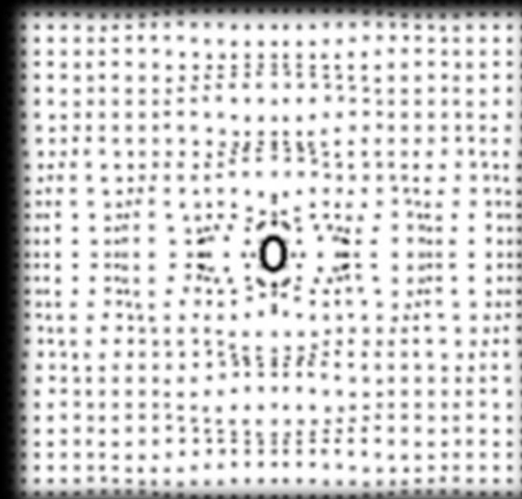




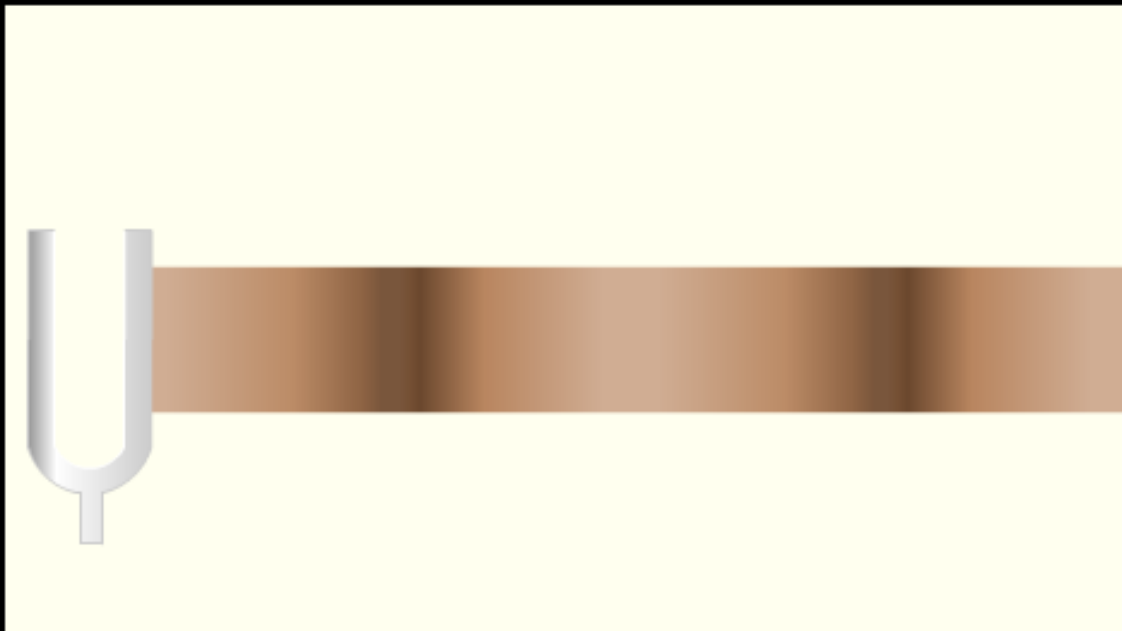
Sound waves

- ธรรมชาติของเสียง
- สมบัติของคลื่นเสียง
 - การสะท้อน
 - การหักเห
 - การแทรกสอด
 - การเลี้ยวเบน
- บีตส์ คลื่นนิ่งและการสั้นพ้อง
- การได้ยิน
- ปრაกฏการณ์ดอปเปลอร์
- คลื่นกระแทก



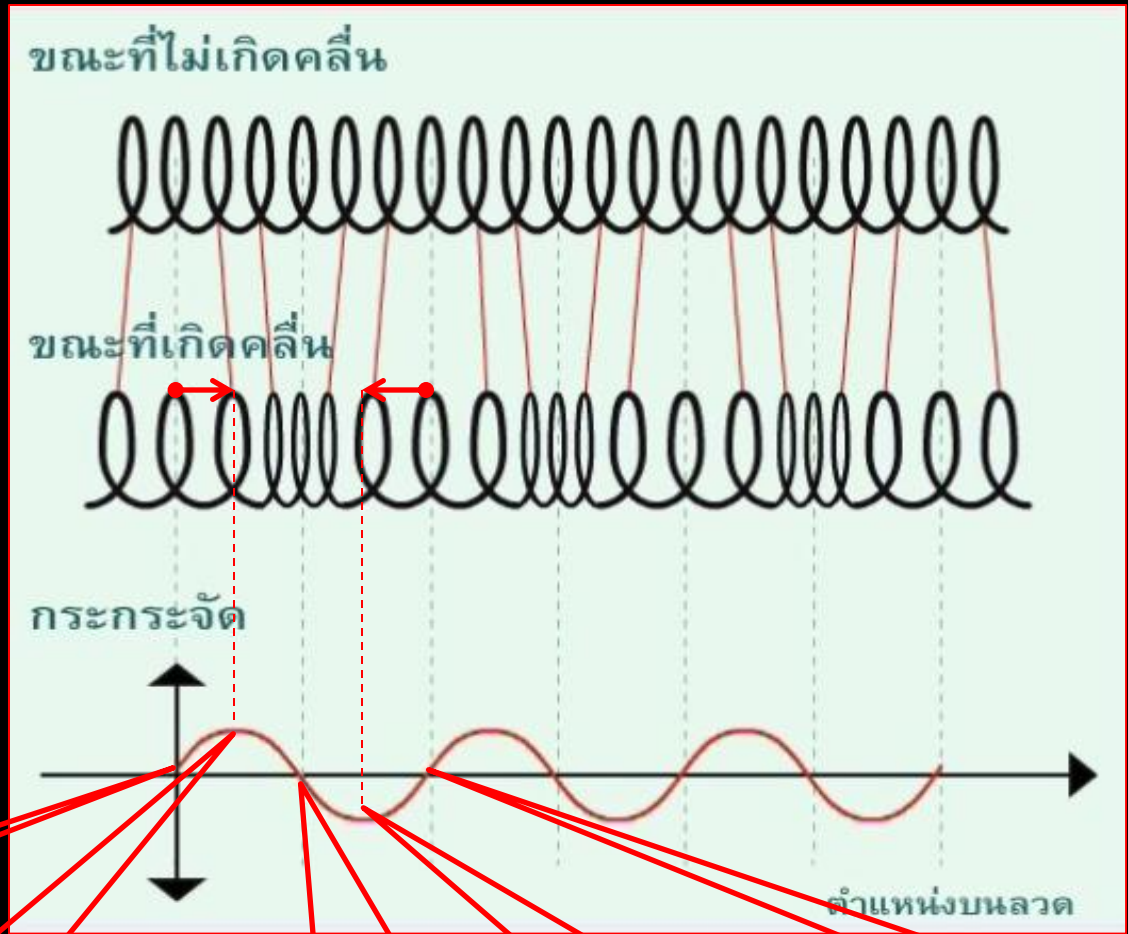
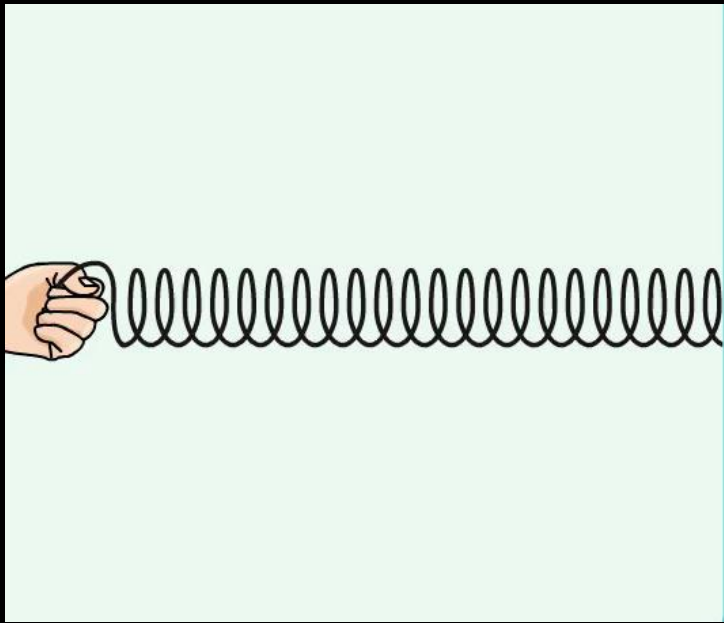
ธรรมชาติของเสียง

คลื่นเสียง เป็นคลื่นกลตามยาวซึ่งเกิดจากการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียง โดยการเคลื่อนที่ของเสียงต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายโอนพลังงานการสั่น



คลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่านอากาศจะทำให้อนุภาคของอากาศมีการสั่นไปอัดกัน แล้วสะท้อนจากกัน บริเวณที่มีจำนวนอนุภาคของอากาศมากกว่าปกติเรียกว่า “**ส่วนอัด**”
บริเวณที่มีอนุภาคน้อยกว่าปกติเรียกว่า “**ส่วนขยาย**”

กราฟระหว่างการกระจัดกับตำแหน่งต่างๆ บนสปริง



ขยับยากขยายยืด

สั้นไปข้างหน้า

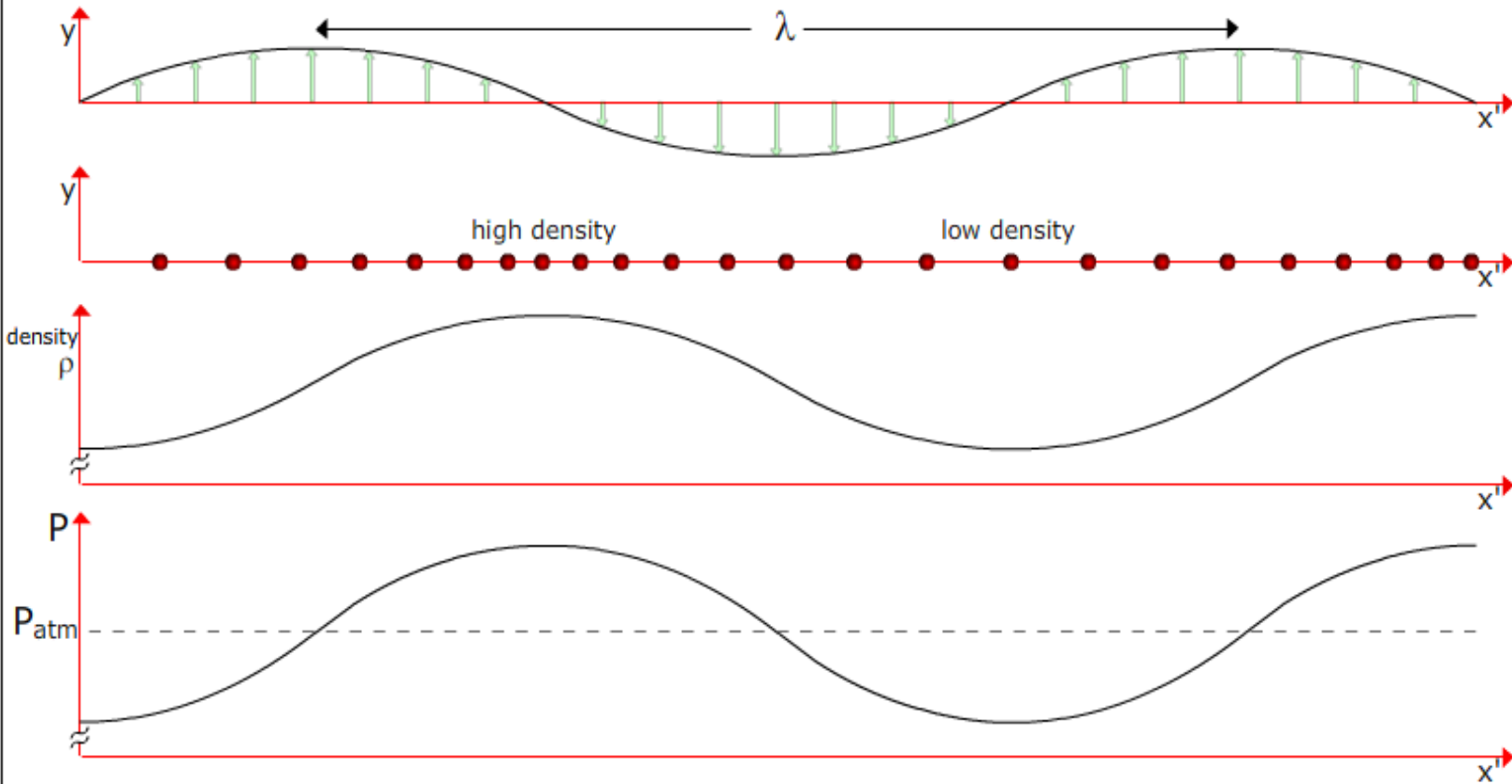
ขยับยากอัดแน่น

สั้นถอยกลับ

ขยับยากขยายยืด

กราฟการกระจัดและกราฟความดัน

$y(x')$ for a longitudinal wave, density and pressure.

