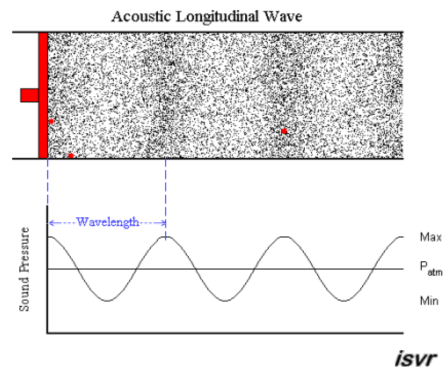
หน่วยที่ 8 เสียง

ตอนที่ 8.1 คลื่นเสียง

ตอนที่ 8.2 การได้ยิน



http://www.isvr.soton.ac.uk/SPCG/Tutorial/Tutorial/Tutorial_files/Web-basics-nature.htm

ตอนที่ 8.1 คลื่นเสียง

- ความเร็วและความเข้มของคลื่นเสียง
- การแทรกสอดของคลื่นเสียง
- บีตส์

ความเร็วและความเข้มของคลื่นเสียง

การกระจัดของอนุภาคตัวกลางของคลื่นเสียง

$$\boxed{y(x,t) = A\cos(kx-\omega t)}$$

A คือ แอมพลิจูด

k คือ เลขคลื่น

ω คือ ความถี่เชิงมุม

ความดันที่เปลี่ยนไปของตัวกลางที่เสียงเคลื่อนที่ มีค่าเท่ากับ

$$\boxed{\Delta p(x,t) = -B\frac{\partial y}{\partial x}}$$

$\Delta p(x,t)$ ความดันที่เปลี่ยนไปของตัวกลาง

B คือ มอดุลัสเชิงปริมาตร

Khanchai Khosonthongkee

เมื่อพิจารณาแรงจากความดันจะได้ว่า

$$\rho\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = B\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$$

ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล

$$\boxed{\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{\rho}{B}\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}}$$

เปรียบเทียบกับสมการคลื่น

$$\boxed{\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}}$$

v คือ ความเร็วของคลื่น

ได้ว่า $\boxed{v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}}$ กรณีของไหล

ความเร็วของคลื่นเสียงในของไหล

- **ของเหลว**
- **แก๊ส**

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

B คือ มอดุลัสเชิงปริมาตร ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล

ความเร็วของคลื่นเสียงในของแข็ง

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

Y คือ มอดุลัสของยัง ของของแข็ง ρ คือ ความหนาแน่นของของแข็ง

กำลังของคลื่นเสียง

$$P = Fv$$

$$P = F\frac{\partial y}{\partial t} \qquad F = \Delta pS$$

$$P = \Delta pS\frac{\partial y}{\partial t}$$

ความเข้ม I คือกำลังต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่

$$I = \frac{P}{S} = \Delta p\frac{\partial y}{\partial t}$$

จาก ความดันที่เปลี่ยนไปของตัวกลาง

$$\Delta p(x,t) = -B\frac{\partial y}{\partial x}$$

$$I = \frac{P}{S} = -B\frac{\partial y}{\partial x}\frac{\partial y}{\partial t}$$

$$I = \frac{P}{S} = -B\frac{\partial y}{\partial x}\frac{\partial y}{\partial t}$$

