

# 886204 : Science and Mathematics for Computing

- Wave
- Sound
- Light
- Magnetics
- DC. Circuit
- AC. Circuit

ดังนั้น สมการคลื่น เขียนได้เป็น  $y(x,t) = A\sin(\omega t - kx)$

พิจารณาที่จุดกำหนด  $x=0$  ได้ความสัมพันธ์ว่า

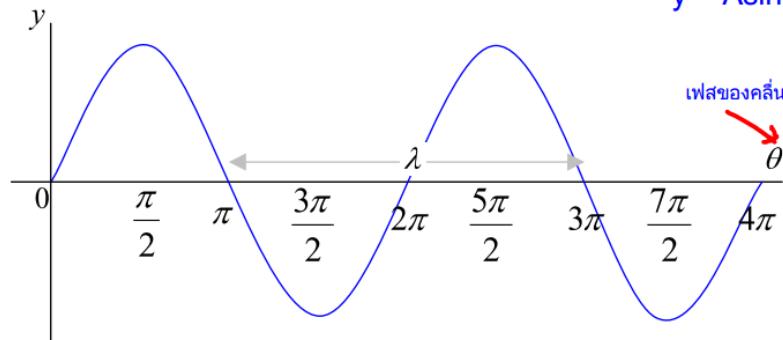
$$y(0,t) = A\sin \omega t = A\sin 2\pi \frac{t}{T}$$

$$T = 0.02 \text{ s}$$

$$t_1 = 0.005 \text{ s} \text{ เฟส} = 90^\circ$$

$$t_2 = 0.0025 \text{ s} \text{ เฟส} = 45^\circ$$

$$y = A\sin 45 = 0.707^*A$$



By Nivorn Srikoon

Elect\_buu@hotmail.com

# ประเภทของคลื่น

## คลื่นแบ่งออกได้เป็นสองประเภท

- คลื่นในเส้นเชือก
  - คลื่นในสปริง
  - คลื่นน้ำ
  - สีนา米
  - คลื่นแผ่นดินไหว
  - คลื่นเสียง
  - คลื่นแสง
  - คลื่นวิทยุ
  - คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
- คลื่นที่อาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่มากเรียกว่า “คลื่นกล”
- คลื่นที่ไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่

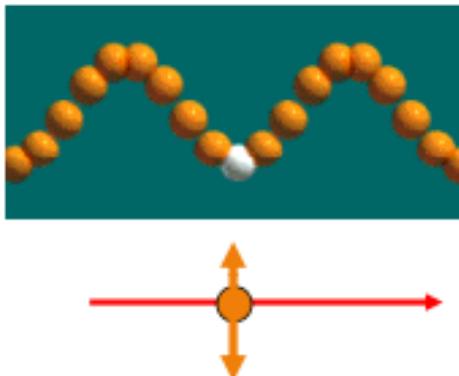


# คลื่นกล (Mechanical Wave)

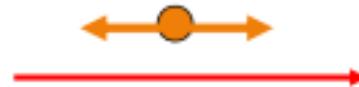
- กำเนิดจากการสั่นของอนุภาค
- สามารถเคลื่อนที่โดยถ่ายทอดพลังงานกลจากอนุภาคหนึ่งไปยังอนุภาคที่อยู่ติดกัน
- คลื่นตามยาว
- คลื่นตามขวาง

คลื่นกลยังแบ่งออกได้อีกสองประเภท ตามทิศการสั่นของอนุภาคตัวกลาง

**คลื่นตามขวาง (transverse wave)**  
เป็นคลื่นที่การสั่นของตัวกลางมีทิศทางตั้งฉาก (ขวาง) กับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น เช่น คลื่นในเส้นเชือก คลื่นน้ำ



**คลื่นตามยาว (longitudinal wave)**  
เป็นคลื่นที่การสั่นของตัวกลางอยู่ในแนวเดียวกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น เช่น คลื่นเสียง คลื่นของการยืด (หด) ในสปริง



# สมการการสั่นของอนุภาค

แบบที่ 1 สมการการเคลื่อนที่แบบที่ 1 ณ จุดเริ่มต้น ( $t=0$ ),  $X = 0$  จะได้

$$1) \quad x = \pm A \sin \omega t$$

$$2) \quad v = \pm \omega A \cos \omega t$$

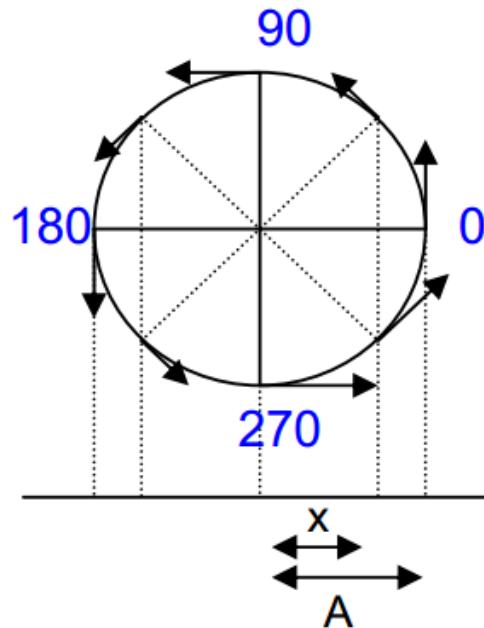
ณ จุดใดๆ  $v = \pm \omega \sqrt{A^2 - x^2}$

$$v_{MAX} = \pm \omega A$$

$$3) \quad a = \pm \omega^2 A \sin \omega t$$

$$a = \pm \omega^2 x$$

$$a = \pm \omega^2 A$$



$v$  = อัตราเร็วของเงาของ อนุภาคถ้ามีทิศ ตาม ระบบกราฟ

$a$  = อัตราเร่งของเงาของอนุภาค จะมีทิศเข้าสู่สมดุลเสมอหรือมีทิศตรงข้ามกับการกระจัดเสมอ

# ตัวอย่าง โจทย์ การสั่น (1)

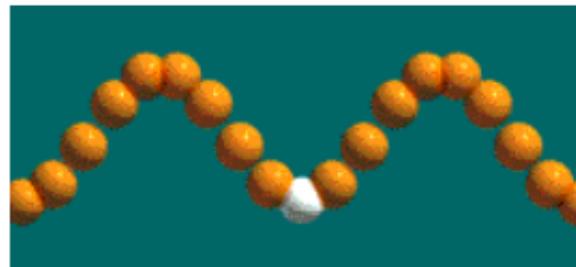
3. วัตถุมวล 0.4 kg ถูกทำให้เคลื่อนที่แบบ ซิมเพลาร์โนนิก ซึ่งสามารถจัดเป็นสมการของการกระจัด x ได้ดังนี้  $x = 30 \cos\left(0.63t - \frac{\pi}{2}\right)$  cm. จงหาระยะการกระจัดสูงสุด
1. 63 cm.      2. 40 cm.      3. 30 cm.      4. 25 cm.
4. จากโจทย์ข้อ 3. จงหาอัตราเร็วเชิงมุมในการเคลื่อนที่
1. 0.63 rad/s      2. 0.04 rad/s      3. 0.03 rad/s      4. 0.025 rad/s
6. วัตถุ A มวล 200 กรัม ผูกเชือกแล้วแกะง่วงวัตถุให้เคลื่อนที่แบบ ซิมเพลาร์โนนิกพบว่าวัตถุแกะง่วง 6 รอบ ในเวลา 12 วินาที อยากทราบว่า เมื่อเวลาผ่านไป 3.0 วินาที นับจากจุดเริ่มต้นแล้วข้อใดสรุปได้ถูกต้อง
1. วัตถุ A จะมีอัตราเร็วสูงสุด      2. วัตถุ A จะมีอัตราเร่งสูงสุด  
3. วัตถุ A จะมีการกระจัดสูงสุด      4. วัตถุ A จะมีอัตราเร็วเป็นศูนย์
7. อนุภาคฯ หนึ่ง เคลื่อนที่แบบการสั่น (S.H.M) ซึ่งเป็นไปตามสมการ  $y = 16 \cos 20t$  ซม. จงหา ค่า ของการแกะง่วง
1. 0.63 วินาที      2. 0.45 วินาที      3. 0.31 วินาที      4. 0.17 วินาที

# ตัวอย่าง โจทย์ การสั่น (2)

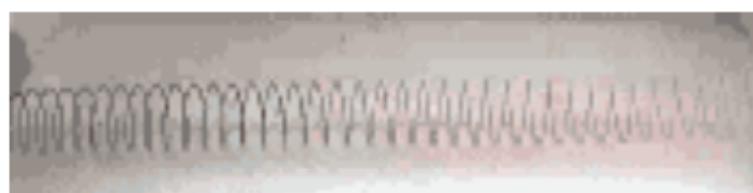
11. วัตถุก้อนหนึ่งมีการเคลื่อนที่แบบสั่น ( S.H.M ) ด้วยอัตราเร็วสูงสุด  $3.2 \text{ m/s}$  และมีอัตราเร่งสูงสุดเป็น  $4\pi \text{ m/s}^2$  จงหาคาบของการสั่น
1.  $3.5 \text{ วินาที}$       2.  $2.7 \text{ วินาที}$       3.  $2.2 \text{ วินาที}$       4.  $1.6 \text{ วินาที}$
12. จากโจทย์ข้อ 11 จงหา การกระจัดสูงสุด ( Amplitude )
1.  $1.00 \text{ m}$       2.  $0.81 \text{ m}$       3.  $0.75 \text{ m}$       4.  $050 \text{ m}$
13. วัตถุมวล 500 กรัม มีการเคลื่อนที่แบบสั่น ( S.H.M ) ด้วยความถี่  $4 \text{ Hz}$  และการกระจัดสูงสุด ( Amplitude ) เท่ากับ  $12 \text{ mm}$  จงหาค่าขนาดแรงคืนตัวสูงสุด ( Restoring Force )
1.  $5.24 \text{ N}$       2.  $4.52 \text{ N}$       3.  $3.79 \text{ N}$       4.  $2.56 \text{ N}$
14. วัตถุมวล 250 กรัม มีการเคลื่อนที่แบบสั่น ( S.H.M ) ด้วย คาบ 2 วินาที และ การกระจัดสูงสุดเป็น 20 มิลลิเมตร จงหาขนาดความเร่งสูงสุดของวัตถุนี้
1.  $20.0 \text{ cm/s}^2$       2.  $19.7 \text{ cm/s}^2$       3.  $17.8 \text{ cm/s}^2$       4.  $15.2 \text{ cm/s}^2$

# ลักษณะคลื่น

Sinusoidal x ทิศทางการเคลื่อนที่



เฟส = มุมคลื่น  $\nabla$  = ความเร็วคลื่น = ความเร็วเฟส



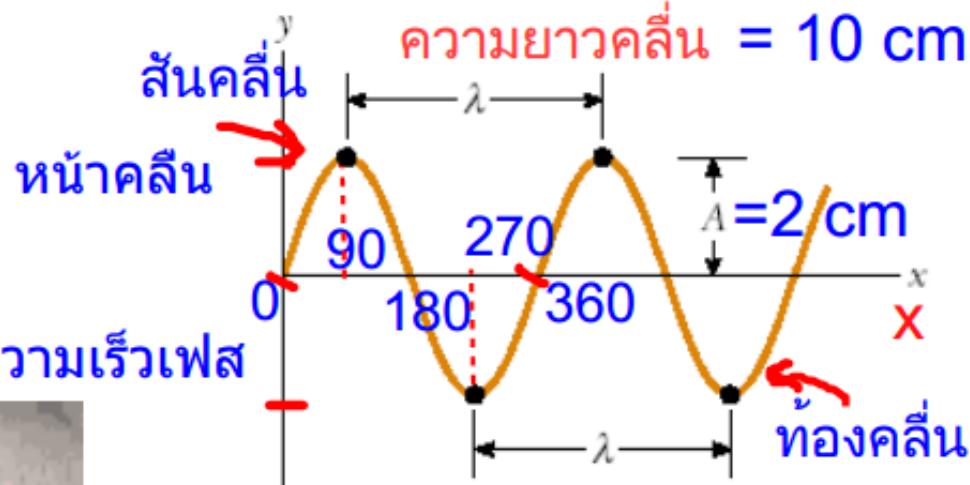
$$f = 50 \text{ Hz} \rightarrow T = 1/50 = 0.02 \text{ s}$$

