

ฟิสิกส์ 2

ระดับมหาวิทยาลัย

ทัศนศาสตร์ เชิงกายภาพ



สำหรับ
นิสิต-นักศึกษา
มหาวิทยาลัย

✓ เข้าใจง่าย ✓ ใช้ได้จริง ✓ เห็นภาพชัดเจน ✓ ครอบคลุมเนื้อหา



การแทรกสอดของแสง
จากช่องคู่ (Young's Double Slit)



การเลี้ยวเบนของแสง
(Diffraction)

ความเข้มแสง



ตำแหน่งบนฉาก



สรุปเนื้อหา
ครบถ้วน
เข้าใจง่าย



ตัวอย่างโจทย์
พร้อมเฉลย
ละเอียด



เหมาะสำหรับ
นักศึกษาระดับ
มหาวิทยาลัย



ภาพประกอบ
สื่อสารเข้าใจง่าย
ชัดเจน

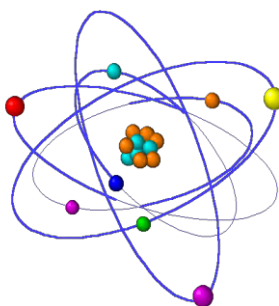
เรียบเรียงโดย

ผศ.สุชาติ สุภาพ

ราคา

99

บาท



ฟิสิกส์ ๒ ระดับมหาวิทยาลัย

ทัศนศาสตร์เชิงกายภาพ

ผศ.สุชาติ สุภาพ

พิมพ์และจำหน่ายโดย

สุชาติ สุภาพ

133/471 หมู่ ๒ (ติดกับ สนง. ที่ดินบางบัวทอง) ต.พิมลราช อ.บางบัวทอง จ.นนทบุรี

E-mail suchart11111@hotmail.com

พิมพ์ที่ หจก.สปส 1999 ม.เพชรอนันต์ เขตคันนายาว กรุงเทพฯ ๑ 10230

คำนำ

ทัศนศาสตร์เชิงกายภาพ เป็นสาขาหนึ่งของวิชาฟิสิกส์ที่ศึกษาธรรมชาติของแสงโดยพิจารณาคุณสมบัติของแสงในฐานะเป็นคลื่น ซึ่งแตกต่างจากแนวคิดในทัศนศาสตร์เชิงเรขาคณิตที่มองว่าแสงเดินทางเป็นเส้นตรง การศึกษาในเชิงคลื่นของแสงนี้ทำให้เราเข้าใจปรากฏการณ์สำคัญต่าง ๆ ที่ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยเรขาคณิตเพียงอย่างเดียว เช่น การแทรกสอด การเลี้ยวเบน และการโพลาไรซ์ หนังสือเล่มนี้มุ่งหมายที่จะนำผู้อ่านเข้าสู่โลกของพฤติกรรมแสงในลักษณะของคลื่น โดยเริ่มจากแนวคิดพื้นฐานของคลื่นแสง สมการคลื่น ความสัมพันธ์ระหว่างเฟสกับการแทรกสอด การเลี้ยวเบนของแสงผ่านสิ่งกีดขวางหรือช่องเปิดขนาดเล็ก และแนวคิดของโพลาไรซ์ รวมถึงการประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์ทางแสง เช่น เกรตติง फिल्मโพลาไรซ์ และอุปกรณ์วัดความยาวคลื่นแสง ผู้เขียนเชื่อว่าหนังสือเล่มนี้จะเป็นเครื่องมือสำคัญในการสร้างความเข้าใจเชิงลึกเกี่ยวกับธรรมชาติของแสงสำหรับนักศึกษา และช่วยวางรากฐานอันมั่นคงสำหรับการศึกษาต่อในด้านออปติก ควอนตัมฟิสิกส์ และฟิสิกส์ประยุกต์ในอนาคต

สำหรับท่านที่อยากได้ไฟล์ PDF. ของหนังสือนี้ เพื่อจะได้สามารถปริ้นท์เอกสารได้ สามารถสั่งซื้อได้ที่ ไลน์หรือ facebook ของผม



ถ้านักเรียนสนใจหนังสือในรูปแบบ E-BOOK ก็มีจำหน่ายที่เว็บไซต์ ร้านนายอินทร์ , MEB , อุกปิ , ซีเ็ด , hyltexts , ศูนย์หนังสือจุฬา ฯ และDDebook

สำหรับท่านที่สนใจหนังสือของกระผมแต่หาซื้อตามร้านหนังสือทั่วไปไม่ได้ สามารถซื้อออนไลน์ที่แอปต่าง ๆ โดยสแกน QR โค้ดข้างล่างนี้ (ที่ช้อปปีมีหนังสือมากที่สุด)



SHOPEE



Lazada



TikTok

สุชาติ สุภาพ มือถือ 083-920-3825

บทที่ 14

ทัศนศาสตร์เชิงกายภาพ

เมื่อเราศึกษาแสงด้วยทัศนศาสตร์เชิงเรขาคณิต เราจะเข้าใจพฤติกรรมของแสงในแง่ของการสะท้อน การหักเห และการสร้างภาพ โดยถือว่าแสงเป็นลำแสงหรือรังสีที่เดินทางเป็นเส้นตรง อย่างไรก็ตาม มีปรากฏการณ์บางอย่างที่ทัศนศาสตร์เชิงเรขาคณิตไม่สามารถอธิบายได้ เช่น การเลี้ยวเบน การแทรกสอดและการโพลาไรซ์ของแสง ซึ่งสิ่งเหล่านี้ต้องอาศัยแนวคิดที่ลึกซึ้งกว่าในการอธิบาย นั่นคือสิ่งที่เรียกว่า ทัศนศาสตร์เชิงกายภาพ **ทัศนศาสตร์เชิงกายภาพ เป็นการศึกษาพฤติกรรมของแสงโดยถือว่าแสงมีลักษณะเป็นคลื่น โดยเฉพาะ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า** ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าแสงสามารถสะท้อนหักเห สะท้อนกลับตัวเอง เลี้ยวเบนผ่านช่องแคบ และมีคุณสมบัติการสั่นที่เฉพาะเจาะจงได้ แนวคิดนี้ช่วยอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่สำคัญ เช่น

