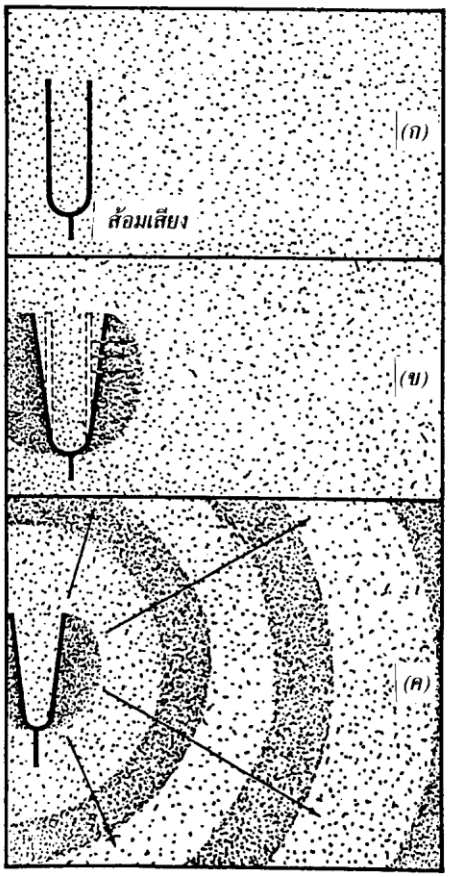
เอกสารประกอบการเรียนวิชาฟิสิกส์พื้นฐาน
หน่วยการเรียนรู้ที่ 3 เรื่อง คลื่น (เสียง)

เสียง เป็นคลื่นกลชนิดคลื่นตามยาวเกิดจากการสั่นสะเทือนของวัตถุ และสามารถถ่ายโอนพลังงานการสั่นของตัวก่อกำเนิดเสียงไปในตัวกลางยืดหยุ่น เช่น อากาศ ของเหลว ของแข็ง เป็นต้น เสียงไม่สามารถเดินทางผ่านสุญญากาศไปได้

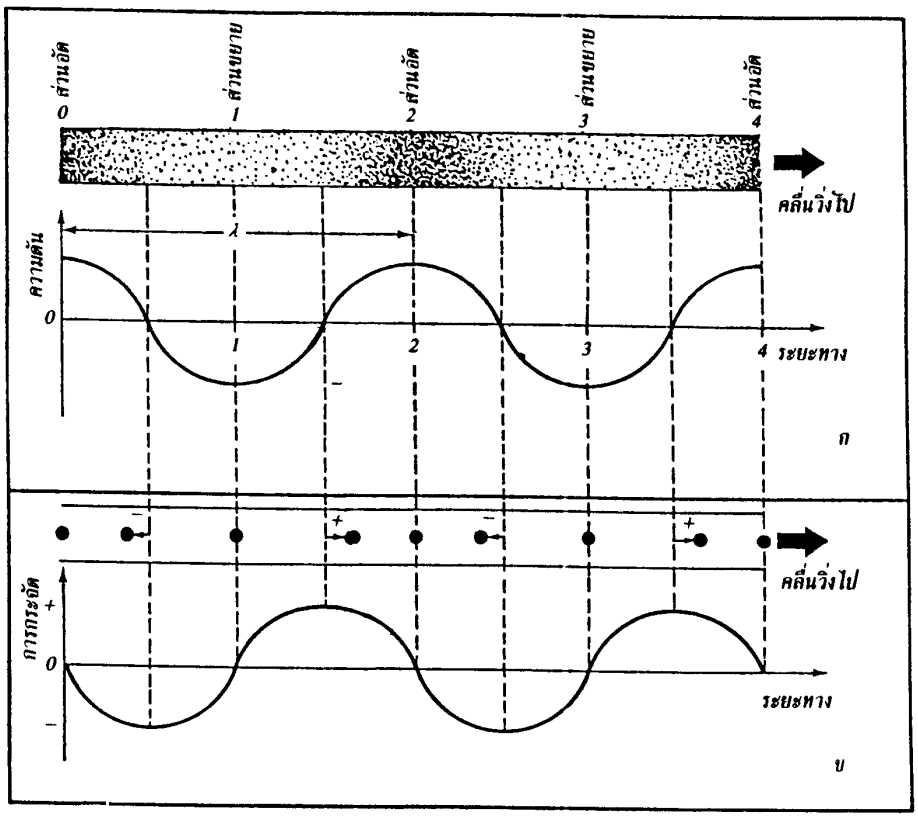
เสียงสามารถแสดงสมบัติของคลื่นได้หมด ได้แก่ การสะท้อน การหักเห การแทรกสอด การเลี้ยวเบน เป็นต้น

1. การเคลื่อนที่ของเสียงผ่านตัวกลาง

ตัวอย่างของการสั่นของวัตถุที่ทำให้เกิดคลื่นเสียง ได้แก่ การสั่นของส้อมเสียง (TUNING FORk) พิจารณารูป 5.1 (ก) แสดงการจัดตังของโมเลกุลของงอากาศในสภาวะปกติ เมื่อส้อมเสียงสั่นจังหวะที่มันง้างออกจะถ่ายโอนแรงให้โมเลกุลของอากาศ ดังรูป 5.1 (ข) โดยจะมีโดยจะมีโมเลกุลบางกลุ่มเท่านั้นที่เริ่มรับแรงจากการสั่นของส้อมเสียง แล้วหลังจากนั้นจะมีการถ่ายทอดแรงนั้นออกไป อย่างต่อเนื่องเป็นไปตามจังหวะการสั่นของส้อมเสียง ทั้งนี้อาจคิดได้ว่าโมเลกุลของอากาศยึดกันอย่างหลวมๆ คล้ายกับมีสปริงต่อกัน ถ้าส้อมเสียงสั่นด้วยความถี่หนึ่ง จำนวนกลุ่มของโมเลกุลที่ถูกอัดจะเกิดขึ้นด้วยความถี่เดียวกัน (ดูรูป 5.1 (ค) ประกอบ) แผ่กว้างออกไปเรื่อยๆ เช่นเดียวกับคลื่นนำที่เกิดขึ้นเมื่อเราปาก้อนหินลงไปกระทบผิวนน้ำในสระน้ำ



