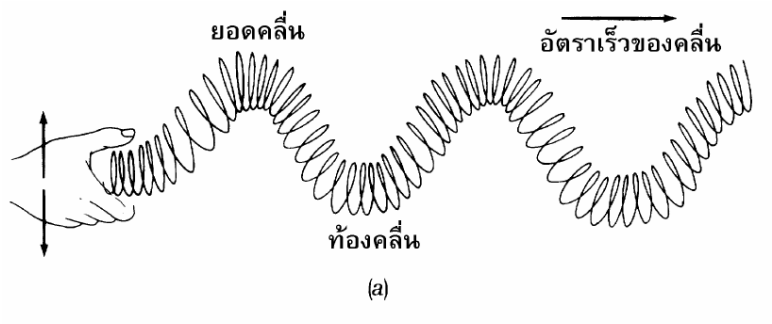
บทที่ 8
คลื่นกลและคลื่นเสียง

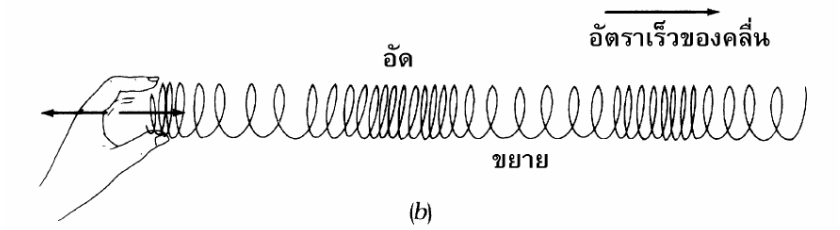
คลื่นกล เกิดจากการสั่นของแหล่งกำเนิดเชิงกลและเคลื่อนที่โดยอาศัยตัวกลางเพื่อให้คลื่นเคลื่อนที่ ซึ่งถือเป็นการถ่ายเทพลังงานด้วยเช่นกัน

การจำแนกคลื่น ในทางฟิสิกส์จำแนกคลื่นทั้งหลายออกเป็น 2 ประเภท คือ

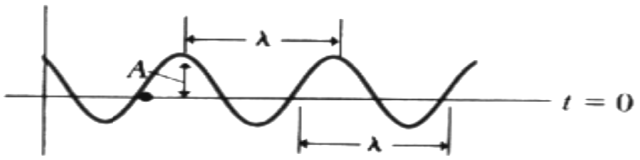
คลื่นตามขวาง (transverse waves) หมายถึง การเคลื่อนที่ของคลื่นโดยที่อนุภาคของตัวกลางเคลื่อนที่ทำมุมฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น



คลื่นตามยาว (longitudinal waves)หมายถึง การเคลื่อนที่ของคลื่นโดยที่อนุภาคของตัวกลางเคลื่อนที่ขนานไปในทิศทางเดียวกับทิศการเคลื่อนที่ของเคลื่อนที่ของคลื่น



ส่วนประกอบของคลื่น



ความยาวคลื่น แทนด้วย λ (แลมด้า) คือระยะที่วัดระหว่างจุดสูงสุดใกล้กัน หรือจะวัดระหว่างจุดต่ำสุดใกล้กันก็ได้ หรือถ้าจะวัดจากตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งก็ให้ไปสิ้นสุดที่ตำแหน่งเดิมนั้นถัดไป

อัตราเร็วของคลื่น แทนด้วย v คือระยะที่คลื่นเคลื่อนที่ไปใน 1 วินาที

คาบเวลา แทนด้วย T คือเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่ไปได้ 1 ความยาวคลื่น

