# 105103 ฟิสิกส์ทั่วไป

**อาจารย์ผู้สอน** สิริโชค จึงถาวรรณ

**ห้องทำงาน** C2-539 สาขาวิชาฟิสิกส์

สำนักวิชาวิทยาศาสตร์

ชั้น 5 อาคารวิชาการ 2

**เอกสารประกอบการเรียนการสอน**

ประมวลสาระวิชา ฟิสิกส์ 1 และ ฟิสิกส์ 2

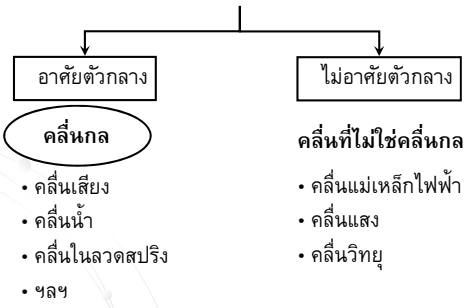
## บทที่ 4 คลื่นและคลื่นเสียง

- 4.1 สมบัติของคลื่น ฟังก์ชันคลื่นและสมการคลื่น
- 4.2 การแทรกสอดของคลื่นและคลื่นนิ่ง
- 4.3 คลื่นเสียงและระดับความเข้มเสียง
- 4.4 ปรากฏการณ์โดปป์เลอร์

บทเรียนแนะนำ General Physics Java Applets
http://www.surendranath.org/Apps.html

## 4.1 สมบัติของคลื่น

- คลื่นแบ่งได้เป็นสองประเภท ตามลักษณะของการแผ่ของคลื่น




## คลื่นกลและชนิดของคลื่นกล

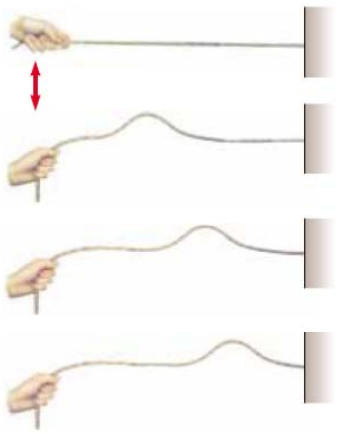
คลื่นกลแบ่งตามลักษณะการสั่นของตัวกลาง และทิศทางของการแผ่ของคลื่น ได้เป็น 2 ชนิด คือ

**คลื่นตามขวาง**

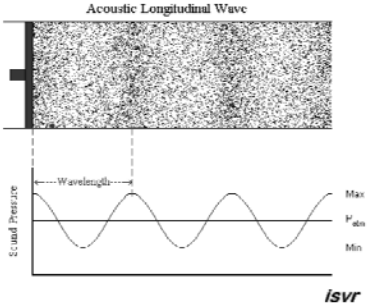
อนุภาคของตัวกลางเคลื่อนที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น

**คลื่นตามยาว**

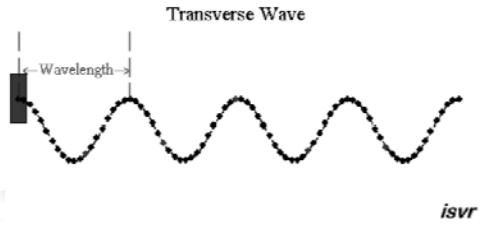
อนุภาคตัวกลางจะสั่นในแนวเดียวกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น



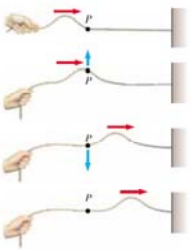
การเคลื่อนที่ของคลื่น




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

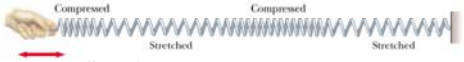



http://www.isvr.soton.ac.uk/SPCG/Tutorial/Tutorial/Tutorial_files/Web-basics-nature.htm

