

บทที่ 12

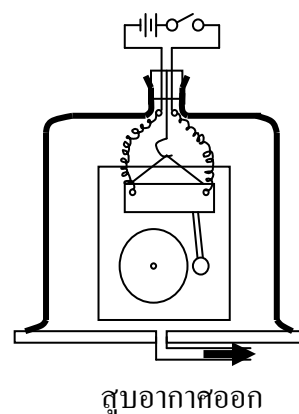
เสียง

ธรรมชาติของเสียง

เสียงเกิดจากการสั่นของวัตถุ วัตถุที่มีการสั่นแล้วทำให้เกิดเสียงเรียกว่า แหล่งกำเนิดเสียง สำหรับมนุษย์เสียงพูดเกิดจากการสั่นสะเทือนของสายเสียงซึ่งอยู่ภายในกล่องเสียงบริเวณด้านหน้าของลำคอ เรียกว่า ลูกกระเดือก มนุษย์สามารถควบคุมเสียงที่พูดพูดขึ้น โดยใช้ฟัน ลิ้น ริมฝีปาก ทำให้เกิดเสียงที่แตกต่างกัน แต่เสียงจะมีประโยชน์อย่างสมบูรณ์ต้องมีการได้ยิน

เมื่อเสียงเกิดจากสั่นสะเทือนของวัตถุ แสดงว่าวัตถุได้รับพลังงาน พลังงานนี้ก็จะถูกถ่ายโอนผ่านอากาศมายังหูผู้ฟัง ถ้าไม่มีอากาศเป็นตัวกลางในการถ่ายโอนพลังงาน เราจะไม่ได้ยินเสียงเลย

เราสามารถทดสอบความจริงนี้ได้ โดยการทดลองใช้กระดิ่งไฟฟ้าที่ส่งเสียงตลอดเวลาใส่ไว้ในครอบแก้ว แล้วค่อยๆ สูบอากาศออก เราจะได้ยินเสียงกระดิ่งไฟฟ้าค่อยๆ ลงๆ จนในที่สุดจะไม่ได้ยินเสียงกระดิ่งไฟฟ้าในครอบแก้วอีกเลย เมื่อภายในครอบแก้วเป็นสุญญากาศ



จากสถานะการณข้างต้น สรุปได้ว่า การเคลื่อนที่ของเสียง ต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายโอนพลังงานการสั่นไปยังที่ต่างๆ

จะเห็นได้ว่า เสียงที่เราได้ยินนี้ เป็นพลังงานรูปหนึ่งและถือว่าเป็นคลื่นประเภทหนึ่งด้วย และพิจารณาจากอากาศที่เป็นตัวกลางนั้นการถ่ายโอนพลังงานเสียง อนุภาคของตัวกลางคืออากาศจะมีการสั่นในลักษณะอัดขยายสลับกันไป จึงถือได้ว่า เสียงเป็นคลื่นตามยาว

อัตราเร็วของเสียง

ช่วงเวลาที่เสียงเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดเสียงผ่านอากาศมาถึงหูผู้ฟัง ขึ้นกับระยะทาง ระหว่างต้นกำเนิดเสียงกับผู้รับฟัง ถ้าระยะห่างมาก เสียงต้องใช้เวลานานกว่าจะได้ยินเสียง แต่ถ้าระยะใกล้ เสียงใช้ช่วงเวลาสั้นกว่า

เมื่อนักฟิสิกส์ศึกษาอัตราเร็วของเสียงในอากาศ เขาได้พบว่าอัตราเร็วของเสียงในอากาศมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของอากาศโดยประมาณ ตามสมการ

$$v_t = 331 + 0.6 t$$

เมื่อ v_t เป็นอัตราเร็วของเสียงในอากาศที่อุณหภูมิ t ใดๆ และมีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที
 t เป็นอุณหภูมิของอากาศ มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

ตัวอย่าง จงหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 30 องศาเซลเซียส

วิธีทำ จากสมการ $v_t = 331 + 0.6 t$

$$\begin{aligned}
 v_{25} &= 331 + (0.6 \times 25) && \text{m/s} \\
 &= 346 && \text{m/s} \\
 v_{30} &= 331 + (0.6 \times 30) && \text{m/s} \\
 &= 349 && \text{m/s}
 \end{aligned}$$

ตอบ อัตราเร็วของเสียงในอากาศที่อุณหภูมิ 25 และ 30 องศาเซลเซียส เท่ากับ 346 และ 349 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ

การเคลื่อนที่ของเสียงในตัวกลางหนึ่งๆ จะคงตัว เมื่ออุณหภูมิตัวกลางคงตัว ดังในตาราง

ตาราง อัตราเร็วของเสียงในตัวกลางต่างๆที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ตัวกลาง	อัตราเร็ว(เมตร/วินาที)
แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (0°C)	258
อากาศ	346
แก๊สไฮโดรเจน	1,339
น้ำ	1,498
น้ำทะเล	1,531
แก้ว	4,540
อะลูมิเนียม	5,000
เหล็ก	5,200

คุณสมบัติของเสียง

เสียงเป็นคลื่นชนิดหนึ่งที่เกิดที่โดยอาศัยตัวกลาง ดังนั้นจึงมีคุณสมบัติเหมือนคลื่น คือ

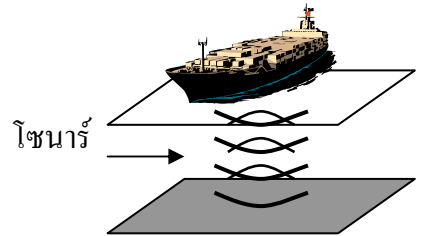
1. การสะท้อน
2. การหักเห
3. การแทรกสอด
4. การเลี้ยวเบน

การสะท้อนของเสียง

เนื่องจากเสียงเป็นพลังงานชนิดหนึ่ง เมื่อคลื่นเสียงเคลื่อนที่ไปกระทบสิ่งกีดขวาง จะทำให้เกิดการสะท้อนของเสียง และปัจจัยที่มีผลต่อการสะท้อนของเสียง ได้แก่

1. ลักษณะพื้นผิวที่คลื่นเสียงไปกระทบ (ผิวเรียบและแข็ง สะท้อนได้ดี ส่วนผิวอ่อนนุ่มเนื้อพรุน จะดูดซับเสียงได้ดี
2. มุมตกกระทบกับระนาบสะท้อนเสียง (เสียงจะสะท้อนได้ดี เมื่อ มุมของเสียงสะท้อนเท่ากับมุมของเสียงตกกระทบ)

มนุษย์และสัตว์ ได้อาศัยประโยชน์จากการสะท้อนของเสียง หลายอย่างเช่น การเดินเรือ การประมง หาความลึกของท้องทะเล หาระดับของเรือดำน้ำ หาฝูงปลา โดยการส่งคลื่นอัลตราโซนิกออกไป แล้วรอรับฟังคลื่นที่สะท้อนจากเครื่องรับ การส่งคลื่นชนิดนี้เรียกว่า โซนาร์ (Sonar – Sound Navigation and Ranging) ค้างคาว เป็นสัตว์สายตาไม่ดี ใช้หลักการสะท้อนเสียง โดยส่งและรับความถี่สูง อุตสาหกรรมใช้ในการตรวจสอบรอยร้าว ทางการแพทย์ใช้ตรวจสอบเนื้อเยื่อของอวัยวะต่างๆ ใช้ในการสลายนิวไนไตรด์ ใช้ทำลายเชื้อโรคบางชนิดในอาหาร และน้ำ



เราทราบว่าเสียงเป็นคลื่นชนิดหนึ่ง ดังนั้น ถ้าเราทราบความถี่ f ของเสียง และความยาวคลื่นเสียง λ ที่ผ่านตัวกลาง เราจะสามารถหาอัตราเร็วของคลื่นเสียงในตัวกลางนั้นได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$v = f\lambda$$

ตัวอย่าง กำหนดให้เสียงมีอัตราเร็ว 1500 เมตรต่อวินาทีในน้ำทะเล เรือดำหนึ่งปล่อยคลื่นโซนาร์ขนาดความถี่ 4.5 กิโลเฮิร์ตซ์ ลงไปจากผิวน้ำ จะตรวจสอบพบปลาขนาดเล็กที่สุดได้เท่าไร

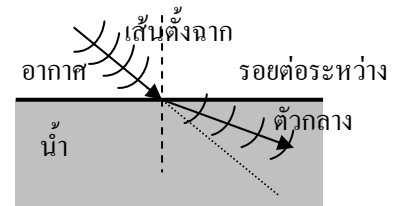
วิธีทำ จาก $v = f\lambda$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1500 \text{ m/s}}{4500 \text{ Hz}} = 0.33 \text{ เมตร}$$

ตอบ ปลาตัวเล็กที่สุดที่จะตรวจสอบได้ต้องยาว 0.33 เมตร

การหักเหของเสียง

คลื่นเสียงเมื่อเดินทางผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทางความเร็วและความยาวคลื่น แต่ความถี่คลื่นยังคงที่กล่าวคือเมื่อเสียงเคลื่อนที่จากตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อย(อากาศ) เข้าสู่ตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากกว่า(น้ำ)



เสียงจะหักเหออกจากเส้นตั้งฉาก หลักการนี้ใช้อธิบาย การเห็นฟ้าแลบ แต่ไม่ได้ยินเสียงฟ้าร้อง เพราะเมื่อเกิดฟ้าแลบ แม้จะมีเสียงเกิดขึ้นแต่เราไม่ได้ยินเสียง ทั้งนี้เพราะอากาศใกล้พื้นดินมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศเบื้องบน ทำให้การเคลื่อนที่ของเสียงเคลื่อนที่ได้ในอัตราที่ต่างกัน คือ เคลื่อนที่ในอากาศที่มี อุณหภูมิสูงได้เร็วกว่าในอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ ดังนั้น เสียงจึงเคลื่อนที่เบนขึ้นที่ละน้อยๆ จนข้ามหัวเราไป จึงทำให้ไม่ได้ยินเสียงฟ้าร้อง

