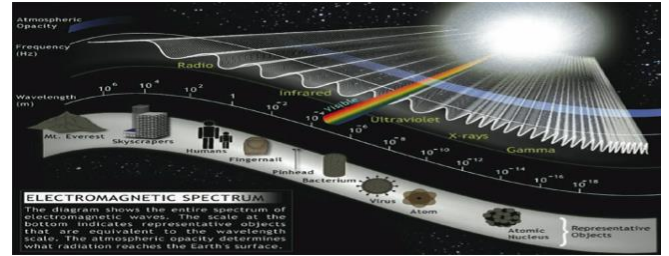
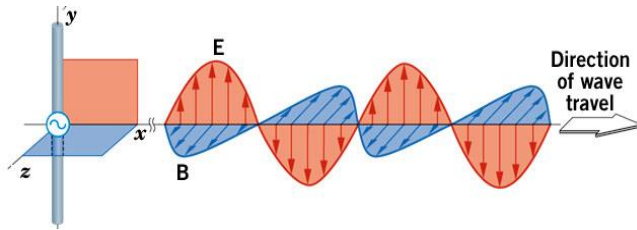


แสง (light)

ธรรมชาติของแสง

- แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและเป็นคลื่นตามขวาง
- แสงเป็นคลื่นเนื่องจากแสดงคุณสมบัติ 4 ประการ ได้แก่ สะท้อน หักเห เลี้ยวเบน และแทรกสอด
- แสงเป็นอนุภาคเพราะมีโมเมนตัม

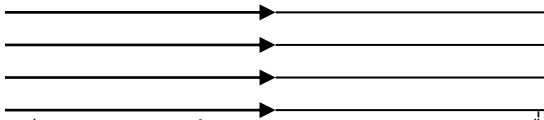


การเคลื่อนที่ของแสง

แสงเดินทางเป็นเส้นตรงออกจากแหล่งกำเนิด

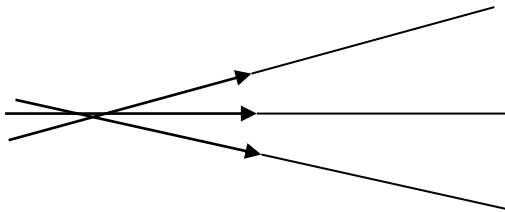
รังสีของแสง คือ เส้นตรงที่แสดงแนวการเคลื่อนที่ของแสง รังสีของแสงแบ่งออกเป็น 3 แบบ ดังนี้

1. รังสีขนาน



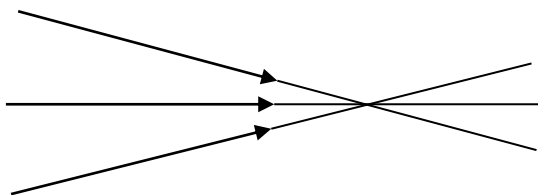
รังสีขนาน ความเข้มจะเท่ากันทุกตำแหน่งเกิดเมื่อแหล่งกำเนิดแสงอยู่ไกลมากๆ

2. รังสีกระจาย



รังสีกระจาย ความเข้มจะค่อยๆลดลงไปเรื่อยๆเกิดเมื่อแหล่งกำเนิดแสงเป็นจุด

3. รังสีรวมแสง



รังสีรวมแสง ความเข้มจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆโดยที่ความเข้มจะมากที่สุด บริเวณที่รังสีของแสงรวมกัน

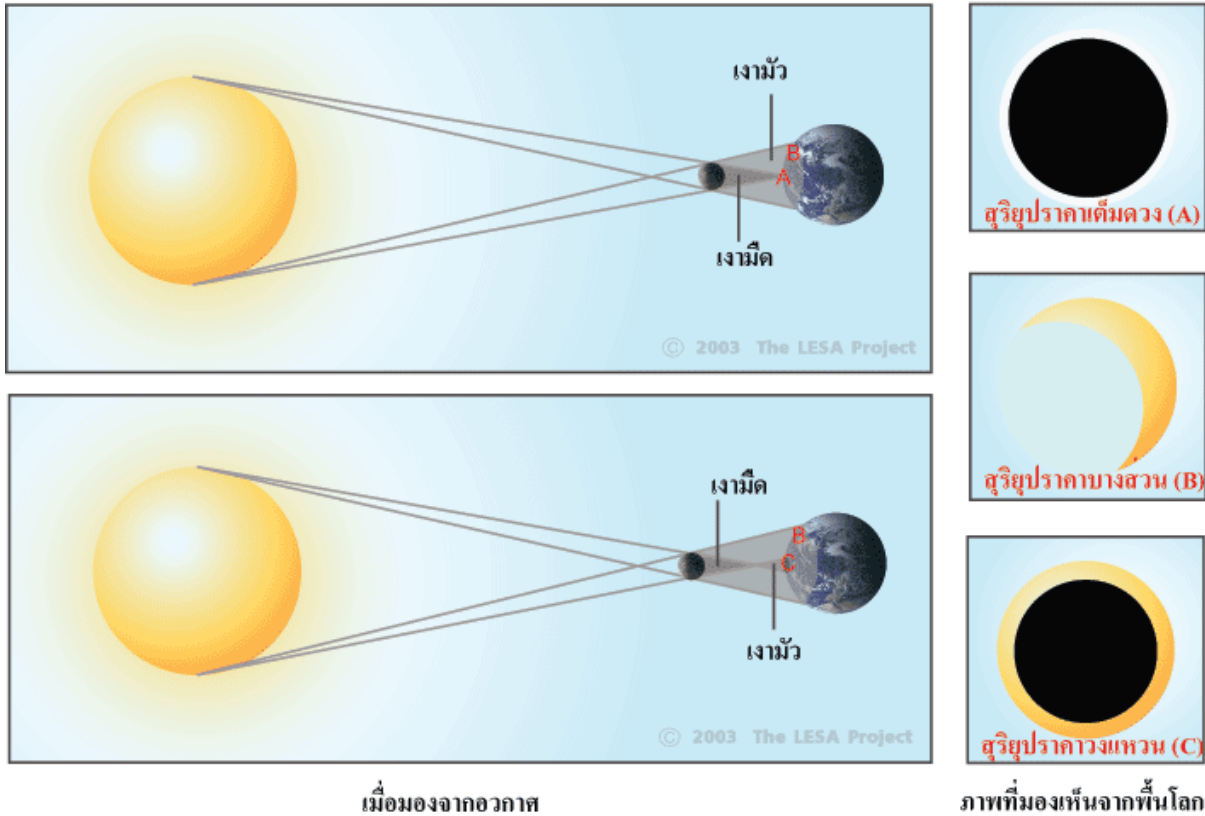
การเกิดเงาของวัตถุ

1. ถ้าแหล่งกำเนิดแสงเป็นจุดจะเกิดเฉพาะเงามืด

2. ถ้าแหล่งกำเนิดแสงมีขนาด แล้วจะเกิดได้ทั้งเงามืดและเงามัว สามารถพิจารณาได้ 2 กรณี ได้แก่

ก. ถ้าแหล่งกำเนิดแสงมีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับขนาดวัตถุ แล้วจะเกิดเงามัว รอบเงามืด ไม่ว่าจะวางฉากรับแสงไว้ที่ใดก็ตาม

ข. ถ้าแหล่งกำเนิดแสงมีขนาดใหญ่กว่าวัตถุ แล้วจะเกิดเงามัวรอบเงามืดที่ฉากรับแสง ยกเว้นฉากรับแสงที่อยู่ตำแหน่ง A จะเกิดเฉพาะเงามัว



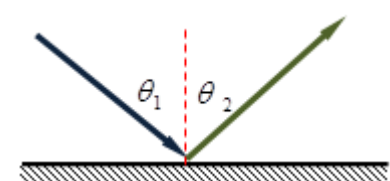
เมื่อมองจากอวกาศ

ภาพที่มองเห็นจากพื้นโลก

อัตราเร็วแสง

ในสุญญากาศ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งรวมทั้งแสง จะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ด้วยอัตราเร็วเท่ากันคือ 299,792, 458 m/s หรือประมาณ 3×10^8 เมตรต่อวินาที (ปีแสง คือ ระยะทางที่แสงเคลื่อนที่ได้ในเวลา 1 ปี)

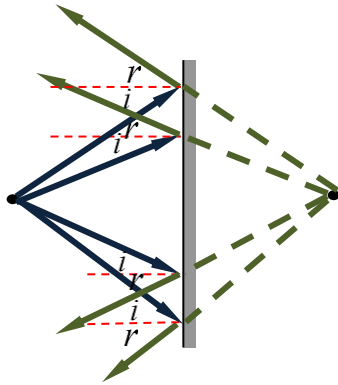
กฎการสะท้อนของแสงมี 2 ข้อ ณ ตำแหน่งที่แสงตกกระทบ ที่ผิววัตถุใดๆ



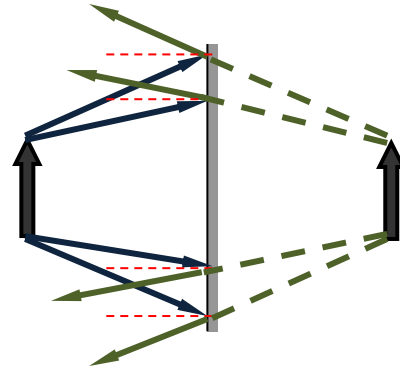
- 1) รังสีตกกระทบ รังสีสะท้อน และเส้นปกติ อยู่ในระนาบเดียวกัน
- 2) มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน ($\theta_1 = \theta_2$)

หลักการเขียนรังสีของแสงเพื่อหาตำแหน่งภาพของวัตถุในกระจกเงาราบ มีดังนี้

- 1) เขียนรังสีของแสงจากจุดหนึ่งของวัตถุอย่างน้อย 2 รังสี ไปตกกระทบบนกระจกเงาราบ โดยให้รังสีทั้งสองมีมุมตกกระทบบนกระจกเงาราบต่างกันเล็กน้อย
- 2) วาดรังสีสะท้อนที่เกิดจากรังสีตกกระทบบนข้อ 1) ต่อแนวรังสีสะท้อนด้วยเส้นประไปในทิศทางตรงข้ามกับรังสีสะท้อน จุดที่แนวเส้นประตัดกันคือตำแหน่งภาพที่เกิดจากกระจกเงาราบ แสดงดังรูป



