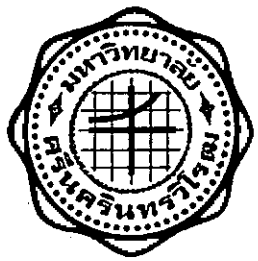
530.124
ณ 259 อ



เอกสารประกอบการอบรม
ครูสอนวิชาฟิสิกส์
เรื่อง
คลื่น แสงเชิงเรขาคณิต เสียง

19 ก.ค. 2539

โดย

ผศ.ดร.ณสรรค์ ผลโภค
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

ณ โรงเรียนเซนต์โยเซฟคอนเวนต์
วันที่ 13-14 มีนาคม 2538

196828

บทที่ 1

ปรากฏการณ์คลื่น (WAVE PHENOMENA)

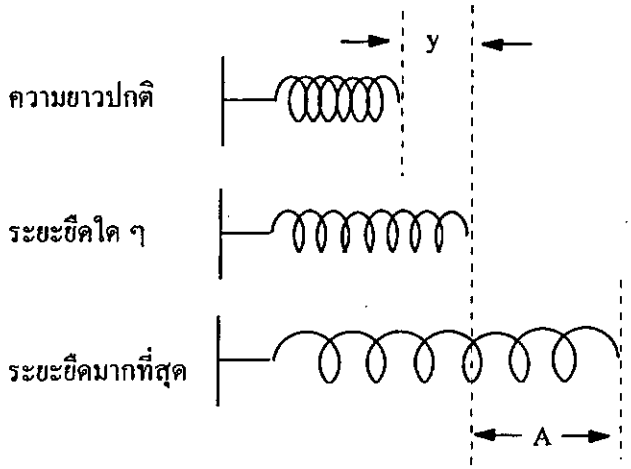
คลื่น คือการส่งผ่านพลังงานจากจุด ๆ หนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในตัวกลาง การส่งผ่านพลังงานนี้มีผลทำให้ตัวกลางเกิดการสั่น การสั่นของตัวกลางเป็นการเคลื่อนที่กลับไปมาซ้ำรอยเดิม เรียกการเคลื่อนที่นี้ว่า *การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย* จากที่กล่าวมาเห็นได้ว่า เมื่อเกิดคลื่นขึ้นจะมีสิ่งที่เคลื่อนที่ 2 สิ่งคือ

1. **พลังงาน** เป็นการส่งผ่านจากจุดหนึ่งหรือโมเลกุลหนึ่งในตัวกลาง ไปยังอีกจุดหนึ่งหรืออีกโมเลกุลหนึ่ง เรียกการเคลื่อนที่ของพลังงานนี้ว่า <u>การแผ่</u> (Propagation)

2. **ตัวกลาง** เป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

1.1 สมการคลื่น (Wave Equation)

ดังที่กล่าวแล้วว่า การสั่นของตัวกลางที่คลื่นแผ่ไปนั้นเป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกอย่างง่าย ดังนั้นจึงถือว่าสมการของการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกอย่างง่ายเป็นสมการคลื่นเช่นกัน



รูปที่ 1.1 แสดงการเคลื่อนที่ของปลายสปริง

ตัวอย่างของการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกอย่างง่ายได้แก่การเคลื่อนที่ของปลายสปริง ในรูปที่ 1.1 แสดงระยะยืดใด ๆ y และระยะยืดมากที่สุด A สมการของการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกคือ

$$y = A\sin 2\pi ft \qquad \text{.....(1.1)}$$

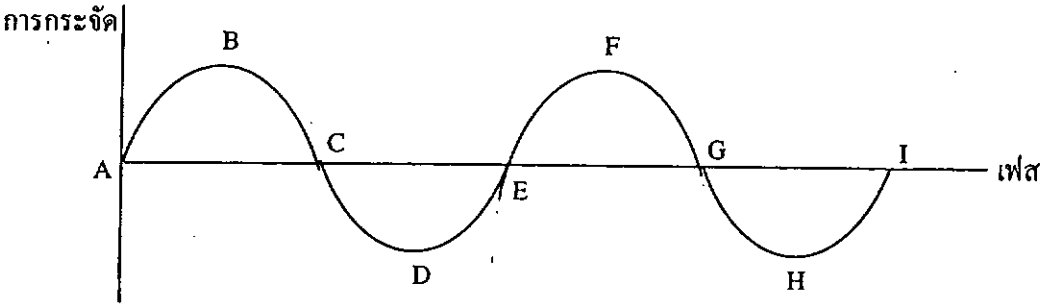
เมื่อใช้สมการ (1.1) ในการอธิบายการเคลื่อนที่ของตัวกลางจะได้

y คือการกระจัด เป็นระยะทางที่ตัวกลางสั่นได้จากระยะปกติที่เวลา t ใด ๆ

A คือแอมพลิจูด เป็นการกระจัดสูงสุด

f คือความถี่ของการสั่น และ $2\pi ft$ เป็นเฟสของการสั่น

เมื่อเขียนกราฟระหว่างการกระจัดของตัวกลาง กับเฟสที่เวลา t ใด ๆ จะได้ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 กราฟระหว่างการกระจัดกับเวลา

ในรูป A เป็นจุดที่มีเฟสเท่ากับ 0 เรเดียน มีการกระจัดเป็น 0

B เป็นจุดที่มีเฟสเท่ากับ $\pi/2$ เรเดียน มีการกระจัดมากที่สุด เท่ากับ A

C เป็นจุดที่มีเฟสเท่ากับ π เรเดียน มีการกระจัดเป็น 0

D เป็นจุดที่มีเฟสเท่ากับ $3\pi/2$ เรเดียน มีการกระจัดมากที่สุด เท่ากับ –A

E เป็นจุดที่มีเฟสเท่ากับ 2π เรเดียน มีการกระจัดเป็น 0

สำหรับจุด E นี้ทำหน้าที่เป็นทั้งจุดสุดท้ายของการสั่นในรอบแรก และเป็นจุดแรกของการสั่นในรอบที่สองดังนั้นเฟสของจุด E จึงถือได้ว่าเป็น 2π เรเดียนสำหรับการสั่นในรอบแรก และในขณะเดียวกันเฟสของจุด E ก็เท่ากับ 0 เรเดียนเช่นกันสำหรับการสั่นในรอบที่สอง

สำหรับการนับเฟสของจุดที่ต่อจาก F อาจจะทำได้ 2 แบบคือ

1. นับต่อ คือนับเฟสต่อจากการสั่นในรอบแรก (หรือคลื่นลูกแรก) ซึ่งการนับแบบนี้ทำให้ได้

F เป็นจุดที่มีเฟสเท่ากับ $5\pi/2$ เรเดียน

G เป็นจุดที่มีเฟสเท่ากับ 3π เรเดียน

H เป็นจุดที่มีเฟสเท่ากับ $7\pi/2$ เรเดียน

I เป็นจุดที่มีเฟสเท่ากับ 4π เรเดียน

2. นับใหม่ คือเริ่มต้นนับเฟสจากจุดที่เริ่มสั่นเป็นรอบที่ 2 ใหม่ การนับแบบนี้ทำให้ได้ว่า

E เป็นจุดที่มีเฟสเท่ากับ 0 เรเดียน

F เป็นจุดที่มีเฟสเท่ากับ $\pi/2$ เรเดียน

G เป็นจุดที่มีเฟสเท่ากับ π เรเดียน

H เป็นจุดที่มีเฟสเท่ากับ $3\pi/2$ เรเดียน

I เป็นจุดที่มีเฟสเท่ากับ 2π เรเดียน

พิจารณาการสั่น 2 รอบที่ต่อเนื่องกัน เห็นได้ว่าช่วงเวลาระหว่างจุด 2 จุดในกราฟที่มีเฟสเท่ากัน (หรือมีเฟสต่างกัน 2π เรเดียน) ก็คือเวลาที่คลื่นใช้ในการสั่น 1 รอบ เรียกเวลานี้ว่า <u>คาบ</u> (peroid) ของคลื่น

กล่าวได้ว่า *คาบ คือ เวลาที่คลื่นใช้ในการสั่นครบ 1 รอบ*

ถ้าให้ T เป็นคาบ และ f เป็นความถี่ของการสั่นของคลื่น จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างคาบ และความถี่เป็น

$$f = \frac{1}{T}$$

ในรูปที่1.3 จะเห็นว่าช่วงเวลาระหว่างจุดA และ F หรือ B และ G หรือ C และ H ฯลฯต่างก็เป็นช่วงเวลา 1 คาบทั้งสิ้น

นอกจากคาบและความถี่ มีการกำหนดปริมาณที่เรียกว่า **ความยาวคลื่น** (wavelength) ไว้ว่า *ความยาวคลื่น คือ ระยะทางที่คลื่นแผ่ไปได้ในช่วงเวลาที่ตัวกลางสั่นครบ 1 รอบ*

จากนิยามของความยาวคลื่นที่กล่าวนี้ ถ้าให้ v เป็นอัตราเร็วในการแผ่ของคลื่น และจาก

$$\text{อัตราเร็ว} = \frac{\text{ระยะทาง}}{\text{เวลา}}$$

ทำให้ได้ $v = \frac{\lambda}{T}$

เมื่อแทนค่า T = 1/f จะได้

$$v = f\lambda$$

จากสมการคลื่น $y = A\sin 2\pi ft$

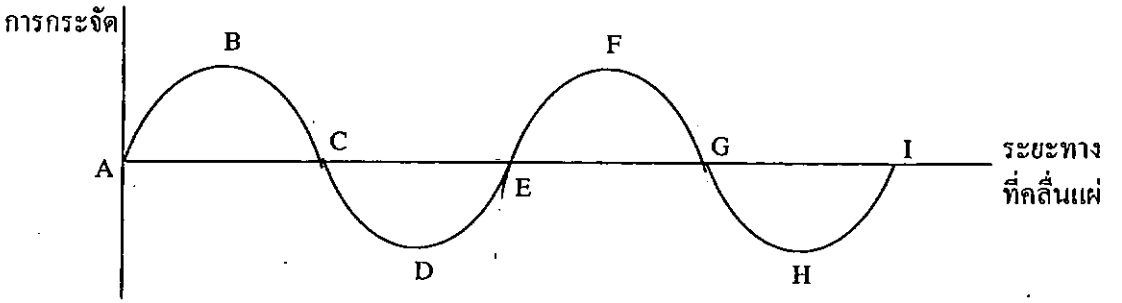
แทนค่า $f = v/\lambda$ ได้ $y = A\sin\left(2\pi\frac{vt}{\lambda}\right)$

ให้ x เป็นระยะทางที่คลื่นแผ่ไปได้ในเวลา t ทำให้ได้

$$x = vt$$

ทำให้เขียนสมการคลื่นได้เป็น $y = A\sin\frac{2\pi x}{\lambda}$

เมื่อนำการกระจัดกับระยะทางที่คลื่นแผ่ไปได้มาเขียนเป็นกราฟก็จะได้กราฟรูป sine เหมือนกราฟระหว่างการกระจัดกับเวลา ดังรูปที่ 1.2

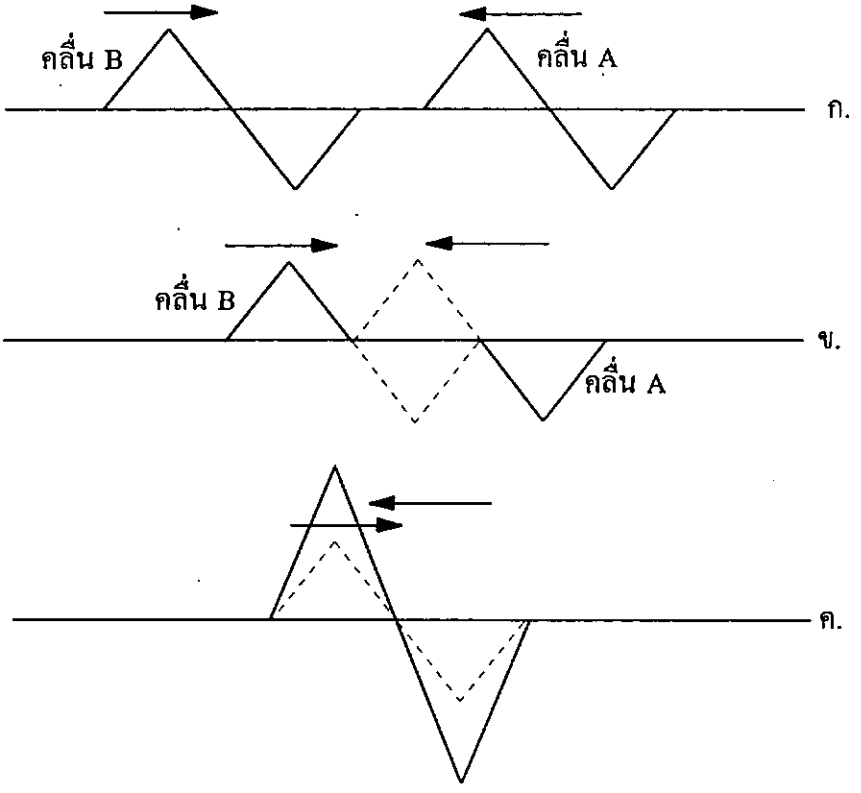


รูปที่ 1.3 กราฟระหว่างการกระจัดกับระยะทางที่คลื่นแผ่ไปได้

ในรูปที่ 1.3 ระยะระหว่างจุดที่มีเฟสเท่ากัน มีค่าเท่ากับความยาวคลื่น หรือจากการสังเกตง่าย ๆ จะได้ว่า ความยาวคลื่นคือระยะระหว่างยอดคลื่นถึงยอดคลื่น หรือ ระยะระหว่างท้องคลื่นถึงท้องคลื่น

1.2 หลักการซ้อนทับกันของคลื่น (Superposition Principle)

เมื่อมีคลื่นชนิดเดียวกันตั้งแต่ 2 คลื่นขึ้นไปอยู่ในบริเวณเดียวกันในเวลาเดียวกัน คลื่นเหล่านี้จะซ้อนทับกันและให้คลื่นใหม่ขึ้นที่เรียกว่า <u>คลื่นรวม</u> ถ้าเรียกคลื่นทั้งหลายที่มารวมกันนี้ว่า *คลื่นย่อย* ก็จะได้ว่า **ค่าของการกระจัดของคลื่นรวม ณ จุดใด เท่ากับผลบวกแบบพีชคณิตของคลื่นย่อย ณ จุดนั้น**จากนิยามนี้จะเห็นว่า การรวมกันของคลื่นย่อยนั้นบางครั้งก็จะรวมกันแบบเสริมกัน (constructive superposition) ซึ่งเป็นการรวมกันที่ให้การกระจัดของคลื่นรวมมีค่ามากขึ้น แต่บางครั้งคลื่นย่อยก็รวมกันแบบหักล้างกัน(destructive superposition) ซึ่งทำให้การกระจัดของคลื่นรวมน้อยลง

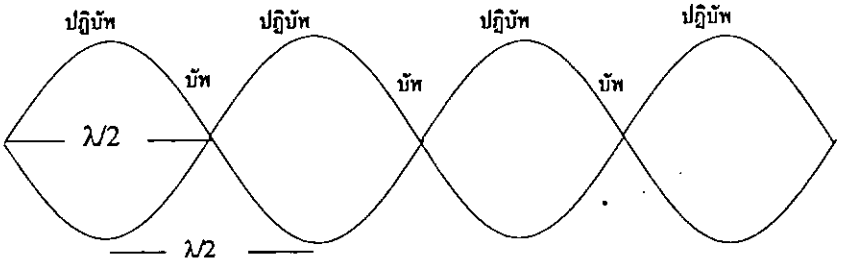


รูปที่ 1.4 การซ้อนทับของคลื่น

ในรูปที่ 1.4 ก. คลื่นรูปสามเหลี่ยมสองคลื่น A และ B ซึ่งมีลักษณะเหมือนกันทุกประการ แผ่เข้าหากัน ในรูป ข.ยอดคลื่นของคลื่น A ซ้อนทับกับท้องคลื่นของคลื่น B ทำให้ส่วนที่ซ้อนทับมีการกระจัดเป็นศูนย์ การซ้อนทับในรูป ข. จึงเป็นการซ้อนทับแบบหักล้างกัน ในรูป ค. คลื่น A และ B ทับกัน ทำให้คลื่นรวมที่เกิดจากการซ้อนทับมีการกระจัดมากขึ้นทุกจุด การซ้อนทับในรูป ค. จึงเป็นแบบเสริมกัน

1.3 คลื่นนิ่ง (Standing Wave)

คลื่นนิ่ง เกิดจากการที่คลื่น 2 คลื่นที่มี *ความถี่ (หรือความยาวคลื่น)* และ *แอมปริจูด* เท่ากันมาซ้อนทับกัน ทำให้เกิดคลื่นใหม่ที่มีจุดบางจุดสั่นไหวอย่างรุนแรงตลอดเวลา ในขณะที่มีบางจุดไม่มีการสั่นไหวเลย เรียกจุดที่มีการสั่นไหวอย่างรุนแรงว่า **ปฏิบัพ** (antinode) และ เรียกจุดที่ไม่มีการสั่นว่า **บัพ** (node) ลักษณะของคลื่นนิ่งแสดงในรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 ลักษณะของคลื่นนิ่ง แสดงตำแหน่งของบัพและปฏิบัพ

รูป 1.5 แสดงให้เห็นว่าความยาวคลื่นของคลื่นรวมมีค่าเท่ากับความยาวคลื่นของคลื่นเดิมทั้งสอง และระยะระหว่างปฏิบัพถึงปฏิบัพเท่ากับระยะระหว่างบัพถึงบัพ ซึ่งต่างก็เท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น

ในเรื่องของคลื่นนิ่งมีข้อสรุปได้ว่า ความยาวคลื่นของคลื่นนิ่ง มีค่าเท่ากับ ความยาวคลื่นของคลื่นเดิมแต่ละคลื่น และ ระยะระหว่างปฏิบัพถึงปฏิบัพ = ระยะระหว่างบัพถึงบัพ = $\lambda/2$

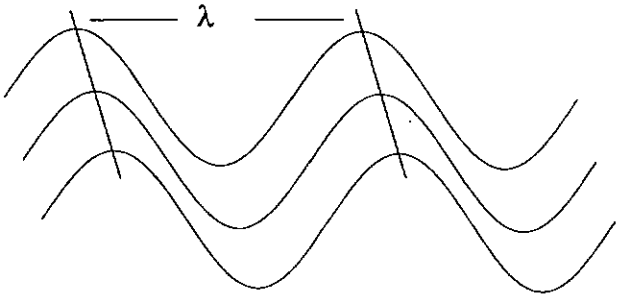
1.4 หน้าคลื่น (Wavefront)

หน้าคลื่น เป็นเส้นสมมุติที่ลากขึ้นเพื่อใช้อธิบายคลื่น โดยสมบัติของหน้าคลื่นมีดังนี้

1. หน้าคลื่นต้องผ่านจุดต่าง ๆ ของคลื่นที่มีเฟสเท่ากัน
2. หน้าคลื่นต้องอยู่ในแนวที่ตั้งฉากกับแนวการแผ่ของคลื่น
3. ระยะระหว่างหน้าคลื่นมีค่าเท่ากับความยาวคลื่น

เรียกคลื่นที่มีหน้าคลื่นเป็นเส้นตรงว่า **คลื่นระนาบ** (Plane wave)

เรียกคลื่นที่มีหน้าคลื่นเป็นวงกลมว่า **คลื่นวงกลม** (Spherical wave)



รูปที่ 1.6 แสดงหน้าคลื่นระนาบที่ลากผ่านจุดต่าง ๆ ที่มีเฟส $\pi/2$

1.5 หลักของฮอยเกนส์ (Huygen's Principle)

หลักของฮอยเกนส์กล่าวว่า *ทุกจุดบนหน้าคลื่นเป็นต้นกำเนิดของคลื่นใหม่ที่เป็นคลื่นวงกลม โดยคลื่นวงกลมทั้งหลายนี้มีเฟสเท่ากัน เมื่อเวลาผ่านไป 1 คาบ ตำแหน่งใหม่ของหน้าคลื่นจะเป็นตำแหน่งเดียวกันกับเส้นสัมผัสร่วมของคลื่นวงกลมเหล่านี้*

1.6 สมบัติของคลื่น (wave's properties)

คลื่นทุกชนิดไม่ว่าจะเป็นคลื่นเสียง คลื่นแสง คลื่นน้ำ ฯลฯ ต่างก็มีสมบัติพื้นฐานอยู่ 4 ข้อคือ

1. การสะท้อน (reflection)
2. การหักเห (refraction)
3. การเลี้ยวเบน (diffraction)
4. การแทรกสอด (interference)

ปรากฏการณ์ทั้ง4 นี้อาจจะทำให้อัตราเร็วและความยาวคลื่นเปลี่ยนไป *แต่จะไม่ทำให้ความถี่ของคลื่นเปลี่ยนไป*

1.6.1 การสะท้อน (reflection)

เมื่อคลื่นแผ่ไปในตัวกลาง แล้วไปกระทบผิวระหว่างตัวกลางที่มันแผ่กับอีกตัวกลางหนึ่ง ก็จะเกิดการสะท้อนขึ้น หลังจากกระทบคลื่นจะสะท้อนจากขอบภาชนะกลับไปสู่ตัวกลางเดิมอีกครั้งหนึ่ง

การสะท้อนของคลื่นทุกชนิดมีลักษณะเหมือนกัน คือต้องเป็นไปตามกฎการสะท้อน ซึ่งกล่าวว่า

1. แนวการแผ่ของคลื่นตกกระทบ แนวการแผ่ของคลื่นสะท้อน และเส้นปกติ อยู่บนระนาบเดียวกัน
2. มุมตกกระทบ เท่ากับ มุมสะท้อน

นอกจากกฎการสะท้อนทั้ง 2 นี้แล้ว สิ่งที่ควรทราบเกี่ยวกับการสะท้อนอีกคือ หากปลายที่สะท้อนของตัวกลางที่คลื่นแผ่เป็นปลายที่ตรึงติดกับที่ เฟสของคลื่นสะท้อนจะเปลี่ยนไป 180 องศา แต่ถ้าปลายสะท้อนเป็นอิสระ เฟสของคลื่นสะท้อนจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง

1.6.2 การหักเห (refraction) การหักเหคือการที่แนวการเคลื่อนที่ของคลื่นเปลี่ยนไป เมื่อคลื่นแผ่จากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง เนื่องจากอัตราเร็วในการแผ่ของคลื่นในตัวกลางทั้งสองไม่เท่ากัน

การหักเหของคลื่นทุกชนิดเป็นไปตามสมการของการหักเห ซึ่งเขียนได้ดังนี้

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1} = \text{ดัชนีหักเหของตัวกลางที่ 2 เทียบกับ 1}$$

ทั้งนี้ θ_1 เป็นมุมที่แนวการแผ่ของคลื่นตกกระทบทำกับเส้นปกติ (เรียกว่ามุมตกกระทบ)

θ_2 เป็นมุมที่แนวการแผ่ของคลื่นหักเหทำกับเส้นปกติ (เรียกว่ามุมหักเห)

λ_1 เป็นความยาวคลื่นของเสียงในตัวกลางที่ 1

λ_2 เป็นความยาวคลื่นของเสียงในตัวกลางที่ 2

v_1 เป็นอัตราเร็วของเสียงในตัวกลางที่ 1

v_2 เป็นอัตราเร็วของเสียงในตัวกลางที่ 2

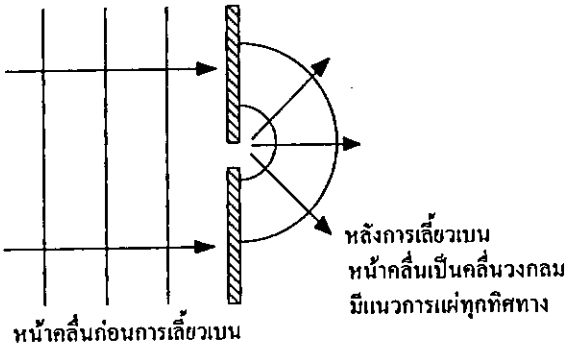
จากสมการของการหักเหเห็นได้ว่า ถ้าอัตราเร็วของคลื่นในตัวกลางที่ 2 มากกว่าอัตราเร็วในตัวกลางที่ 1 มุมหักเหจะมากกว่ามุมตกกระทบ ลักษณะเช่นนี้เป็นเงื่อนไขที่ทำให้เกิดมุมวิกฤตและ การสะท้อนกลับหมดได้ ทั้งนี้ *มุมวิกฤตคือมุมตกกระทบ ที่มีมุมหักเหเป็น 90 องศา*

1.6.3 การเลี้ยวเบน (Diffraction)

การเลี้ยวเบน เป็นปรากฏการณ์ของคลื่นที่สามารถแผ่ผ่านช่องระหว่างแนวกั้นไปได้ ทำให้ผู้สังเกตหลังแนวกั้นได้รับสัญญานคลื่นได้

การอธิบายปรากฏการณ์เลี้ยวเบนทำได้โดยอาศัยหลักของฮอยเกนส์ดังนี้ จากรูปที่ 1.7 เมื่อคลื่นแผ่ถึงช่องที่จะเกิดการเลี้ยวเบน คลื่นส่วนใหญ่จะเกิดการสะท้อนที่ตัวกั้น คลื่นส่วนที่ผ่านช่องออกมาจึงแสดงความเป็นคลื่นวงกลมออกมาได้ ทำให้เกิดเป็นคลื่นวงกลมแผ่ออกไปทุกทิศทาง ผู้สังเกตที่อยู่หลังตัวกั้นจึงรับสัญญานคลื่นได้

อย่างไรก็ดีต้องตระหนักว่า จะเกิดการแทรกสอดได้ต่อเมื่อช่องมีขนาดเท่า ๆ กับความยาวคลื่น ช่องที่เหมาะกับการแทรกสอดของเสียงจะไม่เหมาะกับการแทรกสอดของแสง เพราะความยาวคลื่นของเสียงมีระดับขนาดเป็น 10^1 เมตร ในขณะที่ความยาวคลื่นของแสงมีระดับขนาดเป็น 10^{-9} เมตร



รูปที่ 1.7 การเลี้ยวเบน

1.6.4 การแทรกสอด (Interference)

การแทรกสอด คือการที่มีคลื่น 2 คลื่นที่มี ความถี่ แอมปลิจูด เท่ากัน และมีความต่างเฟสคงที่มาซ้อนทับกัน ทำให้คลื่นทั้งสองซ้อนทับกันแบบเสริมกันและหักล้างกันสลับกันไป เรียกคลื่นที่มีสมบัติดังกล่าวข้างต้นว่า *คลื่นอาพันธ์* (coherence wave) การแทรกสอดที่สำคัญคือการแทรกสอดผ่านช่องคู่ (double slit) และการแทรกสอดผ่านช่องเดี่ยว (single slit)

<u>การแทรกสอดผ่านช่องคู่</u>

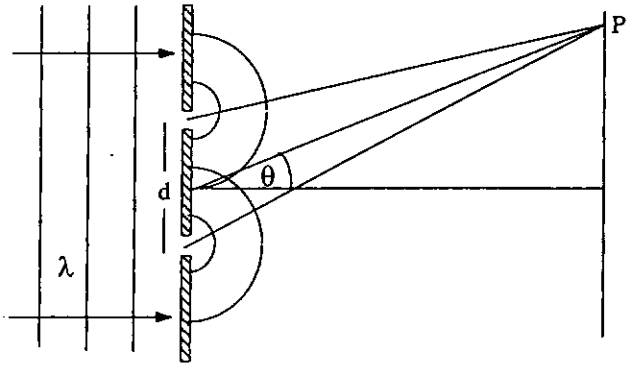
จากการศึกษาการเลี้ยวเบนพบว่า เมื่อคลื่นตกกระทบบนช่องเดี่ยวที่มีความกว้างพอเหมาะ คือช่องมีขนาดเท่า ๆ กับความยาวคลื่น คลื่นนั้นจะแสดงสมบัติของการเลี้ยวเบน ถ้าให้จำนวนช่องที่ตัวกั้นเพิ่มขึ้น เป็น 2 ช่อง คลื่นที่เลี้ยวเบนผ่านแต่ละช่องออกมาจะมีเฟสเท่ากันตามหลักของฮอยเกนส์ ทั้งนี้เพราะคลื่นที่ออกมาจากช่องทั้ง 2 เป็นคลื่นที่มาจากหน้าคลื่นเดิมเดียวกัน

การแทรกสอดผ่านช่องคู่ที่แสดงในรูปที่ 1.8 เป็นไปตามสมการ

$n\lambda = d\sin\theta$ เป็นสมการของการเสริมกัน

$\left(n+\frac{1}{2}\lambda\right) = d\sin\theta$ เป็นสมการของการหักล้างกัน

โดย d ในสมการทั้ง 2 คือระยะระหว่างช่องคู่ และ n เป็นจำนวนเต็ม มีค่า 0,1,2,3,...



รูปที่ 1.8 การแทรกสอดผ่านช่องคู่

<u>การแทรกสอดผ่านช่องเดี่ยว</u>

การแทรกสอดผ่านช่องเดียวมีทั้งการแทรกสอดแบบเสริมและหักล้างกัน อย่างไรก็ดีสมการในการคำนวณการแทรกสอดผ่านช่องเดี่ยวมีเพียงสมการเดียวคือ

$n\lambda = d\sin\theta$ เป็นสมการของการหักล้างกัน

โดย d ในสมการนี้เป็นความกว้างของช่องเดี่ยว และ n เป็นจำนวนเต็ม มีค่าเริ่มจาก 1,2,3,4,...