ในการคำนวณเกี่ยวกับการหักเหของเสียง ยังคงใช้กฎการหักเหของสเนลล์ คือ

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$$

ตัวอย่าง เสียงเคลื่อนที่ในอากาศจากบริเวณที่มีอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยมีมุมตกกระทบ 30 องศา ถ้าอากาศในบริเวณทั้งสองมีความดันเท่ากัน จงหามุมหักเหของเสียง

วิธีทำ

จากสมการ	v_t	=	$331 + 0.6 t$	
	v_5	=	$331 + (0.6 \times 5)$	= 334 m/s
	v_{25}	=	$331 + (0.6 \times 25)$	= 346 m/s
จาก	$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$	=	$\frac{v_1}{v_2}$	
	$\frac{\sin 30^\circ}{\sin \theta_2}$	=	$\frac{334}{346}$	
	$\sin \theta_2$	=	$\frac{1}{2} \times \frac{346}{334}$	= 0.517
	$\sin 31^\circ$	=	0.515	
	θ_2	\approx	31°	

\therefore มุมหักเหของเสียงมีค่าประมาณ 31 องศา

ตัวอย่าง ถ้าความยาวของคลื่นเสียงบริเวณอากาศร้อนเป็น $\frac{3}{2}$ เท่าของความยาวคลื่นเสียงบริเวณอากาศเย็น จงหามุมหักเห เมื่อเสียงเดินทางจากอากาศร้อนไปยังอากาศเย็น โดยมีมุมตกกระทบ 27 องศา

วิธีทำ

จาก	$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$	=	$\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$	
	$\frac{\sin 27^\circ}{\sin \theta_2}$	=	$\frac{\frac{3}{2}\lambda}{\lambda}$	
	$\sin \theta_2$	=	$0.454 \times \frac{2\lambda}{3\lambda}$	= 0.302
	$\sin 17.5^\circ$	=	0.301	
	θ_2	\approx	17.5°	

\therefore มุมหักเหของเสียงมีค่าประมาณ 17.5 องศา

ตัวอย่าง คลื่นเสียงในอากาศหนึ่ง วิ่งจากบริเวณที่มีอุณหภูมิ T_1 เข้าสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า คือ T_2 โดยมีมุมตกกระทบเท่ากับ θ_1 และมุมหักเหเท่ากับ θ_2 จงหาอัตราส่วนระหว่าง $\sin \theta_1$ กับ $\sin \theta_2$ กำหนดให้ $T_1 = 2T_2$ เคลวิน

วิธีทำ จาก

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

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \sqrt{\frac{2T_2}{T_2}}$$

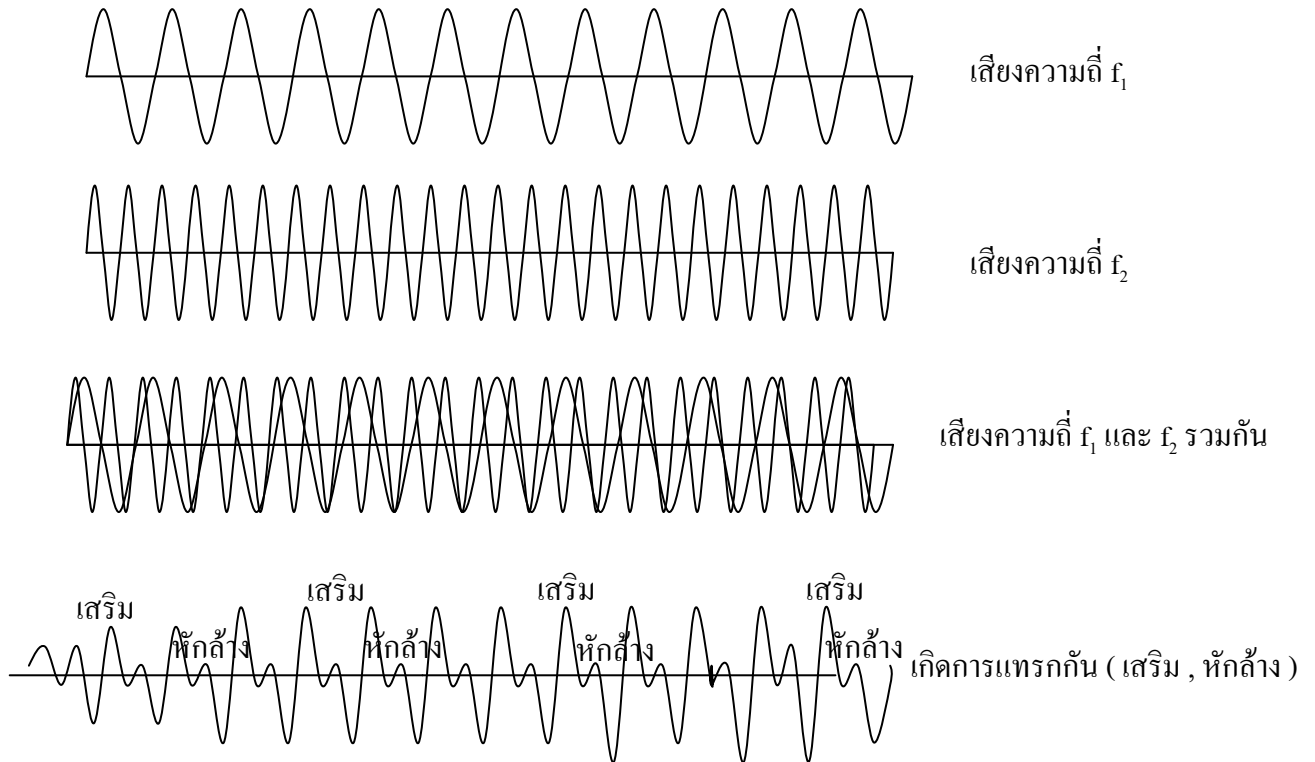
$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \sqrt{2}$$

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = 1.4141$$

\therefore อัตราส่วนระหว่าง $\sin \theta_1$ กับ $\sin \theta_2$ มีค่าเท่ากับ 1.4141

การแทรกสอดของเสียง

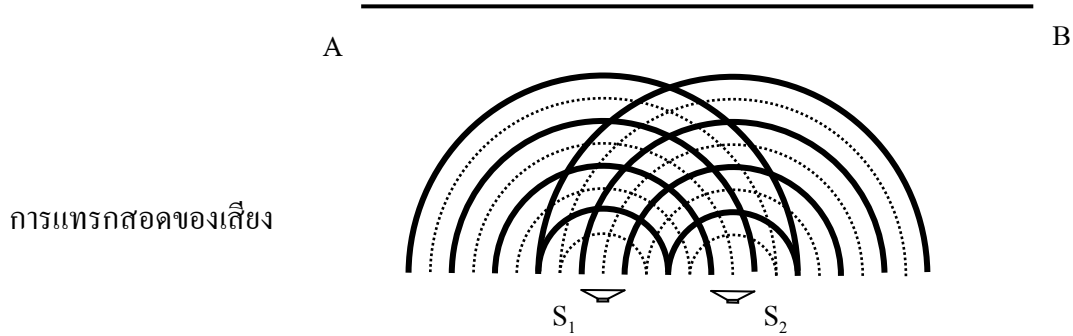
การแทรกสอดของเสียงเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากคลื่นเสียงที่มาจากแหล่งกำเนิดเสียงตั้งแต่ 2 แหล่งขึ้นไปรวมกัน จึงเกิดการแทรกสอดแบบเสริมกันและหักล้างกัน ทำให้เกิดเสียงดัง และ เสียงค่อย



ในกรณีที่เป็นเสียงเสริมกัน ตำแหน่งที่มีการเสริมกันจะมีเสียงดัง ส่วนตำแหน่งที่แทรกสอดแล้วหักล้างกันจะมีเสียงค่อย แต่การเกิดปรากฏการณ์แทรกสอดเกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงที่มีความถี่ต่างกัน ทำให้เกิดเสียงดัง เสียงค่อยเป็นจังหวะๆ เรียกว่า บีตส์ (Beats) ประโยชน์จากการแทรกสอดและบีตส์นี้

นำมาใช้เทียบเครื่องดนตรี โดยมีเครื่องเทียบเสียงมาตรฐาน ใช้หลักว่าเมื่อความถี่เสียงเท่ากันจะไม่เกิดบีตส์ ถ้ายังมีบีตส์อยู่แสดงว่า ความถี่เสียงยังไม่เท่ากัน ต้องปรับจนเสียงทั้งสองมีความถี่เท่ากันจึงไม่ทำให้เกิดบีตส์

ถ้าเราตั้งลำโพงลักษณะเหมือนกัน 2 ตัว ให้ห่างกันระยะหนึ่ง ดังรูป แล้วเดินในแนวนานกับลำโพงทั้งสองตามแนว AB



จากการเดินในแนว AB ดังกล่าว เราจะรู้สึกได้ว่า เสียงที่เราได้รับจะมีลักษณะดัง-ค่อย สลับกันไป

ในการคำนวณเกี่ยวกับการแทรกสอดของคลื่นเสียง ในกรณีที่เป็นแหล่งกำเนิด อพันซ์ เฟสตรงกัน จะได้ดังนี้

