

แสงเชิงคลื่น (Wave Optics)



รูปภาพจาก : www.ligo.caltech.edu

บทที่ 18 แสงเชิงคลื่น

การจะบอกได้ว่าแสงเป็นคลื่นนั้นต้องแสดงให้เห็นว่าแสงมีสมบัติสำคัญของคลื่น คือ การสะท้อน การหักเห การแทรกสอด และการเลี้ยวเบน อย่างครบถ้วน ในบทนี้จะอธิบายถึงการทดลองที่แสดงให้เห็นว่าแสงมีสมบัติการแทรกสอด และการเลี้ยวเบน เพื่อข้อมูลที่นำไปสู่การสรุปว่าแสงมีพฤติกรรมเป็นคลื่น

การทดลองสลิตคู่ของยัง (Young's Double-Slit Experiment)



เงื่อนไขสำหรับการแทรกสอด

- 1) แสงมาจากแหล่งกำเนิดคลื่นอาพันธ์ (Coherent)
- 2) แสงมีความยาวคลื่นค่าเดียวตลอดการทดลอง (Monochromatic) เช่น เลเซอร์

พิจารณาคลื่น Coherent สองขบวนซึ่งมีเฟสเริ่มต้นเท่ากัน เมื่อคลื่นทั้งสองเคลื่อนที่เป็นระยะทางต่างกันหนึ่งความยาวคลื่น (λ) คลื่นทั้งสองขบวนจะมีเฟสต่างกัน 2π ดังนั้นเมื่อคลื่นทั้งสองเคลื่อนที่เป็นระยะทางต่างกัน Δr คลื่นทั้งสองขบวนจะมีเฟสต่างกัน $\Delta\phi$ ตามการเทียบอัตราส่วน ดังนี้

$$\frac{\Delta r}{\lambda} = \frac{\Delta\phi}{2\pi}$$

พิจารณาในกรณีที่คลื่นทั้งสองขบวนมีเฟสตรงกัน (การแทรกสอดแบบเสริม) คือ $\Delta\phi = m(2\pi)$; $m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$

จะได้

$$\frac{\Delta r}{\lambda} = \frac{m(2\pi)}{2\pi}$$

$$\Delta r = m\lambda$$

พิจารณาในกรณีที่คลื่นทั้งสองขบวนมีเฟสตรงข้ามกัน (การแทรกสอดแบบหักล้าง) คือ $\Delta\phi = (2m \pm 1)\pi$; $m_+ = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ และ $m_- = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$

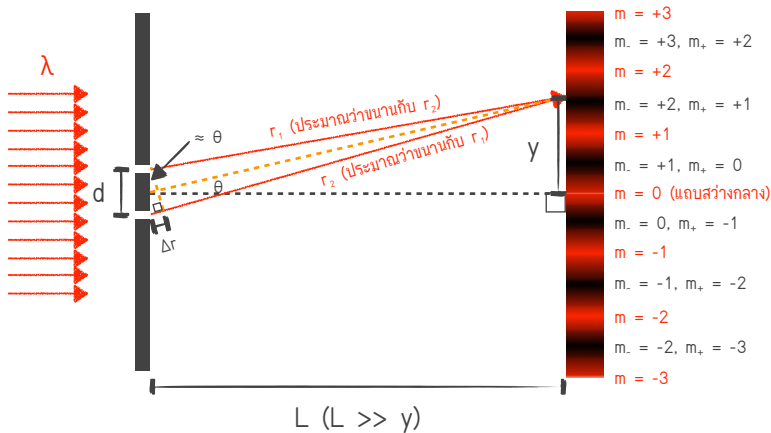
จะได้

$$\frac{\Delta r}{\lambda} = \frac{(2m \pm 1)\pi}{2\pi}$$

$$\Delta r = (m \pm \frac{1}{2})\lambda$$

แสงเชิงคลื่น (Wave Optics)

พิจารณาแสง Monochromatic ความยาวคลื่น λ เคลื่อนที่ผ่านช่องแคบคู่ซึ่งมีกึ่งกลางของช่องแคบคู่อยู่ห่างกันเป็นระยะ d ทำให้แสงที่ผ่านช่องแคบคู่เป็นแสง Coherent ไปตกกระทบยังฉากซึ่งอยู่ห่างจากกึ่งกลางระหว่างช่องแคบคู่เป็นระยะ L เกิดเป็นริ้วการแทรกสอด ดังรูปด้านล่าง



จากรูปด้านบน จะได้ $\sin\theta = \frac{\Delta r}{d}$
 $\Delta r = d \sin\theta$

เมื่อ $L \gg y$ จะได้ $\sin\theta \approx \tan\theta$

$\therefore \Delta r = d \sin\theta \approx d \tan\theta \approx \frac{dy}{L}$

เมื่อพิจารณาตำแหน่งแถบสว่าง จะได้ $d \sin\theta \approx d \tan\theta \approx \frac{dy}{L} = m\lambda$

เมื่อพิจารณาตำแหน่งแถบมืด จะได้ $d \sin\theta \approx d \tan\theta \approx \frac{dy}{L} = (m \pm \frac{1}{2})\lambda$

เนื่องจาก m_- ให้ความหมายดีกว่า จะได้ $d \sin\theta \approx d \tan\theta \approx \frac{dy}{L} = (m - \frac{1}{2})\lambda$



การทดลองช่องสลิตคู่ของยัง (Young's Double-Slit Experiment)

$$\Delta r = d \sin \theta \approx d \tan \theta \approx \frac{dy}{L} = \begin{cases} \text{กรณีแถบสว่าง} \\ \pm m\lambda & ; m = 0, 1, 2, \dots \\ \text{กรณีแถบมืด} \\ \pm(m - \frac{1}{2})\lambda & ; m = 1, 2, 3, \dots \end{cases}$$

Δr คือ ความต่างระยะทางของคลื่นสองขบวนซึ่งแทรกสอดกัน

d คือ ระยะห่างระหว่างกึ่งกลางของช่องสลิตคู่

θ คือ มุมบนฉากเทียบกับตำแหน่งกลางระหว่างสลิตทั้งสองช่อง

y คือ ระยะห่างบนฉากเทียบกับตำแหน่งแถบสว่างกลางบนฉาก

L คือ ระยะห่างระหว่างสลิตคู่กับฉาก

m คือ ลำดับการแทรกสอด

λ คือ ความยาวคลื่น

ข้อสังเกต

ความกว้างของแถบสว่างและแถบมืดจะแปรผันตามความยาวคลื่น

เมื่อแสงขาวผ่านสลิตคู่ แถบสว่างจะเป็นสีขาวยุติเฉพาะแถบสว่างกลาง แถบสว่างถัดไปจะเริ่มแยกเป็นสีต่างๆ โดยขึ้นกับระยะห่างระหว่างช่องสลิต และระยะห่างของฉาก



Problem 18.1

ยิงแสงความยาวคลื่น 600 nm ตกตั้งฉากกับสลิตคู่ โดยกึ่งกลางช่องสลิตอยู่ห่างกันเป็นระยะ 0.300 mm ห่างจากฉากเป็นระยะ 1.00 m จงหาระยะห่างระหว่างแถบสว่างที่สองเทียบกับแนวกลาง?

Answer : 4.00 mm

Problem 18.2

ยิงแสงตกตั้งฉากกับสลิตคู่ซึ่งมีระยะห่างระหว่างช่องสลิตเท่ากับ 0.200 mm ห่างจากฉากเป็นระยะ 1.00 m ปรากฏแถบสว่างลำดับที่สามอยู่ห่างจากแถบสว่างกลางเป็นระยะ 7.50 mm จงหาความยาวคลื่นในการทดลองดังกล่าว?

Answer : 500 nm

แสงเชิงคลื่น (Wave Optics)

Problem 18.3

การทดลองสลิตคู่ของยัง มีระยะระหว่างสลิตเท่ากับ d ระยะระหว่างฉากกับสลิตเท่ากับ L ระยะห่างระหว่างแถบสว่างลำดับที่หนึ่งกับแถบสว่างกลางเท่ากับ y ความถี่ของคลื่นที่ใช้ในการทดลองเป็นเท่าใด (กำหนดให้อัตราเร็วของแสงในการทดลองเท่ากับ c)?

$$\text{Answer : } \frac{Lc}{dy}$$

Problem 18.4

ฉายแสงความยาวคลื่น 580 nm ผ่านสลิตคู่ซึ่งอยู่ห่างกัน 1.00 mm จงหาระยะห่างระหว่างฉากกับระนาบของสลิตคู่ เพื่อให้มีแถบมืดปรากฏอยู่ตรงข้ามกับตำแหน่งของช่องสลิตทั้งสอง โดยมีแถบสว่างเพียงหนึ่งแถบอยู่ระหว่างแถบมืดทั้งสอง?

$$\text{Answer : } 1.72 \text{ m}$$

Problem 18.5

แสงความยาวคลื่น 500 nm ตกตั้งฉากกับสลิตคู่ เกิดการแทรกสอดบนฉากซึ่งห่างออกไป 1.00 m ถ้าที่กลางช่องสลิตอยู่ห่างกันเป็นระยะ 0.100 mm แถบสว่างที่อยู่ติดกันจะห่างกันเท่าใด?

Answer : 5.00 mm

Problem 18.6

แสงความยาวคลื่น 500 nm ตกตั้งฉากกับสลิตคู่ เกิดการแทรกสอดบนฉากซึ่งห่างออกไป 1.20 m ถ้าที่กลางช่องสลิตอยู่ห่างกันเป็นระยะ 0.100 mm แถบมืดที่อยู่ติดกันจะห่างกันเท่าใด?

Answer : 6.00 mm

แสงเชิงคลื่น (Wave Optics)

Problem 18.7

ในการทดลองสลิตคู่ของยัง มีระยะระหว่างสลิตคู่เท่ากับ 1.0 mm ระยะระหว่างฉากกับสลิตคู่เท่ากับ 1.0 m ระยะห่างระหว่างแถบมืดที่อยู่ติดกันเท่ากับ 0.50 mm ความยาวคลื่นที่ใช้ในการทดลองเป็นเท่าใด?

Answer : 500 nm

Problem 18.8

แสงความยาวคลื่น λ ตกตั้งฉากกับสลิตคู่ เกิดการแทรกสอดบนฉากซึ่งห่างออกไป L ถ้ากึ่งกลางช่องสลิตอยู่ห่างกันเป็นระยะ d แถบมืดลำดับที่สามกับแถบสว่างลำดับที่หนึ่งจะห่างกันเท่าใด?

Answer : $\frac{3\lambda L}{2d}$

แสงเชิงคลื่น (Wave Optics)

Problem 18.9

ฉากรับแสงอยู่ห่างจากสลิตคู่ 1.2 m และระยะห่างระหว่างช่องสลิตคู่เท่ากับ 0.030 mm แฉบสว่างลำดับที่สองอยู่ห่างจากแฉบสว่างกลาง 4.5 cm จงหา

- ความยาวคลื่นในการทดลอง?
- ระยะห่างระหว่างแฉบสว่างที่อยู่ติดกัน?

Answer : a) 560 nm and b) 2.2 cm

Problem 18.10

แสงความยาวคลื่น 600 nm ตกตั้งฉากกับสลิตคู่ เกิดการแทรกสอดบนฉากซึ่งห่างออกไป 1.00 m ปรากฏระยะห่างระหว่างแฉบสว่างที่อยู่ติดกันเท่ากับ 6.00 mm กึ่งกลางระหว่างช่องสลิตทั้งสองห่างกันเท่าใด?

