

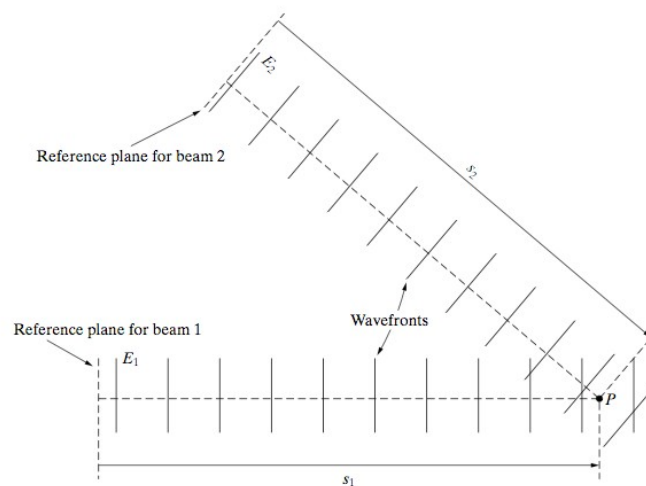
การแทรกสอดของแสง

1. การแทรกสอดของแสงสีเดียว

พิจารณาคลื่นแสงสองขบวนที่มีความยาวคลื่นเท่ากัน วิ่งในตัวกลางเดียวกัน

$$\vec{E}_1 = \vec{E}_{01} \cos(k s_1 - \omega t + \phi_1)$$

$$\vec{E}_2 = \vec{E}_{02} \cos(k s_2 - \omega t + \phi_2)$$



เมื่อให้ $\alpha_1 = k s_1 + \phi_1$, $\alpha_2 = k s_2 + \phi_2$ เราจะได้ว่า

$$\vec{E}_t = \vec{E}_{01} \cos(\alpha_1 - \omega t) + \vec{E}_{02} \cos(\alpha_2 - \omega t)$$

ซึ่งเราสังเกตเห็นความเข้มของแสงที่นิยามจาก

$$I = \epsilon_0 c \langle |\vec{E}|^2 \rangle$$

ทำให้เราได้ความเข้มของแสงรวมมีค่าเท่ากับ

$$I = \frac{\epsilon_0 c |\vec{E}_{01}|^2}{2} + \frac{\epsilon_0 c |\vec{E}_{02}|^2}{2} + 2 \epsilon_0 c \vec{E}_{01} \cdot \vec{E}_{02} \langle \cos(\alpha_1 - \omega t) \cos(\alpha_2 - \omega t) \rangle$$

ถ้านิยามความเข้มแสงตามทอมต่างๆดังสมการ

$$I = I_1 + I_2 + I_{12}$$

ทอม _____ แสดงถึงพฤติกรรมคลื่นเพราะว่า _____

โดยจะมีค่าเป็นศูนย์ก็ต่อเมื่อ _____ หรือ _____

พิจารณาค่าเฉลี่ยโดยใช้เอกลักษณ์ตรีโกณมิติ $2 \cos A \cos B = \cos(A+B) + \cos(A-B)$

$$\langle 2 \cos(\alpha_1 - \omega t) \cos(\alpha_2 - \omega t) \rangle = i$$

เพราะว่าค่าเฉลี่ยตามเวลาของฟังก์ชัน $\cos$ มีค่าเท่ากับศูนย์ เราจะได้ว่า

$$I_{12} = \epsilon_0 c \vec{E}_{01} \cdot \vec{E}_{02} \langle \cos \delta \rangle$$

โดยที่

$$\delta = k(s_2 - s_1) + \phi_2 - \phi_1$$

ถ้าทิศทางของสนามไฟฟ้า (โพลาริเซชันของแสง) ทั้งสองมีทิศทางเดียวกันความเข้มแสงรวมจะมีค่าเท่ากับ

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \langle \cos \delta \rangle$$

อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติแล้วแหล่งกำเนิดคลื่นที่มีเฟสตั้งต้นที่มีค่าคงที่เป็นไปได้ยากมาก (เกิดขึ้นเฉพาะในแสงเลเซอร์ ที่มีคุณภาพสูง) เราจึงกำหนดให้เฟสตั้งต้นให้มีลักษณะขึ้นกับเวลาดังนี้

$$\delta(t) = k(s_2 - s_1) + \phi_2(t) - \phi_1(t)$$

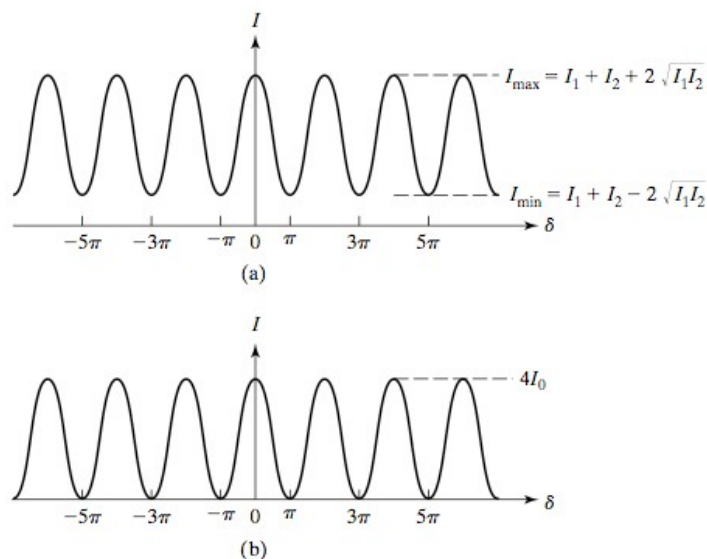
ถ้าแสงสองแหล่งที่มีค่าเฉลี่ยในเวลาของความต่างเฟสตั้งต้นเท่ากับศูนย์เราเรียกว่าแสงทั้งสองนั้นเป็น **incoherent** กัน (ไม่อาพันธ์) นั่นคือ แสงที่ **incoherent** กันจะไม่เกิดการแทรกสอดให้เราสังเกตเห็นได้ ในกรณีนี้

$$I = I_1 + I_2$$

และถ้าแสงสองแหล่งมีค่าเฉลี่ยในเวลาของความต่างเฟสตั้งต้นเป็นค่าคงที่ เราเรียกแสงทั้งสองนั้นว่าเป็น **coherent** กัน (อาพันธ์) นั่นคือแสงที่เป็น **coherent** กันจะเกิดการแทรกสอดกันได้เพราะว่า

$$\langle \cos(k(s_2 - s_1) + \phi_2(t) - \phi_1(t)) \rangle = \cos(k(s_2 - s_1) + \phi_2 - \phi_1)$$

ทำให้ $I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \delta$ โดยค่าของ δ จะทำให้เกิดการแทรกสอดเพราะว่าค่าความเข้มจะลดลงเมื่อ _____ และค่าความเข้มจะเพิ่มขึ้นเมื่อ _____



ความต่างของแถบมืดสว่างถูกนิยามเป็นค่าทัศนวิสัย (visibility)