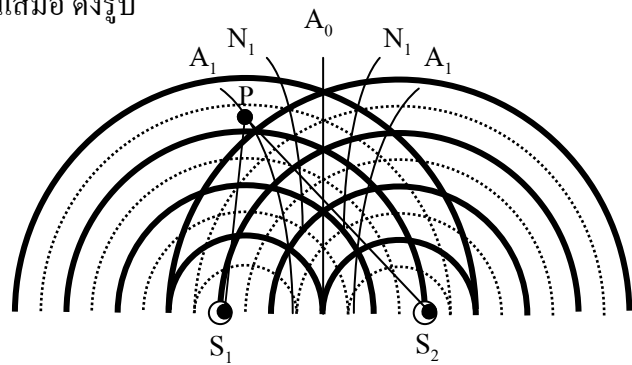
ในกรณีที่ S_1 และ S_2 เป็นแหล่งกำเนิดอพันซ์ ทุกจุดบนเส้นปฏิบัติ เสียงจะแทรกสอดแบบเสริม เสียงจะดัง และผลต่างระหว่างระยะทางจากแหล่งกำเนิดคลื่นทั้งสองไปยังจุดใดๆบนเส้นปฏิบัติจะเท่ากับจำนวนเต็มของความยาวคลื่นเสมอ ดังรูป

$$S_2P - S_1P = n\lambda$$

เมื่อ $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

n คือ แนวเส้นปฏิบัติ

0 คือ แนวเส้นกลาง

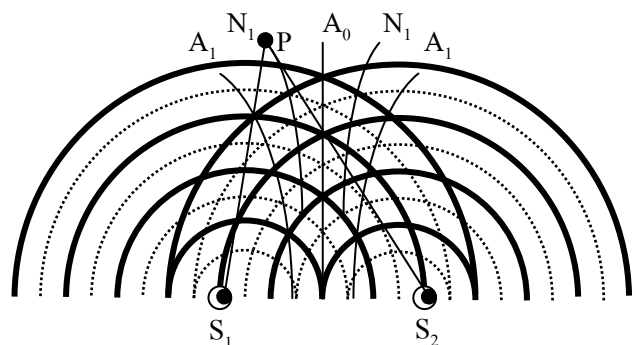


ในกรณีที่ S_1 และ S_2 เป็นแหล่งกำเนิดอพันซ์ ทุกจุดบนเส้นบัพ เสียงจะแทรกสอดแบบหักล้าง เสียงจะค่อย และผลต่างระหว่างระยะทางจากแหล่งกำเนิดคลื่นทั้งสองไปยังจุดใดๆบนเส้นบัพจะเท่ากับจำนวนเต็มคลื่นลบกับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นเสมอ ดังรูป

$$S_2P - S_1P = (n - \frac{1}{2}) \lambda$$

เมื่อ $n = 1, 2, 3, \dots$

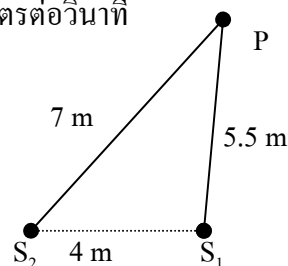
n คือ แนวเส้นบัพ



ตัวอย่าง S_1 และ S_2 เป็นลำโพงเสียงสองตัววางห่างกัน 4 เมตร ในที่โล่ง P เป็นตำแหน่งที่ผู้ฟังห่างจาก S_1 7 เมตร และห่างจาก S_2 5.5 เมตร ถ้าผู้ฟังอยู่ตรงตำแหน่งที่เสียงหักล้างกันครั้งแรก เขาจะได้ยินเสียงที่มีความถี่เท่าใด เมื่ออัตราเร็วของเสียงในอากาศขณะนั้นเป็น 330 เมตรต่อวินาที

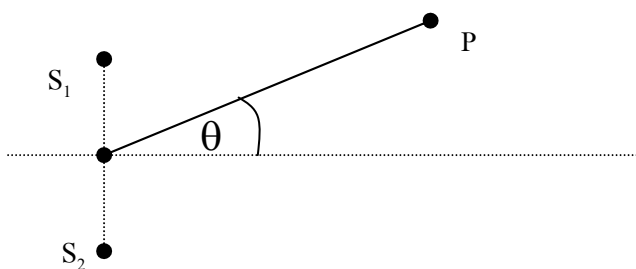
วิธีทำ

$$\begin{aligned} \text{จาก } S_2P - S_1P &= \left(n - \frac{1}{2}\right) \lambda \\ 7 \text{ m} - 5.5 \text{ m} &= \left(n - \frac{1}{2}\right) \lambda \\ \lambda &= 3 \text{ m} \\ \text{จาก } v &= f \lambda \\ f &= \frac{v}{\lambda} = \frac{330 \text{ m/s}}{3 \text{ m}} = 110 \text{ Hz} \end{aligned}$$



ตอบ เขาจะได้ยินเสียงที่มีความถี่เท่ากับ 110 เฮิรตซ์

ในกรณีที่ตำแหน่งผู้ฟัง อยู่ห่างจากแหล่งกำเนิด S_1 และ S_2 โดยไม่ทราบระยะห่างจากแหล่งกำเนิดทั้งสอง แต่ทราบมุม θ จากแนวกลาง ระหว่างตำแหน่งทั้งสอง จะได้สมการปฏิบัติและบัพดังนี้



$$d \sin \theta = n \lambda \quad \text{ปฏิบัติ}$$

$$d \sin \theta = \left(n - \frac{1}{2}\right) \lambda \quad \text{บัพ}$$

เมื่อ d คือ ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดทั้งสอง มีหน่วยเป็น เมตร (m)

θ คือ มุมที่จากแนวกลาง ทำกับ ตำแหน่งที่สังเกต

ตัวอย่าง S_1 และ S_2 เป็นแหล่งกำเนิดเสียงอาพันธ์ ให้เสียงที่มีความถี่ 140 เฮิรตซ์ และอยู่ห่างกัน 7 เมตร จงหาว่าบนเส้นตรงเชื่อมระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงทั้งสองมีตำแหน่งบัพเกิดขึ้นกี่ตำแหน่ง ถ้ากำหนดให้อัตราเร็วเสียงในอากาศขณะนั้นเป็น 350 เมตรต่อวินาที

วิธีทำ

$$\begin{aligned} \text{จาก } d \sin \theta &= \left(n - \frac{1}{2}\right) \lambda \\ (7) \sin 90^\circ &= \left(n - \frac{1}{2}\right) \frac{v}{f} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (7)(1) &= \left(n - \frac{1}{2}\right) \left(\frac{350}{140}\right) \\
 n &= (7) \left(\frac{140}{350}\right) + \frac{1}{2} \\
 &= 3.3 \\
 &= 3
 \end{aligned}$$

∴ บนเส้นตรงเชื่อมระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงทั้งสองมีตำแหน่งบัพเกิดขึ้น = 3 + 3 ตำแหน่ง

ตอบ บนเส้นตรงเชื่อมระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงทั้งสองมีตำแหน่งบัพเกิดขึ้น = 6 ตำแหน่ง

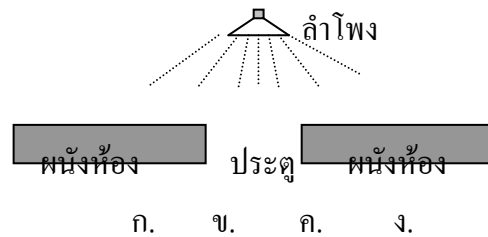
การเลี้ยวเบนของเสียง

นอกจากการหักเหของเสียงที่เกิดขึ้น เมื่อผ่านตัวกลางต่างชนิดกันแล้วยังมีการเลี้ยวเบนได้ การเลี้ยวเบนของเสียงมักจะเกิดพร้อมกับการสะท้อนของเสียง เสียงที่เลี้ยวเบน จะได้ยินน้อยกว่าเดิม เพราะพลังงานของเสียงลดลง

ในชีวิตประจำวันที่เราพบได้อย่างเสมออย่างหนึ่งคือการได้ยินเสียงของผู้อื่น ได้โดยไม่เห็นตัวผู้พูด เช่น ผู้พูดอยู่คนละด้านของมุมตึก ปรากฏการณ์ดังนี้ แสดงว่าเสียงสามารถเลี้ยวเบนได้ การอธิบายปรากฏการณ์นี้สามารถจะกระทำได้โดยใช้หลักการของฮอยเกนส์อธิบายว่า ทุกๆจุดบนหน้าคลื่นสามารถทำหน้าที่เป็นต้นกำเนิดคลื่นอันใหม่ได้ ดังนั้นอนุภาคของอากาศที่ทำหน้าที่ส่งผ่านคลื่นเสียงตรงมุมตึก ย่อมเกิดการสั่น ทำหน้าที่เหมือนต้นกำเนิดเสียงใหม่

ส่งคลื่นเสียงไปยังผู้ฟังได้

เราสามารถทดลอง การเลี้ยวเบนของเสียงได้ โดยให้ผู้ฟัง ฟังเสียงลำโพงจากนอกห้องดังรูปที่ตำแหน่ง ก. ข. ค. ง. ผู้ฟังย่อมได้ยินเสียงลำโพง ที่อยู่ในห้องได้ทุกคน แสดงว่าเสียงสามารถเลี้ยวเบนได้ตามแบบของคลื่น



การเลี้ยวเบนของเสียงจะเกิดได้ดี เมื่อช่องกว้างที่ให้เสียงผ่านมีขนาดเท่ากับความยาวคลื่นของเสียงนั้น เนื่องจาก ช่องกว้างนั้นจะทำหน้าที่เหมือนเป็นแหล่งกำเนิดเสียงขนาดนั้นได้พอดีนั่นเอง

ตัวอย่าง ช่องหน้าต่างกว้าง 0.60 เมตร สูง 1.20 เมตร ในวันที่อากาศมีอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความถี่ของเสียงที่มากที่สุด ที่จะทำให้เกิดการเลี้ยวเบนในแนวราบมากที่สุดเป็นกี่เฮิรตซ์

วิธีทำ การเลี้ยวเบนของเสียงจะเกิดได้ดีที่สุด เมื่อ ช่องกว้างเท่ากับความยาวคลื่นของเสียง

$$\text{ดังนั้น } \lambda = 0.60 \text{ เมตร}$$

$$\text{จาก } v = 331 + 0.6 t$$

$$v = 331 + (0.6)(20) = 342 \text{ เมตรต่อวินาที}$$

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{342 \text{ m/s}}{0.60 \text{ m}} = 570 \text{ เฮิรตซ์}$$

