแสงสี

แสงที่สะท้อนหรือทะลุผ่านออกมาจากวัตถุต่าง ๆ มักไม่เป็นเพียงสีเดียว ดังนั้นเมื่อเราต้องเห็นแสงสีเดียว เราจึงมักจะเห็นได้จากการผสมแสงสีเข้าด้วยกัน โดยนำแสงสีแดง แสงสีเขียว และแสงสีน้ำเงิน มาผสมกันบนฉากสีขาวด้วยสัดส่วนเท่า ๆ กัน จะให้ผลเหมือนกับเราฉายแสงขาวลงบนฉากขาว นั่นคือ แลแสงสีต่าง ๆ ในแสงสีแดง แสงสีเขียว และแสงสีน้ำเงินจะรวมกันเป็นสเปกตรัมของแสงขาวพอดี ดังรูป 12 แสงสีทั้งสามนี้เรียกว่า **แสงสีปฐมภูมิ** เราอาจนำแสงสีปฐมภูมิมาผสมกันเพื่อให้แสงสีต่าง ๆ กันได้หลายสี ยกเว้น แสงสีดำ



รูป 12 แสดงการผสมแสงสีปฐมภูมิบนฉากขาว