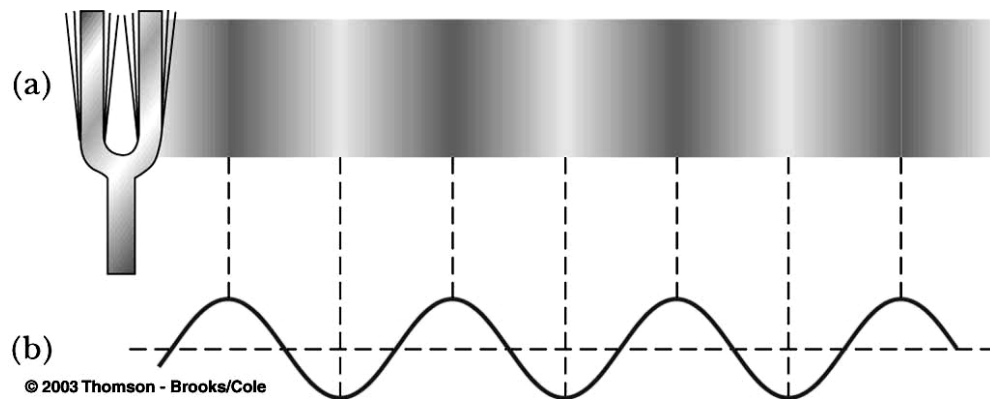
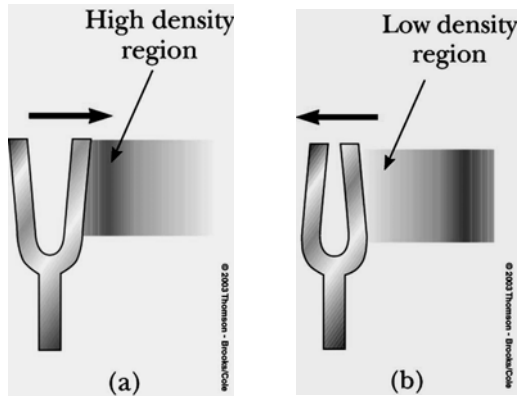


คลื่นเสียง(Sound)

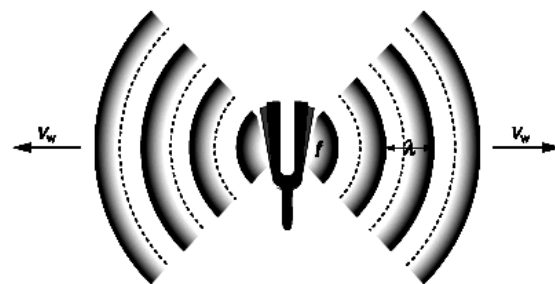
แหล่งกำเนิดคลื่นเสียง

เสียงเป็นคลื่นตามยาว(longitudinal waves) เคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง ตัวอย่างคลื่นเสียงจาก
 ซ้อมเสียง

ขณะที่ตีซ้อมเสียงจะเกิดการบีบอัด-คาย ของตัวกลางบริเวณรอบๆ แหล่งกำเนิดคลื่นเสียงและ
 เคลื่อนที่ออกไปโดยรอบและสามารถแทนระดับความเข้มของการบีบอัด-คาย ได้ด้วยรูปคลื่น ดังรูป



รายละเอียดทั่วไปของคลื่นเสียง



ความถี่คลื่นเสียงคือระดับความถี่ที่มนุษย์สามารถ
 รับฟังได้ปกติ

ระหว่าง 20 Hz to 20,000 Hz คลื่นต่ำ
 (Infrasonic waves)

ความถี่ที่ต่ำกว่า 20 Hz คลื่นเหนือเสียง
 (Ultrasonic waves)

