



รูปภาพจาก : www.pixabay.com

บทที่ 17 แสงเชิงรังสี

“ภาพที่สวยงาม ภาพลวงตา สีเส้นต่างๆ เกิดขึ้นได้อย่างไร?” คำถามเหล่านี้ล้วนเป็นสิ่งที่ท้าทายให้ค้นหาคำตอบ ในบทนี้จะใช้ความรู้เกี่ยวกับคลื่นและพฤติกรรมของแสงมาอธิบายการเกิดภาพจากปรากฏการณ์ การสะท้อนของแสง การหักเหของแสง การมองเห็นสีต่างๆ ของมนุษย์ และทัศนอุปกรณ์เบื้องต้น

เงามืด และเงามัว (Umbra and Penumbra)



หลักของแฟร์มา และแนวคิดของแสงเชิงรังสี

หลักของแฟร์มา (Fermat's Principle)

เมื่อรังสีของแสงเคลื่อนที่ผ่านจุดสองจุดใดๆ เส้นทางที่แสงเคลื่อนที่จะเป็นเส้นทางที่ใช้เวลาเดินทางน้อยสุดเสมอ (Principle of Least Time)

ดังนั้นเมื่อแสงเคลื่อนที่โดยอัตราเร็วคงที่ (ไม่เปลี่ยนตัวกลาง) เส้นทางที่ใช้เวลาเดินทางน้อยสุดระหว่างจุดสองจุด คือ แนวเส้นตรงระหว่างจุดสองจุดนั้น

แนวคิดของแสงเชิงรังสี

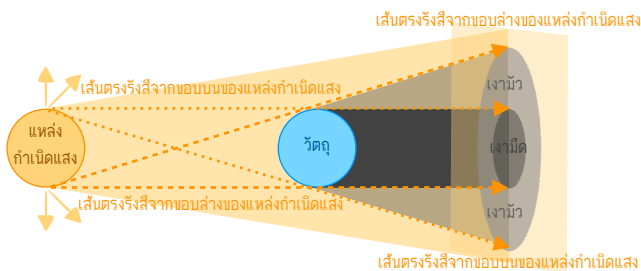
- 1) แสงเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดในทุกทิศทาง
- 2) แสงเดินทางเป็นเส้นตรง

การเกิดเงามืด และเงามัว (Umbra and Penumbra)

เงามืด คือ บริเวณที่ไม่มีแสงผ่านไปถึง

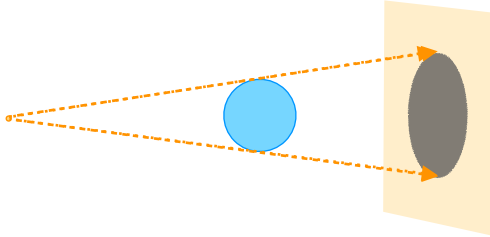
เงามัว คือ บริเวณที่มีแสงบางส่วนผ่านไปถึง

การวิเคราะห์ตำแหน่งเงามืด และเงามัวทำได้โดยลากเส้นรังสีของแสงจากขอบของแหล่งกำเนิดแสงผ่านขอบของวัตถุไปยังฉาก ดังรูปด้านล่าง

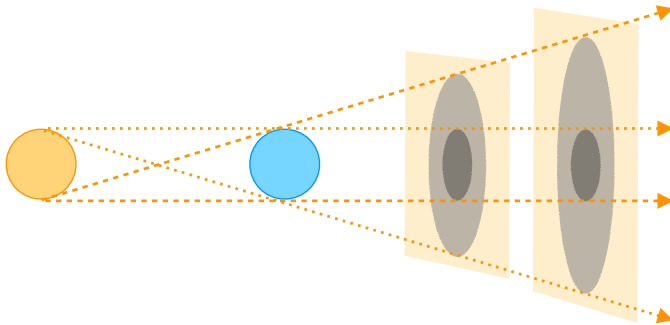


แสงเชิงรังสี (Ray Optics)

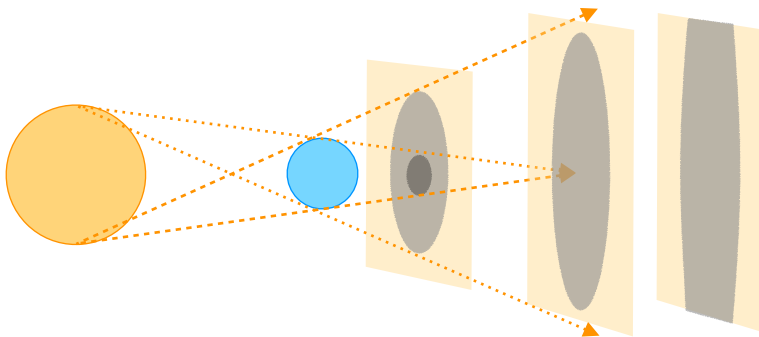
ในกรณีแหล่งกำเนิดแสงเป็นจุด จะเกิดเพียงเงามืดบนฉากเท่านั้น ดังรูปด้านล่าง



ในกรณีแหล่งกำเนิดแสงมีขนาดเท่ากับวัตถุ จะเกิดเงามัวรอบเงามืดเสมอ ไม่ว่าฉากจะอยู่ห่างเท่าใด ดังรูปด้านล่าง



ในกรณีแหล่งกำเนิดแสงมีขนาดใหญ่มากกว่าวัตถุ จะเกิดเงามืดและเงามัวบนฉากในรูปแบบที่แตกต่างกัน ขึ้นกับระยะห่างของฉาก ดังรูปด้านล่าง



Problem 17.1

แหล่งกำเนิดแสงทรงกลมรัศมี 10.0 cm ห่างจากวัตถุที่แสงทรงกลมรัศมี 2.0 cm เป็นระยะ 1.0 m จงหาระยะห่างระหว่างฉากกับวัตถุที่น้อยที่สุดที่ไม่เกิดเงามืด และเส้นผ่านศูนย์กลางของเงามัวดังกล่าวเท่าใด?

Answer : 2.50 m

Problem 17.2

แหล่งกำเนิดแสงทรงกลมรัศมี 5.0 cm ห่างจากวัตถุทึบแสงทรงกลมรัศมี 3.0 cm เป็นระยะ 2.0 m จงหาเส้นผ่านศูนย์กลางของเงามืดและเงามัวที่เกิดขึ้นบนฉากซึ่งห่างจากวัตถุ 1.0 m?

แสงเชิงรังสี (Ray Optics)

Answer : เส้นผ่านศูนย์กลางเงามืด = 4.0 cm

และ เส้นผ่านศูนย์กลางเงามัว = 14 cm



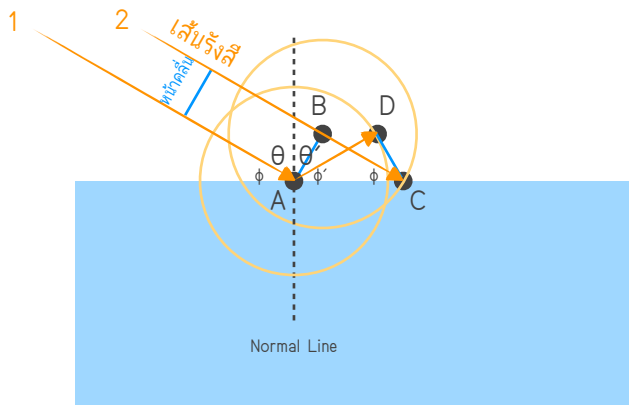
Problem 17.3

วัตถุทรงกลมทึบแสงรัศมี R วางอยู่จุดกึ่งกลางระหว่างแหล่งกำเนิดแสง S และฉากทำให้เกิดเงามืดบนฉากโดยไม่มีเงามัว ถ้ามีแหล่งกำเนิดแสง S' ซึ่งมีสมบัติเหมือนกับแหล่งกำเนิดแสง S มาวาง โดยแนว SS' ขนานกับฉาก ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิด S กับ S' ต้องเป็นเท่าใดเพื่อให้เงามัวจากแหล่งกำเนิดทั้งสองตอกันพอดี?

Answer : $4R$

การสะท้อน (Reflection)

พิจารณาเส้นรังสีของคลื่นสองเส้นซึ่งเกิดจากหน้าคลื่นเดียวกัน โดยคลื่นดังกล่าวเคลื่อนที่กระทบรอยต่อระหว่างตัวกลาง และเกิดรังสีสะท้อนตาม Huygens's Principle ดังรูปด้านล่าง



จาก

$$v_1 = v_2$$

$$\frac{\overline{AD}}{\Delta t} = \frac{\overline{BC}}{\Delta t}$$

$$\overline{AD} = \overline{BC}$$

$$\frac{\overline{AD}}{\overline{AC}} = \frac{\overline{BC}}{\overline{AC}}$$

$$\cos \phi' = \cos \phi$$

$$\phi' = \phi$$

$$90^\circ - \theta' = 90^\circ - \theta$$

$\therefore$

$$\theta = \theta'$$



การสะท้อนของคลื่น

กฎการสะท้อน

$$\text{มุมตกกระทบ } (\theta) = \text{มุมสะท้อน } (\theta')$$

ทบทวน : เฟสของคลื่นสะท้อนและคลื่นส่งผ่าน

เมื่อคลื่นเดินทางผ่านรอยต่อของตัวกลางสองตัวกลาง แล้วอัตราเร็วของคลื่นลดลง
คลื่นสะท้อนจะมีเฟสเปลี่ยนไป $\Delta\phi = \pi$ (หรือ 180°)

เมื่อคลื่นเดินทางผ่านรอยต่อของตัวกลางสองตัวกลาง แล้วอัตราเร็วของคลื่นเพิ่มขึ้น
คลื่นสะท้อนเฟสจะไม่เปลี่ยน $\Delta\phi = 0$

คลื่นส่งผ่านจะมีเฟสเหมือนเดิม

ข้อสังเกต

แสงสะท้อนจะเกิดขึ้นในทิศทางที่มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน โดยแนว
รังสีตกกระทบ รังสีสะท้อน และเส้นแนวฉาก อยู่ในระนาบเดียวกัน



Problem 17.4

แสงตกกระทบบนกระจกแบนทำให้เกิดการสะท้อน ถ้าให้จุดที่แสงตกกระทบบนเป็นจุดหมุน และหมุนให้กระจกดังกล่าวเบนจากเดิมไปเป็นมุม θ แสงสะท้อนจะเบนจากแนวสะท้อนเดิมเป็นมุมเท่าใด?

Answer : 2θ

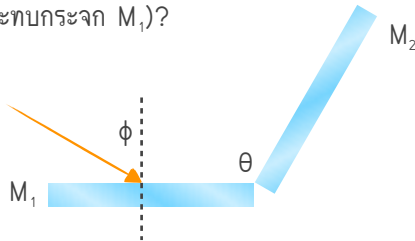
Problem 17.5

ยิงลำแสงจากผนังพุ่งตรงตกกระทบบนกระจกซึ่งขนานกับผนังดังกล่าว และห่างออกไป 1.0 m ปรากฏว่าแสงสะท้อนกลับมายังจุดที่ยิงลำแสงนั้นพอดี ถ้าเบนกระจกไปจากเดิมเป็นมุม 15° แสงจะสะท้อนกลับมายังผนังห่างจากจุดที่ยิงแสงเป็นระยะเท่าใด?

Answer : $\tan(30^\circ)$ m

Problem 17.6

กระจกเงาสองแผ่นวางทำมุมกัน θ ดังรูปด้านล่าง ถ้ายิงลำแสงตกกระทบบกระจก M_1 โดยทำมุม ϕ กับเส้นแนวฉาก (Normal Line) จงหาทิศทางการสะท้อนของลำแสงดังกล่าวจากกระจก M_2 (หามุมของลำแสงที่สะท้อนจากกระจก M_2 เทียบกับลำแสงที่เข้ามาตกกระทบบกระจก M_1)?



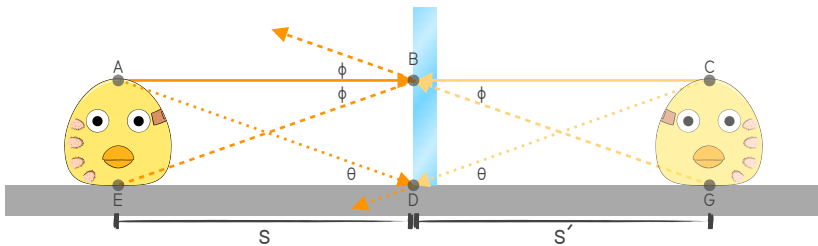
Answer : $360^\circ - 2\theta$

ภาพที่จากกระจกเงาแบน (Images Formed by Flat Mirrors)



ภาพจากกระจกเงาแบน

แนวคิดในการพิจารณาภาพที่เกิดจากกระจกเงา คือ การใช้กฎการสะท้อนของแสงเพื่อหาจุดตัดของแนวเส้นตรงรังสีของแสงอย่างน้อยสองเส้น เพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิงในการเกิดภาพ



การวิเคราะห์ภาพจากกระจกเงาแบน

- 1) แสงเดินทางจากจุด A ไปยังจุด B แล้วสะท้อนกลับมาในทิศทางเข้าหาจุด A จึงเสมือนว่ามีแสงเคลื่อนที่จากจุด C ไปยังจุด A จึงเกิดแนวเส้นรังสี $\overline{CA}$
- 2) แสงเดินทางจากจุด A ไปยังจุด D ทำมุม θ กับเส้นแนวฉาก แล้วสะท้อนทำมุม θ กับเส้นแนวฉากออกจากจุด D จึงเสมือนว่ามีแสงเดินทางจากจุด C ไปยังจุด D จึงเกิดแนวเส้นรังสี $\overline{CD}$
- 3) แสงเดินทางจากจุด E ไปยังจุด B ทำมุม ϕ กับเส้นแนวฉาก แล้วสะท้อนทำมุม ϕ กับเส้นแนวฉากออกจากจุด B จึงเสมือนว่ามีแสงเดินทางจากจุด G ไปยังจุด B จึงเกิดแนวเส้นรังสี $\overline{GB}$

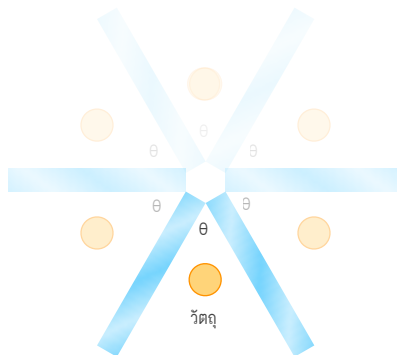
แสงเชิงรังสี (Ray Optics)

4) เส้นรังสี $\overline{CA}$ และ $\overline{CD}$ ตัดกันที่จุด C จึงเกิดภาพเสมือนที่แนว $\overline{CG}$ เนื่องจากเส้นรังสีที่ตัดกันนั้นไม่ใช่เส้นทางการเดินทางจริงของแสง แต่เป็นเพียงเส้นตรงเสมือนที่ลากขึ้นมาเท่านั้น

เมื่อพิจารณาสามเหลี่ยม EAD และสามเหลี่ยม GCD จะเห็นได้ว่าเป็นสามเหลี่ยมที่เท่ากันทุกประการ ดังนั้น $s' = s$

$\therefore$ ระยะภาพ (s') = ระยะวัตถุ (s)

จำนวนภาพที่เกิดจากกระจกเงาแบนสองแผ่น



จากรูปด้านบน สามารถหาจำนวนภาพที่เกิดจากการสะท้อนได้เท่ากับ

$$N = \frac{360^\circ}{\theta} - 1 \quad ; \text{ปัดเศษขึ้นเสมอ}$$

N คือ จำนวนภาพที่เกิดจากการสะท้อน

θ คือ มุมระหว่างกระจกเงาแบน

ข้อสังเกต

ภาพที่เห็นจากกระจกเงาราบจะอยู่ด้านหลังกระจกเงาราบ

Problem 17.7

กระจกเงาแบนสองบานต้องทำมุมกันเท่าใด จึงทำให้ภาพทั้งหมดที่เกิดจากวัตถุซึ่งอยู่ระหว่างกระจกทั้งสองบานมีจำนวน 11 ภาพ

Answer : $30.00^\circ \leq \theta < 32.73^\circ$

Problem 17.8

เด็กคนหนึ่งสูง H ยืนหน้ากระจกเงาราบ ถ้าต้องการเห็นเงาตัวเองในกระจกเต็มตัวจะต้องใช้กระจกสูงน้อยสุดเท่าใด?

