

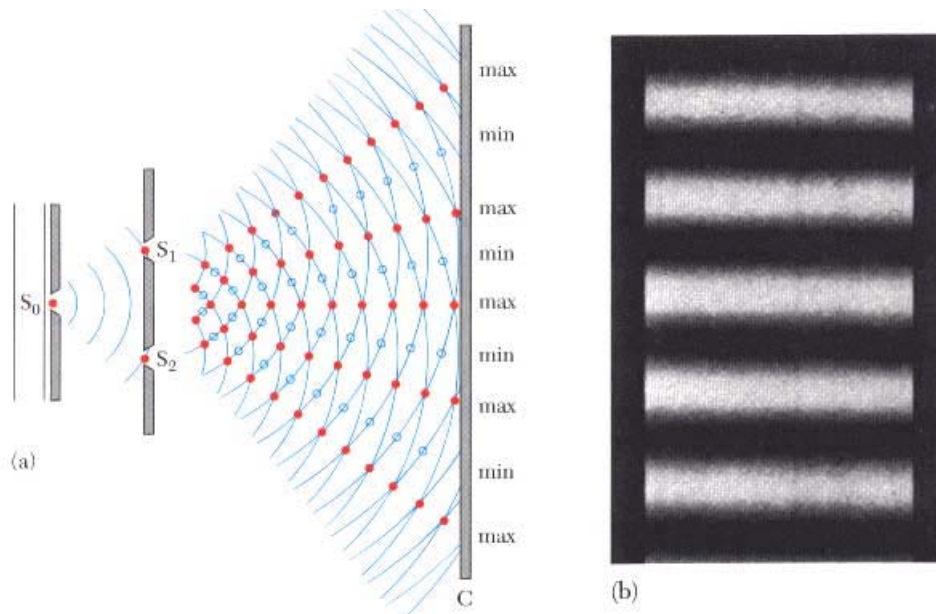
ในบทนี้กล่าวถึงสมบัติของคลื่นแสง คือการแทรกสอดซึ่งเป็นผลจากการรวมกันของคลื่น และการเลี้ยวเบน ซึ่งเกิดขึ้นมีแสงเดินทางผ่านสิ่งกีดขวาง

16.1 การแทรกสอดผ่านช่องคู่ (Double Slit Interference)

การรวมกันของคลื่น เป็นได้ทั้งแบบเสริมกันหรือหักล้างกัน ทำให้ในปรากฏการณ์แทรกสอดสามารถสังเกตความแตกต่างของสีที่มืดและสว่างสลับกัน แหล่งกำเนิดที่ทำให้แสงมาแทรกสอดกันได้ ต้องมีคุณสมบัติดังนี้

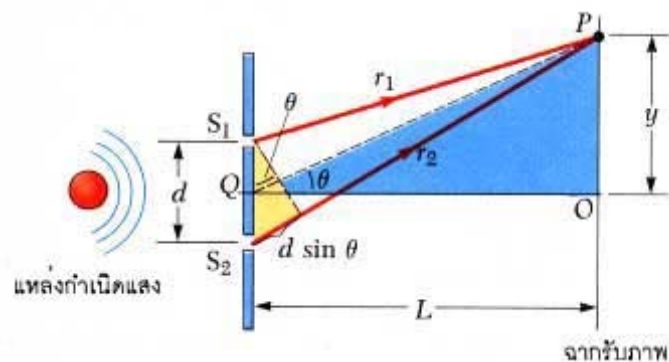
- เป็นแสงอาพันธ์ (Coherent) คือ มีความต่างเฟสคงที่
- เป็นแสงเอกรงค์ (Monochromatic) คือ มีความยาวคลื่นเดียว (สีเดียว)

ในปี ค.ศ.1801 โทมัส ยัง (Thomas Young) ได้สาธิตการแทรกสอดของแสงผ่านช่องเล็กยาวคู่ โดยใช้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงสีเดียวผ่านช่องเดี่ยว S_0 แล้วผ่านช่องคู่ S_1 และ S_2 ซึ่งทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงอาพันธ์ และทำให้เกิดริ้ว (Fringes) บนฉาก