$$\text{visibility} = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

ซึ่งค่านี้จะมีค่าสูงสุดเมื่อ $I_1 = I_2 = I_0$ และความเข้มแสงมีสูตรเป็น

$$I = 4 I_0 \cos^2\left(\frac{\delta}{2}\right)$$

ตัวอย่าง พิจารณาแสงซึ่งมีสนามไฟฟ้าในทิศเดียวกันและมีรูปแบบคลื่นดังนี้

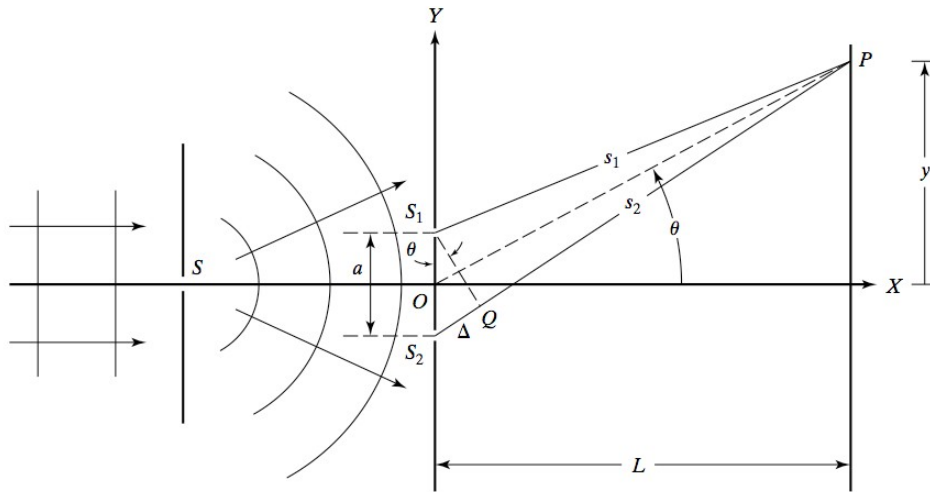
$$E_1 = 2 \cos(k s_1 - \omega t) \text{ kV/m}$$

$$E_2 = 5 \cos(k s_2 - \omega t) \text{ kV/m}$$

กำหนดให้ $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C/Vm}$ และ $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ จงหาค่าความเข้มสูงสุดและ ความเข้มต่ำสุด

2. การทดลองสลิตคู่ของยัง

วิธีการสร้างแหล่งกำเนิดสองชั้นที่เป็น (coherent) อาพันธ์กันอย่างง่ายที่สุดคือการนำฉากที่มีสองรู (สลิตคู่) ไปวางด้านหลังฉากรูเดี่ยว (สลิตเดี่ยว) ดังภาพ แสงที่ออกมาจากตำแหน่ง S จะทำตัวเหมือนแหล่งกำเนิดเดี่ยว (หลักการของฮอยเกนส์) เมื่อวางสลิตคู่ไว้ด้านหลังฉากอันแรกแบบตั้งฉาก ตำแหน่ง S1 และ S2 จึงทำตัวเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นใหม่ซึ่งมีเฟสตรงกันตลอดเวลา (ห่างจากแหล่งกำเนิดคลื่นแบบจุดเป็นระยะเท่ากัน ทำให้อยู่บนหน้าคลื่นเดียวกันเสมอ) นั่นคือ S1 และ S2 เป็นแหล่งกำเนิด coherent (อาพันธ์)



การแทรกสอดจึงสามารถเกิดขึ้นได้ โดยผลต่างเฟสรวมขึ้นกับระยะห่างระหว่างจุด S2 ถึงตำแหน่ง P ใดๆ บนฉาก และจุด S1 ถึงตำแหน่ง P ตามสมการ

$$\delta = k(s_2 - s_1) = \frac{2\pi}{\lambda}(s_2 - s_1)$$

เมื่อพิจารณาเงื่อนไขการแทรกสอดที่ทำให้ความเข้มสูงสุด (แทรกสอดแบบเสริมกัน)

$$\delta = 2m\pi, \quad m=0,1,2,\dots$$

เราจะได้ว่า

$$(s_2 - s_1) = m\lambda$$

เมื่อพิจารณาเงื่อนไขการแทรกสอดที่ทำให้ความเข้มต่ำสุด (แทรกสอดแบบหักล้างกัน)

$$\delta = (2m+1)\pi, \quad m=0,1,2,\dots$$

เราจะได้ว่า

$$(s_2 - s_1) = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

เมื่อประมาณให้ฉากที่รับอยู่ไกลมากและพิจารณาเฉพาะแถบมืดสว่างที่ใกล้จุดกึ่งกลางนั้นคือ $L \gg y$ เราจะสามารถได้ว่า

$$(s_2 - s_1) = a \sin \theta \approx \frac{ay}{L}$$

เมื่อใช้เงื่อนไขการแทรกสอดแบบเสริมกัน ระยะห่าง y จากจุดกึ่งกลางจะเป็นแถบสว่างเมื่อ