จากสมการของการหักล้างกันผ่านช่องเดี่ยวนี้ เมื่อพิจารณากรณีที่ n=1 จะเห็นว่า

$$\sin\theta = \frac{\lambda}{d}$$

เพราะว่า $\sin\theta$ มีค่าได้ไม่เกิน 1 ดังนั้นค่าของความยาวคลื่น λ มีค่ามากกว่าความกว้างของช่อง d ไม่ได้ ลักษณะเช่นนี้หมายความว่า เมื่อ λ มากกว่า d คลื่นที่ผ่านช่องเดี่ยวจะเกิดการเลี้ยวเบนเท่านั้น แต่ไม่เกิดการแทรกสอด

1.7 คลื่นน้ำ

คลื่นน้ำ เป็นคลื่นตามขวางชนิดหนึ่ง เพราะแนวการแผ่ของคลื่นตั้งฉากกับแนวการสั่นของน้ำ ในขณะเดียวกันคลื่นน้ำเป็นคลื่นกลชนิดหนึ่ง เพราะการแผ่ของคลื่นจำเป็นต้องใช้น้ำเป็นตัวกลาง

1.7.1 อัตราเร็วในการแผ่ของคลื่นน้ำ

คลื่นน้ำก็เหมือนกับคลื่นชนิดอื่น ๆ คือ อัตราเร็วของการแผ่ของคลื่นน้ำจึงเป็นไปตามสมการ

$$v = f\lambda$$

อย่างไรก็ดี คลื่นน้ำมีสมบัติพิเศษเกี่ยวกับอัตราเร็วของการแผ่ของมันที่ควรทราบคือ

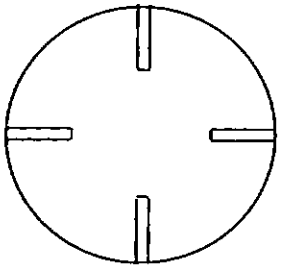
อัตราเร็วของคลื่นน้ำในบริเวณน้ำตื้น จะต่ำกว่าอัตราเร็วของคลื่นในบริเวณน้ำลึก

ดังนั้น ถ้าคลื่นน้ำแผ่จากบริเวณน้ำลึกไปน้ำตื้น หรือจากบริเวณน้ำตื้นไปน้ำลึก ก็จะเกิดการหักเหขึ้น

ถึงแม้ว่าอัตราเร็วของคลื่นจะเปลี่ยนไปเมื่อคลื่นแผ่ไปในบริเวณที่มีความลึกต่างกัน แต่ความถี่ของคลื่นจะคงที่ ดังนั้น ความยาวคลื่นในบริเวณน้ำตื้นจะสั้นกว่าในบริเวณน้ำลึก

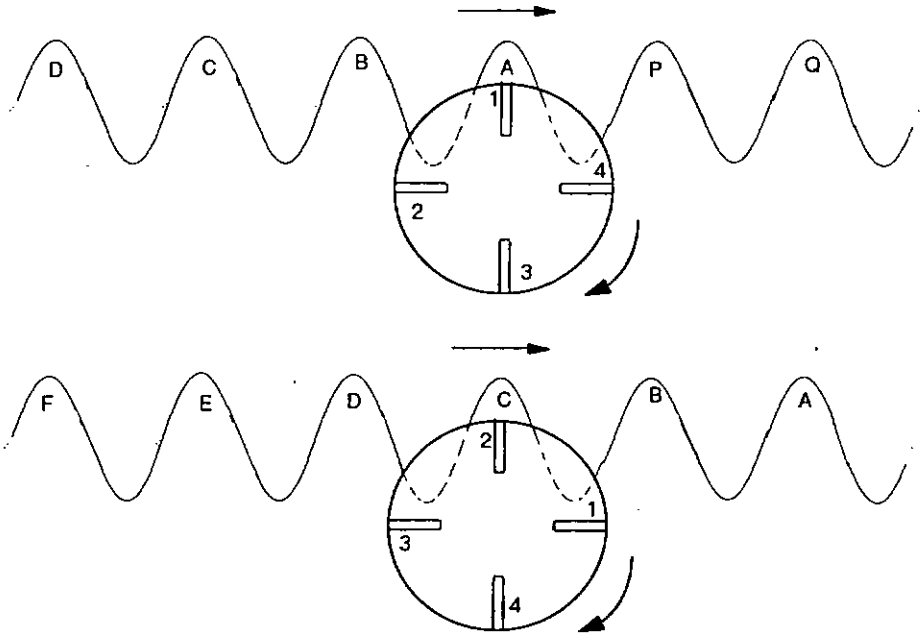
1.7.2 สโตรโบสโคป (stroboscope)

สโตรโบสโคป เป็นเครื่องมือวัดความถี่ของวัตถุใด ๆ ที่มีการสั่นด้วยคาบคงที่ จึงสามารถใช้สโตรโบสโคปในการวัดความถี่ของการสั่นของตัวกลางที่คลื่นแผ่ได้ สโตรโบสโคปที่ศึกษาในระดับนี้มีลักษณะเป็นจานกลมที่เจาะเป็นช่อง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 1.9 โดยสโตรโบสโคปแต่ละตัวอาจจะมีจำนวนช่องไม่เท่ากันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบ สโตรโบสโคปที่แสดงในรูป 1.9 เป็นสโตรโบสโคปชนิด 4 ช่อง



รูปที่ 1.9 สโตรโบสโคปชนิด 4 ช่อง

การใช้สโตรโบสโคปทำได้โดย ส่องดูคลื่นผ่านช่องที่เจาะไว้ตรงจุดใดจุดหนึ่งของสโตรโบสโคป เช่นตรงจุดยอด แล้วให้สโตรโบสโคปหมุน เช่นหมุนตามเข็มนาฬิกา โดยยังคงมองคลื่นผ่านสโตรโบสโคปที่ตำแหน่งจุดยอดนี้



รูปที่ 1.10 การมองคลื่นผ่านสโตรโบสโคป

จากรูป 1.10 ในรูปข้างบนจะได้ว่าการมองคลื่นผ่านสโตรโบสโคปตรงจุดยอดจะเห็นยอดคลื่น A พอดี ถ้าหมุนสโตรโบสโคปในทิศตามเข็มนาฬิกา และคลื่นแผ่จากซ้ายไปขวา จะเห็นว่าถ้าเวลาที่ช่อง 2 ของสโตรโบสโคปใช้ในการเคลื่อนที่มาแทนช่อง 1 เท่ากับเวลาที่ยอดคลื่น B ใช้ในการแผ่มาแทนยอดคลื่น A พอดี ก็จะทำให้ผู้ทำการทดลองเห็นแต่ยอดคลื่นเท่านั้น และถ้าเป็นเช่นนี้เรื่อยไปผู้ที่มองคลื่นผ่านสโตรโบสโคปก็จะมีความรู้สึกว่าคลื่นหยุดนิ่งไม่มีการแผ่

ถ้า t เป็นเวลาที่สโตรโบสโคปใช้ในการหมุน 1 ช่อง

และ T เป็นคาบของคลื่น

ในกรณีนี้จะได้ว่า t = T เป็นเงื่อนไขที่จะมองเห็นคลื่นหยุดนิ่ง

กลับมาพิจารณารูปข้างล่างของรูปที่ 1.10 ในรูปนี้กว่าช่อง 2 ของสโตรโบสโคปจะมาแทนช่อง 1 ปรากฏว่ายอดคลื่น B เคลื่อนที่เลยตำแหน่งของยอดคลื่น A ที่เคยอยู่ในรูปที่ 1 ไปแล้ว และเมื่อช่อง 2 มาแทนช่อง 1 นั้นยอดคลื่น C เคลื่อนที่มาแทนยอดคลื่น A พอดี ลักษณะนี้ก็จะได้ว่าการมองคลื่นผ่านสโตรโบสโคปยังคงให้ความรู้สึกว่าคลื่นหยุดนิ่ง ไม่มีการแผ่อีกเช่นเคยในกรณีนี้จะได้ว่า

$$t = 2T$$

จากตัวอย่างที่ยกให้เห็นทั้ง 2 กรณี ทำให้สรุปได้ว่า ถ้ามองคลื่นผ่านสโตรโบสโคปแล้วเห็นคลื่นหยุดนิ่งเหมือนกับว่าคลื่นนั้นไม่มีการแผ่ จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่สโตรโบสโคปใช้ในการหมุน 1 ช่องหรือ t กับคาบของคลื่น หรือ T ว่า

$$t = nT \quad \text{โดย } n = 1, 2, 3, 4,...$$

มีข้อน่าสังเกตว่าในกรณีที่ n = 1 จะเป็นกรณีที่สโตรโบสโคป หมุนเร็วที่สุด

1.8 คลื่นในเส้นเชือก

คลื่นในเส้นเชือกเป็นคลื่นตามขวาง นั่นคือการสั่นของเชือกจะมีทิศตั้งฉากกับแนวการแผ่ของคลื่น นอกจากนี้คลื่นในเส้นเชือกยังถือได้ว่าเป็นคลื่นกลชนิดหนึ่งอีกด้วยเพราะการแผ่ของคลื่นจำเป็นต้องใช้ตัวกลาง ซึ่งก็คือตัวเชือกนั่นเอง

1.8.1 อัตราเร็วในการแผ่ของคลื่นในเส้นเชือก

ถ้าให้ v เป็นอัตราเร็วในการแผ่ของคลื่นในเส้นเชือก

T เป็นแรงตึงในเชือก

μ เป็นมวลต่อหน่วยความยาวของเส้นเชือก

จะได้

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

อย่างไรก็ดี คลื่นในเส้นเชือกก็เป็นคลื่นชนิดหนึ่ง สมการของอัตราเร็วของคลื่นในเส้นเชือกจึงยังคงใช้ $v = f\lambda$ ได้เช่นเดียวกับคลื่นชนิดอื่น ๆ นอกจากนี้คลื่นในเส้นเชือกยังกินความไปถึงคลื่นในเส้นลวดด้วย เช่นคลื่นที่เกิดจากการดีดสายกีตาร์ เป็นต้น

1.8.2 การสะท้อนของคลื่นในเส้นเชือก

เมื่อคลื่นในเส้นเชือกแผ่ไปถึงปลายเชือก และถ้าเชือกนั้นผูกติดกับวัตถุอื่น เช่นผูกติดกับเสาก็จะเกิดการสะท้อนของคลื่นขึ้น โดยการสะท้อนของคลื่นในเส้นเชือกนี้แบ่งได้เป็น 3 กรณี ดังนี้

<u>การสะท้อนตรงจุดที่ตรึงแน่น</u>

ถ้าจุดที่คลื่นตกกระทบเป็นจุดที่ตรึงแน่น เฟสของคลื่นสะท้อนจะเปลี่ยนไป 180 องศา

<u>การสะท้อนที่ปลายอิสระ</u>

ถ้าจุดที่คลื่นตกกระทบเป็นจุดอิสระ เฟสของคลื่นสะท้อนจะเท่ากับเฟสของคลื่นตกกระทบ

การสะท้อนที่รอยต่อกับเชือกเส้นอื่น

ถ้าคลื่นในเส้นเชือกที่ตกกระทบตรงจุดต่อระหว่างเชือก 2 เส้น การกระทบจะทำให้เกิดการสะท้อนและคลื่นแผ่ไปในเชือกเส้นที่ 2

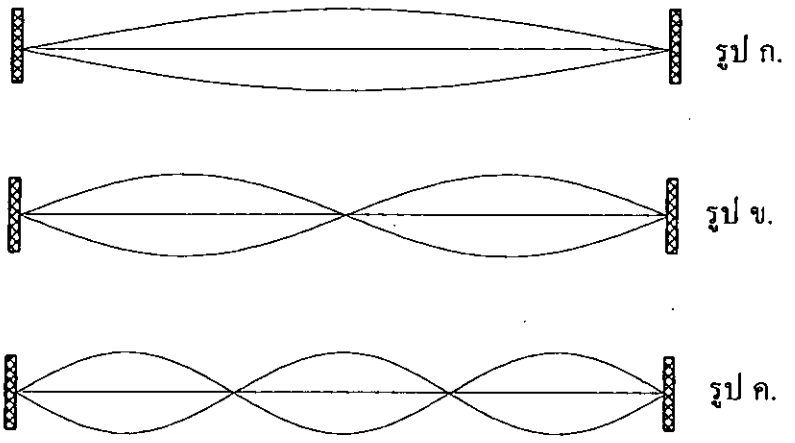
กรณีที่คลื่นตกกระทบแผ่ในเชือกที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า และเชือกที่มาผูกต่อเป็นเชือกที่มีขนาดใหญ่กว่า คลื่นสะท้อนจะมีเฟสเปลี่ยนไป 180 องศา ส่วนคลื่นที่แผ่ต่อเข้าไปในเชือกเส้นที่ 2 จะมีเฟสเท่าเดิม

ถ้าคลื่นตกกระทบแผ่ในเชือกที่มีความหนาแน่นมากกว่าเชือกที่มาเชื่อมต่อ คลื่นสะท้อนจะมีเฟสเท่ากับคลื่นตกกระทบ และคลื่นที่แผ่ไปในเชือกเส้นที่สองก็มีเฟสเหมือนกับคลื่นตกกระทบเช่นกัน

เพราะว่าอัมปริจูดเป็นปริมาณที่แปรผันกับพลังงานของคลื่น โดยคลื่นที่มีพลังงานมากจะมีอัมปริจูดมาก และเพราะว่าพลังงานของคลื่นตกกระทบจะถูกแบ่งไปเป็นพลังงานของคลื่นสะท้อนและของคลื่นที่แผ่เข้าไปในเชือกเส้นที่ 2 ดังนั้นพลังงานของทั้งคลื่นสะท้อนและคลื่นที่แผ่เข้าไปในเชือกเส้นที่ 2 จึงต่างก็น้อยกว่าพลังงานของคลื่นตกกระทบ

1.10 การเกิดคลื่นนิ่งในเส้นเชือก

เงื่อนของการเกิดคลื่นนิ่งในเส้นเชือกก็คือ **ความยาวของเส้นเชือกต้องเป็นจำนวนเต็มของครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น** จากเงื่อนไขดังกล่าวเห็นได้ว่า การเกิดคลื่นนิ่งในเส้นเชือกที่ง่ายที่สุดเป็นไปตามรูป 1.9ก ในรูปนี้จะเห็นว่าที่ปลายทั้งสองข้างเป็นบัพ กรณีที่ง่ายที่สุดนี้เส้นเชือกจะบรรจุคลื่นไว้ครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น



รูปที่ 1.9 การเกิดคลื่นนิ่งในเส้นเชือก

อย่างไรก็ดีการที่จะให้เป็นไปตามเงื่อนไขของการเกิดคลื่นนิ่งไม่จำเป็นที่จะต้องเป็นตามรูป ก เสมอไป ดังจะเห็นได้ว่ารูป ข และ ค ก็แสดงให้เห็นถึงการเกิดคลื่นนิ่งที่มีความยาวคลื่นสั้นลง(หรือความถี่สูงขึ้น) โดยในรูป ข และ ค นี้ความยาวของเชือกมีค่าเป็น 2 และ 3 เท่า ของครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นตามลำดับ ถ้าให้ L เป็นความยาวของเส้นเชือก

และถ้าให้ λ เป็นความยาวคลื่นของคลื่นในเส้นเชือก

จะเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง ความยาวของท่อ และ ความยาวคลื่น ในรูป 1.20 ก ข และ ค ได้ดังนี้

รูป ก $L = \lambda/2$

รูป ข $L = 2\lambda/2$

รูป ค $L = 3\lambda/2$

ถ้าเขียนรูปต่อจากรูป ค ลงไปก็จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า L ต้องเป็น 4 เท่าของ $\lambda/2$ ทำให้เขียนสมการทั่วไปของการเกิดคลื่นนิ่งในเส้นเชือกได้ว่า

$$L = n\lambda/2$$

แต่ อัตราเร็วของคลื่นคือ $v = f\lambda$

ดังนั้นจึงเขียนสมการของความถี่ของคลื่นนิ่งในเชือกได้ดังนี้

$$f = nv/2L$$

ทั้งนี้ n ในสมการทั้งสองมีค่าเป็นจำนวนเต็ม นั่นคือ n = 1, 2, 3, ...

นอกจากนี้อัตราเร็วของคลื่นในเส้นเชือกยังเป็นไปตามสมการ $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$

ทำให้เขียนสมการของการเกิดคลื่นนิ่งในเส้นเชือกได้อีกรูปแบบหนึ่งว่า

$$f = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

คลื่นนิ่งที่เกิดขึ้นในเส้นเชือกนี้มีความถี่ได้หลายค่าจากสมการของความถี่จะเห็นว่าค่าของความถี่เหล่านี้ขึ้นกับค่าของ n โดยค่าของความถี่ต่ำสุดตรงกับ n=1 และค่าความถี่ที่สูงขึ้นก็ตรงกับค่า n ที่สูงขึ้นไปตามลำดับ

บทที่ 2

เสียง (Sound)

เสียงเป็นคลื่นตามยาว และจำเป็นต้องอาศัยตัวกลางในการแผ่ เสียงสามารถแผ่ไปได้ทั้งใน ตัวกลางที่เป็น ของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ทั้งนี้การแผ่ของคลื่นเสียงเกิดจากการอัดและขยายของโมเลกุลของตัวกลาง และการที่การแผ่ของเสียงเกิดจากการอัดและขยายของโมเลกุลของตัวกลางนี้เองจึงทำให้*เสียงแผ่ในตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากได้เร็วกว่าในตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อย* กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ

อัตราเร็วของเสียงในตัวกลางที่เป็นของแข็งมีค่ามากกว่าอัตราเร็วในตัวกลางที่เป็นของเหลว ในขณะเดียวกันอัตราเร็วของเสียงในของเหลวก็มีค่ามากกว่าในตัวกลางที่เป็นแก๊ส

แต่ถ้าต้นกำเนิดเสียงสั่นอยู่ในบริเวณที่เป็นสูญญากาศจะไม่มีเสียงเกิดขึ้นเพราะในบริเวณนั้นไม่มีโมเลกุลของตัวกลางที่จะอัดและขยาย เสียงจึงแผ่ออกมาจากต้นกำเนิดไม่ได้

2.1 ความถี่ของเสียง

จากการศึกษาพบว่า ประสาทหูของคนเราสามารถได้ยินเสียงที่มีความถี่ระหว่าง 20 ถึง 20,000 เฮิรตซ์ คลื่นเสียงที่เกิดจากการสั่นของตัวกลางที่มีความถี่ต่ำกว่า 20 รอบ/วินาที เรียกว่า ***อินฟราโซนิก*** หรือ ***อินฟราซาวด์*** *(infrasonic* หรือ *infrasoun)* ส่วนคลื่นที่มีการสั่นของตัวกลางด้วยความถี่มากกว่า 20,000 รอบ/วินาที เรียกว่า ***อุลตราโซนิก*** หรือ ***อุลตราซาวด์****(ultrasonic* หรือ *ultrasound)*

2.2 อัตราเร็วของเสียงและอุณหภูมิ

จากการทดลองทำให้ทราบว่าอัตราเร็วของเสียงในอากาศขึ้นกับอุณหภูมิ โดยอัตราเร็วเสียงในอากาศในหน่วย เมตร/วินาที มีค่าแปรผันโดยตรงกับ รากอันดับที่สองของอุณหภูมิในหน่วยเคลวิน หรือองศาสัมบรูณ์ นั่นคือถ้าให้

v เป็นอัตราเร็วของเสียงในหน่วย เมตร/วินาที

T เป็นอุณหภูมิของอากาศในหน่วย เคลวิน (อย่าสับสนกับสัญญลักษณ์ T ที่ใช้แทน คาบ) จะได้

$$v \quad \alpha \quad \sqrt{T}$$

นอกจากนี้การทดลองยังทำให้ทราบอีกว่า ที่ความดันปกติ อัตราเร็วเสียงในอากาศที่อุณหภูมิ 0°C มีค่าเท่ากับ 331 เมตร/วินาที และถ้าให้ v เป็นอัตราเร็วของเสียงในอากาศในหน่วย เมตร/วินาที และ t เป็นอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง v และ t ดังนี้

$$v = 331 + 0.6\,t$$

2.3 การสั่นพ้องของเสียง

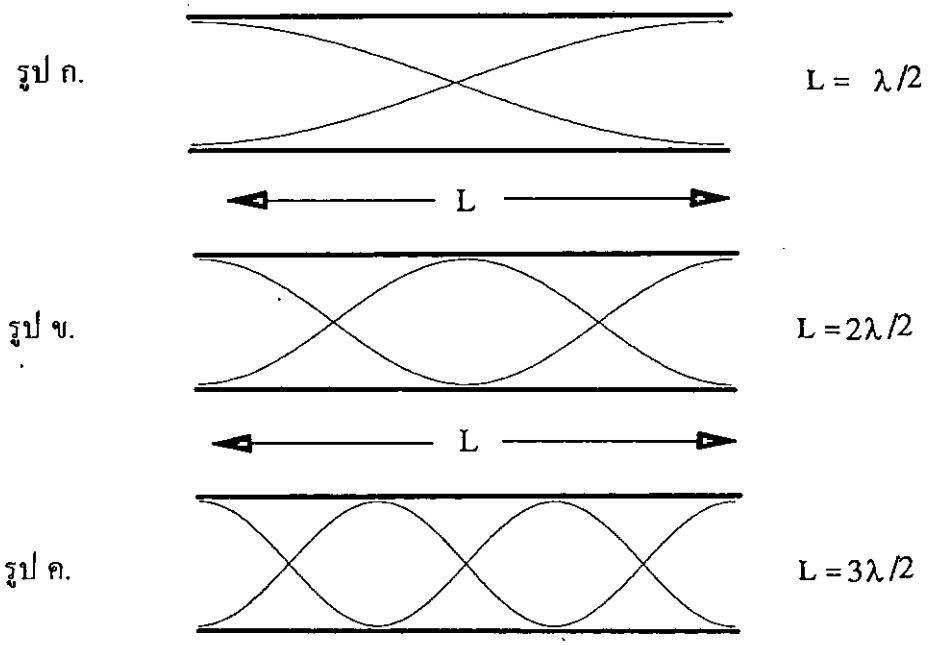
ในเรื่องของคลื่นเราทราบว่า เมื่อมีคลื่นสองคลื่นที่มีความถี่และแอมพลิจูดเท่ากันอยู่ในบริเวณเดียวกันในเวลาเดียวกัน คลื่นทั้งสองจะซ้อนทับกันให้คลื่นใหม่ที่มีบางจุดไม่มีการสั่นไหวเลย เรียกจุดเหล่านี้ว่า *บัพ* (node) ในขณะเดียวกันก็มีบางจุดในคลื่นใหม่นี้ที่สั่นไหวอย่างรุนแรงตลอดเวลา เรียกจุดเหล่านี้ว่า *ปฏิบัพ* (antinode) และเรียกคลื่นใหม่ที่เกิดขึ้นในลักษณะนี้ว่า *คลื่นนิ่ง*(standing wave)

ในเรื่องของเสียง ก็มีการเกิดคลื่นนิ่งเช่นเดียวกัน โดยคลื่นนิ่งของเสียงที่สำคัญคือคลื่นนิ่งที่เกิดขึ้นในท่ออากาศ ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ชนิดได้แก่

1. ท่อปลายเปิดทั้งสองข้าง
2. ท่อปลายปิดทั้งสองข้าง

คลื่นนิ่งในท่ออากาศเกิดขึ้นได้โดย เมื่อเสียงแผ่เข้าไปในท่ออากาศแล้วเกิดการสะท้อน คลื่นที่สะท้อนมีทั้งความถี่และแอมพลิจูดเท่ากับของคลื่นตกกระทบ คลื่นทั้งสองจึงซ้อนทับกัน และเมื่อมีเงื่อนไขที่เหมาะสมคลื่นรวมที่เกิดขึ้นก็จะเป็น *คลื่นนิ่ง* เงื่อนไขดังกล่าวนั้นก็คือ *ความถี่ของคลื่นตกกระทบจะต้องพอเหมาะจนทำให้* **ปลายเปิดของท่อเป็นปฏิบัพ และ ปลายปิดเป็นบัพ**

2.3.1 การเกิดคลื่นนิ่งในท่อปลายเปิดทั้ง 2 ข้าง



รูปที่ 2.10 การเกิดคลื่นนิ่งในท่อปลายเปิดทั้ง 2 ข้าง

พิจารณาท่ออากาศยาว L และมีปลายเปิดทั้ง 2 ข้าง จากเงื่อนไขของการเกิดคลื่นนิ่งในท่ออากาศที่ว่าปลายเปิดของท่อต้องเป็นปฏิบัพ และปลายปิดเป็นบัพ ทำให้ลักษณะของคลื่นนิ่งในท่อปลายเปิดทั้ง 2 ข้างที่ง่ายที่สุดเป็นดังรูป ก ในรูปนี้จะเห็นว่าความยาวของท่อ L มีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น หรือ

$$L = \frac{\lambda}{2} \qquad \text{.....(2.1)}$$

อย่างไรก็ดี ลักษณะของคลื่นนิ่งในรูป ข ก็เป็นไปตามเงื่อนไขของการเกิดคลื่นนิ่งในท่อปลายเปิดทั้ง 2 ข้างเช่นเดียวกัน ซึ่งในกรณีของรูป ข นี้จะได้ความยาวของท่อเท่ากับความยาวคลื่น แต่หากเราต้องการรักษารูปแบบของสมการให้เหมือนกับในกรณีของสมการ (2.1) ก็จะได้

$$L = \frac{2\lambda}{2} \qquad \text{.....(2.2)}$$

เห็นได้ว่า คลื่นนิ่งในรูป ข มีความยาวคลื่นสั้นกว่ากรณีของรูป ก หรือกล่าวได้ว่าความถี่ของคลื่นในรูป ข มีค่ามากกว่าความถี่ในรูป ก ดังนั้นในทำนองเดียวกัน หากเราเพิ่มความถี่ของคลื่น ก็สามารถที่ทำให้เกิดคลื่นนิ่งในท่ออากาศได้อีกเช่นกัน ดังแสดงในรูป ค. ซึ่งเป็นกรณีที่ความยาวของท่ออากาศมีค่าเป็น 3/2 เท่าของความยาวคลื่น หรือเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$L = \frac{3\lambda}{2} \qquad \text{.....(2.3)}$$

สมการ (2.1) (2.2) (2.3) แสดงให้เห็นว่า สมการทั่วไปของเงื่อนไขของการเกิดคลื่นนิ่งในท่อปลายเปิดทั้งสองข้างคือ ความยาวของท่อต้องเป็นจำนวนเต็มของครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น หรือ

$$L = \frac{n\lambda}{2} \qquad \text{.....(2.4)}$$

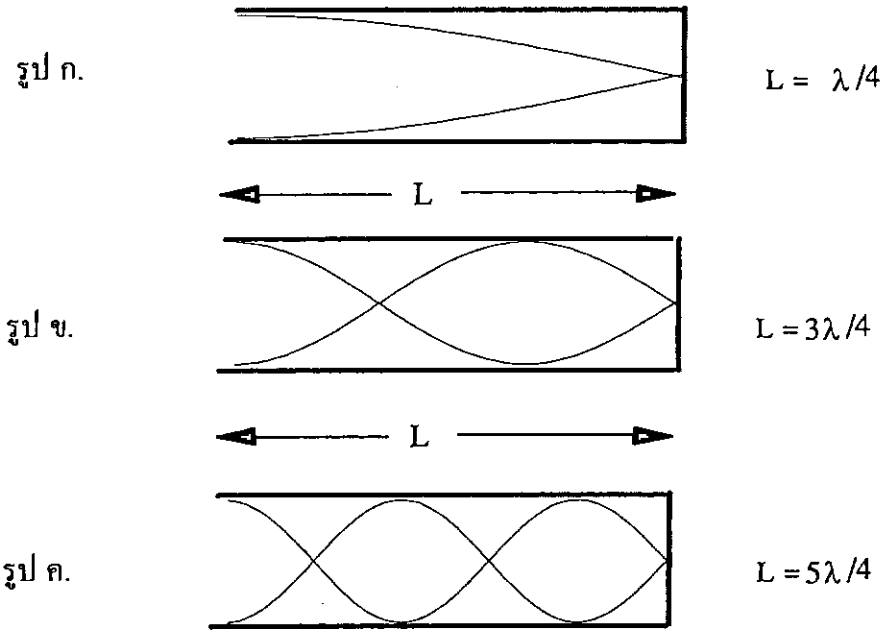
จากสมการของอัตราเร็วในการแผ่ของคลื่น $v = f\lambda$ ทำให้เขียนสมการ (2.4) ได้ใหม่ดังนี้

$$f = \frac{nv}{2L} \qquad \text{.....(2.5)}$$

ดังที่ได้กล่าวและแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.10 แล้วว่า คลื่นนิ่งที่เกิดขึ้นในท่อปลายเปิดทั้ง 2 ข้างนี้เกิดขึ้นได้หลายความถี่ เรียกความถี่ต่ำสุดของคลื่นนิ่งที่เกิดขึ้นได้ในท่อว่า ความถี่พื้นฐาน (fundamental frequency) หรือ ฮาร์มอนิกที่ 1 (first hamonic) และเรียกความถี่ที่สูงขึ้นตามลำดับว่า ฮาร์มอนิกที่ 2 ฮาร์มอนิกที่ 3 เป็นลำดับขึ้นไป

2.3.2 การเกิดคลื่นนิ่งในท่อปลายเปิดทั้ง 1 ข้าง

การเกิดคลื่นนิ่งในท่อปลายเปิด 1 ข้าง ก็เป็นไปตามเงื่อนไขของการเกิดคลื่นนิ่งในท่ออากาศทั่วไป คือคลื่นนิ่งตรงปลายเปิดต้องเป็นปฏิบัพ และตรงปลายปิดเป็นบัพ จากเงื่อนไขนี้ทำให้เขียนลักษณะของคลื่นนิ่งที่เกิดขึ้น ในทำนองที่แสดงในรูป 2.10 ได้ดังนี้



รูปที่ 2.11 การเกิดคลื่นนิ่งในท่อปลายปิด 1 ข้าง

จากรูป 2.11 ทั้ง 3 ทำให้สรุปได้ว่า สมการทั่วไปของการเกิดคลื่นนิ่งในท่อปลายปิด 1 ข้างคือ

$$L = \frac{m\lambda}{4} \qquad \text{.....(2.6)}$$

m ในสมการ (2.6) ต่างกับ n ในสมการ (2.4) โดย n ในสมการ (2.4) เป็นจำนวนเต็มทุกค่า นั่นคือ n = 1,2,... แต่ m ในสมการ (2.6) เป็นเลขคี่ หรือ n = 1, 3, 5, ...