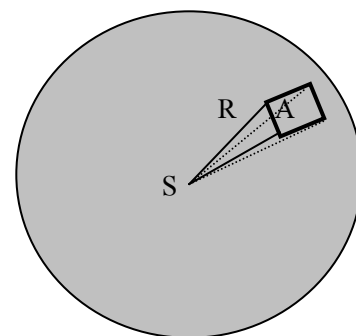
ความเข้มของเสียงและการได้ยิน

เสียงเกิดจากการสั่นของวัตถุที่เป็นแหล่งกำเนิดเสียงและในการทำให้วัตถุสั่นจำเป็นต้องใช้พลังงาน ถ้าพลังงานที่ใช้มีค่ามากแอมพลิจูดของการสั่นก็มีค่ามาก และถ้าใช้พลังงานน้อย แอมพลิจูดของการสั่นก็จะน้อยตามไปด้วย พลังงานการสั่นของต้นกำเนิดเสียงจะถูกถ่ายโอนให้แก่โมเลกุลของอากาศที่อยู่รอบๆ แหล่งกำเนิดเสียงซึ่งพลังงานจะถูกถ่ายโอนผ่านโมเลกุลของอากาศต่อกันไปถึงหูผู้ฟัง ทำให้แก้วหูสั่นสะเทือน เป็นผลให้ผู้ฟังได้ยินเสียง การได้ยินเสียงของผู้ฟัง ขึ้นกับปัจจัยหลายประการ ซึ่งจะศึกษาต่อไป

ความเข้มของเสียง

แหล่งกำเนิดที่มีช่วงกว้างของการสั่น (amplitude) กว้างมาก จะเกิดเสียงดังกว่าเสียงที่มี amplitude น้อย ในทางวิทยาศาสตร์ เรียกความดังของเสียงว่า *ความเข้มของเสียง* การวัดความเข้มของเสียงวัดได้จากพลังงานของเสียงที่ตกตั้งฉากบน 1 หน่วยพื้นที่ใน 1 หน่วยเวลา มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (Watt/m²) และหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

- เมื่อ I คือ ความเข้มของเสียงที่จุดใดจุดหนึ่ง (Watt/m²)
 P คือ กำลังของเสียงจากแหล่งกำเนิด (Watt)
 R คือ ระยะระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงกับจุดที่พิจารณา (m)
 A คือ พื้นที่ของเสียงที่ตกตั้งฉากกับแหล่งกำเนิด
 S คือ จุดกำเนิดคลื่นเสียงที่มีหน้าคลื่นเป็นรูปทรงกลม
 \therefore พื้นที่ ๆ เสียงตกตั้งฉากก็คือ พื้นที่ผิวทรงกลม ซึ่งมีพื้นที่ = $4\pi R^2$



$$I = \frac{W}{tA} = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi R^2}$$

$$\therefore I \propto \frac{1}{R^2}$$

ความเข้มเสียงสูงสุดที่มนุษย์ได้ยิน (เสียงดัง) 1 watt / m²

ความเข้มเสียงต่ำสุดที่มนุษย์ได้ยิน (เสียงเบา) 10⁻¹² watt/m²

ตัวอย่าง ชายคนหนึ่งขณะอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิด 3 เมตร จะได้ยินเสียงมีความเข้ม 10⁻⁸ watt / m² แหล่งกำเนิดเสียงมีกำลังเสียงกี่วัตต์

วิธีทำ จาก $I = \frac{P}{4\pi R^2} \Rightarrow P = 4\pi R^2 (I)$

$$\text{แทนค่า } P = 4\pi(3)^2(10^{-8}) = 36 \times 10^{-8} \pi \text{ วัตต์}$$

ตอบ แหล่งกำเนิดเสียงมีกำลังเสียงเท่ากับ $36 \times 10^{-8} \pi$ วัตต์

เมื่อหูไม่สามารถใช้เป็นมาตรฐานในการวัดความเข้มของเสียงได้ จึงมีการวัดความเข้มของเสียง
ดัง สมการและตัวอย่างข้างตน

ระดับความเข้มของเสียง

เมื่อหาอัตราส่วนระหว่างความเข้มเสียงที่ดังที่สุดที่มนุษย์ทนฟังได้กับความเข้มเสียงเบาที่สุดที่
มนุษย์ได้ยินมีค่ามากถึง 10^{12} ดังนั้นเพื่อความสะดวกในทางปฏิบัติ จึงนิยมใช้ ระดับความเข้มเสียงเป็น
ปริมาณที่บอกความดังของเสียงแทน ความเข้มเสียง และเป็นเกียรติแก่ อเล็กซานเดอร์ เกรแฮม เบล
ระดับความเข้มของเสียงและมีหน่วยเรียกว่า เบล แต่เนื่องจากเบลเป็นหน่วยที่ใหญ่เกินไป ไม่สามารถ
บอกความละเอียดที่จะบอกค่าความดังของเสียงต่าง ๆ ได้ จึงแบ่งเป็นหน่วยย่อยลงไป เรียกว่า เดซิเบล (dB)

มนุษย์สามารถได้ยินเสียงที่มีความดังที่ระดับความเข้มของเสียงตั้งแต่ 0 – 120 เดซิเบล เสียงที่ดัง
มากเกินไปอาจทำให้หูหนวกได้ เช่น เสียงฟ้าผ่าใกล้ๆตัว ที่มีค่าความดังเกิน 120 dB เป็นต้น เสียงที่มี
ความดังไม่มากแต่ได้ยินเป็นเวลานานหลายชั่วโมงก็อาจเป็นอันตรายได้ เช่น เสียงเครื่องจักรในโรงงาน
อุตสาหกรรม (มลภาวะทางเสียง) องค์การอนามัยโลกจึงกำหนดว่าเสียงที่ปลอดภัยต้องมีความเข้มไม่
เกิน 85 dB เมื่อต้องได้ยินติดต่อกันวันละ 8 ชั่วโมงขึ้นไป เสียงที่ดังไม่ถึงขั้นเป็นอันตรายกับหู แต่อาจมี
ผลกระทบทางด้านจิตใจได้ เช่น ทำให้เกิดความเครียด ไม่มีสมาธิ เป็นต้น

เราสามารถหาระดับความเข้มของเสียง ได้ดังนี้

เมื่อ β คือ ระดับความเข้มของเสียงที่จุดพิจารณา (dB , เดซิเบล)

I คือ ความเข้มของเสียงขณะใดขณะหนึ่งที่จุดพิจารณา (watt/m²)

I_0 คือ ความเข้มของเสียงต่ำสุดที่มนุษย์ได้ยิน = 10^{-12} watt/m²

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

ตัวอย่าง หน้าต่างแห่งหนึ่ง มีคลื่นเสียงผ่านวัดระดับความเข้มของเสียงได้ 80 dB จงหาว่า ขณะนั้นมีความ
เข้มของเสียงกี่วัตต์ต่อตารางเมตร

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

แทนค่า $80 = 10 \log \frac{I}{10^{-12}} = 10 (\log I - \log 10^{-12})$

$$\begin{aligned}
 80 &= 10 (\log I - (-12)\log 10) \\
 \frac{80}{10} &= \log I + 12 \\
 8 - 12 &= \log I \\
 -4 &= \log I \\
 10^{-4} &= I \\
 I &= 10^{-4} \quad \text{watt/m}^2
 \end{aligned}$$

ตอบ คลื่นเสียงขณะที่ผ่านมาต่างมีความเข้มของเสียงเท่ากับ 10^{-4} วัตต์ต่อตารางเมตร

ตาราง แสดงระดับความเข้มเสียงจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ

แหล่งกำเนิด	ระดับความเข้มเสียง (เดซิเบล , dB)	ผลการรับฟัง
การหายใจปกติ	10	แทบจะไม่ได้ยิน
การกระซิบแผ่วเบา	30	เสียงมาก
สำนักงานที่เงียบ	50	เงียบ
การพูดคุยธรรมดา	60	ปานกลาง
เครื่องดูดฝุ่น	75	ดัง
โรงงานทั่วไป , ถนนที่มีการจราจรหนาแน่น	80	ดัง
เครื่องเสียงสเตอริโอในห้อง , เครื่องเจาะถนน	90	} รับฟังบ่อย ๆ } การได้ยินจะเสื่อม
แบบอัดลม		
เครื่องตัดหญ้า	100	} อย่างถาวร

ตาราง (ต่อ)

แหล่งกำเนิด	ระดับความเข้มเสียง (เดซิเบล , dB)	ผลการรับฟัง
ดิสโก้เธค การแสดงดนตรีประเภทร็อก	120	} ไม่สบายหู
ฟ้าผ่าระยะใกล้	130	
เครื่องบินไอพ่นกำลังขึ้นที่ระยะใกล้	150	เจ็บปวดในหู
จรวดขนาดใหญ่กำลังขึ้นที่ระยะใกล้	180	แก้วหูชำรุดทันที

มลภาวะของเสียง

เมื่อเราอยู่ใกล้บริเวณที่กำลังมีการตอกเสาเข็มหรือมีการขุดเจาะถนนด้วยเครื่องเจาะหรือบริเวณโรงงานอุตสาหกรรมที่มีเครื่องจักรขนาดใหญ่ หรือแม้แต่ในบริเวณสนามบิน เสียงที่เกิดขึ้นในบริเวณเหล่านี้ จะเป็นเสียงที่มีระดับความเข้มเสียงสูง ถ้าหูรับฟังเสียงเหล่านี้ติดต่อกันนาน ๆ จำทำให้สภาพหู

และสภาพจิตใจของผู้ฟังผิดปกติได้ ดังนั้นผู้ที่ทำงานในบริเวณที่มีระดับความเข้มสูง จึงต้องมีจุกอุดหูหรือที่ครอบหูหรือวัสดุเก็บเสียงอื่นๆ เพื่อช่วยลดระดับความเข้มเสียงให้ปลอดภัย

เนื่องจากเสียงที่มีระดับความเข้มเสียงสูง เป็นอันตรายต่อผู้ฟังที่อยู่ใกล้ กระทรวงมหาดไทยจึงได้ออกประกาศเกี่ยวกับความปลอดภัยในการทำงานในบริเวณที่มีเสียงดัง โดยมีเกณฑ์ ดังแสดงในตาราง

ตาราง ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่องความปลอดภัยเกี่ยวกับเสียง

เวลาในการทำงานต่อวัน (ชั่วโมง)	ระดับความเข้มเสียงที่คนทำงานได้รับอย่างต่อเนื่องต้องไม่เกิน (เดซิเบล)
น้อยกว่า 7	91
7 – 8	90
มากกว่า 8	80