Answer : $\frac{H}{2}$

Problem 17.9

กระจกเงาราบสูง 10 cm ห่างจากนัยน์ตาผู้สังเกต 50 cm สามารถมองเห็นภาพวัตถุด้านหลังได้ทั้งหมดพอดี ถ้าวัตถุตั้งกล่าวสูง 2.0 m วัตถุตั้งกล่าวห่างจากนัยน์ตาผู้สังเกตเท่าใด?

Answer : 9.0 m

Problem 17.10

ผู้สังเกตเคลื่อนที่เข้าหากระจกเงาราบด้วยความเร็วขนาด v ภาพที่เกิดจากกระจกเงาดังกล่าวจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วขนาดเท่าใด?

Answer : v

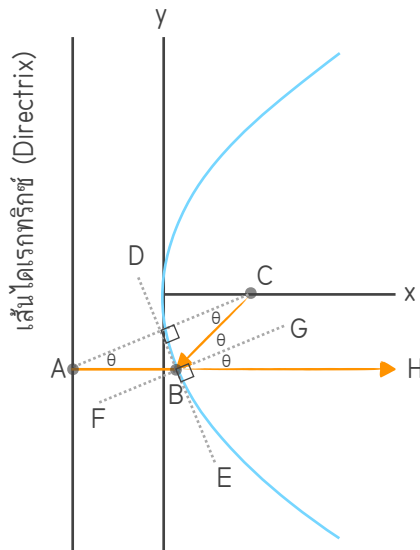
Problem 17.11

เลื่อนกระจกเงาราบเข้าหาผู้สังเกตด้วยความเร็วขนาด v ภาพที่เกิดจากกระจกเงาดังกล่าวจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วขนาดเท่าใด?

Answer : $2v$

ภาพที่จากกระจกเงาทรงกลม (Images Formed by Spherical Mirrors)

พิจารณาแสงเดินทางจากจุดโฟกัสของกระจกพาราโบลา (Parabola) ไปตกกระทบบนกระจกพาราโบลา ดังรูปด้านล่าง



จากนิยามของเส้นพาราโบลา จะได้ว่า เส้นรังสี $\overline{CB}$ ยาวเท่ากับเส้นตรง $\overline{AB}$ ดังนั้นสามเหลี่ยม ABC จึงเป็นสามเหลี่ยมหน้าจั่ว

เมื่อแบ่งครึ่งสามเหลี่ยม ABC ด้วยเส้นตรง $\overline{DE}$ จะได้ว่าเส้น $\overline{DE}$ ตั้งฉากกับเส้น $\overline{AC}$ และเนื่องจากเส้นตรง $\overline{FG}$ ขนานกับเส้น $\overline{AC}$ ดังนั้นเส้น $\overline{FG}$ จึงเป็นเส้นแนวฉากของรังสีตกกระทบบน $\overline{CB}$ (เส้น $\overline{FG}$ ขนานกับเส้น $\overline{AC}$) จึงได้เส้นรังสีสะท้อนเป็นแนวเส้นตรง $\overline{AH}$

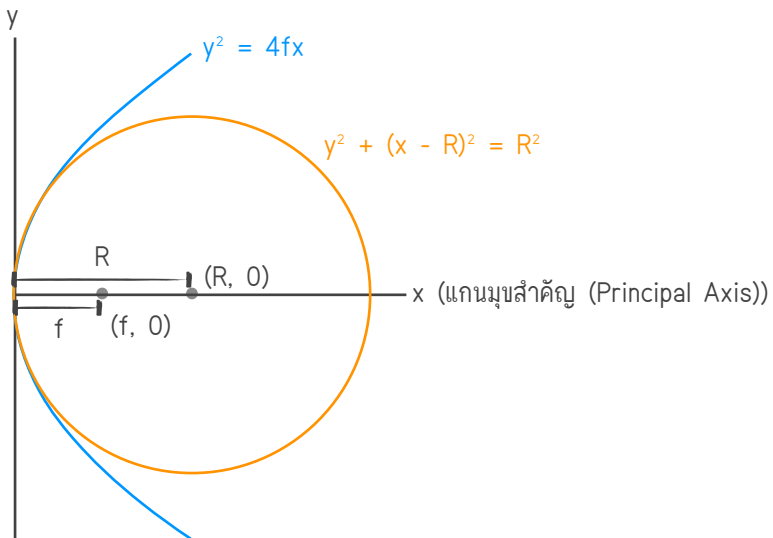


กระจกเงาพาราโบลา

เมื่อแสงเดินทางจากจุดโฟกัสของกระจกเงาพาราโบลา แสงสะท้อนจะเป็นแสงขนาน

และแสงขนานเมื่อตกกระทบกระจกเงาพาราโบลา แสงสะท้อนจะไปรวมกันที่จุดโฟกัสของกระจกเงาพาราโบนั่น

พิจารณากราฟพาราโบลาตามสมการ $y^2 = 4fx$ และสมการวงกลมตามสมการ $y^2 + (x - R)^2 = R^2$ ดังรูปด้านล่าง



แสงเชิงรังสี (Ray Optics)

จาก $y^2 + (x - R)^2 = R^2$

$$y^2 + x^2 - 2Rx + R^2 = R^2$$

$$y^2 = 2Rx - x^2$$

พิจารณาบริเวณที่ค่า y ใกล้เคียง ศูนย์ และค่า x น้อยมากๆ ($x^2 \approx 0$)
สมการวงกลมดังกล่าวจะลดรูปมาประมาณสมการพาราโบลา ดังนี้

$$y^2 \approx 2Rx$$

$$4fx \approx 2Rx$$

$$\therefore f \approx \frac{R}{2}$$



ระยะโฟกัสของกระจกเงาทรงกลม

เมื่อพิจารณาแสงบริเวณแกนमुखสำคัญ (Principal Axis) หรือกรณีที่ว่าวัตถุมีขนาดเล็กมากๆ เมื่อเทียบกับรัศมีของกระจกเงาทรงกลม ดังนั้น

ระยะโฟกัสของกระจกโค้งเว้า $f \approx \frac{R}{2}$

ระยะโฟกัสของกระจกโค้งนูน $f \approx -\frac{R}{2}$

เมื่อ R คือ รัศมีความโค้งของกระจกเงาทรงกลม



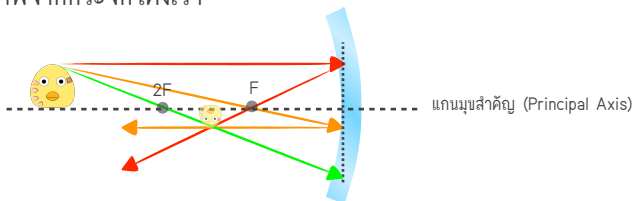


ตำแหน่งภาพจากการสะท้อนของกระจกเงาโค้ง

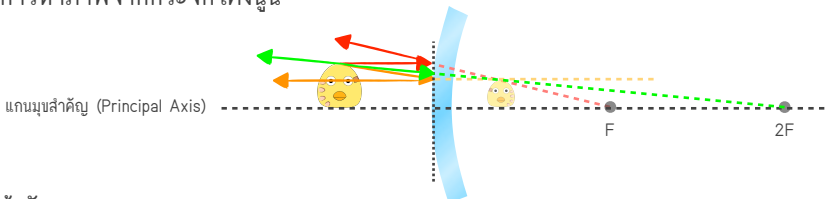
โดยการหาจุดตัดระหว่างเส้น 3 เส้น

- 1) เส้นรังสีขนานกับแกนमुखสำคัญตกกระทบบนกระจกเงาโค้ง และสะท้อนกลับมายังจุดโฟกัส (จุด F) ของกระจกเงาโค้งนั้น [เส้นสีแดงในรูปด้านล่าง]
- 2) เส้นรังสีที่ผ่านจุดโฟกัส (จุด F) ของกระจกเงาโค้ง และสะท้อนกลับขนานกับแกนमुखสำคัญ [เส้นสีเขียวในรูปด้านล่าง]
- 3) เส้นรังสีผ่านจุดสองเท่าของโฟกัส (จุด 2F) ของกระจกเงาโค้ง และสะท้อนกลับในแนวเดิม [เส้นสีเหลืองในรูปด้านล่าง]
- 4) ในกรณีที่แสงไม่สะท้อนกลับมาตัดกัน ให้พิจารณาแนวเส้นตรงเสมือนของแสง โดยการลากเส้นตรงต่อจากเส้นทั้งสามผ่านหลังกระจกเงาโค้งนั้น

การหาภาพจากกระจกโค้งเว้า



การหาภาพจากกระจกโค้งนูน

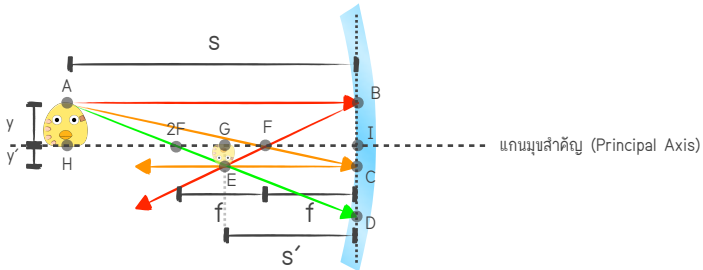


ข้อสังเกต

การใช้รังสีเพียงสองเส้นเพียงพอที่จะหาตำแหน่งของภาพ แต่อาจมีข้อผิดพลาดได้ง่ายกว่าการใช้เส้นรังสีสามเส้น

แสงเชิงรังสี (Ray Optics)

พิจารณาแสงจากวัตถุสะท้อนกระจกโค้งซึ่งมีรัศมีความโค้ง เท่ากับ R และมีระยะโฟกัส เท่ากับ $f = \frac{R}{2}$ ดังรูปด้านล่าง



พิจารณารูปสามเหลี่ยม BFI และ GFE

$$\begin{aligned}
 \text{จาก} \quad \tan(\widehat{BFI}) &= \tan(\widehat{GFE}) \\
 \frac{BI}{IF} &= \frac{EG}{GF} \\
 \frac{y}{f} &= \frac{y'}{s' - f} \\
 f &= \frac{s'y}{y + y'} \quad \dots\dots (1)
 \end{aligned}$$

พิจารณารูปสามเหลี่ยม AFH และ IFC

$$\begin{aligned}
 \text{จาก} \quad \tan(\widehat{AFH}) &= \tan(\widehat{IFC}) \\
 \frac{AH}{HF} &= \frac{CI}{IF} \\
 \frac{y}{s - f} &= \frac{y'}{f} \\
 f &= \frac{sy'}{y + y'} \quad \dots\dots (2)
 \end{aligned}$$

แสงเชิงรังสี (Ray Optics)

$$(1) = (2) ; \quad \frac{s'y}{y + y'} = \frac{sy'}{y + y'}$$

$$\frac{s'}{s} = \frac{y'}{y} = M \quad ; M \text{ คือ กำลังขยาย (Magnification)}$$

พิจารณารูปสามเหลี่ยม A(2F)H และ G(2F)E

$$\text{จาก} \quad \tan(\widehat{A(2F)H}) = \tan(\widehat{G(2F)E})$$

$$\frac{\overline{AH}}{\overline{H(2F)}} = \frac{\overline{EG}}{\overline{G(2F)}}$$

$$\frac{y}{s - 2f} = \frac{y'}{2f - s'}$$

$$\frac{2f - s'}{s - 2f} = \frac{y'}{y}$$

$$\frac{2f - s'}{s - 2f} = \frac{s'}{s} \quad ; \quad \frac{s'}{s} = \frac{y'}{y}$$

$$2fs - ss' = ss' - 2s'f$$

$$2s'f + 2fs = 2ss'$$

$$(s' + s)f = ss'$$

$$f = \frac{ss'}{s' + s}$$

$$\frac{s' + s}{ss'} = \frac{1}{f}$$

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



กระจกเงาทรงกลม

เมื่อพิจารณาแสงบริเวณแกนमुखสำคัญ (Principal Axis) หรือกรณีที่วัตถุมีขนาดเล็กมากๆ เมื่อเทียบกับรัศมีของกระจกเงาทรงกลม ดังนั้น

$$\text{ระยะโฟกัสของกระจกโค้งเว้า} \quad f \approx \frac{R}{2} \quad ; f > 0$$

$$\text{ระยะโฟกัสของกระจกโค้งนูน} \quad f \approx -\frac{R}{2} \quad ; f < 0$$

R คือ รัศมีความโค้งของกระจกเงาทรงกลม

กำลังขยาย (Magnification ; M)

$$M = \frac{y'}{y} = \frac{s'}{s}$$

y' คือ ความสูงของภาพ

y คือ ความสูงของวัตถุ

s' คือ ระยะภาพ (ระยะจากตำแหน่งสะท้อนกระจกเงาไปยังตำแหน่งที่เกิดภาพ)

s คือ ระยะวัตถุ (ระยะจากตำแหน่งวัตถุไปยังตำแหน่งที่สะท้อนกระจกเงา)

ความสัมพันธ์ของ s , s' และ f

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

$s > 0$ เมื่อวัตถุอยู่หน้ากระจก

$s < 0$ เมื่อวัตถุอยู่หลังกระจก

$s' > 0$ เมื่อเป็นภาพจริง (เกิดขึ้นหน้ากระจก)

$s' < 0$ เมื่อเป็นภาพเสมือน (เกิดขึ้นหลังกระจก)



ภาพที่เกิดจากกระจกโค้ง เมื่อวัตถุอยู่ที่ตำแหน่งต่างๆ

ภาพจากกระจกโค้งเว้า ($f > 0$)

s ($N > 1$)	s'	M	ลักษณะภาพ
$0 < s < f$ $[s = \frac{f}{N}]$	$-\frac{f}{N - 1}$	$\frac{1}{1 - \frac{1}{N}}$	เป็นภาพเสมือน (หัวตั้ง) อยู่ระหว่าง 0 ถึง $-f$ (หลังกระจก) ขนาดใหญ่กว่าวัตถุ
$s = f$	∞	ไม่เกิดภาพ	ไม่เกิดภาพ
$f < s < 2f$ $[s = \frac{(N + 1)f}{N}]$	$(N + 1)f$	N	เป็นภาพจริง (หัวกลับ) อยู่ระหว่าง $2f$ ถึง ∞ (หน้ากระจก) ขนาดใหญ่กว่าวัตถุ
$s = 2f$	$2f$	1	เป็นภาพจริง (หัวกลับ) อยู่ที่ตำแหน่ง $2f$ (หน้ากระจก) ขนาดเท่ากับวัตถุ
$s > 2f$ $[s = (N + 1)f]$	$\frac{(N + 1)f}{N}$	$\frac{1}{N}$	เป็นภาพจริง (หัวกลับ) อยู่ระหว่าง f ถึง $2f$ (หน้ากระจก) ขนาดเล็กกว่าวัตถุ

ข้อสังเกต

เมื่อระยะวัตถุน้อยกว่าความยาวโฟกัสของกระจกโค้งเว้า จะได้ภาพขยายที่มีขนาดใหญ่กว่าวัตถุ

ภาพจากกระจกโค้งเว้าสามารถเป็นได้ทั้งภาพจริงและภาพเสมือน

ภาพที่เกิดจากกระจกเงาทรงกลมจะอยู่หน้าหรือหลังกระจกเงาทรงกลมก็ได้

แสงที่สะท้อนจากกระจกเงาทรงกลมไปตัดกันจริงจะเกิดภาพจริงที่หน้ากระจกเงาทรงกลมนั้น แต่แสงที่สะท้อนจากกระจกเงาทรงกลมแล้วเสมือนว่าตัดกันหลังกระจกเงาทรงกลมจะเกิดเป็นภาพเสมือนหลังกระจกเงาทรงกลมนั้น

แสงเชิงรังสี (Ray Optics)

