บทที่ 8
แสงและเสียง

1. แสง

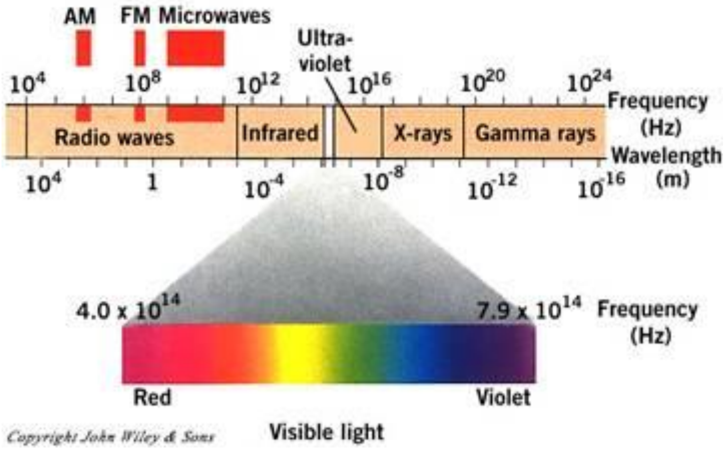
ก่อนศตวรรษที่ 17 การศึกษาเรื่องแสงเชื่อกันว่า แสงเป็นอนุภาคที่ถูกส่งออกมาจากต้นกำเนิดแสง แสงสามารถผ่านทะลุวัตถุโปร่งใสและสะท้อนจากผิวของวัตถุทึบแสงได้ เมื่ออนุภาคเหล่านี้ผ่านเข้าสู่ตาจะทำให้เกิดความรู้สึกในการมองเห็น

นิวตัน (Newton) ได้เสนอทฤษฎีอนุภาคของแสง (particle theory) ซึ่งสามารถนำไปใช้อธิบายปรากฏการณ์สะท้อนและการหักเหของแสง

ฮอยเกนส์ (Christain Huygen) ได้เสนอทฤษฎีเกี่ยวกับคลื่นแสง (Waves Theory) กล่าวว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และเดินทางในลักษณะของคลื่น นอกจากนี้ยังได้แสดงให้เห็นว่า กฎการสะท้อน และการหักเหสามารถอธิบายได้โดยใช้ทฤษฎีคลื่นแสง

ทอมัส ยัง (Thomas Young) ได้ค้นพบปรากฏการณ์การแทรกสอดของแสง

เฟรสเนล (Augustin Fresnel) ได้ทำการทดลอง เกี่ยวกับการ แทรกสอด และการเลี้ยวเบนของแสง แสงช่วงที่ตาสามารถ มองเห็นมีค่าอยู่ระหว่าง 400 – 700 นาโนเมตร และมีความถี่อยู่ในช่วง 103-105 เฮิรตซ์ โดยแสงสีม่วงซึ่งมีความยาวคลื่นน้อยที่สุด หรือ ความถี่สูงสุด ส่วนแสงสีอื่น ๆ ให้สเปคตรัมของแสงในช่วงนี้ก็มีความยาวคลื่นสูงขึ้นตามลำดับ จนถึงแสงสีแดงมีความยาวคลื่นมากที่สุดหรือมีความถี่ต่ำที่สุด ดังรูป



คลื่นที่มีความถี่ต่ำกว่าแสงสีแดงเรียกว่า ***“อินฟราเรด”*** *(infrared)* ส่วนคลื่นที่มีความถี่สูงกว่าแสงสีม่วงเรียกว่า ***“อัลตราไวโอเลต”*** *(Ultraviolet)*

1. การส่องสว่างและการเปรียบเทียบความเข้มแสง

แสงเป็นพลังงาน สามารถทำให้เกิดความสว่างบนผิววัตถุ โดยปริมาณการส่องสว่างของแสงมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับ

ก. ความเข้มแสงของแหล่งกำเนิด

ข. ระยะทางจากแหล่งกำเนิดแสงกับพื้นที่ที่แสงตกกระทบ

ค. มุมตกกระทบของรังสีแสง

ความสว่าง (Illuminance) ของผิวใด ๆ หมายถึงค่าความสว่างที่ตกบนพื้นที่ผิวต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ถ้าพิจารณาผิวที่อยู่ห่างจากหลอดไฟที่มีกำลังส่องสว่าง 1 แคลเดลลา เป็นระยะทาง 1 เมตร ความเข้มแห่งการส่องสว่างจะมีค่า 1 ลักซ์(lux) โดยความเข้มแห่งการส่องสว่างจะแปรผกผันกับระยะทางกำลังสอง

ให้ E คือความสว่าง (lux)

I คือกำลังส่องสว่าง (แคนเดลลา,cd) โดยที่ I = , P แทนกำลังของ หลอดไฟ (Watt) และ 4?R2 คือ พื้นที่ผิวที่แสงตกกระทบ(m2)

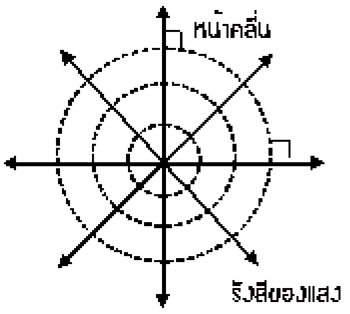
R คือระยะห่างจากหลอดไฟถึงผิวที่พิจารณา (m)

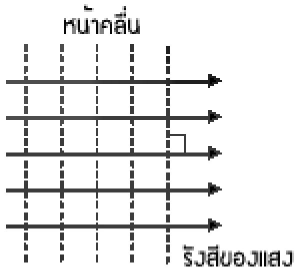
$$E = I/R^2 \qquad (1)$$

2. หน้าคลื่นและรังสีของแสง

เมื่อเกิดคลื่นบนผิวน้ำจะเห็นหน้าคลื่นแผ่ออกจากจุดกำเนิดคลื่นเป็นรูปวงกลม แต่ถ้าเป็นแสง โดยแหล่งกำเนิดแสงเป็นจุดก็จะแผ่หน้าคลื่นออกไปเป็นรูปทรงกลม ถ้าลากเส้นจากจุดกำเนิดคลื่นออกไปในแนวตั้งฉากกับหน้าคลื่น เส้นที่ลากออกไปนี้เราเรียกว่า รังสีของแสง

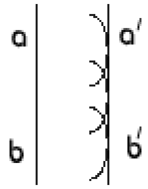
ในกรณีที่แหล่งกำเนิดแสงอยู่ไกลมาก ๆ หน้าคลื่นของแสงจะเป็นหน้าคลื่นระนาบ ดังนั้นรังสีของแสงจึงเป็นเส้นตรงขนานกัน ซึ่งรังสีของแสงสามารถบอกถึงลักษณะ การเคลื่อนที่ของคลื่นและหน้าคลื่นได้ ดังนั้นในการศึกษาเกี่ยวกับแสงจึงใช้รังสีของแสงแทนหน้าคลื่น





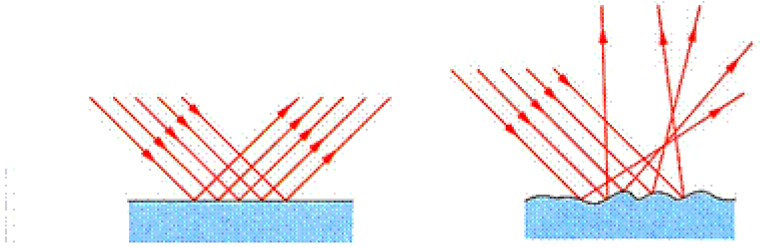
2. หลักของฮอยเกนส์

หลักของฮอยเกนส์ กล่าวว่า “ทุก ๆ จุดบนหน้าคลื่นเดียวกัน อาจถือว่าเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นชุดใหม่ ที่แผ่ออกไปทุกทิศทางด้วยอัตราเร็วเท่าเดิม” ดังรูป



3. **การสะท้อนของแสง**

เมื่อแสงเดินทางจากตัวกลางหนึ่งตกกระทบกับผิวของอีกตัวกลางหนึ่ง แสงจะเกิดการสะท้อนขึ้นกลับมาในตัวกลางเดิม โดยแสงที่สะท้อนออกมาจะเปลี่ยนแปลงตามพื้นผิว โดยถ้าพื้นผิวเรียบแสงสะท้อนจะเป็นระเบียบ แต่ถ้าผิวขุรขระ แสงสะท้อนจะกระจัดกระจายไม่เป็นระเบียบ ดังรูป



