0907CH10

अध्याय 10

ध्वनि तरंगें — अभिलक्षण एवं अनुप्रयोग

चिंतन कीजिए

- दो अंतरिक्ष यात्री अंतरिक्ष स्टेशन की यांत्रिक भुजा में सुधार करने के लिए अंतरिक्ष में साथ-साथ चल रहे हैं। क्या वे एक-दूसरे से बातचीत कर सकते हैं और धातु की वस्तुओं के परस्पर टकराने की ध्वनि वैसे ही सुन सकते हैं जैसे वे पृथ्वी पर सुनते हैं?
- अधिकांश चमगादड़ रात्रि के अंधेरे में अपने शिकार का पता लगाने हेतु ध्वनि का उपयोग कैसे करते हैं?

ध्वनि दैनिक जीवन का एक ऐसा संवेदी अनुभव है जो हमें अपने परिवेश के प्रति जागरूक होने में सहायता प्रदान करता है। प्रतिदिन हम अपने चारों ओर विभिन्न प्रकार की ध्वनियाँ सुनते हैं, जैसे— मनुष्य की वाणी, चिड़ियों की चहचहाहट, समुद्र तट से लहरों का टकराना, पत्तियों की सरसराहट, मोबाइल फोन की घंटी की घनघनाहट, गाड़ियों के हॉर्न की ध्वनि, संगीत के मधुर स्वर और मेघों की गड़गड़ाहट। अध्याय 7 में आपने सीखा है कि ध्वनि ऊर्जा का एक रूप है। आपने यह भी सीखा है कि ऊर्जा को न तो उत्पन्न किया जा सकता है और न ही इसे नष्ट किया जा सकता है। यह केवल एक रूप से दूसरे रूप में परिवर्तित होती है। ऊर्जा के जिन विभिन्न रूपों के विषय में आपने पढ़ा था उनमें से कौन-सा रूप ध्वनि ऊर्जा में परिवर्तित होता है? ध्वनि कैसे उत्पन्न की जा सकती है और यह हमारे कानों तक किस प्रकार पहुँचती है? इस अध्याय में हम इन प्रश्नों के उत्तर ज्ञात करने का प्रयास करेंगे।

10.1 ध्वनि का उत्पादन

अपनी पूर्व कक्षाओं की कला की पाठ्यपुस्तकों में आपने ध्वनि उत्पन्न करने की कुछ विधियाँ सीखी हैं।

कक्षा 3 बाँसुरी-1 अध्याय 9
कक्षा 4 बाँसुरी अध्याय 13
कक्षा 5 बाँसुरी अध्याय 12
कक्षा 6 कृति-1 अध्याय 7

क्या आपको ध्वानिकता (sonority) विषयक अपने पूर्व ज्ञान का भी स्मरण है, जो कुछ धातुओं का वह गुण होता है जिसके कारण धातु के किसी वस्तु से टकराने पर ध्वनि उत्पन्न होती है (चित्र 10.1)?

कक्षा 7 जिज्ञासा अध्याय 4

चित्र 10.1 — मंजीरा – संगीत का एक वाद्ययंत्र

क्रियाकलाप 10.1— आइए, अन्वेषण करें

1. एक तरफ से खुला हुआ गत्ते का एक डिब्बा और एक रबड़ बैंड लीजिए।
2. रबड़ बैंड को खींचकर गत्ते के डिब्बे के खुले भाग पर तानिए। (चित्र 10.2)
3. डिब्बे को एक हाथ में पकड़ कर अचल रखते हुए दूसरे हाथ की अँगुली से रबड़ बैंड को थोड़ा-सा खींचकर छोड़िए। क्या आपको कोई ध्वनि सुनाई देती है?
4. रबड़ बैंड को पुनः खींचकर छोड़िए और इसे ध्यानपूर्वक देखिए। क्या यह कंपन कर रहा है?
5. रबड़ बैंड के कंपन रुकने तक प्रतीक्षा कीजिए। क्या आप अब भी ध्वनि सुन पाते हैं?
6. रबड़ बैंड को अधिक तानकर अथवा इसे थोड़ा-सा ढीला करके इसमें तनाव परिवर्तित कीजिए और प्रत्येक स्थिति में रबड़ बैंड को खींचकर छोड़िए। क्या ध्वनि परिवर्तित होती है? आप किस प्रकार के परिवर्तन **अनुभव करते** हैं?
7. रबड़ बैंड को डिब्बे से हटा दीजिए। इसे अपनी दो अँगुलियों के मध्य तानिए अपने कान के समीप लाकर रबड़ बैंड को थोड़ा-सा खींचकर छोड़िए। क्या अब भी ध्वनि उत्पन्न होती है? क्या यह अभी भी पूर्व की ध्वनि जितनी ही प्रबल है?