ภาพจากกระจกโค้งนูน ($f < 0$)

s ($N > 1$)	s'	M	ลักษณะภาพ
$0 < s < f$ [s = $\frac{f}{N}$]	$-\frac{f}{N+1}$	$-\frac{1}{1+\frac{1}{N}}$	เป็นภาพเสมือน (หัวตั้ง) อยู่ระหว่าง 0 ถึง $-\frac{f}{2}$ (หลังกระจก) ขนาดเล็กกว่าวัตถุ
s = f	$-\frac{f}{2}$	$-\frac{1}{2}$	เป็นภาพเสมือน (หัวตั้ง) อยู่ที่ตำแหน่ง $-\frac{f}{2}$ (หลังกระจก) ขนาด $\frac{1}{2}$ ของวัตถุ (เล็กกว่าวัตถุ)
$f < s < 2f$ [s = $\frac{(N+1)f}{N}$]	$-\frac{(N+1)f}{2N+1}$	$-\frac{1}{2+\frac{1}{N}}$	เป็นภาพเสมือน (หัวตั้ง) อยู่ระหว่าง $-\frac{f}{2}$ ถึง $-\frac{2f}{3}$ (หลังกระจก) ขนาดเล็กกว่าวัตถุ
s = 2f	$-\frac{2f}{3}$	$-\frac{1}{3}$	เป็นภาพเสมือน (หัวตั้ง) อยู่ที่ตำแหน่ง $-\frac{2f}{3}$ (หลังกระจก) ขนาด $\frac{1}{3}$ ของวัตถุ (เล็กกว่าวัตถุ)
s > 2f [s = $(N+1)f$]	$-\frac{(N+1)f}{(N+2)}$	$-\frac{1}{N+2}$	เป็นภาพเสมือน (หัวตั้ง) อยู่ระหว่าง $-\frac{2f}{3}$ ถึง -f (หลังกระจก) ขนาดเล็กกว่าวัตถุ

ข้อสังเกต

ภาพที่เกิดจากกระจกโค้งนูน จะเป็นภาพเสมือนขนาดเล็กกว่าวัตถุเท่านั้น
ตำแหน่งภาพที่เกิดจากกระจกโค้งนูนจะอยู่ระหว่าง 0 ถึง -f (หลังกระจก)
กระจกเงาโค้งนูนรับแสงได้เป็นมุมกว้างกระจกเงาราบ ทำให้เห็นภาพสิ่ง
แวดล้อมได้มากกว่า

Problem 17.12

วัตถุสูง L วางอยู่หน้ากระจกเว้าความยาวโฟกัส f เป็นระยะ s ภาพที่เกิดจะมีความสูงขนาดเท่าใด?

$$\text{Answer : } \frac{fL}{s - f}$$

Problem 17.13

วัตถุสูง 10 cm วางอยู่หน้ากระจกนูนรัศมีความโค้ง 50 cm เป็นระยะ 100 cm ภาพที่เกิดจะมีความสูงขนาดเท่าใด?

$$\text{Answer : } 2.0 \text{ cm}$$

Problem 17.14

วัตถุอยู่หน้ากระจกโค้งที่ระยะ 10 cm พบว่าเกิดภาพซึ่งใช้จากรับได้ที่ระยะห่างจากกระจกโค้งดังกล่าว 10 cm กระจกดังกล่าวเป็นกระจกโค้งชนิดใด และมีความยาวโฟกัสขนาดเท่าใด?

Answer : กระจกโค้งเว้า ความยาวโฟกัสขนาด 5.0 cm

Problem 17.15

วางวัตถุหน้ากระจกโค้งซึ่งมีความยาวโฟกัสขนาด 20 cm ปรากฏภาพภาพเสมือนกำลังขยาย 0.10 จงหาระยะของวัตถุดังกล่าว?

Answer : 1.8 m

Problem 17.16

ในการทดลองหาความยาวโฟกัสของกระจกเว้า พบว่าเมื่อวางวัตถุห่างกระจกเว้า ดังกล่าวเป็นระยะ 20 cm ปรากฏภาพจริงมีความสูงเป็นสามเท่าของวัตถุ ถ้าวางวัตถุห่างจากกระจกเว้าดังกล่าวเป็นระยะ 10 cm ภาพจะแบบใด และมีขนาดเป็นกี่เท่าของวัตถุ?

Answer : ภาพเสมือนขนาด 3 เท่าของวัตถุ

Problem 17.17

ปากกายาว 15 cm วางหน้ากระจกโค้งรัศมี 30 cm โดยวางตามแนวแกนมุขสำคัญของกระจกโค้ง และปลายปากกาด้านใกล้อยู่ที่จุดศูนย์กลางของกระจกโค้งดังกล่าว ภาพปากกาที่เกิดขึ้นจะมีความยาวเท่าใด?

Answer : 7.5 cm

Problem 17.18

วัตถุวางหน้ากระจกเงา ทำให้เกิดภาพจริงขนาด 4 เท่าของวัตถุ เมื่อเลื่อนวัตถุเข้าใกล้วัตถุไปอีก 10 cm จะได้ภาพเสมือนขนาด 4 เท่าของวัตถุ กระจกดังกล่าวมีความยาวโฟกัสเป็นเท่าใด?

Answer : 20 cm

Problem 17.19

วัตถุวางหน้ากระจกเว้าเป็นระยะ a และ b โดยที่ $a < b$ ถ้าภาพที่ได้มีขนาดเท่ากัน ความยาวโฟกัสของกระจกเว้าเป็นเท่าใด?

Answer : $\frac{a + b}{2}$

Problem 17.20

กระจกเงาราบวางตั้งฉากกับแกนमुखสำคัญของกระจกเว้า ซึ่งมีรัศมีความโค้งเท่ากับ 20.0 cm โดยกระจกทั้งสองหันด้านที่สะท้อนแสงเข้าหากันและอยู่ห่างกัน 35.0 cm วัตถุสูง 1.00 cm วางขนานกับกระจกเงาราบและกึ่งกลางวัตถุอยู่บนแกนमुखสำคัญของกระจกเว้า ถ้าวัตถุวางห่างจากกระจกเงาราบ 5.0 cm ภาพที่เกิดขึ้นจากการสะท้อนครั้งที่สองเป็นภาพชนิดใด และมีขนาดเป็นกี่เท่าของวัตถุ (การสะท้อนครั้งแรกเป็นการสะท้อนจากกระจกเงาราบ)?

Answer : ภาพจริงขนาด $\frac{1}{3}$ เท่าของวัตถุ

Problem 17.21

กระจกเว้าและกระจกกราบหันหน้าสะท้อนเข้าหากัน เมื่อวัตถุอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างกระจกทั้งสอง ปรากฏภาพสะท้อนจากกระจกทั้งสองที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างวัตถุทั้งสองเช่นกัน ถ้ากระจกเว้ามีรัศมีโค้งเท่ากับ R กระจกทั้งสองนี้วางห่างกันเท่าใด?

$$\text{Answer : } \frac{4R}{3}$$

การหักเห (Refraction)

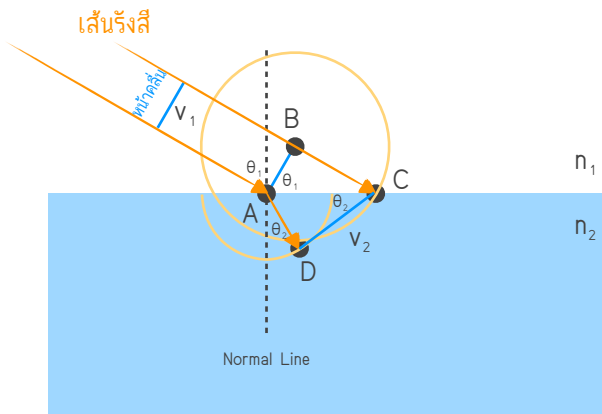


ดรรชนีหักเห (Refraction Index)

ดรรชนีหักเห (Refraction Index ; n [ไม่มีหน่วย]) คือ อัตราเร็วของแสงในสุญญากาศ (c) เทียบกับอัตราเร็วของแสงในตัวกลางนั้นๆ (v) ตามสมการ

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

พิจารณาเส้นรังสีของคลื่นสองเส้นซึ่งเกิดจากหน้าคลื่นเดียวกัน โดยคลื่นดังกล่าวเคลื่อนที่กระทบรอยต่อระหว่างตัวกลาง และเกิดรังสีหักเหตาม Huygens's Principle ดังรูปด้านล่าง



แสงเชิงรังสี (Ray Optics)

จาก

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{\frac{\overline{BC}}{\overline{AC}}}{\frac{\overline{AD}}{\overline{AC}}}$$

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{\overline{BC}}{\overline{AD}}$$

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

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

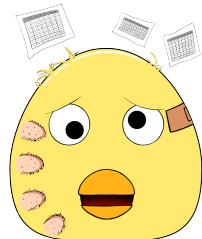
$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{cv_1}{cv_2}$$

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

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{f\lambda_1}{f\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

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





กฎของสเนลล์ (Snell's Law)

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

θ_1 คือ มุมตกกระทบในตัวกลางดรรชนีหักเห n_1

θ_2 คือ มุมหักเหในตัวกลางดรรชนีหักเห n_2

v_1 คือ อัตราเร็วคลื่นในตัวกลางดรรชนีหักเห n_1

v_2 คือ อัตราเร็วคลื่นในตัวกลางดรรชนีหักเห n_2

λ_1 คือ ความยาวคลื่นในตัวกลางดรรชนีหักเห n_1

λ_2 คือ ความยาวคลื่นในตัวกลางดรรชนีหักเห n_2

n_1 คือ ดรรชนีหักเหของตัวกลางที่แสงตกกระทบ

n_2 คือ ดรรชนีหักเหของตัวกลางที่แสงหักเห

ข้อสังเกต

เมื่อแสงเปลี่ยนตัวกลางการเคลื่อนที่ จะเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ ยกเว้น
ในกรณีแสงตกกระทบตั้งฉากกับผิวรอยต่อ (มุมตกกระทบเท่ากับ 0°)

ดรรชนีหักเหของตัวกลางหนึ่งจะมีค่าแตกต่างกันในแต่ละความยาวคลื่น

เมื่อแสงตกกระทบรอยต่อระหว่างตัวกลาง จะเกิดทั้งการสะท้อนและการหักเห

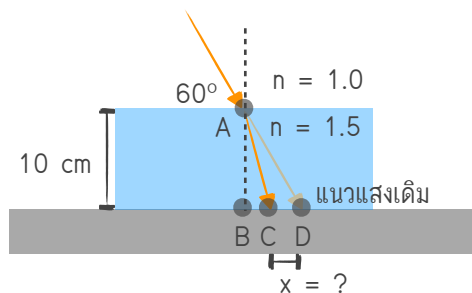


Problem 17.22

การทดลองหนึ่งใช้มุมกระทบของแสงในอากาศเท่ากับ 60° ทำให้เกิดมุมหักเหในตัวกลางที่หนึ่งเท่ากับ 30° ถ้าเปลี่ยนเป็นตัวกลางที่สองโดยใช้มุมตกกระทบในอากาศเท่ากับ 60° เช่นเดิมจะทำให้เกิดมุมหักเหในตัวกลางที่สองเท่ากับ 45° ค่าดัชนีหักเหในตัวกลางที่หนึ่งจะเป็นกี่เท่าของดัชนีหักเหในตัวกลางที่สอง?

Answer : $\sqrt{2}$ **Problem 17.23**

ยิงแสงไฟทำมุม 60° เทียบผิวโต๊ะ นำแท่งแก้วดัชนีหักเห 1.5 ซึ่งหนา 10 cm มาวางขวางแนวแสงดังกล่าว ดังรูปด้านล่าง แสงจะตกกระทบผิวโต๊ะห่างจากเดิมเท่าใด?



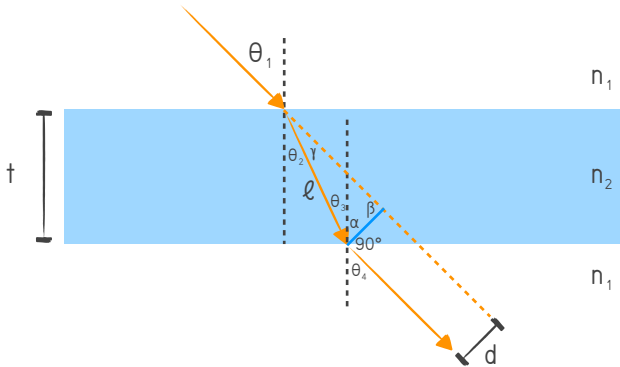
แสงเชิงรังสี (Ray Optics)

Answer : 2.24 cm



Problem 17.24 Challenge

ลำแสงเคลื่อนที่จากตัวกลางดรรชนีหักเห n_1 ไปยังตัวกลางดรรชนีหักเห n_2 ซึ่งมีผิวด้านบนและด้านล่างขนานกัน และลำแสงได้เคลื่อนที่ออกมายังตัวกลางดรรชนีหักเห n_1 โดยแสงทำมุม θ_1 กับเส้นปกติ และตัวกลางดรรชนีหักเห n_2 หนา t ดังรูปด้านล่าง



- จงแสดงว่าลำแสงที่หักเหออกมาจากตัวกลางดรรชนีหักเห n_2 ขนานกับลำแสงที่หักเหเข้ามายังตัวกลางดรรชนีหักเห n_2 ?
- จงแสดงว่า $d = t \cos \theta_1 [\tan \theta_1 - \tan(\sin^{-1}(\frac{n_1}{n_2} \sin \theta_1))]$?

17 - 40

แสงเชิงรังสี (Ray Optics)

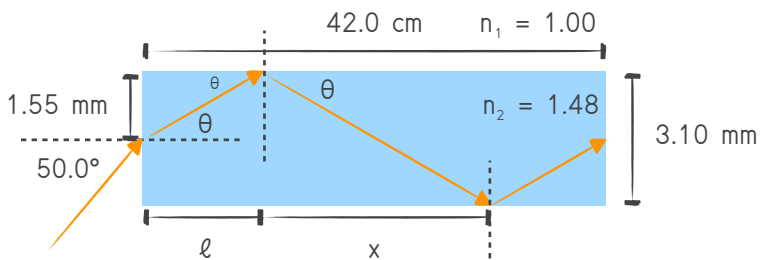
Problem 17.25

เสาไม้ทึบมียอดเสาสูงจากพื้นสระน้ำ 4.00 m โดยสระน้ำมีระดับน้ำลึก 2.00 m จงหาความยาวของเงาเสาดังกล่าวที่พื้นสระน้ำในขณะที่ดวงอาทิตย์ทำมุม 40.0° เหนือระดับขอบฟ้า (กำหนดให้ดัชนีหักเหของน้ำเท่ากับ 1.33)?

Answer : 3.79 m

Problem 17.26 Challenge

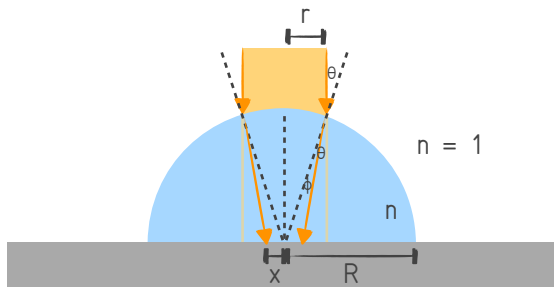
ลำเลเซอร์เดินทางจากอากาศผ่านเข้าสู่แท่งแก้วดรรชนีหักเห 1.48 ดังรูปด้านล่าง จงหาจำนวนครั้งของการสะท้อนทั้งหมดก่อนที่จะแสงจะออกมาจากปลายอีกฝั่งหนึ่งของแท่งแก้วดังกล่าว?



Answer : 82 ครั้ง

Problem 17.27 Challenge

ยึกลำแสงรัศมี r ใส่ตั้งฉากผิวแก้วครึ่งทรงกลมตันรัศมี R โดย $R \gg r$ จงประมาณได้ว่า $R^2 - r^2 \approx R^2$ ดังรูปด้านล่าง ถ้าดัชนีหักเหของอากาศเท่ากับ 1 และดัชนีหักเหของแก้วเท่ากับ n โดย $n > 1$ จงหารัศมีของลำแสงที่ตกกระทบพื้น?