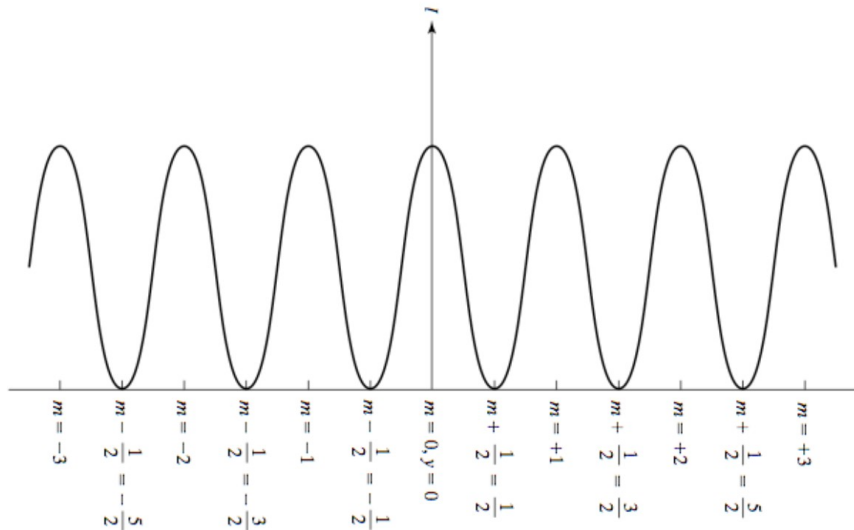
$$y = \frac{m\lambda L}{a}$$

และจะเป็นแถบมืดเมื่อ

$$y = \frac{\left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda L}{a}$$

ระยะห่างระหว่างแถบสว่าง(หรือแถบมืด)คือ

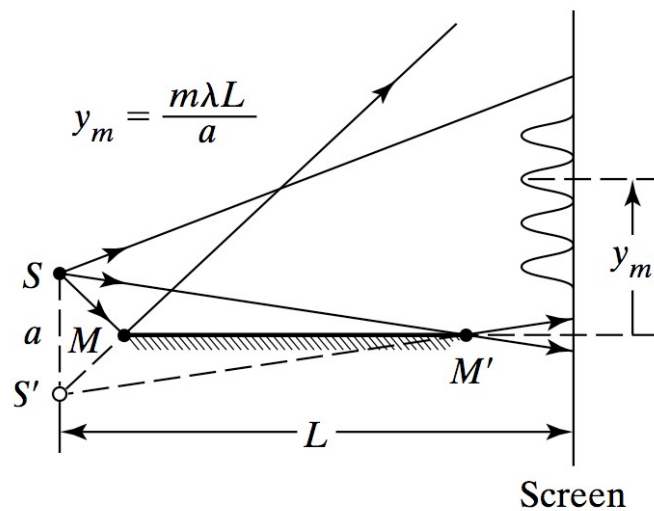
$$\Delta y = \frac{\lambda L}{a}$$



ตัวอย่าง แสงเลเซอร์ผ่านสลิตคู่ซึ่งมีระยะห่างระหว่างสลิต 0.2 มม. แถบการแทรกสอดปรากฏบนฉากซึ่งอยู่ห่างออกไป 1 เมตร แถบสว่างอยู่ห่างกัน 3.29 มม. จงหาความยาวคลื่น

3. กระจกLOYD

อีกวิธีในการสร้างแหล่งกำเนิดอาพันธ์ (coherent) โดยใช้แหล่งกำเนิดเดี่ยวคือการใช้กระจก เพื่อมาสะท้อนแหล่งกำเนิดแบบจุด เพราะว่าเฟสของแสงมีค่าเปลี่ยนไป _____ เมื่อมีการสะท้อน