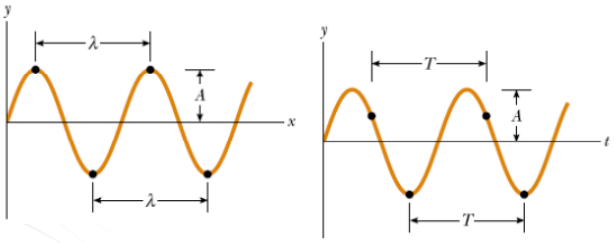


**คลื่นตามขวาง**

**คลื่นตามยาว**




## คุณลักษณะของคลื่น




$f = \frac{1}{T}$ ความถี่ จำนวนคลื่นใน 1 s

$A$ คาบเวลาที่ใช้ในการเดินทางครบหนึ่งรอบ

$\lambda$ แอมพลิจูดของคลื่น

$T$ ความยาวคลื่น

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

## อัตราเร็วของคลื่นกล

ในกรณีของคลื่นที่เกิดขึ้นในเส้นเชือก อัตราเร็วของคลื่นในเส้นเชือก คือ

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

$T$ แรงตึงในเส้นเชือก หน่วยเป็น [M L / T$^2$]

$\mu$ ความหนาแน่น หรือ มวลของเชือกต่อหน่วยความยาว [M / L]

## ความเร็วคลื่นในตัวกลาง

- คลื่นตามขวางในเส้นเชือก

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

- คลื่นตามยาวในตัวกลาง

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

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

## กำลังและความเข้มของคลื่น

ถ้าให้กำลังของคลื่น คือ $P$

ความเข้มของคลื่น คือ กำลังของคลื่นที่แผ่ไป ต่อพื้นที่ 1 หน่วยของหน้าคลื่น

$$I = \frac{P}{S} \quad \left[\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}\right]$$

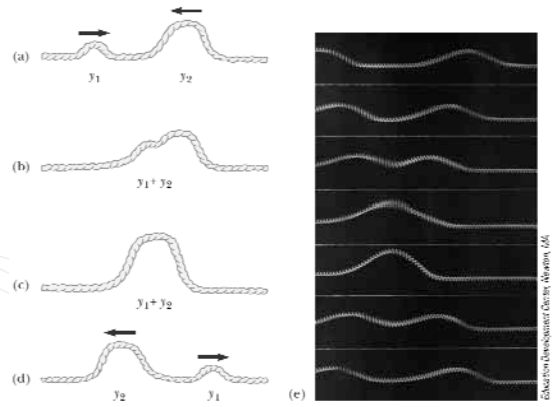
กรณีคลื่นทรงกลม หน้าคลื่นที่แผ่ออกไปจะมีขนาด ตามสมการผิวทรงกลม $4\pi R^2$ ซึ่งความเข้มของคลื่นจะลดลงเมื่อทรงกลมมีขนาดใหญ่ขึ้นตาม R$^2$

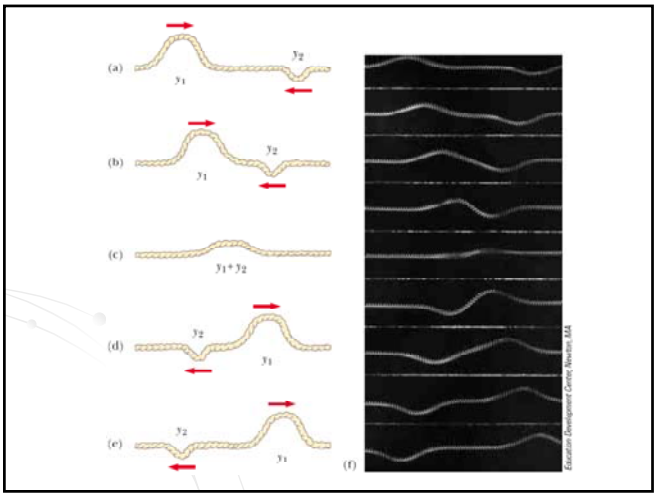
$$I = \frac{P}{4\pi R^2}$$

## 4.2 การแทรกสอดของคลื่นและคลื่นนิ่ง

เมื่อคลื่นตั้งแต่สองคลื่นขึ้นไป เคลื่อนที่ผ่านตัวกลางแอมพลิจูดของคลื่นรวมที่ตำแหน่งใดๆ เป็นผลบวกเชิงพีชคณิตของแอมพลิจูดของคลื่นแต่ละตัว เราเรียกการรวมคลื่นที่ตำแหน่งใดๆ ว่า **การแทรกสอด (interference)**

ตัวอย่างเช่น การแทรกสอดของคลื่นสองขบวนที่มีความถี่ และแอมพลิจูดเท่ากัน เคลื่อนที่ไปในทิศเดียวกัน ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญในการศึกษาคุณสมบัติของคลื่น อาทิ คลื่นแสง คลื่นเสียง และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า




