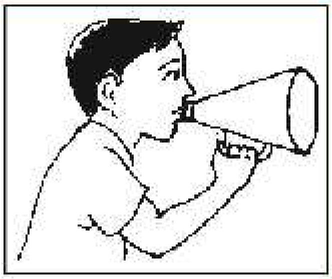
अध्याय -7

ध्वनि



हम पढ़ेंगे

7.1 तरंग एवं तरंग गति

7.2 अनुप्रस्थ तरंगे

7.3 अनुदैर्ध्य तरंगे

7.4 तरंगों के गुणधर्म

7.5 ध्वनि की प्रकृति एवं उसका संचरण

7.6 मानव की श्रवण परास

7.7 ध्वनि का परावर्तन

7.8 सोनार

7.9 मानव कर्ण की संरचना

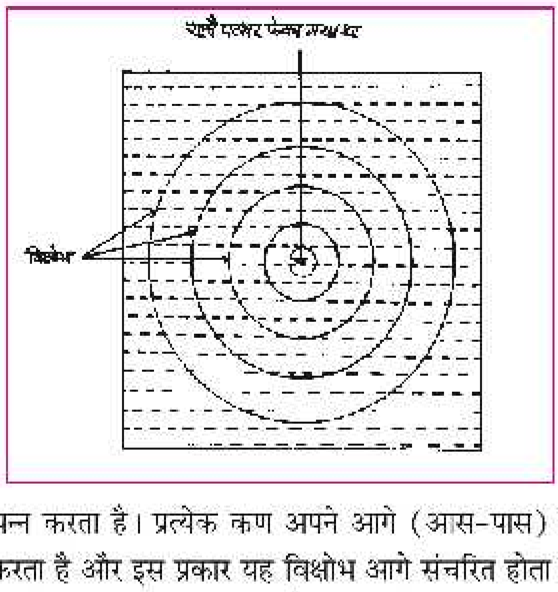
दैनिक जीवन में हम अपने परिवेश (Surroundings) में विभिन्न प्रकार की आवाजें सुनते हैं। जब हम किसी से कुछ बोलते हैं या हमसे कोई कुछ बोलता है तो हमें आवाज सुनाई देती है। सड़कों पर दौड़ती गाड़ियाँ, वायुयान का आकाश मार्ग से गुजरना, हवा में पतियों की सरसराहट, पक्षियों की चहचहाहट, स्कूल में घंटी, संगीत के वाद्ययंत्र आदि सभी की आवाज भिन्न-भिन्न होती है। आवाज की भिन्नता के कारण ही हम उनकी अलग-अलग पहचान कर पाते हैं। विज्ञान में आवाज को ध्वनि कहते हैं। यदि हम किसी बजती हुयी घंटी या सितार के तारों को स्पर्श करें तो हमें उसमें कम्पन्न की अनुभूति होगी। ध्वनि के स्त्रोतों के कम्पन्न किस प्रकार किसी माध्यम से होकर हमारे कानों तक पहुँचते हैं यह जानने के लिये हम तरंगों के संचरण का अध्ययन करेंगे। (ध्वनि क्या है? यह कैसे उत्पन्न होती है, तथा इसका संचरण कैसे होता है? यह हम इस अध्याय में पढ़ेंगें।)

7.1 तरंग एवं तरंग गति (Wave and Wave Motion)

किसी द्रव्यात्मक माध्यम (जैसे वायु, जल, रस्सी, स्प्रिंग आदि) में उत्पन्न विक्षोभ (Disturbance) को तरंग और उसके संचरण को तरंग गति कहते है।

किसी तालाब के शांत जल में पत्थर फेंकिये। इससे उत्पन्न विक्षोभों का अवलोकन कीजिए। यह भी देखिये कि ये विक्षोभ किस प्रकार गति करते हैं।

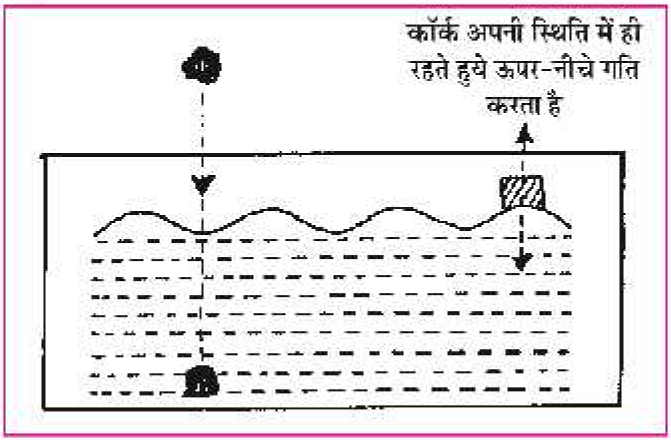
यह विक्षोभ माध्यम के कणों को अपनी स्थिति से विस्थापित कर उनमें



गति उत्पन्न करता है। प्रत्येक कण अपने आगे (आस-पास) के कणों में गति उत्पन्न करता है और इस प्रकार यह विक्षोभ आगे संचरित होता है। ध्यान रहे कि ये कण अपने ही स्थान पर गति करते हैं, विक्षोभ के साथ-साथ संचरित नहीं होते।

तालाब के जल में विक्षोभ उत्पन्न कर उसमें पड़े पत्ते / तिनके / कॉर्क की

गति का अवलोकन कीजिये। यह ऊपर नीचे की ओर गति करता है लेकिन आगे नहीं बढ़ता। यह उपर नीचे की ओर गति करता है लेकिन आगे नहीं बढ़ता।



इससे स्पष्ट है कि तरंग ऊर्जा की वाहक है न कि माध्यम के कणों की। तरंग के कारण, माध्यम का प्रत्येक कण अपने आस पास के कणों में गति उत्पन्न करता है। अत: किसी माध्यम में तरंग की गति, माध्यम के कणों की एक दूसरे पर क्रिया का परिणाम है।

तरंग के गुणधर्म

1. तरंग, कंपन करते स्त्रोत द्वारा आवर्ती (Periodic) विक्षोभ के कारण होता है।
2. तरंग के कारण ऊर्जा का स्थानांतरण होता है, न कि पदार्थ का।
3. तरंग में माध्यम के कण संचरित नहीं होते, वे अपनी मूल स्थिति में ही कंपन करते हैं एवं अपने आस-पास के कणों में ऊर्जा का स्थानांतरण करते हैं।
4. तरंग की गति माध्यम की प्रकृति पर निर्भर करती है ''पदार्थ-कणों'' की गति या कंपन पर नहीं।
5. यदि ''तरंग स्रोत'' के चारो तरफ का माध्यम एक समान (समांगी) है तो तरंग गति भी सभी दिशाओं में समान रहती है।

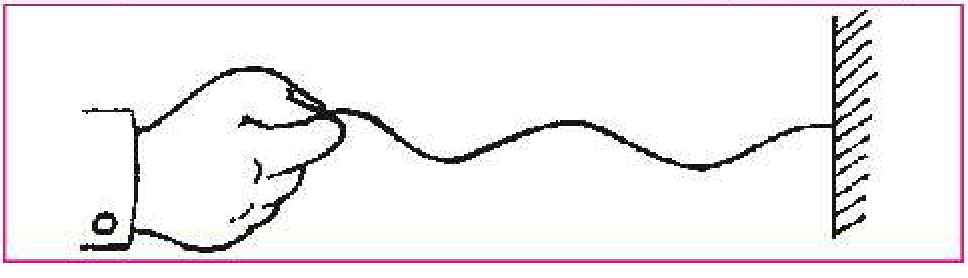
किसी माध्यम में तरंगों का संचरण दो प्रकार से हो सकता है। तदनुसार माध्यम में गति करने वाली तरंगों को हम दो प्रकारों में बांट सकते हैं।

