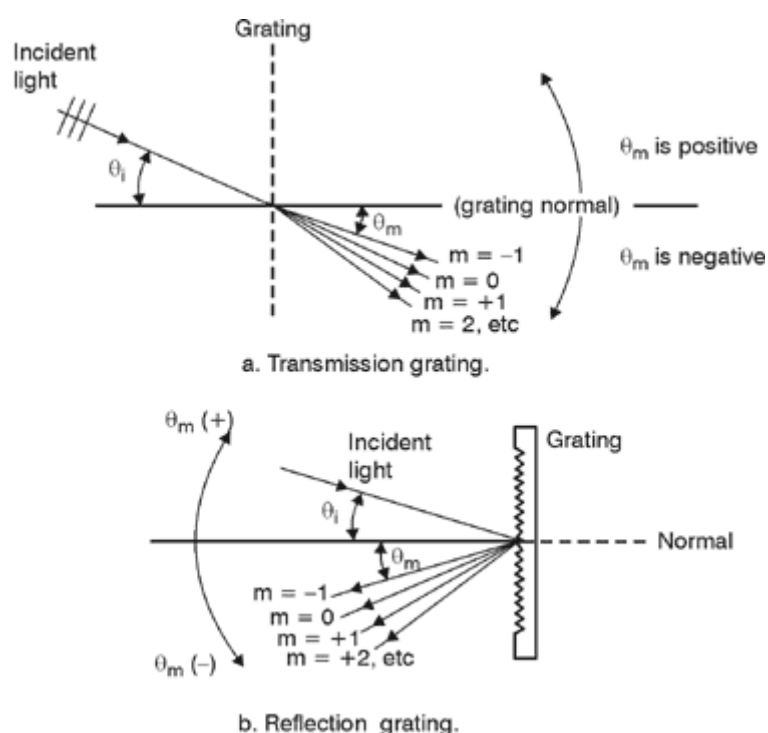


Light Properties

Diffraction grating

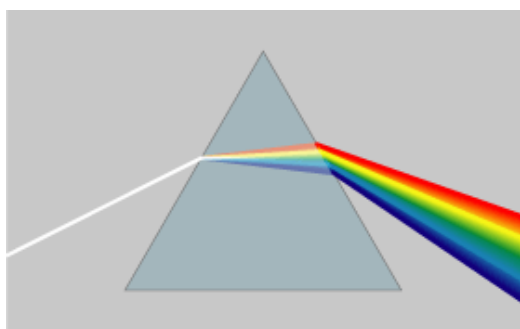
คือแก้วหรือโลหะที่มีพื้นผิวเป็นเงาเรียบมีช่องหรือร่องที่ขนานกันตลอดทั้งความยาว ช่องที่ขนานกันนั้นมีไว้สำหรับให้แสงเกิดการเลี้ยวเบน เพื่อแยกความยาวคลื่นหรือสีของแสง

ในการผลิต Diffraction grating นั้นมีทั้งแบบเบนเรียบหรือแบบผิวโค้งแล้วแต่ลักษณะการใช้งาน Diffraction grating นั้นจะใช้เป็นส่วนประกอบสำคัญใน spectrographic หรือ spectrosopes, spectrophotometers, monochromators, spectrographs, spectrometer ส่วนประกอบของเครื่องอื่นๆอีกมากมายแล้วแต่การประยุกต์ โดยอาศัยหลักการแยกองค์ประกอบความยาวคลื่นของแสงหรือความถี่โดยหลักการเลี้ยวเบนด้วยมุมต่างๆมากมาย Grating ยังใช้ในเลเซอร์บางชนิดเพื่อเพิ่มความสามารถในการให้อาพุดโคเฮียเรนซ์ด้วย



รูปที่ 1 แสดงชนิดของ Gratings แบบส่งผ่านและแบบสะท้อน

Dispersion



ในทางเชิงแสง (Optics) dispersion หมายถึง ปรากฏการณ์ที่ส่วนประกอบของสเปกตรัมที่มีความถี่ต่างกันแยกออกจากกัน เนื่องจากสเปกตรัมแสงจะขึ้นกับแต่ละความถี่ของมัน ส่วนมากจึงนิยมอธิบาย dispersion ด้วยคลื่นแสง ซึ่งจริงๆปรากฏการณ์นี้สามารถเกิดขึ้นได้กับคลื่นทุกชนิด แต่การอธิบายด้วยคลื่นแสงนั้นจะทำให้เห็นภาพที่ชัดเจนกว่า

