

# บทที่ 17

## เสียง

รถจรวดสีดำในรูป บางครั้งถูกเรียกว่า เครื่องไอพ่นไร้ปีก มันวิ่งด้วยความเร็ว 763 ไมล์ต่อชั่วโมง เร็วกว่าเสียง ความเร็วขนาดนี้ถ้าออกแบบไม่ดี จะทำให้รถถอยและอาจทำให้คว่ำได้ จึงต้องถ่วงน้ำหนักไว้ด้านหน้า เครื่องยนต์ที่ใช้เป็นเครื่องไอพ่นของเครื่องบินเจ็ต มีกำลังมากกว่า 55,000 แรงม้า นายแอนดี กรีน ซึ่งเคยขับเครื่องบินไอพ่น เป็นผู้ทดสอบเพื่อทำลายสถิติโลก เขาจะทำได้หรือไม่ [คลิกครับ](#) 🌟



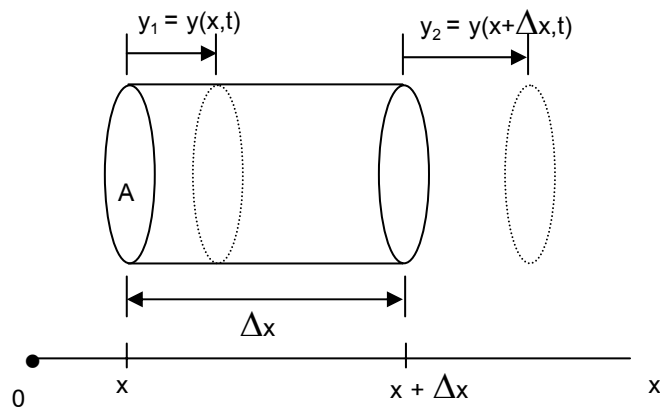
### 17-1 คลื่นเสียง

คลื่นเสียงที่มีลักษณะเป็นรูปไซน์ เคลื่อนที่อยู่ในตัวกลางสามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการได้ดังนี้

$$y = A \sin(kx - \omega t) \dots\dots\dots (17-1)$$

$y$  คือ ระยะกระจัดวัดจากระยะสมดุล

$A$  คือแอมพลิจูด เป็นระยะกระจัดสูงสุดวัดจากระยะสมดุล



รูป 17-1 ปริมาตรของแก๊สรูปทรงกระบอกมีพื้นที่หน้าตัด  $A$  ความยาวของทรงกระบอกขณะที่ยังไม่มีคลื่นเสียงผ่านเท่ากับ  $\Delta x$  แต่ถ้าขณะที่คลื่นเสียงผ่านไปตามแนวยาว ปลายข้างซ้ายของทรงกระบอกจะเคลื่อนที่ไปได้ระยะทาง  $y_1$  และปลายข้างขวาจะเคลื่อนที่ไปได้ระยะทาง  $y_2$  ทำให้ปริมาตรเปลี่ยนแปลงไปเท่ากับ  $A(y_2 - y_1)$

พิจารณาปริมาตรของแก๊สรูปทรงกระบอก พื้นที่หน้าตัด A ดังรูป 17-1 เริ่มต้นยังไม่มีคลื่นเสียงผ่านมีปริมาตรเท่ากับ  $A\Delta x$  แต่เมื่อมีคลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่าน การเปลี่ยนแปลงของปริมาตร  $\Delta V$  จะเท่ากับ

$$A(y_2 - y_1) = A[y(x + \Delta x, t) - y(x, t)]$$

ใส่ค่าลิมิตโดยให้  $\Delta x \rightarrow 0$  อัตราส่วนของปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไปต่อปริมาตรเดิม จะเป็น

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{y(x + \Delta x, t) - y(x, t)}{\Delta x} = \frac{\partial y}{\partial x} \dots\dots\dots(17-2)$$

จากนิยามของบัลค์โมดูลัส B ,  $p = -B \frac{\Delta V}{V}$  เราจะได้

$$p = -B \left( \frac{\partial y}{\partial x} \right) \dots\dots\dots(17-3)$$

ถ้า  $\frac{\partial y}{\partial x}$  เป็นบวก แสดงว่าระยะกระจัดที่เคลื่อนที่ทางปลายข้างขวา จะมากกว่าปลายซ้าย

ปริมาตรของทรงกระบอกจะเพิ่มขึ้น แต่ความดันกลับลดลง เหตุผลนี้จึงต้องใส่เครื่องหมายลบที่หน้าสมการบน จากสมการ (17-1) เราจะได้

$$p = -Bk A \cos(kx - \omega t) \dots\dots\dots(17-4)$$

ความดันในสมการบนเปลี่ยนแปลงในลักษณะของรูปคอส (cos) ดังนั้น แอมพลิจูดของความดันคือ

$$p_{\max} = BkA \dots\dots\dots(17-5)$$

$p_{\max}$  เป็นสัดส่วนตรงกับแอมพลิจูด และเลขคลื่น โดยเลขคลื่นเป็นสัดส่วนกลับกับความยาวคลื่น แสดงว่าความยาวคลื่นสั้นจะให้ความดันสูง คลื่นจะมีการบีบอัดตัวมาก ในทางกลับกัน ถ้าความยาวคลื่นยาวจะให้ความดันต่ำ คลื่นจะมีการบีบอัดตัวน้อย

**ตัวอย่าง 17-1** จากการตรวจวัดพบว่าความดันสูงสุดของเสียงที่มนุษย์สามารถฟังได้โดยไม่เจ็บปวดคือ 30 Pa (ความดันเกจ) จงหาระยะกระจัดสูงสุด (แอมพลิจูด) ถ้าความถี่เป็น 1 000 Hz และมีอัตราเร็วเท่ากับ 350  $m \cdot s^{-1}$

**หลักการคำนวณ** จาก  $\omega = (2\pi)(1000 \text{ Hz})$   
 $= 6283 \text{ s}^{-1}$

จะได้  $k = \frac{\omega}{c} = \frac{6283 \text{ s}^{-1}}{350 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}$   
 $= 18.0 \text{ m}^{-1}$

บัลค์โมดูลัส คือ

$$B = \gamma p = (1.4)(1.01 \times 10^5 \text{ Pa}) = 1.42 \times 10^5 \text{ Pa}$$