เมื่อวัตถุเป็นจุด

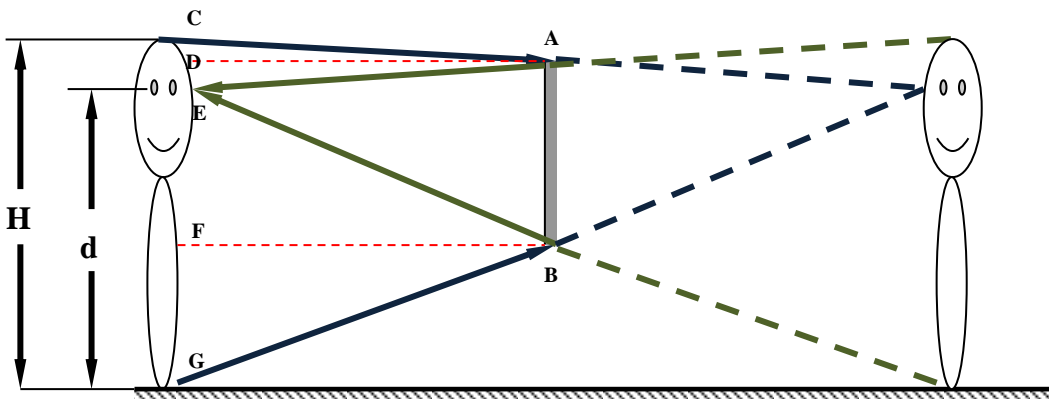


เมื่อวัตถุมีขนาด

ภาพที่ได้จากกระจกเงาราบ มีสมบัติดังนี้

- 1) ระยะภาพเท่ากับระยะวัตถุ $S' = S$
- 2) ขนาดภาพเท่ากับขนาดวัตถุ $y' = y$
- 3) เป็นภาพเสมือนหัวตั้งกลับซ้ายเป็นขวากลับขวาเป็นซ้าย

4. วัตถุที่สูงกว่ากระจกเงาราบ จะเห็นภาพของวัตถุทุกส่วนได้หรือ สามารถแสดงวิธีการหาคำตอบ ได้ โดยการเขียนรังสีของแสง



เนื่องจาก

เส้นตรง AD เป็นเส้นแนวฉาก ดังนั้น $\triangle CAD = \triangle DAE$ ทุกประการ $\therefore CD = DE$

เส้นตรง BF เป็นเส้นแนวฉาก ดังนั้น $\triangle EBF = \triangle FBG$ ทุกประการ $\therefore EF = FG$

จะได้ $DE + EF = CD + FG$

แต่ $DE + EF + CD + FG = H$

ดังนั้น $DE + EF = H/2 = AB$

B อยู่สูงจากพื้น = $d/2$

A อยู่ที่ตำแหน่งห่างจากส่วนบนสุดของร่างกาย = $\frac{H-d}{2}$

วัตถุที่สูงกว่ากระจกเงาราบ จะเห็นภาพของวัตถุทุกส่วนสามารถสรุปได้ว่า

- 1) กระจกต้องยาวอย่างน้อย ครึ่งหนึ่งของความสูงทั้งหมดของคน
- 2) ขอบล่างกระจกอยู่สูงจากพื้น = ครึ่งหนึ่งของระยะจากพื้นถึงระดับสายตา
- 3) ขอบบนกระจกห่างจากตำแหน่งบนสุดของร่างกาย = ครึ่งหนึ่งของระยะจากตำแหน่งบนสุดของร่างกายถึงระดับสายตา

การหาความเร็วของภาพเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ หรือกระจกเคลื่อนที่

กรณีที่ 1 วัตถุเคลื่อนที่เข้าหา (หรือออกจาก) กระจกที่หยุดนิ่ง

- 1) ผู้สังเกตภายนอก จะเห็นอัตราเร็วภาพ = อัตราเร็ววัตถุ

$$v_{\text{ภาพ}} = v_{\text{วัตถุ}}$$

- 2) วัตถุมองภาพของตัวเอง จะเห็นอัตราเร็วภาพเป็น 2 เท่าของอัตราเร็ววัตถุ

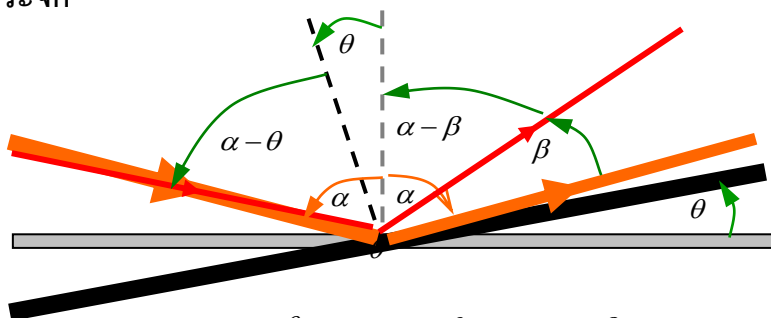
$$v_{\text{ภาพ}} = 2v_{\text{วัตถุ}}$$

กรณีที่ 2 กระจกเคลื่อนที่เข้าหา (หรือออกจาก) วัตถุที่หยุดนิ่ง

ทั้งผู้สังเกตภายนอกและวัตถุมองภาพตัวเองจะเห็นอัตราเร็วของภาพ เป็น 2 เท่าของอัตราเร็วกระจก

$$v_{\text{ภาพ}} = 2v_{\text{กระจก}}$$

การปิดกระจก



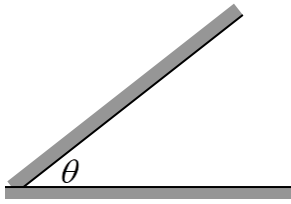
$$\alpha - \theta = \theta + \alpha - \beta$$

$$\therefore \beta = 2\theta$$

ถ้า ขนาดของมุมที่กระจกเบนไปจากแนวเดิม = θ

ขนาดของมุมสะท้อนจะเบนไปจากแนวเดิม = 2θ

การหาจำนวนภาพที่เกิดขึ้นจากการที่กระจกสองบานวางทำมุมต่อกัน ดังนี้



ถ้ามีวัตถุอยู่ระหว่างกระจก 2 บานที่วางทำมุมกัน θ

จำนวนภาพที่ปรากฏบนกระจกทั้งหมด คือ

$$n = \frac{360^\circ}{\theta} - 1 \quad \text{เศษปัดขึ้น}$$

การเกิดภาพในกระจกโค้ง

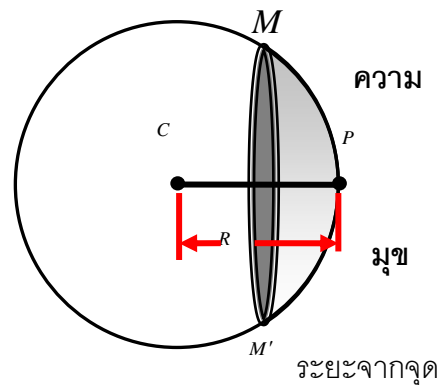
องค์ประกอบของกระจกโค้งทรงกลม

C คือ จุดศูนย์กลางทรงกลม หรือ “จุดศูนย์กลางโค้งของกระจก” (เป็นจุดที่เส้นแนวฉากทุกเส้นมาตัดกัน)

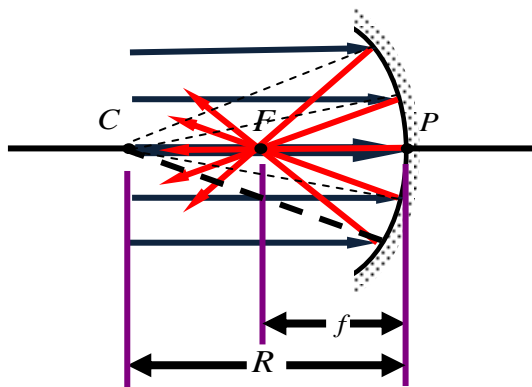
V คือ จุดกึ่งกลางของผิวกระจกโค้ง หรือ “ขั้วกระจก”
เส้นตรงที่ลากผ่านจุด C ไปยังตำแหน่ง P เรียกว่า “เส้นแกนสำคัญ”

R คือ รัศมีทรงกลม หรือ “รัศมีความโค้งของกระจก” (วัด C ถึง จุด P)

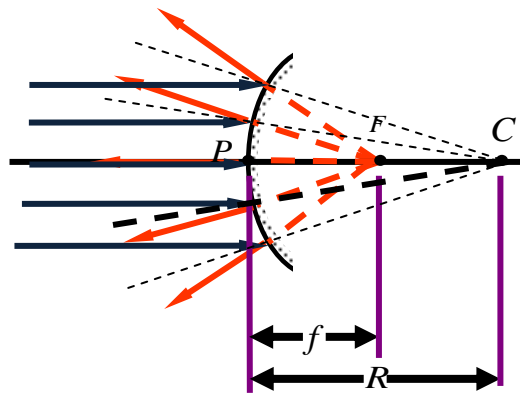
MM' คือ ความกว้างของกระจก มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับรัศมีความโค้ง



