

บทที่ 14

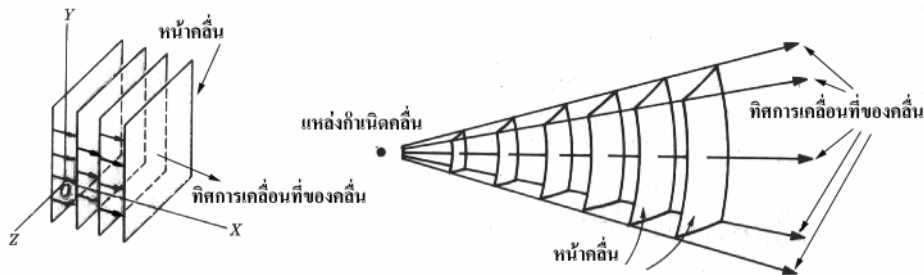
แสง

14.1 ธรรมชาติของแสง

แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประเภทหนึ่ง สามารถเคลื่อนที่ผ่านสุญญากาศได้ด้วยความเร็วเท่ากับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอื่น คือ 3×10^8 เมตร/วินาที และมีสมบัติเหมือนกับคลื่นตามขวางทั่ว ๆ ไป คือมีการสะท้อน (reflection) การหักเห (refraction) การเลี้ยวเบน (diffraction) การแทรกสอด (interference) และโพลาไรเซชัน (polarization)

ในความคิดของนักวิทยาศาสตร์ปัจจุบัน เชื่อว่าแสงมีสมบัติเป็นได้ทั้งคลื่นและอนุภาค แสงประพฤติตัวเป็นคลื่นพบได้ในปรากฏการณ์การแทรกสอดของยัง (Young) ทฤษฎีหน้าคลื่นของฮอยเกนส์ใช้อธิบายการสะท้อนและการหักเห สมบัติความเป็นคลื่นของแสงใช้อธิบายการทดลองการเลี้ยวเบนของเฟรสเนล (Fresnel) แต่สมบัติความเป็นคลื่นไม่สามารถนำไปใช้อธิบายการเกิดอิเล็กตรอนอิสระบนผิวโลหะเมื่อแสงตกกระทบ ไม่สามารถอธิบายปรากฏการณ์คอมป์ตัน และไม่สามารถอธิบายการแผ่รังสีของวัตถุดำได้ครบสมบูรณ์ ปรากฏการณ์เหล่านี้ต้องใช้สมบัติความเป็นอนุภาคของแสงอธิบายโดยตั้งสมมติฐานว่าแสงเป็นอนุภาคไร้มวล เรียกว่า โฟตอน พลังงานของโฟตอน 1 ตัวมีค่าเท่ากับ hf เมื่อ h คือค่าคงที่ของพลังค์ (planck's constant) มีค่าเท่ากับ 6.63×10^{-34} จูล·วินาที และ f เป็นความถี่ของแสง สมมติฐานที่ให้แสงเป็นอนุภาคสามารถอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่กล่าวมาได้ทั้งหมด ในบทนี้จะกล่าวถึงเฉพาะสมบัติความเป็นคลื่นของแสง คลื่นแสงขบวนหนึ่ง ๆ เราสามารถแทนด้วยเส้นตรงในแนวทิศการเคลื่อนที่ เรียกเส้นนี้ว่า รังสี (ray) ของแสง รังสีของแสงจะตั้งฉากกับหน้าคลื่น (wavefront) ของแสง

การหาหน้าคลื่นใหม่ของแสงสามารถทำได้โดยวิธีทางเรขาคณิต เรียกว่า หลักของฮอยเกนส์ (Huygen's principle) กล่าวว่าทุก ๆ จุดบนหน้าคลื่นถือว่าเป็นต้นกำเนิดคลื่นทุติยภูมิ (secondary wave) ที่แผ่ออกไปด้วยความเร็วเท่าเดิมในทิศทางเดิม เส้นสัมผัสที่ลากผ่านตำแหน่งเหล่านี้เป็นหน้าคลื่นใหม่



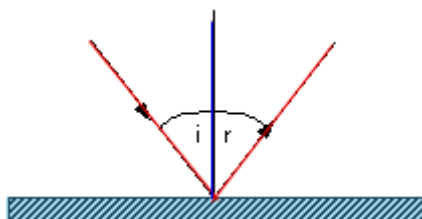
รูปที่ 14.1 (ก) การสร้างหน้าคลื่นใหม่ของคลื่นระนาบ

(ข) การสร้างหน้าคลื่นใหม่ของคลื่นแบบทรงกลม

14.2 การสะท้อนของแสง

เมื่อคลื่นแสงเดินทางตกกระทบบัวกลางอีกชนิดหนึ่ง แสงบางส่วนหรือทั้งหมดจะสะท้อนกลับไม่ว่าผิวที่ตกกระทบบจะขรุขระหรือเป็นผิวโค้ง หรือเป็นผิวเรียบก็ตาม หลักการสะท้อนแสงจะเป็นไปตามกฎการสะท้อนแสง 2 ข้อ ดังนี้

1. รังสีตกกระทบบและรังสีสะท้อนจะอยู่ในระนาบเดียวกันเสมอ
2. มุมตกกระทบบ (angle of incident) จะเท่ากับมุมสะท้อน (angle of reflection)