ทุก ๆ คลื่น จะมีปริมาณพื้นฐาน

เหมือนกัน และสามารถเขียน  $T = 1/f$

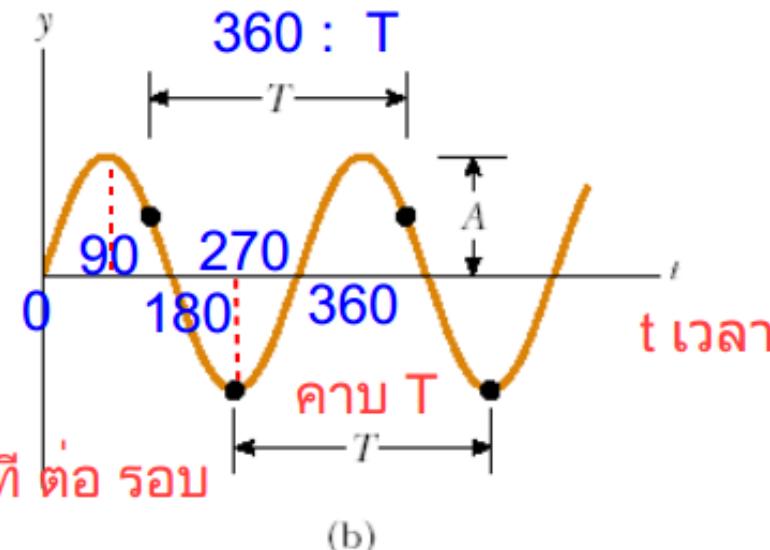
เป็นกราฟได้คล้ายคลึงกัน  $f = 1/T$

ความถี่ = รอบต่อวินาที  $f$ , ค่าบเวลา = วินาที ต่อ รอบ  $T$

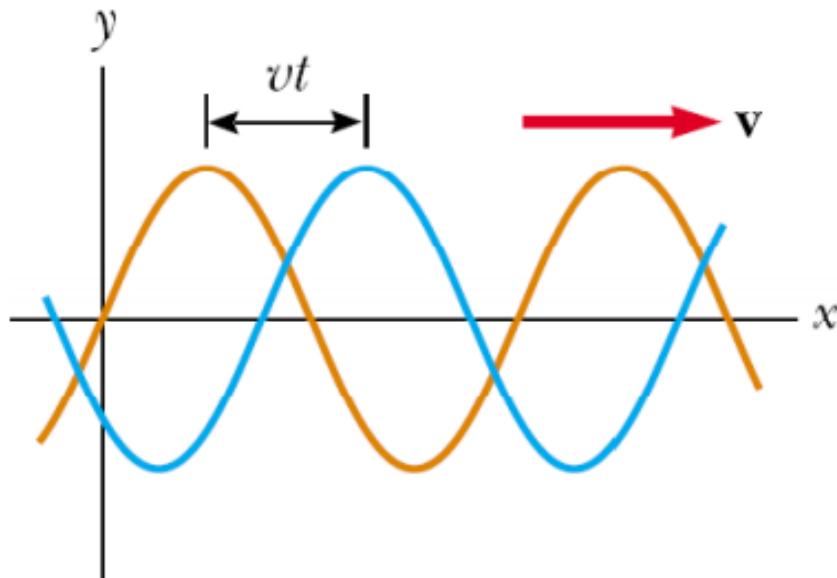


เฟสต่าง (a) เวลาเปลี่ยนไป

$$360 : T$$



# ความเร็วเพสของคลื่น



เรารู้ว่าเวลาที่คลื่นใช้ในการเคลื่อนที่ในหนึ่งรอบคือ  $T$  ดังนั้นในหนึ่งcab คลื่นที่มีอัตราเร็ว  $v$  จะเคลื่อนที่ไปได้ระยะ

$$\frac{S}{t} = V = \frac{\lambda}{T} = f\lambda$$

$$S = vT$$

$$\lambda = vT$$

Frame rate = 15 fps

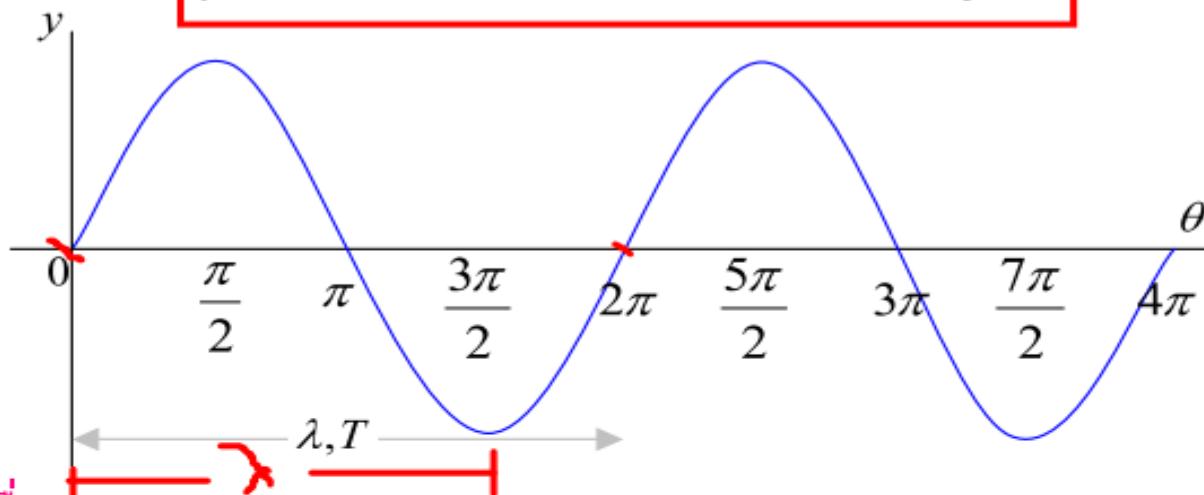
Keep for 3 frame

Distance S = 0.3x6 m

$$\text{velocity } V = S/t = 1.8/0.2 \text{ m/s} \\ = 9 \text{ m/s}$$

# สมการคลื่น (1)

$$y = A \sin \theta = A \sin \omega t = A \sin 2\pi f t$$



⇨ เพสของคลื่น

มุ่ม  $\theta$  สามารถเขียนในรูปการกราฟ  $x$  ได้คือ  $\theta \propto x$

สามารถเขียนได้ว่า  $\theta = kx$

เมื่อ

$$\theta = 2\pi \text{ radian} ; x = \lambda$$

ดังนั้น

$$2\pi = k\lambda ; k = \frac{2\pi}{\lambda} = \text{เลขคลื่น (Wave No.)}$$

คลื่นไชน์เขียนได้ว่า

$$y = A \sin \theta = A \sin \frac{2\pi x}{\lambda}$$

## สมการคลื่น (2)

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ไปทางขวามีอ ให้อนุภาคทางขวา มีเฟสน้อยกว่า  
ด้วยเฟสขนาดมุม  $\phi$  เราจะเขียนสมการคลื่นเคลื่อนที่ไปทางขวาดังนี้

$$y = A \sin(\omega t - \phi) \quad \omega = \frac{2\pi}{T}$$

สามารถเขียนในรูปของการกระจัด  $x$  ได้

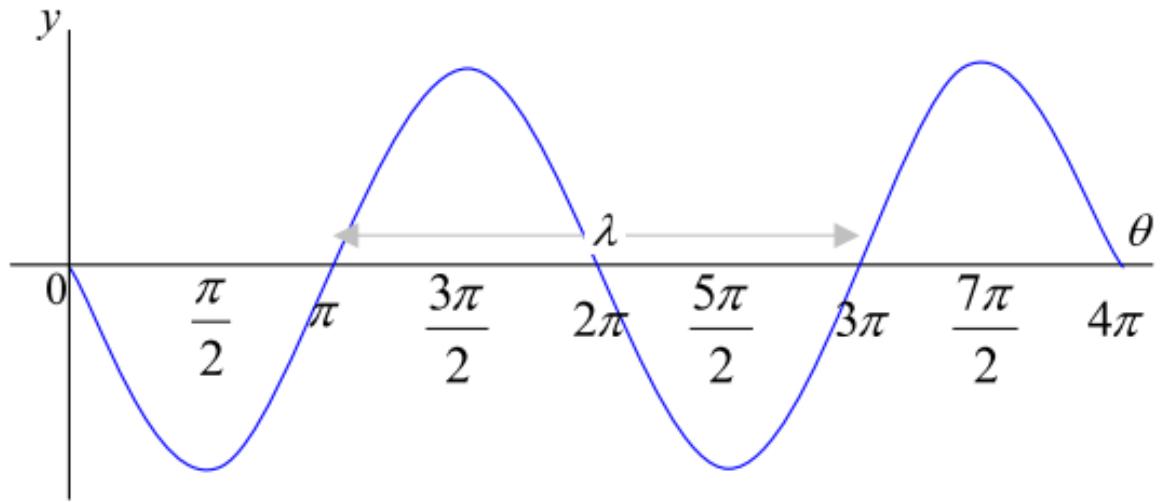
$$y = A \sin(\omega t - kx)$$

ความถี่เชิงมุม

angular frequency

## สมการคลื่น (3)

$$y(x,0) = A \sin(-kx) = -A \sin(kx) = -A \sin 2\pi \frac{x}{\lambda}$$



$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

ดังนั้น โดยภาพรวม สามารถเขียนสมการคลื่นไซน์ในรูปสมการคลื่นทั่วไป

$$y(x,t) = A \sin(\omega t \pm kx)$$

$$y(x,t) = A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} \pm \frac{x}{\lambda} \right)$$

$$\frac{\omega}{k} = \frac{\lambda}{T} = \nu$$

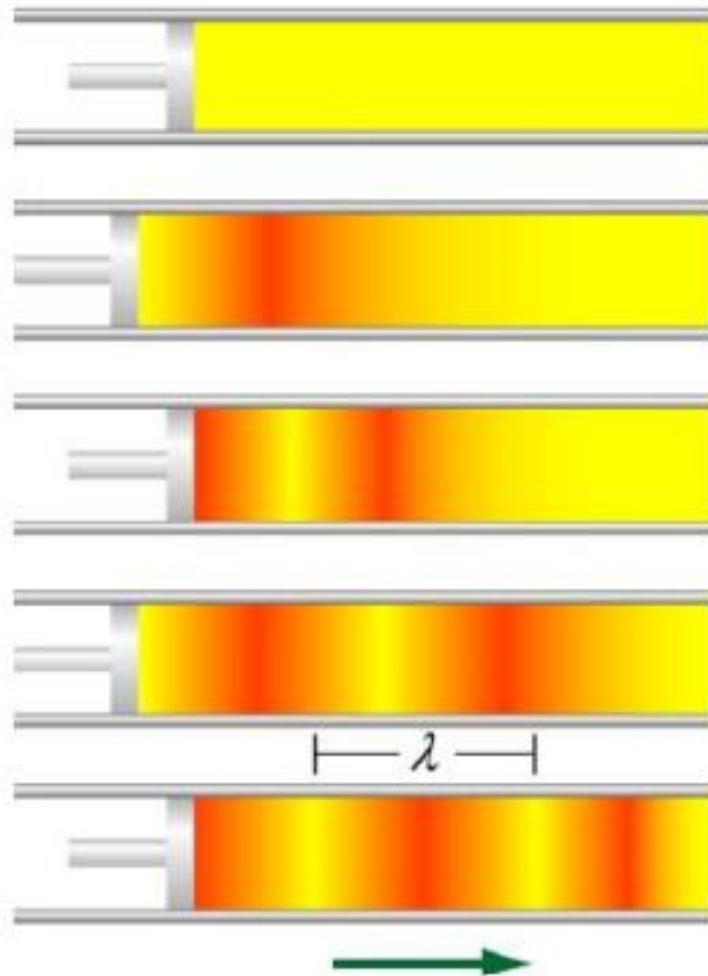
## ตัวอย่างโจทย์ การเคลื่อนที่ของคลื่น (1)

3. คลื่นน้ำกระistenหนึ่ง สามารถเคลื่อนที่ได้ระยะทาง 40 เมตร ในเวลา 5 วินาที คลื่นนี้จะมีความเร็วคลื่นเท่าใด ( $8 \text{ m/s}$ )
4. จากข้อที่ผ่านมา หากคลื่นนี้มีความยาวคลื่น 2 เมตร จะมีความถี่เท่าใด ( $4 \text{ Hz}$ )
5. จากข้อที่ผ่านมา จงหาเวลาที่คลื่นใช้ในการเคลื่อนที่ได้ 1 ถูกคลื่น พอดี ( $0.25 \text{ วินาที}$ )
6. แหล่งกำเนิดคลื่นปล่อยคลื่นมีความยาวคลื่น  $0.05 \text{ เมตร}$  วัดอัตราเร็วได้  $40 \text{ เมตร/วินาที}$  เป็นเวลา  $0.8 \text{ วินาที}$  ได้คลื่นทั้งหมดกี่ถูกคลื่น

