

เนื้อหา

Electromagnetic waves

Light : Interference, Diffraction, polarization of light

Modern physics: blackbody radiation, photoelectric effect, wave-particle duality, uncertainty principle, hydrogen atom, transition in energy levels, applications in laser

Nuclear physics: binding energy, reactions, radioactivity, applications

ผู้สอน ผศ.ดร. รังสิมา ชาญพนา ตึกมหามกุฏ ชั้น 5 ห้อง 504/5

อีเมลล์ Rangsim.C@chula.ac.th

แสง (Light)

แสงคือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่น 400 ถึง 700 นาโนเมตร

อัตราเร็วแสง

ในสุญญากาศ

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

ในสสาร

$$\epsilon = K_e \epsilon_0$$

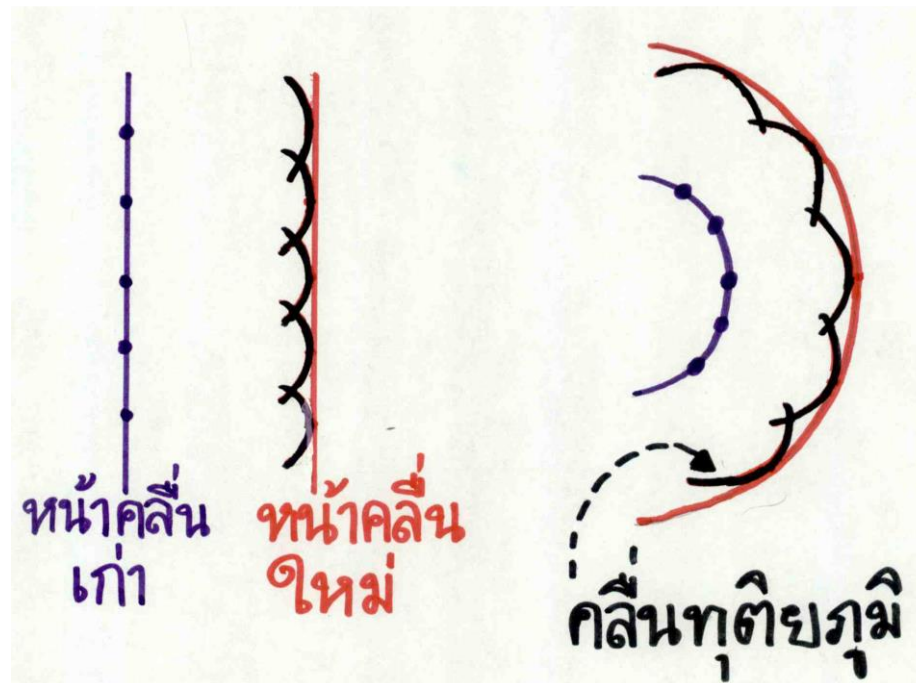
$$\mu = K_m \mu_0$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu \epsilon}} = \frac{1}{\sqrt{K_e K_m}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = \frac{c}{\sqrt{K_e K_m}}$$

$$v = \frac{c}{\sqrt{K_e K_m}}$$

Huygens's Principle

ทุก ๆ จุดบนหน้าคลื่นสามารถกำหนดเป็นต้นกำเนิดของคลื่น
ทุติยภูมิทรงกลม (spherical secondary wave) ซึ่งแผ่ออกไป
ด้วยอัตราเร็วเท่าเดิมในทิศทางหนึ่ง



การสะท้อน (reflection) และการหักเห (refraction)

กฎการสะท้อน

$$\theta_1 = \theta'_1$$

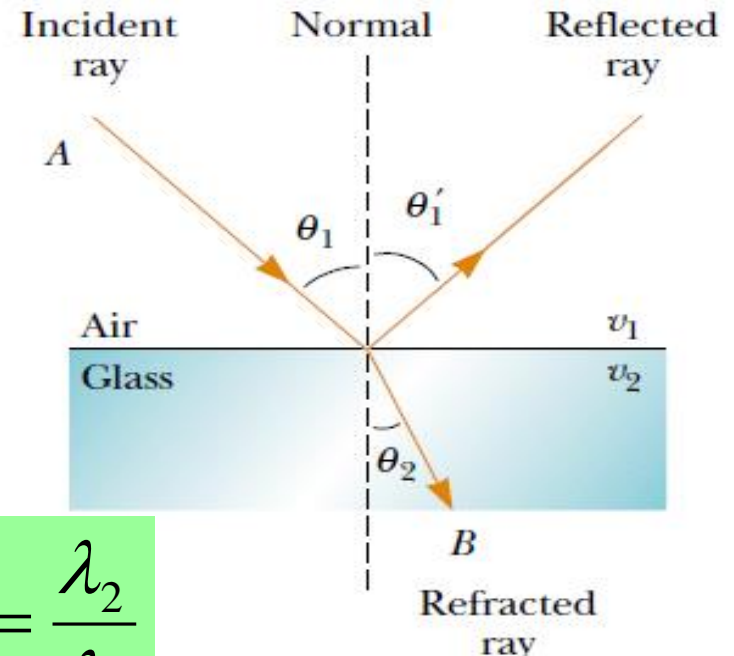
กฎการหักเห (กฎของสเนล)

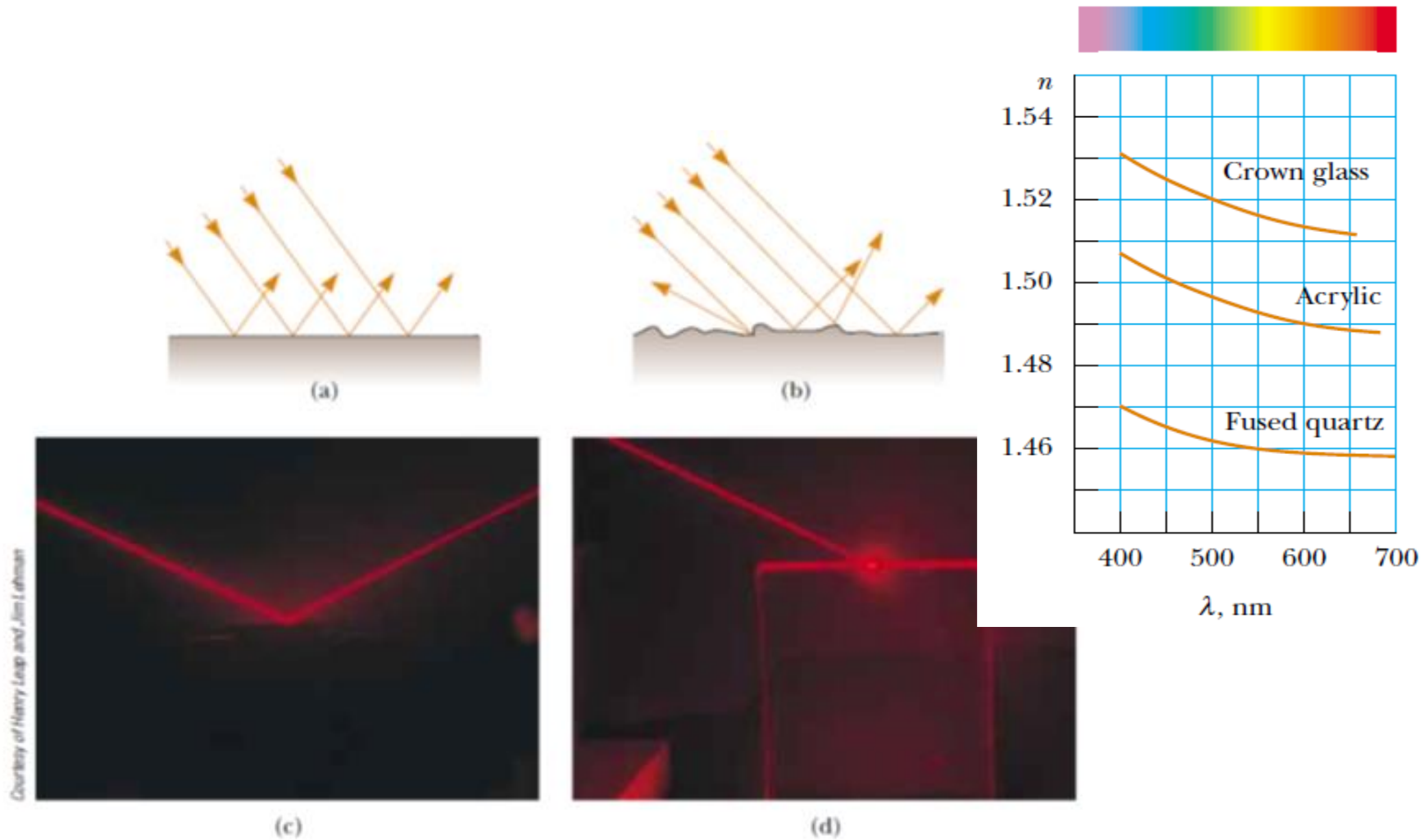
$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$$

