แสงเชิงเรขาคณิต

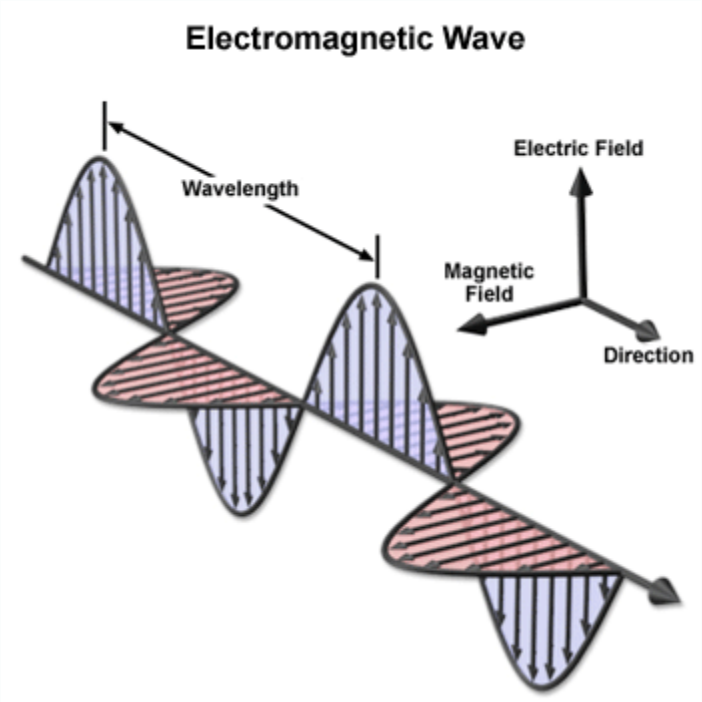
อ. อาจารีย์ ทองอ่อน

แสงเชิงเรขาคณิต

- รังสีของแสง
- การเกิดเงา
- การสะท้อน
  - กระจกเงาราบ
  - กระจกเงาโค้งทรงกลม
- การหักเห
  - การกระจายของแสง
  - เลนส์
- ตาและการมองเห็น
- การผสมแสงสี
- คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

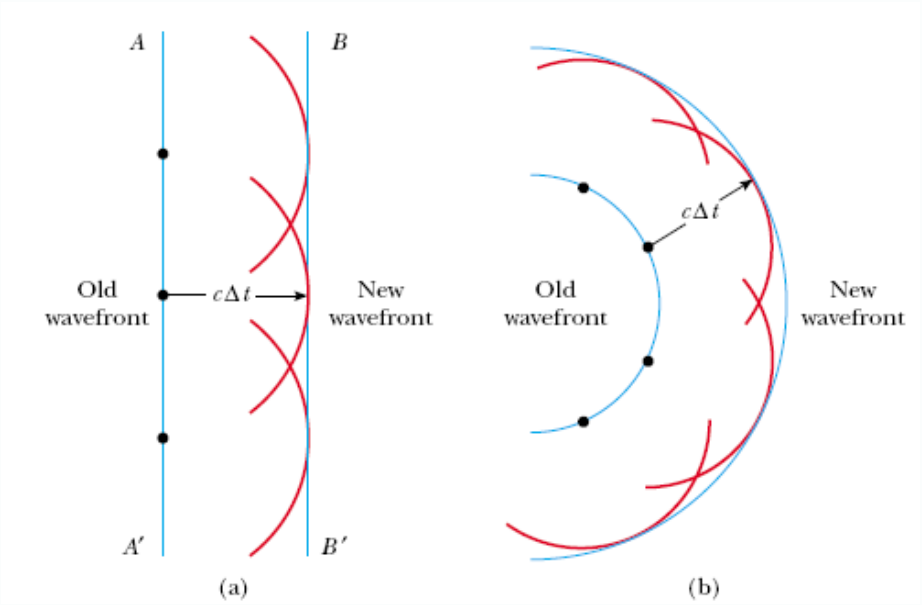
ธรรมชาติของแสง

- แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความถี่ในช่วงที่ตามองเห็นได้(ความยาวคลื่น 400 – 700 nm)



ธรรมชาติของแสง

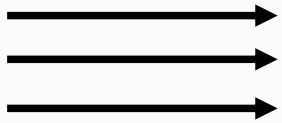
- ฮอยเกนส์ อธิบายการเดินทางของแสงในลักษณะที่เป็นคลื่น
  - หลักของฮอยเกนส์(Huygens ‘ principle) : ทุก ๆ จุดบนหน้าคลื่นจะทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดของคลื่นใหม่ซึ่งคลื่นทรงกลมที่เกิดขึ้นใหม่จะกระจายออกไปในทุกทิศทางด้วยอัตราเร็วที่เท่ากัน และหน้าคลื่นใหม่จะเป็นผิวที่อยู่ในแนวสัมผัสกับหน้าคลื่นทรงกลมที่เกิดขึ้น คลื่นที่เกิดขึ้นใหม่นี้เรียกว่า Secondary wave (Huygens’ wavelets)



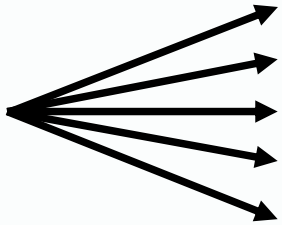
รังสีของแสง

รังสีของแสง คือ แนวทางเดินของแสง ถูกแบ่งออกเป็น 3 แบบ ดังนี้

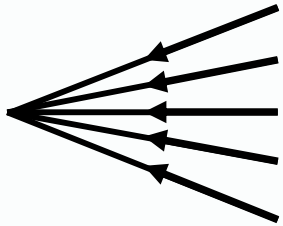
1. รังสีขนาน



2. รังสีกระจาย

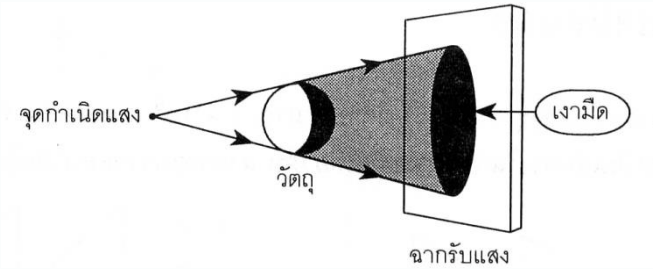


3. รังสีรวมแสง

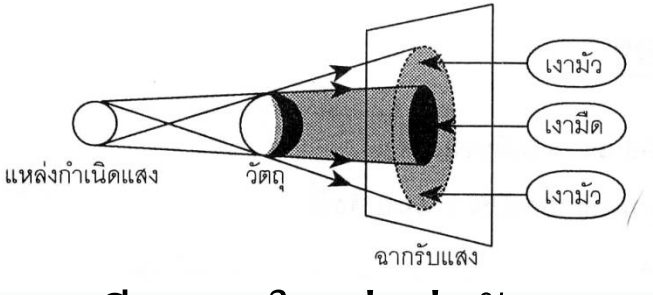


การเกิดเงา

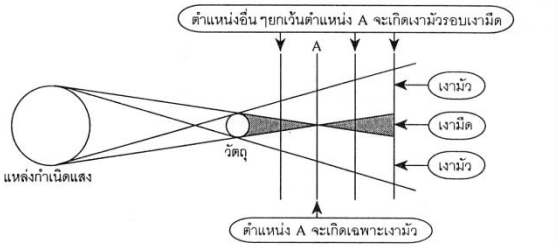
1. แหล่งกำเนิดแสงเป็นจุด



2. แหล่งกำเนิดแสงมีขนาดเล็กกว่าวัตถุ

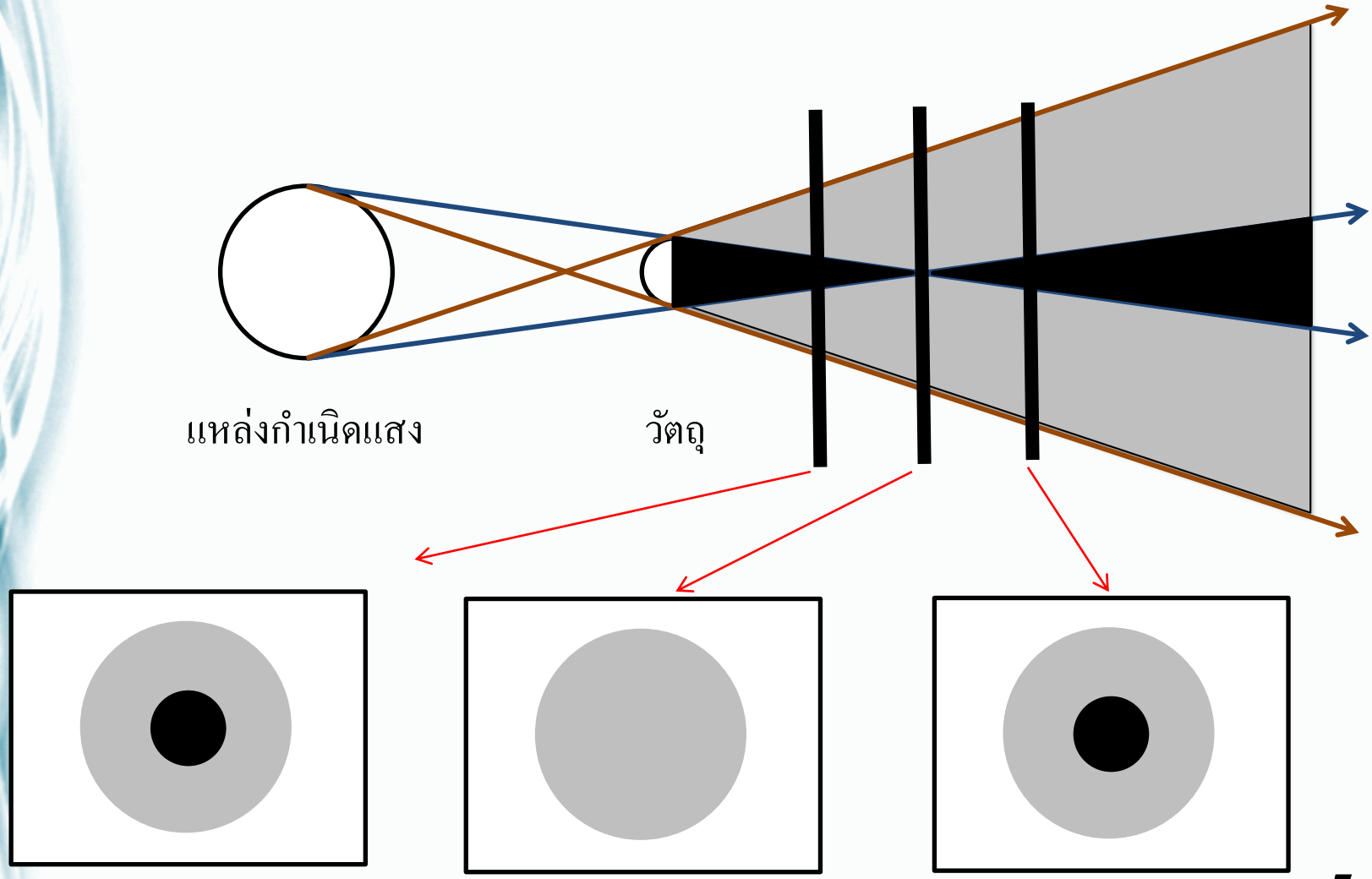


3. แหล่งกำเนิดแสงมีขนาดใหญ่กว่าวัตถุ



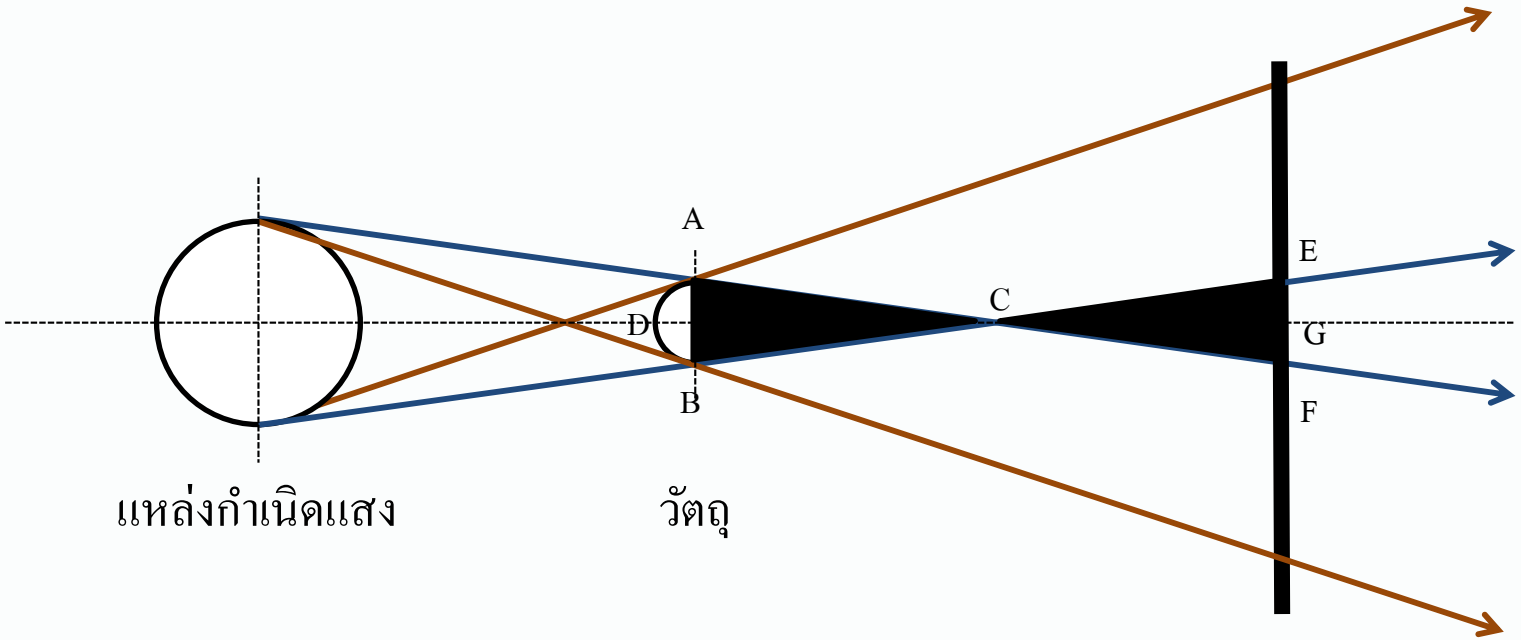
การเกิดเงา

การวาดรังสีของแสงกรณีที่แหล่งกำเนิดแสงมีขนาด



การคำนวณการเกิดเงา

ใช้หลักการของสามเหลี่ยมคล้าย



$$\frac{AD}{EG} = \frac{AB}{EF} = \frac{DC}{GC}$$

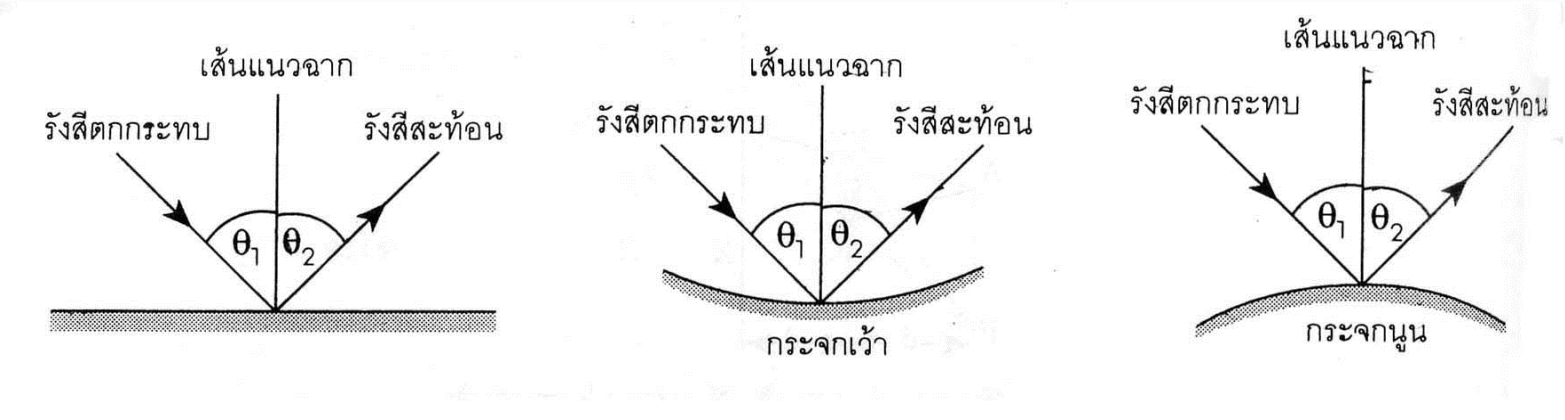
ตัวอย่างโจทย์การเกิดเงา

Ex. 1 โป๊ะไฟกระจกฝ้าทรงกลมมีรัศมี 10 เซนติเมตร และลูกเทนนิสขนาดรัศมี 2 เซนติเมตร วาง ณ ตำแหน่งจุดศูนย์กลางทั้งสองห่างกัน 1 เมตร เกิดเงามืดและเงามัวบนฉากที่วางใกล้ลูกเทนนิสพอสมควร จงหาตำแหน่งใกล้ลูกเทนนิสในแนวเงาที่ไม่มีเงามืดเลย (0.25 เมตร)