ในการสร้างเลขคี่นั้นทำได้ 2 แบบด้วยกัน คือ เลขคี่อาจจะเท่ากับ 2n+1 ได้ หาก n เป็นเลขจำนวนเต็มบวก และมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0 ในขณะเดียวกันเลขคี่ก็อาจจะเขียนได้เป็น 2n−1 โดย n เป็นจำนวนเต็มบวกเช่นเดียวกัน แต่ในกรณีหลังนี้ n ต้องมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 1 เพื่อให้การเริ่มต้นของ n ในกรณีของท่ออากาศทั้ง 2 แบบเป็นในลักษณะเดียวกัน จึงเลือกใช้ เลขคี่ m = 2n−1

จากสมการของอัตราเร็วในการแผ่ของคลื่น $v = f\lambda$ และการเลือกใช้เลขคี่ดังที่กล่าวมาแล้ว ทำให้เขียนสมการ (2.6) ได้ใหม่ดังนี้

$$f = \frac{(2n-1)v}{4L} \quad \text{.....(2.7)}$$

ในการเกิดคลื่นนิ่งในท่ออากาศทุกครั้ง ไม่ว่าจะเป็นท่อชนิดใด จะเกิดเสียงดังกว่าปกติขึ้น และมีการเรียกสภาวะที่เกิดคลื่นนิ่งนี้ว่า **เรโซแนนซ์**

2.4 ความเข้มและระดับความเข้มของเสียง

ประสาทหูของคนเราจะรับรู้เสียงใดได้ต่อเมื่อเสียงนั้นมีความถี่ในช่วง 20 ถึง 20000 เฮิรตซ์ อย่างไรก็ดีนอกจากช่วงความถี่ดังกล่าวแล้ว ประสาทหูจะได้ยินเสียงได้ต่อเมื่อเสียงนั้นดังพอ เสียงที่มีความดังมากก็คือเสียงที่มีพลังงานมาก เป็นเสียงที่ตัวกลางสั่นด้วยแอมพลิจูดสูง มีการกำหนดปริมาณที่ใช้วัดความดังหรือพลังงานของเสียงไว้คือ ***ความเข้มของเสียง (sound intensity)*** และ ***ระดับความเข้มของเสียง (soundintensity level)***

2.4.1 ความเข้มของเสียง (Intensity of sound)

นิยาม ความเข้มของเสียง ณ จุดใด คือกำลังเสียงที่ตกบนพื้นที่ 1 ตารางหน่วย ณ จุดนั้น

จากนิยามนี้สามารถเขียนสมการของความเข้มของเสียงได้ว่า

$$I = P/A$$

โดย I เป็นความเข้มของเสียง

P เป็นกำลังของเสียง

A เป็นพื้นที่ที่เสียงนั้นแผ่ผ่านไป

แหล่งกำเนิดเสียงโดยทั่วไปแผ่เสียงออกมาทุกทิศทุกทาง หรือแผ่ออกมาเป็นรูปทรงกลม พื้นที่ A ในสมการข้างบนจึงเป็นพื้นที่ทรงกลม นั่นคือ

$$A = 4\pi r^2$$

โดย r เป็นรัศมีของทรงกลม ทำให้สมการของความเข้มเสียงโดยทั่วไปเป็น

$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$

ถ้าไม่มีการดูดกลืนกำลังของเสียงที่ออกมาจากต้นกำเนิด กำลังเสียง P ตรงบริเวณผู้สังเกตและต้นกำเนิดจะเป็นปริมาณเดียวกัน หน่วยของความเข้มของเสียงในระบบ SI เป็น ***วัตต์/ตารางเมตร***

จากการทดลองพบว่า **ความเข้มเสียงน้อยที่สุดที่ประสาทหูของคนทั่วไปสามารถรับรู้ได้มีค่า** 10^{-12} วัตต์/ตารางเมตร และความเข้มของเสียงมากที่สุดที่ประสาทหูสามารถฟังทนได้มีค่าเป็น 1 วัตต์/ตารางเมตร และมักจะเขียน ค่าความเข้มที่น้อยที่สุดนี้แทนด้วยสัญญลักษณ์ I_o นั่นคือ

2.4.2 ระดับความเข้มของเสียง (sound intensity level)

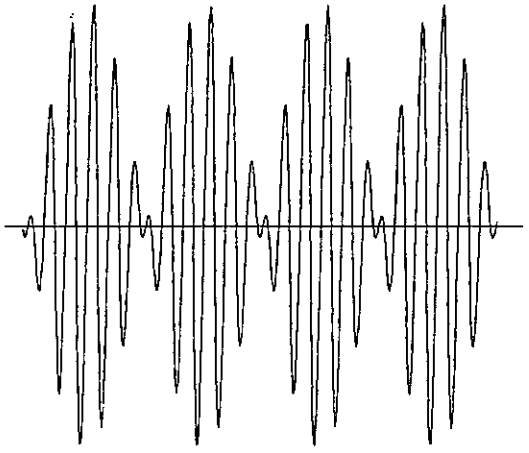
ปริมาณที่บอกถึงความดังของเสียงอีกปริมาณหนึ่งคือ *ระดับความเข้มของเสียง* โดยกำหนดว่าระดับความเข้มของเสียงที่มีความเข้มเป็น I มีค่าเป็น β โดย

$$\beta = 10\log\frac{I}{I_0}$$

ระดับความเข้มของเสียงที่กำหนดด้วยวิธีนี้มีหน่วยเป็น **เดซิเบล (decibel** มักจะเขียนย่อๆว่า dB) เมื่อแทนค่า $I = I_0$ หรือ 10^{-12} วัตต์/ตารางเมตร ลงในสมการของระดับความเข้ม จะได้ β ของเสียงที่น้อยที่สุดที่คนปกติได้ยินได้พอดีเป็น 0 เดซิเบล และเมื่อแทนค่า I = 1 วัตต์/ตารางเมตร ก็จะได้ β มากที่สุดที่คนปกติฟังได้โดยไปเป็นอันตรายมีค่าเท่ากับ 120 เดซิเบล

2.5 บีสต์ (Beat)

บีสต์ เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดได้กับคลื่นทุกชนิด แต่สังเกตปรากฏการณ์นี้ได้ง่ายในเสียง ปรากฏการณ์บีสต์เกิดขึ้นได้จากการที่ *มีคลื่นสองคลื่นที่มีแอมพลิจูดเท่ากันแต่มีความถี่ต่างกันมาสั่นพร้อมกันในที่เดียวกัน* คลื่นทั้งสองนี้จะรวมกันทำให้เกิดคลื่นใหม่ที่มีความถี่เท่ากับความถี่เฉลี่ยของคลื่นเดิมทั้งสอง แต่แอมพลิจูดของคลื่นใหม่มีค่าไม่คงที่ เรียกคลื่นรวมที่มีลักษณะเช่นนี้ว่า **บีสต์** คลื่นรวมในลักษณะนี้มีรูปแบบของคลื่น (wave form) ดังแสดงในรูป 2.12



รูปที่ 4.12 รูปแบบคลื่นของบีสต์

จากรูปจะเห็นว่าที่จุดเริ่มต้นแอมพลิจูดของคลื่นรวมมีค่าน้อย แล้วแอมพลิจูดก็ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดแล้วก็ค่อย ๆ ลดลง เป็นเช่นนี้เรื่อยไป

ในกรณีของคลื่นเสียง เมื่อแอมพลิจูดมีค่ามากขึ้นเสียงก็จะดังมากขึ้น โดยเสียงจะดังมากที่สุดเมื่อแอมพลิจูดมีค่าสูงสุดเมื่อแอมพลิจูดลดลงเสียงก็จะค่อยลงมา เราจึงสามารถสังเกตการเกิดบีสต์ของเสียงได้จากการที่ *มีเสียงดังเป็นห้วง ๆ* เรียกจำนวนครั้งที่คลื่นมีแอมพลิจูดสูงสุดต่อหน่วยเวลา หรือในกรณีของเสียงก็คือ *จำนวนครั้งที่มีเสียงดังในหนึ่งหน่วยเวลา* ว่า ***ความถี่บีสต์*** และเรียก *ความถี่ของคลื่นรวม* ว่า *ความถี่รวม*

จากการศึกษาเกี่ยวกับความถี่บีสต์พบว่า *ความถี่บีสต์มีค่าเท่ากับค่าสัมบูรณ์ (Absolute Value) ของผลต่างระหว่างความถี่ของคลื่นทั้งสอง* และได้กล่าวแล้วว่า ความถี่รวมมีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยของความถี่ของคลื่นทั้งสอง ซึ่งก็หมายความว่า ความถี่ของคลื่นรวมมีค่าเท่ากับผลบวกของความถี่ของคลื่นทั้งสองแล้วหารด้วยสอง

ถ้าให้ f_1 เป็นความถี่ของคลื่นอันที่หนึ่ง

f_2 เป็นความถี่ของคลื่นอันที่สอง

$f_{รวม}$ เป็นความถี่ของคลื่นรวม

f_{beat} เป็นความถี่บีสต์

จะได้

$$f_{รวม} = \frac{f_1 + f_2}{2}$$

$$f_{beat} = |f_1 - f_2|$$

ประสาทหูของคนเรามีความสามารถที่จะแยกเสียงที่ดังเป็นห้วง ๆ ได้เพียง 7 ครั้ง/วินาทีเท่านั้นดังนั้น ถ้ามีคลื่นเสียงที่มีความดังหรือแอมพลิจูดเท่ากัน แต่มีความถี่ต่างกันมากกว่าหรือเท่ากับ 8 รอบ/วินาที หรือมากกว่ามาสั่นพร้อม ๆ กัน ก็จะเกิดบีสต์ขึ้นด้วยความถี่มากกว่าหรือเท่ากับ 8 ครั้งต่อวินาที แต่ประสาทหูของเราจะไม่ได้ยินเสียงเป็นห้วง ๆ โดยจะได้ยินเสียงต่อเนื่องกันไป

2.6 ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์

ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ (Doppler Effect) เป็นปรากฏการณ์ที่ความถี่ของคลื่นจากต้นกำเนิดที่มาถึงผู้สังเกตเปลี่ยนไป เพราะต้นกำเนิดมีการเคลื่อนที่เทียบกับผู้สังเกต

ความหมายของคำว่า ต้นกำเนิดมีการเคลื่อนที่เทียบกับผู้สังเกต ก็คือ

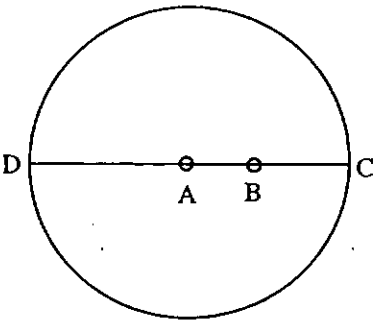
-ต้นกำเนิดอาจจะมีการเคลื่อนที่โดยที่ผู้สังเกตหยุดนิ่งอยู่กับที่ หรือ

-ต้นกำเนิดหยุดนิ่งอยู่กับที่แล้วผู้สังเกตมีการเคลื่อนที่ก็ได้

เพราะทั้งสองกรณีผู้สังเกตจะมีความรู้สึกว่า ต้นกำเนิดคลื่นมีการเคลื่อนที่

นอกจากนี้นักเรียนยังจะได้พบต่อไปว่า ถึงแม้ว่าทั้งต้นกำเนิดคลื่นและผู้สังเกตจะหยุดนิ่งกับที่ แต่ตัวกลางที่คลื่นแผ่ไปมีการเคลื่อนที่ เช่นเมื่อเสียงแผ่ไปในอากาศแล้วมีลมพัด ก็จะเกิดปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ได้เช่นกัน

การเข้าใจปรากฏการณ์ดอปเปลอร์สามารถทำได้ดังนี้



รูป 2.13 ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์

ในรูป 2.13 A เป็นตำแหน่งของต้นกำเนิดคลื่นเสียงที่เวลาเริ่มต้น

B เป็นตำแหน่งของต้นกำเนิดที่เวลา t ใด ๆ

v_S เป็นอัตราเร็วของต้นกำเนิดซึ่งเคลื่อนที่ไปทางขวา

v เป็นอัตราเร็วของคลื่นเสียงในอากาศ

f_S เป็นความถี่ของคลื่นเสียงที่ต้นกำเนิด

ถือว่าทันทีที่ต้นกำเนิดเริ่มเคลื่อนที่ ต้นกำเนิดจึงจะเริ่มส่งเสียงออกมา และในรูปเป็นเหตุการณ์หลังจากที่ต้นกำเนิด เริ่มเคลื่อนที่เป็นเวลา t วินาที ซึ่งในรูปที่ 4.13 จะเห็นว่า วงกลมวงใหญ่คือขอบเขตที่คลื่นเสียงคลื่นแรกเคลื่อนที่ไปได้ในเวลา t วงกลมวงนี้มีจุดศูนย์กลางเป็นจุด A ซึ่งเป็นตำแหน่งของต้นกำเนิดที่เวลาเริ่มต้น

การที่ต้นกำเนิดกระจายเสียงออกมาด้วยความถี่ f_S เฮิรตซ์ หมายความว่า ในเวลา 1 วินาทีมีคลื่นเสียงกระจายออกมา f_S คลื่น ดังนั้นในเวลา t วินาทีจึงมีคลื่นเสียงกระจายออกมา f_St คลื่น

เนื่องจากต้นกำเนิดเสียงมีอัตราเร็วเป็น v_S ดังนั้นในเวลา t วินาทีต้นกำเนิดเคลื่อนที่ได้ทาง v_St

เพราะว่าอัตราเร็วของเสียงในอากาศเป็น v ดังนั้นในเวลา t วินาทีเสียงจึงแผ่ได้ทาง vt

เมื่อพิจารณาด้านหน้าของต้นกำเนิด จะเห็นว่าระยะระหว่างต้นกำเนิดที่เวลา t กับคลื่นลูกแรก (คือระยะ BC ในรูป 4.13) มีค่าเท่ากับผลต่างระหว่าง ระยะทางที่คลื่นเสียงแผ่ไปได้ในเวลา t กับระยะทางที่ต้นกำเนิดเคลื่อนที่ได้ในเวลาเดียวกัน

นั่นคือ ระยะทางจากต้นกำเนิดที่เวลา t ถึงคลื่นลูกแรก $= vt-v_St$

$= (v-v_S)t$

196828

เพราะว่าความยาวคลื่นคือระยะระหว่างลูกคลื่น ซึ่งระยะนี้ต้องคงที่สำหรับลูกคลื่นคู่หนึ่ง ๆ
ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า **ความยาวคลื่น คือ ระยะระหว่างต้นกำเนิดถึงคลื่นลูกแรกหารด้วยจำนวนลูกคลื่น**
ทำให้ได้ว่า ความยาวคลื่นทางด้านหน้าของต้นกำเนิดเป็น $\lambda_{หน้า}$ โดย

$$\lambda_{หน้า} = \frac{(v - v_s)t}{f_s t}$$

หรือ

$$\lambda_{หน้า} = \frac{v - v_s}{f_s}$$

แต่เมื่อพิจารณาทางด้านหลังของต้นกำเนิดจะเห็นว่า ระยะระหว่างต้นกำเนิดที่เวลา t กับคลื่นลูกแรก (หรือคือระยะ BD ในรูป) มีค่าเท่ากับผลบวกระหว่างระยะทางที่คลื่นแผ่ได้ในเวลา t วินาที กับระยะทางที่ต้นกำเนิดเคลื่อนที่ได้ในเวลาเดียวกัน
นั่นคือ ระยะทางจากต้นกำเนิดที่เวลา t ถึงคลื่นลูกแรก $= vt+v_St$

$= (v+v_S)t$

และจากการที่ ความยาวคลื่น คือ ระยะระหว่างต้นกำเนิดถึงคลื่นลูกแรกหารด้วยจำนวนลูกคลื่น
ทำให้ได้ ความยาวคลื่นทางด้านหลังของต้นกำเนิดเป็น $\lambda_{หลัง}$ โดย

$$\lambda_{หลัง} = \frac{(v + v_s)t}{f_s t}$$

หรือ

$$\lambda_{หลัง} = \frac{v + v_s}{f_s}$$

เมื่อเปรียบเทียบสมการของความยาวคลื่นทั้ง 2 จะเห็นว่าความยาวคลื่นทางด้านหลังต้นกำเนิด ยาวกว่าความยาวคลื่นทางด้านหน้าของต้นกำเนิด และทั้งสองกรณีถ้าต้นกำเนิดอยู่นิ่ง ก็จะทำให้ v_S เป็นศูนย์ และค่าของ$\lambda_{หน้า}$ และ $\lambda_{หลัง}$ จะเป็นค่าปกติคือ $\lambda = v/f_S$

สำหรับความถี่ที่ผู้สังเกตสังเกตได้รับ ก็หาได้จากสมการ $f = v/\lambda$ ทั้งนี้ถ้าให้
f_L เป็นความถี่ที่ปรากฏแก่ผู้สังเกต
v_o เป็นอัตราเร็วของเสียงที่ปรากฏแก่ผู้สังเกต
λ_L เป็นความยาวคลื่นที่ปรากฏแก่ผู้สังเกต ก็จะได้ว่า

$$f_L = \frac{v_o}{\lambda_L}$$

ในขั้นแรกจะพิจารณากรณีที่ ผู้สังเกตหยุดนิ่งอยู่กับที่ ในกรณีนี้อัตราเร็วของเสียงที่ผู้สังเกตทำการ สังเกตได้ หรือ v_L คืออัตราเร็วที่แท้จริงของเสียงในอากาศ ซึ่งในที่นี้ก็คือ v นั่นเอง

ดังนั้น ความถี่ที่ผู้สังเกตด้านหน้าสังเกตได้ $= \dfrac{v}{\lambda_{หน้า}}$

$= \dfrac{vf_s}{v - v_s}$

และ ความถี่ที่ผู้สังเกตด้านหลังสังเกตได้ $= \dfrac{v}{\lambda_{หลัง}}$

$= \dfrac{vf_s}{v + v_s}$

ทั้งกรณีของความถี่ที่ผู้สังเกตทางด้านหน้าและหลังสังเกตได้ ถ้าต้นกำเนิดหยุดนิ่งอยู่กับที่จะได้ v_S เป็นศูนย์และความถี่ทั้งทางด้านหน้าและหลังจะกลายเป็นความถี่ธรรมดาคือ f_S

นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าความถี่ที่สังเกตได้ทางด้านหน้าจะมีค่ามากกว่าความถี่ธรรมดา ผู้สังเกตที่อยู่ทางด้านหน้าของต้นกำเนิดจึงได้ยินเสียงสูงกว่าปกติ ในทางกลับกันความถี่ที่สังเกตได้ทางด้านหลังก็จะมีค่าน้อยกว่าความถี่ธรรมดา ผู้สังเกตที่อยู่ทางด้านหลังของต้นกำเนิดจึงได้ยินเสียงต่ำกว่าปกติ

ในกรณีที่ ผู้สังเกตมีการเคลื่อนที่ ผู้สังเกตก็จะมีความรู้สึกว่าอัตราเร็วของคลื่นเสียงเปลี่ยนไปจากอัตราเร็วปกติ โดยที่ถ้าผู้สังเกตเคลื่อนที่สวนทางกับทิศทางการแผ่ของคลื่น (ไม่ว่าผู้สังเกตจะเคลื่อนที่ไปทางเดียวกับต้นกำเนิดหรือสวนกับต้นกำเนิด) ผู้สังเกตก็จะรู้สึกว่าอัตราเร็วของคลื่นเสียงมากกว่าปกติในทางกลับกันถ้าเคลื่อนที่ไปทางเดียวกับทิศทางการแผ่ของคลื่น ผู้สังเกตก็จะรู้สึกว่าอัตราเร็วของคลื่นมีค่าลดลงจากปกติ

ถ้าให้ v_L เป็นอัตราเร็วของผู้สังเกต

v เป็นอัตราเร็วของเสียง

จะได้ อัตราเร็วเสียงที่ปรากฏแก่ผู้สังเกตเมื่อผู้สังเกตเคลื่อนที่สวนกับเสียง $= v + v_L$

อัตราเร็วเสียงที่ปรากฏแก่ผู้สังเกตเมื่อผู้สังเกตเคลื่อนที่ทางเดียวกับเสียง $= v - v_L$

อัตราเร็วเสียงที่ปรากฏแก่ผู้สังเกตในสมการทั้ง 2 ข้างบนก็คือ v_O ในสมการของความถี่ที่ผู้สังเกตได้รับนั่นเอง ลักษณะเช่นนี้ทำให้ได้ ความถี่ของเสียงที่ปรากฏแก่ผู้สังเกต หรือ f_L เป็นดังนี้

$f_L = \dfrac{v + v_L}{\lambda_L}$ เมื่อผู้สังเกตเคลื่อนที่สวนกับเสียง

และ $f_L = \dfrac{v - v_L}{\lambda_L}$ เมื่อผู้สังเกตเคลื่อนที่ทางเดียวกับเสียง

จะเห็นว่า แม้ต้นกำเนิดหยุดนิ่งแต่ความถี่ที่ปรากฏแก่ผู้สังเกตก็มีค่าสูงกว่าปกติได้ถ้าผู้สังเกตเคลื่อนที่สวนกับเสียง และความถี่ที่ปรากฏแก่ผู้สังเกตจะมีค่าต่ำกว่าปกติ ถ้าผู้สังเกตเคลื่อนที่ทางเดียวกับคลื่น

สรุปได้ว่า ในการทำโจทย์เกี่ยวกับปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ *จะเริ่มต้นด้วยสมการพื้นฐานของปรากฏการณ์นี้ คือ*

$$f_L = \frac{v_o}{\lambda_L}$$

ซึ่งมีความหมายว่า ความถี่ที่ปรากฏแก่ผู้สังเกต เท่ากับ อัตราเร็วของเสียงที่ปรากฏแก่ผู้สังเกต หารด้วยความยาวคลื่นที่ปรากฏแก่ผู้สังเกต

อัตราเร็วของคลื่นที่ปรากฏแก่ผู้สังเกต เป็นเรื่องราวระหว่าง คลื่นเสียงและผู้สังเกตเท่านั้น ต้นกำเนิดไม่มีส่วนร่วมในปริมาณนี้

อัตราเร็วนี้แบ่งได้เป็น 3 กรณีคือ

1) ผู้สังเกตเคลื่อนที่สวนกับเสียง จะได้ $v_o = v + v_L$

2) ผู้สังเกตหยุดนิ่ง จะได้ $v_o = v$

3) ผู้สังเกตเคลื่อนที่ทางเดียวกับคลื่น ได้ $v_o = v - v_L$

ความยาวคลื่นที่ปรากฏแก่ผู้สังเกต เป็นเรื่องราวของ *ต้นกำเนิด* ที่จะมีการเคลื่อนที่หรือไม่ ค่าของความยาวคลื่นนี้แบ่งได้เป็น 3 กรณีเช่นกัน คือ

1) ต้นกำเนิดเคลื่อนที่เข้าหาผู้สังเกต ได้ $\lambda_L = \lambda_{หน้า} = \frac{(v - v_s)t}{f_s t}$

2) ต้นกำเนิดไม่มีการเคลื่อนที่ ได้ $\lambda_L = \lambda_{ปกติ} = \frac{v}{f_s}$

3) ต้นกำเนิดเคลื่อนที่ออกจากผู้สังเกต จะได้ $\lambda_L = \lambda_{หลัง} = \frac{v + v_s}{f_s}$

2.6.1 ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ที่เกิดขึ้นเมื่อตัวกลางที่คลื่นแผ่ไปมีการเคลื่อนที่

ตัวอย่างของการที่ตัวกลางที่คลื่นแผ่ไปมีการเคลื่อนที่ได้แก่ การที่เสียงแผ่ไปในอากาศในขณะที่มีลมพัด เช่นเรายืนเปล่งเสียงอยู่กลางที่โล่งที่มีลมพัด เหตุการณ์นี้ให้ผลเหมือนกับการที่เราเปล่งเสียงในขณะที่เราวิ่งในที่ที่มีลมสงบ

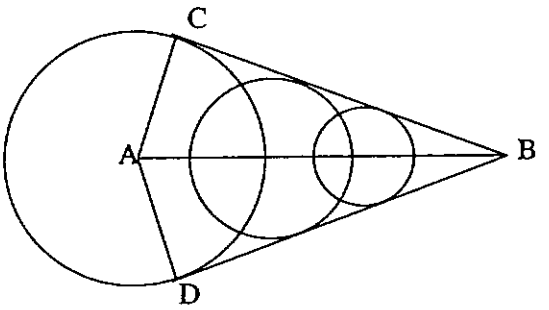
ในกรณีที่ผู้สังเกตอยู่เหนือลม ก็จะเทียบได้กับผู้สังเกตที่อยู่ทางด้านหน้าของต้นกำเนิดที่มีการเคลื่อนที่ ดังนั้นความยาวคลื่นที่ปรากฏแก่ผู้สังเกตก็คือความยาวคลื่นทางด้านหน้า ซึ่งจะมีค่าน้อยกว่าความยาวคลื่นตามปติ และความถี่ที่ปรากฏแก่ผู้สังเกตก็จะเป็นความถี่ที่สูงขึ้น ในทางกลับกันผู้สังเกตที่อยู่ใต้ลมก็จะเทียบได้กับ ผู้สังเกตที่อยู่ทางด้านหลังของต้นกำเนิดที่มีการเคลื่อนที่ นั่นคือความถี่ที่

ปรากฏแก่ผู้สังเกตจะมีค่าต่ำลง ในขณะที่ความยาวคลื่นที่ปรากฏแก่ผู้สังเกตจะมีค่ามากขึ้น

สำหรับการคำนวณก็ใช้หลักการและสมการเดียวกับกรณีที่อธิบายในหัวข้อข้างต้น สิ่งที่ต้องตระหนักก็คือ การที่ตัวกลางมีการเคลื่อนที่ (หรือการที่มีลมพัด) ก็เหมือนกับการที่ต้นกำเนิดมีการเคลื่อนที่ อันจะมีผลทำให้ความยาวคลื่นที่ปรากฏแก่ผู้สังเกตเปลี่ยนไปเป็น $\lambda_{หน้า}$ หรือ $\lambda_{หลัง}$ แล้วแต่กรณี ส่วนอัตราเร็วของการแผ่ของคลื่นในตัวกลางไม่มีการเปลี่ยนแปลง อัตราเร็วที่ปรากฏแก่ผู้สังเกตขึ้นกับว่าผู้สังเกตจะมีการเคลื่อนที่หรือไม่ ถ้าผู้สังเกตเคลื่อนที่ในทิศทางตรงข้ามกับที่การแผ่ของคลื่นอัตราเร็วที่ปรากฏก็จะมากขึ้น แต่ถ้าผู้สังเกตเคลื่อนที่ในทิศเดียวกับการแผ่ของคลื่น อัตราเร็วที่ปรากฏก็จะน้อยลง

2.7 คลื่นกระแทก (shock wave)

ในเรื่องของปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ ถ้าต้นกำเนิดคลื่นมีการเคลื่อนที่เทียบกับผู้สังเกต ความถี่ของคลื่นที่ปรากฏแก่ผู้สังเกตจะเปลี่ยนไป แต่ก็เป็นที่น่าสังเกตว่าอัตราเร็วของการเคลื่อนที่นี้มีค่าน้อยกว่าอัตราเร็วของคลื่น หากต้นกำเนิดคลื่นเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วมากกว่าอัตราเร็วคลื่น ปรากฏการณ์ก็จะเปลี่ยนไป เรียกปรากฏการณ์ใหม่นี้ว่า **คลื่นกระแทก (shock wave)** การทำความเข้าใจเกี่ยวกับคลื่นกระแทกสามารถทำได้ดังนี้



รูปที่ 2.14 การเกิดคลื่นกระแทก

ในรูปที่ 2.14 A เป็นตำแหน่งของต้นกำเนิดคลื่นซึ่งหยุดนิ่งอยู่ก่อน โดยในขณะที่ต้นกำเนิดหยุดนิ่งนั้นมันยังไม่กระจายคลื่นออกมา ที่เวลาเริ่มต้น t=0 ต้นกำเนิด A เริ่มต้นเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว v_s และในขณะนั้นเองต้นกำเนิดก็กระจายคลื่นที่มีอัตราเร็วในการแผ่เป็น v ออกมา

เมื่อเวลาผ่านไป t ต้นกำเนิดเคลื่อนที่ไปถึงจุด B โดยระยะ AB มีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างอัตราเร็วของต้นกำเนิดกับเวลา

นั่นคือ ระยะ AB = $v_s t$

สำหรับคลื่นนั้น เมื่อกระจายออกจากต้นกำเนิดก็จะแผ่ไปทุกทิศทุกทางคลื่นจึงแผ่เป็นทรงกลมที่มี A เป็นจุดศูนย์กลาง และรัศมีเท่ากับระยะทางที่มันแผ่ไปได้ในช่วงเวลา t ระยะทางนี้มีค่าเท่ากับ ผลคูณระหว่างอัตราเร็วของการแผ่ของคลื่นกับเวลา ในรูป 2.14 C และ D เป็นสองจุดบนผิวทรงกลม

ดังนั้น รัศมีทรงกลม = ระยะ AC = ระยะ AD = vt

กรณีของคลื่นกระแทกนี้เป็นกรณีที่อัตราเร็วของต้นกำเนิดมากกว่าอัตราเร็วของการแผ่ของคลื่น ดังนั้นระยะทาง $v_s t$ จึงมากกว่า ระยะทาง AC ดังจะเห็นในรูปว่าจุด B ซึ่งเป็นตำแหน่งของต้นกำเนิดที่เวลา t อยู่ข้างนอกทรงกลมวงแรก (เปรียบเทียบกับรูปที่ 2.13 ของปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ที่ตำแหน่งของต้นกำเนิดที่เวลา t ยังอยู่ภายในทรงกลมของคลื่นลูกแรก)

สำหรับทรงกลมอันอื่นๆในรูปที่ 2.14 ก็คือคลื่นที่กระจายออกมาเมื่อต้นกำเนิดเคลื่อนที่ไปถึงตำแหน่งของจุดศูนย์กลางของทรงกลมวงนั้นๆ และในรูปนี้จะเห็นได้ว่าเส้น BC และเส้น BD ต่างก็เป็นเส้นสัมผัสของทรงกลมของคลื่นอันแรก ในขณะเดียวกันเส้นทั้งสองนี้ต่างก็เป็นเส้นสัมผัสของคลื่นอันอื่นๆด้วย นั่นคือเส้น BC และ BD ต่างก็เป็น *เส้นสัมผัสร่วม* ของทรงกลมของคลื่นทุกคลื่น ที่ต้นกำเนิดกระจายออกมาในช่วงที่ต้นกำเนิดเคลื่อนที่จากจุด A ไปยัง B เรียกเส้น BC และ BD ว่าเป็น **หน้าคลื่นของคลื่นกระแทกที่เกิดขึ้น**

เนื่องจากการเกิดคลื่นกระแทกมีสาเหตุมาจาก การที่ต้นกำเนิดคลื่นเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วที่มากกว่าอัตราเร็วในการแผ่ของคลื่น จึงมีการกำหนดปริมาณที่เรียกว่า **เลขมัค (mach number)** ว่า

เลขมัค คือ อัตราส่วนระหว่างอัตราเร็วของต้นกำเหนิด ต่อ อัตราเร็วในการแผ่ของคลื่น

ย้อนกลับไปพิจารณารูปที่ 2.14 จะเห็นว่าเส้น AC คือรัศมีของทรงกลมของคลื่นลูกแรก และเส้นBC คือเส้นสัมผัสของทรงกลมอันนี้ ดังนั้นเส้นตรงสองเส้นนี้จึงตั้งฉากกัน ทำให้ได้ว่าสามเหลี่ยม ABC เป็นสามเหลี่ยมมุมฉาก ที่มีมุม C เป็น 90 องศา และมีมุม B เป็น θ ทำให้ได้ว่า

$$\sin\theta = AC/BC$$
$$= vt/v_s t$$
$$= v/v_s$$

จากนิยามของเลขมัคจะได้ว่า เลขมัค $= v/v_s$

ทำให้เราได้สมการในการคำนวณเกี่ยวกับปรากฏการณ์คลื่นกระแทกว่า

$$\sin\theta = v/v_s = (\text{เลขมัค})^{-1}$$

ตัวอย่างของคลื่นกระแทกที่เห็นได้ง่ายในชีวิตประจำวัน ก็คือ *คลื่นกระแทกของคลื่นน้ำ* ดังจะเห็นได้จากการที่เรือเคลื่อนที่ไปบนผิวน้ำเรือก็จะทำให้เกิดคลื่นขึ้นบนผิวน้ำ เนื่องจากเรือเคลื่อนที่เรือจึงเป็นต้นกำเนิดคลื่นที่มีการเคลื่อนที่ แต่เนื่องจากเรือมีอัตราเร็วมากกว่าคลื่นน้ำ ดังนั้นจึงเกิดมีคลื่นกระแทกซึ่งเห็นได้ชัดจากทางหัวเรือ ถ้าเป็นเรือพายซึ่งมีอัตราเร็วไม่มากนัก คลื่นกระแทกที่เกิดขึ้นก็มีพลังงานไม่มาก ดังจะเห็นได้จากคลื่นกระแทกที่เคลื่อนที่เข้าหาฝั่งจากเรือจำพวกนี้จะซัดฝั่งอย่างไม่รุนแรงนัก

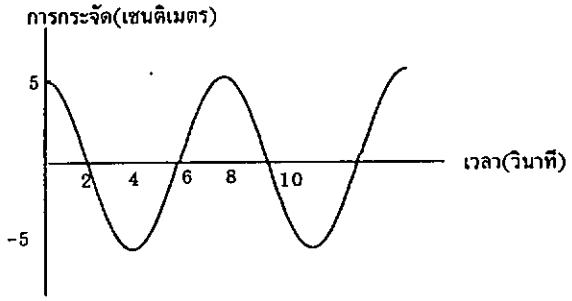
แต่ถ้าเป็นเรือที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง เช่นเรือหางยาวที่แล่นเร็วจะให้คลื่นกระแทกที่มีพลังงานสูง คลื่นกระแทกที่เกิดจากเรือที่มีความเร็วสูงนี้จะซัดฝั่งอย่างรุนแรง ซึ่งถ้าให้คลื่นกระแทกเหล่านี้ซัดฝั่งอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน ๆ ก็อาจจะทำให้ตลิ่งพังลงมาได้

อันที่จริงแล้วนักเรียนก็สามารถทำให้เกิดคลื่นกระแทกของคลื่นน้ำได้โดยใช้นิ้วจุ่มลงไปในน้ำที่ใส่ไว้ในภาชนะ และลากนิ้วไปมาบนผิวน้ำ ก็จะเกิดคลื่นกระแทกบนผิวน้ำนั้น

คลื่นอีกชนิดหนึ่งที่แสดงปรากฏการณ์คลื่นกระแทกได้ดี คลื่นชนิดดังกล่าวนี้ก็คือ *คลื่นเสียง* ทั้งนี้ในทุก ๆ ขณะที่เครื่องบินกำลังบินอยู่นั้น เครื่องบินก็กระจายเสียงของเครื่องยนต์ออกมาด้วย ถ้าเครื่องบินบินด้วยอัตราเร็วเหนือเสียงก็จะเกิดคลื่นกระแทกของเสียง การที่เครื่องบินต้องกระจายคลื่นเสียงออกมานี้เอง จึงได้มีการบอกอัตราเร็วของเครื่องบินด้วยการเทียบกับอัตราเร็วของเสียง เช่น การที่กล่าวว่าเครื่องบินไอพ่นมีอัตราเร็ว 2 มัค ก็มีความหมายว่า เครื่องบินไอพ่นเครื่องนั้นมีอัตราเร็วเท่ากับ 2 เท่าของอัตราเร็วของเสียง

แบบฝึกหัดคลื่น

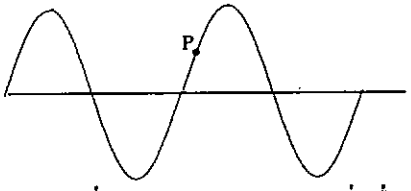
1. คลื่นขบวนหนึ่งมีรูปร่างดังกราฟ



ข้อใดถูกต้องทั้งหมด

1. มุมเฟสเริ่มต้น 0° อัมปลิจูด 10 เซนติเมตร คาบ 10 วินาที ความถี่ 0.1 เฮิรตซ์
2. มุมเฟสเริ่มต้น 0° อัมปลิจูด 5 เซนติเมตร คาบ 8 วินาที ความถี่ 0.125 เฮิรตซ์
3. มุมเฟสเริ่มต้น 90° อัมปลิจูด 5 เซนติเมตร คาบ 8 วินาที ความถี่ 0.125 เฮิรตซ์
4. มุมเฟสเริ่มต้น 90° อัมปลิจูด 5 เซนติเมตร คาบ 8 วินาที ความถี่ 0.1 เฮิรตซ์

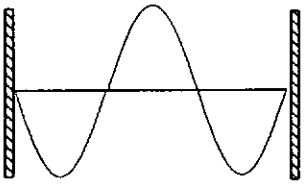
2.