Answer : 0.100 mm

Problem 18.11

แสงความยาวคลื่น λ ตกตั้งฉากกับสลิตคู่ เกิดการแทรกสอดบนฉากซึ่งห่างออกไป L ถ้าที่กลางช่องสลิตอยู่ห่างกันเป็นระยะ d แถบมืดและแถบสว่างที่ติดกันจะมีระยะห่างเท่าใด?

$$\text{Answer : } \frac{\lambda L}{2d}$$

Problem 18.12

ยิงแสงสองความยาวคลื่นตกตั้งฉากกับสลิตคู่ ปรากฏว่าริ้วการแทรกสอดแบบเสริมลำดับที่สอง ของความยาวคลื่น 600 nm ซ้อนพอดีกับริ้วการแทรกสอดแบบเสริมลำดับที่สามของอีกความยาวคลื่น จงหาความยาวคลื่นดังกล่าว?

$$\text{Answer : } 400 \text{ nm}$$

Problem 18.13

ยิงแสงสองความยาวคลื่นตกตั้งฉากกับสลิตคู่ ปรากฏว่าแถบมืดลำดับที่ 4 ของแสงความยาวคลื่น λ_1 เกิดที่เดียวกับแถบมืดลำดับที่ 5 ของแสงความยาวคลื่น λ_2 พอดี จงหา $\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$?

Answer : $\frac{9}{7}$

Problem 18.14

ในการทดลองสลิตคู่ของยัง ถ้าต้องการให้จำนวนแถบสว่างบนฉากเพิ่มขึ้น ควรทำอย่างไร?

Answer : เพิ่มระยะห่างระหว่างช่องสลิตคู่ และลดความยาวคลื่นในการทดลอง

Problem 18.15

ในการทดลองสลิตคู่ของยัง แสงสีใดเมื่อผ่านสลิตคู่จะเกิดการแทรกสอดลำดับที่หนึ่ง ห่างจากแถบสว่างกลางมากที่สุด

Answer : แสงสีแดง

Problem 18.16

ในการทดลองสลิตคู่ของยัง ยิงแสงใสสลิตคู่อันแรกกับอันที่สอง ปรากฏแถบสว่างลำดับที่หนึ่งจากสลิตคู่อันแรกตรงกับแถบสว่างลำดับที่สองของสลิตคู่อันที่สองพอดี ถ้าสลิตคู่อันแรกมีระยะห่างระหว่างกึ่งกลางสลิตเท่ากับ $200\text{ }\mu\text{m}$ ระยะห่างระหว่างกึ่งกลางสลิตอันที่สองจะเป็นเท่าใด?

Answer : $400\text{ }\mu\text{m}$

Problem 18.17

ในการทดลองสลิตคู่ของยัง ยิงแสงอัตราเร็ว $3.0 \times 10^8\text{ m/s}$ และความยาวคลื่น 600 nm ผ่านสลิตคู่ไปแทรกสอด ณ ตำแหน่งหนึ่งบนฉาก ซึ่งเป็นตำแหน่งที่แสงจากช่องสลิตทั้งสองใช้เวลาในการเดินทางต่างกัน $4.0 \times 10^{-15}\text{ s}$ การแทรกสอดดังกล่าวเป็นการแทรกสอดแบบใด และเป็นการแทรกสอดลำดับเท่าใด?

Answer : เป็นการแทรกสอดแบบเสริมในลำดับที่ 2

Problem 18.18 Challenge

แหล่งกำเนิดแสงความยาวคลื่น 430 nm และ 510 nm ยิงแสงผ่านสลิตคู่ซึ่งช่องสลิตทั้งสองอยู่ห่างกัน 0.0250 mm และอยู่ห่างจากฉาก 1.50 m จงหา

- ระยะห่างระหว่างแถบสว่างลำดับที่สามที่เกิดจากแต่ละความยาวคลื่น?
- ตำแหน่งที่แถบสว่างทั้งสองความยาวคลื่นซ้อนกันพอดี?

Answer : a) 1.44 cm and b) $m_{430 \text{ nm}} = 51$ and $m_{510 \text{ nm}} = 43$

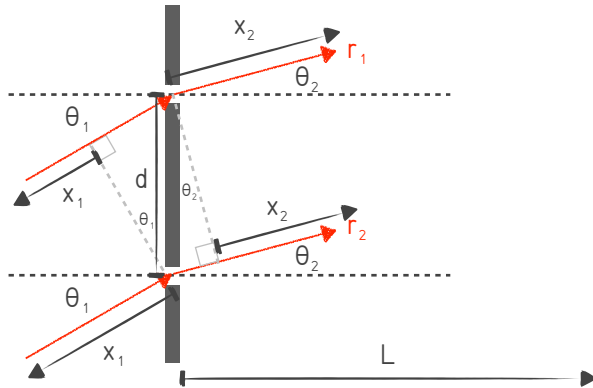
Problem 18.19 Challenge

ทดลองฉายแสงโซเดียมที่มีความยาวคลื่น 588 nm ไปยังช่องแคบคู่จะเกิดการแทรกสอดแบบเสริม ซึ่งแถบสว่างแต่ละแถบห่างกันทำมุม 1.2° ถ้าทดลองการแทรกสอดของแสงนี้ในน้ำซึ่งมีดัชนีหักเหเท่ากับ 1.33 แถบสว่างแต่ละแถบจะอยู่ห่างกันเป็นมุมเท่าใด (ที่มุมน้อยๆ $\sin\theta \approx \theta$)?

Answer : 0.90°

Problem 18.20 Challenge

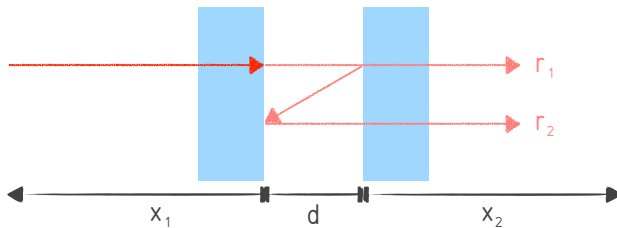
ลำแสงขนานความยาวคลื่น λ ตกกระทบบนช่องแคบคู่ซึ่งอยู่ห่างกัน d ทำมุม θ_1 โดยมีการแทรกสอดแบบเสริมเกิดขึ้นที่มุม θ_2 บนฉากที่ห่างออกไปเป็นระยะ L ดังรูปด้านล่าง จงหาเงื่อนไขสำหรับการแทรกสอดแบบเสริมในเทอมของ λ , d , θ_1 และ θ_2 ?



Answer : $d|\sin\theta_2 - \sin\theta_1| = m\lambda$

Problem 18.21 Challenge

ลำแสงความยาวคลื่น 580 nm ถูกยิงผ่านกระจกสองแผ่น (ดรรชนีหักเหของกระจกมากกว่าอากาศ) ซึ่งวางห่างกันเป็นระยะ d ซึ่งมีค่าน้อยมากๆ ดังรูปด้านล่าง จงหา ระยะ d ที่น้อยที่สุดที่ไม่เท่ากับศูนย์ซึ่งทำให้แสงที่ส่งผ่านเกิดการแทรกสอดเป็นแถบสว่าง?



Answer : 290 nm

การกระจายตัวของความเข้มแสงของสลิตคู่ (Intensity Distribution of the Double-Slit) [Additional]

พิจารณาการแทรกสอดของแสงจากช่องแคบคู่ โดยขณะที่แสงทั้งสองมาถึงฉากได้มีเฟสต่างกันอยู่ $\Delta\phi$ เพื่อความสะดวก เราจะกำหนดให้แสงจากช่องแคบที่หนึ่งมีฟังก์ชันสนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งฉาก คือ $E_1 = E_0 \sin(\omega t)$ และแสงจากช่องแคบที่สองมีฟังก์ชันสนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งฉาก คือ $E_2 = E_0 \sin(\omega t + \Delta\phi)$

$$\begin{aligned}
 \text{จาก } E &= E_1 + E_2 \\
 E &= E_0 \sin(\omega t) + E_0 \sin(\omega t + \Delta\phi) \\
 E &= E_0 \left[2 \sin\left(\frac{\omega t + \omega t + \Delta\phi}{2}\right) \cos\left(\frac{\omega t - (\omega t + \Delta\phi)}{2}\right) \right] \\
 E &= 2E_0 \sin\left(\omega t + \frac{\Delta\phi}{2}\right) \cos\left(-\frac{\Delta\phi}{2}\right) \\
 E &= 2E_0 \sin\left(\omega t + \frac{\Delta\phi}{2}\right) \cos\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) \\
 E &= 2E_0 \cos\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) \sin\left(\omega t + \frac{\Delta\phi}{2}\right) \\
 E &= E_{\max} \sin\left(\omega t + \frac{\Delta\phi}{2}\right) \quad ; \quad E_{\max} = 2E_0 \cos\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{จาก } I &= \frac{1}{\mu_0} E_{\text{rms}} B_{\text{rms}} \\
 I &= \frac{1}{\mu_0} E_{\text{rms}} \left(\frac{1}{c} E_{\text{rms}} \right) \\
 I &= \frac{1}{\mu_0 c} E_{\text{rms}}^2 \\
 I &= \frac{1}{\mu_0 c} \left(\frac{1}{\sqrt{2}} E_{\max} \right)^2
 \end{aligned}$$

แสงเชิงคลื่น (Wave Optics)

$$I = \frac{1}{2\mu_0 c} E_{\max}^2$$

กำหนดให้ $k = \frac{1}{2\mu_0 c}$ จะได้ $I \propto E_{\max}^2$

ดังนั้น $I = k E_{\max}^2$

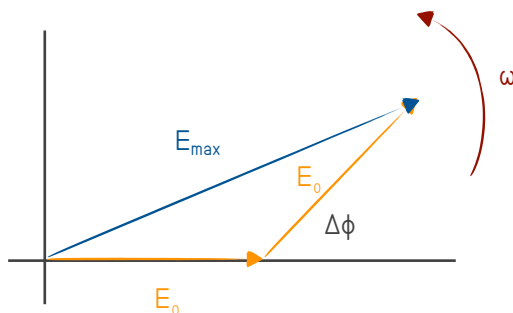
$$I = k(2E_0 \cos(\frac{\Delta\phi}{2}))^2$$

$$I = 4kE_0^2 \cos^2(\frac{\Delta\phi}{2})$$

$$I = I_{\max} \cos^2(\frac{\Delta\phi}{2}) \quad ; \quad I_{\max} = 4kE_0^2$$

พิจารณาโดยใช้แผนภาพเฟเซอร์ (Phasor Diagram)

จาก $E_1 = E_0 \sin(\omega t)$, $E_2 = E_0 \sin(\omega t + \Delta\phi)$ และ $E = E_1 + E_2$
สามารถเขียนเป็นแผนภาพเฟเซอร์ได้ดังรูปด้านล่าง



แสงเชิงคลื่น (Wave Optics)

จะได้

$$E_{\max}^2 = (E_0 + E_0 \cos \Delta\phi)^2 + (E_0 \sin \Delta\phi)^2$$

$$E_{\max}^2 = E_0^2 + 2E_0^2 \cos \Delta\phi + E_0^2 \cos^2 \Delta\phi + E_0^2 \sin^2 \Delta\phi$$

$$E_{\max}^2 = E_0^2 + 2E_0^2 \cos \Delta\phi + E_0^2$$

$$E_{\max}^2 = 2E_0^2 + 2E_0^2 \cos \Delta\phi$$

$$E_{\max}^2 = 2E_0^2 (1 + \cos \Delta\phi)$$

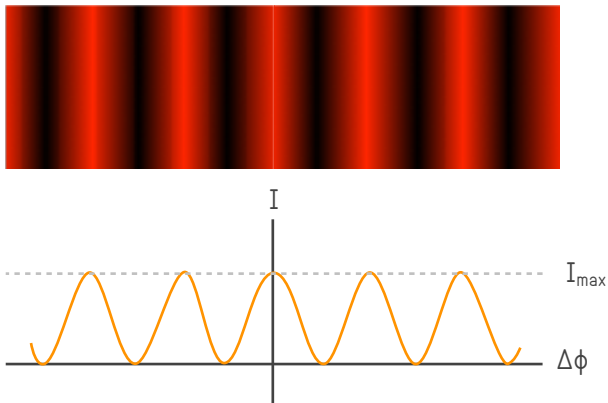
$$E_{\max}^2 = 2E_0^2 \left(2 \cos^2 \left(\frac{\Delta\phi}{2} \right) \right) \quad ; \quad \cos^2 \theta = \frac{1 + \cos 2\theta}{2}$$

$$E_{\max}^2 = 4E_0^2 \cos^2 \left(\frac{\Delta\phi}{2} \right)$$

$$kE_{\max}^2 = 4kE_0^2 \cos^2 \left(\frac{\Delta\phi}{2} \right)$$

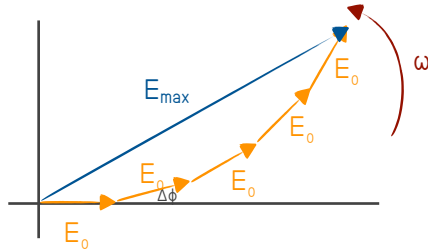
$$I = I_{\max} \cos^2 \left(\frac{\Delta\phi}{2} \right) \quad ; \quad I_{\max} = 4kE_0^2$$