การหาจุดโฟกัส และระยะโฟกัสของกระจกเว้า



การหาจุดโฟกัส และระยะโฟกัสของกระจกนูน



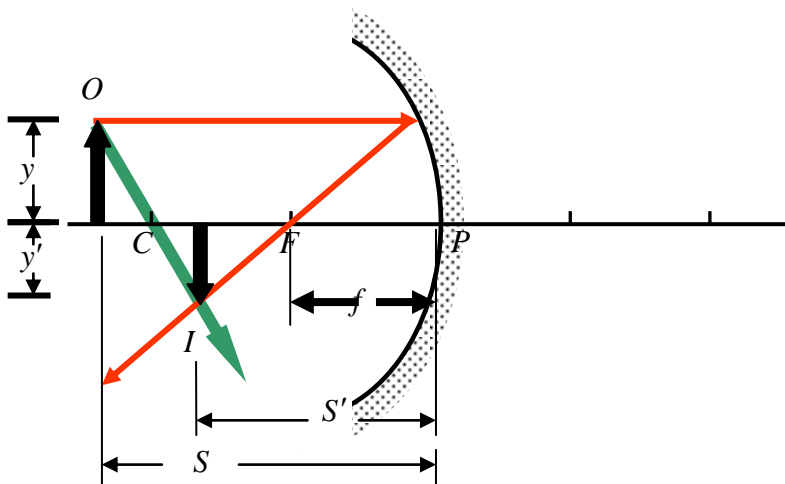
F คือ จุดโฟกัส (เป็นจุดที่รังสีสะท้อนทุกเส้นจะมาตัดกันเสมอ)

f คือ ระยะโฟกัส

ซึ่ง $|f| = \frac{R}{2}$

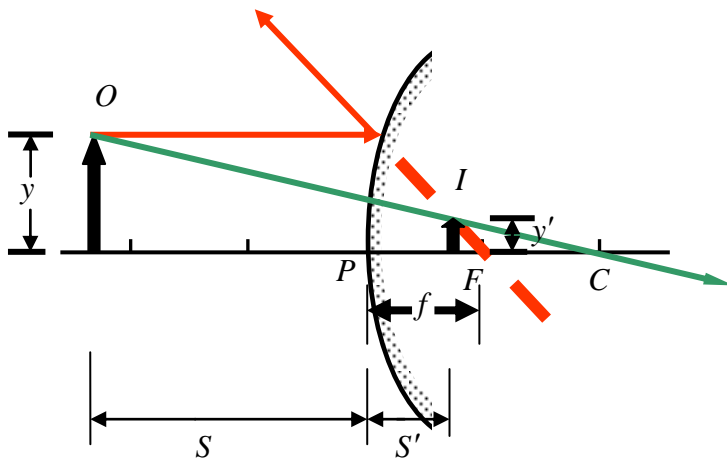
การหาดำแหน่งของภาพในกระจกโค้งทรงกลมโดยการวาดภาพ สำหรับกระจกเว้า

- 1) ลากรังสีจากปลายวัตถุขนานกับแกนमुखสำคัญไปตกกระทบบนผิวกระจก แล้วลากรังสีสะท้อนผ่านจุดโฟกัส (F)
 - 2) ลากรังสีเส้นที่สองจากปลายวัตถุเดิม ผ่านจุดศูนย์กลางความโค้ง (C) มาตัดกับรังสีในข้อ 1)
- “ตำแหน่งที่รังสีทั้งสองตัดกันคือตำแหน่งภาพ” ดังรูป



สำหรับกระจกนูน

- 1) ลากรังสีจากปลายวัตถุขนานกับแกนमुखสำคัญไปตกกระทบบนผิวกระจก แล้วลากรังสีสะท้อนและต่อแนวเส้นประไปยังจุดโฟกัส (F)
 - 2) ลากรังสีเส้นที่สองจากปลายวัตถุเดิม ผ่านจุดศูนย์กลางความโค้ง (C) มาตัดกับรังสีในข้อ 1)
- “ตำแหน่งที่รังสีทั้งสองตัดกันคือตำแหน่งภาพ” ดังรูป



ชนิดของภาพที่เกิดขึ้นในกระจกโค้งทรงกลม

ภาพจริง คือ ภาพที่เกิดจากการตัดกันจริงของรังสีสะท้อน สามารถใช้ฉากรับได้ และเกิดหน้ากระจก

ภาพเสมือน คือ ภาพที่เกิดจากการต่อแนวรังสีสะท้อนไปตัดกันหลังกระจก

ซึ่ง**ไม่**สามารถใช้ฉากรับได้ และเกิดหลังกระจก

การคำนวณเกี่ยวกับกระจกโค้งทรงกลม

<p>\$S\$ คือ ระยะวัตถุ</p> <p>\$S'\$ คือ ระยะภาพ</p> <p>\$f\$ คือ ระยะโฟกัส</p> <p>\$y\$ คือ ขนาดวัตถุ</p> <p>\$y'\$ คือ ขนาดภาพ</p>	}	มีความสัมพันธ์เป็น	$\frac{1}{f} = \frac{1}{S} + \frac{1}{S'}$
--	---	--------------------	--

การขยาย (หรือ กำลังขยาย)

คือ อัตราส่วนระหว่างระยะภาพต่อระยะวัตถุ หรือ ขนาดภาพต่อขนาดวัตถุ

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

โดยที่

\$M\$ คือ การขยาย

\$S'\$ คือ ระยะวัตถุ

\$S\$ คือ ระยะภาพ

\$y\$ คือ ขนาดวัตถุ

\$y'\$ คือ ขนาดภาพ

ชนิดของภาพที่เกิดขึ้น

เป็นภาพจริงเมื่อการขยายเป็น บวก

เป็นภาพเสมือนเมื่อการขยายเป็นลบ

สรุปความสัมพันธ์ที่ใช้ในการคำนวณเกี่ยวกับการเกิดภาพในกระจกโค้งทรงกลม

$$M = \frac{S'}{S} = \frac{y'}{y} = \frac{S' - f}{f} = \frac{f}{S - f}$$

การพิจารณาเครื่องหมาย

f เป็น + สำหรับกระจกโค้งเว้า

f เป็น - สำหรับกระจกโค้งนูน

ตัวแปรอื่น ๆ ทุกตัว

เป็น + สำหรับทุกอย่างที่เป็นจริง

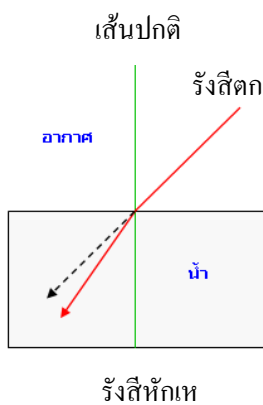
เป็น - สำหรับทุกอย่างที่เป็นเสมือน

การหักเหของแสง

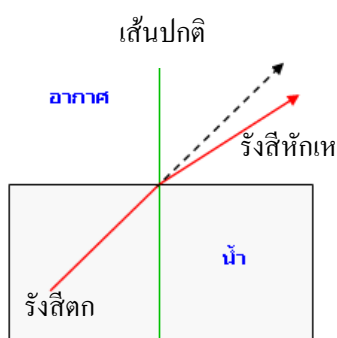
การหักเหของแสง หมายถึง การเปลี่ยนความเร็วของแสงเมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางต่างชนิดกัน โดยที่แสงมีความถี่คงที่

รูปแบบของการหักเหของแสง

1. การหักเหแบบเบนเข้าหาเส้นปกติ เกิดขึ้นเมื่อ แสงเดินทางจากตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหต่ำ ไปยังตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหมาก



2. การหักเหแบบเบนออกจากเส้นปกติ เกิดขึ้นเมื่อ แสงเดินทางจากตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหมามาก ไปยังตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหต่ำ



กฎของสเนลล์

1. อัตราส่วนระหว่างค่า \sin ของมุมตกกระทบและค่า \sin ของมุมหักเหมีค่าคงที่เสมอ สำหรับตัวกลางคู่หนึ่งๆ

$$2. \text{กฎของสเนลล์มีอยู่ว่า} \quad n_2 = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

เมื่อ n_2 คือ อัตราส่วนของดัชนีหักเหของตัวกลางที่ 2 เทียบกับตัวกลางที่ 1 หรือ อัตราส่วนระหว่างอัตราเร็วแสงในตัวกลางที่ 2 เทียบกับอัตราเร็วแสงในตัวกลางที่ 1

n_1 คือ ดรรชนีหักเหของตัวกลางที่ 1

n_2 คือ ดรรชนีหักเหของตัวกลางที่ 2

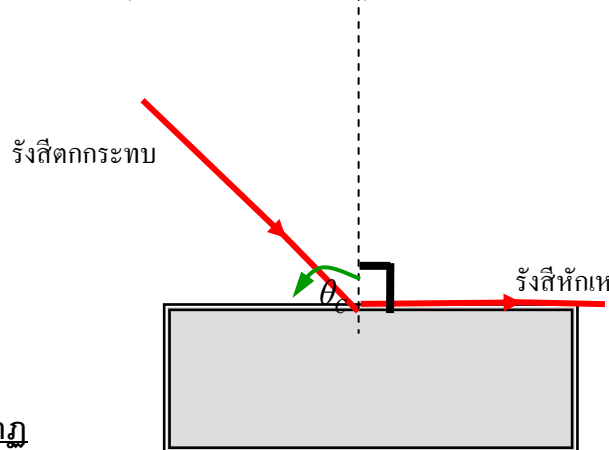
θ_1 คือ มุมตกกระทบ

θ_2 คือ มุมหักเห

การสะท้อนกลับหมดของแสง

เกิดขึ้นเมื่อ ขนาดมุมตกกระทบมีค่ามากกว่าขนาดมุมวิกฤต (θ_C)

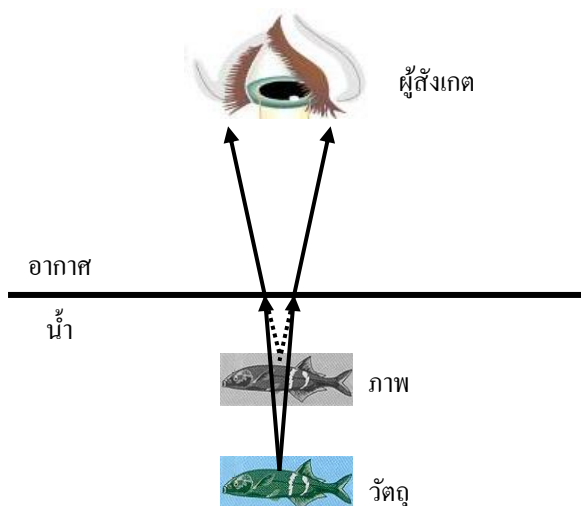
โดยที่ **มุมวิกฤต** คือ ขนาดของมุมตกกระทบที่ทำให้มุมหักเหมีขนาด 90 องศาพอดี



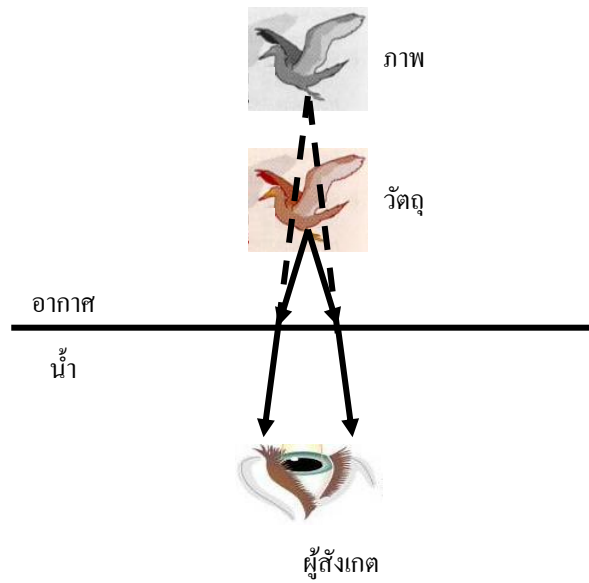
ความจริง ความลึกปรากฏ

ถ้าผู้สังเกตและวัตถุอยู่ในตัวกลางต่างชนิดกัน

1. ผู้สังเกตอยู่ในตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า จะเห็นภาพของวัตถุอยู่ตื้นหรือใกล้กว่าความเป็นจริง

