

บทที่ 11

แสงและทัศนอุปกรณ์

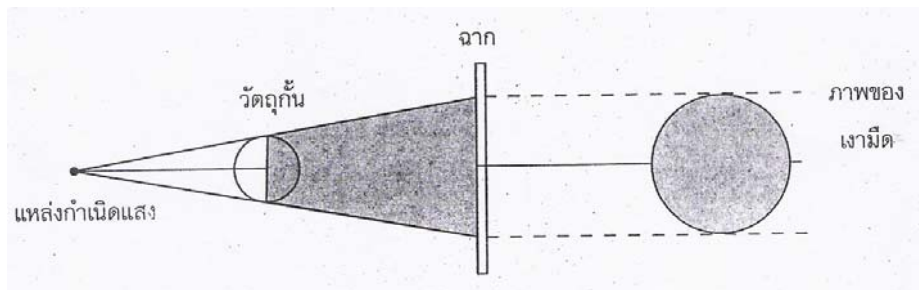
11.1 การเคลื่อนที่และอัตราเร็วของแสง

สมบัติของแสง (แสงขาว) สามารถสรุปได้ดังนี้

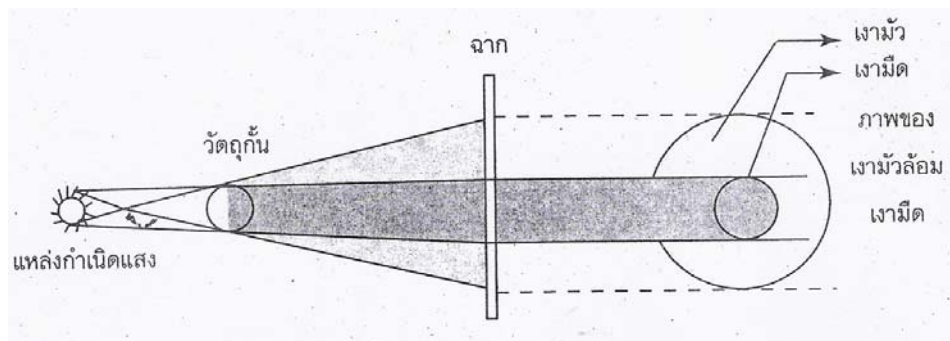
1. เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง และจะเขียนแทนด้วย รังสีของแสง
2. แสงเดินทางในสุญญากาศด้วยอัตราเร็ว 3×10^8 เมตรต่อวินาที
3. เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่
4. เป็นคลื่นตามขวาง เพราะสามารถเกิดโพลาไรซ์ได้

การเกิดเงาของวัตถุมี 3 แบบ คือ

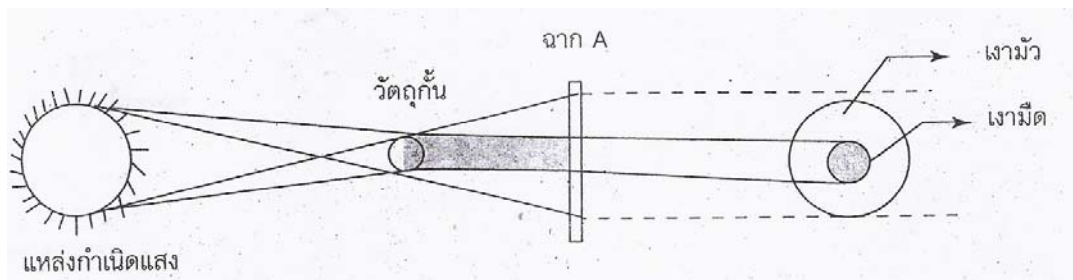
1. แหล่งกำเนิดแสงมีขนาดเล็กมากเป็นจุดเล็ก ๆ จะเกิดเงามืดอย่างเดียว



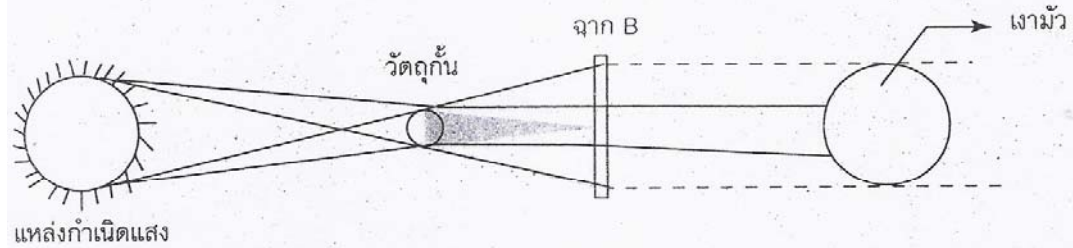
2. แหล่งกำเนิดแสงมีขนาดเล็กแต่เล็กกว่าวัตถุทึบ จะเกิดเงามัวล้อมรอบเงามืด



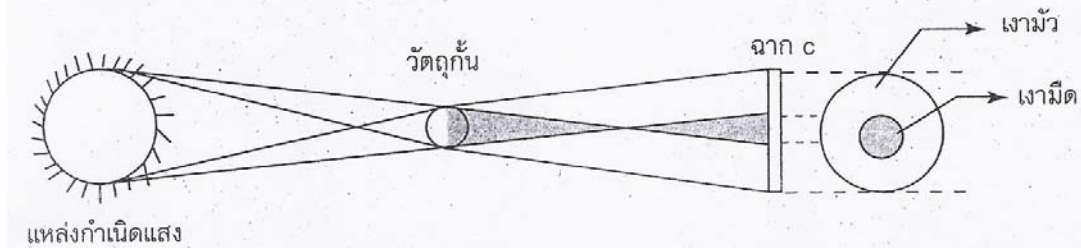
3. แหล่งกำเนิดแสงมีขนาดใหญ่กว่าวัตถุที่กั้นจะเกิดภาพ 3 แบบ



3.1 วางฉากอยู่ที่จุด A จะเกิดเงามัวล้อมรอบเงามืดอยู่บนฉากกัน



3.2 วางฉากอยู่ที่จุด B จะเกิดเงามืดอย่างเดียวยอยู่บนฉากกัน

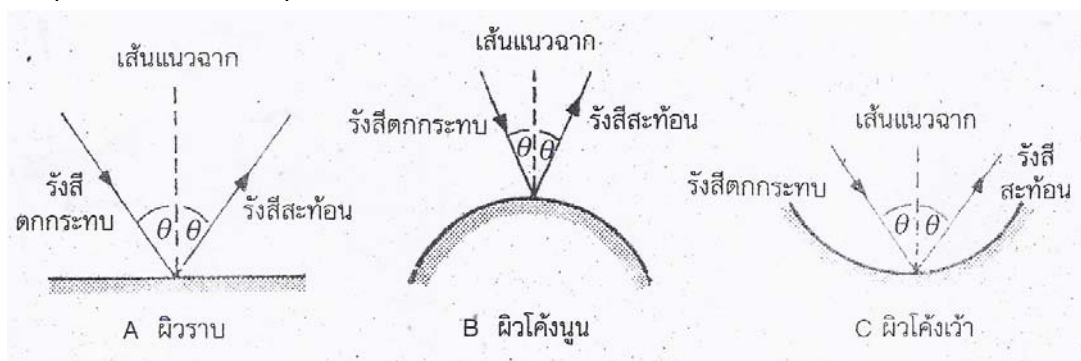


3.3 วางฉากอยู่ที่จุด C จะเกิดเงามืดอย่างเดียวยอยู่บนฉากกัน

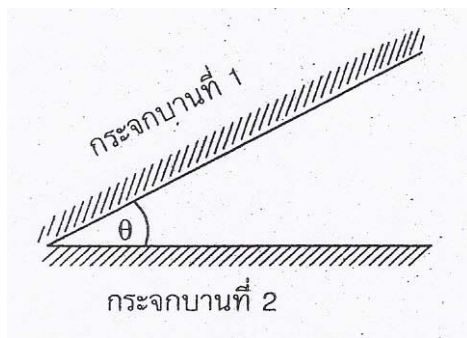
11.2 การสะท้อนของแสง

กฎการสะท้อนของแสงมี 2 ข้อ คือ

1. รังสีตกกระทบ เส้นแนวฉาก รังสีสะท้อน อยู่บนระนาบเดียวกัน
2. มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน



จำนวนของภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้นเมื่อวางกระจกรวม 2 บาน วางทำมุม θ ต่อกัน

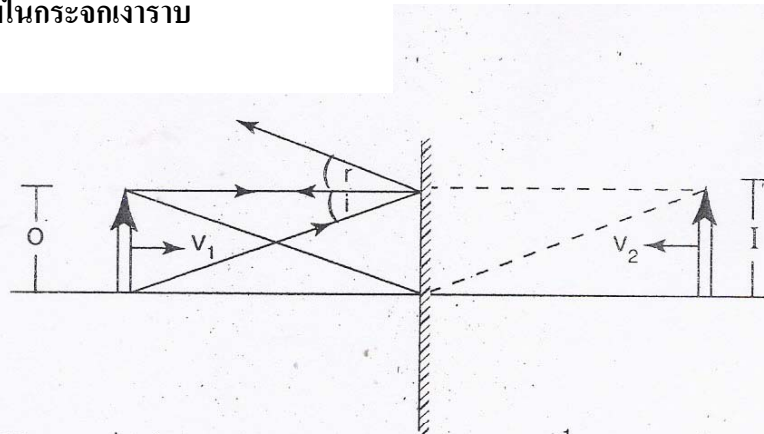


เมื่อ θ คือ มุมระหว่างกระจก 2 บาน

N คือ จำนวนภาพทั้งหมด

$$\text{จะได้ว่า } N = \frac{360}{\theta} - 1$$

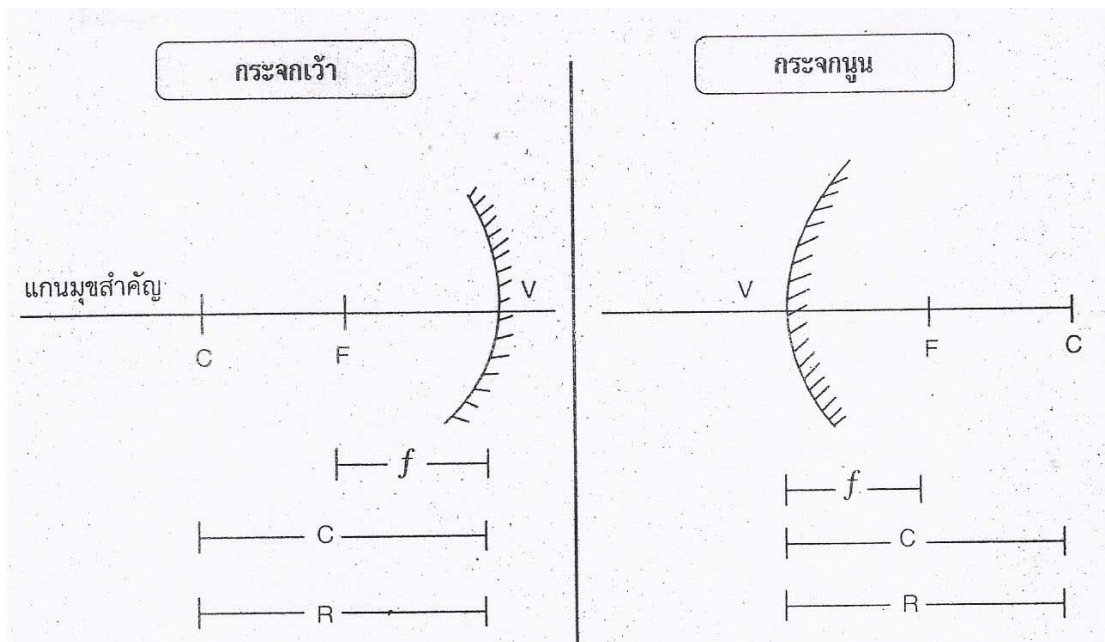
การมองภาพในกระจกเงาราบ



สรุปได้ว่า

- 1) ขนาดภาพ (I) = ขนาดวัตถุ (O)
- 2) ระยะภาพ (s') = ระยะวัตถุ (s)
- 3) ภาพที่ได้เป็นภาพเสมือนหัวตั้ง ขนาดเท่าวัตถุ
- 4) ความเร็วภาพ (v_2) = $2 \times$ ความเร็วกระจก = ($2v_1$)
- 5) กำลังขยาย $m = -1$ เป็นภาพเสมือน

กระจกเว้าและกระจกนูน



ส่วนประกอบของกระจกเว้าและกระจกนูน

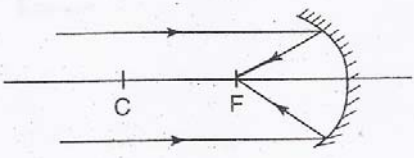
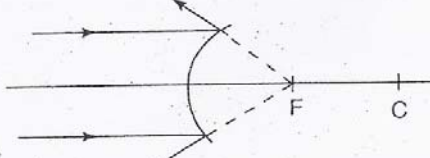
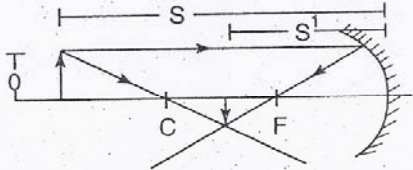
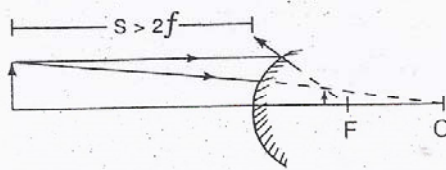
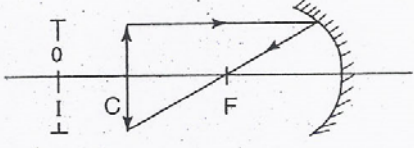
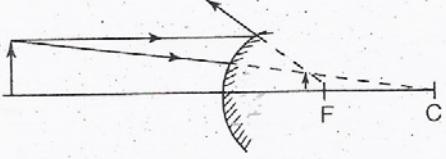
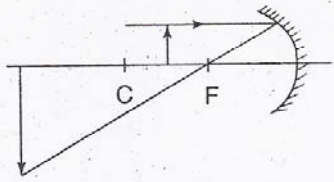
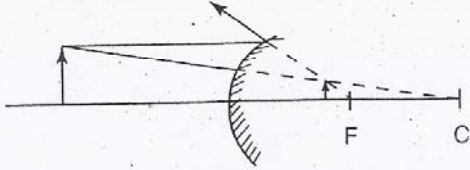
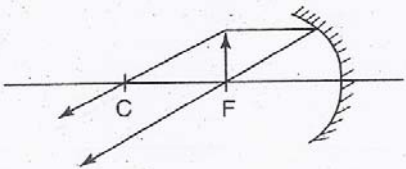
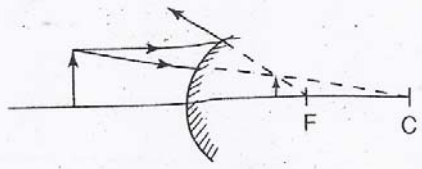
- 1) จุด F = จุดโฟกัส (กระจกเว้าจุด F อยู่หน้ากระจกและกระจกนูนจุด F อยู่หลังกระจก)
- 2) จุด C = จุดศูนย์กลางความโค้ง
- 3) จุด R = รัศมีความโค้ง
- 4) จุด C = จุด R
- 5) จุด V = จุดยอดของกระจก
- 6) จุดโฟกัส $f = \frac{C}{2} = \frac{R}{2}$
- 7) เส้นตรง CFV = เรียกว่าแกนमुखสำคัญ (แกน X)

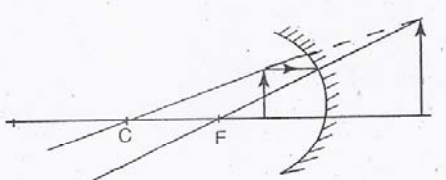
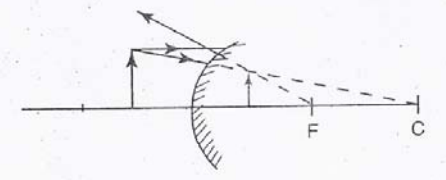
หลักการเขียนทางเดินของแสง

เขียน 2 เส้นให้ตัดกัน

- 1) เส้นที่ 1 ให้ลากขนานกับแกนमुखสำคัญไปชนกระจกแล้วสะท้อนภาพจุดโฟกัส
- 2) เส้นที่ 2 ให้ลากผ่านจุดศูนย์กลางความโค้ง (จุด C) หรือ จุด (R)