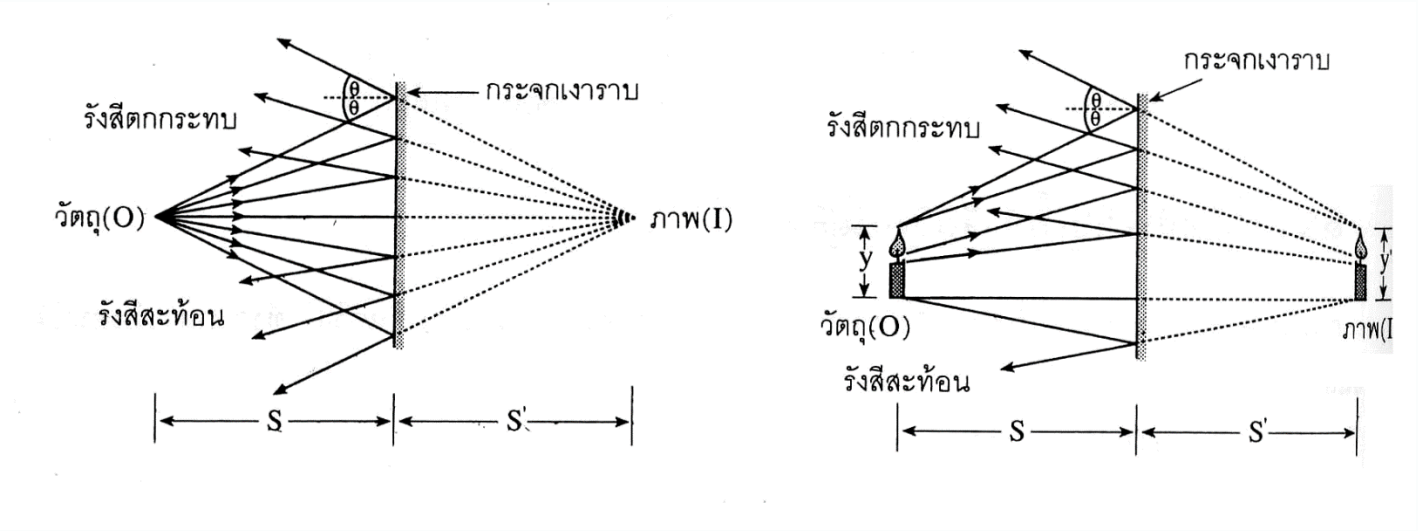
การสะท้อน

กฎการสะท้อนของแสง

1. รังสีตกกระทบ, รังสีสะท้อน และเส้นแนวฉากอยู่ในระนาบเดียวกัน
2. มุมตกกระทบ (θ_1) = มุมสะท้อน (θ_2) ณ ตำแหน่งที่แสงตกกระทบ

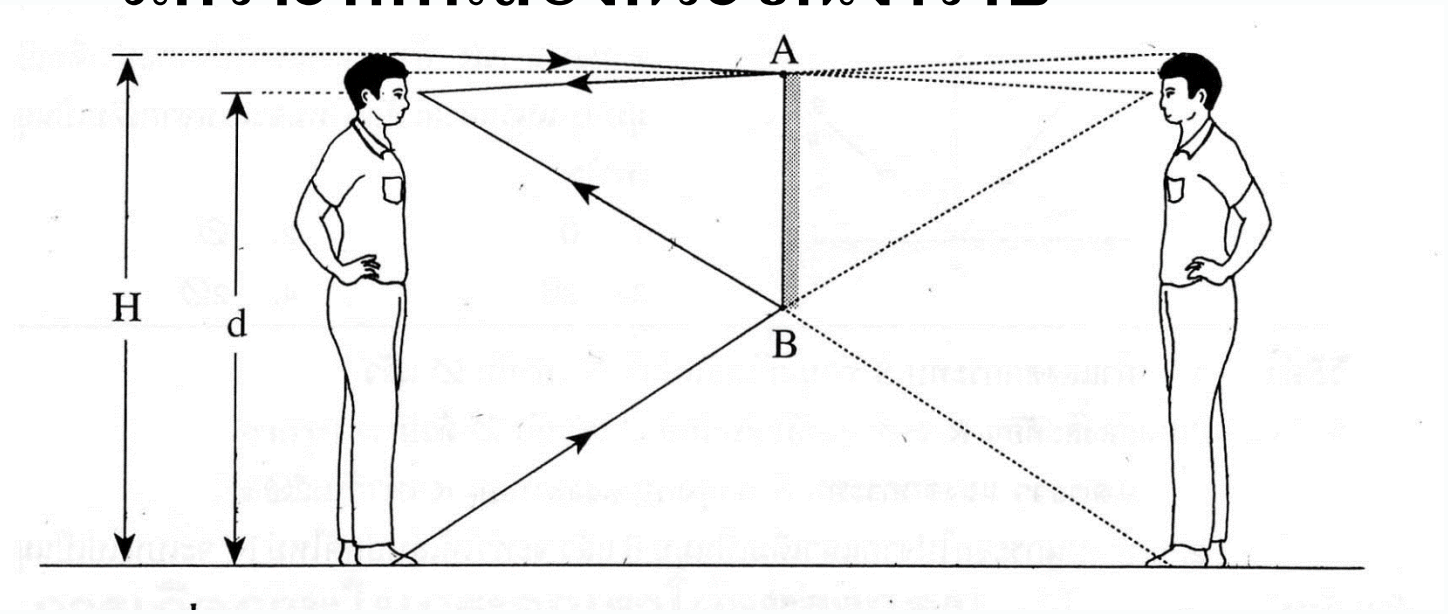


กระจกเงาราบ



1. ระยะภาพ = ระยะวัตถุ (s = s′)
2. ขนาดภาพ = ขนาดวัตถุ (y = y′)
3. กระจกราบให้ภาพเสมือนสำหรับวัตถุจริง
4. กระจกราบจะให้ภาพจริงหน้ากระจกสำหรับวัตถุเสมือน

วิเคราะห์คนส่องกระจกเงาราบ



1. AB = (ความสูงของคน)/2 = H/2
2. A อยู่ที่จุดกึ่งกลางระหว่างศีรษะกับสายตา

$$A = d + (H - d)/2$$

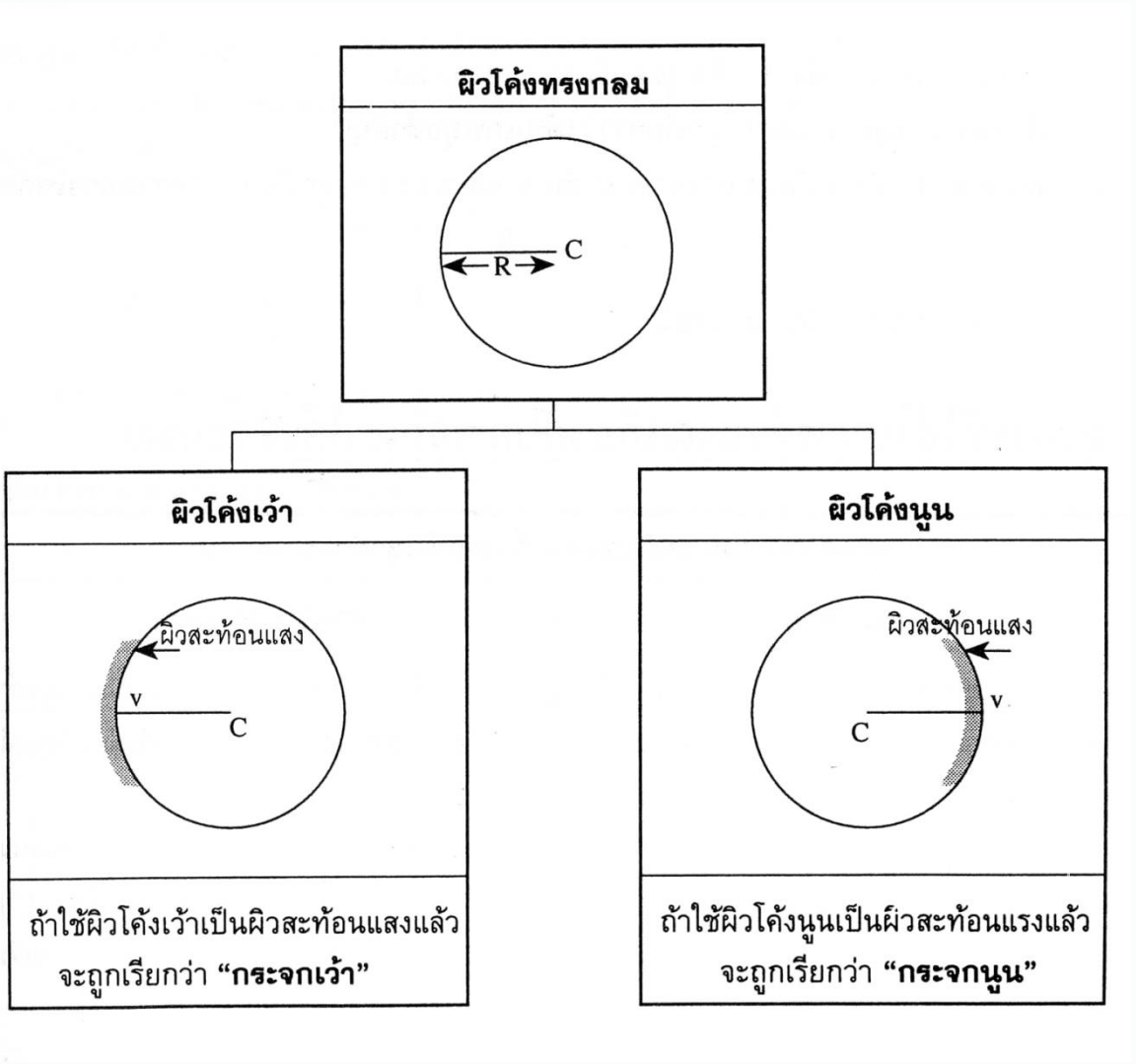
1. B อยู่ที่จุดกึ่งกลางระหว่างสายตากับพื้น

$$B = d/2$$

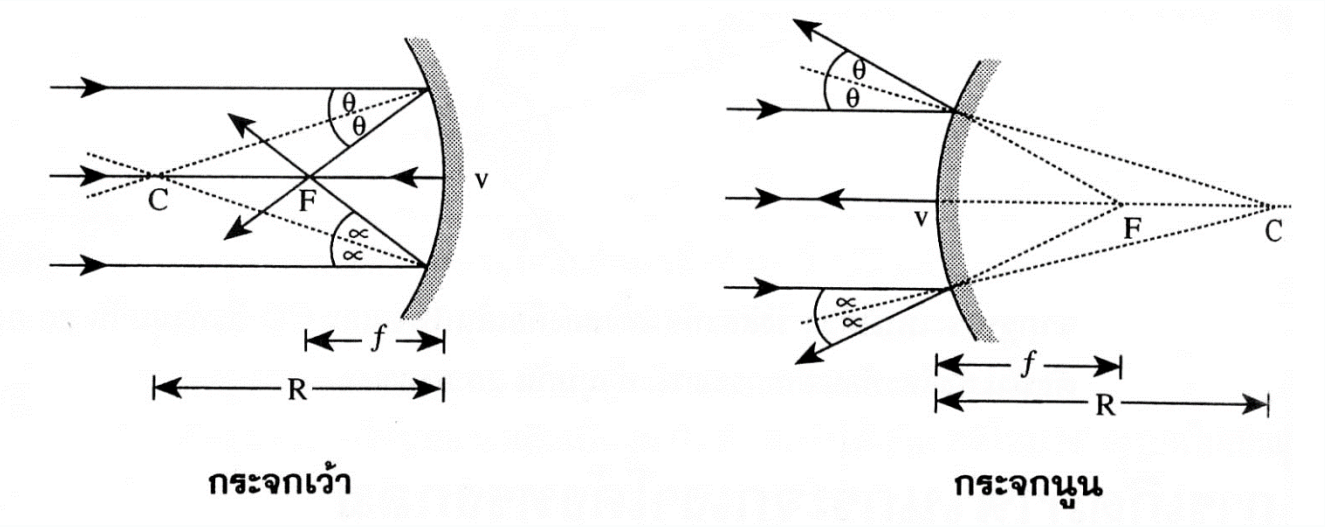
ตัวอย่างโจทย์กระจกเงาราบ

Ex. 2 ถ้าชายคนหนึ่งสูง 170 เซนติเมตร และตาของเขาอยู่ห่างจากส่วนที่สูงที่สุดในร่างกายเป็นระยะ 10 เซนติเมตร มีกระจกราบตั้งอยู่บนพื้นในแนวดิ่ง ขอบบนของกระจกต้องอยู่สูงจากพื้นเท่าใดจึงจะทำให้เขามองเห็นเอวซึ่งอยู่สูงจากพื้น 100 เซนติเมตร (130 เซนติเมตร)

กระจกเงาโค้งทรงกลม



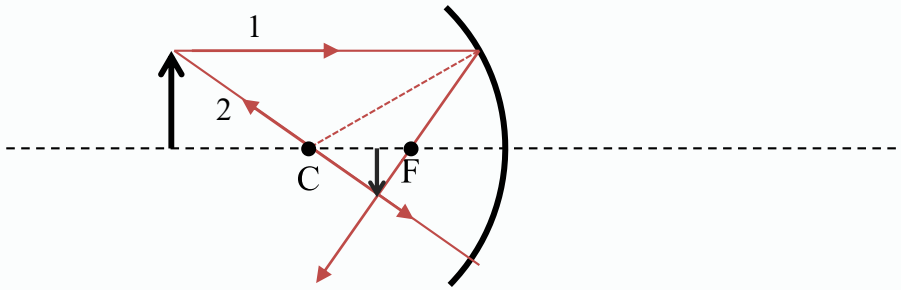
ส่วนประกอบของกระจกโค้ง

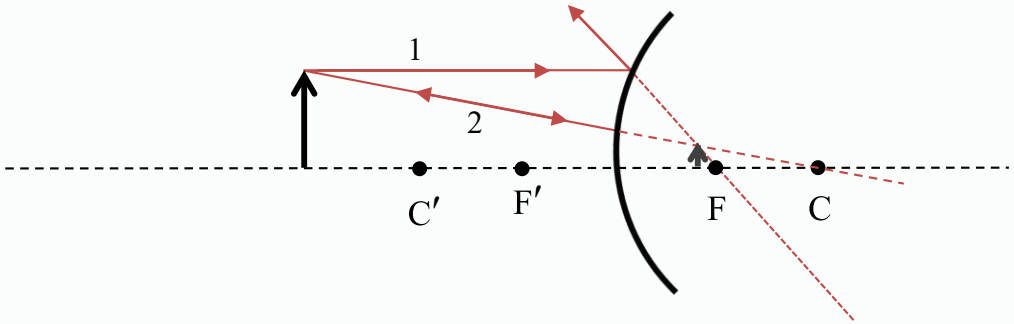


1. จุดยอด (v) คือ จุดใจกลางบนผิวโค้ง
2. จุดศูนย์กลางความโค้ง (C) คือ จุดศูนย์กลางของทรงกลม
3. จุดโฟกัส (F) มีระยะเป็นครึ่งหนึ่งของรัศมีความโค้ง