รูปที่ 5.1



รูป 5.2

หากพิจารณาโมเลกุลที่ถูกอัดเป็นจังหวะเท่ากับจังหวะการสั่นของแหล่งกำเนิด ดังรูป 5.2 (ก) บริเวณที่โมเลกุลถูกอัดเรียกว่า ส่วนอัด จะมีความดันสูงมาก ตรงที่ไม่ถูกอัดเรียกว่า ส่วนขยาย จะมีความดันต่ำมาก ซึ่งสามารถดูเทียบกับกราฟความดันกับระยะทาง เมื่อความยาวคลื่นของคลื่นเสียงคือ λ

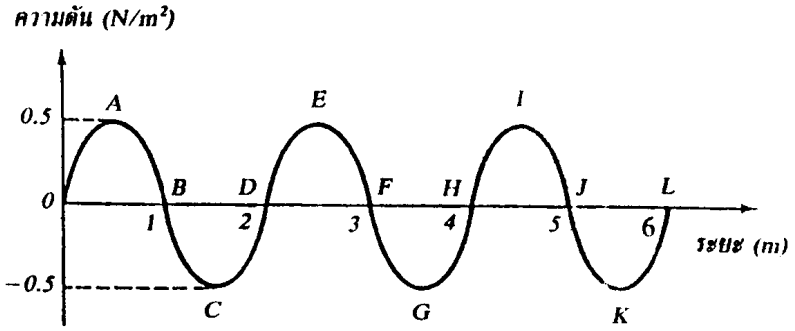
หากพิจารณาการกระจัดของโมเลกุลจากจุดสมดุลตรงส่วนอัดและส่วนขยาย การกระจัดของโมเลกุลจะเป็นศูนย์ โมเลกุลที่อยู่ทางขวามือของส่วนขยายการกระจัดมีค่าเป็นบวก โมเลกุลที่อยู่ทางซ้ายมือของส่วนขยายการกระจัดจะมีค่าเป็นลบ ดังรูป 5.2 (ข) และกึ่งกลางระหว่างส่วนอัดและส่วนขยายการกระจัดของโมเลกุลจะมีค่าสูงสุด จากรูป 5.2 (ข) นี้จะเห็นได้ว่า การสั้นของโมเลกุลอากาศอยู่ในแนวเดียวกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง ด้วยเหตุนี้คลื่นเสียงจึงเป็นคลื่นตามยาว และเมื่อเปรียบเทียบกราฟความดันกับกราฟการกระจัดในรูป 5.2 (ก) กับ (ข) จะเห็นว่าเฟสต่างกันอยู่ $\frac{\pi}{2}$

ตัวอย่าง 1 จากรูป แสดงกราฟความดันอากาศกับระยะทางของคลื่นเสียง ถามว่า

ก. ความยาวคลื่นเป็นเท่าไร

ข. แอมพลิจูดของคลื่นเป็นเท่าไร

ค. จุดใดบ้างที่การกระจัดของโมเลกุลสูงมาก



วิธีทำ ก. จากรูป 5.2 (ก) ความยาวคลื่นของคลื่นเสียงวัดจากช่วงอัดหนึ่งจนถึงช่วงอัดถัดไปที่ใกล้ที่สุด ดังนั้น ตามรูปที่โจทย์กำหนดจะได้ความยาวคลื่นเท่ากับ 2 m

นั่นคือ ความยาวคลื่นเท่ากับ 2 เมตร

ข. แอมพลิจูด วัดจากระดับสมดุลของคลื่นจนถึงสันคลื่นหรือท้องคลื่น จากกราฟความดันกับระยะทางจะเห็นว่าสันคลื่นคือส่วนอัด และท้องคลื่นคือส่วนขยาย และจากรูปที่โจทย์กำหนดเมื่อวัดระยะจากระดับสมดุลถึงสันคลื่นจะได้ 0.5 N/m^2

นั่นคือ แอมพลิจูดเท่ากับ 0.5 นิวตันต่อเมตร^2

ค. ถ้าเปรียบเทียบรูปที่โจทย์กำหนดให้กับรูป 5.2 (ข) พบว่าจุดที่มีการกระจัดสูงสุดเป็นบวก คือ D, H และ L จุดที่มีการกระจัดสูงสุดเป็นลบ คือ B, F และ J

นั่นคือ จุดที่มีการกระจัดสูงสุด ได้แก่ B, D, F, H, J และ 1

อัตราเร็วของเสียง

คลื่นเสียงเคลื่อนที่ไปในตัวกลางที่เป็น อากา ของเหลว และของแข็งจะมีอัตราเร็วต่างกัน อัตราเร็วในของแข็งจะมากที่สุด รองลงมาเป็นของเหลวและอากาศ ตามลำดับ สำหรับอัตราเร็วคลื่นเสียงในอากาศพบว่าแปรผันโดยตรงกับรากที่สองอุณหภูมิเคลวิน โดยจะได้

$$V = V_0\sqrt{\frac{T}{273}} \qquad \text{.....(5-1)}$$

เมื่อ V เป็นอัตราเร็วเสียงที่อุณหภูมิหนึ่ง V_0 เป็นอัตราเร็วเสียง 273 เคลวิน และ T เป็นอุณหภูมิในหน่วยเคลวินในอีกกรณีหนึ่งถ้า t เป็นอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส จะได้

$$V = 331 + 0.6t \qquad \text{.....(5-2)}$$

สมการ (5-2) เป็นการคำนวณอัตราเร็วเสียงโดยประมาณ ถ้าต้องการทราบอัตราเร็วเสียงที่ถูกต้องจะต้องคำนวณตามสมการ (5-1)

ตาราง 5.1 แสดงอัตราเร็วเสียงในตัวกลางต่างๆ

ก๊าซ		ของเหลวที่ 25^0C		ของแข็ง	
สาร	V (m/s)	สาร	V (m/s)	สาร	V (m/s)
อากาศ (0^0C)	331	น้ำ	1,490	อะลูมิเนียม	5,100
อากาศ (100^0)	336	น้ำทะเล	1,530	ทองแดง	3,560
ไฮโดรเจน (0^0C)	1,290	เมทิลแอลกอฮอล์	1,140	เหล็ก	5,130
ออกซิเจน (0^0C)	317			ตะกั่ว	1,320
ฮีเลียม (0^0C)	972			ยาง	54

ตัวอย่าง 2 บริเวณหนึ่งในอากาศอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ถ้าต่อมาอุณหภูมิเปลี่ยนเป็น 9 เท่าของเดิม อัตราเร็วเสียงในอากาศเป็นกี่เท่าของเดิม