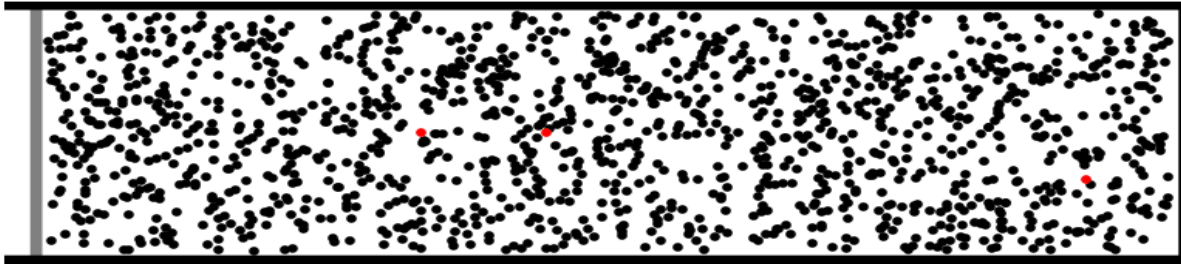


ส่วนอัด : ตำแหน่งที่มีความดันเพิ่มขึ้นจากปกติมากที่สุด \rightarrow มีการกระจัดเป็นศูนย์

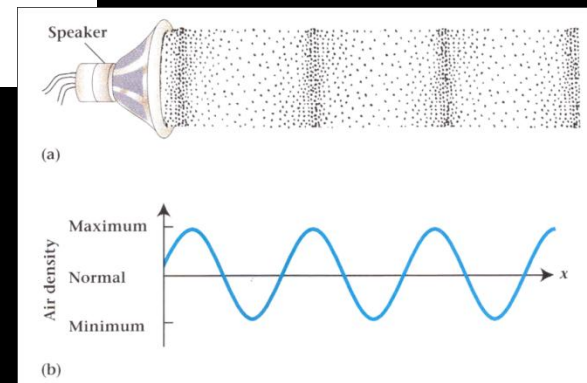
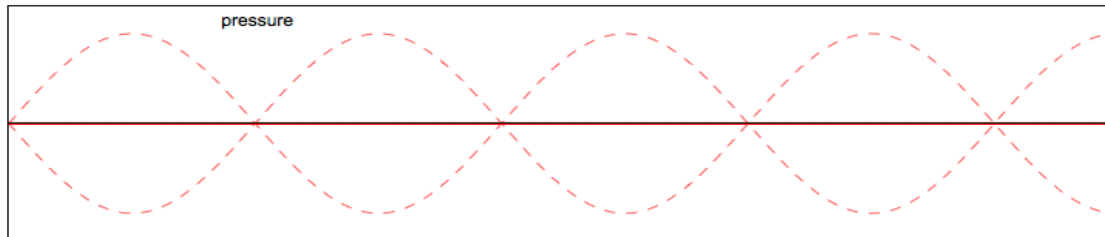
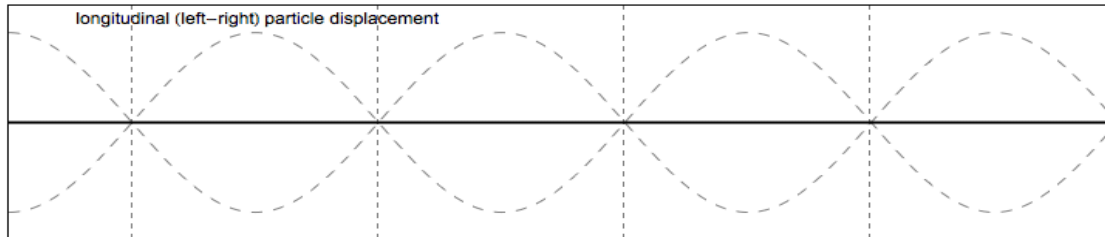
ส่วนขยาย : ตำแหน่งที่มีความดันลดลงจากปกติมากที่สุด \rightarrow มีการกระจัดเป็นศูนย์

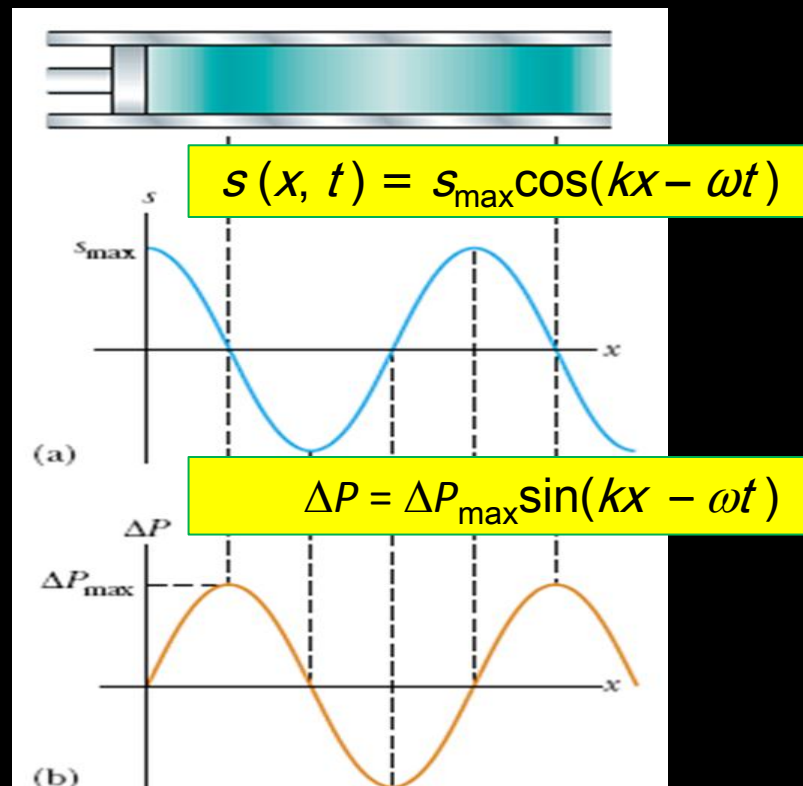
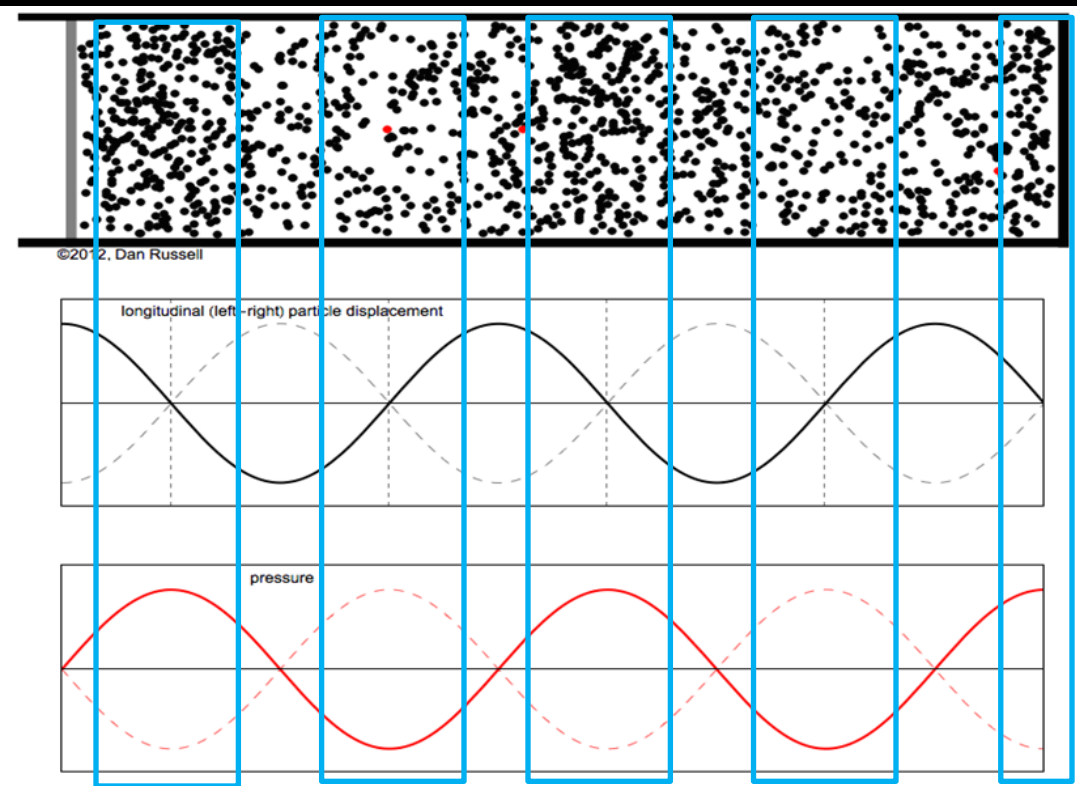
******* ตำแหน่งการกระจัดมากที่สุดทางบวกและลบ \rightarrow มีความดันปกติ

Longitudinal Particle Displacement & Pressure



©2012, Dan Russell





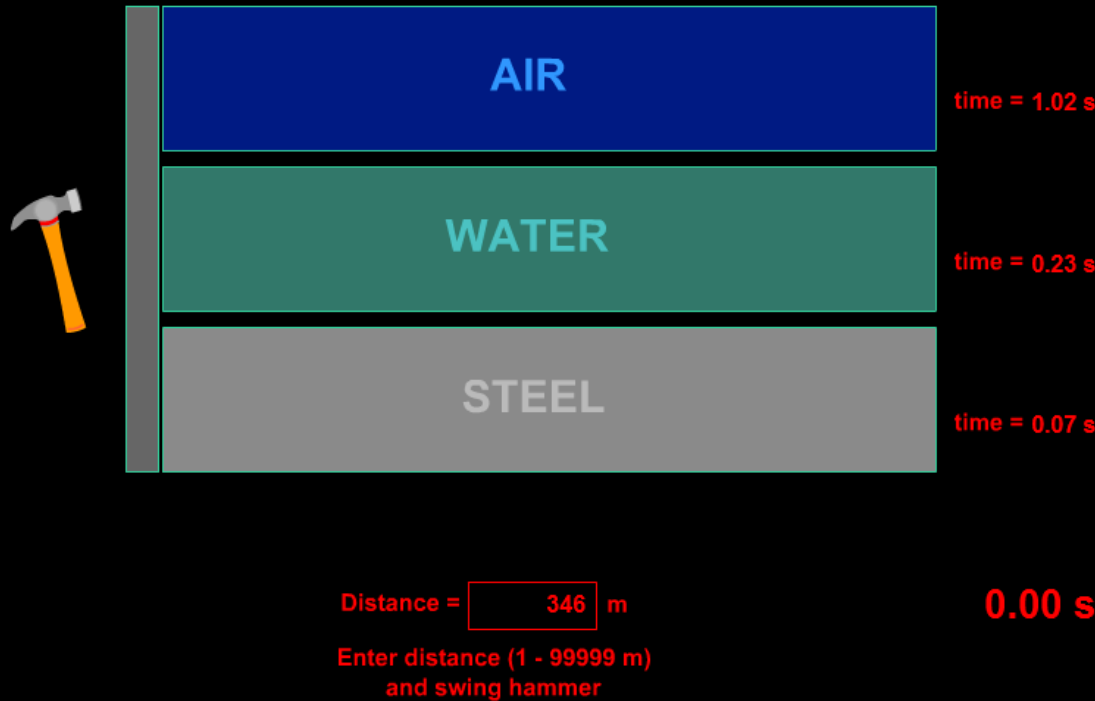
ส่วนอัด : ตำแหน่งที่มีความดันเพิ่มขึ้น → มีการกระจัดเป็นศูนย์

ส่วนขยาย : ตำแหน่งที่มีความดันลดลง → มีการกระจัดเป็นศูนย์

******* ค่าการกระจัดและค่าความดันมีเฟสต่างกัน 90 องศา

พิจารณาอัตราเร็วเสียงในตัวกลางต่างๆ ที่อุณหภูมิ 25 °C

Speed of Sound



ตัวกลาง	อัตราเร็ว (m/s)
อากาศ	346
น้ำ	1,498
น้ำทะเล	1,531
เหล็ก	5,200

“อัตราเร็วในตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากกว่า จะมีค่ามากกว่าในตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อย”

อัตราเร็วคลื่นเสียง

$$v = \frac{s}{t} = \frac{\lambda}{T} = f\lambda$$

อัตราเร็วเสียงในอากาศเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น \rightarrow อนุภาคตัวกลางมีพลังงานจลน์มากขึ้น

การอัดและขยายตัวจะเกิดได้เร็วขึ้น \rightarrow เสียงเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น