เสียงที่มีระดับความเข้มเสียงสูง และเสียงที่ทำความรำคาญแก่ผู้ฟัง คือ **มลภาวะของเสียง**

การปรับปรุงหรือแก้ไข แหล่งกำเนิดเสียงให้มีกำลังเสียงลดลง จะทำให้ระดับความเข้มของเสียงลดลงด้วย จึงจัดเป็นการลดมลภาวะของเสียงวิธีหนึ่ง ในกรณีที่เราไม่สามารถแก้ไขความดังของเสียงที่แหล่งกำเนิดเสียงได้ การป้องกันโดยวิธีอื่น ๆ เช่น การใช้จุกอุดหู หรือที่ครอบหู หรือการติดตั้งวัสดุเก็บเสียง จะสามารถช่วยลดมลภาวะของเสียงได้

หูกับการได้ยิน

หูเป็นอวัยวะสำคัญในการรับเสียง แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

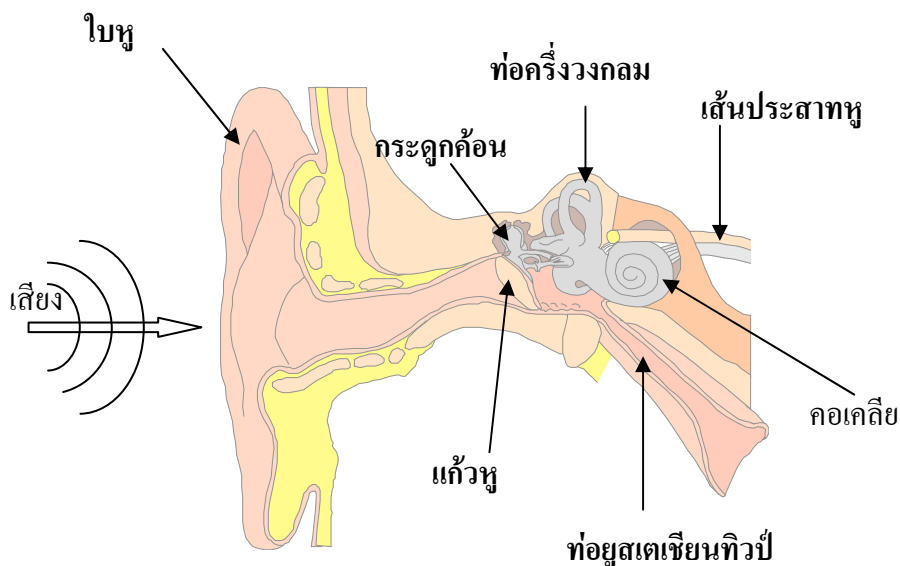
1) หูส่วนนอก (external ear) ประกอบด้วยใบหู รูหูหรือช่องหู จนถึงแก้วหู ทำหน้าที่รับเสียงจากภายนอก คลื่นเสียงเดินทางไปทางรูหู โดยมีช่องหูทำหน้าที่รวมเสียงไปสู่แก้วหู

2) หูส่วนกลาง (middle ear) อยู่ถัดจากแก้วหูเข้าไป มีลักษณะเป็นโพรงอากาศ ภายในมีกระดูก 3 ชิ้น ได้แก่กระดูกค้อน อยู่ชิดแนบกับแก้วหู กระดูกโกลนมีฐานวางปิดช่องที่ต่อไปยังหูชั้นใน และกระดูกทั่งทำหน้าที่ส่งต่อแรงสั่นสะเทือนของเสียงไปยังหูส่วนใน และหูส่วนกลาง นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ปรับความดันอากาศภายในให้เท่ากับความดันอากาศภายนอก โดยอาศัยท่อที่ติดต่อกับโพรงอากาศ หากความดันไม่เท่ากันจะทำให้หูอื้อ ได้ยินเสียงไม่ชัดเจน

3) หูส่วนใน (inner ear) ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน

ส่วนแรก คือ คอเคลีย (cochlea) เป็นท่อขดคล้ายรูปหอยโข่ง ภายในมีช่องเหลว มีเซลล์รับความสั่นสะเทือนของของเหลวภายในคอเคลีย ทำหน้าที่รับคลื่นเสียง และแปลงเป็นคลื่นไฟฟ้าไปตามประสาทได้ยินไปยังสมอง เพื่อรับรู้การได้ยินและแปลความหมายโดยสมอง

ส่วนที่สอง คือ ท่อครึ่งวงกลม 3 ท่อ ตั้งฉากซึ่งกันและกัน ทำหน้าที่รับการทรงตัวของร่างกายและการเคลื่อนไหวของศีรษะ



เสียงดนตรี

ระดับเสียง

การได้ยินเสียงของคนเรา นอกจากจะได้ยินเสียงดังหรือเสียงค่อย(ความเข้มเสียงและระดับความเข้มเสียง)แล้ว ยังขึ้นกับความถี่ของเสียงด้วย(เสียงสูงหรือเสียงต่ำ) ความถี่ของเสียงที่หูคนปกติได้ยินมีค่าตั้งแต่ 20 – 20,000 Hz ดังนั้นเสียงที่มีความถี่ต่ำกว่า 20 เฮิรตซ์ลงไปเรียกว่า **คลื่นใต้เสียง** (Infra Sonic) สำหรับเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20,000 เฮิรตซ์ ขึ้นไป เรียกว่า **คลื่นเหนือเสียง** (Ultra Sonic) สำหรับสัตว์อื่น ๆ จะได้ยินเสียงในช่วงความถี่หนึ่งเช่นกัน โดยสัตว์แต่ละชนิดจะได้ยินเสียงช่วงความถี่แตกต่างกันไป และเสียงที่มีระดับเสียงต่ำ จะเป็นเสียงที่มีความถี่น้อย เรียกว่า **เสียงทุ้ม** ส่วนเสียงที่มีระดับเสียงสูง จะเป็นเสียงที่มีความถี่มาก เรียกว่า **เสียงแหลม** การจัดระดับเสียง อาจทำได้หลายวิธี วิธีหนึ่งก็คือ แบ่งเป็นระดับเสียงดนตรี ซึ่งแสดงระดับเสียงตามตาราง

ตาราง การแบ่งระดับเสียงดนตรีในวิทยาศาสตร์

ระดับเสียงดนตรี	C (โด)	D (เร)	E (มิ)	F (ฟา)	G(ซอล)	A (ลา)	B (ที)	C' (โด)
ความถี่ (เฮิรตซ์)	256	288	320	341	384	427	480	512

เสียง C มีความถี่ 256 เฮิรตซ์ เสียง C' มีความถี่ 512 เฮิรตซ์ เราเรียกเสียง C กับ C' เป็นเสียงคู่แปด โดยจะต้องเป็นเสียงมีความถี่เป็น 2 เท่า

ดังนั้น C' กับ C'' ก็เป็นเสียงคู่แปด เมื่อเสียง C' มีความถี่ 512 เฮิรตซ์ ดังนั้นเสียง C'' จะต้องเป็นเสียงที่มีความถี่เท่ากับ 1024 เฮิรตซ์

ในการเล่นดนตรี มีการแบ่งระดับเสียงของเครื่องดนตรีสากล ตามความถี่ ดังตารางต่อไปนี้

ตาราง การแบ่งระดับเสียงดนตรีในทางดนตรีสากล

ระดับเสียง ดนตรี	C (โด)	D (เร)	E (มี)	F (ฟา)	G(ซอล)	A (ลา)	B (ที)	C' (โด)
ความถี่ (เฮิรตซ์)	261.6	293.7	329.6	349.2	392.0	440.0	493.9	523.3

เมื่อพิจารณาเสียงดนตรีพื้นเมืองของแต่ละชาติ พบว่ามีการแบ่งระดับเสียงแตกต่างกัน จึงทำให้เสียงดนตรีแต่ละชาติมีเอกลักษณ์เฉพาะตัว การแบ่งระดับเสียงดนตรีของไทยในยุคใหม่ใกล้เคียงกับการแบ่งระดับเสียงดนตรีสากล ทำให้เครื่องดนตรีไทยสามารถเล่นเพลงสากลบางเพลงได้ และเครื่องดนตรีสากลก็สามารถเล่นเพลงไทยบางเพลงได้เช่นกัน จึงมีการนำเครื่องดนตรีสากลมาบรรเลงร่วมกับดนตรีไทย เช่น เครื่องผสมออร์แกน หรือเครื่องสายผสมเปียโน

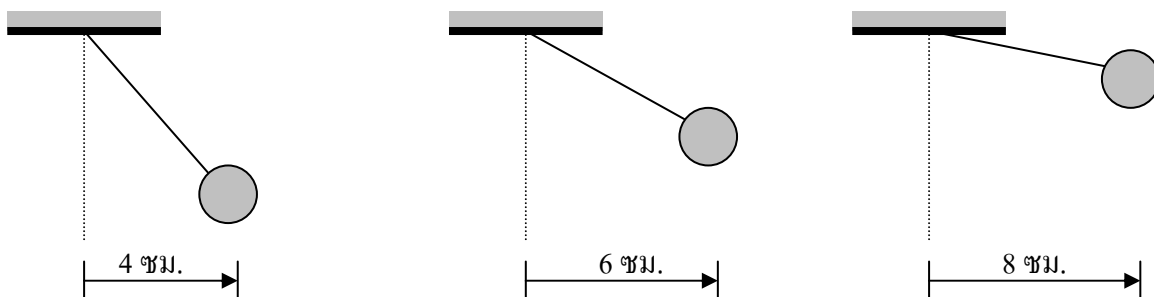
คุณภาพเสียง

แหล่งกำเนิดเสียงต่างกัน อาจให้เสียงที่มีระดับเสียงเดียวกัน เช่น ไวโอลินและขลุ่ยเล่นโน้ตเดียวกันจะให้เสียงที่มีความถี่เดียวกัน แต่เราสามารถแยกออกได้ว่า เสียงใดเป็นเสียงไวโอลินและเสียงใดเป็นเสียงขลุ่ย แสดงว่านอกจากระดับเสียงแล้ว จะต้องมียปัจจัยอื่นอีกที่ทำให้เสียงที่ได้ยินแตกต่างกัน จนเราสามารถแยกประเภทของแหล่งกำเนิดเสียงนั้น ๆ ได้ ทั้งนี้เป็นผลจากการซ้อนทับกันของคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงหลาย ๆ แหล่งที่มีความถี่ $f, 2f, 3f, \dots, nf$ โดยแอมพลิจูดหรือความเข้มของเสียงแต่ละความถี่แตกต่างกัน มาซ้อนทับกัน ทำให้คลื่นเสียงมีลักษณะเฉพาะตัวที่แตกต่างกันไป