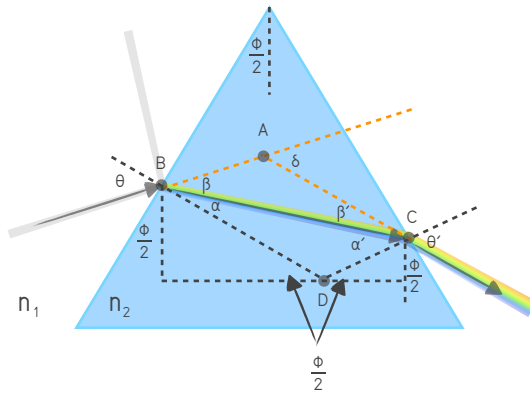
แสงเชิงรังสี (Ray Optics)

Answer : $\frac{r}{n}$



ปริซึม (Prism)

พิจารณาการหักเหของแสงซึ่งเคลื่อนที่จากตัวกลางดรรชนีหักเห n_1 ผ่านปริซึมซึ่งมีดรรชนีหักเห n_2 มีมุมยอดปริซึมเท่ากับ Φ และแสงดังกล่าวทำมุมตกกระทบ θ ทำให้แสงหักเหเบนออกจากแนวแสงที่เข้ามาเป็นมุม δ ดังรูปด้านล่าง



พิจารณาสามเหลี่ยม ABC จะได้ $\delta = \beta + \beta'$

$$\delta = (\theta - \alpha) + (\theta' - \alpha')$$

$$\delta = (\theta + \theta') - (\alpha + \alpha')$$

พิจารณาสามเหลี่ยม BCD จะได้ $\Phi = \alpha + \alpha'$ (1)

$$\therefore \delta = \theta + \theta' - \Phi \quad \text{..... (2)}$$

จาก $(\sqrt{\theta} - \sqrt{\theta'})^2 = \theta + \theta' - 2\sqrt{\theta\theta'}$

$$\theta + \theta' = (\sqrt{\theta} - \sqrt{\theta'})^2 + 2\sqrt{\theta\theta'}$$

$$\therefore \delta = (\sqrt{\theta} - \sqrt{\theta'})^2 + 2\sqrt{\theta\theta'} - \Phi$$

แสงเชิงรังสี (Ray Optics)

ดังนั้น δ จะมีค่าน้อยสุด เมื่อ $\sqrt{\theta'} = \sqrt{\theta}$

$$\theta' = \theta \quad ; \quad \theta > 0 \text{ และ } \theta' > 0$$

$$(2) ; \quad \delta_{\min} = \theta + (\theta) - \phi$$

$$\delta_{\min} = 2\theta - \phi \quad \rightarrow \therefore \theta = \frac{\phi + \delta_{\min}}{2}$$

พิจารณาการหักเหที่จุด B จะได้

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin\theta}{\sin\alpha} \quad \dots\dots (3)$$

$$\sin\alpha = \frac{n_1 \sin\theta}{n_2}$$

พิจารณาการหักเหที่จุด C จะได้

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin\theta'}{\sin\alpha'}$$

$$\sin\alpha' = \frac{n_1 \sin\theta'}{n_2}$$

$$\sin\alpha' = \frac{n_1 \sin\theta}{n_2}$$

$$\sin\alpha' = \sin\alpha \quad \rightarrow \therefore \alpha' = \alpha$$

$$(1) ; \quad \phi = \alpha + \alpha'$$

$$\phi = 2\alpha \quad \rightarrow \therefore \alpha = \frac{\phi}{2}$$

$$(3) ; \quad \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin(\frac{\phi + \delta_{\min}}{2})}{\sin(\frac{\phi}{2})}$$

ข้อสังเกต

เมื่อแสงขาวเคลื่อนที่ผ่านปริซึมสามเหลี่ยม จะเกิดการหักเหแยกแสงสีต่างๆ

ออกมา เนื่องจากแสงแต่ละสีมีความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน $(\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2})$

แสงเชิงรังสี (Ray Optics)

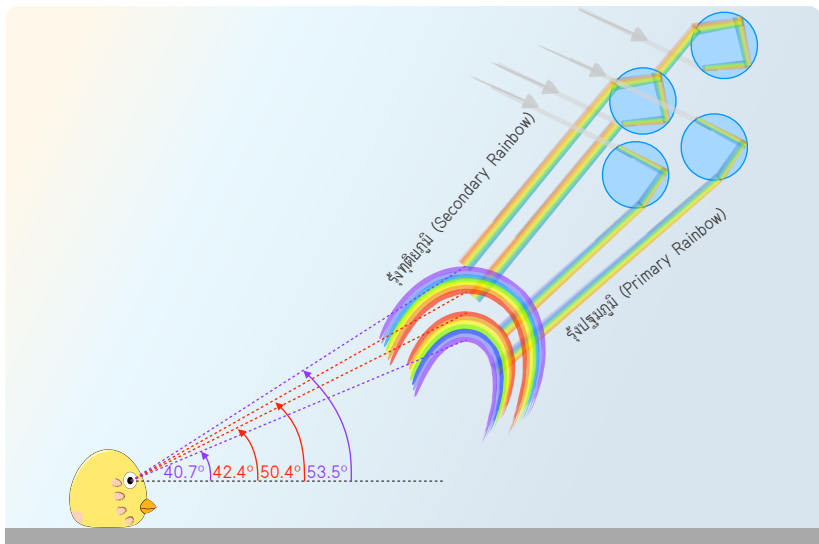


รุ้ง (Rainbow)

รุ้งเกิดจากการหักเหของแสงที่รอยต่อของหยดน้ำ แยกแสงสีต่างๆ ออกมา และเกิดการสะท้อนแสงนั้นกลับมาเข้าสู่ตาของผู้สังเกต

รุ้งปฐมภูมิ (Primary Rainbow) คือ รุ้งที่เกิดการสะท้อนของแสงภายในหยดน้ำ 1 ครั้ง

รุ้งทุติยภูมิ (Secondary Rainbow) คือ รุ้งที่เกิดการสะท้อนของแสงภายในหยดน้ำ 2 ครั้ง



ข้อสังเกต

เมื่อมีละอองน้ำในปริมาณที่เหมาะสม เราสามารถเห็นรุ้งได้เมื่อหันหลังให้ดวงอาทิตย์เท่านั้น

แสงเชิงรังสี (Ray Optics)



อาทิตย์ทรงกลด (Sun Halo)

กลไกการเกิดทรงกลดนั้นคล้ายกับการเกิดรุ้ง แต่เกิดขึ้นกับผลึกน้ำแข็งรูปหกเหลี่ยม (รุ้งเกิดขึ้นกับหยดน้ำทรงกลม) ทำให้เกิดการแยกแสงสีต่างๆ ออกมาเป็นวงกลมรอบดวงอาทิตย์ด้วยรัศมีประมาณ 22° ดังรูปด้านล่าง



รูปภาพจาก : www.wikipedia.org

ข้อสังเกต

ดวงจันทร์สามารถเกิดการทรงกลดได้ โดยเกิดในคืนที่ดวงจันทร์สว่างจ้า และชั้นบรรยากาศมีเมฆที่ประกอบด้วยผลึกน้ำแข็งรูปหกเหลี่ยมในปริมาณที่เหมาะสม



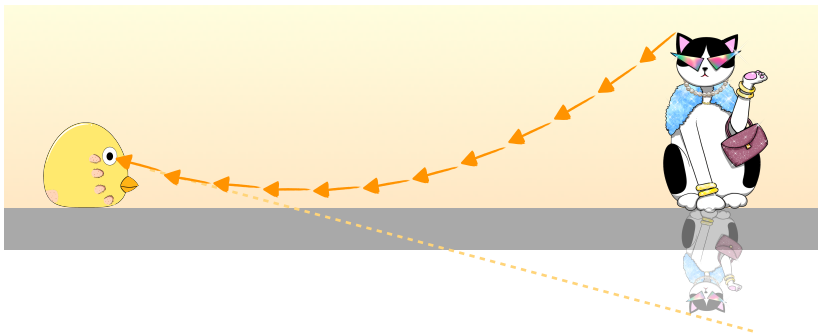
รูปภาพจาก : www.wikipedia.org

แสงเชิงรังสี (Ray Optics)



มิราจ (Mirage)

มิราจเกิดจากการหักเหของแสงผ่านหลายตัวกลางจนทำให้ทิศทางการเคลื่อนที่ของแสงมีการเปลี่ยนทิศทางหลายครั้ง เมื่อแสงนั้นเข้าสู่ตาของผู้สังเกต ทำให้ผู้สังเกตเห็นภาพต่างไปจากปกติ



รูปภาพจาก : www.wikipedia.org

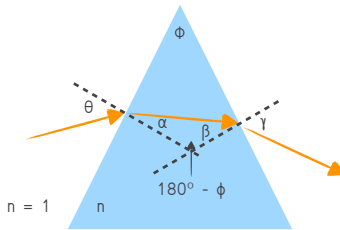
ข้อสังเกต

ภาพมิราจเกิดจากการหักเหของแสงในบรรยากาศชั้นต่างๆ เพราะความหนาแน่นของอากาศแต่ละชั้นไม่เท่ากัน



Problem 17.28

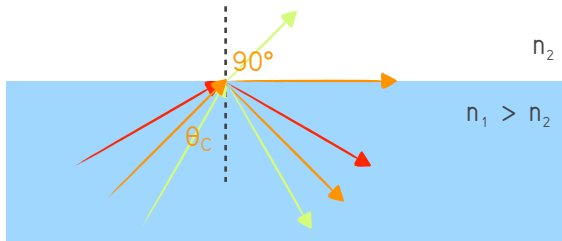
ปริซึมมีมุมยอดเท่ากับ ϕ และมีดัชนีหักเหเท่ากับ n ถูกแสงยิงใส่จากอากาศ (ดัชนีหักเหประมาณ 1) ทำมุมตกกระทบเท่ากับ θ ดังรูปด้านล่าง แสงดังกล่าวจะออกจากปริซึมด้วยมุมหักเหขนาดเท่าใด?



$$\text{Answer : } \sin^{-1}[n \sin(\phi - \sin^{-1}(\frac{\sin \theta}{n}))]$$

การสะท้อนกลับหมด (Total Internal Reflection)

เมื่อพิจารณากรณีที่แสงเคลื่อนที่จากตัวกลางซึ่งมีดรรชนีหักเหมากกว่าไปยังตัวกลางซึ่งมีดรรชนีหักเหต่ำกว่า จะทำให้มุมหักเหมากกว่ามุมตกกระทบ เมื่อมุมตกกระทบมากขึ้นยังทำให้มุมหักเหมากขึ้น จนถึงมุมตกกระทบค่าหนึ่งซึ่งทำให้เกิดมุมหักเหเป็น 90° พอดี (แสงไม่ได้เคลื่อนที่เข้าไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง) เราเรียกมุมตกกระทบดังกล่าวว่า “มุมวิกฤต (Critical Angle, θ_c)” และเมื่อมุมตกกระทบมากกว่าหรือเท่ากับมุมวิกฤตนี้ แสงจะเกิดการสะท้อนกลับทั้งหมด ดังรูปด้านล่าง



จากรูป จะได้

$$\frac{\sin \theta_c}{\sin(90^\circ)} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$



มุมวิกฤต (Critical Angle)

มุมวิกฤต (Critical Angle, θ_c) คือ มุมตกกระทบน้อยสุดซึ่งทำให้เกิดการสะท้อนกลับหมด

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

n_1 คือ ดรรชนีหักเหของตัวกลางที่แสงตกกระทบ

n_2 คือ ดรรชนีหักเหของตัวกลางที่แสงหักเห

Problem 17.29

ยิงแสงตกกระทบบตัวกลางดรรชนีหักเห n_1 ผ่านเข้าเข้าไปยังตัวกลางดรรชนีหักเห n_2 และผ่านต่อไปยังดรรชนีหักเห n_3 ถ้าต้องการให้แสงสะท้อนกลับหมดที่รอยต่อระหว่างตัวกลางดรรชนีหักเห n_2 และ n_3 เท่านั้น ดรรชนีหักเหทั้ง 3 ควรมีความสัมพันธ์กันอย่างไร?

Answer : $n_2 > n_1$ and $n_2 > n_3$

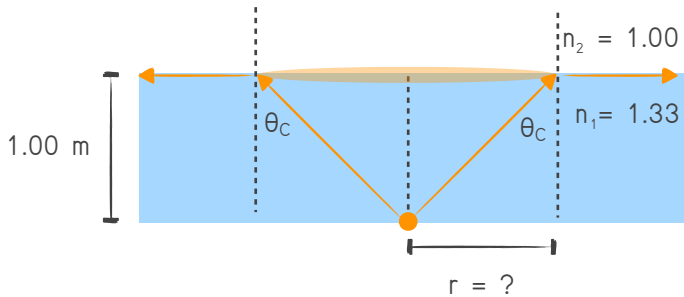
Problem 17.30

ยิงแสงจากของเหลวชนิดหนึ่งไปยังอากาศ วัดมุมวิกฤตได้เท่ากับ 60° อัตราเร็วของแสงในของเหลวดังกล่าวเป็นเท่าใด (กำหนดอัตราเร็วของแสงในอากาศเท่ากับ c)?

Answer : $\frac{\sqrt{3}c}{2}$

Problem 17.31

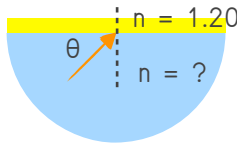
หลอดไฟทรงกลมส่องสว่างอยู่ก้นสระน้ำ ลึก 1.00 m เมื่อแสงไฟพุ่งจากน้ำขึ้นมายังอากาศทำให้เห็นแสงเป็นวงกลมสว่างที่ผิวน้ำ จงหารัศมีของวงกลมดังกล่าว (กำหนดให้ดัชนีหักเหของน้ำเท่ากับ 1.33)?



Answer : 1.14 m

Problem 17.32

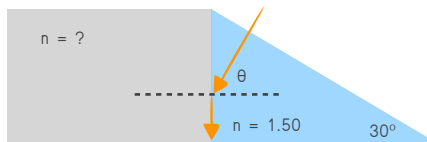
แก้วครึ่งทรงกลม วางด้านระนาบหงายขึ้น โดยระนาบเคลือบด้วยของเหลวดัชนีหักเห 1.20 ดังรูปด้านล่าง เมื่อแสงตกกระทบทำมุม $\theta < 60^\circ$ แสงจะไม่หักเหผ่านขึ้นมา และจะเริ่มเห็นแสงผ่านขึ้นที่มุม $\theta = 60^\circ$ ดรรชนีหักเหของแก้วเป็นเท่าใด?



Answer : 2.40

Problem 17.33

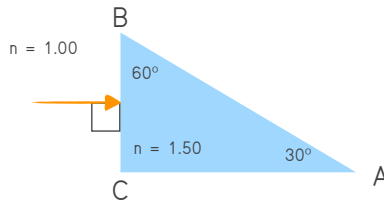
ยิงแสงตกตั้งฉากกับด้านหนึ่งของปริซึมสามเหลี่ยมดรรชนีหักเห 1.50 ซึ่งวางติดกับแท่งพลาสติกรูปสี่เหลี่ยม ทำให้แสงหักเหไปตามรอยต่อระหว่างปริซึมและพลาสติกสี่เหลี่ยม ดังรูปด้านล่าง ดรรชนีหักเหของพลาสติกเป็นเท่าใด?