ดัชนีหักเห (n) :

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

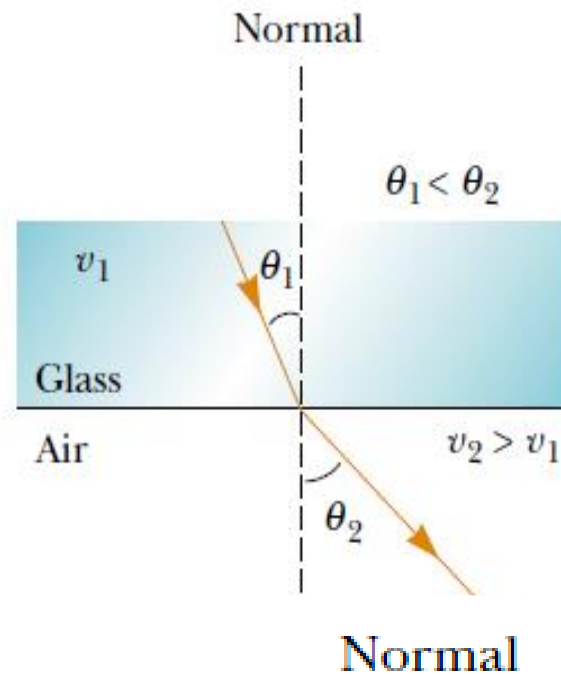
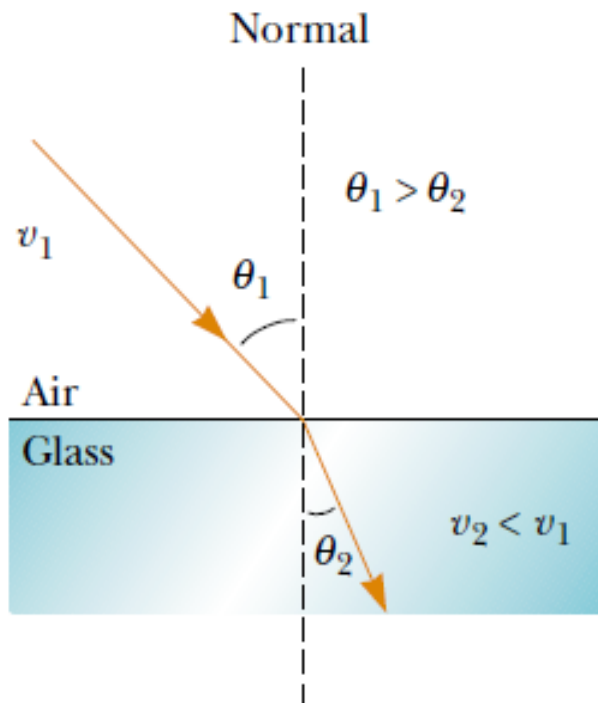
$$\lambda = \lambda_n n$$





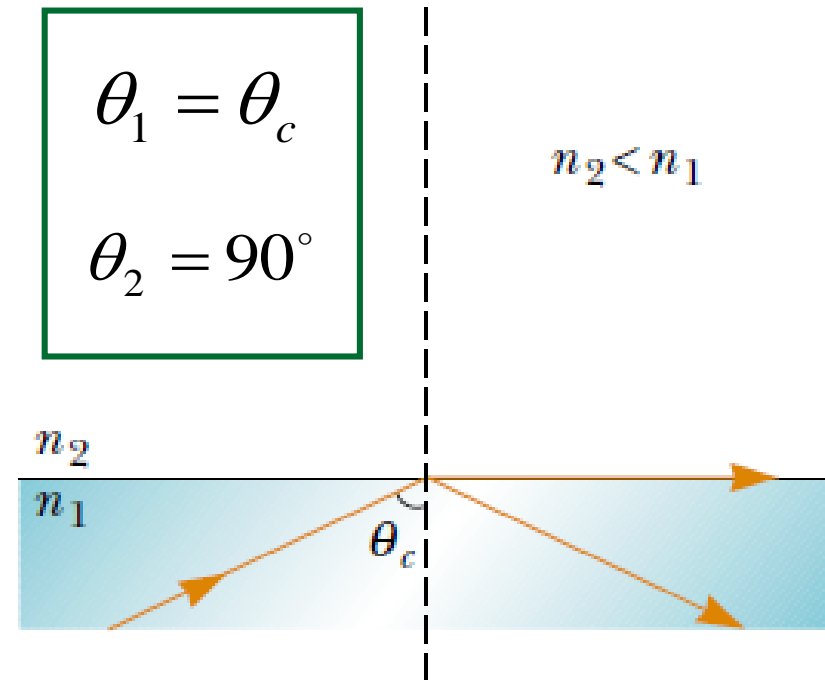
specular reflection (ผิวเรียบ) (รูป a,c)

diffusion reflection (ผิวขรุขระ) (รูป b,d)

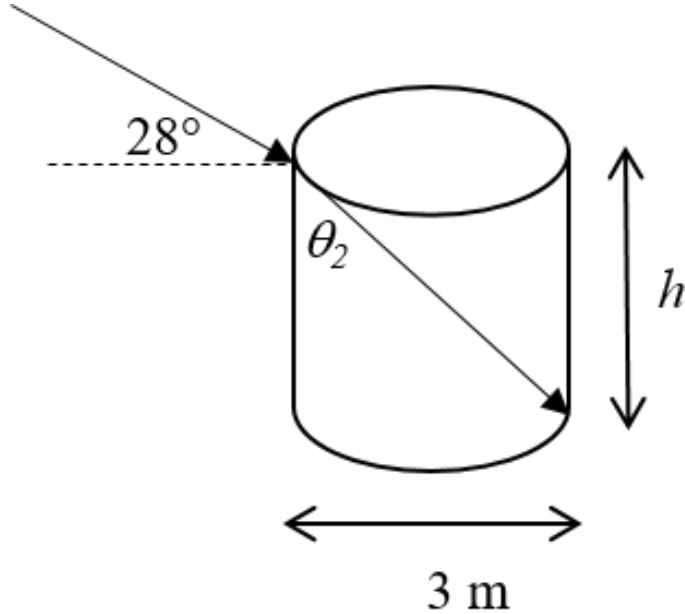


การสะท้อนกลับหมด (Total Internal Reflection)

มุมวิกฤติ คือ มุมตกกระทบที่ทำให้เกิดการสะท้อนกลับหมด



Ex. ถังน้ำทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 m. บรรจุน้ำเต็มถึง
ขณะที่ดวงอาทิตย์ทำมุม 28° เหนือระดับขอบฟ้า แสงอาทิตย์ส่องไป
ไม่ถึงก้นถัง จงหาความลึกถึงน้ำที่น้อยที่สุด ($n_{\text{น้ำ}} = 1.333$)