- การแทรกสอด : เมื่อคลื่นแสงสองลูกมาซ้อนกัน ทำให้เกิดลวดลายสว่างและมืด
- การเลี้ยวเบน : เมื่อแสงผ่านขอบหรือช่องแคบแล้วโค้งงอออกจากเส้นตรง
- การโพลาไรซ์ : การสั่นของคลื่นแสงในแนวใดแนวหนึ่งเท่านั้น

ทัศนศาสตร์เชิงกายภาพจึงเป็นรากฐานสำคัญในการอธิบายปรากฏการณ์ทางแสงที่ซับซ้อนมากขึ้น และมีบทบาทสำคัญในวิทยาศาสตร์ยุคใหม่ ไม่ว่าจะเป็นด้านเลเซอร์ ฮอโลแกรม การตรวจวัดความละเอียดสูง การแพทย์ด้วยแสง และเทคโนโลยีการสื่อสารด้วยใยแก้วนำแสงในหัวข้อนี้ เราจะเจาะลึกเข้าสู่ธรรมชาติของแสงในฐานะคลื่น ศึกษาปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่แสงแสดงคุณสมบัติของคลื่นอย่างชัดเจน

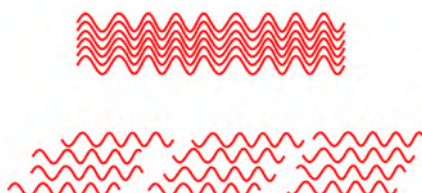
ในบทที่ 1๓ เรื่องทัศนศาสตร์เชิงเรขาคณิต เราได้ศึกษาเรื่องของแสงโดยไม่ได้สนใจเลยว่าแสงเป็นอะไร (เป็นคลื่นหรืออนุภาค) แต่สำหรับในบทนี้เราจะศึกษาเกี่ยวกับแสงอีกเหมือนเดิม แต่จะศึกษาลักษณะและสมบัติของแสงในแง่มุมมองว่าแสงเป็นคลื่น (ปัจจุบันยอมรับกันว่าแสงมีสมบัติคู่ คือเป็นได้ทั้งคลื่นและอนุภาค)

สำหรับในบทนี้จะศึกษาทัศนศาสตร์เชิงกายภาพ คือศึกษาสมบัติความเป็นคลื่นของแสงเป็นการศึกษาปรากฏการณ์ของแสงในระดับจุลภาค หรือระดับที่ใกล้เคียงความยาวคลื่นแสง เช่น สมบัติการแทรกสอด สมบัติการเลี้ยวเบน การโพลาไรเซชัน และการกระเจิงของแสง เป็นต้น

การแทรกสอดเป็นการรวมกันของคลื่นตั้งแต่ ๒ คลื่นขึ้นไป ถ้าความเข้มของคลื่นผลลัพธ์มีค่ามากกว่าความเข้มของแต่ละคลื่น เราเรียกการแทรกสอดของคลื่นนั้นว่า “การแทรกสอดแบบเสริมกัน” เกิดเป็นแถบสว่าง แต่ถ้าความเข้มของคลื่นผลลัพธ์มีค่าน้อยกว่าความเข้มของแต่ละคลื่น เราเรียกการแทรกสอดของคลื่นนั้นว่า “การแทรกสอดแบบหักล้างกัน” เกิดเป็นแถบมืด

เงื่อนไขของการแทรกสอดที่กล่าวถึงในที่นี้ มี ๒ ข้อด้วยกัน คือ

- 1) แหล่งกำเนิดแสงต้องเป็นแหล่งกำเนิดแสงอาพันธ์
- 2) ต้องเป็นแสงสีเดียว หรือแสงที่มีความถี่เดียวเท่านั้น



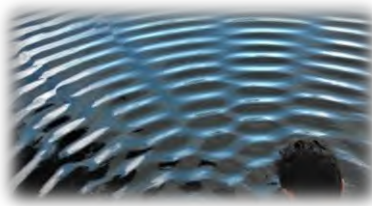
รูป 14.1 แสงอาพันธ์ (มีความถี่เท่ากัน มีเฟสตรงกัน หรือต่างกันด้วยเฟสที่คงที่)

ในทางปฏิบัติเราสามารถให้แหล่งกำเนิดแสงแหล่งเดียว ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงอาพันธ์หลายแหล่งได้ เช่น การยิงแสงเลเซอร์ไปที่สลิตคู่ หรือเกรตติง ช่องของสลิต หรือช่องของเกรตติงแต่ละช่องก็จะทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงอาพันธ์ หรือใช้แหล่งกำเนิดแสงแหล่งเดียวแล้วใช้กระจสะท้อนแสงนั้นทำให้เสมือนว่ามีแสงออกมาจากแหล่งกำเนิดแสง ๒ แหล่งได้