ความถี่ที่สูงกว่า 20,000 Hz ความสัมพันธ์
 ระหว่างความถี่ ความยาวคลื่น และความเร็วคลื่น

$$v = \lambda f$$

ความเร็วคลื่นเสียง(Speed of Sound)

$$v = \sqrt{\frac{\text{elastic property}}{\text{inertial property}}}$$

ความเร็วคลื่นเสียงในตัวกลางของแข็งมากกว่าในตัวกลางของเหลว และความเร็วในตัวกลางของเหลวมากกว่าในตัวกลางที่เป็นก๊าซ ส่วนความเร็วคลื่นเสียงในตัวกลางที่เป็นเส้นหาได้จาก

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad \text{เมื่อ } F \text{ คือแรงตึงเชือก } \mu \text{ คือมวลต่อความยาว}$$

ในตัวกลางที่เป็นแท่ง(Solid Rod)

$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$

Y คือยังมอดูลัสของวัสดุที่เป็นตัวกลาง

ρ คือความหนาแน่น

ความเร็วเสียงในของเหลว(Fluid)

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

B คือบัลคมอดูลัสของของเหลว

ρ คือความหนาแน่นของของเหลว

ความเร็วเสียงในตัวกลางอากาศ

ความหนาแน่นแปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิ ดังนั้น

331 m/s ความเร็วเสียงที่อุณหภูมิ 0° C

T คืออุณหภูมิของตัวกลาง

$$v = (331 \frac{m}{s}) \sqrt{\frac{T}{273 K}}$$

ความเข้มเสียง

(Intensity of Sound Waves)

intensity ของคลื่นคืออัตราการส่งผ่านพลังงานต่อหน่วยพื้นที่ A ที่ปกคลุมโดยรอบและตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น

$$I = \frac{\Delta E}{A \Delta t} = \frac{P}{A}$$

P คือกำลัง(the rate of energy transfer) มีหน่วยเป็น W/m^2

ความดังเสียง(Threshold of hearing)

ความเข้มเสียงที่เบาสุดที่มนุษย์สามารถได้ยินประมาณ $1 \times 10^{-12} W/m^2$

ดังสุดที่มนุษย์สามารถทนฟังได้ $1 W/m^2$ มนุษย์มีความสามารถตอบสนองต่อการได้ยินเสียงมาก

ระดับความเข้มเสียง

ระดับความดังที่กำหนดเป็นสมการลอการิทึมของสัดส่วนความเข้มเสียง β มีหน่วยเป็น เดซิเบล

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

เมื่อ I_0 เป็นความเข้มเสียงเบาสุดที่ได้ยินได้ $= 1.0 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$

เบาสุดจนรับฟังไม่ได้ 0 dB ดังสุดจนหูทึงฟังไม่ได้คือมากกว่า 120 dB เสียงเครื่องบินประมาณ 150 dB

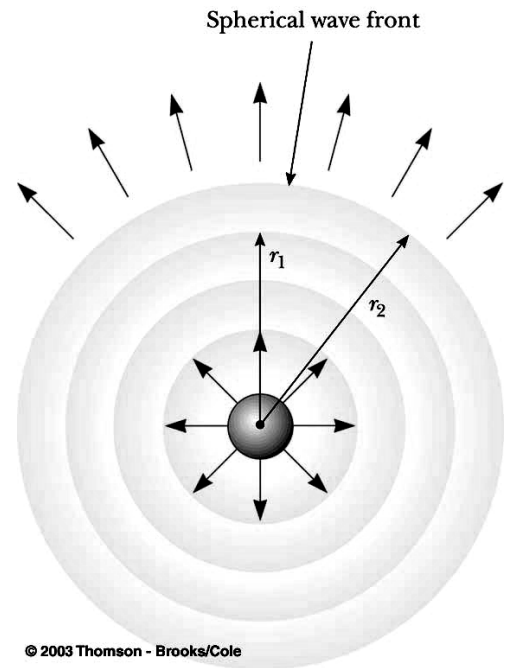
ความเข้มที่จุดกำเนิดเสียง

คลื่นทรงกลมที่เคลื่อนที่ออกไปโดยรอบจากจุดกำเนิดแผ่พลังงานออกไปโดยรอบตามทิศทางคลื่นเคลื่อนที่ความเข้มเสียงหาได้จาก