โดยความสัมพันธ์อัตราเร็วเสียงในอากาศกับอุณหภูมิเคลวิน คือ $v \propto \sqrt{T}$

$$v \propto \sqrt{T}$$

$$v = k\sqrt{T}, k = 20.1$$

พิจารณาอัตราเร็วเสียงในอุณหภูมิองศาเซลเซียสจะได้ว่า $v = k\sqrt{273 + t}$

$$v = 20.1\sqrt{273 + t}$$

$$v = 20.1\sqrt{273\left(1 + \frac{t}{273}\right)}$$

$$v = 20.1\sqrt{273}\sqrt{\left(1 + \frac{t}{273}\right)}$$

$$v = 331\sqrt{\left(1 + \frac{t}{273}\right)}$$

$$v = 331\left\{1 + \frac{t}{2 \times 273}\right\}$$

Binomial Series

$$(1 + x)^{1/2} = 1 + \frac{x}{2}$$

$$;\left(1 + \frac{t}{273}\right)^{1/2} \cong 1 + \frac{t}{2 \times 273}$$

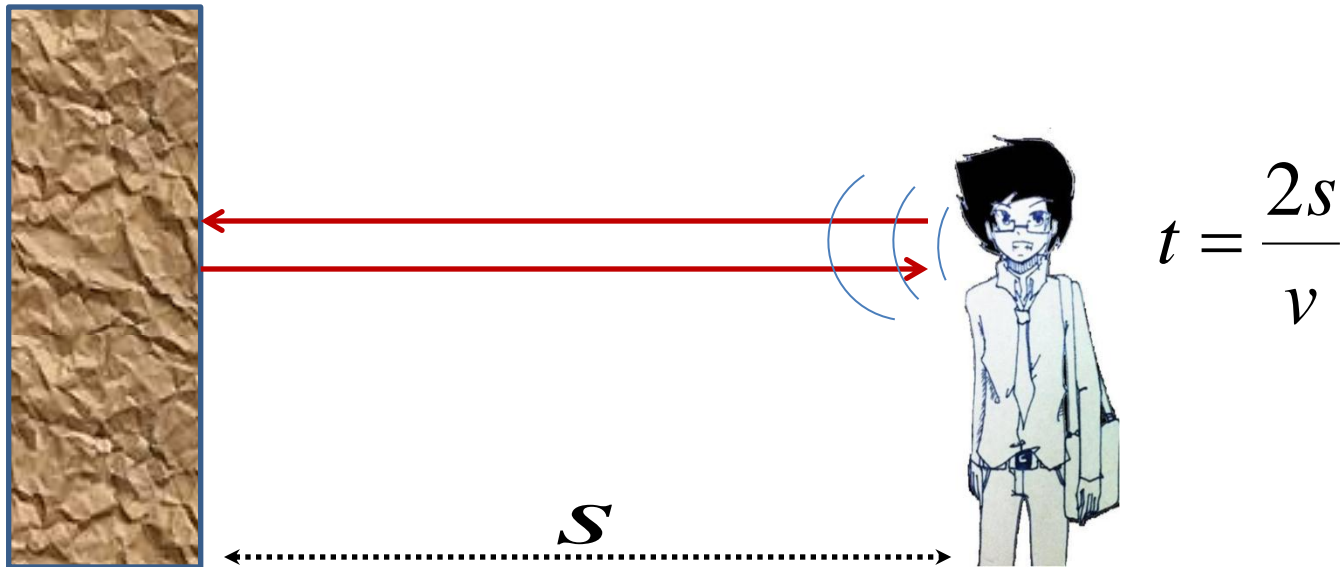
อัตราเร็วของเสียง

$$v = 331 + 0.6t$$

สมบัติของคลื่นเสียง

การสะท้อน

“คลื่นเสียงเดินทางไปตกกระทบกับสิ่งกีดขวางที่มีขนาดเท่ากับหรือใหญ่กว่าความยาวคลื่นเสียงจะทำให้เสียงเกิดการสะท้อนได้”

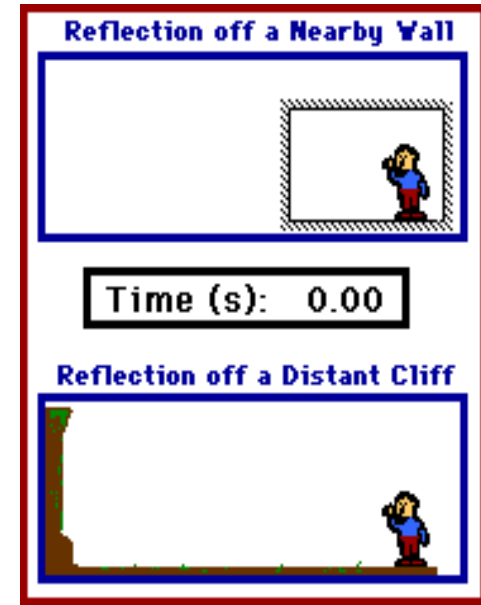


การสะท้อนกลับของเสียง (echo)

เมื่อเปล่งเสียงไปยังสิ่งกีดขวางเสียงจะสะท้อนทำให้ได้ยินเสียงที่สะท้อนกลับมาตามหลังเรียก “เสียงก้อง”
คนเราสามารถได้ยินเสียงก้องเมื่อช่วงเวลาที่เปล่งเสียงออกไป
กับ เสียงที่สะท้อนกลับมายังหูเราต่างกันมากกว่า **0.1** วินาที

เครื่องโซนาร์(SONAR)

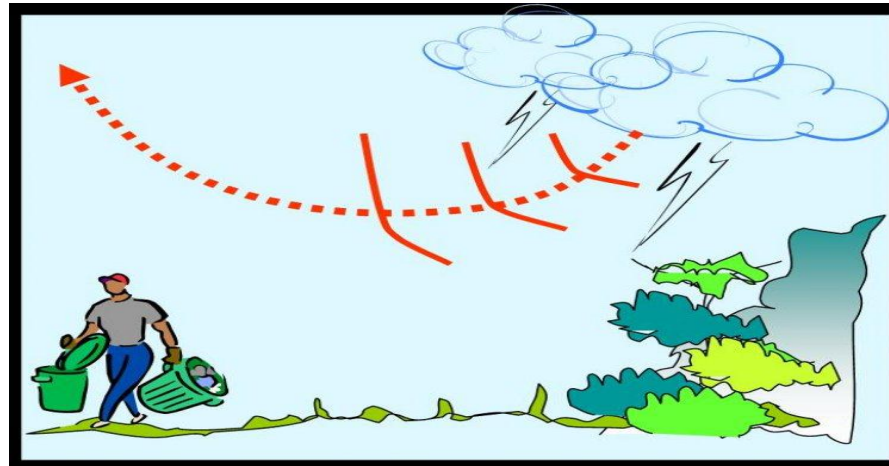
“เครื่องส่งคลื่นเสียงลงไปใต้น้ำให้ไปกระทบสิ่งที่
ต้องการสำรวจใต้น้ำแล้วสะท้อนกลับมายังเครื่องรับ”



การหักเห

“คลื่นเสียงเคลื่อนที่จากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลาง ซึ่งความหนาแน่นไม่เท่ากัน จะทำให้อัตราเร็ว แอมพลิจูด และความยาวคลื่นเปลี่ยนไป แต่ความถี่ยังคงเดิม โดยมีความสัมพันธ์ตามสมการ”

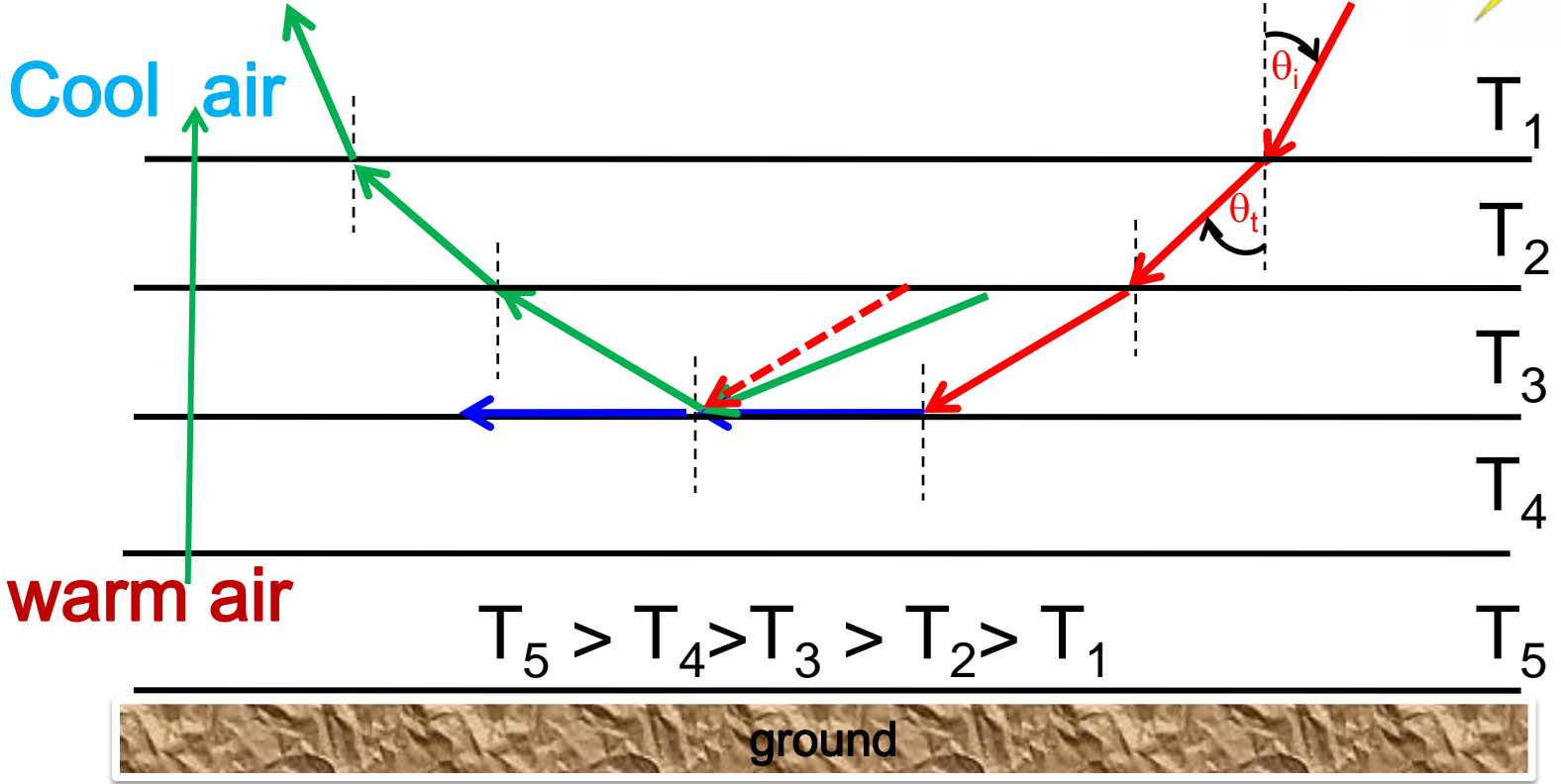
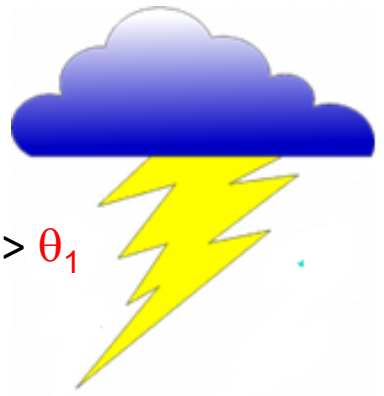
$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$$



“เกิดฟ้าแลบแต่เราไม่ได้ยินเสียงฟ้าร้อง” ถ้าอากาศเบื้องบนมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศด้านล่าง ทำให้คลื่นเสียงเกิดการสะท้อนกลับหมดไปยังอากาศเบื้องบน เราจึงไม่ได้ยินเสียงฟ้าร้อง

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

$$T_2 > T_1 \rightarrow v_2 > v_1 \rightarrow \theta_2 > \theta_1$$



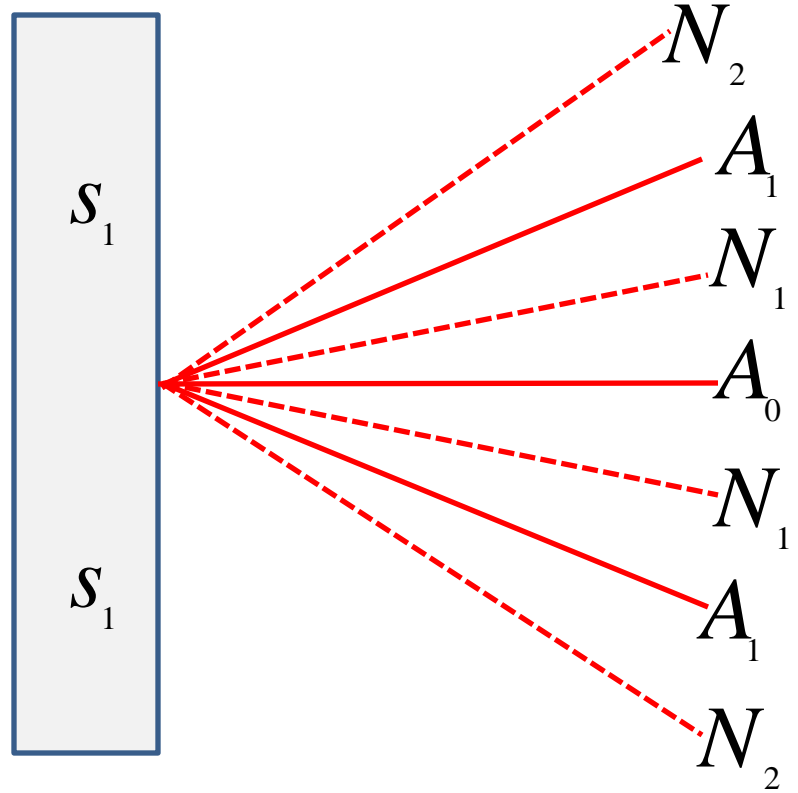
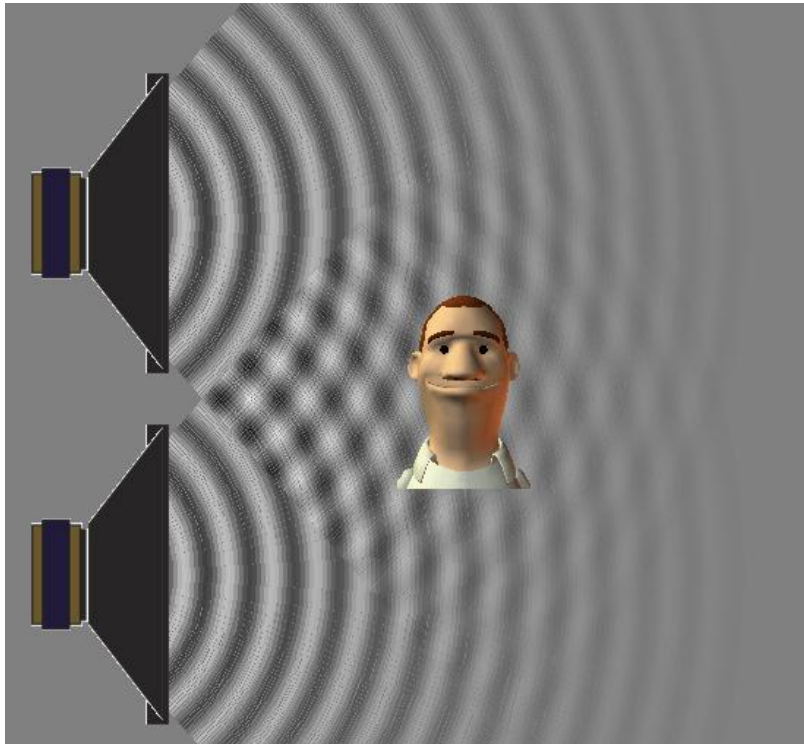
“เกิดฟ้าแลบแต่เราไม่ได้ยินเสียงฟ้าร้อง” ถ้าอากาศเบื้องบนมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศด้านล่าง ทำให้ทิศทางของเสียงจากฟ้าร้องนั้นเบนออกจากเส้นแนวฉาก และเมื่อมุมตกกระทบโตกว่ามุมวิกฤตจะทำให้คลื่นเสียงเกิดการสะท้อนกลับหมดไปยังอากาศเบื้องบน เราจึงไม่ได้ยินเสียงฟ้าร้อง”