## ตัวอย่างโจทย์ การเคลื่อนที่ของคลื่น (2)

14. คลื่นขวนหนึ่งมีความถี่ 150 เอิร์ตซ์ มีความเร็ว 300 เมตร/วินาที จุดสองจุดบนคลื่นที่มีเฟสต่างกัน 90 องศา จะอยู่ห่างกันกี่เมตร (0.5)
15. คลื่นขวนหนึ่งเคลื่อนที่ได้ระยะทาง 20 เมตร ในเวลา 4 วินาที ถ้าพบว่าจุด 2 จุดบนคลื่นที่ห่างกัน 0.2 เมตร มีเฟสต่างกัน  $120^\circ$  จงหาค่าความถี่ของคลื่นนี้ (8.33 Hz)
17. ถ้า S เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นซึ่งมีความถี่ 100 Hz จุด P และ Q อยู่ห่างจาก S เป็นระยะ 15 เมตร และ 18 เมตร ตามลำดับ ถ้าคลื่นที่มาถึงจุด P และ Q มีเฟสต่างกัน  $\frac{3\pi}{2}$  เรเดียน จงหาอัตราเร็วของคลื่น ในหน่วยเมตร/วินาที ก. 400 ข. 500 ค. 600 ง. 700

# การเกิดเสียง



ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น

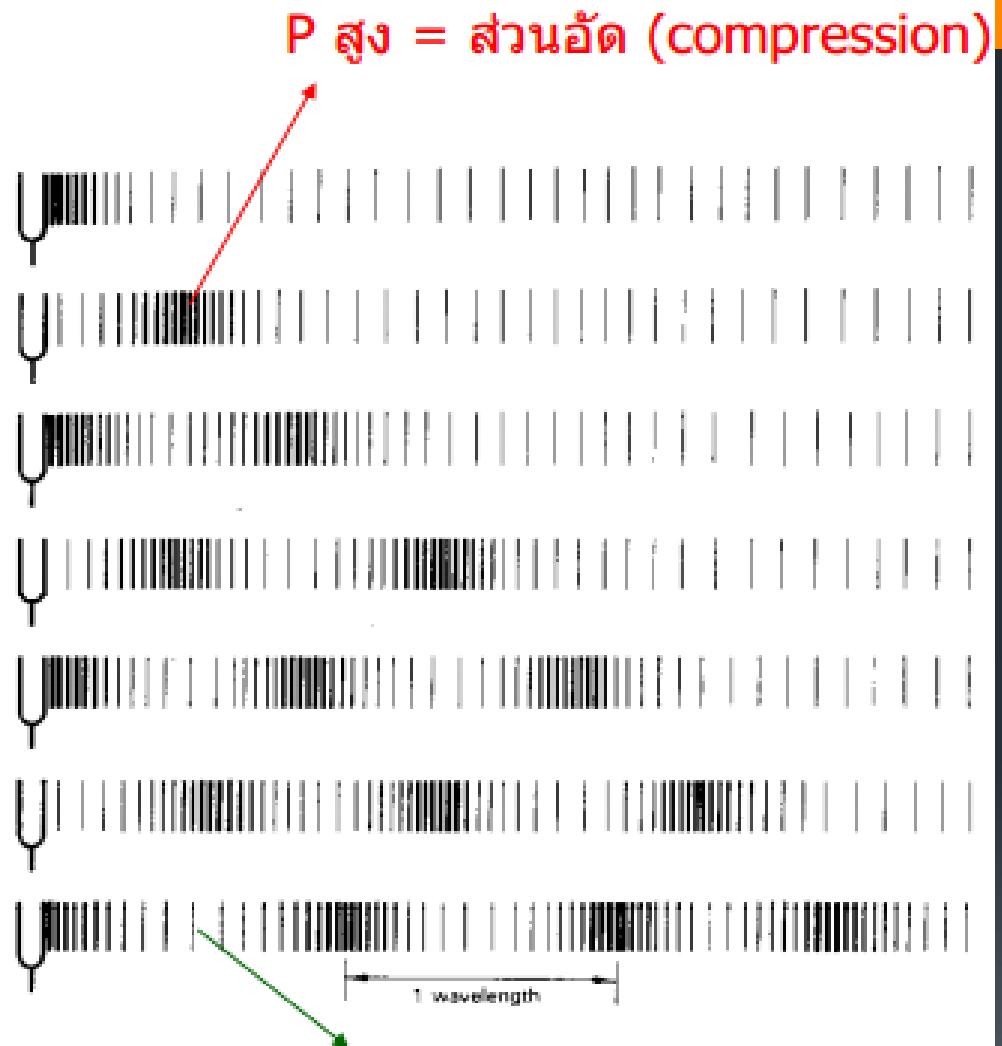
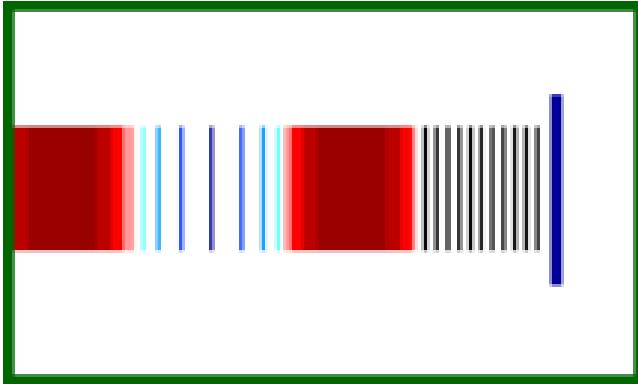
## เสียงเป็นคลื่นตามยาว

เสียงเกิดจากการสั่นของวัตถุ และการที่เสียงเดินทางไปในอากาศได้ ก็ เพราะวัตถุที่สั่นไปชนกับโมเลกุลของอากาศแล้วโมเลกุลของอากาศนั้นไปชนกับโมเลกุลของอากาศที่อยู่ติดกัน ชนไปเรื่อยๆ จนถึงผู้ฟัง

บริเวณที่อากาศหนาแน่นถูกเรียกว่าส่วนอัด (**compression**) ส่วนบริเวณที่อากาศเจือจางเรียกว่าส่วนขยาย (**rarefaction**)

# คลื่นเสียง

เราสามารถมองว่า การสั่นของวัตถุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในความดันของอากาศ ทำให้ไม่เลกุลอากาศบางส่วนชิดกัน ( $P$  สูง) และบางส่วนห่างกันมากกว่าปกติ ( $P$  ต่ำ) ซึ่งจะส่งต่อ กันไปในลักษณะของ "คลื่นความดัน" หรือ "คลื่นเสียง"



$P$  ต่ำ = ส่วนขยาย (rarefaction)

# ความเร็วเสียง

## อัตราเร็วของเสียงขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกลาง

ยิ่งอนุภาคของตัวกลางมีความใกล้ชิด และยืดหยุ่นดีเท่าไร อัตราเร็วเสียงจะมีค่ามากตามไปด้วย

นั่นคืออัตราเร็วของเสียง  
ของแข็ง > ของเหลว > ก๊าซ

เพราการถ่ายเทการรบกวนเกิดขึ้นได้ง่าย  
เสียงก้อง = Echo

ตารางที่ 9.1 อัตราเร็วเสียงในตัวกลางชนิดต่าง ๆ (m/s)

อากาศ ( $0^{\circ}\text{C}$ )	331
อากาศ ( $20^{\circ}\text{C}$ )	343
ก๊าซไฮโดรเจน ( $20^{\circ}\text{C}$ )	1286
ก๊าซออกซิเจน ( $20^{\circ}\text{C}$ )	317
น้ำ ( $25^{\circ}\text{C}$ )	1493
น้ำทะเล ( $25^{\circ}\text{C}$ )	1533
เหล็ก ( $25^{\circ}\text{C}$ )	5130
อลูมิเนียม ( $25^{\circ}\text{C}$ )	5100
ทองแดง ( $25^{\circ}\text{C}$ )	3500
ยาง ( $25^{\circ}\text{C}$ )	54
แก้ว ( $25^{\circ}\text{C}$ )	4550

# อัตราเร็วเสียงในอากาศ

อัตราเร็วของเสียงที่ใช้บ่อยคืออัตราเร็วเสียงในอากาศ  $V = 343 \text{ m/s}$  ที่  $20^\circ\text{C}$

จะสังเกตได้ว่าต้องมีการระบุอุณหภูมิด้วย

อัตราเร็วของเสียงในอากาศจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น???

เพิ่มขึ้น เพราะอุณหภูมิสูง โมเลกุลอากาศมีความสามารถในการเคลื่อนที่สูงกว่าที่อุณหภูมิต่ำ

ความสัมพันธ์สามารถอธิบายได้โดยประมาณว่า

$$V = 331 + 0.6T(\text{ }^\circ\text{C})$$

อัตราเร็วเสียง จะแปรผันตรงกับรากที่ 2 ของอุณหภูมิเคลวิน เพราะอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้โมเลกุล มีพลังงานจำนวนมากขึ้น การอัดตัวและขยายตัวเร็ว ทำให้เสียงเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น

จึงได้ว่า

$$V \propto \sqrt{T}$$

# ตัวอย่างโจทย์ อัตราเร็วเสียง

4. ณ อุณหภูมิ  $35^{\circ}\text{C}$  อัตราเร็วเสียงในอากาศจะมากกว่า ณ อุณหภูมิ  $30^{\circ}\text{C}$  อยู่กี่เมตรต่อวินาที

ก. 3

ข. 6

ค. 12

ง. 34

(ข้อ ก)

วิธีทำ

5. แหล่งกำเนิดเสียงอันหนึ่งสั่นด้วยความถี่  $692\text{ Hz}$  วางไว้ในอากาศที่อุณหภูมิ  $25^{\circ}\text{C}$

อยากรابว่าคลื่นเสียงที่ออกจากแหล่งกำเนิดนี้จะมีความยาวคลื่นเท่าไร **(0.5 ม)**

วิธีทำ

7. ชายคนหนึ่งกำลังว่ายน้ำ เห็นเรือบรรทุกกำลังจะจม และเห็นแสงไฟจากการระเบิดของเรือ

1 ครั้ง แต่ปรากฏว่าได้ยินเสียงระเบิดตามมา 2 ครั้ง ในเวลาห่างกัน 2.4 วินาที ถ้าขณะ

นั้นอัตราเร็วเสียงในอากาศ  $340\text{ เมตร/วินาที}$  และอัตราเร็วเสียงในน้ำ  $1496\text{ เมตร/วินาที}$

อยากรับว่าตำแหน่งที่เรือจมอยู่ห่างจากชายคนนั้นเท่าใด **(1056 เมตร)**

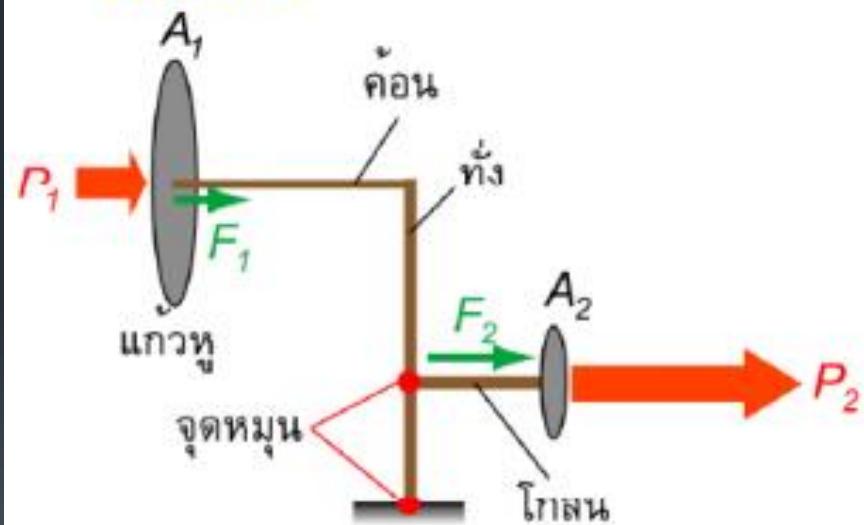
วิธีทำ

# การได้ยินเสียงของมนุษย์

## กระดูกทั้งสามทำงานกันอย่างเป็นระบบในลักษณะของคาน

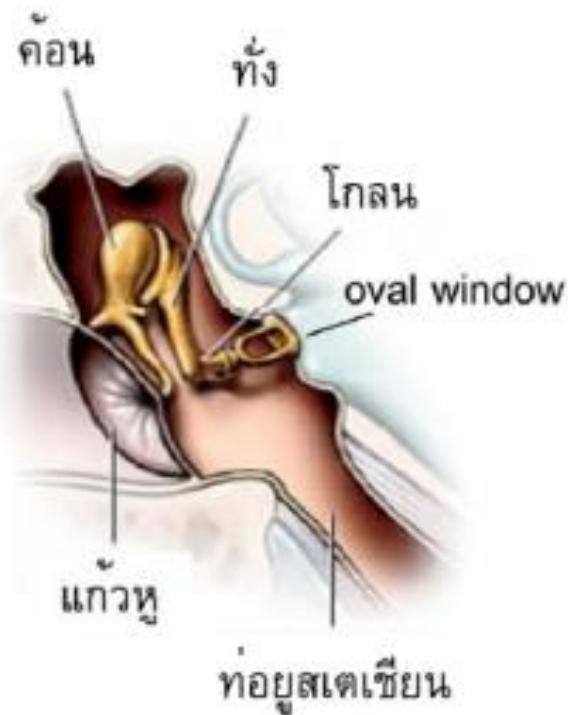
การเพิ่มความดันในหูชั้นกลางเช่นนี้ช่วยให้มนุษย์ความสามารถได้ยินเสียงเบาๆ ได้