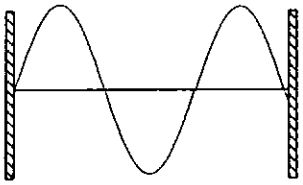


ถ้าคลื่นในรูปกำลังแผ่จากขวาไปซ้าย จุด P ซึ่งตรึงติดอยู่บนตัวกลางที่คลื่นแผ่ไป กำลังมีการเคลื่อนที่อย่างไร

1. เคลื่อนที่ลง 2. เคลื่อนที่ขึ้น 3. เคลื่อนไปทางขวา 4. เคลื่อนไปทางซ้าย

3.



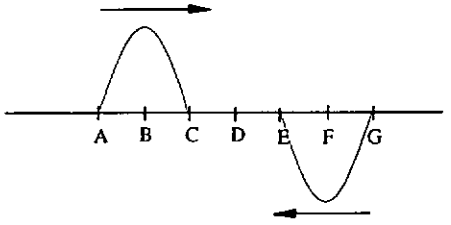


เมื่อพิจารณาคลื่นที่เกิดขึ้นบนเชือกที่ขึงระหว่างเสาทั้ง 2 ในรูปพบว่า คลื่นใช้เวลาอย่างน้อย 0.8 วินาทีในการเปลี่ยนจากรูปบนเป็นรูปล่าง ถ้าระยะระหว่างเสาทั้ง 2 เป็น 6 เมตร อัตราเร็วในการแผ่ของคลื่นเป็นเท่าใด

1. 1.0 เมตร/วินาที
2. 1.5 เมตร/วินาที
3. 2.0 เมตร/วินาที
4. 2.5 เมตร/วินาที

4. ต้นกำเนิดคลื่นสั่นด้วยความถี่ 20 เฮิรตซ์ ทำให้คลื่นแผ่ไปในตัวกลางด้วยอัตราเร็ว 60 เมตร/วินาที จุดบนตัวกลางที่มีเฟสต่างกัน 120 องศาจะอยู่ห่างกันเป็นระยะทางเท่าใด

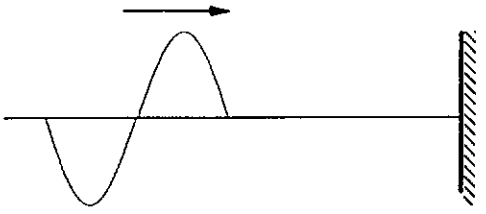
1. 1 เมตร 2. 2 เมตร 3. 3 เมตร 4. 4 เมตร



ในรูป คลื่นคล 2 คลื่นแผ่เข้าหากันด้วยอัตราเร็ว 1 m/s โดยระยะแต่ละช่วง (เช่นช่วง AB ช่วง BC) ห่างกัน 0.5 เมตร ถ้าแอมพลิจูดของคลื่นทั้ง 2 ต่างมีค่าเท่ากับ 2 เมตร ให้หาว่าเมื่อเวลาผ่านไป 1 วินาที จุด D จะอยู่ตำแหน่งสูงเท่าใด

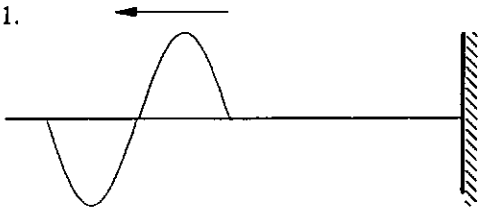
1. 0 เมตร 2. +1 เมตร 3. −1 เมตร 4. +2 เมตร

6.

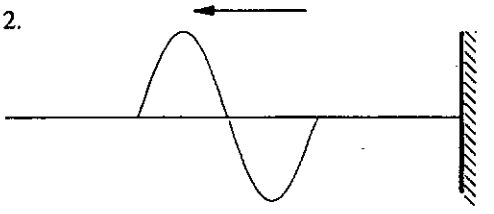


คลื่นในเส้นเชือกในรูป แผ่เข้าหากำแพง โดยปลายเชือกผูกติดแน่นกับกำแพง คลื่นสะท้อนจะมีลักษณะดังข้อใด

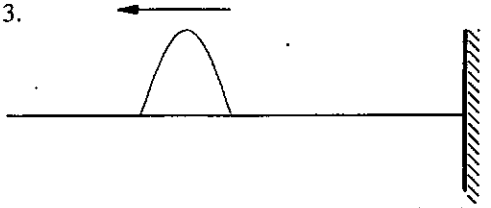
1.



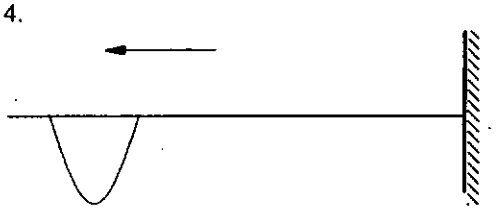
2.



3.

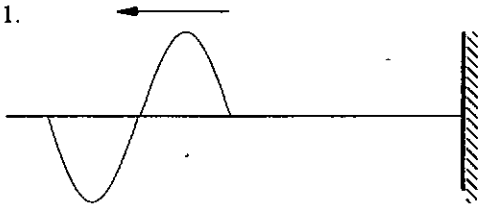


4.

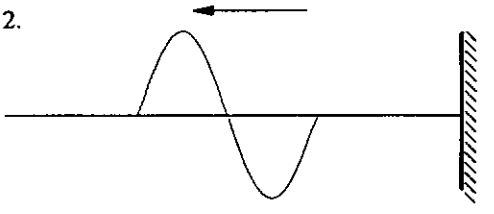


7. ในข้อ 6 ถ้าปลายสะท้อนเป็นจุดที่เคลื่อนที่ขึ้นลงได้ คลื่นสะท้อนควรจะมีรูปร่างเช่นใด

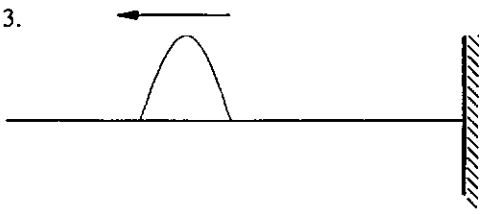
1.



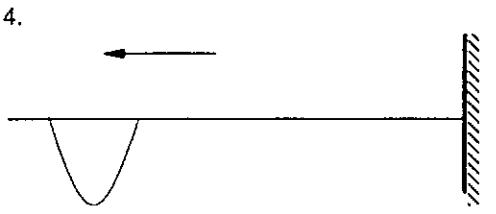
2.



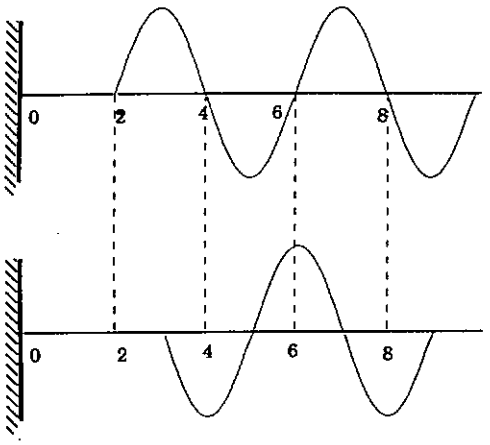
3.



4.



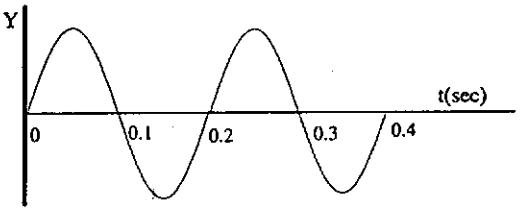
8.



ในรูป คลื่นขบวนในเส้นเชือกแผ่เข้าหากำแพง โดยปลายเชื่อกที่ 0 ตรึงแน่นไว้กับกำแพง ถ้าอัตราเร็วของคลื่นเป็น 5 เมตร/วินาที ให้หาว่านานเท่าใดรูปร่างของคลื่นจึงจะเปลี่ยนจากรูปข้างบนเป็นรูปข้างล่าง

1. 0.4 วินาที
2. 0.6 วินาที
3. 0.8 วินาที
4. 1.0 วินาที

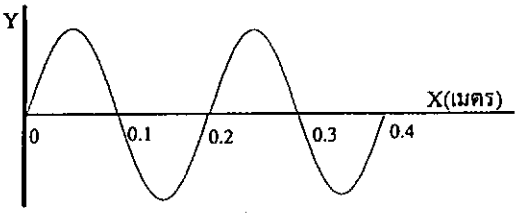
9.



การกระจัดบนเชือกที่มีการสั่นที่เวลาต่าง ๆ เป็นดังรูป โดยอัตราเร็วในการแผ่ของคลื่นเป็น 20 เมตร/วินาที ความยาวคลื่นของคลื่นในเส้นเชือกนี้เป็นเท่าใด

1. 0.2 เมตร 2. 0.4 เมตร 3. 2 เมตร 4. 4 เมตร

10.



ในรูปเป็นลักษณะของเส้นเชือกหลังจากที่สั่นปลายข้างหนึ่งแบบฮาร์โมนิกเป็นเวลา 0.5 วินาที คาบในการสั่นของเชือกเป็นเท่าใด

1. 0.2 วินาที
2. 0.25 วินาที
3. 2 วินาที
4. 4 วินาที

11. ในการทดลองคลื่นผิวน้ำในถาดคลื่น ถ้าปรับกระแสผ่านมอเตอร์ทำให้ปุ่มกำเนิดคลื่นสั่นเพิ่มขึ้น 3 เท่าของเดิม ผลที่เกิดขึ้นเป็นไปตามข้อใด

1. อัตราเร็วของคลื่น มีค่า 1/3 เท่าของค่าเดิม
2. ความยาวคลื่นเป็น 3 เท่าของค่าเดิม
3. ความยาวคลื่นเป็น 1/3 เท่าของค่าเดิม
4. อัตราเร็วของคลื่น มีค่า 3 เท่าของค่าเดิม

12. ถ้าปุ่มผลิตคลื่นน้ำในถาดคลื่น กระแทกน้ำด้วยความถี่ 5 ครั้ง/วินาที คลื่นน้ำที่เกิดขึ้นจะมีความเร็วขนาด 20 เซนติเมตร/วินาที ตำแหน่งบนคลื่นที่อยู่ห่างกัน 1.5 เซนติเมตร จะมีเฟสต่างกันกี่องศา

1. 36 องศา
2. 90 องศา
3. 135 องศา
4. 180 องศา

13. <u>จากข้อ 12.</u> ตำแหน่งที่เฟสตรงข้ามจะอยู่ห่างกันเท่าไร

1. 1 เซนติเมตร 2. 2 เซนติเมตร 3. 3 เซนติเมตร 4. 4 เซนติเมตร

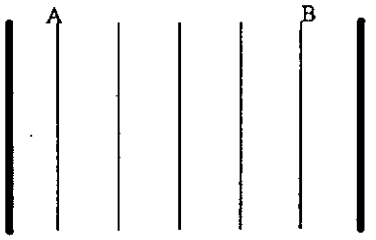
14. คลื่นน้ำขบวนหนึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 30 เมตร/วินาที ผ่านจุด ๆ หนึ่งได้ 180 คลื่นต่อนาที ความยาวคลื่นน้ำเป็นเท่าใด

1. 1 เมตร 2. 10 เมตร 3. 20 เมตร 4. 30 เมตร

15. ที่จุด ๆ หนึ่งสังเกตพบว่า ณ เวลา $t_1 = 1$ วินาที เฟสของคลื่นที่ผ่านจุดนั้นเป็น 80 องศา เมื่อเวลาผ่านไปเป็น $t_2 = 3$ วินาที เฟสของจุดนั้นเป็น 260 องศา ถ้าคลื่นขบวนนี้มีความเร็ว 20 เมตร/วินาที จงหาความยาวของคลื่นขบวนนี้

1. 10 เมตร 2. 20 เมตร 3. 40 เมตร 4. 80 เมตร

16.



จากการทดลองคลื่นน้ำในถาดคลื่น เมื่อมองด้วยตาเปล่ามีลักษณะดังรูป ระยะระหว่าง AB = 10 cm ความยาวคลื่นน้ำยาวกี่เซนติเมตร

1. 2.0 cm 2. 2.5 cm 3. 4.0 cm 4. 5.0 cm

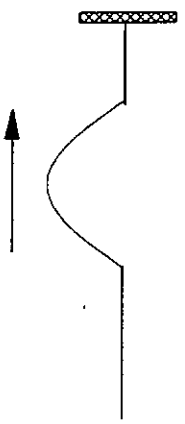
17. จุด P เป็นจุดบนตัวกลางที่มีคลื่นรูป sine ขบวนหนึ่งแผ่ไป ขณะที่การกระจัดที่จุด P มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของแอมพลิจูด จุด P มีเฟสเท่าใด

1. 30 องศา 2. 45 องศา 3. 60 องศา 4. 90 องศา

18. ถ้าหน้าคลื่นของคลื่นตกกระทบทำมุม 60 องศากับเส้นปกติ มุมสะท้อนจะมีค่าเท่าใด

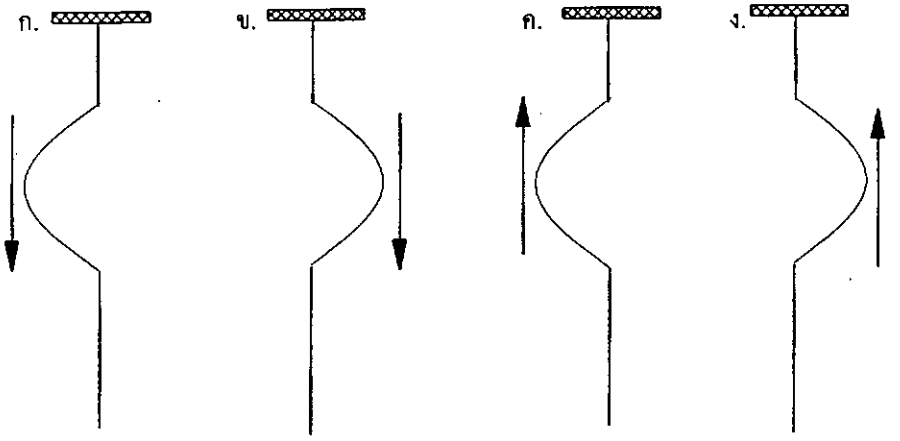
1. 30 องศา 2. 45 องศา 3. 60 องศา 4. 90 องศา

19.



สืบสายนำเชือกไปผูกติดกับเพดาน โดยให้เชือกห้อยลงมาในแนวดิ่ง สืบสายสบัดปลายล่างของเชือก ทำให้เกิดคลื่นคลแผ่ขึ้นไปตามเส้นเชือกและเกิดการ สะท้อน ลักษณะของเชือกที่ปรากฏเรียงตามลำดับเป็นอย่างไร

1. ก ง ข ค 2. ข ค ก ง
3. ก ค ข ง 4. ข ง ก ค



20. ในข้อ 19. หลังจากที่สืบสายสบัดเชือก ทำให้คลื่นในเส้นเชือกแผ่เข้าหาเพดาน ในช่วงก่อนที่คลื่นจะถึงเพดานนี้ อัตราเร็วในการแผ่ของคลื่นจะเป็นอย่างใด

1. อัตราเร็วในการแผ่ของคลื่นมีค่าคงที่
2. อัตราเร็วในการแผ่ของคลื่นมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ
3. อัตราเร็วในการแผ่ของคลื่นมีค่าลดลงเรื่อย ๆ
4. เป็นได้ทั้งข้อ 3 และ 4

21. คลื่นน้ำสองขบวน ต่างมีแอมพลิจูดลดลงครึ่งหนึ่งทุก ๆ ระยะที่มันแผ่ไปได้ 10 เมตร ถ้าคลื่นทั้ง 2 ขบวนนี้แผ่สวนกันพบว่า แอมพลิจูดของคลื่นรวม ณ จุดกึ่งกลางระหว่างต้นกำเนิดคลื่นทั้ง 2 เท่ากับแอมพลิจูดที่ต้นกำเนิด ถ้าระยะระหว่างแหล่งกำเนิดมีค่าเป็น 4 เท่าของความยาวคลื่น ค่าของความยาวคลื่นเป็นเท่าใด

1. 20 เมตร
2. 40 เมตร
3. 80 เมตร
4. 160 เมตร

22. สำหรับคลื่นชนิดหนึ่ง ๆ สิ่งที่คลื่นไม่สามารถส่งผ่านไปในตัวกลางได้คือ

1. มวลของกลาง
2. พลังงาน
3. โมเมนตัม
4. พลังงานและโมเมนตัม

23. คลื่นนิ่งเกิดขึ้นเมื่อมีคลื่น 2 คลื่น ที่มีแอมปลิจูดและความถี่เท่ากันมาซ้อนทับกัน เมื่อเกิดคลื่นนิ่ง จะพบว่า

1. แอมปลิจูดของคลื่นจะเพิ่มขึ้น 2 เท่า แต่ความถี่คงที่
2. แอมปลิจูดจะคงที่ แต่ความถี่คงที่จะเพิ่มขึ้น 2 เท่า
3. แอมปลิจูดจะเพิ่มขึ้น 2 เท่า และคลื่นนิ่งไม่มีความถี่
4. แอมปลิจูดของคลื่นจะคงที่ และคลื่นนิ่งไม่มีความถี่

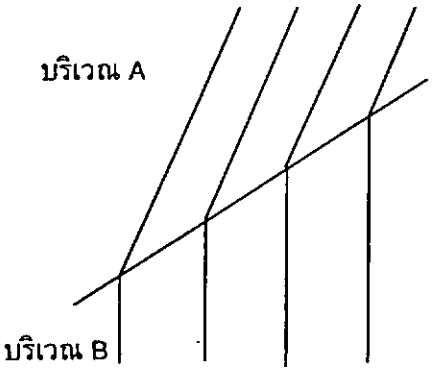
24. เมื่อเปรียบเทียบคลื่นในเชือก 2 เส้น ที่ทำมาจากวัสดุชนิดเดียวกัน และมีขนาด (เส้นผ่านศูนย์กลาง) เท่ากัน โดยให้เชือกทั้ง 2 มีแรงตึงเท่ากัน จะพบว่า

1. เชือกที่มีความยาวมากกว่าจะมีอัตราเร็วในการส่งผ่านพลังงานมากกว่าเชือกที่สั้น
2. เชือกที่มีความยาวมากกว่าจะมีอัตราเร็วในการส่งผ่านพลังงานน้อยกว่าเชือกที่สั้น
3. เชือกเส้นยาวต้องมีความยาวอย่างน้อยเป็น 2 เท่าของเชือกเส้นสั้น จึงจะมีอัตราเร็วในการส่งผ่านพลังงานมากกว่าเชือกเส้นสั้น
4. อัตราเร็วในการส่งผ่านพลังงานในเชือกทั้ง 2 เส้นเท่ากัน

25. ต้องให้คลื่นน้ำความยาวคลื่นเท่าใดเคลื่อนที่ผ่านช่องเปิดที่มีความกว้าง 2.2 เซนติเมตร จึงจะทำให้เกิดบัพจำนวน 4 บัพ

1. 0.5 เซนติเมตร 2. 1 เซนติเมตร 3. 1.5 เซนติเมตร 4. 2.5 เซนติเมตร

26.



ในรูปเป็นหน้าคลื่นที่แผ่จากบริเวณ A ไปยังบริเวณ B จากรูปนี้ ให้พิจารณาข้อความต่อไปนี้

ก. คลื่นแผ่ในบริเวณ A ได้เร็วกว่าในบริเวณ B

ข. ความถี่ของคลื่นในบริเวณ A สูงกว่าในบริเวณ B

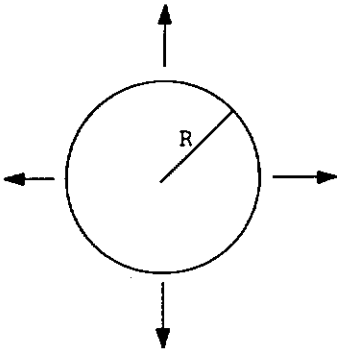
ค. มุมตกกระทบมีค่าน้อยกว่ามุมหักเห

ง. ทิศทางการแผ่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

คำกล่าวที่ผิดได้แก่

1. ก ค และ ง 2. ก ข และ ค 3. ก ข และ ง 4. ข ค และ ง

27.



คลื่นคลลูกหนึ่งบนผิวน้ำ เคลื่อนที่แผ่ออกไปจากจุด ๆ หนึ่ง เป็นแนววงกลม โดยเริ่มที่เวลา t=0 กำหนดให้พลังงานรวมของคลื่นคงที่และแปรผันโดยตรงกับกำลังสองของแอมพลิจูด และความยาว $2\pi R$ ของสันคลื่น จะพบว่าแอมพลิจูดของคลื่นนี้แปรผันกับเวลาแบบ t^n ค่าของ n นี้เป็นเท่าใด

1. 1/2 2. −1/2 3. 2
4. −2

28. คลื่นนิ่งเกิดจากการแทรกสอดกันของคลื่นสองขบวน ที่มีลักษณะเหมือนกัน แต่แผ่ทางกัน ถ้าคลื่นนิ่งที่เกิดมีตำแหน่งบัพและปฏิบัพอยู่ห่างกัน 1 เมตร คลื่นที่มาแทรกสอดกันนี้มีความยาวคลื่นกี่เมตร

1. 1.0 2. 2.0 3. 3.0 4. 4.0

29. เมื่อมองคลื่นน้ำผ่านสโตรโบสโคปชนิด 4 ช่องพบว่า เห็นคลื่นหยุดนิ่งเหมือนไม่มีการแผ่เมื่อหมุนสโตรโบสโคปด้วยอัตราเร็ว 4 รอบ/วินาที แต่เมื่อค่อย ๆ เพิ่มอัตราเร็วของสโตรโบสโคปพบว่าจะเห็นคลื่นหยุดนิ่งอีกครั้งเมื่ออัตราเร็วของสโตรโบสโคปเป็น 6 รอบ/วินาที ให้หาความถี่ของคลื่น

1. 24 Hz 2. 48 Hz 3. 96 Hz 4. 102 Hz

30. ในข้อ 29 อัตราเร็วสูงสุดของสโตรโบสโคปที่ยังคงเห็นคลื่นหยุดนิ่งได้เป็นเท่าใด

1. 6 รอบ/วินาที
2. 12 รอบ/วินาที
3. 18 รอบ/วินาที
4. 24 รอบ/วินาที

31. เมื่อทำการทดลองชุดถาดคลื่น โดยจัดให้คลื่นระนาบเคลื่อนที่ผ่านช่องเปิดแบบต่าง ๆ ผลสรุปที่คาดว่าจะได้รับต่อไปนี้ ข้อใดผิดบ้าง

(ก) เมื่อคลื่นผ่านช่องเปิดซึ่งแคบกว่าความยาวคลื่น จะเกิดการเลี้ยวเบน แต่ไม่เกิดการแทรกสอด

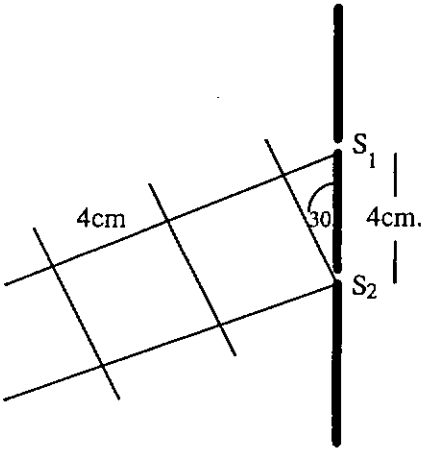
(ข) เมื่อคลื่นผ่านช่องเปิดซึ่งกว้างกว่าความยาวคลื่น จะเกิดการเลี้ยวเบน และเกิดการแทรกสอด

(ค) เมื่อคลื่นผ่านช่องเปิด 2 ช่อง โดยแต่ละช่องแคบกว่าความยาวคลื่น จะเกิดการเลี้ยวเบน และเกิดการแทรกสอด

คำตอบคือ

1. ข้อ ก. 2. ข้อ ข. 3. ข้อ ค. 4. ข และ ค

32.



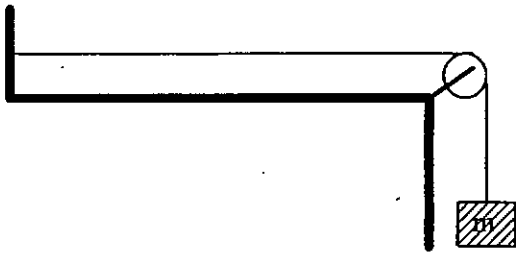
คลื่นระนาบความยาวคลื่น 4 เซนติเมตร แผ่เข้าหาช่องคู่ S_1 และ S_2 ในแนวที่หน้าคลื่นของคลื่นทำมุม 30 องศากับระนาบ S_1S_2 ถ้าระยะระหว่างช่องคู่เป็น 4 เซนติเมตร หลังจากที่คลื่นแผ่ผ่านช่องคู่ จะเกิดแนวปฏิบัพขึ้น กี่แนว

1. 1 แนว 2. 2 แนว
3. 3 แนว 4. 4 แนว

33. ความถี่ในการสั่นของสายกีตาร์จะเป็นปฏิภาค

1. โดยตรงกับความยาวของเส้นลวด
2. อย่างผกผันกับรากที่สองของแรงตึงในลวด
3. อย่างผกผันกับรากที่สองของมวลต่อความยาวของเส้นลวด
4. อย่างผกผันกับความยาวของเส้นลวด

34.