รูปที่ 14.2 การสะท้อนของแสง

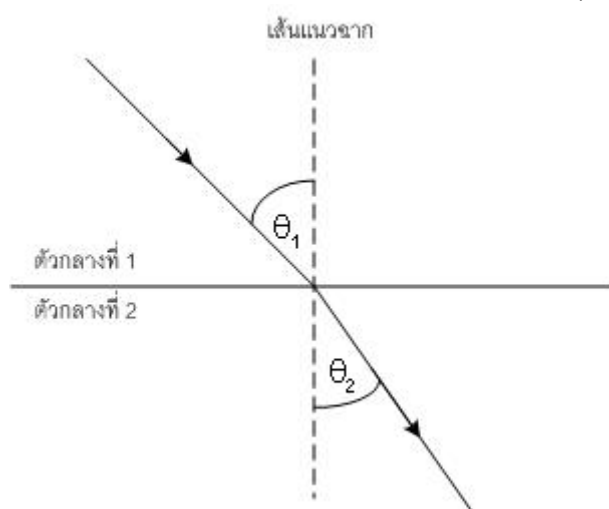
14.3 การหักเหของแสง

เมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน พบว่า

1. ความเร็ว ความยาวคลื่นของแสงจะเปลี่ยนไป แต่ความถี่จะไม่เปลี่ยน
2. แสงจะหักเหเข้าหาเส้นปกติ เมื่อแสงเดินทางจากตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อย

สู่ตัวกลางที่มีความหนาแน่นมาก แสงจะหักเหออกจากเส้นปกติเมื่อแสงเดินทางจากตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากสู่ตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อย

3. แสงจะเดินทางผ่านตัวกลางเป็นเส้นตรง (ไม่มีการหักเห) เมื่อมุมตกกระทบบ $= 0^\circ$



รูปที่ 14.3 แสงเดินทางจากตัวกลางที่ 1 เข้าสู่ตัวกลางที่ 2

จากรูปที่ 14.3 แสงเดินทางจากตัวกลางที่ 1 ด้วยความเร็ว v_1 หักเหเข้าสู่ตัวกลางที่ 2 ด้วยความเร็ว v_2 ในที่นี้ θ_1 เป็นมุมตกกระทบ และ θ_2 เป็นมุมหักเห พบว่า

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} \quad (14.1)$$

ถ้าตัวกลางที่ 1 เป็นสุญญากาศ และตัวกลางที่ 2 เป็นตัวกลางใด ๆ

ให้ c เป็นอัตราเร็วของแสงในสุญญากาศ มีค่า 3×10^8 m/s

v เป็นอัตราเร็วของแสงในตัวกลางใด ๆ

ให้ค่านิยามของดรรชนีหักเหของตัวกลาง คือ อัตราส่วนระหว่างอัตราเร็วของแสงในสุญญากาศกับอัตราเร็วของแสงในตัวกลางนั้น

ถ้า n แทน ดรรชนีหักเหของตัวกลาง

$$\text{จะได้} \quad n = \frac{c}{v} \quad (14.2)$$

พิจารณารูปที่ 14.3 ให้ n_1 เป็นดรรชนีหักเหของตัวกลาง 1

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (14.1) จะได้} \quad n_1 &= \frac{c}{v_1} \\ v_1 &= \frac{c}{n_1} \end{aligned}$$

ให้ n_2 เป็นดรรชนีหักเหของตัวกลางที่ 2

$$\text{จะได้} \quad v_2 = \frac{c}{n_2}$$

แทนค่า v_1 และ v_2 ในสมการ (14.1)

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} &= \frac{n_2}{n_1} \\ n_1 \sin \theta_1 &= n_2 \sin \theta_2 \end{aligned} \quad (14.3)$$

สมการที่ 14.3 เรียกว่ากฎของสเนลล์

ตัวอย่างที่ 14.1 แสงเดินทางออกจากแก้วคราวน์สู่อากาศ ทำมุมตกกระทบ 30° ที่ผิวรอยต่อระหว่างแก้วคราวน์กับอากาศ มุมหักเหเป็นเท่าใด กำหนดดรรชนีหักเหของอากาศเท่ากับ 1 และดรรชนีของแก้วคราวน์ 1.52

วิธีทำ ใช้กฎของสเนลล์หามุมหักเห

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad n_1 \sin \theta_1 &= n_2 \sin \theta_2 \\ 1.52 \sin 30^\circ &= 1 \sin \theta_2 \\ \sin \theta_2 &= \frac{1.52 \times 0.5}{1} = 0.76 \\ \theta_2 &= 49.5^\circ \end{aligned}$$

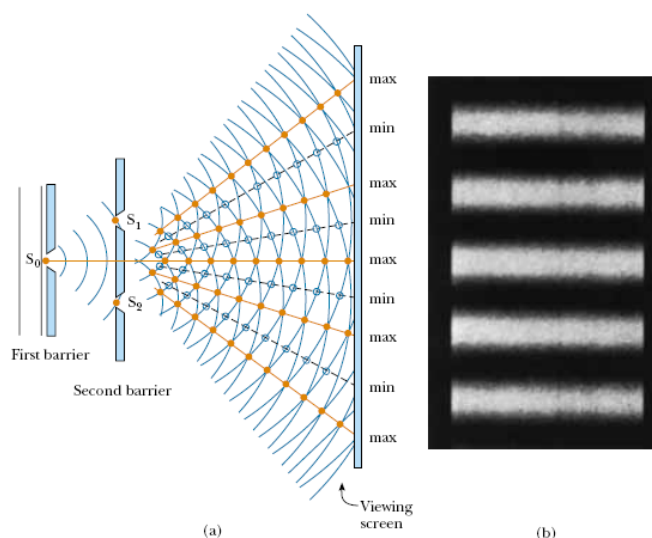
คำตอบ แสงที่ออกจากแก้วคราวน์จะหักเหทำมุม 49.5 องศา