จะได้กราฟความเข้มแสงของการแทรกสอด ดังรูปด้านล่าง

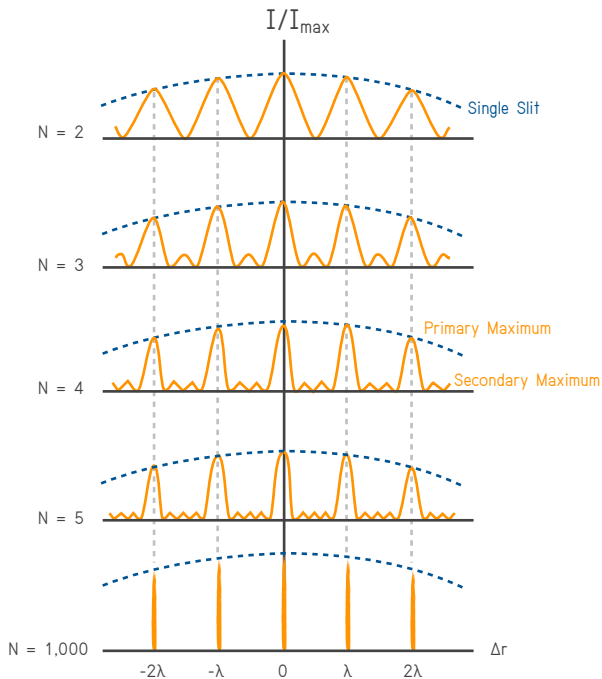


แสงเชิงคลื่น (Wave Optics)

ในกรณีที่มีช่องแคบหลายๆ ช่อง เราสามารถหาความเข้มจากแทรกสอดได้
จาก $I \propto E_{\max}^2$ โดยหา $E_{\max}$ ได้จากแผนภาพเฟเซอร์ ดังรูปด้านล่าง



รูปแบบการแทรกสอดในกรณีที่มีจำนวนช่องแคบ N ช่อง





ความเข้มแสงในการทดลองช่องแคบคู่ของยัง

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

I คือ ความเข้มของการแทรกสอดที่ความต่างเฟส $\Delta\phi$

$I_{\max}$ คือ ความเข้มสูงสุดของการแทรกสอด

$\Delta\phi$ คือ ความต่างเฟส ณ ตำแหน่งที่พิจารณา

Problem 18.22 Challenge

การวัดการกระจายความเข้มของแถบสว่างกลางจากการแทรกสอดผ่านช่องแคบคู่ของแสงความยาวคลื่น 600 nm ที่ตำแหน่งเหนือจากแนวกึ่งกลางระหว่างช่องแคบทั้งสอง พบว่า $I/I_{\max} = 0.81$ จงหาว่าต้องฉายแสงด้วยความยาวคลื่นเท่าใดจึงจะได้ $I/I_{\max}$ ที่ตำแหน่งเดียวกันเป็น 0.64?

Answer : 421 nm

Problem 18.23 Challenge

ณ ตำแหน่งหนึ่งบนฉากซึ่งรับรู้การแทรกสอดผ่านช่องแคบคู่ พบว่ามีความเข้มแสงเป็น 64% ของความเข้มแสงสูงสุด จงหา

- ความต่างเฟสของคลื่นสองขบวนในหน่วยเรเดียน?
- ความต่างของระยะทางของคลื่นสองขบวนเมื่อความยาวคลื่น เท่ากับ 486 nm?

Answer : a) 1.29 rad and b) 99.8 nm

Problem 18.24 Challenge

ในการทดลองช่องแคบคู่ของยัง หากช่องแคบ S_1 มีความกว้างเป็นสองเท่าของช่องแคบ S_2 ซึ่งส่งผลให้แสงที่ผ่านช่อง S_1 มีแอมพลิจูดของสนามไฟฟ้าเป็น 3 เท่าของแอมพลิจูดของสนามไฟฟ้าที่ผ่านช่อง S_2 จงหาอัตราส่วน $I/I_{\max}$ ในเทอมของ $\Delta\phi$ ของแสงที่มาถึงฉากที่เกิดการแทรกสอดดังกล่าว?

แสงเชิงคลื่น (Wave Optics)

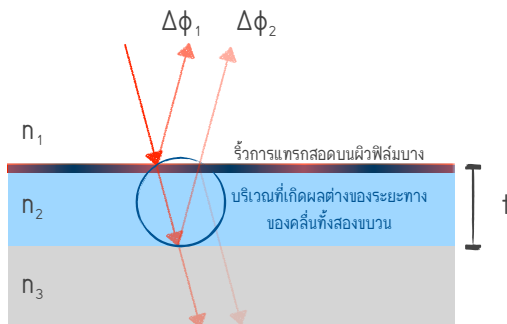
$$\text{Answer : } \frac{5 + 3\cos\Delta\phi}{8}$$

แสงเชิงคลื่น (Wave Optics)

การแทรกสอดในรูปแบบต่างๆ

การแทรกสอดในฟิล์มบาง (Interference in Thin Films)

พิจารณาแสงความยาวคลื่น λ เคลื่อนที่จากตัวกลางดรรชนีหักเห n_1 ไปยังฟิล์มบางซึ่งมีดรรชนีหักเห n_2 และมีความหนา t โดยฟิล์มบางดังกล่าวอยู่บนตัวกลางดรรชนีหักเห n_3 จึงทำแสงเกิดการสะท้อน ณ ตำแหน่งรอยต่อระหว่างตัวกลาง n_1 กับฟิล์มบาง (n_2) ทำให้แสงที่สะท้อนมีเฟสเปลี่ยนไป $\Delta\phi_1$ และแสงบางส่วนได้ส่งผ่านเข้ามายังฟิล์มบาง จึงทำให้เกิดการสะท้อน ณ ตำแหน่งรอยต่อระหว่างฟิล์มบาง (n_2) กับตัวกลาง n_3 ทำให้แสงที่สะท้อนมีเฟสเปลี่ยนไป $\Delta\phi_2$ ส่งผลให้แสงที่สะท้อนจากทั้งสองรอยต่อเกิดการแทรกสอดกันที่ผิวของฟิล์มบาง ดังรูปด้านล่าง



จากรูปด้านบน จะได้ว่าบริเวณที่ทำให้เกิดผลต่างของระยะทางของคลื่นสองขบวนที่มาแทรกสอดกันนั้นเกิดขึ้นในฟิล์มบางดรรชนีหักเห n_2 ดังนั้น ความยาวคลื่นที่ใช้ในการคำนวณจึงต้องใช้ความยาวคลื่นในฟิล์มบาง ซึ่งสามารถหาได้จาก Snell's Law โดยปกติในการทดลองเราจะรู้ความยาวคลื่นของแสงในสุญญากาศ (ประมาณได้ว่าเท่ากับควมยาวคลื่นของแสงในอากาศ) จึงสามารถหาความยาวคลื่นในฟิล์มบางได้จาก $\lambda_2 = \frac{\lambda}{n_2}$

เมื่อการทดลองได้ยิงแสงเข้าไปตั้งฉากกับผิวของฟิล์มบาง ผลต่างของระยะทางของคลื่นสองขบวนที่มาแทรกสอดกัน คือ $\Delta r = 2t$

แสงเชิงคลื่น (Wave Optics)

พิจารณา 4 กรณีที่เป็นไปได้

1) เมื่อ $n_1 > n_2$ และ $n_2 > n_3$

จะได้ $\Delta\phi_1 = 0$ และ $\Delta\phi_2 = 0 \rightarrow$ ดังนั้น $|\Delta\phi_1 - \Delta\phi_2| = 0$ (เฟสตรงกัน)

$$\therefore \Delta r = 2t = \begin{cases} \text{กรณีแถบสว่าง} \\ \pm m\lambda_2 & ; m = 0, 1, 2, \dots \\ \text{กรณีแถบมืด} \\ \pm(m - \frac{1}{2})\lambda_2 & ; m = 1, 2, 3, \dots \end{cases}$$

2) เมื่อ $n_1 > n_2$ และ $n_2 < n_3$

จะได้ $\Delta\phi_1 = 0$ และ $\Delta\phi_2 = \pi \rightarrow$ ดังนั้น $|\Delta\phi_1 - \Delta\phi_2| = \pi$ (เฟสต่างกัน π)

$$\therefore \Delta r = 2t = \begin{cases} \text{กรณีแถบมืด} \\ \pm m\lambda_2 & ; m = 0, 1, 2, \dots \\ \text{กรณีแถบสว่าง} \\ \pm(m - \frac{1}{2})\lambda_2 & ; m = 1, 2, 3, \dots \end{cases}$$

3) เมื่อ $n_1 < n_2$ และ $n_2 > n_3$

จะได้ $\Delta\phi_1 = \pi$ และ $\Delta\phi_2 = 0 \rightarrow |\Delta\phi_1 - \Delta\phi_2| = \pi$ (เฟสต่างกัน π)

$$\therefore \Delta r = 2t = \begin{cases} \text{กรณีแถบมืด} \\ \pm m\lambda_2 & ; m = 0, 1, 2, \dots \\ \text{กรณีแถบสว่าง} \\ \pm(m - \frac{1}{2})\lambda_2 & ; m = 1, 2, 3, \dots \end{cases}$$

4) เมื่อ $n_1 < n_2$ และ $n_2 < n_3$

จะได้ $\Delta\phi_1 = \pi$ และ $\Delta\phi_2 = \pi \rightarrow$ ดังนั้น $|\Delta\phi_1 - \Delta\phi_2| = 0$ (เฟสตรงกัน)

$$\therefore \Delta r = 2t = \begin{cases} \text{กรณีแถบสว่าง} \\ \pm m\lambda_2 & ; m = 0, 1, 2, \dots \\ \text{กรณีแถบมืด} \\ \pm(m - \frac{1}{2})\lambda_2 & ; m = 1, 2, 3, \dots \end{cases}$$



การแทรกสอดในฟิล์มบาง (Interference in Thin Films)

1) ความยาวคลื่นที่ใช้ในการคำนวณ คือ ความยาวคลื่นในฟิล์มบาง
เมื่อรู้ความยาวคลื่นในสุญญากาศ (ในอากาศ) จะได้ความยาวคลื่นในฟิล์มบางเป็น

$$\lambda_2 = \frac{\lambda}{n_2}$$

2) ผลต่างของระยะทางของคลื่นสองขบวนที่มาแทรกสอดกัน คือ

$$\Delta r = 2t$$

3) พิจารณาการเปลี่ยนเฟสของการสะท้อนทั้งสองรอยต่อ

ถ้าการสะท้อนทั้งสองรอยต่อมีเฟสตรงกัน

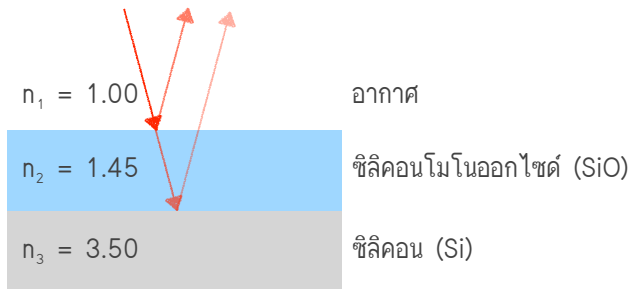
$$\text{จะได้ } \Delta r = 2t = \begin{cases} \text{กรณีแถบสว่าง} \\ \pm m\lambda_2 & ; m = 0, 1, 2, \dots \\ \text{กรณีแถบมืด} \\ \pm(m - \frac{1}{2})\lambda_2 & ; m = 1, 2, 3, \dots \end{cases}$$

ถ้าการสะท้อนทั้งสองรอยต่อมีเฟสต่างกัน π

$$\text{จะได้ } \Delta r = 2t = \begin{cases} \text{กรณีแถบมืด} \\ \pm m\lambda_2 & ; m = 0, 1, 2, \dots \\ \text{กรณีแถบสว่าง} \\ \pm(m - \frac{1}{2})\lambda_2 & ; m = 1, 2, 3, \dots \end{cases}$$

Problem 18.25 Challenge

แผงโซลาร์เซลล์เคลือบด้วยซิลิคอนโมโนออกไซด์ (SiO) ซึ่งมีดรรชนีหักเหเท่ากับ 1.45 โดยเคลือบบนแผ่นซิลิคอน (Si) ซึ่งมีดรรชนีหักเห เท่ากับ 3.50 ดังรูปด้านล่าง จงหาความหนาที่น้อยที่สุดของซิลิคอนโมโนออกไซด์ ที่ทำให้แสงความยาวคลื่น 550 nm สะท้อนออกมาอย่างน้อยที่สุด?