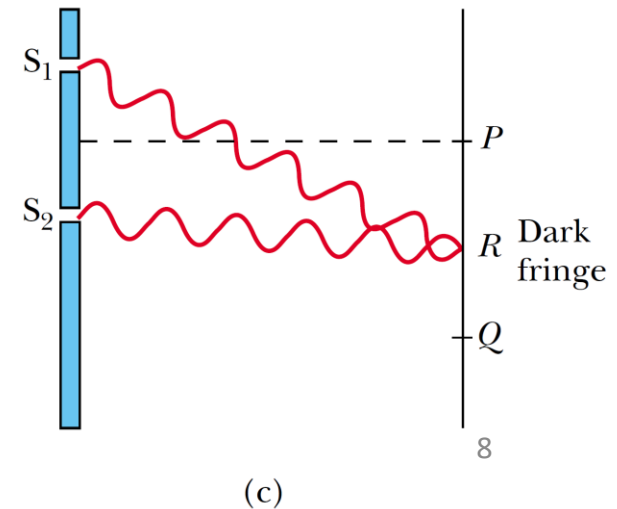
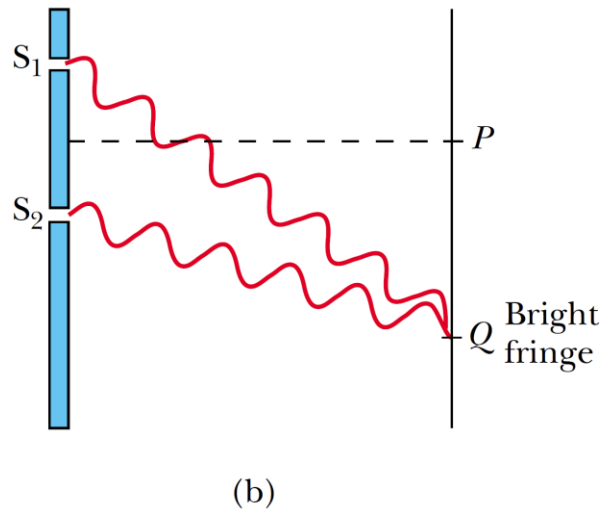
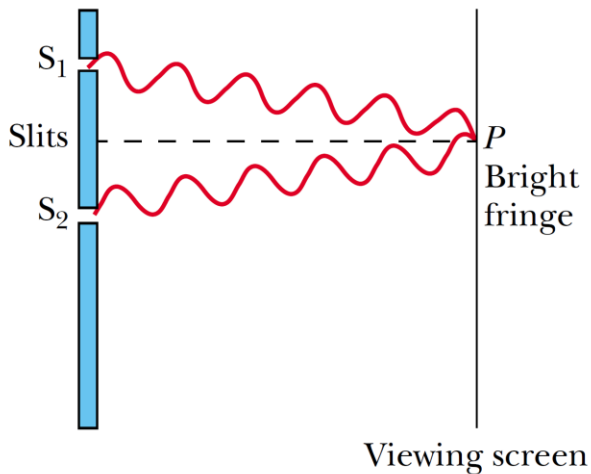
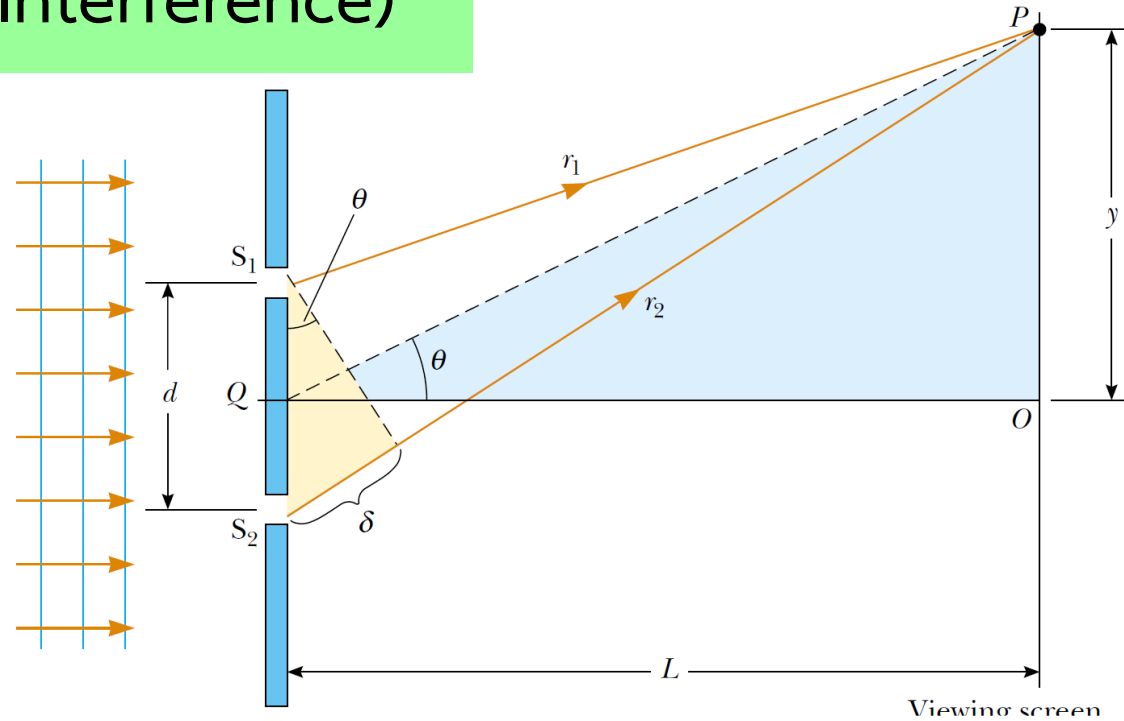


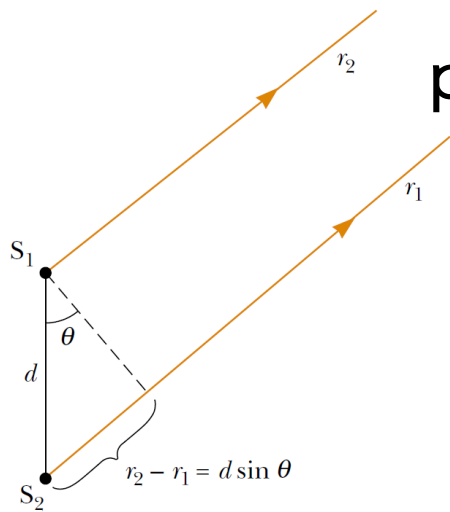
การแทรกสอดของแสง (Interference)

Young's Double-Slit Experiment

path difference :

$$r_2 - r_1$$





path difference $r_2 - r_1 = d \sin \theta$

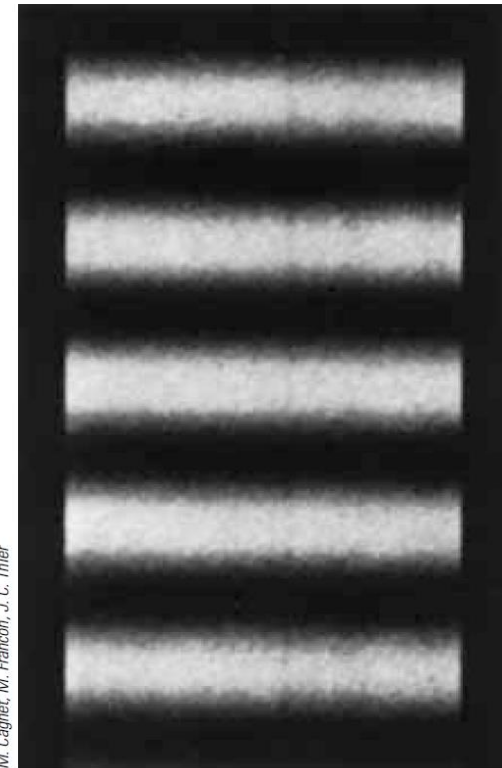
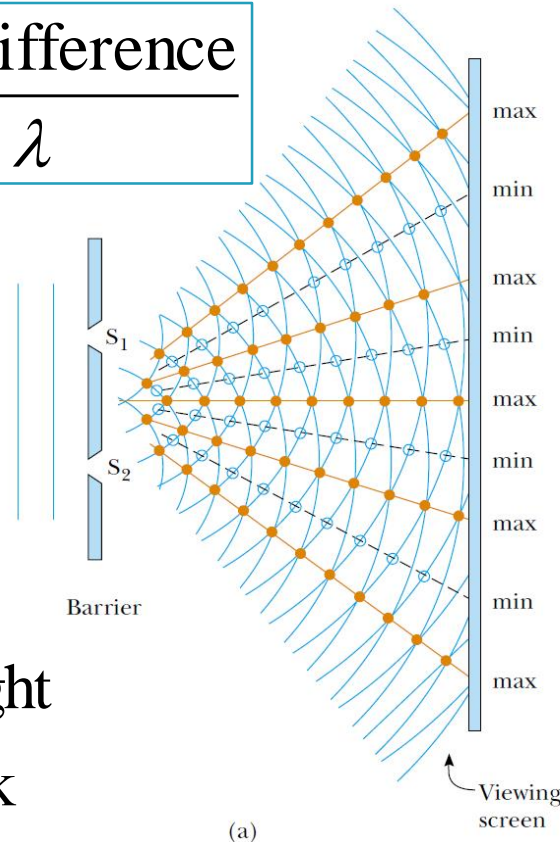
$$d \sin \theta = \begin{cases} m \lambda & \text{bright} \\ \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda & \text{dark} \end{cases} \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

$$\frac{\text{phase difference}}{2\pi} = \frac{\text{path difference}}{\lambda}$$

$$\text{at P: } \frac{\phi}{2\pi} = \frac{r_2 - r_1}{\lambda}$$

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta$$

$$\phi = \begin{cases} 2m\pi & \text{bright} \\ (2m + 1)\pi & \text{dark} \end{cases}$$



M. Cagnat, M. Francon, J. C. Thier

(a)

(b)

เมื่อ $d \ll L$, θ น้อยๆ $\sin \theta \approx \tan \theta = \frac{y}{L}$

∴ ตำแหน่งแถบสว่างที่ m จากกึ่งกลางแถบสว่างกลาง
(หรือกึ่งกลางฉาก)

$$y_{\text{bright}} = \frac{\lambda L}{d} m \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

∴ ตำแหน่งแถบมืดที่ $m+1$ จากกึ่งกลางแถบสว่างกลาง

$$y_{\text{dark}} = \frac{\lambda L}{d} \left(m + \frac{1}{2} \right) \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