จากสมการ (17-5) เราจะได้

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{p_{\max}}{Bk} \\
 &= \frac{(30 \text{ Pa})}{(1.42 \times 10^5 \text{ Pa})(18.0 \text{ m}^{-1})} \\
 &= 1.18 \times 10^{-5} \text{ m} \\
 &= 0.0118 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

เสียงเบาที่สุดที่มนุษย์สามารถได้ยินที่ความถี่  $1000 \text{ Hz}$  มีความดัน  $3 \times 10^{-5} \text{ Pa}$  จำนวนแอมพลิจูดได้เท่ากับ  $10^{-9} \text{ cm}$  เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวคลื่นของแสงสีเหลืองซึ่งเท่ากับ  $6 \times 10^{-5} \text{ cm}$  และเส้นผ่าศูนย์กลางของโมเลกุลซึ่งมีค่าประมาณ  $10^{-8} \text{ cm}$  จะเห็นได้ว่าแอมพลิจูดที่เล็กขนาดนี้ของมนุษย์ยังสามารถได้ยิน ฉะนั้น หูจึงเป็นอวัยวะที่ละเอียดอ่อนกว่าหูของนอมนอย่างยิ่ง

## 17-2 ความเข้มของเสียง

ความเข้มของเสียง (I) คือ อัตราการส่งถ่ายพลังงานเฉลี่ยต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ซึ่งจะเท่ากับผลคูณของความดันในสมการ (17-5) กับความเร็วของอนุภาค v

หาอนุพันธ์สมการ (17-1) เทียบกับเวลา จะได้

$$v = \omega A \cos(kx - \omega t) \quad \dots\dots\dots(17-6)$$

$$pv = \omega B k A^2 \cos^2(kx - \omega t) \quad \dots\dots\dots(17-7)$$

ความเข้มหาได้จากค่าเฉลี่ยของสมการ (17-7) โดยที่สามารถหาค่าเฉลี่ยของ  $\cos^2(\omega t - kx)$  ได้

เป็น  $\frac{1}{2}$  ดังนั้น

$$I = \frac{1}{2} \omega B k A^2 \quad \dots\dots\dots(17-8)$$

จาก  $\omega = ck$  และ  $c^2 = \frac{B}{\rho}$  แทนลงไปในสมการบนจะเปลี่ยนรูปเป็น

$$I = \frac{1}{2} \sqrt{\rho B} \omega^2 A^2$$

แสดง I ให้อยู่ในเทอมของความดันสูงสุด โดยใช้สมการ (17-5) และ  $\omega = ck$  แทนลงไปนในสมการบน จะได้

$$I = \frac{\omega p_{\max}^2}{2Bk} = \frac{c p_{\max}^2}{2B} \quad \dots\dots\dots(17-9)$$

จาก  $c^2 = \frac{B}{\rho}$  เราสามารถเขียนสมการบนได้อีกรูปหนึ่ง คือ

$$I = \frac{p_{\max}^2}{2\rho c} = \frac{p_{\max}^2}{2\sqrt{\rho B}} \quad \dots\dots\dots(17-10)$$

เพราะฉะนั้น เราสามารถคำนวณหาความเข้มเสียงที่มนุษย์สามารถรับฟังได้โดยไม่เจ็บปวด

$$(P_{\max} = 30 \text{ Pa}) \text{ ดังนั้น กำหนดให้ } \rho_{\text{อากาศ}} = 1.22 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3} \quad c = 346 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$\begin{aligned} I &= \frac{(30 \text{ Pa})^2}{2(1.22 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3})(346 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1})} \\ &= 1.07 \text{ J}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2} \\ &= 1.07 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2} \\ &= 1.07 \times 10^{-4} \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2} \text{ หรือ } \approx 1 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2} \end{aligned}$$

สมมติว่า วัดความเข้มของเสียงที่ผิวของคลื่นทรงกลมรัศมี 20 m ได้  $1 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  ลองคำนวณหา กำลังของแหล่งกำเนิดเสียง

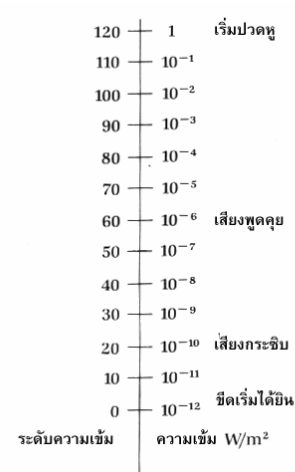
เราจะต้องคำนวณหาพื้นที่ของครึ่งวงกลมก่อนซึ่งเท่ากับ  $2\pi r^2 \approx 2500 \text{ m}^2$  ดังนั้น กำลังของ แหล่งกำเนิดเสียงที่จุดกึ่งกลางของครึ่งวงกลมคือ  $(1 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2})(2500 \text{ m}^2) = 2500 \text{ W}$  หรือ 2.5 kW

เนื่องเพราะว่าหูของคนเรามีความไวต่อเสียงมาก จึงนิยมใช้มาตราส่วน ล็อกกาธิกึม (logarithmic) แทน ซึ่งเรียกใหม่ว่า ระดับความเข้มเสียง (Intensity level) ใช้อักษร  $\beta$  เป็นสัญลักษณ์แทน มีหน่วยเป็นเดซิเบล (decibel) เขียนย่อเป็น dB ดังนี้

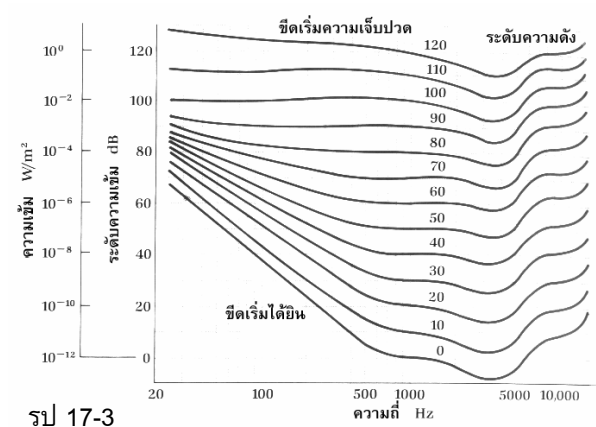
$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} \dots\dots\dots (17-11)$$

