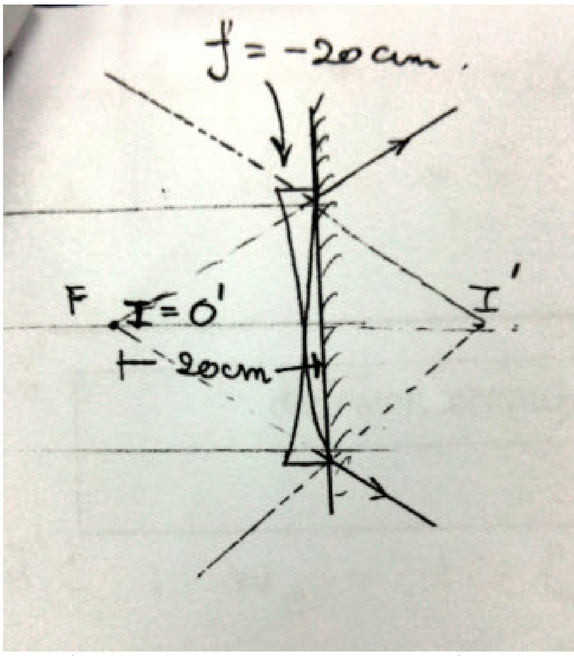
เฉลยชุดข้อสอบ : แสงเชิงเรขาคณิต ชุดที่ 2

ข้อที่ 1

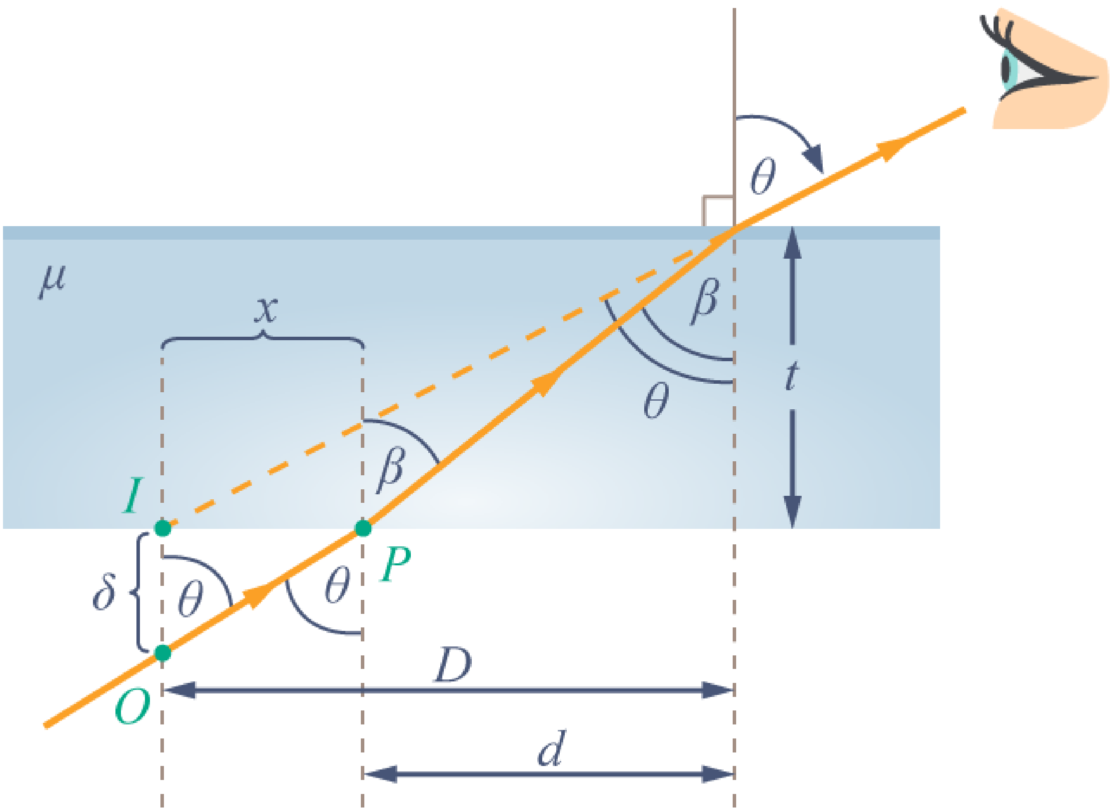
ตอบ $-20\ \mathrm{cm}$



เนื่องจาก แสงจะกระจายออกเมื่อผ่านเลนส์เว้า หากนำกระจกราบมาวางชิดเลนส์อีกด้าน แสงจะถูกกระจกสะท้อนกลับไปในลักษณะดังภาพ จึงทำให้เสมือนกับมีแนวแสงตัดกันที่ I' เป็นระยะ $20\ \mathrm{cm}$ หลังกระจกราบ

ข้อที่ 2

ตอบ $t\left[1-\dfrac{\tan[\sin^{-1}(\frac{\sin\theta}{\mu})]}{\tan\theta}\right]$



จาก Snell's law ณ ตำแหน่งที่แสงพุ่งออกจากแผ่นแก้ว

$$\sin\theta = \mu \sin\beta$$

และจากเรขาคณิต ;

$$\begin{aligned} \tan\theta &= \frac{D}{t} \\ \tan\beta &= \frac{d}{t} \\ D - d &= t(\tan\theta - \tan\beta) \end{aligned}$$

และจากสามเหลี่ยม IOP ;

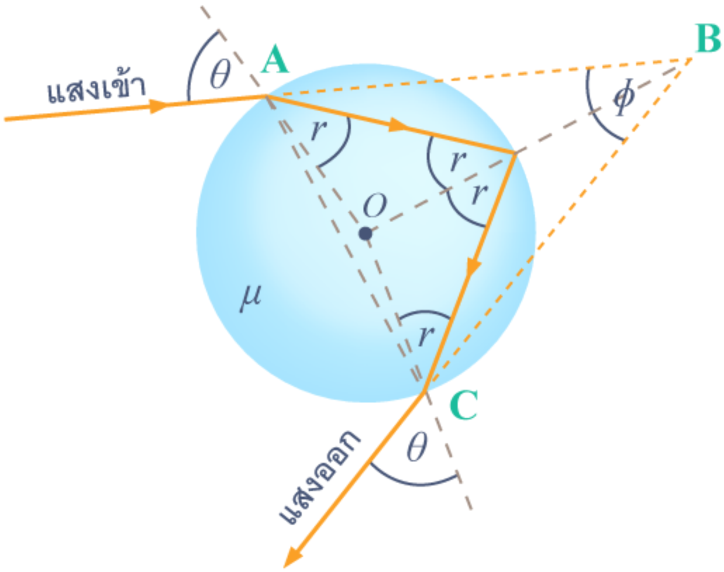
$$\tan\theta = \frac{D-d}{\delta}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{t(\tan\theta - \tan\beta)}{\tan\theta} \\ &= t - t\frac{\tan\beta}{\tan\theta} \\ &= t\left[1 - \frac{\tan[\sin^{-1}(\frac{\sin\theta}{\mu})]}{\tan\theta}\right] \end{aligned}$$