1. अनुप्रस्थ तरंगें (Transverse Waves) 2. अनुदैर्ध्य तरंगें (Longitudinal Waves)

7.2 अनुप्रस्थ तरंगें

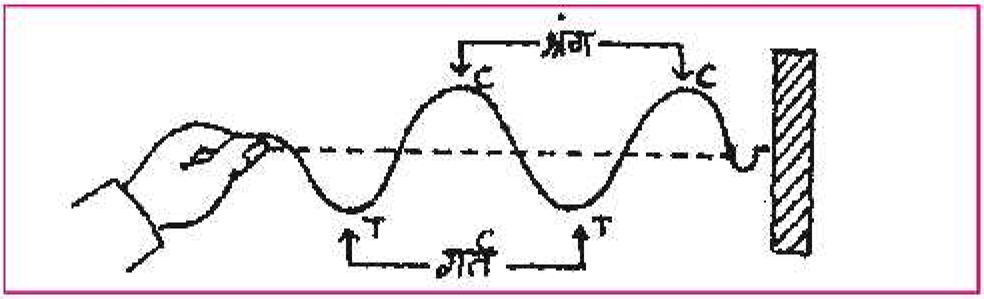
किसी रस्सी का एक सिरा किसी जगह बांध कर उसके, दूसरे सिरे को हाथ से हिलाइये एवं रस्सी में उत्पन्न तरंगों का अवलोकन कीजिए।

रस्सी को एक तरफ से हिलाने पर एक 'उभार' सा बनता है एवं आगे बढ़ता दिखता है। इस प्रकार का विक्षोभ जो आकस्मिक होता है और बहुत कम समय तक रहता है, **स्पंद (Pulse) कहलाता है।** लगातार रस्सी के हाथ वाले सिरे को हिलाने पर आप उसमें एक तरंग का संचरण देख सकते हैं। यदि आप रस्सी में किसी एक स्थान पर कोई चिन्ह अंकित कर

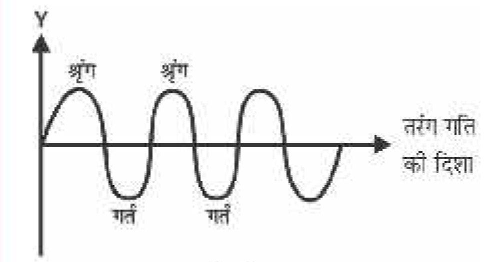


लें और तरंग के संचरण के समय आप इस चिन्ह पर ध्यान केंद्रित करें तो आप यह पायेंगे कि वह चिन्ह अपने ही स्थान पर ऊपर नीचे गति कर रहा है, जब कि तरंग क्षैतिज दिशा में आगे बढ़ रही है (ठीक उसी तरह जैसे कि कोई कॉर्क/पत्ती/तिनका विक्षोभ के कारण पानी में अपनी ही स्थिति में ऊपर-नीचे गति करता है, विक्षोभ आगे बढ़ जाता है।)

इस प्रकार की तरंग जिसमें माध्यम के कणों की अपनी मूल स्थितियों पर गति की दिशा तरंग के संचरण की दिशा के लंबवत् रहती है, **अनुप्रस्थ तरंगे** कहलाती हैं। **ये तरंगें श्रृंग (Crest) और गर्त (Trough) के रूप में चलती है।**



श्रृंग रस्सी (तरंग) के ऊपर की ओर अधिकतम विस्थापन है एवं गर्त नीचे की ओर का अधिकतम विस्थापन है। आइये रस्सी में संचारित होती अनुप्रस्थ तरंग का विस्थापन दूरी का ग्राफ देखें।

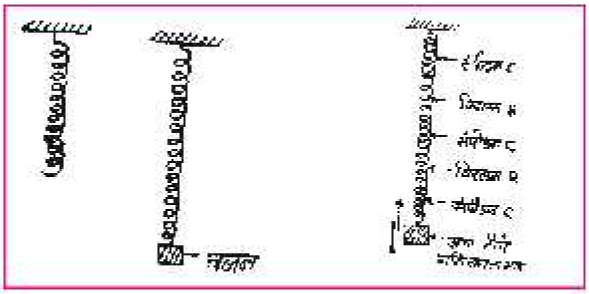


तरंग संरचना

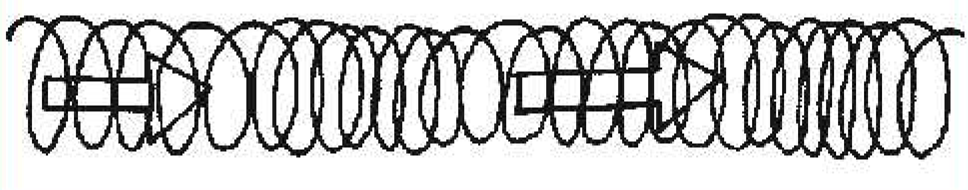
7.3 अनुदैर्ध्य तरंगे

किसी साधारण स्प्रिंग को एक दृढ़ आधार से लटका कर दूसरे सिरे पर एक भार लटका दीजिये (चित्रानुसार) भार को थोड़ा खींच कर छोड़ दीजिये। लगातार ऊपर-नीचे गति करती स्प्रिंग में उत्पन्न तरंग का अवलोकन कीजिये।

आप देखेंगे कि स्प्रिंग में उत्पन्न तरंग नीचे से ऊपर की ओर जाते दिखती हैं। तरंग के संचरण में कुछ क्षेत्रों में स्प्रिंग की कुँडलियाँ पास पास आ जाती है और कुछ क्षेत्रों में ये दूर दूर रहती हैं। जिन क्षेत्रों में कुंडलियाँ पास पास रहती है उन्हें **संपीडन (Compression)** कहते हैं एवं जिन क्षेत्रों में कुँडलियाँ दूर-दूर रहती हैं उन्हें **विरलन (Rarefaction)** कहते हैं।



यदि आप स्प्रिंग पर किसी जगह कोई चिन्ह लगा दें तो आप देखेंगे कि स्प्रिंग पर लगा चिन्ह, तरंग की दिशा के समानांतर, आगे-पीछे गति करता है। इस प्रकार की तरंग, जिस में माध्यम के कणों का अपनी मूल स्थिति में विस्थापन, उसी दिशा में होता है, जिस दिशा में तरंग उस माध्यम से होकर जाती है, **अनुदैर्ध्य तरंग कहलाती है।** अनुदैर्ध्य तरंग संपीडन-विरलन के रूप में गति करती है। माध्यम में जिस जगह संपीडन होता है वहाँ, माध्यम के कण पास-पास आ जाते हैं, अत: वहां घनत्व अधिक हो जाता है। इसी प्रकार विरलन में घनत्व कम हो जाता है।



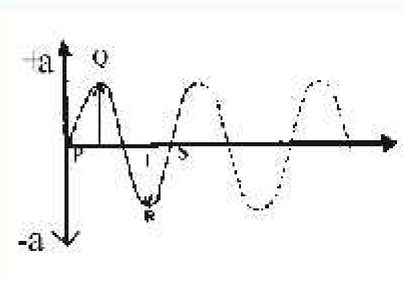
अनुप्रस्थ व अनुदैर्ध्य तरंगों में माध्यम के कण अपनी मूल स्थिति के दोनों ओर कंपन करते हैं। अत: वे भी सरल आवृति गति करते हैं। जब किसी माध्यम के कणों या अवयवों के कण सरल आवर्त हो तो उनसे उत्पादित तरंग को **सरल आवर्त तरंग (Simple Harmonic Waves)** कहते हैं।