Answer : 1.30

Problem 17.34

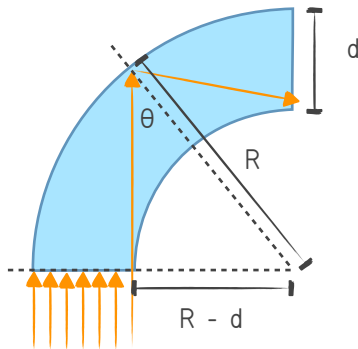
ปริซึมสามเหลี่ยม ABC ดรรชนีหักเห 1.50 ถูกยิงด้วยลำแสงจากอากาศดรรชนีหักเห 1.00 ดังรูปด้านล่าง จงหามุมที่แสงเบี่ยงเบนจากทิศทางเดิมกับที่ยิงแสงเข้าไป (กำหนดให้ $\sin^{-1}(0.75) = 48.6^\circ$)



Answer : 41.4°

Problem 17.35 Challenge

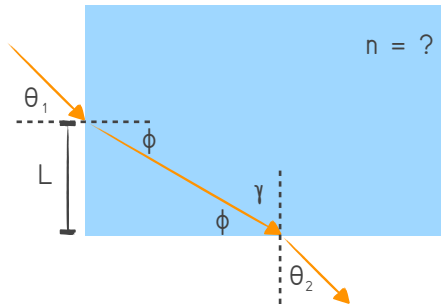
ใยแก้วนำแสงมีดัชนีหักเห n เส้นผ่านศูนย์กลาง d อยู่ในอากาศปกติซึ่งมีดัชนีหักเหประมาณ 1.00 ถ้าต้องการส่งแสงจากปลายด้านหนึ่งไปยังปลายอีกด้านหนึ่ง ดังรูปด้านล่าง จงหาค่า R ที่ทำให้แสงไม่หักเหออกจากใยแก้วนำแสง?



$$\text{Answer : } R \geq \frac{nd}{n - 1}$$

Problem 17.36 Challenge

แสงเดินทางจากอากาศเข้าไปยังแท่งแก้วตามทิศทาง ดังรูปด้านล่าง ครรชนหักเหของแท่งแก้วจะต้องมีค่าอย่างน้อยเท่าใดที่จะทำให้เกิดการสะท้อนกลับหมดทุกๆ ค่าของมุมตกกระทบ θ_1 ?

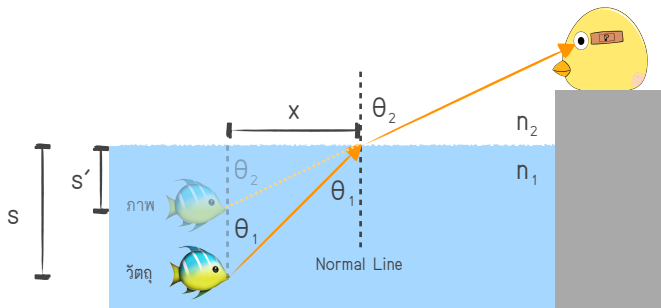


แสงเชิงรังสี (Ray Optics)

Answer : $\sqrt{2}$

ความลึกจริง และความลึกปรากฏ (Real Depth and Apparent Depth)

พิจารณาแสงจากวัตถุเคลื่อนที่จากตัวกลางดรรชนีหักเห n_1 ไปยังตัวกลางดรรชนีหักเห n_2 และเข้าสู่ตาผู้สังเกต ดังรูปด้านล่าง



จาก

$$\frac{\tan\theta_1}{\tan\theta_2} = \frac{\frac{x}{s}}{\frac{x}{s'}}$$

$$\frac{\tan\theta_1}{\tan\theta_2} = \frac{s'}{s}$$

$$\frac{\sin\theta_1 \cos\theta_2}{\cos\theta_1 \sin\theta_2} = \frac{s'}{s}$$

$$\frac{n_2 \cos\theta_2}{n_1 \cos\theta_1} = \frac{s'}{s}$$

ในกรณีที่มองเข้าไปตรงๆ (θ_1 และ θ_2 น้อยมากๆ) ดังนั้น $\cos\theta \approx 1$

$\therefore$

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{s'}{s}$$



ความลึกจริง และความลึกปรากฏ

ในกรณีมองเอียงเทียบกับเส้นแนวนอน

$$\frac{\tan\theta_1}{\tan\theta_2} = \frac{n_2 \cos\theta_2}{n_1 \cos\theta_1} = \frac{s'}{s}$$

ในกรณีมองตรง (มองตามแนวเส้นแนวนอน)

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{s'}{s}$$

θ_1 คือ มุมตกกระทบในตัวกลางดรรชนีหักเห n_1

θ_2 คือ มุมหักเหในตัวกลางดรรชนีหักเห n_2

n_1 คือ ดรรชนีหักเหของตัวกลางที่วัตถุอยู่

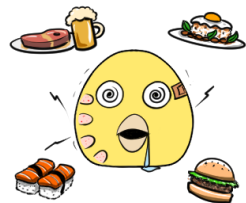
n_2 คือ ดรรชนีหักเหของตัวกลางที่ผู้สังเกตอยู่

s คือ ระยะห่างของวัตถุเทียบกับผิวรอยต่อระหว่างตัวกลาง n_1 และ n_2

s' คือ ระยะห่างของภาพเทียบกับผิวรอยต่อระหว่างตัวกลาง n_1 และ n_2

ข้อสังเกต

เมื่ออยู่ในอากาศและมองวัตถุในน้ำจากด้านบน จะมองเห็นวัตถุในน้ำอยู่ตื้นกว่าตำแหน่งจริงของวัตถุ



Problem 17.37

วัตถุอยู่ที่พื้นสระน้ำ ลึกจากผิวน้ำ 4.0 m ถ้ามองวัตถุลงมาตรงตามแนวดิ่งจากอากาศจะเห็นวัตถุดังกล่าวลึกจากผิวน้ำเท่าใด เมื่อดัชนีหักเหของน้ำเท่ากับ $\frac{4}{3}$ (กำหนดให้ดัชนีหักเหของอากาศเท่ากับ 1)?

Answer : 3.0 m

Problem 17.38

แท่งแก้วลูกบาศก์ยาวด้านละ 15 cm มีฟองอากาศเล็กๆ ด้านในแท่งแก้ว เมื่อมองทางด้านหนึ่งจะเห็นฟองอากาศที่ระยะ 6.0 cm ถ้ามองจากด้านตรงข้ามจะเห็นฟองอากาศที่ระยะ 4.0 cm ระยะจริงของฟองอากาศห่างจากผิวแรกเท่าใด?

Answer : 9.0 cm

Problem 17.39

วัตถุอยู่ก้นบ่อน้ำซึ่งลึกจากผิวน้ำ 3.0 m ถ้ามองวัตถุจากอากาศโดยมองเฉียงทำมุม 30° กับผิวน้ำ จะเห็นวัตถุดังกล่าวลึกลงจากผิวน้ำเท่าใด (กำหนดให้ดัชนีหักเหของอากาศเท่ากับ 1 และดัชนีหักเหของน้ำเท่ากับ $\frac{4}{3}$)?

Answer : 1.48 m

Problem 17.40

ถึงน้ำสูง 2.0 m เส้นผ่านศูนย์กลาง $\sqrt{3}$ m ใส่ไม้จันทน์พอดิ เมื่อยิงแสงตกกระทบบนผิวน้ำที่บริเวณขอบถึง โดยแสงนั้นทำมุมตกกระทบบน 60° ทำให้แสงไปปรากฏที่กึ่งกลางของก้นถึงพอดิ จะเห็นกันถึงดังกล่าวลึกเท่าใด?

Answer : 0.5 m

Problem 17.41

แก้วใบหนึ่งมีก้นแก้วหนา 9.0 cm วางทับเศษกระดาษบางๆ เมื่อเติมน้ำสูงจากก้นแก้วมา 8.0 cm จะเห็นเศษกระดาษบางๆ นั้นสูงกว่าตำแหน่งจริงเท่าใด (กำหนดให้ดรรชนีหักเหของอากาศเท่ากับ 1, ดรรชนีหักเหของน้ำเท่ากับ $\frac{4}{3}$ และดรรชนีหักเหของแก้วเท่ากับ $\frac{3}{2}$)?

แสงเชิงรังสี (Ray Optics)

Answer : 5.0 cm

Problem 17.42

รังสีของแสงเมื่อผ่านเลนส์รวมแสงทำให้แสงขนานไปรวมกันที่จุดโฟกัสจุดหนึ่ง เมื่อนำแท่งแก้วดรรชนีหักเห 1.50 ไปวางขวางระหว่างเลนส์รวมแสงกับจุดโฟกัสโดยวางห่างจากจุดโฟกัสเดิมเป็นระยะ 5.00 cm ทำให้จุดที่รวมแสงเลื่อนเข้ามาเป็นระยะ 0.25 cm แท่งแก้วดังกล่าวมีความหนาเท่าใด?

17 - 65

แสงเชิงรังสี (Ray Optics)

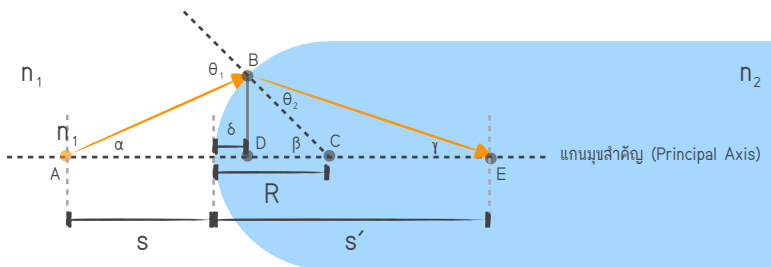
Answer : 0.75 cm



Pinfist : มัธยมศึกษาตอนปลาย และอุดมศึกษา

เลนส์บาง (Thin Lenses)

พิจารณาแสงหักเหจากตัวกลางดรรชนีหักเห n_1 ไปยังตัวกลางดรรชนีหักเห n_2 ซึ่งรอยต่อระหว่างตัวกลางเป็นผิวโค้งรัศมี R ดังรูปด้านล่าง



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

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

บริเวณใกล้ๆ แกนमुखสำคัญ (θ_1 และ θ_2 น้อยมากๆ) ดังนั้น $\sin\theta \approx \theta$

จะได้
$$n_1 \theta_1 = n_2 \theta_2$$

จากสามเหลี่ยม ABC จะได้
$$\theta_1 = \alpha + \beta$$

จากสามเหลี่ยม BCE จะได้
$$\beta = \theta_2 + \gamma$$

$$\theta_2 = \beta - \gamma$$

$\therefore$
$$n_1(\alpha + \beta) = n_2(\beta - \gamma)$$

$$n_1\alpha + n_2\gamma = (n_2 - n_1)\beta$$

แสงเชิงรังสี (Ray Optics)

ที่มุมน้อยๆ ดังนั้น $\theta \approx \tan\theta$

$$\begin{aligned} \therefore \quad n_1 \tan\alpha + n_2 \tan\gamma &= (n_2 - n_1) \tan\beta \\ n_1 \left(\frac{\overline{BD}}{s + \delta} \right) + n_2 \left(\frac{\overline{BD}}{s' - \delta} \right) &= (n_2 - n_1) \left(\frac{\overline{BD}}{R - \delta} \right) \\ \frac{n_1}{s + \delta} + \frac{n_2}{s' - \delta} &= \frac{n_2 - n_1}{R - \delta} \end{aligned}$$

ที่บริเวณใกล้ๆ แกนमुखสำคัญ ดังนั้น $\delta \approx 0$

$$\therefore \quad \frac{n_1}{s} + \frac{n_2}{s'} = \frac{n_2 - n_1}{R} ; \text{ สมการช่างทำเลนส์ (Lens Maker's Equation)}$$



สมการช่างทำเลนส์ (Lens Maker's Equation)

$$\frac{n_1}{s} + \frac{n_2}{s'} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

n_1 คือ ดรรชนีหักเหของตัวกลางที่วัตถุอยู่

n_2 คือ ดรรชนีหักเหของเลนส์

s คือ ระยะห่างของวัตถุเทียบกับตำแหน่งของเลนส์

s' คือ ระยะห่างของภาพเทียบกับตำแหน่งของเลนส์

R คือ รัศมีความโค้งของเลนส์

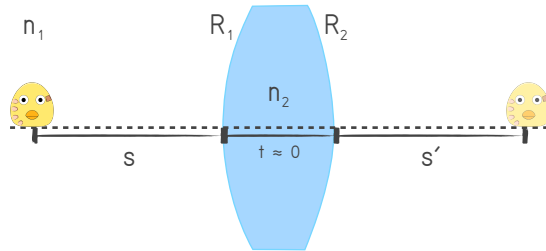
$R > 0$ เมื่อ เลนส์โค้งเข้าหาวัตถุ (นูน)

$R < 0$ เมื่อ เลนส์โค้งออกจากวัตถุ (เว้า)

$R \rightarrow \infty$ เมื่อ เลนส์เป็นแนวตรง

แสงเชิงรังสี (Ray Optics)

พิจารณาเลนส์ดรรชนีหักเหเท่ากับ n_2 มีรัศมีความโค้งด้านใกล้วัตถุ เท่ากับ R_1 , รัศมีความโค้งด้านไกลวัตถุ เท่ากับ R_2 และเลนส์ดังกล่าวมีความหนา t โดย t มีค่าน้อยมากๆ (เลนส์บาง) ดังรูปด้านล่าง



พิจารณาภาพที่เกิดจากผิวโค้งรัศมี R_1

จะได้
$$\frac{n_1}{s} + \frac{n_2}{s'_1} = \frac{n_2 - n_1}{R_1} \quad \dots (1)$$

พิจารณาให้ตำแหน่งภาพที่เกิดจากผิวโค้งรัศมี R_1 เป็นตำแหน่งวัตถุ สำหรับเลนส์ผิวโค้งรัศมี R_2 โดยแสงเคลื่อนที่จากเลนส์ออกไปยังอากาศ

จะได้
$$\frac{n_2}{-(s'_1 - t)} + \frac{n_1}{s'} = \frac{n_1 - n_2}{R_2}$$

เนื่องจาก $t \ll s'_1$ ดังนั้น $s'_1 - t \approx s'_1$

จะได้
$$-\frac{n_2}{s'_1} + \frac{n_1}{s'} = -\frac{n_2 - n_1}{R_2} \quad \dots (2)$$

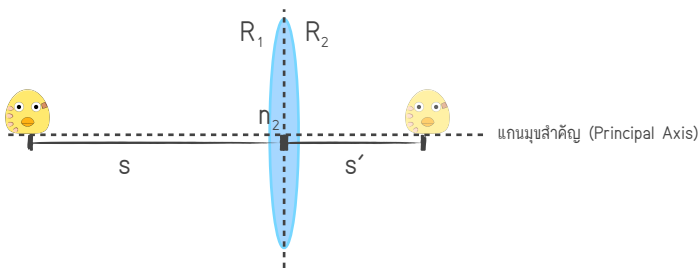
(1) + (2) ;
$$\frac{n_1}{s} + \frac{n_2}{s'_1} - \frac{n_2}{s'_1} + \frac{n_1}{s'} = \frac{n_2 - n_1}{R_1} - \frac{n_2 - n_1}{R_2}$$
$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_1}\right)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

แสงเชิงรังสี (Ray Optics)

เทียบกับสมการของกระจกโค้ง $\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$

จะได้ $\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_1}\right)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$

∴ ยังคงใช้สมการ $\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$ ในการคำนวณตำแหน่งภาพที่เกิดจากเลนส์ได้
ดังรูปด้านล่าง



พิจารณาโฟกัสของเลนส์นูนบาง ดังรูปด้านล่าง

$R_1 = R$ $n_2 = n$ $n_1 = 1$		$R_2 \rightarrow \infty$ จะได้	$\frac{1}{f} = \left(\frac{n - 1}{1}\right)\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{\infty}\right)$
			$f = \frac{R}{n - 1}$
		จะได้	$f > 0 \quad ; n > 1$

พิจารณาโฟกัสของเลนส์เว้าบาง ดังรูปด้านล่าง

$R_1 = -R$ $n_2 = n$ $n_1 = 1$		$R_2 \rightarrow \infty$ จะได้	$\frac{1}{f} = \left(\frac{n - 1}{1}\right)\left(\frac{1}{-R} - \frac{1}{\infty}\right)$
			$f = -\frac{R}{n - 1}$
		จะได้	$f < 0 \quad ; n > 1$

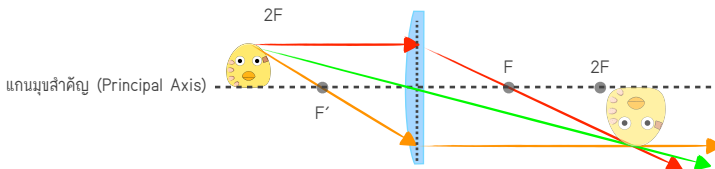


ตำแหน่งภาพจากเลนส์บาง

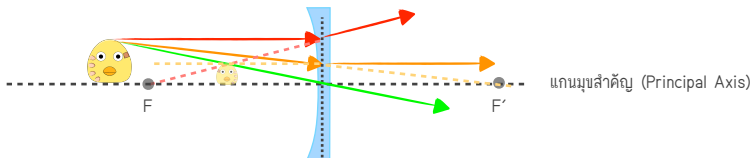
โดยการหาจุดตัดระหว่างเส้น 3 เส้น เช่นเดียวกับการหาภาพจากกระจกโค้ง