Note เมื่อ $m=0$ คือ แถบมืดที่ $0+1 = 1$

ระยะห่างระหว่าง 2 แถบสว่างที่ติดกันหรือระยะห่างระหว่าง 2 แถบมืดที่ติดกัน

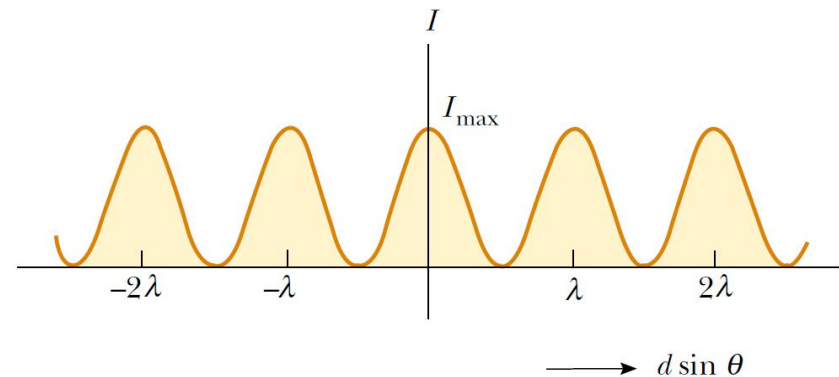
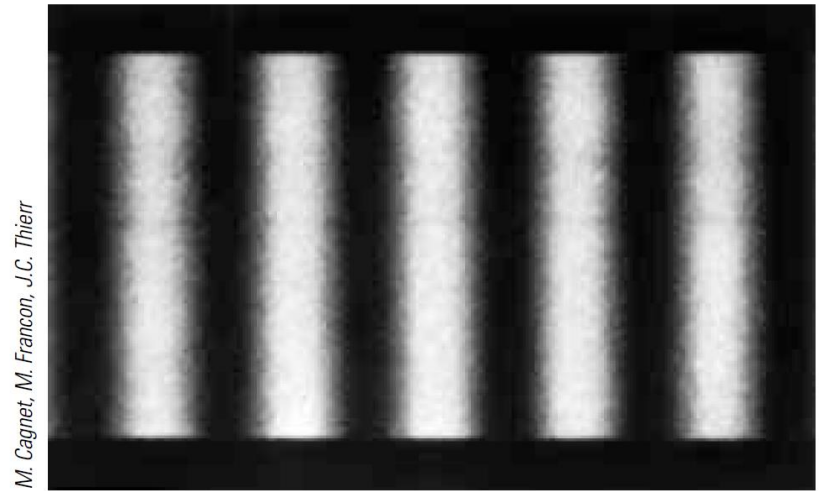
$$y_{m+1} - y_m = L \frac{\lambda}{d}$$

ความเข้มของแสงในริ้วการแทรกสอด

ที่จุด P บนฉาก :

$$I = I_{\max} \cos^2 \left(\frac{\phi}{2} \right)$$

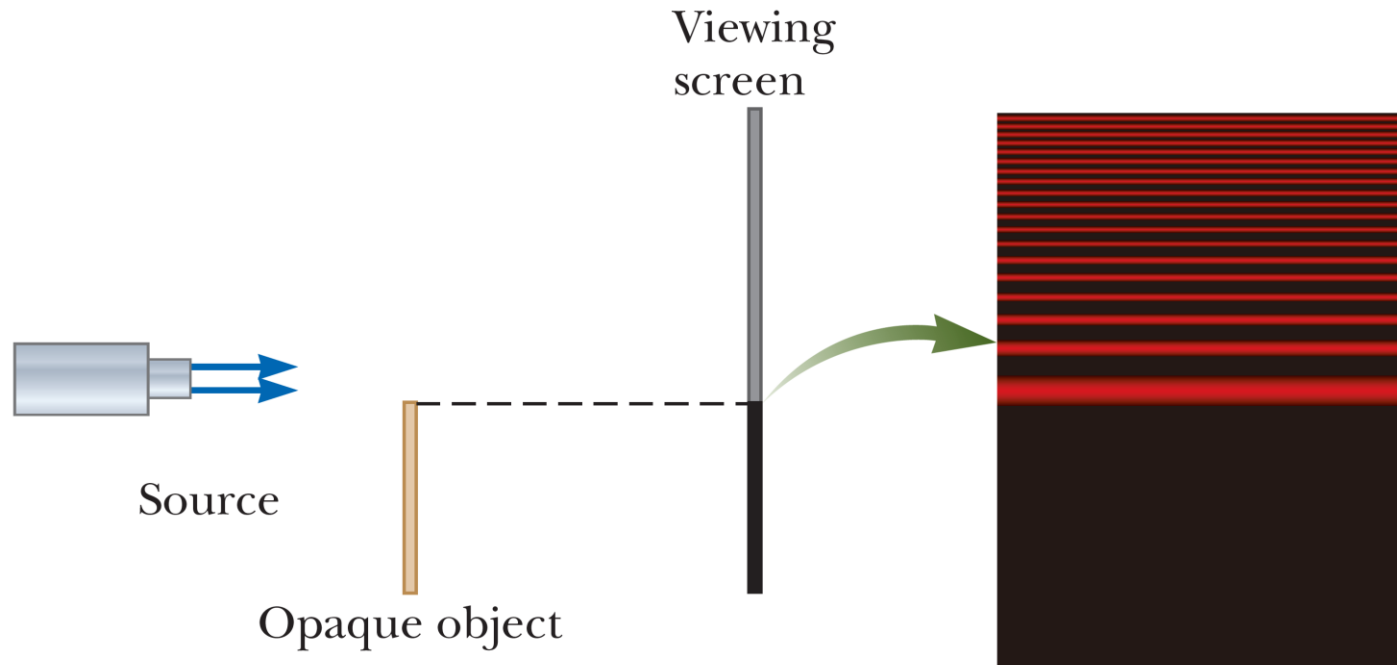
$$I = I_{\max} \cos^2 \left(\frac{\pi d \sin \theta}{\lambda} \right)$$



Ex. แสงความยาวคลื่น 600 nm ผ่านช่องแคบคู่หนึ่ง แล้วเกิดริ้วการแทรกสอดบนฉากที่ห่างออกไป $D = 3 \text{ m}$ โดยแถบสว่างที่ 1 อยู่ห่างจากตำแหน่งกึ่งกลางของแถบสว่างกลางเป็นระยะ 4.84 mm จงหาว่าแสงความยาวคลื่นเท่าใดที่ทำให้เกิดแถบมืดที่ 1 ณ ตำแหน่งเดียวกันบนฉาก

Ex. จงหาตำแหน่งที่ห่างจากตำแหน่งกลางน้อยสุดบนฉากรที่มีความเข้มแสงเป็น เท่าของค่าความเข้มแสงสูงสุด (กำหนดให้ $\lambda = 600 \text{ nm}$, $d = 2 \text{ mm}$, $L = D = 1 \text{ m}$)

การเลี้ยวเบนของแสง (Diffraction)



Diffraction Patterns from Narrow Slits

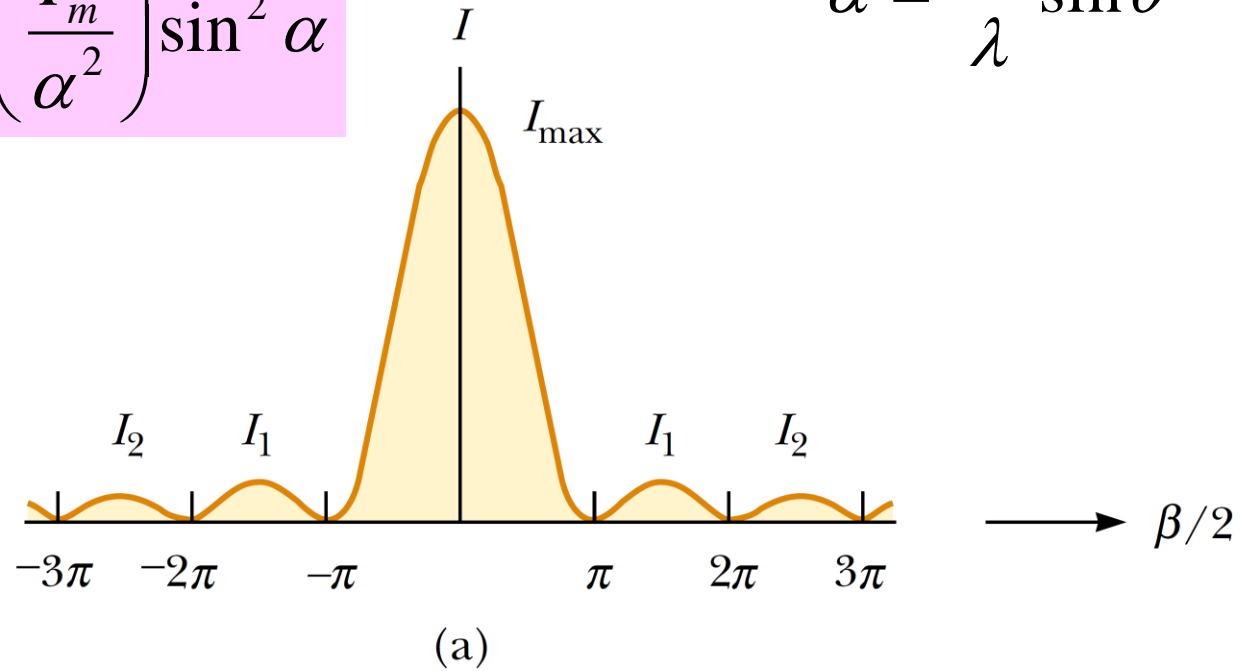
แถบมืดการเลี้ยวเบน $a \sin \theta = m\lambda$

$$\sin \theta_{\text{dark}} = m \frac{\lambda}{a} \quad m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