วิธีทำ ตอนแรกอุณหภูมิ 30^0 ตอนหลังอุณหภูมิเป็น 270^0 C

จาก $V = V_0\sqrt{\frac{T}{273}}$

ตอนแรก ; $V_1 = V_0\sqrt{\frac{273+30}{273}}$ .....(1)

ตอนหลัง ; $V_2 = V_0\sqrt{\frac{273+270}{273}}$ .....(2)

(1) ÷ (2) $\frac{V_1}{V_2} = \sqrt{\frac{303}{543}}$

$\therefore V_2 = 1.2V_1$

***นั้นคือ* อัตราเร็วเสียงในอากาศเป็น 1.2 เท่าเดิม**

ตัวอย่าง 3 ถ้าคลื่น เสียงความถี่ 3,000 เฮิรตซ์ เป็นเสียงที่มีความไวต่อหูมนุษย์มากที่สุด จงคำนวณความยาวคลื่นที่ไวต่อหูมนุษย์มากที่สุดที่ -73 องศาเซลเซียส

วิธีทำ จาก $V = 331 + 0.6t$

$V = 331 + 0.6t\text{-}(\text{-}73)$

$= 287.2$ m/s .....(1)

ตามสมการ (1) แปลว่า ที่อุณหภูมิ -73^0C อัตราเร็วของเสียงในอากาศมีค่าเท่ากับ 287.2 m/s โดยประมาณ

จาก $V = \lambda f$

$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{287.2}{3,000} = 0.096\text{m}$

นั่นคือ ความยาวคลื่นเสียงมีค่า 9.6 เซ็นติเมตร โดยประมาณ

ตัวอย่าง 4 อุณหภูมิของอากาศในที่สองบริเวณต่างกัน 500 องศาเซลเซียส จับเวลาคลื่นเสียงที่วิ่งในสองบริเวณนั้นในระยะทาง 1,200 เมตร พบว่าในที่อุณหภูมิต่ำเป็นสองเท่าของเวลาที่ที่อุณหภูมิสูง อยากทราบว่าอัตราเร็วของคลื่นเสียง ในอากาศทั้งสองบริเวณนั้นมีค่าเป็นเท่าไรโดยประมาณ

วิธีทำ ให้ V_1 และ V_2 เป็นอัตราเร็วคลื่นเสียงในอากาศ ณ บริเวณ ที่มีอุณหภูมิ t_1 ^{0}C และ t_2 ^{0}C ตามลำดับโดยประมาณ

จาก $$V = 331 + 0.6t$$

$$V_1 = 331 + 0.6t_1 \quad \text{.....(1)}$$

$$V_2 = 331 + 0.6t_2 \quad \text{.....(2)}$$

ถ้า $t_1 > t_2$ จาก (1) และ (2) จะได้

$$V_1 - V_2 = 0.6(t_1 - t_2) \quad \text{.....(3)}$$

แต่ $$t_1 - t_2 = 500^0\text{C} \quad \text{.....(4)}$$

$$\therefore V_1 - V_2 = 0.6(500) = 300 \quad \text{.....(5)}$$

ให้ τ_1 และ τ_2 เป็นเวลาที่คลื่นเสียงใช้ในการเคลื่อนที่ในระยะทาง 1,200 m ในอากาศตรงบริเวณที่มีอุณหภูมิ t_1 ^{0}C และ t_2 ^{0}C ตามลำดับ ดังนั้น จากสมการ (5) จะได้

$$\frac{1,200}{\tau_1} - \frac{1,200}{\tau_2} = 300 \quad \text{.....(6)}$$

แต่ $$\tau_2 = 2\tau_1 \quad \text{.....(7)}$$

$$\therefore \frac{1,200}{\tau_1} - \frac{1,200}{\tau_2} = 300$$

$$\therefore \tau_1 = 2 \text{ s} \quad \text{.....(8)}$$

$$\tau_2 = 4 \text{ s} \quad \text{.....(9)}$$

$$\therefore V_1 = \frac{1,200}{\tau_1} = \frac{1,200}{2} = 60\text{m/s}$$

$$V_2 = \frac{1,200}{\tau_2} = \frac{1,200}{4} = 300\text{m/s}$$

นั้นคือ อัตราเร็วของคลื่นเสียงบริเวณอุณหภูมิสูงและต่ำมีค่า 600และ300เมตรต่อวินาที ตามลำดับ

ตัวอย่าง 5 แท้ที่จริงแล้วความเร็วของในอากาศขึ้นกับความดันของอากาศหรือไม่

วิธีทำ จากสมการ (5-1) จะเห็นว่าความเร็วของเสียงในอากาศขึ้นกับอุณหภูมิ โดยเป็นปฏิภาคโดยตรงกับรากที่สองของอุณหภูมิในหน่วยเคลวิน เราทราบว่าอุณหภูมิและความดันของก๊าซมีความสัมพันธ์ จึงทำให้ดูเหมือนว่าถ้าความดันของก๊าซเปลี่ยนแปลงจะทำให้ ความเร็วของคลื่นเสียงในอากาศเปลี่ยนไปด้วย เช่น นิวตันได้คิดทางทฤษฎีไว้ใน ค. ศ. 1686 โดยทำนายว่า

$$V = \sqrt{\frac{P}{\rho}}$$

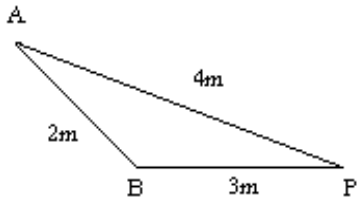
เมื่อ V เป็นความเร็วคลื่นเสียงในอากาศที่มีความดัน P และมีความหนาแน่น ρ ซึ่งมีพื้นฐานจากทฤษฎีจลน์ของก๊าซ ซึ่งจะได้เรียนต่อไป แต่สมการที่นิวตันคิดขึ้นนี้ยังไม่ถูกต้อง เพราะคิดเมื่ออุณหภูมิคงที่ จะเห็นว่าถ้าความดันเปลี่ยนความหนาแน่นจะเปลี่ยนไปด้วย ในลักษณะที่อัตราส่วน P/ρ คงที่เสมอ ดังนั้นความเร็วของคลื่นเสียงในอากาศจึงไม่ขึ้นกับ ความดันของอากาศแต่จะขึ้นกับอุณหภูมิ