$$\frac{\partial y}{\partial x} = -kA\sin(kx-\omega t)$$

$$\frac{\partial y}{\partial t} = \omega A\sin(kx-\omega t)$$

ความเข้มของคลื่นเสียงที่มีลักษณะเป็นฟังก์ชันไซน์

$$\boxed{I = B\omega kA^2\sin^2(kx-\omega t)}$$

ความเข้มเฉลี่ยของคลื่นเสียงที่มีลักษณะเป็นฟังก์ชันไซน์

$$\boxed{I_{ave} = \frac{1}{2}B\omega kA^2}$$

$$\Delta p = -B\frac{\partial y}{\partial x} = BkA\sin(kx-\omega t)$$

$$\Delta p_{\max} = BkA$$

$$\Delta p = \Delta p_{\max}\sin(kx-\omega t)$$

$$\boxed{I_{ave} = \frac{1}{2}B\omega kA^2}$$

$$\boxed{I_{ave} = \frac{(\Delta p_{\max})^2\omega}{2Bk}}$$

$$\omega = kv$$

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \Rightarrow B = v^2\rho$$

กรณี 1 มิติ $I_{ave} = \dfrac{(\Delta p_{\max})^2}{2v\rho}$

กรณี 3 มิติ $I_{ave} = \dfrac{p_{ave}}{4\pi r^2}$

จงหาอัตราเร็วของเสียงใน He ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุล 0.0040 kg/mol และ $\gamma = C_p/C_v = 1.63$ ที่อุณหภูมิ 310 เคลวิน

ความเร็วของคลื่นเสียงในแก๊สอุดมคติ

$$\boxed{v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}}$$

$$\boxed{\gamma = C_p/C_v}$$

T อุณหภูมิสัมบูรณ์ (เคลวิน)

M น้ำหนักโมเลกุล

C_p ความจุความร้อนโมลาร์ของแก๊ส **ที่ความดันคงตัว**

C_v ความจุความร้อนโมลาร์ของแก๊ส **ที่ปริมาตรคงตัว**

$R = 8.31\ J\cdot mol^{-1}\cdot K^{-1}$

ตัวอย่างที่ 1 ความเร็วของเสียงในน้ำทะเลเท่ากับ 1,533 m/s จงหามอดุลัสเชิงปริมาตร (ในหน่วย N/m^2) ของน้ำทะเลที่มีความหนาแน่น 1.025×10^3 kg/m^3

ตัวอย่างที่ 2 มอดุลัสของยังของอลูมิเนียมเท่ากับ 7.02×10^{10} N/m^2 ถ้าอัตราเร็วของเสียงในอลูมิเนียมเท่ากับ 5.1 km/sจงหาความหนาแน่นของอลูมิเนียม

ตัวอย่างที่ 3 ถ้าหูของมนุษย์ได้ยินเสียงความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ ด้วยความเข้มต่ำสุด 10^{-12} วัตต์/เมตร^2 จงหาแอมพลิจูดความดันของเสียงนี้ กำหนดอัตราเร็วของเสียงในอากาศเป็น 343 เมตร/วินาที และความหนาแน่นของอากาศเท่ากับ 1.20 กิโลกรัม/เมตร^3

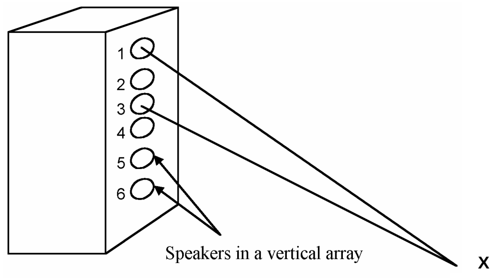
$$2.87 \times 10^{-5} \ N/m^2$$

การแทรกสอดของคลื่นเสียง

การแทรกสอดของเสียงเป็นไปตามหลักของการซ้อนทับของคลื่น

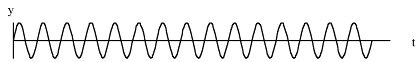
isvr

http://www.isvr.soton.ac.uk/SPCG/Tutorial/Tutorial/Tutorial_files/Web-inter-superp.htm



บีตส์

เมื่อคลื่น จากแหล่งกำเนิดมีความถี่ต่างกัน



$$y_1 = A\sin 2\pi f_1 t$$

$$y_2 = A\sin 2\pi f_2 t$$

$$y = y_1 + y_2$$

$$y = A\sin 2\pi f_1 \mathrm{t} + A\sin 2\pi f_2 \mathrm{t}$$

$$y = A\left[2\sin 2\pi\left(\frac{f_1 + f_2}{2}\right)t.\cos 2\pi\left(\frac{f_1 - f_2}{2}\right)t\right]$$