ตารางที่ 14.1 ความเร็วของแสง และดัชนีหักเหของสารต่าง ๆ (เมื่อใช้แสงสีเหลืองผ่าน)

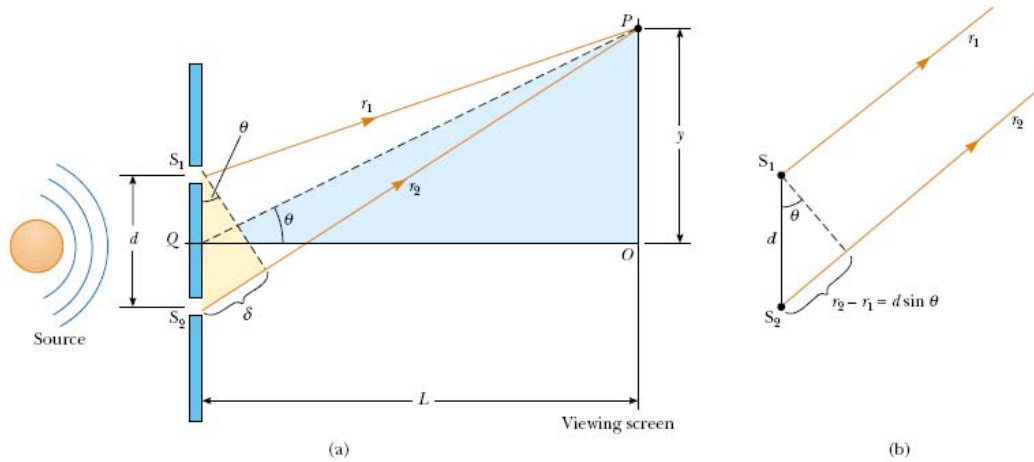
ชื่อสาร	ความเร็ว($\times 10^8$ m/s)	ดัชนีหักเห (c/v)
สุญญากาศ	$c = 2.997925$	1.0
อากาศ	2.99706	1.00029
คาร์บอนไดออกไซด์	2.99658	1.00045
ฮีเลียม	2.99782	1.000034
น้ำ (20° ซ)	2.2490	1.3330
เอซิลแอลกอฮอล์	2.2016	1.3617
เมธิลแอลกอฮอล์	2.2555	1.3292
เบนซิน	1.9968	1.5014
คาร์บอนไดซัลไฟด์	1.8415	1.6279
น้ำเชื่อม 50%	2.1112	1.4200
แก้ว, light crown	1.976	1.517
แก้ว, dense crown	1.888	1.588
แก้ว, light flint	1.899	1.579
แก้ว, heavy flint	1.820	1.647
ฟลูออไรท์	2.091	1.434
เพชร	1.240	2.417

14.4 การแทรกสอดของแสง

ในปี พ.ศ.2344 โทมัส ยัง ได้พิสูจน์โดยการทดลองพบว่าแสงเป็นคลื่นเพราะ แสงมีสมบัติการแทรกสอด เช่นเดียวกับคลื่นอื่น ๆ โดยให้แสงอาพันธ์จากหลอดไฟส่องผ่านไปยังช่องแคบคู่ ซึ่งจะพบว่าการแทรกสอดเกิดแถบมืดแถบสว่างสลับกันบนฉากดังรูปที่ 14.4



รูปที่ 14.4 ภาพการแทรกสอดโดยวิธีของยัง



รูปที่ 14.4 เส้นทางเดินทางของแสงจากการทดลองของยัง

จากรูปที่ 14.4 พบว่าแสงจากช่องสลิตคู่ S_1 และแสงที่เดินทางออกจากช่องสลิต S_2 มีเส้นทางเดินทางของแสงต่างกันอยู่เท่ากับ $d \sin \theta$ ซึ่งเราเรียกปริมาณนี้ว่าผลต่างทางเดินของแสง ซึ่งพบว่าสำหรับที่เกิดแถบสว่างบนฉาก

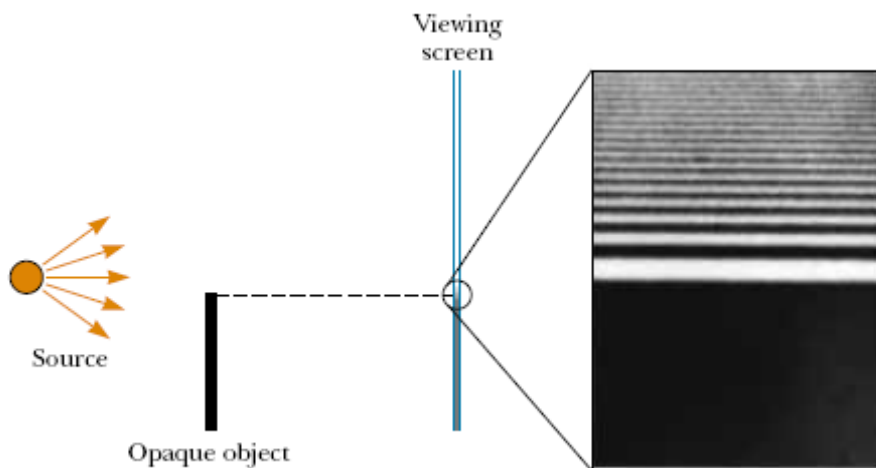
$$d \sin \theta = n \lambda \quad \text{เมื่อ } n = 0, 1, 2, \dots$$