ข้อที่ 3

ตอบ $4 \cdot \sin^{-1}\left(\frac{1}{\mu}\sin\theta\right) - 2\theta$



เมื่อแสงเดินทางทางจากอากาศสู่หยดน้ำ จากกฎของ Snell's law

$$(1)\sin\theta = \mu \sin r$$
$$r = \sin^{-1}(\frac{1}{\mu}\sin\theta)$$

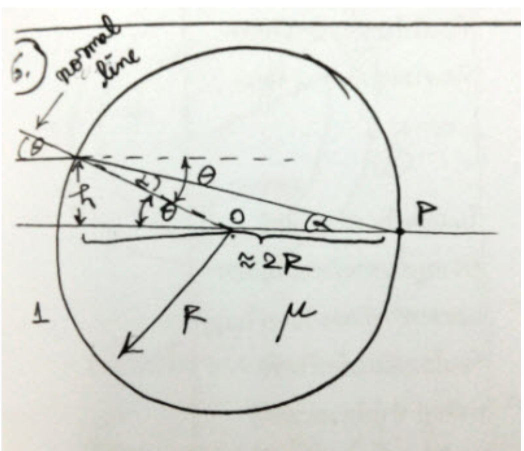
มุมภายในของสี่เหลี่ยม $\mathrm{ABCO} = 360^\circ$ ดังนั้น

$$\theta + \phi + \theta + 2(180 - 2r) = 360^\circ$$
$$\phi = 4r - 2\theta$$
$$\phi = 4 \cdot \sin^{-1}\left(\frac{1}{\mu}\sin\theta\right) - 2\theta$$

ข้อที่ 4

ตอบ ≈ 2

สมมติให้แสงเข้ามาอยู่สูง h



จาก Snell's law

$$\sin\theta = \mu \sin\alpha$$

จากรูป

$$\theta = 2\alpha$$

โจทย์กำหนดให้ฉายแสงใกล้ ๆ เส้นผ่านศูนย์กลางมาก ๆ ดังนั้น

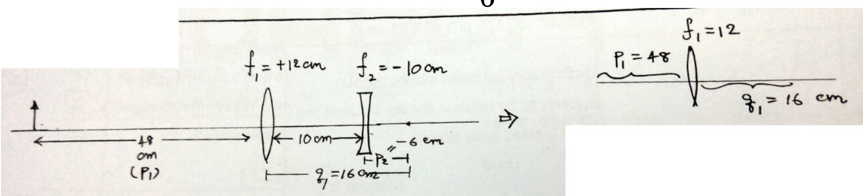
$$\sin\theta \approx \theta$$

แทนค่าลงใน $\mathrm{Snell's\ law}$

$$\theta \approx \mu \frac{\theta}{2}$$
$$\mu \approx 2$$

ข้อที่ 5

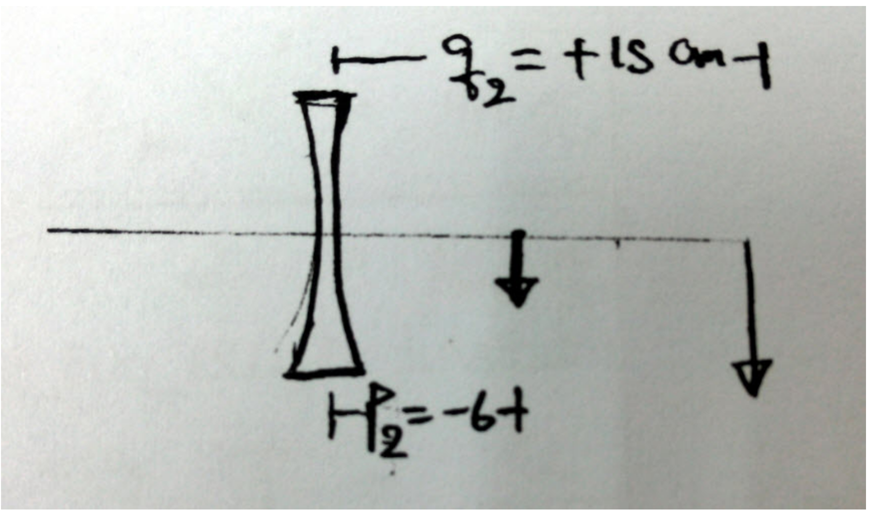
ตอบ ภาพจริงหัวกลับ $15\ \mathrm{cm}$ ทางขวาเลนส์เว้า ด้วยกำลังขยาย $\frac{5}{6}$ เท่า



เมื่อแสงจากวัตถุที่ระยะ $48\ \mathrm{cm}$ เคลื่อนที่ผ่านเลนส์นูนความยาวโฟกัส $12\ \mathrm{cm}$ สามารถหาระยะภาพได้จาก

$$\frac{1}{12} = \frac{1}{48} + \frac{1}{q_1}$$
$$q_1 = 16$$

นั่น คือถ้าหากไม่มีเลนส์เว้า ภาพจริงจะเกิด ณ ตำแหน่ง $16\ \mathrm{cm}$ ทางขวาเลนส์นูน และหากนำเลนส์เว้ามาวางที่ $10\ \mathrm{cm}$ ทางขวาเลนส์นูน ภาพจริงจากเลนส์นูนจะทำหน้าที่เสมือนเป็นวัตถุ(วัตถุเสมือน)ของเลนส์เว้า วางอยู่ที่ระยะ $-6\ \mathrm{cm}$ ดังนั้นถ้าเลนส์เว้ามีความยาวโฟกัส $-10\ \mathrm{cm}$ แล้ว สามารถหาระยะภาพได้จาก



$$\begin{aligned} \frac{1}{-10} &= \frac{1}{-6} + \frac{1}{q_2} \\ q_2 &= 15 \end{aligned}$$

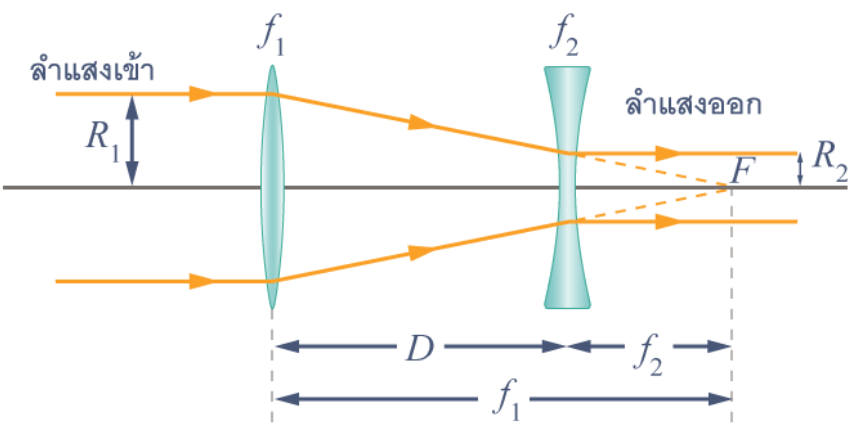
เป็นภาพจริง
กำลังขยาย m หาจาก ผลคูณระหว่างกำลังขยายจากเลนส์นูนและเลนส์เว้า

$$\begin{aligned} m &= \left(-\frac{q_1}{p_1}\right)\left(-\frac{q_2}{p_2}\right) \\ &= \left(-\frac{16}{48}\right)\left(-\frac{15}{-6}\right) \\ &= -\frac{5}{6} \end{aligned}$$

ภาพสุดท้ายที่ได้เป็นภาพจริงหัวกลับ(เทียบวัตถุ) อยู่ห่างจากเลนส์เว้า $15\ \mathrm{cm}$ ไปทางขวา