- **ธรรมชาติของเสียง**

เสียงเกิดจากการสั่นของวัตถุ

เสียงเป็นพลังงานรูปหนึ่งที่ทำให้ประสาทหูเกิดความรู้สึกได้

การเคลื่อนที่ของเสียงจากตัวก่อกำเนิด เสียงต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายโอนพลังงาน การสั่นของตัวก่อกำเนิดเสียงนั้นไปยังสิ่งต่าง ๆ

การเกิดคลื่นเสียงเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งได้ จะต้องประกอบด้วย

1. มีแหล่งกำเนิดเสียง
2. มีการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียง
3. มีตัวกลางให้คลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่าน

เสียงกับการแทรกสอด

ถ้าคลื่นเสียงเคลื่อนที่มาพบกันจะมีการแทรกสอดขึ้น ณ จุดที่พบกันนั้น ผลที่ได้ คือ การรวมคลื่นเข้าด้วยกัน

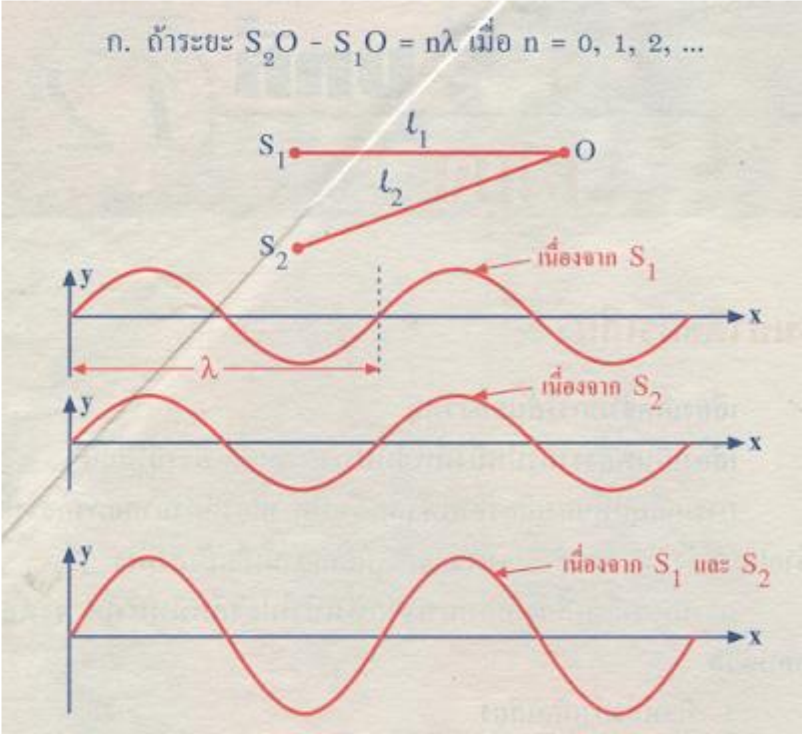
ในกรณีที่คลื่นเสียง 2 คลื่น ที่มีความยาวคลื่น

ความถี่ (f) และแอมพลิจูด (A) เท่ากัน

เคลื่อนที่ในอากาศในทางเดียวกัน (เช่น ไปทางที่ X เป็นบวก) จาก Source 2 source

(S_1 และ S_2)

Observer ที่ O จะได้รับคลื่นเสียงแทรกสอดกันในลักษณะที่สำคัญ 2 ประการ คือ



แอมพลิจูดของคลื่นรวมที่ O จะมีค่ามากที่สุด ทั้งนี้ เพราะคลื่นทั้งสองพบกันในลักษณะที่ Phase ไม่ต่างกันเลยเนื่องจากความดังของเสียงขึ้นอยู่กับความเข้มของเสียง ซึ่งเป็นปฏิภาคโดยตรงกับกำลังสองของแอมพลิจูด ดังนั้น ผลรวมของคลื่นทั้งสองจึงทำให้ได้ยินเสียงดังที่สุด และ เราเรียกการแทรกสอดนี้ว่า การแทรกสอดแบบเสริมสร้าง (Constructive Interference)

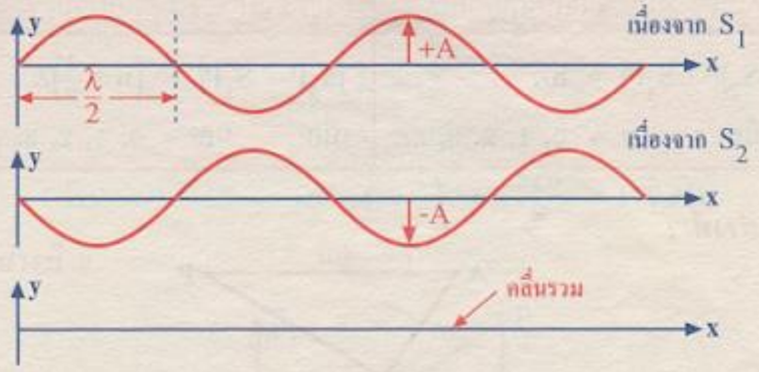
สูตร Path difference $= n\lambda$

$$L_2 - L_1 = n\lambda$$

$$d \sin\theta = n\lambda$$

เมื่อ $n = 0, 1, 2, 3, \ldots$

ข. ถ้าระยะ $S_2O - S_1O = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda$ เมื่อ $n = 0, 1, 2, \ldots$



ถ้าผลรวมคลื่นที่จุด O จะมีแอมพลิจูดเป็นศูนย์ทั้งนี้เพราะคลื่นทั้งสองมี Phase ต่างกันอยู่

π Radian

ทำให้ไม่ได้ยินเสียง และเราเรียกการแทรกสอดนี้ว่า การแทรกสอดแบบหักล้าง (Destructive Interference)

สูตร Path difference $= \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda$

หรือ $L_2 - L_1 = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda$

หรือ $d \sin\theta = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda$

เมื่อ $n = 0, 1, 2, 3, \ldots$

สรุปเกี่ยวกับการแทรกสอด

สูตรการแทรกสอด	
จำนวนปฏิบัพ	จำนวนแนวบัพ
$d \sin\theta = n\lambda$ $n = 0, 1, 2, 3, \ldots$	$d \sin\theta = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda$ $n = 0, 1, 2, 3, \ldots$

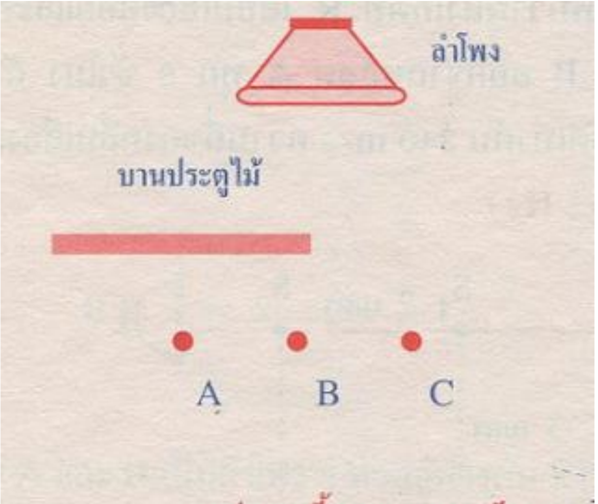
สูตรการแทรกสอด	
ถ้าจุด P ใด ๆ อยู่บนแนวปฏิบัพ	ถ้าจุด P ใด ๆ อยู่บนแนวบัพ
$\lvert S_2P - S_1P \rvert = n\lambda$ เมื่อ $n = 0, 1, 2, 3, \ldots$	$\lvert S_2P - S_1P \rvert = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda$ เมื่อ $n = 0, 1, 2, 3, \ldots$

เสียงกับการเลี้ยวเบน

1. การได้ยินเสียงดัง (เช่น เสียงปืน) เมื่ออยู่อีกมุมหนึ่งของตึก เป็นปรากฏการณ์อย่างหนึ่งที่แสดงว่าเสียงเลี้ยวเบนได้

2. การเลี้ยวเบนของเสียงผ่านช่องแคบเดียว เสียงจะเลี้ยวเบนได้ดีก็ต่อเมื่อความกว้างของช่องเดียวมีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่น ถ้าความยาวคลื่นเสียงมีค่าน้อย (ความถี่สูง) เมื่อเทียบกับความกว้างของช่องเดียว เสียงจะเลี้ยวเบนไม่ดี

3. การเลี้ยวเบนและการแทรกสอด มักเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นพร้อมกัน