ในรูปตรึงปลายข้างหนึ่งของเชือกให้ติดกับกำแพง ปลายอีกข้างหนึ่งคล้องรอกและถ่วงกับตุ้มน้ำหนัก เมื่อสั่นเชือกด้วยความถี่ f พบว่าจะเกิดคลื่นนิ่งในเชือกเมื่อตุ้มน้ำหนักมีมวล m_1 เมื่อค่อย ๆ ลดมวลของตุ้มน้ำหนักลงคลื่นนิ่งจะหายไป แต่จะเกิดคลื่นนิ่งขึ้นมาใหม่เมื่อมวลของตุ้มน้ำหนักกลายเป็น m_2 ถ้าอัตราส่วน $m_1:m_2$ เป็น 9:4 อัตราส่วนระหว่างจำนวนปฏิบัพของคลื่นนิ่งที่เกิดในตอนแรกและตอนหลังเป็นเท่าใด

1. 3:2 2. 2:3 3. 5:4 4. 4:5

35. ตัวกำเนิดคลื่นน้ำให้คลื่นที่มีความถี่ 8 เฮิรตซ์ และแผ่ด้วยอัตราเร็ว 2 เมตร/วินาที จุด A และ B อยู่บนผิวน้ำในแนวเส้นตรงต่อกับตัวกำเนิดคลื่นโดยอยู่ห่างกัน 0.3 เมตร จุดทั้งสองมีเฟสต่างกันกี่เรเดียน

1. 0.25π 2. 0.4π 3. 2.25π 4. 2.40π

36. เมื่อคลื่นหน้าตรงเคลื่อนที่จากบริเวณน้ำตื้นเข้าสู่บริเวณน้ำลึก โดยแนวหน้าคลื่นขนานกับแนวแบ่งเขตน้ำตื้นน้ำลึก จงพิจารณาข้อความต่อไปนี้

(ก) ความยาวคลื่นจะมากขึ้น (ข) ความเร็วคลื่นจะน้อยลง

(ค) ความถี่คลื่นจะมากขึ้น (ง) ทิศทางจะเปลี่ยนไปจากเดิม

ข้อความใดบ้างไม่ถูกต้อง

1. ข้อ (ก), (ข) และข้อ (ค) 2. ข้อ (ข) และข้อ (ค)

3. ข้อ (ค) และข้อ (ง) 4. ข้อ (ข), (ค) และข้อ (ง)

37. ในการทดลองโดยใช้ถาดคลื่น พบว่าความเร็วของคลื่นในน้ำตื้นเป็นครึ่งหนึ่งของความเร็วในน้ำลึก ถ้าจะให้เกิดการสะท้อนกลับหมด คลื่นจะต้องตั้งต้นจากบริเวณไหน และมีมุมวิกฤตเท่าใด

1. น้ำตื้น, 45 องศา 2. น้ำตื้น, 30 องศา

3. น้ำลึก, 60 องศา 4. น้ำลึก, 30 องศา

38. ลวดยาว 1.5 เมตร ถูกตรึงไว้ทั้งสองปลาย แล้วทำให้สั่นเป็นคลื่นนิ่งด้วยความถี่ต่ำสุด 120 Hz ความเร็วคลื่นในเส้นลวดมีค่าเท่าไร

1. 12 เมตร/วินาที 2. 30 เมตร/วินาที

3. 36 เมตร/วินาที 4. 360 เมตร/วินาที

เฉลยแบบฝึกหัดคลื่น

1. ตอบ 3	2. ตอบ 2	3. ตอบ 4	4. ตอบ 1	5. ตอบ 1	6. ตอบ 2
7. ตอบ 1	8. ตอบ 4	9. ตอบ 4	10.ตอบ 2	11. ตอบ 3	12 ตอบ 3
13. ตอบ 2	14. ตอบ 2	15. ตอบ 4	16. ตอบ 2	17. ตอบ 1	18 ตอบ 1
19. ตอบ 4	20.ตอบ 2	21. ตอบ 3	22. ตอบ 1	23. ตอบ 1	24. ตอบ 4
25. ตอบ 2	26. ตอบ 3	27. ตอบ 2	28. ตอบ 4	29. ตอบ 2	30. ตอบ 2
31. ตอบ 2	32. ตอบ 2	33. ตอบ 3	34. ตอบ 1	35. ตอบ 4	36. ตอบ 4
37. ตอบ 2	38. ตอบ 4				

แบบฝึกหัดเสียง

1. อุณหภูมิของอากาศต้องเพิ่มจาก 0°C เท่าใด จึงจะทำให้อัตราเร็วของเสียงเพิ่มขึ้นร้อยละ 1

1. 3.27°C 2. 5.52°C 3. 7.77°C 4. 9.18°C

2. สมรักษ์เคาะราง Al ที่ปลายข้างหนึ่ง เขาพบว่า เสียงเดินทางผ่านอากาศมาที่ปลายอีกข้างช้ากว่าเสียงที่เดินทางใน Al 0.01 วินาที ถ้าความเร็วเสียงในอากาศและ Al เป็น 346 และ 5000 ม/วินาที ตามลำดับ แท่ง Al ยาวกี่เมตร

1. 1.7 2. 3.7 3. 4.5 4. 5.0

3. ศาสตรายืนอยู่ข้างหน้าภูเขาแห่งหนึ่ง เมื่อศาสตรานี้ตะโกน เขาจะได้ยินเสียงสะท้อนของเขาหลังจากที่เวลาผ่านไป 2 วินาที ถ้าอุณหภูมิขณะนั้นเป็น 15°C ระยะทางจากศาสตราถึงภูเขาเป็นเท่าใด

1. 230 เมตร 2. 340 เมตร 3. 460 เมตร 4. 680 เมตร

4. พลตำรวจ พจน์ ขับรถเข้าออกจากอาคารหลังหนึ่งด้วยอัตราเร็ว 10 เมตร/วินาที เมื่อรถอยู่ห่างจากตัวตึกเป็นระยะ 1000 เมตร พลฯพจน์ก็กดแตรขึ้นครั้งหนึ่ง และเขาได้ยินเสียงสะท้อนของแตรเมื่อเวลาผ่านไป 6 วินาที อัตราเร็วของเสียงในอากาศในขณะนั้นเป็นเท่าใดในหน่วย เมตร/วินาที

1. 331 2. 337 3. 342 4. 347

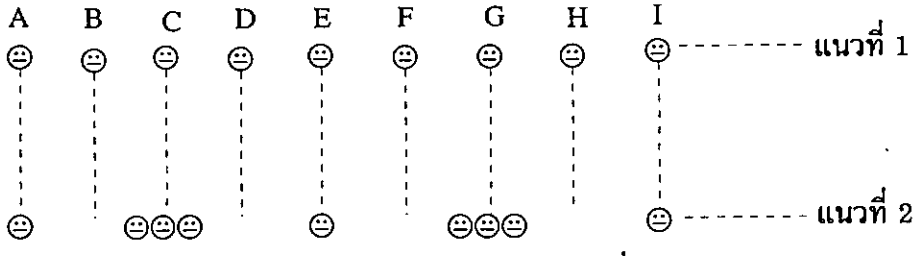
5. สมศักดิ์มีความสามารถได้ยินเสียงในช่วงความถี่ 30 ถึง 18,000 Hz ให้หาว่าในวันที่เสียงมีอัตราเร็ว 345 เมตร/วินาที ความยาวคลื่นสั้นที่สุดของเสียงที่สมศักดิ์ได้ยินได้ เป็นเท่าใด

1. 0.019 เมตร 2. 21.5 เมตร 3. 90.3 เมตร 4. 115 เมตร

6. รถพยาบาลวิ่งเข้าหาตึกใหญ่ด้วยอัตราเร็ว 20 เมตร/วินาที ขณะหนึ่งอุดมศิลป์ ซึ่งเป็นเจ้าหน้าที่เพียงผู้เดียวในรถก็กดแตร 1 ครั้ง และอุดมศิลป์ได้ยินเสียงสะท้อนของแตรเมื่อเวลาผ่านไป 3 วินาที ให้หาว่าขณะกดแตรรถอยู่ห่างจากตัวตึกเท่าใด กำหนดให้อัตราเร็วเสียงขณะนั้นเป็น 340 เมตร/วินาที

1. 250 เมตร 2. 540 เมตร 3. 745 เมตร 4. 1080 เมตร

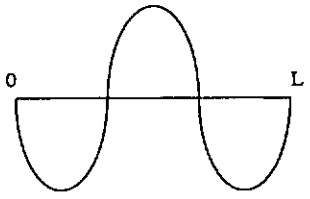
7.



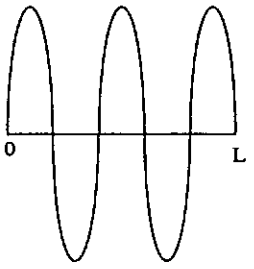
ในรูป แนวที่ 1 แทนโมเลกุลของอากาศขณะปกติ และแนวที่ 2 แทนโมเลกุลอากาศขณะที่มีคลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่าน อยากทราบว่าระยะ AI มีค่าเป็นกี่เท่าของความยาวคลื่น

1. 1 เท่า 2. 2 เท่า 3. 3 เท่า 4. 4 เท่า

8.



เสียงของธงชัย



เสียงของสิเรียม

รูปข้างบนเป็นคลื่นเสียงของธงชัยขณะมีปากเสียงกับสิเรียม จากสัญญานคลื่นนี้กล่าวได้ว่า

1. ธงชัยมีเสียงดังกว่าสิเรียม แต่ระดับเสียงต่ำกว่า 2.ธงชัยเสียงดังกว่าสิเรียมและระดับเสียงสูงกว่า

3. ธงชัยมีเสียงค่อยกว่าสิเรียมและระดับเสียงต่ำกว่า 4.ธงชัยเสียงค่อยกว่าสิเรียม แต่ระดับเสียงสูงกว่า

9. มาชาและอ้อมประชัญเสียงกัน ณ หน้าผาแดง มาชาตะโกนออกไปด้วยเสียงที่มีความถี่ 500 Hz ในขณะที่อ้อมก็แผดเสียงด้วยความถี่ 1020 Hz ทัชซึ่งกำลังโยนตะกั่วเล่นอยู่กลางทุ่งห่างออกไป

1. จะได้ยินเสียงของมาชาก่อน 2. จะได้ยินเสียงของอ้อมก่อน

3. ได้ยินเสียงจากหญิงทั้ง 2 พร้อมกัน 4. อาจจะได้ยินเสียงของมาชาหรืออ้อมก่อนก็ได้

10. จินตะเร ส่งเสียงออกมาในลักษณะที่ช่วงอัดและขยายของเสียงของเขาอยู่ห่างกัน 20 เซนติเมตร ถ้าอุณหภูมิของอากาศในวันนั้นเป็น 15 องศาเซลเซียส ความถี่ของเสียงมีค่าเท่าใด

1. 250 Hz 2. 372 Hz 3. 670 Hz 4. 850 Hz

11. วิธีหนึ่งของการคัดขนาดของผลส้ม ทำได้โดยให้ผลส้มวิ่งมาตามท่อที่มีน้ำเต็ม แล้วปล่อยให้คลื่นเสียงความถี่สูงกระทบผลส้ม ถ้าอัตราเร็วของเสียงในน้ำเป็น 1500 เมตร/วินาที และต้องการแยกส้มที่มีขนาดใหญ่และเล็กกว่า 7.5 เซนติเมตรออกจากกัน จะต้องใช้คลื่นเสียงความถี่เท่าใด

1. 1 กิโลเฮิรตซ์ 2. 2 กิโลเฮิรตซ์ 3. 10 กิโลเฮิรตซ์ 4. 20 กิโลเฮิรตซ์

12. ถ้าต้องการให้ท่อปลายเปิดทั้ง 2 ข้างยาว 50 เซนติเมตร เกิดเรโซแนนซ์กับต้นกำเนิดเสียงความถี่ 2000 เฮิรตซ์ จะต้องนำลูกสูบมาปิดที่ปลายท่ออีกด้านหนึ่ง ให้หาว่าระยะทางน้อยที่สุดจากปลายท่อด้านที่อยู่ตรงข้ามกับต้นกำเนิดเสียงถึงลูกสูบเป็นเท่าใด กำหนดให้อัตราเร็วของเสียงในอากาศเป็น 340 เมตร/วินาที

1. 3.25 เซนติเมตร 2. 7.5 เซนติเมตร 3. 42.5 เซนติเมตร 4. 46.75 เซนติเมตร

13. ความถี่พื้นฐานของท่อปลายเปิดทั้ง 2 ข้าง X และท่อปลายปิด 1 ข้าง Y มีค่าเท่ากัน อัตราส่วนของความยาวของท่อ X และ Y เป็นเท่าใด

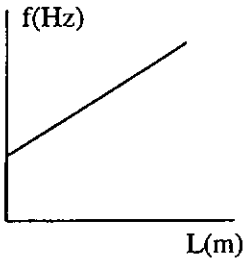
1. 1:2 2. 2:1 3. 1:3 4. 3:1

14. ในการทดลองการสั่นพ้องของเสียงทำการทดลองสองครั้งโดยใช้เสียงที่มีความถี่ต่างกัน A และ B เมื่อเลื่อนลูกสูบออกช้า ๆ จะได้ยินเสียงดังที่สุดสองครั้งเมื่อใช้ความถี่ A และห้าครั้งเมื่อใช้ความถี่ B โดยที่เสียงดังที่สุดครั้งสุดท้ายของทั้งสองความถี่เกิดที่ตำแหน่งเดียวกันของกระบอกสูบ ถ้าความถี่ A เท่ากับ 900 เฮิรตซ์ ความถี่ B มีค่ากี่เฮิรตซ์

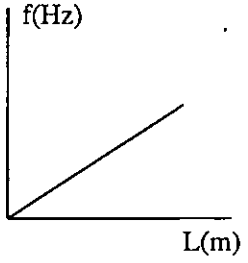
1. 300 2. 360 3. 1800 4. 2700

15. สำหรับการเกิดเสียงในหลอดเรโซแนนซ์ที่ความถี่พื้นฐาน ถ้ามีการเปลี่ยนความยาวของหลอด (L) ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวหลอดและความถี่ของเสียงเป็นดังกราฟรูปใด

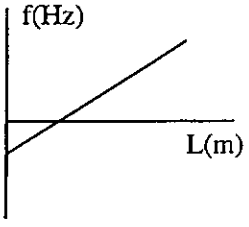
1.



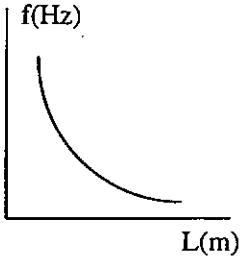
2.



3.



4.



16. การหาความถี่เสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงเครื่องหนึ่ง โดยใช้หลอดกำทอน สามารถปรับปริมาณอากาศที่อยู่ในหลอดได้โดยการเลื่อนลูกสูบที่อยู่ในหลอด แล้วสังเกตเสียงดังชัดที่สุด 3 ตำแหน่ง ได้แก่ระยะ 0.15 เมตร, 0.49 เมตร และ 0.83 เมตร จากปลายหลอด ขณะทำการทดลองวัดอุณหภูมิของห้องได้ 20°C ให้หาความถี่ของเสียงในหน่วยเฮิรตซ์

1. 504 2. 520 3. 526 4. 572

17. ในการทดลองหาอัตราเร็วของเสียงโดยใช้ท่อกำทอนปรากฏว่า ความยาวน้อยที่สุดของท่อที่จะเกิดคลื่นนิ่งกับส้อมเสียงความถี่ 600 Hz เป็น 0.15 เมตร ถ้าอุณหภูมิห้องในขณะนั้นเป็น 27°C อัตราเร็วของเสียงที่อุณหภูมิ 0°C เป็นเท่าใดในหน่วย เมตร/วินาที

1. 330 2. 335 3. 342 4. 347

18. แมลงภู่บินออกจากตัวยลดาในที่โล่งด้วยอัตราเร็ว 0.25 เมตร/วินาที เสียงที่แมลงกระพือปีกมีกำลัง $0.64\pi\times10^{-12}$ วัตต์ ให้หาว่า ยลดาจะได้ยินเสียงแมลงอยู่นานเท่าใด

1. 4 วินาที 2. 6 วินาที 3. 8 วินาที 4. 10 วินาที

19. เดชาเป่านกหวีดทำให้เกิดเสียงระดับความเข้ม 10 dB ณ จุดๆหนึ่ง ถ้าให้เดชา 10 คนเป่านกหวีด 10 อัน จะได้ระดับความเข้มที่จุดเดิมเท่าใด

1. 20 dB 2. 40 dB 3. 80 dB 4. 100 dB

20. ลำโพงเครื่องเสียงกำลัง 12π วัตต์ กระจายคลื่นเสียงเป็นวงกลมไปโดยรอบ ถ้าวัดระดับความเข้มเสียงที่จุดห่างจากลำโพง 100 เมตรเป็น 80 เดซิเบล แสดงว่าความเข้มของเสียงถูกดูดกลืนไปในอากาศร้อยละเท่าใด

1. 33 2. 42 3. 67 4. 75

21. ชลอเห็นพลุแตกกลางอากาศเหนือศีรษะเขาขึ้นไป 30 เมตร ขณะเดียวกัน โสภณซึ่งอยู่ห่างจากชลอตามแนวราบเป็นระยะทาง 40 เมตร ก็เห็นพลุแตกเช่นกัน ความเข้มเสียงที่ชลอ ได้ยินคือ 120 เดซิเบล ความเข้มของเสียงที่โสภณได้ยินจะเป็นกี่เดซิเบล กำหนด $\log 0.36 = -0.4437$

1. 43.2 2. 67.5 3. 72 4. 116

22. นาย ก ยืนห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงเป็นสิบเท่าของนาย ข. นาย ก. จะได้ยินระดับความเข้มเสียงต่ำกว่า นาย ข. กี่เดซิเบล

1. 10 2. 20 3. 30 4. 40

23. ตำแหน่ง A และ B อยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงซึ่งมีกำลังเสียงคงที่เป็นระยะทางไม่เท่ากัน ถ้าความเข้มของเสียงที่ตำแหน่ง A เป็น 1,000 เท่าของความเข้มเสียงที่ตำแหน่ง B ให้หาความแตกต่างของระดับความเข้มเสียงระหว่างตำแหน่งทั้งสอง

1. 10 dB 2. 20 dB 3. 30 dB 4. 40 dB

24. ประตูห้องหนึ่งมีขนาดความกว้าง 0.5 เมตร สูง 2.0 เมตร ที่หน้าประตูมีระดับความเข้มเสียง 60 dB ให้หากำลังเสียงในหน่วยวัตต์ที่ผ่านเข้าห้องนี้

1. 10^6 2. 6×10^2 3. 60 4. 10^{-6}

25. แหล่งกำเนิดเสียงหนึ่ง วัดความดังของเสียงได้ 60 dB ที่ระยะห่าง 10 เมตร ถ้าหากยืนอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงนี้ 2 เมตร จะวัดความดังของเสียงได้กี่ dB (กำหนด $\log 5 = 0.6990$)

1. 12 2. 74 3. 300 4. 1,500

26. เสียงจากเครื่องจักรมีระดับความเข้มที่ระยะห่าง 0.5 เมตรเท่ากับ 110 เดซิเบล ถ้ามีเครื่องจักรเช่นนี้สองเครื่องทำงานพร้อมกัน วิศวกรที่สวมเครื่องป้องกันเสียงซึ่งลดความเข้มเสียงลงได้ 95% และยืนห่างจากเครื่องจักรทั้ง 2 เป็นระยะ 4 เมตร จะได้ยิน เสียงระดับความเข้มเท่าใด

1. 92 dB 2. 95 dB 3. 88 dB 4. 82 dB

27. แผ่นดูดกลืนเสียงลักษณะเหมือนกัน 2 แผ่น ต่างสามารถลดความเข้มของเสียงลงได้ร้อยละ 30 ถ้าวางแผ่นทั้ง 2 ซ้อนกัน และให้ I_1 และ I_2 แทนความเข้มที่ผ่านแผ่นที่ 1 และ 2 ตามลำดับ โดย I เป็นความเข้มของเสียงก่อนถูกดูดกลืน ให้หา I_1 และ I_2 ในเทอมของ I

1. $I_1 = 0.7I, I_2 = 0.49I$
2. $I_1 = 0.3I, I_2 = 0.09I$
3. $I_1 = 0.7I, I_2 = 0.14I$
4. $I_1 = 0.3I, I_2 = 0.6I$

28. ท่อออร์แกนปลายเปิดสองท่อ ซึ่งยาว 240 เซนติเมตร และ 242 เซนติเมตร ได้เสียงความถี่มูลฐานพร้อมกันทั้งสองท่อ จะเกิดเสียงบีตส์กี่ครั้งในเวลา 10 วินาที ถ้าความเร็วเสียงในอากาศคือ 348 เมต/วินาที

1. 2 ครั้ง
2. 3 ครั้ง
3. 4 ครั้ง
4. 6 ครั้ง

29. สายกีตาร์เหมือนกันทุกประการ 2 เส้น ต่างมีความถี่พื้นฐาน 400 Hz ถ้าต้องการให้เกิดบีสต์ 4 Hz ต้องลดความยาวของลวดเส้นหนึ่งลงร้อยละเท่าใด

30. ส้อมเสียง A, B, C มีลักษณะเหมือนกันทุกประการ เมื่อพันผ้าที่ขาส้อมเสียง A และ B ในลักษณะที่ต่างกัน แล้วนำส้อมเสียง A และ B มาสั่นพร้อมกับส้อมเสียง C พบว่าเกิดบีสต์ 3 และ 4 Hz ตามลำดับ ถ้านำส้อมเสียง A และ B ที่พันผ้าไว้มาสั่นพร้อมกันจะเกิดกี่บีสต์

1. 1
2. 3
3. 4
4. 7

31. เรียงส้อมเสียง 20 อันจากความถี่น้อยไปหามาก โดยส้อมเสียงคู่ที่อยู่ติดกันทำให้เกิดบีสต์ 3 Hz ถ้าความถี่สูงสุดของส้อมเสียงชุดนี้เป็น 350 Hz ให้หาความถี่ต่ำสุด

1. 221 Hz
2. 259 Hz
3. 293 Hz
4. 301 Hz

32. เคาะส้อมเสียง 2 อันพร้อมกัน เกิดบีตส์ความถี่ 6 Hz โดยส้อมเสียงอันหนึ่งมีความถี่ 470 Hz เมื่อติดเทปแผ่นเล็กๆที่ส้อมเสียงอันนี้ พบว่าความถี่บีตส์ลดเหลือ 3 เฮิร์ตซ์ ให้หาความถี่ของส้อมเสียงอีกอัน

1. 479 Hz
2. 476 Hz
3. 464 Hz
4. 461 Hz

33. ในการปรับเสียงเปียนโน ผู้ปรับใช้วิธีเคาะเสียงความถี่มาตราฐานเทียบกับเสียงที่ได้จากการกดคีย์เปียนโนคีย์หนึ่ง ถ้าเสียงที่ได้ยินเป็นลักษณะดังแล้วค่อยจางหาย แล้วดังอีกเป็นจังหวะสลับกันไป เขาก็จะปรับความตึงของลวดเปียนโนจนกว่าเสียงที่ได้ยินจะดังเป็นเสียงเดียวต่อเนื่องกันไป การกระทำอย่างนี้อาศัยหลักการของปรากฏการณ์ที่เรียกว่า

1. ดอปเปลอร์
2. กำทอน
3. คลื่นกระแทก
4. บีตท์

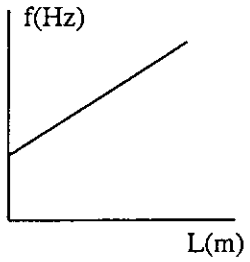
34. เราสามารถแยกประเภทของแหล่งกำเนิดเสียงว่าเป็นเสียงกีตาร์ เสียงปี่ หรือเสียงขลุ่ย ได้จากอะไร

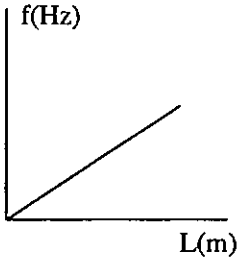
1. คุณภาพเสียง
2. ระดับเสียง
3. ความถี่เสียง
4. ความเข้มเสียง

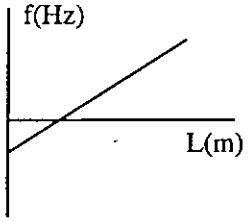
35. เครื่องขยายเสียงความถี่ 50 Hz ให้กำลังเสียง 40 วัตต์ มีระดับความเข้มเสียง 3 dB ถ้าลดความถี่ลงเหลือ 20 Hz กำลังเสียงจะเป็นกี่วัตต์

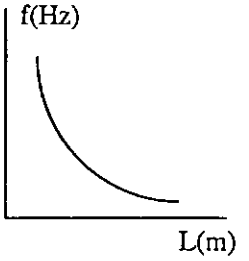
1. 20 2. 15 3. 5 4. 40

36. สำหรับการเกิดเสียงในหลอดเรโซแนนซ์ที่ความถี่พื้นฐาน ถ้ามีการเปลี่ยนความยาวของหลอด (L) ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวหลอดและความถี่ของเสียงเป็นดังกราฟรูปใด

1.


2.


3.


4.


37. เมื่อจะทำการทดลองเกี่ยวกับสมบัติของเสียงเรื่องบีสต์ เราจำเป็นต้องใช้

1) เครื่องเกิดสัญญาณเสียง 1 เครื่อง ลำโพง 1 ตัว
2) เครื่องเกิดสัญญาณเสียง 1 เครื่อง ลำโพง 2 ตัว
3) เครื่องเกิดสัญญาณเสียง 2 เครื่อง ลำโพง 2 ตัว
4) เครื่องเกิดสัญญาณเสียง 3 เครื่อง ลำโพง 3 ตัว

38. ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ของเสียง แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลง

1. มลภาวะเสียง 2. ความเข้มเสียง 3. ความดังเสียง 4. ระดับเสียง

39. เมื่อณัฐวุฒิสั่นส้อมเสียง A กับ B พร้อมกัน เขาพบว่าเกิดเสียงดัง 6 ครั้งใน 2 วินาที แต่เมื่อณัฐวุฒินำเทปมาติดกับขาส้อมเสียง A แล้วสั่นพร้อมกับส้อมเสียง B อีกครั้ง พบว่าเกิดเสียงดัง 4 ครั้งใน 2 วินาที ถ้าส้อมเสียง B มีความถี่ 250 Hz ส้อมเสียง A จะมี ความถี่เท่าใด

1. 253 Hz 2. 247 Hz 3. 256 Hz 4. 244 Hz

40. เสียงจากท่อกำทอน A และ B มีความถี่ 100 Hz และ 104 Hz ซ้อนทับกันจะได้เสียงความถี่เท่าใด

1. 4 Hz 2. 96 Hz 3. 102 hz 4. 204 Hz

41. เมื่อนำต้นกำเนิดเสียง A และ B มาส่งเสียงพร้อมกันพบว่า ได้ยินเสียงดังเป็นจังหวะ 4 ครั้ง/วินาที และเสียงที่เกิดขึ้นมีความถี่ 202 เฮิรตซ์ ความถี่ของต้นกำเนิดทั้งสองเป็นเท่าใด

1. 198 และ 202 Hz 2. 200 และ 204 Hz

3. 202 และ 206 Hz 4. 204 และ 208 Hz

42. เชือก 2 เส้น มีลักษณะเหมือนกันทุกประการ และมีความตึงเท่ากัน เมื่อดีดเชือกแต่ละเส้นพบว่าเกิดเสียงความถี่ 500 Hz ถ้าต้องการให้เชือก 2 เส้นนี้เกิดบีสต์ 5 ครั้งต่อวินาที จะต้องเพิ่มแรงตึงในเชือกเส้นหนึ่งร้อยละเท่าใด

1. 10 2. 15 3. 20 4. 25

43. ถ้าต้องการให้เสียงในความถี่พื้นฐานของท่อปลายเปิดทั้ง 2 ข้าง ยาว 2 เมตร เกิดเสียงดังเป็นจังหวะ 3 ครั้งต่อวินาที กับท่อปลายเปิดอีกท่อซึ่งยาวกว่า ท่อที่ 2 ควรยาวเท่าใด กำหนดให้อัตราเร็วเสียงในอากาศในขณะนั้นเป็น 348 เมตร/วินาที

1. 2.03 เมตร 2. 2.07 เมตร 3. 2.3 เมตร 4. 2.35 เมตร

44. กฤตขับรถบรรทุกด้วยอัตราเร็ว 20 ม/วินาที พันธ์ขับรถสปอตตามมาด้วยอัตราเร็ว 45 ม/วินาที และกดแตรความถี่ 600 Hz ไว้ด้วย ถ้าอัตราเร็วของเสียงในอากาศในวันนั้นมีค่า 345 เมตร/วินาที กฤตจะได้ยินเสียงแตรจากรถของพันธ์ว่ามีความถี่เท่าใด

1. 560 Hz 2. 580 Hz 3. 620 Hz 4. 640 Hz

45. ลุงโช่งขับรถขยะเข้าหากำแพงด้วยอัตราเร็ว 20 เมตร/วินาที โดยกดแตรความถี่ 800 Hz ไปด้วย ถ้าอัตราเร็วของเสียงเป็น 340 เมตร/วินาที น้าเทพที่ยืนอยู่ตรงกำแพงจะได้ยินเสียงแตรความถี่เท่าใด

1. 810 Hz 2. 830 Hz 3. 850 Hz 4. 900 Hz

46. ในปัญหาข้อ 45. ถ้าในรถลุงโช่งมีเครื่องจับสัญญาณคลื่นเสียง เครื่องจะรับสัญญาณที่มีแอมพลิจูดสูงสุดกี่ครั้งต่อวินาที

1. 100 2. 300 3. 600 4. 900

47. S เป็นแหล่งกำเนิดเสียงซึ่งอยู่นิ่งในอากาศและส่งเสียงออกมาเต็มบริเวณไปหมด อยากทราบว่าเราจะต้องวิ่งอย่างไรจึงจะพอดีไม่ได้ยินเสียงที่ส่งออกมาจาก S ทั้งนี้กำหนดให้ว่าความเร็วของเสียงเท่ากับ v และความถี่ที่เราไม่สามารถได้ยินนั้นเท่ากับศูนย์พอดี ความถี่นอกนั้นได้ยินหมด

1. วิ่งรอบ S เป็นแนววงกลมตามแนวของหน้าคลื่นด้วยอัตราเร็ว v
2. วิ่งเข้าหา S ด้วยความเร็ว v
3. วิ่งหนีจาก S ด้วยอัตราเร็วสูงมากแทบเป็นอนันต์
4. วิ่งหนีจาก S ด้วยความเร็ว v

48. ในการหาอัตราเร็วที่เม็ดเลือดวิ่งในเส้นเลือด เขาสามารถทำได้โดยการส่งคลื่นเสียงอุลตราโซนิกที่มีความถี่หนึ่งเข้าไปกระทบกับเม็ดเลือด แล้ววัดสมบัติของคลื่นที่สะท้อนออกมา สมบัติข้อใดที่นำไปคำนวณหาอัตราเร็วของเม็ดเลือดได้

1. ความถี่ของคลื่นที่เปลี่ยนไป
2. เฟสของคลื่นที่เปลี่ยนไป
3. แอมปลิจูดของคลื่นที่เปลี่ยนไป
4. ช่วงเวลาระหว่างคลื่นที่ส่งเข้าไปและที่สะท้อนออกมา

49. ถ้าอัตราเร็วของคลื่นน้ำที่บริเวณแห่งหนึ่งมีค่าเป็น 10 เมตร/วินาที และหน้าคลื่นน้ำทำมุม 37° กับแนวการเคลื่อนที่ของเรือ อัตราเร็วของเรือเป็นเท่าใด

1. 12.3 เมตร/วินาที
2. 16.7 เมตร/วินาที
3. 21.1 เมตร/วินาที
4. 23.7 เมตร/วินาที

50. เครื่องบินไอพ่นบินที่ความสูง 10,000 เมตร ด้วยอัตราเร็ว 2 มัค ให้หามุมที่หน้าคลื่น ขณะหนึ่งเครื่องบินอยู่เหนือศีรษะผู้สังเกตซึ่งยืนอยู่ที่พื้นดิน ถามว่านานเท่าใดหลังจากนี้ผู้สังเกตจึงจะได้ยินเสียงเครื่องบิน กำหนดให้อัตราเร็วของเสียงในอากาศ เป็น 330 เมตร/วินาที

1. 26.2 วินาที
2. 30.4 วินาที
3. 40.0 วินาที
4. 45.1 วินาที

1. ตอบ 2	2. ตอบ 2	3. ตอบ 2	4. ตอบ 3	5. ตอบ 1	6. ตอบ 2
7. ตอบ 2	8. ตอบ 3	9. ตอบ 3	10.ตอบ 4	11.ตอบ 4	12.ตอบ 1
13.ตอบ 2	14.ตอบ 4	15.ตอบ 4	16.ตอบ 1	17.ตอบ 3	18.ตอบ 3
19.ตอบ 1	20.ตอบ 3	21.ตอบ 4	22.ตอบ 2	23.ตอบ 3	24.ตอบ 4
25.ตอบ 2	26.ตอบ 4	27.ตอบ 1	28.ตอบ 4	29.ตอบ 1	30.ตอบ 1
31.ตอบ 3	32.ตอบ 3	33.ตอบ 4	34.ตอบ 1	35.ตอบ 4	36.ตอบ 4
37.ตอบ 3	38.ตอบ 4	39.ตอบ 1	40.ตอบ 3	41.ตอบ 2	42.ตอบ 3
43.ตอบ 2	44.ตอบ 4	45.ตอบ 3	46.ตอบ 1	47.ตอบ 4	48.ตอบ 1
49.ตอบ 2	50.ตอบ 1				

บทที่ 3

แสงเชิงเรขาคณิต

เซอร์ ไอแซค นิวตัน (Sir Issac Newton) นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับแสง และได้เสนอทฤษฎีของแสงมีใจความว่า แสงเป็นลำของอนุภาคเล็ก ๆ จำนวนมากเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง และสามารถทำให้เกิดการเห็นได้เมื่ออนุภาคเหล่านี้ไปตกลงบนเรตินา (ratina) ของดวงตา

ต่อมา ฮอยเกนส์ (Huygens) ได้พบสมบัติของการเลี้ยวเบน (diffraction) ของคลื่น โดยเขาได้พบว่าคลื่นสามารถเลี้ยวหรือโค้งงอเมื่อแผ่ไปที่ขอบของสิ่งกีดขวางได้ และถ้าคลื่นนั้นสามารถทำให้เกิดเงาได้ เงาของขอบที่ปรากฏขึ้นก็จะไม่ใช่เงาที่คมชัด การค้นพบนี้ขัดกับทฤษฎีแสงของนิวตันซึ่งกล่าวว่า แสงเดินทางเป็นเส้นตรง ดังนั้นเมื่อแสงตกกระทบบนวัตถุทึบแสงก็ย่อมจะก่อให้เกิดเงาที่คมชัดของวัตถุนั้น จึงเกิดคำถามขึ้นว่า *แสงเป็นคลื่นหรืออนุภาคกันแน่นะ?*