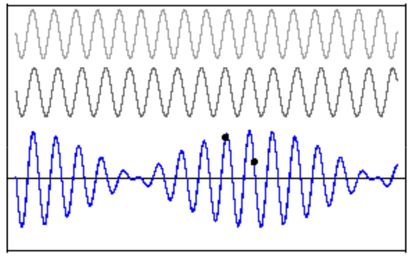
$$y = \left(A\cos 2\pi\left(\frac{f_1 - f_2}{2}\right)t\right)\left(2\sin 2\pi\left(\frac{f_1 + f_2}{2}\right)t\right)$$

$$y = B\sin 2\pi\left(\frac{f_1 + f_2}{2}\right)t$$

ดังนั้นคลื่นรวมจะมีความถี่เฉลี่ยเป็น $\left(\frac{f_1 + f_2}{2}\right)$

แอมพลิจูดรวมเป็น $B = 2A\cos 2\pi\left(\frac{f_1 - f_2}{2}\right)t$

แอมพลิจูดรวมเป็นฟังก์ชันของเวลา



http://www.kettering.edu/~drussell/Demos/superposition/superposition.html

$$B = 2A\cos 2\pi\left(\frac{f_1 - f_2}{2}\right)t$$

ค่าของแอมพลิจูด B จะมีค่า**สูงสุด**เมื่อ

$$\cos 2\pi\left(\frac{f_1 - f_2}{2}\right)\mathrm{t} = \pm 1 = \cos n\pi \quad \text{โดยที่} \quad n = 0, 1, 2, 3, \ldots$$

$$2\pi\left(\frac{f_1 - f_2}{2}\right)t = n\pi \qquad t = \frac{n}{f_1 - f_2}$$

ในช่วงค่าสูงสุดสองค่า ที่ติดกันคือ $\Delta t = t_2 - t_1 = \dfrac{1}{f_1 - f_2}$

จำนวนค่าสูงสุดในเวลา 1 วินาที คือ $\dfrac{1}{\Delta t} = f_1 - f_2$

$$B = 2A\cos 2\pi\left(\frac{f_1 - f_2}{2}\right)t$$

ค่าของแอมพลิจูด B จะมีค่าต่ำสุดเมื่อ

$$\cos 2\pi\left(\frac{f_1 - f_2}{2}\right)\mathrm{t} = 0 = \cos\,(2n+1)\frac{\pi}{2} \quad \text{โดยที่} \quad n = 0, 1, 2, 3, \ldots$$

$$2\pi\left(\frac{f_1 - f_2}{2}\right)t = (2n+1)\frac{\pi}{2} \qquad t = \frac{2n+1}{2(f_1 - f_2)}$$

ในช่วงค่าต่ำสุดสองค่า ที่ติดกันคือ $\Delta t' = t_2 - t_1 = \dfrac{1}{f_1 - f_2}$

จำนวนค่าต่ำสุดในเวลา 1 วินาที คือ $\dfrac{1}{\Delta t'} = f_1 - f_2$

การเปลี่ยนค่าของแอมพลิจูดระหว่างค่าสูงสุดค่าหนึ่งกับค่าต่ำสุดที่อยู่ถัดไป เรียกว่า**บีตส์** และจำนวนบีตส์ใน 1 วินาที คือ

$$\boxed{N = |f_2 - f_1| = f_b}$$

ถ้าความถี่ทั้งสองเท่ากัน $(f_1 = f_2)$ พอดีความถี่ของบีตส์จะเท่ากับศูนย์ และไม่มีบีตส์เกิดขึ้นเลย