14.1 การแทรกสอดของแสงที่ผ่านสลิตคู่

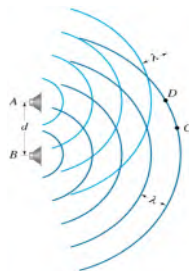
แม้แสงจะดูเหมือนเป็นอนุภาคหรือรังสีที่เคลื่อนที่เป็นเส้นตรง แต่เมื่อพิจารณาอย่างละเอียด นักวิทยาศาสตร์พบว่าแสงยังมีคุณสมบัติที่น่าทึ่งของ “คลื่น” เช่นเดียวกับคลื่นน้ำหรือคลื่นเสียง หนึ่งในหลักฐานสำคัญที่แสดงว่าแสงมีลักษณะเป็นคลื่นก็คือ ปรากฏการณ์การแทรกสอดของแสง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่แสงผ่าน สลิตคู่ การทดลองที่มีชื่อเสียงของ โทมัส ยัง ในปี ค.ศ. 1801 ได้แสดงให้เห็นว่า เมื่อแสงโมนโคเรติก (แสงที่มีความยาวคลื่นเดียว) ผ่านสลิตคู่ คลื่นแสงจากทั้งสองช่องจะซ้อนทับกันและเกิดลวดลายของแถบสว่างและมืดสลับกันบนฉากรับภาพ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของการแทรกสอดของคลื่น ปรากฏการณ์นี้ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยทัศนศาสตร์เชิงเรขาคณิตที่มองแสงเป็นรังสี แต่สามารถอธิบายได้อย่างสมบูรณ์ด้วยแนวคิดของ ทัศนศาสตร์เชิงกายภาพ ที่ถือว่าแสงเป็นคลื่น การแทรกสอดของแสงที่ผ่านสลิตคู่ไม่เพียงแต่แสดงให้เห็นว่าแสงเป็นคลื่นเท่านั้น แต่ยังมีความสำคัญอย่างยิ่งในการวัดความยาวคลื่นของแสง และเป็นพื้นฐานในการพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับเลเซอร์ เช่นใยนำแสง และการวิเคราะห์โครงสร้างของวัสดุระดับนาโน ในหัวข้อนี้ เราจะศึกษาหลักการของการแทรกสอดจากสลิตคู่ สร้างภาพลวดลายแทรกสอด วิเคราะห์ตำแหน่งแถบสว่างและมืด และเรียนรู้วิธีคำนวณค่าทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งล้วนเป็นเครื่องมือสำคัญในการเข้าใจธรรมชาติของแสงในระดับที่ลึกซึ้งยิ่งขึ้น

คลื่นทุกชนิดมีสมบัติการแทรกสอด การแทรกสอดของคลื่นน้ำเรามองเห็นผลของการแทรกสอดได้อย่างชัดเจน ถ้าต้นคลื่นมาพบกันที่จุดใด ๆ จุดนั้นคลื่นน้ำก็จะสูงมากขึ้น หรือถ้าท้องคลื่นกับท้องคลื่นมาพบกันคลื่นน้ำก็จะขุ่นมากขึ้น หรือถ้าต้นคลื่นกับท้องคลื่นมาพบกันน้ำที่จุดนั้นก็จะไม่ขุ่นไม่สูง ดังรูป



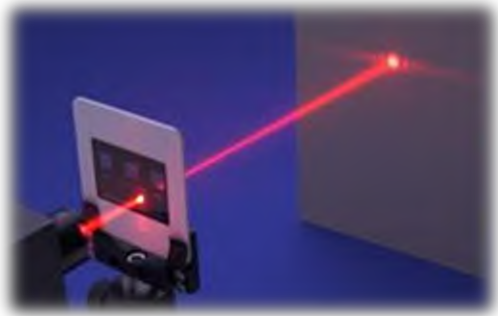
รูป 14.2 การแทรกสอดของคลื่นน้ำ

สำหรับการแทรกสอดคลื่นเสียง ถึงแม้ว่าเราจะไม่สามารถมองเห็นลักษณะการแทรกสอดของคลื่นเสียงได้ แต่เราก็สามารถจินตนาการลักษณะการแทรกสอดของคลื่นเสียงได้ว่ามีลักษณะ ดังรูป

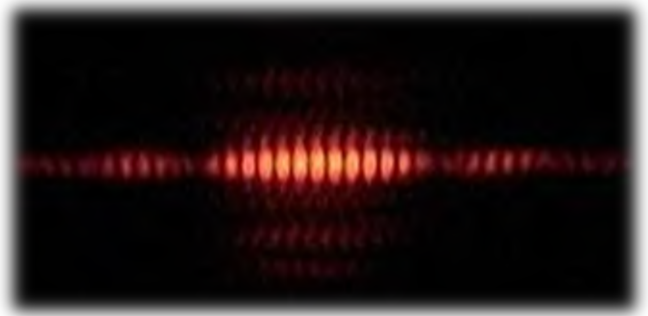


รูป 14.3 การแทรกสอดของคลื่นเสียง

สำหรับแสงก็สามารถแทรกสอดกันได้ โดยการนำแสงเลเซอร์ไปยังสลิตคู่ แล้วแสงจากช่องของสลิตทั้ง ๒ จะไปแทรกสอดกัน เกิดเป็นแถบมืดและแถบสว่าง ดังรูป



(a)



(b)

รูป 14.4 (a) การแทรกสอดของแสง

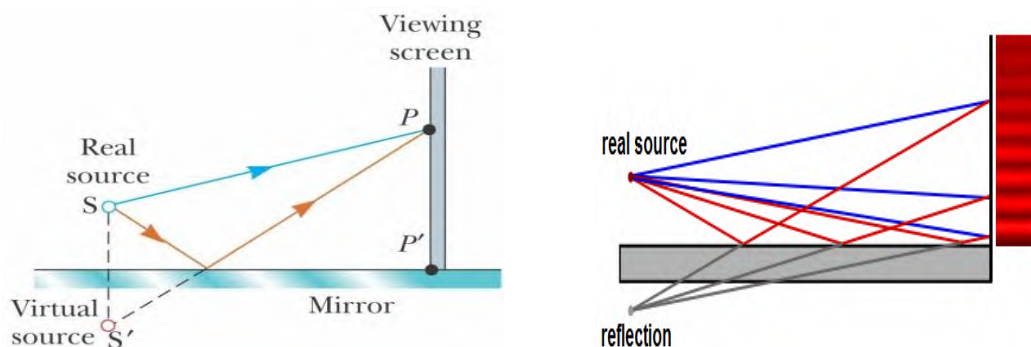
(b) ภาพการแทรกสอดของแสง

การสร้างแหล่งกำเนิดคลื่นอาพันธ์ สำหรับคลื่นน้ำ หรือคลื่นเสียงทำไม่ยาก เช่นถ้าต้องการแหล่งกำเนิดเสียงอาพันธ์ ก็ทำได้โดยการต่อลำโพง ๒ ลำโพง เข้ากับสายสัญญาณเสียงสายเดียวกัน หรือถ้าต้องการแหล่งกำเนิดคลื่นน้ำอาพันธ์ ๒ แหล่ง ก็ทำได้โดยการใช้แหล่งกำเนิดคลื่นน้ำ ๑ คลื่นที่เกิดจากการสั่นของสิ่งเดียวกัน แต่การหาแหล่งกำเนิดแสงอาพันธ์ ๒ แหล่ง ไม่ใช่เรื่องง่าย เพราะว่าเราคงไม่สามารถทำให้หลอดไฟ ๒ หลอด ให้แสงความถี่และเฟสเดียวกันได้นอกจากนั้นแสงโดยทั่วไปก็เป็นแสงที่มีหลายความถี่ผสมรวมกัน