## การแทรกสอดของคลื่นที่มีความถี่เดียวกัน

คลื่นลัพธ์จะมี**ความถี่** และ**ความยาวคลื่น** เช่นเดียวกันกับคลื่นสองขบวนที่มารวมกัน แต่**แอมพลิจูด**ของคลื่นลัพธ์จะขึ้นอยู่กับ ***ความต่างเฟส*** ของคลื่นสองขบวนที่มารวมกัน

$$A' = 2A\cos\left(\frac{\phi_1 - \phi_2}{2}\right)$$

เมื่อ A เป็นแอมพลิจูดของคลื่นที่มาแทรกสอดกัน $\phi_1, \phi_2$ เป็นเฟสของคลื่นขบวนที่ 1 และ 2 ที่มาแทรกสอดกัน

ถ้าคลื่นทั้งสองมีเฟสตรงกัน $\phi_1 = \phi_2$

$$A' = 2A\cos\left(\frac{0}{2}\right) = 2A$$

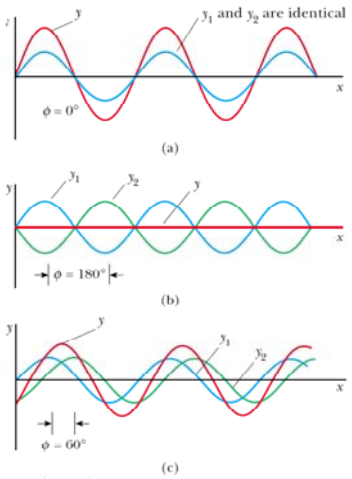
แอมพลิจูด มีค่าสูงสุด เท่ากับแอมพลิจูดรวมของคลื่นทั้งสองแทรกสอด “เสริมสมบูรณ์”

ถ้าคลื่นทั้งสองมีเฟสต่างกัน $\phi_1 - \phi_2 = \pi$

$$A' = 2A\cos\left(\frac{\pi}{2}\right) = 0$$

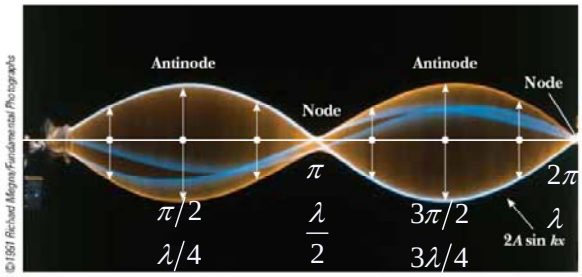
แอมพลิจูด มีค่าต่ำสุด เท่ากับศูนย์ คลื่นทั้งสองแทรกสอด “หักล้างสมบูรณ์”

ถ้าเฟสต่างกันเป็นค่าอื่นๆ แอมพลิจูดของคลื่นรวม จะมีค่าระหว่าง 0 กับ 2A



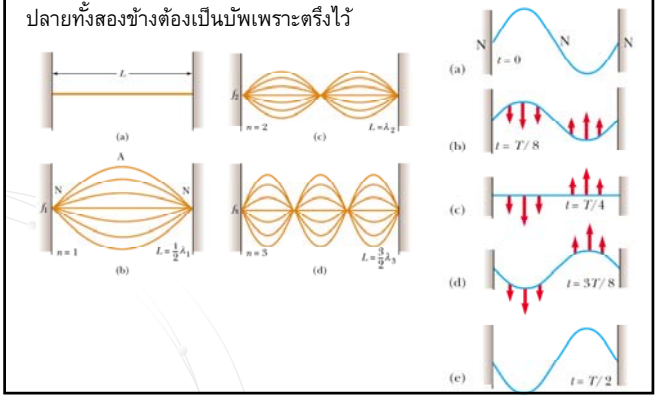
## คลื่นนิ่ง

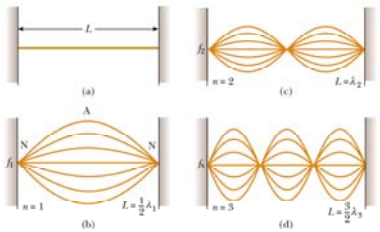
ถ้าคลื่นสองคลื่นมีแอมพลิจูดเท่ากันและความถี่เดียวกัน แต่**เคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้าม** จะมีบางจุดในตัวกลางที่อนุภาคมีแอมพลิจูดสูงสุด และมีบางจุดซึ่งอนุภาคตัวกลางมีการกระจัดต่ำสุด คลื่นรวมที่มีลักษณะดังกล่าวเรียกว่าคลื่นนิ่ง