คลื่นเสียงสองคลื่นพบกันจะเกิดการรวมกัน

เสริมกัน (อัด+อัด, ขยาย+ขยาย) → ตำแหน่งปฏิบัพ → เสียงดัง

หักล้างกัน (อัด+ขยาย) → ตำแหน่งบัพ → เสียงค่อย

การแทรกสอด



การแทรกสอดแบบเสริม

$$|S_1P - S_2P| = d \sin \theta = d \frac{x}{L} = n\lambda$$

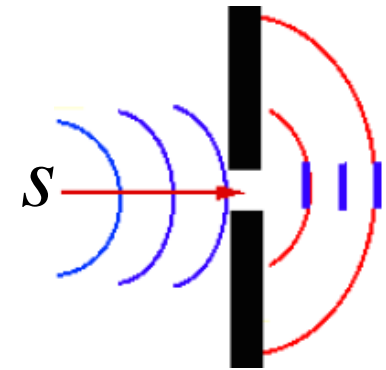
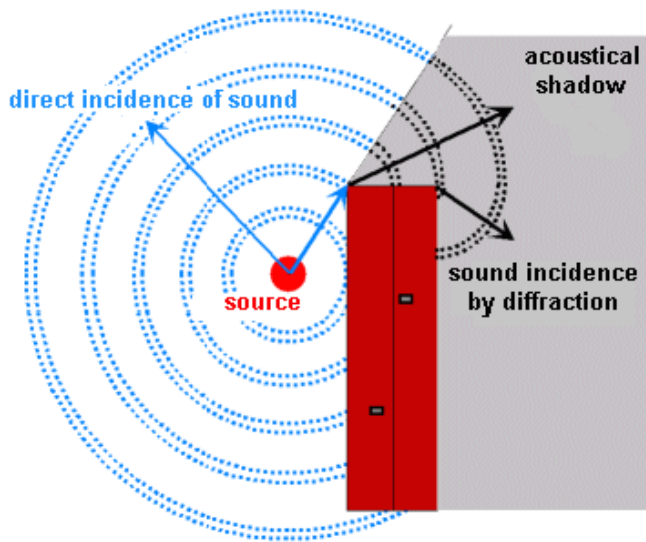
การแทรกสอดแบบหักล้าง

$$|S_1P - S_2P| = d \sin \theta = d \frac{x}{L} = (n - \frac{1}{2})\lambda$$

*เฟสตรงกัน

การเลี้ยวเบน

“เสียงเดินทางอ้อมผ่านไปด้านหลังของกำแพงหรือผนังได้ทำให้เราได้ยินเสียงโดยไม่เห็นแหล่งกำเนิดเสียง”



“การเลี้ยวเบนจะเกิดได้ดี เมื่อช่องแคบมีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นหรือความยาวคลื่นต้องใหญ่กว่าช่องแคบ”

บีตส์ คลื่นนิ่งและการสั่นพ้อง

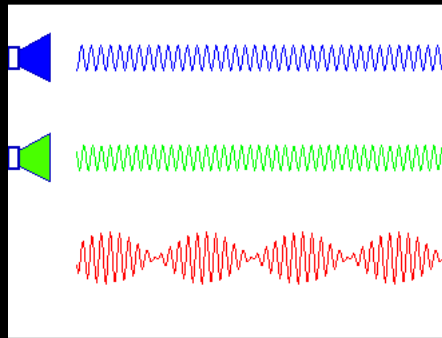
บีตส์ (Beat)

คลื่นเสียงที่มีความถี่ต่างกันเล็กน้อยไม่เกิน 7-10 Hz เคลื่อนที่ผ่านบริเวณเดียวกัน จึงเกิดการรวมกันหรือหักล้างกัน แอมพลิจูดของคลื่นลัพธ์จะเปลี่ยนไป เสียงที่เกิดจากคลื่นรวมจะดังเบาสลับกันไป



400 Hz

401 Hz



แบบเสริม → เสียงดัง → แอมพลิจูดสูงขึ้น
แบบหักล้าง → เสียงค่อย → แอมพลิจูดต่ำลง

จังหวะที่ได้ยิน เรียกว่า **ความถี่บีตส์** (f_B) ซึ่งมีค่าเท่ากับ ผลต่างของความถี่ของคลื่นเสียงทั้งสอง

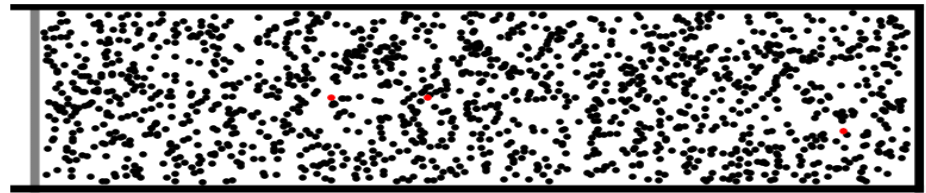
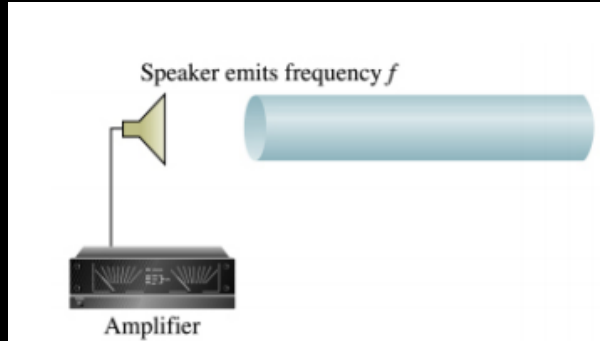
$$f_B = |f_1 - f_2|$$

* หูมนุษย์จะสามารถจำแนกเสียงบีตส์ที่ได้ยินเป็นจังหวะ ซึ่งมีความถี่ไม่เกิน 7 ครั้ง ใน 1 วินาที

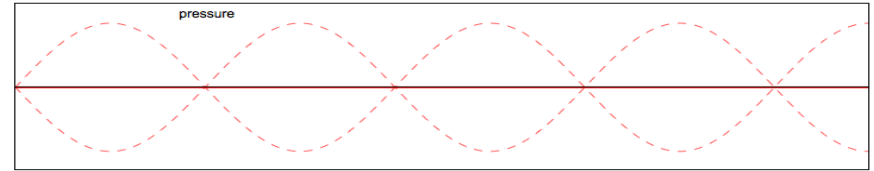
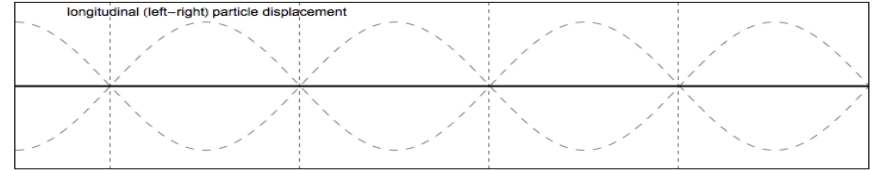
เสียงที่ได้ยิน หรือความถี่ของเสียงบีตส์ หรือความถี่คลื่นเสียงเฉลี่ย

$$f_{\text{รวม}} = \frac{f_1 + f_2}{2}$$

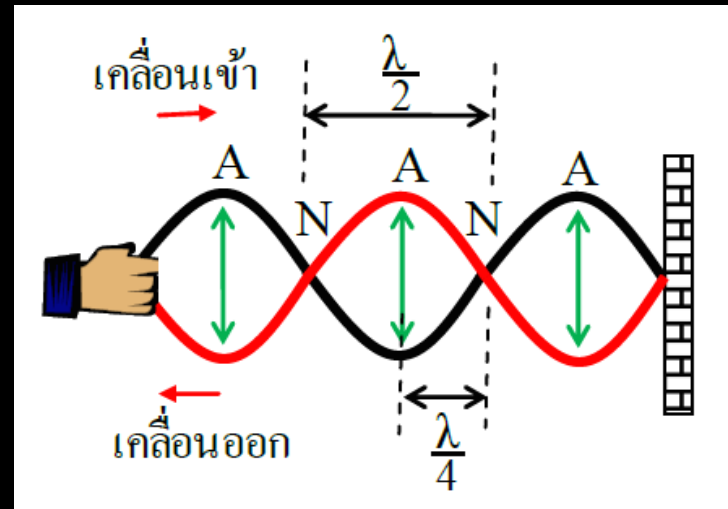
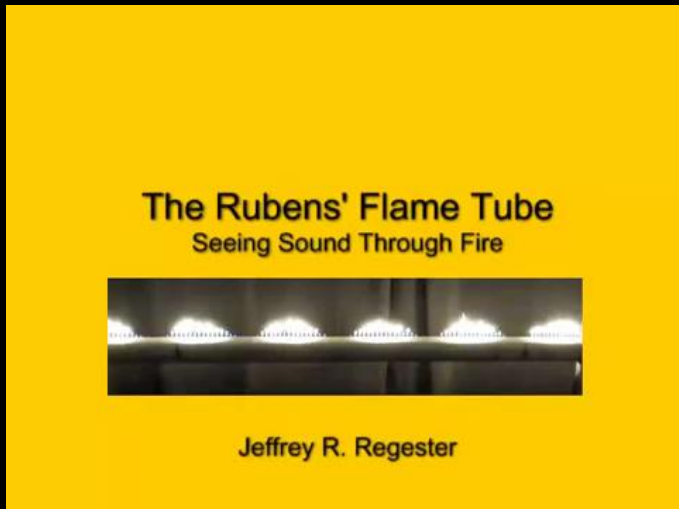
คลื่นนิ่ง (Standing waves)



©2012, Dan Russell



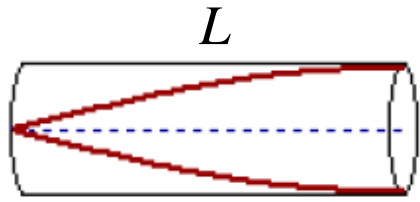
“คลื่น 2 ขบวนเคลื่อนที่สวนทางกัน คลื่นทั้งสองมีแอมพลิจูดเท่ากันจะเกิดการซ้อนทับกันอย่างต่อเนื่องของคลื่นตกกระทบ และ คลื่นสะท้อน เป็นคลื่นลัพธ์มีตำแหน่งปฏิบัพ(ตั้ง)และบัพ(ค่อย)สลับกันไป”



คลื่นนิ่งในท่อปลายปิด

ปลายปิดจะเป็นตำแหน่ง “**บัพของการกระจัด**”

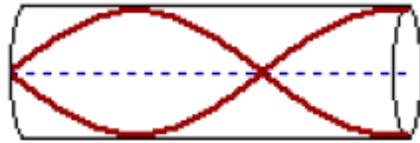
$$f = \frac{v}{\lambda}$$



$$L = \frac{\lambda_1}{4}$$

$$f_1 = \frac{v}{4L}$$

ความถี่มูลฐาน ; ฮาร์โมนิกที่ **1**



$$L = \frac{3}{4} \lambda_2$$

$$f_2 = \frac{3v}{4L}$$

โอเวอร์โทนที่**1**; ฮาร์โมนิกที่ **3**



$$L = \frac{5}{4} \lambda_3$$

$$f_3 = \frac{5v}{4L}$$

โอเวอร์โทนที่**2** ; ฮาร์โมนิกที่ **5**

$$L = \frac{n}{4} \lambda_n ; n = 1, 3, 5, \dots n \text{ *ท่อปลายปิดมีฮาร์โมนิกเป็นเลขคี่เท่านั้น}$$

$$\lambda = \frac{4L}{n} ; f = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{(4L/n)} = \frac{nv}{4L}$$