ความถี่ แทนด้วย f คือจำนวนคลื่นที่ผ่านจุด ๆ หนึ่งในเวลา $\frac{1}{T}$

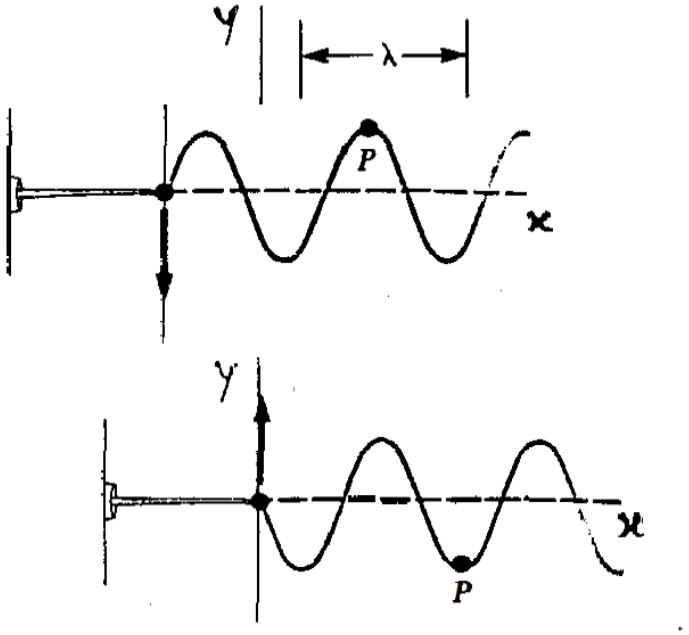
$$f = \frac{v}{\lambda}$$

อัตราเร็ว ความยาวคลื่น และความถี่ เขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$v = f\lambda$$

ตัวอย่างที่ 8.1 จงหาความยาวคลื่นของเสียงที่ความถี่ 262 Hz

ฟังก์ชันคลื่น



เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ดังรูป สามารถเขียนสมการแทนการเคลื่อนที่ได้โดย

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

เมื่อ k แทนเลขคลื่น หาได้จาก $v = \frac{\omega}{k} = \frac{2\pi f}{k} = f\lambda$

ω แทนความถี่เชิงมุม

ϕ แทน ค่าคงตัวเฟส (phase constant) หาได้จากค่าเริ่มต้นต่างๆ

ตัวอย่างที่ 8.2 คลื่นรูปไซน์เคลื่อนที่ไปทาง x เป็นบวก ด้วยแอมปลิจูด 15 cm ความยาวคลื่น 40 cm และความถี่ 8 Hz โดยค่า y = 15 เมื่อ t = 0 และ x = 0 ดังรูปจงหา

(ก) ความเร็วเฟสของคลื่น

(ข) ค่าคงตัวของเฟส

(ค) ฟังก์ชันคลื่น

คลื่นเสียง

อัตราเร็วของเสียงในตัวกลางต่างๆ สามารถหาได้จากสมการ

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

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

$$v = \sqrt{\frac{\text{สมบัติความยืดหยุ่น}}{\text{สมบัติความเฉื่อย}}}$$

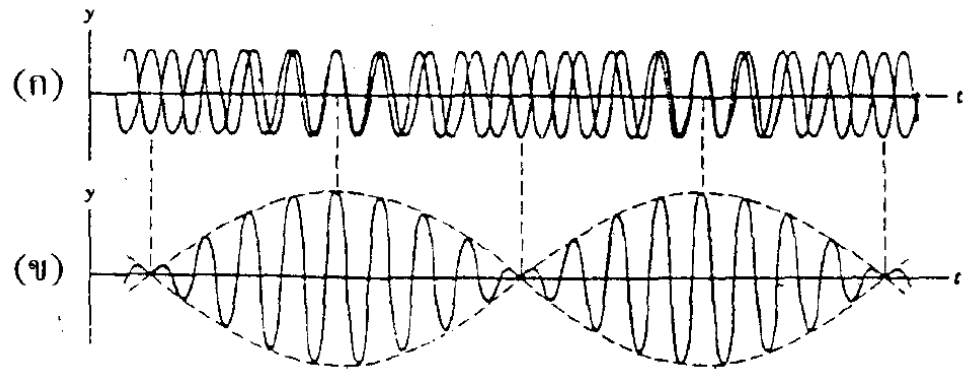
เมื่อ B และ Y คือสมบัติความยืดหยุ่นของตัวกลาง