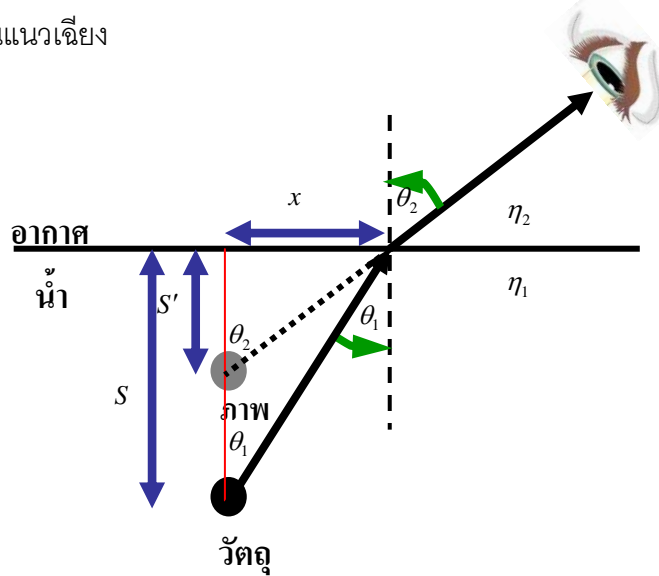


2. ผู้สังเกตอยู่ในตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากกว่า จะเห็นภาพของวัตถุอยู่ลึกหรือใกล้กว่าความเป็นจริง



การคำนวณเกี่ยวกับความลึกจริง ความลึกปรากฏ

ผู้สังเกตมองวัตถุในแนวเฉียง



$$\eta_{\text{ตา}} = \frac{S'}{S} \times \frac{\cos \theta_1}{\cos \theta_2}$$

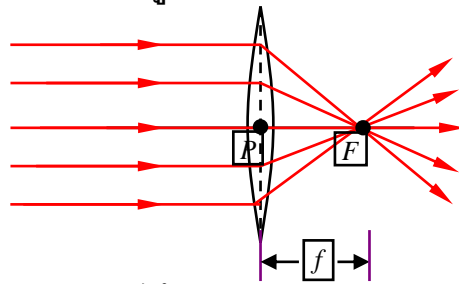
$$= \frac{\text{ความลึกปรากฏ}}{\text{ความลึกจริง}} \times \frac{\cos \theta_1}{\cos \theta_2}$$

ผู้สังเกตมองวัตถุในแนวตั้ง

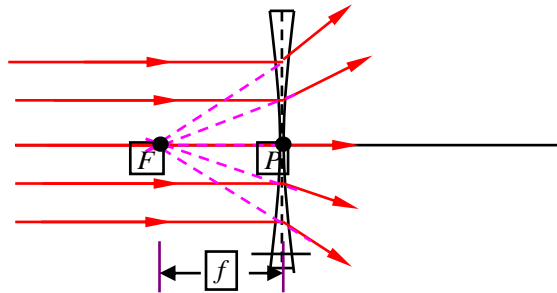
$$\text{วัตถุ } \eta_{\text{ตา}} = \frac{S'}{S} = \frac{\text{ความลึกปรากฏ}}{\text{ความลึกจริง}}$$

องค์ประกอบของเลนส์

การหักเหของแสงผ่านเลนส์นูน



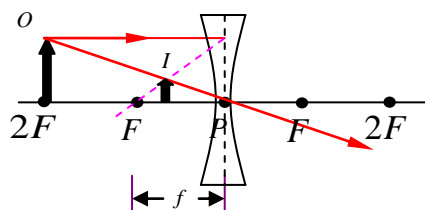
การหักเหของแสงผ่านเลนส์เว้า



1. จุดศูนย์กลางเลนส์ P
2. จุดโฟกัส F
3. ระยะโฟกัส f
4. เส้นแกนमुखสำคัญ
5. หน้าเลนส์ คือ ด้านที่แสงตกกระทบเลนส์หน้าเลนส์
6. หลังเลนส์ คือ ด้านที่แสงหักเหออกจากเลนส์ไปแล้ว

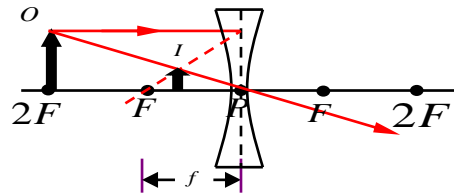
การหาตำแหน่งของภาพที่เกิดจากการหักเหผ่านเลนส์โดยใช้วิธีการวาดรูปเลนส์นูน

- 1) ลากรังสีจากปลายวัตถุขนานกับแกนमुखสำคัญไปตกกระทบบกเลนส์ แล้วลากรังสีหักเหผ่านจุดโฟกัส (F)
- 2) ลากรังสีเส้นที่สองจากปลายวัตถุเดิม ผ่านจุดศูนย์กลาง เลนส์(P) (รังสีนี้จะไม่หักเห) มาตัดกับรังสีในข้อ 1) "ตำแหน่งที่รังสีทั้งสองตัดกันคือตำแหน่งภาพ"



เลนส์เว้า

- 1) ลากรังสีจากปลายวัตถุขนานกับแกนमुखสำคัญไปตกกระทบบกกลางเลนส์ แล้วลากรังสีหักเหและต่อแนวมาผ่านจุดโฟกัส (F) ด้านหลังเลนส์
- 2) ลากรังสีเส้นที่สองจากปลายวัตถุเดิม ผ่านจุดศูนย์กลาง เลนส์(P) (รังสีนี้จะไม่หักเห) มาตัดกับรังสีในข้อ 1)“ตำแหน่งที่รังสีทั้งสองตัดกันคือตำแหน่งภาพ”



สูตรที่ใช้ในการคำนวณ หาตำแหน่งของภาพที่เกิดจากการหักเหผ่านเลนส์

$$M = \frac{y'}{y} = \frac{S'}{S} = \frac{S' - f}{f} = \frac{f}{S - f}$$

การพิจารณาเครื่องหมาย

f เป็น + สำหรับเลนส์นูน

เป็น - สำหรับเลนส์เว้า

ตัวแปรอื่น ๆ ทุกตัว

ทุกอย่างจริง เป็น + ทุกอย่างภาพเสมือนเป็น -

การศึกษาค้นคว้าของนักวิทยาศาสตร์ทำให้ได้ข้อสรุปว่า แสงเป็นคลื่น ซึ่งมีคุณสมบัติที่สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. คุณสมบัติเชิงกายภาพ ได้แก่ การแทรกสอด การเลี้ยวเบน
2. คุณสมบัติเชิงเรขาคณิต ได้แก่ การสะท้อน และการหักเห

แสงแสดงสมบัติที่สำคัญของคลื่น คือ การแทรกสอดและการเลี้ยวเบนนอกจากนี้แสงยังมีสมบัติอีกอย่างหนึ่งคือ โฟลาไรเซนซ์ ซึ่งแสดงว่า แสงเป็นคลื่นตามขวาง ดังจะได้ศึกษาต่อไป

การแทรกสอด (interference) เป็นปรากฏการณ์ที่คลื่นอย่างน้อยสองขบวนเคลื่อนที่มาพบกันที่จุดเดียว อาจเกิดการแทรกสอดแบบเสริมหรือแบบหักล้าง ซึ่งแสงก็มีสมบัตินี้เช่นกัน โดยผลของการเสริมกันจะได้เป็นแถบสว่าง และผลของการหักล้างกันเกิดเป็นแถบมืด ดังการทดลองของ โทมัส ยัง ได้ทำการทดลองเพื่อแสดงว่า แสงเป็นคลื่น ดังนี้

โทมัส ยัง ให้แสงอาทิตย์ตกลงบนสลิต S_0 (สลิตเป็นแผ่นที่กั้นและเจาะเป็นช่องเปิด) แสงจากช่องนี้จะกระจายออกแล้วตกบนสลิต S_1 และ S_2 บนฉากอีกอันหนึ่ง สลิตทั้งคู่จะทำหน้าที่เป็นจุดกำเนิดคลื่นที่เฟสตรงกัน เมื่อนำฉากไปรับแสงที่มาจากสลิตทั้งสอง จะพบว่าเกิดแถบมืด - สว่างบนฉาก

การเกิดแถบมืด-สว่าง บนฉาก เกิดจากการแทรกสอดของแสงจาก S_1 และ S_2 ถ้าบริเวณใดที่แสงมีเฟสตรงกันก็จะ

1. การแทรกสอดแบบเสริม คือ ปรากฏการณ์ที่คลื่นอย่างน้อยสองขบวนเฟสตรงกันเคลื่อนที่มาพบกันที่จุดเดียว จะเกิดการเสริมกันเห็นเป็นแถบสว่าง ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$|S_1P - S_2P| = n\lambda$$

หรือ $d\sin\theta = n\lambda$ n คือ แนวนเส้นปฏิบัติ

หรือ $d\frac{x}{L} = n\lambda$ เมื่อ $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

n คือ แนวนเส้นปฏิบัติ

0 คือ แนวนเส้นกลาง

2. การแทรกสอดแบบหักล้าง คือ ปรากฏการณ์ที่คลื่นอย่างน้อยสองขบวนเฟสตรงกันข้ามเคลื่อนที่ มาพบกันที่จุดเดียว จะเกิดการหักล้างกันเกิดเป็นแถบมืด ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก สูตร

$$|S_1P - S_2P| = (n - \frac{1}{2})\lambda$$

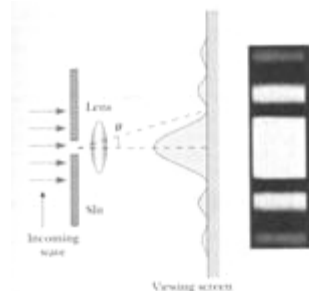
หรือ $d\sin\theta = (n - \frac{1}{2})\lambda$