Diaframe



$$\begin{aligned}F_2 &> F_1 \\A_2 &< A_1 \\P_2 &> P_1\end{aligned}$$

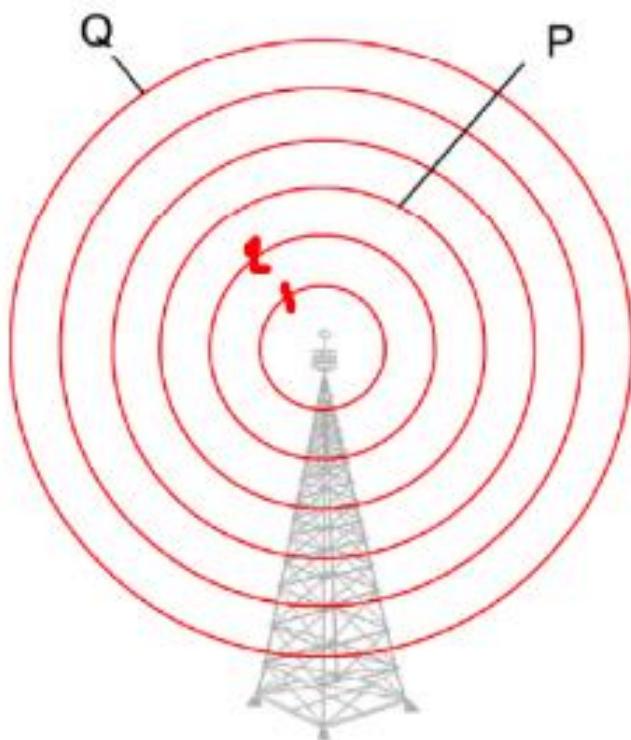
รูปที่ 9-4 หูชั้นกลางมีการทำงานในลักษณะของคาน



## ความเข้มเสียง

“ความเข้ม” (intensity, I) คือ พลังงานต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ต่อหนึ่งหน่วยเวลา หรือกำลังต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่

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



ความเข้มเสียง (Sound Intensity, I) คือ กำลังเสียงต่อหน่วยพื้นที่ที่รับเสียง มีหน่วยเป็น  $\text{W/m}^2$

ในการนิของแหล่งกำเนิดเสียงที่เป็นจุด

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

## ระดับความเข้มเสียง

ความเข้มเสียงที่มนุษย์สามารถได้ยิน (และไม่เจ็บปวด)

อยู่ระหว่าง  $10^{-12}$  ถึง  $1 \text{ W/m}^2$

สังเกตว่าเป็นช่วงที่กว้างมาก ๆ (กว้างถึง 12 order of magnitude)

การใช้ความเข้มเสียงเพื่อบ่งบอกระดับความดังของเสียงจึงไม่สะดวกนัก

นิยาม “ระดับความเข้มเสียง” (intensity level of sound หรือ sound level)

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

มีหน่วยเป็นเดซิเบล (decibel) ใช้ตัวย่อ dB

โดย  $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$  คือความเข้มเสียงต่ำที่สุดที่มนุษย์สามารถได้ยิน

# ระดับความเข้มเสียงบริเวณต่างๆ

ระดับความเข้มเสียง (dB)	ความเข้มเสียง ( $\text{W/m}^2$ )		ระดับความเข้มเสียง (dB)	ความเข้มเสียง ( $\text{W/m}^2$ )	
0	$10^{-12}$	เงียบabsolutely silent	70	$10^{-5}$	ห้องทำงานที่มีเสียงดัง ในห้องเรียน
10	$10^{-11}$	ใบไม้ไหว	80	$10^{-4}$	วิทยุเสียงดัง การจราจรขณะเดรตติด
20	$10^{-10}$	เสียงกระซิบในระยะ 1 m	90	$10^{-3}$	ภายในรถไฟใต้ดิน
30	$10^{-9}$	บ้านที่เงียบ	100	$10^{-2}$	เสียงยิงปืน เสียงรถหวอ
40	$10^{-8}$	ถนนริมน้ำ	110	$10^{-1}$	อันตรายต่อหูถ้ารับฟังต่อเป็นเวลานาน
50	$10^{-7}$	ที่ทำงานปกติ	120	$10^0$	เริ่มจะเปลี่ยนจากได้ยินเป็นเจ็บ
60	$10^{-6}$	การสนทนาทั่วไป	140	$10^2$	เครื่องบันเจท

# Logarithmic

3. Logarithmic properties  $A, B \in \mathbb{R}^+$  and  $a, b, c > 0$ ,  $a, b, c \neq 1$ ,  $n \in \mathbb{R}$ ,  $n \neq 0$  and  $x > 0$

$$1) y = \log_a x \Leftrightarrow x = a^y \quad 2)$$

$$3) \log_a \frac{A}{B} = \log_a A - \log_a B$$

$$5) \log_a \frac{1}{A} = -\log_a A$$

$$7) \log_a A^n = n \log_a A$$

$$9) a^{\log_a x} = x$$

$$11) \log_{a^n} A = \frac{1}{n} \log_a A$$

$$13) \log_{a^n} A^n = \log_a A$$

$$15) \log_a B \cdot \log_B x = \log_a x$$

$$17) \log_a x^{-1} = -\log_a x$$

$$2) \log_a AB = \log_a A + \log_a B$$

$$4) \log_a 1 = 0$$

$$6) \log_a a = 1$$

$$8) \log_a a^n = n$$

$$10) \log_a x = \frac{\log_b x}{\log_b a}$$

$$12) \log_{\frac{1}{a}} A = -\log_a A$$

$$14) \log_a B = \frac{1}{\log_B a}$$

$$16) a^{\log_c b} = b^{\log_c a}$$

$$18) \log_{a^n} A^m = \frac{m}{n} \log_a A$$

# ທບກວນ Logarithmic (1)

$$1) \log_5 125 = x \quad \text{or} \quad 125 = 5^x$$

$$\log_5 5^3 = x \quad 5^3 = 5^x$$

$$3 \log_5 5 = x \quad \text{therefore, } 3 = x$$

$$3(1) = x$$

$$3 = x$$

$$3) \log_{\sqrt{3}} 27 = \log_{\frac{1}{3^2}} 3^3$$

$$= \frac{3}{1} \log_3 3 = 3 \times 2 = 6$$

$$2) \log_x 625 = 4 \quad \text{ຈາກ} \quad \log_a x = y \leftrightarrow x = a^y$$

$$\text{then,} \quad 625 = x^4$$

$$\pm \sqrt[4]{625} = x$$

$$\pm 5 = x$$

$$5 = x \quad (x > 0)$$

$$4) \log_2 x = \frac{-3}{2}$$

$$\text{then,} \quad x = 2^{-\frac{3}{2}}$$

# ทบทวน Logarithmic (2)

## ลอการิทึมสามัญ

ลอการิทึมสามัญ หมายถึง ลอการิทึมที่มีฐานสิบ

$$\text{ถ้า } \log N = n + \log N_0$$

โดยที่  $n$  เป็นจำนวนเต็ม ,  $N$  เป็นจำนวนจริงบวกใด ๆ และ  $1 \leq N_0 < 10$  แล้ว

เรียก  $n$  ว่า แคแรกทอริสติก (characteristic)

เรียก  $\log N_0$  ว่า แมนทิสซา (mantissa) สามารถหาค่าได้จากตารางลอการิทึมสามัญ

$$\log \sqrt{28} + \log \sqrt{325} - \log \sqrt{91} = \dots$$

## ตัวอย่างโจทย์ ความเข้มเสียง

26(มช 39) สมมติบุงตัวหนึ่งๆ โดยเฉลี่ยแล้วเวลาบินทำให้เกิดเสียงหึ่งๆ ที่มีกำลัง  $3.14 \times 10^{-14}$  วัตต์ ขณะที่บุนจากระยะไกลเข้าหาเด็กคนหนึ่ง เด็กคนนี้จะเริ่มได้ยินเสียงบุน เมื่อยุงอยู่ที่ระยะห่างจากเขากี่เซนติเมตร ถ้าเสียงเบาที่สุดที่เขาสามารถได้ยินมีความเข้ม  $10^{-12} \text{ W/m}^2$

1. 5                    2. 10                    3. 25                    4. 40                    (ข้อ 1)

### วิธีทำ

27(En 44/1) ในการทดลองเรื่องความเข้มของเสียงวัดความเข้มของเสียงที่ต้านหนั่งที่อยู่ห่างไป 10 เมตร จากลำโพงได้  $1.2 \times 10^{-2}$  วัตต์ต่อตารางเมตร ความเข้มเสียงที่ต้านหนั่ง 30 เมตร จากลำโพงจะเป็นเท่าใด

1.  $1.1 \times 10^{-2} \text{ W/m}^2$                     2.  $0.6 \times 10^{-2} \text{ W/m}^2$   
3.  $0.4 \times 10^{-2} \text{ W/m}^2$                     4.  $0.13 \times 10^{-2} \text{ W/m}^2$                     (ข้อ 4)

### วิธีทำ

# ตัวอย่างโจทย์ ระดับความเข้มเสียง



30. จงหาระดับความเข้มเสียง เสียงเมื่อผู้ฟังอยู่ห่างจากวิทยุ 1 เมตร เมื่อกำลังเสียงของวิทยุเท่ากับ  $4\pi \times 10^{-3}$  วัตต์ ( 90 dB )

วิธีทำ

32. ณ จุดหนึ่ง เสียงจากเครื่องจักรมีระดับความเข้มเสียงวัดได้ 50 เดซิเบล จงหาความเข้มเสียง จากเครื่องจักร ณ จุดนั้น กำหนดให้ความเข้มเสียงที่เริ่มได้ยินเป็น  $10^{-12} \text{ W/m}^2$  ( ข้อ 2 )

1.  $10^{-5} \text{ W/m}^2$
2.  $10^{-7} \text{ W/m}^2$
3.  $10^{-9} \text{ W/m}^2$
4.  $10^{-17} \text{ W/m}^2$

วิธีทำ

## สมบัติของคลื่น

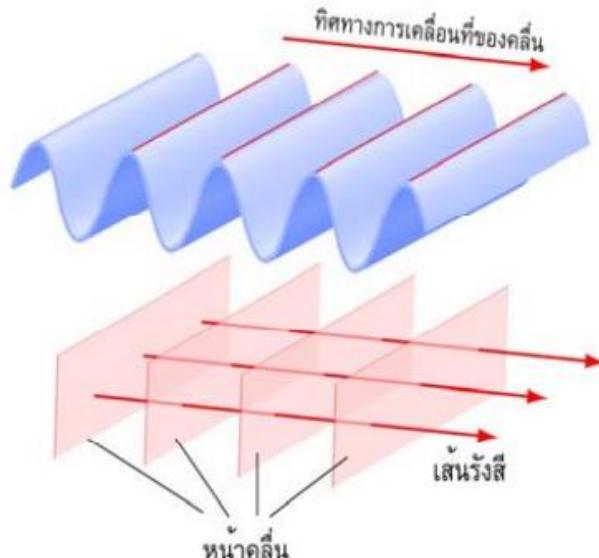
คลื่นจะมีคุณสมบัติ 4 ประการ คือ

1. การสะท้อน (Reflection)
2. การหักเห (Refraction)
3. การแทรกสอด (Interference)
4. การเลี้ยวเบน (Diffraction)