Answer : 94.8 nm

Problem 18.26 Challenge

จงหาความยาวคลื่นของแสงในช่วงที่ตามองเห็น (400 - 700 nm) ที่ตกกระทบฟิล์มสบู่ซึ่งมีดัชนีหักเห 1.33 และมีความหนา 100 nm แล้วเกิดการแทรกสอดแบบเสริมของคลื่นที่สะท้อน?

Answer : 532 nm

Problem 18.27 Challenge

ฟิล์มบางชนิดหนึ่งมีดัชนีหักเหเท่ากับ 1.30 ใช้กับแสงความยาวคลื่น 550 nm จงหาความหนาของฟิล์มที่บางที่สุดเมื่อนำฟิล์มนี้ไปเคลือบกระจกใสซึ่งมีดัชนีหักเหเท่ากับ 1.52 แล้วทำให้ไม่เกิดการสะท้อนในแนวตั้งฉาก?

Answer : 106 nm

Problem 18.28 Challenge

น้ำมันบางๆ ครอบคลุมที่หักเหเท่ากับ 1.20 อยู่บนแผ่นซิลิกาหนาซึ่งมีดัชนีหักเหเท่ากับ 1.45 พบว่าเมื่อยิงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความยาวคลื่น 480 nm ตกกระทบตั้งฉากผิวน้ำมันดังกล่าว จะเกิดการแทรกสอดแบบเสริม แต่หากยิงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความยาวคลื่น 960 nm จะเกิดการแทรกสอดแบบหักล้าง จงหาความหนาของชั้นน้ำมันดังกล่าว?

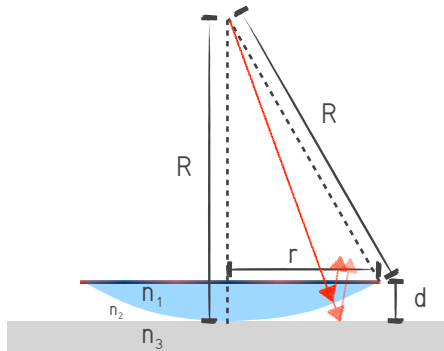
แสงเชิงคลื่น (Wave Optics)

$$\text{Answer : } t = (m - \frac{1}{2})400 \text{ nm} \quad ; m = 1, 2, 3, \dots$$

แสงเชิงคลื่น (Wave Optics)

วงแหวนของนิวตัน (Newton's Ring)

พิจารณาเลนส์นูนครึ่งซีกที่มีรัศมีความโค้งมากๆ R วางอยู่บนแท่งแก้วเรียบครึ่งซีกที่มีดัชนีหักเห n_3 ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเลนส์นูนกับแท่งแก้ว โดยตัวกลางระหว่างเลนส์นูนกับแท่งแก้วมีดัชนีหักเหเป็น n_2 ดังรูปด้านล่าง



ความยาวคลื่นที่ใช้ในการคำนวณ คือ ความยาวคลื่นในตัวกลางระหว่างเลนส์นูนกับแท่งแก้วซึ่งมีดัชนีหักเหเป็น n_2 เมื่อรู้ความยาวคลื่นในสุญญากาศ (ในอากาศ) จะได้ความยาวคลื่นในตัวกลางดัชนีหักเห n_2 คือ

$$\lambda_2 = \frac{\lambda}{n_2}$$

พิจารณาเพื่อหาผลต่างของระยะทางของคลื่นสองขบวนที่มาแทรกสอดกันจากรูปด้านบน จะได้

$$R^2 = r^2 + (R - d)^2$$

$$R^2 = r^2 + R^2 - 2Rd + d^2$$

$$2Rd = r^2 + d^2$$

แสงเชิงคลื่น (Wave Optics)

เมื่อ R มีค่ามากๆ เทอม d^2 จะมีค่าน้อยกว่าเทอม r^2 และ $2Rd$ มากๆ
จะได้

$$2Rd \approx r^2$$

$$d \approx \frac{r^2}{2R}$$

ผลต่างของระยะทางของคลื่นสองขบวนที่มาแทรกสอดกัน คือ

$$\Delta r \approx 2d$$

$$\Delta r \approx 2\left(\frac{r^2}{2R}\right)$$

$$\Delta r \approx \frac{r^2}{R}$$

พิจารณาการเปลี่ยนเฟสของการสะท้อนทั้งสองรอยต่อ (ระหว่างเลนส์กับ
ตัวกลางดรรชนีหักเห n_2 และ ระหว่างตัวกลางดรรชนีหักเห n_2 กับแท่งแก้ว)
ถ้าการสะท้อนทั้งสองรอยต่อมีเฟสตรงกัน

$$\text{จะได้ } \Delta r \approx \frac{r^2}{R} = \begin{cases} \text{กรณีแถบสว่าง} \\ \pm m\lambda_2 & ; m = 0, 1, 2, \dots \\ \text{กรณีแถบมืด} \\ \pm(m - \frac{1}{2})\lambda_2 & ; m = 1, 2, 3, \dots \end{cases}$$

ถ้าการสะท้อนทั้งสองรอยต่อมีเฟสต่างกัน π

$$\text{จะได้ } \Delta r \approx \frac{r^2}{R} = \begin{cases} \text{กรณีแถบมืด} \\ \pm m\lambda_2 & ; m = 0, 1, 2, \dots \\ \text{กรณีแถบสว่าง} \\ \pm(m - \frac{1}{2})\lambda_2 & ; m = 1, 2, 3, \dots \end{cases}$$





วงแหวนของนิวตัน (Newton's Ring)

1) ความยาวคลื่นที่ใช้ในการคำนวณ คือ ความยาวคลื่นในตัวกลางระหว่างเลนส์นูนกับแท่งแก้วซึ่งมีดรรชนีหักเหเป็น n_2 เมื่อรู้ความยาวคลื่นในสุญญากาศ (ในอากาศ) จะได้ความยาวคลื่นในตัวกลางดรรชนีหักเห n_2 คือ

$$\lambda_2 = \frac{\lambda}{n_2}$$

2) ผลต่างของระยะทางของคลื่นสองขบวนที่มาแทรกสอดกัน คือ

$$\Delta r \approx \frac{r^2}{R}$$

3) พิจารณาการเปลี่ยนเฟสของการสะท้อนทั้งสองรอยต่อ (ระหว่างเลนส์นูนกับตัวกลางดรรชนีหักเห n_2 และ ระหว่างตัวกลางดรรชนีหักเห n_2 กับแท่งแก้ว) ถ้าการสะท้อนทั้งสองรอยต่อมีเฟสตรงกัน

$$\text{จะได้ } \Delta r \approx \frac{r^2}{R} = \begin{cases} \text{กรณีแถบสว่าง} \\ \pm m\lambda_2 & ; m = 0, 1, 2, \dots \\ \text{กรณีแถบมืด} \\ \pm(m - \frac{1}{2})\lambda_2 & ; m = 1, 2, 3, \dots \end{cases}$$

ถ้าการสะท้อนทั้งสองรอยต่อมีเฟสต่างกัน π

$$\text{จะได้ } \Delta r \approx \frac{r^2}{R} = \begin{cases} \text{กรณีแถบมืด} \\ \pm m\lambda_2 & ; m = 0, 1, 2, \dots \\ \text{กรณีแถบสว่าง} \\ \pm(m - \frac{1}{2})\lambda_2 & ; m = 1, 2, 3, \dots \end{cases}$$

Problem 18.29 Challenge

การทดลองวงแหวนของนิวตันได้ใช้เลนส์นูนรัศมีความโค้ง 5.00 m โดยตัวกลางซึ่งอยู่ระหว่างเลนส์นูนกับแท่งแก้ว คือ อากาศ ซึ่งมีดัชนีหักเหต่ำกว่าเลนส์และแท่งแก้ว ถ้ารั้วการแทรกสอดของริ้วสว่างวงแรกมีรัศมี 1.00 mm จงหาความยาวคลื่นที่ใช้ในการทดลองดังกล่าว?

Answer : 400 nm

Problem 18.30 Challenge

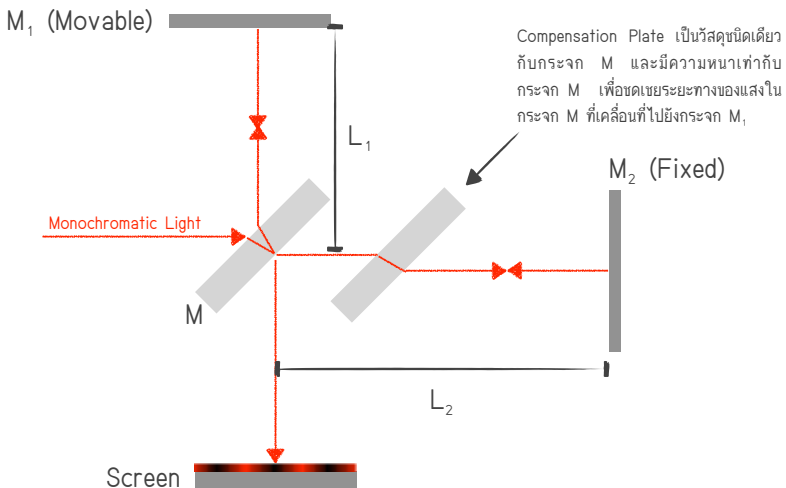
การทดลองวงแหวนของนิวตันได้ใช้แสงความยาวคลื่น 550 nm โดยเลนส์นูนมี
ดัชนีหักเหเท่ากับ 1.50 แท่งแก้วมีดัชนีหักเหเท่ากับ 1.80 ของเหลวที่อยู่
ระหว่างเลนส์นูนกับแท่งแก้วมีดัชนีหักเหเท่ากับ 1.75 ทำการวัดรัศมีรี้วสว่างวงแรก
มีรัศมี 5.5 mm จงหารัศมีความโค้งของเลนส์นูนดังกล่าว?