ดังนั้นต้นกำเนิดเสียงต่าง ๆ ขณะสั่น จะให้เสียงซึ่งมีความถี่มูลฐาน(ความถี่ต่ำสุดของเสียงที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดใด ๆ) และ ฮาร์โมนิก (จำนวนเต็มเท่าของความถี่มูลฐาน) ต่าง ๆ ที่ออกมาพร้อมกันเสมอ แต่จำนวนฮาร์โมนิกและความเข้มเสียงของแต่ละฮาร์โมนิกจะแตกต่างกัน ทำให้ลักษณะของคลื่นเสียงที่ออกมาแตกต่างกัน สำหรับแหล่งกำเนิดเสียงที่ต่างกัน จะให้เสียงที่มีลักษณะเฉพาะตัว หรือที่เรียกว่า **คุณภาพเสียง** ต่างกันนั่นเอง คุณภาพเสียงช่วยให้เราสามารถแยกประเภทของแหล่งกำเนิดเสียงได้

ความถี่ธรรมชาติ

เป็นลักษณะเฉพาะตัวในการสั่นของวัตถุแต่ละชนิด ไม่ว่าจะให้พลังงานเท่าใด เมื่อเกิดการสั่นในหนึ่งหน่วยเวลา แล้วจะเท่ากันทุกครั้ง เช่น การแกว่งของลูกตุ้มที่จะพิจารณาจากรูปต่อไปนี้



50 รอบ ในเวลา 80 วินาที

50 รอบ ในเวลา 80 วินาที

50 รอบ ในเวลา 80 วินาที

ความถี่ = 0.625 Hz

ความถี่ = 0.625 Hz

ความถี่ = 0.625 Hz

จากรูป ข้างบน ไม่ว่าจะดึงลูกตุ้มให้ห่างจากแนวตั้งเท่าใดก็ตาม ความถี่ในการแกว่งของลูกตุ้มจะเท่าเดิมทุกครั้งไป ซึ่งเป็นความถี่ในการแกว่งของลูกตุ้ม อันเป็นลักษณะเฉพาะตัวตามธรรมชาติของลูกตุ้ม จึงเรียกความถี่ในการแกว่งของลูกตุ้มนี้ว่า **ความถี่ธรรมชาติ**ของลูกตุ้ม

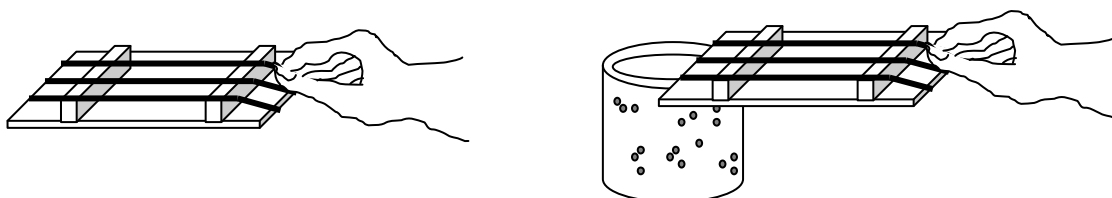
การสั่นพ้อง (Resonance)

คือปรากฏการณ์ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อพลังงานกระทบวัตถุ แล้วทำให้วัตถุสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติซึ่งเท่ากับความถี่ของพลังงานที่ตกกระทบ ทำให้วัตถุนั้นเกิดการสั่นที่ฐานแรงที่สุด (เกิดเป็นคลื่นนิ่ง) ซึ่งอาจทำให้ กระจกหรือแก้วแตกได้ เมื่อบางคนร้องเพลง

การสั่นพ้องของเสียง

การให้พลังงานจากภายนอกกับวัตถุ ด้วยความถี่ซึ่งเท่ากับความถี่ธรรมชาติของวัตถุ วัตถุจะรับพลังงานได้ดีที่สุด พลังงานนี้จะสะสมอยู่ในวัตถุนั้น ทำให้เกิดการสั่นของวัตถุรุนแรงขึ้น สภาวะที่เกิดขึ้นนี้ เรียกว่า **การสั่นพ้อง (Resonance)**

ตัวอย่าง การสร้างเครื่องดนตรี เช่น ซอ ไวโอลิน กีตาร์



จากรูปแผ่นไม้ที่ชิงสายเอ็น เมื่อดีดสายเอ็นจะทำให้เกิดเสียงในระดับหนึ่ง เมื่อ สร้างกระป๋อง หรือกล่องไม้ กล่องโลหะ ภายในกลวง วางไว้ด้านล่าง จะทำให้เกิดเสียงดังขึ้นกว่าเดิม ปรากฏการณ์นี้เป็นการทำให้เกิดการสั่นพ้องของเสียง เกิดขึ้นภายในกระป๋อง โมเลกุลของอากาศได้รับพลังงานจากภายนอก เก็บสะสมไว้ ทำให้เกิดการสั่นที่รุนแรงขึ้น จึงทำให้เกิดเสียงที่ดังมากกว่าเดิม (เกิดคลื่นนิ่ง)

บีตส์และคลื่นนิ่งของเสียง

บีตส์ (Beats)

เป็นปรากฏการณ์ที่คลื่นเสียงสองชุดซึ่งมีความถี่ใกล้เคียงกัน แอมพลิจูดเท่ากันหรือไม่ก็ได้ เคลื่อนที่ในตัวกลางเดียวกัน เกิดการแทรกสอดกันขึ้น ได้คลื่นเสียงลัพธ์ซึ่งมีแอมพลิจูดไม่คงที่ แปรเปลี่ยนตลอดเวลา ทำให้เกิดเสียงดัง-ค่อย เป็นจังหวะสลับกันไป จำนวนครั้งของเสียงดัง (หรือ จำนวนครั้งของเสียงค่อย) ใน 1 วินาที เรียกว่าความถี่บีตส์ (f_b)

เราสามารถ หาคความถี่บีตส์ได้ดังนี้

$$f_b = |f_1 - f_2| \quad \text{คือ จังหวะดังหรือค่อยที่ได้ยิน}$$

ตัวอย่าง 1 เมื่อเคาะส้อมเสียงสองอันมีความถี่ 450 และ 456 เฮิร์ตซ์ จะทำให้เกิดจังหวะเสียงดังหรือเสียงค่อยใน 1 วินาที เท่ากับเท่าไร

วิธีทำ

$$f_b = |f_1 - f_2| = |450 - 456|$$

$$= |6| = 6 \text{ Hz (มีความถี่บีตส์ 6 เฮิร์ตซ์)}$$

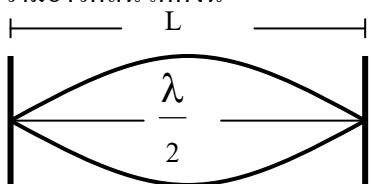
จะได้ยินจังหวะเสียงดัง 6 ครั้ง ใน 1 วินาที หรือ ได้ยินจังหวะเสียงค่อย 6 ครั้ง ใน 1 วินาที

คลื่นนิ่ง และ การสั่นพ้อง (การกำทอน) (Standing Wave and Resonance)

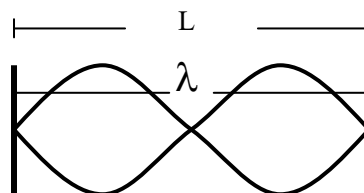
คลื่นนิ่ง (Standing Wave)

คือ คลื่นรวมที่เกิดจากคลื่นสองขบวน (ซึ่งเป็นคลื่นจากแหล่งกำเนิดอาพันธ์) เคลื่อนที่เข้าหากันในตัวกลางเดียวกัน มีผลให้เกิดปฏิบัพและบัพสลับกันไป โดยตำแหน่งของปฏิบัพ และบัพคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงตำแหน่ง ดังรูป

หาความยาวคลื่นได้ดังนี้



ปลายตึง ทั้ง 2 ข้าง

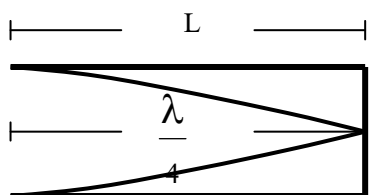


จากรูป $\frac{\lambda}{2} = L$

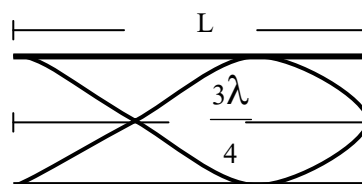
จากรูป $\lambda = L$

$$\lambda = 2L$$

หาความยาวคลื่นได้ดังนี้



ปลายตึง ข้างเดียว



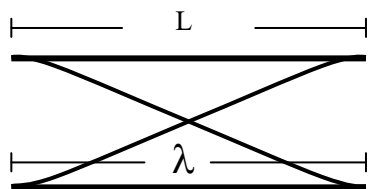
จากรูป $\frac{\lambda}{4} = L$

จากรูป $\frac{3\lambda}{4} = L$

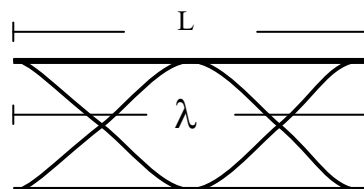
$$\lambda = 4L$$

$$\lambda = \frac{4L}{3}$$

หาความยาวคลื่นได้ดังนี้



ปลายอิสระทั้งสองข้าง



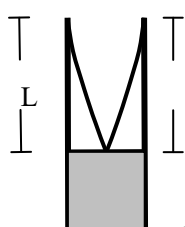
2

ตัวอย่าง ถ้าอุณหภูมิของอากาศขณะนั้นเป็น 25 องศาเซลเซียส จงหาความยาวที่น้อยที่สุดของท่อเสียงที่ทำให้เกิดความถี่เสียง จากการสั่นของซอมีเสียงด้วยความถี่ที่ติดตั้งบนท่อเสียงด้วยความถี่ 230 เฮิรตซ์