รูปการเลี้ยวเบนของเสียง

จากรูป ณ ตำแหน่ง A ซึ่งอยู่ด้านหลังสิ่งกีดขวาง จะดังน้อยกว่าเสียงที่ได้ยิน ณ ตำแหน่ง B และ C อธิบายได้ว่า เสียงเคลื่อนที่อ้อมสิ่งกีดขวางไปยังด้านหลังของสิ่งกีดขวางได้ (แสดงสมบัติการเลี้ยวเบนได้)

อัตราเร็วของเสียง

อัตราเร็วของเสียงในตัวกลางต่าง ๆ มีขนาดไม่เท่ากัน มีปัจจัยดังนี้

1. ตัวกลาง อัตราเร็วของเสียงในของแข็งมากกว่าในของเหลว อัตราเร็วของเสียงในของเหลวมากกว่าในแก๊ส

2. ความหนาแน่นของตัวกลาง หนาแน่นมาก ความเร็วมาก หนาแน่นน้อย ความเร็วน้อย

3. อุณหภูมิของตัวกลาง อัตราเร็วของเสียงเป็นปฏิภาคโดยตรงกับรากที่สองของอุณหภูมิสมบูรณ์ ขณะนั้น

ถ้าให้ v = ความเร็วเสียงในอากาศ

T = อุณหภูมิสมบูรณ์ ($t\,^{\circ}C + 273$)

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

อัตราเร็วของเสียงในอากาศที่ 0 องศาเซลเซียส ประมาณ 331 m/s และถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนไป 1 องศาเซลเซียส อัตราเร็วของเสียงจะเปลี่ยนไป 0.6 m/s ในอากาศที่อุณหภูมิไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส

$$\therefore v_t = v_0 + 0.6t$$

หรือ $$v_t = 331 + 0.6t$$ หน่วย m/s

เมื่อ v_t = อัตราเร็วของเสียงในอากาศที่ $t\,^{\circ}C$

v_0 = อัตราเร็วของเสียงในอากาศที่ $0\,^{\circ}C$

ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่น (λ) ความถี่ (f) และอัตรา เร็วเสียง (v) ยังคงเป็นไปตามคุณสมบัติพื้นฐานทั่วไป คือ

$$v = f\lambda$$ หน่วย m/s

เมื่อ v = ความเร็วของคลื่นเสียง

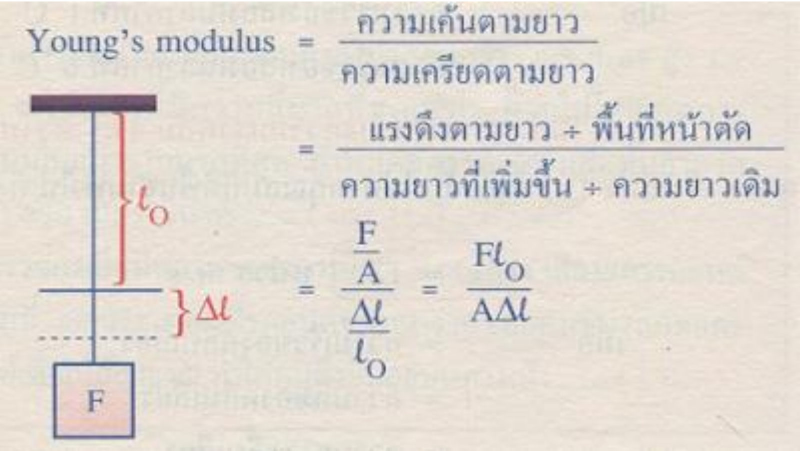
f = ความถี่ของคลื่นเสียง

λ = ความยาวคลื่นเสียง

ข้อสังเกต

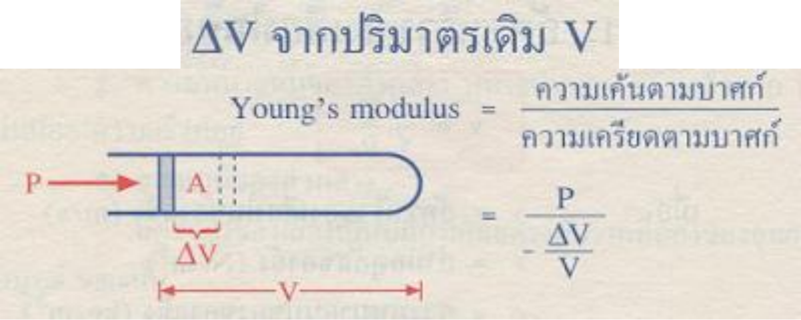
1. สำหรับวัตถุที่เป็นของแข็ง

เช่น เส้นลวดที่มีพื้นที่หน้าตัด A จะมีความยืดหยุ่นจำเพาะ ตามยาวหรือที่เรียกว่า Young's modulus ของวัตถุ



2. สำหรับวัตถุที่เป็นของไหล

เราวัดความยืดหยุ่นด้วยความยืดหยุ่นตามบาศก์ หรือที่เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า มอดูลัสของปริมาตร (Bulk modulus) เช่น ถ้าให้ความกดดัน P กดลูกสูบพื้นที่หน้าตัด A ทำให้ปริมาตรของอากาศในกระบอกสูบลดลง



เครื่องหมาย (-) แสดงว่าปริมาตรลดลงเมื่อเพิ่มความดัน

การเคลื่อนที่ของเสียงผ่านตัวกลางเสียงต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ ลักษณะโดยทั่วไปของคลื่นเสียงเป็นดังนี้

1.เสียงเกิดจากการสั่นสะเทือนของวัตถุ มีผลให้อนุภาคของตัวกลางที่เกิดเสียงเคลื่อนที่ผ่านเกิดการสั่นในลักษณะของการอัดและขยายไปถึงหูเกิดการได้ยิน

2. เสียงเป็นคลื่นเพราะมีคุณสมบัติของคลื่นครบถ้วน คือ มีการสะท้อน การหักเห การแทรกสอด และการ

เลี้ยวเบน

3. เสียงเป็นคลื่นตามยาว เพราะอนุภาคของตัวกลางสั่นในทิศทางเดียวกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น

4. ช่วงอัดเป็นช่วงที่เกิดจากการที่โมเลกุลอากาศรวมตัวกัน ทำให้บริเวณนั้นเป็นช่วงที่มีความดันสูงกว่าปกติ

5. ช่วงขยายเป็นช่วงที่เกิดจากการที่โมเลกุลอากาศแยกห่างจากกัน ทำให้บริเวณนั้นเป็นช่วงที่มีความดันต่ำ

การสะท้อนของเสียงเมื่อคลื่นเสียงจากต้นกำเนิดเสียงเดินทางจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่งที่มีความหนาแน่นต่างกัน เสียงจะเกิดการสะท้อน เช่น เสียงเดินทางจากอากาศไปยังกำแพง

1. เสียงเดินทางจากตัวกลางที่หนาแน่นมากไปยังตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า จะทำให้เสียงสะท้อนเพียงบางส่วนเท่านั้น โดยที่คลื่นสะท้อนกลับจะมีเฟสเดิม ส่วนที่เหลือจะเคลื่อนที่ต่อไป

2. เสียงเดินทางจากตัวกลางที่หนาแน่นน้อยกว่าไปยังตัวกลางที่หนาแน่นมากกว่า จะทำให้เสียงสะท้อนกลับมีเฟสเปลี่ยนไป 180 องศา

3. การสะท้อนของคลื่นเสียงมีหลักการเดียวกับคลื่นทั่วไป คือ

3.1 รังสีตกกระทบ เส้นปกติและรังสีสะท้อนต้องอยู่ในระนาบเดียวกัน

3.2 มุมตกกระทบ = มุมสะท้อน

4. ถ้าเราได้ยินเสียงที่สะท้อนมาห่างกับการได้ยินครั้งแรกน้อยกว่า 0.1 วินาที จะได้ยินเสียงก้อง (Echo) นั่นคือ ผิวสะท้อนอยู่ห่างจากเราน้อยกว่ากว่า 16.5 เมตร หรือประมาณ 17 เมตร

ประโยชน์ของเสียงสะท้อนกับมนุษย์และสัตว์

1. ใช้ในการหาอาหารของสัตว์บางชนิด เช่น ค้างคาว โลมา

2. ใช้ผลิตเครื่องโซนาร์ (Sonar) ซึ่งสามารถผลิตคลื่นเสียงอัลตราโซนิกขึ้นได้ ซึ่งคลื่นนี้เมื่อส่ง ไปกระทบสิ่งกีดขวางสะท้อนกลับเข้าเครื่องทำให้เราทราบลักษณะ ทิศ ระยะทางของสิ่งกีดขวาง