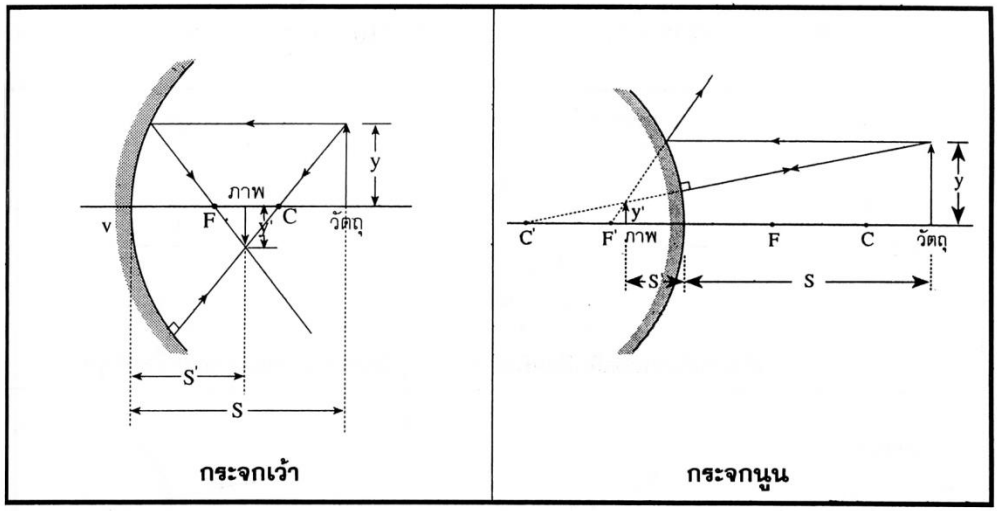
$$f = R/2$$

วิธีหาภาพจากกระจกโค้ง





การคำนวณกระจกโค้ง



ความสัมพันธ์ระหว่างระยะวัตถุ (s), ระยะภาพ (s′), ความยาวโฟกัส (f), รัศมีความโค้งของกระจก (R), ขนาดวัตถุ (y), ขนาดภาพ (y′) และการขยายขนาด (m) เป็นดังนี้

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

การคำนวณกระจกโค้ง

กำลังขยาย(magnification)

- พิจารณาวัตถุหนึ่งสูง h ส่งรังสีทำมุมตก

  กระทบและมุมสะท้อน θ เกิดภาพสูง h'

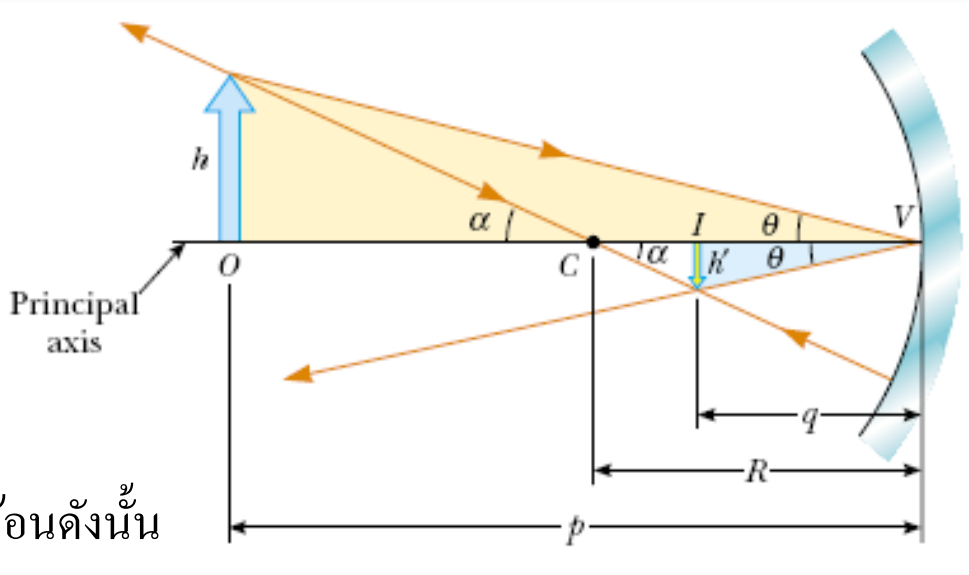
  - จากมุมตกกระทบได้

    $$tan\theta = h/p$$

  - จากมุมสะท้อนได้

    $$tan\theta = -h'/q$$

  - มุมตกระทบเท่ากับมุมสะท้อนดังนั้น



$$M = \frac{h'}{h} = \frac{q}{p}$$

การคำนวณกระจกโค้ง

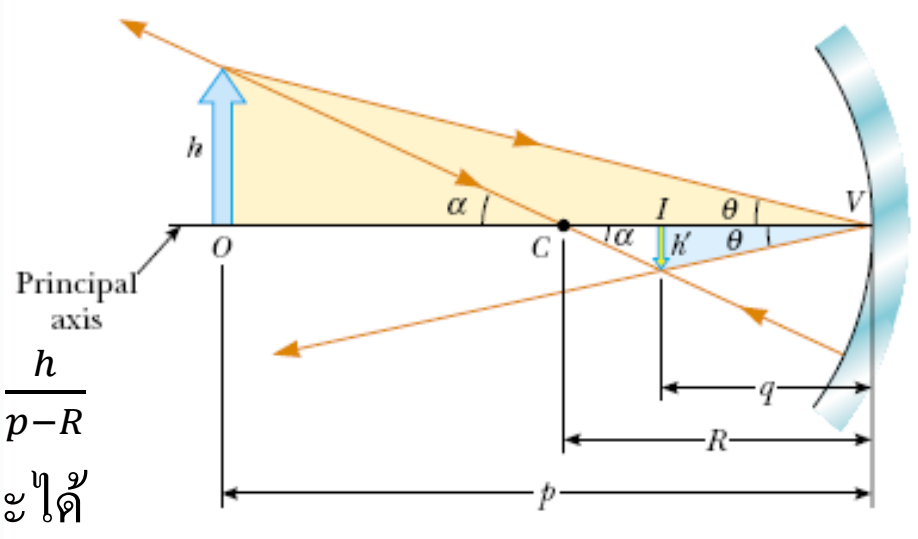
- ภาพจากกระจกโค้ง
  - จากภาพพิจารณามุม α
  - จะได้

$$\tan\alpha = \frac{h}{p-R} \text{ และ } \tan\alpha = \frac{h}{p-R}$$

  - จับทั้งสองสมการหารกันจะได้

$$\frac{h'}{h} = -\frac{R-q}{p-R}$$

  - เปรียบเทียบกับสมการของกำลังขยายจะได้

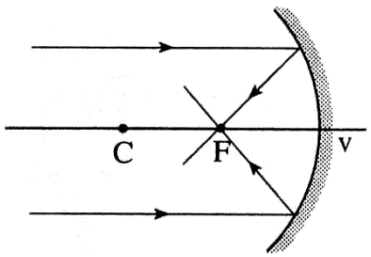
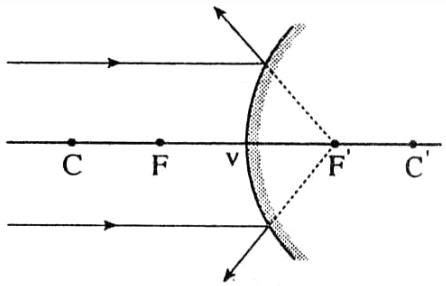
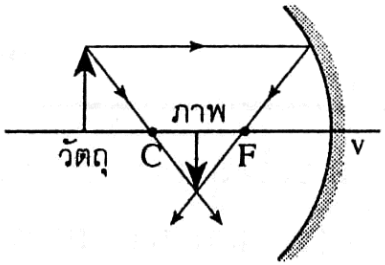
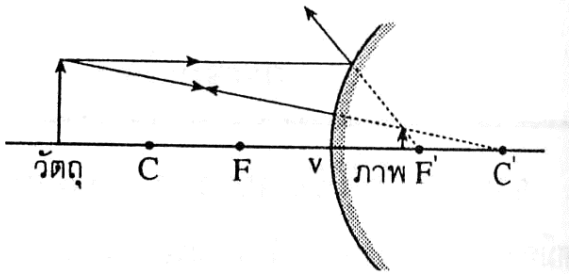
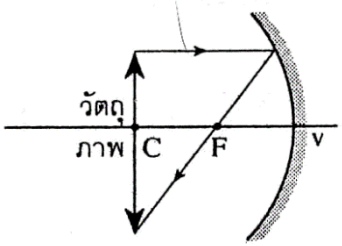
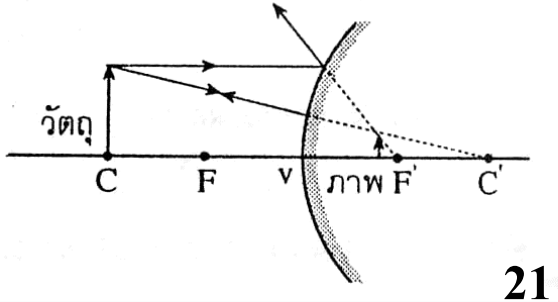


$$\frac{R-q}{p-R} = \frac{q}{p} \rightarrow \frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{2}{R}$$

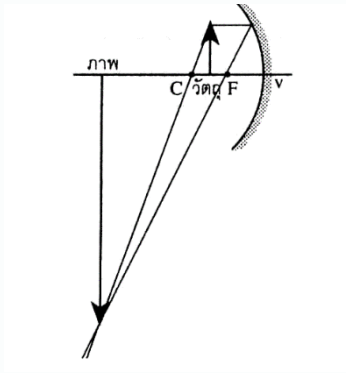
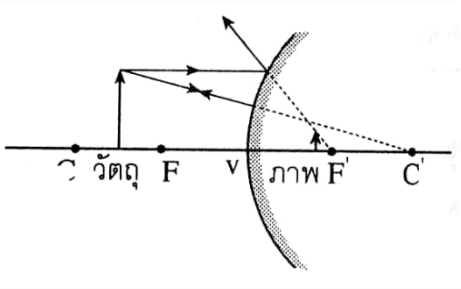
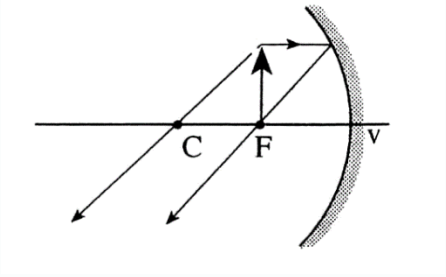
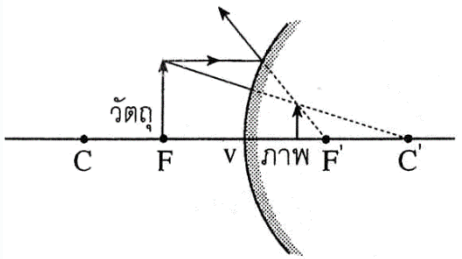
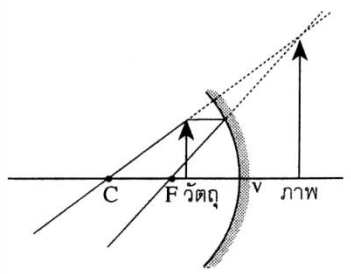
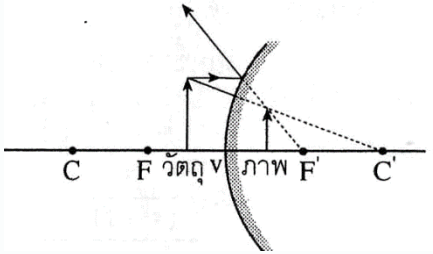
การคิดเครื่องหมายในการคำนวณกระจกโค้ง

ระยะ	ระยะจริงมีค่าเป็นบวก (+)	ระยะเสมือนมีค่าเป็นลบ (-)
s	วัตถุอยู่หน้ากระจก	วัตถุอยู่หลังกระจก
s′	ภาพอยู่หน้ากระจก	ภาพอยู่หลังกระจก
y	วัตถุอยู่หน้ากระจก	วัตถุอยู่หลังกระจก
y′	ภาพอยู่หน้ากระจก	ภาพอยู่หลังกระจก
f	กระจกเว้า	กระจกนูน
R	กระจกเว้า	กระจกนูน
m	ภาพหัวกลับ	ภาพหัวตั้ง

เปรียบเทียบภาพที่เกิดจากกระจกเว้าและกระจกนูน

ตำแหน่งของวัตถุ	กระจกเว้า	กระจกนูน
วัตถุอยู่ไกลมาก ($s \Rightarrow \infty$)		
วัตถุอยู่หน้า C ($R < s < \infty$)		
วัตถุอยู่ที่ C ($s = R$)		

เปรียบเทียบภาพที่เกิดจากกระจกเว้าและกระจกนูน

ตำแหน่งของวัตถุ	กระจกเว้า	กระจกนูน
วัตถุอยู่ระหว่าง C กับ f (f < s < R)		
วัตถุอยู่ที่ f (s = f)		
วัตถุอยู่ระหว่าง f กับกระจก (s < f)		

ตัวอย่างโจทย์กระจกโค้ง

Ex.3 ทันตแพทย์ถือกระจกเว้ามีรัศมีความโค้ง 40 เซนติเมตร ห่างจากฟันที่ต้องการอุดเป็นระยะ 10 เซนติเมตร ทันตแพทย์จะเห็นฟันในกระจกขยายเป็นกี่เท่า (2 เท่า)

ตัวอย่างโจทย์กระจกโค้ง

Ex.4 วางวัตถุไว้ข้างหน้ากระจกโค้ง ซึ่งมีความยาวโฟกัส 20 เซนติเมตร ปรากฏว่าได้ภาพเสมือนโดยมีกำลังขยาย 0.1 เท่า จงหาระยะวัตถุ (180 เซนติเมตร)

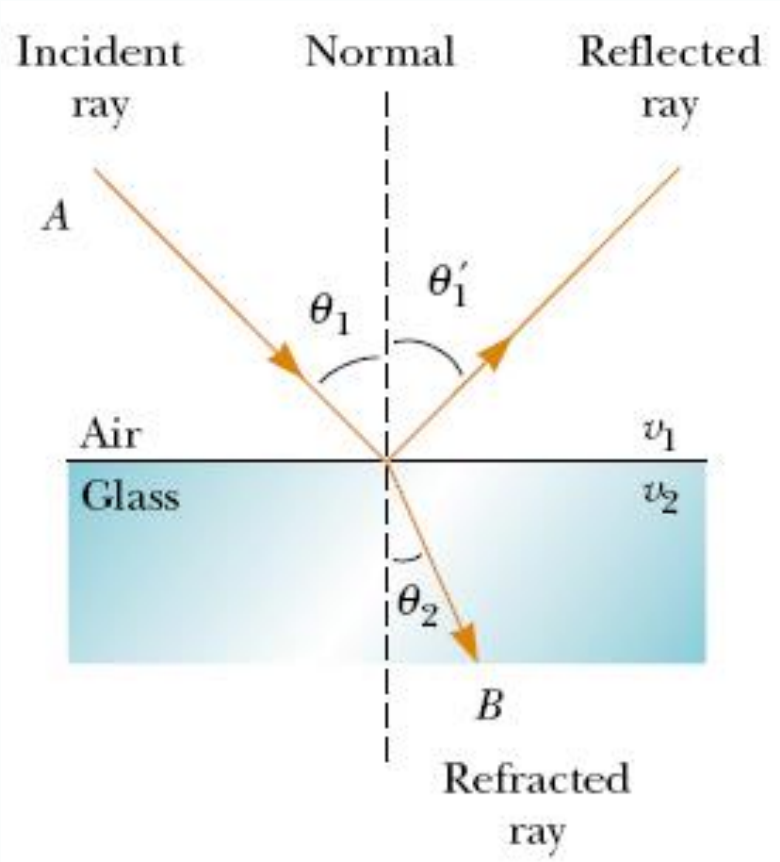
ตัวอย่างโจทย์กระจกโค้ง

Ex.5 ดินสอยาว 30 เซนติเมตร วางไว้ตามแนวแกนหน้ากระจกเว้า ซึ่งมีรัศมีความโค้ง 60 เซนติเมตร โดยให้ปลายใกล้อยู่จุดศูนย์กลางความโค้งของกระจก ภาพที่เกิดขึ้นจะมีความยาวเป็นกี่เซนติเมตร (15 เซนติเมตร)