ในช่วงต้นของคริตศตวรรษที่ 19 นักวิทยาศาสตร์ชื่อ ยัง (Young) ซึ่งทำงานอยู่ในประเทศอังกฤษ และ เฟรชเนล (Fresnel) ซึ่งทำงานอยู่ฝรั่งเศส ต่างก็สามารถทำการทดลองและแสดงให้เห็นได้ว่าแสงมีปรากฏการณ์ของการเลี้ยวเบน และการแทรกสอด (interference) เหมือนกับคลื่นชนิดอื่น ๆ ในช่วงนั้นจึงกลับมามีความเชื่อกันว่า แสงเป็นคลื่นชนิดหนึ่งไม่ใช่อนุภาคอีกต่อไป

ในเวลาต่อมา แมกซ์เวล (Maxwell) ได้ทำนายว่า ต้องมีคลื่นชนิดหนึ่งที่เรียกว่า **คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า** (electromagnetic wave) ปรากฏอยู่ในธรรมชาติ โดยเขาได้กล่าวว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้มีอัตราเร็วในการแผ่เท่ากับอัตราเร็วของแสง ซึ่งภายหลัง เฮริซ์ต (Hertz) ได้ประสบความสำเร็จในการทดลองตรวจสอบว่าปรากฏมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจริงในธรรมชาติ นอกจากนี้เฮริซ์ตยังได้แสดงให้เห็นอีกว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าก็แสดงปรากฏการณ์ สะท้อน หักเหเลี้ยวเบน และ แทรกสอด เช่นเดียวกับแสง และคลื่นชนิดอื่น ๆ และการทดลองเหล่านี้ของเฮริซ์ตนี่เอง ทำให้เขาค้นพบ ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็คตริก และผู้ที่สามารถอธิบายกลไกของการเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริกคือ ไอนส์ไตล์ (Einstein) โดยเขาถือว่า แสงเป็นอนุภาค ที่เรียกว่า โฟตอน (photon)

ปัจจุบันเป็นที่ยอมรับว่า แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถแสดงสมบัติทั้งของคลื่นและอนุภาค ทั้งนี้ขึ้นกับว่าปรากฏการณ์ที่แสงกำลังแสดงอยู่นั้นเป็นอะไร เช่นถ้าแสงกำลังแสดงปรากฏการณ์ของการสะท้อน หักเห เลี้ยวเบน หรือ แทรกสอด ก็ต้องถือว่า แสงกำลังแสดงสมบัติของความเป็นคลื่น แต่ถ้าแสงกำลังแสดงปรากฏการณ์โฟโตอิเล็คตริกก็ต้องถือว่าแสงเป็นอนุภาค นอกจากนี้ยังพบว่า ในขณะคลื่นชนิดอื่น เช่น คลื่นเสียง คลื่นน้ำ คลื่นในเส้นเชือก (คลื่นเหล่านี้รวมเรียกว่าคลื่นกล หรือ mechanical wave) ต้องใช้ตัวกลางในการแผ่ **คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิด รวมทั้งแสง สามารถแผ่ไปโดยมีหรือไม่มีตัวกลางก็ได้** ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดได้แก่การที่แสงจากดวงอาทิตย์สามารถแผ่จากดวงอาทิตย์ ผ่านอวกาศ *ซึ่งเป็นที่ว่าง* มายังโลกได้ ในขณะเดียวกันแสงก็สามารถแผ่ไปในตัวกลางโปร่งใสและโปร่งแสงชนิดต่าง ๆ เช่น อากาศ น้ำ แก้ว ได้เช่น

ขณะเดียวกันแสงก็สามารถแผ่ไปในตัวกลางโปร่งใสและโปร่งแสงชนิดต่าง ๆ เช่น อากาศ น้ำ แก้ว ได้เช่นกัน

1. อัตราเร็วของแสง

ในอดีตได้มีนักวิทยาศาสตร์หลายท่านที่ได้พยายามทำการทดลองวัดอัตราเร็วในการแผ่ของแสง เช่น กาลิเลโอ โรเมอร์ ไมเคิลสัน (A.A. Michelson) เป็นต้น จากผลงานของท่านเหล่านี้ทำให้ทราบว่า อัตราเร็วของแสงในอากาศมีค่าเท่ากับ 2.99796×10^8 เมตรต่อวินาที นอกจากนี้ไมเคิลสันยังพบว่าอัตราเร็วของแสงในสุญญากาศมีค่ามากกว่าอัตราเร็วของแสงในอากาศอยู่ประมาณร้อยละ 0.03

ในตอนต้นของทศวรรษ 1970 องค์การมาตราฐานแห่งสหรัฐอเมริกา (U.S. Bureau ofStandards) ได้ทำการทดลองวัดอัตราเร็วของแสงโดยใช้เลเซอร์และได้ผลว่า อัตราเร็วของแสงมีค่าเท่ากับ 299,792,458 เมตร/วินาที ซึ่งค่านี้เป็นค่าที่แตกต่างไปจากค่าที่ไมเคิลสันหาไว้เพียงร้อยละ 0.0012 เท่านั้น และจากการทดลองด้วยแสงเลเซอร์นี้ทำให้เกิดมีนิยามของความยาวที่มีระยะ 1 เมตรว่า **ระยะทาง 1 เมตรคือระยะทางที่แสงเคลื่อนที่ได้ในสุญญากาศโดยใช้เวลา 1/299,792,458 วินาที**

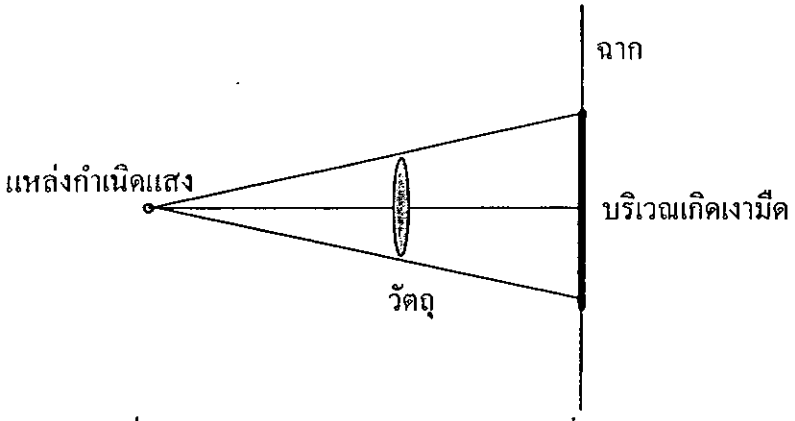
ในทางปฏิบัติถือว่า อัตราเร็วของแสงในอากาศและสุญญากาศมีค่าเท่ากัน คือ 3×10^8 เมตร/วินาที ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการคำนวณ และใช้ c เป็นสัญญลักษณ์ของแสงในอากาศ หรือในสุญญากาศนี้

สำหรับอัตราเร็วของแสงในตัวกลางอื่น ๆ ที่นอกเหนือไปจากอากาศหรือสุญญากาศนั้น ได้มีการทดลองต่าง ๆ ที่แสดงว่าอัตราเร็วของแสงในตัวกลางอื่น ๆ นั้นมีค่าน้อยกว่าอัตราเร็วของแสงในสุญญากาศหรือในอากาศ เช่นอัตราเร็วของแสงในน้ำมีค่าเป็น 3/4 เท่าของอัตราเร็วของแสงในสุญญากาศ เป็นต้น

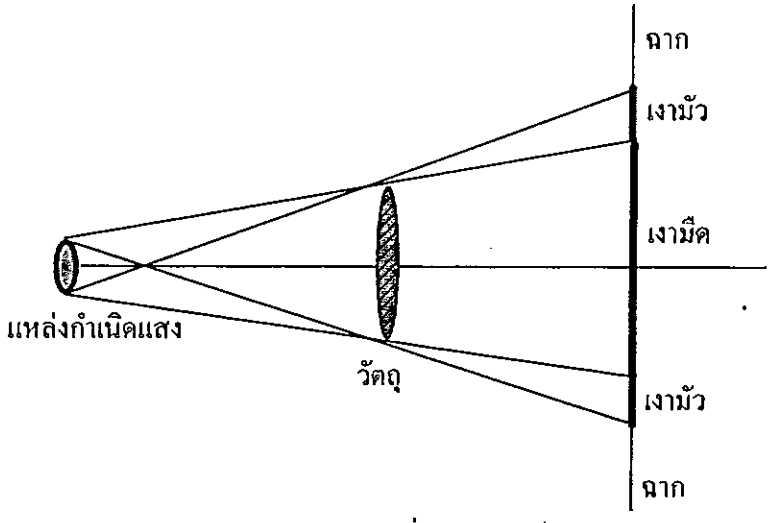
2. เงา (shadow)

เงาคือบริเวณมืดหลังวัตถุทึบแสง ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อมีแสงส่องยังวัตถุนั้น เงามี 2 ชนิดได้แก่เงามืดและเงามัว การพิจารณาว่าบริเวณใดจะเกิดเงาและเงาที่เกิดขึ้นเป็นเงาชนิดใด ต้องถือว่าแสงจากต้นกำเนิดเดินทางเป็นเส้นตรงไปกระทบวัตถุ โดยเงามืดเกิดขึ้นเมื่อแหล่งกำเนิดแสงมีขนาดเล็กกว่าขนาดของวัตถุทึบแสงมากจนถือได้ว่าขนาดของแหล่งกำเนิดเป็นจุด แต่หากแหล่งกำเนิดแสงมีขนาด เงาที่เกิดมีทั้งเงามืดและเงามัว เราอาจจะทำความเข้าใจการเกิดเงาทั้ง 2 ชนิดได้จากรูปที่ 3.1 และรูป 3.2 ข้างล่าง

ในรูป 3.1 แหล่งกำเนิดแสงมีขนาดเป็นจุด บริเวณที่เกิดเงามืดบนฉากคือพื้นที่ที่อยู่ในบริเวณที่ล้อมรอบด้วยเส้นที่ลากผ่านต้นกำเนิดกับขอบของวัตถุ ในรูปที่ 3.2 แสดงถึงการเกิดเงาจากแสงที่ได้จากต้นกำเนิดที่ไม่เป็นจุด จะเห็นว่าเงาที่ได้ในกรณีนี้มีทั้งเงามืดและเงามัว โดยเงามืดคือบริเวณที่อยู่ภายในพื้นที่ที่ล้อมรอบด้วยเส้นที่เชื่อมระหว่างขอบนอกของแหล่งกำเนิดกับขอบนอกของวัตถุทึบแสง ส่วนเงามัวได้แก่บริเวณที่เป็นวงแหวนรอบเงามืด โดยขอบนอกของเงามัวคือบริเวณที่อยู่ระหว่างเส้นที่ล้อมรอบด้วยเส้นที่ลากเชื่อมขอบบนของแหล่งกำเนิดกับขอบล่างของวัตถุ และเส้นที่เชื่อมระหว่างขอบล่างของต้นกำเนิดกับขอบบน ของวัตถุ



รูปที่ 3.1 การเกิดเงาของแสงจากแหล่งกำเนิดที่มีขนาดเป็นจุด



รูปที่ 3.2 การเกิดเงาของแสงจากแหล่งกำเนิดที่มีขนาดไม่เป็นจุด แสดงเงามืดและเงามัว

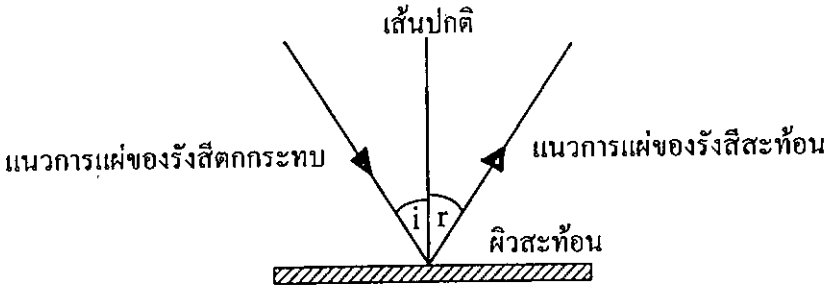
4. การสะท้อนของแสง

สมบัติของแสงเชิงเรขาคณิต เป็นสมบัติของแสงที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ที่เป็นผลเนื่องจากแสงเดินทางเป็นเส้นตรง ปรากฏการณ์เหล่านี้ได้แก่การสะท้อนและการหักเหของแสง การคำนวณที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์เหล่านี้ต้องใช้ทฤษฎีเรขาคณิตเข้าช่วย (ในเรื่องของแสงเชิงเรขาคณิตนี้อาจจะเรียกแนวการเดินทางของแสงว่า แนวการแผ่ของแสงก็ได้หรือเรียกว่า รังสีแสงก็ได้) ในหัวข้อนี้จะได้กล่าวถึงการสะท้อน

การคำนวณเกี่ยวกับการสะท้อนของแสงได้มีการสร้างเส้นสมมุติเพื่อใช้ในการคำนวณ เส้นสมมุติดังกล่าวเป็นเส้นตั้งฉากกับพื้นผิวที่สะท้อนแสง เรียกเส้นสมมุตินี้ว่า 'เส้นปกติ' (normal line) การสะท้อนของแสง ตลอดจนการสะท้อนของคลื่นชนิดอื่น ๆ เป็นตาม กฎการสะท้อน ซึ่งมีใจความว่า

1. แนวการแผ่ของแสงตกกระทบ แนวการแผ่ของแสงสะท้อนและเส้นปกติ จะอยู่ในระนาบเดียวกัน
2. มุมตกกระทบมีค่าเท่ากับมุมสะท้อน

ทั้งนี้ มุมตกกระทบ คือ มุมระหว่างแนวการแผ่ของแสงตกกระทบกับเส้นปกติ และ มุมสะท้อน คือ มุมที่แนวการแผ่ของคลื่นสะท้อนทำกับเส้นปกติเช่นเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การสะท้อนบนผิววัตถุ มุม i และ r ในรูปคือมุมตกกระทบและมุมสะท้อนตามลำดับ

4.1 <u>การสะท้อนบนกระจกราบ</u>

การสะท้อนของวัตถุบนกระจกราบจะได้ ระยะภาพะเท่ากับระยะวัตถุ และขนาดภาพเท่ากับขนาดวัตถุ ภาพที่ได้จากการสะท้อนของกระจกราบเป็น <u>ภาพเสมือน</u> ภาพเสมือนที่เกิดขึ้นจากการสะท้อนของกระจกเงาราบนั้น เป็นภาพที่กลับซ้ายไปขวา เช่นเมื่อเราส่องตัวเราเองบนกระจก ภาพมือซ้ายของเราที่ปรากฏจะอยู่ทางด้านขวาของตัวเรา

<u>4.2 การสะท้อนบนกระจกโค้ง</u>

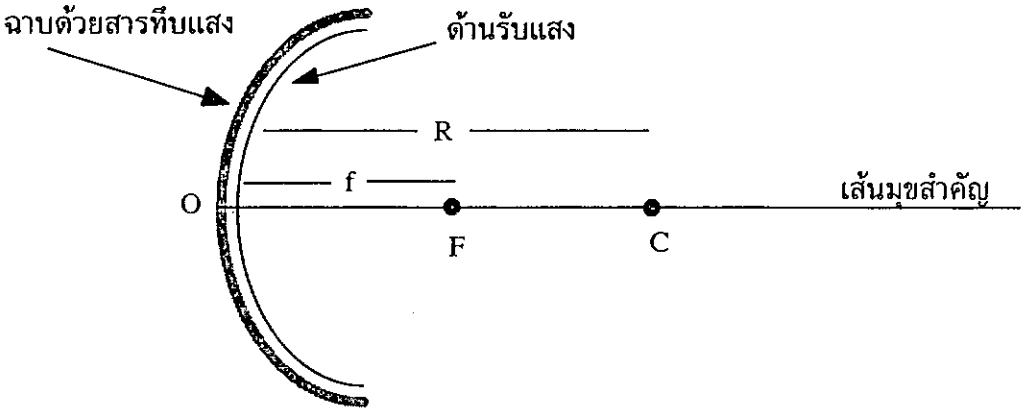
กระจกโค้ง (Spherical Mirrors) คือ ส่วนโค้งของทรงกลม โดยส่วนโค้งนี้มีสมบัติในการสะท้อนแสงได้อย่างดี กระจกโค้งมีสองชนิดคือ <u>กระจกเว้า</u> (concave mirrors) และ <u>กระจกนูน</u> (convex mirrors) ขึ้นอยู่กับว่าใช้ด้านใดในการสะท้อนแสง กระจกเว้าใช้ด้านเว้าของส่วนโค้งในการรับและสะท้อนแสง ในขณะที่กระจกนูนใช้ส่วนนูนในการรับและสะท้อนแสง การสะท้อนบนกระจกโค้งเป็นไปตามกฎการสะท้อนเช่นเดียวกับการสะท้อนบนกระจกราบ

ก่อนที่จะกล่าวถึงกระจกโค้งต่อไป จะได้กล่าวถึงการเกิดภาพ (image) ในทางทัศนศาสตร์ ภาพเกิดจากการตัดกันของรังสีแสง ภาพที่เกิดจากการที่รังสีแสงไปตัดกันจริง เรียกว่า <u>ภาพจริง</u> (real image) ผู้สังเกตจะเห็นภาพชนิดนี้ได้ต่อเมื่อนำฉากหรือจอมารับภาพ ตัวอย่างของภาพจริงได้แก่ ภาพที่ฉายออกมาจากเครื่องฉายภาพยนต์ หรือภาพที่ฉายออกมาจากเครื่องฉายภาพนิ่ง ภาพจริงอาจจะมีขนาดใหญ่หรือเล็กกว่าวัตถุของมันก็ได้ แต่<u>ภาพจริงจะมีลักษณะหัวกลับกับวัตถุของมันเสมอ</u>

ภาพที่เกิดจากการที่รังสีแสงเสมือนกับว่าไปตัดกันเรียกว่า <u>ภาพเสมือน</u> (virtual image) ผู้สังเกตจะสามารถเห็นภาพเสมือนนี้ได้ทันทีโดยไม่ต้องนำฉากมารับเหมือนกับภาพจริง ตัวอย่างของภาพเสมือนที่คุ้นเคยกันดีได้แก่ ภาพที่ปรากฏในกระจกเงา ภาพเสมือนที่เกิดจากกระจกเว้าจะมีขนาดใหญ่กว่าขนาดของวัตถุ ส่วน

ภาพเสมือนจากกระจกนูนจะมีขนาดเล็กกว่าวัตถุ ภาพเสมือนจะมีลักษณะหัวตั้งกับวัตถุของมันเสมอ

4.2.1 กระจกเว้า



รูปที่ 3.4 กระจกเว้า แสดงแกนมุขสำคัญ จุดโฟกัส(F) จุดศูนย์กลางความโค้ง (C) ความยาวโฟกัส (f) และรัศมีความโค้ง R

กระจกเว้ามีสมบัติในการรวมแสง ภาพที่เกิดจากกระจกเว้ามีได้ทั้งภาพจริงและภาพเสมือน นอกจากนี้ขนาดของภาพยังมีได้ทั้งขนาดใหญ่กว่าวัตถุ เล็กกว่าวัตถุ หรือแม้แต่เท่ากับวัตถุ จากการเขียนรังสีแสงแสดงการเกิดภาพเนื่องจากการสะท้อนของกระจกเว้าโดยใช้กฎการสะท้อน จะพบข้อสรุปดังต่อไปนี้

1) วัตถุอยู่ที่ระยะอนันต์ จะได้ภาพจริงที่จุดโฟกัส ขนาดเป็นจุด

2) วัตถุอยู่ห่างจากกระจกเป็นระยะทางใกล้กว่าระยะอนันต์ แต่ไกลกว่ารัศมีความโค้งของกระจก จะได้ภาพจริงหัวกลับ ขนาดเล็กกว่าวัตถุ ตำแหน่งของภาพจะอยู่ระหว่างจุดโฟกัสกับจุดศูนย์กลางความโค้ง

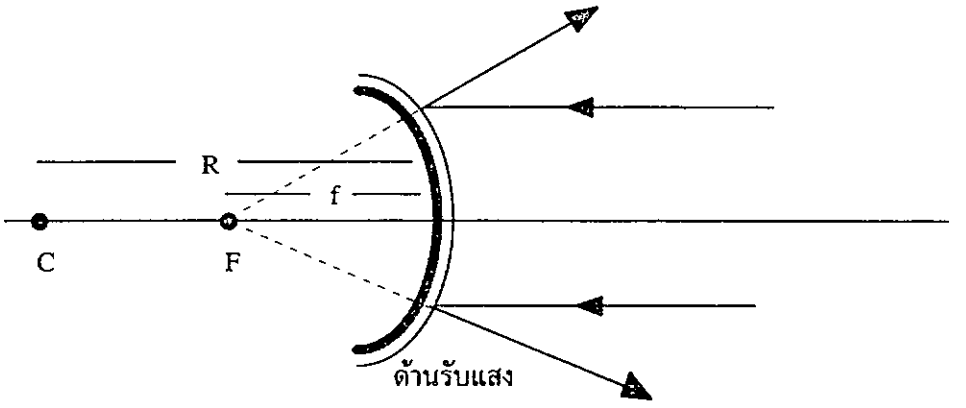
3) วัตถุอยู่ที่จุดศูนย์กลางความโค้ง จะได้ภาพจริงหัวกลับ ขนาดเท่ากับวัตถุ อยู่ที่ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางความโค้งนั้นเอง

4) วัตถุอยู่ระหว่างจุดศูนย์กลางความโค้งกับจุดโฟกัส จะได้ภาพจริงหัวกลับ ขนาดใหญ่กว่าวัตถุ ตำแหน่งของภาพอยู่นอกจุดศูนย์กลางความโค้ง

5) วัตถุอยู่ที่จุดโฟกัส จะให้รังสีสะท้อนที่เป็นรังสีขนาน จึงกล่าวได้ว่าไม่เกิดภาพ ในขณะเดียวกันก็กล่าวได้ว่าเกิดภาพจริงหน้ากระจกที่ระยะอนันต์ (เพราะรังสีขนานไปตัดกันจริงหน้ากระจกที่ระยะอนันต์) ในทำนองเดียวกันก็กล่าวได้อีกว่า เกิดภาพเสมือนหลังกระจกที่ระยะอนันต์ (เพราะถือว่ารังสีขนานนั้นเสมือนกับว่าไปตัดกันที่หลังกระจกตรงระยะอนันต์)

6) วัตถุอยู่ห่างจากกระจกน้อยกว่าความยาวโฟกัส จะได้ภาพเสมือนหัวตั้ง ขนาดใหญ่กว่าวัตถุอยู่หลังกระจก

4.2.2 กระจกนูน



รูปที่ 3.5 กระจกนูน แสดงแกนมุขสำคัญ จุดโฟกัส(F) จุดศูนย์กลางความโค้ง (C) ความยาวโฟกัส (f) รัศมีความโค้ง R และสมบัติของการกระจายแสง

กระจกนูน เป็นกระจกโค้งที่ฉาบสารทึบแสงไว้ทางด้านเว้า และใช้ส่วนนูนในการสะท้อนแสง จุดศูนย์กลางความโค้งของกระจกจึงอยู่ทางด้านหลังของกระจก ในทางฟิสิกส์ถือว่า สิ่งใดก็ตามที่อยู่หลังกระจกเป็นปริมาณเสมือน ดังนั้นจุดศูนย์กลางความโค้งของกระจกนูนจึงเป็นจุดศูนย์กลางเสมือน สมบัติที่สำคัญของกระจกนูนคือ กระจกนูนเป็นกระจกที่กระจายแสง นอกจากนี้ ภาพที่เกิดจากกระจกนูน เป็นภาพเสมือนขนาดเล็กกว่าวัตถุเท่านั้น อย่างไรก็ตามสมบัติการกระจายแสงของกระจกนูน ทำให้มุมที่กระจกจะรับแสงนั้นกว้าง จึงนิยมใช้กระจกนูนมาทำกระจกส่องข้างของรถยนต์ เพื่อให้ผู้ขับได้เห็นเหตุการณ์ต่าง ๆ ด้านข้างของรถได้เป็นมุมกว้างโดยผู้ขับต้องตระหนักว่าภาพที่เขากำลังเห็นอยู่นั้น เล็กและอยู่ไกลออกไปมากกว่าความเป็นจริง

4.2.3 การคำนวณการเกิดภาพจากกระจกเว้าและกระจกนูน

กระจกเว้าและกระจกนูนมีสมการในการคำนวณการเกิดภาพสมการเดียวกัน คือ สมการการเกิดภาพ สมการนี้เขียนได้เป็น

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{u}$$

โดย f เป็น ความยาวโฟกัส

v เป็น ระยะภาพ

u เป็น ระยะวัตถุ

การใช้สมการนี้จะถือว่า ปริมาณที่เป็นจริงมีเครื่องหมายเป็นบวก และปริมาณเสมือนมีเครื่องหมายเป็นลบ เห็นได้ว่าความยาวโฟกัสของกระจกเว้าจะมีค่าเป็นบวก เพราะจุดโฟกัสของกระจกเว้าอยู่หน้ากระจก จึงเป็นจุดโฟกัสจริง ในทางกลับกันความยาวโฟกัสของกระจกนูนจะมีค่าเป็นลบ เพราะจุดโฟกัสของกระจกนูนอยู่หลังกระจก จึงเป็นจุดโฟกัสเสมือน

. นอกจากสมการของการหาตำแหน่งภาพที่กล่าวมาแล้ว กระจกโค้งยังมีสมการที่ใช้ในการคำนวณหาขนาดของภาพอีกด้วย สมการดังกล่าวนี้คือ

$$\frac{I}{O} = \frac{v}{u}$$

โดย I และ O คือขนาดภาพและขนาดวัตถุ ตามลำดับ ส่วน v และ u ยังคงเป็นระยะภาพและระยะวัตถุ โดยการแทนเครื่องหมายของ v และ u ยังคงเป็นลักษณะที่ปริมาณที่เป็นจริงมีเครื่องหมายเป็นบวก และปริมาณเสมือนมีเครื่องหมายเป็นลบ

4.2.4 ความคลาดเคลื่อนทรงกลม (spherical aberration)

ในเรื่องของกระจกเว้า เมื่อมีแสงขนานที่มีทิศทางการแผ่ขนานกับแกนมุขสำคัญของกระจกเว้ามาตกกระทบ รังสีสะท้อนทั้งหลายจะแผ่ไปรวมกันที่จุดโฟกัส และในทางกลับกัน ถ้ามีแสงออกมาจากวัตถุที่อยู่ที่จุดโฟกัส รังสีสะท้อนที่ได้ทั้งหลายจะขนานกันและต่างก็ขนานกับแกนมุขสำคัญ ข้อความทั้งหมดข้างบนนี้ ใช้ได้กับกระจกเว้าที่มีขนาดของกระจกน้อยเมื่อเทียบกับรัศมีความโค้งของกระจกและระยะระหว่างรังสีขนานเหล่านั้นกับแกนมุขสำคัญน้อยมากเช่นกัน ถ้ากระจกเว้ามีขนาดใหญ่ และรังสีขนานอยู่ห่างจากแกนมุขสำคัญออกไป รังสีสะท้อนที่เกิดจากรังสีตกกระทบที่อยู่ใกล้กับแกนมุขสำคัญเท่านั้นที่จะสะท้อนไปสู่จุดโฟกัส ส่วนรังสีตกกระทบที่ไกลออกไปจะให้รังสีสะท้อนที่ไปตัดแกนมุขสำคัญ ณ จุดที่อยู่ใกล้กระจกกว่าความยาวโฟกัส ลักษณะเช่นนี้เรียกว่าเกิดความคลาดเคลื่อนทรงกลมขึ้น

การแก้ไขความคลาดเคลื่อนทรงกลมที่กล่าวมาข้างต้น ทำได้โดยทำให้ผิวหน้าที่รับแสงของกระจกโค้งมีรูปร่างเป็นพาราโบลา (parabola) ซึ่งถ้าเป็นเช่นนี้แล้ว ถึงแม้ว่ากระจกจะมีขนาดใหญ่และแสงขนานที่เข้ามาตกกระทบกระจกจะห่างออกไปจากแกนมุขสำคัญก็ตาม รังสีขนานเหล่านั้นทุกรังสีก็จะให้รังสีสะท้อน ที่ผ่านจุดโฟกัสทั้งสิ้นและในทางกลับกัน หากมีต้นกำเหนิดแสง เปล่งแสงออกมาจากจุดโฟกัส รังสีสะท้อนทุกรังสีก็จะสะท้อนออกมาในแนวขนานกับแกนมุขสำคัญเช่นกัน

5. การหักเหของแสง (refraction of light)

การหักเหของแสงคือการที่แนวการแผ่ของแสงเปลี่ยนไป เมื่อแสงแผ่จากตัวกลางหนึ่ง ไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง สาเหตุเพราะอัตราเร็วของแสงในตัวกลางทั้งสองนั้นไม่เท่ากัน

ในเรื่องของการหักเห ได้มีการกำหนดปริมาณที่เรียกว่า ดัชนีหักเห (refractive index) ของสารขึ้น โดยกำหนดว่า ดัชนีหักเหของสารใด ก็คือ อัตราส่วนระหว่างอัตราเร็วของแสงในสุญญากาศต่ออัตราเร็วของแสงในตัวกลางนั้น ในทางปฏิบัติถือได้ว่าอัตราเร็วของแสงในสุญญากาศและในอากาศมีค่าเท่ากัน จึงกล่าวได้ว่า ดัชนีหักเหของสารใด คือ อัตราส่วนระหว่างอัตราเร็วของแสงในสุญญากาศต่ออัตราเร็วของแสงในสารนั้น สิ่งที่ควรทราบประการหนึ่งก็คือ อัตราเร็วของแสงในสุญญากาศ (หรือในอากาศ) มีค่ามากกว่าอัตราเร็วของแสงในตัวกลางอื่น ๆ ดังนั้นดัชนีหักเหของสารต่าง ๆ จึงมีค่ามากกว่า 1 เสมอ

ถ้าให้ n เป็นดัชนีหักเหของสาร v′ และ v เป็นอัตราเร็วของแสงในตัวกลางที่กำลังพิจารณา และในอากาศตามลำดับ จากนิยามของดัชนีหักเหจะได้

$$n = \frac{v}{v'} \quad \text{.....(1)}$$

การหักเหของแสงในตัวกลางที่ยอมให้แสงผ่าน เป็นไปตามกฎของสเนลล์ (Snell's law) ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$

โดย n_1 และ n_2 เป็นดัชนีหักเหของตัวกลางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

และ θ_1 และ θ_2 เป็นมุมตกกระทบและมุมหักเห ตามลำดับ

เมื่อจัดเทอมในสมการของสเนลล์ใหม่จะได้

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} \quad \text{.....(2)}$$

เรียกอัตราส่วนระหว่าง n_2 ต่อ n_1 ว่า **ดัชนีหักเหของตัวกลางที่ 2 เทียบกับตัวกลางที่ 1** ตัวอย่างเช่น ดัชนีหักเหของแก้ว (ซึ่งมาจากคำเต็มว่า ดัชนีหักเหของแก้วเทียบกับอากาศ) คือ อัตราส่วนระหว่างมุมตกกระทบในอากาศ·ต่อ มุมหักเหในแก้ว

แต่ถ้าตัวกลางที่1เป็นแก้ว และตัวกลางที่ 2 เป็นน้ำ ก็จะเรียกอัตราส่วนระหว่างอัตราเร็วของแสงในแก้ว ต่อ อัตราเร็วของแสงในน้ำ ว่า ดัชนีหักเหของน้ำเทียบกับแก้ว