ภาพที่ 16-1 การแทรกสอดผ่านช่องคู่ในการทดลองของยัง

16.1.1 ริ้วสว่างและมืดจากการแทรกสอด



ภาพที่ 16-2 Path Difference ในการแทรกสอดผ่านช่องคู่

ริ้วสว่างและมืดเกิดจากแสงจากช่องคู่เสริมกันหรือหักล้างกัน บริเวณใดจะเป็นริ้วมืดหรือสว่างขึ้นอยู่กับความต่างเฟสระหว่างแสงจากแต่ละช่อง (s_1 และ s_2) ความต่างเฟส (ϕ) มีความสัมพันธ์กับความต่างของระยะที่แสงเดินทาง หรือ Path Difference (δ) ดังนี้

$$\phi = (2\pi/\lambda)\delta \quad (16-1)$$

จากภาพที่ 16-2 คลื่นจาก s_1 และ s_2 มี Path Difference ดังนี้

$$\delta = r_2 - r_1 = d\sin\theta \quad (16-2)$$

เมื่อ d คือ ระยะห่างของช่องทั้งสอง และ θ คือมุมที่วัดเทียบกับแนวกลาง

- **เงื่อนไขการเกิดริ้วสว่าง** คลื่นเสริมกันเมื่อมุมเฟสตรงกัน $\delta = 0$ หรือจำนวนเท่าของ λ

$$d\sin\theta = m\lambda \quad \text{เมื่อ } m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots, m \text{ คือเลขอันดับ}$$

$$d(Y/L) \approx m\lambda \quad \text{ในกรณีที่ } L \gg d$$

เมื่อ L คือระยะห่างระหว่างช่องคู่กับฉาก และ Y คือตำแหน่งของริ้วที่วัดจากแนวกลาง

- **เงื่อนไขการเกิดริ้วมืด** คลื่นหักล้างกันเมื่อมุมเฟสต่างกัน 180 องศา $\delta =$ จำนวนเลขคี่ของ $\lambda/2$

$$d\sin\theta = (m + 1/2)\lambda \quad \text{เมื่อ } m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots, m \text{ คือเลขอันดับ}$$

$$d(Y/L) \approx (m + 1/2)\lambda \quad \text{ในกรณีที่ } L \gg d$$

16.1.2 ความเข้มแสงของริ้วจากการแทรกสอด

ความเข้มของแสงจากการแทรกสอด คำนวณจากผลรวมสนามไฟฟ้าของคลื่นที่แทรกสอดกัน

โดยกำหนดให้

$$E_1 = E_0 \sin \omega t \quad (16-3)$$

$$E_2 = E_0 \sin(\omega t + \phi) \quad (16-4)$$

ในการรวมคลื่นได้ดังนี้

$$E_p = E_1 + E_2 \quad (16-5)$$

ค่าความเข้มของแสงมีค่าแปรผันตรงกับสนามไฟฟ้ายกกำลังสอง ($I \propto E^2$) และหาค่าเฉลี่ยได้ดังนี้

$$I_{av} = I_0 \cos^2(\phi/2) \quad (16-6)$$

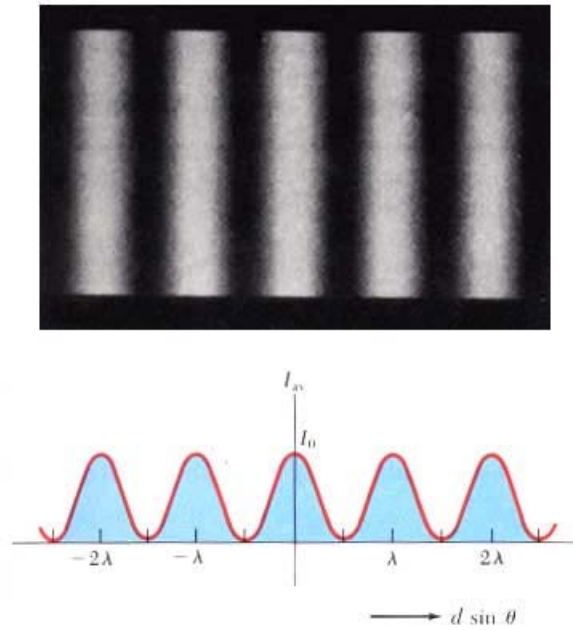
แทนค่า ϕ จาก

$$\phi = (2\pi/\lambda)\delta = (2\pi/\lambda)d\sin\theta \approx (2\pi/\lambda)d(y/L) \quad (16-7)$$