ข้อที่ 6

ตอบ
(1) วางเลนส์เว้าห่างเลนส์นูนเป็นระยะ $f_1 - f_2$
(2) ลำแสงออกมีความเข้มของแสงเป็น $\left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2$ เท่าของลำแสงเข้า
(3) แสงจะตัดกันที่ระยะ $\frac{f_1 f_2}{f_1 - f_2}$, ทางซ้ายของเลนส์นูน



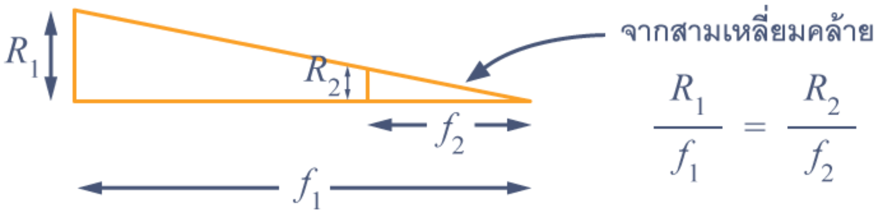
ลำแสงจะมีการเดินทางดังรูป โดยเมื่อแสง (จากอนันต์) วิ่งเข้ามาเจอเลนส์นูนจะถูกโฟกัสไปที่ F ซึ่งจะประพฤติตัวเสมือนกับเป็น "วัตถุ" ของเลนส์เว้า เพื่อให้เลนส์เว้ากระจายแสงไปที่อนันต์ สามารถแสดงการคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \frac{1}{p_1} + \frac{1}{q_1} &= \frac{1}{f_1} \\ q_1 &= f_1 \end{aligned}$$

และสำหรับเลนส์เว้า :

$$\begin{aligned} \frac{1}{-(f_1 - D)} + \frac{1}{q_2} &= \frac{1}{-f_2} \\ f_1 - D &= f_2 \\ \therefore \quad D &= f_1 - f_2 \end{aligned}$$

สังเกตุว่า เครื่องหมายลบหน้า $(f_1 - D)$ บ่งถึงว่า เป็นระยะวัตถุเสมือน



ถ้าคิดว่าไม่เสียพลังงานในตัวกลางเลย พลังงานลำแสงเข้า = พลังงานของลำแสงออก
จาก

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{\pi R^2}$$

$$\frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2 = \left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2$$

FOCUS เลนส์ประกบ นั่นเสมือนกำหนดให้ $D = 0$ แล้วหา $q_2 = ?$ ดังนั้น เมื่อแสงจากอนันต์ผ่านเลนส์นูน จะได้ว่า

$$\frac{1}{P_1} + \frac{1}{q_1} = \frac{1}{f_1}$$
$$q_1 = f_1$$

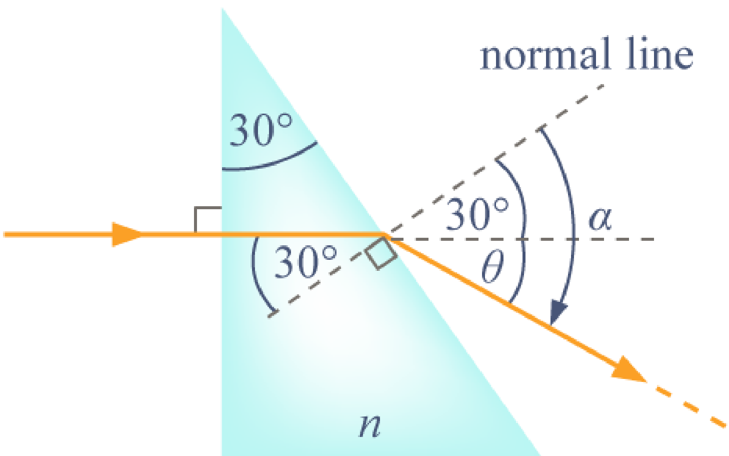
หลังจากนั้น q_1 จะเสมือนกับเป็นวัตถุอยู่ที่ตำแหน่ง f_1 ของเลนส์เว้า

$$\frac{1}{-f_1} + \frac{1}{q_2} = \frac{1}{-f_2}$$
$$q_2 = \frac{f_1 f_2}{f_2 - f_1} < 0$$

$\therefore$ แสงโฟกัสที่ $f_1 f_2/(f_1 - f_2)$ ตัดที่ ด้านซ้ายของระบบเลนส์คู่

ข้อที่ 7

ตอบ $\theta = 30^\circ$

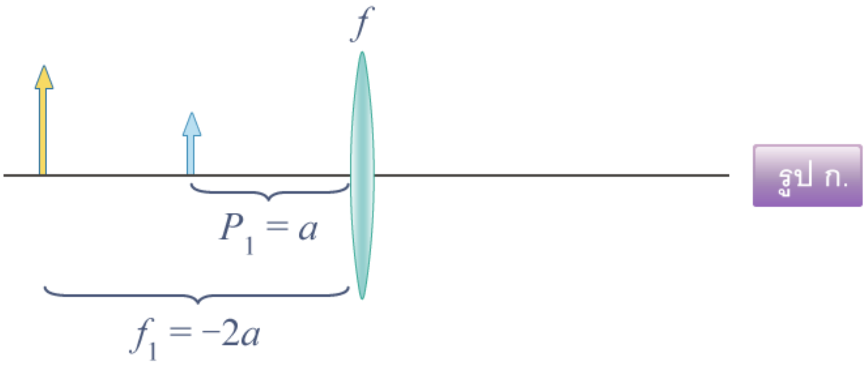


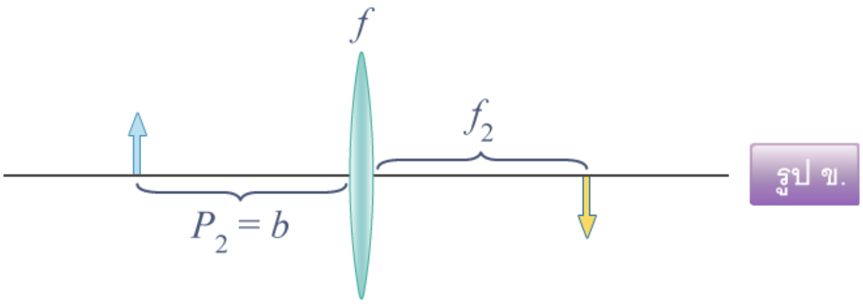
จากรูป $\alpha = 30^\circ + \theta$
จาก Snell's law ณ ตำแหน่งที่แสงเคลื่อนที่จากวัตถุโปร่งใสสู่อากาศ;

$$n \sin 30^\circ = 1 \cdot \sin \alpha;$$
$$\alpha = 60^\circ$$
$$\therefore \theta = \alpha - 30^\circ = 30^\circ$$

ข้อที่ 8

ตอบ $f = 2a - b$





จากเงื่อนไขที่โจทย์ให้ เราได้

$$\frac{1}{P_1} + \frac{1}{q_1} = \frac{1}{f} \rightarrow \frac{1}{a} + \frac{1}{q_1} = \frac{1}{f} \qquad (1)$$
$$\frac{1}{P_2} + \frac{1}{q_2} = \frac{1}{f} \rightarrow \frac{1}{b} + \frac{1}{q_2} = \frac{1}{f} \qquad (2)$$

และ "ภาพของ ก. เป็นสองเท่าของภาพของ ข." แสดงว่ากำลังขยายของระบบ ก.

$$m_1 = \frac{q_1}{P_1}$$

มีค่าเป็นสองเท่าของระบบ ข.