- 1) เส้นรังสีขนานกับแกนमुखสำคัญตกกระทบเลนส์บาง และหักเหมายังจุดโฟกัส (จุด F) ของเลนส์บางนั้น [เส้นสีแดงในรูปด้านล่าง]
- 2) เส้นรังสีที่ผ่านจุดโฟกัสเสมือนหน้าเลนส์ (จุด F') ของเลนส์บาง และหักเหขนานกับแกนमुखสำคัญ [เส้นสีส้มในรูปด้านล่าง]
- 3) เส้นรังสีผ่านจุดตัดระหว่างแกนमुखสำคัญและเลนส์บาง และเป็นเส้นตรงต่อไป [เส้นสีเขียวในรูปด้านล่าง]
- 4) ในกรณีที่แสงไม่หักเหมาตัดกัน ให้พิจารณาแนวเส้นตรงเสมือนของแสง โดยการลากเส้นตรงต่อจากเส้นทั้งสามกลับยังหน้าเลนส์บางนั้น

การหาภาพจากเลนส์นูนบาง



การหาภาพจากเลนส์เว้าบาง



ข้อสังเกต

การใช้รังสีเพียงสองเส้นเพียงพอที่จะหาตำแหน่งของภาพ แต่อาจมีโอกาสดูผิดพลาดได้ง่ายกว่าการใช้เส้นรังสีสามเส้น



เลนส์บาง ในกรณีวัตถุและภาพอยู่บริเวณใกล้ๆ แกนमुखสำคัญ
ระยะโฟกัส (Focus Length ; f)

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_1} \right) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

n_1 คือ ดรรชนีหักเหของตัวกลางที่เลนส์บางอยู่

n_2 คือ ดรรชนีหักเหของเลนส์บาง

R_1 และ R_2 คือ รัศมีความโค้งของเลนส์ในแต่ละด้าน

กำลังขยาย (Magnification ; M)

$$M = \frac{y'}{y} = \frac{s'}{s}$$

y' คือ ความสูงของภาพ

y คือ ความสูงของวัตถุ

s' คือ ระยะภาพ (ระยะจากตำแหน่งกึ่งกลางเลนส์ไปยังตำแหน่งที่เกิดภาพ)

s คือ ระยะวัตถุ (ระยะจากตำแหน่งวัตถุไปยังกึ่งกลางเลนส์)

ความสัมพันธ์ของ s , s' และ f

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

$s > 0$ เมื่อวัตถุอยู่หน้าเลนส์

$s < 0$ เมื่อวัตถุอยู่หลังเลนส์

$s' > 0$ เมื่อเป็นภาพจริง (เกิดขึ้นหลังเลนส์)

$s' < 0$ เมื่อเป็นภาพเสมือน (เกิดขึ้นหน้าเลนส์)

$f > 0$ เมื่อเป็นเลนส์นูน

$f < 0$ เมื่อเป็นเลนส์เว้า



ภาพที่เกิดจากเลนส์บาง เมื่อวัตถุอยู่ที่ตำแหน่งต่างๆ

ภาพจากเลนส์นูน ($f > 0$)

s ($N > 1$)	s'	M	ลักษณะภาพ
$0 < s < f$ $[s = \frac{f}{N}]$	$-\frac{f}{N - 1}$	$\frac{1}{1 - \frac{1}{N}}$	เป็นภาพเสมือน (หัวตั้ง) อยู่ระหว่าง 0 ถึง $-f$ (หน้าเลนส์) ขนาดใหญ่กว่าวัตถุ
$s = f$	∞	ไม่เกิดภาพ	ไม่เกิดภาพ
$f < s < 2f$ $[s = \frac{(N + 1)f}{N}]$	$(N + 1)f$	N	เป็นภาพจริง (หัวกลับ) อยู่ระหว่าง $2f$ ถึง ∞ (หลังเลนส์) ขนาดใหญ่กว่าวัตถุ
$s = 2f$	$2f$	1	เป็นภาพจริง (หัวกลับ) อยู่ที่ตำแหน่ง $2f$ (หลังเลนส์) ขนาดเท่ากับวัตถุ
$s > 2f$ $[s = (N + 1)f]$	$\frac{(N + 1)f}{N}$	$\frac{1}{N}$	เป็นภาพจริง (หัวกลับ) อยู่ระหว่าง f ถึง $2f$ (หลังเลนส์) ขนาดเล็กกว่าวัตถุ

ข้อสังเกต

ภาพที่เกิดขึ้นจากเลนส์นูนจะเหมือนกับกระจกเว้า เนื่องจากมีลักษณะเป็นการรวมแสงเหมือนกัน

ภาพที่เกิดจากเลนส์บาง อาจอยู่หน้าหรือหลังเลนส์บางก็ได้

แสงที่หักเหผ่านเลนส์บางไปตัดกันจริงจะเกิดภาพจริงที่หลังเลนส์บางนั้น

แสงหักเหผ่านเลนส์บางไปแล้วเสมือนว่าตัดกันหน้าเลนส์บางจะเกิดเป็นภาพเสมือนหน้าเลนส์บางนั้น

แสงเชิงรังสี (Ray Optics)

ภาพจากเลนส์เว้า ($f < 0$)

s ($N > 1$)	s'	M	ลักษณะภาพ
$0 < s < f$ [s = $\frac{f}{N}$]	$-\frac{f}{N + 1}$	$-\frac{1}{1 + \frac{1}{N}}$	เป็นภาพเสมือน (หัวตั้ง) อยู่ระหว่าง 0 ถึง $-\frac{f}{2}$ (หน้าเลนส์) ขนาดเล็กกว่าวัตถุ
s = f	$-\frac{f}{2}$	$-\frac{1}{2}$	เป็นภาพเสมือน (หัวตั้ง) อยู่ที่ตำแหน่ง $-\frac{f}{2}$ (หน้าเลนส์) ขนาด $\frac{1}{2}$ ของวัตถุ (เล็กกว่าวัตถุ)
$f < s < 2f$ [s = $\frac{(N + 1)f}{N}$]	$-\frac{(N + 1)f}{2N + 1}$	$-\frac{1}{2 + \frac{1}{N}}$	เป็นภาพเสมือน (หัวตั้ง) อยู่ระหว่าง $-\frac{f}{2}$ ถึง $-\frac{2f}{3}$ (หน้าเลนส์) ขนาดเล็กกว่าวัตถุ
s = 2f	$-\frac{2f}{3}$	$-\frac{1}{3}$	เป็นภาพเสมือน (หัวตั้ง) อยู่ที่ตำแหน่ง $-\frac{2f}{3}$ (หน้าเลนส์) ขนาด $\frac{1}{3}$ ของวัตถุ (เล็กกว่าวัตถุ)
s > 2f [s = (N + 1)f]	$-\frac{(N + 1)f}{(N + 2)}$	$-\frac{1}{N + 2}$	เป็นภาพเสมือน (หัวตั้ง) อยู่ระหว่าง $-\frac{2f}{3}$ ถึง -f (หน้าเลนส์) ขนาดเล็กกว่าวัตถุ

ข้อสังเกต

ภาพที่เกิดขึ้นจากเลนส์เว้าจะเหมือนกับกระจกนูน เนื่องจากมีลักษณะเป็นการกระจายแสงเหมือนกัน



Problem 17.43

ลูกแก้วทรงกลมดรรชนีหักเห 1.50 รัศมี 5.0 cm ที่จุดศูนย์กลางลูกแก้วมีฟองอากาศขนาดเล็กฟองหนึ่ง จงหาตำแหน่งภาพเทียบกับผิวของลูกแก้ว?

Answer : ลีจากผิว 5.00 cm (ตำแหน่งเดียวกับวัตถุ)

Problem 17.44

แสงขนานเดินทางผ่านเลนส์บางชิ้นที่หนึ่งทำให้แสงไปรวม ณ จุดโฟกัสของเลนส์ซึ่งอยู่หลังเลนส์ดังกล่าว และจากนั้นแสงได้เดินทางผ่านจากจุดโฟกัสดังกล่าวไปยังเลนส์บางชิ้นที่สอง ทำให้แสงกลับมาเป็นแสงขนานอีกครั้ง เลนส์บางทั้งสองชิ้นเป็นเลนส์บางชนิดใด?

Answer : เลนส์ชิ้นที่หนึ่งเป็นเลนส์นูน และ เลนส์ชิ้นที่สองเป็นเลนส์เว้า

Problem 17.45

เลนส์นูนดรรชนีหักเห $\frac{3}{2}$ รัศมีความโค้งทั้งสองด้านเท่ากัน เมื่อเลนส์นี้อยู่ในอากาศจะมี ระยะโฟกัสเท่ากับ 20 cm เมื่อเลนส์นี้อยู่ในน้ำดรรชนีหักเห $\frac{4}{3}$ ระยะโฟกัสของเลนส์ดังกล่าวใต้น้ำจะเป็นเท่าใด?

Answer : 80 cm

Problem 17.46

วัตถุอยู่หน้าเลนส์เว้าเป็นระยะ 6.00 cm ถ้าเลนส์เว้ามีความยาวโฟกัส 3.00 cm ภาพจะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งใด?

Answer : หน้าเลนส์เว้าเป็นระยะ 2.00 cm

Problem 17.47

ในการทดลองพบว่าเลนส์นูนชิ้นหนึ่งจะให้ภาพจริงขนาดเท่ากับวัตถุเมื่อวางอยู่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างฉากรับภาพกับวัตถุซึ่งห่างกัน 100 cm ถ้าต้องการภาพจริงขนาดเล็กกว่าวัตถุจะต้องเลื่อนวัตถุอย่างไร และฉากต้องอยู่บริเวณใด?

Answer : เลื่อนวัตถุห่างจากเลนส์นูนมากขึ้น
และย้ายฉากมาอยู่หลังเลนส์ในช่วง 25 cm ถึง 50 cm

Problem 17.48

วางวัตถุหน้าเลนส์นูนความยาวโฟกัส 5.00 cm เป็นระยะ 10.0 cm ภาพที่เกิดขึ้นจะเป็นชนิดใด และเกิดที่ตำแหน่งใด?

Answer : ภาพจริงหัวกลับอยู่หลังเลนส์นูนเป็นระยะ 10.0 cm

Problem 17.49

วัตถุสูง 4.0 cm วางหน้าเลนส์นูนเป็นระยะ 12.0 cm ได้ภาพจริงห่างจากเลนส์นูน 24.0 cm จงหาความสูงของภาพและความยาวโฟกัสของเลนส์นูนดังกล่าว?

Answer : $y' = 8.0$ cm and 8.0 cm

Problem 17.50

ทดลองวางวัตถุหน้าเลนส์เว้าซึ่งมีความยาวโฟกัส 20.0 cm ห่างออกไป 200 cm แต่เนื่องจากความเข้าใจที่ผิดพลาด นักเรียนคนหนึ่งหาระยะโฟกัสของเลนส์โดยใช้ระยะภาพที่เกิดขึ้นจากการทดลองดังกล่าว จะเกิดความผิดพลาดจากความยาวโฟกัสจริงกี่เปอร์เซ็นต์?

Answer : 9.09%

Problem 17.51

วางวัตถุกับฉากรับภาพห่างกัน 90 cm นำเลนส์นูนมาวางไว้ระหว่างวัตถุกับฉาก พบว่ามีสองตำแหน่งที่ทำให้เกิดภาพชัดบนฉาก โดยสองตำแหน่งนั้นห่างกัน 30 cm ความยาวโฟกัสของเลนส์นูนดังกล่าวเป็นเท่าใด?

Answer : 20 cm

Problem 17.52

ยึกลำแสงขนานใส่เลนส์เว้าความยาวโฟกัส 20 cm และแสงได้เดินทางต่อไปยังเลนส์นูนความยาวโฟกัส 35 cm ทำให้แสงที่ผ่านเลนส์นูนเป็นแสงขนานอีกครั้ง เลนส์ทั้งสองวางห่างกันเท่าใด?

Answer : 15 cm

Problem 17.53

จุดแสงหน้าเลนส์นูนห่างจากเลนส์นูนเป็นระยะ 12 cm หักเหไปเกิดภาพหลังเลนส์นูน
ดังกล่าวเป็นระยะ 24 cm เมื่อนำเลนส์เว้ามาวางหลังเลนส์นูน ห่างจากเลนส์นูนเป็น
ระยะ 6 cm ทำให้แสงที่หักเหผ่านเลนส์เว้าเป็นแสงขนาน ความยาวโฟกัสของ
เลนส์เว้าดังกล่าวเป็นเท่าใด?

Answer : 18 cm

Problem 17.54

เลนส์นูนความยาวโฟกัส 10 cm และกระจกนูนรัศมีความโค้ง 8 cm วางอยู่หลัง
เลนส์นูน เมื่อยิงแสงขนานผ่านเลนส์นูนทำให้แสงหักเหไปยังกระจกนูน แล้วสะท้อน
กลับมาเป็นแสงขนาน เลนส์นูนและกระจกนูนวางห่างกันเท่าใด?

Answer : 6 cm

Problem 17.55

วัตถุวางหน้าเลนส์นูนความยาวโฟกัส 15.0 cm เป็นระยะ 30.0 cm เมื่อนำเลนส์นูนความยาวโฟกัส 12.5 cm วางหลังเลนส์นูนความยาวโฟกัส 15.0 cm โดยเลนส์ทั้งสองห่างกันเป็นระยะ 40.0 cm ภาพที่เกิดจากเลนส์นูนชั้นที่สองจะห่างจากวัตถุเป็นระยะเท่าใด?

Answer : 20.0 cm

Problem 17.56

วัตถุวางหน้าเลนส์นูนความยาวโฟกัส 5.0 cm เป็นระยะ 10.0 cm เมื่อนำเลนส์เว้าความยาวโฟกัส 10.0 cm วางหลังเลนส์นูนดังกล่าว โดยเลนส์ทั้งสองห่างกันเป็นระยะ 5.0 cm ภาพที่เกิดจากเลนส์เว้าจะเป็นภาพชนิดใด และห่างจากเลนส์เว้าเป็นระยะเท่าใด?

Answer : เป็นภาพจริงหลังเลนส์เว้า 10.0 cm

Problem 17.57

วัตถุวางหน้าเลนส์นูนความยาวโฟกัส 30.0 cm เป็นระยะ 60.0 cm เมื่อนำกระจกเว้ารัศมีมีความโค้ง 20.0 cm วางหลังเลนส์นูนดังกล่าว โดยวางห่างกันเป็นระยะ 80.0 cm ภาพที่เกิดจากกระจกเว้าจะเป็นภาพชนิดใด และห่างจากเลนส์นูนเป็นระยะเท่าใด?

Answer : ภาพจริง ห่างจากเลนส์นูน 60.0 cm

Problem 17.58

หลอดไฟเล็กจากผิวน้ำเป็นระยะ 130 cm มีเลนส์นูนความยาวโฟกัส 20 cm อยู่เหนือผิวน้ำเป็นระยะ 20 cm ในแนวเดียวหลอดไฟดังกล่าวพอดี ถ้าน้ำมีดัชนีหักเหเท่ากับ 1.3 ภาพจากเลนส์นูนจะห่างจากผิวน้ำเท่าใด?

Answer : 44 cm

Problem 17.59

เลนส์นูนความยาวโฟกัส 20 cm วางกึ่งกลางระหว่างเลนส์เว้าสองชิ้นซึ่งมีความยาวโฟกัส 10 cm ทั้งคู่ เมื่อยิงแสงขนานผ่านระบบเลนส์ดังกล่าว ปรากฏว่าเป็นแสงขนานออกมา เลนส์เว้าทั้งสองห่างกันเป็นระยะเท่าใด?

Answer : 60 cm

Problem 17.60

วางวัตถุหน้ากระจกเงาราบเป็นระยะ 20 cm นำเลนส์นูนมาวางกึ่งกลางระหว่างวัตถุและกระจกเงาราบ ปรากฏภาพไม่มีพาราลแลกซ์ (Parallax) นั่นคือภาพเกิดที่ตำแหน่งเดียวกับวัตถุเพียงภาพเดียว ความยาวโฟกัสของเลนส์นูนเป็นเท่าใด?