2. สมบัติของคลื่นเสียง

2.1 เสียงกับการแทรกสอด

เสียงเป็นคลื่น สามารถเกิดปรากฏการณ์การแทรกสอดและคลื่นนิ่งได้ตามหลักเกณฑ์ที่พิจารณามาแล้ว ในเรื่อง คลื่นกล ซึ่งสามารถนำมาใช้ได้ ขอให้พิจารณาการแทรกสอดของเสียงจากตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่างที่ 6 จากรูป AและBเป็นลำโพงสองตัววางห่างกัน 2 เมตรในที่โล่งที่ขณะนั้นอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส P เป็นผู้ฟังอยู่ห่างจาก A 4 เมตรและห่างจาก B 3 เมตรเสียงที่มีความถี่ต่ำที่สุดที่คลื่นหักล้างกันทำให้Pได้ยินเบาที่สุดจะเป็นเท่าไร



วิธีทำ ถ้าจุด Pเป็นจุดที่ได้ยินเสียงเบาที่สุด แสดงว่าจุดPมีแนวบัพผ่านซึ่งเกิดขึ้นจากการแทรกสอดของคลื่นเสียงที่ส่งออกจากAและBดังนั้น จากบทที่ 4จะได้

$$AP-BP = \left(n+\frac{1}{2}\right)\lambda; n = 0,1,2,...$$

แต่โจทย์ต้องการเสียงที่มีความถี่ต่ำสุด นั่นคือ ความยาวคลื่นยาวที่สุดเพราะฉะนั้น

ต้องแทนค่า n = 0 จะได้ $AP-BP = \frac{\lambda}{2}$

$$3-4 = \frac{\lambda}{2}$$

$$\therefore \quad \lambda = 2\ m \qquad \text{.....(1)}$$

ถ้า v เป็นอัตราเร็วของคลื่นเสียงที่อุณหภูมิ 15 ^{0}C จะได้

$$v = 331+0.6(15)$$

$$\therefore \quad v = 340 m/s \qquad \text{.....(2)}$$

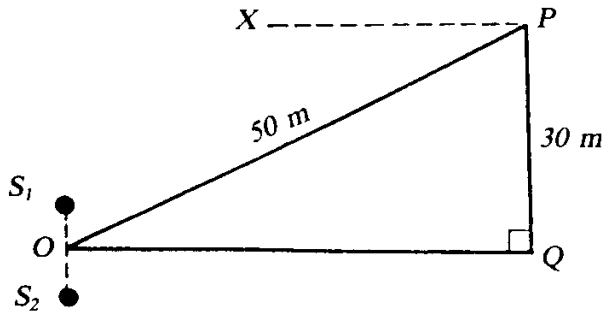
จาก $v = \lambda f$

$f = \frac{v}{\lambda}$

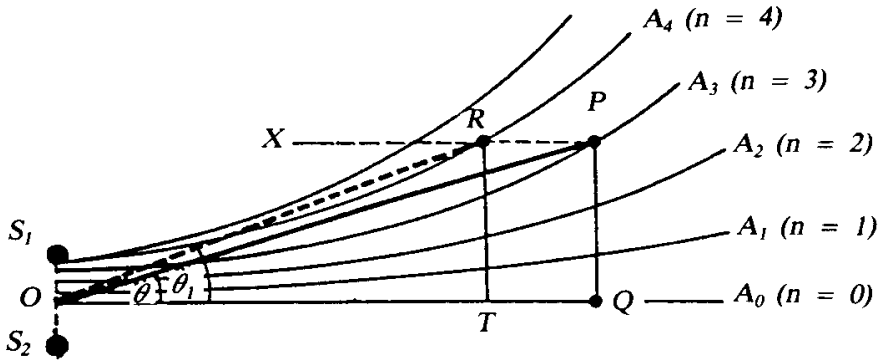
$\therefore \quad f = \frac{340}{2} = 170 \text{ Hz}$

นั่นคือ ความถี่ต่ำที่สุดของคลื่นเสียงที่ต้องการมีค่า170 เฮิรตซ์

ตัวอย่าง 7 จากรูป S1 และ S2 เป็นลำโพงสองตัววางห่างกัน 5 เมตร ชายคนหนึ่งยืนอยู่ที่จุด P ได้ยินเสียงดังชัดเจน ถ้าชายคนนั้นเดินตามแนว PX จงหาระยะที่เขาต้องเดินน้อยที่สุดที่ทำให้ได้ยินเสียงชัดเจนอีกครั้ง ถ้ากำหนดเสียงจากลำโพงทั้งสองมีความถี่ 340 รอบต่อวินาที เฟสตรงกันและอัตราเร็วเสียงในอากาศ 340 เมตรต่อวินาที



วิธีทำ



จุดPได้ยินเสียงดังชัดเจนแสดงว่ามีแนวปฏิบัพพาดผ่าน

จาก $d \sin\theta = n\lambda$; n = 1, 2, …

ที่จุดPจึงได้; $5 \sin\theta = n\frac{340}{340}$

$n = 5 \sin\theta$

$\therefore n = 5 \times \frac{30}{50} = 3$ .....(1)

จากสมการ(1)จะเห็นว่าP มีแนวปฏิบัพ A3 พาดผ่าน ดูรูปประกอบ และถ้าเดินจากจุด P ไปในแนว PX เป็นระยะน้อยที่สุดเท่ากับ PR จึงได้ยินเสียงดังชัดเจนอีกครั้งหนึ่ง เพราะเดินไปปะทะ A4 ดังนั้น

$$5 \quad \sin \theta 1 = 4$$

$$\sin \theta 1 = \frac{4}{5} \qquad \text{.....(2)}$$

จากสมการ(2) จะสามารถหาได้ว่า $\tan \theta 1 = \frac{4}{3}$ และ $\cos \theta = \frac{3}{5}$ นั่นคือ