เราประยุกต์ใช้ผลของบีตส์ในการปรับความถี่ของเครื่องเสียง

ตัวอย่างที่ 5 เมื่อเคาะส้อมเสียงสองอันพร้อมกัน ปรากฏว่าได้ยินเสียงบีตส์ 3 ครั้งในหนึ่งวินาที ถ้าส้อมเสียงอันหนึ่งทราบความถี่ที่แน่นอนว่าเท่ากับ 440 เฮิรตซ์ จงหาความถี่ของส้อมเสียงอีกอันหนึ่ง

ตัวอย่างที่ 6 แหล่งกำเนิดเสียงชนิดหนึ่งกระจายเสียงอย่างสม่ำเสมอในทุกทิศทางด้วยกำลัง P = 1.0048 W

a) จงหาความเข้มของเสียงที่ระยะทาง 2, 4 และ 5 เมตร จากแหล่งกำเนิด

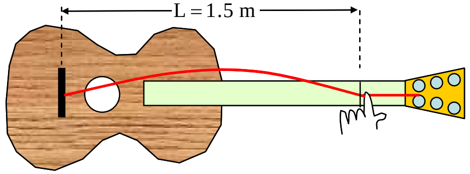
b) จงหาระดับความดังของเสียง (sound level) ในหน่วยเดซิเบลที่ระยะทาง 2, 4 และ 5 เมตรจากแหล่งกำเนิดเสียง ($\beta = 10\log\dfrac{I}{I_o}$)

a) 0.02, 0.005, 0.0032

a) 103.01, 96.99, 95.05

ตัวอย่างที่ 7 ลำโพงงานวัดอันหนึ่งกระจายเสียงอย่างสม่ำเสมอในทุกทิศทางปรากฏว่าที่ระยะทาง 1 เมตรจากลำโพงวัดระดับความดังของเสียงได้ 110 dB จงหาว่าที่ระยะทางเท่าใดจากลำโพงระดับความดังของเสียงจึงจะลดลงเป็น 90 dB และ 70 dB ตามลำดับ

ตัวอย่างที่ 8 ใช้ส้อมเสียงมาตรฐานความถี่ 215 Hz ในการเทียบเสียงสายกีตาร์สายหนึ่งในพบว่าเกิดเสียงบีตส์ 5 ครั้งต่อวินาที จงหาว่าในขณะนั้นสายกีตาร์สั่นด้วยความถี่เท่าใด



กำหนดให้ความยาวของสาย$L = 1.5$ m และ สายมีค่ามวลต่อความยาว $\mu = 0.1\,g/m$ และตั้งสายหย่อนไปทำให้เสียงเพี้ยนจงหาว่าจะต้องเพิ่มแรงตึงเป็นท่าใดเสียงจึงไม่เพี้ยน (ไม่เกิดเสียงบีตส์)

หน่วยที่ 8 เสียง

ตอนที่ 8.1 คลื่นเสียง

ตอนที่ 8.2 การได้ยิน

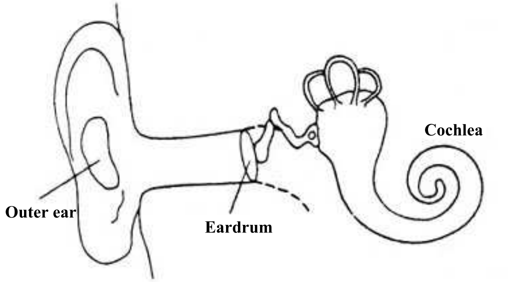
ตอนที่ 8.2 การได้ยิน

- ความสูงต่ำและความถี่ของเสียง
- ความเข้มและความดังของคลื่นเสียง
- คุณภาพและรูปแบบของคลื่นเสียง
- ปรากฏการณ์โดปป์เลอร์

ความสูงต่ำและความถี่ของเสียง

สูงต่ำของเสียงเกี่ยวพันกับความถี่ของเสียง
ความดังเกี่ยวพันกับความเข้มของคลื่นเสียง