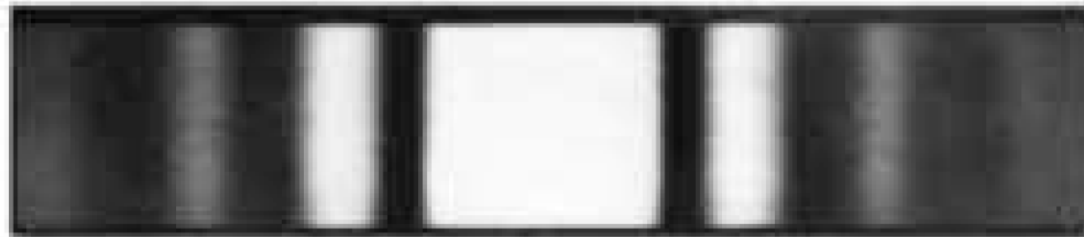
ความเข้มของแสงในริ้วการเลี้ยวเบนช่องแคบเดี่ยว

$$I_{\theta} = I_m \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2 = \left(\frac{I_m}{\alpha^2} \right) \sin^2 \alpha$$

$$\alpha = \frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta$$



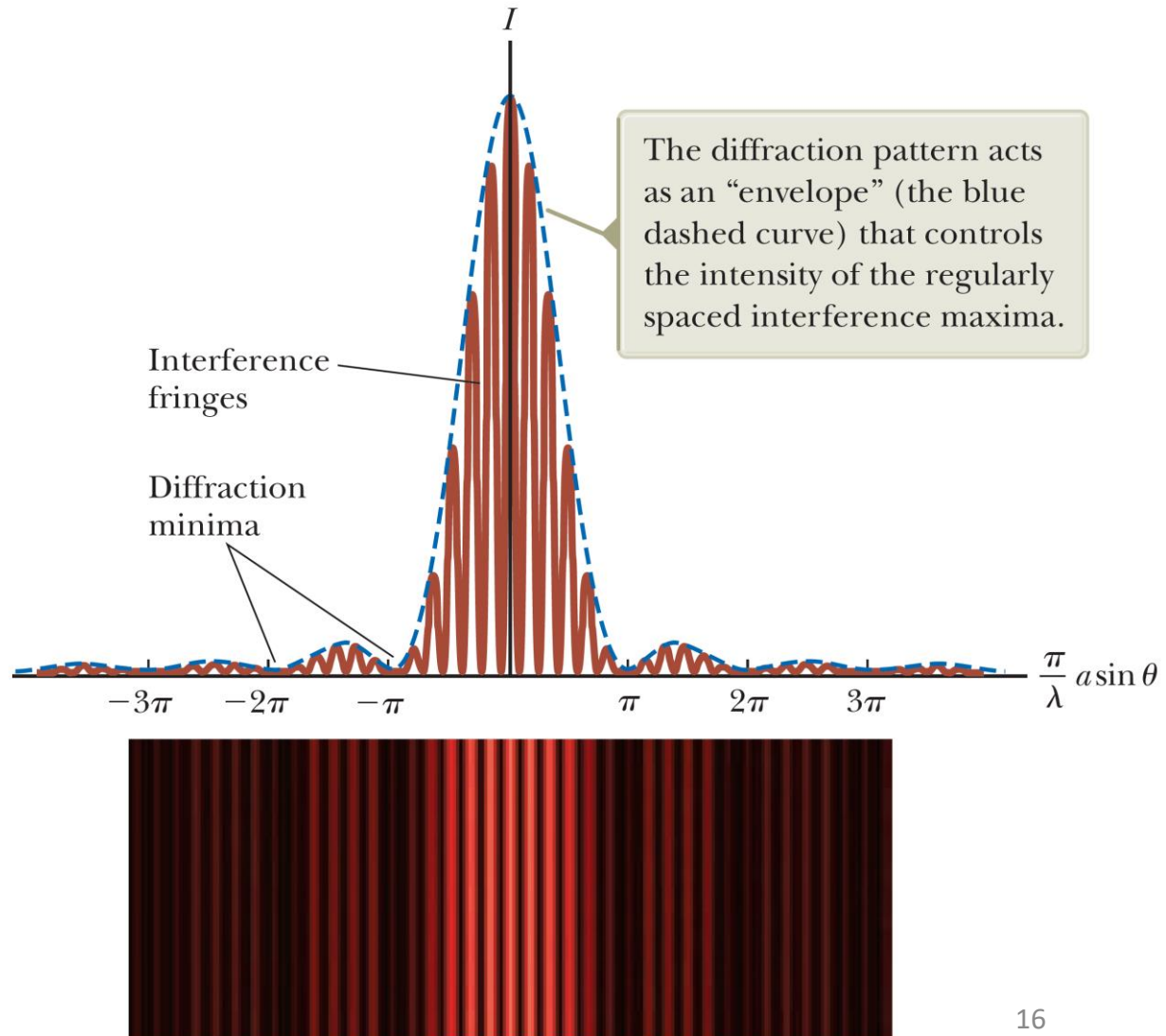
M. Cagnet, M. Francon,
and J. C. Thierr



(b)

$$I = I_{\max} \cos^2 \left(\frac{\pi d \sin \theta}{\lambda} \right) \left[\frac{\sin(\pi a \sin \theta / \lambda)}{\pi a \sin \theta / \lambda} \right]^2$$

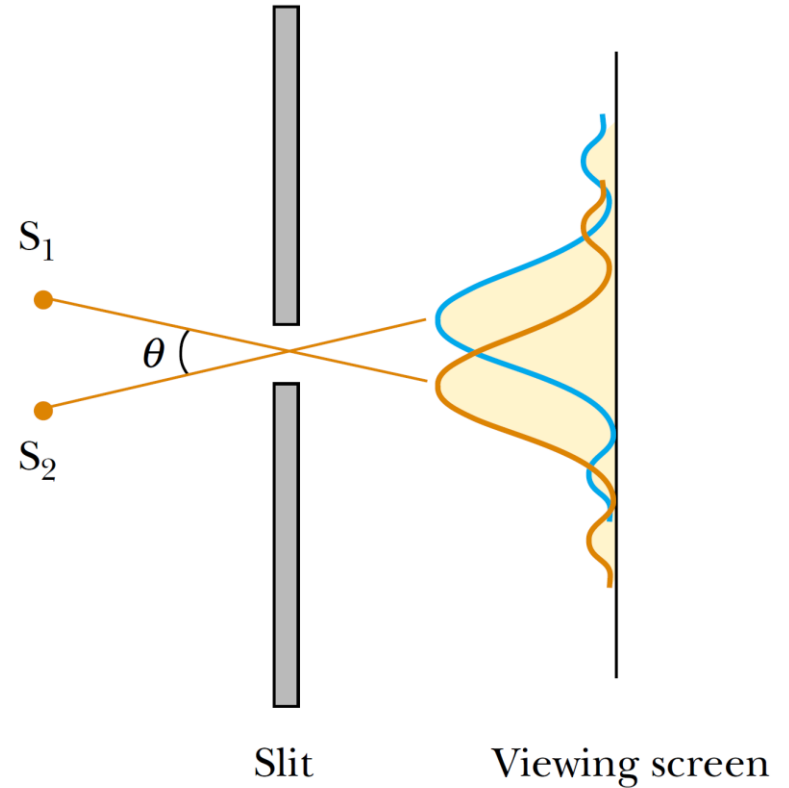
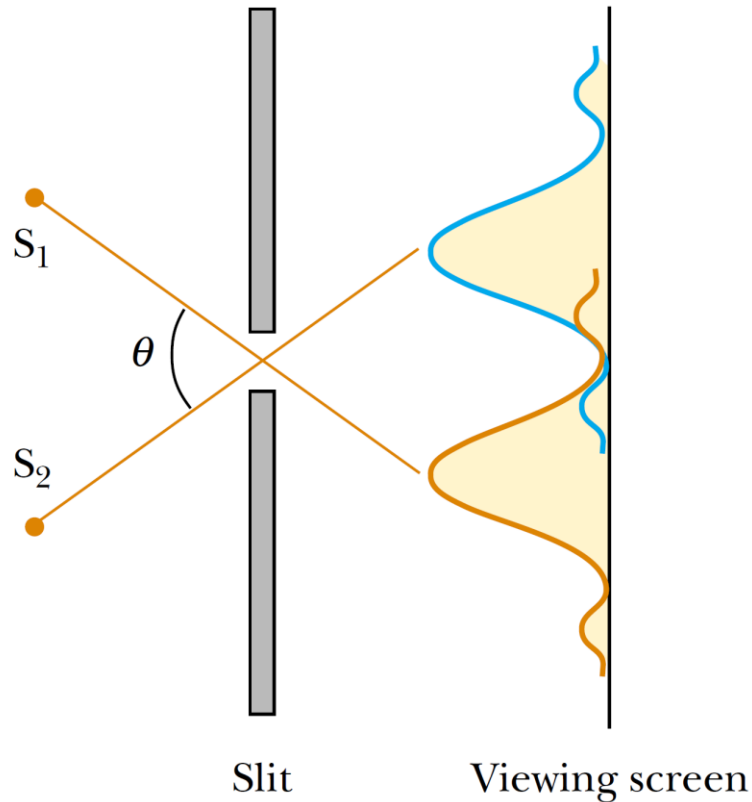
การแทรกสอด
เลี้ยวเบนที่ช่อง
แคบคู่