$$\tan \theta_1 = \frac{RT}{OT}$$

$$\frac{4}{3} = \frac{30}{OT}$$

$$\therefore \quad OT = \frac{90}{4} \text{ m} \qquad \text{.....(3)}$$

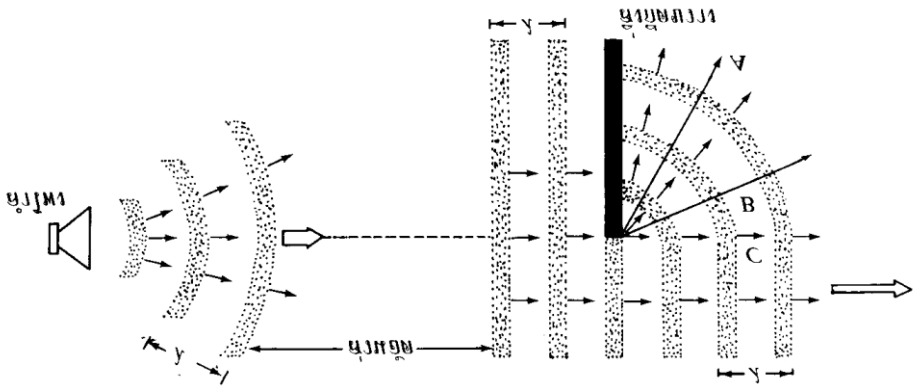
$$\text{แต่} \quad OQ = \sqrt{(50)^2 - (30)^2} = 40 \text{ m}$$

$$\therefore \quad TQ = PR = 40 - \frac{90}{4} = 17.5 \text{ เมตร}$$

นั่นคือ จะต้องเดินเป็นระยะน้อยที่สุดเท่ากับ 17.5 เมตร **ตอบ**

2.2 เสียงกับการเลี้ยวเบน

เสียงเป็นคลื่น ดั้งนั้น จึงเกิดการเลี้ยวเบนได้แบบเดียวกับคลื่น เช่น จากรูป 5.3 เสียงเปล่งออกมาจากลำโพงเคลื่อนที่ปะทะกับสิ่งกีดขวาง ซึ่งเสียงไม่สามารถเดินผ่านได้ แต่ตรงขอบของสิ่งกีดขวางเสียงเดินผ่านไปแล้วจะเลี้ยวเบนเคลื่อนที่ผ่านไปยังจุด Aและ B ซึ่งอยู่ด้านหลังของสิ่งกีดขวาง ส่วนจุด C คลื่นจะวิ่งผ่านมาโดยไม่เลี้ยวเบน คลื่นเสียงที่เลี้ยวเบนผ่านมาที่จุด A และ B จะยังคงมีความยาวคลื่นและความเร็วเท่าคลื่นเดิมแต่แอมพลิจูดจะลดลง

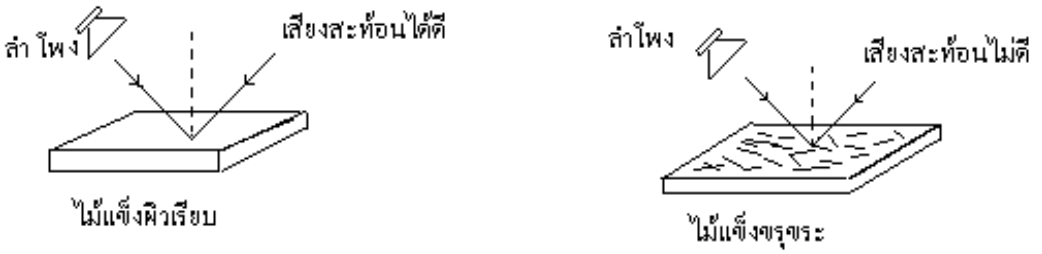


รูป 5.3

2.3 เสียงกับการสะท้อน

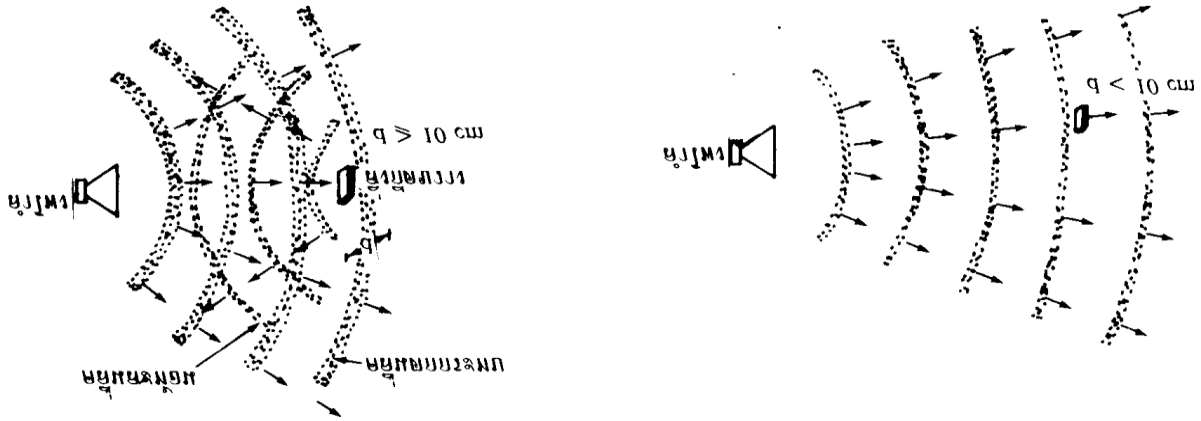
เสียงเป็นคลื่น ดังนั้น จึงสามารถเกิดการสะท้อนได้เช่นเดียวกับคลื่น กฎเกณฑ์เกี่ยวกับการสะท้อนของคลื่น สามารถนำมาใช้ได้ และมีสิ่งที่เพิ่มเติมเกี่ยวกับการสะท้อนของเสียง ดังนี้

- **เสียงจะสะท้อนได้ดี ถ้าผิวสะท้อนแข็งและเรียบ** เช่น เสียงจะสะท้อนกับแผ่นไม้เรียบได้ดีกว่าสะท้อนกับแผ่นไม้เจาะรูให้ผิวขรุขระ ดังรูป 5.4