หรือ $d\frac{x}{L} = (n - \frac{1}{2})\lambda$ เมื่อ $n = 1, 2, 3, \dots$

จากการศึกษาสมบัติการแทรกสอดของแสง การลดขนาดของ d และเพิ่มความ สว่างโดยการเพิ่มจำนวนสลิตจากหนึ่งคู่ไปเป็นจำนวนนับพันสลิตต่อความกว้างหนึ่งเซนติเมตร เป็นต้น เราเรียกสิ่งที่มีสลิตจำนวนมากๆ ต่อความกว้างเพียงเล็กน้อยนี้ว่า **เกรตติง**(diffraction grating)ซึ่งจำนวนช่อง ของเกรตติงอาจมีได้ตั้งแต่ 100 ถึง 10000 ช่องต่อความยาว 1 cm

จากสมการ $d\sin\theta = n\lambda$ จะเห็นว่าถ้าแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกันผ่านเกรตติงเข้ามา แถบสว่างของแสงแต่ละความยาวคลื่นจะเกิด ณ ตำแหน่งต่างกันดังนั้นถ้าให้แสงขาวผ่านเกรตติง จะพบว่าแถบสว่างของแสงสีต่างๆเกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่างกัน ดังนั้นถ้าให้แสงผ่านเกรตติงจะ พบว่า เกิดเป็นแถบสีต่างๆ ขึ้น โดยที่แสงสีต่างๆ ในแถบนั้นมีความยาวคลื่นต่างกัน แสงสีม่วงมี ความยาวคลื่นน้อยที่สุด และแสงสีแดงมีความยาวคลื่นมากที่สุดแถบสีต่างๆ ที่แยกออกตามความ ยาวคลื่นของแสงนี้เรียกว่าสเปกตรัม (spectrum)จากความสัมพันธ์ $d\sin\theta = n\lambda$ ของการ แทรกสอดแบบเสริมกัน เราอาจประมาณได้เช่นเดียวกับกรณีของสลิตคู่ว่า $d\frac{x}{L} = n\lambda$ เมื่อ $n = 1$

ถ้านำสลิตเดี่ยวมากันทางเดินของแสง จะทำให้เกิดการเลี้ยวเบนของแสงและการแทรก สอดของแสง จะเกิดเป็นแถบมืด-สว่างสลับกันคล้ายกับการทดลองเรื่องสลิตคู่แต่แถบสว่างตรง กลางจะมีขนาดความกว้างและความสว่างมากที่สุด แถบที่ถัดออกไปทั้งสองข้างจะมีความกว้าง และความสว่างของแถบลดลง และเมื่อลดความกว้างของสลิตเดี่ยวขนาดของแถบสว่างตรงกลาง จะกว้างขึ้นซึ่งกว้างกว่า และสว่างกว่าแถบสว่างที่อยู่ถัดไปดังรูป



ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยใช้สูตรการหาแถบมืด n ดังนี้ $d\sin\theta = n\lambda$

ความเข้มแห่งการส่องสว่าง (Luminous Intensity: I) หมายถึง ความเข้มของแสงที่ส่องออกมาจากแหล่งกำเนิดในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง โดยทั่วไปจะวัดเป็นจำนวนเท่าของความเข้มที่ได้จากเทียนไข 1 เล่ม หน่วย Candela (cd) **ฟลักซ์ส่องสว่าง (Luminous Flux: F)** คือ ปริมาณแสงที่ตกลงพื้นที่ 1 ตารางเมตร ที่ห่างจากแหล่งกำเนิดที่มีความเข้มแห่งการส่องสว่าง 1 แคนเดลา เป็นระยะทาง 1 เมตร หน่วย Lumens (lm)

ความสว่าง (Illuminance Illuminance: E) คือ ปริมาณแสงที่เปล่งออกมาจากแหล่งกำเนิด (ฟลักซ์ส่องสว่าง) ต่อ **พื้นที่ตั้งฉาก** ที่รองรับใน 1 ตารางเมตรหน่วย lm/m^2 หรือ lx (ลูเมนต่อตารางเมตร) หรือ (ลักซ์)

สูตรในการคำนวณ ความสว่าง

$$E = \frac{F}{A} = \frac{4\pi I}{4\pi R^2} = \frac{I}{R^2}$$

เมื่อ E คือ ความสว่าง หน่วย lm/m^2

F คือ Flux ส่องสว่าง หน่วย lm

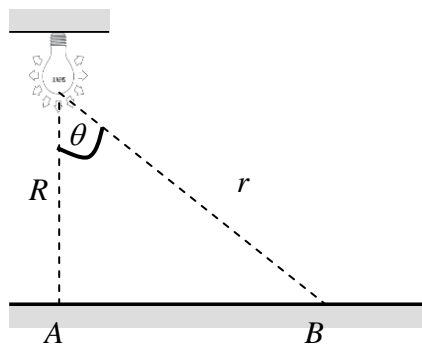
A คือ พื้นที่ตั้งฉากที่รองรับ หน่วย m^2

I คือ ความเข้มการส่องสว่าง หน่วย cd

R คือ ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดกับพื้นที่รองรับ หน่วย m

เทคนิคในการทำโจทย์เพิ่มเติม

กรณีที่ Flux ของแสง ตกกระทบ ไม่ตั้งฉาก กับพื้นที่ๆ รองรับ



$$E_B = E_A \cos^3 \theta \quad E = \frac{I}{R^2} \cos \theta \quad \frac{E_1}{E_2} = \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^2$$

กรณีที่ Flux ของแสง ตกกระทบ ตั้งฉาก กับพื้นที่ๆ รองรับ

$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^2$$

แบบฝึกหัดเรื่องแสง

1. แสงเป็นคลื่นประเภทใด เพราะเหตุใด

.....

2. แสงมีคุณสมบัติเป็นคลื่น เพราะเหตุใด จงยกตัวอย่างประกอบ

.....

3. ชายคนหนึ่งสูง 2 เมตร ยืนอยู่บนพื้นระดับห่างจากดวงไฟดวงหนึ่งเป็นระยะ 15 เมตร วัดไปตามแนวระดับ และดวงไฟอยู่สูงจากพื้นระดับ 6 เมตร จงหาว่าเงาของชายคนหนึ่งที่อยู่บนพื้นระดับมีความยาวเท่าไร

.....

.....

4. ดวงไฟอยู่สูงจากพื้น 4 เมตร ชายคนหนึ่งสูง 1.8 เมตร เดินผ่านดวงไฟด้วยอัตราเร็วคงที่ 1.1 เมตรต่อวินาที เงาของศีรษะของชายคนหนึ่งที่ปรากฏบนพื้นราบระดับ จะมีอัตราเร็วกี่เมตรต่อวินาที

.....

.....

5. จุดกำเนิดแสงวางอยู่ทางซ้ายของแผ่นกลมทึบแสงเป็นระยะ 42 เซนติเมตร แผ่นกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร ทางด้านขวามือห่างจากแผ่นกลมออกไป 1.26 เมตร เป็นฉากซึ่งมีระนาบขนานกับแผ่นนี้ จงหารัศมีของเงาที่เกิดบนฉาก

.....

.....

6. คลื่นเสียงในอากาศวิ่งจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง T_1 เข้าสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า คือ T_2 โดยมีมุมตกกระทบ θ_1 และมุมหักเห θ_2 จงหาค่าของอัตราส่วนระหว่าง $\sin \theta_1$ กับ $\sin \theta_2$ กำหนดให้ $T_1 = 4T_2$ เคลวิน

.....

.....

.....

7. ถ้าเสียงเดินทางจากอากาศร้อนไปสู่อากาศเย็นโดยแนวทางการเดินทางของเสียงทำมุม 60 องศา กับผิวรอยต่อของตัวกลาง จงหามุมหักเหของคลื่นเสียง ถ้าอัตราเร็วเสียงในอากาศร้อนเป็น 2 เท่าของในอากาศเย็น

.....

.....

.....

.....

11. กระจกสองบานต้องวางทำมุมกันกี่องศา จึงทำให้ภาพทั้งหมดที่เกิดจากวัตถุที่วางอยู่ระหว่างกระจกทั้งสองนั้นมีจำนวนภาพ 11 ภาพ

.....
.....
.....
.....
.....

12. กระจกเงาราบสองบาน วางทำมุมกัน 70 องศา นำวัตถุมาวางระหว่างกระจกทั้งสองนั้น จงหาจำนวนภาพที่มองเห็นจากกระจกทั้งสองบานนี้

.....
.....
.....
.....
.....

13. วางวัตถุไว้ระหว่างกระจกเงาราบ 2 บาน ซึ่งตั้งฉากกัน จะเกิดภาพของวัตถุกี่ภาพ

.....
.....
.....
.....
.....

14. นาย ก วิ่งเข้าหากระจกเงาราบซึ่งติดผนังแนวดิ่ง ด้วยอัตราเร็ว 2 m/s นาย ก จะเห็นภาพของตัวเองเคลื่อนที่อย่างไร

ด้วยอัตราเร็วเท่าใด และจริงๆ แล้วอัตราเร็วของภาพของนาย ก ในการเคลื่อนที่เป็นอย่างไร

.....
.....
.....
.....
.....

15. ถ้าเลื่อนกระจกเงาราบเข้าหาวัตถุด้วยความเร็ว 10 m/s ภาพในกระจกเงาราบจะเคลื่อนที่เข้าหากระจกด้วยความเร็ว เท่าไร

.....
.....
.....
.....
.....

16. ชายคนหนึ่งเคลื่อนที่เข้าหากระจกเงาระนาบ ด้วยอัตราเร็ว 2 เมตรต่อวินาที ในเวลา 3 วินาที ภาพของชายคนนี้จะเคลื่อนที่ได้ระยะทางกี่เมตร

.....

.....

.....

.....

.....

17. เลื่อนกระจกเงาราบออกจากชายคนหนึ่งทีระยะห่างจากกระจก 5 เมตร เพิ่มจนเป็น 20 เมตร ในเวลา 2 นาที ภาพชายคนนี้จะเลื่อนด้วยอัตราเร็วเท่าใด

.....

.....

.....

.....

.....

.....

18. รังสีของแสงรังสีหนึ่งทำมุม 25 องศาับเส้นตั้งฉากกับกระจกเงาระนาบบานหนึ่ง ถ้าหมุนกระจกบานนั้นทำให้มุมตกกระทบใหม่เป็น 31 องศา จงหาว่ารังสีสะท้อนจะเปลี่ยนไปจากเดิมกี่องศา

.....

.....