अनुप्रस्थ व अनुदैर्ध्य तरंगों को **प्रगामी तरंग (Progressive Waves)** भी कहते हैं क्योंकि ये दोनों एक बिंदु से दूसरे बिंदु तक गति करती हैं।

कुछ तरंगें ऐसी भी होती है जिनमें अनुप्रस्थ व अनुदैर्ध्य दोनों प्रकार की तरंगों के अंश मिलते हैं। अर्थात इन तरंगों में माध्यम के कणों की गति न तो पूर्णत: अनुप्रस्थ है और न ही पूर्णत: अनुदैर्ध्य वरन् इन दोनों का संयोजन। इन तरंगों में माध्यम के कण वृत्त या दीर्घ वृत्त में गति करते हैं। इस प्रकार की गति तब होती है जब तरंग माध्यम की सतह (या पृष्ठ) के अनुदिश संचरण करती है। उदाहरण के लिये गहरे पानी में महासागरीय तरंगे, भूकंपीय तरंगे।

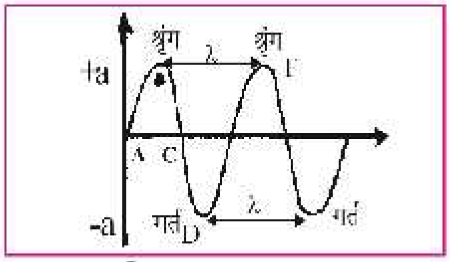
अनुप्रस्थ तरंग	अनुदैर्ध्य तरंग
● माध्यम के कण, तरंग के संचरण की दिशा के लंबवत, मूल स्थितियों में कम्पन्न करते है।	● माध्यम के कण, तरंग के संचरण की दिशा में ही, मूल स्थितियों में कम्पन्न करते हैं।
● तरंग श्रृंग व गर्त के रूप में चलती है।	● यह संपीडन-विलरन के रूप में चलती है।
● यह केवल ठोस व द्रव की सतह पर संचारित हो सकती है।	● यह ठोस, द्रव व गैसों में संचरित हो सकती है।

7.4 तरंगों के गुणधर्म



पिछले उदाहरणों में हमने देखा कि माध्यम में गतिशील अनुप्रस्थ अथवा अनुदैर्ध्य तरंगों के संचरण में मध्यम के कणों का विस्थापन होता है। इस विस्थापन का समय के साथ परिवर्तन का ग्राफ अनुप्रस्थ एवं अनुदैर्ध्य तरंगों के लिये चित्रानुसार प्रदर्शित किया जा सकता है। चित्र से स्पष्ट है कि माध्यम के किसी एक स्थान के कणों के विस्थापन की एक निश्चित समय के पश्चात पुनरावृत्ति होती है। जैसे P Q R S अथवा ABCD माध्यम के कणों का अपनी मध्यमान स्थिति के दोनों ओर

समानरूप से आवर्ती विस्थापन सरलआवर्त गति का उदाहरण है। इस प्रकार की तरंगो को सरल आवर्त तरंग भी कहते हैं। इस प्रकार की तरंगों के अभिलक्षणों को हम निम्नानुसार परिभाषित कर सकते हैं।



विस्थापन समय ग्राफ

1. **आयाम (Amplitude) :** किसी तरंग का आवाम माध्यम में गति करते हुये कणों का अपनी मूल स्थिति से किसी भी एक ओर का अधिकतम विस्थापन है। चित्र में माध्यम के कणों का अधिकतम विस्थापन +a (ऊपर की ओर) एवं विपरीत दिशा में -a (नीचे की ओर) है। इस का SI मात्रक मीटर है।

2. **तरंग दैर्ध्य (Wave length)** माध्यम के किसी भी कण के एक पूरे कंपन के समय में तरंग जितना विस्थापित होती है, उस दूरी को तरंग दैर्ध्य कहते हैं। इसे ग्रीक अक्षर लेम्बडा (λ) से व्यक्त करते हैं। चित्र में दूरी AE – BF, तरंग की तरंग दैर्ध्य है। यह दूरी अनुप्रस्थ तरंग के किन्हीं दो क्रमागत श्रृंग या गर्तों के बीच की दूरी तथा अनुदैर्ध्य तरंग के दो क्रमागत संपीडन या दो क्रमागत विरलन के बीच की दूरी के बराबर होती है।

3. **आवर्त काल : (Time Period)** माध्यम का कोई भी कण जितने समय में एक कंपन पूरा करता है। उस समय को आवर्त काल कहते हैं। इसका (S.I.) मात्रक सेकंण्ड है।

4. **आवृत्ति (Frequency)** माध्यम का कोई भी कण एक सेकंण्ड में जितने कंपन करता है, कंपन की उस संख्या को आवृति कहते है।

   इसे ग्रीक अक्षर (न्यू-ν) से प्रदर्शित करते हैं। इसका S.I. मात्रक हर्टज़ (Hertz) है। (प्रतीक Hz) । यह मात्रक, प्रसिद्ध वैज्ञानिक हेनरिच रुडोल्फ हर्ट्ज़ के नाम पर है।

   आवृर्त काल (T) व आवृति (ν) में निम्न संबंध है।

   $\nu = \frac{1}{T}$ प्रति सेकंण्ड (हर्ट्ज़)

हैनरिच रुडोल्फ हर्ट्ज़ का जन्म 22 फरवरी 1857 को हैमबर्ग, जर्मनी में हुआ और उनकी शिक्षा बर्लिन विश्वविद्यालय में हुई। उन्होंने जे.सी. मैक्सवेल के विद्युतचुंबकीय सिद्धांत की प्रयोगों द्वारा पुष्टि की। उन्होंने रेडियो, टेलिफोन, टेलिग्राफ तथा टेलिविज़न के भी भविष्य में विकास की नींव रखी। उन्होंने प्रकाश-विद्युत प्रभाव की भी खोज की। जिसकी बाद में अल्बर्ट आइन्सटाइन ने व्याख्या की। आवृत्ति के S.I. मात्रक का नाम उनके सम्मान में रखा गया।

5. तरंग वेग (Wave Velocity) तरंग संचरण के वेग को तरंग वेग कहते हैं। यह तरंग द्वारा एक सेकंण्ड में तय की गयी दूरी है। इसे ν से दर्शाते है।

तरंग वेग, आवृत्ति एवं तरंग दैर्ध्य में संबंध इस प्रकार है :

वेग = $\frac{\text{विस्थापन}}{\text{समयान्तर}}$

$\vartheta = \frac{\text{तरंग दैर्ध्य}}{\text{आवर्त काल}} = \frac{\lambda}{T}$

$\vartheta = \lambda \times \nu \quad [\because \frac{1}{T} = \nu]$

=> तरंग वेग = तरंग दैर्ध्य × आवृति

उदाहरण : किसी तरंग की आवृति 100 Hz है उसका आवर्तकाल कितना होगा?

हल :

आवृति ν = 100 Hz

ज्ञात करना है : आवर्तकाल T = ?