3. ใช้ตรวจรอยร้าวในเนื้อโลหะ

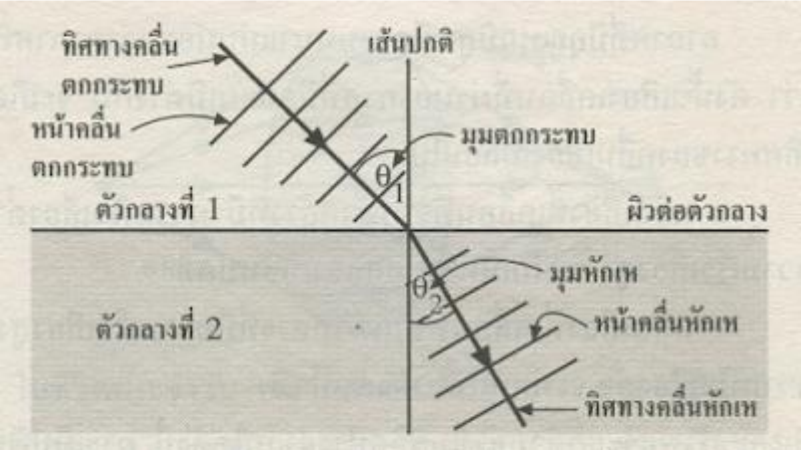
4. ใช้ในทางการแพทย์ เพื่อตรวจดูความผิดปกติของเนื้อเยื่อภายใน เช่น นัยน์ตา ตับ มะเร็งในสมอง มดลูก และทารกในครรภ์ คลื่นเสียงที่ใช้ในวงการแพทย์มีช่วงความถี่ระหว่าง 1,000,000 ถึง 4,000,000 เฮิรตซ์

5. ใช้ในการฆ่าเชื้อโรค และทำความสะอาดเสื้อผ้า

การหักเหของคลื่นเสียง เมื่อเสียงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางต่างชนิดกันหรือแม้แต่ตัวกลางชนิดเดียวกัน แต่อุณหภูมิต่างกัน จะมีผลทำให้อัตราเร็วของเสียง และทิศทางของเสียงเปลี่ยนไป เช่น ขณะที่พายุฝนฟ้าคะนอง ในบางครั้งปรากฎว่าเห็นฟ้าแลบแต่ไม่มีเสียง เนื่องจากเสียงที่เกิดขึ้น เกิดการหักเหในชั้นบรรยากาศกลับไปหมด จึงไม่มีคลื่นเสียงส่งมายังหูเรา

กฎการหักเหกฎการหักเห มี 2 ข้อ คือ

1. ทิศทางเคลื่อนที่ตกกระทบ เส้นปกติ ทิศทางคลื่นหักเหต้องอยู่ในระนาบเดียวกัน
2. อัตราส่วนระหว่าง sin ของมุมตกกระทบกับ sin ของมุมหักเหมีค่าคงที่ ค่าคงที่นั่นคือ ดรรชนีหักเหตัวกลางที่สองเทียบกับตัวกลางแรก



เมื่อเสียงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางต่างชนิดกันหรือแม้แต่ตัวกลางชนิดเดียวกัน แต่อุณหภูมิต่างกันจะมีผลทำให้อัตราเร็วของเสียงและทิศทางของคลื่นเสียงเปลี่ยนไป ซึ่งเป็นไปตามกฎของสเนล (Snell's Law)

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = {}_1n_2 = \frac{n_2}{n_1}$$

เมื่อ θ_1 = มุมตกกระทบ

θ_2 = มุมหักเห

v_1 = ความเร็วของคลื่นเสียงในตัวกลางที่ 1

v_2 = ความเร็วของคลื่นเสียงในตัวกลางที่ 2

λ_1 = ความยาวคลื่นในตัวกลางที่ 1

λ_2 = ความยาวคลื่นในตัวกลางที่ 2

${}_1n_2$ = ดรรชนีหักเห(สัมพัทธ์) ของตัวกลางที่ 2 เทียบกับตัวกลางที่ 1

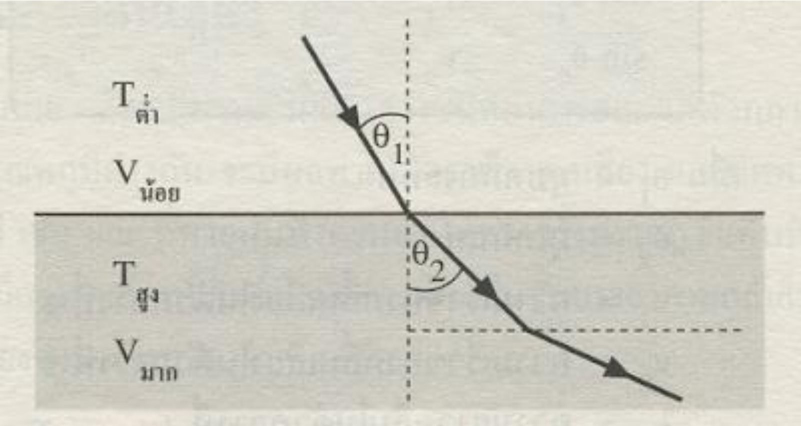
n_1 = ดรรชนีหักเห (สัมบูรณ์) ของตัวกลางที่ 1 เทียบกับสุญญากาศ

n_2 = ดรรชนีหักเห (สัมบูรณ์) ของตัวกลาสงที่ 2 เทียบกับสุญญากาศ

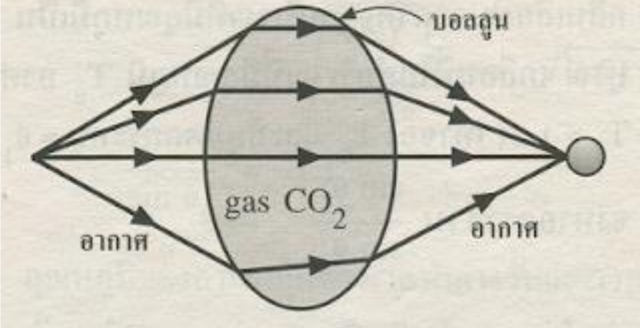
อากาศที่มีอุณหภูมิสูง มีความหนาแน่นน้อยกว่าอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ดังนั้นเสียงเคลื่อนที่ผ่านอากาศที่มีอุณหภูมิต่างกัน จะเกิดการหักเหและทิศทางของคลื่นเสียงเปลี่ยนไป

- คลื่นเสียงที่เคลื่อนที่จากตัวกลางที่มี ความเร็วเสียงต่ำสู่ตัวกลางที่มีความเร็วเสียงสูง จะหักเหคลื่น ออกจากเส้นปกติ
- คลื่นเสียงที่เคลื่อนที่จากตัวกลางที่มีความเร็วเสียงสูงสู่ตัวกลางที่มีความเร็วเสียงต่ำ จะหักเหเข้าหาเส้นปกติ

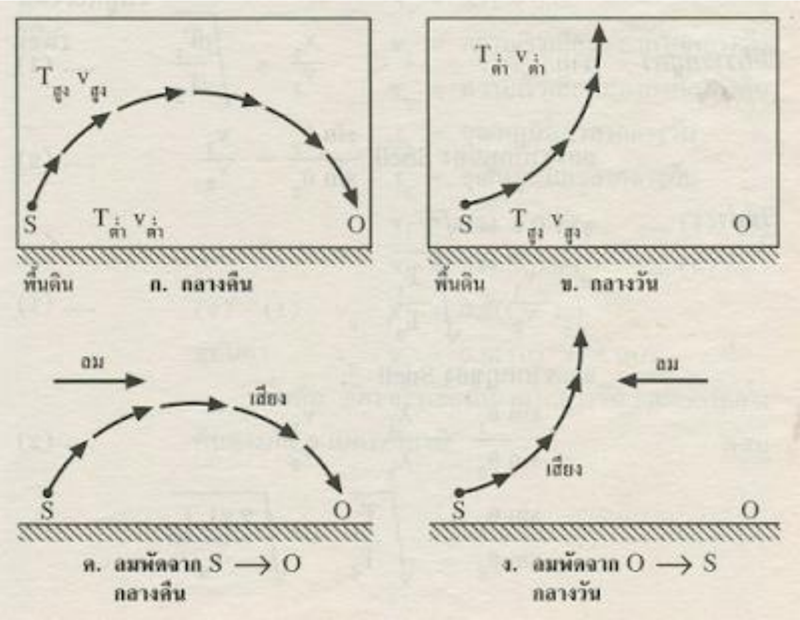
เราพอจะยกตัวอย่างในชีวิตประจำวันได้ดังนี้ การเห็นฟ้าแลบแต่ไม่ได้ยินเสียงฟ้าร้อง เพราะขณะเกิดฟ้าแลบอากาศเบื้องบนอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศส่วนล่าง ฉะนั้นอัตราเร็วของเสียงที่เกิดจะเปลี่ยนจากอัตราเร็วต่ำไปสู่อัตราเร็วสูง ทำให้เกิดคลื่นเสียงเบนออกจากเส้นปกติ ถ้าอุณหภูมิส่วนบนและส่วนล่างต่างกันมาก ๆ จะทำให้เกิดการสะท้อนกลับหมด ทำให้ไม่ได้ยินเสียงฟ้าร้อง