การทำให้เกิดแหล่งกำเนิดแสงอาพันธ์ ๒ แหล่ง

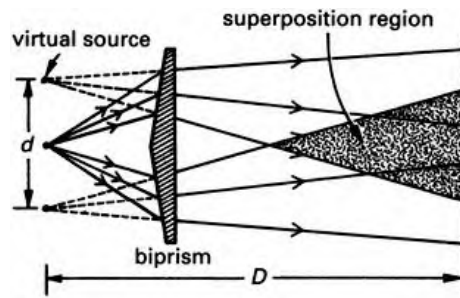
ในชุดแรก ๆ ของการศึกษาเกี่ยวกับการแทรกสอดของแสงคงทำไม่ได้ง่ายๆ เหมือนกับในชุดปัจจุบัน และการจะทำให้แหล่งกำเนิดแสง ๒ แหล่ง มีความถี่และเฟสตรงกันจึงทำได้ยาก และในปัจจุบันนี้ก็ยังไม่สามารถหาแหล่งกำเนิดแสง ๒ แหล่ง ที่มีความถี่และเฟสตรงกันได้ นักวิทยาศาสตร์จึงจำเป็นต้องหาวิธีการแก้ปัญหาที่ยิ่งใหญ่นี้ให้ได้ ในที่สุดก็มีทางออกอยู่ประมาณ ๓ ทาง ดังนี้

- 1) ลอชด์ เสนอว่า ให้ใช้แหล่งกำเนิดแสงเดียว แต่ให้แสงนั้นสะท้อนที่กระจกเงา แสงที่สะท้อนกับแสงจากต้นกำเนิดแสงจริงก็มาแทรกสอดกันที่ฉากได้



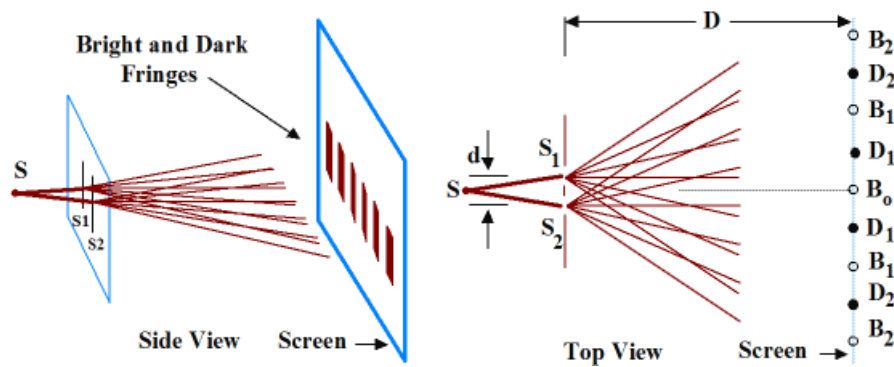
รูป 14.5 เทคนิคกระจกเงาของลอชด์

- ๒) เฟรเนล เสนอว่าให้ใช้ไบปริซึม ในการทำให้เกิดแหล่งกำเนิดอาพันธ์เสมือน ๒ แหล่ง เมื่อเรานำเอาไบปริซึมมารับแสง ไบปริซึมจะทำให้แสงจากปริซึมด้านบนกับปริซึมด้านล่างหักเหเข้าหากัน เกิดการแทรกสอดกัน โดยเสมือนว่าแสงทั้งสองส่วนนั้นมาจากแหล่งกำเนิดแสงคนละแหล่งกัน ดังรูป



รูป 14.6 ไบปริซึม ทำให้เกิดแหล่งกำเนิดอาพันธ์เสมือน ๒ แหล่ง

- ๓) โทมัส ยัง เสนอว่าให้ใช้สลิตคู่ ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดอาพันธ์เสมือน ๒ แหล่ง

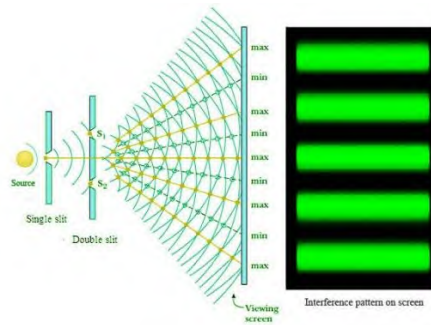


รูป 14.7 แต่ละช่องของสลิตคู่ เป็นแหล่งกำเนิดแสงอาพันธ์

สรุป แหล่งกำเนิดคลื่นแสงอาพันธ์ที่ดีที่สุด ทำง่ายที่สุด คือวิธีการสร้างแหล่งกำเนิดแสงอาพันธ์ด้วยวิธีการของยัง