सूत्र $T = \frac{1}{\nu}$ में मान लिखने पर

$$T = \frac{1}{100} = 0.01 s$$

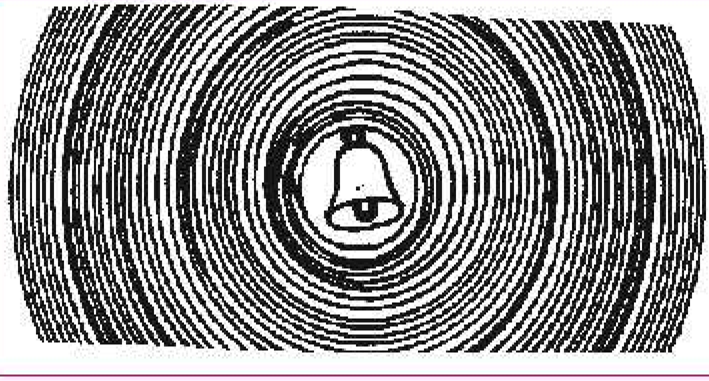
अभीष्ट आवर्तकाल 0.01 सेकण्ड है।

इनके उत्तर स्वयं खोजिये :-

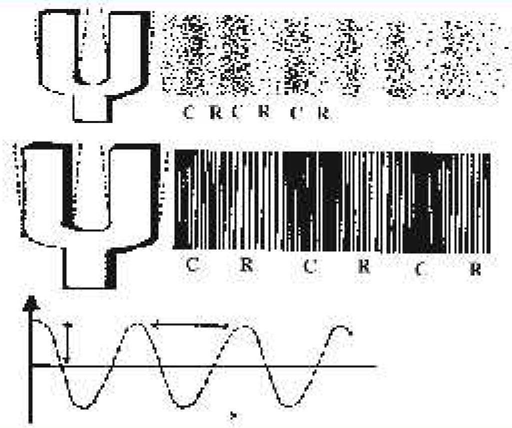
1. किसी तरंग की आवृत्ति 20 Hz है उसका आवर्त काल ज्ञात कीजिये। (उत्तर : 0.05 s)
2. तरंग वेग, आवृति एवं तरंग दैर्ध्य में संबंध लिखिये।

7.5 ध्वनि की प्रकृति एवं उसका संचरण

आप जानते हैं कि कंपन के कारण ध्वनि उत्पन्न होती है। अत: कंपायमान वस्तु ध्वनि स्रोत है। कंपन उत्पन्न करने के लिये यांत्रिक ऊर्जा की आवश्यकता है। **ध्वनि भी ऊर्जा का ही रूप है जो हमारे कानों में संवेदना उत्पन्न करती है।**



ध्वनि के संचरण के लिये वायु अच्छा माध्यम है। जब कोई कंपायमान वस्तु आगे की ओर कंपन करती है तो वह अपने सामने की वायु को संपीड़ित करती है और इस प्रकार एक उच्च वायु दाब का क्षेत्र उत्पन्न होता हैं। इस क्षेत्र को संपीडिन (Compression) C कहते हैं। यह संपीडन कंपायमान वस्तु से आगे की ओर गति करता है। जब कंपायमान वस्तु पीछे की ओर कंपन करती है तो आगे की ओर एक निम्न दाब का क्षेत्र उत्पन्न होता हैं जिसे विरलन (Rarefaction) R कहते हैं। ये संपीडन और विरलन ही तरंग बनाते हैं जो वायु (माध्यम) से होकर हमारे कानों तक पहुँचते हैं। इस प्रकार संचरण से मध्यम में दाब विभिन्नता उत्पन्न हो जाती है। इसे चित्र में प्रदर्शित किया गया है। अत: ध्वनि को हम **दाब तरंग (Pressure Wave)** भी कह सकते हैं। चूँकि ध्वनि के संचरण से माध्यम के कणों का विस्थापन ध्वनि की गति की दिशा में होता है अत: ध्वनि अनुदैर्ध्य तरंग है।



A व B में दिखाया गया है कि ध्वनि घनत्व या दाब के उतार-चढ़ाव के रूप में होती है। C में घनत्व तथा दाब के उतार-चढ़ाव को ग्राफ के रूप में प्रदर्शित किया गया है।

(चित्र (A) व (B) में दिखाया गया है कि ध्वनि, घनत्व या दाब के उतार-चढ़ाव के रूप में होती है। (c) में घनत्व तथा दाब के उतार-चढ़ाव को ग्राफ के रूप में प्रदर्शित किया गया है।)

ध्वनि का वेग (अर्थात ध्वनि द्वारा एक सेकण्ड में तय की गई दूरी)माध्यम पर निर्भर होती है। विभिन्न माध्यमों में ध्वनि की गति तालिका में की गई है।

तालिका विभिन्न माध्यमों में 25° से. पर ध्वनि की चाल

अवस्था	पदार्थ	चाल (m/s में)
ठोस	ऐल्युमिनियम	6420
	निकल	6040
	स्टील	5960
	लोहा	5950
	पीतल	4700
	काँच (फ्लिंट)	3980
द्रव	जल (समुद्री)	1531
	जल (आसुत)	1498
	इथेनॉल	1207
	मीथेनॉल	1103
गैस	हाइड्रोजन	1234
	हीलियम	965
	वायु	346
	ऑक्सीजन	316
	सल्फर डाइऑक्साइड	213

तालिका से स्पष्ट है कि ध्वनि का वेग ठोस, द्रव एवं गैस में क्रमशः कम होता जाता है।

7.6 मानव की श्रवण परास

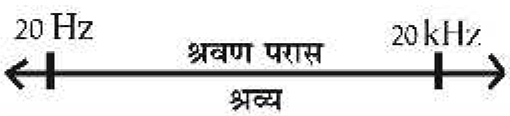
हमने अभी तक पढ़ा कि कम्पन स्रोत, ध्वनि स्रोत भी होता है। पर क्या सभी कम्पनों से उत्पन्न ध्वनि हमें सुनाई देती है? वास्तव में हमारे द्वारा सुनी जा सकने वाली ध्वनि की आवृत्ति की एक निश्चित सीमा होती है। इस आधार पर ध्वनि को हम दो भागों में बांट सकते हैं।

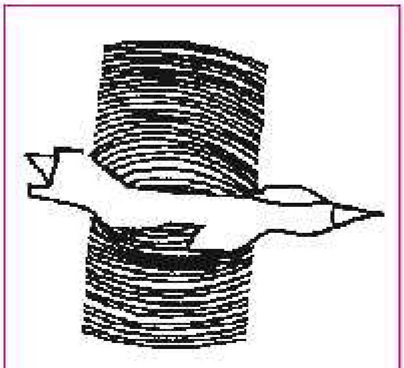
(i) श्रव्य ध्वनि (Audible Sound) (ii) पराश्रव्य ध्वनि (Ultrasonic Sound)

7.6.1 श्रव्य एवं पराश्रव्य ध्वनि

हमारे कान केवल उन ध्वनियों के लिये सुग्राही होते हैं जिनकी आवृत्ति 20 Hz व 20000 Hz (20 kHz) के बीच होती है। इसे **ध्वनि का श्रवण परास** कहते हैं। परन्तु आवृत्ति की ये सीमाएँ एक व्यक्ति से दूसरे में, तथा एक ही व्यक्ति में भी आयु के साथ बदलती रहती हैं। पाँच वर्ष से कम आयु के बच्चे एवं कुछ जन्तु जैसे कुत्ते 25000 Hz(25 kHz) तक की ध्वनि को सुन सकते हैं। 20 Hz से कम आवृति की ध्वनियों को **अवश्रव्य ध्वनि** कहते हैं। यदि हम 20 Hz से कम आवृत्ति को सुन सकते तो हम किसी लोलक के कंपन को सुन पाते। गैंज (गैंडा) 5 Hz की आवृत्ति की अवश्रव्य ध्वनि का उपयोग कर संपर्क स्थापित करता है। यह माना गया है कि कुछ जन्तु भूकंप से पहले परेशान हो जाते हैं। क्योंकि भूकंप की मुख्य प्रघाती तरंगों से पहले उत्पन्न अवश्रव्य ध्वनि उन्हें सावधान कर देती है।