## คลื่นนิ่งในเส้นเชือกปลายตรึง

ปลายทั้งสองข้างต้องเป็นบัพเพราะตรึงไว้

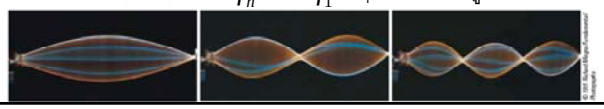




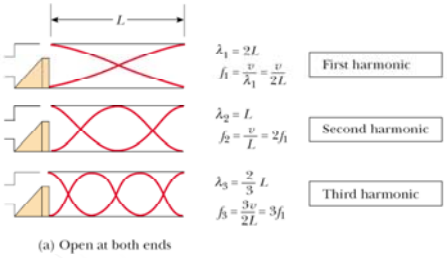
*n* คือ โหมดการสั่น

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \qquad f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}}$$ ความถี่ฮาร์มอนิก

$$f_n = n f_1$$ $f_1$ ความถี่หลักมูล



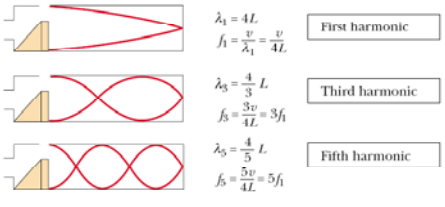
## คลื่นนิ่งในท่ออากาศ




(a) Open at both ends

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \qquad f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{n}{2L}v$$

## คลื่นนิ่งในท่ออากาศ




(b) Closed at one end, open at the other

$$\lambda_n = \frac{4L}{n} \quad n = 1,3,5,\ldots \qquad f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{n}{4L}v$$

สายไวโอลินยาว 33 cm และมวลต่อหน่วยความยาว 5.46 x$10^{-4}$ kg/m จงหาแรงตึงที่ทำให้สายสั่นด้วยความถี่หลักมูล 660 Hz

$$f_1 = \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

$$\begin{aligned} T &= (2Lf_1)^2 \mu \\ &= \left(2\times 33\times 10^{-2}\times 660\right)^2 \times 5.46\times 10^{-4} \\ &= 104 \text{ N} \end{aligned}$$

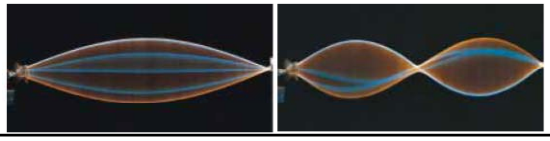
ถ้าแรงตึงในเส้นเชือกเท่ากับ 72 N เชือกยาว 3.8 m มีมวล 0.84 kg จงหา

a) ความถี่หลักมูล

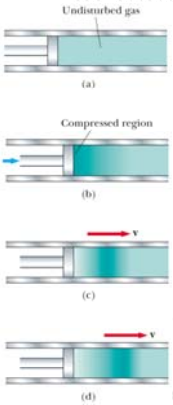
b) ความถี่ที่ทำให้เกิดปฏิบัพ 2 ตำแหน่ง

$$f_1 = \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}} \qquad f_2 = 2f_1$$

$$= 2.4 \text{ Hz} \qquad = 4.8 \text{ Hz}$$



## 4.3 คลื่นเสียงและระดับความเข้มเสียง

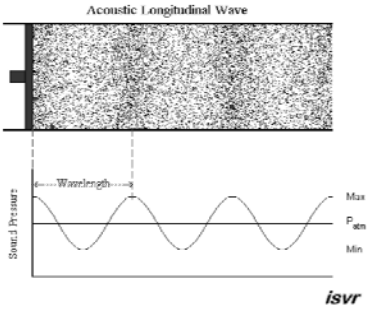



การเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง
"คลื่นตามยาว"