เปรียบเทียบภาพที่เกิดจากกระจกเว้าและกระจกนูน

กระจกเว้า	กระจกนูน
 1) ระยะวัตถุ (S) อยู่ทีอนันต์ได้ภาพที่จุดโฟกัส	 1) ระยะวัตถุ (S) อยู่ทีอนันต์ได้ภาพเสมือนที่จุด (F)
 2) ระยะวัตถุ $s > 2f$ ได้ภาพจริง หัวกลับขนาด เล็กกว่าวัตถุ	 2) ระยะวัตถุ $s > 2f$ ได้ภาพเสมือนหัวตั้ง ขนาดเล็กกว่าวัตถุ
 3) ระยะวัตถุ $s = 2f$ ได้ภาพจริงหัวกลับ ขนาดเท่าวัตถุ	 3) ระยะวัตถุ $s = 2f$ ได้ภาพเสมือนหัวตั้ง ขนาดเล็กกว่าวัตถุ
 4) ระยะวัตถุ $f < s < 2f$ ได้ภาพจริงหัวกลับ ขนาดใหญ่กว่าวัตถุ	 4) ระยะวัตถุ $f < s < 2f$ ได้ภาพเสมือนหัวตั้ง ขนาดเล็กกว่าวัตถุ
 5) ระยะวัตถุ $s = f$ ได้ภาพที่ระยะอนันต์	 5) ระยะวัตถุ $s = f$ ได้ภาพเสมือนหัวตั้ง

เปรียบเทียบภาพที่เกิดจากกระจกเว้าและกระจกนูน	
กระจกเว้า	กระจกนูน
 6) ระยะวัตถุ $s < f$ ได้ภาพเสมือนขนาดใหญ่กว่าวัตถุ	 6) ระยะวัตถุ $s < f$ ได้ภาพเสมือนหัวตั้งขนาดเล็กกว่าวัตถุ
ประโยชน์กระจกเว้า 1) ทันตแพทย์ใช้กระจกเว้าส่องดูฟัน	ประโยชน์กระจกนูน 1) ใช้ดูรถด้านหลัง

สูตรการคำนวณกระจกเว้าและกระจกนูน

- $\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$
- $\frac{2}{R} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$
- $m = \frac{I}{O} = \frac{y'}{y} = \frac{s'}{s} = \frac{f}{s-f} = \frac{s'-f}{f}$

การคำนวณเกี่ยวกับกระจกโค้งจำเป็นต้องคำนึงถึงเครื่องหมายของแต่ละตัวที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

ปริมาณ	เครื่องหมาย	ความหมาย
ระยะวัตถุ (S)	+	ถ้าวัตถุอยู่หน้ากระจก
	-	ถ้าวัตถุอยู่หลังกระจก
ระยะภาพ (S')	+	ภาพจริง
	-	ภาพเสมือน
ความยาวโฟกัส (f)	+	กระจกเว้า
	-	กระจกนูน
กำลังขยาย (m)	+	ภาพจริง
	-	ภาพเสมือน

การหักเหของแสง

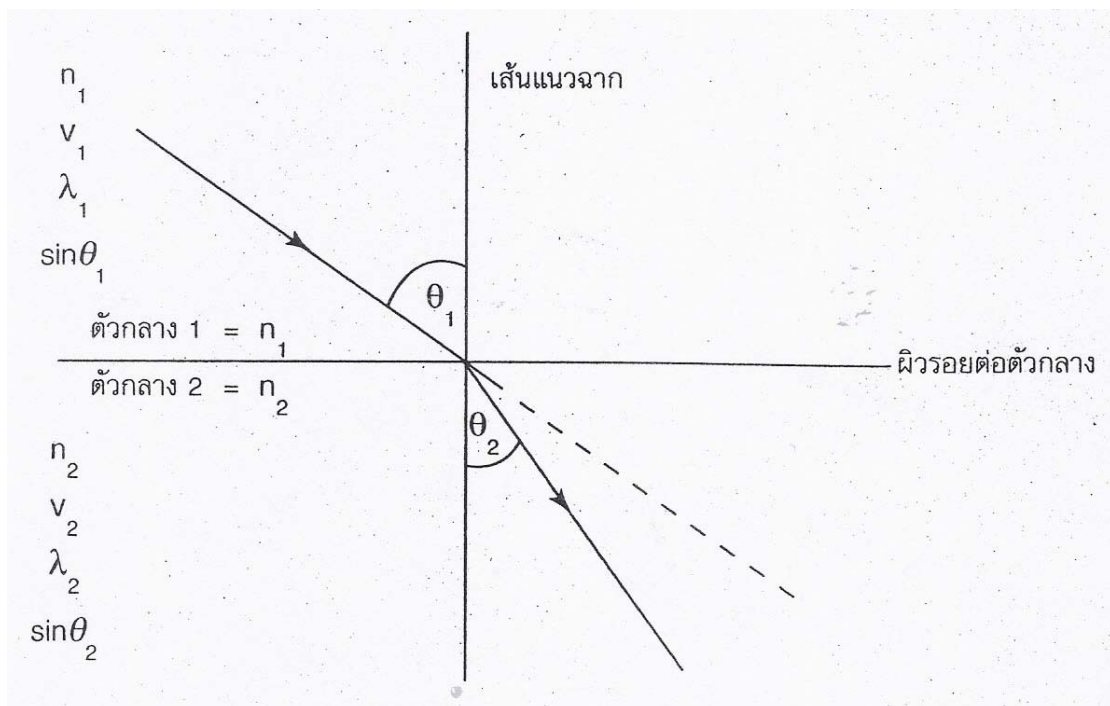
ดัชนีหักเห (n)

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

เมื่อ n คือ ดัชนีหักเห

c คือ ความเร็วแสงในสุญญากาศ

v คือ ความเร็วแสงในตัวกลาง

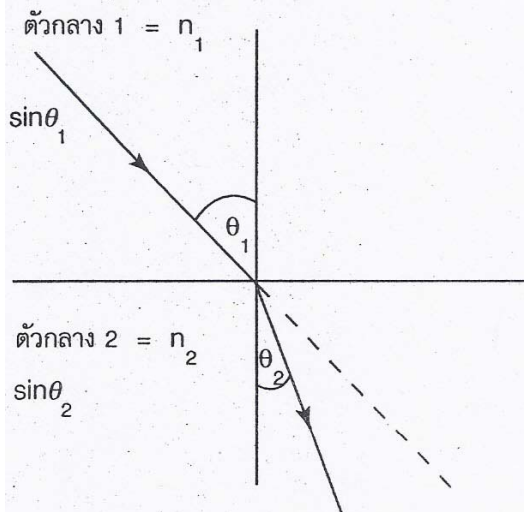


แนวคำในสูตรการหักเหของกฎสเนล

- 1) รังสีตกกระทบ เส้นแนวฉาก รังสีหักเหอยู่บนระนาบเดียวกัน
- 2) อัตราส่วนของไซน์ของมุมตกกระทบในตัวกลางที่หนึ่งกับไซน์ของมุมหักเหในตัวกลางที่ 2 จะมีค่าคงที่

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$$

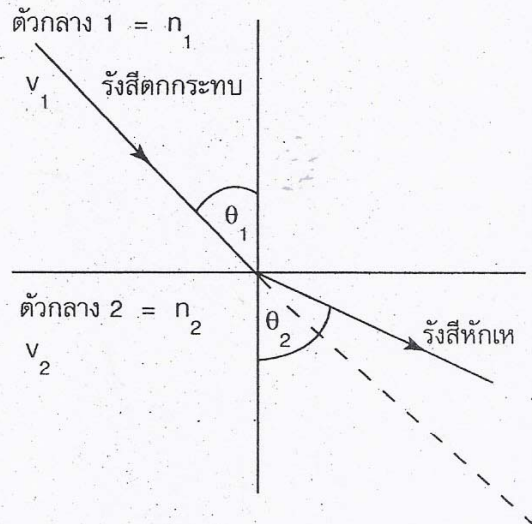
เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณให้ใช้สูตรที่คุ้นกัน