ส่วนคุณภาพเสียงขึ้นอยู่กับรูปร่างหรือรูปแบบ (waveform) ของคลื่นเสียง



คนทั่วไปจึงได้ยินความถี่ที่มีความแตกต่างจาก 20 Hz ถึง 20 kHz

ความเข้มและความดังของคลื่นเสียง

หูของมนุษย์ทั่วไปจะได้ยินเสียงความถี่ 1 kHz ที่ความเข้ม

$$I_0 = 1.00 \times 10^{-12} \ W/m^2$$

จนถึงที่ความเข้มประมาณ $1.00 \ W/m^2$

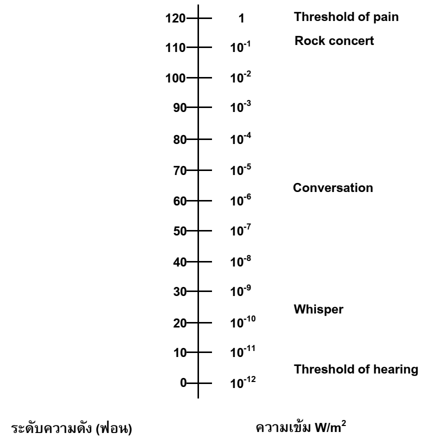
เมื่อความเข้มของคลื่นเสียงเพิ่มขึ้น ความดังของเสียงจะเพิ่มขึ้นด้วย

แต่ความสัมพันธ์ของปริมาณทั้งสอง**มิได้เป็นแบบเชิงเส้น**

ระดับความดังของคลื่นเสียงมีหน่วยวัดเป็น ฟอน (phons)

ความเข้มประมาณ $10^{-12} \ W/m^2$ มีระดับความดังเท่ากับ 0 ฟอน

ความเข้มประมาณ $1.00 \ W/m^2$ มีระดับความดังเท่ากับ 120 ฟอน



แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มและความดังของคลื่นเสียง

กำหนดความเข้มของเสียงเป็นระดับความเข้มเสียง (sound-intensity level) แทนด้วย β กำหนดโดย

$$\boxed{\beta = 10\ \log_{10}\frac{I}{I_0}}$$

โดยที่ $\boxed{I_0 = 10^{-12}\ W/m^2}$

เป็นความเข้มของเสียงที่มีระดับความเข้มเสียงเป็นศูนย์

β กำหนดให้มีหน่วยเป็นเดซิเบล (decibel) แทนด้วย dB เพื่อเป็นเกียรติแก่ Alexander Graham Bell

เช่น ถ้า $\frac{I}{I_0} = 10^7$ ดังนั้น $\beta = 10\ \log_{10}(10^7) = 10 \times 7$

$$\beta = 70\ \text{dB}$$

ตัวอย่างที่ 1 คนขับรถโดยสารประจำทางในเมืองกำลังสนทนากับผู้โดยสารที่อยู่ในรถซึ่งมีหน้าต่างเปิดทุกบาน ถ้าระดับความเข้มเสียงของการสนทนาเท่ากับ 65 เดซิเบล และระดับความเข้มเสียงของการจราจรภายนอกรถเท่ากับ 70 เดซิเบล จงหา

(a) ความเข้มของเสียง

(b) ระดับความเข้มเสียงภายในรถโดยสารนั้น

ตัวอย่างที่ 2 จงหาแอมพลิจูดของการแกว่งกวัดของอากาศ ซึ่งมีคลื่นเสียงความถี่ 3 กิโลเฮิรตซ์ และระดับความเข้มเสียง60 เดซิเบล เคลื่อนที่ผ่านอากาศ เสียงมีอัตราเร็ว 343 เมตร/วินาที และอากาศมีความหนาแน่น1.21 กิโลกรัม/เมตร^3