ชั้นบรรยากาศที่มีอุณหภูมิต่างกัน สามารถที่จะหักเหเสียงได้เพราะความเร็วเสียงในอากาศมีอัตราเร็วแปรผันตามรากที่ 2 ของอุณหภูมิสัมบูรณ์ เราอาจทดลองการหักเหของเสียงในห้องได้ดังนี้ ใช้บอลลูนบรรจุก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นตัวกลางอยู่ระหว่าง Source (อาจจะเป็นเสียงเวลาที่นาฬิกาปลุกเดิน) และ Observer ผู้ฟังที่ O จะได้ยินเสียง Source ชัดเจนกว่า เมื่อไม่มีบอลลูนบรรจุก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์วางอยู่ แสดงว่า บอลลูนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หักเหเสียงเข้าไปทาง O



ในชีวิตประจำวัน เวลากลางคืนที่มีลมสงบ อุณหภูมิของอากาศที่ใกล้ผิวโลกที่สุดจะต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศที่อยู่สูง ดังนั้น อัตราเร็วของเสียงในอากาศที่ระดับต่ำก็ต่ำกว่าอัตราเร็วของเสียงในอากาศที่ระดับสูง การหักเหของเสียงเป็นไปดังรูป ก ดังนั้นเราสามารถฟังเสียงที่เกิดจาก Source ที่อยู่ไกลออกไปในเวลากลางคืนที่มีลมสงบได้ชัดเจนและดัง เพราะการหักเหของเสียงเข้าหาหูผู้ฟังนั่นเอง



ความเข้มเสียงและการได้ยินความเข้มของเสียง (Intensity = I) คือ พลังงานเสียงที่ตกกระทบตั้งฉากต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่รับเสียงใน 1 วินาที หน่วยเป็น

$$J/m^2 \cdot s$$

หรือ

$$watt/m^2$$

$$I = \frac{P}{A}$$

- ถ้าแหล่งกำเนิดคลื่นเสียงเป็นจุดหรือให้คลื่นออกมาเป็นหน้าคลื่นผิวทรงกลม ที่ระยะ R จากแหล่งกำเนิดคลื่นเสียง

$$A = 4\pi R^2$$

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

$I_{ต่ำสุด}$ และ $I_{สูงสุด}$ ที่มนุษย์ฟังได้ = 10^{-12} และ 10^{0} watt/m^2

ตามลำดับ

- ความเข้มของเสียงเป็นปฏิภาคโดยตรงกับแอมพลิจูดกำลังสองของคลื่นเสียง

$I \propto A^2$ เมื่อ A เป็นแอมพลิจูดของคลื่นเสียง

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

เมื่อ A = Amplitude ของคลื่นเสียง

p = ความหนาแน่นของอากาศ

v = ความเร็วเสียงในอากาศ

ระดับความเข้มของเสียง ระดับความเข้มของเสียง

วัดในรูปของ log ของความเข้มของเสียง

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$ หน่วยเป็นเดซิเบล (dβ)

เมื่อ β = ระดับความเข้มของเสียง

I = ความเข้มของเสียงที่ตำแหน่งใด ๆ

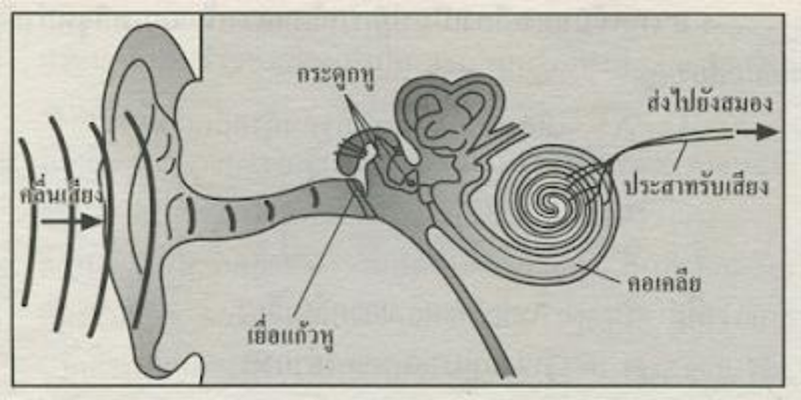
I_0 = ความเข้มต่ำสุดที่มนุษย์ได้ยิน = 10^{-12} watt/m^2

$\beta_{ต่ำสุด}$ และ $\beta_{สูงสุด}$ ที่มนุษย์ได้ยิน 0 และ 120 dβ ตามลำดับ

ข้อสังเกต

1. I รวมกันตรง ๆ ได้ คือ $I_{รวม} = I_1 + I_2 + I_3$
2. β รวมกันตรง ๆ ไม่ได้ คือ $\beta_{รวม} \neq \beta_1 + \beta_2 + \beta_3$

หูกับการได้ยิน หูของคนเราแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนนอก ส่วนกลาง และส่วนใน ดังรูป



รูปส่วนประกอบของหู

อวัยวะของหู แบ่งออกเป็น 3 ชั้น คือ

1. หูชั้นนอก ประกอบด้วย ใบหู รูหู และเยื่อแก้วหู
2. หูชั้นกลาง มีกระดูกเล็ก ๆ 3 ชิ้น คือ กระดูกค้อน กระดูกทั่ง และกระดูกโกลน
3. หูชั้นใน ทำหน้าที่ใหญ่ ๆ 2 หน้าที่ คือ
   - ท่อรูปหอยโข่ง ทำหน้าที่รับเสียง
   - ท่อรูปครึ่งวงกลม 3 เสี้ยว ทำหน้าที่ในการทรงตัว

เราได้ยินเสียงได้อย่างไรเสียงทุกชนิดที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นคลื่นเสียง จะมากระทบใบหูและหูจะต้อนคลื่นเสียงไปกระทบเยื่อแก้วหู เยื่อแก้วหูจะถ่ายทอดความสั่นสะเทือนไปยังกระดูกค้อน กระดูกทั่ง และกระดูกโกลน ของเหลวในท่อรูปหอยโข่งและประสาทรับเสียงจะถูกกระตุ้นแล้วส่งความรู้สึกไปสู่สมอง เพื่อแปลความหมายจากเสียง

การได้ยินเสียงในแต่ละครั้ง มีองค์ประกอบสำคัญ 3 ประการ คือ

1. แหล่งกำเนิดเสียง
2. ตัวกลาง
3. ประสาทรับเสียง

เมื่อมีองค์ประกอบ 3 ประการครบแล้ว เราอาจจะได้ยินหรือไม่ได้ยินก็ได้ขึ้นกับสิ่งสำคัญ 2 ประการ คือ

1. ความถี่ของเสียง
2. ความเข้มของเสียง

ลักษณะของเสียงที่ได้ยิน แบ่งได้ 3 ลักษณะ คือ

1. เสียงดัง-ค่อย

เสียงดัง-ค่อย ขึ้นอยู่กับแอมพลิจูดของคลื่นเสียง

ถ้าคลื่นเสียงมีแอมพลิจูดมาก เสียงดังมาก

ถ้าคลื่นเสียงมีแอมพลิจูดน้อย เสียงจะดังน้อย

2. เสียงแหลม-ทุ้ม

เสียงแหลม-ทุ้ม (หรือระดับเสียง) ขึ้นกับความถี่ของเสียง

ถ้าคลื่นเสียงมีความถี่สูง เสียงจะแหลม

ถ้าคลื่นเสียงมีความถี่ต่ำ เสียงจะทุ้ม

ความถี่ต่ำสุด และ ความถี่สูงสุดที่หูคนปกติได้ยิน = 20 ถึง 20,000 Hz

- คลื่นเสียงที่มีความถี่ต่ำกว่า ช่วงคลื่นที่เราได้ยิน เรียกว่า Infrasonic
- คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า ช่วงคลื่นที่เราได้ยิน เรียกว่า Ultrasonic