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

จะได้

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



จากสูตร $\frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$

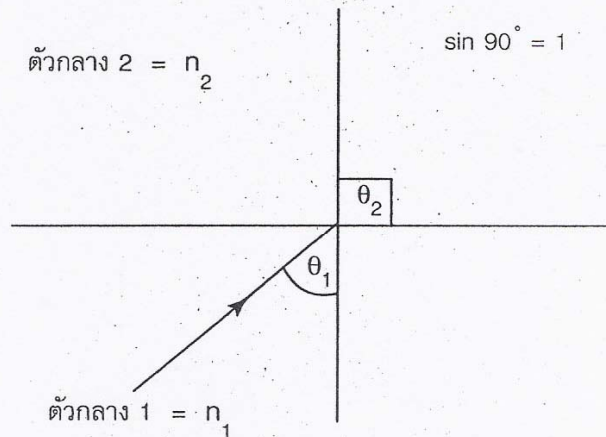
จะได้

$$n_1 v_1 = n_2 v_2$$

แสงเดินทางจากตัวกลาง 1 ไป 2 จะได้ $\frac{n_2}{n_1}$ อ่านว่า 2 เทียบ 1 (เทียบ แปลว่า หาร)

มุมวิกฤติ คือ มุมของรังสีตกกระทบ θ_1 ที่ทำให้มุมของรังสีหักเหเบนไปทำมุม 90°
 $(\theta_2 = 90^\circ)$

ในเรื่องแสงจะเกิดมุมวิกฤติได้ก็ต่อเมื่อแสงต้องเดินทางจาก n มาก ไป n น้อยเสมอ n อากาศ น้อยที่สุด (n อากาศ = 1)

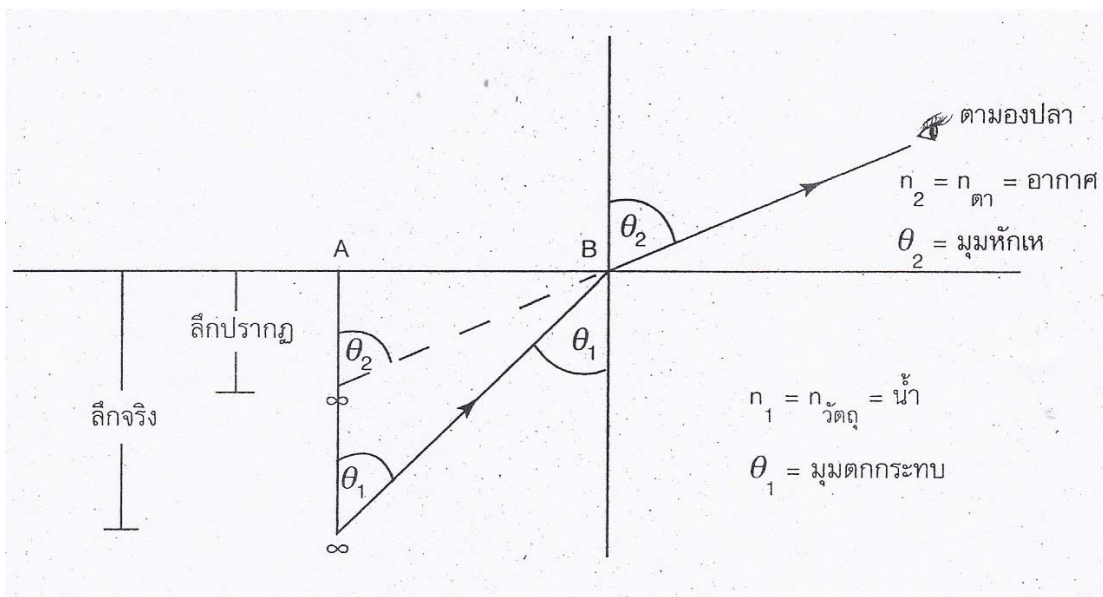


แทนสูตรการหักเห

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

การสะท้อนกลับหมด เมื่อ $\theta_1 >$ มุมวิกฤติ

ความจริงและปรากฏ



สูตรมองตรง

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

สูตรมองเฉียง

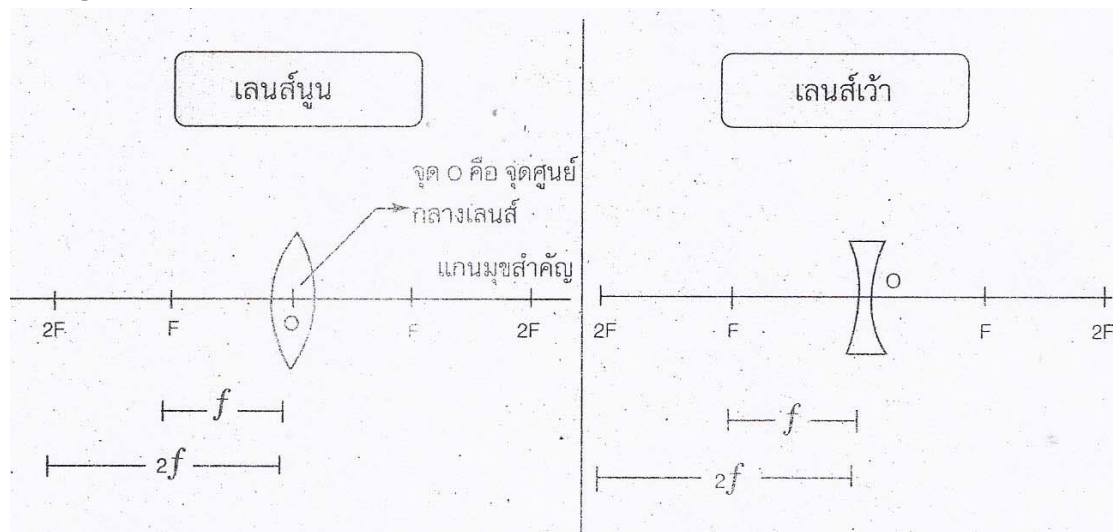
$$\frac{\text{ความลึกจริง}}{\text{ความลึกปรากฏ}} = \frac{\tan \theta_2}{\tan \theta_1} = \frac{n_1 \cos \theta_1}{n_2 \cos \theta_2}$$

เมื่อ θ_1 คือ มุมตกกระทบ และ θ_2 คือ มุมหักเห

n_1 คือ ดัชนีที่วัตถุอยู่ และ n_2 คือ ดัชนีที่ตาอยู่

ระยะย่อ = ลึกจริง - ลึกปรากฏ

เลนส์นูนและเลนส์เว้า



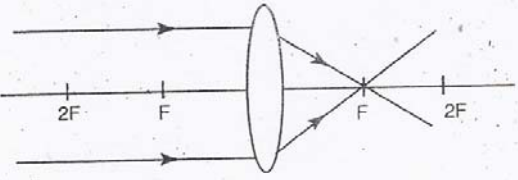
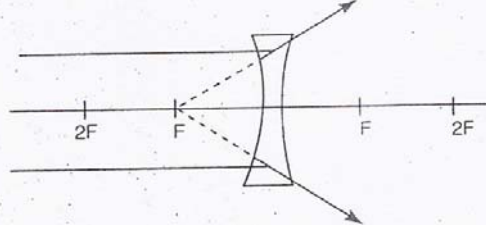
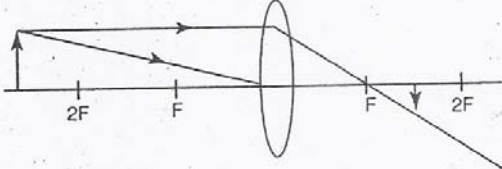
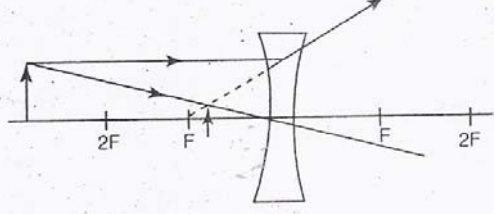
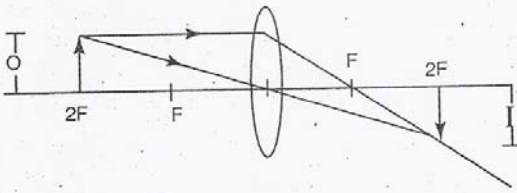
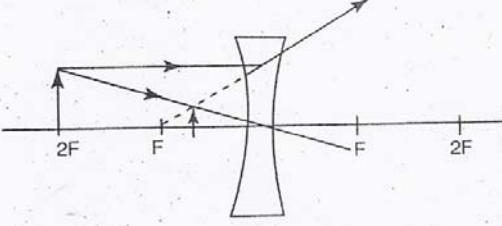
ส่วนประกอบของเลนส์นูนและเลนส์เว้า