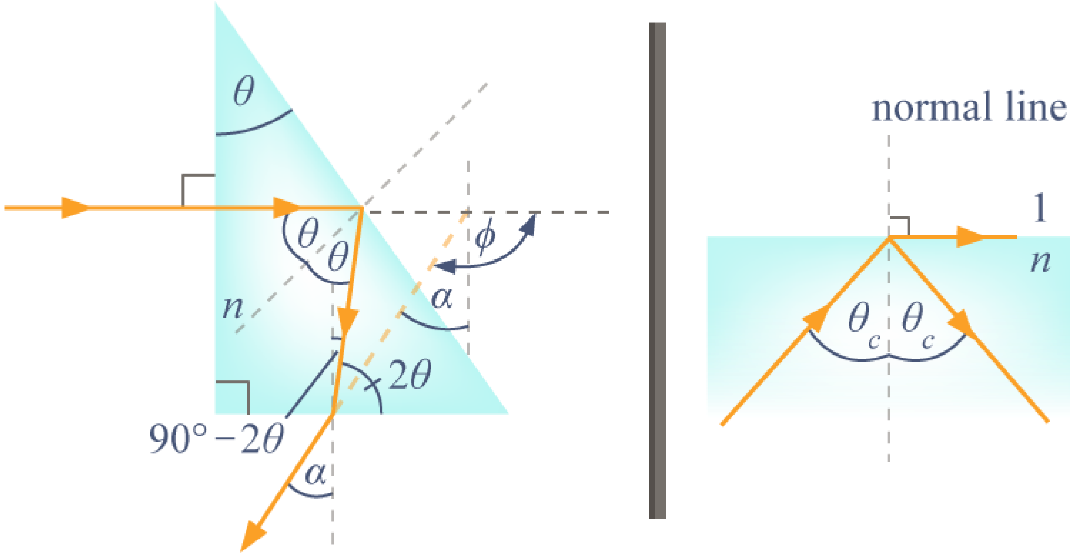
$$(m_2 = \frac{q_2}{P_2}) \rightarrow -\frac{q_1}{P_1} = 2\frac{q_2}{P_2} \rightarrow \frac{q_1}{a} = 2\frac{q_2}{b} \qquad (3)$$

มีลบเนื่องจาก ก. ได้ภาพเสมือน ข. ได้ภาพจริง
มี 3 สมการ 3 ตัวแปร q_1 , q_2 , f แก้สมการได้

$$f = 2a - b$$

ข้อที่ 9

ตอบ $\phi = 90^\circ + \arcsin(n\cos 2\theta)$



มุม θ นี้จะต้องมีค่าเท่ากับ "มุมวิกฤต" พอดี จึงจะทำให้แสงที่เข้ามากระทบรอยต่อเกิดการสะท้อนกลับหมด
จาก Snell's law ;

$$n\sin\theta_c = (1)\sin 90^\circ$$
$$\theta_c = \arcsin\frac{1}{n}$$

θ_c นี้จะเป็นมุมที่น้อยที่สุดที่จะทำให้ลำแสงสะท้อนที่ด้าน $\overline{AC}$ กลับเข้ามาด้านในปริซึม

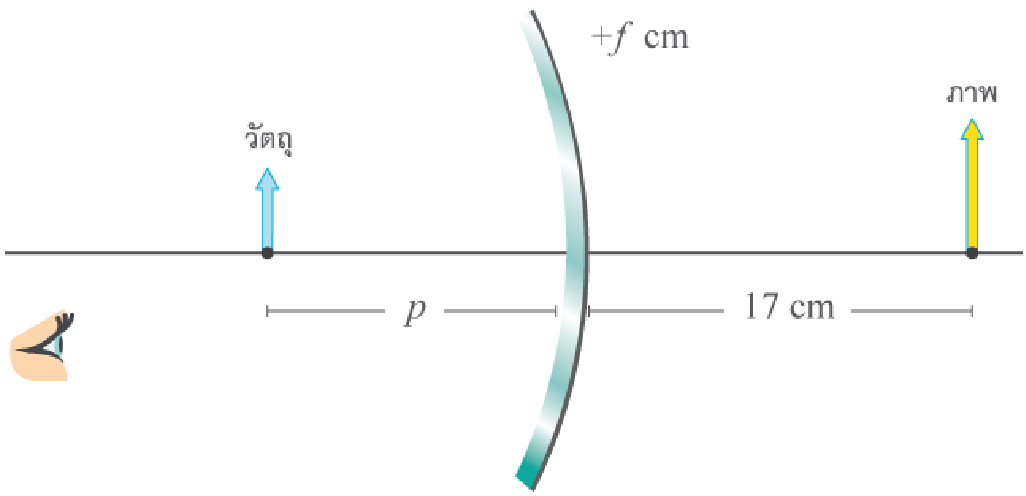
จากรูป พิจารณาได้ว่า มุมระหว่างรังสีตกกระทบกับด้าน $\overline{BC}$ มีขนาดเท่ากับ 2θ ดังนั้น จากSnell's law จะได้ว่า

$$n\sin(90^\circ - 2\theta) = \sin\alpha$$
$$\alpha = \arcsin(n\cos 2\theta)$$

$\therefore \phi = 90^\circ + \alpha = 90^\circ + \arcsin(n\cos 2\theta)$

ข้อที่ 10

ตอบ $1 + \dfrac{17}{f}$ เท่า



กำหนดว่าระยะวัตถุ คือ $p(\text{cm})$ หน้ากระจก จะได้

$$\begin{aligned}\frac{1}{p}+\frac{1}{-17}=\frac{1}{f}\\ \frac{1}{p}&=\frac{1}{f}+\frac{1}{17}\\ &=\frac{17+f}{17f}\end{aligned}$$