Grating dispersion

หมายถึง เกรตติงที่ทำให้องค์ประกอบของแสงแยกออกจาก การพิจารณาแต่ละองค์ประกอบของสเปกตรัมนั้น จะขึ้นกับความยาวคลื่นของแสงที่ตกกระทบเกรตติงแล้วเกิดการเลี้ยวเบนในมุมกระเลี้ยวเบนที่ต่างกัน จากสมการของเกรตติง

$$d(\sin \alpha + \sin \beta) = m\lambda \quad (1)$$

เมื่อ d คือ ความกว้างของช่องเกรตติง

α คือ มุมตกกระทบ

β คือ มุมกระเจิงของแสง

m คือ ลำดับของการเลี้ยวเบน

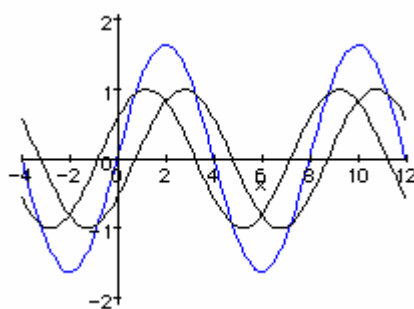
λ คือ ความยาวคลื่น

เมื่อเราให้มุมตกกระทบคงที่ (Fixed) ดังนั้นพิจารณาการเปลี่ยนของมุมเลี้ยวเบนต่อความยาวคลื่น สมการที่ (1) จะเขียนใหม่ได้เป็น

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \beta} \{d(\sin \alpha + \sin \beta) = m\lambda\} \\ d \cos \alpha \frac{\partial \alpha}{\partial \beta} + d \cos \beta = m \frac{\partial \lambda}{\partial \beta} \\ \frac{\partial \alpha}{\partial \beta} = 0, \quad \frac{\partial \beta}{\partial \lambda} = \frac{m}{d \cos \beta} \end{aligned} \quad (2)$$

ปริมาณ $\partial \beta / \partial \lambda$ คือการเปลี่ยนของมุมเลี้ยวเบน(Diffraction angle) ต่อการเปลี่ยนความยาวคลื่นน้อยๆ และเราเรียกว่ามุม dispersion ของเกรตติง (angular dispersion of the grating)

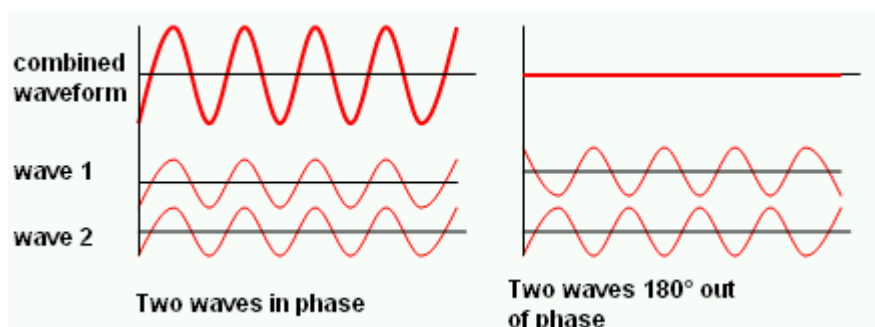
The principle of superposition of waves



The superposition of waves

หลักการซ้อนทับกันของคลื่นคือ การเกิดคลื่นใหม่ที่ได้จากการรวมกันหรือการซ้อนทับกันของคลื่นอื่นๆตั้งแต่สองขบวนขึ้นไป พิจารณาตัวอย่างดังรูป คลื่นสองขบวนเคลื่อนที่มาซ้อนทับกัน รูปแบบของคลื่นใหม่ที่ได้จะขึ้นอยู่กับความถี่ (หรือความยาวคลื่น) แอมพลิจูดและเฟสของคลื่นทั้งสอง สมมุติว่าคลื่นทั้งสองเหมือนกัน มีความยาวคลื่นเท่ากันและมีแอมพลิจูดเท่ากันเท่ากับ A ผลของการซ้อนทับกันของคลื่นจะทำให้มีคลื่นใหม่ที่มีแอมพลิจูดได้ตั้งแต่ 0 ถึง $2A$ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับเฟสของคลื่นทั้งสองด้วย