ทำให้เงื่อนไขของการแทรกสอดเปลี่ยนเป็น

$$\delta = k(s_2 - s_1) + \pi$$

และเงื่อนไขของแถบสว่างเปลี่ยนเป็น

$$(s_2 - s_1) = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda$$

$$y = \frac{\left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda L}{a}$$

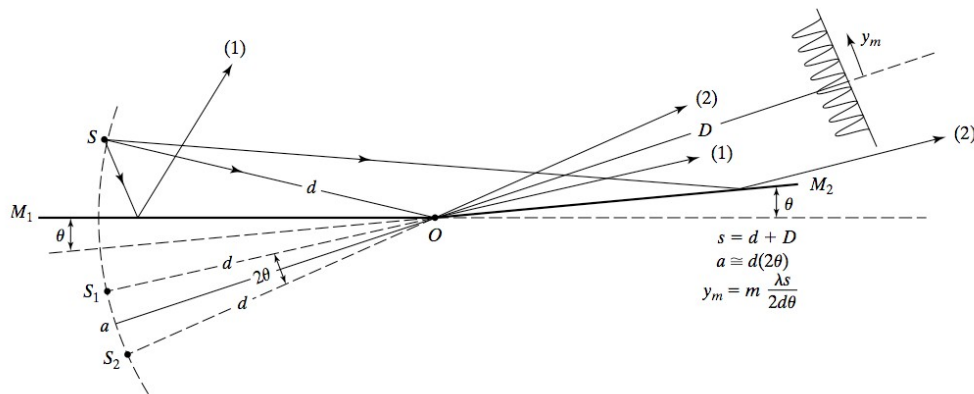
และแถบมืดเปลี่ยนเป็น

$$(s_2 - s_1) = m \lambda$$

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

4. กระจกเฟนเนล

คือการใช้กระจกสองแผ่น M_1 และ M_2 ซึ่งทำมุมกัน θ แสงจากแหล่งกำเนิด S ที่สะท้อนใกล้รอยต่อ (จุด O) จะสร้างแหล่งกำเนิดเสมือนขึ้นที่จุด S_1 และ S_2 ซึ่งเกิดจากการสะท้อนแสงจากกระจกแต่ละแผ่นดังภาพ โดยแสงเส้นที่ 1 และแสงเส้นที่ 2 จะทำมุมกัน 2θ (เพราะว่ามุมตกกระทบลดลง θ ทำให้มุมสะท้อนลดลง θ ด้วยและแสงเส้นที่ 2 ทำมุมลดลงจากเดิมไป 2θ) จากภาพการแทรกสอดเนื่องจากแหล่งกำเนิด coherent โดยเฟสของแสงทั้งสองตรงกัน (สะท้อนกระจกทั้งคู่ทำให้เฟสเปลี่ยนไป π ทั้งคู่) เราได้เงื่อนไขการแทรกสอดเป็น

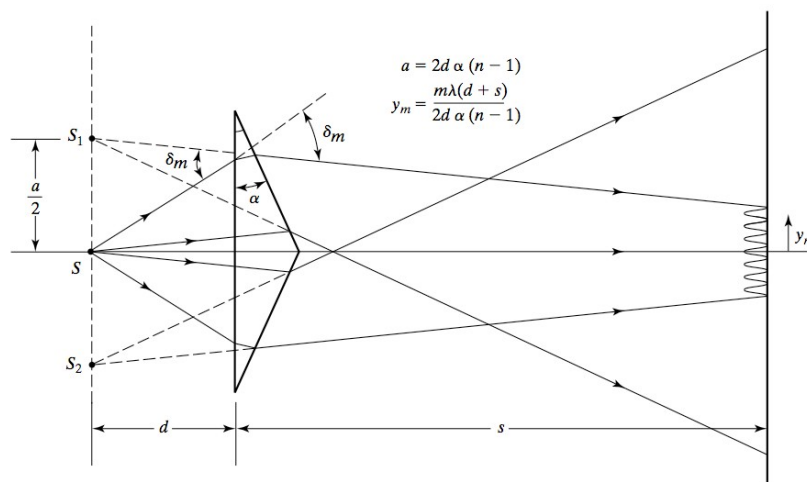


$$2\theta = \frac{a}{d}$$

$$y = \frac{m\lambda(d+D)}{2d\theta}$$

5. ปริซึมเฟนเนล

เป็นอีกวิธีในการสร้างแสงอาพันธ์โดยใช้การหักเหผ่านปริซึมหดภาพ



จากสมการของปริซึมเมื่อพิจารณามุมเล็กๆ

$$n = \frac{\sin\left(\frac{\alpha + \delta_m}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \approx \frac{\alpha + \delta_m}{\alpha}$$

และ

$$\frac{a}{2} = d \delta_m$$

ทำให้เราได้ว่า

$$\alpha = \frac{a}{2d(n-1)}$$

และเงื่อนไขระยะบนฉากที่ทำให้เกิดแถบสว่างคือ

$$y = \frac{m \lambda (d+s)}{2d\alpha(n-1)}$$