กำหนดให้  $I_0$  เป็นความเข้มเสียงอ้างอิง มีค่าเท่ากับ  $10^{-12}$  วัตต์/เมตร<sup>2</sup> ค่านี้คือความเข้มต่ำสุดที่ มนุษย์สามารถได้ยิน ส่วนหน่วยเดซิเบล (dB) เดซิเป็น ตัวอุปสรรค (prefix) คือเป็น 1 ใน 10 ของเบล ซึ่งนี้เป็นชื่อย่อของนายอเล็กซานเดอร์ เกรแฮมเบล เพื่อเป็นเกียรติกับท่านที่เป็นผู้กำเนิดโทรศัพท์คนแรกของโลก

เมื่อแทนความเข้ม  $10^{-12} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  ลงไปในสมการ (17-11) จะคำนวณหาระดับความเข้มเสียง ได้  $= 0 \text{ dB}$  เนื่องเพราะเรากำหนดให้  $I_0$  เป็นความเข้มเสียงอ้างอิง ส่วนความเข้มเสียงสูงสุดที่ได้ยินก่อนจะถึงขีดเริ่มเจ็บปวด ได้จากตัวอย่าง 17-1 คือ  $1 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  ซึ่งจะเท่ากับระดับความเข้มเสียง 120 dB



รูป 17-2



รูป 17-3

รูป 17-2 มาตราส่วนระดับความเข้มเสียงกับความเข้มเสียง  
รูป 17-3 เส้นกราฟแต่ละเส้นคือความเข้มเสียงและระดับความเข้มเสียงที่ความถี่ต่าง ๆ กัน โดยวัดและเก็บข้อมูลจากบุคคลจำนวนมาก และนำมาหาค่าเฉลี่ย

## 17-3 บีตส์

### การทดลองเสมือนจริง

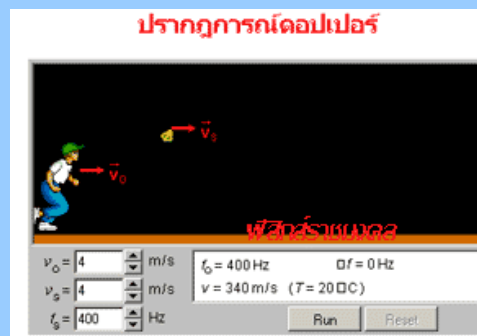


**การเกิดบีตส์ (Beat)** เป็นปรากฏการณ์จากการแทรกสอดของคลื่น

เสียง 2 ขบวน ที่มีความถี่แตกต่างกันเล็กน้อย และเคลื่อนที่อยู่ในแนวเดียวกันเกิดการรวมคลื่นเป็นคลื่นเดียวกัน ทำให้แอมพลิจูดเปลี่ยนไป เป็นผลทำให้เกิดเสียงดังเสียงค่อยสลับกันไป ด้วยความถี่ค่าหนึ่ง [กดที่ภาพหรือที่นี่เพื่อเข้าสู่การทดลอง](#)

## 17-4 ดอปเปลอร์

### การทดลองเสมือนจริง



ในห้องทดลองนี้ ประกอบด้วยเด็กคนหนึ่ง กับกระดิ่งอีกอันหนึ่ง ให้เด็กเป็นผู้สังเกต ส่วนกระดิ่งเป็นแหล่งกำเนิดเสียง ทั้งคู่เคลื่อนที่อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน แหล่งกำเนิดเสียงมีความถี่  $f_s$  และความถี่ที่ผู้สังเกตได้ยินเป็น  $f_o$

กำหนดให้ ทิศทางการเคลื่อนที่ไปทางขวาเป็นบวก และทางซ้ายเป็นลบ เริ่มต้นด้วย  $v_o = 4.0$  m/s และ  $v_s = 10.0$  m/s และ  $f_s = 200$  Hz กดปุ่ม RUN แหล่งกำเนิดเสียงจะเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าผู้สังเกต ดังนั้นระยะของผู้สังเกตหรือเด็กกับแหล่งกำเนิดเสียงจะห่างเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และความถี่ที่ได้ยิน  $f_o > f_s$  โดยมี  $Df = f_o - f_s < 0$  [กดที่รูปภาพหรือที่นี่เพื่อเข้าสู่การทดลอง](#)

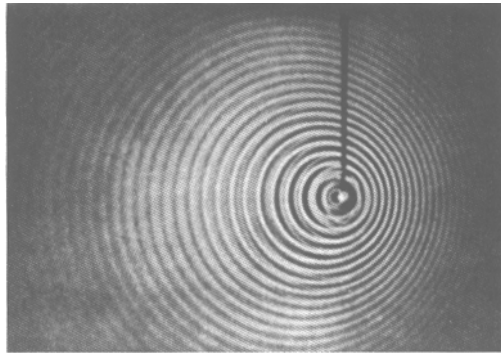
## บทความออนไลน์

### การเรียนรู้การสอนเสียงผ่านทางอินเทอร์เน็ต

- ลักษณะคลื่นเสียง คุณสมบัติพื้นฐานของคลื่นเสียงที่ควรทราบ
- การเกิดเรโซแนนซ์ การเกิดเรโซแนนซ์ของการสั่นของวัตถุ
- ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์และคลื่นกระแทก ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์และการเกิดคลื่นกระแทก

ประเจียด ปฐมภาค ผู้จัดทำ 🌞

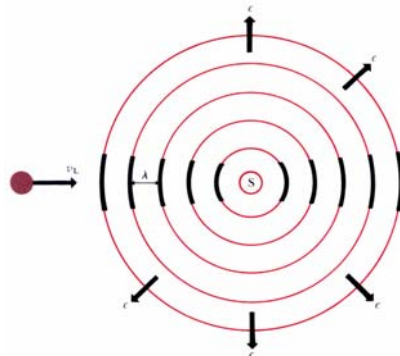
ถ้าคุณฟังเสียงของรถหวอขณะวิ่งเข้าหาตัวคุณ คุณจะรู้สึกว่าเสียงรถหวอแหลมและแสบแก้วหูมาก ทั้ง ๆ ที่ถ้ารถหวออยู่เฉย ๆ เสียงจะไม่แหลมขนาดนี้ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้เราเรียกว่า ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ ผู้ที่อธิบายคนแรกคือ นายคริสเตียน ดอปเพลอร์(1803-1853) ในปี ค.ศ. 1842