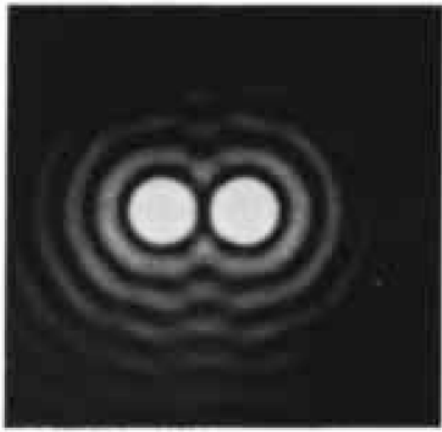
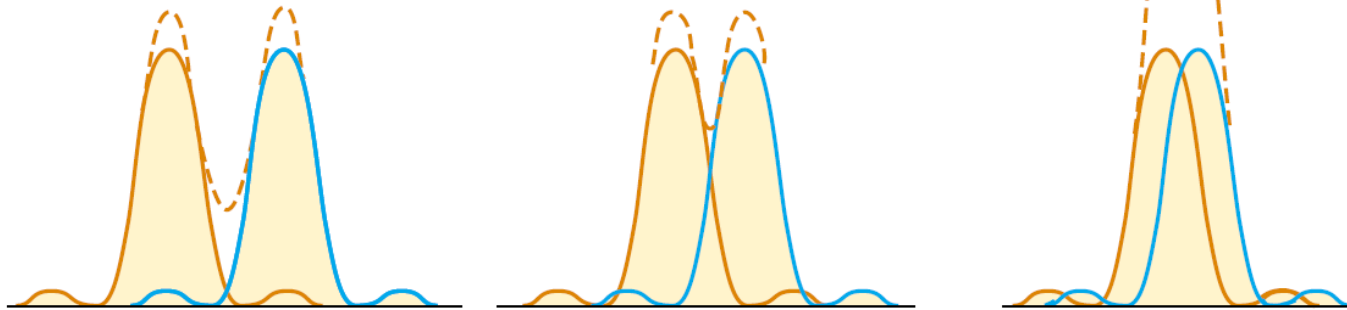
Ex. แสงความยาวคลื่น 600 nm ตกกระทบสลิตเดี่ยวแล้วเกิดริ้วการเลี้ยวเบนบนฉากที่ห่างออกไป 2.0 m พบว่าริ้วมืดที่อยู่ถัดกัน 2 ริ้ว ห่างกัน 4.0 mm จงหาความกว้างสลิต

เกณฑ์ของเรย์ลี (Rayleigh's criterion)

พิจารณาแสงจากสองแหล่งกำเนิดอยู่ห่างกันเป็นมุม θ



ตัวอย่าง แหล่งกำเนิดเป็นจุด



(a)



(b)



(c)

Resolution
ของสลิตเดี่ยว

$$\sin \theta = \frac{\lambda}{a}$$

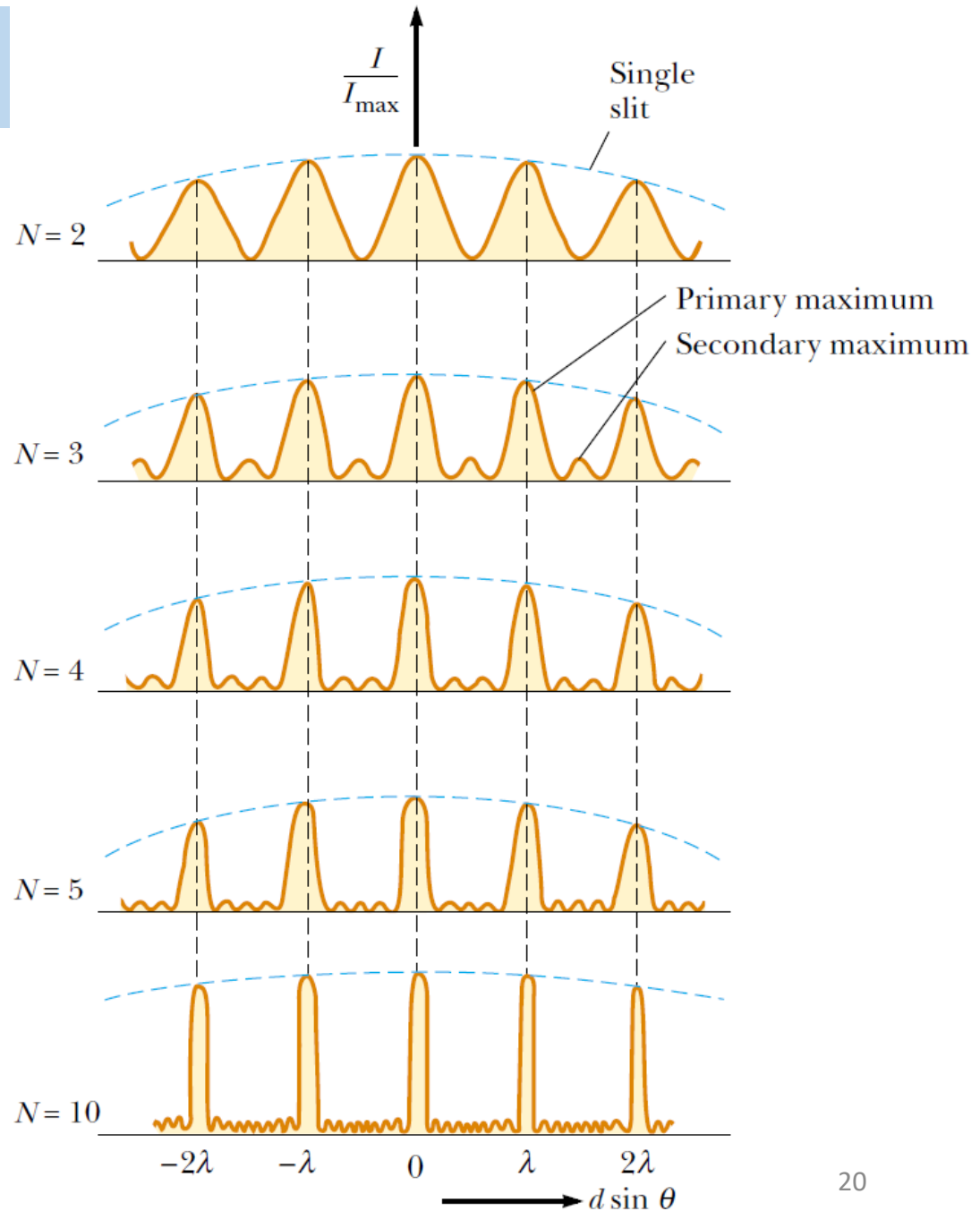
$$\theta_{\min} = \frac{\lambda}{a}$$

รูป (b) แสดงให้เห็นว่าการเลี้ยวเบนของสองแหล่งกำเนิดที่
เริ่มแยกออกจากกันเมื่อแถบสว่างกลางของแหล่งกำเนิดหนึ่ง
ทับแถบมืดที่ 1 ของอีกแหล่งกำเนิดพอดี