การจัดระดับเสียง มีหลายวิธี เช่น

1. การแบ่งระดับเสียงดนตรีทางวิทยาศาสตร์
2. การแบ่งระดับเสียงของเครื่องดนตรีสากลที่นิยมในปัจจุบัน

เสียงคู่แปด (Octave)

เสียงคู่แปด คือ เสียงดนตรีในทางวิทยาศาสตร์คู่หนึ่งที่มีขนาดความถี่หนึ่งเป็น 2 เท่าของอีกขนาดความถี่หนึ่ง เช่น

C' กับ C'' เป็นเสียงคู่แปด

เพราะ C'' มีความถี่ 2 เท่าของ C'

D'' กับ D' เป็นเสียงคู่แปด

เพราะ D'' มีความถี่ 2 เท่าของ D'

การหาความสัมพันธ์ของความถี่ในเสียงคู่แปด

ให้ X = ความถี่ใด ๆ

$$X' = 2X$$

$$X'' = 2X' = 2(2X) = 2^2X$$

$$X''' = 2X'' = 2(2^2X) = 2^3X$$

ดังนั้น

$$X^n = 2^nX$$

เมื่อ X = ความถี่ใด ๆ

n = จำนวนขีดของ X

3. คุณภาพของเสียง (Quality)

คุณภาพของเสียง หมายถึงเอกลักษณ์ของเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงต่างชนิดกัน ขึ้นอยู่กับจำนวนฮาร์มอนิกของเสียงจากแหล่งกำเนิดนั้น

เสียงดนตรีเป็นเสียงที่น่าฟัง จะน่าฟังหรือไม่ต้องประกอบด้วยสิ่งต่อไปนี้

- ระดับเสียง
- ความดัง
- คุณภาพ

ระดับเสียง

ขึ้นอยู่กับความถี่ ความถี่สูงเสียงจะแหลม ความถี่ต่ำเสียงจะทุ้ม คนธรรมดาฟังเสียงที่มีคลื่นความถี่จาก 20 ถึง 20,000 Hz ได้ หรือความยาวคลื่น 17 ถึง 0.017 เมตร

ความดังของเสียง

ขึ้นอยู่กับความเข้มของเสียงหรือแอมพลิจูด แอมพลิจูดมากเสียงจะดัง แอมพลิจูดน้อยเสียงจะมีเสียงค่อย

คุณภาพของเสียง

ขึ้นอยู่กับจำนวนฮาร์มอนิกของคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิด คุณภาพของเสียงทำให้เราแยกได้ว่าเสียงดังกล่าวมาจากเครื่องดนตรีชนิดใด

เครื่องดนตรีแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ

1. เครื่องดนตรีประเภทสาย
2. เครื่องดนตรีประเภทเคาะหรือตี
3. เครื่องดนตรีประเภทเป่า

เครื่องดนตรีประเภทสาย

เช่น ไวโอลิน กีตาร์ เบส ซออู้ ซอด้วง ซอสามสาย ขิม จะเข้ พิณ เสียงที่ออกมาจะขึ้นอยู่กับความตึงของสายนั้น ถ้าสายตึงมากจะได้เสียงสูง ถ้าสายหย่อนเสียงจะต่ำลง และถ้าสายใหญ่เสียงจะต่ำกว่าสายเล็ก ระยะที่เส้นเสียงสั่นสั้นจะได้เสียงสูง แต่ระยะที่เส้นเสียงสั่นยาวจะได้เสียงต่ำ

เครื่องดนตรีประเภทสายมักมีกล่องเสียง เพื่อทำให้เสียงดังขึ้นเพราะใช้หลักการกำทอนมาช่วย

เครื่องดนตรีประเภทเคาะหรือตี

เช่น กลอง ฉิ่ง ฉาบ ระนาด อังกะลุง ระฆัง ฆ้อง กรับ วัตถุขนาดเล็กเมื่อเกิดการสั่นสะเทือนจะให้เสียงสูงกว่าขนาดใหญ่ วัตถุที่ใช้เคาะต่างกันเกิดเสียงต่างกัน ระนาดทุ้มให้เสียงทุ้มกว่าระนาดเอก

เครื่องดนตรีประเภทเป่า

เครื่องดนตรีประเภทนี้ต้องให้อากาศที่อยู่ในท่อหรือในกล่องสั่น เช่น ขลุ่ย แคน ปี่ แซกโซโฟน รูปร่างและ

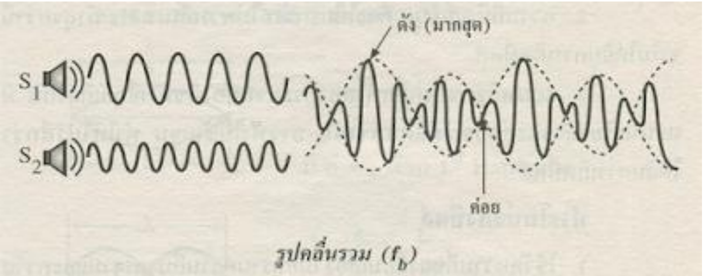
ขนาดของเครื่องดนตรีต่างกัน ทำให้อากาศในเครื่องดนตรีต่างกัน จึงเกิดเสียงต่างกันและยังขึ้นกับวัสดุที่นำมาทำเครื่องดนตรีด้วย

- Chord คือ โน้ตของเสียงดนตรีหนึ่งหรือสองโน้ตหรือมากกว่า ทำให้เกิดขึ้นพร้อมกัน
- Concord หมายถึง โน้ตทั้งหลายรวมกันเข้าทำให้เกิดเสียงที่น่าฟัง
- Dis-Cord หมายถึง โน้ตทั้งสองรวมกัน ทำให้เกิดเสียงที่ไม่น่าฟัง
- Melody หมายถึง เมื่อโน้ต 2-3 โน้ต ทำให้เกิดขึ้นต่อเนื่องกัน ทำให้เกิดโน้ตที่รวมกันเป็นทำนองที่น่าฟัง
- Harmony หมายถึง เมื่อโน้ต 2-3 โน้ต ทำให้เกิดพร้อมกัน ทำให้เกิดเสียงรวมกันอย่างน่าฟัง

บีตส์และคลื่นนิ่งของเสียง

บีตส์ (Beats)

บีตส์เกิดจากการแทรกสอดของเสียงจากแหล่งกำเนิด 2 แหล่งที่มีความถี่ต่างกันเพียงเล็กน้อย เสียงที่ได้ยินเป็นเสียงเดียวแต่ดังและค่อยสลับกัน จำนวนครั้งของเสียงดัง (หรือจำนวนครั้งของเสียงค่อย) ใน 1 วินาที เรียกว่า ความถี่ของบีตส์



สูตรคำนวณบีตส์ (ความถี่บีตส์ = f_b)

1. $f_b = f_1 - f_2$ (เมื่อ $f_1 > f_2$)

หรือ $f_b = f_2 - f_1$ (เมื่อ $f_2 > f_1$)

2. ถ้าโจทย์ให้หาความถี่เฉลี่ย

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

$f_{\text{เฉลี่ย}}$ ต้องอยู่ในช่วง 20 -20,000 Hz จึงจะได้ยิน

3. หรือ ความถี่บีตส์ = $\Delta f = |f_2 - f_1|$

ข้อควรจำ

จากการวิเคราะห์ปรากฏการณ์บีตส์ พบว่า

1. ปรากฏการณ์บีตส์จะสังเกตได้ชัดเจน คือ

$$\frac{f_1 + f_2}{2} >>> f_1 - f_2 \quad \text{หรือ} \quad f_{\text{ลัพธ์}} >>> f_b$$

นั่นคือ ผลต่างของความถี่ของคลื่นสองขบวนต้องน้อยกว่าเมื่อเทียบกับความถี่ของคลื่นลัพธ์ หรือเทียบกับความถี่ของคลื่นแต่ละขบวนที่มารวมกัน

2. ความถี่บีตส์ต้องไม่มากนัก ไม่ควรเกิน 7 Hz ถ้าสูงกว่านี้จะไม่ได้ยินการเกิดบีตส์