- 1) จุด F = จุดโฟกัส
- 2) จุด 2F = จุดที่เป็น 2 เท่าของระยะโฟกัส
- 3) จุด O = จุดศูนย์กลางเลนส์
- 4) เส้นตรง FOF = เรียกว่า แกนमुखสำคัญ (แกน X)

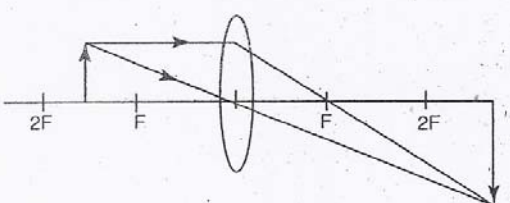
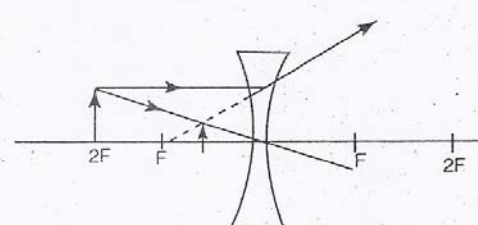
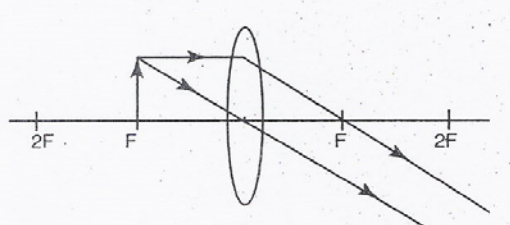
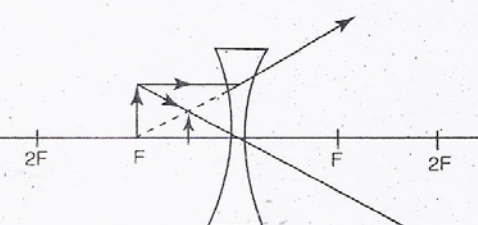
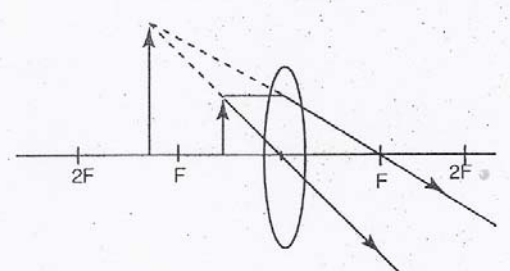
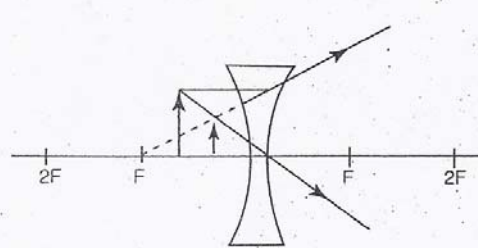
หลักการเขียนทางเดินของแสง เขียน 2 เส้นให้ตัดกัน

- 1) เส้นที่ 1 ให้ลากขนานกับแกนमुखสำคัญไปชนเลนส์
- 2) เส้นที่ 2 ให้ลากผ่านจุดศูนย์กลางเลนส์

เปรียบเทียบภาพที่เกิดจากเลนส์นูนและเลนส์เว้า

เลนส์นูน	เลนส์เว้า
 1) ระยะวัตถุ (s) อยู่ทีอนันต์ได้ภาพที่จุดโฟกัส	 1) ระยะวัตถุ (s) อยู่ทีอนันต์ได้ภาพเสมือนที่จุด F
 2) ระยะวัตถุ $s > 2f$ ได้ภาพจริงหัวกลับขนาดเล็กลงกว่าวัตถุ	 2) ระยะวัตถุ $s > 2f$ ได้ภาพเสมือนหัวตั้งขนาดเล็กลงกว่าวัตถุ
 3) ระยะวัตถุ $s = 2f$ ได้ภาพจริงหัวกลับขนาดเท่ากับวัตถุ	 3) ระยะวัตถุ $s = 2f$ ได้ภาพเสมือนหัวตั้งเล็กลงกว่าวัตถุ

เปรียบเทียบภาพที่เกิดจากเลนส์นูนและเลนส์เว้า

เลนส์นูน	เลนส์เว้า
 4) ระยะวัตถุ $f < s < 2f$ ได้ภาพจริงหัวกลับ ขนาดใหญ่กว่าวัตถุ	 4) ระยะวัตถุ $f < s < 2f$ ได้ภาพเสมือนหัว ตั้งขนาดเล็กกว่าวัตถุ
 5) ระยะวัตถุ $s = f$ ได้ภาพที่ระยะอนันต์	 5) ระยะวัตถุ $s = f$ ได้ภาพเสมือนหัวตั้ง ขนาดเล็กกว่าวัตถุ
 6) ระยะวัตถุ $s < f$ ได้ภาพเสมือนขนาดใหญ่ กว่าวัตถุ	 6) ระยะวัตถุ $s < f$ ได้ภาพเสมือนหัวตั้ง ขนาดเล็กกว่าวัตถุ

สูตรคำนวณเลนส์นูนและเลนส์เว้า

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \quad \text{สูตร 1}$$

กำหนดให้ f = ความยาวโฟกัส

s = ระยะวัตถุ

s' = ระยะภาพ

$$m = \frac{I}{O} = \frac{s}{s'} = \frac{f}{s - f} = \frac{s' - f}{f} \quad \text{สูตร 2}$$

กำหนดให้ m = กำลังขยาย

I = ความสูงของภาพ

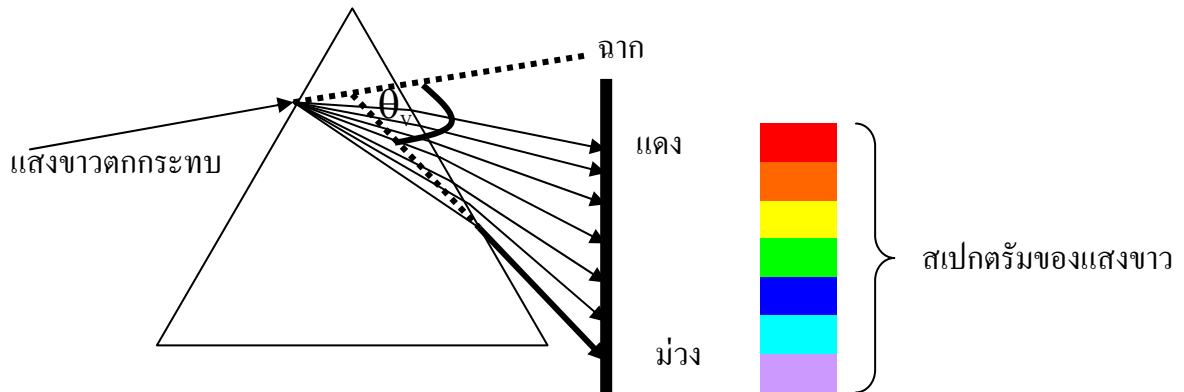
O = ความสูงของวัตถุ

การแทนค่าเครื่องหมาย	เลนส์นูน	เลนส์เว้า
1) โฟกัส (f)	แทน f เป็น (+) รวมแสง	แทน f เป็น (-) กระจายแสง
2) ระยะวัตถุ (s)	แทน (+) เสมอ	แทน (+) เสมอ
3) ระยะภาพ (s')	ภาพจริงแทน (+)	ภาพจริงไม่เกิด
	ภาพเสมือนแทน (-)	ภาพเสมือนแทน (-)
4) กำลังขยาย (m)	ภาพจริงแทน (+)	ภาพจริงไม่เกิด
	ภาพเสมือนแทน (-)	ภาพเสมือนแทน (-)