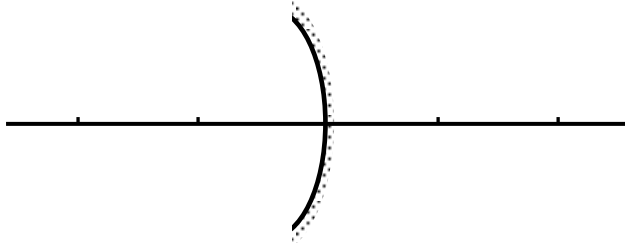
.....

.....

.....

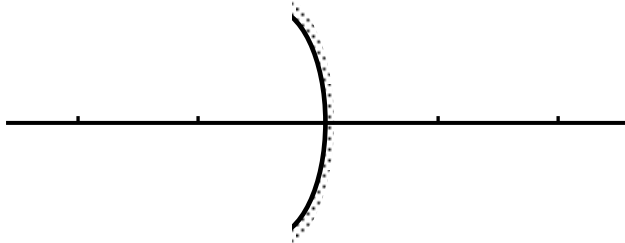
การเกิดภาพในกระจกนูน

ก. ให้นักเรียนเขียนรังสีของแสงแสดงตำแหน่งภาพที่เกิดจากกระจกนูน ที่ระยะวัตถุต่างๆ กันที่กำหนดให้
 ข. พร้อมทั้งระบุว่าภาพที่เกิดขึ้น 1) เป็นภาพจริงหรือภาพเสมือน 2) หัวตั้งหรือหัวกลับ
 3) ขนาดเป็นอย่างไรเมื่อเทียบกับวัตถุ 4) เกิดหน้ากระจกหรือหลังกระจก



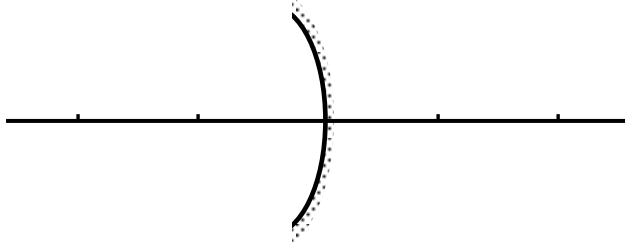
1) $S = \infty$

.....



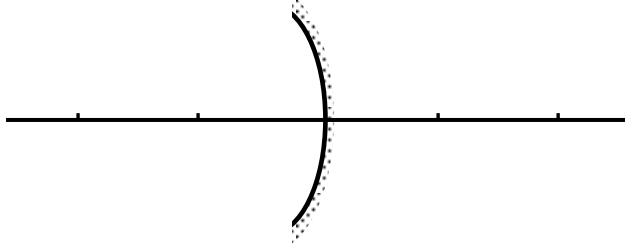
2) $2f < S < \infty$

.....



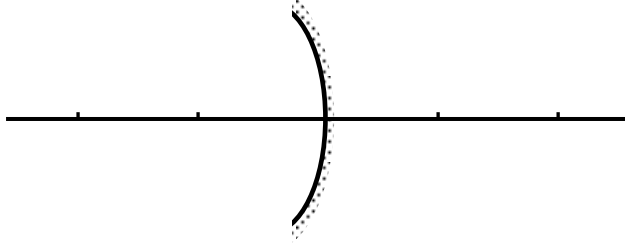
3) $S = 2f$

.....



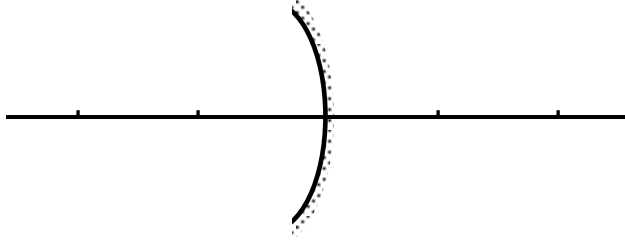
4) $f < S < 2f$

.....



5) $S = f$

.....



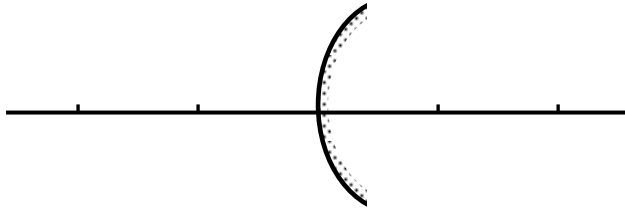
6) $0 < S < f$

.....

การเกิดภาพในกระจกนูน

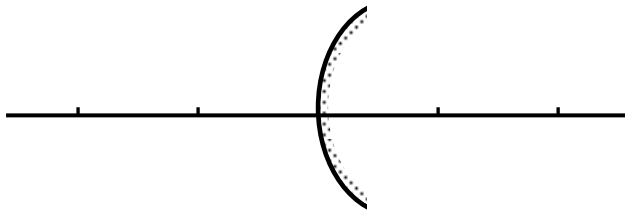
ก. ให้นักเรียนเขียนรังสีของแสงแสดงตำแหน่งภาพที่เกิดจากกระจกนูน ที่ระยะวัตถุต่างๆ กันที่กำหนดให้

ข. พร้อมทั้งระบุว่าภาพที่เกิดขึ้น 1) เป็นภาพจริงหรือภาพเสมือน 2) หัวตั้งหรือหัวกลับ
3) ขนาดเป็นอย่างไรเมื่อเทียบกับวัตถุ 4) เกิดหน้ากระจกหรือหลังกระจก



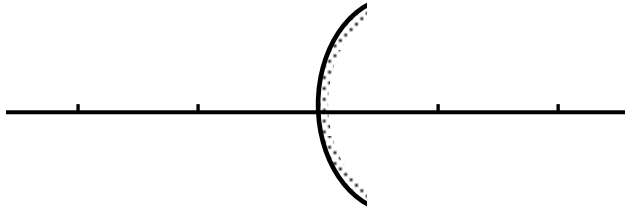
1) $S = \infty$

.....



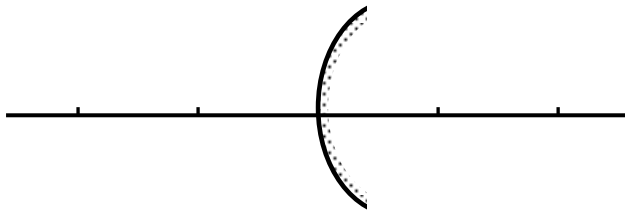
2) $2f < S < \infty$

.....



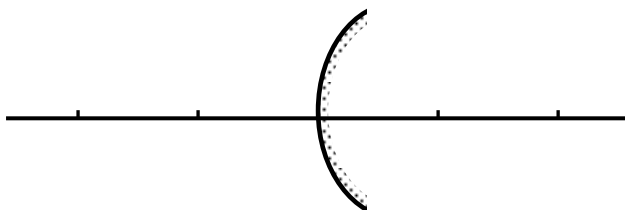
3) $S = 2f$

.....



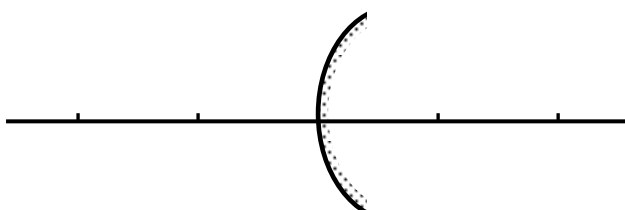
4) $f < S < 2f$

.....



5) $S = f$

.....



6) $0 < S < f$

.....

ตารางสรุป การเกิดภาพของวัตถุในกระจก

	ภาพจริง			ภาพเสมือน		
	ขนาด เล็กกว่าวัตถุ	เท่ากับวัตถุ	ใหญ่กว่า วัตถุ	ขนาด เล็กกว่าวัตถุ	เท่ากับวัตถุ	ขนาด ใหญ่กว่า วัตถุ
กระจกเงาราบ						
กระจกโค้งเว้า						
กระจกโค้งนูน						

แบบฝึกหัดชุดที่ 2

1 เทียนไขสูง 20 เซนติเมตร ตั้งอยู่บนแกนमुखสำคัญของกระจกเว้า ที่มีความยาวโฟกัส 10 เซนติเมตร ทำให้เกิดภาพหน้ากระจกเว้า ณ ตำแหน่งที่ห่างจากกระจกเว้า 15 เซนติเมตร เทียนไขอยู่ห่างจากกระจกเว้ากี่เซนติเมตร และภาพเทียนไขสูงกี่เซนติเมตร

.....

.....

.....

.....

.....

2 จากตัวอย่างที่ 1 ถ้าวางเทียนไขห่างจากกระจกเว้า 5 เซนติเมตร ภาพเทียนไขเป็นภาพชนิดใด และอยู่ห่างจากกระจกเว้าเท่าใด จงเขียนภาพประกอบ

.....

.....

.....

.....

.....

3 วัตถุสูง 5 cm อยู่ห่างจากกระจกเว้า 10 cm ถ้ากระจกเว้ามีรัศมีมีความโค้ง 50 cm จงเขียนทางเดินของแสง และคำนวณหาตำแหน่ง ลักษณะและขนาดของภาพ

.....

.....

.....

.....

.....

4. วัตถุสูง L วางอยู่หน้ากระจกเงาซึ่งมีความยาวโฟกัส f ด้วย ระยะ S จากกระจก ภาพที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเท่าใด

.....

.....

.....

.....

5. เมื่อเอาวัตถุมาวางไว้ที่หน้ากระจกโค้งอันหนึ่งมีระยะห่าง 10 cm พบว่าจะเกิดภาพซึ่งเอาฉากรับได้ที่ระยะ 10 cm กระจกที่ใช้เป็นกระจกเงาหรือกระจกนูน และมีความยาวโฟกัสเท่าใด

.....

.....

.....

.....

6. วางวัตถุไว้หน้ากระจกโค้ง ซึ่งมีความยาวโฟกัส 20 เซนติเมตร ปรากฏว่าได้ภาพเสมือน ซึ่งมีกำลังขยาย 0.1 กระจกที่ใช้เป็นกระจกเงาหรือกระจกนูน ระยะวัตถุมีค่าเท่าใด

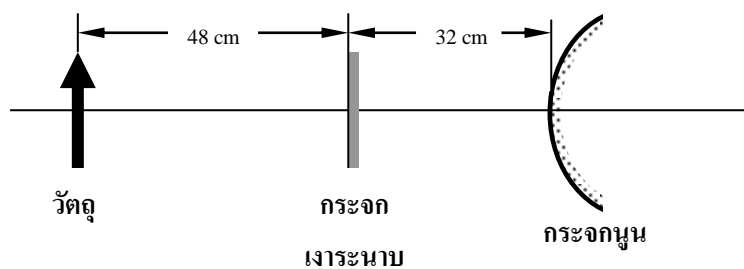
.....