คุณภาพและรูปแบบของคลื่นเสียง

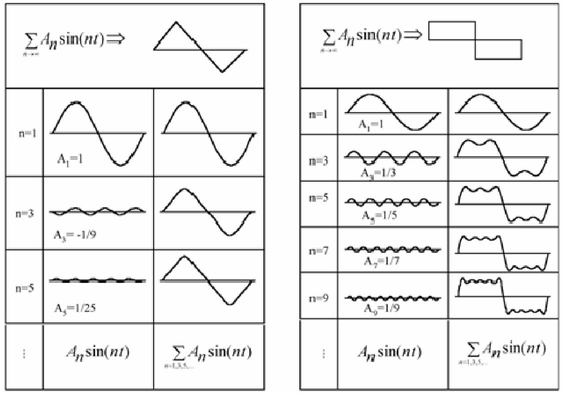
คุณภาพเสียงขึ้นอยู่กับรูปแบบของคลื่นเสียง

คลื่นเสียงโดยทั่วไปมักมีลักษณะเป็นคาบแต่ไม่ใช่เป็นคลื่นไซน์

แม้ว่าจะมีความสูงต่ำ(ความถี่)ของเสียงเดียวกัน แต่มีคุณภาพเสียงที่แตกต่างกัน

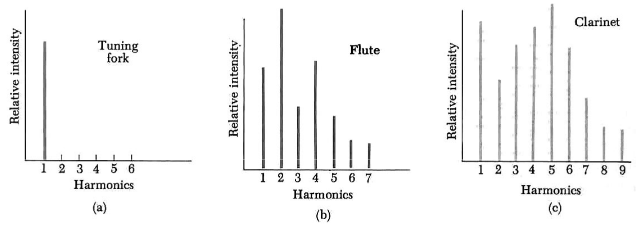
ฟูริเยร์ (Jean Baptiste Joseph Fourier) ได้แสดงให้เห็นว่าคลื่นที่มีรูปแบบซับซ้อนและเป็นคาบเกิดจากผลบวกของคลื่นฮาร์มอนิก ถ้าให้ y(t) เป็นการกระจัดของคลื่นที่ตำแหน่งใดๆy(t)และอนุพันธ์ของy(t)เป็นฟังก์ชันต่อเนื่อง ดังนั้น

$$\boxed{y(t) \approx \sum_{n=1}^{N} A_n \sin(n\omega t + \phi_n)}$$



(a) (b

แสดงการรวมคลื่น รูปแบบคลื่นครบ 1 รอบ แสดงไว้ด้านบนสุด
แต่ละคลื่นไซน์ที่นำมาบวกแสดงทางซ้ายมือ และผลรวมแสดงทางขวามือ



แสดงฮาร์มอนิกของเสียงจากแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน

$$y(t) \approx \sum_{n=1}^{N} A_n \sin(n\omega t + \phi_n)$$

A_n ϕ_n ของแต่ละคลื่น จะใช้วิธีวิเคราะห์ที่เรียกว่า Fourier analysis

ความถี่ต่ำสุดของการวิเคราะห์นี้ว่า **ความถี่หลักมูล**

เรียกความถี่ที่เป็น**พหุคูณ**(จำนวนเต็มเท่า)**ของความถี่หลักมูล**ว่า
ฮาร์มอนิกที่สูงกว่าหรือ**โอเวอร์โทน** (overtones)

ปรากฏการณ์โดปป์เลอร์

ถ้าแหล่งกำเนิดคลื่นและผู้สังเกต**เคลื่อนที่สัมพัทธ์กัน**

แหล่งกำเนิดคลื่นหรือผู้สังเกตอย่างใดอย่างหนึ่งมีการเคลื่อนที่
หรือทั้งสองมีการเคลื่อนที่

**ผู้สังเกตได้รับคลื่นที่มีความถี่ต่างไปจากคลื่นที่ได้รับ
เมื่อแหล่งกำเนิดและผู้สังเกตอยู่นิ่ง**

เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า **ปรากฏการณ์โดปป์เลอร์ (Doppler effect)**