การหักเห

พิจารณาแผนภาพรังสี แสดงการหักเห และการสะท้อนของแสงเมื่อมีการเปลี่ยนตัวกลาง

- จะพบว่าเกิดรังสีของแสงขึ้นสองส่วน
  - รังสีส่วนที่สะท้อนกลับในตัวกลางเดิม เรียกว่า รังสีสะท้อน(Refracted ray)
  - รังสี่ส่วนที่เข้าไปในตัวกลางใหม่(แก้ว)ซึ่ง เรียกว่า รังสีหักเห(Refracted ray)
- จากการทดลองพบว่ารังสีหักเหในแก้วจะเบนเข้าหาเส้นแนวฉาก
- มุมระหว่างรังสีหักเหกับเส้นแนวฉาก เรียกว่า มุมหักเห(angle of refraction)



การหักเห

ปรากฏการณ์ที่เมื่อแสงมีการเปลี่ยนตัวกลาง (เช่น เดินทางจากน้ำสู่) แล้วมีการเบี่ยงเบนไปจากแนวเดิม เรียกว่า การหักเห(refraction)

- เราจะสนใจการหักเหเมื่อแสงมีการเคลื่อนที่จากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง โดยการที่แสงจะหักเหมากหรือน้อยนั้นขึ้นกับสมบัติประการหนึ่งของแสงและตัวกลาง ซึ่งก็คือ ดรรชนีหักเหของแสง(Index of refraction)
  - พิจารณาว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถเคลื่อนที่ในสุญญากาศได้
  - แต่เมื่อเดินทางในตัวกลางเช่น อากาศ น้ำ หรือ สสารอื่น ๆ จะมีการดูดกลืนแสงและปล่อยแสงออกมาใหม่ ทำให้ทำให้แสง(คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า)มีอัตราเร็วที่แตกต่างไปจากอัตราเร็วของแสงในสุญญากาศ(c) ได้

การหักเห

<u>การหาดรรชนีหักเห</u>

หาจากอัตราส่วนระหว่างอัตราเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสุญญากาศต่ออัตราเร็วของคลื่นในตัวกลาง จะเรียกว่า ดรรชนีหัก(index of refraction)

- C คือ อัตราเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสุญญากาศ
- V คือ อัตราเร็วของคลื่นในตัวกลาง

$$n \equiv \frac{\text{speed of light in vacuum}}{\text{speed of light in a medium}} = \frac{c}{v}$$

การหักเห

ตัวอย่างดรรชนีหักเหในตัวกลางต่างๆ

Indices of Refraction[a]

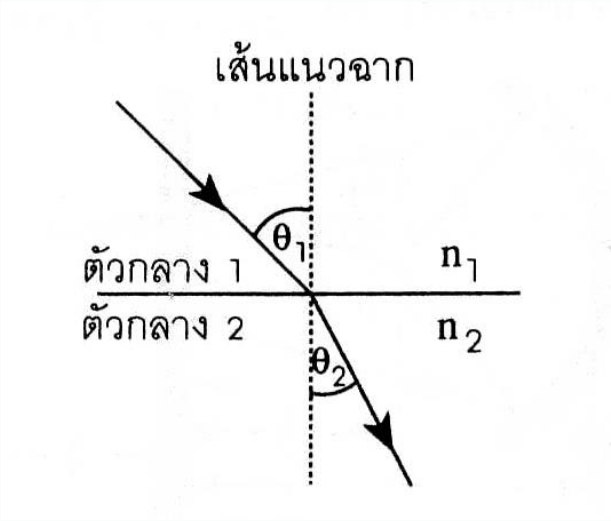
Substance	Index of Refraction	Substance	Index of Refraction
Solids at 20°C		*Liquids at 20°C*	
Cubic zirconia	2.20	Benzene	1.501
Diamond (C)	2.419	Carbon disulfide	1.628
Fluorite (CaF_2)	1.434	Carbon tetrachloride	1.461
Fused quartz (SiO_2)	1.458	Ethyl alcohol	1.361
Gallium phosphide	3.50	Glycerin	1.473
Glass, crown	1.52	Water	1.333
Glass, flint	1.66		
Ice (H_2O)	1.309	*Gases at 0°C, 1 atm*	
Polystyrene	1.49	Air	1.000 293
Sodium chloride (NaCl)	1.544	Carbon dioxide	1.000 45

การหักเห

ข้อสังเกตจากตารางดรรชนีหักเห

- ดรรชนีหักเหของแสงในอากาศมีค่าใกล้เคียงกับดรรชนีหักเหของแสงในสุญญากาศ เรามักจะประมาณดรรชนีหักเหของแสงในอากาศมีค่าเท่ากับ 1(เหมือนเป็นสุญญากาศ)
- ดรรชนีหักเหของแสงในสารต่าง ๆ จะขึ้นกับอุณหภูมิ และโดยทั่วไปแล้วดรรชนีหักเหของแสงจะมีค่าน้อยลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น
- ดรรชนีหักเหของแสงในตัวกลางที่เป็นก๊าซจะขึ้นกับความดันของก๊าซด้วย
- ดรรชนีหักของแสงในตัวกลางต่าง ๆ มักจะขึ้นกับความหนาแน่นของตัวกลางนั้น โดยสสารที่มีความหนาแน่นสูงมักจะมีดรรชนีหักเหสูงด้วย

การหักเห

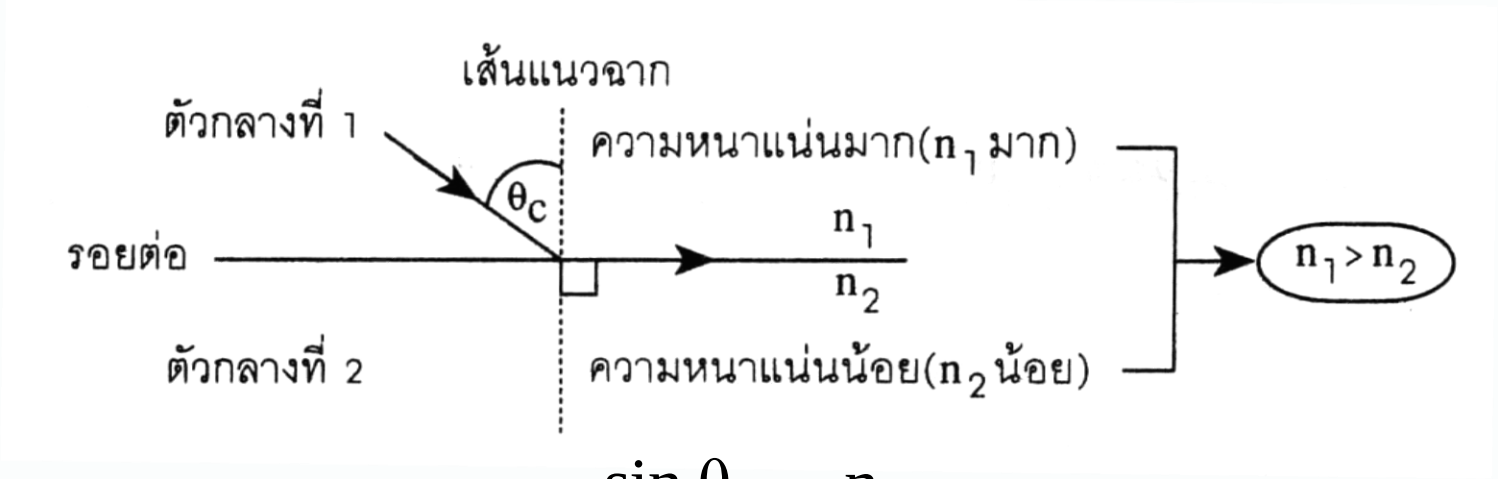


กฎของสเนลล์ (Snell's Law)

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

มุมวิกฤต (Critical Angle)

มุมวิกฤต คือ มุมตกกระทบในตัวกลางที่มีความหนาแน่นมาก ที่ทำให้มุมหักเหในตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าโตเท่ากับ 90 องศา ถูกเขียนแทนด้วย “θ_C”



จาก $$\frac{\sin\theta_C}{\sin 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1}$$

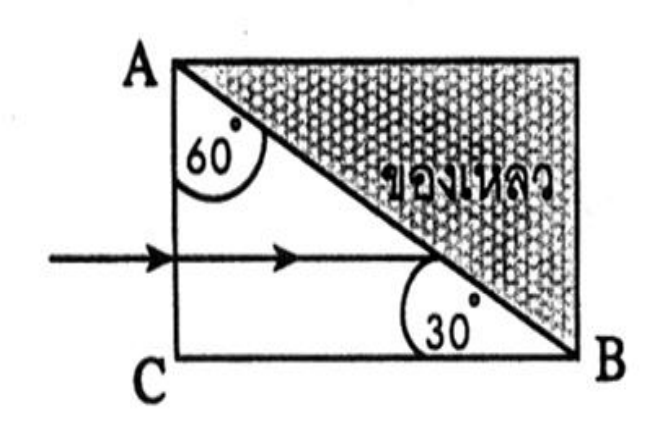
ดังนั้น $$\sin\theta_C = \frac{n_2}{n_1}$$

ตัวอย่างโจทย์การหักเห

Ex.6 ถ้าใช้มุมตกกระทบในอากาศเท่ากับ 60 องศา จะเกิดมุมหักเหในของเหลวชนิดหนึ่ง 30 องศา ถ้าเปลี่ยนของเหลวเป็นชนิดที่สอง และใช้มุมตกกระทบในอากาศเท่าเดิม พบว่ามุมหักเหใหม่มีค่า 45 องศา ค่าดัชนีหักเหของของเหลวชนิดหนึ่งเป็นกี่เท่าของดัชนีหักเหของของเหลวชนิดที่สอง

ตัวอย่างโจทย์การหักเห

Ex.7 แสงตกตั้งฉากกับด้าน AC ของปริซึม ดังรูป ถ้าด้าน AB ของปริซึมสัมผัสอยู่กับของเหลวซึ่งมีค่าดัชนีหักเห 1.3 จงหาค่าความเร็วของแสงในปริซึมเพื่อทำให้เกิดการสะท้อนกลับหมดบนด้าน AB กำหนด ความเร็วแสงในสุญญากาศ $3x10^8$ เมตร/วินาที



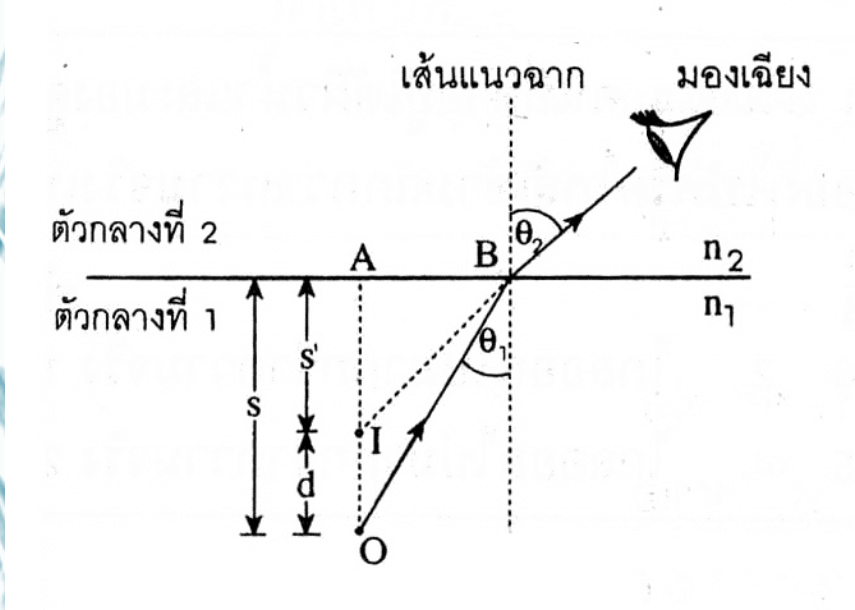
ตัวอย่างโจทย์การหักเห

Ex.8 ในการวัดความยาวของเส้นใยนำแสง (optical fiber) ด้วยวิธีทางแสง โดยเปิดแสงให้เข้าไปในเส้นใยนำแสงเป็นเวลาชั่วครู่แล้วปิดแสงวัดระยะเวลาตั้งแต่เริ่มเปิดแสงจนกระทั่งรับแสงสะท้อนได้ที่ตำแหน่งต้นทางเป็นเวลา 15×10^{-6} วินาที จงหาว่าเส้นใยนำแสงนี้ยาวเท่าใด

กำหนดให้ค่าดัชนีหักเหของเส้นใยนำแสงเป็น 1.5 และอัตราเร็วของแสงในสุญญากาศคือ 3×10^{8} เมตรต่อวินาที

การหาตำแหน่งของภาพ (ลึกจริง-ลึกปรากฏ)

เมื่อมองวัตถุในแนวทำมุมกับเส้นแนวฉาก (มองเฉียง)

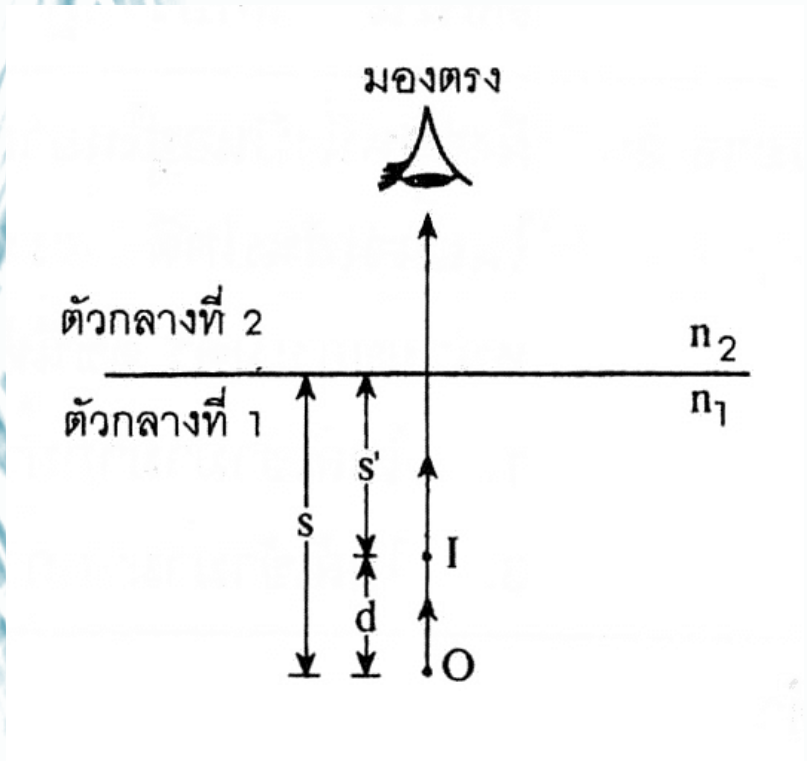


จากรูป $$\frac{\tan\theta_1}{\tan\theta_2} = \left[\frac{\frac{AB}{AO}}{\frac{AB}{AI}}\right] = \frac{AI}{AO} = \frac{s'}{s}$$

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

การหาตำแหน่งของภาพ (ลึกจริง-ลึกปรากฏ)

เมื่อมองวัตถุในแนวตั้งฉากกับผิวรอยต่อ (มองตรง)



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

ถ้ามุม θ_1 และ θ_2 เล็กมากแล้ว

$\tan\theta_1 \approx \sin\theta_1$ และ $\tan\theta_2 \approx \sin\theta_2$

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

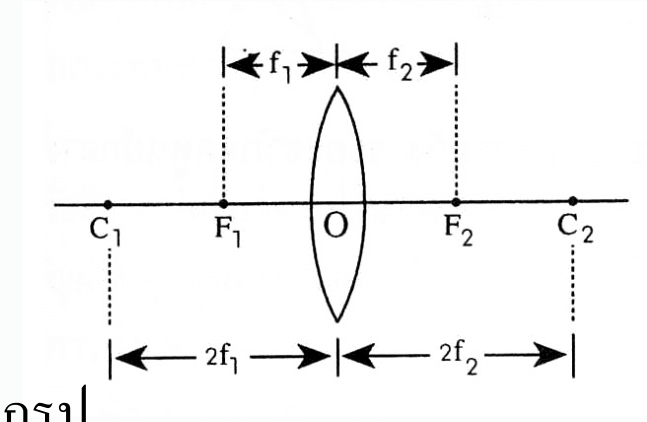
ตัวอย่างโจทย์การหักเห

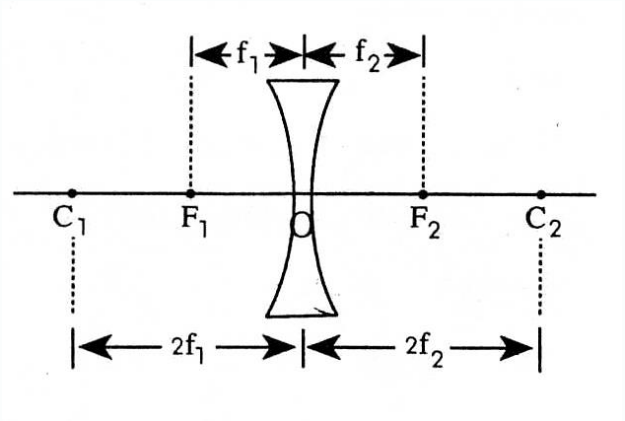
Ex.9 วัตถุอยู่ที่พื้นสระน้ำซึ่งลึก 5 เมตร ถ้าดัชนีหักเหของน้ำมีค่าเท่ากับ 4/3 จะมองเห็นวัตถุอยู่ลึกจากผิวน้ำกี่เมตร