ปรากฏการณ์ที่เกี่ยวกับแสง

การกระจายของแสง

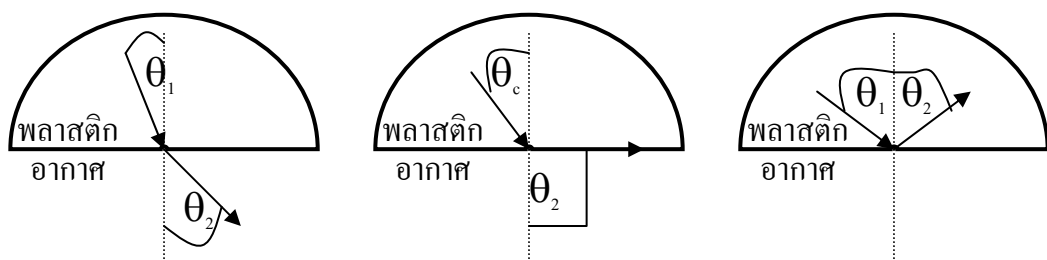
1) การกระจายแสงผ่านปริซึม เมื่อให้แสงขาวซึ่งประกอบด้วยแสงหลายสีผ่านปริซึมสามเหลี่ยม พบว่าแสงที่หักเหออกมาจากปริซึมจะไม่เป็นแสงขาว แต่จะมีสีต่าง ๆ กัน แสงแต่ละสีที่หักเหออกมาจะทำมุมหักเหต่าง ๆ กัน แสงแต่ละสีจึงปรากฏบนฉาก ณ ตำแหน่งต่าง ๆ กัน ดังรูป 1 ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การกระจายของแสง



รูป 1 การกระจายของแสง

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

2) การสะท้อนกลับหมด เมื่อแสงจากตัวกลางหนึ่งผ่านเข้าไปในตัวกลางหนึ่ง ซึ่งมีดัชนีหักเหมีค่าน้อยกว่าพบว่า มุมหักเห θ_2 ในตัวกลางที่ดัชนีหักเหมีค่ามากกว่าจะใหญ่กว่ามุมตกกระทบบ θ_1 เช่น เมื่อแสงจากแท่งพลาสติกผ่านเข้าไปในตัวกลางที่ดัชนีหักเหมีค่าน้อยกว่า เช่น จากพลาสติกไปยังอากาศ มุมหักเห θ_2 จะมีค่ามากกว่า มุมตกกระทบบ θ_1 และมุมหักเหนี้จะสามารถมีค่าได้เท่ากับ 90 องศา เมื่อได้มุมตกกระทบบที่ระดับหนึ่ง เรียกมุมตกกระทบบ ที่ทำให้เกิดมุมหักเหเท่ากับ 90 องศาว่ามุมวิกฤต (θ_c) และปรากฏการณ์นี้เรียกว่า **การสะท้อนกลับหมด** ดังรูป 2



รูป 2 การสะท้อนกลับหมด

ตัวอย่าง จงหามุมวิกฤตของแท่งพลาสติก ดรรชนีหักเหมีค่าประมาณ 1.5

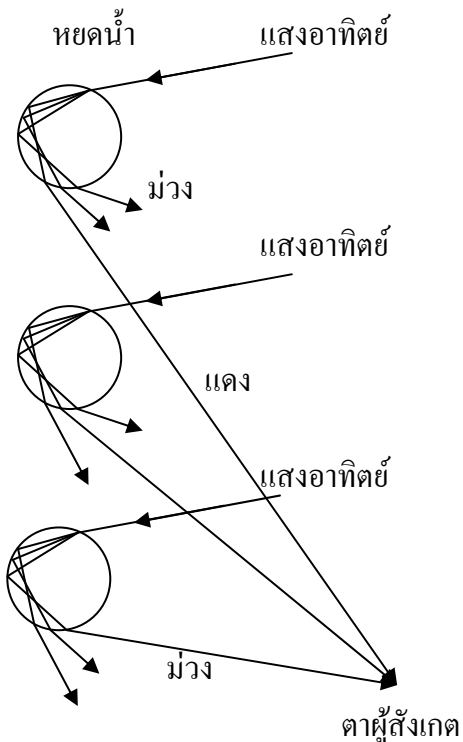
วิธีทำ เพราะพลาสติกมีความหนาแน่นมากกว่าอากาศ ดังนั้น แสงเกิดปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมด จะต้องคิดว่าแสงเดินทางแท่งพลาสติกไปยังอากาศ แท่งพลาสติกจึงเป็นตัวกลางที่ 1 และอากาศเป็นตัวกลางที่ 2

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad n_1 \sin \theta_1 &= n_2 \sin \theta_2 \\ n_1 &\text{ คือ ดรรชนีหักเหของแท่งพลาสติก เท่ากับ 1.5} \\ n_2 &\text{ คือ ดรรชนีหักเหของแท่งอากาศ เท่ากับ 1} \\ \theta_1 &\text{ คือ มุมตกกระทบ ซึ่งในที่นี้เท่ากับ มุมวิกฤต } \theta_c \\ \theta_2 &\text{ คือ มุมหักเหเท่ากับ } 90 \text{ องศา} \end{aligned}$$

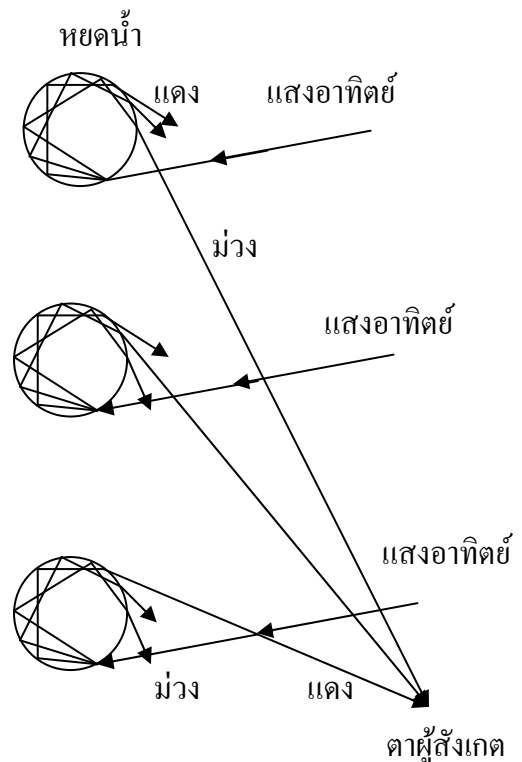
$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad 1.5 \sin \theta_c &= 1 \sin 90^\circ \\ \sin \theta_c &= 0.667 \\ \theta_c &= 42^\circ \end{aligned}$$

คำตอบ นั่นคือ มุมวิกฤตของแท่งพลาสติก มีค่าประมาณ 42 องศา

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



รูป 3 ก รุ้งปฐมภูมิ

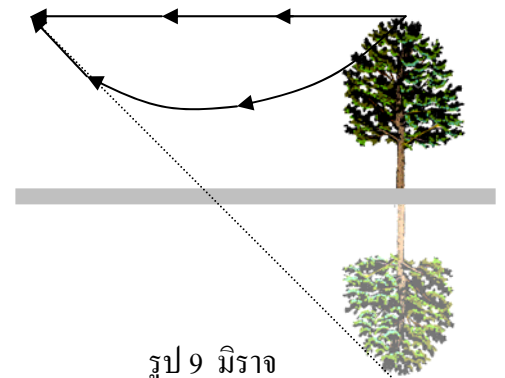


รูป 3 ข รุ้งทุติยภูมิ

3.1 รุ้งปฐมภูมิ เกิดจากแสงแดดตกกระทบเข้ามาทางด้านบนของละอองน้ำ แล้วเกิดการกระจายของแสงในละอองน้ำ และการสะท้อนกลับหมดภายในละอองน้ำหนึ่งครั้ง จึงหักเหออกจากละอองน้ำสู่อากาศ ดังรูป 3 ก. ดังนั้นรุ้งปฐมภูมิเกิดการหักเห 2 ครั้ง สะท้อน 1 ครั้ง (หักเห → สะท้อน → หักเห) รุ้งปฐมภูมิมีสีแดงอยู่ด้านบน และสีม่วงอยู่ด้านล่าง