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

ความเข้มแปรผันตาม $1/r^2$ สัมพันธ์กับส่วนกลับกำลังสองของรัศมี ในระยะรัศมีเดียวกันพลังงานที่แผ่ออกไปเท่ากันสามารถเปรียบเทียบความเข้มเสียงสองจุดที่ระยะห่างจากจุดกำเนิดใดๆสองจุดได้ดังนี้

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$



© 2003 Thomson - Brooks/Cole

ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์(Doppler Effect)

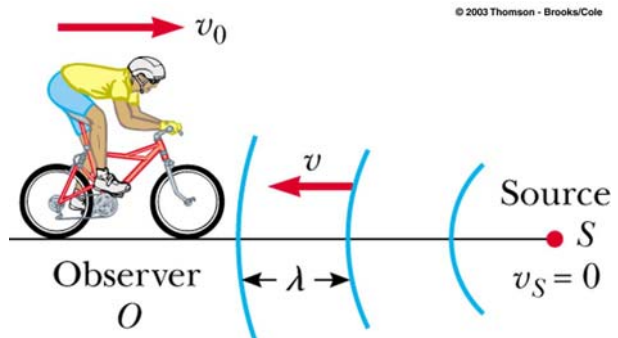
เกิดขึ้นเมื่อมีการเคลื่อนที่ของผู้ส่งคลื่นและ/หรือผู้รับคลื่นอย่างใดอย่างหนึ่งหรือทั้งสองเคลื่อนที่พร้อมๆกันเมื่อผู้ส่งคลื่นและผู้รับคลื่นเคลื่อนที่เข้าหากันจะได้รับฟังความถี่ที่เพิ่มขึ้นจากปกติ เมื่อผู้ส่งคลื่นและผู้รับคลื่นเคลื่อนที่ออกจากกันจะได้รับฟังความถี่ที่ต่ำกว่าปกติ เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้กับคลื่นแบบอื่นๆ ด้วยนอกเหนือจากคลื่นเสียง

กรณีที่ 1

ผู้รับฟังเคลื่อนที่เข้าหาแหล่งกำเนิดที่หยุดนิ่ง การเคลื่อนที่เข้าหาทำให้ผู้รับฟังได้รับจำนวนหน้าคลื่นเสียงมากขึ้นกว่าเดิม(ในเวลาเท่ากับปกติ) ความถี่ที่ได้ยินมีค่าเพิ่มขึ้น ความเร็วสัมพัทธ์ $v' = v + v_0$ ความยาวคลื่นเท่าเดิม

$\lambda_0 = \frac{v}{f}$ ดังนั้นความถี่ที่ได้ยินคือ

$$f' = \frac{v'}{\lambda_0} = \frac{v + v_0}{v} f$$



© 2003 Thomson - Brooks/Cole

Fig 14.8, p. 435
Slide 12

กรณีที่ 2

ผู้รับฟังเคลื่อนที่ออกห่างแหล่งกำเนิดที่หยุดนิ่ง การเคลื่อนที่ออกห่างทำให้ผู้รับฟังได้รับจำนวนหน้าคลื่นเสียงน้อยลงกว่าเดิม (ในเวลาเท่ากับปกติ) ความถี่ที่ได้ยินมีค่าลดลง ความเร็วสัมพัทธ์ $v' = v - v_o$ ความยาวคลื่นเท่าเดิม