ตัวอย่างโจทย์การหักเห

Ex.10 ถ้าทรงกระบอกสูง 2 เมตรเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เมตร มีน้ำมันอยู่เต็มถังพอดี ชายผู้หนึ่งฉายลำแสงขนานที่ขอบถังด้วยมุมตกกระทบ 60 องศา ทำให้แสงไปปรากฏที่กลางก้นถัง เข้าจะเห็นก้นถังอยู่ลึกกี่เมตร

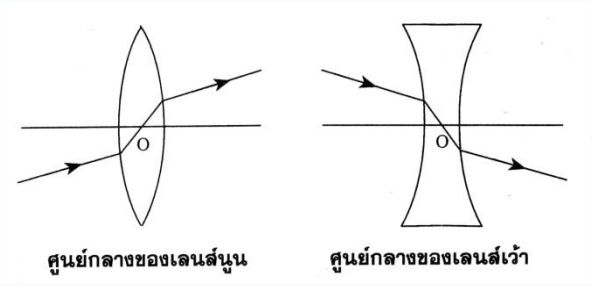
เลนส์





จากรูป

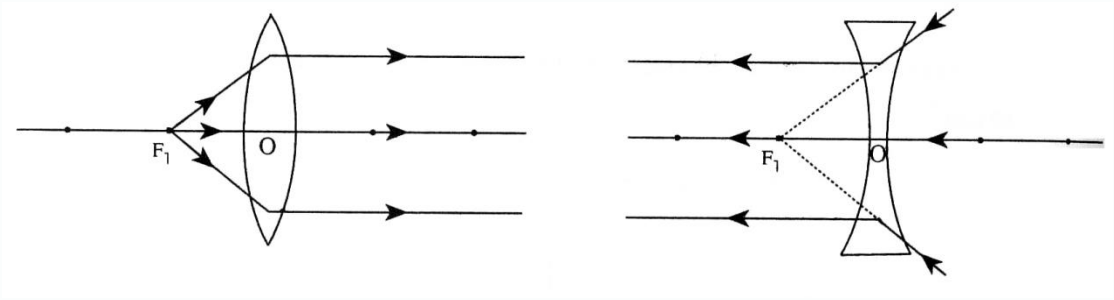
1. C_1 และ C_2 คือ ศูนย์กลางความโค้งของผิวทั้งสองของเลนส์นูนและเลนส์เว้า
2. เส้นที่ลากผ่าน C_1, C_2 ถูกเรียกว่า “เส้นแกนมุขสำคัญ”
3. จุดศูนย์กลางเลนส์ (O) คือ จุดที่อยู่ภายในเลนส์ และอยู่บนเส้นแกนมุขสำคัญ โดยถ้ารังสีตกกระทบผ่านจุด O แล้ว แนวรังสีหักเหที่ออกมาจากเลนส์จะขนานกับแนวรังสีตกกระทบ ดังรูป



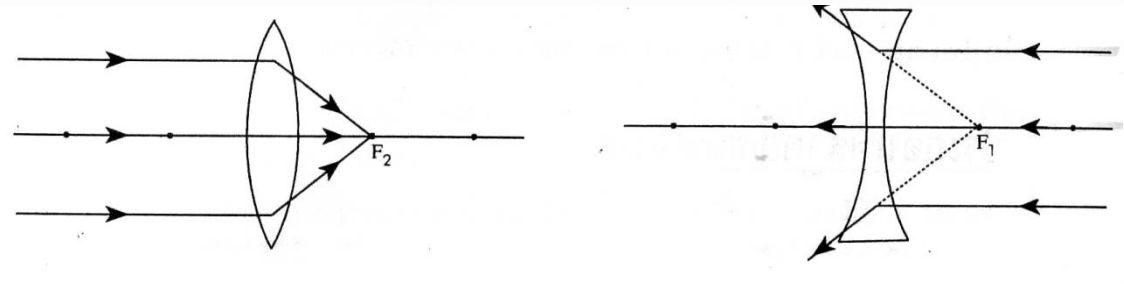
เลนส์

4. จุดโฟกัส (Focus) ของเลนส์ มีอยู่ 2 จุด ดังนี้

4.1 จุดโฟกัสที่ 1 (F_1) คือ จุดที่เมื่อมีรังสีแสงออกไปกระทบเลนส์ แล้วแนวรังสีหักเหที่ออกมาขนานกับเส้นแกนมุขสำคัญ ดังรูป



4.2 จุดโฟหัสที่ 2 (F_2) คือ จุดที่รังสีแสงหักเหรวมกันเมื่อมีรังสีแสงขนานกระทบเลนส์ในแนวขนานกับเส้นแกนมุขสำคัญ ดังรูป



เลนส์

5. ความยาวโฟกัส (Focus Length) สำหรับเลนส์บางจะหมายถึง ระยะจากจุดศูนย์กลางเลนส์ (O) ไปยังจุดโฟกัส (F) ถูกเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ “f”

   จากรูป $OF_1 = f_1$, $OC_1 = 2f_1$

   และ $OF_2 = f_2$, $OC_2 = 2f_2$

6. หน้าเลนส์และหลังเลนส์

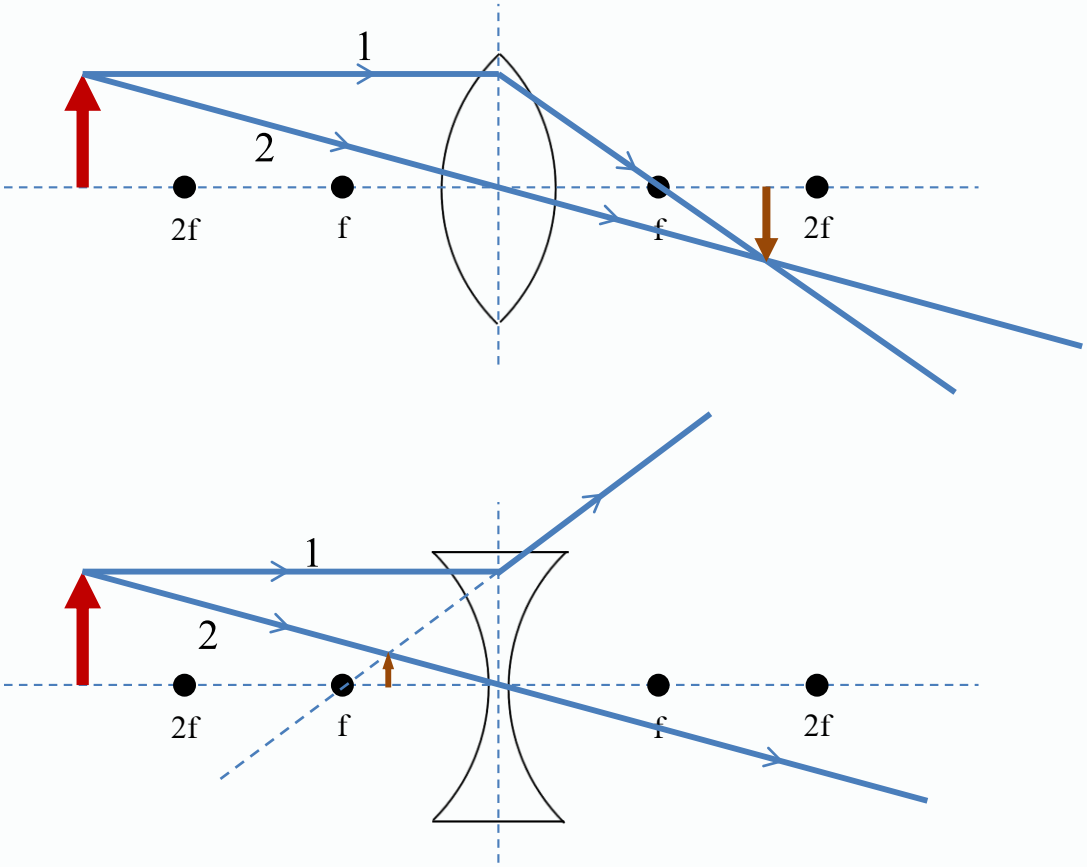
   6.1 หน้าเลนส์ คือ ด้านที่รังสีแสงตกกระทบเลนส์

   6.2 หลังเลนส์ คือ ด้านที่รังสีหักเหออกจากเลนส์

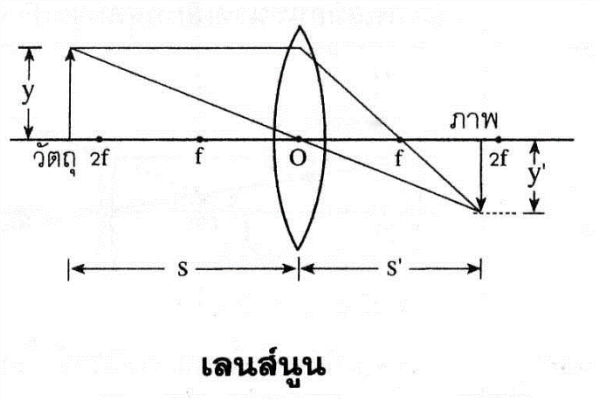
ขอบเขตของการศึกษาเรื่องเลนส์

1. เป็นเลนส์บาง
2. มีความโค้งของเลนส์น้อย หรือมีค่ารัศมีความโค้งยาวมากทั้งสองผิว
3. รัศมีทั้งสองมีค่าเท่ากัน ทำให้ $f_1 = f_2$ และให้ถือว่าจุดศูนย์กลางเลนส์ (O) อยู่ที่จุดกึ่งกลางระหว่างผิวทั้งสอง

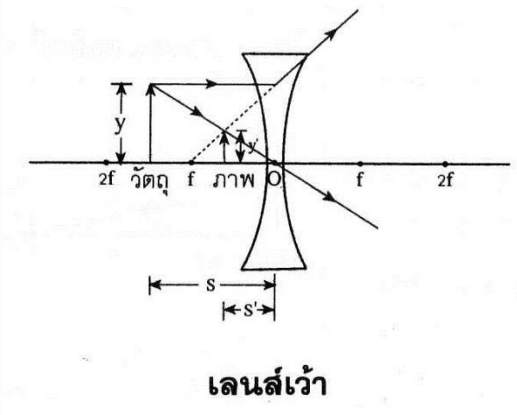
วิธีการหาภาพจากเลนส์



การคำนวณเลนส์



เลนส์นูน



เลนส์เว้า

ความสัมพันธ์ระหว่างระยะวัตถุ (s), ระยะภาพ (s′), ความยาวโฟกัส (f), รัศมีความโค้งของกระจก (R), ขนาดวัตถุ (y), ขนาดภาพ (y′) และการขยายขนาด (m) เป็นดังนี้

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{s}+\frac{1}{s'}, \qquad m=\frac{y'}{y}=\frac{s'}{s}=\frac{f}{s-f}=\frac{s'-f}{f}$$

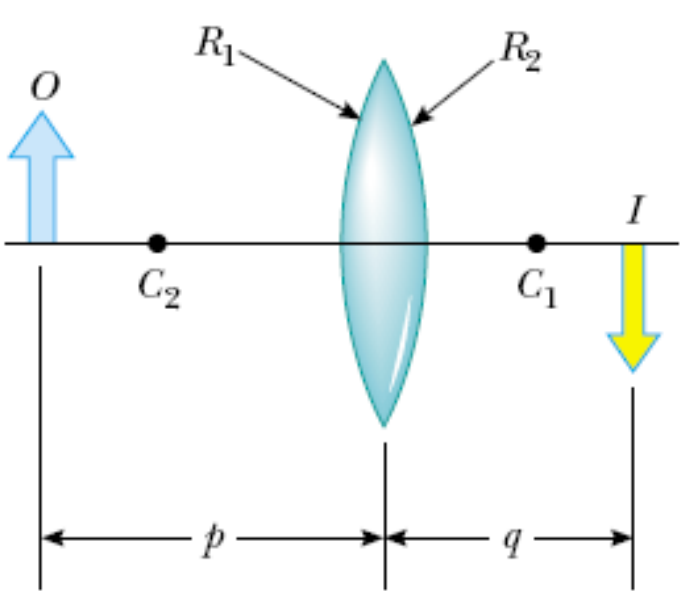
เลนส์

สมการของช่างทำเลนส์

– สามารถคำนวณทางยาวโฟกัสได้จากสมการนี้

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=(n-1)\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right)$$

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



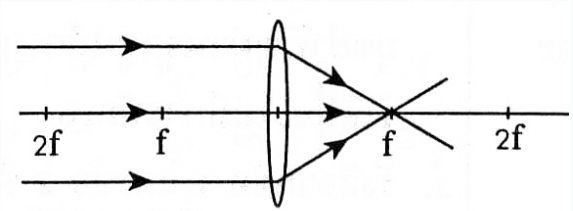
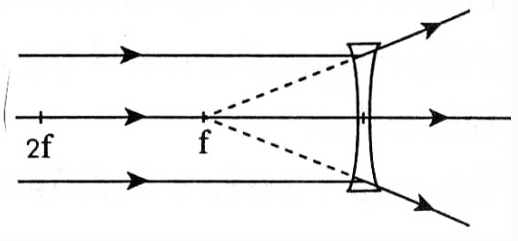
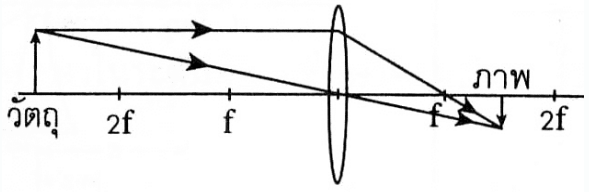
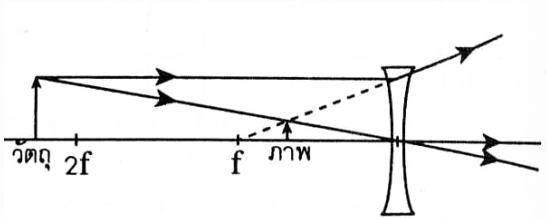
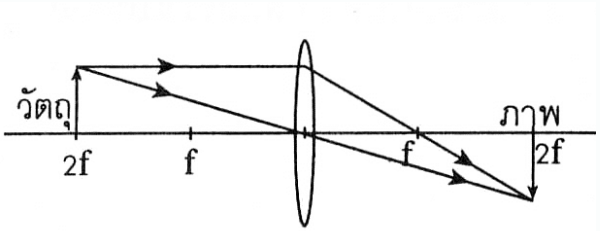
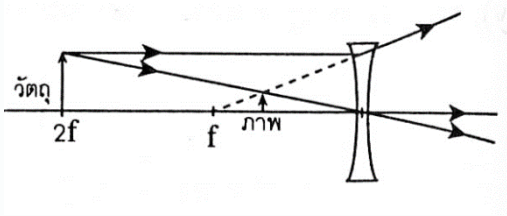
– เปรียบเทียบสมการได้สมการเลนส์บาง