Answer : 96 m

แสงเชิงคลื่น (Wave Optics)

ไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ (The Michelson Interferometer)

พิจารณาแสง Monochromatic ที่ยิงตกกระทบกระจก M ซึ่งสะท้อนแสง 50% ทำให้มีแสงบางส่วนสะท้อนไปยังกระจก M_1 ซึ่งอยู่ห่างจากกระจก M เป็นระยะ L_1 และมีแสงบางส่วนทะลุผ่านไปยังกระจก M_2 ซึ่งอยู่ห่างจากกระจก M เป็นระยะ L_2 หลังจากนั้นแสงทั้งสองเส้นทางได้สะท้อนกลับมาแทรกสอดกันบนฉาก ดังรูปด้านล่าง



การสะท้อนที่กระจก M จะทำให้เฟสเปลี่ยนไป π และการสะท้อนที่กระจก M_1 จะทำให้เฟสเปลี่ยนไปอีก π แสงในแขนที่ 1 จึงมีเฟสเปลี่ยนรวมเป็น 2π

การทะลุผ่านกระจก M ไม่ทำให้เฟสเปลี่ยน แต่การสะท้อนที่กระจก M_2 จะทำให้เฟสเปลี่ยนไปอีก π และการสะท้อนที่กระจก M จะทำให้เฟสเปลี่ยนไปอีก π แสงในแขนที่ 2 จึงมีเฟสเปลี่ยนรวมเป็น 2π

ดังนั้น เฟสของคลื่นทั้งสองขบวนจึงตรงกัน และผลต่างของระยะทางของคลื่นทั้งสอง ณ ตำแหน่งกลางฉาก หาได้จาก

$$\Delta r = 2|L_1 - L_2|$$

แสงเชิงคลื่น (Wave Optics)

ถ้าเดิม $L_1 = L_2$ จะทำให้จุดตรงกลางฉากเป็นแถบสว่าง

$$\therefore \Delta r = 2|L_1 - L_2| = m\lambda$$

เมื่อ m คือ เลขที่บอกถึงการเลื่อนของริ้วการแทรกสอด

กรณีที่ m เป็นจำนวนเต็ม (0, 1, 2, 3, ...) คือ การที่ริ้วการแทรกสอดของแถบสว่างเลื่อนมาอยู่ตรงกลางฉากพอดี

กรณีที่ m เป็นจำนวนครึ่ง (0.5, 1.5, 2.5, ...) คือ การที่ริ้วการแทรกสอดของแถบมืดเลื่อนมาอยู่ตรงกลางฉากพอดี



ไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ (The Michelson Interferometer)

$$\Delta r = 2|L_1 - L_2| = m\lambda$$

L_1 คือ ระยะห่างระหว่างกระจก M กับกระจก M_1

L_2 คือ ระยะห่างระหว่างกระจก M กับกระจก M_2

λ คือ ความยาวคลื่นที่ใช้ในการทดลอง

m คือ เลขที่บอกถึงการเลื่อนของริ้วการแทรกสอด

กรณีที่ m เป็นจำนวนเต็ม (0, 1, 2, 3, ...) คือ การที่ริ้วการแทรกสอดของแถบสว่างเลื่อนมาอยู่ตรงกลางฉากพอดี

กรณีที่ m เป็นจำนวนครึ่ง (0.5, 1.5, 2.5, ...) คือ การที่ริ้วการแทรกสอดของแถบมืดเลื่อนมาอยู่ตรงกลางฉากพอดี

Problem 18.31 Challenge

ในการทดลอง The Michelson Interferometer ใช้แสงความยาวคลื่น 630 nm ได้มีการขยับกระจก M_1 จนแถบสว่างกลางเลื่อนตำแหน่งไปทับตำแหน่งของแถบสว่างถัดไปพอดี จงหาว่ากระจก M_1 ถูกขยับเลื่อนไปเป็นระยะเท่าใด?

Answer : 315 nm

Problem 18.32 Challenge

ในการทดลอง The Michelson Interferometer ใช้แสงความยาวคลื่น 600 nm ถ้าระยะห่างระหว่างกระจก M กับ M_1 มีขนาดเท่ากับระยะห่างระหว่างกระจก M กับ M_2 และในขณะที่ทำการทดลองได้นำกระจก Compensation Plate ซึ่งหนาเท่ากับกระจก M ออก ส่งผลให้รู้ว่าการแทรกสอดแถบมืดที่ 1 ขยับมาแทนที่ริ้วสว่างตรงกลางได้พอดี จงหาว่ากระจก M มีความหนาประมาณเท่าใด?

18 - 40

แสงเชิงคลื่น (Wave Optics)

Answer : 150 nm

Pinfist : มีรายณศึษาตอนปลาย และอดุมศึษา

แสงเชิงคลื่น (Wave Optics)

หอสังเกตการณ์คลื่นความโน้มถ่วงแบบเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ (Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory ; LIGO)

LIGO เป็นโครงการวิจัยขนาดใหญ่ที่ใช้เลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์เพื่อตรวจจับคลื่นความโน้มถ่วงที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของแรงโน้มถ่วงในจักรวาล ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งในการศึกษาจักรวาล เนื่องจากคลื่นความโน้มถ่วงเป็นข้อมูลที่สามารถบอกเกี่ยวกับต้นกำเนิดของจักรวาลและปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นได้นอกเหนือจากการสังเกตด้วยแสง หรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

LIGO ประกอบด้วยเครื่องตรวจจับสองเครื่องที่ตั้งอยู่ในสหรัฐอเมริกา คือที่ Hanford, Washington และ Livingston, Louisiana. เครื่องตรวจจับเหล่านี้ประกอบด้วยท่อสุญญากาศยาว 4 กิโลเมตร วางทำมุมจากกันเป็นรูปตัว L เมื่อคลื่นความโน้มถ่วงเคลื่อนที่ผ่านเครื่องตรวจจับ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระยะทางระหว่างกระจกปลายท่อ ซึ่งสามารถตรวจจับได้ด้วยแสงเลเซอร์



The Hanford Detector Site



The Livingston Detector Site



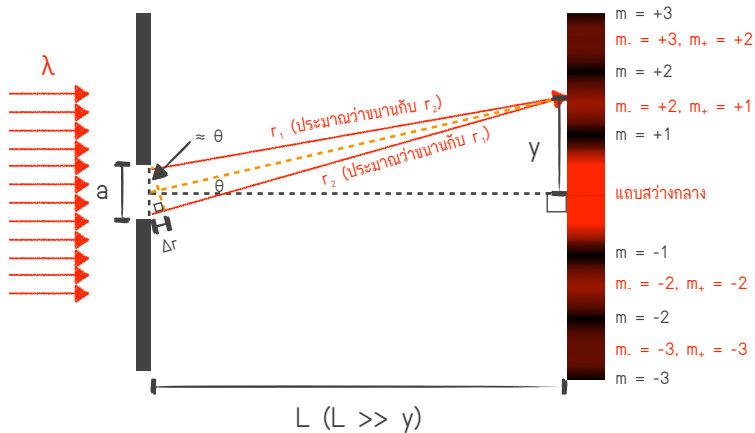
Virgo

รูปภาพจาก : www.ligo.caltech.edu

ห้องปฏิบัติการ Virgo เป็นห้องปฏิบัติการวิจัยด้านฟิสิกส์โดย European Gravitational Observatory (EGO) ซึ่งเป็นความร่วมมือระหว่างรัฐบาลฝรั่งเศสและอิตาลี ตั้งอยู่ที่เมือง Cascina ในประเทศอิตาลี มีบทบาทสำคัญในการตรวจจับคลื่นความโน้มถ่วงร่วมกับ LIGO ซึ่งเป็นอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์คลื่นความโน้มถ่วงเช่นกัน

การทดลองการเลี้ยวเบนผ่านสลิตเดี่ยว (Single-Slit Diffraction Experiment)

พิจารณาแสง Monochromatic ความยาวคลื่น λ เคลื่อนที่ผ่านช่องสลิตเดี่ยวซึ่งกว้าง a แสงได้เคลื่อนที่ไปตกกระทบบนฉากซึ่งอยู่ห่างจากกึ่งกลางของช่องแคบเดี่ยวกับฉากเป็นระยะ L เกิดเป็นริ้วการเลี้ยวเบนแบบฟรอนโฮเฟอร์ (Fraunhofer Diffraction Pattern) ดังรูปด้านล่าง



เมื่อนำแนวคิดจากการทดลองช่องแคบคู่ของยัง (Young's Double-Slit Experiment) มาพิจารณา

ตำแหน่งแถบมืดลำดับที่ 1 คือ

$$d \sin \theta = \left(1 - \frac{1}{2}\right) \lambda$$

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

แสงเชิงคลื่น (Wave Optics)

เมื่อแบ่งแหล่งกำเนิดออกเป็น 2 จุด จะได้ $d = \frac{a}{2}$

ดังนั้นตำแหน่งแถบมืดลำดับที่ 1 คือ $\frac{a}{2}\sin\theta = \frac{\lambda}{2}$
 $a\sin\theta = \lambda$

เมื่อแบ่งแหล่งกำเนิดออกเป็น 4 จุด จะได้ $d = \frac{a}{4}$

ดังนั้นตำแหน่งแถบมืดลำดับที่ 1 คือ $\frac{a}{4}\sin\theta = \frac{\lambda}{2}$
 $a\sin\theta = 2\lambda$

เมื่อแบ่งแหล่งกำเนิดออกเป็น 6 จุด จะได้ $d = \frac{a}{6}$

ดังนั้นตำแหน่งแถบมืดลำดับที่ 1 คือ $\frac{a}{6}\sin\theta = \frac{\lambda}{2}$
 $a\sin\theta = 3\lambda$

เห็นได้ว่าสมการตำแหน่งของแถบมืดได้เลื่อนจาก $\Delta r = (m - \frac{1}{2})\lambda$
 ไปเป็น $\Delta r = m\lambda$

ดังนั้นสมการตำแหน่งของแถบสว่างจึงเลื่อนจาก $\Delta r = m\lambda$ ไปเป็น
 $\Delta r = (m - \frac{1}{2})\lambda$ เช่นกัน แต่เนื่องจากแถบสว่างลำดับที่ 1 ได้ถูกแถบสว่างกลาง
 กลืนไป แถบสว่างลำดับที่ 1 จึงต้องเริ่มนับจาก $m = 2$ เพื่อความสะดวกในการ
 คำนวณเราจะเปลี่ยนสมการตำแหน่งของแถบสว่างเป็น $\Delta r = \pm(m + \frac{1}{2})\lambda$ โดย
 $m = 1, 2, 3, \dots$ (เครื่องหมาย $\pm$ บอกว่าการเลี้ยวเบนเกิดขึ้นอย่างสมมาตร)



การเลี้ยวเบนผ่านสลิตเดี่ยว

$$\Delta r = a \sin \theta \approx a \tan \theta \approx \frac{ay}{L} = \begin{cases} \text{กรณีแถบมืด} \\ \pm m\lambda & ; m = 1, 2, 3, \dots \\ \text{กรณีแถบสว่าง} \\ \pm(m + \frac{1}{2})\lambda & ; m = 1, 2, 3, \dots \end{cases}$$

Δr คือ ความต่างระยะทางของคลื่นสองขบวนซึ่งเคลื่อนที่จากขอบของสลิตเดี่ยว

a คือ ความกว้างของช่องสลิตเดี่ยว

θ คือ มุมเบนฉากเทียบกับตำแหน่งกลางของสลิตเดี่ยว

y คือ ระยะห่างบนฉากเทียบกับตำแหน่งแถบสว่างกลางบนฉาก

L คือ ระยะห่างระหว่างสลิตเดี่ยวกับฉาก

m คือ ลำดับรั้วการเลี้ยวเบน

λ คือ ความยาวคลื่น

ข้อสังเกต

ความกว้างของแถบสว่างกลางจากการเลี้ยวเบนจะกว้างกว่าแถบสว่างหรือแถบมืดอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด แต่ความกว้างของแถบสว่างกลางจากการแทรกสอดจะกว้างเท่าๆ กับแถบสว่างหรือแถบมืดอื่นๆ

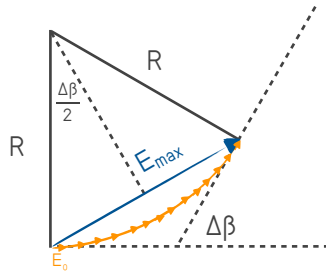
คลื่นที่มีความยาวคลื่นมากกว่า จะเกิดการเลี้ยวเบนได้มากกว่าคลื่นที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า