$$\lambda_o = \frac{v}{f} \text{ ดังนั้นความถี่ที่ได้ยินคือ}$$

$$f' = \frac{v'}{\lambda_o} = \frac{v - v_o}{v} f$$

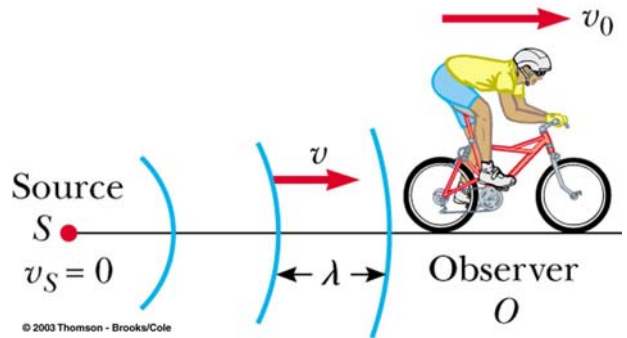


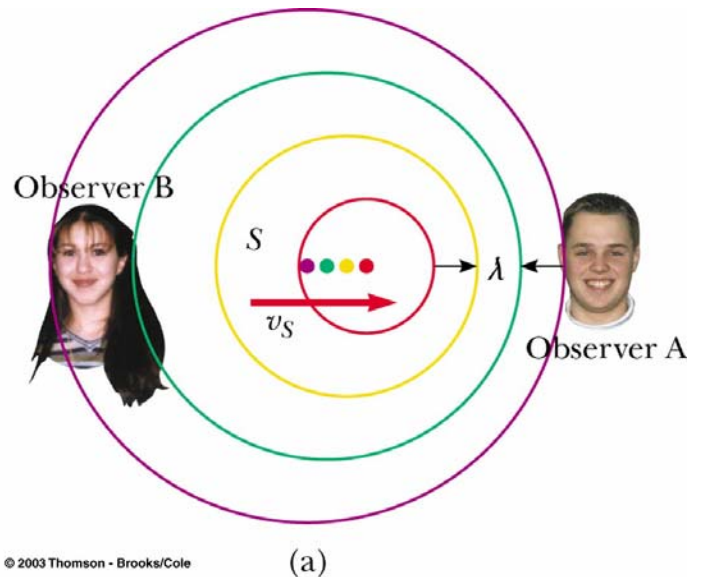
Fig 14.9, p. 436
Slide 13

สรุปสมการที่ใช้กรณีผู้ฟังเคลื่อนที่

ความถี่ปรากฏ f' ขึ้นกับความถี่จริงของเสียงที่ส่งจากแหล่งกำเนิดและความเร็วของผู้ฟังเคลื่อนที่

$$f' = f \left(\frac{v \pm v_o}{v} \right)$$

เป็นเครื่องหมายบวกเมื่อผู้รับฟังเคลื่อนที่เข้าหาแหล่งกำเนิดและเป็นลบเมื่อเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดเคลื่อนที่



(Doppler Effect, Source in Motion)

ขณะที่แหล่งกำเนิดเคลื่อนที่เข้าหาผู้ฟัง A, ความยาวคลื่นปรากฏสั้นกว่าเดิม ความถี่ปรากฏเพิ่มขึ้น ในขณะที่แหล่งกำเนิดเคลื่อนที่ออกห่างผู้ฟัง B, ความยาวคลื่นปรากฏยาวกว่าเดิมความถี่ปรากฏลดลง ถ้าเดิมแหล่งกำเนิดหยุดนิ่ง $\lambda_o = \frac{v}{f} = vT_o$

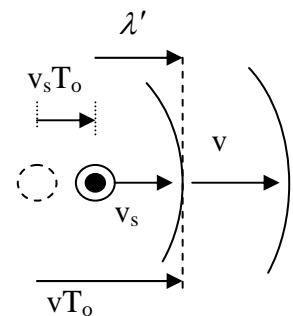
อย่างไรก็ตามในช่วงคาบเวลา T_o แหล่งกำเนิดเคลื่อนที่ไประยะทาง $v_s T_o$ ก่อนที่จะปล่อยยอดคลื่นถัดไปเป็นผล

$$\text{ทำให้ความยาวคลื่นเปลี่ยนไปเป็น } \lambda' = vT_o - v_s T_o = (v - v_s)T_o = \frac{v - v_s}{f}$$

$$\text{และจาก } f' = \frac{v}{\lambda} \text{ จะได้ } f' = \frac{v}{\lambda} = \frac{vf}{v - v_s}$$