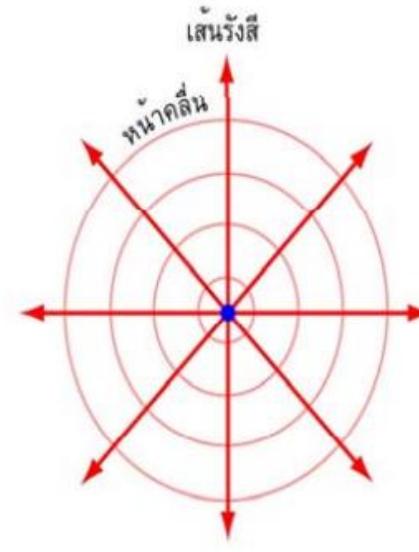
การสะท้อน และการหักเห ทั้งคลื่นและอนุภาคนั้นก็แสดงคุณสมบัติสองข้อนี้ได้ แต่การแทรกสอดและการเลี้ยวเบน จะเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของคลื่น เพราะคลื่นท่านั้นที่จะแสดงคุณสมบัติสองข้อนี้ได้

### วิธีอธิบายการเคลื่อนที่ของคลื่น

หน้าคลื่น (wavefront) คือบริเวณที่อนุภาคนั้นๆ ของคลื่นที่มีรูปทรงเดียวกัน  
เส้นรังสี (ray) แสดง ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น



(ก)



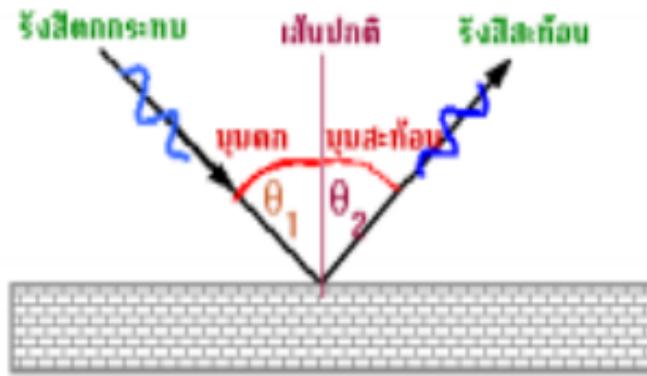
(ข)

## 1. การสะท้อนของคลื่น (Reflection)

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ไปตกกระทบสิ่งที่กีดขวาง คลื่นจะเกิดการสะท้อน ดังแสดงในรูปภาพ

### กฎการสะท้อน

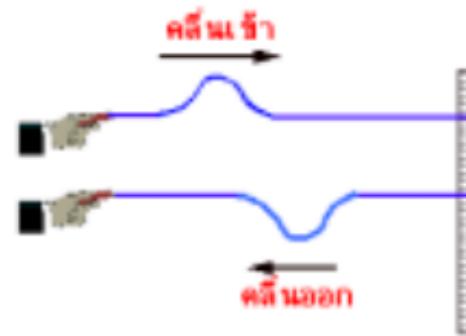
1. มุมตกลงกระทบ ( $\theta_1$ ) เท่ากับ มุมสะท้อน ( $\theta_2$ )
2. รั้งสีตกลงกระทบ รั้งสีสะท้อน และเส้นปกติ ต้องอยู่ในระนาบเดียวกัน



### การสะท้อนของคลื่นในเส้นเชือก แยกพิจารณาได้ 2 กรณี คือ

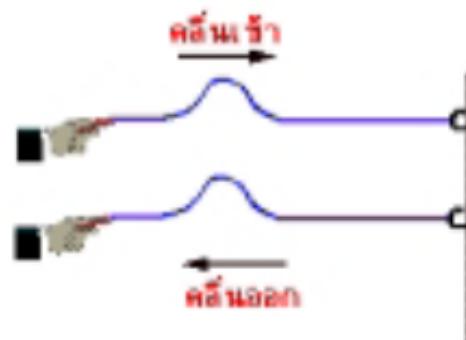
#### 1) เชือกปลายตรึงแน่น

คลื่นที่ออกมามาจะมีลักษณะตรงกันข้ามกับคลื่นที่เข้าไป  
หรือ คลื่นที่สะท้อนออกมามาจะมีเฟสเปลี่ยนไป  $180^\circ$



#### 2) เชือกปลายอิสระ (จุดสะท้อนไม่คงที่)

คลื่นที่สะท้อนออกมามาจะมีเฟสเหมือนเดิม  
หรือ คลื่นที่สะท้อนออกมามาจะมีเฟสเปลี่ยนไป  $0^\circ$

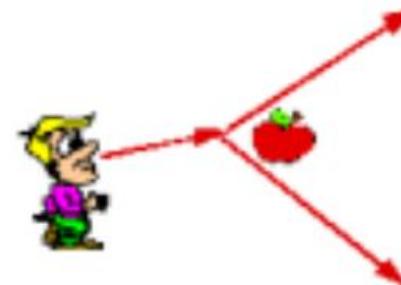
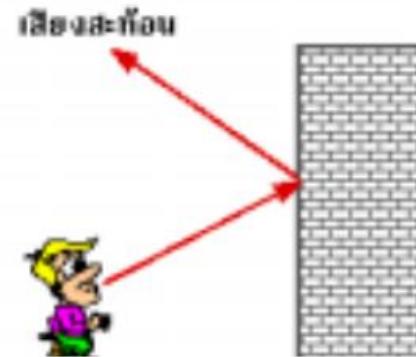


# การสะท้อนคลื่นเสียง

## 2.1 การสะท้อนของเสียง

เมื่อเสียงไปตกรอบวัตถุที่มีขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่นเสียง เสียงจะสะท้อนออกจากวัตถุนั้นได้ย้ำเพิ่มเติม

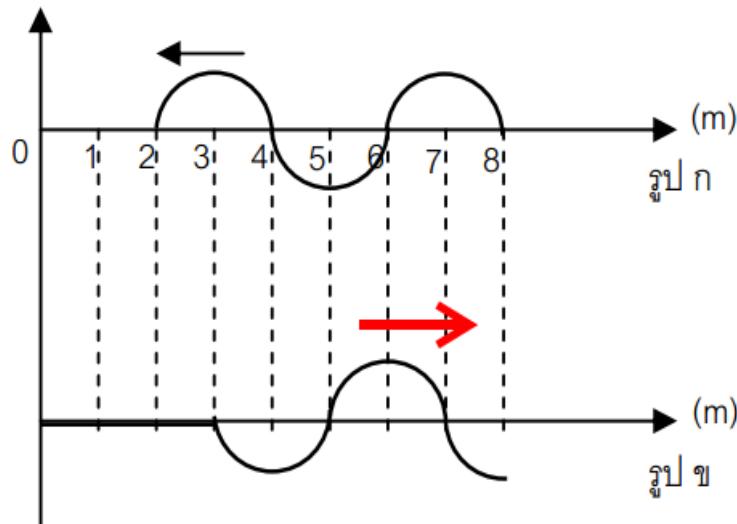
- 1) หากวัตถุมีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นเสียง เมื่อเสียงตกรอบ จะเลี้ยวอ้อมไปทางอื่น ไม่สะท้อนออกมานะ
- 2) หากมีเสียงสะท้อนจากหลายแหล่ง มาถึงผู้ฟังในช่วงเวลาที่ต่างกันมากกว่า 0.1 วินาที จะทำให้ได้ยินเสียงสะท้อนหลายเสียงเรียกว่าเกิด เสียงก้อง



# ตัวอย่างโจทย์ การสะท้อนคลื่น (1)

16.

การกระจัด



คลื่นในเส้นเชือกมีจุด O เป็นจุดตรึง ปลายอีกข้างหนึ่งสะบัดขึ้นลง ทำให้เกิดคลื่น โดยเมื่อเวลาหนึ่งมีลักษณะดังรูป (ก) แต่เมื่อเวลาผ่านไป t ปรากฏว่าเห็นคลื่นมีลักษณะดังรูป (ข) ถ้าอัตราเร็วของคลื่นเท่ากับ 20 เมตร/วินาที อยากรู้ว่าเวลา t มีค่าเท่าไร

- 1. 0.10 วินาที
- 3. 0.20 วินาที

- 2. 0.15 วินาที
- 4. 0.25 วินาที

**ณเดชน์**ยืนตะโภนเข้าไส่หน้าพาน เขายืนเสียงสะท้อนกลับมาหลังจากตะโภนออกไป 1 วินาที ถ้าความเร็วของเสียงในอากาศจะเท่ากับ 350 เมตรต่อวินาที จงหาว่าหน้าพานอยู่ห่างจาก **ณเดชน์**เป็นระยะทางเท่าไร

- 1. 35 เมตร
- 2. 175 เมตร
- 3. 350 เมตร
- 4. 700 เมตร

## ตัวอย่างโจทย์ การสะท้อนคลื่น (2)

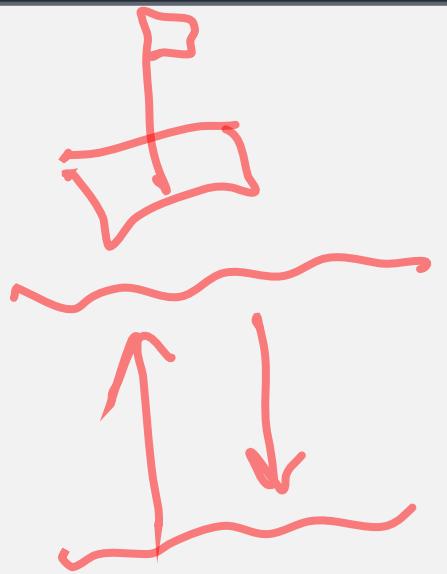
10. ขณะเรือบุดจะน้ำมันเกิดระเบิดกลางมหาสมุทร เรือลาดตระเวนลำนี้ สามารถตรวจรับสัญญาณคลื่นเสียงจากトイห้องเรือได้ก่อนที่จะได้ยินเสียงที่มาทางอากาศถึง 20 วินาที เรือลาดตระเวนลำนี้อยู่ห่างจากที่เกิดเหตุก้าวเมตร ถ้าความเร็วเสียงในน้ำทะเลมีค่า 1531 เมตร/-วินาที และความเร็วเสียงในอากาศจะมีค่า 346 เมตร/วินาที

1. 8.94

2. 16.30

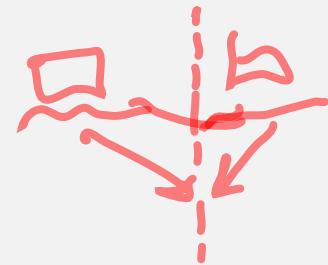
3. 25.80

4. 30.60



เรือเดินสมุทรส่งเสียงโโซน่าเพื่อหยั่งความลึก  
จับช่วงเวลาเสียงก้องได้ 0.8 วินาทีถ้าความเร็วเสียงในน้ำ  
1500m/S จงหาความลึกทะเล

$$2s = vxt = 1500 \times 0.8 = 1200\text{m}$$
$$s = 600\text{ m}$$



## ตัวอย่างโจทย์ การสะท้อนคลื่น (3)

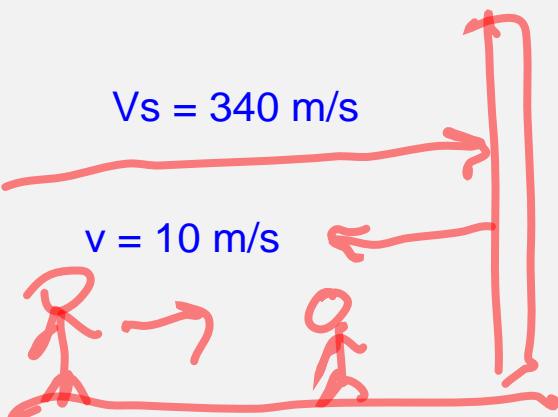
เด็กคนหนึ่งกำลังวิ่งอยู่ด้วยอัตราเร็ว 10 เมตร/วินาที ได้ตะโกนเสียงเข้าหากำแพงซึ่งอยู่ห่างออกไประยะหนึ่งพบว่าในเวลาผ่านไป 2 วินาที เขายังได้ยินเสียงสะท้อนกลับมา ถ้าอัตราเร็วเสียงในอากาศขณะนั้นเท่า กับ 340 เมตร/วินาที ระยะที่ ตะโกนเขาอยู่ ห่างจากกำแพงกี่เมตร

1. 20

2. 340

3. 350

4. 680



$$x = \text{ระยะที่เด็กวิ่งได้} = v \times t = 10 \times 2 = 20 \text{ m}$$

$$\text{ระยะทางที่เสียงเคลื่อนที่} = 2s - x = 2s \times 20 = Vs \times t$$

$$s = (340 \times 2) + 20 / 2 = 350 \text{ m}$$

# ตัวอย่างโจทย์ การสะท้อนคลื่น (4)

10(En 37) เรือหาปลาลำหนึ่งหาฝูงปลาด้วยโซนาร์

ส่งคลื่นคลื่นของเสียงความถี่สูงลงไปในน้ำทะเล  
ด้าฝูงปลาอยู่ห่างจากเครื่องกำเนิดคลื่นไปทาง  
หัวเรือเป็นระยะทาง 120 เมตร และอยู่ลึก  
จากผิวน้ำเป็นระยะ 90 เมตร หลังจากส่ง  
คลื่นคลื่นจากโซนาร์ไปเป็นเวลาเท่าใด จึงจะ