และแถบมืด

$$d \sin \theta = \left(n + \frac{1}{2} \right) \lambda \quad \text{เมื่อ } n = 0, 1, 2, \dots$$

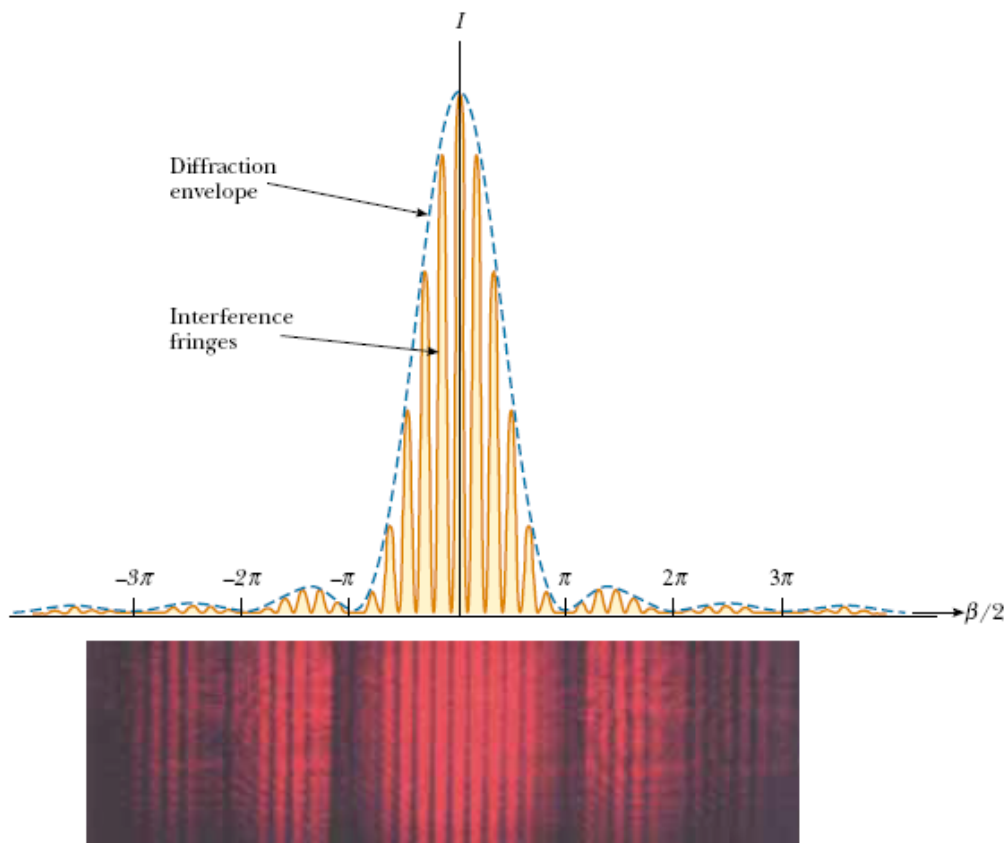
14.5 การเลี้ยวเบนของแสง

เมื่อให้แสงเดินทางผ่านลิตเดี่ยว จะทำให้เกิดปรากฏการณ์การเลี้ยวเบนของแสงเกิดขึ้น มีผลทำให้เกิดแถบสว่างกลางมีขนาดกว้างกว่าลิต และทั้งสองข้างถัดจากแถบสว่างกลางยังมีแถบมืดแถบสว่างสลับกันไปดังรูปที่ 14.5



รูปที่ 14.5 การเลี้ยวเบนของแสงผ่านลิตเดี่ยว

ปรากฏการณ์การเลี้ยวเบนของแสงโดยสลิตเดี่ยวและการแทรกสอดโดยสลิตคู่จะเกิดพร้อมกันเสมอ โดยจะมีแถบมืดแถบสว่างเหมือนกับเหตุการณ์ที่เห็นจากการที่แสงเลี้ยวเบนผ่านสลิตเดี่ยวแล้วแสงที่เลี้ยวเบนผ่านสลิตทั้งสองจะแทรกสอดกันทำให้ได้แถบมืดแถบสว่างขนาดเล็กเกิดขึ้นภายในแถบสว่างจากสลิตเดี่ยวดังรูปที่ 14.6