เมื่อรวมผลที่ได้จากกฎของสเนลล์และนิยามของการหักเห ทำให้เขียนความสัมพันธ์รวมระหว่างดัชนีหักเห sine ของมุมตกกระทบและมุมสะท้อน และอัตราเร็วของตัวกลางได้ว่า

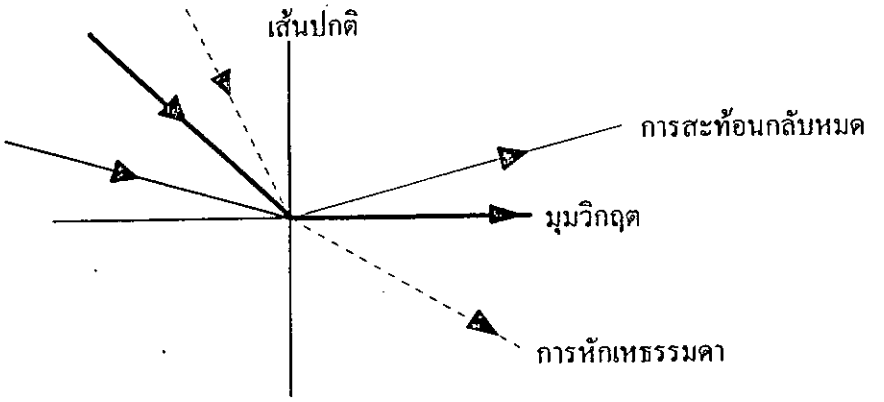
$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} \quad \text{.....(3)}$$

5.1 มุมวิกฤต และ การสะท้อนกลับหมด **(critical angle and total reflection)**

จากสมการ (3) ของการหักเหจะเห็นว่า ถ้าอัตราเร็วของแสงในตัวกลางที่ 2 มากกว่า อัตราเร็วในตัวกลางที่ 1 sine ของมุมหักเหจะมีค่ามากกว่า sine ของมุมตกกระทบ หรือกล่าวได้อีกแบบหนึ่งว่า **มุมหักเหมากกว่า มุมตกกระทบ หรือ มุมตกกระทบน้อยๆ ทำให้เกิดมุมหักเหมากๆ**

การที่มุมตกกระทบน้อย ๆ ทำให้เกิดมุมหักเหมาก ๆ นี้ ทำให้มีโอกาสที่จะเป็นไปได้ว่า ในขณะที่มุมตกกระทบยังเป็นมุมแหลม มุมหักเหมีค่าเป็น 90 องศา ในกรณีเช่นนี้แสงจะหักเหปตามผิวรอยต่อของตัวกลางทั้งสอง เรียกมุมตกกระทบที่ทำให้มุมหักเหเป็น90 องศานี้ว่า ***มุมวิกฤต*** (critical angle)

ถ้ามุมตกกระทบมีค่ามากกว่ามุมวิกฤต การหักเหจะสิ้นสุดลง และปรากฏการณ์จะเปลี่ยนไปเป็นการสะท้อนเกิดขึ้นมาแทน เรียกการสะท้อนนี้ว่า ***การสะท้อนกลับหมด*** (total reflection) ซึ่งการสะท้อนนี้ก็จะเป็นไปตามกฎการสะท้อนเหมือนการสะท้อนธรรมดาทั่วไป รูป 3.6 ได้สรุปถึงปรากฏการณ์ การหักเห มุมวิกฤต และการสะท้อนกลับหมดเอาไว้



รูปที่ 3.6 แสดงการหักเห มุมวิกฤต และ การสะท้อนกลับหมด

ในเรื่องของมุมวิกฤต และ การสะท้อนกลับหมด นี้พอจะกล่าวโดยสรุปได้ว่า

– มุมวิกฤต คือ มุมตกกระทบ ที่มีมุมหักเหเท่ากับ 90 องศา –

– และการสะท้อนกลับหมด เป็นเหตุการณ์ที่ต่อเนื่องจากมุมวิกฤต –

5.2 <u>ลึกปรากฏและลึกจริง</u>

ปรากฏการณ์อันเนื่องมาจากการหักเหที่สำคัญอันหนึ่งคือ การที่ผู้สังเกตเห็นวัตถุที่จมอยู่ในน้ำ หรือของเหลวอื่นตื้นกว่าความเป็นจริง หรือการที่เห็นว่าวัตถุที่แช่อยู่ในน้ำเพียงบางส่วนมีการหักงอ กรณีดังกล่าวนี้เป็นกรณีที่วัตถุอยู่ในตัวกลางที่มีดัชนีหักเหน้อย ในขณะที่ผู้สังเกตอยู่ในตัวกลางที่มีดัชนีหักเหมาก

ถ้าวัตถุอยู่ในตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหน้อยกว่าตัวกลางของผู้สังเกต ผู้สังเกตก็จะเห็นว่าวัตถุอยู่ไกลกว่าความเป็นจริง ดังนั้นปลาที่อยู่ในน้ำจะเห็นคนที่กำลังตกมันอยู่นั้น อยู่ไกลขึ้นไปในอากาศมากกว่าความเป็นจริง การคำนวณหาระยะลึกปรากฏสามารถทำได้โดยพิจารณารูปที่ 3.7

ในรูปที่ 3.7 จุด A เป็นตำแหน่งของวัตถุที่อยู่ในตัวกลางที่มีดัชนีหักเหมากกว่า เช่น น้ำ และ C เป็นตำแหน่งของผู้สังเกตที่อยู่ในตัวกลางที่มีดัชนีหักเหน้อยกว่า เช่น อากาศ

แสงจากวัตถุ A ทำมุมตกกระทบ θ กับเส้นปกติที่ B ทำให้เกิดรังสีหักเห BC ที่มีมุมหักเหเป็น α แต่ผู้สังเกตจะรู้สึกว่า แสงที่เข้าสู่ตานั้นเดินทางเป็นเส้นตรง CBD

ดังนั้น D จึงเป็นภาพของวัตถุที่ปรากฏแก่ผู้สังเกต

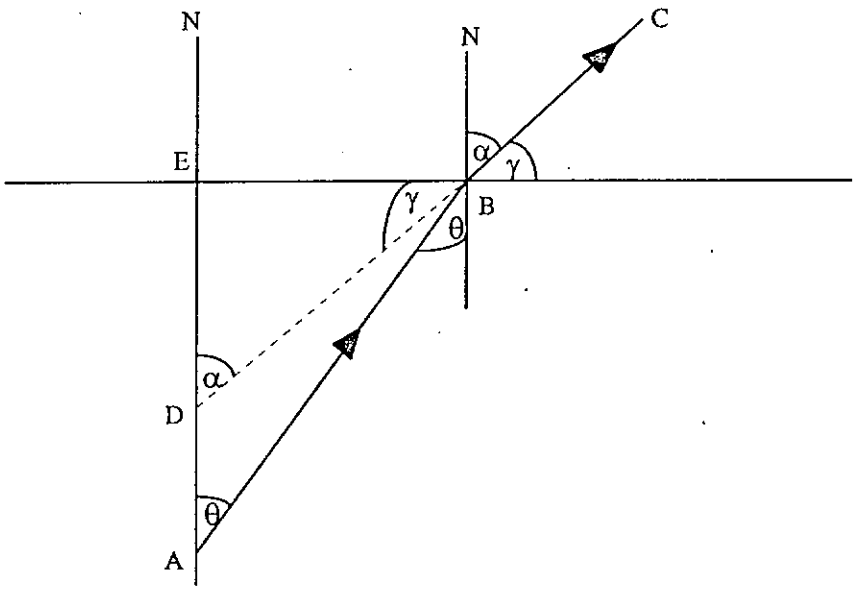
เพราะว่าเส้นปกติที่ B และเส้น EA ขนานกัน

ดังนั้นมุม A จึงเท่ากับมุมตกกระทบ θ ด้วย

เพราะว่าเส้น CBD ตัดกับเส้นปกติที่ B

ดังนั้นถ้ารังสีหักเห BC ทำมุม γ กับผิวรอยต่อระหว่างตัวกลางทั้งสอง

ก็จะได้ว่า มุม B ในสามเหลี่ยม EBA มีค่าเท่ากับ γ ด้วย



รูปที่ 3.7 ใช้ในการคำนวณหาระยะลึกปรากฏ

ใน ΔBED มีมุม E เป็นมุมฉาก และมีมุม B เท่ากับ γ

ดังนั้น มุม D + γ = 90 องศา

แต่ มุมหักเห α + มุม γ ที่รังสีหักเหทำกับผิวรอยต่อ ก็เท่ากับ 90 องศา เช่นเดียวกัน

เพราะฉะนั้น มุม D ใน ΔEDB จึงเท่ากับ α เช่นเดียวกัน

ใน ΔABE $\tan\theta = \frac{EB}{EA}$

ใน ΔEBD $\tan\alpha = \frac{EB}{ED}$

ดังนั้น $\frac{\tan\theta}{\tan\alpha} = \frac{ED}{EA} = \frac{\text{ลึกปรากฏ}}{\text{ลึกจริง}}$

ถ้ามุมตกกระทบมีค่าน้อย ๆ อันมีผลทำให้มุมหักเหมีค่าน้อยไปด้วย

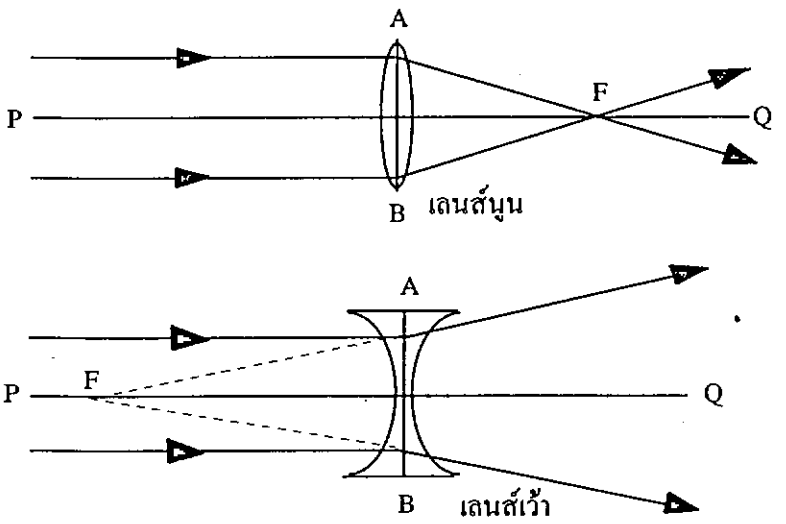
ค่าของ tan ของมุมทั้งสองก็จะเท่ากับค่าของ sine ซึ่งในกรณีเช่นนี้จะได้ว่า

$$\frac{\sin\theta}{\sin\alpha} = \frac{ED}{EA} = \frac{\text{ลึกปรากฏ}}{\text{ลึกจริง}} = \frac{n_2}{n_1}$$

6. เลนส์ (Lens)

เลนส์ เป็นเครื่องมือที่ใช้หลักการของการหักเหของแสงที่ผิวของมัน สมบัติต่าง ๆ ของเลนส์ขึ้นกับรูปร่างของผิวหน้าของมัน ค่าดัชนีหักเหของวัตถุที่ใช้ในการทำเลนส์ และค่าดัชนีหักเหของตัวกลางที่เลนส์นั้นวางอยู่

เลนส์ แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ เลนส์เว้า (concave lens) และ เลนส์นูน (convex lens) โดยเมื่อมีแสงขนานที่มีแนวการแผ่ขนานกับแกนของเลนส์ มาตกกระทบที่เลนส์นูนแสงนั้นจะหักเหผ่านเลนส์แล้วไปรวมกันที่จุด ๆ หนึ่งอีกด้านของเลนส์ บนแกนของเลนส์นั้นเรียกจุดนี้ว่า จุดโฟกัส ของเลนส์นูน แต่ถ้าลำแสงขนานนี้ไปตกกระทบที่ผิวเลนส์เว้า แสงนี้จะหักเหผ่านเลนส์เว้า แล้วกระจายออกจากกัน แต่ก็เสมือนกับว่ารังสีหักเหเหล่านั้นพุ่งออกมาจากจุด ๆ หนึ่งทางด้านเดียวกับที่แสงตกกระทบเลนส์ เรียกจุดนี้ว่า จุดโฟกัส ของเลนส์เว้า



รูป 3.8 แสดงสมบัติการรวมแสงของเลนส์นูน และกระจายแสงของเลนส์เว้า

เห็นได้ว่า เลนส์นูนมีสมบัติในการรวมแสง (เช่นเดียวกับกระจกเว้า) ในขณะที่เลนส์เว้ามีสมบัติในการกระจายแสง (เช่นเดียวกับกระจกนูน) ด้วยเหตุนี้เองบางครั้งจึงมีการเรียกเลนส์เว้าว่าเลนส์กระจายแสง (diverging lens) และเรียกเลนส์นูน ว่า เลนส์รวมแสง (converging lens)

ในรูปที่ 3.8 นอกจากจะแสดงถึงการรวมและการกระจายแสงแล้ว รูปนี้ยังได้แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของเลนส์ด้วย โดยเส้น PQ เป็นเส้นที่แบ่งเลนส์ออกเป็น 2 ส่วนเท่า ๆ กันตามแนวขวางเรียกเส้นนี้ว่า แกนมุขสำคัญ ของเลนส์ เส้น AB แบ่งเลนส์ออกเป็นสองส่วนเท่า ๆ กันตามแนวยาว จุดที่เส้น PQ และ AB ตัดกันเรียกว่า จุดศูนย์กลางแสง (optical center) และ F คือจุดโฟกัส

สำหรับเลนส์นูน แสงขนานจะหักเหผ่านเลนส์ไปตัดกันจริงที่จุดโฟกัส จุดโฟกัสของเลนส์นูนจึงเป็น

จุดโฟกัสจริง แต่สำหรับเลนส์เว้า เมื่อแสงหักเหผ่านเลนส์แล้วก็เสมือนกับว่าแสงนั้นไปตัดกันที่จุดโฟกัส จุดโฟกัสของเลนส์เว้าจึงเป็น *จุดโฟกัสเสมือน* และไม่ว่าจะเป็นเลนส์เว้าหรือเลนส์นูน จะเรียกระยะระหว่างจุดศูนย์กลางแสงถึงจุดโฟกัสว่า ความยาวโฟกัสของเลนส์ และถ้าเลนส์ที่กำลังพิจารณามีความหนาน้อยมากเมื่อเทียบกับความยาวโฟกัสจะเรียกเลนส์นั้นว่า เลนส์บาง (thin lens) ซึ่งรังสีแสงที่ผ่านจุดศูนย์กลางแสงของเลนส์บางจะเดินทางเป็นเส้นตรง เหมือนกับว่าไม่มีการหักเห

6.1 การเกิดภาพของเลนส์นูน

เลนส์นูนมีสมบัติในการรวมแสง ภาพที่เกิดจากเลนส์นูนมีได้ทั้งภาพจริงและภาพเสมือน นอกจากนี้ขนาดของภาพยังมีได้ทั้งขนาดใหญ่กว่าวัตถุ เล็กกว่าวัตถุ หรือแม้แต่เท่ากับวัตถุ เช่นเดียวกับกระจกเว้า จากการศึกษาการเกิดภาพของเลนส์นูน จะพบข้อสรุปดังต่อไปนี้

1) วัตถุอยู่ที่ระยะอนันต์ จะได้ภาพจริงที่จุดโฟกัส ขนาดเป็นจุด

2) วัตถุอยู่ห่างจากกระจกเป็นระยะทางใกล้กว่าระยะอนันต์ แต่ไกลกว่า 2 เท่าของความยาวโฟกัส (2f) จะได้ภาพจริงหัวกลับ ขนาดเล็กกว่าวัตถุ ตำแหน่งของภาพจะอยู่ระหว่างจุดโฟกัสกับจุด 2f

3) วัตถุอยู่ที่จุด 2 เท่าของความยาวโฟกัส (2f) จะได้ภาพจริงหัวกลับ ขนาดเท่ากับวัตถุ อยู่ที่จุด 2f

4) วัตถุอยู่ระหว่างจุดโฟกัส กับจุด 2f จะได้ภาพจริงหัวกลับ ขนาดใหญ่กว่าวัตถุ ตำแหน่งของภาพอยู่นอกระยะ 2f

5) วัตถุอยู่ที่จุดโฟกัส จะให้รังสีสะท้อนที่เป็นรังสีขนาน

6) วัตถุอยู่ห่างจากเลนส์น้อยกว่าความยาวโฟกัส จะได้ภาพเสมือนหัวตั้ง ขนาดใหญ่กว่าวัตถุ

ข้อสังเกตในการเกิดภาพคือ กรณีที่เกิดภาพจริง ภาพจะอยู่ด้านตรงข้ามกับวัตถุของมัน และภาพจริงนี้จะเห็นได้เมื่อมีฉากรองรับ ส่วนตำแหน่งของภาพเสมือนจะอยู่ด้านเดียวกับวัตถุ

6.2 การเกิดภาพของเลนส์เว้า

ภาพที่เกิดจากเลนส์เว้าจะมีลักษณะเดียวกับการเกิดภาพของกระจกนูน คือเป็นภาพเสมือนขนาดเล็กกว่าวัตถุเท่านั้น

6.3 การคำนวณการเกิดภาพจากเลนส์

เลนส์เว้าและเนส์นูนมีสมการในการคำนวณการเกิดภาพสมการเดียวกัน และเป็นสมการเดียวกับการคำนณภาพที่เกิดจากกระจก สมการนี้เขียนได้เป็น

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{u}$$

โดย f เป็น ความยาวโฟกัส

v เป็น ระยะภาพ

u เป็น ระยะวัตถุ

การใช้สมการนี้จะถือว่า ปริมาณที่เป็นจริงมีเครื่องหมายเป็นบวก และปริมาณเสมือนมีเครื่องหมายเป็นลบ เช่น

เดียวกับการคำนวณในเรื่องของกระจกโค้ง เห็นได้ว่าความยาวโฟกัสของเลนส์นูนจะมีค่าเป็นบวก เพราะเป็นจุดโฟกัสจริง ในทางกลับกันความยาวโฟกัสของเลนส์เว้ามีค่าเป็นลบ เพราะจุดโฟกัสของเลนส์เว้าเป็นจุดโฟกัสเสมือน

นอกจากสมการของการหาตำแหน่งภาพที่กล่าวมาแล้ว เลนส์ยังมีสมการที่ใช้ในการคำนวณหา ขนาดของภาพอีกด้วย สมการนี้เป็นสมการเดียวกับการหาขนาดของภาพที่เกิดจากเลนส์ คือ

$$\frac{I}{O} = \frac{v}{u}$$

โดย I และ O คือขนาดภาพและขนาดวัตถุ ตามลำดับ ส่วน v และ u ยังคงเป็นระยะภาพและระยะวัตถุ โดยการแทนเครื่องหมายของ v และ u ยังคงเป็นลักษณะที่ปริมาณที่เป็นจริงมีเครื่องหมายเป็นบวก และปริมาณเสมือนมีเครื่องหมายเป็นลบ

6.4 สมการของช่างทำเลนส์

การสร้างเลนส์ที่จะหักเหแสงให้ถูกต้อง เพื่อใช้เลนส์นั้นไปประกอบเป็นอุปกรณ์ทางแสงตามวัตถุประสงค์ ช่างทำเลนส์จะต้องยุ่งเกี่ยวกับสิ่งต่อไปนี้

- ดัชนีหักเหของวัสดุที่ใช้ทำเลนส์
- รัศมีความโค้งของหน้าทั้งสองของเลนส์
- ความยาวโฟกัสของเลนส์

ปริมาณเหล่านี้มีความสัมพันธ์กันดังสมการ

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)$$

โดย R_1 และ R_2 เป็นรัศมีของหน้าทั้งสองของเลนส์

f เป็นความยาวโฟกัส

และ n เป็นดัชนีหักเหของวัสดุที่จะมาทำเป็นเลนส์

การใช้สมการของช่างทำเลนส์นี้ ให้รัศมี R ของด้านที่เป็นเลนส์นูนมีค่าเป็นบวก และรัศมี R ของด้านที่เป็นเลนส์เว้ามีค่าเป็นลบ

6.5 กำลังของเลนส์ (power of a lens)

กำลังของเลนส์ เป็นปริมาณที่กำหนดว่า มีค่าเท่ากับส่วนกลับของความยาวโฟกัส ดังนั้นถ้าให้ p เป็นกำลังของเลนส์ และ f เป็นความยาวโฟกัส ก็จะได้ว่า

$$p = \frac{1}{f}$$

ถ้าความยาวโฟกัสมีหน่วยเป็นเมตร กำลังของเลนส์จะมีหน่วยเป็น ไดออปเตอร์ (diopter) ความสะดวกที่ได้จากการกำหนดปริมาณที่เรียกว่า กำลังของเลนส์ขึ้นมา ก็คือการหาความยาวโฟกัสรวมของเลนส์ประกบ โดยพบว่า ถ้ามีเลนส์ที่มีความยาวโฟกัส f_1 มาประกบกับเลนส์ที่มีความยาวโฟกัส f_2 เลนส์ประกบที่ได้จะมีความยาวโฟกัสเป็น $f_{รวม}$ โดย

$$\frac{1}{f_{รวม}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

นั่นคือ ถ้าให้ $p_{รวม}$ เป็นกำลังของเลนส์ประกบ

และ p_1 กับ p_2 เป็นกำลังของเลนส์ทั้งสองที่นำมาประกบกัน จะได้ว่า

$$p_{รวม} = p_1 + p_2$$

ในการกำหนดค่ากำลังของเลนส์ต้องคำนึงถึงชนิดของเลนส์ด้วย โดยเลนส์นูนจะมีค่ากำลังของเลนส์เป็นบวก และเลนส์เว้ามีค่ากำลังเป็นลบ

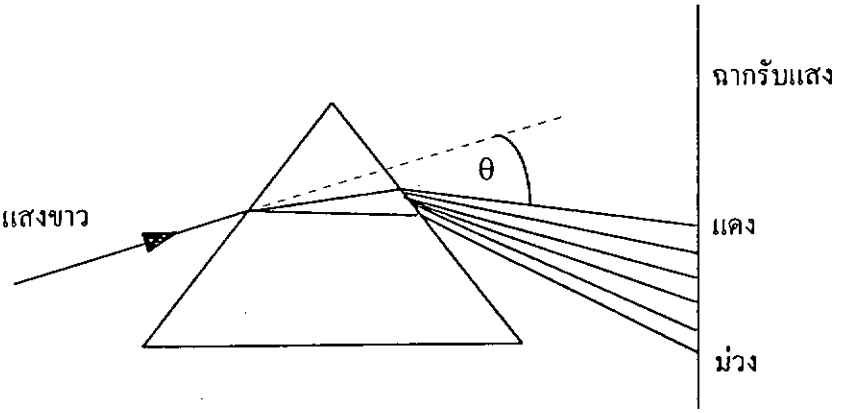
6.6 ความคลาดเคลื่อนทรงกลมของเลนส์ (spherical aberration with lenses)

โดยทั่วไป เมื่อมีแสงขนานที่ขนานกับแกนมุขสำคัญของเลนส์เว้ามาตกกระทบ รังสีแสงเหล่านั้นจะหักเหผ่านเลนส์ แล้วไปตัดกันที่จุดโฟกัสบนแกนมุขสำคัญ แต่ในความเป็นจริงแล้ว ถ้าหน้าเลนส์มีลักษณะเป็นทรงกลม รังสีขนานที่อยู่ไกลออกไปจากจุดกึ่งกลางของเลนส์จะหักเหแล้วไปตัดกับแกนมุขสำคัญที่ระยะใกล้กว่าความยาวโฟกัส ในขณะที่รังสีที่อยู่ใกล้จุดศูนย์กลางหักเหไปตัดตรงจุดที่ใกล้กับจุดโฟกัสมากกว่า เรียกเหตุการณ์ที่เกิดนี้ว่า ความคลาดเคลื่อนทรงกลมของเลนส์ ซึ่งมีผลทำให้ภาพที่เกิดจากเลนส์ไม่คมชัดหรือผิดไปจากความเป็นจริง การลดความคลาดเคลื่อนนี้อาจจะทำได้โดยลดขนาดของเลนส์ลง แต่การทำเช่นนี้ก็จะทำให้ภาพที่ได้มืดลง การลดความคลาดเคลื่อนอีกวิธีหนึ่งคือการใช้เลนส์อีกตัวมาประกบ โดยต้องเลือกเลนส์ที่จะนำมาประกบให้ชดเชยความไม่สมบรูณ์ของเลนส์อันแรก

7. การกระจายของแสง (dispersion of light)

แสงที่เราเห็นในธรรมชาติทุก ๆ วัน เช่นแสงอาทิตย์ แสงจากหลอดไฟ เป็น *แสงขาว* (white light) โดยแสงขาวนี้ประกอบด้วยแสงสีต่าง ๆ ได้แก่ ม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง แสด แดง เมื่อผ่านแสงเข้าไปในตัวกลางที่ยอมให้แสงผ่านได้ เช่นแก้ว หรือ น้ำ จะเกิดการหักเหของแสงขึ้น ทั้งนี้สารชนิดเดียวกันจะมีดัชนีหักเหสำหรับแสงสีต่าง ๆ ไม่เท่ากัน ดังนั้นเมื่อผ่านแสงไปในอุปกรณ์เช่นปริซึม ก็จะเห็นแสงขาวกระจายออกเป็นสีต่าง ๆ ดังกล่าว เรียกแสงสีที่กระจายออกมาจากแสงขาวว่า*สเปคตรัมของแสงสีขาว*

รูปที่ 3.9 แสดงการที่เมื่อฉายแสงขาวผ่านปริซึม แล้วทำให้แสงขาวนั้นกระจายออกเป็นสีต่าง ๆ มุม θ ในรูปเรียกว่า มุมเบี่ยงเบน สังเกตได้ว่า มุมเบี่ยงเบนของแสงสีแดงมีค่าน้อยที่สุด ในขณะที่มุมเบี่ยงเบนของแสงสีม่วงมีค่ามากที่สุด



รูปที่ 3.9 การกระจายของแสงขาวผ่านปริซึม

อีกปรากฏการณ์หนึ่งที่แสดงให้เห็นถึงการกระจายของแสงที่ชัดเจนก็คือ การเกิดรุ้งกินน้ำ ซึ่งกลไกในการเกิดรุ้งคือ แสงจากดวงอาทิตย์หักเหเข้าไปในละอองน้ำ แล้วเกิดการสะท้อนที่ผิวด้านตรงข้ามของละอองน้ำ แล้วหักเหออกจากละอองน้ำ เนื่องจากดัชนีหักเหของละอองน้ำที่มีต่อแสงสีต่าง ๆ ไม่เท่ากัน แสงที่ออกมาจากละอองน้ำจึงเกิดการกระจาย ทำให้เราเห็นรุ้งกินน้ำเป็นแสงสีต่าง ๆ สำหรับการเกิดรุ้งกินน้ำนี้ ถ้ามีการสะท้อนของแสงในละอองน้ำเพียงครั้งเดียว จะเรียกรุ้งกินน้ำนั้นว่า *รุ้งปฐมภูมิ* แต่ถ้าเกิดการสะท้อนสองครั้ง จะเรียกรุ้งกินน้ำนี้ว่า *รุ้งทุติยภูมิ*

8. ความสว่าง ปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณในเรื่องของความสว่างของแสงประกอบด้วย

1. <u>ความเข้มแห่งการส่องสว่าง</u> (Luminous intensity) เป็นปริมาณที่บ่งบอกถึงความสว่างของแหล่งกำเนิดแสง หน่วยของความเข้มแห่งการส่องสว่างคือ *แคนเดลา* (candela) โดยกำหนดว่า แหล่งกำเนิดแสงที่มีความเข้มแห่งการ ส่องสว่าง 1 แคนเดลา เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีความสว่างเท่ากับความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงมาตราฐาน ซึ่งเปล่งแสงสีขาวที่อุณหภูมิ 2,046 เคลวิน

2. <u>ปริมาณพลังงานแสงที่ส่องออกจากแหล่งกำเนิดต่อหนึ่งหน่วยเวลา</u> เป็นอัตราการให้พลังงานแสงของแหล่งกำเนิดแสงที่พิจารณา บางครั้งเรียกปริมาณนี้ว่า *ฟลักซ์แห่งการส่องสว่าง* (Luminous flux) หน่วยของอัตราการให้พลังงานแสงนี้คือ *ลูเมน* (Lumen)

3. <u>ความสว่าง</u> (Illuminace) เป็นความสว่างที่ปรากฏบนผิววัตถุรับแสง หน่วยของความสว่างคือ *ลักซ์* (Lux)

ถ้าให้ F เป็น อัตราพลังงานแสงที่ตกบนพื้น หน่วยเป็น ลูเมน

A เป็น พื้นที่รับแสง หน่วยเป็นตารางเมตร

E เป็น ความสว่าง หน่วยเป็นลักซ์

จะได้

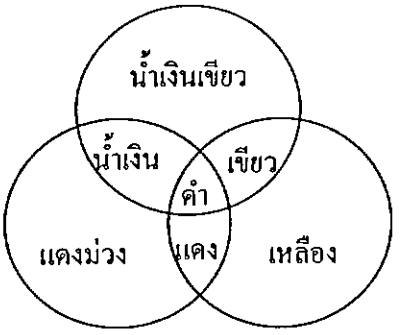
$$E = \frac{F}{A}$$

จากความสัมพันธ์ที่แสดงเห็นได้ว่า 1 ลักซ์ เท่ากับ 1 ลูเมนต่อตารางเมตร

9. สีของวัตถุ

วัตถุแต่ละชนิดจะมีสารที่เรียกว่า *สารสี* ทำหน้าที่ดูดกลืนแสง วัตถุที่มีสารสีต่างกันจะมีสีต่างกัน เช่นวัตถุที่มีสีแดง จะมีสารสีที่ดูดกลืนสีอื่นไว้ แต่ในขณะเดียวกันก็ปล่อยสีแดงออกมา หรือวัตถุที่มีสีเขียว ก็จะมีสารสีที่ดูดกลืนแสงสีอื่นไว้และปล่อยแสงสีเขียวออกมา วัตถุที่มีสีดำมีสารสีที่ดูดกลืนแสงสีไว้ทุกสี ทำให้ไม่มีแสงสีใดสะท้อนเข้าสู่ตาเลย ในทางกลับกัน วัตถุที่มีสีขาวมีสารสีที่สะท้อนแสงออกมาทุกสี

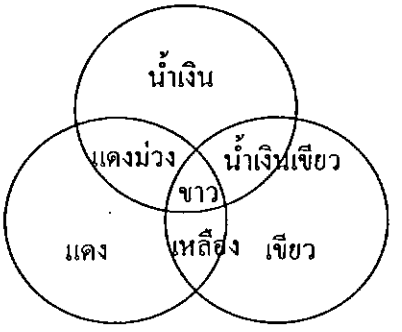
เมื่อนำสีมาผสมกันมักจะได้สีใหม่เกิดขึ้น อย่างไรก็ดี มีสีบางสีที่ไม่สามารถทำให้เกิดขึ้นได้โดยการผสมสีอื่นเข้าด้วยกัน สีดังกล่าวได้แก่ สีแดงม่วง สีเหลือง และสีน้ำเงินเขียว เรียกสีทั้ง 3 นี้ว่า *สีปฐมภูมิ* โดยสามารถ สร้างสีอื่น ๆ ได้จากการผสมสีปฐมภูมิเหล่านี้ โดยลักษณะการผสมเป็นดังรูป 3.10



รูปที่ 3.10 การผสมของสีปฐมภูมิ

รูปที่ 3.10 มีความหมายว่า เมื่อผสมสีน้ำเงินเขียวกับสีแดงม่วง จะได้สีน้ำเงินออกมา หรือถ้าผสมสีแดงม่วง เข้ากับสีเหลือง จะได้สีแดงออกมา เป็นต้น มีข้อน่าสังเกตว่า เมื่อสีปฐมภูมิทั้ง 3 ผสมกันจะได้สีดำ

นอกจากวัตถุจะมีสีต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวไปแล้ว แสงก็มีสีต่าง ๆ เช่นกัน ดังที่ได้ชี้ให้เห็นในเรื่องของการกระจายของแสงแล้ว แสงสีก็มีแสงสีปฐมภูมิ และมีการผสมสีจากแสงสีปฐมภูมิเช่นเดียวกับสีของวัตถุ โดยแสงสีปฐมภูมิได้แก่แสงสีน้ำเงิน แสงสีแดง และแสงสีเขียว การผสมของแสงสีปฐมภูมิทั้ง 3 เป็นไปดังรูปที่ 3.11 ข้างล่าง



รูปที่ 3.11 การผสมของแสงสีปฐมภูมิ

แบบฝึกหัดแสงเชิงเรขาคณิต

1. ต้นกำเนิดแสงต้องอยู่ห่างจากวัตถุทึบแสงรูปทรงกลมรัศมี 5 เซนติเมตร เป็นระยะเท่าใดจึงจะทำให้เกิดเฉพาะเงามืดขนาด 314 ตารางเซนติเมตรบนฉากที่ห่างจากวัตถุออกไป 20 เซนติเมตร

1. 10 เซนติเมตร 2. 20 เซนติเมตร 3. 30 เซนติเมตร 4. 40 เซนติเมตร

2. สุวัจเป็นคนสายตาสั้น คือเขาไม่สามารถมองเห็นวัตถุชัดเจนเมื่อวัตถุนั้นห่างจากตัวเขาเป็นระยะมากกว่า 40 เซนติเมตร ถ้าเข้าต้องการดูสิวที่หน้าในกระจกราบ เขาจะยืนห่างจากกระจกเป็นระยะมากที่สุดเท่าใด

1. 10 เซนติเมตร 2. 20 เซนติเมตร 3. 30 เซนติเมตร 4. 40 เซนติเมตร

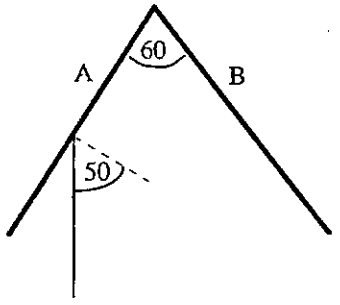
3. ภูมิศักดิ์สูง 190 เซนติเมตร ต้องการส่องกระจกด้วยกระจกราบให้เห็นตัวเองทั้งตัว จะต้องใช้กระจกที่มีความสูงอย่างน้อยเท่าใด

1. 95 เซนติเมตร 2. 115 เซนติเมตร 3. 190 เซนติเมตร 4. 380 เซนติเมตร

4. กระจกราบ 2 บานวางห่างกันเป็นระยะ 2b หันหน้าให้ด้านที่สะท้อนแสงเข้าหากัน เมื่อนำวัตถุมาวางไว้ตรงจุดกึ่งกลางระหว่างกระจกทั้ง 2 จะเกิดภาพขึ้นที่หลังกระจกทั้ง 2 บาน ให้หาระยะระหว่างภาพแต่ละภาพ ที่หลังกระจกแต่ละบาน

1. b 2. 2b 3. 3b 4. 4b

5.