การศึกษาการแทรกสอดของแสงด้วยวิธีการของโทมัส ยัง

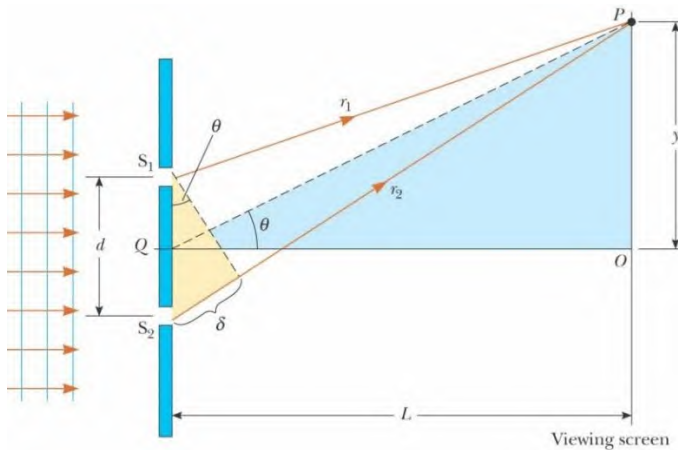
ในช่วงต้นศตวรรษที่ 19 นักวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่ยังคงมองว่าแสงเป็นอนุภาคตามแนวคิดของนิวตัน แต่ความเข้าใจในธรรมชาติของแสงก็ได้เปลี่ยนไป เมื่อ โทมัส ยัง นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษ ได้ทำการทดลองที่เรียบง่ายแต่ทรงพลัง เพื่อพิสูจน์ว่าแสงมีลักษณะเป็น คลื่น การทดลองนี้รู้จักกันในชื่อว่า "การแทรกสอดของแสงจากสลิตคู่ของยัง" โดยยังได้ส่งแสงผ่าน "สลิตคู่" และให้แสงที่ผ่านสลิตคู่ตกกระทบบนฉากรับแสง ผลที่ได้ไม่ใช่เพียงแสงสองแถบเท่านั้น แต่กลับปรากฏเป็น ลวดลายของแถบสว่างและมืดสลับกัน ซึ่งเรียกว่า แถบแทรกสอด แสดงให้เห็นว่าแสงจากทั้งสองช่องของสลิตทั้ง ๒ ได้ซ้อนทับกันในบางตำแหน่ง (เสริมกัน) และหักล้างกันในบางตำแหน่ง (หักล้างกัน) การทดลองของโทมัส ยัง จึงถือเป็นหลักฐานสำคัญที่ยืนยันว่าแสงมีคุณสมบัติของคลื่น และนับเป็นจุดเริ่มต้นของทัศนศาสตร์เชิงกายภาพในยุคใหม่ นอกจากนี้ยังวางรากฐานสำหรับการศึกษาความยาวคลื่นของแสงและการพัฒนาเทคโนโลยีที่ใช้คุณสมบัติของการแทรกสอด เช่น ฮอโลแกรมและอุปกรณ์ออปติคัลสมัยใหม่ ในหัวข้อนี้ เราจะศึกษารายละเอียดของการทดลองของยัง หลักการทางคลื่นที่อยู่เบื้องหลังการแทรกสอด วิธีการคำนวณตำแหน่งของแถบสว่างและมืด และการประยุกต์ใช้ความรู้เหล่านี้ในด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.



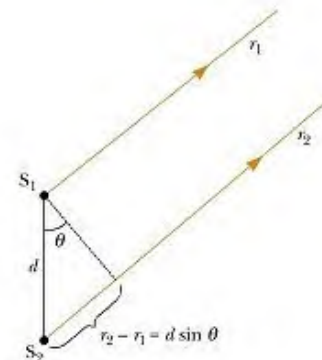
รูป 14.8 ผลจากการแทรกสอดของแสงจากแหล่งกำเนิดอาพันธ์ ๒ แหล่ง

จากการทดลองซึ่งแสงเลเซอร์ไปที่สลิตคู่ แสงเลเซอร์จากช่องของสลิตทั้งสอง จะแทรกสอดกัน เกิดแถบมืดและแถบสว่างบนฉาก ดังรูป 14.8

ทำการทดลองฉายแสงไปยังสลิตคู่ ดังรูป



(a)



(b)

รูป 14.9 แบบจำลองการแทรกสอดของแสง

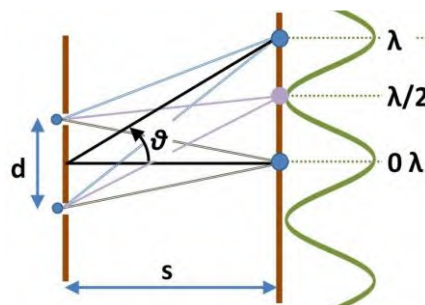
จากรูป 14.9 จะเห็นว่าระยะทาง S_2P จะมากกว่า S_1P และให้ผลต่างของระยะทางทั้งสองคือ δ ดังนั้น

$$\delta = S_2P - S_1P$$

ถ้าระยะ L มากกว่าระยะห่างของช่องสลิต (d) มากๆ จะได้ว่า

$$\delta = r_1 - r_2 = d \sin \theta$$

ระยะทางที่ต่างกัน (δ) เป็นสาเหตุที่ทำให้จุด P บนฉากเป็นจุดมืด หรือจุดสว่าง ถ้าระยะทางต่างกันเป็นจำนวนเต็มของ λ จุด P จะเป็นจุดที่คลื่นมาเสริมกัน



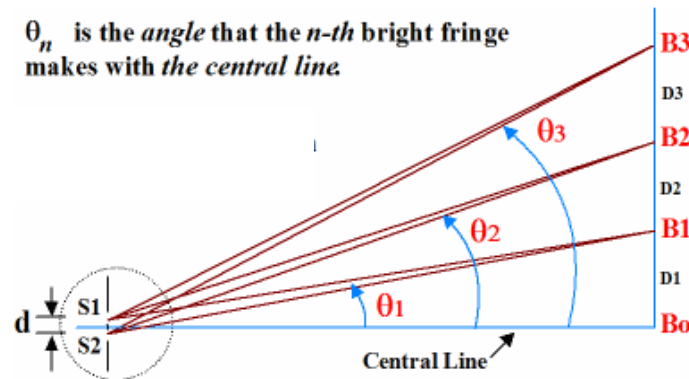
รูป 14.10 ผลการแทรกสอดจะเป็นอย่างไร ขึ้นอยู่กับผลต่างของระยะทาง