3. แอมพลิจูดของคลื่นทั้งสองกระบวนต้องมีขนาดใกล้เคียงกัน มิฉะนั้นเสียงดังและค่อยจะไม่แตกต่างกัน อาจฟังไม่ชัดเจน ทำให้ไม่รู้สึกว่าได้ยินการเกิดบีตส์

ประโยชน์ของบีตส์

1. ใช้วัดความถี่ของส้อมเสียง เมื่อทราบความถี่มาตรฐานและความถี่ของบีตส์

2. ใช้เทียบเสียงของเครื่องดนตรี เช่น การเทียบเสียงของสายกีตาร์โดยมีเครื่องเทียบเสียงมาตรฐานเปรียบเทียบไม่ว่าจะเป็นไวโอลิน หรือกีตาร์ ใช้หลักว่า เมื่อเสียงเท่ากันแล้วจะไม่เกิดบีตส์ ถ้ายังเกิดบีตส์อยู่แสดงว่าเสียงยังไม่เท่ากัน ต้องปรับจนเสียงทั้งสองไม่ทำให้เกิดบีตส์ การเกิดบีตส์นั้นหูบางคนอาจจะไวรับเสียงได้ แต่บางคนก็รับไม่ได้

คลื่นนิ่ง (Standing wave)

คลื่นนิ่ง คือ คลื่นรวมที่เกิดจากคลื่นสองขบวนเคลื่อนที่เข้าหากันในตัวกลางเดียวกัน มีผลทำให้เกิดปฏิบัพและบัพสลับกันไป แยกพิจารณาได้ดังนี้

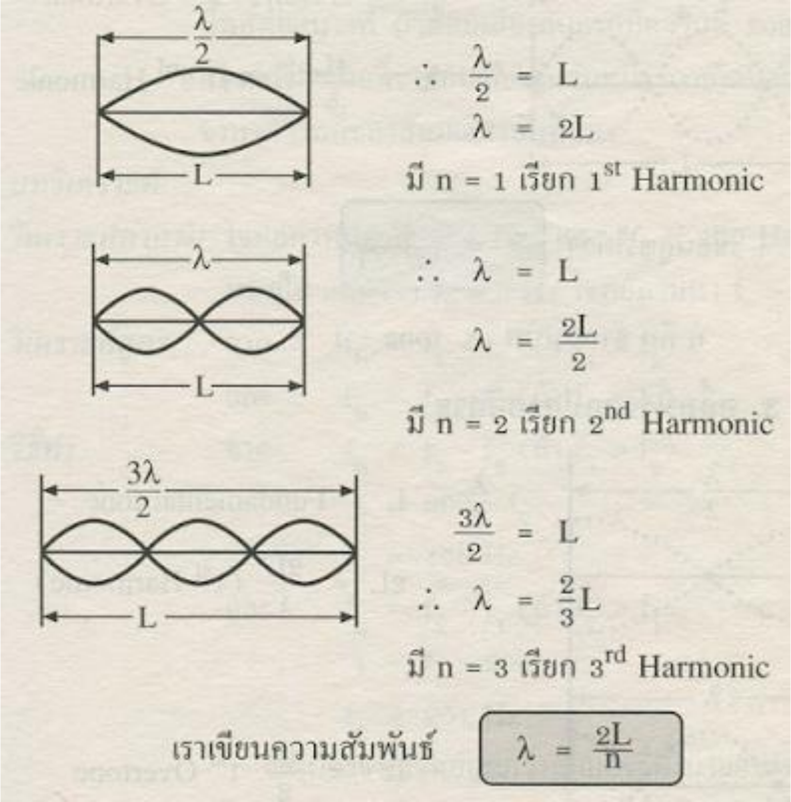
1. คลื่นนิ่งในเส้นเชือกหรือเส้นลวดมีสมการดังนี้

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

T = ความตึงในเส้นเชือกหรือเส้นลวด

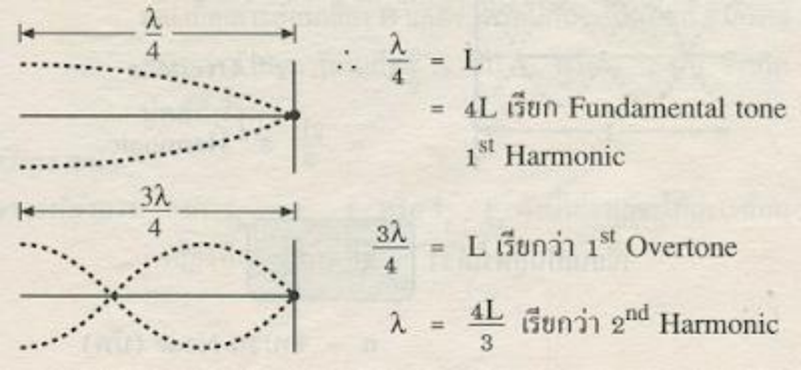
μ = มวลของเส้นเชือกหรือเส้นลวดต่อหนึ่งหน่วยความยาว

2. คลื่นนิ่งจากปลาย 2 ข้างตรึงแน่น



จำนวน Node = จำนวน Loop + 1

3. คลื่นนิ่งจากปลายที่ตรึงแน่น 1 ข้าง อิสระ 1 ข้าง



n คือ จำนวนบัพ = tone + 1

การสั่นพ้องของเสียง

การสั่นพ้องของเสียง เกิดเมื่อความถี่ตามธรรมชาติของอากาศในกล่องเสียง (Natural frequency) เท่ากับความถี่ของเสียงที่ถูกทำให้เกิดขึ้น (Forced frequency) หลักการนี้นำมาประดิษฐ์เครื่องดนตรีประเภทสาย เช่น

ซอ กีตาร์ ไวโอลิน โดยมีกล่องเสียงช่วยให้เกิดการสั่นพ้องเสียง

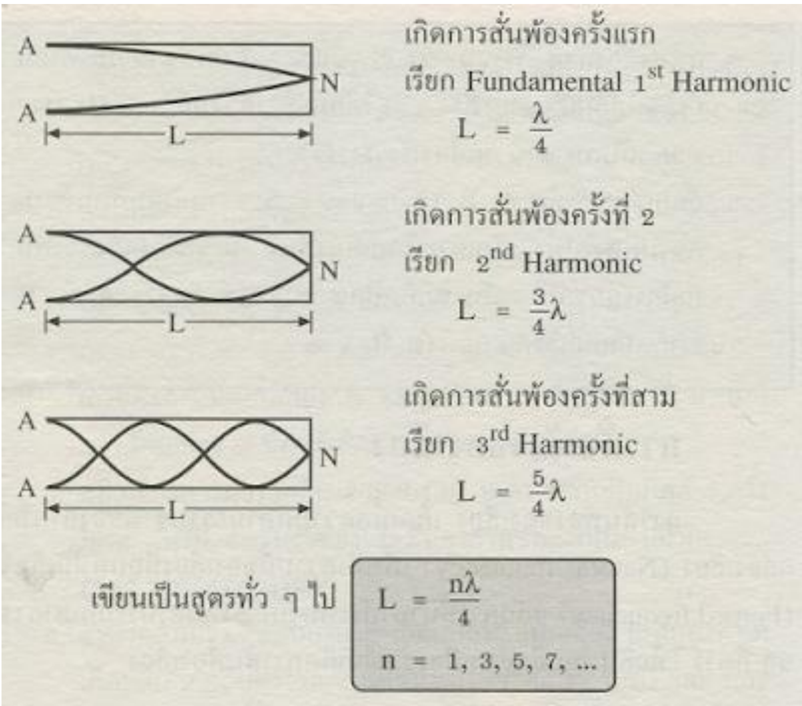
ข้อสังเกต

1. ความถี่ธรรมชาติ คือ ความถี่ของวัตถุที่สามารถสั่นหรือแกว่งได้อย่างอิสระ
2. การสั่นพ้องของเสียง อาจจะเรียกว่า การกำทอนของเสียงก็ได้

หลักในการสั่นพ้องของเสียงหรือหลักการกำทอน

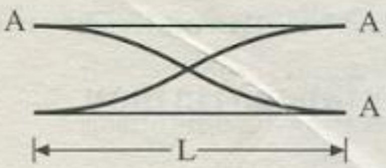
1. ในท่อปลายปิด

ในท่อปลายปิดไม่ว่าจะเกิดการสั่นพ้องครั้งที่เท่าไร ปากท่อจะต้องเป็นปฏิบัพและที่ก้นท่อจะต้องเป็นบัพเสมอ และเกิดคลื่นนิ่งในท่อ