20000 Hz से अधिक आवृति की ध्वनि तरंगों को **पराश्रव्य तरंगे या पराध्वनि (Ultrasonic Waves or Ultrasound)** कहते हैं। डॉलफिन, चमगादड़ और पॉरपॉइस पराध्वनियाँ उत्पन्न करते हैं। पराध्वनियाँ बहुत उच्च आवृति की तरंगे हैं, ये अवरोधों की उपस्थिति में भी एक निश्चित पथ पर गति कर सकती है। उद्योगों एवं चिकित्सा के क्षेत्र में इनका विस्तृत उपयोग किया जाता है।





महत्वपूर्ण तथ्य

अक्सर हमें पराश्रव्य तरंगों (Ultrasonic) एवं पराध्वनिक (Supersonic) में भ्रम हो जाता है। पराश्रव्य तरंग उच्च आवृति (20,000 Hz) से अधिक) की तरंगे है लेकिन पराध्वनिक पिंडों की चाल को दर्शाता है। जब कोई पिंड ध्वनि की चाल से अधिक चाल से गति करता है तो उसकी चाल को पराध्वनिक कहते है। जब कोई पिंड पराध्वनिक चाल से गति करता है तो प्रघाती तरंगे उत्पन्न होती है। इन तरंगों में बहुत अधिक ऊर्जा होती है। इन तरंगों के कारण वायुदाब में अत्याधिक परिवर्तन होता है। यह परिवर्तन एक प्रकार का प्रस्फोट या कड़क ध्वनि उत्पन्न करता है जिसे **ध्वनि बूम (Sonic Boom)** कहते है। यह ध्वनि आस-पास रखी कांच की प्लेटों, खिड़कियों के शीशों को नुकसान पहुंचा सकती है।

आप यह भी जानें

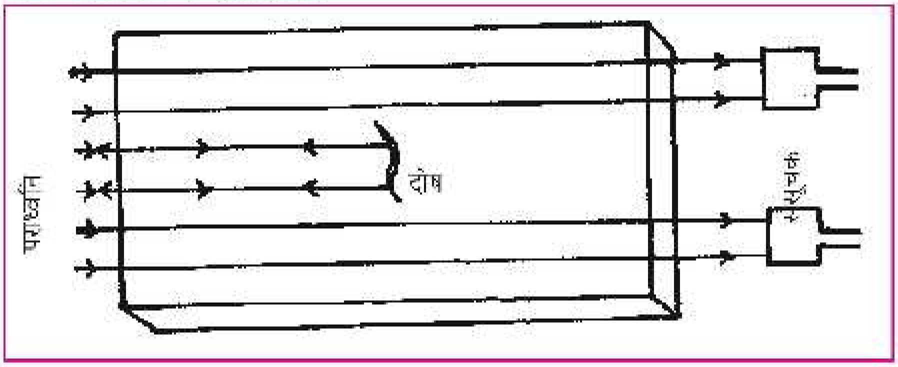
ध्वनि की तीव्रता डेसीबेल (dB) में मापी जाती है। मनुष्य के लिये श्रव्य ध्वनि तीव्रता इस प्रकार है।

न्यूनतम श्रव्य ध्वनि	0 dB
फुसफुसाहट	10 dB
सामान्य बोलचाल	60 dB
अधिकतम सहनीय ध्वनि	120 dB

120 dB से अधिक तीव्रता की ध्वनि हमारे लिये हानिकारक होती है तथा इससे श्रवण शक्ति को नुकसान पहुँचने की संभावना होती है।

7.6.2 पराश्रव्य ध्वनि के अनुप्रयोग

1. पराध्वनि प्रायः उन भागों को साफ करने में उपयोग की जाती है, जिन तक पहुँचना कठिन होता है। जैसे सर्पिलाकार नली, विषम आकार के पुर्जे, इलेक्ट्रानिक अवयव आदि। जिन वस्तुओं को साफ करना होता है, उन्हें साफ करने वाले (मार्जन) विलयन में रखते हैं और इस विलयन में पराध्वनि तरंगे भेजी जाती हैं। उच्च आवृति के विक्षोभ के कारण धूल, चिकनाई एवं गंदगी के कण अलग होकर नीचे गिर जाते हैं। इस प्रकार वस्तु पूर्णतया साफ हो जाती है।
2. पराध्वनि का उपयोग धातु के ब्लॉकों (पिंडों) में दरारों तथा अन्य दोषों का पता लगाने के लिये किया जाता है। धात्विक घटकों को प्रायः बड़े-बड़े भवनों, पुलों, मशीनों तथा वैज्ञानिक उपकरणों को बनाने में उपयोग में लाया जाता है। धातु के ब्लॉको में विद्यमान दरार या छिद्र जो बाहर से दिखाई नहीं देते, भवन या पुल की संरचना की मजबूती को कम कर देते हैं। पराध्वनि तरंगे धातु के ब्लॉक से प्रेषित की जाती है और प्रेषित तरंगों का पता लगाने के लिये संसूचकों का उपयोग किया जाता है। यदि थोड़ा सा भी दोष होता है तो पराध्वनि तरंगे परावर्तित हो जाती हैं जो दोष की उपस्थिति को दर्शाती है।



3. पराध्वनि तरंगों को हृदय के विभिन्न भागों से परावर्तित कराकर हृदय का प्रतिबिंब बनाया जाता है। इस तकनीक को इलेक्ट्रोकार्डियोग्राफ (ECG) कहा जाता है।
4. पराध्वनि संसूचक एक ऐसा यंत्र है, जो पराध्वनि तरंगों का उपयोग कर के, मानव शरीर के आंतरिक अंगों का प्रतिबिंब प्राप्त करने के लिये काम में लाया जाता है। इस संसूचक से रोगी के अंगों जैसे यकृत, पित्ताशय, गर्भाशय गुर्दे आदि का प्रतिबिंब प्राप्त किया जा सकता है। यह संसूचक शरीर की असमान्यताएँ जैसे पित्ताशय तथा गुर्दे आदि में अर्बुद (ट्यूमर) का पता लगाने में सहायता करता है। इस तकनीक को अल्ट्रासोनोग्राफी कहते हैं। अल्ट्रासोनोग्राफी का उपयोग, गर्भ काल में भ्रूण की जाँच तथा उसके जन्मजात दोषों तथा उसकी वृद्धि की अनियमितताओं का पता लगाने में किया जाता है।

5. पराध्वनि का उपयोग गुर्दे की छोटी पत्थरी को बारीक कणों में तोड़ने के लिये भी किया जाता है। ये कण बाद में मूत्र के साथ बाहर निकल जाते हैं।

इनके उत्तर स्वयं खोजिये

- ध्वनि तरंगों में विक्षोभ किसके परिवर्तन से उत्पन्न होता है?
- ध्वनि तरंगों के संचरण में, माध्यम के कणों की दिशा (तरंग के संचरण के सापेक्ष) क्या होती है?
- ध्वनि का वेग, ठोस, द्रव व गैस में किस में से सबसे अधिक है व किस में सबसे कम होता है?
- श्रवण परास से आप क्या समझते हैं?