ได้ดังนี้

$$I_{av} = I_0 \cos^2(\pi dy / \lambda L) \quad (16-8)$$

ถ้าเขียนกราฟแสดงความเข้มแสงกับค่า $d\sin\theta$ จะได้ดังภาพที่ 16-3 จะเห็นว่าแต่ละความเข้มแสงเท่ากัน และ แถบมืด แถบสว่างมีความกว้างเท่ากันด้วย

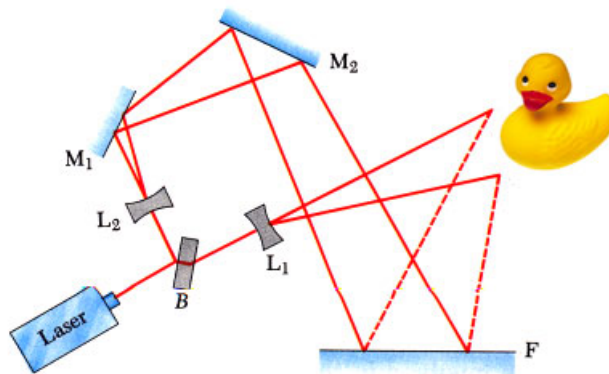


ภาพที่ 16-3 ความเข้มแสงที่เปลี่ยนไปตามค่า $d \sin \theta$

16.2 โฮโลกราฟี (Holography)

นอกจากการแทรกสอดผ่านช่องคู่แล้ว การแทรกสอดยังสามารถสังเกตได้ในกรณีฟิล์มสูงๆ ปีกแมลงทับ ขนของนกยูง และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในกรณีของโฮโลกราฟี ซึ่งนิยมใช้ในบัตรเครดิต สินค้าลิขสิทธิ์ การประดับตกแต่งต่าง ๆ

Dennis Gabor เป็นผู้ประดิษฐ์โฮโลกราฟีขึ้นเป็นครั้งแรกในปี 1947 โฮโลกราฟีเป็นเทคนิคการสร้างภาพ 3 มิติ โดยใช้หลักการแทรกสอดของลำแสงเลเซอร์แทนการใช้แสง ทำให้เกิดภาพบนฟิล์มโดยตรง ความแตกต่างจากภาพถ่ายธรรมดาที่บันทึกเพียงความเข้มของแสง คือโฮโลแกรมจะบันทึกทั้งความเข้มและเฟสของแสง เทคนิคโฮโลกราฟีมีหลายรูปแบบ ยกตัวอย่างกรณีในภาพที่ 16-4



ภาพที่ 16-4 การสร้างโฮโลแกรม

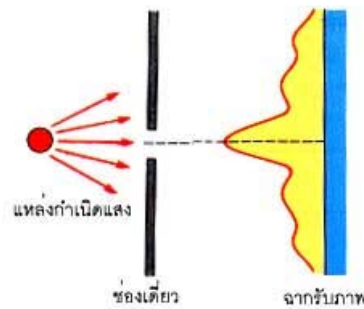
การสร้างภาพโฮโลแกรม ทำได้โดยยิงเลเซอร์ผ่านกระจกที่สะท้อนแสงบางส่วน จากนั้นแสงบางส่วนซึ่งทำหน้าที่เป็น Reference Beam จะไปตกบนแผ่นฟิล์มใสโดยตรง และแสงอีกส่วนหนึ่งจะไปกระทบวัตถุ (เรียกว่า Object Beam) แล้วสะท้อนไปแทรกสอดกับส่วนแรกบนฟิล์ม "ข้อมูล" จะถูกบันทึกบนฟิล์มทั้งความเข้มและเฟสของคลื่นทั้งสองที่แทรกสอดกัน เมื่อใช้เลเซอร์ฉายแสงไปยังแผ่นฟิล์มที่ล้างแล้ว จะเห็นภาพวัตถุ "ลอย" อยู่