Answer : 10 cm

Problem 17.61

วางวัตถุหน้าเลนส์นูนความยาวโฟกัส 10 cm ห่างเป็นระยะ 30 cm ถ้าวางกระจกเงาหลังเลนส์นูนเป็นระยะ 35 cm ทำให้เกิดภาพจริงตำแหน่งเดียวกับวัตถุพอดี กระจกเงาดังกล่าวมีรัศมีความโค้งเท่าใด?

Answer : 20 cm

Problem 17.62

วางวัตถุหน้าเลนส์นูนความยาวโฟกัส 15 cm ห่างเป็นระยะ 30 cm ถ้าต้องการให้เกิดภาพจริงตำแหน่งเดียวกับวัตถุพอดี จะต้องนำกระจกเว้าความยาวโฟกัส 10 cm มาวางหลังเลนส์นูนห่างจากเลนส์นูนเป็นระยะเท่าใด?

17 - 88

แสงเชิงรังสี (Ray Optics)

Answer : 50 cm



Pinfist : มัธยมศึกษาตอนปลาย และอุดมศึกษา

Problem 17.63

วางวัตถุหน้าเลนส์นูนความยาวโฟกัส 12 cm เป็นระยะ 24 cm ถ้าวางกระจกนูน
หลังเลนส์นูนเป็นระยะ 5.0 cm ปรากฏภาพที่ตำแหน่งเดียวกับวัตถุพอดี กระจกนูนดัง
กล่าวมีความยาวโฟกัสเท่าใด?

Answer : 9.5 cm

แสงเชิงรังสี (Ray Optics)

พิจารณาการวางเลนส์บางติดกัน

พิจารณาภาพจากเลนส์บางความยาวโฟกัส f_1

จาก
$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{s_1} + \frac{1}{s'_1} = \frac{1}{f_1} \quad \dots (1)$$

พิจารณาภาพจากเลนส์บางความยาวโฟกัส f_2 โดยวัตถุคือภาพที่เกิดจากเลนส์บางความยาวโฟกัส f_1 ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่งหลังเลนส์บางความยาวโฟกัส f_2 เป็นระยะ s'_1

จาก
$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{-s'_1} + \frac{1}{s'_2} = \frac{1}{f_2} \quad \dots (2)$$

$$(1) + (2) ; \quad \frac{1}{s_1} + \frac{1}{s'_1} - \frac{1}{s'_1} + \frac{1}{s'_2} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

$$\frac{1}{s_1} + \frac{1}{s'_2} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

สามารถมองได้ว่า
$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f_{\text{eff}}}$$

เมื่อ f_{eff} คือ โฟกัสยังผล (Effective Focal Length ; EFL)

เมื่อ
$$\frac{1}{f_{\text{eff}}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \dots$$



โฟกัสยังผล (Effective Focal Length ; EFL)

$$\frac{1}{f_{\text{eff}}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_3} + \dots$$

$f_1, f_2, f_3, \dots$ คือ ความยาวโฟกัสของเลนส์บางแต่ละชิ้นที่วางติดกัน

Problem 17.64

เลนส์นูนบางความยาวโฟกัส 15 cm และ 30 cm วางติดกัน ความยาวโฟกัสยังผลของระบบเลนส์ทั้งสองขึ้นดังกล่าวเป็นเท่าใด?

Answer : 10 cm

Problem 17.65

เลนส์นูนบางความยาวโฟกัส 30 cm และเลนส์เว้าบางความยาวโฟกัส 20 cm วางติดกัน เมื่อนำวัตถุมาวางหน้าระบบเลนส์ทั้งสองเป็นระยะ 50 cm จะเกิดภาพชนิดใดที่ระยะห่างจากระบบเลนส์ทั้งสองเท่าใด?

Answer : ภาพเสมือน อยู่หน้าระบบเลนส์เป็นระยะประมาณ 27 cm

การกระเจิง (Scattering)

การกระเจิง คือ การที่คลื่นตกกระทบวัตถุ และเกิดอันตรกิริยากับคลื่นนั้น ส่งผลให้คลื่นนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น อัตราเร็วของคลื่น ความยาวคลื่น ความถี่ของคลื่น เป็นต้น การกระเจิงส่วนมากนั้นเกิดขึ้นอย่างไม่เป็นระเบียบ (ต่างกับการสะท้อน ซึ่งเกิดขึ้นอย่างเป็นระเบียบ)

การกระเจิงแบบไม (Mie Scattering)

เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตกกระทบตัวกลาง ซึ่งอนุภาคของตัวกลางมีรัศมีใกล้เคียงหรือใหญ่กว่าความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้น การกระเจิงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้น จะเกือบไม่ขึ้นกับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แต่ขึ้นกับความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้น

เมื่อแสงขาวตกกระทบก้อนเมฆซึ่งมีไอน้ำจำนวนมาก (ไอน้ำมีรัศมีใหญ่กว่าความยาวคลื่นของแสง) แสงจะมีความเข้มลดลง และเกิดการกระเจิงแบบไมขึ้น ทำให้เห็นได้ก้อนเมฆ หรือเมฆที่มีไอน้ำจำนวนมาก (เมฆตอนใกล้ฝนตก) เป็นสีเทาคล้ำ

การกระเจิงแบบเรย์เลย์ (Rayleigh Scattering)

เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตกกระทบตัวกลาง ซึ่งอนุภาคของตัวกลางมีรัศมีเล็กกว่าความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นมากๆ การกระเจิงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้น จะขึ้นกับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ยิ่งความถี่มากความเข้มจากการกระเจิงจะมากตามไปด้วย (ความยาวคลื่นน้อยความเข้มจากการกระเจิงจะมาก)

โมเลกุลของอากาศทำให้แสงอาทิตย์เกิดการกระเจิงโดยแสงสีน้ำเงินกระเจิงได้มากกว่าแสงสีอื่น และแสงสีแดงกระเจิงน้อยกว่าแสงสีอื่น

การกระเจิงทินดัล (Tyndall Scattering)

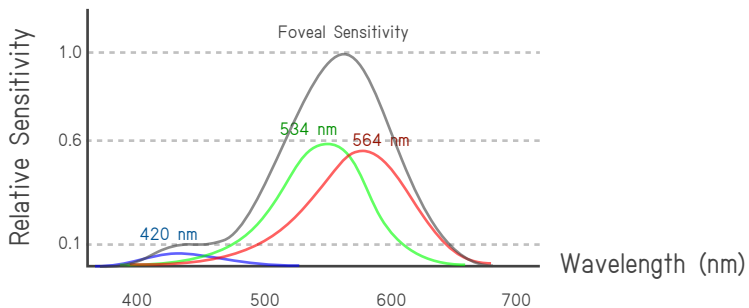
เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าสู่ตัวกลางคอลลอยด์ (Colloid) และอนุภาคมีรัศมีเล็กกว่าความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นมากๆ ผลที่เกิดขึ้นจะคล้ายกับการกระเจิงแบบเรย์เลย์ แต่เนื่องจากอนุภาคตัวกลางอยู่ใกล้กันมาก ทำให้การกระเจิงเกิดขึ้นดีมาก และแผ่แสงออกทั่วตัวกลางจนเหมือนเกิดการเรืองแสงขึ้นในตัวกลางนั้น

การมองเห็นของตามนุษย์ (Human Vision)



การมองเห็นของตามนุษย์ (Human Vision)

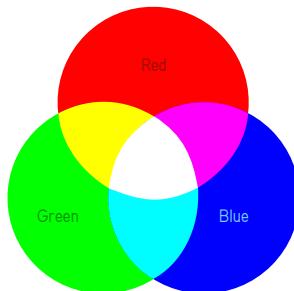
ตาของมนุษย์มีเซลล์รูปกรวย 3 ชนิด ซึ่งตอบสนองต่อแสงแตกต่างกันในแต่ละความยาวคลื่น และการรับแสงของแต่ละเซลล์นั้นไม่ได้รับแสงเพียงความยาวคลื่นเดียว ดังรูปด้านล่าง เมื่อนำแสงสีตั้งแต่สองแสงสีมาผสมกันจึงเกิดเป็นแสงสีอื่นได้



แสงสีปฐมภูมิ (Primary Color) คือ แสงสีหลัก ประกอบด้วย แสงสีแดง (Red) แสงสีเขียว (Green) และแสงสีน้ำเงิน (Blue)

แสงสีประกอบ (Compound Color) คือ แสงสีซึ่งเกิดจากสองแสงสีปฐมภูมिरวมกัน

แสงสีเติมเต็ม (Complementary Color) คือ แสงสีที่นำเข้าไปรวมกันแล้วได้เป็นแสงสีขาว

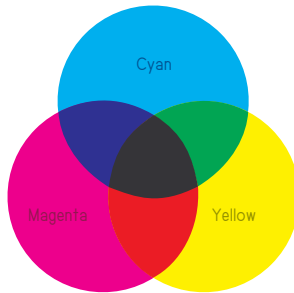


แสงเชิงรังสี (Ray Optics)

สารสีเกิดจากแสงขาวตกกระทบวัตถุ และวัตถุนั้นได้ดูดกลืนแสงสีปฐมภูมิ บางสีเข้าไป และสะท้อนแสงสีปฐมภูมิบางสีออกมา

สารสีปฐมภูมิ (Primary Pigment) คือ สารสีหลัก ประกอบด้วย สีแดงม่วง (Magenta) สีเหลือง (Yellow) และแสงสีน้ำเงินเขียว (Cyan)

สารสีประกอบ (Compound Pigment) คือ สารสีซึ่งเกิดจากสองสารสีปฐมภูมिरวมกัน
สารสีเติมเต็ม (Complementary Pigment) คือ สารสีที่นำเข้าไปรวมกันแล้วได้เป็น สารสีดำ



ข้อสังเกต

การผสมแสงสีไม่ทำให้เกิดแสงใหม่ เพียงแค่เป็นการกระตุ้นเซลล์รูปกรวยที่จอตาทำให้มองเห็นเป็นแสงสีใหม่

แผ่นกรองแสงสีทำหน้าที่กั้นแสงบางแสงสีไว้ และยอมให้บางแสงสีผ่านไปได้ (อาจไม่ได้ผ่านเพียงแค่แสงสีเดียว แต่เป็นแสงสีนั้นและแสงสีใกล้เคียงกับแสงสีนั้นๆ)

การมองเห็นสีของวัตถุขึ้นกับแสงสีที่ตกกระทบวัตถุและแสงสีที่สะท้อนโดยสารสีของวัตถุ

ผลของการผสมสารสีแตกต่างจากการผสมแสงสี



Problem 17.66

เมื่อมีแสงขาวมาตกกระทบบนดอกไม้ เมื่อมองผ่านแผ่นกรองสีแดงจะเห็นดอกไม้เป็นสีแดง ถ้ามองผ่านแผ่นกรองสีเขียวจะเห็นดอกไม้เป็นสีเขียว ถ้ามองผ่านแผ่นกรองสีน้ำเงินกลับไม่เห็นดอกไม้ นั่น ดอกไม้ดังกล่าวมีสีอะไร?

Answer : สีเหลือง

Problem 17.67

เมื่อมองแสงสีน้ำเงินเป็นเวลานานๆ จึงส่งผลให้เซลล์ที่ทำหน้าที่รับแสงสีน้ำเงินเกิดการล้าจนทำให้ความสามารถในการรับรู้แสงสีน้ำเงินลดลง เมื่อหันมาดูแสงขาวจะเห็นไปสีอะไร?

Answer : สีเหลือง

Problem 17.68

เมื่อแสงขาวผ่านแผ่นกรองแสงสีแดง ตามด้วยแผ่นกรองสีเขียว แสงที่ผ่านออกมาจากแผ่นกรองสีเขียวจะเป็นแสงสีใด?

Answer : ไม่มีแสงผ่านออกมา

Problem 17.69

เสื้อยัดสีขาวยมีลายลูกไก่สีเหลือง เมื่อส่องด้วยแสงสีแดง จะเห็นเสื้อยัดและลายลูกไก่เป็นสีใด?

Answer : เสื้อยัดและลายลูกไก่เป็นสีแดง

Problem 17.70

เสื้อสีฟ้าอมเขียวมีลายดอกไม้สีเหลือง เมื่อส่องด้วยแสงสีน้ำเงิน จะเห็นเสื้อและลายดอกไม้เป็นสีใด?

Answer : เสื้อเป็นสีน้ำเงิน และลายดอกไม้เป็นสีดำ



ความส่องสว่าง (Illuminance)

มุมตัน (Solid Angle ; Ω [Steradian : sr]) คือ มุมที่ถูกรองรับด้วยพื้นที่ผิวใดๆ

$$\Omega = \frac{A}{R^2}$$

A คือ ขนาดของพื้นที่ที่พิจารณา

R คือ รัศมีที่พิจารณา หรือระยะจากจุดยอดมุมถึงพื้นที่ A

ฟลักซ์ส่องสว่าง (Luminous Flux ; F [Lumen : lm]) คือ ปริมาณความเข้มของการส่องสว่างที่ผ่านมุมตัน

$$F = I\Omega$$

I คือ ความเข้มของการส่องสว่าง (Luminous Intensity ; [Candela : cd])

ในกรณีผิวทรงกลม ($A = 4\pi R^2$) จะได้ $\Omega = \frac{4\pi R^2}{R^2} = 4\pi$

$$\therefore F = I(4\pi)$$

$$\text{หรือ} \quad I = \frac{F}{4\pi}$$

ความส่องสว่าง (Illuminance ; E [Lux : lx]) คือ ปริมาณฟลักซ์ส่องสว่างต่อพื้นที่รับแสง

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

ในกรณีผิวทรงกลม ($A = 4\pi R^2$) จะได้ $E = \frac{F}{4\pi R^2} = \frac{I}{R^2}$

แสงเชิงรังสี (Ray Optics)

ความส่องสว่างในกรณีต่างๆ

กิจกรรม	ความส่องสว่าง (lx)
ดวงจันทร์เต็มดวง (ในวันที่ฟ้าโปร่ง)	1
ความสว่างที่เหมาะสมของห้องน้ำ	100
ความสว่างที่เหมาะสมของทางเดิน และพื้นที่ทั่วไปในอาคาร	200
ความสว่างที่เหมาะสมของห้องประชุม	200-300
ความสว่างที่เหมาะสมของห้องสมุด และห้องเรียน	300-500
ความสว่างของพื้นที่ทั่วไปในห้างสรรพสินค้า	500-1,000
พื้นที่กลางแจ้ง (ในวันที่ฟ้าโปร่ง)	10,000
ดวงอาทิตย์ (ในวันที่ฟ้าโปร่ง)	100,000

Problem 17.71

กล่องลูกบาศก์ยาวด้านละ 1.0 m มีหลอดไฟติดอยู่กึ่งกลางของฝากล่องด้านใน ถ้าต้องการให้ในกล่องดังกล่าวมีความสว่าง 1,500 lx ในขณะที่ปิดฝากล่อง ถ้าหลอดไฟมีการสูญเสียพลังงาน 25% ต้องใช้หลอดไฟที่มีฟลักซ์ส่องสว่างเท่าใด?

Answer : 1.0×10^4 lm

Problem 17.72

จุดศูนย์กลางของทรงกลมมีจุดแหล่งกำเนิดแสงเล็กๆ ส่งแสงออกไปทุกทิศทางด้วยอัตราพลังงาน $4\pi \text{ lm}$ ถ้าทรงกลมดังกล่าวมีรัศมีเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าของรัศมีเดิม อัตราส่วนของความส่องสว่างที่ผิวภายในทรงกลมเทียบกับในตอนแรกเป็นเท่าใด?

Answer : 0.25

Problem 17.73

หลอดไฟขนาด 20 W จำนวน 9 หลอด อยู่สูงจากพื้น 6 m ถ้าต้องการให้พื้นที่ห้องสว่างเท่าเดิม โดยการให้หลอดไฟชนิดนี้อยู่สูงจากพื้นเพียง 4 m จะต้องเปลี่ยนมาใช้หลอดไฟแบบ 40 W จำนวนกี่หลอด?