7.7 ध्वनि का परावर्तन

प्रकाश की भाँति ध्वनि भी द्रव या ठोस की सतह से परावर्तित होती है तथा परावर्तन के उन्हीं नियमों का पालन करती हैं, जिससे प्रकाश का परावर्तन संचालित होता है। ध्वनि तरंगों के परावर्तन के लिये बड़े आकार के अवरोधक की आवश्यकता होती है, जो चाहे पॉलिश किये हुये हों या खुरदरे।

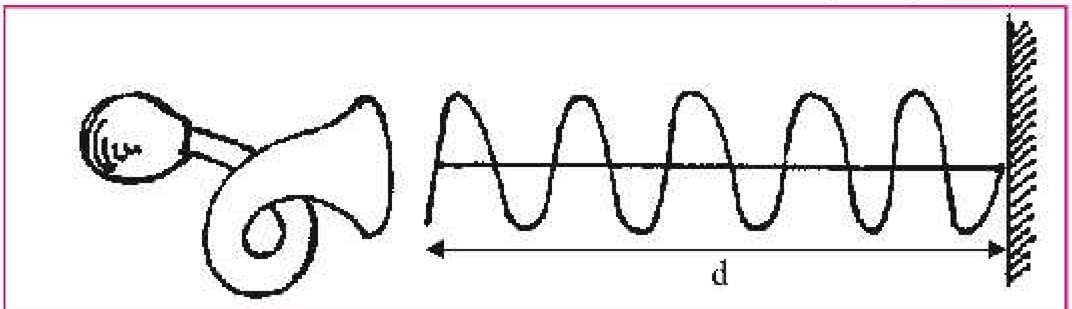
किसी खाली हॉल में अथवा किसी गुम्बद के भीतर ध्वनि उत्पन्न कर, उसके गुंजन पर चिंतन कीजिए। क्या सभी जगह इसी प्रकार का अनुभव होता है?

7.7.1 प्रतिध्वनि (Echo)

हम जानते हैं कि किसी बड़े हॉल या खाली घर में यदि ध्वनि उत्पन्न की जाये तो, वहाँ ध्वनि का गुंजन होने लगता है और गुंजन के कारण हमें ध्वनि बार-बार सुनाई देती है। यह परिघटना, प्रतिध्वनि कहलाती है।

प्रतिध्वनि, अवरोधक पृष्ठों से ध्वनि के परावर्तन के कारण होती है।

हमारे मस्तिष्क में किसी ध्वनि की संवेदना, उस ध्वनि से संबंद्ध कंपनों के समाप्त होने के पश्चात भी 0.1 S ($^1/_{10}$ S) तक बनी रहती है। अत: प्रतिध्वनि स्पष्ट सुनाई देने के लिये यह आवश्यक है कि प्रतिध्वनि, मूल ध्वनि के कम से कम 0.1 S के पश्चात हमारे कानों तक पहुँचे। यदि किसी समय वायु में ध्वनि की चाल 344 m/s से मूल ध्वनि और प्रतिध्वनि में समय अन्तराल 0.1 S है तो स्पष्ट प्रतिध्वनि सुनने के लिये न्यूनतम दूरी होनी चाहिये-



मूलध्वनि और प्रतिध्वनि में समय अंतराल

दूरी = चाल × समय

यदि ध्वनि स्रोत से परावर्तक की दूरी d मीटर (m) हो तो -

$$2d\,(m) = 344 \times 0.1 \qquad [\because \text{आना व जाना} = d+d = 2d]$$

$$d = \frac{34.4\ m}{2}$$

अत: $d = 17.2\ m$

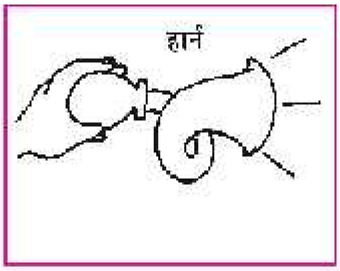
अत: स्पष्ट प्रतिध्वनि सुनने के लिये अवरोध की ध्वनि स्रोत से न्यूनतम दूरी 17.2 m होनी चाहिये।

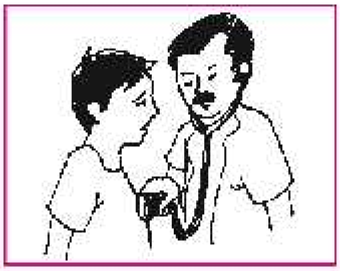
अनुरणन (Reverberation)

किसी बड़े हॉल में उत्पन्न होने वाली ध्वनि, दीवारों से बार-बार परावर्तन के कारण, काफी समय तक बनी रहती है। जब तक कि यह इतनी कम न हो जाये कि सुनाई ही न पड़े। क्रमिक परावर्तनों के फलस्वरूप सुनी गई ध्वनि अर्थात ध्वनि-निर्बंध अनुरणन कहलाता है। किसी सभा भवन या बड़े हॉल में अत्याधिक अनुरणन अत्यंत अवांछनीय है। अनुरणन को कम करने के लिये सभा भवनों की छतों तथा दीवारों पर ध्वनि अवशोषक पदार्थों, जैसे संपीड़ित फाइबर बोर्ड, खुरदरे प्लास्टर अथवा पर्दे लगे होते हैं।

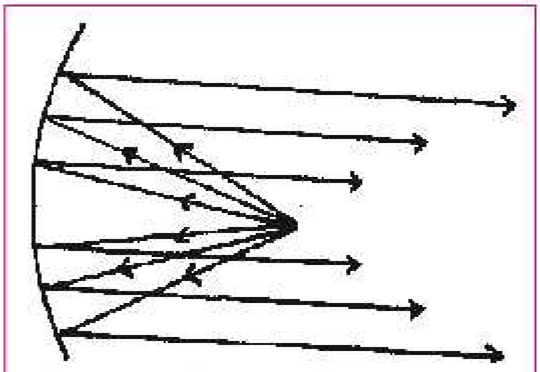
7.7.2 ध्वनि के परावर्तन के व्यवहारिक अनुप्रयोग :

1. मेगा फोन / लाउडस्पीकर, हार्न, तूर्य तथा शहनाई जैसे वाद्य यंत्र इस प्रकार बनाये जाते हैं कि ध्वनि सभी दिशाओं में फैले बिना केवल एक दिशा में ही जावे। नली के आगे का खुला शंक्वाकार भाग स्रोत से उत्पन्न ध्वनि तरंगों को बार-बार परावर्तित कर श्रोताओं की ओर भेज देता है।





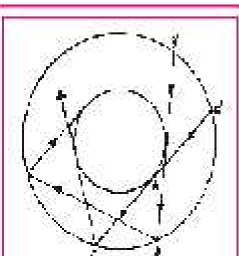
2. स्टेथोस्कोप एक चिकित्सा यंत्र है जो डायफ्राम की सहायता से शरीर के अंदर, मुख्यत: हृदय तथा फेफड़ों में उत्पन्न धड़कन की ध्वनि को डॉक्टर के कानों तक पहुँचाता है।
3. बड़े हॉलों एवं सभा कक्षों आदि की छत वक्राकार बनाई जाती है, जिससे की परावर्तन के पश्चात ध्वनि हॉल के सभी भागों में पहुँच जाती है। कभी-कभी ध्वनिपट्ट मंच (वक्ता) के पीछे रख दी जाती है, जिससे की ध्वनि, ध्वनि पट्ट से परावर्तन के पश्चात समान रूप से पूरे हॉल में फैल जाए।



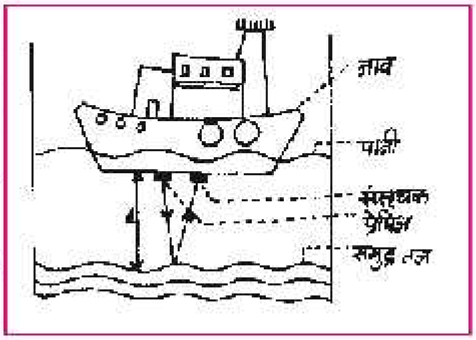
बड़े हॉल में उपयोग किया जाने वाला ध्वनि पट्ट