16.3 การเลี้ยวเบนผ่านช่องเดี่ยว (Single Slit Diffraction)

เมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง เช่น ช่องเปิดแคบ ๆ, เส้นผม, หลุมในแผ่นซีดี จะเกิดปรากฏการณ์เลี้ยวเบน โดยขอบของสิ่งกีดขวางจะประพฤติตัวเสมือนแหล่งกำเนิดคลื่นใหม่จำนวนมากมาย (ตามหลักของฮอยเกนส์) เมื่อนำฉากมารับจะเห็นริ้วมืดสว่างที่เกิดจากการแทรกสอดของคลื่นจำนวนมากเหล่านี้

การเลี้ยวเบนที่จะพิจารณาต่อไปเป็นการเลี้ยวเบนผ่านช่องเดี่ยว ที่มีขนาดเทียบเท่ากับความยาวคลื่นแสง แบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

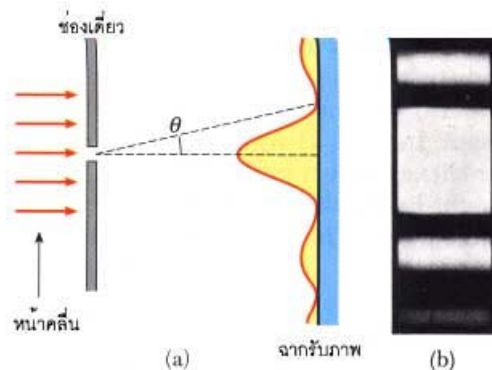
- **แบบเฟรสเนล (Fresnel Diffraction)** เป็นกรณีที่แหล่งกำเนิดแสงและฉากอยู่ใกล้ช่องเดี่ยว ทำให้แสงที่ผ่านช่องเดี่ยวไม่เป็นแสงขนาน



ภาพที่ 16-6 Fresnel Diffraction ผ่านช่องเดี่ยว

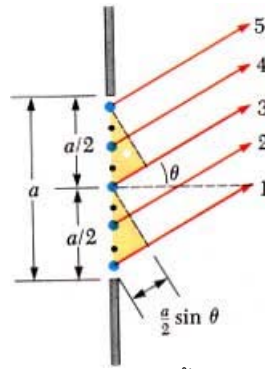
- **แบบฟรอนโฮเฟอร์ (Fraunhofer Diffraction)** เป็นกรณีที่เกิดขึ้นเมื่อ แหล่งกำเนิดแสงและฉากอยู่ห่างจากช่องเดี่ยวมากเป็นระยะอนันต์ เนื่องจากแหล่งกำเนิดแสงอยู่ไกลมาก หน้าคลื่นของแสงที่ผ่านช่องเดี่ยวจึงเป็นเส้นตรง หรือเรียกว่าแสงขนาน

ในทางปฏิบัติ มักใช้เลนส์ขนานช่วยทำให้เป็นแสงขนาน และช่วยลดระยะของฉาก โดยการย่อระยะภาพให้ใกล้เข้ามา ริ้วของการเลี้ยวเบนแบบนี้ ซึ่งจะศึกษาในหัวข้อต่อไป



ภาพที่ 16-5 Fraunhofer Diffraction ผ่านช่องเดี่ยว

16.3.1 รี้วสว่างและมืดจากการเลี้ยวเบนแบบฟรอนโฮเฟอร์



ภาพที่ 16-7 วิเคราะห์การเลี้ยวเบนผ่านช่องเล็กเดี่ยว

เมื่อพิจารณาทุก ๆ จุดบนช่องเดี่ยว เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นแสงใหม่ ตามหลักของฮอยเกน (Huygen's Principle) แสงจากจุดกำเนิดเล็ก ๆ จะแทรกสอดกันเกิดเป็นรี้วมืดและสว่างบนฉาก