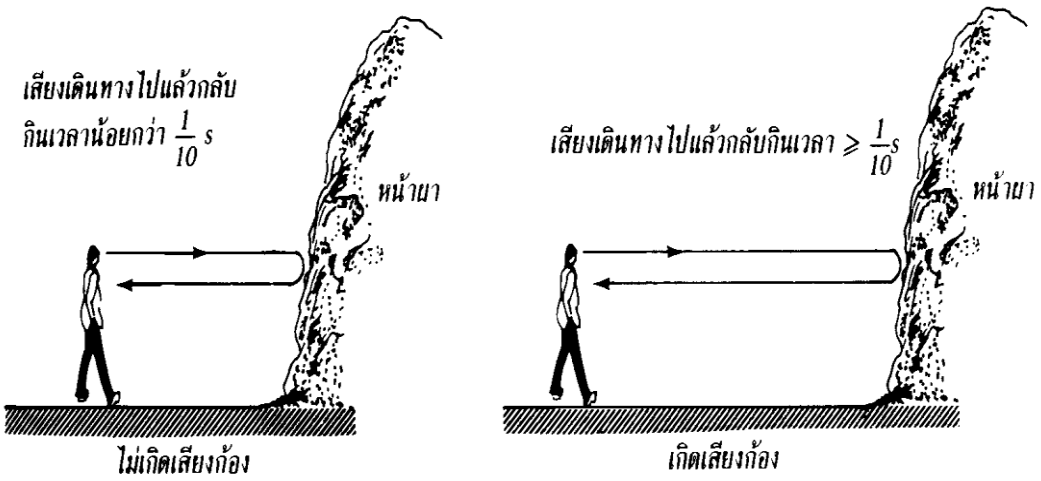
รูป5.4

- **เสียงจะสะท้อนได้ดี ถ้าแผ่นสะท้อนเสียงมีขนาดไม่น้อยกว่าความยาวคลื่นเสียง** เช่นเสียงที่มีความยาวคลื่น 10 เซนติเมตร สะท้อนกับแผ่นสะท้อนเสียงหรือสิ่งกีดขวางที่มีขนาดกว้างและยาว d เซนติเมตร ถ้า $d \geq 10$ เซนติเมตรเสียงจะสะท้อนได้ดี แต่ถ้า $d < 10$ เซนติเมตร เสียงจะสะท้อนได้ไม่ดีหรือไม่สะท้อนดังรูป 5.5



รูป 5.5

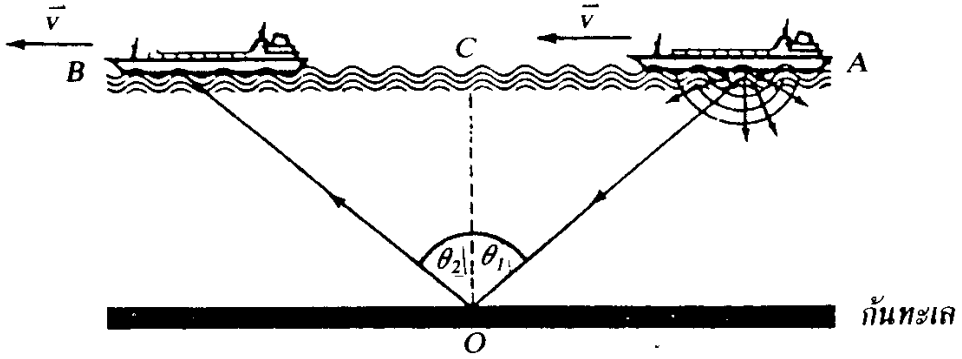
- **เสียงก้อง (echo)** ปกติคนเราจะได้ยินเสียงติดประสาทหูนานประมาณ $\frac{1}{10}$ วินาที ถ้าเราตะโกนเสียงออกไปยังหน้าผาที่อยู่ห่างออกไป เราจะได้ยินเสียงครั้งแรกที่เราตะโกน ต่อมาเวลาผ่านไปไม่น้อยกว่า $\frac{1}{10}$ วินาทีเสียงที่สะท้อนกับหน้าผาเดินทางกลับมาถึงเราอีกครั้ง เราจะได้ยินเสียงแยกเป็น2ครั้งได้ เรียก **เกิดเสียงก้อง** ดังรูป 5.6



รูปที่ 5.6

ตัวอย่าง 8 เรือลำหนึ่งแล่นอยู่ ณ ทะเลลึกเท่าไรไม่ปรากฏด้วยอัตราเร็ว 15 เมตรต่อวินาที อัตราเร็วของคลื่นเสียงในน้ำทะเลทราบว่าเท่ากับ 1,500 เมตรต่อวินาที พนักงานบนเรือต้องการทราบว่าทะเลลึกท่าไรจึงส่งคลื่นดลเสียงออกไปในน้ำทะเล หลังจากนั้น 4 วินาที จึงได้ยินเสียงสะท้อนกลับ จงคำนวณทะเลลึกเท่าไร

วิธีทำ



จากรูป เรือแล่นด้วยความเร็ว $\bar{v}$ ขนาด 15 m/s ณ ตำแหน่ง A พนักงานปล่อยคลื่นดลเสียง ขณะเดียวกันเรือก็วิ่งต่อไปทางเดิมด้วย เมื่อมาถึงตำแหน่ง B พนักงานบนเรือจะได้ยินเสียงสะท้อนจากก้นทะเล ตรงตำแหน่ง o ขึ้นมา ตามกฎการสะท้อนถ้า CO ตั้งฉากกับผิวสะท้อนเส้น CO จะเป็นเส้นปกติและจะได้ θ_1 กับ θ_2 เป็นมุมตกกระทบและมุมสะท้อนซึ่งเท่ากันตามลำดับ

A ไป B กินเวลา 4 s ดังนั้น AB = $15 \times 4 = 60$ m .....(1)

A ไป O ไป B กินเวลา 4 s ดังนั้น AO+OB = $1{,}500 \times 4$

$= 6{,}000$ m .....(2)

พิจารณารูปสามเหลี่ยม ACO จากสมการ (1) และ (2) จะได้

$$AC = \frac{60}{2} = 30 \text{ m} \quad \text{.....(3)}$$

และ $AO = \frac{6,000}{2} = 3,000$ m ……..(4)

แต่ $CO = \sqrt{AO^2 - AC^2}$

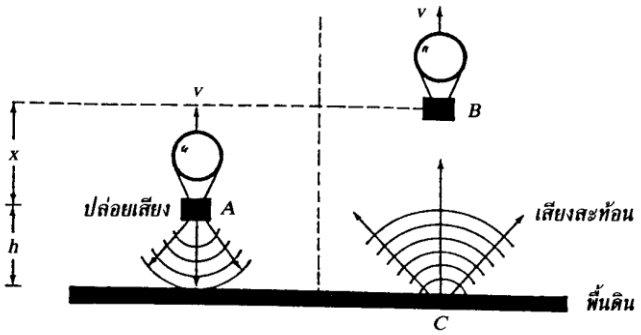
$\therefore CO = \sqrt{(3,000)^2 - (30)}^2$