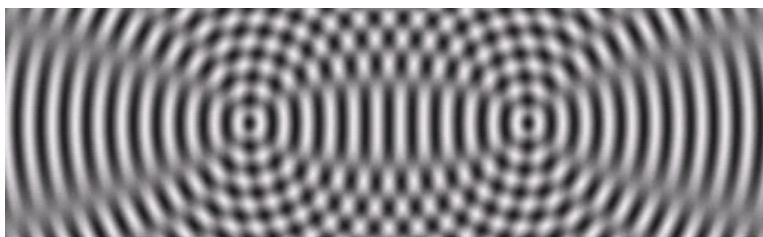
พิจารณาถ้าให้คลื่นทั้งสองมีเฟสเดียวกัน (In phase) และมีแอมพลิจูดเป็น A_1 และ A_2 ดังนั้นผลของการซ้อนทับกันของคลื่นจะได้หน้าคลื่นใหม่ที่มีแอมพลิจูดเป็น $A=A_1+A_2$ เราเรียกรวมกันของคลื่นแบบนี้ว่า **Constructive interference**



รูปที่ 4 แสดงการซ้อนทับกันของคลื่นสองขบวน

พิจารณาถ้าคลื่นทั้งสองมีเฟสต่างกัน 180° (Out of phase) การรวมกันของคลื่นทั้งสองจะทำให้หน้าคลื่นใหม่ที่ได้มีแอมพลิจูดเป็น $A=|A_1-A_2|$ พิจารณารูปที่ 4 ประกอบถ้าคลื่นทั้งสองมีแอมพลิจูดเท่ากันหน้าคลื่นใหม่ที่ได้จะมีแอมพลิจูดเป็นศูนย์ เราเรียกรวมกันของคลื่นแบบนี้ว่า **Destructive interference**

Interference

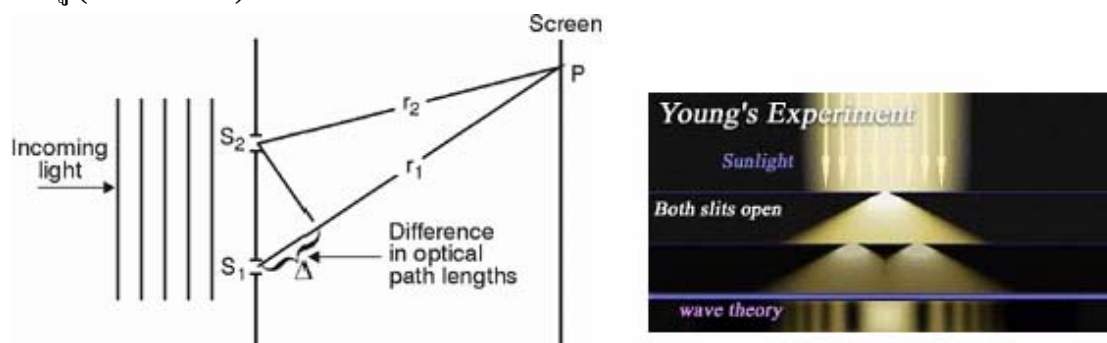


รูปที่ 5 แสดงริ้วแทรกสอด

การแทรกสอดของคลื่นแสงเป็นปรากฏการณ์ที่คลื่นแสงอาพันธ์ (Coherent light) สองขบวนหรือมากกว่า เคลื่อนที่ซ้อนทับกัน (Overlap) จะทำให้เกิดหน้าคลื่นใหม่ (wave pattern) โดยที่การจัดลัพท์เป็นไปตามหลักการซ้อนทับกันของคลื่น (Superposition) คือขึ้นอยู่กับเฟสและแอมพลิจูดของคลื่นที่ซ้อนทับกัน

Young's double slit experiment

Thomus Young ทำการทดลองเพื่อแสดงปรากฏการณ์แทรกสอดของแสงโดยใช้ช่องเล็ก ๆ (double slits)