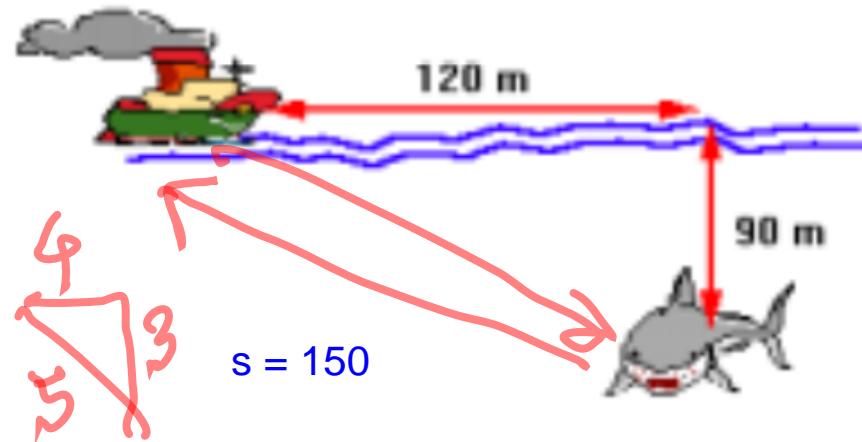
ได้รับคลื่นที่สะท้อนกลับมา      กำหนดความเร็วเสียงในน้ำทะเล = 1500 m/s

1. 0.1 s

~~2. 0.2 s~~

3. 0.3 s

4. 0.4 s (ข้อ 2)



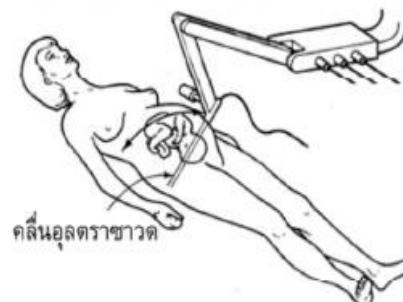
วิธีทำ

$$v = s/t$$

$$t = 2 \times 150 / 1500 = 0.2\text{ s}$$

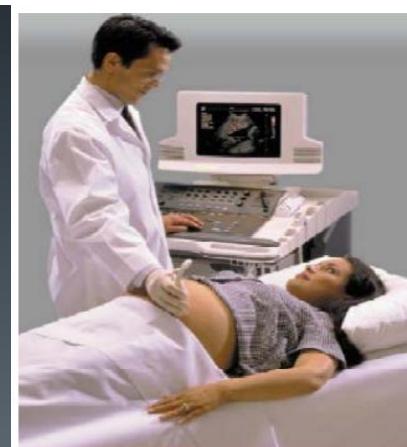
# ประโยชน์การนำไปใช้หลักการสะท้อนของคลื่น

- อุลตราซาวด์คือ เสียงที่มีความถี่เหนือระดับที่มนุษย์สามารถได้ยินได้ คือมากกว่า  $20,000\text{ Hz}$
- (1) ใช้ในการรักษา ( $10-100\text{ KW/m}^2$ ) ทำให้เกิดความร้อนภายใน
- (2) ใช้ในการผ่าตัด ( $1-40\text{ MW/m}^2$ ) เช่น ทำให้หินที่อยู่ในไตแตกออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ ได้โดยการทำให้เกิดการสั่นที่มีแอมพลิจูดใหญ่
- (3) ใช้ในการวินิจฉัย วิเคราะห์ (น้อยกว่า  $1\text{ kW/m}^2$ )
- การที่อุลตราซาวด์ปลอดภัยกว่า ความเข้มที่ใช้ไม่ทำให้อะตอมแตกตัว เป็นไอออนและไม่ทำลายพันธะโมเลกุล ไม่เป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อ มนุษย์
- หลักการทำงานคือส่งคลื่นเข้าไปสะท้อนกับรอยต่อระหว่างตัวกลางที่ไม่เหมือนกัน คำนวนหาเวลาที่คลื่นสะท้อนกลับ ตัวส่งสัญญาณพร้อม ตัวรับจะเคลื่อนที่ไปรอบ ๆ ทำให้ได้ภาพที่สามารถตีความหมายได้ (ความถี่ที่เราใช้คือประมาณ  $1-20\text{ kHz}$ )



# Ultrasound

- ได้ผลดีหรือไม่ ขึ้นกับ ความยาวคลื่นที่ใช้
- เห็นวัตถุได้ชัดถ้าวัตถุมีขนาดที่ใหญ่กว่าหรือประมาณความยาวคลื่น
- ข้อดี คลื่นอุลตราซาวด์มีความถี่สูง ดังนั้นจึงมีความยาวคลื่นต่ำ ทำให้สามารถมองเห็นวัตถุต่างๆ ได้ชัดเจน ได้รายละเอียดที่ดี
- ข้อเสีย อุลตราซาวด์เป็นคลื่นที่ถูกดูดซึม (absorb) ได้ดี ทำให้คลื่นไม่สามารถเคลื่อนที่ลงไปได้ลึกเท่าที่ควร ความลึกที่วิธีนี้สามารถใช้ได้ก็คือประมาณ 200 เท่าของความยาวคลื่น
- ดังนั้นถ้าเราต้องการให้ได้ผลดี เราต้องเลือกความถี่ให้เหมาะสมเพื่อให้ได้ความสมดุลระหว่างความลึก และรายละเอียดของภาพ



## ตัวอย่างโจทย์ การสะท้อนคลื่น (5)

ตัวอย่างที่ 9.5 อุลตราซาวน์มีอัตราเร็วในเนื้อเยื่อเท่ากับ  $1500 \text{ m/s}$  (ก) คำนวณหา รายละเอียดที่เล็กที่สุดที่สามารถมองเห็นได้ด้วยอุลตราซาวน์ที่มีความถี่  $2 \text{ MHz}$  (ข) ลักษณะไหนที่อุลตราซาวน์สามารถวิเคราะห์ได้ (ค) ใช้เวลาเท่าไรที่อุลตราซาวน์จะเดินทางไปกลับจากที่ความลึกประมาณ  $0.1 \text{ m}$

วิธีทำ

(ก) จาก  $f = 2 \times 10^6 \text{ Hz}$  และ  $v = 1500 \text{ m/s}$  จะได้ว่า

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1500 \text{ m/s}}{2 \times 10^6 \text{ Hz}} = 750 \times 10^{-6} = 0.75 \text{ mm}$$

นั่นคือขนาดที่เล็กที่สุดที่สามารถมองเห็นได้มีค่าเท่ากับความยาวคลื่นของอุลตราซาวน์

(ข) ความลึกที่สามารถวิเคราะห์ได้ประมาณ  $200$  เท่าของความยาวคลื่น มีค่าเท่ากับ  $200 \times 0.75 \text{ mm} = 150 \text{ mm}$

นั่นคืออุลตราซาวน์สามารถใช้ในการวิเคราะห์อวัยวะภายในได้ลึกประมาณ  $15 \text{ cm}$  จากผิวหนัง

(ค) เมื่อจากเสียงต้องเดินทางไปกลับ ตั้งนั่นระยะทางที่ต้องเดินทางมีค่าเท่ากับ  $0.2 \text{ m}$

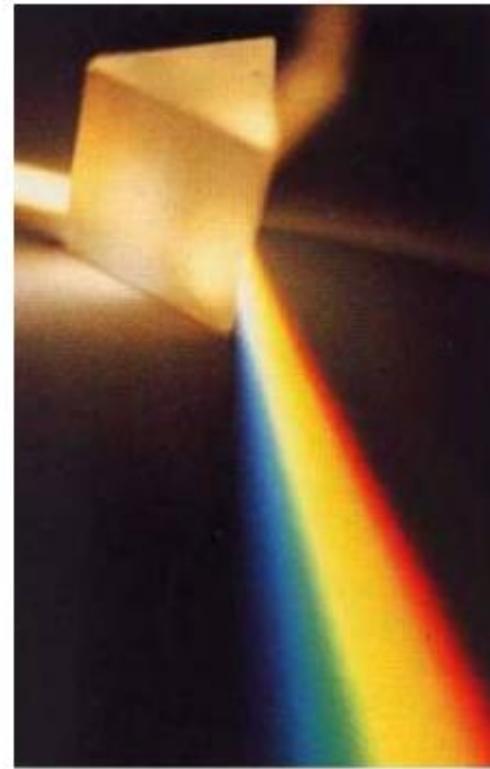
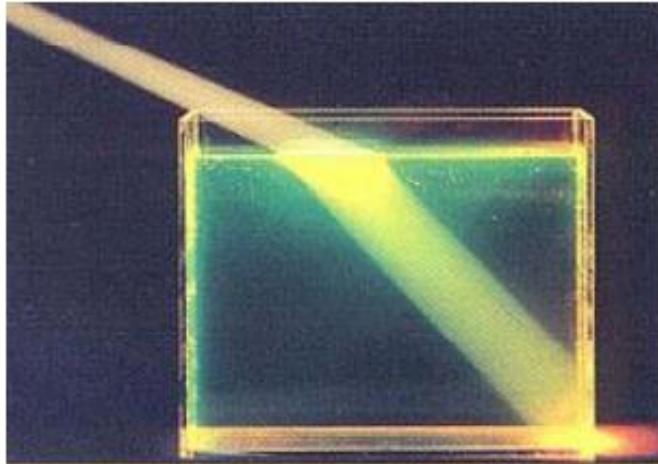
จาก  $v = \frac{s}{t}$  จะได้ว่า เวลาที่ใช้เดินทางคือ

$$t = \frac{s}{v} = \frac{0.2 \text{ m}}{1500 \text{ m/s}} = 1.3 \times 10^{-4} \text{ s}$$

นั่นคืออุลตราซาวน์จะใช้เวลาประมาณ  $130 \mu\text{s}$  ในการเดินทางจากผิวหนังไปสะท้อนกับอวัยวะภายในที่อยู่ลึกไป  $10 \text{ cm}$  และย้อนกลับขึ้นมา

# การหักเหของคลื่น

การหักเห คือ การเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นเมื่อคลื่นเคลื่อนที่จากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกด้วยตัวกลางหนึ่งที่มีอัตราเร็วของคลื่นต่างกัน



$$f \approx \text{คงที่}$$

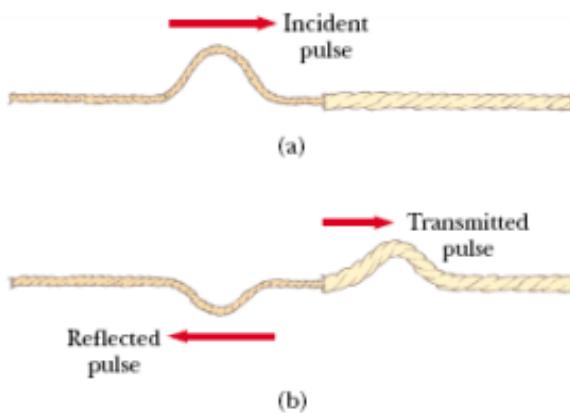
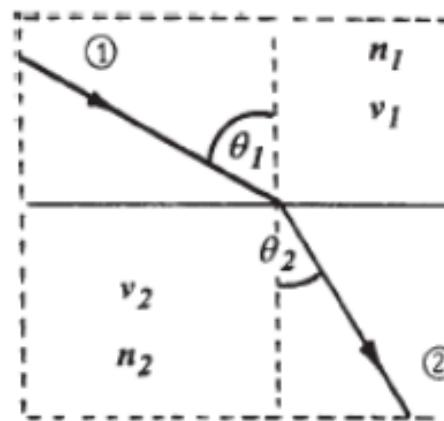
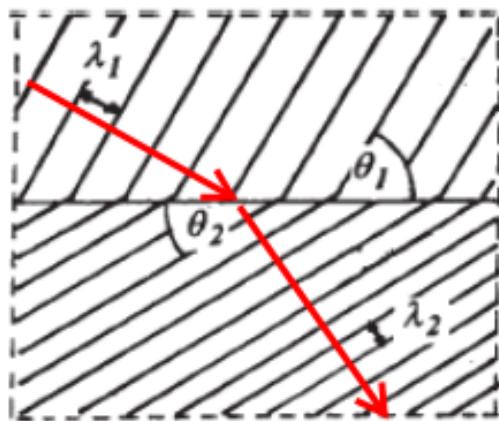