$= 2,999.85$ m

นั่นคือ ทะเลลึกเท่ากับ 2,999.85 เมตร

ตัวอย่างที่ 9 บัลลูนคลื่นที่ด้วยความเร็วในแนวดิ่งสม่ำเสมอ 20 m/s ขณะที่อยู่สูงจากพื้นดินระยะหนึ่งส่งคลื่นเสียงความถี่ 1,000 Hz ลงมา และได้รับสัญญาณเสียงสะท้อนกลับเมื่อเวลา 4 s ขณะที่ส่งคลื่นเสียงบัลลูนสูงจาดพื้นดินเท่าใด

วิธีทำ



จากรูป ขณะบัลลูนอยู่ที A สูงจากพื้นดินเป็นระยะ h ปล่อยเสียงออกมาเสียงไปสะท้อนพื้นดินที่จุด C แล้ววิ่งตามบัลลูนไปทันบัลลูน ที่ B สูงจากเดิมขึ้นไปเป็นระยะ X

คิดจากการเคลื่อนที่ของบัลลูนในแนวดิ่งจาก A ไป B เนื่องจากบัลลูนเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v เท่ากับ20 m/s คงที่ ดังนั้นในเวลา 4 s จะได้

$X = (20)(4) = 80$ m

แต่ในเวลา 4 s เสียงจะเดินทางจาก A ไป C แล้ว C ไป B เป็นระยะทางเท่ากับ 2h +x ซึ่งเท่ากับ

$2h + x = 350 \times 4$

$2h + 80 = 1,400$

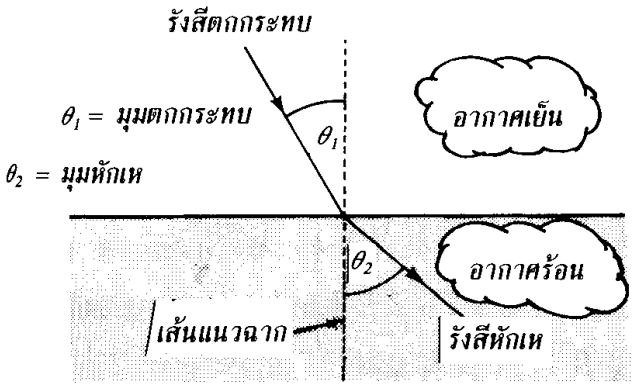
$2h = 1,320$

$\therefore h = 660$ m

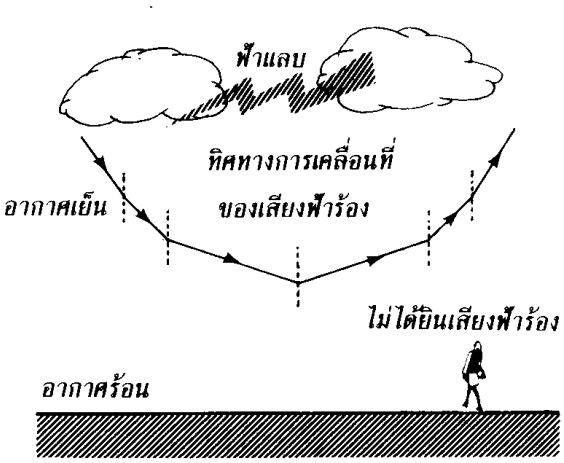
นั่นคือ ขณะบัลลูนปล่อยเสียงจะอยู่สูงจากพื้นดิน 660 เมตร

2.4 เสียงกับการหักเห

เสียงเป็นคลื่น ดังนั้น จึงสามารถเกิดการหักเหได้เช่นเดียวกับคลื่น เช่น เสียงเดินทางผ่านอากาศเย็นเข้าสู่บริเวณอากาศร้อนจะหักเหเบนออกจากเส้นแนวฉาก ดังรูป 5.7



รูป 5.7



รูป 5.8

บางกรณีเช่น เราเห็นฟ้าแลบเกิดขึ้นมักจะตามมาด้วยการได้ยินเสียงฟ้าร้อง แต่บางครั้งไม่ได้ยิน เราอธิบายได้ดังรูป 5.8 เสียงฟ้าร้องเคลื่อนที่ตกกระทบกับชั้นอากาศข้างบนซึ่งเย็น แล้วจะหักเหออกจากเส้นแนวฉาก เมื่อเคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศต่ำลงมาซึ่งร้อนขึ้น จนถึงระดับหนึ่งจะเกิดการสะท้อนกลับหมด เสียงจึงเคลื่อนที่กลับขึ้นไป ทำให้คนซึ่งอยู่ที่พื้นไม่ได้ยินเสียงฟ้าร้อง

ตัวอย่าง 10 คลื่นเสียงอันหนึ่งในอากาศวิ่งจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง T_1 เข้าสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าคือ T_2 โดยมีมุมตกกระทบเท่ากับ θ_1 และมุมหักเหเท่ากับ θ_2 จงหาค่าของอัตราส่วนระหว่าง $\sin\theta_1$ กับ $\sin\theta_2$ กำหนดให้ว่า $T_1 = 1.0201\ T_2$ ในหน่วยเคลวิน (ตอบติดทศนิยมสองตำแหน่งเท่านั้น)

วิธีทำ จาก $$v = v_0\sqrt{\frac{T}{273}}$$

$$\therefore\ v_1 = v_0\sqrt{\frac{T_1}{273}} \qquad \text{.....(1)}$$

$$v_2 = v_0\sqrt{\frac{T_2}{273}} \qquad \text{.....(2)}$$

(1) ÷ (2) $$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}} \qquad \text{.....(3)}$$

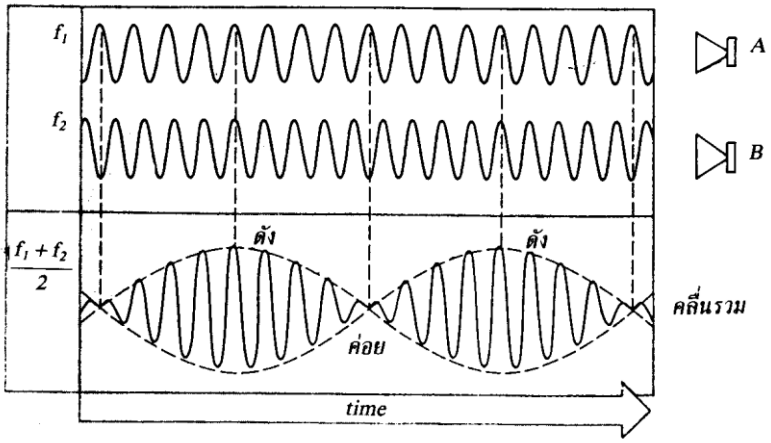
จาก $$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

$$\therefore\ \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}} = \sqrt{\frac{1.0201\,T_2}{T_2}}$$

$$\therefore\ \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = 1.01$$ นั่นคือ อัตราส่วนระหว่าง $\sin\theta_1$ กับ $\sin\theta_2$ มีค่าเท่ากับ1.01