3.2 รุ้งทุติยภูมิ เกิดจากแสงแดดตกกระทบเข้ามาทางด้านล่างของละอองน้ำ แล้วเกิดการกระจายของแสงภายในละอองน้ำ จากนั้นก็เกิดการสะท้อนกลับหมดภายในละอองน้ำ 2 ครั้ง จึงหักเหออกจากละอองน้ำสู่อากาศ ดังรูป 3 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 เป็นพื้นฐาน ของเครื่องฉายภาพยนตร์และเครื่องฉายข้ามศีรษะ โดยใช้หลัก ให้แสงผ่านวัตถุ (แผ่นสไลด์ แผ่นฟิล์ม แผ่นใส) เมื่อแสงจากวัตถุหักเหผ่านเลนส์ฉายภาพ จะทำให้เกิดภาพจริงขนาดขยาย



รูป 1 เครื่องฉายภาพนิ่ง



รูป 2 เครื่องฉายข้ามศีรษะ



รูป 3 กล้องถ่ายรูป

2) กล้องถ่ายรูป มีส่วนประกอบที่สำคัญ ดังนี้

1. **ตัวกล้อง** 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 เซลล์โรค ให้มีขนาดขยายใหญ่ขึ้นมาก ๆ จนมองเห็นได้ชัดเจน กล้องจุลทรรศน์ประกอบด้วยเลนส์นูน 2 อัน คือ

1. **เลนส์ใกล้วัตถุ** เป็นเลนส์ที่อยู่ใกล้วัตถุ มีความยาวโฟกัสสั้นมาก และเป็นเลนส์หนา เพื่อให้มีกำลังขยายสูง ถ้าปรับเลนส์ใกล้วัตถุให้ห่างจากวัตถุมากกว่าความยาวโฟกัส จะได้ภาพจริง ขนาดใหญ่กว่าวัตถุ ภาพนี้จะเกิดระหว่างเลนส์ทั้งสอง

2. **เลนส์ใกล้ตา** เป็นเลนส์ที่อยู่ใกล้ตา มีความยาวโฟกัสมากกว่าเลนส์วัตถุ ทำหน้าที่รับแสงจากภาพ ที่เกิดจากเลนส์ใกล้วัตถุ เพื่อทำให้เกิดภาพเสมือนขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นภาพที่ตามองเห็น

4) **กล้องโทรทรรศน์** เป็นกล้องที่ใช้สำหรับส่องดูวัตถุที่อยู่ไกล ๆ เพื่อให้เห็นใกล้เข้ามา และมีขนาดใหญ่ขึ้น กล้องโทรทรรศน์ประกอบด้วยเลนส์นูน 2 อัน คือ

1. **เลนส์ใกล้วัตถุ** เป็นเลนส์ที่มีความยาวโฟกัสมาก ทำหน้าที่รับแสงขนานจากวัตถุที่อยู่ไกล ๆ แล้วทำให้เกิดภาพจริงหัวกลับ

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



รูป 4 กล้องจุลทรรศน์

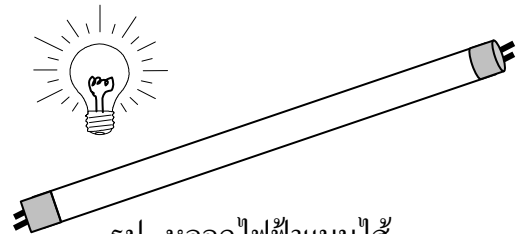
ความสว่าง

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

ตาราง 1 แสดงการเปรียบเทียบฟลักซ์ส่องสว่างของหลอดไฟสองชนิด

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

จากตาราง 1 จะเห็นได้ว่าฟลักซ์ส่องสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์มากกว่าแบบไส้ประมาณ 6 เท่า ดังนั้นเมื่อหลอดทั้งสองใช้กำลังไฟฟ้าเท่ากันประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นความสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์จึงสูงกว่าแบบไส้



รูป หลอดไฟฟ้าแบบไส้ และหลอดฟลูออเรสเซนต์

ถ้าพิจารณาพื้นที่รับแสง ความสว่างบนพื้นที่หาได้

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

ดังนั้น 1 ลักซ์ = 1 ลูเมนต่อตารางเมตร

ตัวอย่าง ติดหลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์ 40 วัตต์ 3 หลอด โดยมีตัวสะท้อนแสงให้พลังงานแสงทั้งหมดตกบนพื้นโต๊ะที่มีพื้นที่ 10 ตารางเมตร ให้หาความสว่างบนพื้นโต๊ะนี้

วิธีทำ เนื่องจากมีตัวสะท้อนแสงจึงอาจถือว่าพลังงานแสงทั้งหมดตกบนพื้นโต๊ะ 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 ติดหลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์ 40 วัตต์ ที่มีฟลักซ์ส่องสว่าง 2,700 ลูเมน ในห้องสี่เหลี่ยมที่มีขนาด 3 x 2 x 2 เมตร ความสว่างของห้องนี้โดยเฉลี่ยมีค่าเท่าไร ให้ฟลักซ์ส่องสว่างที่สูญเสียไปเนื่องจากตัวสะท้อนแสงเท่ากับ 500 ลูเมน และแสงกระทบเพดานห้องน้อยมาก

วิธีทำ พื้นที่ของห้องนี้ = พื้นที่ของห้อง + พื้นที่ของผนังทั้งสี่

$$= (2 \times 3) + \{ (3 \times 2) + (2 \times 2) + (3 \times 2) + (2 \times 2) \}$$

$$= 6 + (6 + 4 + 6 + 4) = 26 \quad \text{ตารางเมตร}$$

ฟลักซ์ส่องสว่างที่ตกกระทบพื้นทั้งหมด = $2,700 - 500$ ลูเมน

$$= 2,200 \quad \text{ลูเมน}$$

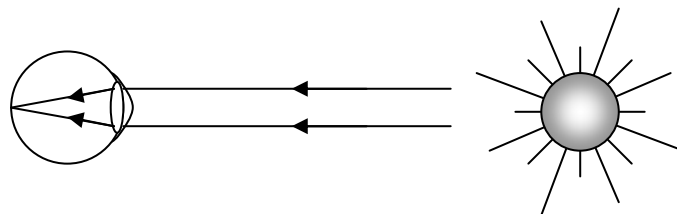
เพราะฉะนั้นความสว่างโดยเฉลี่ย = $\frac{2,200}{26} = 84.6$

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



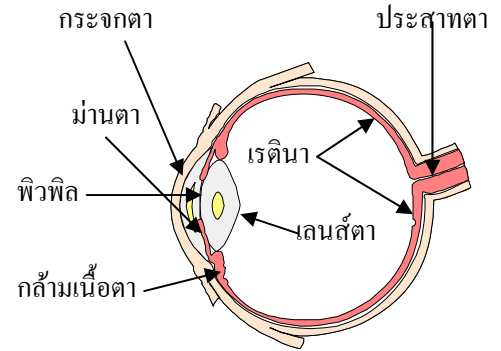
รูป การหักเหของแสงภายในตาไปตกบนเรตินา

2) การดูวัตถุที่มีความสว่างน้อย การดูวัตถุที่มีความสว่างน้อยไม่ทำอันตรายเรตินา แต่เป็นการดูที่ต้องเพ่งพิจารณา เช่น การอ่านหนังสือ กล้ามเนื้อตาจะต้องทำงานหนักกว่าปกติ และถ้าอ่านในที่ที่มีความสว่างน้อยเป็นระยะเวลานานหรือบ่อย กล้ามเนื้อตาจะเสื่อมเร็วกว่าที่ควร

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

ตาและการมองเห็นสี

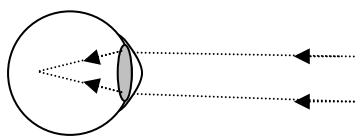
ตาคนและกล้องถ่ายรูปมีส่วนประกอบที่ทำหน้าที่คล้ายกันมาก ตาประกอบด้วยเลนส์ตาเป็นเลนส์รับแสงเรตินาทำหน้าที่คล้ายฟิล์มถ่ายรูป ถัดจากเรตินาเป็นใยประสาทซึ่งติดต่อกับประสาทตา ผ่านไปยังสมอง เวลามีสว่างจากวัตถุตกบนเลนส์ตาจะเกิดภาพชัดที่เรตินา ตาจะเห็นวัตถุในลักษณะเดียวกับภาพของวัตถุที่ตกบนฟิล์มถ่ายรูป นอกจากนี้ตายังมีม่านตาเพื่อทำหน้าที่ปรับความเข้มของแสงบนเรตินาให้เหมาะสมโดยเปลี่ยนขนาดของพupil ม่านตาจึงทำหน้าที่คล้ายไดอะแฟรมของกล้องถ่ายรูป นอกจากนี้ตายังมีกล้ามเนื้อยึดเลนส์ตาทำหน้าที่บังคับเลนส์ตาให้หนาหรือบางเพื่อก่อให้เกิดภาพชัดบนเรตินา ส่วนนี้แตกต่างจากกล้องถ่ายรูป เพราะกล้องถ่ายรูปใช้วิธีเลื่อนตำแหน่งเลนส์เพื่อก่อให้เกิดภาพชัดบนฟิล์ม