ρ_o คือสมบัติความเฉื่อยของตัวกลาง

ตัวอย่างที่ 8.3 ถ้าเคาะปลายด้านหนึ่งของแท่งอะลูมิเนียมด้วยค้อน จะเกิดพัลส์ตามยาวที่แผ่ออกไปตามแท่งโลหะด้วยอัตราเร็วเท่าใด (กำหนด โมดูลัสยังของอะลูมิเนียมเท่ากับ 7.0×10^{10} N/m และ ความหนาแน่นของอลูมิเนียมเท่ากับ 2.7×10^3 kg/m^3)

บีตส์ (Beats)

บีตส์เกิดจากการรวมกันของคลื่น *2* กระบวนเคลื่อนที่ไปในทิศเดียวกัน มีความถี่ต่างกันเล็กน้อย



นั้นคือ ในแต่ละรอบจะมีแอมพลิจูดสูงสุดหนึ่งค่า (เกิด 1 บีตส์) และต่ำสุดหนึ่งครั้ง (เกิด 1 บีตส์) ดังนั้น จึงเกิดบีตส์ *2* ครั้งในหนึ่งรอบ

ความถี่บีตส์ (beat frequency,f_b) ซึ่งหมายถึงจำนวนบีตส์ต่อวินาทีเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$f_b = |f_1 - f_2|$$

โดยทั่วไปหูมนุษย์จะทราบได้ว่าเป็นบีตส์เมื่อ $|f_1 - f_2|$ ไม่เกิน 10 Hz ถ้าเกินกว่านี้จะไม่สามารถแยกออกว่าเป็นเสียงเดียวหรือเสียงบีตส์

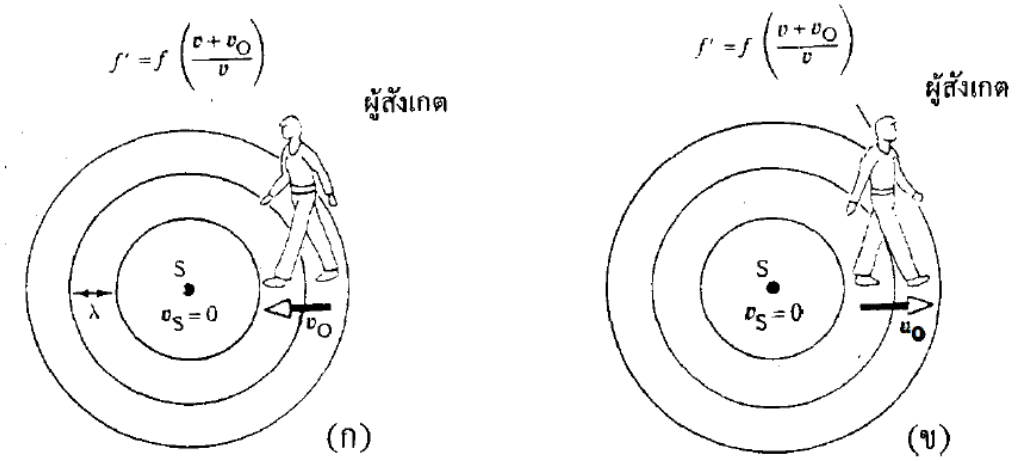
ตัวอย่างที่ 8.4 ดีดส้อมเสียง 2 อัน ปรากฏว่ามีเสียงบีตส์เกิดขึ้น 6 ครั้ง ถ้าส้อมเสียงอันแรกมีความถี่ 880 Hz จงหาความถี่ส้อมเสียงอันที่สอง

ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์

คือปรากฏการณ์ที่แหล่งกำเนิด หรือผู้ฟังเคลื่อนที่ หรือทั้งสองอย่างเคลื่อนที่ ระดับเสียงที่ปรากฏแก่ผู้ฝังนั้น โดยทั่วๆ ไปแล้วจะมีค่าไม่เหมือนกัน เมื่อแหล่งกำเนิดเสียงและผู้ฟังอยู่นิ่ง ตัวอย่างเช่น ระดับเสียงของแตรรถยนต์หรือหวูดรถไฟ

กรณีที่ 1 ผู้ฟังหรือผู้สังเกตเคลื่อนที่

พิจารณากรณีผู้สังเกตเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเข้าหาแหล่งกำเนิดซึ่งอยู่กับที่ v_s ให้กำเนิดความถี่ f ความยาวคลื่น λ ดังรูป



รูปที่ 10.28 (ก) ผู้สังเกตเคลื่อนที่เข้าหาแหล่งกำเนิด ($f' > f$)
(ข) ผู้สังเกตเคลื่อนที่ไปจากแหล่งกำเนิด ($f' < f$)

สูตรทั่วไป เมื่อผู้สังเกตมีการเคลื่อนที่สัมพันธ์กับแหล่งกำเนิดที่อยู่นิ่ง ด้วยอัตราเร็ว v_o คือ

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

เมื่อ f' คือความถี่ของผู้ฟัง

f คือความถี่ของแหล่งกำเนิด

v_o แทนความเร็วของผู้สังเกต

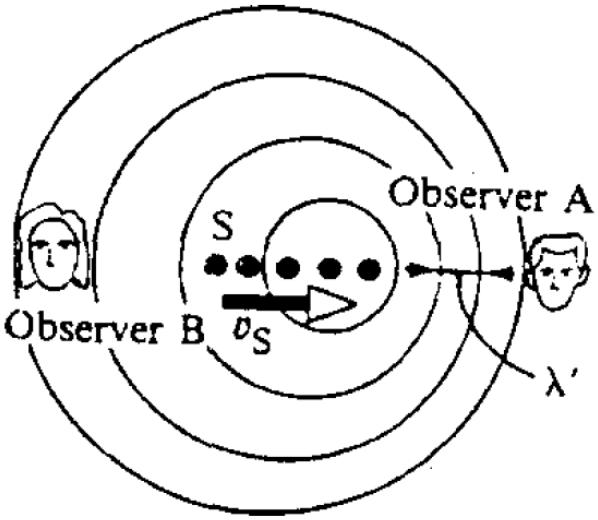
v แทนความเร็วเสียง

หมายเหตุ เครื่องหมายบวกเป็นกรณีที่ผู้สังเกตเคลื่อนที่เข้าหาแหล่งกำเนิดเสียง

เครื่องหมายลบเป็นกรณีที่ผู้สังเกตเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดเสียง

กรณีที่ 2 กรณีแหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่

เมื่อแหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่จากผู้สังเกต B ไปยัง A ด้วยอัตราเร็ว v_s ผู้สังเกต A และ B อยู่กับที่ดังรูป



สูตรทั่วไป สำหรับกรณีนี้ คือ

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

เมื่อเครื่องหมายข้างบน ($+ v_o$และ$- v_o$) ใช้ในกรณีผู้สังเกตและแหล่งกำเนิดเคลื่อนที่เข้าหากัน และเครื่องหมายข้างล่าง ($- v_o$และ$+ v_o$) ใช้ในกรณีที่ผู้สังเกตและแหล่งกำเนิดเคลื่อนที่จากกัน

ตัวอย่างที่ 8.5 รถไฟเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 30 m/s ขณะที่เปิดหวูดด้วยความถี่ 500 Hz จงหาความถี่ที่ถูกฟังโดยผู้สังเกตที่ยืนอยู่นิ่งนอกรถ

(ก) หน้ารถ

(ข) หลังรถ

ตัวอย่างที่ 8.6 รถพยาบาลกำลังแล่นบนทางด้วยด้วยอัตราเร็ว 33.5 m/s เปิดไซเรนความถี่ 400 Hz จงหาความถี่ของเสียงที่ผู้โดยสารในรถคันหนึ่งซึ่งวิ่งบนทางด่วนเดียวกันด้วยความเร็ว 24.6 m/s จะได้ยิน (กำหนดให้อัตราเร็วเสียงในอากาศเท่ากับ 343 m/s)