ขนาดแถบสว่างบนฉากจะกว้างกว่าความกว้างของสลิตเดี่ยว



แสงเชิงคลื่น (Wave Optics)

พิจารณาแผนภาพเฟเซอร์เมื่อมองว่าการเลี้ยวเบนเกิดจากแหล่งกำเนิด N จุด โดย N มีจำนวนมากๆ ดังรูปด้านล่าง



จากรูป จะได้ $\sin\left(\frac{\Delta\beta}{2}\right) = \frac{E_{\max}}{2R}$

$$E_{\max} = 2R \sin\left(\frac{\Delta\beta}{2}\right)$$

$$E_{\max} = 2\left(\frac{NE_0}{\Delta\beta}\right) \sin\left(\frac{\Delta\beta}{2}\right) \quad ; \quad R = \frac{NE_0}{\Delta\beta}$$

$$kE_{\max}^2 = 4k\left(\frac{NE_0}{\Delta\beta}\right)^2 \sin^2\left(\frac{\Delta\beta}{2}\right)$$

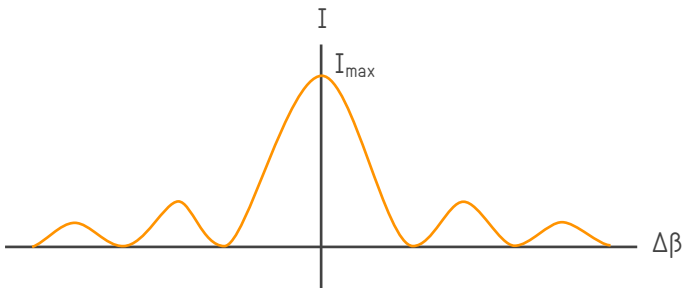
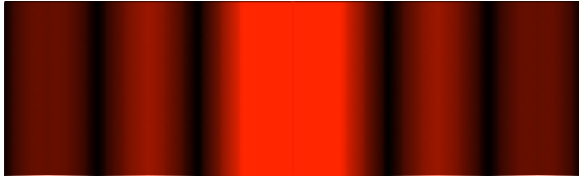
$$I = kN^2E_0^2 \left(\frac{\sin(\Delta\beta/2)}{\Delta\beta/2}\right)^2$$

$$I = I_{\max} \left(\frac{\sin(\Delta\beta/2)}{\Delta\beta/2}\right)^2 \quad ; \quad I_{\max} = kN^2E_0^2$$



แสงเชิงคลื่น (Wave Optics)

จะได้กราฟความเข้มแสงของการเลี้ยวเบนผ่านช่องแคบเดี่ยว ดังรูปด้านล่าง



ความเข้มแสงของการเลี้ยวเบนผ่านช่องแคบเดี่ยว

$$I = I_{\max} \left(\frac{\sin(\Delta\beta/2)}{\Delta\beta/2} \right)^2$$

I คือ ความเข้มของการแทรกสอดที่ความต่างเฟส $\Delta\beta$

$I_{\max}$ คือ ความเข้มสูงสุดของการแทรกสอด

$\Delta\beta$ คือ ความต่างเฟส ณ ตำแหน่งที่พิจารณา ของแสงที่มาจากขอบของช่องแคบเดี่ยว



Problem 18.33

ยิงแสงความยาวคลื่น 500 nm ตกตั้งฉากสลิตเดี่ยวซึ่งมีความกว้างเท่ากับ $50.0 \text{ }\mu\text{m}$ พบแถบมืดแรกอยู่ห่างจากกึ่งกลางแถบสว่างกลางเท่ากับ 6.0 mm ระยะห่างระหว่างกึ่งกลางสลิตเดี่ยว และกึ่งกลางของแถบสว่างกลางเป็นเท่าใด?

Answer : 60.0 cm

Problem 18.34

ยิงแสงความยาวคลื่น 600 nm ใส่สลิตเดี่ยวกว้าง 0.55 mm ต้องวางฉากห่างจากกึ่งกลางสลิตเท่าใด แถบมืดแรกห่างจากกึ่งกลางของแถบสว่างเป็นระยะ 2.40 mm ?

Answer : 2.2 m

Problem 18.35

ยิงแสงความยาวคลื่น 600 nm ตั้งฉากกับสลิตเดี่ยว ซึ่งฉากห่างออกไป 1.0 m ถ้าแถบมืดสองข้างแถบสว่างกลางห่างกัน 4.0 mm สลิตเดี่ยวดังกล่าวกว้างเท่าใด?

Answer : 0.30 mm

แสงเชิงคลื่น (Wave Optics)

Problem 18.36

ยิงแสงความยาวคลื่น 600 nm ตั้งฉากกับสลิตเดี่ยว ซึ่งฉากห่างออกไป 3.0 m ถ้าแถบมืดสองข้างแถบสว่างกลางห่างกัน 2.0 cm สลิตเดี่ยวดังกล่าวกว้างเท่าใด?

Answer : 0.18 mm

Problem 18.37

ยิงแสงความยาวคลื่น 500 nm ตั้งฉากกับสลิตเดี่ยวกว้าง $20 \text{ }\mu\text{m}$ ซึ่งมีฉากห่างออกไป 1.0 m ความกว้างของแถบสว่างกลางเป็นเท่าใด?

Answer : 5.0 cm

Problem 18.38

ยิงแสงความยาวคลื่น 580 nm ผ่านสลิตเดี่ยวซึ่งมีความกว้าง 0.300 mm โดยมีฉากรับแสงอยู่ห่างออกไป 2.00 m จงหาความกว้างของแถบสว่างกลาง?

Answer : 7.73 mm

Problem 18.39

ยิงแสงความยาวคลื่น 600 nm ตั้งฉากกับสลิตเดี่ยว พบแถบสว่างลำดับที่หนึ่งทำมุมเบนจากแนวระนาบที่กึ่งกลางสลิตกับกึ่งกลางแถบสว่างกลางเป็นมุม 30° ความกว้างของสลิตเดี่ยวเป็นเท่าใด?

Answer : 1.8 μm **Problem 18.40**

ยิงแสงตั้งฉากกับสลิตเดี่ยว พบแถบมืดแรกเบนทำมุม 30° จากแนวกลาง สลิตเดี่ยวกว้างเป็นกี่เท่าของความยาวคลื่นที่ยังใส่สลิตเดียวดังกล่าว?

Answer : 2

Problem 18.41

ยิงแสงความยาวคลื่น 500 nm ผ่านสลิตเดี่ยวกว้าง 50 μm โดยมีฉากรับแสงอยู่ห่างออกไป 1.0 m แถบมืดแรกอยู่ห่างจากแถบมืดลำดับที่สี่เท่าใด?

Answer : 3.0 cm

แสงเชิงคลื่น (Wave Optics)

Problem 18.42

ยิงแสงความยาวคลื่น λ ผ่านสลิตเดี่ยวกว้าง a โดยมีฉากรับแสงอยู่ห่างออกไป L จงหาระยะห่างระหว่างแถบมืดที่อยู่ติดกัน?

$$\text{Answer : } \frac{\lambda L}{a}$$

Problem 18.43

ยิงแสงความยาวคลื่น λ ผ่านสลิตเดี่ยวกว้าง a โดยมีฉากรับแสงอยู่ห่างออกไป L จงหาระยะห่างระหว่างแถบสว่างที่อยู่ติดกัน?

$$\text{Answer : } \frac{\lambda L}{a}$$

Problem 18.44

ต้องการให้รั้วมืดแรกจากการเลี้ยวเบนผ่านสลิตเดี่ยวตรงกับรั้วมืดที่ 5 จากการแทรกสอดของสลิตคู่ ระยะห่างระหว่างกึ่งกลางของสลิตคู่ต้องเป็นกี่เท่าของความกว้างสลิตเดี่ยว?

Answer : $\frac{9}{2}$

Problem 18.45

ต้องการให้รั้วมืดลำดับที่ 2 จากการเลี้ยวเบนผ่านสลิตเดี่ยวตรงกับรั้วมืดลำดับที่ 4 จากการแทรกสอดของสลิตคู่ ระยะห่างระหว่างกึ่งกลางของสลิตคู่ต้องเป็นกี่เท่าของความกว้างสลิตเดี่ยว?

Answer : $\frac{7}{4}$

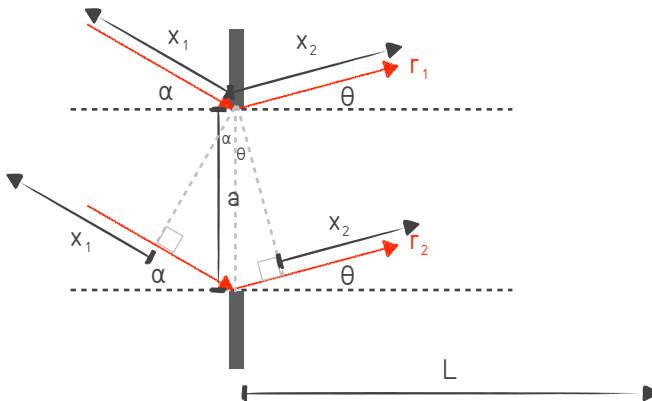
Problem 18.46 Challenge

ยิงแสงความยาวคลื่น 600 nm ตกกระทบบนฉากกับสลิตเดี่ยวซึ่งมีความกว้าง $1.00 \text{ }\mu\text{m}$ แถบมืดลำดับที่ 1 เกิดบนฉากซึ่งห่างออกไป 2.00 m จะอยู่ห่างจากกึ่งกลางของสลิตเดี่ยวเป็นระยะเท่าใด?

Answer : 2.50 m

Problem 18.47 Challenge

เมื่อตกรกระทบตั้งฉากกับสลิตเดี่ยว สมการแสดงตำแหน่งแถบมืด คือ $\sin\theta = \frac{m\lambda}{a}$ เมื่อ $m = 1, 2, 3, \dots$ ถ้าหากแสงตกรกระทบทำมุม α กับแนวตั้งฉากของสลิตเดี่ยว ดังรูปด้านล่าง จงแสดงว่าสมการที่ตำแหน่งของแถบมืด คือ $\sin\theta = \frac{m\lambda}{a} - \sin\alpha$ เมื่อ $m = 1, 2, 3, \dots$



Problem 18.48 Challenge

ยิงแสงความยาวคลื่น 541.6 nm ผ่านช่องแคบเดี่ยวกว้าง 0.400 mm ทำให้เกิด
ริ้วการเลี้ยวเบนบนฉากซึ่งห่างออกไป 120 cm จงหาค่า I/I_{max} ที่ตำแหน่งบน
ฉากรับแสงซึ่งห่างจากแถบสว่างกลางเป็นระยะ 4.10 mm ?