โดยกำลังขยาย $= -\frac{\text{ระยะภาพ}}{\text{ระยะวัตถุ}}$

$$-\frac{(-17)}{p}=1+\frac{17}{f}\ \text{เท่า}$$

ข้อที่ 11

ตอบ $u^2+8uv+4v^2=0$

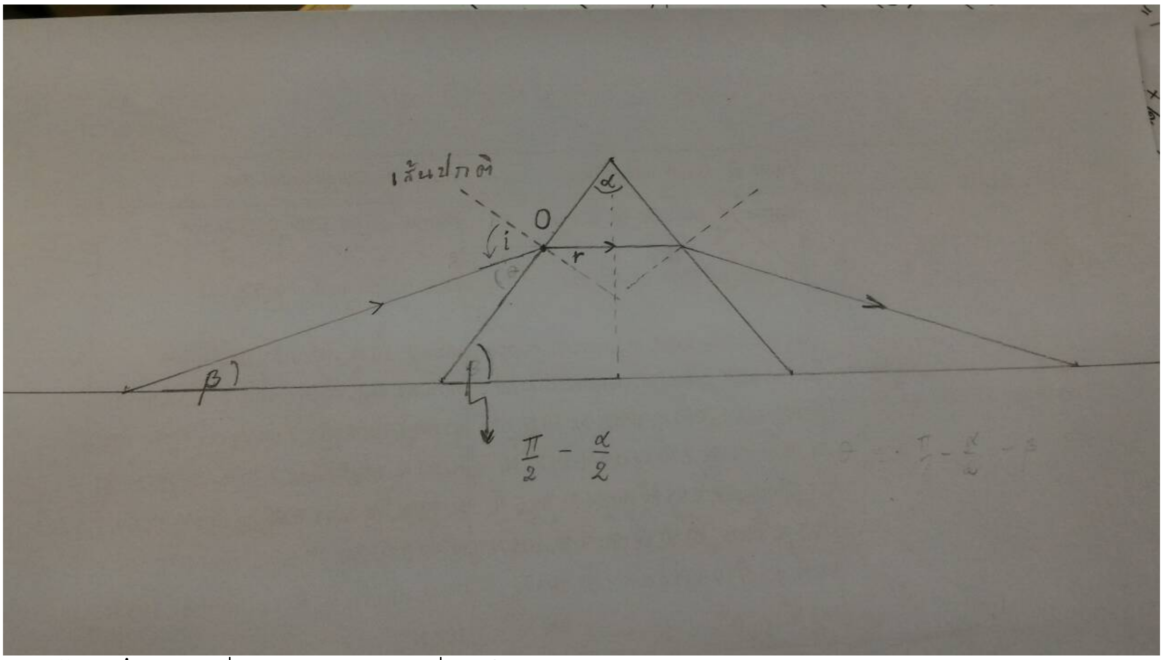
เนื่องจากใช้เลนส์เดิม: $\frac{1}{f}=\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{1}{u+\delta u}+\frac{1}{v+\delta v}$ โดย $-\delta u=4\delta v$

ได้

$$\begin{aligned}\frac{1}{u}+\frac{1}{v}&=\frac{1}{u-4\delta v}+\frac{1}{v+\delta v}\\ &=\frac{v+\delta v+u-4\delta v}{(u-4\delta v)(v+\delta v)}\quad ;(\delta v)^2\approx 0\\ \frac{u+v}{uv}&\approx\frac{u+v-3\delta v}{uv+(u+4v)\delta v}\\ &=\frac{(u+v-3\delta v)}{uv}(1+\frac{u+4v}{uv}\delta v)^{-1}\\ &\approx\frac{(u+v-3\delta v)}{uv}\left(1-\frac{u+4v}{uv}\delta v\right)\\ \frac{u+v}{uv}&\approx\frac{u+v}{uv}-\frac{3\delta v}{uv}-\frac{(u+v)(u+4v)}{uv^2}\delta v\\ -\frac{3}{uv}&=\frac{(u+v)(u+4v)}{(uv^2)}\\ u^2+8uv+4v^2&=0\end{aligned}$$

ข้อที่ 12

ตอบ $\sin\,(\frac{\alpha}{2}+\beta)/\sin(\frac{\alpha}{2})$



จาก $\mathrm{Snell's\ law}$ เมื่อลำแสงตกกระทบที่จุด O

$$\sin\ i = \mu \sin\ r$$

หามุม i และ r จากเรขาคณิต

$$\frac{\pi - \alpha}{2} = \beta + (\frac{\pi}{2} - i)$$
$$i = \frac{\alpha}{2} + \beta$$

และ

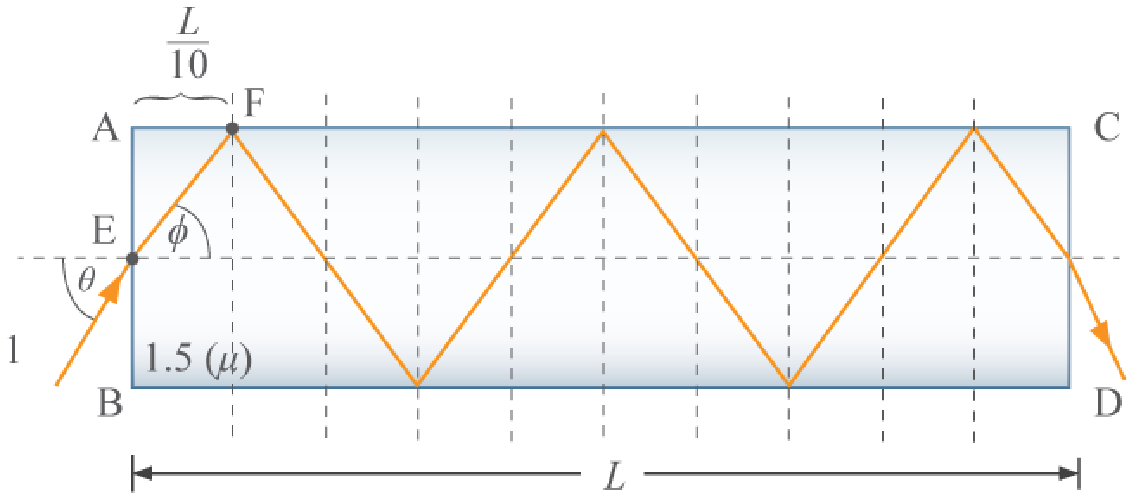
$$\frac{\pi}{2} - r = \frac{\pi - \alpha}{2}$$
$$r = \frac{\alpha}{2}$$

$$\therefore \quad \mu = \frac{\sin i}{\sin r}$$
$$= \sin\ (\frac{\alpha}{2} + \beta) / \sin(\frac{\alpha}{2})$$

ข้อที่ 13

ตอบ $\frac{2\sqrt{3}}{3}L$

วางแนวทางเดินของแสงดังรูป



แนวทางเดินของแสงจะผ่านระยะทางเท่ากับ 10 เท่าของ EF , ระยะทาง $\mathrm{AF} = \frac{\mathrm{L}}{10}$
และจากตรีโกณมิติ

$$\cos\phi = \frac{L}{10\mathrm{EF}}$$

จากนั้นหามุม ϕ จาก $\mathrm{snell's\ law}$ ที่ลำแสงตกกระทบที่จุด E

$$\begin{aligned}(1)\sin\theta &= \mu\sin\phi \\ \sin(\sin^{-1}\frac{3}{4}) &= (1.5)\sin\phi \\ \sin\phi &= \frac{3}{4}\cdot\frac{2}{3} \\ \phi &= \sin^{-1}(\frac{1}{2}) = 30^\circ\end{aligned}$$