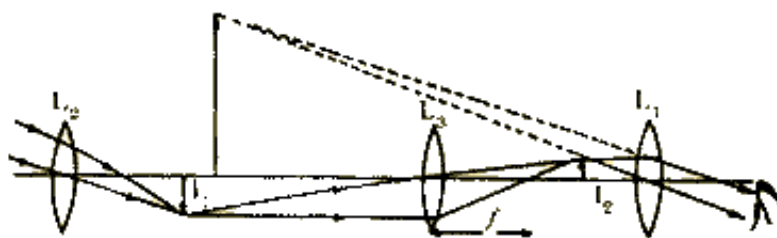


รูปที่ 14.6 การรวมกันของปรากฏการณ์การเลี้ยวเบนและการแทรกสอดของแสง

14.6 ทศนอุปกรณ์

14.6.1 กล้องโทรทรรศน์

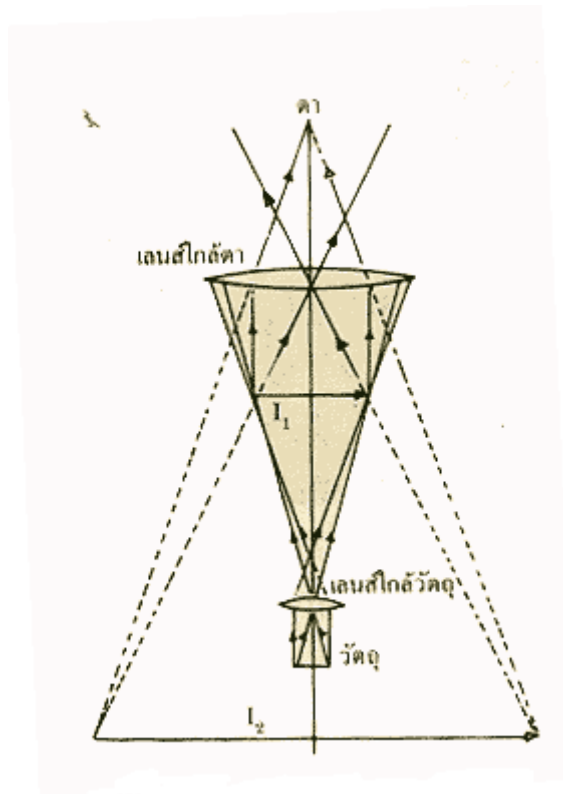
กล้องโทรทรรศน์ประกอบด้วยเลนส์นูน 2 อัน คือ เลนส์ใกล้วัตถุที่มีความยาวโฟกัสมาก และเลนส์ใกล้ตาที่มีความยาวโฟกัสน้อย ระยะระหว่างเลนส์ทั้งสองซึ่งเป็นความยาวของตัวกล้องโทรทรรศน์ จะมีค่าโดยประมาณเท่ากับผลรวมของความยาวโฟกัสของเลนส์ทั้งสอง เมื่อใช้กล้องโทรทรรศน์ส่องดูวัตถุที่อยู่ใกล้ ๆ รัศมีขนานจากวัตถุจะผ่านเลนส์ใกล้วัตถุแล้วมาตัดหลังเลนส์ ภาพ I_1 ที่เกิดจากเลนส์ใกล้วัตถุนี้จะทำหน้าที่เป็นวัตถุของเลนส์ใกล้ตาซึ่งทำหน้าที่ขยายภาพ ภาพที่เกิดจากกล้องโทรทรรศน์นี้เป็นภาพหัวกลับแต่ถ้าเราต้องการทำให้ภาพที่เห็นเป็นภาพหัวตั้ง จะทำได้โดยใส่เลนส์อีกอันหนึ่งไว้ระหว่างภาพ I_1 กับเลนส์ใกล้ตา ดังรูปที่ 14.7



รูปที่ 14.7 การทำให้เกิดภาพหัวตั้งในกล้องโทรทรรศน์

14.6.2 กล้องจุลทรรศน์

กล้องจุลทรรศน์ประกอบด้วยเลนส์นูน 2 อัน เลนส์ที่อยู่ใกล้วัตถุเรียกว่าเลนส์ใกล้วัตถุ เลนส์ที่อยู่ใกล้ตาเรียกว่าเลนส์ใกล้ตา ถ้าปรับเลนส์ใกล้วัตถุให้ห่างจากวัตถุมากกว่าความยาวโฟกัสจะได้ภาพจริง I_1 ขนาดใหญ่กว่าวัตถุ ภาพจริงนี้จะเกิดระหว่างเลนส์ทั้งสองดังรูปที่ 14.8 I_1 จะทำหน้าที่เป็นวัตถุของเลนส์ใกล้ตา ภาพ I_2 ที่เกิดขึ้นจากเลนส์นี้เป็นภาพเสมือนขนาดใหญ่กว่า I_1 และเป็นภาพที่ตามองเห็น การที่ภาพ I_2 เป็นภาพเสมือนนี้ แสดงว่า I_1 อยู่ห่างจากเลนส์ใกล้ตาน้อยกว่าความยาวโฟกัส ระยะระหว่างเลนส์ทั้งสองเป็นความยาวของกล้องจุลทรรศน์ ซึ่งมีค่ามากกว่าผลรวมของความยาวโฟกัสของเลนส์ทั้งสอง



รูปที่ 14.8 การขยายภาพของกล้องจุลทรรศน์

14.7 ความสว่าง

ความสว่างบนพื้นที่ใด ๆ ที่รับแสงหาได้จากอัตราการให้พลังงานแสงที่ตกกระทบพื้นที่ใด ๆ ต่อพื้นที่รับแสง

$$E = \frac{F}{A} \quad (14.4)$$

เมื่อ	E	เป็นความสว่าง มีหน่วยเป็นลักซ์ (lx)
	F	เป็นอัตราการให้พลังงานแสง มีหน่วยเป็นลูเมน (lm)
	A	เป็นพื้นที่ที่รับแสง มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)

สำหรับอัตราการให้พลังงานแสงที่ตกกระทบพื้นที่ใด ๆ เป็นปริมาณพลังงานแสงที่ส่งออกจากแหล่งกำเนิดแสงใด ๆ ต่อหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งบางครั้งเราเรียกว่า ฟลักซ์ของการส่องสว่าง ที่ข้างกล้องหลอดไฟฟ้าจะเขียนเป็น lm/W ซึ่งก็คือประสิทธิภาพ ซึ่งบอกอัตราการให้พลังงานแสงลูเมนต่อวัตต์ทางไฟฟ้า เพื่อเปรียบเทียบว่าในจำนวนวัตต์ที่เท่ากันหลอดใดมีอัตราการให้พลังงานแสงมากกว่า

ในทางปฏิบัติความสว่างของหลอดไฟจะสูญเสียไปกับบริเวณรอบ ๆ หลอดไฟนั้น อาจช่วยได้โดยใช้ตัวสะท้อนแสง