กระจก A และ B ทำมุมกัน 60 องศา รังสีแสงตกกระทบทำมุม 50 องศาที่กระจก A เมื่อแสงสะท้อนไปยัง B มุมตกกระทบจะเป็นเท่าใด

1. 10 องศา 2. 25 องศา 3. 50 องศา 4. 80 องศา

6. ในปัญหาข้อ 5 เมื่อรังสีแสงกลับมาสะท้อนที่กระจก A อีกครั้ง มุมตกกระทบจะเป็นเท่าใด

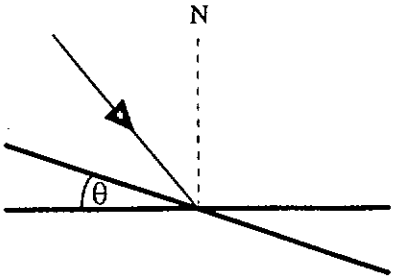
1. 20 องศา 2. 45 องศา 3. 50 องศา 4. 70 องศา

7. ตั้งกระจกราบสูง 5 เซนติเมตร ให้ห่างจากตา 40 เซนติเมตร พบว่าสามารถมองเห็นต้นไม้ที่อยู่ด้านตรงข้ามกับกระจกได้เต็มต้นพอดี ถ้าต้นไม้ห่างจากกระจก 100 เมตร ความสูงของต้นไม้เป็นเท่าใด

1. 5.25 เมตร 2. 7.43 เมตร 3. 12.55 เมตร 4. 20.05 เมตร

8. กระจก 2 แผ่นยาวแผ่นละ 2 เมตรวางขนานและห่างกัน 10 cm. หันด้านที่รับแสงเข้าหากัน ถ้าแสงกระทบที่ขอบกระจกบานหนึ่งด้วยมุมตกกระทบ 53° แสงจะสะท้อนกี่ครั้งจึงจะพ้นกระจกทั้งสอง (sin53 = 4/5)

1. 13 ครั้ง 2. 14 ครั้ง 3. 15 ครั้ง 4. 16 ครั้ง

9. 

วางกระจกในแนวราบ มีรังสีแสงตกกระทบลงมา เมื่อบิดกระจกเป็นมุม θ โดยรังสีตกกระทบไม่มีการเปลี่ยนแปลง รังสีสะท้อนจะเบนไปจากเดิมเป็นมุมเท่าใด

1. θ/2 2. θ 3. 2θ 4. 4θ

10. กระจก 2 บาน ทำมุมกัน 35° ซึ่งกันและกัน ถ้าต้องการให้รังสีสะท้อนจากกระจกทั้ง 2 บานย้อนกลับตามเส้นทางเดิม (สะท้อนบนกระจกบานละ 1 ครั้ง) รังสีตกกระทบจะต้องทำมุมตกกระทบครั้งแรกกี่องศา

1. 17.5° 2. 35° 3. 70° 4. 90°

11. ประโยคใดเป็นประโยคที่ถูกต้อง

1) กระจกนูน สามารถให้ภาพจริง หัวกลับกับวัตถุ

2) กระจกเว้า สามารถให้ภาพจริง หัวตั้งกับวัตถุ

3) กระจกนูน สามารถให้ภาพเสมือน หัวตั้งกับวัตถุ

4) กระจกเว้า สามารถให้ภาพเสมือน หัวกลับกับวัตถุ

12. ในการคำนวณระยะภาพที่เกิดจากการสะท้อนของกระจกเงาราบ จะสามารถใช้สมการต่อไปนี้ได้หรือไม่

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{u}$$

1) ได้โดยแทนค่า f = อนันต์ 2) ได้โดยแทนค่า f = 1

3) ได้โดยแทนค่า f = 0 4) ใช้สมการข้างบนไม่ได้

13. นำวัตถุมาวางไว้หน้ากระจกชนิดหนึ่งให้ห่างเป็นระยะ 30 เซนติเมตร ปรากฏว่าไม่เกิดพาราแลกซ์ระหว่างภาพและวัตถุ กระจกที่ใช้เป็นกระจกชนิดใด

1. กระจกนูน ความยาวโฟกัส 15 เซนติเมตร 2. กระจกนูน ความยาวโฟกัส 30 เซนติเมตร

3. กระจกเว้า ความยาวโฟกัส 15 เซนติเมตร 4. กระจกเว้า ความยาวโฟกัส 30 เซนติเมตร

14. ในการเกิดภาพบนกระจกนูนนั้น หากปิดส่วนที่รับแสงของกระจกส่วนล่าง ให้เหลือส่วนที่รับแสงเพียงครึ่งเดียวในครึ่งบน ผลที่เกิดขึ้นแก่ภาพจะเป็นอย่างไร

1. ภาพส่วนล่างของวัตถุจะหายไป เหลือแต่เพียงภาพส่วนบน

2. ภาพส่วนบนของวัตถุจะหายไป เหลือแต่เพียงภาพส่วนล่าง

3. ยังปรากฏภาพของวัตถุทั้งชิ้น แต่ความสว่างของภาพลดลง

4. ไม่มีผลต่อการเกิดภาพ

15. กระจกโค้งอันหนึ่งมีรัศมีความโค้ง 30 เซนติเมตร จะต้องนำวัตถุวางไว้ให้ห่างจากกระจกเป็นระยะทางเท่าใด จึงจะเกิดภาพเสมือนขนาดขยาย 3 เท่า และกระจกที่ใช้เป็นกระจกชนิดใด

1. กระจกเว้า ห่างจากกระจก 5 เซนติเมตร
2. กระจกเว้า ห่างจากกระจก 10 เซนติเมตร
3. กระจกนูน ห่างจากกระจก 15 เซนติเมตร
4. กระจกเว้า ห่างจากกระจก 20 เซนติเมตร

16. ในการสะท้อนด้วยกระจกเว้า ถ้า X เป็นระยะระหว่างวัตถุกับจุดโฟกัส และ Y เป็นระยะระหว่างภาพกับจุดโฟกัส จะสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวโฟกัส f กับ Xและ Y ได้ว่า

1) $f = X/Y$ 2) $f^2 = X/Y$

3) $f = XY$ 4) $f^2 = XY$

17. ถ้าต้องการให้กระจกส่องหลังรถยนต์สะท้อนแสงเป็นมุมกว้างควรจะใช้

1) กระจกเว้า โดยคนขับต้องตระหนักว่า ภาพที่เห็นนั้นมีขนาดเล็กและไกลกว่าความเป็นจริง
2) กระจกนูน โดยคนขับต้องตระหนักว่า ภาพที่เห็นนั้นมีขนาดเล็กและไกลกว่าความเป็นจริง
3) กระจกเว้า โดยคนขับต้องตระหนักว่า ภาพที่เห็นนั้นมีขนาดใหญ่และใกล้กว่าความเป็นจริง
4) กระจกนูน โดยคนขับต้องตระหนักว่า ภาพที่เห็นนั้นมีขนาดใหญ่และใกล้กว่าความเป็นจริง

18. สมการของกำลังขยายของกระจกโค้งในเทอมของ ความยาวโฟกัส และระยะวัตถุ เขียนได้เป็น

1) $f/(u-f)$ 2) $f/(u+f)$

3) $uf/(u-f)$ 4) $uf/(u+f)$

19. ถ้าอัตราเร็วของแสงในน้ำเป็น 2.25×10^8 เมตร/วินาที ค่าดัชนีหักเหของน้ำจะเป็นเท่าใด

1) 1.33 2) 1.45

3) 1.55 4) 1.67

20. การทำให้เพชรดูแวววาวมากขึ้น ต้องทำให้เกิดการสะท้อนกลับหมดในเพชร ถ้าดัชนีหักเหของเพชรมีค่าเท่ากับ 2.42 มุมวิกฤตของเพชรมีค่าเท่าใด

1) arcsin 0.22 2) arcsin 0.27

3) arcsin 0.36 4) arcsin 0.41

21. วางแท่งแก้วหนา 12 เซนติเมตรทับบนหนังสือ เมื่อสมเจตต์มองตัวหนังสือผ่านแท่งแก้ว เขาจะเห็นว่าตัวหนังสือสูงขึ้นมาจากความเป็นจริงเท่าใด กำหนดให้ดัชนีหักเหของแก้ว = 1.5

1. 0.5 เซนติเมตร 2. 1.5 เซนติเมตร
3. 4.0 เซนติเมตร 4. 6 เซนติเมตร

22. วัตถุ A มีดัชนีหักเห 5/4 ในขณะที่วัตถุ B มีดัชนีหักเห 5/3 เมื่อเปรียบเทียบอัตราเร็วของแสงที่แผ่ในวัตถุทั้งสองจะพบว่า

1. แสงเดินทางใน A ช้ากว่าใน B อยู่ 3/5 เท่า
2. แสงเดินทางใน A ช้ากว่าใน B อยู่ 3/4 เท่า
3. แสงเดินทางใน B ช้ากว่าใน A อยู่ 3/5 เท่า
4. แสงเดินทางใน B ช้ากว่าใน A อยู่ 3/4 เท่า

23. สมชายยืนห่างจากบ่อน้ำที่มีน้ำเต็มเป็นระยะ 2.4 เมตร ถ้าสมชายสูง 1.8 เมตร และดัชนีหักเหของน้ำเป็น 4/3 ปลาซึ่งอยู่ในบ่อที่ความลึก 6 เมตรจะเห็นว่าสมชายสูงเท่าใด

1. 0.6 เมตร
2. 1.8 เมตร
3. 3.2 เมตร
4. 4.4 เมตร

24. เมื่อแสงตกกระทบบนผิวเบนซิน ซึ่งมีค่าดัชนีหักเห 1.5 ด้วยมุมตกกระทบ 35 องศาแนวการแผ่ของรังสีแสงในเบนซินจะทำมุมเท่าใดกับผิวรอยต่อ กำหนด sin22.5 = 0.382 sin35 = 0.574 sin67.5 = 0.924

1. 22.5°
2. 35°
3. 67.5°
4. 55°

25. ชาวประมง กำลังเล็งฉมวกไปยังปลาตัวหนึ่งที่อยู่ใต้น้ำ ปรากฏว่าแนวที่เขาเล็งฉมวกตามประสาทตาของเขาทำมุม 50 องศากับแนวที่ตั้งฉากกับผิวน้ำ ให้หาว่าแสงจากปลาทำมุมเท่าใดกับผิวน้ำ กำหนดให้ดัชนีหักเหของน้ำ = 1.33 sin35.2 = 0.576 sin40 = 0.643 sin50 = 0.766 sin54.8 = 0.817

1. 35.2°
2. 40°
3. 50°
4. 55°

26. ไฟฉายอันหนึ่งจมอยู่ในสระน้ำลึก 4 เมตร ในลักษณะที่ฉายแสงขึ้น ปรากฏว่าเกิดเป็นบริเวณสว่างรูป วงกลมรัศมี 2 เมตร ที่ผิวน้ำ ให้หามุมระหว่างรังสีแสงที่ขอบวงกลมในอากาศกับแนวดิ่ง กำหนดให้ดัชนีหักเหของน้ำ = 1.33

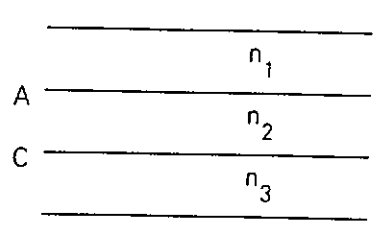
1. $\sin^{-1}(0.295)$
2. $\sin^{-1}(0.405)$
3. $\sin^{-1}(0.511)$
4. $\sin^{-1}(0.595)$

27. มุมวิกฤตระหว่างผิวรอยต่อของน้ำและแก้วมีค่าเท่าใด และถ้าจะให้เกิดการสะท้อนกลับหมด ต้นกำเหนิดแสง ควรจะอยู่ในตัวกลางใด กำหนดให้ดัชนีหักเหของน้ำและแก้ว เป็น 1.33 และ 1.52 ตามลำดับ

1. อยู่ในแก้ว และ sine ของมุมวิกฤต = 0.452
2. อยู่ในแก้ว และ sine ของมุมวิกฤต = 0.875
3. อยู่ในน้ำ และ sine ของมุมวิกฤต = 0.452
4. อยู่ในน้ำ และ sine ของมุมวิกฤต = 0.875

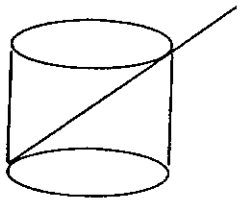
28. แสงที่เดินทางเข้าไปในตัวกลางชนิดหนึ่ง ซึ่งมีค่ามุมวิกฤตเท่ากับ 30 องศานั้น จะมีความเร็วในตัวกลางนั้นกี่เมตรต่อวินาที

1. 1.0×10^4 2. 5.0×10^7 3. 1.0×10^8 4. 1.5×10^8

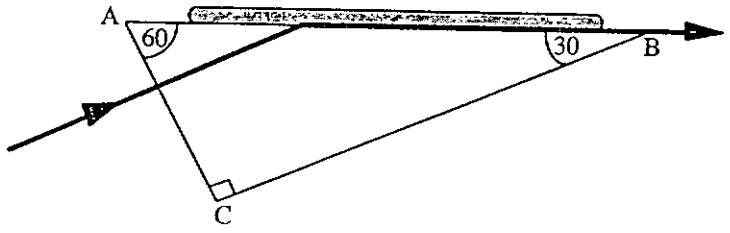
29. 

แผ่นตัวกลางโปร่งใสสามชนิด ดัชนีหักเห n_1, n_2, n_3 วางซ้อนกันดังรูป ให้แสงตกกระทบในแผ่นแก้วแผ่นแรกที่มีดัชนีหักเห n_1 แล้วผ่านต่อไปยังแผ่นที่ 2 และ 3 ถ้าต้องการให้เกิดการสะท้อนกลับหมดเฉพาะที่ผิว CD ค่าดัชนีหักเหทั้ง 3 จะมีความสัมพันธ์ดังข้อใด

1. $n_1 > n_2 > n_3$ 2. $n_1 < n_2 > n_3$ 3. $n_1 > n_2 < n_3$ 4. $n_1 < n_2 < n_3$

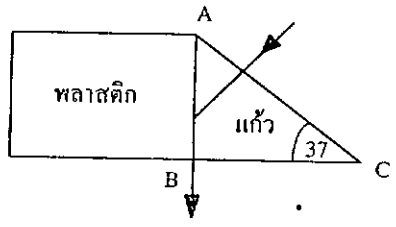
30. 
ทรงกระบอกแก้วกลวงสูง h มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร เมื่อตามองตามแนวดังรูป จะเห็นขอบของทรงกระบอกแก้ว แต่เมื่อเติมน้ำจนเต็ม และตาอยู่ที่ตำแหน่งเดิม จะเห็นจุดศูนย์กลางของก้นทรงกระบอก ให้หาความสูง h (ดัชนีหักเหของน้ำ = 5/4)

1. 1.92 เมตร 2. 2.45 เมตร 3. 3.01 เมตร 4. 4.12 เมตร

31. 

รังสีแสงตกกระทบปริซึมทางด้าน AC โดยแนวการแผ่ของแสงตั้งฉากกับ AC ถ้าวัตถุที่ใช้ทำปริซึมมีดัชนีหักเห 1.5 จะต้องนำของเหลวที่มีค่าดัชนีหักเหชนิดใดข้างล่างมาวางบนด้าน AB แนวการแผ่ของรังสีหักเหจึงจะอยู่ในแนว AB

1. 1.2 2. 1.3 3. 1.4 4. 1.5

32. 

แสงตกกระทบบนปริซึมแก้วบนด้าน AC ในแนวตั้งฉากพบว่า แสงหักเหไปตามแนว AB ของปริซึมซึ่งต่อกับพลาสติก ถ้าดัชนีหักเหของแก้วที่ทำปริซึมเป็น 1.5 ดัชนีหักเหของพลาสติก จะเป็นเท่าใด (กำหนด sin37 = 3/5 และ sin53 = 4/5)

1. 1.2 2. 1.3 3. 1.4 4. 1.5

33. ในข้อที่ 32 ถ้าเปลี่ยนพลาสติกเป็นวัตถุที่มีดัชนีหักเห 1.54 จะเกิด

1. การหักเหของแสงเข้าไปในวัตถุใหม่ โดย sin ของมุมหักเหมีค่า 0.32

2. การหักเหของแสงเข้าไปในวัตถุใหม่ โดย sin ของมุมหักเหมีค่า 0.78

3. การสะท้อนกลับหมด โดยมุมสะท้อน = 37 องศา

4. การสะท้อนกลับหมด โดยมุมสะท้อน = 53 องศา

34. แสงจากต้นกำเนิดในของเหลวที่มีดัชนีหักเห 1.4 ตกกระทบที่ผิวรอยต่อระหว่างของเหลวและอากาศ ด้วยมุมตกกระทบที่มีค่า sine เท่ากับ 0.8 ข้อสรุปต่อไปนี้ข้อใดดีที่สุด

1. แสงจะหักเหออกจากของเหลวเข้าสู่อากาศด้วยมุมหักเหที่มีค่า sine น้อยกว่า 0.8

2. แสงจะหักเหออกจากของเหลวเข้าสู่อากาศด้วยมุมหักเหที่มีค่า sine มากกว่า 0.8

3. เกิดการสะท้อนกลับหมด

4. แสงจะหักเหด้วยมุมหักเหที่มีค่า 90°

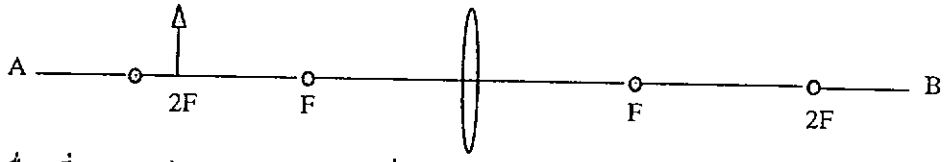
35. ปลาในน้ำที่มีดัชนีหักเห 4/3 จะเห็นดวงอาทิตย์ซึ่งอยู่ในแนวขอบฟ้าทำมุมเท่าใดกับผิวน้ำ

1. $\arcsin\frac{3}{4}$ 2. $\arccos\frac{3}{4}$ 3. $90 - \arcsin\frac{3}{4}$ 4. $90 - \arccos\frac{3}{4}$

36. วางวัตถุให้ห่างจากเลนส์นูนบางความยาวโฟกัส 15 เซนติเมตร ทำให้เกิดภาพเสมือนขนาด 3 เท่าของวัตถุ วัตถุและภาพห่างกันเท่าใดในหน่วยเซนติเมตร

1. 10 2. 20 3. 30 4. 40

37.



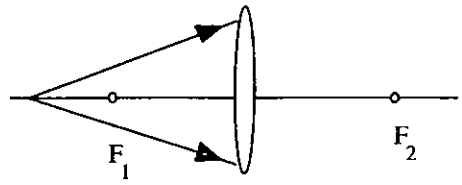
ถ้าวัตถุเคลื่อนที่จาก 2F ไป F ทางด้าน A เมื่อ F ในรูปเป็นจุดโฟกัสของเลนส์ ภาพที่เกิดขึ้นบนด้าน B จะเคลื่อนที่จากที่ใดไปที่ใด

1. 2F ไป F 2. 2F ไปอนันต์ 3. F ไป 2F 4. F ไปเลนส์

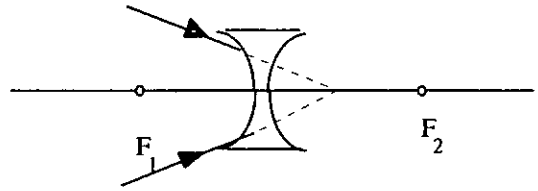
38. ความยาวโฟกัสของเลนส์ใกล้วัตถุของกล้องจุลทัศน์มีค่า 1.5 เซนติเมตร และของเลนส์ใกล้ตามีค่า 2.5 เซนติเมตร ถ้าวัตถุที่จะมองอยู่ห่างจากเลนส์ใกล้วัตถุเป็นระยะ 1.75 เซนติเมตร และต้องการให้ภาพขยายที่มองผ่านกล้องอยู่ห่างจากเลนส์ใกล้ตาเป็นระยะ 25 เซนติเมตร ระยะระหว่างเลนส์ทั้ง 2 เป็นเท่าใดในหน่วยเซนติเมตร

1. 25.0 2. 23.5 3. 12.8 4. 10.5

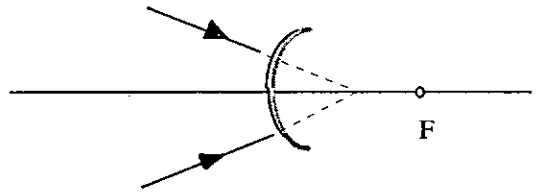
ก.



ข.



ค.

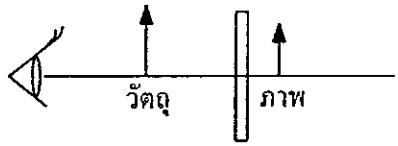


ลูกศรในรูป แทนรังสีของแสงตกกระทบเลนส์และกระจกโค้ง กรณีใดบ้างที่ได้ภาพจริง

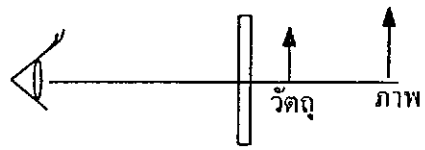
1. เฉพาะ ก. เท่านั้น
2. ก และ ข
3. ข และ ค
4. ก และ ค

40. พิจารณาภาพต่อไปนี้

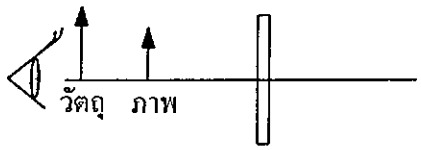
ก.



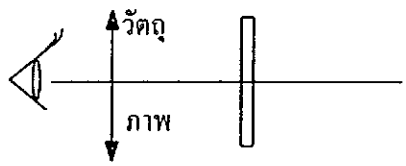
ข.



ค.



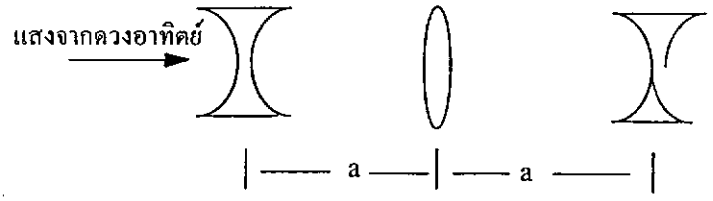
ง.



1. A เป็นกระจกเว้า, B เป็นเลนส์นูน, C เป็นกระจกนูน, D เป็นเลนส์เว้า
2. A เป็นเลนส์เว้า, B เป็นกระจกนูน, C เป็นกระจกเว้า, D เป็นเลนส์นูน
3. A เป็นเลนส์นูน, B เป็นเลนส์เว้า, C เป็นกระจกนูน, D เป็นกระจกเว้า
4. A เป็นกระจกนูน, B เป็นเลนส์นูน, C เป็นเลนส์เว้า, D เป็นกระจกเว้า

41. เลนส์นูน 2 อัน ความยาวโฟกัส 4 และ 16 เซนติเมตร ตามลำดับ วางห่างกัน 20 เซนติเมตร มีวัตถุวางห่างจากเลนส์อันแรก 6 เซนติเมตร และไม่ได้วางระหว่างเลนส์ทั้ง 2 ให้หาตำแหน่งและลักษณะของภาพ สุดท้ายที่เกิดขึ้นเนื่องจากเลนส์ทั้งสอง

1. เกิดภาพเสมือนที่ระยะ 16 เซนติเมตร จากเลนส์อันที่ 2
2. เกิดภาพจริงที่ระยะ 16 เซนติเมตร จากเลนส์อันที่ 2
3. เกิดภาพเสมือนที่ระยะ 48 เซนติเมตร จากเลนส์อันที่ 2
4. เกิดภาพจริงที่ระยะ 48 เซนติเมตร จากเลนส์อันที่ 2



เลนส์เว้าความยาวโฟกัส 10 ซม. 2 อัน และเลนส์นูนความยาวโฟกัส 20 ซม. วางรับแสงอาทิตย์ ดังรูป ถ้าลำแสงสุดท้ายที่ผ่านเลนส์ทั้ง 3 เป็นลำแสงขนาน ระยะ a จะเป็นเท่าใด

1. 10 เซนติเมตร 2. 20 เซนติเมตร 3. 30 เซนติเมตร 4. 40 เซนติเมตร

43. หลอดไฟอยู่ในน้ำลึก 130 เซนติเมตร มีเลนส์นูนความยาวโฟกัส 20 เซนติเมตรอยู่เหนือผิวน้ำเป็นระยะ 20 เซนติเมตร ในแนวเดียวกับหลอดไฟ ให้ดัชนีหักเหของน้ำมีค่า 1.3 จะได้ภาพของหลอดไฟห่างจากผิวน้ำเท่าใด

1. 17 เซนติเมตร 2. 23 เซนติเมตร 3. 32 เซนติเมตร 4. 44 เซนติเมตร

44. ในการทดลองหาความยาวโฟกัสของเลนส์นูน โดยวางกระจกเงาราบไว้หลังเลนส์นูนเป็นระยะ 10 ซม. และวางวัตถุไว้หน้าเลนส์นูนเป็นระยะ 20 เซนติเมตร ปรากฏว่าเกิดภาพไม่มีพาราแลกซ์กับวัตถุ ความยาวโฟกัสของเลนส์นูนจะมีค่าเท่ากับ

1. 10 เซนติเมตร 2. 15 เซนติเมตร 3. 20 เซนติเมตร 4. 40 เซนติเมตร

45. วราเทพเป็นคนสายตาสั้น หลังจากที่เขาใส่แว่นที่เป็นแก้ว (n=1.50) แล้วปรากฏว่า เห็นภาพชัดเจนดี ถ้าวราเทพใส่แว่นนี้ดำน้ำ (n=1.33) สายตาของเขาจะมีลักษณะของ

1. สายตาปกติ 2. สายตาสั้น
3. สายตายาว 4. ข้อมูลไม่เพียงพอ

46. ถ้าฉายแสงสีน้ำเงินลงไปบนวัตถุที่มีสีแดง จะเห็นวัตถุเป็นสีอะไร

1. แดงม่วง 2. แดง 3. น้ำเงิน 4. ดำ

47. ถ้าฉายแสงสีขาวไปในน้ำหวานที่มีสีเขียว จะเห็นน้ำหวานเป็นสีอะไร

1. สีขาว 2. สีเขียว 3. สีแดง 4. สีดำ

48. ถ้าฉายแสงสีเหลืองไปบนธงชาติไทย จะเห็นเป็นสีอะไร

1. แถบเหลือง 2 แถบ บนพื้นดำ
2. แถบดำ 2 แถบ บนพื้นเหลือง
3. สีเหลืองทั้งผืน
4. แถบแดง ขาว และน้ำเงิน

เฉลยแบบฝึกหัดแสงเชิงเรขาคณิต

1. ตอบ 2	2. ตอบ 2	3. ตอบ 1	4. ตอบ 2	5. ตอบ 1	6. ตอบ 4
7. ตอบ 3	8. ตอบ 4	9. ตอบ 3	10.ตอบ 3	11. ตอบ 3	12 ตอบ 1
13. ตอบ 3	14. ตอบ 3	15. ตอบ 2	16. ตอบ 4	17. ตอบ 2	18 ตอบ 1
19. ตอบ 1	20.ตอบ 4	21. ตอบ 3	22. ตอบ 4	23. ตอบ 3	24. ตอบ 3
25. ตอบ 4	26. ตอบ 4	27. ตอบ 1	28. ตอบ 4	29. ตอบ 2	30. ตอบ 1
31. ตอบ 2	32. ตอบ 1	33. ตอบ 2	34. ตอบ 3	35. ตอบ 3	36. ตอบ 2
37. ตอบ 2	38. ตอบ 3	39. ตอบ 2	40. ตอบ 4	41. ตอบ 1	42. ตอบ 3
43. ตอบ 4	44. ตอบ 3	45. ตอบ 2	46. ตอบ 4	47. ตอบ 2	48. ตอบ 1