3. บีตส์และคลื่นนิ่งของเสียง

ก. บีตส์ จากรูป 5.9 คลื่นเสียงถูกเปล่งออกมาจากลำโพง A และ B มีความถี่ f_1 และ f_2 ตามลำดับ



รูปที่ 5.9

ความถี่ f_1 และ f_2 ต่างกันเล็กน้อย ปรากฏว่าเสียงจากลำโพง A และ B จะมาแทรกสอดกันทำให้เกิดคลื่นรวมมีลักษณะที่แอมพลิจูดเปลี่ยนแปลง บริเวณที่มีแอมพลิจูดสูงเสียงจะดัง บริเวณที่มีแอมพลิจูดต่ำเสียงจะค่อย บริเวณทั้งสองไม่อยู่นิ่งกับที่ แต่จะเคลื่อนที่ไปทำให้เราได้ยินเสียงดังและค่อยสลับกันไปเป็นจังหวะ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า *บีตส์* และจะได้

$$\text{ความถี่บีตส์} = \Delta f = |f_1 - f_2| \qquad \text{.....(5-3)}$$

$$f = \frac{f_1 + f_2}{2} \qquad \text{.....(5-4)}$$

เมื่อ Δf คือ ความถี่บีตส์ และ f เป็นความถี่เสียงที่เราได้ยิน

การเกิดบีตส์ของเสียงมีข้อสังเกต คือ

- บีตส์ของเสียงเกิดได้แม้แหล่งกำเนิดเสียงจะต่างกัน เช่น เสียงจากกีตาร์สามารถเกิดบีตส์กับเสียงจากเปียโน เป็นต้น
- บีตส์ของเสียงเกิดได้แม้แหล่งกำเนิดเสียงจะให้เสียงที่มีแอมพลิจูดต่างกัน

ตัวอย่าง 11 ลำโพง 2 ตัว ส่งเสียงความถี่600 และ 605 Hzออกมา ถามว่าความถี่ของเสียงที่เราได้ยินและความถี่บีตส์เป็นเท่าไร

วิธีทำ ตามสมการ (5-4) ความถี่เสียงที่เราได้ยิน f จะมีค่าเป็น

$$f = \frac{f_1 + f_2}{2}$$

$$= \frac{600 + 605}{2} = 602.5 \text{ Hz}$$

นั่นคือ เสียงที่เราได้ยินมีความถี่ 602.5 Hz

ตามสมการ (5-4) ความถี่บีตส์ที่เราได้ยินคือ f_B จะเป็น

$$f_B = f_2 - f_1$$

$$= 605 - 600 = 5 \text{ Hz}$$

นั่นคือ ความถี่บีตส์มีค่าเท่ากับ 5 เฮิรตซ์

ตัวอย่าง 12 ถ้าต้องการให้เกิดเสียงดังเป็นจังหวะๆ ต่างกันทุกครึ่งวินาที จะต้องเคาะส้อมเสียงซึ่งมีความถี่ 500 เฮิรตซ์ พร้อมกับส้อมเสียงที่มีความถีเท่าไร

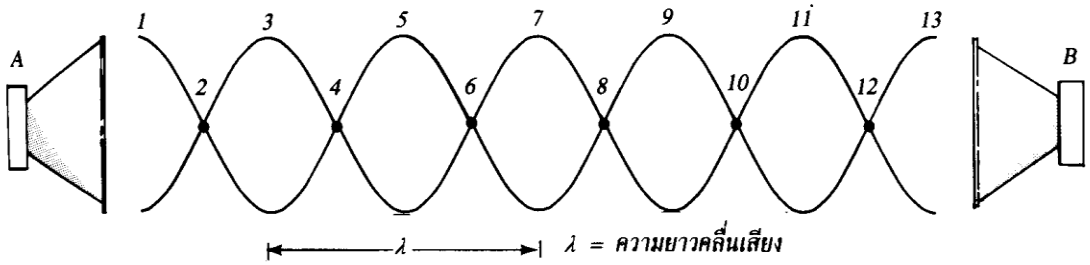
วิธีทำ ตามโจทย์กำหนด เสียงบีตส์จะดังเป็นจังหวะๆ ต่างกันทุกครึ่งวินาที แสดงว่าความถี่บีตส์เท่ากับ 2 Hz แสดงว่าส้อมเสียงที่จะเกิดบีตส์กับ 500 Hz จะต้องมีความถี่สูงกว่าหรือต่ำกว่า 500 Hz อยู่ 2Hz

$$\therefore f_2 = 500+2 = 502 \text{ Hz}$$

และ $$f_2 = 500-2 = 498 \text{ Hz}$$

นั่นคือ จะต้องใช้ส้อมเสียงที่มีความถี่502 Hz และ 498 Hz

ข. คลื่นนิ่งของเสียง เราทราบว่าคลื่นนิ่งเกิดจากคลื่นจาดแหล่งอาพันธ์วิ่งสวนกัน ดังนั้น ถ้ามีแหล่งกำเนิดเสียงอาพันธ์ส่งคลื่นออกมาวิ่งสวนกันก้จะเกิดคลื่นนิ่งได้เช่นกัน ซึ่งเราได้พิจารณาไปบ้างแล้วในหัวข้อ 5.3



รูป 5.10

พิจารณารูป 5.10 สมมติลำโพง A และ B เปล่งเสียงซึ่งมี ความถี่ ความยาวคลื่น แอมพลิจูด และเฟสตรงกันออกมาวิ่งสวนกัน

ตำแหน่งที่ 1,3,5,7,9,11,13 เรียกว่าปฏิบัพของความดันหรือบัพของการกระจัด ตำแหน่ง 2,4,6,8,10,12 เรียกว่าบัพของความดันหรือปฏิบัพของการกระจัด ถ้าเราฟังเสียงตรงตำแหน่งที่เป็นปฏิบัพของความดันเสียงจะดังมาก แต่ถ้าเราฟังเสียงตรงตำแหน่งที่เป็นบัพของความดันเสียงจะค่อยมาก