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}$$

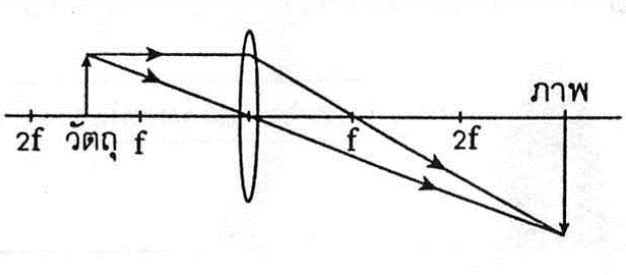
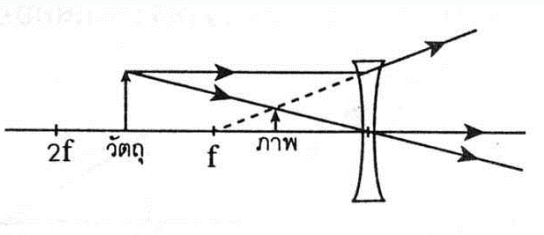
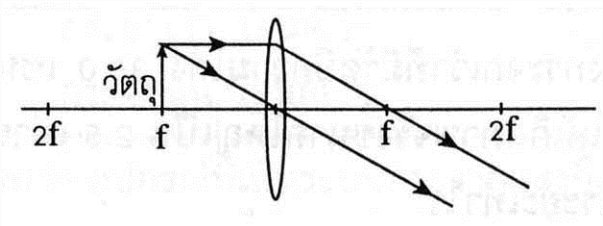
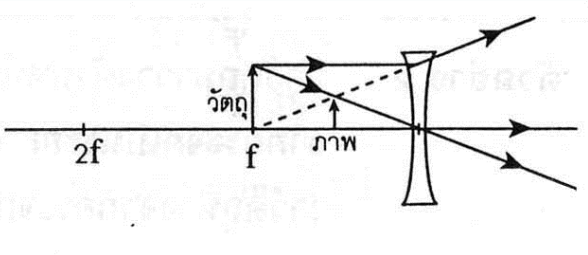
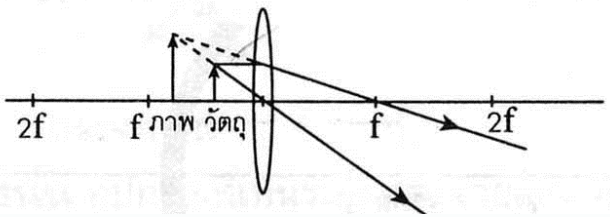
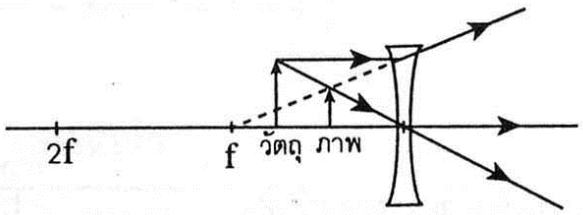
การคิดเครื่องหมายในการคำนวณเลนส์

ระยะ	ระยะจริงมีค่าเป็นบวก (+)	ระยะเสมือนมีค่าเป็นลบ (-)
s	วัตถุอยู่หน้าเลนส์	วัตถุอยู่หลังเลนส์
s′	ภาพอยู่หลังเลนส์	ภาพอยู่หน้าเลนส์
y	วัตถุอยู่หน้าเลนส์	วัตถุอยู่หลังเลนส์
y′	ภาพอยู่หลังเลนส์	ภาพอยู่หน้าเลนส์
f	เลนส์นูน	เลนส์เว้า
m	ภาพหัวกลับ	ภาพหัวตั้ง

เปรียบเทียบภาพที่เกิดจากเลนส์นูนและเลนส์เว้า

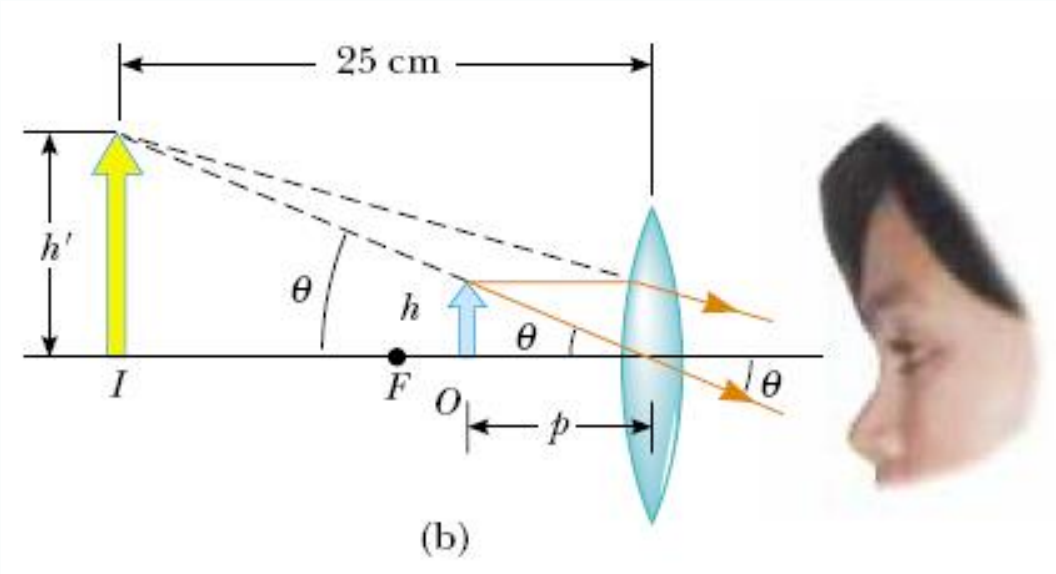
ตำแหน่งของวัตถุ	เลนส์นูน	เลนส์เว้า
วัตถุอยู่ไกลมาก ($s \Rightarrow \infty$)		
วัตถุอยู่หน้า C ($R < s < \infty$)		
วัตถุอยู่ที่ C ($s = R$)		

เปรียบเทียบภาพที่เกิดจากเลนส์นูนและเลนส์เว้า

ตำแหน่งของวัตถุ	เลนส์นูน	เลนส์เว้า
วัตถุอยู่ระหว่าง C กับ f (f < s < R)		
วัตถุอยู่ที่ f (s = f)		
วัตถุอยู่ระหว่าง f กับกระจก (s < f)		

ทัศน์อุปกรณ์

- *<u>แว่นขยาย</u>* คือ *เลนส์นูนอันเดียว* ซึ่งจะให้ภาพเสมือนขนาดขยาย ที่ระยะภาพห่าง 25 เซนติเมตร
  - ปกติจะถือ แว่นขยายชิดกับตาที่มอง
  - วัตถุที่จะมอง ต้องอยู่ภายในระยะโฟกัสของแว่นขยาย จึงจะให้ภาพเสมือนขนาดขยาย



ทัศน์อุปกรณ์

- <u>กล้องจุลทรรศน์</u> คือ กล้องที่ส่องดูวัตถุที่มีขนาดเล็ก ๆ เช่น เชื้อโรคให้มีขนาดขยายอย่างมาก จนเห็นได้ชัด

– ใช้เลนส์ใกล้วัตถุมีทางยาวโฟกัสสั้นมาก

– เกิดภาพจริงขนาดขยายอยู่ระหว่างเลนส์ใกล้วัตถุกับเลนส์ใกล้ตา (I_1)

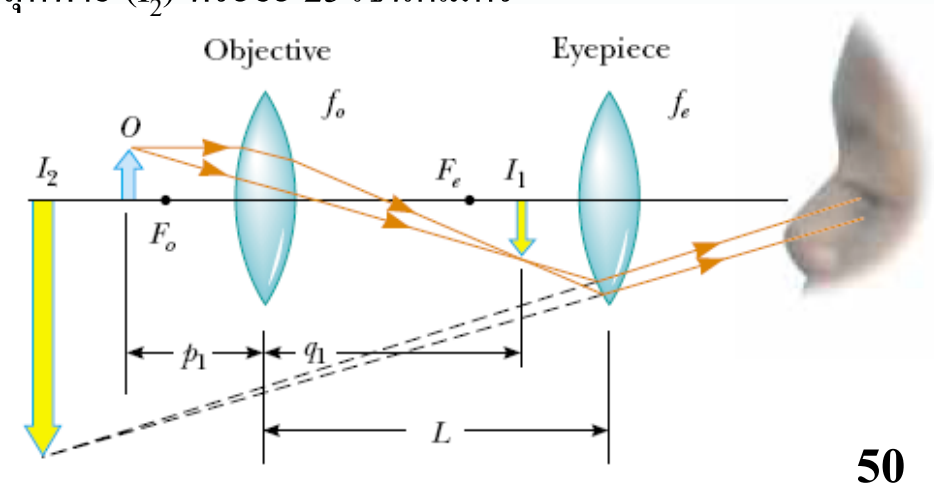
– ภาพที่เกิดขึ้นทำหน้าที่เป็นวัตถุของเลนส์ใกล้ตา

– โดยตำแหน่งภาพนี้ตกระหว่างจุดโฟกัสของเลนส์ใกล้ตากับตัวเลนส์ใกล้ตา

– ภาพที่เกิดจากเลนส์ใกล้ตาเป็นภาพสุดท้าย (I_2) ที่ระยะ 25 เซนติเมตร

– กำลังขยาย

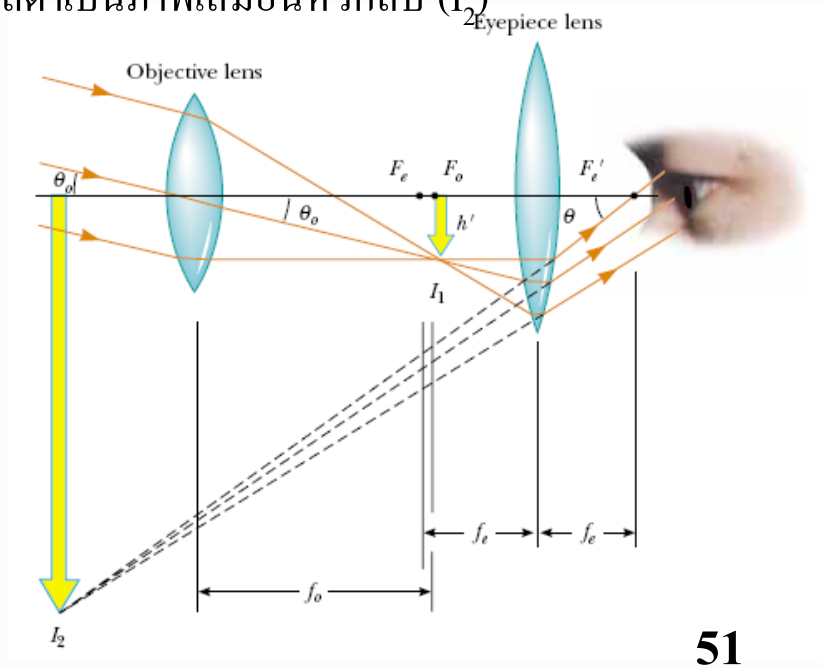
$$M = M_0 m_e$$



ทัศน์อุปกรณ์

- <u>กล้องโทรทรรศน์</u>
  - กล้องโทรทรรศน์ คือ กล้องที่ใช้ส่องวัตถุที่อยู่ไกล
  - ใช้เลนส์วัตถุที่มีทางยาวโฟกัสยาว
  - ดึงภาพวัตถุเข้ามาเป็นภาพจริง อยู่ระหว่างเลนส์ใกล้วัตถุกับเลนส์ใกล้ตา(I_1)
  - ภาพนี้จะทำหน้าที่เป็นวัตถุของเลนส์ใกล้ตา
  - โดยตำแหน่งของภาพนี้จะตกระหว่างจุดโฟกัสของเลนส์ใกล้ตากับตัวเลนส์ใกล้ตา
  - ฉะนั้นจะทำให้ภาพสุดท้ายจากเลนส์ใกล้ตาเป็นภาพเสมือนหัวกลับ (I_2)
  - กำลังขยาย

$$\mathrm{m} = \frac{\theta}{\theta_0} = \frac{h'/f_e}{-h'/f_0} = -\frac{f_0}{f_e}$$



ตัวอย่างโจทย์เลนส์

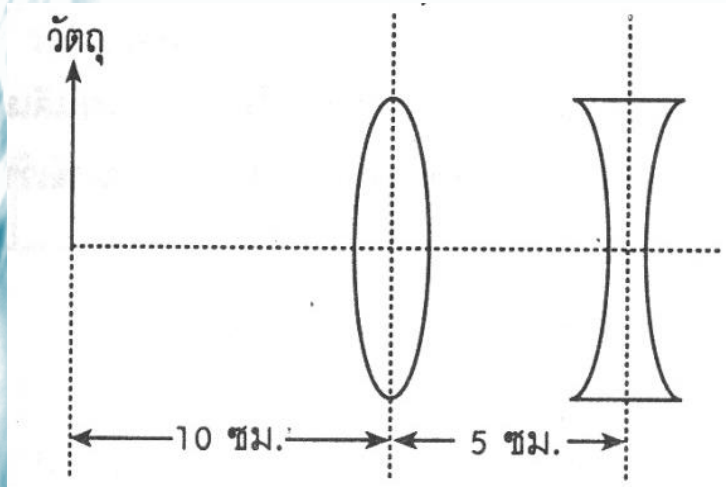
Ex.11 มีเลนส์นูนความยาวโฟกัส 10 เซนติเมตร อยู่ 1 อัน ถ้าต้องการเห็นภาพขยายเป็น 2 เท่าของวัตถุจะต้องวางวัตถุห่างจากเลนส์เท่าใด (5 เซนติเมตร)

ตัวอย่างโจทย์เลนส์

Ex.12 วัตถุสูง 4 เซนติเมตร วางหน้าเลนส์นูนเป็นระยะ 12 เซนติเมตร ได้ภาพจริงห่างจากเลนส์ 24 เซนติเมตร จงหาความสูงของภาพและความยาวโฟกัสของเลนส์เป็นเซนติเมตร (8 เซนติเมตร, 8 เซนติเมตร)

ตัวอย่างโจทย์เลนส์

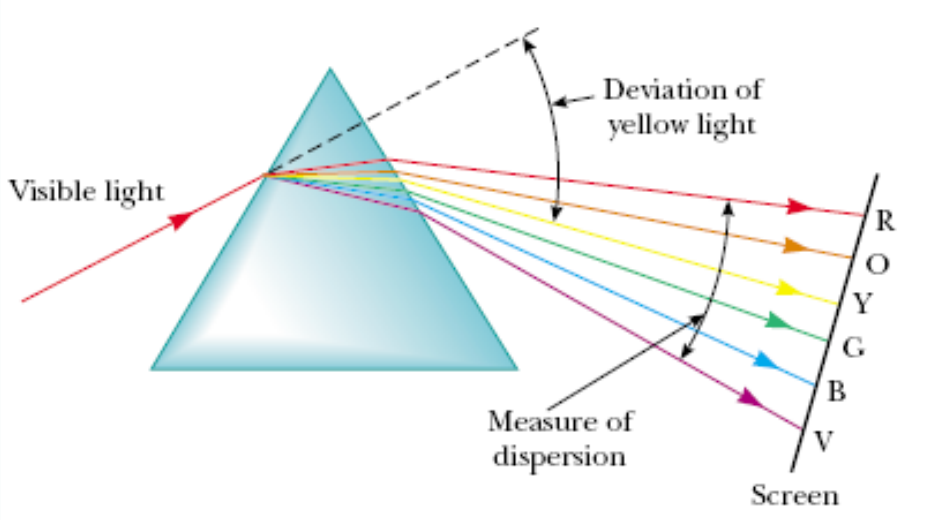
Ex.13 วัตถุอยู่ทางด้านซ้ายมือของเลนส์นูน (ความยาวโฟกัส 5 เซนติเมตร) ระยะทาง 10 เซนติเมตร และมีเลนส์เว้า (ความยาวโฟกัส 10 เซนติเมตร) ทางขวามือของเลนส์นูนห่างเป็นระยะทาง 5 เซนติเมตร ภาพที่เกิดขึ้นจะเป็นภาพแบบใด และห่างจากเลนส์เว้าเป็นระยะเท่าไร (ภาพจริง ห่างเลนส์เว้า 10 เซนติเมตร)



การกระจายของแสง

แสงที่มีความยาวคลื่นน้อยจะหักเหได้มากกว่าแสงที่มีความยาวคลื่นมาก

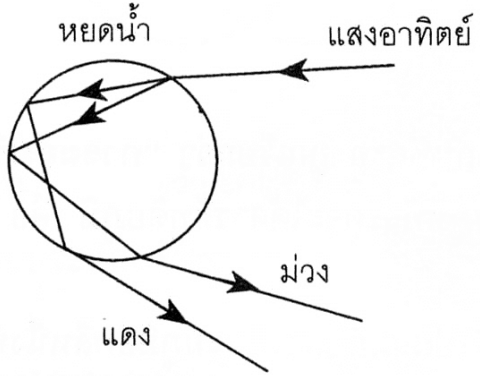
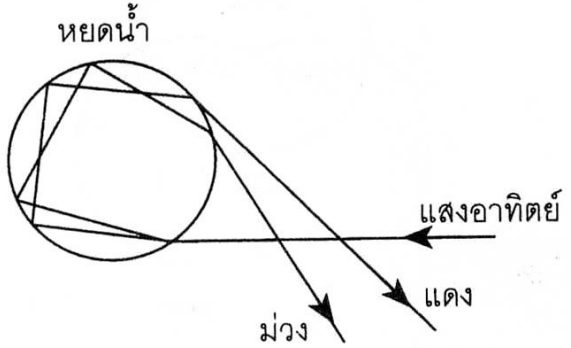
1. การผ่านลำแสงสีขาวผ่านปริซึม