รูปที่ 6 Young's double slit experiment

อธิบายการทดลองของ Young ได้ดังนี้ คือให้ S_1 และ S_2 เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นใหม่ตามหลักของฮอยเกนส์ และให้ระยะห่างระหว่างช่อง S_1 และ S_2 เป็น d ระยะระหว่างฉาก P ห่างจากแหล่งกำเนิดคลื่นใหม่ทั้งสองเท่ากันเป็น R และ ความกว้างของ S_1 และ S_2 เท่ากัน ดังนั้นที่จุด P ทางเดินแสงจะต่างกันเป็น Δ (Difference in optical path length) จะได้ว่า $\Delta = d \sin \theta$

พิจารณาที่จุด P หากการแทรกสอดกันเป็นแบบเสริมกัน (constructive interference) จะทำให้เกิดเป็นริ้วสว่างขึ้นบนฉาก ทำนองเดียวกันหากการแทรกสอดกันเป็นแบบหักล้าง (destructive interference) จะทำให้เกิดเป็นริ้วมืดขึ้น เนื่องจากความเข้มแสงเกี่ยวข้องกับ

สนามไฟฟ้าของคลื่น ดังนั้นกำหนดให้ u_1, u_2 แทนสนามไฟฟ้าของคลื่นจากแหล่งกำเนิด S1, S2 ตามลำดับโดยที่

$$u_1 = U_1 e^{i\phi_1} \quad (3)$$

$$u_2 = U_2 e^{i\phi_2} \quad (4)$$

จากทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะได้ผลรวมของสนามรวมเป็น

$$u = u_1 + u_2 \quad (5)$$

เนื่องจากความเข้มแสงเป็นปฏิภาคกับกำลังสองของแอมพลิจูด ดังนั้นจากสมการที่ (5) จะได้

$$I = |u|^2 = |u_1 + u_2|^2 \quad (6)$$

$$I = U_1^2 + U_2^2 + 2U_1U_2 \cos(\phi_1 - \phi_2) \quad (7)$$

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1I_2} \cos \Delta\phi \quad (8)$$

เมื่อ $\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2$ คือความต่างเฟสของคลื่นทั้งสอง

เนื่องจากแอมพลิจูดของคลื่นทั้งสองเท่ากันดังนั้น $I_1 = I_2$ เพราะฉะนั้นจากสมการที่ (8) จะได้

$$I = 4I_0 \cos^2\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) \quad (9)$$

สมการที่ (9) เป็นเทอมที่เราสนใจในการพิจารณาฟริ้งที่เกิดขึ้นบนฉาก P

Conditions for interference

ระยะระหว่างช่องของสลิตจะต้องชิดกันมาก (ประมาณ 1000 เท่าของความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสง) มิเช่นนั้นจะทำให้ระยะของริ้วแทรกสอดที่เกิดขึ้นต้องชิดกันมากๆ จึงจะสังเกตเห็นรูปแบบของริ้วแทรกสอด เงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับการสังเกตริ้วแทรกสอดในการทดลองช่องเล็กยาวคู่ คือ ความต่างของทางเดินแสงจะต้องครอบคลุมไปถึงจุดที่เกิดการแทรกสอดแบบเสริมกันบนฉาก และแหล่งกำเนิดแสงต้องเป็นจุด (point source) กล่าวคือ จากรูปที่ 6 ถ้าให้แสงจากดวงอาทิตย์ตกกระทบบนช่องคู่โดยตรง จะทำให้เกิดริ้วแทรกสอดขึ้นมากมายเนื่องจากลำแสงดังกล่าวไม่ใช่แหล่งกำเนิดแสงที่เป็นจุด ดังนั้นริ้วแทรกสอดที่เกิดบนฉากจะไม่ชัดเจนเนื่องจากจะเกิดการหักล้างกันไปบ้างเสริมกันบ้างปะปนกันไปหมด

Coherence

โคฮีเรนซ์ คือ สมบัติหรือลักษณะเฉพาะของคลื่นที่บอกถึงขีดความสามารถหรือเกณฑ์ในการเกิดการแทรกสอดของคลื่นแต่ละลูก เป็นความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละเฟสของคลื่นที่วัดที่จุดต่างๆ คลื่นสองขบวนที่เป็นโคฮีเรนซ์สามารถรวมกันแล้วเกิดเป็นริ้วแทรกสอดที่เสริมกันและหักล้างกันเป็นแถบมืดแถบสว่าง โดยไม่เคลื่อนที่ (Unmoving) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของเฟสของแต่ละคลื่นที่มาชนกันที่จุดๆหนึ่ง เมื่อเราอธิบายถึงสมบัติโคฮีเรนซ์ของคลื่นแสง เราจะแบ่งสมบัติโคฮีเรนซ์ออกเป็นสองชนิด