ดังนั้น จาก

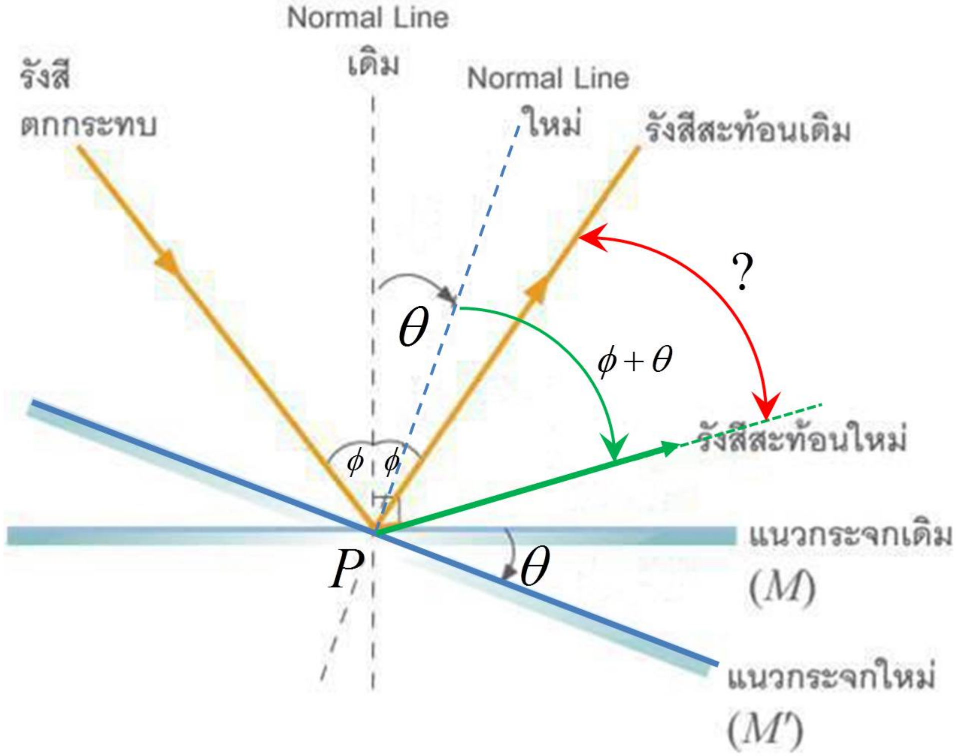
$$\begin{aligned}\cos\phi = \cos 30^\circ &= \frac{L}{10\mathrm{EF}} \\ \frac{\sqrt{3}}{2} &= \frac{L}{10\mathrm{EF}} \\ \mathrm{EF} &= \frac{\mathrm{L}}{10}\times\frac{2}{\sqrt{3}} \\ \therefore\quad 10\mathrm{EF} &= \frac{2\sqrt{3}}{3}L\end{aligned}$$

$\therefore$ ระยะทางทั้งหมด $= \frac{2\sqrt{3}}{3}L$

ข้อที่ 14

ตอบ 2 เท่า

เพื่อความง่ายในการวาดรูปสามารถใช้กระจกเงาราบแทนได้ จากรูปเส้นรังสีตกกระทบที่จุด P มุมตกกระทบ (ϕ) และมุมสะท้อนต้องเป็นไปตามกฎการสะท้อน



จากเลขาคณิตดังรูป แนวรังสีสะท้อนใหม่หาจากกฎการสะท้อน(หลังจากบิดกระจกไปแล้ว θ) และเบนไปจากเส้นปกติใหม่เท่ากับ $\phi + \theta$

ดังนั้นแนวรังสีใหม่มีค่าเท่ากับ $\theta + \phi + \theta$ เทียบแนวเส้นปกติเดิม
แนวรังสีเปลี่ยนไปจากเดิม(เปลี่ยนไปจากตอนที่ยังไม่บิดกระจก)เท่ากับ แนวรังสีใหม่ลบแนวรังสีเดิม(เทียบเส้นปกติเดิม)

$$(\theta + \phi + \theta) - \phi = 2\theta$$

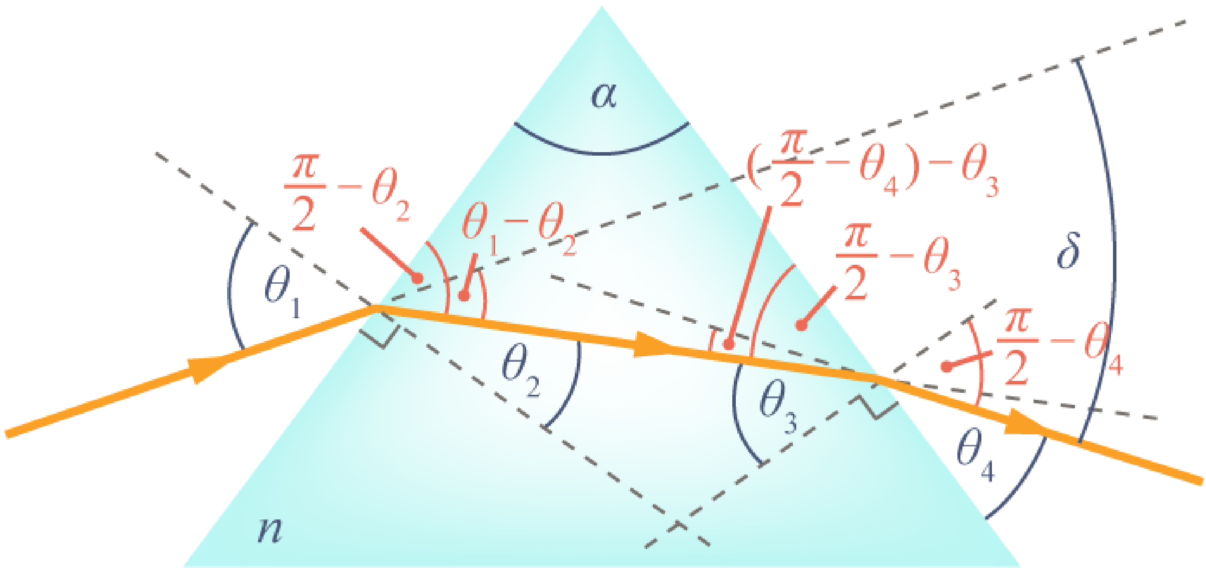
$\therefore$ แสงเบนจากแนวเดิม 2θ
แสงเบนไปจากแนวเดิม 2 เท่าของมุมที่บิดไป

ข้อที่ 15

ตอบ 10.1) $\alpha = \theta_2 + \theta_3$

10.2) $\delta = \dfrac{\pi}{2} + \theta_1 - \theta_4 - \alpha$

10.3) $X = n\sin\left[\alpha - \sin^{-1}\left(\dfrac{1}{n}\sin\theta_1\right)\right]$



พิจารณา Δ ที่มีมุมภายใน π ;

$$\pi = \alpha + \left(\frac{\pi}{2} - \theta_2\right) + \left(\frac{\pi}{2} - \theta_3\right)$$
$$\therefore \quad \alpha = \theta_2 + \theta_3$$

(ตอบคำถามข้อ 10.1)

จากเรขาคณิต

$$\delta = (\theta_1 - \theta_2) + \left[\left(\frac{\pi}{2} - \theta_4\right) - \theta_3\right]$$
$$\delta = \frac{\pi}{2} + \theta_1 - \theta_4 - \alpha$$

(ตอบคำถามข้อ (10.2)

ผลจากคำตอบนี้และจากคำถามข้อ 10.3 จะได้ว่า

$$\delta = \theta_1 - \alpha + \left(\frac{\pi}{2} - \theta_4\right)$$
$$= \theta_1 - \alpha + \sin^{-1}(X)$$

นั่นคือ

$$X = \sin\left(\frac{\pi}{2} - \theta_4\right)$$

พิจารณาลำแสงที่พุ่งออกจากปริซึม

$$n \sin\theta_3 = \sin\left(\frac{\pi}{2} - \theta_4\right)$$

จากความสัมพันธ์ในข้อ 10.1

$$\theta_3 = \alpha - \theta_2$$

และสามารถหา θ_2 จากการใช้ Snell's law ณ ตำแหน่งแสงพุ่งเข้าปริซึม

$$\sin\theta_1 = n\sin\theta_2$$
$$\theta_2 = \sin^{-1}\left(\frac{1}{n}\sin\theta_1\right)$$