รูป 17-4 สร้างคลื่นน้ำขึ้นโดยใช้เครื่องสั่นสะเทือนที่มีความถี่แน่นอนค่าหนึ่ง จุ่มลงในภาคน้ำ และให้เคลื่อนที่ไปทางขวา

จากรูป 17-4 ให้แหล่งกำเนิดของคลื่นเคลื่อนที่ไปทางขวา ถ้าสังเกตให้ดีจะเห็นว่าความยาวคลื่นทางด้านหน้าของแหล่งกำเนิดคลื่นลดลง ส่วนทางด้านหลังกลับเพิ่มขึ้น จากสมการ  $f = \frac{c}{\lambda}$  จะได้ว่าความถี่หน้าแหล่งกำเนิดเพิ่มขึ้นส่วนด้านหลังลดลง

พิจารณาผู้ฟัง L เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว  $v_L$  เข้าหาแหล่งกำเนิดคลื่น รูป 17-5

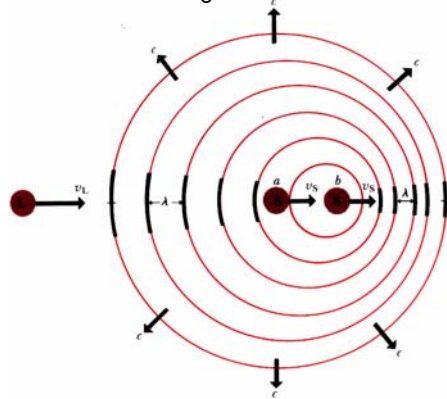


รูป 17-5 ขณะที่ผู้ฟังเคลื่อนที่เข้าหาแหล่งกำเนิดเสียงที่อยู่นิ่ง ผู้ฟังจะได้ยินเสียงที่มีความถี่สูงมากกว่าหยุดนิ่งกับที่

แหล่งกำเนิดให้คลื่นความถี่  $f_s$  และมีความยาวคลื่น  $\lambda = \frac{c}{f_s}$  วงกลมที่ล้อมรอบแหล่งกำเนิดคลื่นคือสันคลื่น แต่ละสันคลื่นห่างกันหนึ่งความยาวคลื่น คลื่นจะเคลื่อนเข้าหาผู้ฟังที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสัมพัทธ์กับผู้ฟัง  $= c + v_L$  ดังรูป 17-5 ฉะนั้น ความถี่  $f_L$  หาได้จาก

$$f_L = \frac{c + v_L}{\lambda} = \frac{c + v_L}{c/f_s} \dots\dots\dots(17-12)$$

หรือ  $f_L = f_s \frac{c + v_L}{c} = f_s \left(1 + \frac{v_L}{c}\right) \dots\dots\dots (17-13)$



รูป 17-6 แหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่ไปทางขวา คลื่นทางด้านหน้าจะถูกอัดให้แคบลง ส่วนคลื่นทางด้านหลังจะขยายตัวกว้างขึ้น

แต่ถ้าแหล่งกำเนิดคลื่นเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว  $v_s$  ดังรูป 17-6 ความยาวคลื่นทางด้านหน้าจะเปลี่ยนเป็น

$$\lambda = \frac{c - v_s}{f_s} \dots\dots\dots (17-14)$$

ส่วนทางด้านหลังจะเปลี่ยนเป็น

$$\lambda = \frac{c + v_s}{f_s} \dots\dots\dots (17-15)$$

ผู้ฟังจะได้ยินความถี่จากการที่แหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่ไปทางขวาดังนี้ แทนสมการ (17-15) ลงในสมการ (17-12) จะได้

$$f_L = \frac{c + v_L}{\lambda} = \frac{c + v_L}{(c + v_s)/f_s}$$

หรือ  $\frac{f_L}{c + v_L} = \frac{f_s}{c + v_s} \dots\dots\dots (17-16)$

ถ้าผู้ฟังและแหล่งกำเนิดเสียงอยู่กับที่  $v_L$  และ  $v_s$  จะเป็นศูนย์ จะได้  $f_L = f_s$  แต่เมื่อไรก็ตามที่แหล่งกำเนิดเสียงหรือผู้ฟังเคลื่อนที่ตรงกันข้ามกับรูปที่เขียน เครื่องหมายก็จะเปลี่ยนตรงกันข้ามไปด้วย ดังจะได้อธิบายในตัวอย่างต่อไปนี้

**ตัวอย่าง 17-2** กำหนดให้  $f_s = 300 \text{ Hz}$  และ  $c = 300 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  ความยาวคลื่นขณะที่แหล่งกำเนิดเสียงยังไม่ได้

เคลื่อนที่หาได้จาก 
$$\frac{c}{f_s} = 1.00 \text{ m}$$
 จงหา

ก) ความยาวคลื่นที่อยู่หน้าแหล่งกำเนิด ดังรูป (17-6) ถ้าความเร็วของแหล่งกำเนิดเสียงเป็น  $30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

หน้าแหล่งกำเนิด

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{c - v_s}{f_s} \\ &= \frac{300 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} - 30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}}{300 \text{ Hz}} \\ &= 0.90 \text{ m} \end{aligned}$$

หลังแหล่งกำเนิด

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{c + v_s}{f_s} \\ &= \frac{300 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} + 30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}}{300 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}} \\ &= 1.10 \text{ m} \end{aligned}$$

ข) ความถี่ที่ผู้ฟังได้ยินถ้าผู้ฟัง  $L$  ดังรูป (17-6) หยุดนิ่ง ส่วนแหล่งกำเนิดเคลื่อนที่ออกจากผู้ฟัง ด้วยความเร็ว  $30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

ให้  $v_L = 0$  และ  $v_s = 30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

$$\begin{aligned} \text{เราจะได้ } f_L &= f_s \frac{c}{c + v_s} \\ &= 300 \text{ Hz} \frac{300 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}}{300 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} + 30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}} \\ &= 273 \text{ Hz} \end{aligned}$$

ค) ความถี่ที่ผู้ฟังได้ยินถ้าแหล่งกำเนิด ดังรูป (17-6) หยุดนิ่ง และผู้ฟังเคลื่อนที่ไปทางซ้ายด้วยความเร็ว  $30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