การบอกความถี่

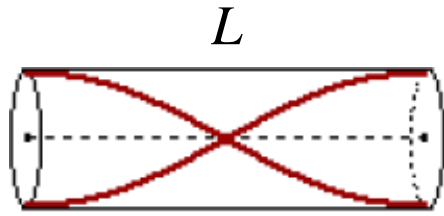
ความถี่มูลฐาน (*Fundamental*) คือ **ความถี่**ต่ำสุดของคลื่นนิ่ง

โอเวอร์โทน (*Overtone*) คือ **ความถี่**ของคลื่นนิ่งที่ถัดจากความถี่มูลฐาน

ฮาร์โมนิก (*Harmonics*) คือ ตัวเลขที่บอกให้ทราบว่า**ความถี่**ขณะนั้นเป็นกี่เท่าของความถี่มูลฐาน

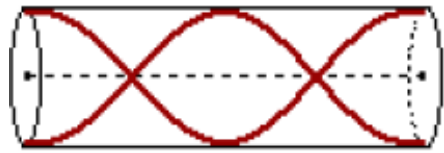
คลื่นนิ่งในท่อปลายเปิด

ปลายเปิดจะเป็นตำแหน่ง “**ปฏิบัติของการกระจัด**”



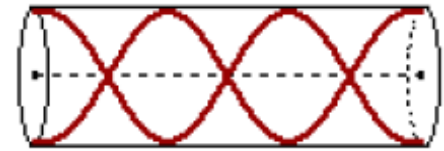
$$L = \frac{\lambda_1}{2} \quad f_1 = \frac{v}{2L}$$

ความถี่มูลฐาน ; ฮาร์มอนิกที่ **1**



$$L = \frac{2\lambda_2}{2} \quad f_2 = \frac{2v}{2L}$$

โอเวอร์โทนที่**1**; ฮาร์มอนิกที่ **2**



$$L = \frac{3\lambda_3}{2} \quad f_3 = \frac{3v}{2L}$$

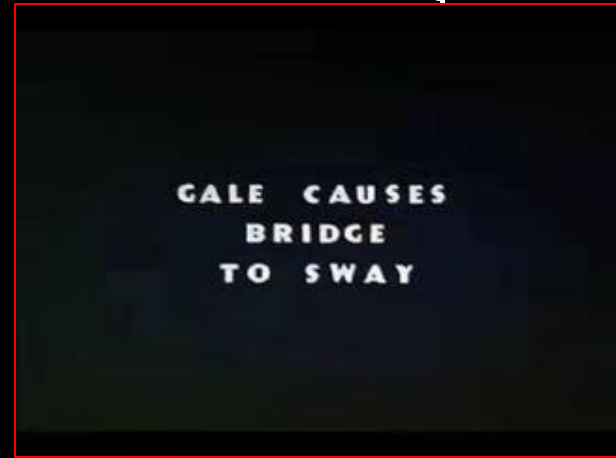
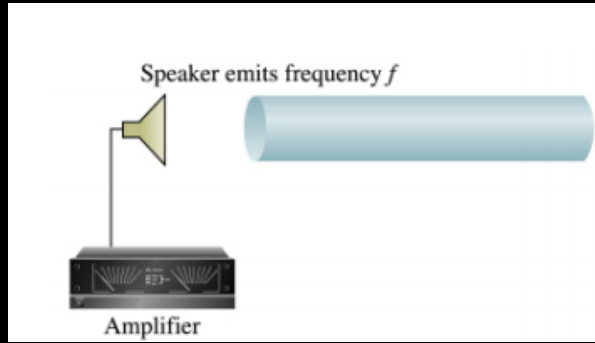
โอเวอร์โทนที่**2** ; ฮาร์มอนิกที่ **3**

$$L = \frac{n}{2} \lambda_n; n = 1, 2, 3, \dots, n \quad * \text{ท่อปลายเปิดมีฮาร์มอนิกทั้งเลขคู่และคี่}$$

$$\lambda = \frac{2L}{n}; f = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{(2L/n)} = \frac{nv}{2L}$$

การสั่นพ้องหรือกำทอน (Resonance)

ความถี่ธรรมชาติ (Natural frequency) เมื่อให้วัตถุสั่นหรือแกว่งโดยอิสระ วัตถุจะสั่นด้วยความถี่เฉพาะค่าหนึ่ง เรียกว่า “ความถี่ธรรมชาติ” ของวัตถุนั้น



การพังของสะพาน Tacoma Narrows เป็นผลมาจาก “การสั่นพ้อง”

- มีลมพัดอย่างแรงพอดีกับจังหวะการสั่นของสะพานพอดี” ...
- ผลทำให้เกิดการสั่นอย่างรุนแรงมากขึ้นกว่าปกติหรือมีแอมพลิจูดของการสั่นมากขึ้น

นำแหล่งกำเนิดเสียงมาวางใกล้ปลายท่อกลวงตรง

- ปรับความถี่เสียงให้พอเหมาะ
- อนุภาคของอากาศในหลอดสั้นมีความถี่ เท่ากับ ความถี่ธรรมชาติของลำอากาศในหลอดนั้นพอดี
- เกิดเสียงดังมากกว่าปกติแสดงว่า “เกิดการสั่นพ้องของเสียง”

* หลอดกลวงเกิดการสั่นพ้องได้หลายความถี่ โดยมีความถี่ต่ำสุดค่าหนึ่ง เรียกว่า “ความถี่มูลฐาน”

ความถี่ที่เกิดจากสายสั้น

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

พิจารณาอัตราเร็วในเส้นเชือก

กำหนดความหนาแน่นมวลเชิงเส้น (μ) เท่ากับ อัตราส่วนมวลส่วนเล็ก ๆ ต่อระยะ

$$\mu = \frac{m}{\Delta s}$$

แรงที่กระทำต่อมวล $F_{radial} = 2T \sin \theta \approx 2T\theta$; กรณี θ เล็กมาก

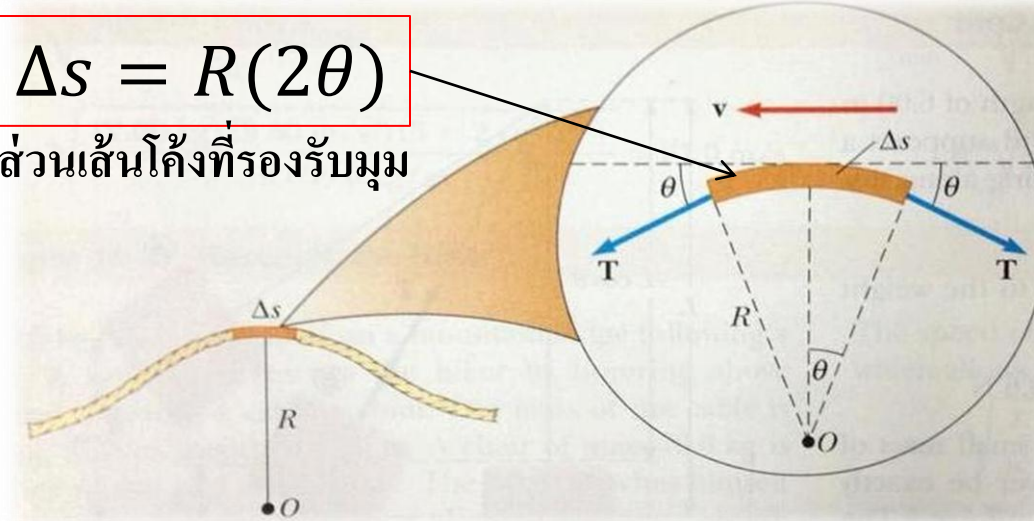
จากกฎนิวตัน

$$F_r = ma = \frac{mv^2}{R}$$

$$2T\theta = \mu \Delta s \frac{v^2}{R}$$

$$\Delta s = R(2\theta)$$

ส่วนเส้นโค้งที่รองรับมุม



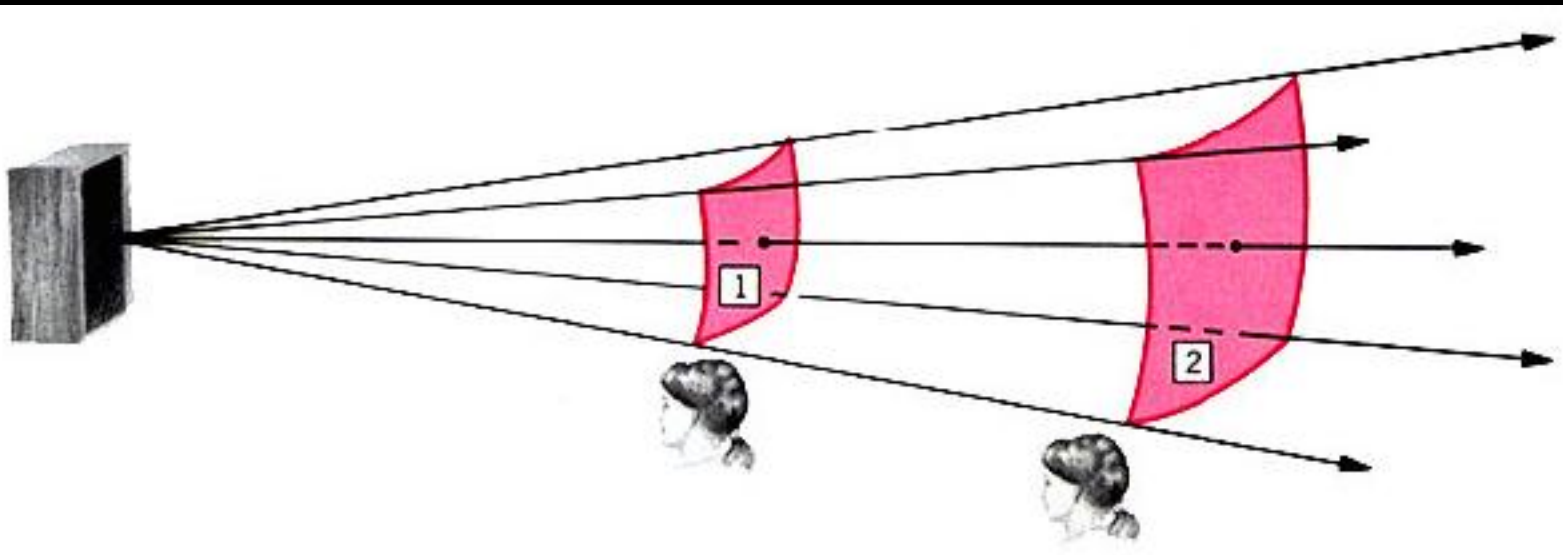
$$2T\theta = \mu (R2\theta) \frac{v^2}{R}$$

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

การได้ยิน

ความเข้มเสียง (Sound Intensity, I)

“ที่ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงออกไปความเข้มเสียง (I) ของเสียงในอากาศจะลดลง โดยแปรผกผันกับกำลังสองของระยะห่าง (R) จากแหล่งกำเนิดเสียง”



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

$$I \propto P$$

ความเข้มเสียง (I) หมายถึง ปริมาณพลังงานเสียงในหนึ่งหน่วยเวลาที่ตกกระทบพื้นที่หนึ่งตารางหน่วย หรือ กำลังเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงที่ส่งออกมา ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่