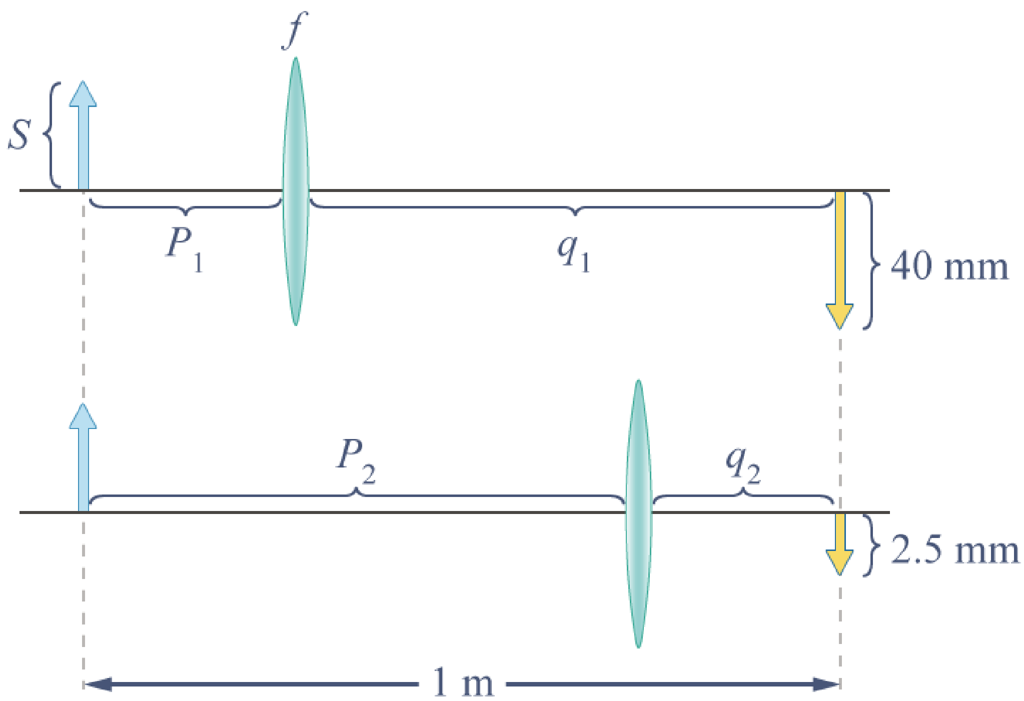
ดังนั้น

$$X = n\sin\left[\alpha - \sin^{-1}\left(\frac{1}{n}\sin\theta_1\right)\right]$$

(เป็นคำตอบข้อ 10.3)

ข้อที่ 16

ตอบ 1) 10 mm
2) 160 mm



หลอดไฟทั้งสองทำหน้าที่เป็นวัตถุที่มีขนาดดังรูป ซึ่งในแต่ละรูปสามารถเขียนสมการออกมากได้ทั้งหมด 6 สมการดังต่อไปนี้

จากรูปที่ 1 กำลังขยาย (m)

$$m = \frac{40\text{ mm}}{S} = -\frac{q_1}{P1} \tag{1}$$

ระยะโฟกัส (f)

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{P_1} + \frac{1}{q_1} \tag{2}$$

และระยะ

$$P_1 + q_1 = 1.0 \text{ m} = 1000 \text{ mm} \tag{3}$$

จากรูปที่ 2 กำลังขยาย (m)

$$m = \frac{2.5\text{ mm}}{S} = -\frac{q_2}{P2} \tag{4}$$

ระยะโฟกัส (f)

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{P_2} + \frac{1}{q_2} \tag{5}$$

และระยะ

$$P_2 + q_2 = 1.0 \text{ m} = 1000 \text{ mm} \tag{6}$$

ต่อไปจะเป็นกระบวนการการแก้สมการทั้ง 6 สมการนี้
เขียนสมการที่ (1) และ (4) ใหม่ได้ดังนี้

$$(1) \rightarrow \quad \frac{40}{S} = -\frac{1000 - P_1}{P_1} \tag{7}$$

$$P_1 = \frac{1000S}{S - 40} \tag{8}$$

$$(4) \rightarrow \quad \frac{2.5}{S} = -\frac{1000 - P_2}{P_2} \tag{9}$$

$$P_2 = \frac{1000S}{S - 2.5} \tag{10}$$

เขียนสมการที่ (2) และ (5) ใหม่ได้ดังนี้

$$(2) \rightarrow \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{P_1} + \frac{1}{1000 - P_1} \tag{11}$$

$$f = \frac{1000P_1 - P_1^2}{1000} \tag{12}$$

$$(5) \rightarrow \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{P_2} + \frac{1}{1000 - P_2} \tag{13}$$

$$f = \frac{1000P_2 - P_2^2}{1000} \tag{14}$$

เนื่องจากเป็นเลนส์อันเดียวกัน ดังนั้น สมการที่ $(12) = (14)$ และแทนค่า P_1 และ P_2 ลงในสมการทั้งสอง จะได้ว่าผลสุดท้ายว่า

$$S = -10 \text{ mm}$$

สังเกตุว่า ค่า S ไม่ควรเป็นลบ แต่เมื่อแทนค่า S ลงในสมการกำลังขยายแล้ว ค่ากำลังขยายจะเป็นลบนั้นบ่งว่า ภาพที่เกิดขึ้นเป็นภาพกลับหัว (หัวของภาพชี้ไปทิศตรงข้ามกับหัวของวัตถุ)
(เป็นคำตอบข้อ 16.1)

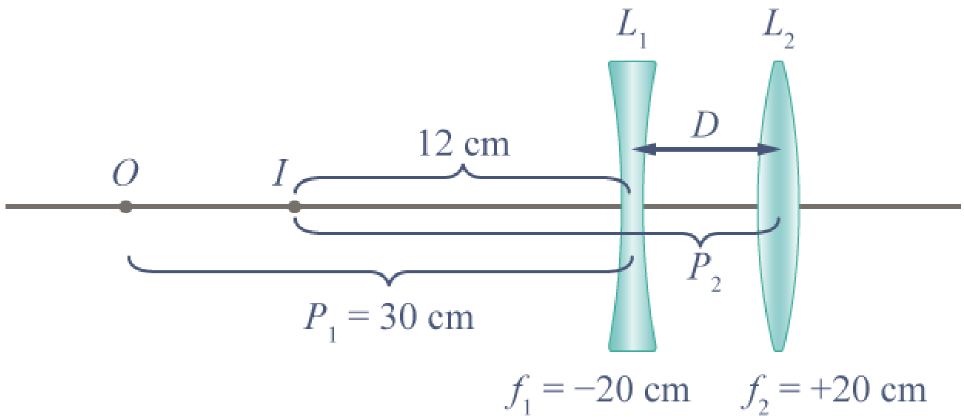
ในการหาความยาวโฟกัสของเลนส์ สามารถหาได้จากการแทนค่า P_1 หรือ P_2 ลงในสมการที่ (12) หรือ (14) ได้ความยาวโฟกัสของเลนส์เป็น

$$f = +160 \text{ mm}$$

ซึ่งบ่งว่าเป็นเลนส์นูน
(เป็นคำตอบข้อ 16.2)

ข้อที่ 17

ตอบ วาง L_1 และ L_2 ห่างกัน $8\,\mathrm{cm}$



การเกิดภาพจาก L_1 จะไปเป็นวัตถใน L_2

$$\frac{1}{P_1} + \frac{1}{q_1} = \frac{1}{f}$$
$$\frac{1}{30} + \frac{1}{q_1} = \frac{1}{-20}$$
$$\therefore\ q_1 = -12\,\mathrm{cm}$$