จากที่เรากำหนดไว้เบื้องต้น ความเร็วของผู้ฟังถ้าไปทางขวาให้เป็นบวก แต่ถ้าไปในทิศตรงกันข้ามคือไปทางซ้ายก็ให้เป็นลบ จะได้

$$v_L = -30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}, \quad v_s = 0$$

$$\begin{aligned}
f_L &= f_s \frac{c + v_L}{f_s} \\
&= 300 \text{ Hz} \frac{300 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} - 30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{300 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}} \\
&= 270 \text{ Hz}
\end{aligned}$$

**ข้อสังเกต** ผู้ฟังจะได้ยินความถี่น้อยกว่าความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียง

เมื่อเขียนถึงความเร็ว  $v_L$ ,  $v_s$  และ  $c$  เราหมายถึง ความเร็วที่สัมพันธ์กับอากาศ อย่างไรก็ตาม คลื่นบางชนิด เช่น คลื่นวิทยุ และคลื่นแสง ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไม่ต้องอาศัยตัวกลางตั้งเช่นอากาศเหมือนคลื่นเสียง แต่ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ก็ยังคงใช้ได้ อย่างไรก็ตาม การคำนวณการเคลื่อนไปของความถี่จากปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ต้องอาศัยทฤษฎีสัมพัทธภาพ ซึ่งจะได้อธิบายต่อไปในบททฤษฎีสัมพัทธภาพ แต่ในบทนี้เราจะขอแนะนำสมการสำเร็จรูปมาใช้ก่อน โดยกำหนดให้  $c$  เป็นความเร็วแสง ผู้สังเกตอยู่นิ่ง และแหล่งกำเนิดแสงเคลื่อนที่ออกจากผู้สังเกตด้วยความเร็ว  $v$  จะได้

$$f_L = \left( \sqrt{\frac{c - v}{c + v}} \right) f_s \quad \dots\dots\dots (17-17)$$

$$f_L < f_s$$

แต่ถ้าแหล่งกำเนิดเคลื่อนที่เข้าหาผู้สังเกตด้วยความเร็ว  $v$  จะได้

$$f_L = \left( \sqrt{\frac{c + v}{c - v}} \right) f_s \quad \dots\dots\dots (17-18)$$

$$f_L > f_s$$

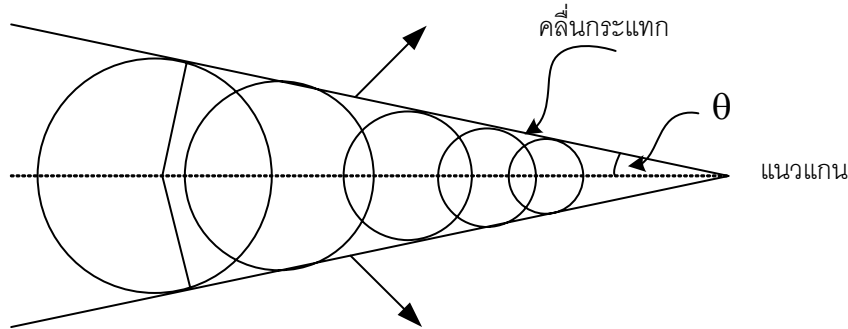
ผลลัพธ์ที่ได้มีลักษณะคล้าย ๆ กับของคลื่นเสียง แตกต่างกันไปเพียงแต่ในรูปของสมการการคำนวณเท่านั้น

ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ของแสงนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมเพื่อตรวจวัดความเร็วของรถยนต์ได้ โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าปืนเรดาร์ ยิงลำแสงออกไปสะท้อนกับรถที่ต้องการตรวจจับความเร็ว คลื่นที่สะท้อนออกจากตัวรถ ทำหน้าที่เสมือนแหล่งกำเนิดที่เคลื่อนที่ได้ ฉะนั้นความถี่จะเปลี่ยนไป เมื่อเทียบกับความถี่เดิมเราสามารถคำนวณกลับไปหาความเร็วของรถได้ ซึ่งภายในตัวปืนจะมีเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กติดอยู่ ความเร็วจะถูกแปลงออกเป็นตัวเลข ถ้ารถคันนี้ซึ่งเกินกว่าความเร็วที่กำหนด ตำรวจจราจรก็จะวิทยุสั่งให้จุดสกัดข้างหน้าปรับรถคันนี้ตามระเบียบ

ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ของแสงมีความสำคัญมากทางด้านดาราศาสตร์ ได้มีการตรวจพบว่าความถี่ของแสงจากดาวฤกษ์อันไกลโพ้น มีการเคลื่อนไปของความถี่ ทำให้เราสามารถคำนวณหาความเร็วของดาวฤกษ์ดวงนั้นได้ จากการสังเกตช่วยให้นักวิทยาศาสตร์ยืนยันทฤษฎีการกำเนิดของจักรวาลที่เชื่อกันมานานแล้วว่าเกิดจากการระเบิดครั้งใหญ่เมื่อหลายพันล้านปีก่อน ซึ่งขณะนั้นมันกำลังขยายตัวออกไปอยู่ตลอดเวลา

## 17-5 คลื่นกระแทก

เมื่อต้นกำเนิดเสียงเคลื่อนที่เร็วกว่าความเร็วของคลื่นเสียง เช่น เครื่องบินที่บินเร็วกว่าเสียง เรือที่แล่นเร็วกว่าคลื่นน้ำ เป็นต้น



รูป 14-7

พิจารณาในสามมิติ หน้าคลื่นกระแทกจะเป็นรูปกรวย ( Cone ) เช่น คลื่นกระแทกที่เกิดจากเครื่องบินที่บินเร็วเหนือเสียงในอากาศ

พิจารณาในสองมิติ หน้าคลื่นกระแทกจะเป็นแนวเส้นตรง เช่น คลื่นกระแทกที่เกิดจากเรือที่แล่นเร็วกว่าคลื่นน้ำ

หน้าคลื่นของคลื่นกระแทกเรียกว่า **ซองคลื่น** ( Envelope )

อัตราส่วนของอัตราเร็วของต้นกำเนิดคลื่นต่ออัตราเร็วของคลื่น เรียกว่า **เลขมัค** ( Mach Number )

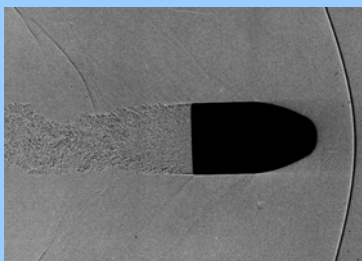
$$\text{Mach Number} = \frac{v_s}{v} = \frac{1}{\sin \theta}$$