# นิยามการหักเห

## 2. การหักเหของคลื่น (Refraction)

เมื่อคลื่นผ่านจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง ซึ่งมีความหนาแน่นไม่เท่ากัน จะทำให้อัตราเร็ว อัมปลิจูด และความยาวของคลื่นเปลี่ยนไป แต่ความถี่จะคงเดิม ( $v$   $\lambda$  และ  $\theta$  เปลี่ยน แต่  $f$  คงที่)

น้ำ  
น้ำแข็ง



## การหักเหผ่านบริเวณน้ำคืน น้ำแข็ง

เมื่อคลื่นเคลื่อนจากน้ำคืน

ลงไปสู่น้ำแข็ง ตอนคลื่นอยู่ในน้ำแข็งคลื่น

จะมีความยาวคลื่น อัมปลิจูด ความเร็วคลื่น

มากกว่าในน้ำคืนเสมอ แต่ความถี่จะมีค่า

คงที่เท่าเดิม



# กฎของสเนลล์

$$\sin 0 = 0$$

$$\sin 60 = 0.866$$

$$\sin 30 = 0.5$$

$$\sin 90 = 1$$

$$\sin 45 = 0.707$$

การหักเหเป็นไปตาม

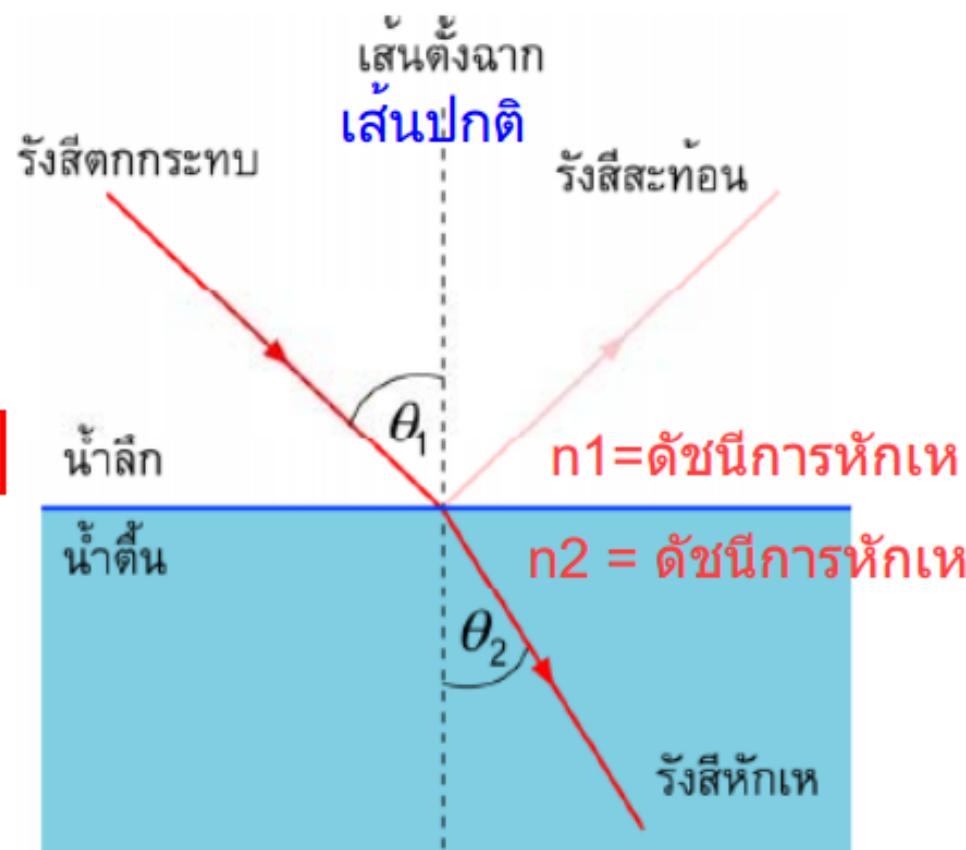
## กฎของสเนลล์ (Snell's law)

f คงที่

ตกกระทบ

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

หักเห



เมื่อ  $v_1$  และ  $v_2$  คือความเร็วคลื่นของคลื่นตกกระทบและของคลื่นหักเห

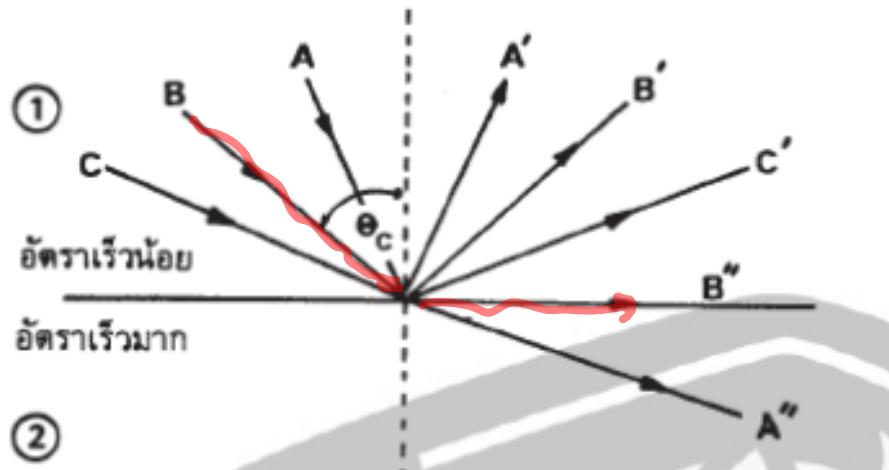
เห  $\theta_1$  และ  $\theta_2$  คือมุมตกกระทบและมุมหักเห (refraction angle)

ส่วน  $\lambda_1$  และ  $\lambda_2$  คือความยาวคลื่นของคลื่นตกกระทบและคลื่นหักเห

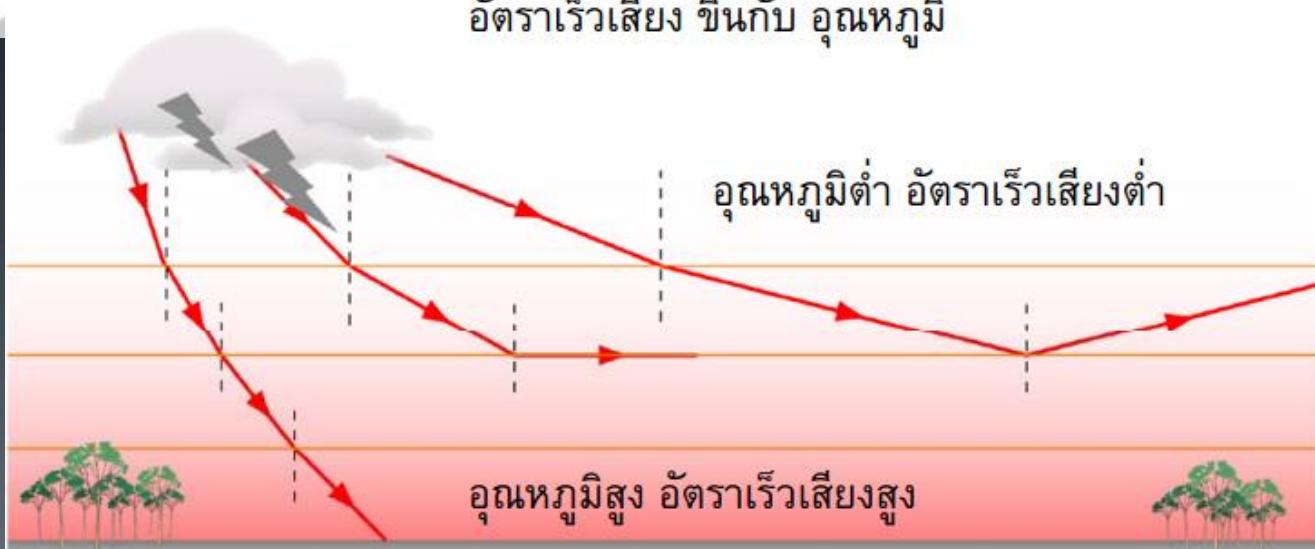
# มุนวิกฤติและการสะท้อนกลับ

## มุนวิกฤตและการสะท้อนกลับหมวด

มุนวิกฤต ( $\theta_c$ ) คือ มุนต์ผลกระทบที่ทำให้มุนหักเหทาง  $90^\circ$  ซึ่งมุนวิกฤตจะมี กีต่อเมื่อคลื่นเคลื่อนที่จากบริเวณที่ที่อัตราเร็วคลื่นน้อยไปมาก (น้ำดีน้ำลึก)



ถ้ามุนต์ผลกระทบน้อยกว่ามุนวิกฤต จะมีคลื่นหักเหและสะท้อนบางส่วน แต่ถ้ามุนต์ผลกระทบมากกว่ามุนวิกฤต คลื่นจะไม่มีการหักเห แต่ทั้งหมดจะสะท้อนกลับ เรียกว่า “การสะท้อนกลับหมวด”



# ตัวอย่างโจทย์ การหักเหคลื่น (1)

ตัวอย่างที่ 8.4 คลื่นเคลื่อนที่จากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง โดยมีมุมตาก  $30^\circ$  และเกิดมุมหักเห  $45^\circ$  ถ้าคลื่นมีมุมตาก ระบทบ  $45^\circ$  จะเกิดมุมหักเหเท่าใด

วิธีทำ

จากโจทย์เรารสามารถทราบรูปประกอบได้ดังในรูปทางขวามือ โดยมีข้อมูล

ดังนี้

มุมเก่า

$$\theta_1 = 30^\circ \quad \theta_2 = 45^\circ \quad \theta'_1 = 45^\circ$$

เราต้องการคำนวณหา  $\theta'_2$

มุมใหม่

จากกฎของสเนลล์จะเห็นได้ว่าสำหรับตัวกลางคู่หนึ่งๆ สัดส่วนระหว่าง อัตราเร็วคลื่นในสองตัวกลางต้องมีค่าเท่ากันเสมอ นั่นคือ

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{\sin \theta'_1}{\sin \theta'_2}$$

จัดรูปและแทนค่าต่างๆ ที่มีลงไว้ได้เป็น

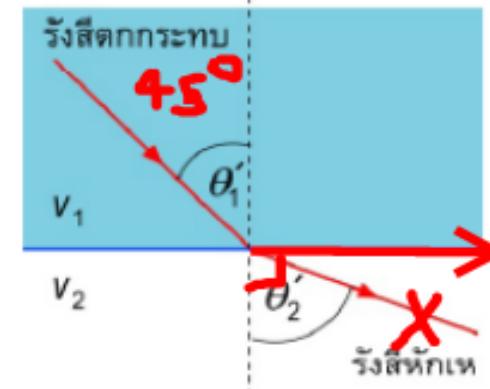
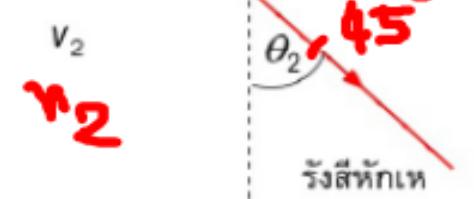
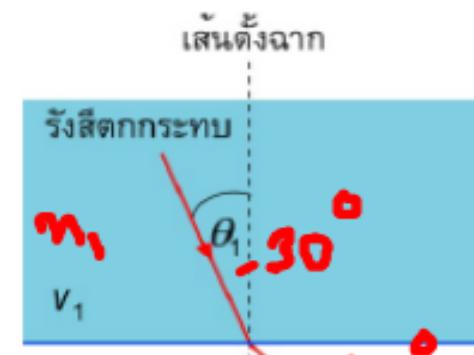
$$\sin \theta'_2 = (\sin \theta'_1) \left( \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} \right) = (\sin 45^\circ) \left( \frac{\sin 45^\circ}{\sin 30^\circ} \right) = 1$$