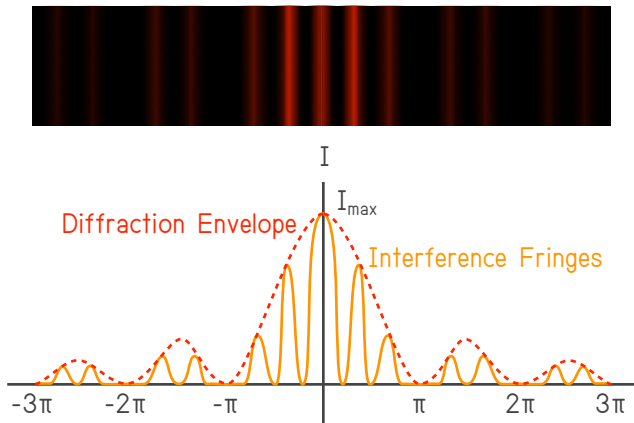
Answer : 0.0158

การเลี้ยวเบนผ่านสลิตคู่ (Intensity of Two-Slit Diffraction Patterns)



การเลี้ยวเบนผ่านสลิตคู่

เมื่อแสง Monochromatic ผ่านช่องสลิตคู่ที่แต่ละช่องกว้าง a และตำแหน่งกึ่งกลางของแต่ละช่องอยู่ห่างกันเป็นระยะ d ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจะประกอบไปด้วยการแทรกสอดและการเลี้ยวเบน โดยการเลี้ยวเบนจะทำหน้าที่เป็นแอมพลิจูดของการแทรกสอด (สามารถคำนวณข้อมูลการแทรกสอดและการเลี้ยวเบนแยกกันได้ แต่ต้องระวังเสมอว่าการเลี้ยวเบนจะทำหน้าที่เป็นแอมพลิจูดของการแทรกสอด) ดังรูปด้านล่าง



สมการความเข้มของปรากฏการณ์ดังกล่าว คือ $I = I_{\max} \left(\frac{\sin(\Delta\beta/2)}{\Delta\beta/2} \right)^2 \cos^2 \left(\frac{\Delta\phi}{2} \right)$

ข้อสังเกต

เมื่อแสงผ่านสลิตคู่ จะเกิดทั้งการเลี้ยวเบนและการแทรกสอดร่วมกัน ทำให้แถบสว่างกลางจะสว่างมากกว่าแถบสว่างด้านข้าง



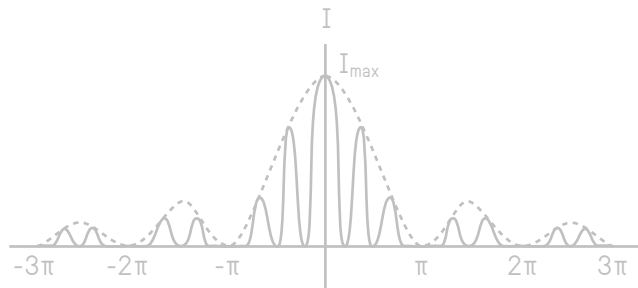
Problem 18.49 Challenge

ยิงแสงความยาวคลื่น 650 nm ผ่านช่องแคบคู่ โดยแต่ละช่องกว้าง $3.00 \text{ }\mu\text{m}$ และระยะห่างระหว่างกึ่งกลางของช่องแคบทั้งสองเท่ากับ $9.00 \text{ }\mu\text{m}$

- จงหาจำนวนแถบสว่างของการแทรกสอดที่อยู่ภายในแถบสว่างกลางของการเลี้ยวเบนที่สามารถมองเห็นได้?
- จงวาดรูปกราฟความเข้มของแสงกับมุมต่างเฟสที่เกิดขึ้น?

แสงเชิงคลื่น (Wave Optics)

Answer : a) 5 แถบ and b)



Problem 18.50 Challenge

ยิงแสงความยาวคลื่น 501.5 nm ตั้งฉากช่องแคบคู่ซึ่งกว้างช่องละ $0.700 \mu\text{m}$ และระยะห่างระหว่างกึ่งกลางของช่องแคบทั้งสองเท่ากับ $2.80 \mu\text{m}$ โดยแสงได้ผ่านช่องแคบคู่ไปยังฉากรังทรงกระบอกที่มีแกนทรงกระบอกอยู่กึ่งกลางระหว่างช่องแคบคู่ดังกล่าวพอดี จงหา

- ตำแหน่งรั้วการแทรกสอดแบบเสริมบนฉากในรูปของมุมเทียบกับแนวกลาง?
- ตำแหน่งรั้วสว่างที่สามารถมองเห็นได้จริงบนฉาก?
- ค่า I/I_{max} ของรั้วสว่างทั้งหมดที่สามารถมองเห็นได้จริงบนฉาก?

แสงเชิงคลื่น (Wave Optics)

แสงเชิงคลื่น (Wave Optics)

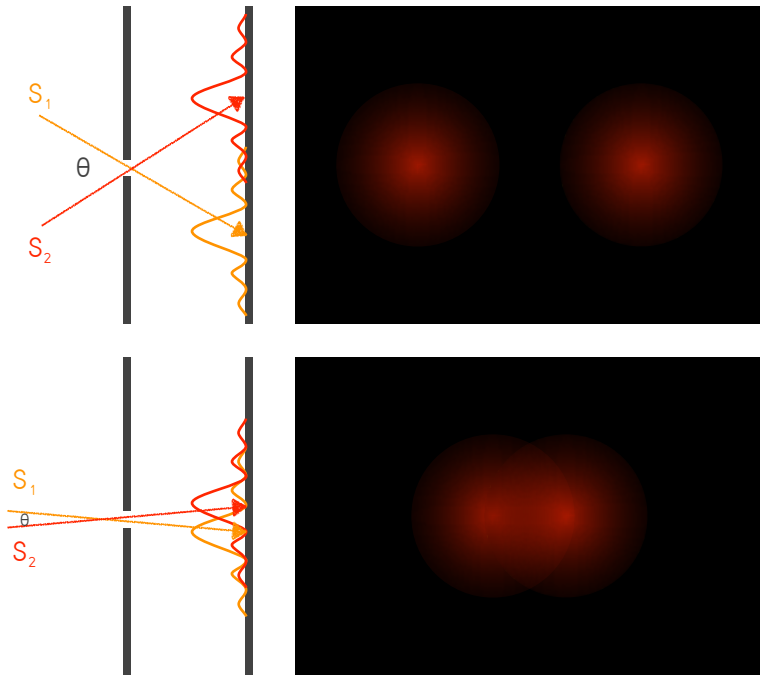
Answer : a) 0° , $\pm 10.3^\circ$, $\pm 21.0^\circ$, $\pm 32.5^\circ$, $\pm 45.8^\circ$ and $\pm 63.6^\circ$

b) 0° , $\pm 10.3^\circ$, $\pm 21.0^\circ$, $\pm 32.5^\circ$ and $\pm 63.6^\circ$

and c) $I/I_{\max, 0^\circ} = 1.00$, $I/I_{\max, \pm 10.3^\circ} = 0.811$, $I/I_{\max, \pm 21.0^\circ} = 0.405$,
 $I/I_{\max, \pm 32.5^\circ} = 0.0901$ and $I/I_{\max, \pm 63.6^\circ} = 0.0324$

กำลังแยกของสลิตเดี่ยวและช่องรับแสงวงกลม (Resolution of Single-Slit and Circular Apertures) [Additional]

พิจารณาการเลี้ยวเบนผ่านช่องแคบเดี่ยวจากแหล่งกำเนิดแสงสองแหล่ง (S_1 และ S_2) ดังรูปด้านล่าง



เงื่อนไขของเรเลย์ (Rayleigh's Criterion) คือ เมื่อแถบสว่างกลางของการเลี้ยวเบนผ่านช่องแคบเดี่ยวจากแหล่งกำเนิดแสงอันหนึ่งตรงกับแถบมืดลำดับที่หนึ่งของแหล่งกำเนิดแสงอีกอันหนึ่งพอดี ภาพที่เกิดขึ้นจะเริ่มแยกไม่ออกว่ามีแหล่งกำเนิดแสงสองแหล่ง จะได้

แสงเชิงคลื่น (Wave Optics)

$$a \sin \theta = (1) \lambda \quad ; m = 1$$

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

เมื่อพิจารณาช่องแคบวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง D สมการจะมีการถูกปรับค่าเป็น

$$\sin \theta = 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

เนื่องจากปรากฏการณ์ดังกล่าวจะเกิดขึ้นที่มุม θ น้อยๆ จึงประมาณได้ว่า

$$\sin \theta \approx \theta \approx 1.22 \frac{\lambda}{D}$$



กำลังแยกของช่องแคบเดี่ยวแบบวงกลม

$$\sin \theta \approx \theta \approx 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

θ คือ มุมมากที่สุดที่เริ่มแยกไม่ออกว่ามีแหล่งกำเนิดแสงสองแหล่ง

λ คือ ความยาวคลื่น

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของช่องแคบเดี่ยว

Problem 18.51 Challenge

หลอดบรรจุแก๊สเรืองแสงหลายสีมีลักษณะแคบและขนานกัน ถูกใช้ในการแสดงชื่อของร้านอาหารแห่งหนึ่ง โดยระยะระหว่างหลอดเท่ากับ 2.80 cm หลอดซึ่งบรรจุแก๊ส นีออนจะเรืองแสงสีแดงความยาวคลื่นประมาณ 640 nm ถูกใช้เป็นตัวอักษรตัวหนึ่ง ส่วนตัวอักษรอีกตัวหนึ่งใช้หลอดที่เรืองแสงสีม่วงความยาวคลื่นประมาณ 440 nm ถ้าตาของผู้สังเกตมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5.20 mm จงหาระยะไกลสุดที่ผู้สังเกตสามารถแยกหลอดไฟเรืองแสงแต่ละสีได้?

แสงเชิงคลื่น (Wave Optics)

Answer : $L_{640 \text{ nm}} = 186 \text{ m}$ and $L_{440 \text{ nm}} = 271 \text{ m}$

Problem 18.52 Challenge

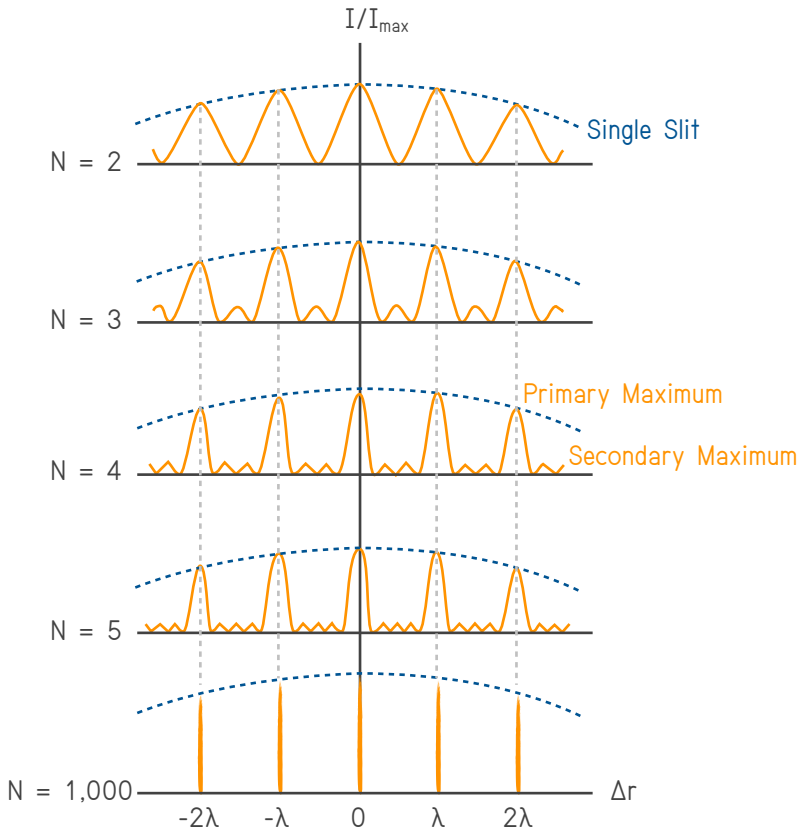
ดาวเทียมสายลับใช้กระจกโค้งเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ประมาณ 5.00 m เพื่อรับสัญญาณภาพในย่านคลื่นแสง ดาวเทียมนี้จะสามารถอ่านตัวอักษรบนเหรียญสิบบาทได้หรือไม่ เมื่อดาวเทียมโคจรห่างจากผิวโลกประมาณ 200 km?