Temporal coherence คือเกณฑ์ของความเกี่ยวพันกันระหว่างแต่ละเฟสของคลื่นแสงที่จุดต่างๆ ในทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น temporal coherence บ่งบอกถึงแหล่งกำเนิดแสงโครมาติกสั่นเป็นอย่างไร (how monochromatic a source is) สมมุติว่าแหล่งกำเนิดแสงเปล่งแสงหลายความยาวคลื่น โดยที่ความยาวคลื่นเป็น λ และ $\lambda \pm \Delta\lambda$ คลื่นเหล่านั้นจะเกิดการแทรกสอดกันจะมีบางช่วงของทางเดินแสงที่เท่ากับ $l_c = \lambda^2 / (2\pi\Delta\lambda)$ ก็คือช่วงที่คลื่นนั้นมีความต่างเฟสคงที่หรือมีเฟสเดียวกัน (in phase) เราจะเรียกช่วง l_c ว่า **Coherence length** ถ้าคลื่นเคลื่อนที่ไปใน space ด้วยความเร็ว c และยังคงอยู่ในช่วงที่ in phase กัน เราเรียกช่วงเวลานั้นว่า **Coherence time** (t_c) ดังนั้น

$$t_c = \frac{l_c}{c} \quad (10)$$

$$l_c = \frac{\lambda^2}{2\pi\Delta\lambda} = \frac{\lambda f}{2\pi\Delta f} = \frac{c}{\Delta\omega} \quad (11)$$

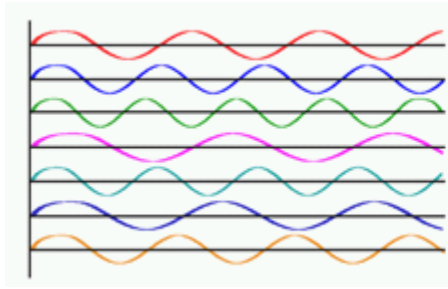
$$t_c = \frac{1}{\Delta\omega} \quad (12)$$

เมื่อ $c = \lambda f$, $\Delta f / f = \Delta\omega / \omega = \Delta\lambda / \lambda$

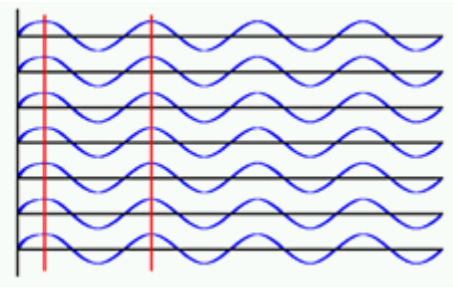
เมื่อเราทราบค่าของความยาวคลื่นหรือความถี่ของแหล่งกำเนิดก็สามารถคำนวณหาค่า l_c และ t_c ได้

Spatial coherence คือเกณฑ์ของความเกี่ยวพันกันระหว่างแต่ละเฟสของคลื่นแสงที่จุดต่างๆ ที่ขวาง (transverse) กับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น

ถ้าการรวมคลื่นนั้นเกิดเป็นริ้วแทรกสอดแถบมืดแถบสว่างและเคลื่อนที่ไปรอบๆอย่างรวดเร็ว หรือคลื่นนั้นไม่ in phase กันกล่าวได้ว่าคลื่นนั้น incoherence



รูปที่ 7 Incoherent light waves



รูปที่ 8 Coherent light waves

จากรูปที่ 7 แสดงให้เห็นรูปคลื่นแสงจากแหล่งกำเนิดปกติเคลื่อนที่ไปใน Space ไม่มีคลื่นใดเลยที่มีความสัมพันธ์กันกล่าวได้ว่าแสงนี้ incoherence และ จากรูปแสดงให้เห็นว่าที่ทุกๆจุดคลื่นเหล่านี้มีเฟสเดียวกัน หรือ in phase กัน คือคลื่นมีสมบัติ coherence