.....

.....

.....

7. เมื่อจัดอุปกรณ์ตามรูป พบว่าภาพที่เกิดจากกระจกเงาระนาบกับกระจกนูนไม่มีพาราแลกซ์ ความยาวโฟกัสของกระจกนูนมีค่าเท่าใด



.....

.....

.....

.....

8. แสงเดินทางจากแก้วควารน์ ที่ไปยังอากาศ ด้วยมุมตกกระทบ 30 องศา มุมหักเหมีค่าเท่าใด
(กำหนด ดรรชนีหักเหของอากาศเป็น 1.0 และ ดรรชนีหักเหของแก้วควารน์เป็น 1.52)

.....
.....
.....
.....

9. แสงความยาวคลื่น 589 นาโนเมตร เดินทางจากสุญญากาศเข้าสู่ ซิลิกาด้วยอัตราเร็ว 2.06×10^8 m/s

- ดรรชนีหักเหของซิลิกาเป็นเท่าใด

- ความยาวคลื่นแสงในซิลิกามีค่าเท่าใด

- ความถี่แสงในซิลิกามีค่าเท่าใด เพราะเหตุใด ต่างจากในสุญญากาศหรือไม่

(กำหนด อัตราเร็วแสงในสุญญากาศเท่ากับ 3×10^8 m/s , ดรรชนีหักเหในสุญญากาศเท่ากับ 1.0)

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

10. แสงเดินทางจากอากาศเข้าไปยังวัตถุ ก โดยแนวทางการเดินทางทำมุม 30 องศา กับผิวรอยต่อ และมีมุมหักเหในแท่งแก้วเป็นมุม 45 องศา จงหา ดรรชนีหักเหของวัตถุ ก

.....
.....
.....
.....
.....
.....

11. แท่งแก้วหนา 0.6 เซนติเมตร มีดรรชนีหักเห 1.55 จงหาเวลาที่แสงเดินทางผ่านแท่งแก้วนี้

(อัตราเร็วของแสงในอากาศ = 3×10^8 m/s)

.....
.....
.....
.....
.....

12. ดรรชนีหักเหของน้ำเทียบกับแก้วเป็น $\frac{8}{9}$ และดรรชนีหักเหของน้ำ เทียบกับอากาศเป็น $\frac{4}{3}$ ดรรชนีหักเหของน้ำเทียบกับอากาศเป็นเท่าใด

.....

.....

.....

.....

.....

13. จากการทดลองเรื่องการหักเหของแสง พบว่าถ้าใช้มุมตกกระทบในอากาศเท่ากับ 60 องศา จะเกิดมุมหักเหในของเหลวชนิดหนึ่ง 30 องศา ถ้าเปลี่ยนของเหลวเป็นชนิดที่ 2 และใช้มุมตกกระทบในอากาศเท่าเดิม พบว่ามุมหักเหใหม่มีค่า 45 องศา ค่าดรรชนีหักเหของของเหลวชนิดที่ 1 เป็นกี่เท่าของดรรชนีหักเหของของเหลวชนิดที่ 2

.....

.....

.....

.....

.....

14. จงหามุมวิกฤตของเพชร เมื่อแสงผ่านจากเพชรไปยังน้ำ กำหนดดรรชนีหักเหของเพชร และของน้ำมีค่าเท่ากับ 2.42 และ 1.33 ตามลำดับ

.....

.....

.....

.....

.....

15. มุมวิกฤตสำหรับสารโปร่งใสชนิดหนึ่งในอากาศมีค่าเท่ากับ 45 องศา ความเร็วแสงในสารโปร่งใสนี้มีค่าเท่าใด

.....

.....

.....

.....

.....

16. ถ้าแท่งคาร์บอนไดออกไซด์ไฟต์ ซึ่งเป็นของเหลวใสที่มีดรรชนีหักเห 1.63 ลงไปในอ่างแก้วใบใหญ่ที่สูง 10 cm. จนเต็มเปี่ยม อ่างมีหลอดไฟเล็กดวงหนึ่งเปิดสว่างอยู่ที่ก้นอ่าง จงคำนวณพื้นที่ผิวที่มากที่สุด ของคาร์บอนไดออกไซด์ไฟต์ ที่แสงลอดผ่านขึ้นมาได้

.....

.....

.....

17. ปลาอยู่ในน้ำที่ระดับลึกจากผิวน้ำ 2 เมตร ความลึกปรากฏของปลาเป็นเท่าใด เมื่อผู้สังเกตมองปลาในแนวตั้ง

ตรงตัวปลา กำหนดดรรชนีหักเหของอากาศ = 1.00 และดรรชนีหักเหของน้ำ = 4/3

.....

.....

.....

18. ที่ทับกระดาษรูปทรงกลมทำด้วยอำพัน ซึ่งดรรชนีหักเหมีค่าเท่ากับ 1.6 และทรงกลมมีรัศมี 4 cm. มีดอกไม้เล็ก ๆ สีม่วงอยู่ในทรงกลมบนแนวแกนและห่างจากผิวทรงกลมด้านที่มอง 3 cm. เมื่อมองดูดอกไม้ตามแนวแกนรัศมีของทรงกลม จะมองเห็นภาพดอกไม้ที่อยู่ลึกจากผิวทรงกลมด้านที่มองเป็นระยะเท่าใด (กำหนดค่าดรรชนีหักเหของอากาศเป็น 1.0)

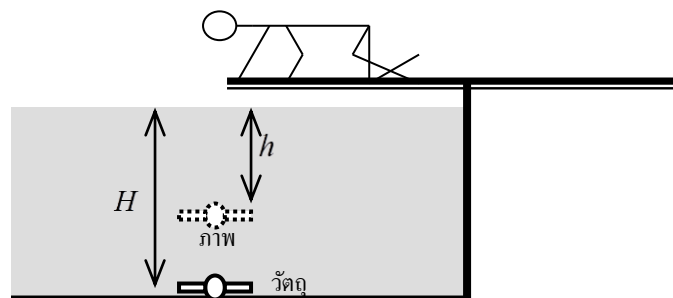
.....

.....

.....

19. นักกระโดดน้ำ ยืนบนที่กระโดด ได้มองตรงดิ่งลงไปในสระ ปรากฏว่าเขาเห็นนาฬิกาอยู่ลึกจากผิวน้ำ

h แต่สระน้ำลึก H ถ้าน้ำมีดรรชนีหักเห η จงแสดงให้เห็นว่า $h = \frac{H}{\eta}$



.....

.....

.....

20. ฝั่งตัวหนึ่งบินอยู่ในอากาศสูงจากผิวน้ำ 3 เมตร คนที่ดำอยู่ใต้ผิวน้ำ และมองดูฝั่งตัวนี้ในแนวเส้นปกติ จะมองเห็นฝั่งไกลออกไป หรือใกล้เข้ามามากกว่าความจริงเท่าใด ในหน่วยของเมตร (กำหนดดรรชนีหักเหของน้ำเท่ากับ $4/3$)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

21. ถ้าทรงกระบอกสูง 2 เมตร มีน้ำมันอยู่เต็มถึงพอดี ชายผู้หนึ่งฉายลำแสงทำมุมตกกระทบ 60° ที่ขอบล่าง ทำให้แสงไปปรากฏที่กลางก้นถัง เขาจะเห็นก้นถังอยู่ลึกกี่เมตรจากขอบล่าง

.....

.....

.....

.....

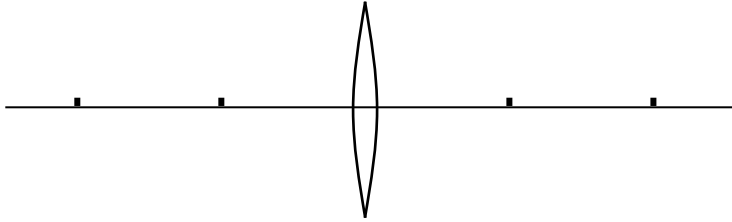
.....

.....

การเกิดภาพในเลนส์

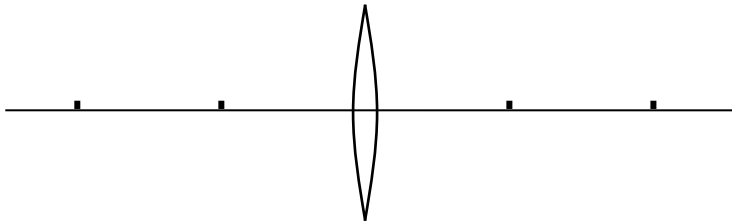
ก. ให้นักเรียนเขียนรังสีของแสงแสดงตำแหน่งภาพที่เกิดจากเลนส์นูน ที่ระยะวัตถุต่างๆ กันที่กำหนดให้

- ข. พร้อมทั้งระบุว่าภาพที่เกิดขึ้น
- 1) เป็นภาพจริงหรือภาพเสมือน
 - 2) หัวตั้งหรือหัวกลับ
 - 3) ขนาดเป็นอย่างไรเมื่อเทียบกับวัตถุ
 - 4) เกิดหน้าเลนส์หรือหลังเลนส์



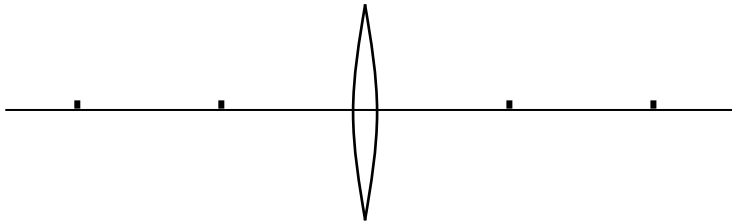
1) $S = \infty$

.....



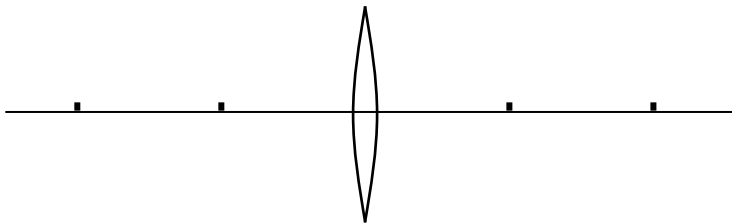
2) $2f < S < \infty$

.....