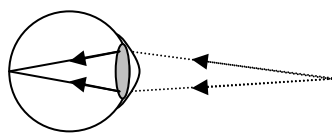
รูป ส่วนประกอบที่สำคัญตา

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

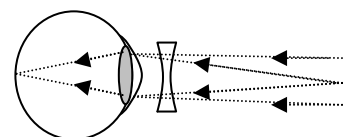
สำหรับคนสายตาสั้น ระยะไกลที่ตามองเห็นภาพชัด จะไม่ใช่ระยะอนันต์ (จุดไกล) แต่จะเห็นภาพชัดคือ จุดใกล้ การแก้ไขให้มองเห็นภาพชัดเหมือนสายตปกติ จะต้องสวมแว่นที่ทำด้วยเลนส์เว้า ดังรูป



รูป ก.จุดไกลภาพไม่ชัด

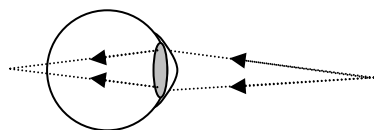


รูป ข .ภาพชัดที่จุดใกล้

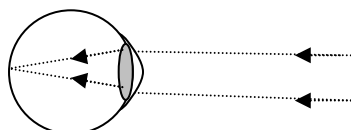


รูป ค .การแก้ไขใช้เลนส์เว้า

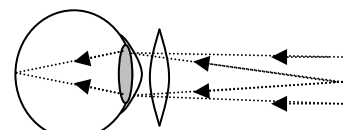
สำหรับคนสายตายาว ระยะใกล้ที่ตามองเห็นภาพชัด จะไม่ใช่จุดใกล้ แต่จะเห็นภาพชัดที่ จุดไกล คือ ระยะอนันต์ การแก้ไขให้มองเห็นภาพชัดเหมือนคนสายตปกติ จะต้องสวมแว่นที่ทำด้วยเลนส์นูน ดังรูป



รูป ก.จุดใกล้ภาพไม่ชัด



รูป ข .ภาพชัดที่จุดไกล



รูป 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 การที่จากรังสีต่าง ๆ ของตัวกลาง ก่อนเข้าสู่ตาเรา เช่น แสงขาวของดวงอาทิตย์ เมื่อผ่านปริซึม จะมองเห็นแสงสีถึง 7 สี เป็นต้น หรือ แสงสีต่าง ๆ ผ่านแผ่นกรองแสงสี เพื่อต้องการให้ได้แสงสีที่ต้องการ

จากการให้แสงตกกระทบวัตถุ จะพบว่าเราอาจแบ่งชนิดวัตถุตามปริมาณ และลักษณะที่แสงผ่านวัตถุ ดังนี้

1. **วัตถุโปร่งใส** คือ วัตถุที่ให้แสงผ่านไปได้เกือบทั้งหมดอย่างเป็นระเบียบ เราจึงสามารถมองผ่านวัตถุชนิดนี้ได้ชัดเจน ตัวอย่างวัตถุชนิดนี้ได้แก่ กระจกใส และ อควาไร เป็นต้น

2. **วัตถุโปร่งแสง** คือ วัตถุที่ให้แสงผ่านไปได้อย่างไม่เป็นระเบียบ ดังนั้นเราจึงไม่สามารถมองผ่านวัตถุนี้ได้ชัดเจน ตัวอย่างวัตถุชนิดนี้ได้แก่ น้ำขุ่น กระจกฝ้า และกระดาษขุ่น

3. **วัตถุทึบแสง** คือ วัตถุที่ไม่ให้แสงผ่านเลย แสงทั้งหมดจะถูกดูดกลืนไว้หรือสะท้อนกลับเราจึงไม่สามารถมองผ่านวัตถุชนิดนี้ได้ ตัวอย่างของวัตถุชนิดนี้ได้แก่ ไม้ ผนังตึก และกระจกเงา

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

1) **การผสมสารสี** การที่เรามองเห็นวัตถุเป็นสีต่าง ๆ ส่วนใหญ่เราเห็นสีเนื่องมาจากแสงที่สะท้อนมาจากวัตถุ มากกว่าเห็นสีจากแสงที่ทะลุผ่านวัตถุ ดังนั้นสีตามธรรมชาติของวัตถุ ที่เราต้องการเห็น จะต้องดูวัตถุนั้นด้วยแสงขาวของดวงอาทิตย์ เมื่อเป็นเช่นนั้นสีของวัตถุที่เห็น จะต้องมีสิ่งที่กำหนดสีบนวัตถุ ได้แก่ แสงที่กระทบผิววัตถุ และสารสีบนวัตถุ (สารสีที่ผสมในเนื้อวัตถุ)

สารสีต่าง ๆ ที่อยู่ภายในเนื้อวัตถุ ที่ไม่สามารถสร้างขึ้นได้จากการผสมสารสีต่าง ๆ เข้าด้วยกันมี อยู่ 3 สี คือ สีเหลือง สีแดงม่วง และสีน้ำเงินเขียว ซึ่งเรียกว่า สารสีปฐมภูมิ สารสีทั้ง 3 นี้ จะมีหน้าที่ดังนี้

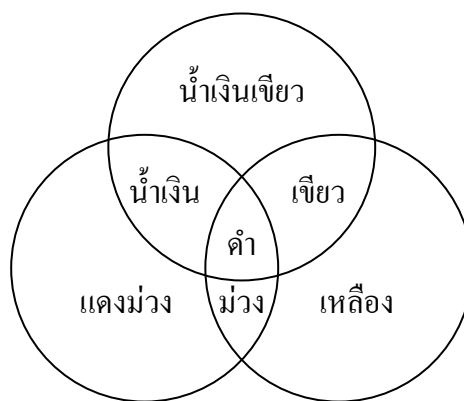
สารสีเหลือง จะไม่ดูดกลืนแถบสีเหลืองที่อยู่ถัดสีแดง นอกนั้นดูดกลืนหมด

สารสีแดงม่วง จะไม่ดูดกลืนแถบสีแดง นอกนั้นดูดกลืนหมด

สารสีน้ำเงินเขียว จะไม่ดูดกลืนแถบสีน้ำเงินม่วง นอกนั้นดูดกลืนหมด

ถ้านำสารสีปฐมภูมิทั้ง 3 สี มาผสมกันด้วยปริมาณที่เท่า ๆ กัน จะได้ สารสีดำ ซึ่งมีสมบัติดูดกลืนแสงสีทุกแถบสีในสเปกตรัมของแสงขาว

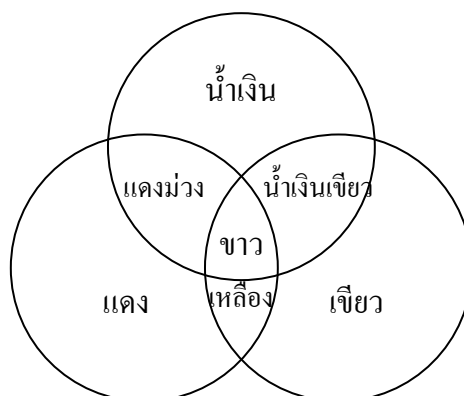
ถ้านำสารสีปฐมภูมิทั้ง 3 สี มาผสมกัน ด้วยสัดส่วนต่าง ๆ กัน จะเกิดเป็นสารผสมได้หลายสี ยกเว้น สารสีขาว ไม่อาจทำให้เกิดได้ด้วยการผสมสารสีอื่น ๆ ดังรูป



รูป แสดงการผสมสารสีปฐมภูมิ

2) การผสมแสงสี

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



รูป แสดงการผสมแสงสีปฐมภูมิบนฉากขาว