หรือสรุปได้ว่า จุด P จะเป็นจุดที่คลื่นแสงมาแทรกสอดแบบเสริมกันเมื่อ

$$d \sin \theta = m\lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2 \dots) \quad (14 - 1)$$

หรือ

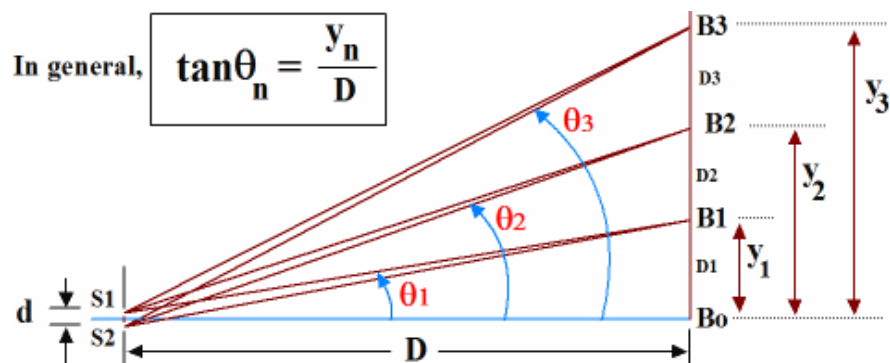
$$\sin \theta_m = \frac{m\lambda}{d}$$



หามุม θ_m ได้จากสมการ $\sin \theta_m = \frac{m\lambda}{d}$

หรือ

$$\tan \theta_n = \frac{y_n}{D}$$

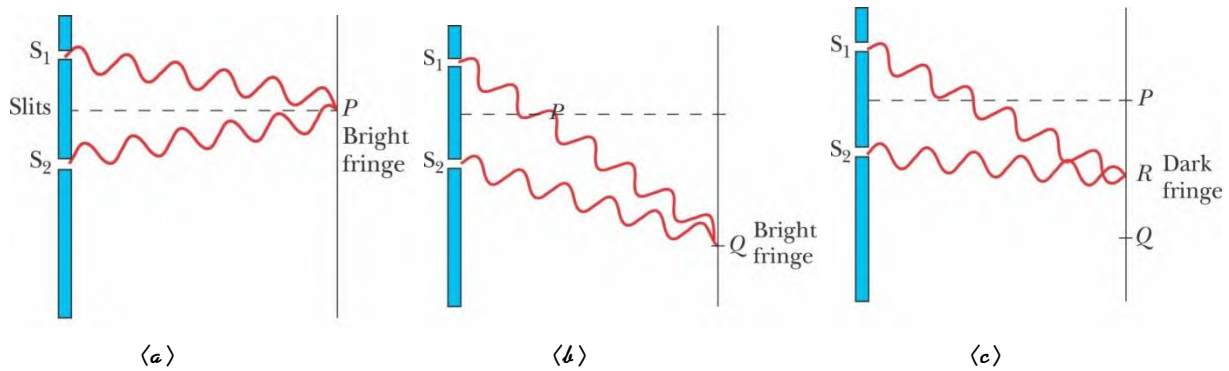


หามุม θ_m ได้จากสมการ $\tan \theta_n = \frac{y_n}{D}$

$$\tan \theta_1 = \frac{y_1}{D}, \quad \tan \theta_2 = \frac{y_2}{D}, \quad \tan \theta_3 = \frac{y_3}{D}$$

แต่ถ้าระยะทางที่ต่างกัน δ เป็นจำนวนเต็มของครึ่ง λ จุด P จะเป็นจุดที่คลื่นมาหักล้างกัน
จุด P เป็นจุดที่คลื่นแสงมาแทรกสอดแบบหักล้างกันเมื่อ

$$d \sin \theta = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2 \dots) \quad (14 - 2)$$



รูป 14.11 (a) เมื่อ $\delta = 0$ คลื่นแสงจะมาแทรกสอดแบบเสริมกัน

(b) เมื่อ $\delta = m\lambda$ คลื่นแสงจะมาแทรกสอดแบบเสริมกัน

(c) เมื่อ $\delta = (m + \frac{1}{2})\lambda$ คลื่นแสงจะมาแทรกสอดแบบหักล้างกัน

เนื่องจาก รูป 14.11 เป็นรูปที่ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง เพราะว่าจริงๆ แล้ว ช่องของสลิตถ้าดูด้วยตาเปล่า จะเห็นว่า ๒ ช่องนั้นติดกัน หรือบางคนอาจจะมองเห็นว่าเป็นช่องเดียวที่เล็กมากๆ และมุม θ ในความเป็นจริงก็เล็กกว่า มุมในรูปมากๆ ดังนั้น สมการ (14 - 1) และสมการ (14 - 2) จึงสามารถเปลี่ยนรูปได้เป็น ดังนี้
จุด P จะเป็นจุดที่คลื่นแสงมาแทรกสอดแบบเสริมกันเมื่อ

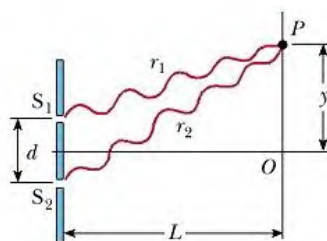
$$\frac{dy_{\text{bright}}}{L} = m\lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (14 - 1)'$$

และจุด P เป็นจุดที่คลื่นแสงมาแทรกสอดแบบหักล้างกันเมื่อ

$$\frac{dy_{\text{dark}}}{L} = (m + \frac{1}{2})\lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (14 - 2)'$$

การกระจายความเข้มแสง ของการแทรกสอดโดยสลิตคู่

เราได้ทราบแล้วว่าเมื่อฉายแสงความถี่เดียวไปยังสลิตคู่ แสงจากช่องของสลิตทั้งสองจะแทรกสอดกันเกิดเป็น แถบมืดและแถบสว่าง สำหรับในหัวข้อนี้นี้จะศึกษาเพิ่มเติมว่าความเข้มของแสงที่เกิดขึ้นบนฉากมีค่าขึ้นอยู่กับผลต่างของ ระยะทาง $(d \sin \theta)$ อย่างไร