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

กรณีพื้นที่ผิวรองรับทรงกลม \rightarrow

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

→ ความเข้มเสียงที่เบาที่สุดที่หูมนุษย์ได้ยิน $I_0 = 10^{-12} W/m^2$

→ ความเข้มเสียงที่ดังที่สุดที่หูมนุษย์ทนได้ $I_{max} = 1 W/m^2$

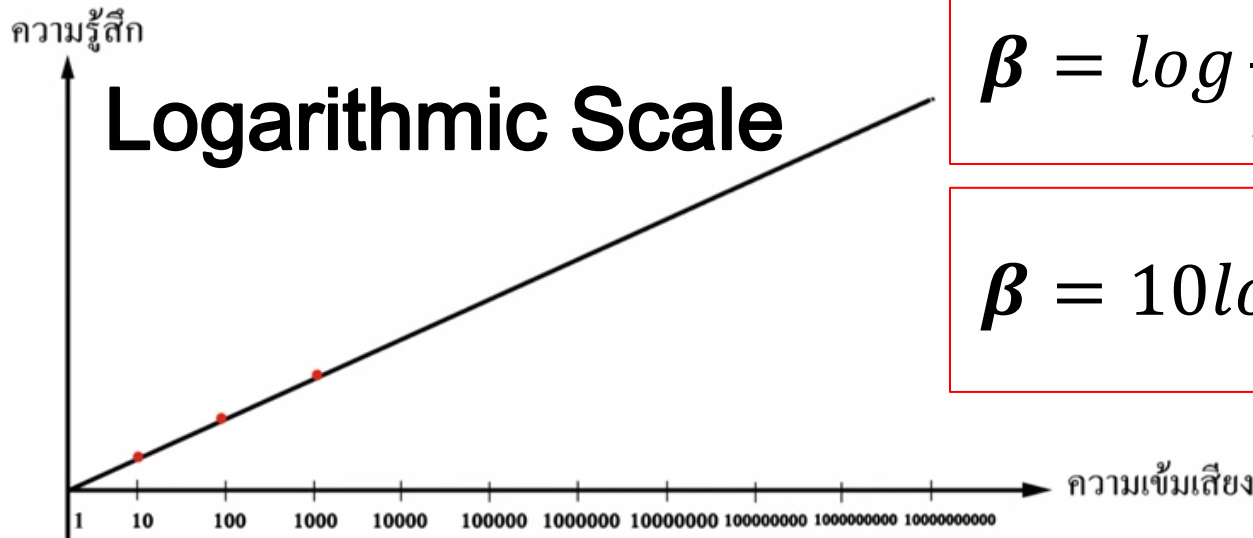
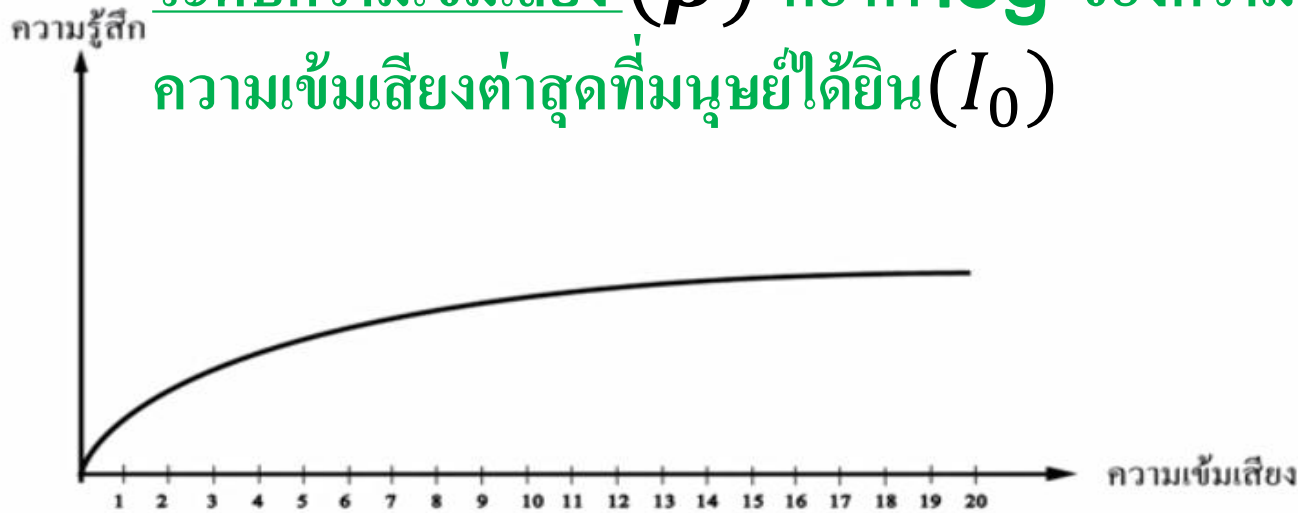
ความเข้มเสียง ณ จุดรับฟัง หน่วย วัตต์ต่อตารางเมตร	อัตราส่วนระหว่างความเข้มเสียง ณ จุดรับฟัง กับความเข้มเสียงที่น้อยที่สุดที่หูมนุษย์ปกติ รับฟังได้	ระดับเสียง หน่วย เบล
10^{-12}	$\frac{10^{-12}}{10^{-12}} = 10^0$ (เท่ากับ 1)	Log 0
10^{-11}	$\frac{10^{-11}}{10^{-12}} = 10^1$	1
10^{-10}	$\frac{10^{-10}}{10^{-12}} = 10^2$	2
10^{-9}	$\frac{10^{-9}}{10^{-12}} = 10^3$	3
.....
10^{-1}	$\frac{10^{-1}}{10^{-12}} = 10^{11}$	11
10^0	$\frac{10^0}{10^{-12}} = 10^{12}$	12

ช่วงกว้างมาก

ความเข้มเสียง $I \rightarrow$ ระดับความเข้มเสียง β (บอกความดัง)

ระดับความเข้มเสียง (Sound Intensity Level, β)

ระดับความเข้มเสียง (β) คือ ค่า **log** ของความเข้มเสียงใด ๆ (I) ต่อความเข้มเสียงต่ำสุดที่มนุษย์ได้ยิน (I_0)



Logarithmic Scale

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

หน่วย เบล(B)

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

หน่วย เดซิเบล(dB)

**** เบล (B) มีค่า 10 เดซิเบล (dB)**

คุณสมบัติของฟังก์ชัน \log เบื้องต้น

$$1. \quad \log_a xy = \log_a x + \log_a y$$

$$2. \quad \log_a \frac{x}{y} = \log_a x - \log_a y$$

$$3. \quad \log_a x^y = y \log_a x$$

$$4. \quad \log_a a = 1$$

$$5. \quad \log_a 1 = 0$$

การเปรียบเทียบระดับความเข้มเสียง

การเปรียบเทียบระดับความเข้มเสียง เราจะพิจารณาว่าเสียงหนึ่งจะดังกว่าอีกเสียงหนึ่งอยู่ที่เดซิเบล คือ หาผลต่างของระดับความเข้มเสียงนั่นเอง

$$\beta_1 = 10 \log \left(\frac{I_1}{I_0} \right)$$

$$\beta_2 = 10 \log \left(\frac{I_2}{I_0} \right)$$

$$\beta_2 - \beta_1 = 10 \log \left(\frac{I_2}{I_0} \right) - 10 \log \left(\frac{I_1}{I_0} \right) = 10 \log \left(\frac{\left(\frac{I_2}{I_0} \right)}{\left(\frac{I_1}{I_0} \right)} \right)$$

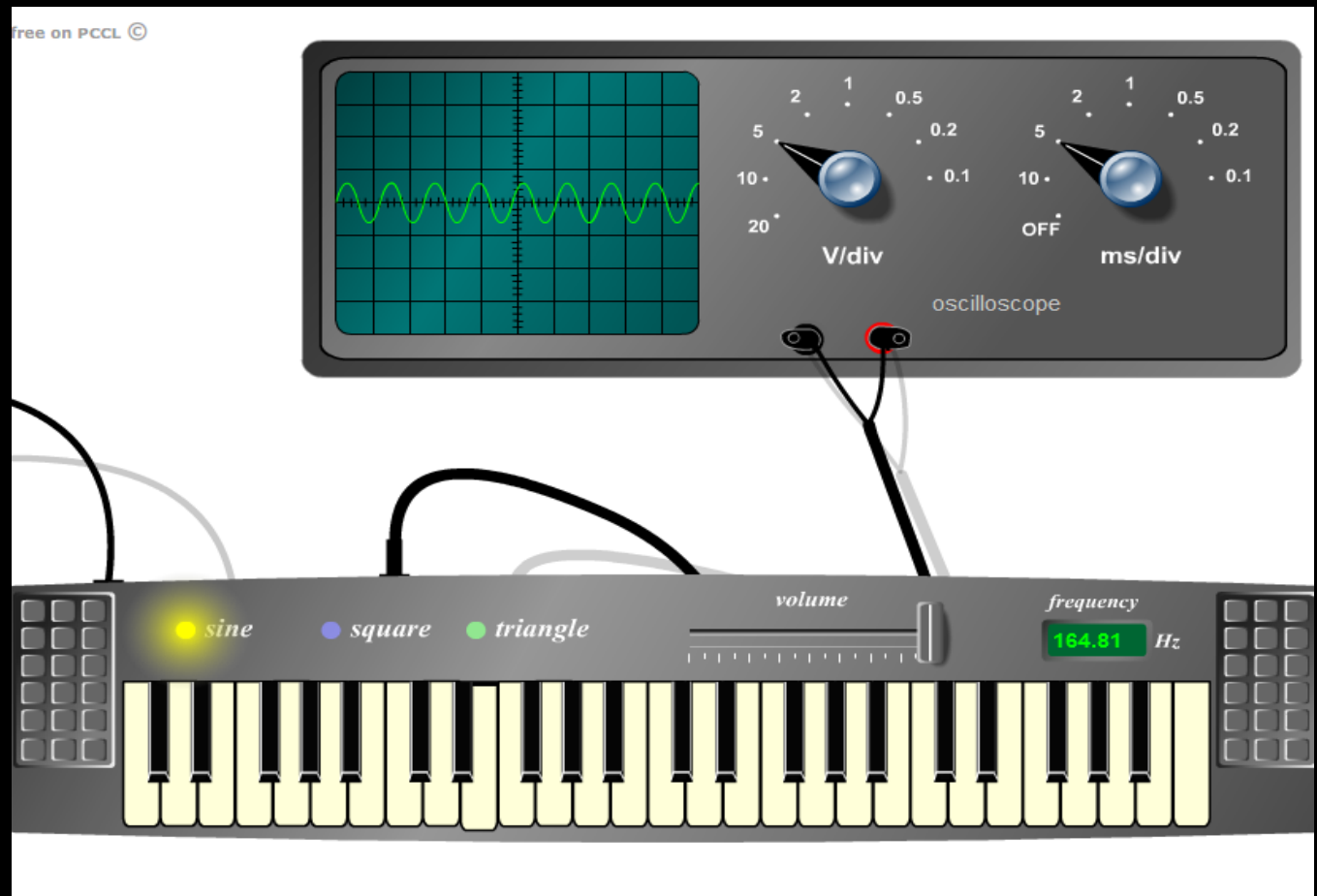
$$\beta_2 - \beta_1 = 10 \log \left(\frac{I_2}{I_1} \right) = 10 \log \left(\frac{P_2}{P_1} \right) = 10 \log \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^2 = 10 \log \left(\frac{P_2}{P_1} \right) \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^2$$

เสียงดนตรี

เสียงดัง \rightarrow แอมพลิจูดสูง; เสียงค่อย \rightarrow แอมพลิจูดต่ำ

เสียงสูง(แหลม) \rightarrow ความถี่มาก; เสียงต่ำ(ทุ้ม) \rightarrow ความถี่น้อย

คุณภาพเสียง \rightarrow จำนวนฮาร์โมนิกและความเข้มเสียงต่าง \rightarrow รูปร่างคลื่นต่าง



ข้อควรทราบเกี่ยวกับความถี่เสียงของตัวโน้ตดนตรี

เสียงมูลฐาน

Harmonic ที่ 1

คู่ 8 หรือ

เสียงที่ 8

Harmonic ที่ 2

2 คู่ 8

(เสียงที่ 16)

Harmonic ที่ 3

3 คู่ 8

(เสียงที่ 24)

Harmonic ที่ 4

4 คู่ 8

(เสียงที่ 32)

Harmonic ที่ 5

โด เร มี ฟา ซอล ลา ที โด' โด'' โด''' โด''''