The Diffraction Grating

เมื่อเพิ่มจำนวนช่องของ
สลิตมากเห็นจะเห็นแถบ
สว่างที่เล็กลง

N มาก แถบสว่างจะ
แคบลงมากจนกลายเป็น
เป็นเส้น



เกรตติงเลี้ยวเบน

$$d \sin \theta_{\text{bright}} = m \lambda$$

$$m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

d = ระยะห่างระหว่างช่อง

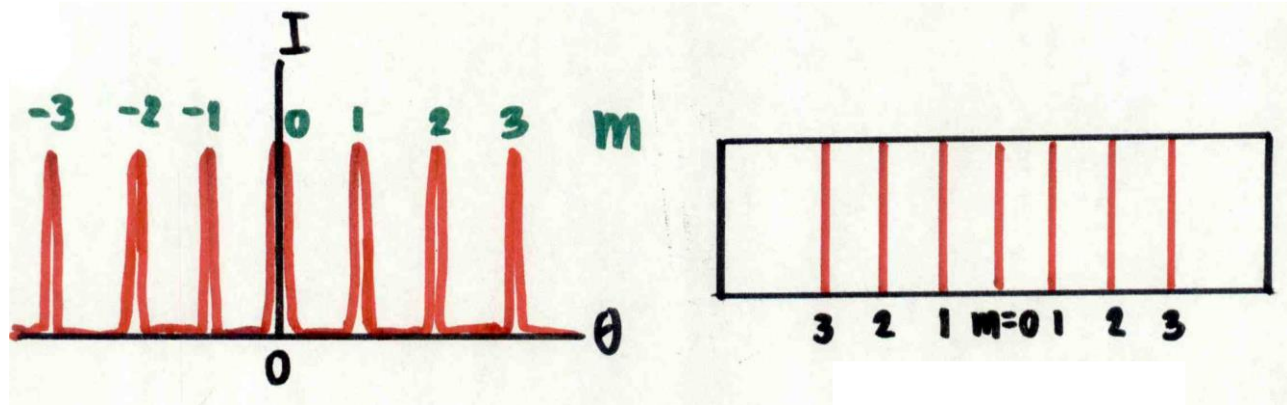
m = เลขลำดับ (order number)

ที่ลำดับเดียวกัน มุมเลี้ยวเบนแปรตามค่าความยาวคลื่นแสง

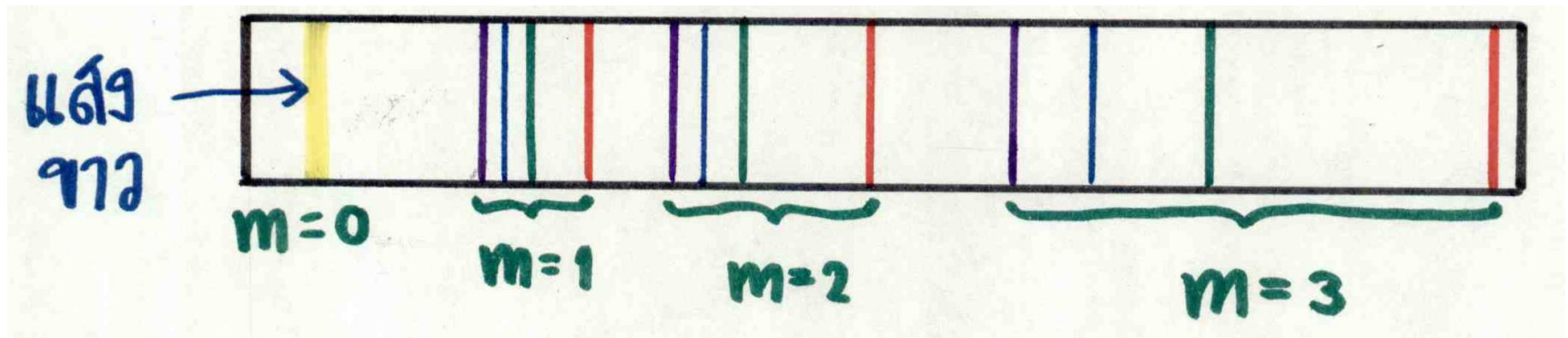
→ แสงสีแดงเบนมากกว่าแสงสีน้ำเงิน

*เกรตติงสามารถใช้แยกลำแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกันได้

ตัวอย่างเส้นสเปกตรัมของแสงความถี่เดียว (แสงเอกรงค์)



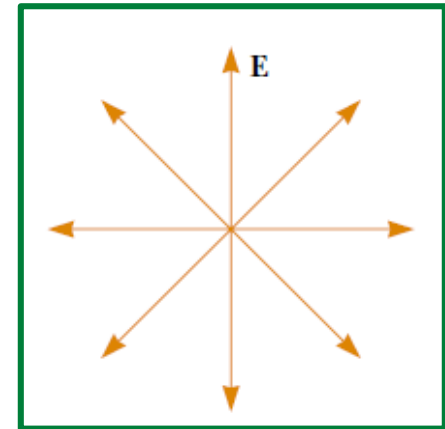
ตัวอย่างเส้นสเปกตรัมของแสงหลายความถี่



Polarization of Light Waves

→ โพลาริเซชันเป็นปรากฏการณ์
ของคลื่นตามขวาง

แสงไม่โพลาไรซ์ : จะมีสนามไฟฟ้า ได้ในทุก
ทิศทาง (ขนาดของสนามไฟฟ้าเท่ากันในทุก
ทิศทางและทิศทางเป็นแบบสุ่ม ณ เวลาหนึ่ง)