เกิดภาพที่วัตถุ "หน้า L" นั่นคือ ภาพนี้จะเป็นวัตถุให้ L_2 โดยมีระยะวัตถุ เป็น

$$12 + D = P_2$$
$$\frac{1}{P_2} + \frac{1}{q_2} = \frac{1}{f_2}$$

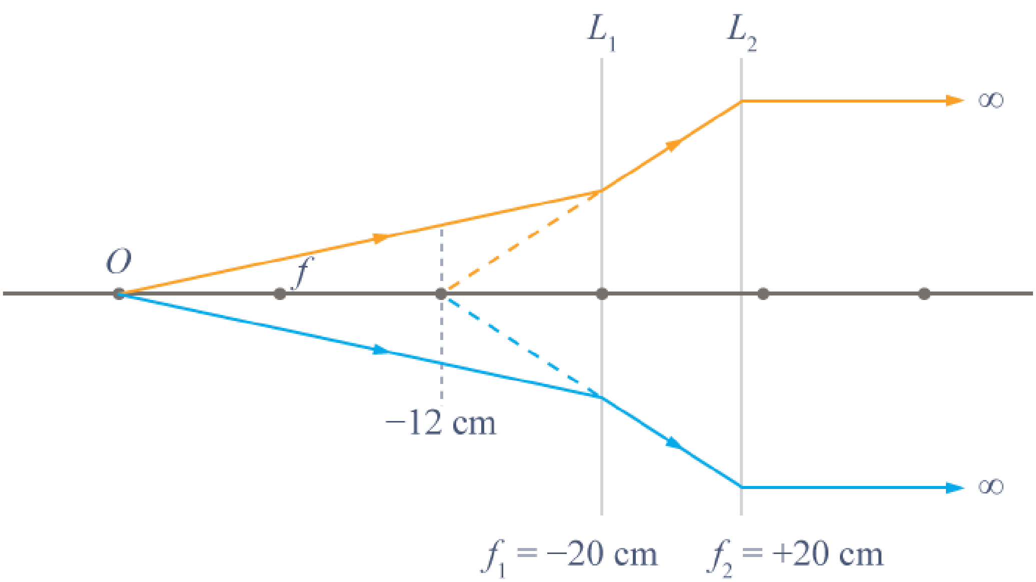
กำหนดให้

$$q_2 = \infty$$

เพราะต้องการให้ภาพเกิดที่อนันต์ ได้

$$\frac{1}{12+D} + \frac{1}{\infty} = \frac{1}{20}$$
$$D = 8$$

$\therefore$ วาง L_1 และ L_2 ห่างกัน $8\,\mathrm{cm}$



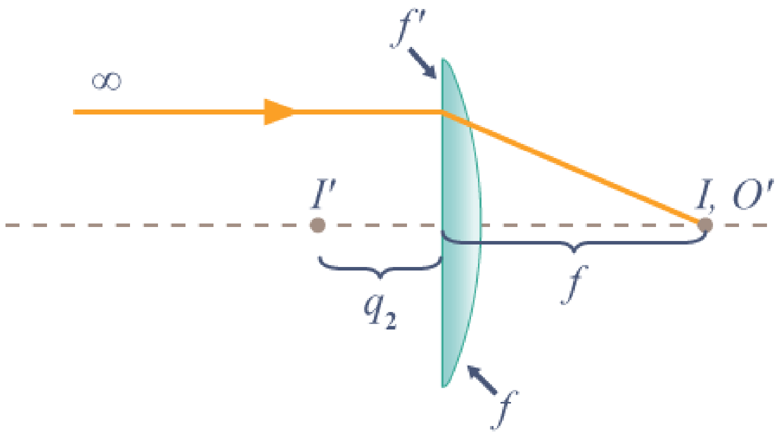
ข้อที่ 18

ตอบ ห่างจากเลนส์ $= (\frac{\mu - 1}{\mu + 1})f$

จากสมการช่างทำเลนส์ ได้ f ของเลนส์

$$\begin{aligned} \frac{1}{f} &= (\mu - 1)(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}) \\ R_2 \text{ (รัศมีความโค้งกระจก)} &= (\mu - 1)f \\ \because f'\text{(กระจก)} &= \frac{1}{2}R_2 \\ &= (\frac{\mu - 1}{2})f \end{aligned}$$

มองว่าระบบประกอบด้วยเลนส์ f และกระจก f' วางชิดกัน ดังรูป

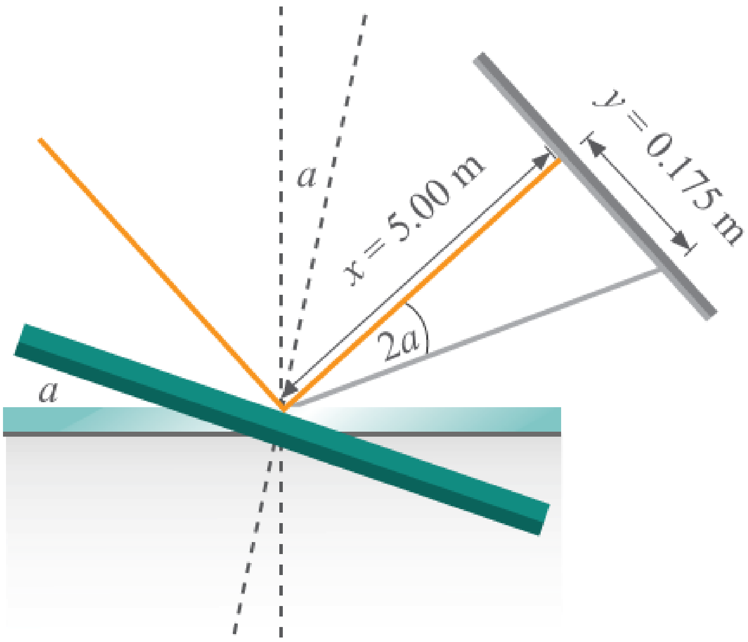


แสงจากอนันต์ $(p_1 = \infty)$ จะทำให้เกิดภาพหลังเลนส์ $q_1 = f = -p_2$ เป็นวัตถุเสมือนให้กระจกต่อไป

$$\frac{1}{-f} + \frac{1}{q_2} = \frac{1}{f'}$$
$$q_2 = (\frac{\mu - 1}{\mu + 1})f$$

$\therefore$ เกิดภาพสุดท้ายที่ $(\frac{\mu - 1}{\mu + 1})f$ หน้ากระจก

ข้อที่ 19



(มุมในรูปวาดเกินสเกลจริง ทั้งนี้เพื่อความชัดเจนในการอธิบาย) เราจะได้ว่า รังสีสะท้อนอันใหม่นั้น เบนไปจากเดิมเป็นมุม 2α (พิสูจน์โดยใช้หลัก มุมตกกระทบ เท่ากับ มุมสะท้อน)
จากรูปจะได้ว่า

$$\tan(2\alpha) = \frac{0.175 \text{ m}}{5.00 \text{ m}}$$

แต่ว่า มุม α เป็นมุมเล็กๆ ดังนั้น

$$\tan(2\alpha) \approx 2\alpha$$

นั่นคือ

$$\alpha = \left(\frac{1}{2}\right)\frac{0.175}{5.00} \text{ rad} \times \frac{180^\circ}{\pi \text{ rad}} \approx 1.00^\circ$$