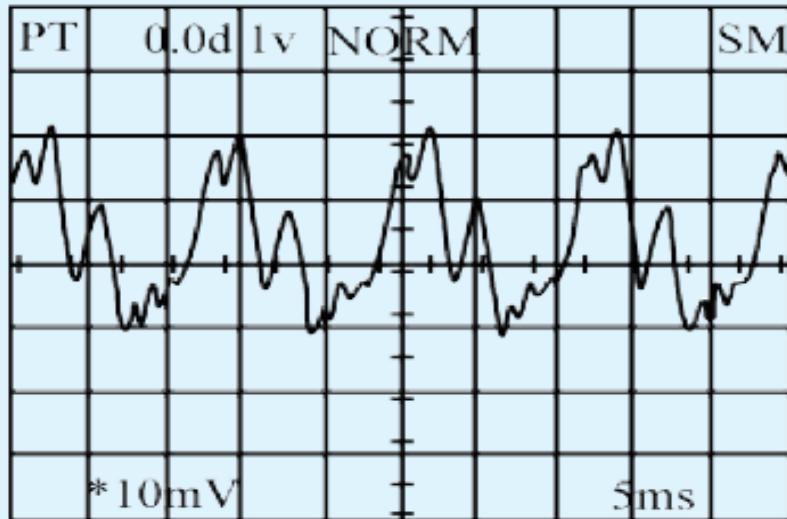
ความถี่ 256 Hz

512 Hz

1024 Hz

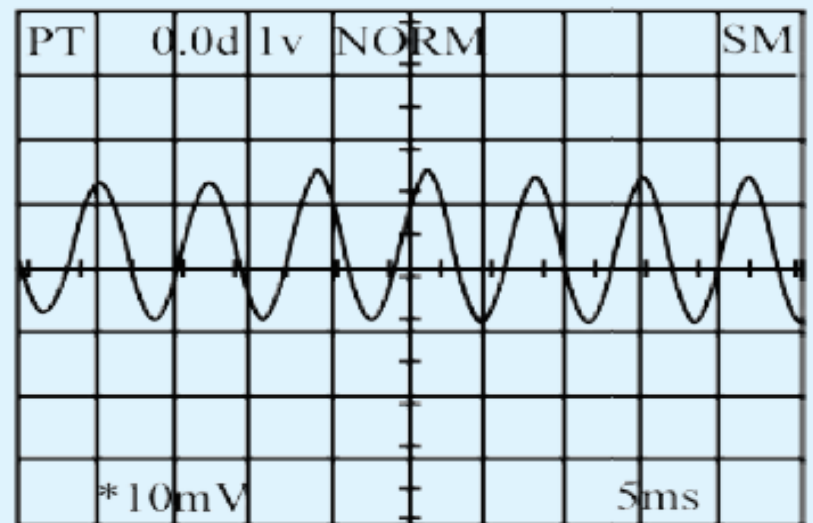
2048 Hz

4096 Hz



ไวโอลิน

รูปคลื่น

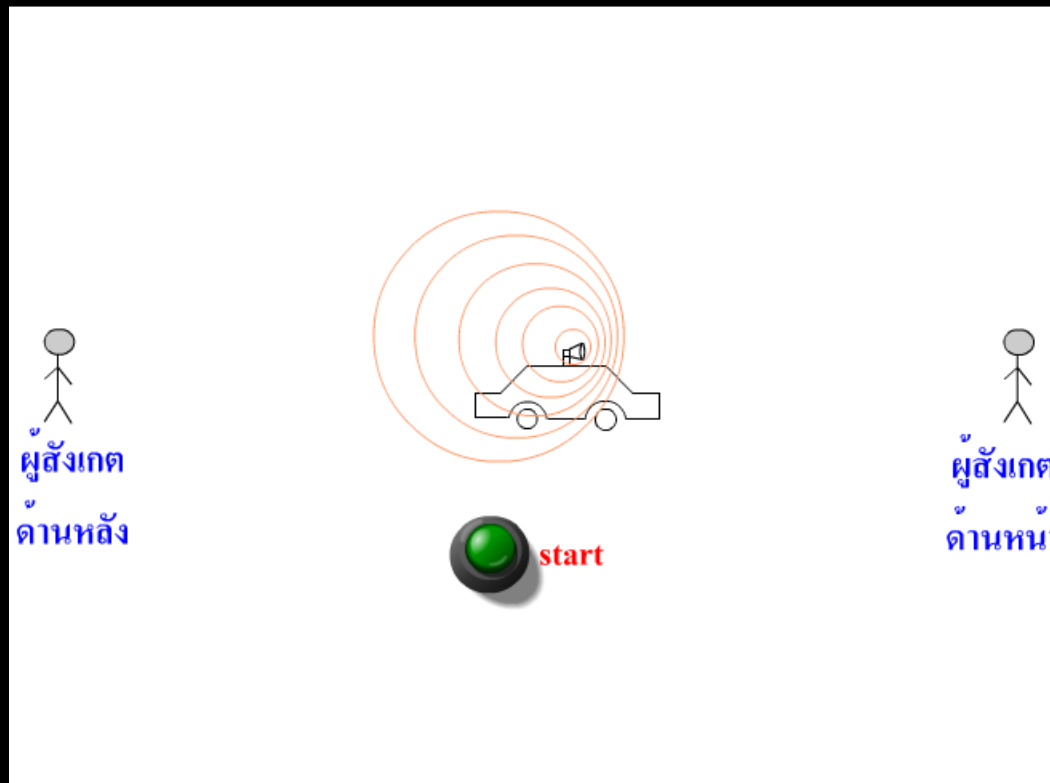


ซอด้วง

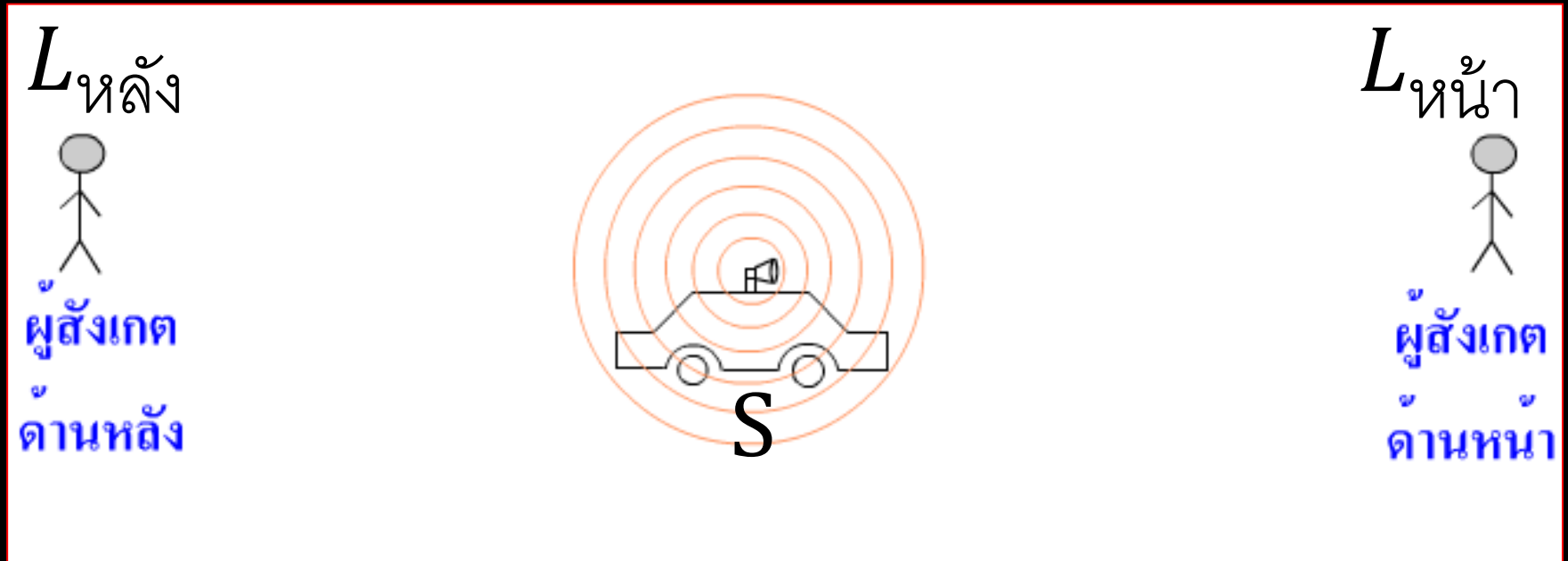
ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์

เราเคยได้ยินเสียงหวูดรถพยาบาล ขณะที่รถกำลังวิ่งเข้าหาเราจะทำให้เรารู้สึกได้
ยินเสียงแหลมกว่าปกติ เมื่อรถวิ่งผ่านไปจะทำให้เรารู้สึกว่าได้ยินเสียงทุ้มกว่า
ตอนแรก การที่เราได้ยินเสียงที่มีระดับเสียงเปลี่ยนไปเช่นนี้

เรียกว่า “Doppler Effect”



แหล่งกำเนิดเสียงอยู่หนึ่ง

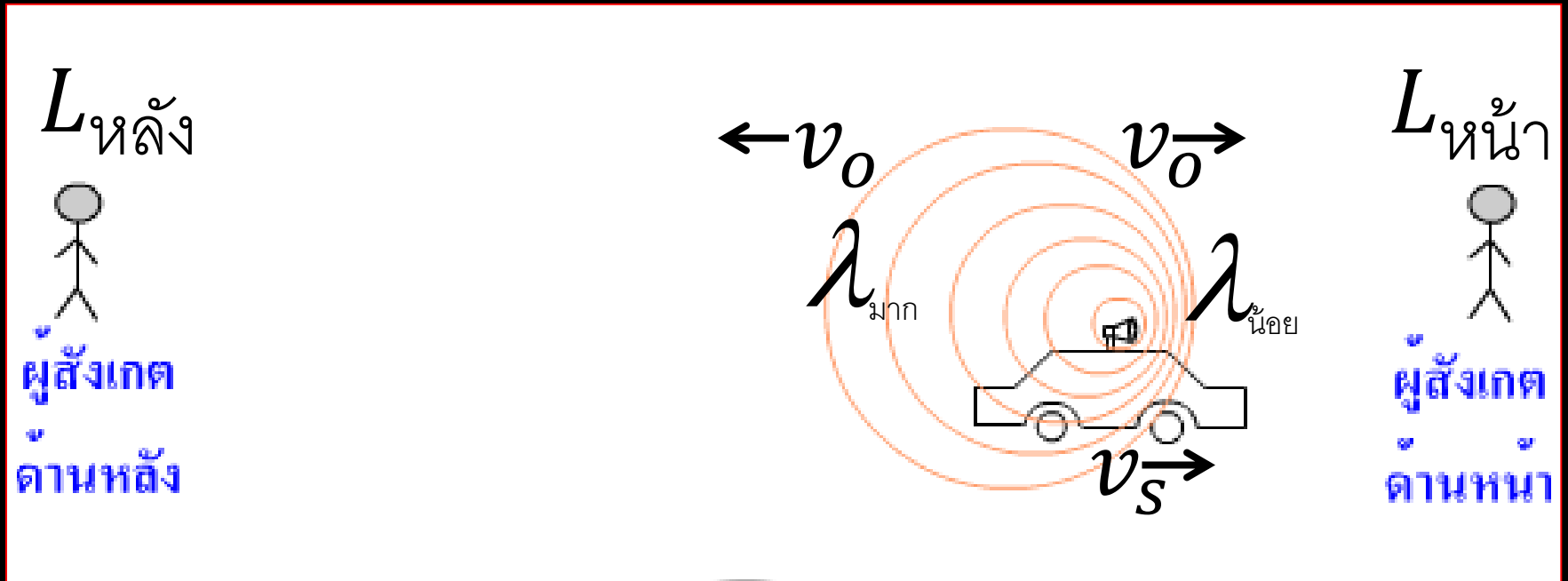


ผู้ฟังที่อยู่ด้านหน้าและด้านหลัง

→ ได้ยินเสียงมีความถี่เท่ากัน เพราะความยาวคลื่นที่ออกไปทุกด้านมีค่าเท่ากัน

→ ความเร็วเสียงเท่ากัน ดังนั้นความถี่เสียงจึงเท่ากันด้วย

แหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่



$$f = \frac{v}{\lambda} \left\{ \begin{array}{l} L_{\text{หน้า}} \rightarrow \lambda_{\text{น้อย}} \rightarrow f_{\text{มาก}} \\ L_{\text{หลัง}} \rightarrow \lambda_{\text{มาก}} \rightarrow f_{\text{น้อย}} \end{array} \right.$$

การหาความเร็วสัมพัทธ์

“คนที่นั่งอยู่ในรถแล้วมองดูคนที่อยู่ในรถ ก็ไม่เห็นคนในรถเคลื่อนที่ ทั้ง ๆ ที่คนในรถเคลื่อนที่ไปกับรถ เรียก การเกิดความเร็วสัมพัทธ์”

การหาความเร็วสัมพัทธ์คร่าวๆ

1. \vec{v}_1 และ \vec{v}_2 ไปทางเดียวกันใช้ $v_{21} = v_2 - v_1$

2. \vec{v}_1 และ \vec{v}_2 สวนทางกันใช้ $v_{21} = v_2 + v_1$

$$\vec{v}_1 = 10 \text{ m/s}$$



(1)

$$\vec{v}_2 = 12 \text{ m/s}$$



(2)

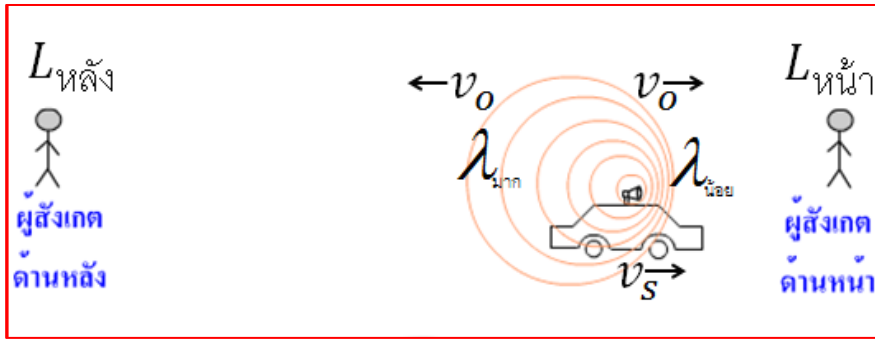
v_{21} ความเร็วของ (2) เทียบกับ (1)

$$v_{21} = 12 \text{ m/s} - 10 \text{ m/s}$$

$$v_{21} = 2 \text{ m/s}$$

ผู้สังเกต (1) เห็นสิ่งที่ถูกสังเกต (2) เคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยความเร็ว 2 m/s

การหาความยาวคลื่นด้านหน้าและด้านหลังแหล่งกำเนิด



v_0 = ความเร็วเสียงในอากาศ

v_s = ความเร็วของแหล่งกำเนิด

$\lambda_{หน้า}$ = ความยาวคลื่นเสียงด้านหน้า

$\lambda_{หลัง}$ = ความยาวคลื่นเสียงด้านหลัง

f_s = ความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียง

f_L = ความถี่ของผู้สังเกตหรือผู้ฟัง

พิจารณาความเร็วเสียงด้านหน้าเมื่อเทียบกับแหล่งกำเนิดเท่ากับ $v_0 - v_s$

$$\lambda_{หน้า} = \frac{v_{สัมพันธ์}}{f_s} = \frac{v_0 - v_s}{f_s}$$

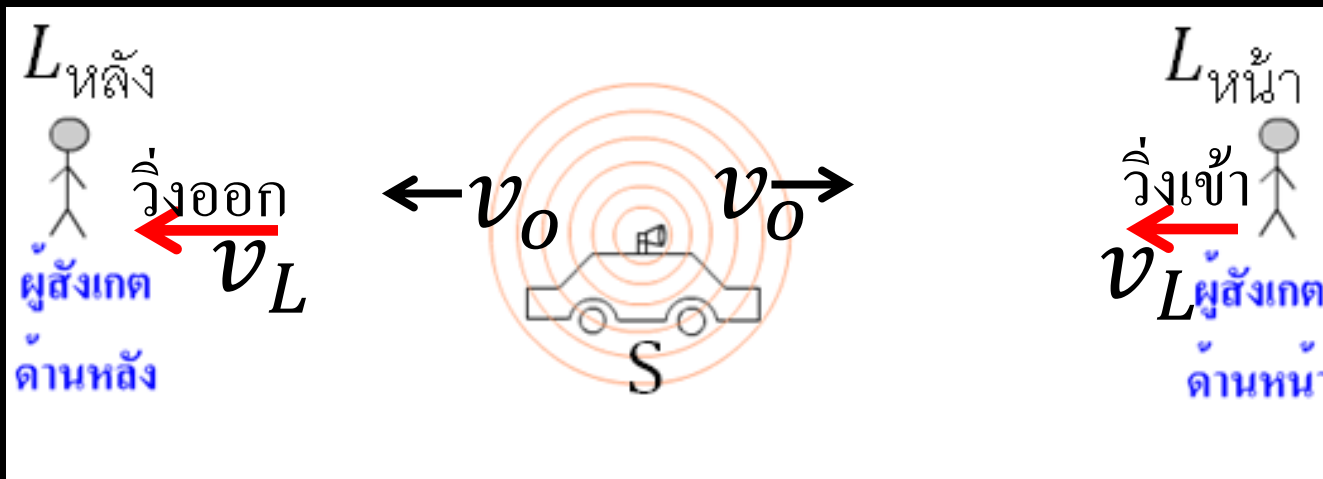
$$\lambda_{หลัง} = \frac{v_{สัมพันธ์}}{f_s} = \frac{v_0 + v_s}{f_s}$$