ตัวอย่างที่ 14.2 ติดหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 40 วัตต์ 3 หลอด มีประสิทธิภาพ 67.5 ลูเมนต่อวัตต์ไว้ในห้องสี่เหลี่ยมที่มีขนาดกว้าง 2 เมตร ยาว 3 เมตร สูง 2 เมตร ความสว่างของห้องนี้โดยเฉลี่ยจะมีค่าเท่าไร ถ้าอัตราการให้พลังงานแสงจะสูญเสียไปที่ตัวสะท้อนแสง 500 ลูเมน

วิธีทำ

พื้นที่รับแสง	=	พื้นที่ของพื้นห้อง + พื้นที่ของผนังทั้งสี่ด้าน
	=	$(2 \times 3) + ((2 \times 2 \times 2) + (3 \times 2 \times 2))$
	=	26 ตารางเมตร

หลอดไฟฟ้านี้มีอัตราการให้พลังงานแสง = $40 \times 3 \times 67.5$

= 8100 ลูเมน

อัตราการให้พลังงานแสงที่ตกกระทบพื้นที่ทั้งหมด = $8100 - 500 = 7600$ ลูเมน

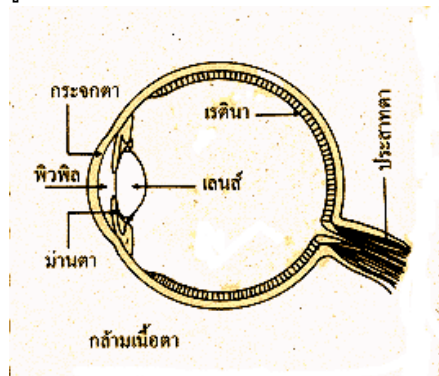
เพราะฉะนั้นความสว่าง = $7600 / 26$

= 292.3 ลักซ์

14.8 ตาและการมองเห็นสี

14.8.1 ส่วนประกอบของตา

ตามีรูปร่างเกือบเป็นทรงกลม ด้านหน้าขนาดเล็กน้อยเรียกว่ากระจกตา หรือคอร์เนีย ถัดเข้าไปในลูกตาเป็นม่านตา (Iris) มีช่องเปิดตรงกลางเรียกว่ารูม่านตา (pupil) ซึ่งช่องเปิดนี้สามารถปรับเปลี่ยนขนาดได้เพื่อปรับความเข้มแสงให้เหมาะสม ม่านตาจะมีสีแตกต่างกันตามเชื้อชาติ ถัดเข้าไปอีกชั้นจะเป็นเลนส์ตาซึ่งเป็นสารหยุ่นเหนียวใสคล้ายเยลลี่ประกอบด้วยเนื้อเยื่อโปร่งแสงหลายชั้นมีค่าดัชนีหักเหตั้งแต่ 1.37 ถึง 1.42 สามารถเปลี่ยนรูปร่างได้ด้วยกล้ามเนื้อที่ยึดเลนส์ ซึ่งจะยืดหรือหดเพื่อให้เลนส์มีความหนาหรือบางได้ ทำให้เกิดภาพชัดหลังลูกตา ผิวภายในปกคลุมด้วยใยประสาทที่เรียกว่าเรตินา ตำแหน่งที่เรียกว่าจุดเหลือง (yellow spot) โดยจะเห็นชัดเจนกว่าบริเวณอื่น เพราะเป็นบริเวณที่มีการแยกได้ละเอียด บนเรตินานี้มีจุดจุดหนึ่ง ซึ่งไม่มีปลายประสาทอยู่เลยเพราะเป็นที่รวมเส้นประสาทไปสู่สมองเรียกว่า จุดบอด เมื่อภาพปรากฏในบริเวณนี้จะไม่เห็นภาพนั้นส่วนตอนกลางของลูกตาหรือในโพรงช่องว่างตรงกลางบรรจุของเหลวใสคล้ายวุ้นบรรจุอยู่เต็ม ช่วยให้ลูกนัยน์ตารักษารูปร่างอยู่ได้ ส่วนท้ายของลูกตาเชื่อมกับประสาทตา มีหน้าที่นำสัญญาณไฟฟ้าจากเรตินาไปสู่สมอง ประสาทตาประกอบด้วยเส้นรูปแท่ง (rod) และเซลล์รูปกรวย (cone) ซึ่งเซลล์รูปแท่งจะไวต่อแสงที่มีความเข้มน้อยแต่ไม่สามารถแยกรายละเอียดและสีได้ มักจะทำงานในตอนกลางคืน ส่วนเซลล์รูปกรวยจะไวต่อแสงที่มีความเข้มมากและสามารถจำแนกสีได้ มักจะทำงานในตอนกลางวัน



รูปที่ 14.9 ส่วนประกอบของตา

14.8.2 การมองเห็นสี

เซลล์รูปกรวยมีอยู่ 3 ชนิด แต่ละชนิดมีความไวต่อแสงสีปฐมภูมิแต่ละสี คือ ไวต่อแสงสีน้ำเงิน ไวต่อแสงสีเขียว และไวต่อแสงสีแดง เมื่อแสงสีต่าง ๆ ผ่านเข้ามากระทบเรตินา เซลล์รับแสงรูปกรวยที่ไวต่อแสงสีนั้นๆ จะถูกกระตุ้น สัญญาณที่เกิดขึ้นนี้ จะถูกส่งผ่านประสาทตาไปสู่สมองเพื่อแปลความหมายออกมาเป็นความรู้สึกของการเห็นสีของแสงนั้น