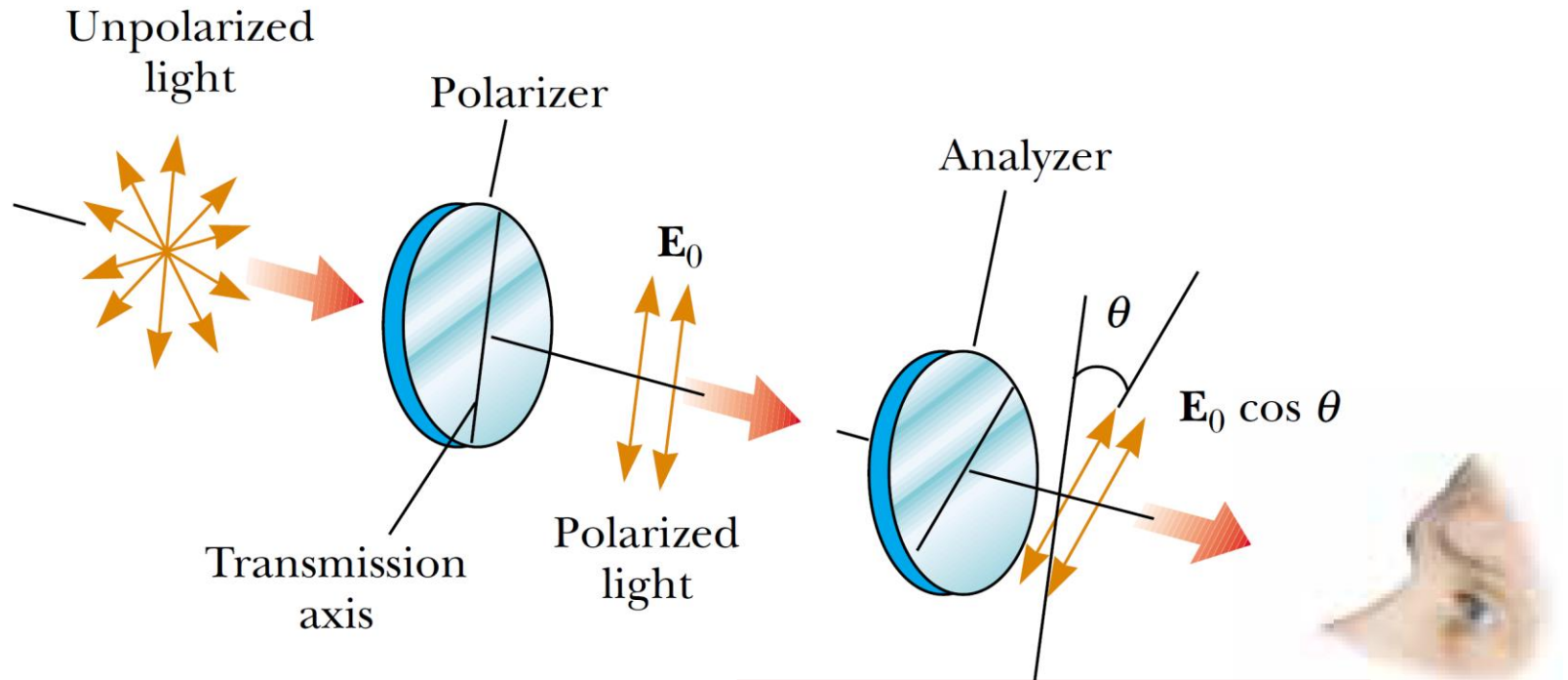


แสงโพลาไรซ์ : จะมีสนามไฟฟ้า อยู่ในทิศทาง
ใดทิศทางหนึ่ง



โพลาริเซชัน คือการที่แสงมีแนว
ของสนามไฟฟ้าที่มีทิศทาง
เฉพาะเจาะจงตลอดเวลา

การทำแสงไม่โพลาไรซ์ให้เป็นแสงโพลาไรซ์ทำได้โดยใช้แผ่นโพลารอยด์

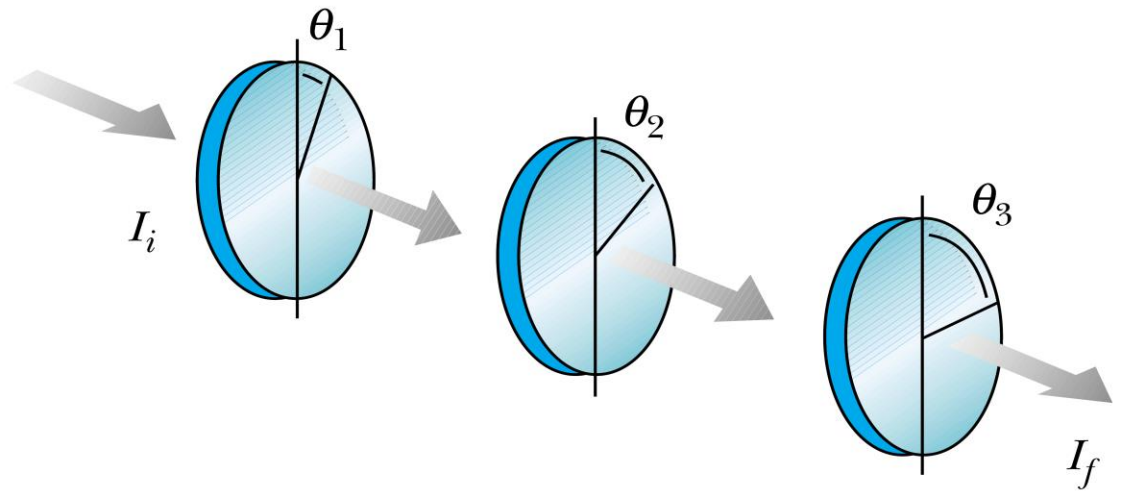


กฎของมาลุส (Malus' law)

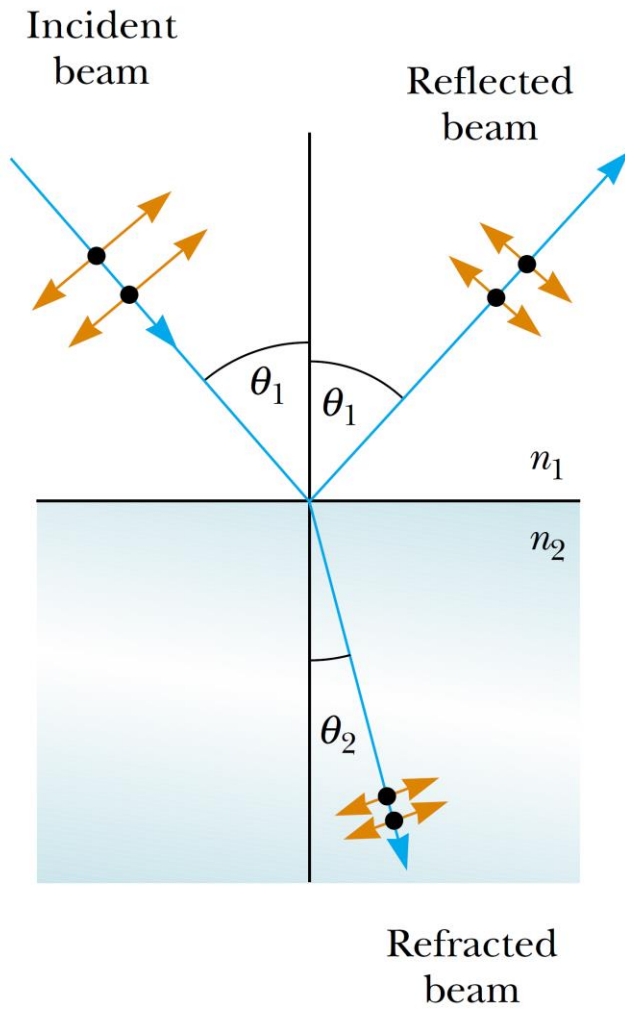
$$I = I_{\max} \cos^2 \theta$$

$$I = I_{\max} \longleftrightarrow \theta = 0^\circ, 180^\circ$$

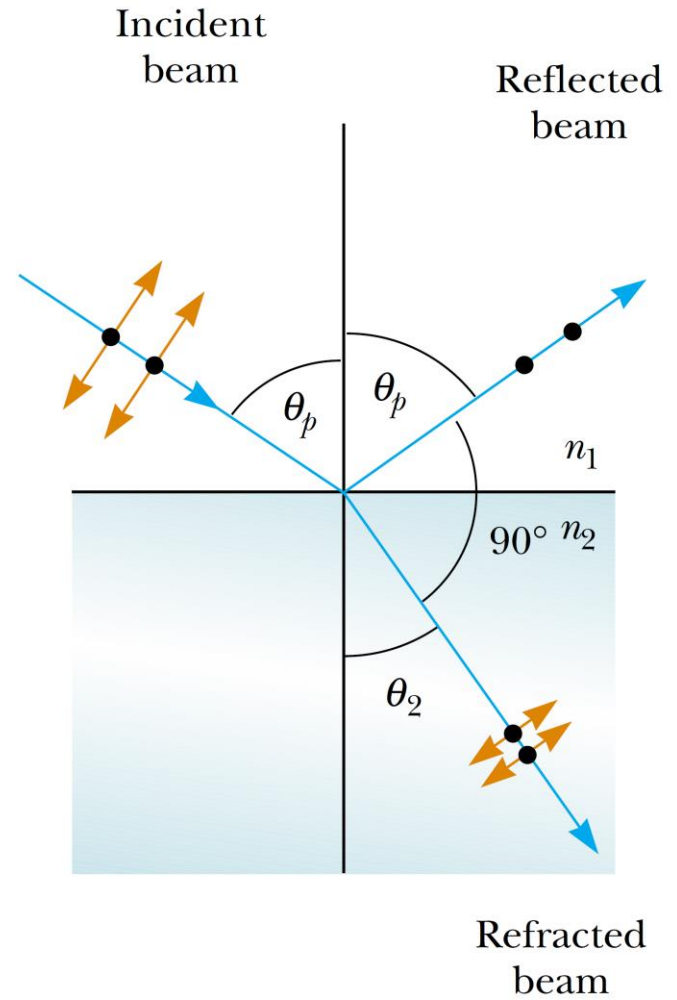
Ex. แผ่นโพลาไรซ์ 3 แผ่นมีแนวแกนโพลาไรซ์ทำมุมกับแนวตั้งเป็น
ดังรูป แสงโพลาไรซ์ที่มีสนามไฟฟ้าในแนวตั้งมีความเข้ม I_1 ผ่านแผ่น
โพลาไรซ์ทั้งสามจากทางด้านซ้าย จงหาความเข้มของแสงหลังผ่าน
แผ่นโพลาไรซ์ทั้งสาม



โพลาไรเซชันจากการสะท้อน



(a)



(b)

กฎของบรีวสเตอร์ (Brewster law)

แสงไม่โพลาไรซ์ สามารถแบ่งเวกเตอร์สนามไฟฟ้าได้เป็น 2 ส่วน
ประกอบ คือแนวขนานกับผิวรอยต่อ และแนวตั้งฉากผิวรอยต่อ

เมื่อมุมตกกระทบมีค่าเฉพาะค่าหนึ่ง จะได้ว่า

→ แสงสะท้อนจะเป็น แสงโพลาไรซ์ นั่นคือมีเฉพาะสนามไฟฟ้าใน
แนวตั้งฉากผิวรอยต่อเท่านั้น

→ รังสีสะท้อนจะตั้งฉากกับรังสีหักเห

จากกฎของสเนล

$$n_1 \sin \theta_p = n_2 \sin \theta_2$$

$$n_1 = 1, n_2 = n, \theta_2 = 90^\circ - \theta_p$$

กฎของบรีวสเตอร์ :

$$n = \tan \theta_p$$

θ_p คือมุมบรีวสเตอร์ (Brewster angle)

หรือมุมโพลาไรซ์ (polaizing angle)

คือมุมตกกระทบที่ให้แสงสะท้อนเป็นแสงโพลาไรซ์