กรณี**ผู้สังเกตอยู่นิ่ง แหล่งกำเนิดคลื่นเคลื่อนที่ออกห่างจากผู้สังเกต**

$$\boxed{f' = \frac{vf}{v + v_s}}$$

กรณี**ผู้สังเกตอยู่นิ่ง แหล่งกำเนิดคลื่นเคลื่อนที่เข้าหาผู้สังเกต**

$$\boxed{f' = \frac{vf}{v - v_s}}$$

v_s **คือความเร็วของแหล่งกำเนิด**

กรณี**แหล่งกำเนิดคลื่นอยู่นิ่ง ผู้สังเกตเคลื่อนที่เข้าหาแหล่งกำเนิด**

$$f' = f + \frac{v_O}{\lambda}$$

$$= f + \frac{v_O f}{v} \qquad v = f\lambda$$

$$\boxed{f' = f\left(\frac{v + v_O}{v}\right)}$$

กรณี**แหล่งกำเนิดคลื่นอยู่นิ่ง ผู้สังเกตเคลื่อนที่ออกห่างจากแหล่งกำเนิด**

$$\boxed{f' = f\left(\frac{v - v_O}{v}\right)}$$

v_O **คือความเร็วของผู้สังเกต**

ทั้ง**ผู้สังเกตและแหล่งกำเนิดคลื่นเคลื่อนที่**

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

ผู้สังเกตและแหล่งกำเนิดคลื่นเคลื่อนที่เข้าหากัน

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

ผู้สังเกตและแหล่งกำเนิดคลื่นเคลื่อนที่ออกจากกัน

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

v_s **คือความเร็วของแหล่งกำเนิด** v_O **คือความเร็วของผู้สังเกต**

ตัวอย่างที่ 3 ผู้สังเกตซึ่งยืนอยู่ที่ชานชาลาสถานีรถไฟแห่งหนึ่งสังเกตว่า รถไฟซึ่งกำลังวิ่งเข้าสู่สถานีด้วยความเร็ว 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง หวูดรถไฟที่กำลังวิ่งเข้าสู่สถานีและที่เคลื่อนที่ผ่านสถานีมีความถี่ต่างกันหรือลดลง 400 เฮิรตซ์ จงหาความถี่ของหวูดรถไฟ กำหนดความเร็วของเสียงในอากาศเป็น 350 เมตรต่อวินาที

ตัวอย่างที่ 4 รถโฆษณา A เปิดเสียงรบกวนชาวบ้านด้วยความถี่ 500 Hz กำลังวิ่งไปทางทิศตะวันออกด้วยความเร็ว 40 m/s ตำรวจ O ยืนอยู่ข้างถนนในทิศทางด้านหน้ารถ A และมีรถบรรทุก B วิ่งตามรถ A ด้วยความเร็ว 30 m/s ถ้าความเร็วของเสียงในอากาศเป็น $v = 350\ m/s$ จงหาว่า

(a) คนขับรถโฆษณา A ได้ยินเสียงที่ความถี่เท่าใด

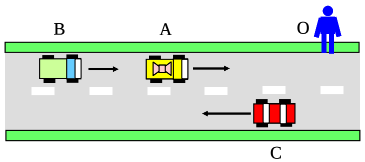
(b) คนขับรถบรรทุก B ได้ยินเสียงที่ความถี่เท่าใด

(c) ตำรวจ O จะได้ยินเสียงที่ความถี่เท่าใด

(d) รถ C วิ่งสวนทางมาด้วยความเร็ว 40 m/s จะได้ยินเสียงที่ความถี่เท่าใด

คำแนะนำ ใช้สูตร

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



ตัวอย่างที่ 5 ส้อมเสียงความถี่ 440 เฮิรตซ์ เคลื่อนที่เข้าหาผนังกำแพงด้วยความเร็ว 4 เมตรต่อวินาที จงหาจำนวนบีตส์ที่ปรากฏแก่ผู้สังเกตระหว่างคลื่นเสียงที่วิ่งเข้าหาและสะท้อนกลับผนังกำแพงนั้น ถ้าความเร็วของเสียงเป็น 332 เมตรต่อวินาที