จากภาพที่ 16-7 ถ้าแบ่งช่องที่กว้าง a เป็นสองส่วน แต่ละส่วนยาว $a/2$ พิจารณาการหักล้างกันของคลื่นแสงจากสองส่วนนี้ (เส้นแสง 1 กับ 3 และ 2 กับ 4) จะเกิดขึ้น เมื่อ Path Difference $\approx \lambda/2$ นั่นคือจะได้ว่า

$$(a/2)\sin \theta = \lambda/2 \tag{16-9}$$

$$a \sin \theta = \lambda \tag{16-10}$$

- ถ้าแบ่งช่องเล็กเป็น 4 ส่วน จะได้ว่า

$$a \sin \theta = 2\lambda \tag{16-11}$$

- ถ้าแบ่งช่องเล็กเป็น 6 ส่วน จะได้ว่า

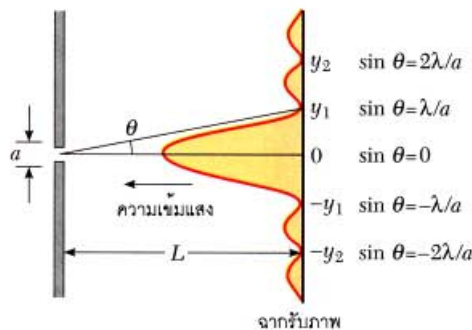
$$a \sin \theta = 3\lambda \tag{16-12}$$

ดังนั้น เงื่อนไขการหักล้างเป็นรี้วมืด เป็นดังนี้

$$a \sin \theta = m\lambda \quad m = \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots\dots \text{เมื่อ } m \text{ คือเลขอันดับ} \tag{16-13}$$

$$a (Y/L) \approx m\lambda \quad \text{เนื่องจากฉากอยู่ไกลมาก} \tag{16-14}$$

เมื่อ L คือระยะห่างระหว่างช่องเดียวกับฉาก และ Y คือตำแหน่งของรี้วมืดที่วัดจากแนวกลาง



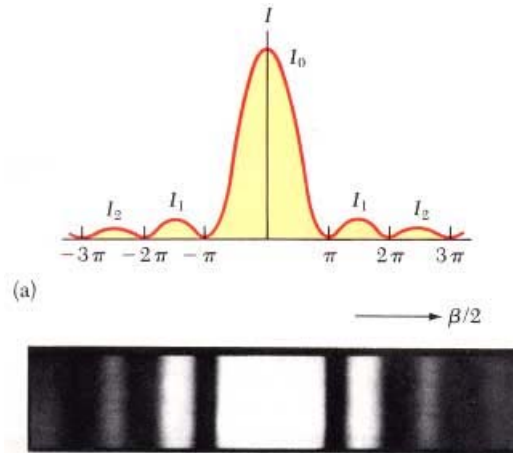
ภาพที่ 16-8 แสดงตำแหน่งของแถบมืดในการเลี้ยวเบนผ่านช่องเดี่ยว

16.3.2 ความเข้มแสงของริ้วจากการเลี้ยวเบนแบบฟรอนโฮเฟอร์

ความเข้มของแสงบนฉากจะเปลี่ยนไปตามตำแหน่งริ้วที่เกิดบนฉาก ตามสมการ

$$I_{\theta} = I_0 \left[\frac{\sin(\pi a \sin \theta / \lambda)}{\pi a \sin \theta / \lambda} \right]^2 \quad (16-15)$$

พิจารณาจากสมการจะสอดคล้องกับผลการทดลองว่า ความเข้มของแต่ละริ้วสว่างจะไม่เท่ากัน โดยที่เลขลำดับสูง ความเข้มจะลดลง ต่างจากกรณีการแทรกสอดผ่านช่องคู่ที่ความเข้มจะเท่ากัน