แสงสีแดงมีความยาวคลื่นมากสุดจึงหักเหได้น้อยสุด ในขณะที่แสงสีม่วงมีความยาวคลื่นสั้นสุดจึงหักเหได้มากสุด

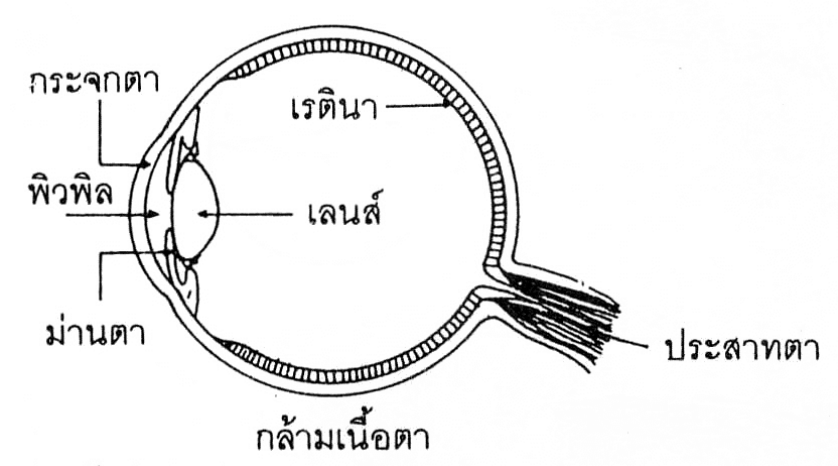
การกระจายของแสง

2. การเกิดรุ้ง ซึ่งมีอยู่ 2 ชนิด คือ

2.1 รุ้งกินน้ำปฐมภูมิ	2.2 รุ้งกินน้ำทุติยภูมิ
	
เกิดจากแสงตกกระทบเข้ามาทางด้านบนของหยดน้ำ แล้วเกิดการกระจายแสงในหยดน้ำ จากนั้นก็เกิดการสะท้อนกลับหมดเพียงครั้งเดียว แล้วจึงหักเหออกจากหยดน้ำ	เกิดจากแสงตกกระทบเข้ามาทางด้านล่างของหยดน้ำ แล้วเกิดการกระจายแสงในหยดน้ำ จากนั้นก็เกิดการสะท้อนกลับหมด 2 ครั้งแล้วจึงหักเหออกจากหยดน้ำ

ตาและการมองเห็น

ส่วนประกอบของตา

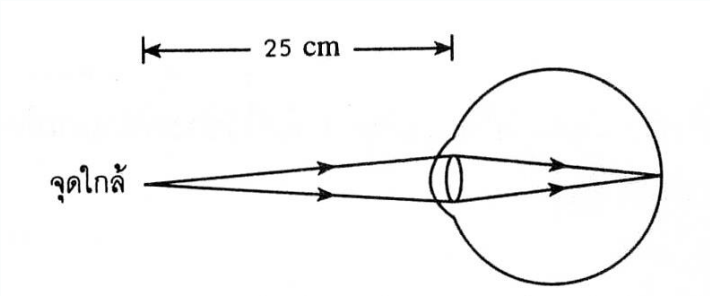


หลักการมองเห็น คือ แสงจากวัตถุหักเหผ่านเลนส์ตา (เลนส์นูน) แล้วเกิดภาพจริงบนเรตินา

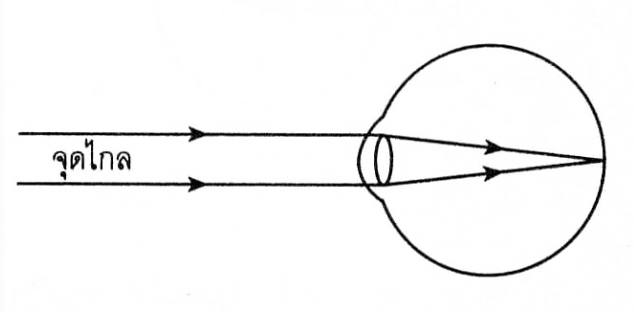
ตาและการมองเห็น

คนที่มีสายตาปกติ

1. ระยะใกล้สุดที่ตามองเห็นได้ชัดอยู่ที่ระยะ 25 เซนติเมตร



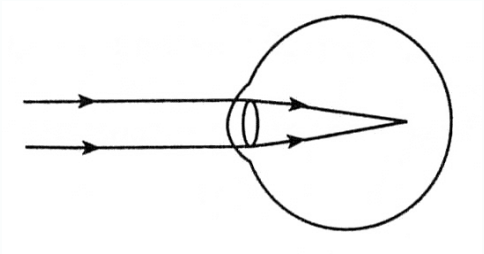
2. ระยะไกลสุดที่ตามองเห็นได้ชัดอยู่ที่ระยะไกลมาก หรือระยะอนันต์



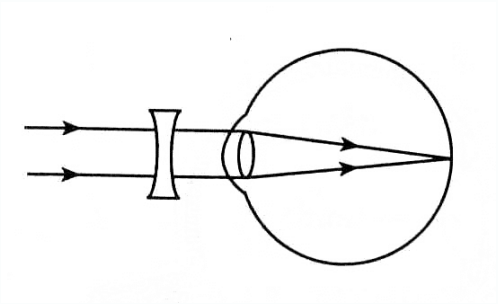
ตาและการมองเห็น

ความผิดปกติทางสายตา

1. สายตาสั้น คือ คนที่ระยะไกลสุดที่ตามองเห็นไม่ใช่ระยะอนันต์ เนื่องจากรังสีขนานจะตัดกันที่จุดก่อนถึงเรตินา



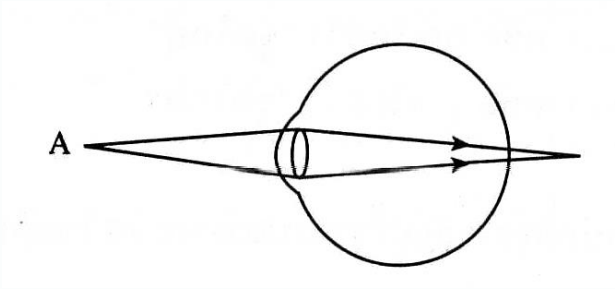
การแก้ไขคนสายตาสั้น จะต้องใช้เลนส์เว้ามาใส่ไว้หน้าเลนส์ตาเพื่อช่วยให้รังสีขนานจากวัตถุไปรวมกันที่เรตินา



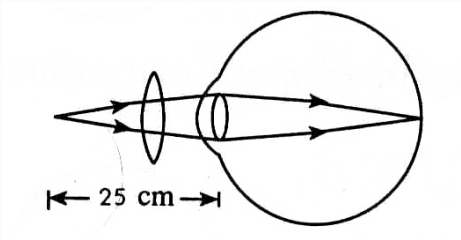
ตาและการมองเห็น

ความผิดปกติทางสายตา

2. สายตายาว คือ คนที่ระยะใกล้สุดที่ตามองเห็นไกลกว่า 25 เซนติเมตร เนื่องจากที่ตำแหน่ง 25 เซนติเมตรรังสีจะตัดกันหลังเรตินา



การแก้ไขคนสายตายาว จะต้องใช้เลนส์นูนมาใส่ไว้หน้าเลนส์ตาเพื่อช่วยให้รังสีจากวัตถุไปรวมกันที่เรตินา

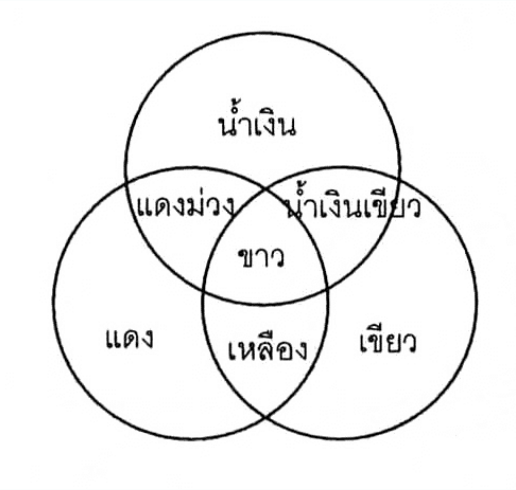


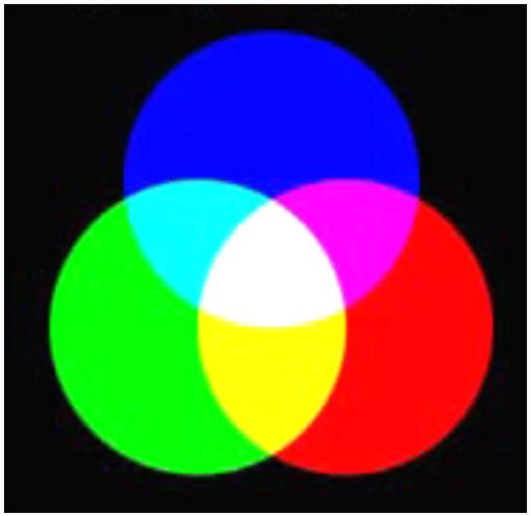
ตัวอย่างโจทย์ตาและการมองเห็น

Ex.14 ชายผู้หนึ่งสามารถอ่านหนังสือได้ชัดเมื่อหนังสืออยู่ห่างจากเขาไม่น้อยกว่า 50 เซนติเมตร ดังนั้นเขาจะต้องสวมแว่นตาที่มีความยาวโฟกัสกี่เซนติเมตร (25 เซนติเมตร)

การผสมแสงสี

การผสมแสงสี เกิดจากการฉายแสงสีปฐมภูมิทั้ง 3 คือแสงสีแดง, แสงสีเขียว และแสงสีน้ำเงิน ผสมกันบนฉาก ดังรูป

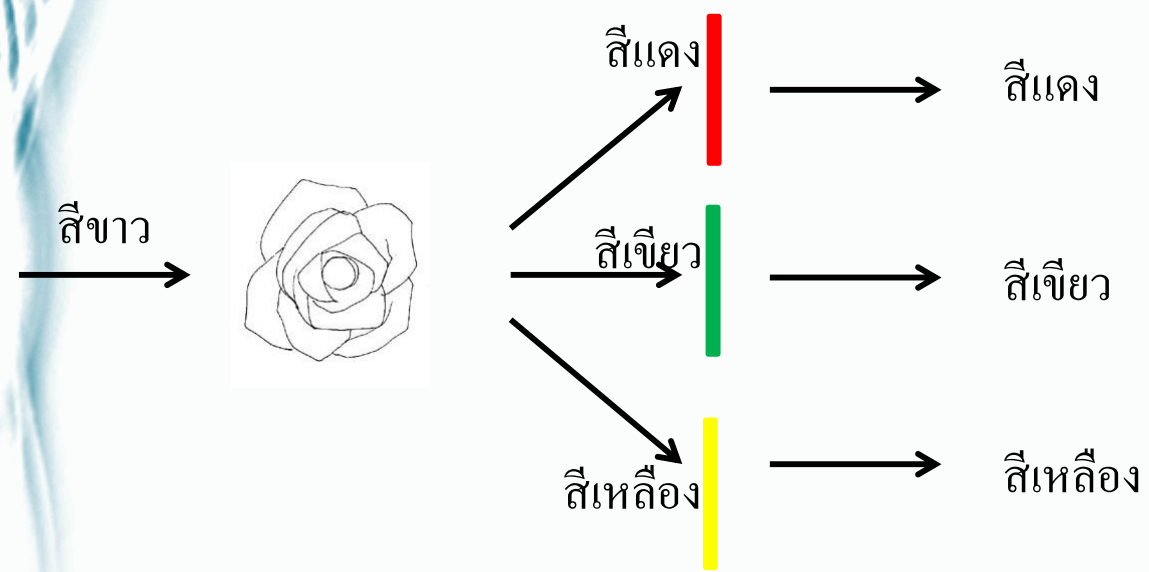


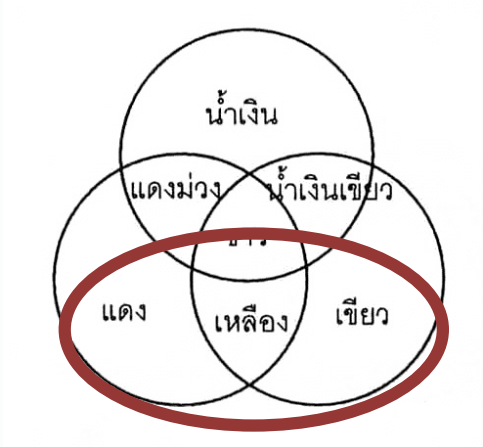


ตัวอย่างการผสมแสงสี

ดอกไม้ดอกหนึ่ง ส่องด้วยแสงสีขาว เมื่อมองผ่านแผ่นกรองแสงสีแดงจะเห็นดอกไม้เป็นสีแดง ถ้ามองผ่านแผ่นกรองแสงสีเขียวจะเห็นเป็นสีเขียว ถ้ามองผ่านแผ่นกรองแสงสีเหลืองจะเห็นเป็นสีเหลือง ดอกไม้ดอกนี้มีสีอะไร

1. น้ำเงิน 2. แดง 3. เขียว 4. เหลือง



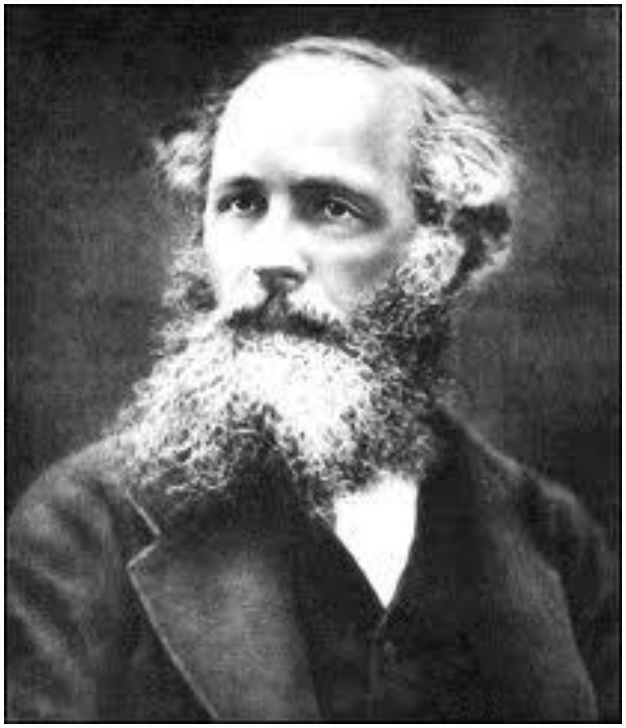


คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เกิดจากการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic disturbance) โดยการทำให้สนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลง เมื่อสนามไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงจะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็ก หรือถ้าสนามแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลงก็จะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามไฟฟ้า

การค้นพบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ผู้ที่เสนอแนวคิดเกี่ยวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คือ **Jame Clerk Maxwell** ซึ่งได้อธิบายในเชิงทฤษฎีเกี่ยวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และเป็นผู้สรุปว่า แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า



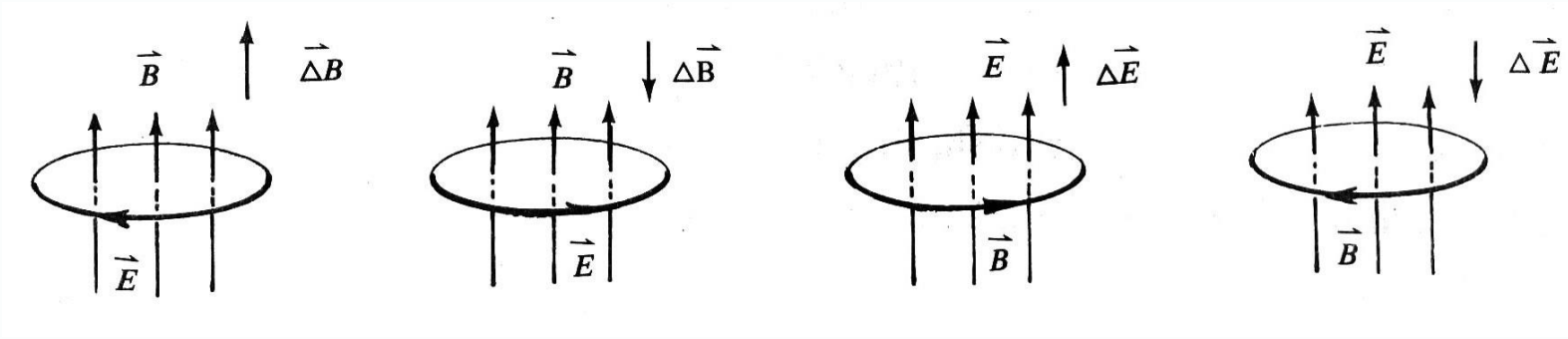
การค้นพบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