รูป 14.12 การแทรกสอดของแสงจากสลิตคู่

จากรูป 14.12 คลื่นแสงที่จุด P เป็นคลื่นที่เกิดจากการรวมกันของคลื่นจากจุด S_1 และ S_2 ถึงแม้ว่าคลื่นจากช่องของสลิตทั้งสองเป็นคลื่นที่มีความถี่และเฟสตรงกัน แต่เมื่อคลื่นทั้งสองมาถึงจุด P คลื่นทั้งสองจะมีเฟสไม่ตรงกัน ความต่างเฟสที่จุด P ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของระยะทาง คือถ้าระยะทางต่าง 1λ เฟสจะต่างกัน 2π หรือเขียนเป็นอัตราส่วนระหว่างระยะทาง (δ) ต่อมุม ได้ว่า

$$\begin{aligned}\frac{\delta}{\phi} &= \frac{\lambda}{2\pi} \\ \phi &= \frac{2\pi}{\lambda} \delta \\ \phi &= \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta\end{aligned}\quad (14 - 3)$$

ดังนั้นเราจึงสามารถกำหนดให้ช่องของสลิตทั้งสองให้คลื่นที่มีเฟสที่ต่างกันได้

กำหนดให้ คลื่นแสงจาก S_1 มีสมการของสนามไฟฟ้าเป็น

$$E_1 = E_0 \sin \omega t$$

คลื่นแสงจาก S_2 มีสมการของสนามไฟฟ้าเป็น

$$E_2 = E_0 \sin(\omega t + \phi)$$

เมื่อคลื่นทั้งสองมาถึงจุด P คลื่นทั้งสองก็จะรวมกัน ได้

$$\begin{aligned}E_p &= E_1 + E_2 \\ E_p &= \{E_0 \sin \omega t\} + \{E_0 \sin(\omega t + \phi)\} \\ E_p &= E_0 [\sin \omega t + \sin(\omega t + \phi)]\end{aligned}\quad (14 - 4)$$

จากความรู้ทางตรีโกณมิติ

$$\sin A + \sin B = 2 \sin\left(\frac{A+B}{2}\right) \cos\left(\frac{A-B}{2}\right)$$

ดังนั้นสมการ (14 - 4) จึงเขียนใหม่ได้เป็น

$$E_p = 2E_0 \cos\left(\frac{\phi}{2}\right) \sin\left(\omega t + \frac{\phi}{2}\right)\quad (14 - 5)$$

เมื่อแอมพลิจูดของคลื่นคือ $2E_0 \cos\left(\frac{\phi}{2}\right)$ ดังนั้นแอมพลิจูดของคลื่นจึงมีค่าเปลี่ยนแปลงระหว่าง 0 ถึง $2E_0$ โดยแอมพลิจูดจะมีค่าเท่ากับ $2E_0$ เมื่อ $\phi = 0, 2\pi, 4\pi, \dots$ แอมพลิจูดจะมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อ $\phi = \pi, 3\pi, 5\pi, \dots$

เนื่องจากการทดลองนี้เป็นเรื่องการแทรกสอดของแสง ดังนั้นให้เข้าใจได้ง่ายขึ้นจะขอเปลี่ยนสนามไฟฟ้าให้เป็นความเข้มแสง ดังนี้

จากที่เรียนผ่านมาเราได้ทราบแล้วว่าความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีค่าขึ้นอยู่กับสนามไฟฟ้ากำลังสอง

$$\begin{aligned}I &\propto E^2 \\ I &\propto 4E_0^2 \cos^2\left(\frac{\phi}{2}\right) \sin^2\left(\omega t + \frac{\phi}{2}\right)\end{aligned}$$

เนื่องจากค่าเฉลี่ยของ $\sin^2\left(\omega t + \frac{\phi}{2}\right)$ มีค่าเท่ากับ $\frac{1}{2}$ ดังนั้น ความเข้มแสงเฉลี่ย

$$I_{av} \propto 2E_0^2 \cos^2\left(\frac{\phi}{2}\right)$$

$$I_{av} = I_0 \cos^2\left(\frac{\phi}{2}\right) \quad (14-6)$$

เมื่อ $I_0 = 2E_0^2$

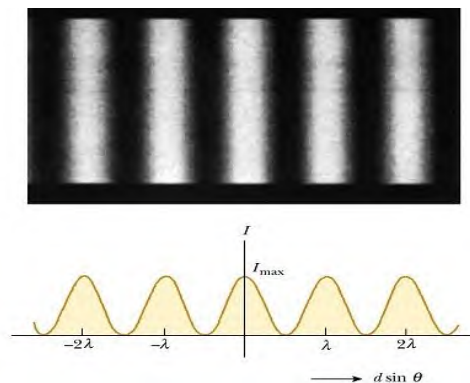
แทนค่า ϕ จากสมการ (14-3) ในสมการ (14-6) ได้

$$I_{av} = I_0 \cos^2\left(\frac{\pi d \sin \theta}{\lambda}\right) \quad (14-7)$$