ถ้ามีแสงสีอื่นนอกจากแสงสีแดง น้ำเงิน เขียว มากระทบเรตินา เซลล์รับแสงรูปกรวยมากกว่า 1 ชนิดจะถูกกระตุ้นพร้อมกันด้วยปริมาณมากน้อยตามปริมาณแสงสีที่ตกกระทบ สัญญาณกระตุ้นทั้งหมดจะถูกส่งไปสู่สมองเพื่อแปลออกเป็นความรู้สึกในการเห็นสีผสมของแสงนั้น

ตาของบางคนอาจมองเห็นสีไม่ครบทุกสี เนื่องจากความบกพร่องของเซลล์รูปกรวยชนิดหนึ่ง เช่นถ้าเซลล์รูปกรวยชนิดไวต่อแสงสีเขียวบกพร่องก็จะไม่สามารถมองเห็นสีเขียวแต่จะมองเห็นเป็นสีอื่นต่างจากคนปกติ เราเรียกว่าตาบอดสี

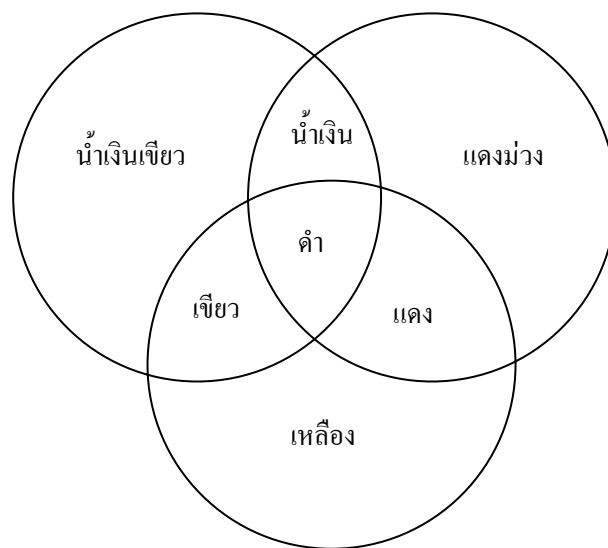
14.9 สี

ในกรณีที่แสงขาวตกกระทบวัตถุทึบแสง วัตถุนั้นจะดูดกลืนแสงแต่ละสีที่ประกอบเป็นแสงขาวนั้นไว้ด้วยปริมาณต่างกัน แสงที่เหลือจากการดูดกลืนจะสะท้อนเข้านัยน์ตา ทำให้เรามองเห็นวัตถุเป็นสีเดียวกับแสงที่สะท้อนเข้าตาด้วยปริมาณสูงสุด เราอาจเรียกว่าในวัตถุนั้นมีสารสี ทำหน้าที่ดูดกลืนแสงบางสีแล้วปล่อยให้สารบางสีสะท้อนออกมา วัตถุที่มีสีต่างกันจะมีสารสีต่างกัน สารสีที่ใช้เป็นแม่สีมี 3 สี คือสารสีเหลือง สารสีแดงม่วง สารสีน้ำเงินเขียว เรียกว่าสารสีปฐมภูมิ

14.9.1 การผสมสารสี

การผสมสารสีเข้าด้วยกันจากสารสีปฐมภูมิ 3 สี คือ สารสีเหลือง สารสีแดงม่วง และสารสีน้ำเงินเขียว ที่ละคู่เรียกว่าการผสมสีแบบลบ ผลของการผสมแบบลบของสารสีปฐมภูมิที่ละคู่ ก็จะได้สารสีทุติยภูมิ คือ สารสีน้ำเงิน สารสีเขียว สารสีแดงออกมา

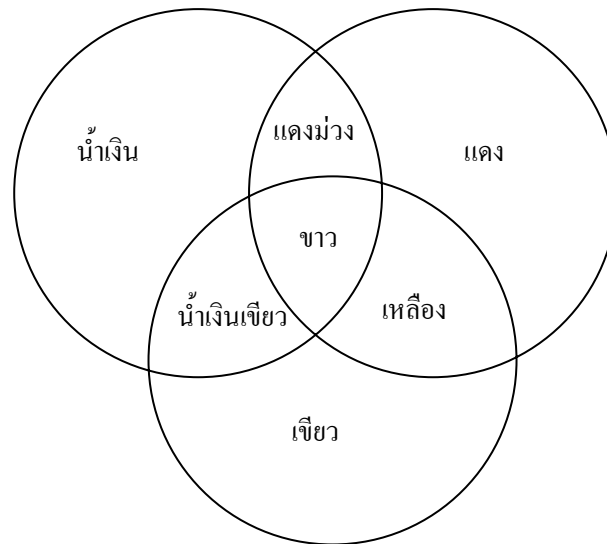
เมื่อนำสารสีทุติยภูมิไปผสมกับสารสีปฐมภูมิที่ไม่ได้เป็นสารสีผสมของสารสีทุติยภูมินั้นจะได้สารสีดำ เรียกว่าสีคู่นี้ว่าสีเติมเต็ม ที่เรียกว่าเป็นการผสมแสงสีแบบลบเพราะเป็นไปตามหลักการดูดกลืนหรือการลบแสงสี คือแสงที่ส่องออกมาจะถูกวัตถุดูดกลืนหรือลบสีเติมเต็มของแสงที่สะท้อนออกจากวัตถุนั้น