4. कर्ण तूर्य या श्रवण सहाय ऐसी युक्ति है, जिसे वे लोग काम में लाते हैं, जिन्हें कम सुनाई देता है। किसी तूर्य या तुरही के चौड़े सिरे पर पड़ने वाली ध्वनि तरंगे परावर्तित होकर अत्याधिक संकीर्ण क्षेत्र में एकत्र होकर कान में पहुँचती है। इससे कान के अंदर की वायु की परतों के कंपन्न का आयाम बढ़ जाता है और ध्वनि की प्रबलता में वृद्धि के कारण सुनने में सहायता मिलती है।

मरमर श्रावी गैलरी : लंदन के सेंट पाल गिरजाघर के गुम्बद की मरमर श्रावी गैलरी बहुत प्रसिद्ध है तथा यह ध्वनि के परावर्तन का एक रोचक उदाहरण प्रस्तुत करती है। यह गैलरी गुम्बद के भीतर के चारो ओर वृत्तीय रूप में है। जब आप इस गैलरी की दीवारों के निकट किसी बिंदु पर कोई कानाफूसी करते हैं तो उत्पन्न ध्वनि गैलरी की दीवारों से सभी स्थानों पर परावर्तित हो जाती है। दीवारों के निकट किसी भी स्थान पर यह ध्वनि स्पष्ट सुनाई देती है। किन्तु, केन्द्र की ओर, कुछ ही दूरी पर, जैसे बिंदु A पर यह ध्वनि सुनाई नहीं देती। इस तरह की गैलरी भारत में भी कई ऐतिहासिक स्थानों पर देखी जा सकती है।



7.8 सोनार (SONAR) :



ध्वनि के परावर्तन का एक महत्वपूर्ण अनुप्रयोग है **सोनार**। सोनार शब्द अंग्रेजी के शब्द **SONAR** का हिन्दी उच्चारण है। SONAR का विस्तृत रूप है **Sound Navigation And Ranging** (साऊण्ड नेवीगेशन एण्ड रेंनजींग) जिसका अर्थ है ध्वनि द्वारा संचालन तथा परिसर निर्धारण करना। सोनार एक ऐसी प्रौद्योगिक युक्ति है जिसमें ध्वनि की पराश्रव्य तरंगों का उपयोग कर, जल में स्थित पिंडों की दूरी, दिशा तथा स्थिति का पता लगाया जा सकता है। सोनार का महासागरों की गहराई ज्ञात करने के लिये भी उपयोग किया जाता है। सोनार में एक प्रेषित्र व एक संसूचक होता है। जहाज पर लगे प्रेषित्रों द्वारा, नियमित समय अन्तरालों पर पराश्रव्य ध्वनि के शक्तिशाली स्पन्द (PULSE) अर्थात सिग्नल 'लक्ष्य' तक भेजे जाते हैं। ये तरंगे जल में गति करती हैं एवं लक्ष्य (जिसके बारे में हमें जानकारी प्राप्त करनी है) से टकराने के पश्चात परावर्तित हो कर संसूचक द्वारा ग्रहण कर ली जाती है। संसूचक पराध्वनि को विद्युत संकेतो में बदल देती है। जिनकी उचित व्याख्या कर ली जाती है। जल में ध्वनि की चाल तथा पराध्वनि के प्रेषण और अधिग्रहण के समय को ज्ञात कर के उस लक्ष्य की दूरी की गणना की जाती है, जिससे ध्वनि का परावर्तन हुआ है।

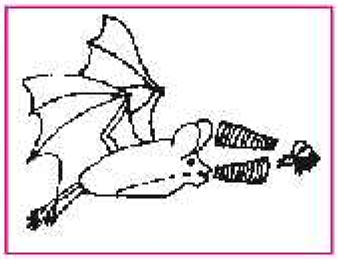
मान लीजिए की पराध्वनि के प्रेषण तथा अभिग्रहण के बीच का समय अंतराल ' t ' है तथा समुद्री जल में ध्वनि की चाल ' v ' है तब सतह से पिंड की दूरी –

दूरी = वेग × समय

$2d = v \times t$

यहाँ $2d$ = प्रेषक से लक्ष्य तक की दूरी d + लक्ष्य से (परावर्तन के बाद) प्रेषक तक की दूरी d

या $d = \frac{v \times t}{2}$



सोनार का उपयोग समुद्र की गहराई ज्ञात करने तथा जल के अंदर स्थित चट्टानों, घाटियों, पनडुब्बियों, हिम शैल (प्लावी बर्फ), डूबे हुये जहाज आदि की जानकारी प्राप्त करने के लिये किया जाता है।

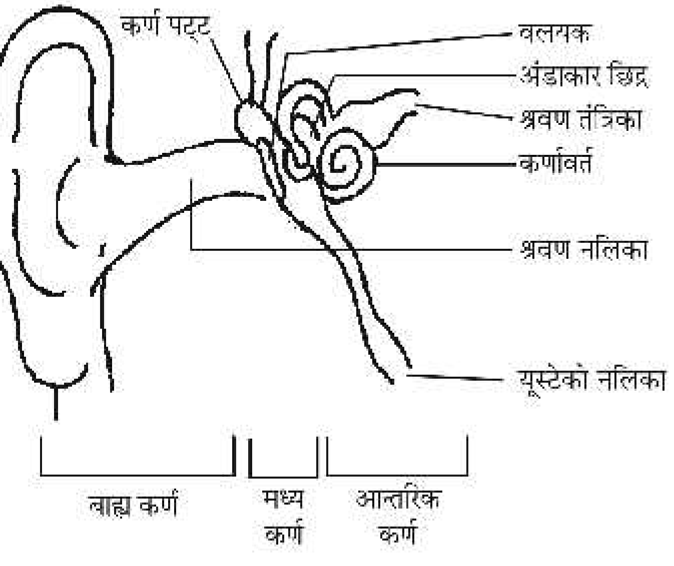
चमगादड़ भी सोनार युक्ति का उपयोग करते हैं। चमगादड़ गहन अंधकार में अपना भोजन खोजने के लिये, उड़ते समय पराध्वनि तरंगे उत्सर्जित करता है तथा परावर्तन के पश्चात् इनका संसूचन करता है। चमगादड़ द्वारा उत्पन्न उच्च आवृति के पराध्वनि स्पंद अवरोधों या कीट से परावर्तित हो कर चमगादड़ के कानों तक पहुँचते हैं। इन परावर्तित स्पंदों की प्रकृति से चमगादड़ को पता चलता है कि अवरोध या कीट कहाँ स्थित है तथा वह किस प्रकार का है। पॉरपॉईस मछलियाँ भी अंधेरे में भोजन की खोज में पराध्वनि का उपयोग करती हैं।

7.9 मानव कर्ण की संरचना :

प्रकृति ने हमें देखने के लिये नेत्र दिये हैं तो सुनने के लिये कान। कान ध्वनि को ग्रहण करता है। यह ध्वनि को ग्रहण कर, ध्वनि ऊर्जा को यांत्रिक ऊर्जा में परिवर्तित कर श्रवण तंत्रिकाओं को संकेत भेजता है। श्रवण तंत्रिकाएं संकेत मष्तिष्क को भेज देतीं हैं। मष्तिष्क हमारी ज्ञानेन्द्रियों को ध्वनि की जानकारी देता है।