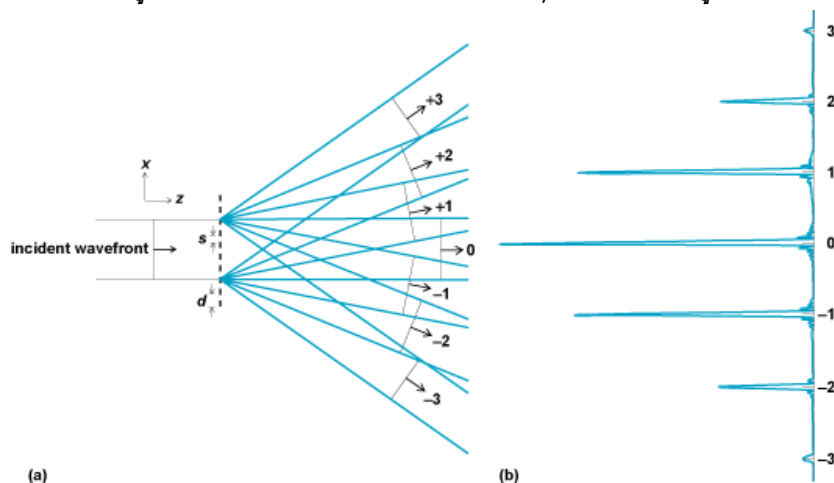
เนื่องจาก $\sin \theta \approx \theta = \frac{y}{L}$ สมการ (14-7) ได้เป็น

$$I_{av} = I_0 \cos^2\left(\frac{\pi d}{\lambda L} y\right) \quad (14-8)$$

เนื่องจากค่า $\cos^2\left(\frac{\pi d}{\lambda L} y\right)$ อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ดังนั้นความเข้มของแสงบนฉากจึงมีค่าเปลี่ยนแปลงระหว่างมืดกับสว่าง ดังรูป

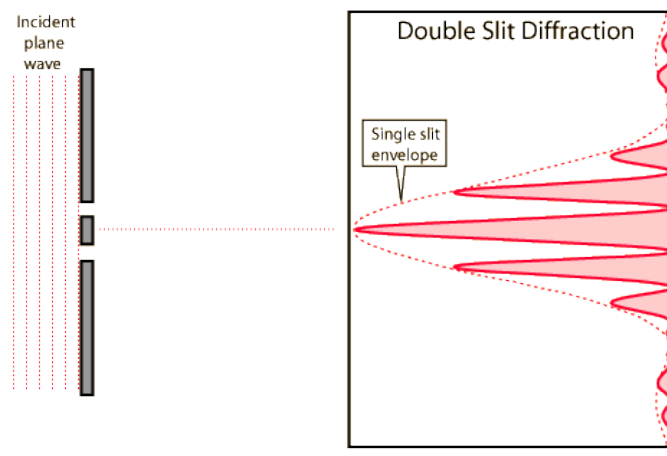


รูป 14.13 ความเข้มแสงที่ตำแหน่งต่างๆที่เกิดจากสลิตคู่



รูป 14.14 แสดงให้เห็นผลของการเลี้ยวเบน และแทรกสอด

จากรูป 14.14 แสดงให้เห็นว่าที่จุดสว่างที่จุดกึ่งกลางฉาก ($m = 0$) จะมีความสว่างมากที่สุด เนื่องจากเกิดจากการรวมของรังสีแสงจำนวนมาก และระยะทางก็ใกล้กว่า และจากรูปนี้จุดสว่างเมื่อ $m = \pm 3$ ความสว่างก็จะน้อย เนื่องจากระยะทางไกล (เป็นผลจากการเลี้ยวเบนของแสง)



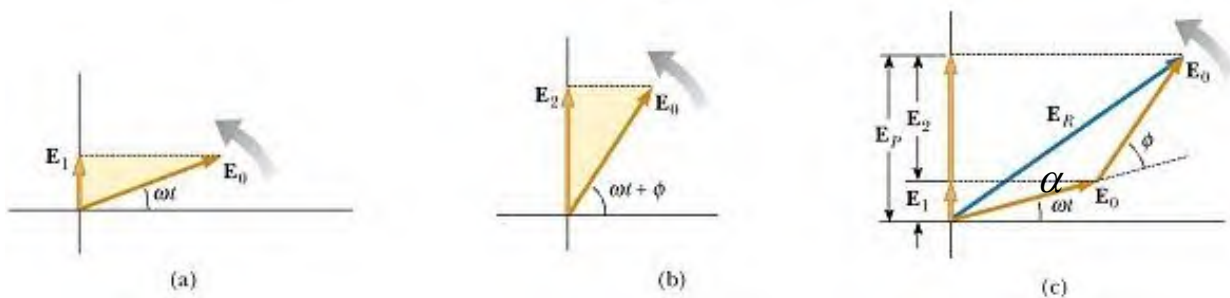
รูป 14.15 ผลของการเลี้ยวเบนและแทรกสอด

ในการเดินทางกลับบ้านของนักศึกษาทุกคน ก็เดินทางกลับบ้านได้หลายวิธี ในทำนองเดียวกันการพิสูจน์หาสมการการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่ก็ทำได้หลายวิธี และที่ผ่านมามีก็ได้พิสูจน์หาสมการการแทรกสอดของแสงจากสลิตคู่มาแล้วโดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ และได้สมการการแทรกสอดของแสงคือสมการ (14 - 5)

ต่อไปเราจะพิสูจน์หาสมการ (14 - 5) อีกครั้งหนึ่ง แต่ใช้วิธีการแบบเวกเตอร์ ดังนี้ (เปรียบได้กับดูหนังเรื่องเดิมแต่เปลี่ยนนักแสดงใหม่ทั้งหมด)

ความเข้มแสงของการแทรกสอดผ่านสลิตคู่

ถ้าให้สนามไฟฟ้าของแสงที่ผ่านช่องของสลิตคู่ เป็น E_1 และ E_2 ตามลำดับ และให้สนามไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดทั้งสอง มีขนาดเท่ากัน แต่มีเฟสต่างกัน ดังรูป 14.16



รูป 14.16 แผนภาพเฟเซอร์ของ E_1 และ E_2 และผลรวมของ E_1 และ E_2

ให้สนามไฟฟ้า E_1 และ E_2 มีสมการ ดังนี้

$$E_1 = E_0 \sin \omega t \quad E_2 = E_0 \sin(\omega t + \phi)$$

จากรูป 14.16 (c) ถ้าปรับใหม่ โดยพิจารณาที่ $t = 0$ จะได้รูปใหม่ ดังรูป 14.16