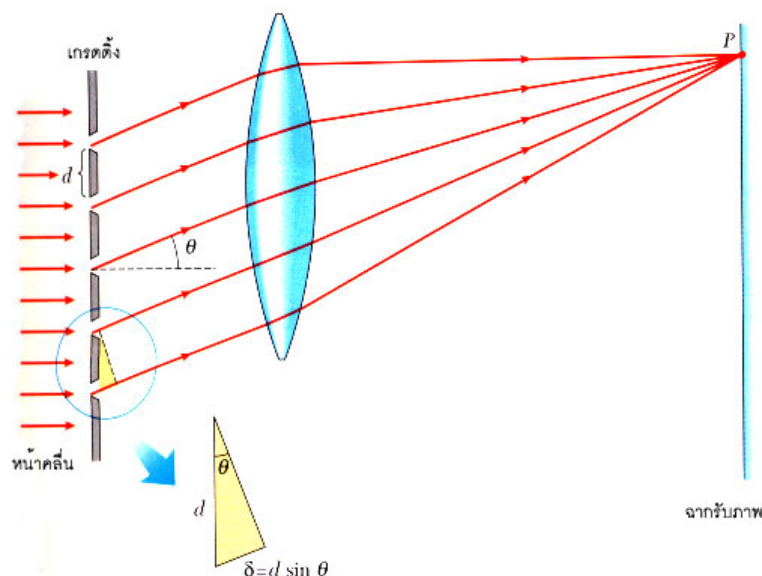
ภาพที่ 16-9 ความเข้มของแสงที่ริ้วการเลี้ยวเบนผ่านช่องเดี่ยว

16.4 การเลี้ยวเบนผ่านเกรตติง (The Diffraction Grating)

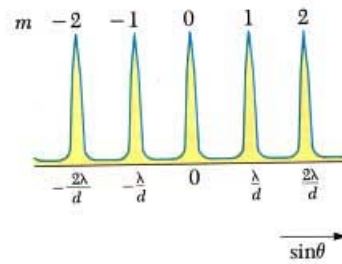
เกรตติงประกอบด้วยช่องเปิดขนาดเล็กยาวขนานกันจำนวนมากมาย ระบุเป็นจำนวนเส้นต่อความยาวเกรตติง ขนาดของช่องเล็ก (d) จึงมีค่าเป็นส่วนกลับของจำนวนเส้นต่อความยาว เช่น เกรตติงขนาด 5000 เส้นต่อเซนติเมตรจะมีขนาดของช่องเล็ก $d = 1/5000$ เซนติเมตร หรือ 2×10^{-4} เซนติเมตร

เมื่อแสงขนานตกกระทบเกรตติง ดังแสดงในภาพที่ 16-10 (เลนส์นูนทำหน้าที่รวมแสงไปที่จุด P เป็นการย่อระยะฉาก) แต่ละช่องเล็กเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นใหม่ ที่ทำให้เกิดการเลี้ยวเบนไปแทรกสอดกัน ทำให้เกิดริ้วมืดและสว่างบนฉาก เงื่อนไขการเกิดแถบสว่าง คือ

$$d \sin \theta = m \lambda \quad m = 0, 1, 2, 3, \dots \text{ .m คือเลขอันดับ} \quad (16-16)$$



ภาพที่ 16-10 การเลี้ยวเบนผ่านเกรตติงที่มีเลนส์นูนทำหน้าที่โฟกัสแสง



ภาพที่ 16-11 กราฟของความเข้มของริ้วการเลี้ยวเบนผ่านเกรตติง

ถ้าฉายแสงหลายความยาวคลื่น (หลายสี) จะเกิดริ้วการเลี้ยวเบนหลายชุด เกรตติงจึงมีประโยชน์ในการวัดค่าความยาวคลื่นแสง (เมื่อทราบมุมเลี้ยวเบน θ และขนาดของช่องเกรตติง) และสามารถใช้กระจายแสงให้เป็นสเปกตรัมสี เช่นเดียวกับปริซึม ดังกล่าวถึงในบทต่อไป