เมื่อ  $v_s$  = อัตราเร็วของต้นกำเนิดคลื่น มีหน่วยเป็น m / s

$v$  = อัตราเร็วของคลื่น มีหน่วยเป็น m / s

$\theta$  = มุมระหว่างแนวแกนของคลื่นกระแทกกับหน้าคลื่นของคลื่นกระแทก

### บทความออนไลน์



#### ผลของดอปเปลอร์และโซนิคบูม

เชื่อว่าเกือบทุกคนคงเคยได้ยินเสียงรถ **บีบแตร** และวิ่งผ่านตัวคุณไป ให้สังเกตว่าขณะที่รถพุ่งเข้าหาตัวคุณเสียงจะแหลมเสียดแก้วหู แต่พอผ่านตัวคุณไปแล้วเสียงจะทุ้มลง ผู้ที่สามารถอธิบายปรากฏการณ์นี้ได้เป็นคนแรก คือ คริสเตียน ดอปเปลอร์ ในปี ค.ศ. 1842 และเรียกว่าปรากฏการณ์ดอปเปลอร์

[คลิกอ่านต่อครับ](#)



## วิดีโอเพื่อการศึกษา



[การบินด้วยความเร็วเสียงเป็นครั้งแรกของโลก](#)



### ผู้พิชิตความเร็วเสียง

นักบินที่พยายามแข่งขันด้านความเร็วเพื่อที่จะเป็นคนแรกของโลกที่บินได้เร็วกว่าเสียง จะต้องพบกับอุปสรรค ที่หน้าคลื่นไปแออัดกันอย่างมากมายขณะที่ความเร็วของเครื่องบินเข้าใกล้ความเร็วเสียง พวกนักบินจึงเปรียบปรากฏการณ์นี้เหมือนกับกำแพง ซึ่งทุกคนมีความใฝ่ฝันว่าจะต้องทะลุผ่านกำแพงนี้ไปได้

เมื่อวันที่ 14 ตุลาคม 1947 นาย ชัค ยีเกอร์ (Chuck Yeager) เป็นคนแรกที่สามารถทะลุกำแพงเสียงนี้ ด้วยการขับเครื่องบินจรวด X-1

## ทดสอบก่อนและหลังเรียน

วิธีทำ ให้ ใสชื่อกัน สกูล เลือกวิชาที่สอบ และจำนวนข้อ แต่ต้องไม่เกินจากที่กำหนดไว้ เช่น กำหนดไว้ 10 ข้อ เวลาเลือกจำนวนข้อ ให้เลือก 5 และ 10 ข้อไม่เกินจากนี้ เป็นต้น เมื่อทำเสร็จสามารถดูคะแนนจากรายละเอียดของผู้ทำข้อสอบได้ทันที เรื่อง เสียง

คลิกเข้าสู่ [ทดสอบก่อนและหลังเรียน](#)

## บรรยายลงในกระดานฟิสิกส์ราชวมงคล



ภาพเครื่องบินไอพ่น F-18 บินผ่านทะลุกำแพงเสียง หรือบินเร็วเหนือเสียง จะเห็นคลื่นกระแทกเกิดขึ้นเป็นแนวกรวยอยู่ทางด้านหลัง [กดที่รูปภาพหรือที่นี่เพื่อดูภาพขนาดใหญ่](#) ภาพนี้ถ่ายไว้

วันที่ 1 กรกฎาคม 1999 ให้นักศึกษาบรรยายภาพนี้ลงใน [กระดานฟิสิกส์ราชวมงคลใหม่](#)

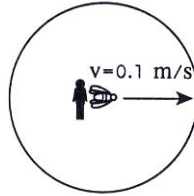
## แบบฝึกหัดท้ายบทพร้อมเฉลย

แบบฝึกหัดท้ายบทพร้อมเฉลย เรื่องธรรมชาติของคลื่นเสียง [คลิกครับ](#)

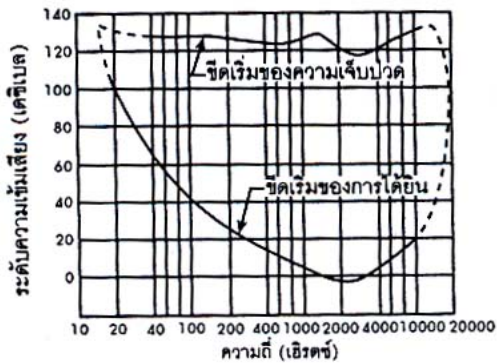
## แบบฝึกหัดเรื่องเสียง

- คลื่นเสียงเคลื่อนที่ไปในอากาศด้วยอัตราเร็วคงที่  $v$  พบว่าเมื่อเคลื่อนไปได้ 0.03 วินาที เฟสของคลื่นเสียงเปลี่ยนไป  $3\pi/2$  เรเดียน ในระยะทาง 10.5 วินาที จงหา
  - ความถี่
  - ความยาวคลื่น และ
  - อัตราเร็วของคลื่นเสียง[ตอบ ก) 25 Hz ข) 14 m ค) 350 m/s ]
- อัตราเร็วของคลื่นอัด (คลื่นเสียง) ในน้ำมีค่าเท่าไร ถ้าโมดูลัสเชิงปริมาตรของน้ำมีค่า  $2.2 \times 10^9 \text{ N/m}^2$   
[ตอบ 1.5 km/s]
- มีการระเบิดเกิดขึ้นที่ระยะห่าง 6.00 km จากคนหนึ่ง คนหนึ่ง จะได้ยินเสียงหลังการระเบิดนานเท่าไร สมมติว่าอุณหภูมิขณะนั้นเท่ากับ  $14^\circ\text{C}$  เนื่องจากอัตราเร็วของเสียงเพิ่มขึ้น  $0.61 \text{ m/s}$  ทุกๆ  $1^\circ\text{C}$   
[ตอบ 17.6 s]
- ส้อมเสียงอันหนึ่งส่วนที่ความถี่ 284 Hz ในอากาศ จงคำนวณหาความยาวคลื่นของเสียงที่ปล่อยออกมาที่  $25^\circ\text{C}$  [ตอบ 1.22 m]
- สามวินาทีหลังจากยิงปืน ผู้ยิงปืนจึงได้ยินเสียงสะท้อนกลับมา ผิวที่สะท้อนเสียงกลับมาอยู่ห่างจากตำแหน่งยิงปืนเท่าไร [ตอบ 510 m]
- จงคำนวณหาอัตราเร็วของเสียงในแก๊สไนออน ที่  $27^\circ\text{C}$  สำหรับ ไนออน  $M = 20.18 \text{ kg/kmol}$   
จากสูตร  $v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$  โดยที่  $\gamma = 1.67$  [ตอบ 454 m/s]
- เสียง ๑ หนึ่งมีความเข้ม  $3.00 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2$  ระดับความเข้มเสียงนี้ในหน่วย dB มีค่าเท่าไร  
[ตอบ 44.8 dB]
- มิเตอร์วัดระดับเสียงเครื่องหนึ่ง อ่านระดับเสียงในห้องหนึ่งได้ 85.0 dB ความเข้มของเสียงในห้องนั้นมีค่าเท่าไร [ตอบ  $3.16 \times 10^{-4} \text{ W/m}^2$ ]
- นักพิมพ์ดีดคนหนึ่งซึ่งกำลังพิมพ์ดีดอย่างเอาเป็นเอาตายในห้องๆหนึ่ง ทำให้เกิดเสียงที่มีระดับเสียงเฉลี่ยเท่ากับ 60.0 dB ถ้านักพิมพ์ดีดที่ส่งเสียงดังเท่ากันเช่นนี้สามคนกำลังทำงานพร้อมกัน ระดับเดซิเบลจะเป็นเท่าไร [ตอบ 60.5 dB]