$$\theta'_1 = \theta_C$$

critical

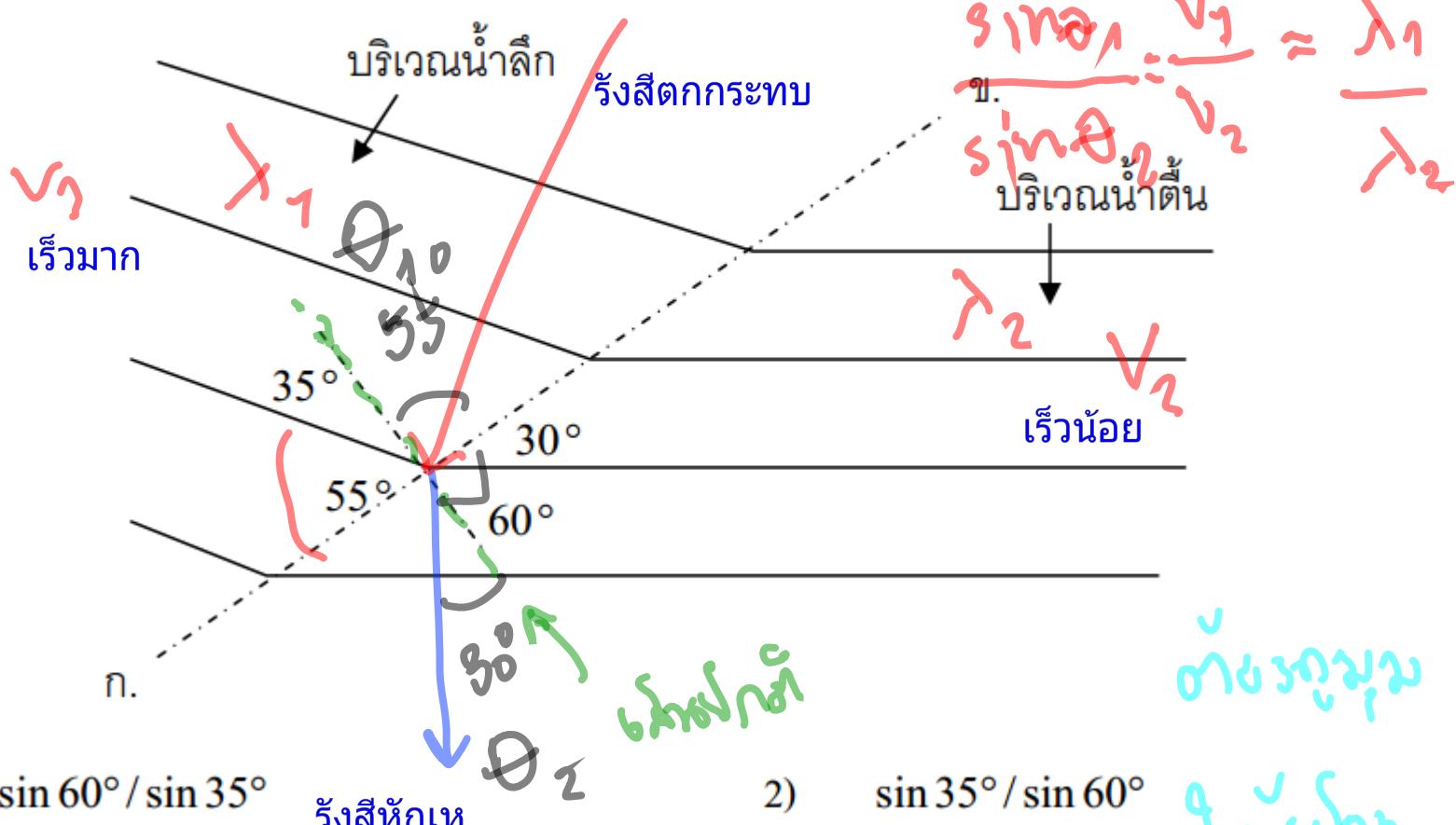
$$\theta'_2 = 90^\circ$$

นั่นคือ มุม  $45^\circ$  องศาเป็นมุมวิกฤตที่ทำให้มุมหักเหเป็นมุมจาก ถ้าให้มุมตาก ระบทบมากกว่ามุมนี้แล้ว จะพบว่าคลื่นที่เกิดขึ้นจะเกิดการสะท้อนเพียงอย่างเดียว ไม่มีการหักเห



## ตัวอย่างโจทย์ การหักเหคลื่น (2)

จากรูป แสดงหน้าคลื่นตัดกระทบและหน้าคลื่นหักเห ของคลื่นผิวน้ำที่เคลื่อนที่จากเขตน้ำลึกไปยังเขตน้ำตื้น เมื่อ ก.ช คือเส้นรอยต่อระหว่างน้ำลึกและน้ำตื้น จงหาอัตราส่วนความเร็วของคลื่นในน้ำลึกต่อความเร็วของคลื่นในน้ำตื้น



ถ้าจะมุ่ง  
ดูในแนว

# ตัวอย่างโจทย์ การหักเหคลื่น (3)

คลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่จากน้ำตื้นเข้าสู่บริเวณน้ำลึก พบร่วมคลื่นเพิ่มเป็น 2 เท่าของเดิม  
 ถ้ามุมตกระบบทวีนาค  $30^\circ$  จงหา�ุมหักเหที่เกิดขึ้น

$$1. \quad 30^\circ \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{\text{รุ่งอรุณ}}{\text{รุ่งอรุณ}_2} \quad \left| \begin{array}{l} \text{มาก} \\ \text{น้อย} \end{array} \right. \quad 2. \quad 45^\circ$$

$$3. \quad 60^\circ \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{\text{รุ่งอรุณ}}{\text{รุ่งอรุณ}_2} = 30^\circ \quad \times$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\text{รุ่งอรุณ}}{\text{รุ่งอรุณ}_2}$$

$$\sin \theta_2 = 1$$

คลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่ จากบริเวณน้ำลึกเข้าสู่บริเวณน้ำตื้น พบร่วมความยาวคลื่นลดลงเป็น  $\frac{3}{5}$  เท่า  
 ของเดิม จงหาว่ามุมวิกฤตมีค่าเท่าใด

$$1. \quad 37^\circ \quad \text{จากลึกไปตื้น} \quad \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{\text{รุ่งอรุณ}}{\text{รุ่งอรุณ}_2} \quad \times$$

$$2. \quad 37^\circ \quad \text{จากตื้นไปลึก}$$

$$3. \quad 53^\circ \quad \text{จากลึกไปตื้น} \quad \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{\text{รุ่งอรุณ}}{\text{รุ่งอรุณ}_2} \quad 4. \quad 53^\circ \quad \text{จากตื้นไปลึก}$$

$$\frac{3}{5} / \cancel{\lambda} = \frac{\text{รุ่งอรุณ}}{\text{รุ่งอรุณ}_2}$$

เลียงถูกปlösยจากบริเวณหนึ่งซึ่งมีอุณหภูมิค่าหนึ่ง พบร่วม เมื่อเข้าสู่บริเวณที่สองอุณหภูมิจะเปลี่ยนเป็นอีกค่าหนึ่ง และวัดความยาวคลื่นในบริเวณนี้ได้เป็นครึ่งหนึ่งของบริเวณแรก อยากรายงานว่าอุณหภูมิในหน่วยเคลวินของบริเวณแรกเป็นกี่เท่าของบริเวณที่สอง

$$1. \quad 0.25 \quad \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{V_1}{V_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$$

$$3. \quad 2 \quad \frac{1}{2} \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{V_1}{V_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}} = 2$$

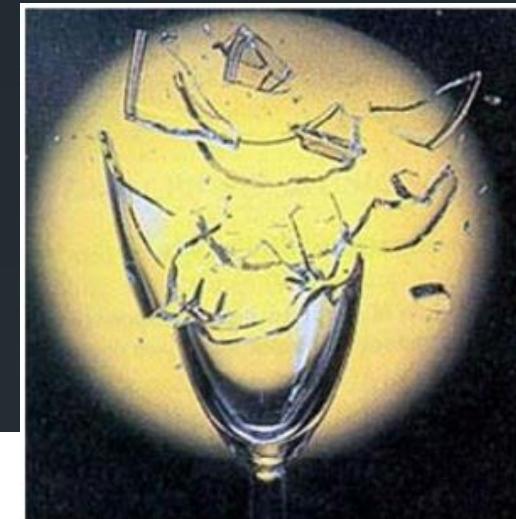
$$2. \quad 0.50 \quad \times$$

$$4. \quad 4 \quad \sqrt{\frac{T_1}{T_2}} = 2$$

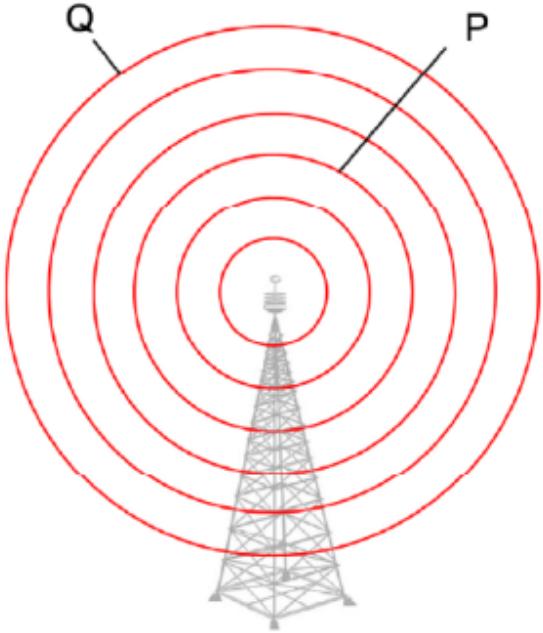
# พลังงานของคลื่น

พลังงานที่ถ่ายทอดไปกับคลื่นแปรผัน  
ตามกำลังสองของแอมเพลจูดและ  
ความถี่ของคลื่น

✓  $E \propto A^2 f^2$



เมื่อเรารู้พลังงาน กำลังของคลื่นสามารถหาได้จาก



$$E \propto A^2 f^2$$

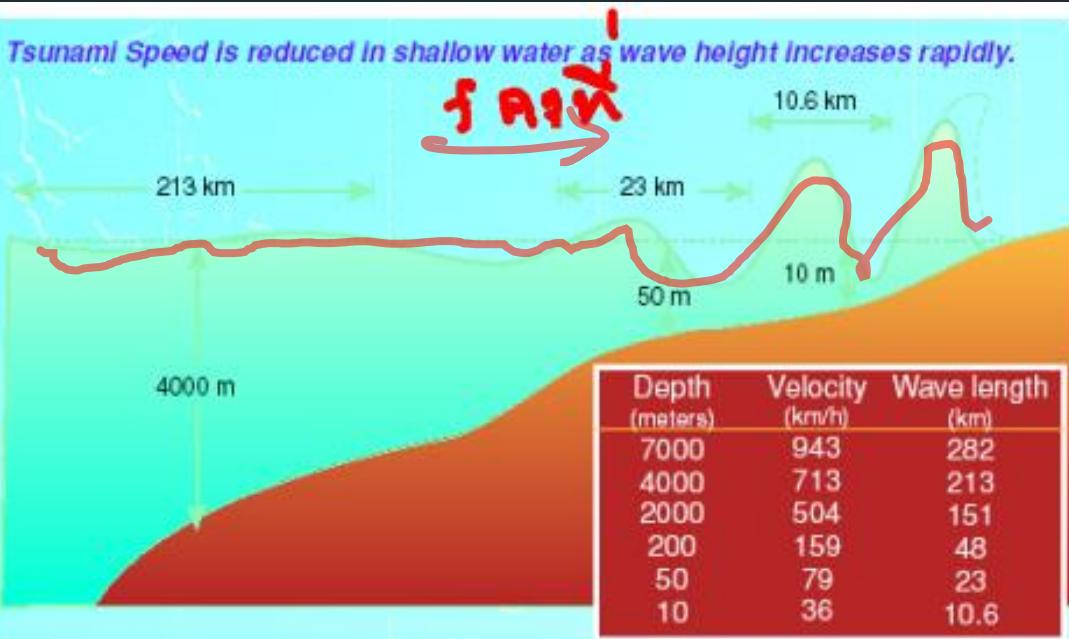
$$P = \frac{E}{t}$$

พลังงานรวมและกำลังรวมทั้งหมดที่ระยะห่าง  
จากจุดกำเนิดหนึ่ง ๆ จะต้องมีค่าเท่ากับพลังงาน  
และกำลังทั้งหมดที่ออกมากจากจุดกำเนิดเสมอ  
เช่นทรงกลม P และทรงกลม Q มีค่าพลังงานรวม  
และกำลังรวมที่เท่ากับของแหล่งกำเนิดทั้งคู่

รูปที่ 8-9 การกระจายตัวของคลื่นจาก  
แหล่งกำเนิดที่เป็นจุด

# สีนามิ

Tsunami Speed is reduced In shallow water as wave height Increases rapidly.



## คุณลักษณะของคลื่นสีนามิ

เป็นคลื่นนำตื้น (เนื่องจากมีความยาวคลื่นเป็นร้อยกิโลเมตร)

ความเร็วคลื่นแปรผันตรงกับความลึก ยิ่งเข้าใกล้ชายฝั่งความเร็วคลื่นจะลดลง แต่ความสูงของคลื่นจะเพิ่มขึ้น

คลื่นสีนามิสามารถมีความสูงได้มากถึง 30 เมตร มีพลังงานมหาศาล

# พลังงานจามคลื่นสึนามิ



津  
波

## ข้อที่สำคัญที่สุด



ซึ่งให้เห็นว่า สีนามิ กับ ชูฉิ หรือ ชาฉิมิ หรือ ชาเกะ มันคนละอย่างกัน