พิจารณาความถี่เสียงที่ผู้ฟังได้ยิน

$$f_L = \frac{v_0}{\lambda_{หน้า}} = \frac{v_0 f_s}{v_0 - v_s}$$

$$f_L = \frac{v_0}{\lambda_{หลัง}} = \frac{v_0 f_s}{v_0 + v_s}$$

แหล่งกำเนิดเสียงอยู่หนึ่งผู้ฟังเคลื่อนที่



ความถี่เสียงผู้ฟังวีนเข้าหาแหล่งกำเนิดเสียง

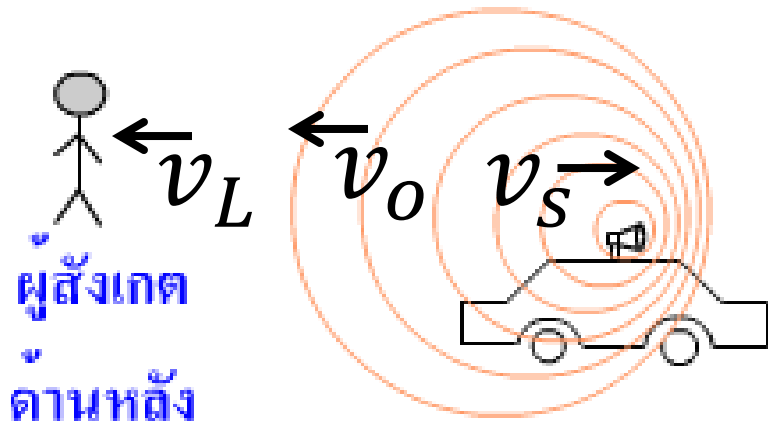
$$f_L = \frac{v_{\text{สัมพัทธ์}}}{\lambda} = \frac{v_o + v_L}{\lambda}$$

ความถี่เสียงผู้ฟังวีนออกจากแหล่งกำเนิดเสียง

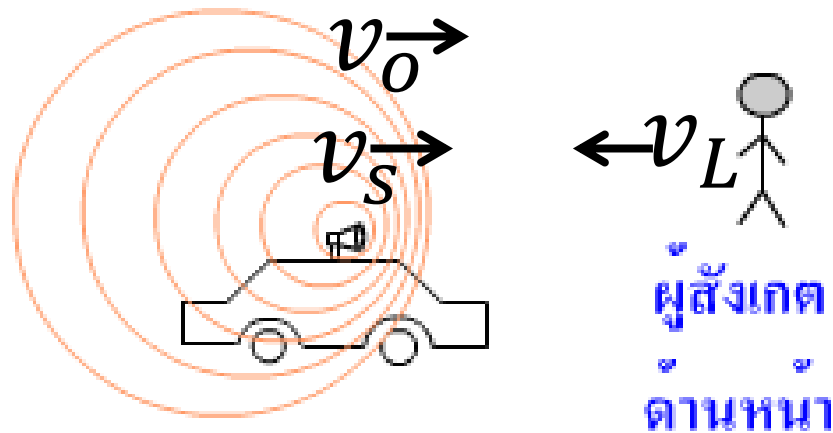
$$f_L = \frac{v_{\text{สัมพัทธ์}}}{\lambda} = \frac{v_o - v_L}{\lambda}$$

แหล่งกำเนิดเสียงและผู้ฟังเคลื่อนที่

“วิ่งหนีกัน”



“วิ่งเข้าหากัน”



$$f_L = \frac{v_o - v_L}{\lambda_{\text{หลัง}}} = \frac{v_o - v_L}{\left(\frac{v_o + v_s}{f_s}\right)}$$

$$f_L = \left(\frac{v_o - v_L}{v_o + v_s}\right) f_s$$

$$f_L = \frac{v_o + v_L}{\lambda_{\text{หน้า}}} = \frac{v_o + v_L}{\left(\frac{v_o - v_s}{f_s}\right)}$$

$$f_L = \left(\frac{v_o + v_L}{v_o - v_s}\right) f_s$$

เงื่อนไข ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์

1. การหาความยาวคลื่นด้านหน้าและด้านหลังแหล่งกำเนิด

$$\lambda_{\text{หน้า}} = \frac{v_{\text{สัมพันธ์}}}{f_s} = \frac{v_o - v_s}{f_s}$$

$$\lambda_{\text{หลัง}} = \frac{v_{\text{สัมพันธ์}}}{f_s} = \frac{v_o + v_s}{f_s}$$

2. การหาความถี่ที่ผู้ฟังได้ยิน

→ แหล่งกำเนิดเคลื่อนที่ ผู้ฟังนิ่ง

$$f_L = \frac{v_o f_s}{v_o - v_s}$$

$$f_L = \frac{v_o f_s}{v_o + v_s}$$

→ แหล่งกำเนิดนิ่ง ผู้ฟังเคลื่อนที่

$$f_L = \frac{v_o + v_L}{\lambda}$$

$$f_L = \frac{v_o - v_L}{\lambda}$$

→ แหล่งกำเนิดและผู้ฟังเคลื่อนที่

$$f_L = \left(\frac{v_o - v_L}{v_o + v_s} \right) f_s$$

$$f_L = \left(\frac{v_o + v_L}{v_o - v_s} \right) f_s$$

สูตรสูตร ปราบกฎการณ์ดอปเปลอร์

$$\lambda = \frac{v_o \pm v_s}{f_s}$$

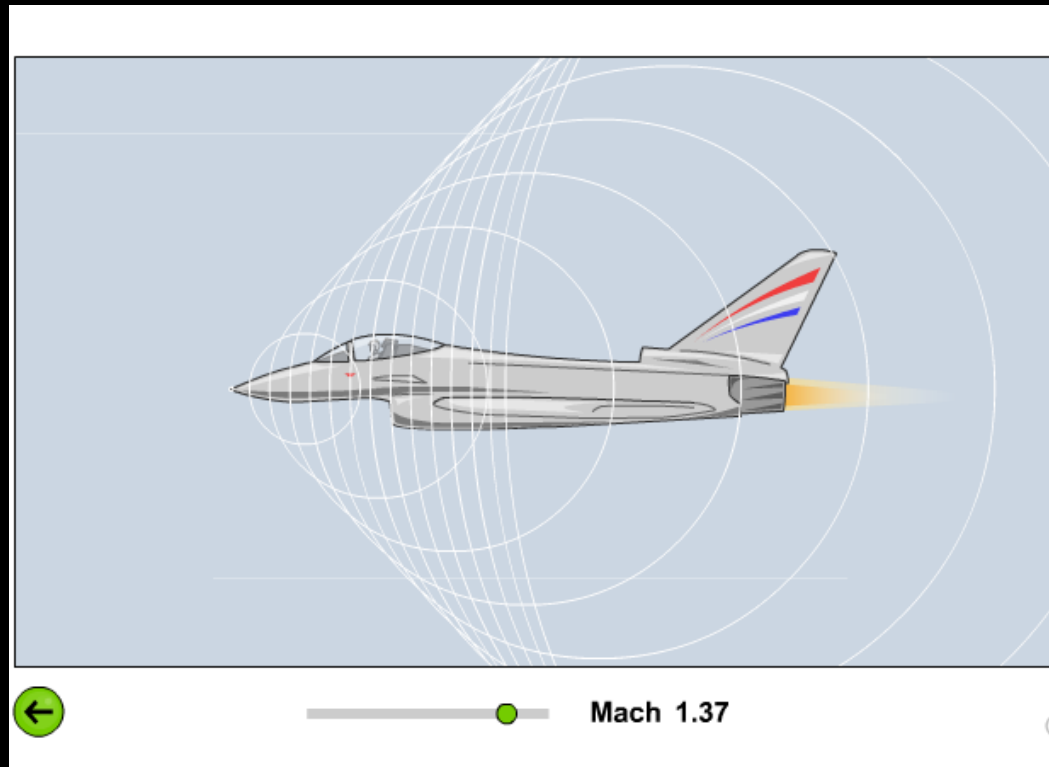
$$f_L = \left(\frac{v_o \pm v_L}{v_o \pm v_s} \right) f_s$$

v_L $\begin{cases} + & \text{เมื่อผู้ฟัง (L) วิ่งเข้าหาแหล่งกำเนิด (S)} \\ - & \text{เมื่อผู้ฟัง (L) วิ่งออกจากแหล่งกำเนิด (S)} \\ 0 & \text{เมื่อผู้ฟัง (L) อยู่นิ่ง} \end{cases}$

v_s $\begin{cases} + & \text{เมื่อแหล่งกำเนิด (S) วิ่งออกจากผู้ฟัง (L)} \\ - & \text{เมื่อแหล่งกำเนิด (S) วิ่งเข้าหาผู้ฟัง (L)} \\ 0 & \text{เมื่อแหล่งกำเนิด (S) อยู่นิ่ง} \end{cases}$

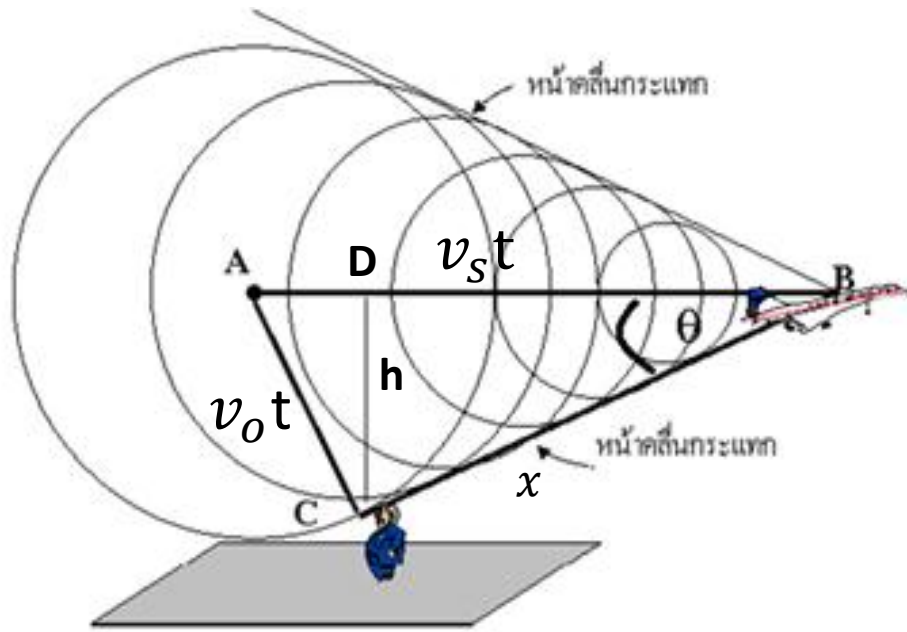
คลื่นกระแทก

“ปรากฏการณ์ที่แหล่งกำเนิดคลื่นที่ด้วยอัตราเร็วมากกว่าอัตราเร็วในการแผ่ของคลื่น ทำให้แนวหน้าคลื่นอัดตัว → มีลักษณะเป็นรูปกรวยหน้าคลื่น เป็นคลื่นกระแทก”



เลขมัค (Mach number) คือ ตัวเลขที่บอกให้ทราบว่าวัตถุนั้นเคลื่อนที่เร็วเป็นกี่เท่าของความเร็วเสียง เช่น เครื่องบินด้วยอัตราเร็ว 1.5 มัค หมายความว่าเครื่องบินบินด้วยอัตราเร็ว 1.5 เท่าของเสียง ถ้าขณะนั้นเสียงมีอัตราเร็ว 340 เครื่องบินลानี้บินด้วยอัตราเร็ว 510 เมตร/วินาที

การหาตำแหน่งของเครื่องบินเมื่อผู้สังเกตได้ยิน



พิจารณา $\triangle ABC$

$$\sin\theta = \frac{v_o t}{v_s t} = \frac{v_o}{v_s}$$

พิจารณา $\triangle BCD$

$$\sin\theta = \frac{h}{x}$$

$$\sin\theta = \frac{v_o}{v_s} = \frac{h}{x}$$

ส่วนกลับของอัตราส่วนเรียกว่า "เลขมัค"

$$M = \frac{v_s}{v_o} = \frac{1}{\sin\theta}$$

$$\sin\theta = \frac{v_o}{v_s} = \frac{h}{x} = \frac{1}{M}$$

v_o คือ อัตราเร็วของคลื่นเสียง

v_s คือ อัตราเร็วของแหล่งกำเนิด

AB คือ ระยะทางที่แหล่งกำเนิดเคลื่อนที่ได้

AC คือ ระยะทางที่คลื่นเสียงเคลื่อนที่ได้

BC คือ หน้าคลื่นกระแทก

θ คือ มุมครึ่งหนึ่งของยอดกรวยเสียง

THE END...