कान को मुख्यत: तीन भागों में बांटते हैं:-

1. बाहरी कर्ण 2. मध्य कर्ण 3. आन्तरिक कर्ण



बाहरी कान कर्ण पल्लव (पिन्ना) (Ear Flap) कहलाता है। यह परिवेश से ध्वनि को एकत्रित करता है। एकत्रित ध्वनि, श्रवण नलिका Auditory Canal/Ear Canal से गुजरती है। ध्वनि तरंगे, श्रवण नलिका से कर्ण पट्ट तक पहुंचती है। ध्वनि तरंगों के टकराने से कर्ण पट्ट, दाब परिवर्तन के कारण कंपन करने लगता है। कर्ण पट्ट के पीछे, मध्य कर्ण होता है। मध्य कर्ण की तीन अस्थियाँ – मैलियस (Malleus), इन्कस (Incus) और स्टैप्स (Stapes) ध्वनि के कंपन को कई गुना बढ़ा देता है। मध्य कर्ण ध्वनि तरंगों से मिलने वाले दाब परिवर्तन को आंतरिक कर्ण तक पहुंचा देता है। आंतरिक कर्ण में कर्णावर्त (Cochlea) द्वारा दाब परिवर्तनों को विद्युत संकेतों में परिवर्तित कर दिया जाता है। ये संकेत श्रवण तंत्रिकाओं (Auditory Nerves) द्वारा मस्तिष्क में प्रेषित हो जाते हैं, और मस्तिष्क हमें ध्वनि की जानकारी देता है।

उदाहरण : जहाज में से सोनार द्वारा प्रेषित पराध्वनि को, समुद्र के नीचे स्थित चट्टान से टकरा कर जहाज तक आने में 4 s लगते हैं। यदि समुद्री जल में पराध्वनि की चाल 1531 m/s है तो चट्टान की जहाज से दूरी ज्ञात कीजिए।

हल : पराध्वनि को चट्टान तक जाने और परावर्तित होकर आने में लगा समय $t = 4s$

समुद्री जल में पराध्वनि की चाल $v = 1531\ m/s$

$2d$ = ध्वनि की चाल × समय

$$d = \frac{1531 m/s \times 4s}{2}$$

$$d = \frac{6124m}{2}$$

$$d = 3062m$$

अत: जहाज से चट्टान की दूरी 3062 m है।

इन प्रश्नों के उत्तर स्वयं खोजिये-

- प्रतिध्वनि से आप क्या समझते हैं?
- स्पष्ट प्रतिध्वनि सुनने के लिये, ध्वनि स्रोत व अवरोध के बीच न्यूनतम दूरी लगभग कितनी होनी चाहिये?
- सोनार (SONAR) का विस्तृत रूप क्या है? सोनार प्रौद्योगिकी में किस प्रकार की ध्वनि उपयोग में लाई जाती है?

स्मरणीय बिन्दु

- तरंग ऊर्जा की वाहक है न कि माध्यम के कणों की।
- अनुप्रस्थ तरंगे वे हैं, जिनमें माध्यम के कणों की अपनी मूल स्थितियों पर गति की दिशा, तरंग संचरण की दिशा के लंबवत होती है।
- अनुदैर्ध्य तरंगे वे हैं जिनमें माध्यम के कणों की अपनी मूल स्थितियों पर गति की दिशा, तरंग संचरण की दिशा में ही होती है।
- अनुप्रस्थ तरंग श्रृंग-गर्त के रूप में एवं अनुदैर्ध्य तरंग संपीड्न-विरलन के रूप में संचरित होती है।
- ध्वनि ऊर्जा का एक रूप है, किसी द्रव्यात्मक माध्यम में ध्वनि संपीडन - विरलन के रूप में संचरित होती है। ध्वनि निर्वात में संचरित नहीं हो सकती।
- ध्वनि का वेग ठोस में सबसे अधिक, द्रव में उससे कम एवं गैस में न्यूनतम होता है।
- मानव का श्रवण परास 20 Hz से 20,000 (20 kHz) है। 20 Hz से कम आवृति की ध्वनि को अवश्रव्य ध्वनि कहते हैं।
- स्पष्ट प्रतिध्वनि सुनने के लिये मूल ध्वनि तथा परावर्तित ध्वनि के बीच कम से कम 0.1 s का समय अंतराल अवश्य होना चाहिये।
- सोनार की तकनीक का उपयोग समुद्र की गहराई ज्ञात करने में, जल के नीचे छिपी चट्टानों, घाटियों, पनडुब्बियों, हिम शैल, डूबे जहाजों आदि का पता लगाने के लिये किया जाता है।

अभ्यास

अति लघुउत्तरीय प्रश्न :-

1. स्पंद क्या है?
2. किसी तरंग के गुणधर्म क्या हैं?
3. ध्वनि कैसे उत्पन्न होती है? ध्वनि तरंग किस रूप में संचरित होती है?
4. आवृत्ति क्या है? इसका मात्रक क्या है?
5. पराध्वनि क्या है?

लघुउत्तरीय प्रश्न :-

1. अनुप्रस्थ एवं अनुदैर्ध्य तरंग में दो-दो अंतर लिखिए।
2. गैसों की तुलना में ठोसों और द्रवों में ध्वनि का वेग अधिक क्यों होता है?
3. वस्तुओं को साफ करने के लिये पराध्वनि का उपयोग किस प्रकार करते हैं?
4. अनुरणन से आप क्या समझते हैं?
5. चमगादड़ किस प्रकार अंधकार में अपना शिकार ढूंढते हैं?

दीर्घ उत्तरीय प्रश्न :-

1. ध्वनि संचरण की व्याख्या कीजिए।
2. पराध्वनि के अनुप्रयोग लिखिये।
3. ध्वनि के परावर्तन से आप क्या समझते हैं? ध्वनि के परावर्तन के व्यवहारिक अनुप्रयोग लिखिए।
4. सोनार क्या है? सोनार की कार्यविधि एवं उपयोग लिखिए।
5. मानव कर्ण पर संक्षिप्त टिप्पणी लिखिए।

संख्यात्मक प्रश्न :

1. किसी तरंग का वेग 330 m/s है और तरंग की आवृति 110 Hz है, तो उसका तरंग दैर्ध्य ज्ञात कीजिए।

[उत्तर : λ = 3 m]

2. किसी तरंग की आवृति 2 kHz है और उसका तरंग दैर्ध्य 35 m है। यह 1.4 km दूरी चलने में कितना समय लेगी?

[उत्तर : 0.02 S]

3. यदि किसी तरंग में 1 s में 5 श्रृंग व 5 गर्त बनते हैं तो उसकी आवृति क्या होगी?
[1 श्रृंग व 1 गर्त, 1 तरंग दैर्ध्य बनाते हैं]

[उत्तर : 5 Hz]

4. यदि किसी ध्वनि की प्रतिध्वनि, 4s के बाद सुनाई देती है तो ध्वनि स्रोत व अवरोध के बीच की दूरी ज्ञात कीजिए। ध्वनि की चाल 344 m/s लीजिए।

[उत्तर : 688 m]

5. दो बच्चे लोहे के पाईप के सिरों पर बैठे हैं। एक ने सिरे को पत्थर से मार कर ध्वनि उत्पन्न की तो दूसरे बच्चे तक ध्वनि के वायु के माध्यम से व लोहे के माध्यम से पहुँचने का अनुपात क्या होगा। वायु में ध्वनि की गति 344 m/s (20 ^{0}C पर) व लोहे में 5130 m/s (20 ^{0}C) लीजिए।

[उत्तर : 14.9:1 m]

6. एक मनुष्य किसी खड़ी चट्टान के पास ताली बजाता है और उसकी प्रतिध्वनि 5 s के पश्चात सुनाई देती है। यदि ध्वनि की चाल 346 ms^{-1} ली जाए, तो चट्टान तथा मनुष्य के बीच की दूरी ज्ञात कीजिए।

[865 m]

प्रोजेक्ट

श्रव्य, पराश्रव्य एवं अवश्रव्य उत्पन्न करने वाले पाँच-पाँच ध्वनि श्रोतों की जानकारी एकत्रित करिये।