(ก) ขณะที่รถทั้งสองกำลังจะสวนทางกัน

(ข) หลังจากรถทั้งสองสวนทางกันแล้ว

ความเข้ม ความดัง คุณภาพและระดับเสียง

ความเข้ม (Intensity:I) คือกำลังเฉลี่ยที่คลื่นพามาต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่

$$I = \frac{P^2}{2\rho v}$$

ตัวอย่างที่ 8.7 คลื่นเสียงเดินทางในฮีเลียมด้วยความเร็ว 1.0 m/s และมีแอมปลิจูดความดันสูงสุด เท่ากับ 0.75 Pa จงหาความเข้มเสียง (กำหนดความหนาแน่นของฮีเลียมเท่ากับ 0.19 kg/m^3)

ระดับความเข้มและความดัง (Intensity level and loundness)

เนื่องจากพิสัยของความเข้มที่หูของคนเราได้ยินเสียงได้นั้นค่อนข้างมาก จึงนิยมใช้สเกลความเข้มเป็นลอการิทึม ระดับความเข้ม β ของคลื่นเสียงนิยามตามสมการ

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

เมื่อ $I_o = 10^{-12}$ W/m^2 เป็นความเข้มเสียงต่ำสุดที่หูมนุษย์จะรับฟังได้

แหล่งกำเนิด	β (dB)	ความเข้ม (W/m^2)
เสียงเบาสุดที่มนุษย์ได้ยิน	0	10^{-12}
เสียงลมหายใจ	10	10^{-11}
เสียงใบไม้กระทบเมื่อถูกลมพัด	20	10^{-10}
การสนทนา	60	10^{-6}
การจราจรบนท้องถนน	80	10^{-4}
เสียงเครื่องบินใบพัดขึ้นจากสนามบิน	120	1
เสียงเครื่องบินไอพ่นขึ้นจากสนามบิน	140	100

ตัวอย่างที่ 8.8 จงหาระดับความเข้มเสียงในหน่วยเดซิเบลที่มีความเข้มเสียง 10^{-6} W/m^2

แบบฝึกหัด

1) ถ้าโมดูลัสเชิงปริมาตรของน้ำเท่ากับ 2.1×10^{9} N/m และมีความหนาแน่นเท่ากับ 10^{3} kg/m^{3} จงหาอัตราเร็วเสียงในน้ำ
2) ค้างคาวบินไล่ตามแมลงเม่า โดยส่งคลื่นเสียงอัลต้าซาวด์ความถี่ 55 Hz ถ้าค้างคาวเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 13 m/s และแมลงเม่าเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 2.4 m/s อยากทราบว่าแมลงเม่าจะได้ยินความถี่เท่าไร
3) คลื่นในเส้นเชือกซึ่งเกิดจากการสั่นทางปลายข้างหนึ่งด้วยความถี่ 5 Hz ทำให้มีแอมปลิจูด 12 cm และความเร็ว 20 m/s จงหาฟังก์ชั่นคลื่น
4) รถพยาบาลคันหนึ่งวิ่งมาด้วยความเร็ว 75 m/s พร้อมกับเปิดไซเรนที่มีความถี่ 400 Hz เพื่อขอทาง ถ้าในขณะนั้นมีคนส่งของขับรถมอเตอร์ไซค์สวนทางมาด้วยความเร็ว อยากทราบว่า
   ก) ขณะที่รถทั้งสองคันวิ่งเข้าหากันนั้นคนส่งของจะได้ยินไซเรนความถี่เท่าไร
   ข) ขณะที่รถทั้งสองคันวิ่งห่างออกจากกันนั้น คนส่งของจะได้ยินไซเรนความถี่เท่าไร