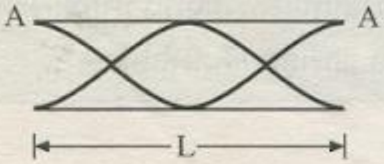
2. ในท่อปลายเปิดทั้งสองข้าง

ในท่อปลายเปิดทั้งสองข้าง ปากท่อทั้งสองด้านจะเป็นปฏิบัพ



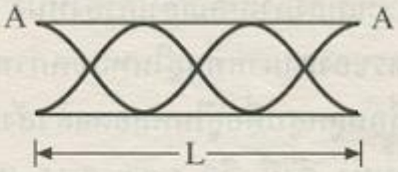
เกิดการสั่นพ้องครั้งแรก
เรียก 1^{st} Harmonic หรือ Fundamental

$$L = \frac{\lambda}{2}$$



เกิดการสั่นพ้องครั้งที่ 2
เรียก 2^{nd} Harmonic

$$L = \lambda = \frac{2\lambda}{2}$$



เกิดการสั่นพ้องครั้งที่สาม
เรียก 3^{rd} Harmonic

$$L = \frac{3}{2}\lambda$$

เขียนเป็นสูตรทั่ว ๆ ไป

$$L = \frac{n\lambda}{2}$$

$$n = 1, 2, 3, 4, ...$$

3. ในกรณีเกิดการสั่นพ้องจากหลอดเรโซแนนซ์หลายตำแหน่ง

ในกรณีเกิดการสั่นพ้องจากหลอดเรโซแนนซ์หลายตำแหน่ง จำเป็นต้องหาค่าเฉลี่ยของการเกิดการสั่นพ้อง แล้วไปหาค่าความยาวคลื่น ดังนี้

การสั่นพ้องครั้งที่ 1, 2, 3, 4, 5 มีระยะเป็น X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 ตามลำดับ

$$\therefore \text{ ความยาวช่วงคลื่อน } (\lambda) = 2(X_2 - X_1) = (X_3 - X_1) = \frac{(X_5 - X_1)}{2}$$

ข้อสังเกต

1. ความถี่มูลฐาน (Fundamental) คือ ความถี่ต่ำสุดของคลื่นนิ่งในหลอดเรโซแนนซ์ ซึ่งจะทำให้คลื่นที่ได้มีความยาวคลื่นมากที่สุด

2. โอเวอร์โทน (Overtone) คือ ความถี่ของคลื่นนิ่งที่ถัดจากความถี่มูลฐาน กรณีของคลื่นนิ่งในหลอด Overtone มีค่าขึ้นกับจำนวน Loop

3. ฮาร์โมนิก (Harmonic) คือ ตัวเลขที่บอกว่าความถี่นั้นเป็นกี่เท่าของความถี่มูลฐาน

ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ และคลื่นกระแทก

ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์

ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ คือ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงระดับเสียงหรือความถี่ของเสียงอันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงกับผู้ฟัง ลักษณะการเกิดปรากฏการณ์มีดังนี้

1. เมื่อแหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่เข้าหาผู้ฟัง หรือผู้ฟังเคลื่อนที่เข้าหาแหล่งกำเนิดเสียง คลื่นจากแหล่งกำเนิดเสียงจะอัดกระชั้นมากขึ้น ความถี่มากทำให้ผู้ฟังได้ยินเสียงสูงขึ้น

2. เมื่อแหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่ออกจากผู้ฟังหรือผู้ฟังเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดเสียง คลื่นเสียงจะกระจายกว้างออกจากเดิม ความถี่ลดลง ทำให้ผู้ฟังได้ยินเสียงต่ำลง

การประยุกต์ความรู้เรื่องเสียงจากการศึกษาธรรมชาติและสมบัติของเสียง เราได้นำความรู้ต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ประโยชน์ต่าง ๆ หลายด้านด้วยกัน เช่น

1. ด้านสถาปัตยกรรมการออกแบบอาคาร ห้องประชุมต่าง ๆ มักต้องคำนึงเกี่ยวกับเสียงสะท้อนกลับ ว่าต้องการให้มีหรือไม่มี ถ้าต้องการให้มีมากน้อยเพียงใด

- ถ้าต้องการให้มีมากก็ต้องออกแบบผนังห้อง เพดาน ให้เกิดเสียงสะท้อนกลับมาเสริมกัน
- ถ้าลดเสียงสะท้อนกลับ ต้องออกแบบให้เกิดเสียงสะท้อนกลับมาหักล้างกัน

2. ด้านการประมง

- เรือประมงใช้เครื่องโซนาร์ (SONAR = Sound Navigation and Ranging) หาตำแหน่งของฝูงปลา
- SONAR จะใช้คลื่นเหนือเสียงที่มีความถี่ในช่วง 20 - 100 กิโลเฮิรตซ์
- การทำงานของ SONAR จะส่งคลื่นเหนือเสียงออกไปเป็นจังหวะ เมื่อคลื่นกระทบฝูงปลาจะสะท้อนกลับมายังเรือ และสัญญาณเสียงถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าผ่านเครื่องวิเคราะห์สัญญาณ ซึ่งจะบอกว่าช่วงห่างของเวลาระหว่างสัญญาณเสียงที่ส่งออกกับสัญญาณเสียงที่สะท้อนกลับ และแปลงช่วงเวลาเป็นระยะห่างของวัตถุที่สะท้อนโดยจะแสดงผลออกมาทางจอภาพ
- นอกจากนี้เขายังใช้คลื่นเหนือเสียงสื่อสารระหว่างเรือด้วยกันอีกด้วย

3. ด้านการแพทย์

- แพทย์ได้นำคลื่นเหนือเสียงมาใช้ในการตรวจอวัยวะภายในของคนเรา เพื่อวินิจฉัยสาเหตุของความผิดปกติ เช่น การตรวจการทำงานของลิ้นหัวใจ ตรวจมดลูก ตรวจครรภ์ ตรวจเนื้องอก ตับ ม้าม และสมอง

- คลื่นเหนือเสียงสามารถสะท้อนที่รอยต่อระหว่างชั้นของเนื้อเยื่อต่าง ๆ ได้ดีกว่ารังสีเอกซ์มาก

- คลื่นเหนือเสียงที่ใช้ในวงการแพทย์เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ามาเป็นพลังงานคลื่นเหนือเสียงด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีความถี่ในช่วง 1 - 10 Hz

- คลื่นดลเหนือเสียงผ่านผิวหนังเข้าสู่ร่างกายไปกระทบเนื้อเยื่อ ซึ่งมีความหนาแน่นต่างกัน สะท้อนคลื่นได้ดีต่างกัน เครื่องรับคลื่นสะท้อนจะเปลี่ยนเสียงเป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งเมื่อผ่านเครื่องวิเคราะห์คลื่นสัญญาณแล้วส่งไปยังคอมพิวเตอร์ส่งผลสรุปออกทางจอภาพ

4. ด้านธรณีวิทยา

การสำรวจธรณีฟิสิกส์นั้นเป็นขั้นตอนการสำรวจโดยการศึกษาความแตกต่างและคุณสมบัติทางกายภาพของชั้นหิน เช่น การวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กโลก การวัดค่าแรงดึงดูดของโลก การวัดความไหวสะเทือน ทั้งนี้เพื่อจะนำมาศึกษาและแปลความหมายประกอบกับการสำรวจธรณีวิทยา การสำรวจน้ำมันโดยการระเบิดบางจุดบนพื้นดิน แรงระเบิดจะสั่นสะเทือนไปทุกทิศทุกทาง เมื่อถึงชั้นหินก็จะสะท้อนกลับและมีเครื่องมือวัดแรงสะท้อน ซึ่งบอกเวลาและแรงสั่นสะเทือนออกมาในกระดาษจากข้อมูลพอจะบอกลักษณะของแอ่งน้ำมัน

5. ด้านวิศวกรรม และอุตสาหกรรม

- คลื่นเหนือเสียงยังสามารถนำไปใช้ตรวจรอยร้าวในวัตถุที่ทึบ ๆ เช่น รอยร้าวในท่อแก๊สหรือรอยร้าวบนรางรถไฟ

- หลักการทำงานส่งคลื่น Ultrasonic ออกไปแล้วรับคลื่นสะท้อนกลับ แต่เปลี่ยนคลื่นสะท้อนกลับให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า สัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากส่วนปกติกับส่วนที่เป็นรอยร้าวจะมีความแตกต่างกัน