หนังสืออิเล็กทรอนิกส์	
ฟิสิกส์ 1(ภาคกลศาสตร์(ฟิสิกส์ 1 (ความร้อน)
ฟิสิกส์ 2	กลศาสตร์เวกเตอร์
โลหะวิทยาฟิสิกส์	เอกสารคำสอนฟิสิกส์ 1
ฟิสิกส์ 2 (บรรยาย(แก้ปัญหาฟิสิกส์ด้วยภาษา C
ฟิสิกส์พิศวง	สอนฟิสิกส์ผ่านทางอินเทอร์เน็ต
ทดสอบออนไลน์	วิดีโอการเรียนการสอน
หน้าแรกในอดีต	แผ่นใสการเรียนการสอน
เอกสารการสอน PDF	กิจกรรมการทดลองทางวิทยาศาสตร์
แบบฝึกหัดออนไลน์	สุดยอดสิ่งประดิษฐ์
การทดลองเสมือน	
บทความพิเศษ	ตารางธาตุไทย1) 2 (Eng)
พจนานุกรมฟิสิกส์	ลับสมองกับปัญหาฟิสิกส์
ธรรมชาติมหัศจรรย์	สูตรพื้นฐานฟิสิกส์
การทดลองมหัศจรรย์	ดาราศาสตร์ราชมงคล
แบบฝึกหัดกลาง	
แบบฝึกหัดโลหะวิทยา	แบบทดสอบ
ความรู้รอบตัวทั่วไป	อะไรเอ่ย ?
ทดสอบ)เกมเศรษฐี(คติปริศนา
ข้อสอบเอนทรานซ์	เฉลยกลศาสตร์เวกเตอร์
คำศัพท์ประจำสัปดาห์	
ความรู้รอบตัว	
การประดิษฐ์ของโลก	ผู้ได้รับโนเบลสาขาฟิสิกส์
นักวิทยาศาสตร์เทศ	นักวิทยาศาสตร์ไทย
ดาราศาสตร์พิศวง	การทำงานของอุปกรณ์ทางฟิสิกส์
การทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ	

 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 1 	
1. การวัด	2. เวกเตอร์
3. การเคลื่อนที่แบบหนึ่งมิติ	4. การเคลื่อนที่บนระนาบ
5. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน	6. การประยุกต์กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน
7. งานและพลังงาน	8. การดลและโมเมนตัม
9. การหมุน	10. สมดุลของวัตถุแข็งเกร็ง
11. การเคลื่อนที่แบบคาบ	12. ความยืดหยุ่น
13. กลศาสตร์ของไหล	14. ปริมาณความร้อน และ กลไกการถ่ายโอนความร้อน
15. กฎข้อที่หนึ่งและสองของเทอร์โมไดนามิก	16. คุณสมบัติเชิงโมเลกุลของสสาร
17. คลื่น	18. การสั่น และคลื่นเสียง
 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 2 	
1. ไฟฟ้าสถิต	2. สนามไฟฟ้า
3. ความกว้างของสายฟ้า	4. ตัวเก็บประจุและการต่อตัวต้านทาน
5. ศักย์ไฟฟ้า	6. กระแสไฟฟ้า
7. สนามแม่เหล็ก	8. การเหนี่ยวนำ
9. ไฟฟ้ากระแสสลับ	10. ทรานซิสเตอร์
11. สนามแม่เหล็กไฟฟ้าและเสาอากาศ	12. แสงและการมองเห็น
13. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ	14. กลศาสตร์ควอนตัม
15. โครงสร้างของอะตอม	16. นิวเคลียร์
 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ทั่วไป 	
1. จลศาสตร์ (kinematic)	2. จลพลศาสตร์ (kinetics)
3. งานและโมเมนตัม	4. ซิมเปิลฮาร์โมนิก คลื่น และเสียง
5. ของไหลกับความร้อน	6. ไฟฟ้าสถิตกับกระแสไฟฟ้า
7. แม่เหล็กไฟฟ้า	8. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับแสง
9. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ อะตอม และนิวเคลียร์	