สมการของแมกซ์เวลล์ (Maxwell's equation)

- กฎของเกาส์สำหรับสนามไฟฟ้า $\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q}{\varepsilon_0}$
- กฎของเกาส์สำหรับสนามแม่เหล็ก $\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$
- กฎการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าของฟาราเดย์ $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$
- กฎของแอมแปร์-แมกซ์เวลล์ $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \left(i + \varepsilon_0 \frac{d\phi_E}{dt} \right)$

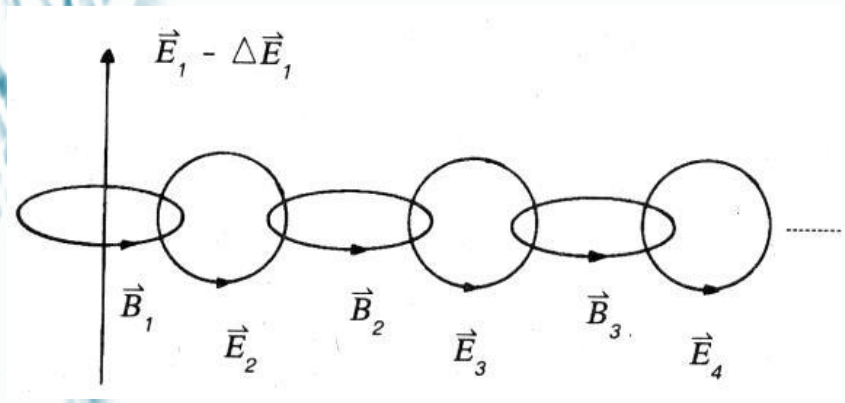
การค้นพบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

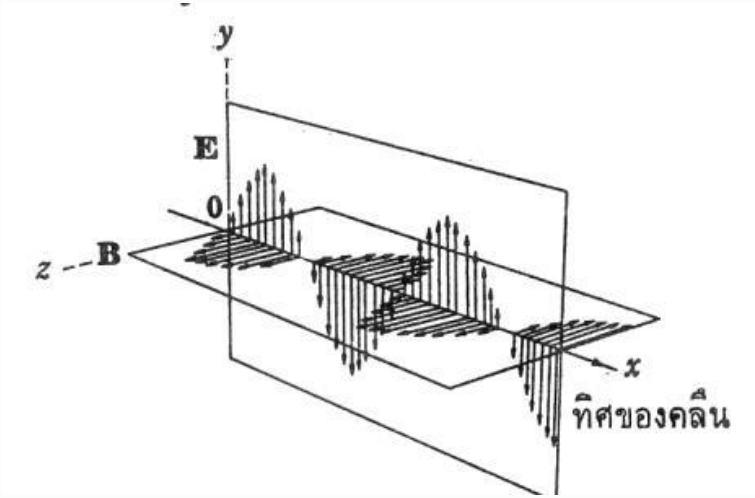
ทฤษฎีคลื่นแม่หล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์อธิบายแนวคิดเกี่ยวกับแม่เหล็กไฟฟ้าได้ว่า เมื่อสนามแม่เหล็กในบริเวณหนึ่งเปลี่ยนแปลง B จะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามไฟฟ้า E โดยสนามไฟฟ้าที่ถูกเหนี่ยวนำจะมีระนาบตั้งฉากกับทิศของสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลง และเช่นเดียวกัน สนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง E จะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็ก B ในระนาบตั้งฉากกับสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง



การแผ่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

สมการของแมกซ์เวลล์ชี้ให้เห็นว่า เมื่อใดสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กมีความเปลี่ยนแปลงตามเวลา สนามทั้งสองจะมีอิทธิพลต่อกัน เรียกว่าจะเกิดคู่ควบกันขึ้น การเกิดคู่ควบกันของสนามทั้งสองนี้ทำให้สามารถถ่ายโอนพลังงาน และโมเมนตัมออกไปในระยะไกลๆ เรียกการแผ่ออกไปนี้ว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

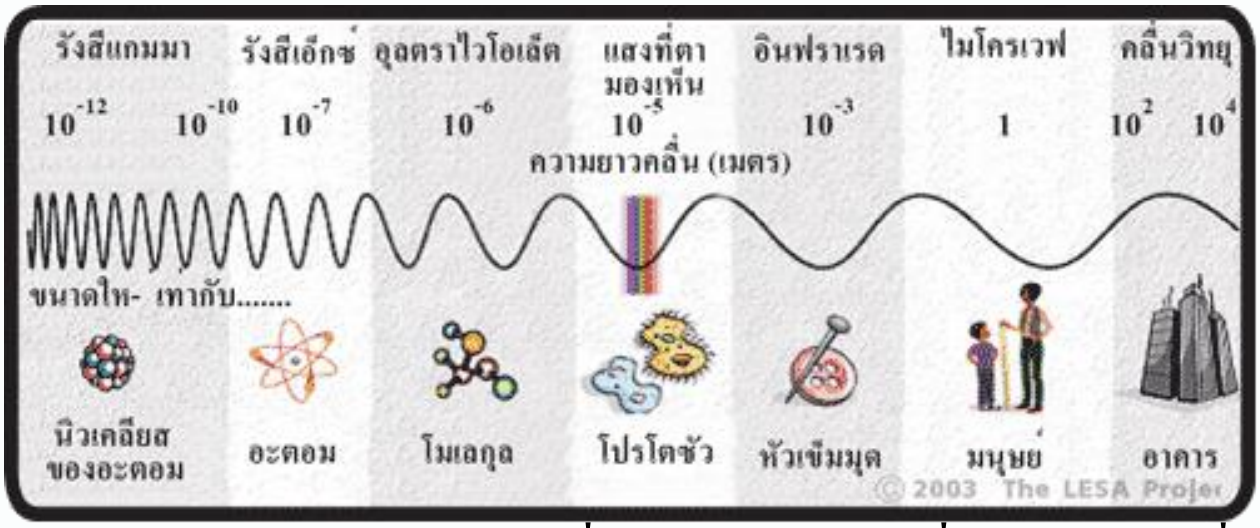




สมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

1. ไม่ต้องใช้ตัวกลางในการเคลื่อนที่
2. อัตราเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิดในสุญญากาศเท่ากับ 3x108m/s ซึ่งเท่ากับ อัตราเร็วของแสง คือ 299,792,458 m/s
3. เป็นคลื่นตามขวาง
4. ถ่ายเทพลังงานจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่ง
5. ถูกปล่อยออกมาและถูกดูดกลืนได้โดยสสาร
6. ไม่มีประจุไฟฟ้า
7. คลื่นสามารถแทรกสอด สะท้อน หักเห และเลี้ยวเบนได้

ประเภทของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า



• **รังสีแกมมา (Gamma ray)** เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 0.01 นาโนเมตร โฟตอนของรังสีแกมมามีพลังงานสูงมาก กำเนิดจากแหล่งพลังงานนิวเคลียร์ เช่น ดาวระเบิด หรือ ระเบิดปรมาณู เป็นอันตรายมากต่อสิ่งมีชีวิต

• **รังสีเอ็กซ์ (X-ray)** มีความยาวคลื่น 0.01 - 1 นาโนเมตร มีแหล่งกำเนิดในธรรมชาติมาจากดวงอาทิตย์ เราใช้รังสีเอ็กซ์ในทางการแพทย์ เพื่อส่องผ่านเซลล์เนื้อเยื่อ แต่ถ้าได้ร่างกายได้รับรังสีนี้มากๆ ก็จะเป็นอันตราย

สมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

- **รังสีอุลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet radiation)** มีความยาวคลื่น 1 - 400 นาโนเมตร รังสีอุลตราไวโอเล็ตมีอยู่ในแสงอาทิตย์ เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย แต่หากได้รับมากเกินไปก็จะทำให้ผิวไหม้ และอาจทำให้เกิดมะเร็งผิวหนัง
- **แสงที่ตามองเห็น (Visible light)** มีความยาวคลื่น 400 – 700 นาโนเมตร พลังงานที่แผ่ออกมาจากดวงอาทิตย์ ส่วนมากเป็นรังสีในช่วงนี้ แสงแดดเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของโลก และยังช่วยในการสังเคราะห์แสงของพืช

สี	ความยาวคลื่น (nm)
ม่วง	380-450
น้ำเงิน	450-500
เขียว	500-570
เหลือง	570-590
แสด	590-610
แดง	610-760

สมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

- **รังสีอินฟราเรด (Infrared radiation)** มีความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร – 1 มิลลิเมตร โลกและสิ่งชีวิตแผ่รังสีอินฟราเรดออกมา ก๊าซเรือนกระจก เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ ในบรรยากาศดูดซับรังสีนี้ไว้ ทำให้โลกมีความอบอุ่น เหมาะกับการดำรงชีวิต
- **คลื่นไมโครเวฟ (Microwave)** มีความยาวคลื่น 1 มิลลิเมตร – 10 เซนติเมตร ใช้ประโยชน์ในด้านโทรคมนาคมระยะไกล นอกจากนั้นยังนำมาประยุกต์สร้างพลังงานในเตาอบอาหาร
- **คลื่นวิทยุ (Radio wave)** เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นมากที่สุด คลื่นวิทยุสามารถเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศได้ จึงถูกนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการสื่อสาร โทรคมนาคม

สเปคตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

- คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความถี่ต่อเนื่องกันเป็นช่วงกว้างเราเรียกช่วงความถี่เหล่านี้ว่า **"สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า"** และมีชื่อเรียกช่วงต่าง ๆ ของความถี่ต่างกันตามแหล่งกำเนิดและวิธีการตรวจวัดคลื่น
- คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดต่าง ๆในสเปกตรัมมีสมบัติที่สำคัญเหมือนกันคือเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วเท่ากับแสงและมีพลังงานส่งผ่านไปพร้อมกับคลื่น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้นมีชื่อเรียกดังนี้

สเปคตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

1. คลื่นวิทยุ

- คลื่นวิทยุมีความถี่ช่วง 10^4 - 10^9 Hz(เฮิรตซ์) ใช้ในการสื่อสาร มีการส่งสัญญาณ 2 ระบบคือ
- **1.1 ระบบเอเอ็ม (A.M. = amplitude modulation)**
- ระบบเอเอ็ม มีช่วงความถี่ 530 - 1600 kHz(กิโลเฮิรตซ์) สื่อสารโดยใช้คลื่นเสียงผสมเข้าไปกับคลื่นวิทยุเรียกว่า "คลื่นพาหะ" โดยแอมพลิจูดของคลื่นพาหะจะเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณคลื่นเสียง
- ในการส่งคลื่นระบบ A.M. สามารถส่งคลื่นได้ทั้งคลื่นดินเป็นคลื่นที่เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงขนานกับผิวโลกและคลื่นฟ้าโดยคลื่นจะไปสะท้อนที่ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ แล้วสะท้อนกลับลงมา จึงไม่ต้องใช้สายอากาศตั้งสูงรับ
- **1.2 ระบบเอฟเอ็ม (F.M. = frequency modulation)**
- ระบบเอฟเอ็ม มีช่วงความถี่ 88 - 108 MHz (เมกะเฮิรตซ์) สื่อสารโดยใช้คลื่นเสียงผสมเข้ากับคลื่นพาหะ โดยความถี่ของคลื่นพาหะจะเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณคลื่นเสียง
- ในการส่งคลื่นระบบ F.M. ส่งคลื่นได้เฉพาะคลื่นดินอย่างเดียว ถ้าต้องการส่งให้คลุมพื้นที่ต้องมีสถานีถ่ายทอดและเครื่องรับต้องตั้งเสาอากาศสูง ๆ รับ

สเปคตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

2. คลื่นโทรทัศน์และไมโครเวฟ

- คลื่นโทรทัศน์และไมโครเวฟมีความถี่ช่วง 10^8 - 10^{12} Hz มีประโยชน์ในการสื่อสาร แต่จะไม่สะท้อนที่ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ แต่จะทะลุผ่านชั้นบรรยากาศไปนอกโลก ในการถ่ายทอดสัญญาณโทรทัศน์จะต้องมีสถานีถ่ายทอดเป็นระยะ ๆ เพราะสัญญาณเดินทางเป็นเส้นตรง และผิวโลกมีความโค้ง ดังนั้นสัญญาณจึงไปได้ไกลสุดเพียงประมาณ 80 กิโลเมตรบนผิวโลก อาจใช้ไมโครเวฟนำสัญญาณจากสถานีส่งไปยังดาวเทียม แล้วให้ดาวเทียมนำสัญญาณส่งต่อไปยังสถานีรับที่อยู่ไกล ๆ
- เนื่องจากไมโครเวฟจะสะท้อนกับผิวโลหะได้ดี จึงนำไปใช้ประโยชน์ในการตรวจหาตำแหน่งของอากาศยาน เรียกอุปกรณ์ดังกล่าวว่า เรดาร์ โดยส่งสัญญาณไมโครเวฟออกไปกระทบอากาศยาน และรับคลื่นที่สะท้อนกลับจากอากาศยาน ทำให้ทราบระยะห่างระหว่างอากาศยานกับแหล่งส่งสัญญาณไมโครเวฟได้

3. รังสีอินฟาเรด (infrared rays)

- รังสีอินฟาเรดมีช่วงความถี่ 10^{11} - 10^{14} Hz หรือความยาวคลื่นตั้งแต่ 10^{-3} - 10^{-6} เมตร ซึ่งมีช่วงความถี่คาบเกี่ยวกับไมโครเวฟ รังสีอินฟาเรดสามารถใช้กับฟิล์มถ่ายรูปบางชนิดได้ และใช้เป็นการควบคุมระยะไกลหรือรีโมทคอนโทรลกับเครื่องรับโทรทัศน์ได้

สเปคตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

4. แสง (light)

- แสงมีช่วงความถี่ 10^{14}Hz หรือความยาวคลื่น $4x10^{-7}$ - $7x10^{-7}$ เมตร เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ประสาทตาของมนุษย์รับได้

5. รังสีอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet rays)

- รังสีอัลตราไวโอเลต หรือ รังสีเหนือม่วง มีความถี่ช่วง 10^{15} - 10^{18} Hz เป็นรังสีตามธรรมชาติ ส่วนใหญ่มาจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ซึ่งทำให้เกิดประจุอิสระและไอออนในบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ รังสีอัลตราไวโอเลต สามารถทำให้เชื้อโรคบางชนิดตายได้ แต่มีอันตรายต่อผิวหนังและตาคน

6. รังสีเอกซ์ (X-rays)

- รังสีเอกซ์ มีความถี่ช่วง 10^{16} - 10^{22} Hz มีความยาวคลื่นระหว่าง 10^{-8} - 10^{-13} เมตร ซึ่งสามารถทะลุสิ่งกีดขวางหนา ๆ ได้ หลักการสร้างรังสีเอกซ์คือ การเปลี่ยนความเร็วของอิเล็กตรอน มีประโยชน์ทางการแพทย์ในการตรวจดูความผิดปกติของอวัยวะภายในร่างกาย ในวงการอุตสาหกรรมใช้ในการตรวจหารอยร้าวภายในชิ้นส่วนโลหะขนาดใหญ่ ใช้ตรวจหาอาวุธปืนหรือระเบิดในกระเป๋าเดินทาง และศึกษาการจัดเรียงตัวของอะตอมในผลึก

สเปคตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

7. รังสีแกมมา (γ-rays)

- รังสีแกมมามีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้ามีความถี่สูงกว่ารังสีเอกซ์ เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์และสามารถกระตุ้นปฏิกิริยานิวเคลียร์ได้ มีอำนาจทะลุทะลวงสูง