วิธีทำ

จาก	v	$=$	$331 + 0.6 t$	
แทนค่า		$=$	$331 + (0.6)(25)$	$= 345 \text{ m/s}$
จาก	v	$=$	$f\lambda$	
	λ	$=$	$\frac{v}{f}$	$= \frac{345}{230} = 1.5 \text{ m}$

หาความยาวท่อเสียง ที่น้อยที่สุด แสดงว่า เกิดการสั่นพ้องครั้งแรกและเป็นท่อปลายปิด



$$L = \frac{\lambda}{4}$$

$$L = \frac{1.5}{4} = 0.375 \text{ m}$$

ตอบ ความยาวท่อเสียง ที่น้อยที่สุด เท่ากับ 37.5 เซนติเมตร

ตัวอย่าง หลอดปลายเปิด 2 ข้าง ปลายข้างหนึ่งจุ่มลงในน้ำให้อยู่ใต้ผิวน้ำ เมื่อนำส้อมเสียงที่กำลังสั่นมาจ่อที่ปากหลอด พบว่ามีตำแหน่งเสียงดังที่สุด โดยตำแหน่งแรก จมลงในน้ำ 12 ซม. ตำแหน่งที่สอง หลอดจมลงในน้ำ 38 ซม. จงหาความยาวคลื่นเสียงนี้

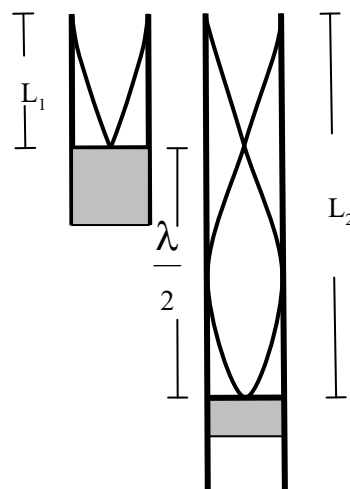
วิธีทำ ตำแหน่งที่เสียงดังที่สุดสองครั้งติดกันจะห่างกัน $\frac{\lambda}{2}$

$$L_2 - L_1 = \frac{\lambda}{2}$$

$$38 - 12 = \frac{\lambda}{2}$$

$$\lambda = 52 \text{ cm}$$

ตอบ ความยาวคลื่นของเสียงเท่ากับ 52 เซนติเมตร



ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ (Doppler Effect)

คือปรากฏการณ์ที่ผู้สังเกตได้ยินเสียงมีความถี่เปลี่ยนไปจากความถี่เดิม อันอาจเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของผู้สังเกตทำให้ความเร็วของเสียงมาถึงผู้สังเกตเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม และหรือเนื่องจากการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดเสียง ทำให้ความยาวคลื่นที่ผู้สังเกตได้รับผิดไปจากเดิม จึงมีผลให้ผู้สังเกตได้ยินเสียงแหลม หรือทุ้มมากกว่าความจริง (ความถี่สูงเสียงแหลม , ความถี่ต่ำเสียงทุ้ม)

- กำหนดให้ v = ความเร็วเสียงในอากาศ
- v_o = ความเร็วของผู้สังเกต
- v_s = ความเร็วของแหล่งกำเนิด
- f_o = ความถี่ที่ผู้สังเกตได้ยิน
- f_s = ความถี่เสียงของแหล่งกำเนิด
- λ = ความยาวคลื่นเสียงในอากาศ
- \bar{v} = ความเร็วสัมพัทธ์

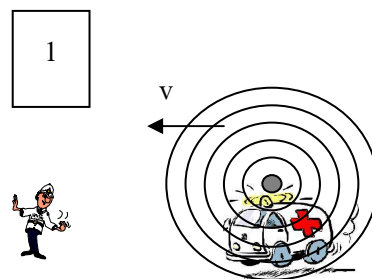
พิจารณาจากรูป เกี่ยวกับการเกิดปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ เมื่อตัวกลางอยู่กับที่ (อากาศ)

จากรูป 1

Source (แหล่งกำเนิดเสียง) อยู่กับที่

ผู้สังเกต (Observe) อยู่กับที่ด้วย

จะได้ว่า ความถี่ที่ผู้สังเกตได้ยิน = ความถี่ของ Source
 $f_o = f_s$



จากรูป 2 และ 3

Source (แหล่งกำเนิดเสียง) อยู่กับที่

ผู้สังเกต (Observe) เคลื่อนที่

1. จากรูป 2 ผู้สังเกต (Observe) เคลื่อนที่ เข้าหา จะทำให้ผู้สังเกตได้ยินเสียงมีความถี่เพิ่มขึ้น

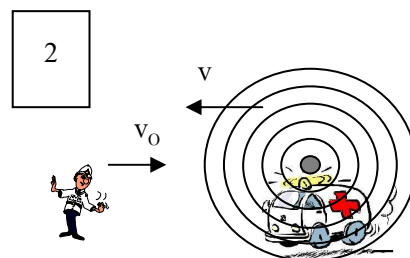
การเคลื่อนที่ในลักษณะนี้ จะมีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่าง ความเร็วเสียงในอากาศ แหล่งกำเนิดเสียง และ ผู้สังเกต

ดังนั้น ให้ \bar{v} คือ ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่าง ความเร็วเสียงกับแหล่งกำเนิด หรือ ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่าง ความเร็วเสียงกับผู้สังเกต

พิจารณาความเร็วเสียงกับความเร็วแหล่งกำเนิด จะได้

ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่าง ความเร็วเสียงกับความเร็วแหล่งกำเนิด ดังนี้
 คือ $\bar{v} = v \pm v_s$

ถ้า $\bar{v} = v + v_s$ แสดงว่า ความเร็วเสียง และ แหล่งกำเนิดเสียง เคลื่อนที่สวนทางกัน



$\bar{v} = v - v_s$ แสดงว่า ความเร็วเสียง และ แหล่งกำเนิดเสียง เคลื่อนที่ไปทางเดียวกัน

พิจารณาความเร็วเสียงกับความเร็วของผู้สังเกต จะได้

ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่าง ความเร็วเสียงกับความเร็วของผู้สังเกต ดังนี้

คือ $\bar{v} = v \pm v_o$

ถ้า $\bar{v} = v + v_o$ แสดงว่า ความเร็วเสียง และ ผู้สังเกต เคลื่อนที่สวนทางกัน

$\bar{v} = v - v_o$ แสดงว่า ความเร็วเสียง และ ผู้สังเกต เคลื่อนที่ไปทางเดียวกัน

จาก $v = f\lambda$

จะได้ $\bar{v} = f\lambda$

จากรูป 2 พิจารณาที่แหล่งกำเนิดเสียง ได้

$v \pm v_s = f_s \lambda_s$; เมื่อแหล่งกำเนิดเสียงอยู่กับที่ $v_s = 0$

แทนค่า $v_s = 0$ ได้ $v = f_s \lambda_s$ (1)

จากรูป 2 พิจารณาที่ผู้สังเกต ได้

$v \pm v_o = f_o \lambda_o$

เมื่อ v กับ v_o เคลื่อนที่สวนทางกันจะได้ $v + v_o = f_o \lambda_o$ (2)

(1)/(2) $\frac{v}{v + v_o} = \frac{f_s \lambda_s}{f_o \lambda_o}$

เมื่อ $\lambda_s = \lambda_o$ เพราะความยาวคลื่น อยู่ระหว่างผู้สังเกตและแหล่งกำเนิดที่เดียวกัน จึงเท่ากัน

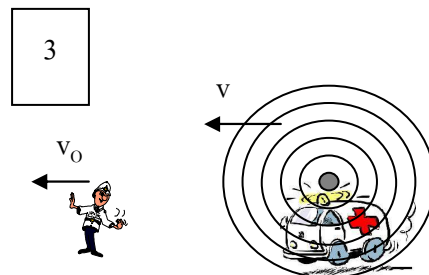
$\frac{v}{v + v_o} = \frac{f_s}{f_o}$

$f_o = \left(\frac{v + v_o}{v}\right) f_s$

2. จากรูป 3 ผู้สังเกต (Observe) เคลื่อนที่หนี จะทำให้ผู้สังเกตได้ยินเสียงมีความถี่ต่ำลง

จาก $v = f\lambda$

จะได้ $\bar{v} = f\lambda$



จากรูป 3 พิจารณาที่แหล่งกำเนิดเสียง ได้

$v \pm v_s = f_s \lambda_s$; เมื่อแหล่งกำเนิดเสียงอยู่กับที่ $v_s = 0$

แทนค่า $v_s = 0$ ได้ $v = f_s \lambda_s$ (1)

จากรูป 3 พิจารณาที่ผู้สังเกต ได้

$v \pm v_o = f_o \lambda_o$

เมื่อ v กับ v_o เคลื่อนที่ไปทางเดียวกัน จะได้ $v - v_o = f_o \lambda_o \dots\dots\dots (2)$

$$(1)/(2) \quad \frac{v}{v - v_o} = \frac{f_s \lambda_s}{f_o \lambda_o}$$

เมื่อ $\lambda_s = \lambda_o$ เพราะความยาวคลื่น อยู่ระหว่างผู้สังเกตและแหล่งกำเนิดที่เดียวกัน จึงเท่ากัน

$$\frac{v}{v - v_o} = \frac{f_s}{f_o}$$

$$f_o = \left(\frac{v - v_o}{v} \right) f_s$$

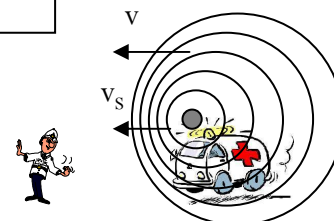
จากรูป 4 และ 5

Source (แหล่งกำเนิดเสียง) เคลื่อนที่

ผู้สังเกต (Observe) อยู่ที่



1. จากรูป 4 Source (แหล่งกำเนิดเสียง) เคลื่อนที่ เข้าหา จะทำให้ผู้สังเกตได้ยินเสียงมีความถี่เพิ่มขึ้น