รูปที่ 14.10 การผสมสารสีปฐมภูมิ

14.9.2 การผสมแสงสี

แสงที่สะท้อนหรือทะลุผ่านออกมาจากวัตถุต่าง ๆ มักไม่ออกมาเพียงสีเดียว ดังนั้นการมองเห็นสีของวัตถุจะเกิดจากการเห็นสีที่เป็นผลจากการผสมแสงสีต่าง ๆ เข้าด้วยกัน

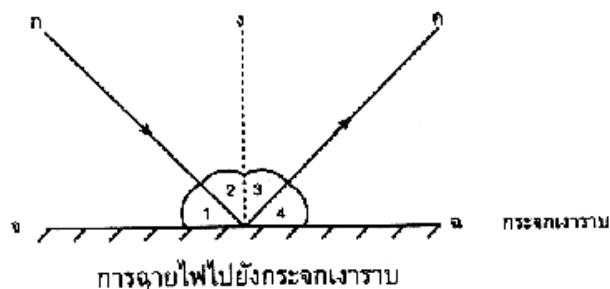


รูปที่ 14.11 การผสมแสงสีปฐมภูมิ

แบบฝึกหัดบทที่ 14

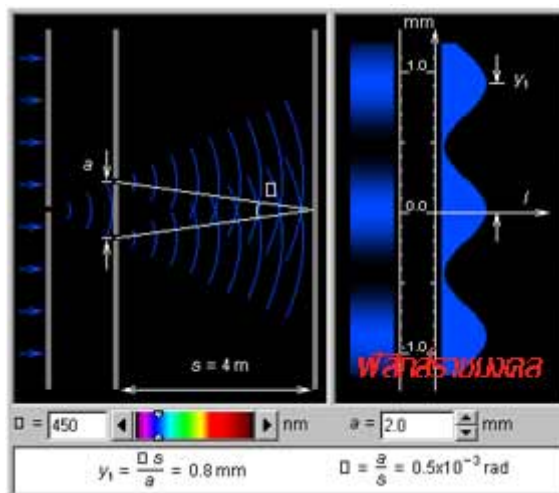
1. ท่านไม่มีแว่นขยายสำหรับส่องดูของเล็กๆ จึงเอาเลนส์เว่นตาคนสายตาสั้นมาส่องแทนแว่นขยาย ปรากฏว่าใช้ไม่ได้ เป็นเพราะเหตุใด
2. ส่วนที่ช่วยสะท้อนแสงในไฟฉายหรือโคมไฟรถยนต์ อาศัยหลักการของอุปกรณ์ใด
3. ส่วนใดของตาที่ทำหน้าที่เสมือนฉากรับภาพ
4. คนสายตาปกติสามารถอ่านหนังสือได้ชัดเจนในระยะประมาณกี่เซนติเมตร
5. นักท่องเที่ยวคนหนึ่งพลัดหลงในป่า เขาเอาแว่นขยายมารวมแสงอาทิตย์เพื่อก่อไฟ จุดรวมแสงห่างแว่นนั้น 10 cm แว่นขยายนั้นใช้เลนส์มีความยาวโฟกัสเท่าใด
6. ข้อใดอธิบายสายตาสั้นได้ดีที่สุด
 - ก. แสงจากวัตถุที่จุดใกล้ตกว่าเรตินา แสงจากวัตถุที่จุดไกลตกว่าเรตินา
 - ข. แสงจากวัตถุที่จุดใกล้ตกว่าเรตินา แสงจากวัตถุที่จุดไกลตกว่าเรตินา
 - ค. แสงจากวัตถุที่จุดใกล้ตกว่าเรตินา แสงจากวัตถุที่จุดใกล้ตกว่าเรตินา
 - ง. แสงจากวัตถุที่จุดใกล้ตกว่าเรตินา แสงจากวัตถุที่จุดใกล้ตกว่าเรตินา

7. จากรูปมุมใดคือมุมตกกระทบ



8. เมื่อแสงเดินทางจากอากาศไปสู่น้ำข้อใดไม่ถูกต้อง
 - ก. แสงหักเหเข้าหาเส้นแนวฉาก
 - ข. ความเร็วแสงในอากาศมากกว่าในน้ำ
 - ค. มุมตกกระทบเท่ากับมุมหักเห
 - ง. มุมหักเหมีค่าน้อยกว่ามุมตกกระทบ
9. การป้องกันไม่ให้หยดน้ำทำงานหนักเกินไปทำได้อย่างไร
10. ถ้าต้องการดูดาวหางควรรใช้กล้องชนิดใด

11. ให้นักศึกษาทำการทดลองเสมือนจริง เรื่องการแทรกสอดโดยวิธีของยังก์ ที่ <http://www.rmutphysics.com/charud/virtualexperiment/Explore/Young'sExperiment/Young'sExperimentthai1.htm>



กำหนดให้ $a = 2 \text{ mm}$, $S = 4 \text{ m}$

$\lambda(\text{nm})$	แสงสี	θ (rad)	y_1 (mm) ทดลอง	y_1 (mm) คำนวณ
390				
430				
480				
540				
590				
640				

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	ตารางธาตุ(ไทย1) 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 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต 	
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 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต 	
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 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต 	
1. จลศาสตร์ (kinematic)	2. จลพลศาสตร์ (kinetics)
3. งานและโมเมนตัม	4. ซิมเปิลฮาร์โมนิก คลื่น และเสียง
5. ของไหลกับความร้อน	6. ไฟฟ้าสถิตกับกระแสไฟฟ้า
7. แม่เหล็กไฟฟ้า	8. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับแสง
9. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ อะตอม และนิวเคลียร์	