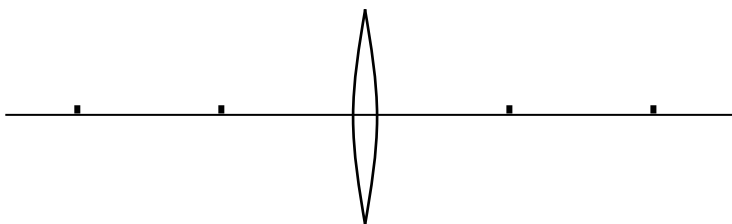
3) $S = 2f$

.....



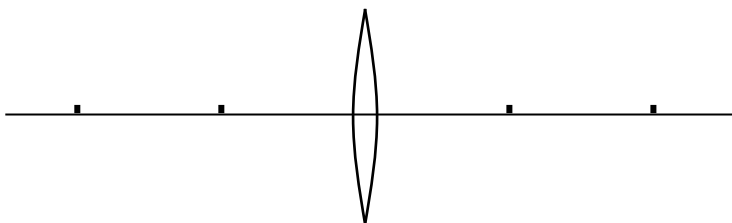
4) $f < S < 2f$

.....



5) $S = f$

.....



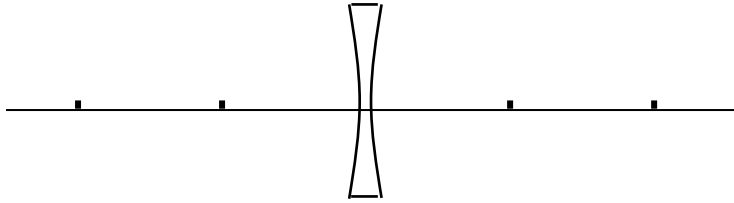
6) $0 < S < f$

.....

การเกิดภาพในเลนส์เว้า

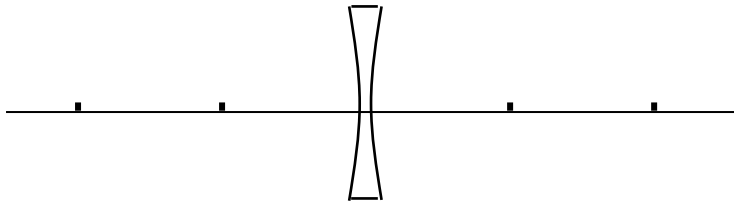
ก. ให้นักเรียนเขียนรังสีของแสงแสดงตำแหน่งภาพที่เกิดจากเลนส์เว้า ที่ระยะวัตถุต่างๆ กันที่กำหนดให้

- ข. พร้อมทั้งระบุว่าภาพที่เกิดขึ้น
- 1) เป็นภาพจริงหรือภาพเสมือน
 - 2) หัวตั้งหรือหัวกลับ
 - 3) ขนาดเป็นอย่างไรเมื่อเทียบกับวัตถุ
 - 4) เกิดหน้าเลนส์หรือหลังเลนส์



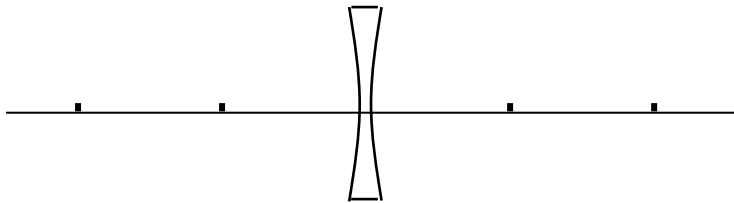
1) $S = \infty$

.....



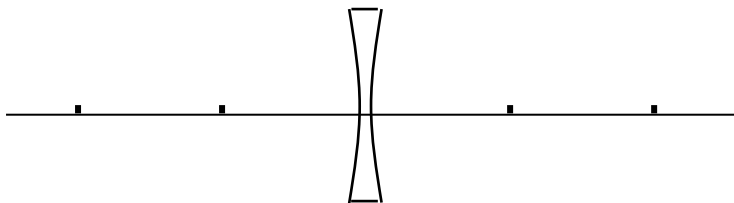
2) $2f < S < \infty$

.....



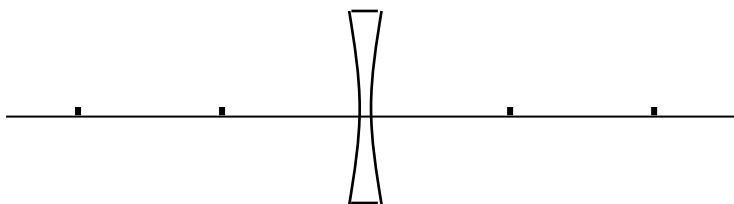
3) $S = 2f$

.....



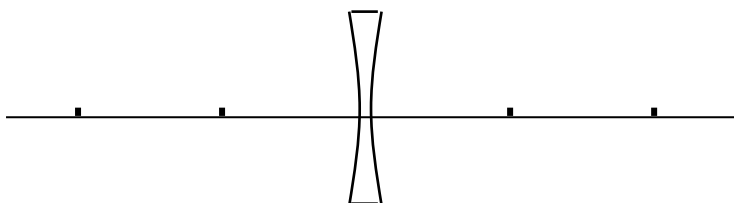
4) $f < S < 2f$

.....



5) $S = f$

.....



6) $0 < S < f$

.....

ตารางสรุป ภาพของวัตถุที่เกิดจากเลนส์

	ภาพจริง			ภาพเสมือน		
	ขนาด เล็กกว่าวัตถุ	เท่ากับวัตถุ	ใหญ่กว่า วัตถุ	ขนาด เล็กกว่าวัตถุ	เท่ากับวัตถุ	ขนาด ใหญ่กว่า วัตถุ
เลนส์นูน						
เลนส์เว้า						

แบบฝึกหัดที่ 3

1. วางวัตถุสูง 1.4 เซนติเมตร ในแนวตั้งฉากกับแกนमुखสำคัญหน้าเลนส์เว้าที่มีความยาวโฟกัส 20 เซนติเมตร โดยอยู่ห่างเลนส์เว้า 15 เซนติเมตร ภาพที่เกิดขึ้นเป็นภาพชนิดใด และอยู่ห่างเลนส์เว้าเท่าใด และภาพมีขนาดเท่าใด

.....

.....

.....

.....

.....

2. วัตถุสูง 2.0 cm. อยู่ห่างจากเลนส์นูน 20.0 cm. เกิดภาพจริงห่างจากเลนส์ 10.0 cm. จงเขียนภาพทางเดินของแสง และคำนวณหา

ก. ความยาวโฟกัสของเลนส์นูน

ข. ขนาดภาพ

.....

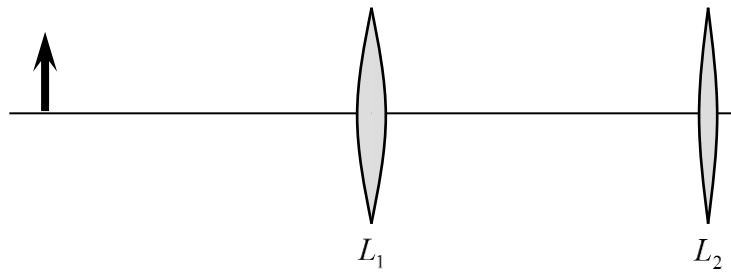
.....

.....

.....

.....

3. เลนส์นูน L_1 และ L_2 ซึ่งมีความยาวโฟกัส 15 เซนติเมตร และ 30 เซนติเมตร ตามลำดับ อยู่ห่างกัน 20 เซนติเมตร วางวัตถุไว้หน้าเลนส์ L_1 ห่าง 20 เซนติเมตร จงหาตำแหน่งของภาพสุดท้าย



.....

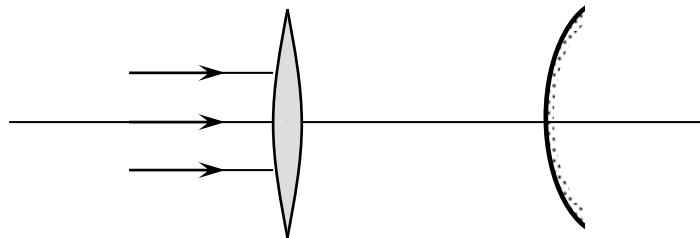
.....

.....

.....

.....

4. เลนส์นูนความยาวโฟกัส 10 เซนติเมตร และกระจกนูนรัศมีความโค้ง 8 เซนติเมตร วางอยู่ดังรูป เมื่อให้แสงขนานตกกระทบเลนส์นูน แสงจะหักเหผ่านเลนส์ไปตกกระทบกระจกนูน แล้วสะท้อนกลับมาหักเหผ่านเลนส์นูน ถ้าแสงที่สะท้อนกลับมานี้เป็นลำแสงขนาน เลนส์นูนและกระจกนูน ต้องวางห่างกัน กี่เซนติเมตร



.....

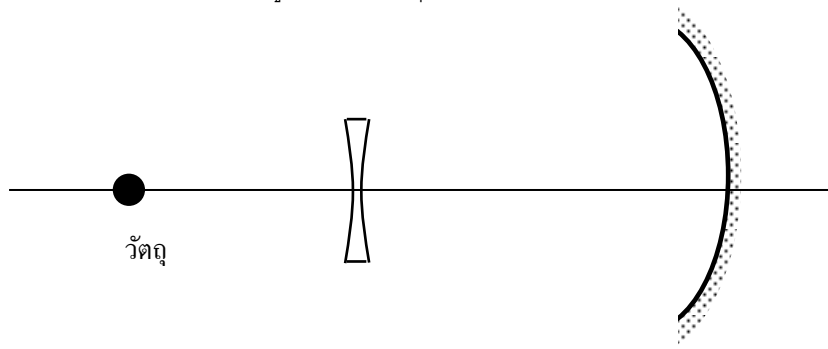
.....

.....

.....

.....

5. วัตถุอยู่ห่างจากเลนส์เว้า ระยะทาง 10 เซนติเมตร ทางซ้ายมือ และมีกระจกเว้า (ความยาวโฟกัส 10 เซนติเมตร) อยู่ห่างจากเลนส์เว้า 15 เซนติเมตรทางขวามือ ภาพจะอยู่ที่เดียวกับวัตถุ จงหาความยาวโฟกัสของเลนส์เว้า



.....

.....

.....

.....

.....