จาก $v = f \lambda$

จะได้ $\bar{v} = f \lambda$

จากรูป 4 พิจารณาที่แหล่งกำเนิดเสียง ได้

$$v \pm v_s = f_s \lambda_s$$

เมื่อ v กับ v_o เคลื่อนที่ไปทางเดียวกัน จะได้ $v - v_s = f_s \lambda_s \dots\dots\dots (1)$

จากรูป 4 พิจารณาที่ผู้สังเกต ได้ $v \pm v_o = f_o \lambda_o$; เมื่อผู้สังเกตอยู่ที่ $v_o = 0$

แทนค่า $v_o = 0$ จะได้ $v = f_o \lambda_o \dots\dots\dots (2)$

$$(1)/(2) \quad \frac{v - v_s}{v} = \frac{f_s \lambda_s}{f_o \lambda_o}$$

เมื่อ $\lambda_s = \lambda_o$ เพราะความยาวคลื่น อยู่ระหว่างผู้สังเกตและแหล่งกำเนิดที่เดียวกัน จึงเท่ากัน

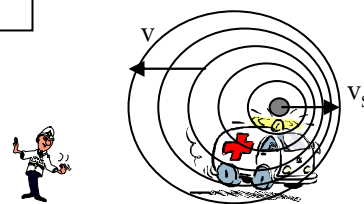
$$\frac{v - v_s}{v} = \frac{f_s}{f_o}$$

$$f_o = \left(\frac{v}{v - v_s} \right) f_s$$

2. จากรูป 5 Source (แหล่งกำเนิดเสียง) เคลื่อนที่ หนี จะทำให้ผู้สังเกตได้ยินเสียงมีความถี่ต่ำลง

5

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad v &= f\lambda \\ \text{จะได้} \quad \bar{v} &= f\lambda \end{aligned}$$



จากรูป 5 พิจารณาที่แหล่งกำเนิดเสียงได้

$$v \pm v_s = f_s \lambda_s$$

เมื่อ v กับ v_o เคลื่อนที่สวนกัน จะได้ $v + v_s = f_s \lambda_s \dots\dots\dots (1)$

จากรูป 4 พิจารณาที่ผู้สังเกตได้ $v \pm v_o = f_o \lambda_o$; เมื่อผู้สังเกตอยู่กับที่ v_o = 0

แทนค่า v_o = 0 จะได้ $v = f_o \lambda_o \dots\dots\dots (2)$

$$(1)/(2) \quad \frac{v + v_s}{v} = \frac{f_s \lambda_s}{f_o \lambda_o}$$

เมื่อ $\lambda_s = \lambda_o$ เพราะความยาวคลื่น อยู่ระหว่างผู้สังเกตและแหล่งกำเนิดที่เดียวกัน จึงเท่ากัน

$$\frac{v + v_s}{v} = \frac{f_s}{f_o}$$

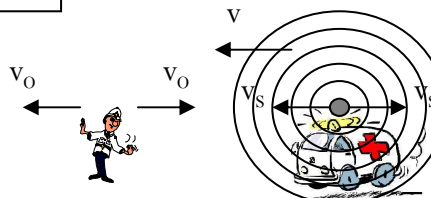
$$f_o = \left(\frac{v}{v + v_s} \right) f_s$$

ดังนั้นเราสามารถสรุป สูตร ของปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ เมื่อ ตัวกลางอยู่นิ่ง (อากาศ) ได้ดังนี้

จากรูป 6 สรุปสูตรได้ดังนี้

$$f_o = \left(\frac{v \pm v_o}{v \pm v_s} \right) f_s$$

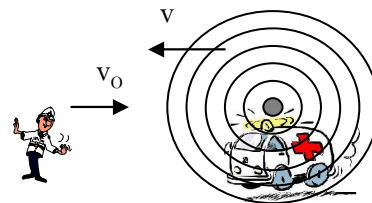
6



- ผู้สังเกตเคลื่อนที่เข้า แทน v_o ด้วย (+)
- ผู้สังเกตเคลื่อนที่หนี แทน v_o ด้วย (-)
- Source (แหล่งกำเนิด) เคลื่อนที่เข้า แทน v_s ด้วย (-)
- Source (แหล่งกำเนิด) เคลื่อนที่หนี แทน v_s ด้วย (+)

ตัวอย่าง ชายคนหนึ่งวิ่งเข้าหาแหล่งกำเนิดเสียงด้วยความเร็ว 10 เมตรต่อวินาที ถ้าเสียงนั้นถูกปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดเสียงที่อยู่หนึ่ง และมีความถี่ 480 Hz ขณะนั้นความเร็วเสียงในอากาศ 300 Hz ชายผู้นั้นจะได้ยินเสียงความถี่เท่าใด

วิธีทำ จาก $f_o = \left(\frac{v \pm v_o}{v \pm v_s} \right) f_s$



เมื่อ $v =$ ความเร็วเสียงในอากาศ = 300 m/s
 $v_o =$ ความเร็วของผู้สังเกต = 10 m/s เคลื่อนที่เข้าหา (+)
 $v_s =$ ความเร็วของแหล่งกำเนิด = 0 m/s
 $f_o =$ ความถี่ที่ผู้สังเกตได้ยิน = ?
 $f_s =$ ความถี่เสียงของแหล่งกำเนิด = 480 Hz

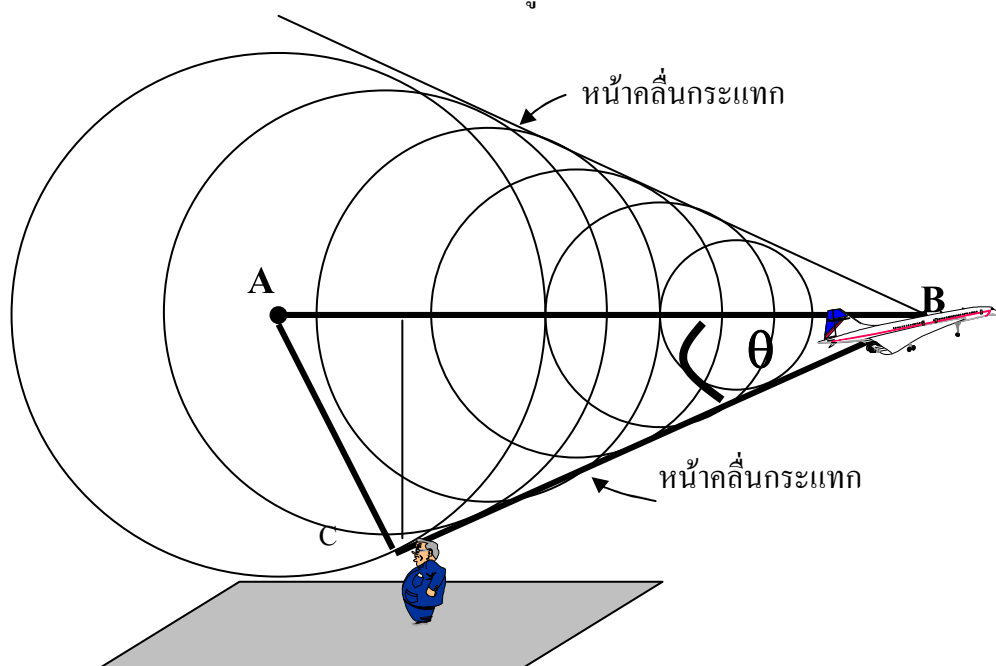
จะได้ $f_o = \left(\frac{v + v_o}{v} \right) f_s$

แทนค่า $f_o = \left(\frac{300 + 10}{300} \right) 480 = 496 \text{ Hz}$

ตอบ ชายผู้นั้นจะได้ยินเสียงความถี่เท่ากับ 496 เฮิรตซ์

คลื่นกระแทก (Shock Wave)

คือ ปรากฏการณ์ที่ผู้สังเกตที่อยู่หนึ่งได้ยินเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง (Source) มีความเร็วมากกว่าความเร็วของเสียง แสดงลักษณะของคลื่นได้ดังรูป



จากรูป แหล่งกำเนิดเสียง (Source) เคลื่อนจาก A \rightarrow B ใช้เวลา t คลื่นเสียงเคลื่อนจาก A \rightarrow C ใช้เวลา t อันเดียวกัน

$$\text{จะได้} \quad \sin\theta = \frac{AC}{AB} = \frac{AC/t}{AB/t} = \frac{v}{v_s}$$

$$\sin\theta = \frac{v}{v_s}$$

เมื่อ v = ความเร็วคลื่นเสียง , v_s = ความเร็วของแหล่งกำเนิด , θ = ครึ่งหนึ่งของมุมที่ปลายกรวย

Mach number คือเลขที่ให้ทราบความเร็วของแหล่งกำเนิดเสียงเป็นกี่เท่าของความเร็วคลื่นเสียง
หาค่า Mach number ได้จาก อัตราส่วนระหว่าง อัตราเร็วของแหล่งกำเนิดกับอัตราเร็วเสียง

$$\text{Mach number} = \frac{v_s}{v} = \frac{1}{\sin\theta}$$

ตัวอย่าง เครื่องบิน มีความเร็ว 2.5 มัค จะมีอัตราเร็วเท่ากับเท่าไร ถ้าอัตราเร็วเสียงเท่ากับ 340 เมตรต่อวินาที

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ} \quad \text{Mach number} &= \frac{v_s}{v} \\ \text{แทนค่า } 1.25 &= \frac{v_s}{340} \\ v_s &= (2.5)(340) \\ &= 850 \quad \text{เมตรต่อวินาที} \end{aligned}$$

ตอบ เครื่องบิน มีความเร็ว 1.25 มัค จะมีอัตราเร็วเท่ากับ 850 เมตรต่อวินาที