10. แผลงตัวหนึ่งบินหนีในแนวเส้นตรงด้วยความเร็ว 0.1 เมตร/วินาที จากคนๆหนึ่ง ซึ่งยืนนิ่งในที่โล่ง  
 อยากทราบว่า คนนั้นจะได้ยินเสียงการบินของแผลงนั้นอยู่ได้นานกี่วินาที กำหนดให้ อัตราที่พลังงาน  
 เสียงที่แผลงนั้นส่งออกมาในขณะที่บินมีค่าเท่ากับ  $4\pi \times 10^{-12}$  วัตต์ ทั้งนี้กำหนดให้ด้วยว่า เสียงที่  
 เบาที่สุดที่มนุษย์ได้ยินมีความเข้มเสียงเป็น  $10^{-12}$  วัตต์/เมตร<sup>2</sup> [ ตอบ 10 วินาที ]



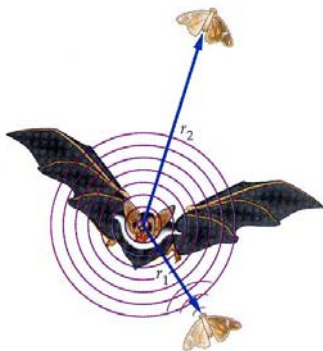
11.



จากกราฟแสดงช่วงความถี่และระดับความเข้มเสียงที่  
 หูปกติสามารถรับรู้ สำหรับเสียงที่มีความถี่ 40 Hz  
 ความเข้มเสียงที่คนเริ่มได้ยินมีค่าเท่าใด ( ถ้าความ  
 เข้มเสียงต่ำสุดที่คนได้ยินเท่ากับ  
 $10^{-12}$  วัตต์/เมตร<sup>2</sup> ) [ ตอบ  $10^{-6}$  วัตต์/เมตร<sup>2</sup> ]

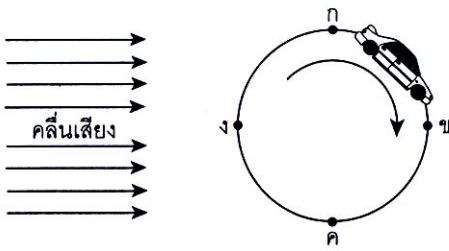
12. ในการเปรียบเทียบเสียงของเปียโนระดับเสียง C โดยเทียบกับส้อมเสียงความถี่ 256.0 Hz ถ้าได้  
 ยืนเสียงบีตส์ความถี่ 3.0 ครั้งต่อวินาที ความถี่ที่เป็นไปได้ของเปียโนมีค่าเท่าใด [ ตอบ 253 หรือ  
 259 Hz]
13. ในห้องทดลองเสมือนจริงเรื่องบีตส์ ลำโพงตัวที่ 4 เมื่อเปิดพร้อมกับลำโพงตัวที่ 5 เกิดเสียงบีตส์กี่ครั้ง  
 ต่อวินาที

14.



มีคนกล่าวว่าเทคโนโลยีเรดาร์มาจากค้างคาว อธิบายว่าเป็นอย่างไร

15.

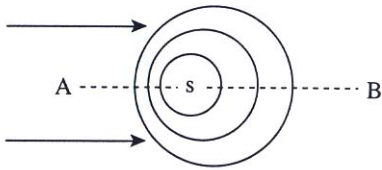


ถ้าท่านนั่งอยู่ในรถยนต์ที่กำลังเคลื่อนที่เป็นรูปวงกลมในทิศตามเข็มนาฬิกาด้วยอัตราเร็วคงที่ และมีคลื่นเสียงความถี่เดียวเคลื่อนที่เข้าหารถยนต์ตามรูป ท่านจะได้ยินเสียงความถี่สูงสุดเมื่อท่านอยู่ที่ตำแหน่งใด

1. ก
2. ข
3. ค
4. ง

[ ตอบ ค ]

16.



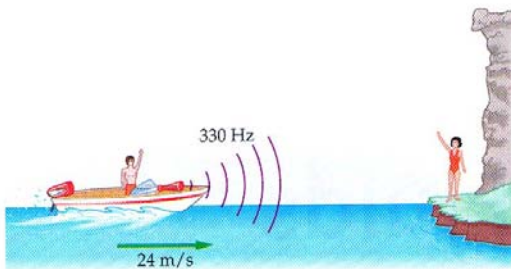
S เป็นจุดกำเนิดคลื่นที่ผิวน้ำ ซึ่งไหลอย่างสม่ำเสมอจาก A ไป B ถ้าอัตราเร็วที่น้ำไหลเป็น  $\frac{1}{3}$  เท่า ของอัตราเร็วที่คลื่นกระจายออกไปในน้ำนิ่ง จงหาว่าความยาวคลื่นของคลื่นที่ผ่าน B จะเป็นกี่เท่าของคลื่นที่ผ่าน A

[ ตอบ 2 ]

17. รถยนต์คันหนึ่งแล่นด้วยอัตราเร็ว 30.0 m/s เข้าหาหูดจากโรงงานที่มีความถี่ 500 Hz ก) ถ้าอัตราเร็วของเสียงในอากาศเท่ากับ 340 m/s ความถี่ปรากฏของหูดที่คนขับได้ยินมีค่าเท่าไร ข) ทำซ้ำกรณีที่รถยนต์เคลื่อนที่ออกจากโรงงานด้วยอัตราเร็วเท่าเดิม

[ ตอบ ก) 544 Hz ข) 456 Hz ]

18.