และทำนองเดียวกันถ้าแหล่งกำเนิดเคลื่อนที่ออกห่างจะได้

$$\lambda' = vT_o + v_s T_o = (v + v_s)T_o = \frac{v + v_s}{f} \text{ และจาก } f' = \frac{v}{\lambda} \text{ จะได้ } f' = \frac{v}{\lambda} = \frac{vf}{v + v_s}$$



สรุปสมการที่ใช้กรณีแหล่งกำเนิดเคลื่อนที่

$$f' = f \left(\frac{v}{v \pm v_s} \right)$$

ใช้ $-v_s$ เมื่อแหล่งกำเนิดเคลื่อนที่เข้าหาผู้รับฟัง และ $+v_s$ เมื่อแหล่งกำเนิดเคลื่อนที่ออกจากผู้รับฟัง

กรณีทั้งแหล่งกำเนิดและผู้ฟังเคลื่อนที่

เมื่อทั้งแหล่งกำเนิดและผู้รับฟังเคลื่อนที่ทั้งคู่สมการทั่วไปเป็น $f' = f \left(\frac{v \pm v_o}{v \pm v_s} \right)$
แต่เพื่อให้ง่ายต่อการจำอาจใช้สมการและข้อกำหนดดังนี้

$$f' = f \left(\frac{v + v_o}{v - v_s} \right)$$

เป็นเครื่องหมายบวกของ v_o และ v_s ถ้าเคลื่อนที่เข้าหากันความถี่ปรากฏเพิ่มขึ้น

เป็นเครื่องหมายลบของ v_o และ v_s ถ้าเคลื่อนที่ออกจากกันความถี่ปรากฏลดลง

Ex. รถตำรวจเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 50 m/s ในทิศทางเดียวกันกับรถบรรทุกที่มีความเร็ว 25 m/s ไซเรนของรถตำรวจมีความถี่ 1200 Hz ผู้ขับรถบรรทุกจะได้ยินเสียงไซเรนด้วยความถี่เท่าใด ถ้า a) รถตำรวจอยู่หลังรถบรรทุก b) รถตำรวจอยู่หน้ารถบรรทุก (กำหนดให้ความเร็วเสียงในอากาศเท่ากับ 350 m/s)

วิธีทำ

a) รถของผู้สังเกตเคลื่อนที่ออกจากแนวโน้มทำให้ความถี่ลดลง v_o จึงมีเครื่องหมายลบ ส่วนแหล่งกำเนิดเคลื่อนที่เข้าหาแนวโน้มทำให้ความถี่เพิ่มขึ้น v_s มีเครื่องหมายบวก

จากสมการ

$$f' = f \left(\frac{v + v_o}{v - v_s} \right)$$

$$f' = f \left(\frac{v + (-v_o)}{v - (+v_s)} \right) = 1200 \text{ Hz} \left(\frac{350 - 25}{350 - 50} \right) = 1200 \left(\frac{325}{300} \right) \text{ Hz} = 1300 \text{ Hz}$$

b) รถตำรวจอยู่หน้ารถบรรทุก

ผู้รับฟังเข้าหาแหล่งกำเนิดมีแนวโน้มทำให้ความถี่เพิ่ม v_o มีเครื่องหมายบวก แหล่งกำเนิดเคลื่อนที่ออกจากแนวโน้มทำให้ความถี่ลด v_s มีเครื่องหมายลบ

$$f' = f \left(\frac{v + v_o}{v - v_s} \right) = f \left(\frac{v + v_o}{v - (-v_s)} \right)$$

$$f' = 1200 \text{ Hz} \left(\frac{350 + 25}{350 + 50} \right) = 1200 \text{ Hz} \frac{375}{400} = 1125 \text{ Hz}$$