Answer : อ่านตัวอักษรบนเหรียญสิบบาทไม่ได้

เกรตติงเลี้ยวเบน (The Diffraction Grating)

เกรตติง คือ อุปกรณ์ซึ่งมีช่องแคบจำนวนมากๆ โดยแต่ละช่องมีระยะห่างเท่าๆ กัน สิ่งที่เราควรเข้าใจ คือ เกรตติงเลี้ยวเบนแท้จริงแล้วคือการแทรกสอดผ่านช่องแคบโดยที่ช่องแคบมีจำนวนมากๆ การเรียกว่าเป็นการเลี้ยวเบนนั้นจึงไม่ตรงกับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น แต่เป็นการใช้ภาษาที่ฝังรากลึกมาอย่างยาวนานทางฟิสิกส์

รูปแบบการแทรกสอดในกรณีที่จำนวนช่องแคบ N ช่อง



แสงเชิงคลื่น (Wave Optics)

ดังนั้น เราสามารถอธิบายปรากฏการณ์นี้ได้ด้วยสมการการแทรกสอด เมื่อช่องแคบมีจำนวนมากๆ จะยิ่งทำให้แถบสว่างแคบลงมากๆ จนเป็นเส้น ส่วนแถบสว่างทุกติ่งก็มีความเข้มน้อยมากๆ จนแทบมองไม่เห็น เราจึงสนใจเพียงแค่ว่าตำแหน่งของแถบสว่าง เนื่องจากวัดตำแหน่งได้สะดวกและแม่นยำมากกว่าแถบมืดตามสมการเช่นเดียวกับกรณีของช่องแคบคู่ คือ

$$d \sin \theta = m \lambda$$

$$d \frac{y}{L} = m \lambda$$

$$y = \frac{m L \lambda}{d}$$

$$\Delta y = \frac{m L}{d} \Delta \lambda \quad \dots (1)$$

พิจารณากำลังแยกตามเงื่อนไขของเรเลย์ (Rayleigh's Criterion)

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

$$\frac{y}{L} = \frac{\lambda}{d}$$

$$y = \frac{L \lambda}{d}$$

เมื่อพิจารณา Δy ที่เกรตติง N ช่อง จะได้

$$\Delta y \approx \frac{L \lambda}{N d} \quad \dots (2)$$

(2) = (1) จะได้

$$\frac{L \lambda}{N d} = \frac{m L}{d} \Delta \lambda$$

$$\frac{\lambda}{\Delta \lambda} = m N = R$$



เกรตติงเลี้ยวเบน (The Diffraction Grating)

เมื่อช่องสลิตมีจำนวนมากๆ แล่บสว่างปฐมภูมิ (Primary Maximum) จะยิ่งแคบลงมากๆ จนเป็นเส้นชัดเจน แต่แล่บสว่างทุติยภูมิ (Secondary Maximum) จะมีความเข้มน้อยมากๆ จนแทบมองไม่เห็น จึงสนใจเพียงตำแหน่งของแล่บสว่างเนื่องจากวัดตำแหน่งได้สะดวกและแม่นยำมากกว่าแล่บมืด ซึ่งอธิบายได้โดยใช้สมการเช่นเดียวกับกรณีของสลิตคู่ คือ

$$d \sin \theta = m \lambda$$

d คือ ระยะห่างระหว่างช่องของเกรตติงแต่ละช่อง

θ คือ มุมบนฉากเทียบกับตำแหน่งกลางระหว่างกึ่งกลางเกรตติง

m คือ ลำดับการแทรกสอด

λ คือ ความยาวคลื่น

กำลังแยกของเกรตติง

$$R = \frac{\lambda}{\Delta \lambda} = mN$$

R คือ กำลังแยกของเกรตติง

λ คือ ความยาวคลื่น (นิยมใช้ความยาวคลื่นตัวที่น้อยกว่า)

$\Delta \lambda$ คือ ผลต่างของความยาวคลื่นทั้งสองที่ยังไปยังเกรตติง

m คือ ลำดับของการแทรกสอดที่เริ่มเห็นแสงจากสองความยาวคลื่นแยกจากกัน

N คือ จำนวนช่องของเกรตติง

ข้อสังเกต

การแยกแสงผ่านเกรตติงเกิดจากการแทรกสอด และการเลี้ยวเบนของแสง

Problem 18.53

ยิงแสงความยาวคลื่น 550 nm ผ่านเกรตติงขนาด 4,000 เส้น/cm จะเกิดแถบสว่างทั้งหมดกี่แถบ?

Answer : 9

Problem 18.54

ยิงแสงผ่านเกรตติงขนาด 4,500 ช่อง/cm เกิดการแทรกสอดบนฉากที่ห่างออกไป 1.00 m ปรากฏแถบสว่างแต่ละแถบอยู่ห่างกันประมาณ 30.0 cm ความยาวคลื่นดังกล่าวเป็นเท่าใด?

Answer : 667 nm

Problem 18.55

ยิงแสงผ่านเกรตติงขนาด 10,000 ช่อง/cm เกิดการแทรกสอดบนฉากที่ห่างออกไป 1.00 m พบแถบสว่างลำดับที่หนึ่งบนฉากที่ตำแหน่ง 10.0 cm และ 90.0 cm ความยาวคลื่นดังกล่าวเป็นเท่าใด?

Answer : 400 nm

Problem 18.56

ยิงแสงความยาวคลื่น 500 nm ผ่านเกรตติง พบเส้นสเปกตรัมลำดับแรกเบนจากแนวกลาง 30° ถ้าต้องการให้เส้นสเปกตรัมลำดับแรกเบนจากแนวกลาง 45° จะต้องยิงแสงความยาวคลื่นเท่าใด?

Answer : 707 nm

Problem 18.57

รู้การแทรกสอดลำดับที่ 1 ของแสงความยาวคลื่น 440 nm กับ 580 nm อยู่บนฉากซึ่งห่างกัน 1.12 cm และฉากดังกล่าวอยู่ห่างจากเกรตติง 2.00 m จงหาจำนวนช่องต่อเซนติเมตรของเกรตติงดังกล่าว?

Answer : 400 ช่อง/cm

Problem 18.58

ยิงแสงความยาวคลื่น 625 nm ผ่านเกรตติง พบรั้วสว่างลำดับที่หนึ่งเบนจากแนวกลางเป็นมุม 30° จงหาจำนวนช่องต่อมิลลิเมตรของเกรตติงดังกล่าว?

Answer : 800 ช่อง/mm

Problem 18.59

ยิงแสงผ่านเกรตติงขนาด 2,000 ช่อง/cm แลแสงสว่างจะเบนจากแนวกลางเป็นมุม θ ต่างๆ ตามค่า $\sin\theta = 0.12, 0.24, 0.36 \dots$ ตามลำดับ ถ้าใช้สลิตเดี่ยวกว้าง 0.05 mm แทนเกรตติง แลแสงสว่างกลางจะกว้างเท่าใดบนฉากซึ่งห่าง 0.50 m?

Answer : 12 mm

Problem 18.60

ยิงแสงสีม่วงความยาวคลื่น 440 nm ผ่านเกรตติง พบสเปกตรัมลำดับที่ 3 ตรงกับสเปกตรัมลำดับที่ 2 ของแสงสีแดงพอดี ความยาวคลื่นของแสงสีแดงเป็นเท่าใด?

Answer : 660 nm

Problem 18.61

ยิงแสงสีม่วงความยาวคลื่น 500 nm และ 600 nm ผ่านเกรตติงเดียวกัน จงหาลำดับริ้วแทรกสอดแรกของความยาวคลื่น 500 nm ที่ซ้อนทับกันพอดี?

Answer : 6

Problem 18.62

ยิงแสงสองความยาวคลื่นผ่านเกรตติงเดียวกัน โดยอัตราส่วนความยาวคลื่นทั้งสองเป็น 5:4 จงหาลำดับริ้วแทรกสอดแรกของความยาวคลื่นค่าน้อยกว่าที่ซ้อนทับกันพอดี?

Answer : 5

Problem 18.63

ยิงแสงความยาวคลื่น 700 nm ผ่านเกรตติงขนาด 10,000 ช่อง/cm ทำให้เกิดแถบสว่างแรกเบนจากแนวกลางเป็นมุม θ ถ้ายิงแสงความยาวคลื่น 500 nm ผ่านอีกเกรตติง ทำให้เกิดแถบสว่างแรกเบนจากแนวกลางเป็นมุม θ เดียวกัน เกรตติงดังกล่าวมีจำนวนช่อง/cm เป็นเท่าใด?

แสงเชิงคลื่น (Wave Optics)

Answer : 14,000 ช่อง/cm

Problem 18.64

ยิงแสงความยาวคลื่นตั้งแต่ 400-700 nm ผ่านเกรตติงเดียวกัน สเปกตรัมบนฉากจะเริ่มซ้อนกันตั้งแต่ลำดับเท่าใด?

Answer : 1

Problem 18.65 Challenge

แสงเลเซอร์ตกกระทบบนเกรตติงขนาด 5,310 ช่องต่อเซนติเมตร แฉบสว่างกลางและแฉบสว่างลำดับที่หนึ่งอยู่ห่างกัน 0.488 เมตร โดยฉากอยู่ห่างจากเกรตติงเป็นระยะ 1.72 เมตร จงหาความยาวคลื่นของเลเซอร์ดังกล่าว?

Answer : 514 nm

Problem 18.66 Challenge

ลำแสงความยาวคลื่น 541 nm ตกกระทบบเกรตติงที่มี 400 ช่อง/mm

a) จงหามุมของรั้วสว่างลำดับที่สอง?

b) จงหามุมของรั้วสว่างลำดับที่สอง เมื่อการทดลองดังกล่าวทำในน้ำซึ่งมีดัชนีหักเหเท่ากับ 1.33?

แสงเชิงคลื่น (Wave Optics)

Answer : a) 25.6° and b) 19.0° **Problem 18.67 Challenge**

แหล่งกำเนิดแสงความยาวคลื่น 531.62 nm และ 531.81 nm จงหา

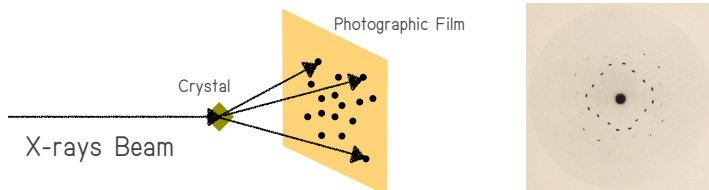
a) เกรตติงต่องมีอย่างน้อยกี่ช่องจึงจะไม่ทำให้สเปกตรัมลำดับที่หนึ่งได้รับผลกระทบจากการที่แสงมีความยาวคลื่นสองค่า?

b) คำนวณระยะห่างระหว่างช่องแคบสำหรับเกรตติงซึ่งกว้าง 1.32 cm?

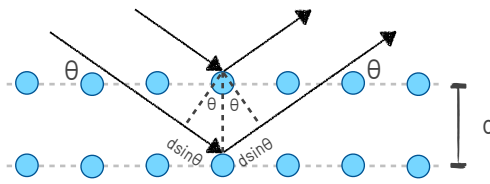
Answer : a) 2,798 and b) $4.72 \mu\text{m}$

แสงเชิงคลื่น (Wave Optics)

การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์โดยผลึก (Diffraction of X-Rays by Crystals)

รูปภาพจาก : www.wikipedia.org

เมื่อยังคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านคลื่น X-rays ผ่านผลึกที่มีโครงสร้างเป็นระเบียบซึ่งทำหน้าที่เหมือนกับช่องแคบสำหรับการเลี้ยวเบนในสามมิติ รูปแบบที่ได้จากการเลี้ยวเบนมีความซับซ้อนเนื่องจากโครงสร้างผลึกเป็นสามมิติ แต่เราพอจะเรียนรู้ผ่านโครงสร้างง่ายๆ ของผลึกได้ ดังรูปด้านล่าง



จากรูปด้านบน พอจะทำให้เราเข้าใจกฎของแบร็ก (Bragg's Law) ในการคำนวณหาระยะห่างระหว่างผลึก โดยการพิจารณาการแทรกสอดแบบเสริม ตามสมการ

$$\Delta r = 2d \sin \theta = m\lambda$$

Problem 18.68 Challenge

ความยาวคลื่น 0.129 nm ตกกระทบบนผิวผลึก NaCl เกิดการเลี้ยวเบนลำดับที่หนึ่งพบที่มุม 8.15° จงหาระยะห่างระหว่างระนาบอะตอมของผลึกดังกล่าว?

Answer : 0.455 nm

แสงเชิงคลื่น (Wave Optics)