สมชายขับเรือไปหาสมศรีบนเกาะข้าง ด้วยความเร็ว 24 m/s ขณะที่เขาเห็นสมศรียืนอยู่บนหน้าผาดังรูป เขากดแตรด้วยความถี่ 330 Hz ก) ความถี่ที่คู่สมศรีได้ยินเป็นเท่าไร ข) ความถี่ที่สมชายได้ยินจากเสียงสะท้อน

19. เครื่องบินลำหนึ่งบินด้วยความเร็ว  $\frac{10}{3}$  เท่าของความเร็วเสียงในอากาศ ถ้าความเร็วเสียงในบรรยากาศสม่ำเสมอ ผู้ที่อยู่ใต้ทางบินของเครื่องบินนั้น จะเริ่มได้ยินเสียงเมื่อเครื่องบินผ่านแนวตั้งไปแล้วเป็นมุมเท่าใด [ ตอบ 53.13 องศา ]

20. เครื่องบินไอพ่นลำหนึ่งบินด้วยความเร็ว 2 มัค ผ่านหัวชายคนหนึ่งซึ่งยืนอยู่บนพื้นโลก ถ้าเครื่องบินไอพ่นอยู่สูงจากพื้นโลก 1200 เมตร หลังจากเครื่องบินไอพ่นบินผ่านหัวชายคนนั้นนานกี่วินาที ชายคนนั้นจึงจะได้ยินเสียง (กำหนดความเร็วเสียงในอากาศ = 347 เมตร/วินาที)

[ ตอบ 3.06 วินาที ]

<b>หนังสืออิเล็กทรอนิกส์</b>	
ฟิสิกส์ 1(ภาคกลศาสตร์(	ฟิสิกส์ 1 (ความร้อน)
ฟิสิกส์ 2	กลศาสตร์เวกเตอร์
โลหะวิทยาฟิสิกส์	เอกสารคำสอนฟิสิกส์ 1
ฟิสิกส์ 2 (บรรยาย(	แก้ปัญหาฟิสิกส์ด้วยภาษา C
ฟิสิกส์พิศวง	สอนฟิสิกส์ผ่านทางอินเทอร์เน็ต
ทดสอบออนไลน์	วิดีโอการเรียนการสอน
หน้าแรกในอดีต	แผ่นใสการเรียนการสอน
เอกสารการสอน PDF	กิจกรรมการทดลองทางวิทยาศาสตร์
แบบฝึกหัดออนไลน์	สุดยอดสิ่งประดิษฐ์
<b>การทดลองเสมือน</b>	
บทความพิเศษ	ตารางธาตุ(ไทย1) 2 (Eng)
พจนานุกรมฟิสิกส์	ลับสมองกับปัญหาฟิสิกส์
ธรรมชาติมหัศจรรย์	สูตรพื้นฐานฟิสิกส์
การทดลองมหัศจรรย์	ดาราศาสตร์ราชมงคล
<b>แบบฝึกหัดกลาง</b>	
แบบฝึกหัดโลหะวิทยา	แบบทดสอบ
ความรู้รอบตัวทั่วไป	อะไรเอ่ย ?
ทดสอบ)เกมเศรษฐี(	คติปริศนา
ข้อสอบเอนทรานซ์	เฉลยกลศาสตร์เวกเตอร์
คำศัพท์ประจำสัปดาห์	
<b>ความรู้รอบตัว</b>	
การประดิษฐ์ของโลก	ผู้ได้รับโนเบลสาขาฟิสิกส์
นักวิทยาศาสตร์เทศ	นักวิทยาศาสตร์ไทย
ดาราศาสตร์พิศวง	การทำงานของอุปกรณ์ทางฟิสิกส์
การทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ	

 <b>การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 1</b> <span style="float: right;"></span>	
1. การวัด	2. เวกเตอร์
3. การเคลื่อนที่แบบหนึ่งมิติ	4. การเคลื่อนที่บนระนาบ
5. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน	6. การประยุกต์กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน
7. งานและพลังงาน	8. การดลและโมเมนตัม
9. การหมุน	10. สมดุลของวัตถุแข็งเกร็ง
11. การเคลื่อนที่แบบคาบ	12. ความยืดหยุ่น
13. กลศาสตร์ของไหล	14. ปริมาณความร้อน และ กลไกการถ่ายโอนความร้อน
15. กฎข้อที่หนึ่งและสองของเทอร์โมไดนามิก	16. คุณสมบัติเชิงโมเลกุลของสสาร
17. คลื่น	18. การสั่น และคลื่นเสียง
 <b>การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 2</b> <span style="float: right;"></span>	
1. ไฟฟ้าสถิต	2. สนามไฟฟ้า
3. ความกว้างของสายฟ้า	4. ตัวเก็บประจุและการต่อตัวต้านทาน
5. ศักย์ไฟฟ้า	6. กระแสไฟฟ้า
7. สนามแม่เหล็ก	8. การเหนี่ยวนำ
9. ไฟฟ้ากระแสสลับ	10. ทรานซิสเตอร์
11. สนามแม่เหล็กไฟฟ้าและเสาอากาศ	12. แสงและการมองเห็น
13. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ	14. กลศาสตร์ควอนตัม
15. โครงสร้างของอะตอม	16. นิวเคลียร์
 <b>การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ทั่วไป</b> <span style="float: right;"></span>	
1. จลศาสตร์ (kinematic)	2. จลพลศาสตร์ (kinetics)
3. งานและโมเมนตัม	4. ซิมเปิลฮาร์โมนิก คลื่น และเสียง
5. ของไหลกับความร้อน	6. ไฟฟ้าสถิตกับกระแสไฟฟ้า
7. แม่เหล็กไฟฟ้า	8. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับแสง
9. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ อะตอม และนิวเคลียร์	