Answer : 2 หลอด

Problem 17.74

เสาโคมไฟดวงที่หนึ่งขนาด 200 W สูงจากพื้น 2.0 m เสาโคมไฟดวงที่สองห่างจากโคมไฟดวงที่หนึ่ง 6.0 m และสูงจากพื้น 2.0 m เท่ากัน ถ้าที่ตำแหน่งห่างจากเสาโคมไฟต้นที่หนึ่ง 2.0 m (ห่างจากเสาไฟต้นที่สอง 4.0 m) ได้ความสว่างจากโคมไฟทั้งสองเท่ากันพอดี โคมไฟดวงที่สองจะมีขนาดเท่าใด?

Answer : 500 W

Problem 17.75

ฉากรับแสงห่างจากหลอดไฟ 60 cm เมื่อนำแผ่นแก้วมาขึ้นระหว่างฉากรับและหลอดไฟ ปรากฏว่าต้องเลื่อนฉากเข้าเป็นระยะ 6 cm จึงจะได้ความสว่างเท่าเดิม แผ่นแก้วดังกล่าวดูดกลืนความสว่างได้กี่เปอร์เซ็นต์?

Answer : 19%

ทัศนอุปกรณ์ (Visual Instrument)

แว่นสายตา (Eyeglasses)

สายตาสั้น เกิดจากการที่ภาพจากวัตถุระยะไกลมาปรากฏก่อนที่จะถึงระยะมองเห็นภาพชัด (D) จึงแก้ไขได้ด้วยการดัดภาพจากระยะไกล (ระยะอนันต์) ให้มาปรากฏที่ระยะมองเห็นภาพชัด

$$\begin{aligned}\text{จาก} \quad \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} &= \frac{1}{f} \\ \frac{1}{\infty} + \frac{1}{-D} &= \frac{1}{f} \\ f &= -D \\ f &< 0\end{aligned}$$

∴ ผู้สายตาสั้นจึงต้องสวมแว่นที่ทำจากเลนส์เว้า เพื่อให้เห็นภาพได้ชัดขึ้น

สายตายาว เกิดจากการที่ภาพจากวัตถุระยะใกล้มาปรากฏหลังระยะมองเห็นภาพชัด (D) จึงแก้ไขได้ด้วยการทำให้ภาพดังกล่าวเลื่อนไปยังระยะใกล้สุดที่ทำให้ภาพมาปรากฏที่ระยะมองเห็นภาพชัด ($x < D$)

$$\begin{aligned}\text{จาก} \quad \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} &= \frac{1}{f} \\ \frac{1}{x} + \frac{1}{-D} &= \frac{1}{f} \\ f &= \frac{D - x}{Dx} \\ f &> 0\end{aligned}$$

∴ ผู้สายตายาวจึงต้องสวมแว่นที่ทำจากเลนส์นูน เพื่อให้เห็นภาพได้ชัดขึ้น

Problem 17.76

เด็กคนหนึ่งอ่านหนังสือได้ชัดเมื่อหนังสืออยู่ห่างจากไม่น้อยกว่า 50 cm เด็กคนดังกล่าวควรสวมแว่นความยาวโฟกัสเท่าใด?

Answer : 50 cm

Problem 17.77

จุดไกลสุดที่เด็กคนหนึ่งเห็นภาพได้ชัดเท่ากับ 10 m เด็กคนดังกล่าวควรสวมแว่นความยาวโฟกัสเท่าใด ถึงจะเห็นวัตถุที่ระยะอนันต์ได้ชัด?

Answer : -10 m

แสงเชิงรังสี (Ray Optics)

แว่นขยาย (Magnifier Glass)

เนื่องจากในกรณีมองภาพแบบขนาน โดยปกติมนุษย์จะไม่สามารถโฟกัสภาพให้มาอยู่ใกล้กว่าระยะประมาณ 25 cm ดังนั้นแว่นขยายจึงทำหน้าที่ดึงภาพของวัตถุให้มาอยู่ในระยะ 25 cm

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} &= \frac{1}{f} \\ \frac{1}{s} + \frac{1}{-25 \text{ cm}} &= \frac{1}{f} \\ s &= \frac{25f}{f + 25} \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จากกำลังขยาย} \quad M_{\max} &= \frac{s'}{s} \\ M_{\max} &= \frac{-25}{\frac{25f}{f + 25}} \\ M_{\max} &= -\left(1 + \frac{25 \text{ cm}}{f}\right) \\ \therefore |M_{\max}| &= 1 + \frac{25 \text{ cm}}{f} \end{aligned}$$

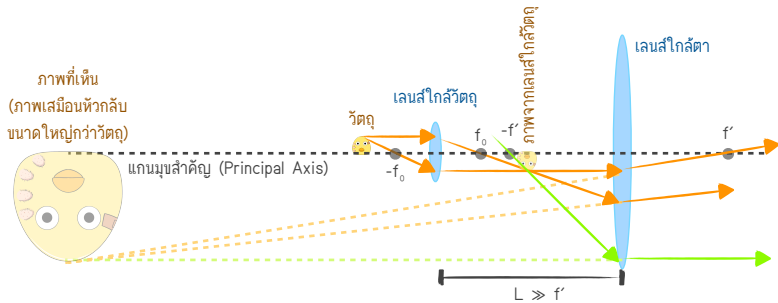
แต่กรณีที่มองภาพได้ค่อนข้างสบาย จะเป็นกรณีที่วัตถุอยู่บริเวณใกล้ๆ จุดโฟกัสของแว่นขยายพอดี ซึ่งทำให้กำลังขยายมีขนาดต่ำที่สุด

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad M_{\min} &= \frac{s'}{s} \\ M_{\min} &= \frac{-25 \text{ cm}}{f} \\ \therefore |M_{\min}| &= \frac{25 \text{ cm}}{f} \end{aligned}$$

แสงเชิงรังสี (Ray Optics)

กล้องจุลทรรศน์ (Microscope)

เป็นอุปกรณ์ที่ประกอบด้วยเลนส์นูนสองชิ้น คือ เลนส์ใกล้วัตถุ (Objective Lens) เป็นเลนส์นูนความยาวโฟกัสสั้นมาก ($f_o < 1 \text{ cm}$) และเลนส์ใกล้ตา (Eyepiece Lens) ซึ่งมีความยาวโฟกัสมากกว่าเลนส์ใกล้วัตถุ ($f' < 3 \text{ cm}$) โดยเลนส์ทั้งสองจะห่างกันมากกว่าความยาวโฟกัสของเลนส์ทั้งสอง ดังรูปด้านล่าง



ในการใช้งานจะทำปรับโฟกัสของเลนส์ใกล้วัตถุ (f_o) อยู่ใกล้กับวัตถุ และให้ภาพจากเลนส์ใกล้วัตถุมาปรากฏที่บริเวณใกล้กับโฟกัสของเลนส์ใกล้ตา (f') จะได้กำลังขยายจากเลนส์ใกล้วัตถุ $M_o \approx \frac{L - f'}{f_o}$

จากนั้นเลนส์ใกล้ตาจะทำหน้าที่เช่นเดียวกับแว่นขยาย จะได้กำลังขยายจากเลนส์ใกล้ตาเป็น $M' \approx -\frac{25 \text{ cm}}{f'}$

ดังนั้นกำลังขยายที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์

จะได้
$$M = M_o M' \approx \left(\frac{L - f'}{f_o}\right) \left(-\frac{25 \text{ cm}}{f'}\right)$$

ในกรณีที่ L มากกว่า f' มากๆ ($L \gg f'$)

จะได้
$$M \approx \left(\frac{L}{f_o}\right) \left(-\frac{25 \text{ cm}}{f'}\right)$$

$$M \approx -\frac{(25 \text{ cm})L}{f_o f'}$$

Problem 17.78

กล้องจุลทรรศน์มีความยาวโฟกัสของเลนส์ใกล้วัตถุ เท่ากับ 0.50 cm และมีความยาวโฟกัสของเลนส์ใกล้ตา เท่ากับ 2.00 cm ถ้าต้องการกำลังขยายขนาดประมาณ 500 เท่า ควรปรับให้เลนส์ใกล้วัตถุและเลนส์ใกล้ตาดูอยู่ห่างกันประมาณเท่าใด?

Answer : 20 cm

Problem 17.79

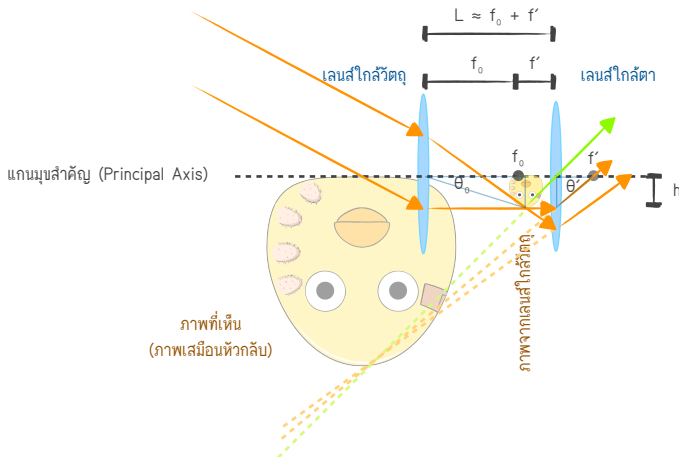
กล้องจุลทรรศน์มีความยาวโฟกัสของเลนส์ใกล้วัตถุน้อยสุด เท่ากับ 0.25 cm และปรับระยะห่างระหว่างเลนส์ใกล้วัตถุและเลนส์ใกล้ตาได้มากที่สุด เท่ากับ 25 cm ถ้าต้องการกำลังขยาย 1,000 เท่า ควรใช้เลนส์ใกล้ตาความยาวโฟกัสมากที่สุดเท่าใด?

Answer : 2.5 cm

แสงเชิงรังสี (Ray Optics)

กล้องโทรทรรศน์ (Telescope)

กล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสง (Refracting Telescope) เป็นอุปกรณ์ที่ประกอบด้วยเลนส์นูนสองชิ้น คือ เลนส์ใกล้วัตถุ (Objective Lens) ทำหน้าที่ดักภาพของวัตถุจากตำแหน่งไกลมากๆ มาอยู่ที่ตำแหน่งโฟกัสของเลนส์ใกล้วัตถุ (f_o) และเลนส์ใกล้ตา (Eyepiece Lens) อยู่ห่างจากเลนส์ใกล้วัตถุประมาณผลรวมของโฟกัสเลนส์ใกล้วัตถุ (f_o) กับโฟกัสของเลนส์ใกล้ตา (f') ทำหน้าที่ขยายภาพที่เกิดจากเลนส์ใกล้วัตถุ ดังรูปด้านล่าง



กำลังขยาย (เชิงมุม) ที่ได้จากกล้องโทรทรรศน์

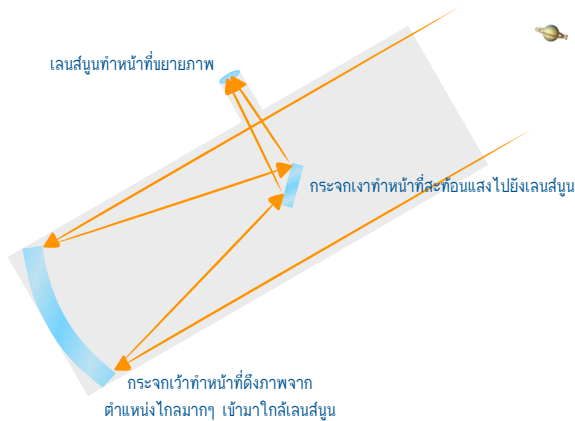
$$M = \frac{\theta'}{\theta_o}$$

$$M \approx \frac{\frac{h}{f'}}{\frac{h}{f_o}}$$

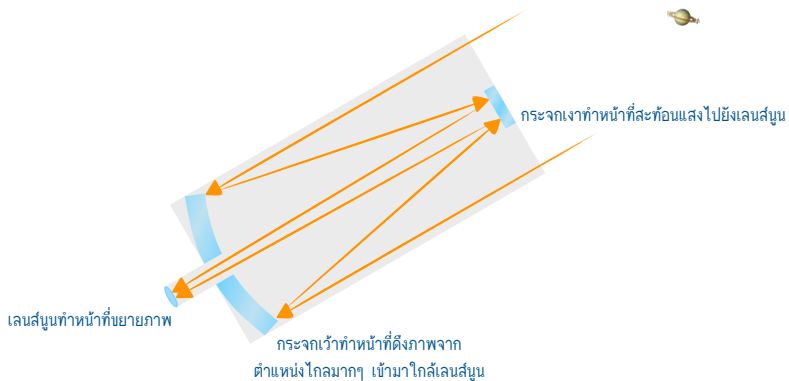
$$M = \frac{f_o}{f'}$$

แสงเชิงรังสี (Ray Optics)

กล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสง (Reflecting Telescope) เป็นอุปกรณ์ที่ประกอบด้วยกระจกเว้าทำหน้าที่ดึงภาพของวัตถุจากตำแหน่งไกลมากๆ เข้ามาอยู่ในตำแหน่งใกล้เลนส์นูน และเลนส์นูนทำหน้าที่ขยายภาพนั้น ดังรูปด้านล่าง



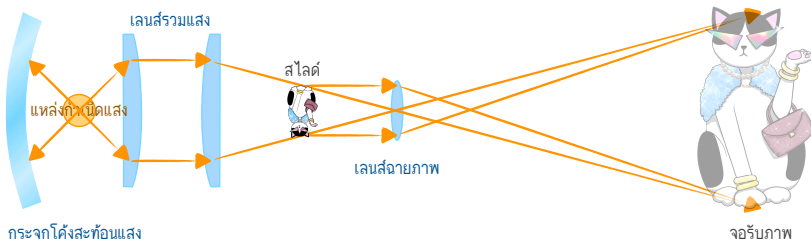
กล้องโทรทรรศน์แบบแคสสิเกรน (Cassegrain Telescope) มีกลไกการทำงานคล้ายกับกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสง ดังรูปด้านล่าง



แสงเชิงรังสี (Ray Optics)

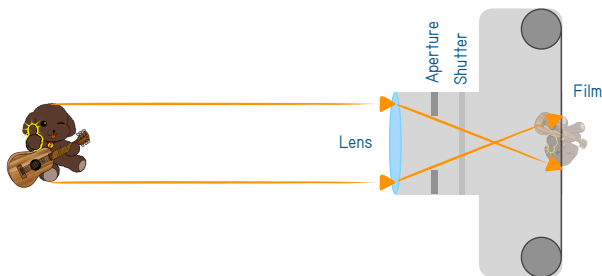
เครื่องฉายภาพ (Projector)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เลนส์นูนทำให้แสงหักเหจากวัตถุ เช่น สไลด์ แผ่นใส เป็นต้น เป็นภาพจริงขนาดใหญ่มากกว่าวัตถุไปฉายยังจอภาพ



กล้องถ่ายรูป (Camera)

เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้ภาพมาเกิดที่ตำแหน่งบนฟิล์ม ดังรูปด้านล่าง



เลนส์ ทำหน้าที่หักเหแสงให้ปรากฏที่ฟิล์ม

ช่องรับแสง (Aperture) ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณแสงที่ผ่านเข้ามาในกล้อง

ถ่ายรูป

ชัตเตอร์ (Shutter) ทำหน้าที่เปิดและปิดให้แสงเข้าสู่กล้องถ่ายรูป

Problem 17.80

แผ่นฟิล์มขนาด $6.0 \text{ mm} \times 4.0 \text{ mm}$ ใช้กับเครื่องฉายภาพทำให้เกิดภาพชัดที่ระยะห่างจากเลนส์ของเครื่องฉายดังกล่าว 5.0 m โดยภาพมีขนาด $96 \text{ cm} \times 64 \text{ cm}$ กำลังขยายของเลนส์ในเครื่องฉายภาพดังกล่าวเป็นเท่าใด?

Answer : 160 เท่า

Problem 17.81

กล้องถ่ายรูปใช้เลนส์ความยาวโฟกัส 50 mm ถ้าต้องการถ่ายรูปวัตถุสูง 175 cm ด้วยฟิล์มขนาด 35 mm กล้องควรอยู่ห่างจากวัตถุดังกล่าวเท่าใด?

Answer : 2.55 m

แสงเชิงรังสี (Ray Optics)