ความเร็วของคลื่นในตัวกลาง ขึ้นอยู่กับ

- ความยืดหยุ่น หรือความสามารถในการอัด
- ความหนาแน่นของตัวกลาง

http://www.surendranath.org/Apps.html




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

## ความเข้มของคลื่นเสียงในตัวกลาง

**กรณีคลื่นเสียงเคลื่อนที่ออกไปทุกทิศทางเป็นทรงกลมในสามมิติ**

$$I_{ave} = \frac{P}{4\pi r^2} \qquad I \propto \frac{1}{r^2}$$

*P* เป็นกำลังของคลื่นจากแหล่งกำเนิด ดังนั้นจะเห็นว่าความเข้มแปรผันกับ $1/r^2$

**เปรียบเทียบความเข้มของคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดเดียวกันที่ระยะต่างกัน**

$$I_1 = \frac{P_{ave}}{4\pi r_1^2} \qquad I_2 = \frac{P_{ave}}{4\pi r_2^2}$$

*P* เป็นกำลังของคลื่นจากแหล่งกำเนิด

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

## การแทรกสอดของคลื่นเสียง

- เมื่อคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิด 2 แหล่งพบกันที่จุดๆ หนึ่ง การกระจัดรวมของคลื่นเสียงทั้ง 2 จะเป็นไปตามหลักการซ้อนทับกันของคลื่น
- ถ้าคลื่นเสียงเป็นคลื่นฮาร์มอนิกที่มีความถี่เท่ากัน คลื่นรวมที่ตำแหน่งใดๆ จะขึ้นอยู่กับความต่างเฟส
- ถ้าคลื่นทั้ง 2 มีเฟสเท่ากันจะเกิดการแทรกสอดแบบเสริมกัน ซึ่งจะได้คลื่นรวมมีแอมปลิจูดสูงสุด
- ถ้าคลื่นทั้ง 2 มีเฟสตรงกันข้ามจะเกิดการแทรกสอดแบบหักล้างกันซึ่งจะได้คลื่นรวมมีแอมปลิจูดเป็นศูนย์
- หลักของการแทรกสอดจะมีประโยชน์ในการออกแบบห้องบันทึกเสียง และการสร้างลำโพง

## ทดลองฟังเสียง

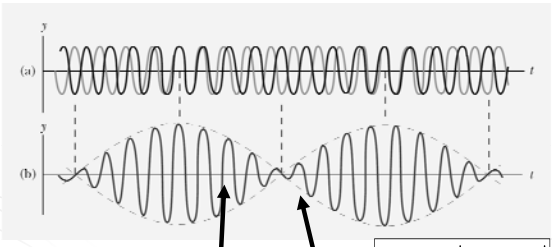
เสียงที่ฟังอยู่นี้ ประกอบด้วยเสียงจากลำโพงทั้งสองข้าง ที่มีความถี่ไม่เท่ากัน เพื่อศึกษาผลของการแทรกสอดของคลื่นที่มีความถี่ต่างกัน

เสียงข้างซ้าย
ความถี่ 500 Hz

เสียงข้างขวา
ความถี่ 500 Hz
สลับกับ 502 Hz

เสียงจากทั้งสองข้างแทบไม่ต่างกันเลย ?
จะอธิบายเสียงที่เกิดขึ้นได้อย่างไร ?
ถ้าเปิดทั้งสองข้างพร้อมๆ กันจะเป็นอย่างไร ?

## บีตส์



$$f_{\text{beat}} = |f_1 - f_2|$$

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

$$f = \left(\frac{f_1 - f_2}{2}\right)$$

## บีตส์

- ผลของการรวมคลื่นที่มีความถี่ต่างกันเล็กน้อยจะได้คลื่นลัพธ์ที่มีความถี่เท่ากับความถี่เฉลี่ย และแอมพลิจูดเปลี่ยนตามเวลา ทำให้ความเข้มของเสียงมีการเปลี่ยนแปลงเป็นจังหวะ
- ความถี่บีตส์ที่มนุษย์ได้ยิน มีค่าประมาณ 20 Hz (beats/s)
- นักดนตรีใช้บีตส์ในการปรับเสียงดนตรี
- ตัวอย่าง ซ่อมเสียงสั่นด้วยความถี่ 502 Hz และอีกอันสั่น 500 Hz คลื่นเสียงรวมจะมีความถี่ 501 Hz และมีเสียงบีตส์ที่ความถี่ 2 Hz ผู้ฟังจึงได้ยินเสียงที่ความถี่ 501 Hz พร้อมกับเสียงดังเป็นจังหวะ 2 ครั้งในหนึ่งวินาที

http://faraday.physics.utoronto.ca/PVB/Harrison/Flash/ClassMechanics/Beats/Beats.html

http://www.fender.com/products/search.php?section=Acoustics
http://www.doisuthep.com/mambots/editors/tinymce/Text/bell.html

## การได้ยิน

- ความสูงต่ำและความถี่ของเสียง
- ความเข้มและความดังของคลื่นเสียง
- คุณภาพและรูปแบบของคลื่นเสียง
- ปรากฏการณ์โดปป์เลอร์

## ความสูงต่ำและความถี่ของเสียง

- ความถี่สูง เสียงแหลม Treble
- ความถี่ต่ำ เสียงทุ้ม Bass
- คนทั่วไปได้ยินความถี่ที่ 20 Hz ถึง 20 kHz

## ความเข้มและความดังของคลื่นเสียง

- คนทั่วไปจะได้ยินเสียงความถี่ 1 kHz ที่ความเข้ม $1\times10^{-12}$ W/m$^2$ (threshold of hearing) จนถึง 1 W/m$^2$ (threshold of pain)
- เมื่อความเข้มเสียงเพิ่มขึ้น ความดังจะเพิ่มขึ้นด้วย แต่ความสัมพันธ์ของปริมาณทั้งสองไม่เป็นเชิงเส้น
- ระดับความเข้มเสียง โดยใช้ logarithmic scale

$$\beta = 10\,\log\left(\frac{I}{I_0}\right)\ \text{dB};\ I_0 = 1.00\times10^{-12}\ \ \text{W/m}^2$$

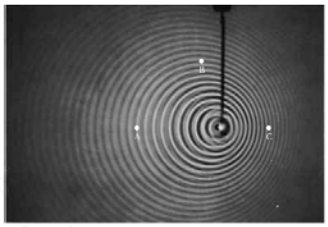
## ความเข้มและความดังของคลื่นเสียง

$$\beta = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \text{ dB};\ I_0 = 1.00\times10^{-12}\ \text{W/m}^2$$

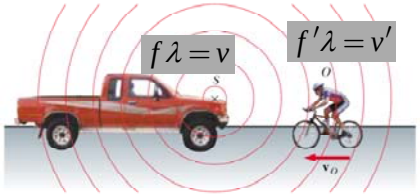
- ดังนั้น threshold of hearing = 0 dB
  threshold of pain = 120 dB
- ระดับ**ความเข้มเสียง** และ **ความถี่** มีผลต่อ **ความรู้สึก**ถึงความดัง
- ที่ 100 Hz เสียงต้องมีระดับความเข้มอย่างน้อย 30 dB จึงจะได้ยิน แต่ที่ 1000 Hz ระดับความเข้มอย่างน้อย 0 dB ก็ได้ยิน

## 4.4 ปรากฏการณ์โดปป์เลอร์

- เมื่อแหล่งกำเนิดคลื่นและผู้สังเกตเคลื่อนที่สัมพัทธ์กัน จะทำให้ผู้สังเกตได้รับคลื่นที่มีความถี่ต่างไปจากคลื่นที่ส่งออกมาจากแหล่งกำเนิด



## ผู้สังเกตเคลื่อนที่




ผู้สังเกตเคลื่อนที่เข้าหาแหล่งกำเนิด

$$v' = v - (-v_O) = v + v_O$$

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

## ผู้สังเกตเคลื่อนที่

ผู้สังเกตเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิด

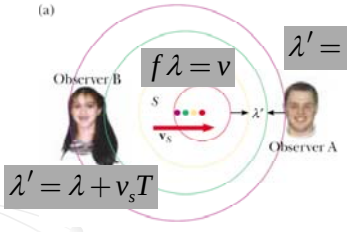
$$v' = v - (+v_O) = v - v_O$$

$$f' = \frac{v'}{\lambda} = \frac{v - v_O}{v} f$$

$$f' = \frac{v \pm v_O}{v} f$$

เคลื่อนที่เข้าหาแหล่งกำเนิด ความถี่จะสูงขึ้น ใช้เครื่องหมาย +
เคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิด ความถี่จะต่ำลง ใช้เครื่องหมาย -

## แหล่งกำเนิดเคลื่อนที่




$$\lambda' = \lambda - v_S T$$

$$\frac{v}{f'} = \frac{v}{f} - \frac{v_S}{f}$$

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

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

เคลื่อนที่เข้าหาผู้สังเกต ความถี่จะสูงขึ้น ใช้เครื่องหมาย -
เคลื่อนที่ออกจากผู้สังเกต ความถี่จะต่ำลง ใช้เครื่องหมาย +

## ปรากฏการณ์โดปป์เลอร์

เคลื่อนที่เข้าหากัน ความถี่เพิ่มขึ้น ความเร็ว $v_O$ และ $v_S$ เทียบกับโลก

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

เคลื่อนที่ออกจากกัน ความถี่ลดลง ความเร็ว $v_O$ และ $v_S$ เทียบกับโลก

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