चित्र 10.2 — कंपन करता हुआ रबड़ बैंड ध्वनि उत्पन्न करता है।

आपने ध्यान दिया होगा कि जब तक रबड़ बैंड तना हुआ है और कंपन कर रहा है इससे ध्वनि उत्पन्न होती है। जैसे ही कंपन रुक जाते हैं ध्वनि भी बंद हो जाती है। इस क्रियाकलाप से हम यह **निष्कर्ष** निकालते हैं कि ध्वनि कंपनों द्वारा उत्पन्न होती है। **कंपन (vibration)** से तात्पर्य है किसी वस्तु की आगे-पीछे की आवर्ती गति (दोलन)।

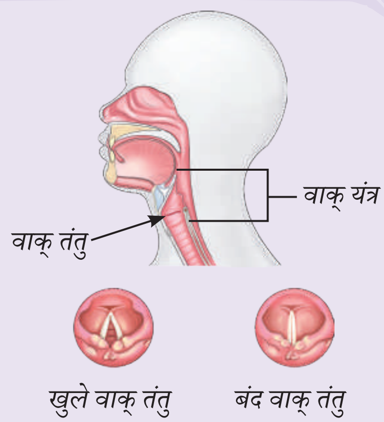
किसी तनी हुई डोरी को खींच कर छोड़ने अथवा किसी धात्विक वस्तु पर प्रहार करने से उनमें कंपन होते हैं जिनसे ध्वनि उत्पन्न होती है। इसी प्रकार जब आप बाँसुरी में फूँक मारते हैं तो खोखली नली के भीतर वायु के कंपन ध्वनि उत्पन्न करते हैं। आप पहले सीख चुके हैं कि इनमें से कुछ विधियों का उपयोग विभिन्न प्रकार के वाद्ययंत्रों में किया जाता है। ध्वनि कंपन करने वाले तारों, पतले पटलों, वायु स्तंभों एवं अन्य अनेक कंपन करने वाली वस्तुओं द्वारा उत्पन्न की जा सकती है। अधिकांश संगीत वाद्ययंत्रों में ध्वनि उत्पन्न करने के लिए एक से अधिक कंपन करने वाले भाग सम्मिलित होते हैं। ऐसी वस्तु जो ध्वनि उत्पन्न करती है ध्वनि का 'स्रोत' कहलाती है।

कक्षा 4 बाँसुरी अध्याय 13

जिज्ञासा-सूत्र

मानव एवं जंतु ध्वनि किस प्रकार उत्पन्न करते हैं? बोलते समय अथवा गाते समय अपने गले को धीरे से स्पर्श कीजिए। क्या आपको कहीं कंपन का अनुभव हुआ? मनुष्यों और कुछ जंतुओ में ध्वनि वाक् तंतु (vocal cords) के कंपन से उत्पन्न होती है जो गले में वाक् यंत्र (voice box) अथवा कंठ (Larynx) में कसकर खिंची हुई पेशीय पट्टियों जैसी होती हैं (चित्र 10.3)। मनुष्यों में उनके अंग, जैसे— जीभ, होंठ, मुँह और नासा-गुहा ध्वनि को वाणी अथवा संगीत में रूपांतरित करने में सहायता करते हैं।

कुछ जानवर अपने शरीर के कुछ अंगों को परस्पर टकराकर अथवा रगड़कर ध्वनि उत्पन्न करते हैं, उदाहरण के लिए— टिड्डे और झींगुर अपने पंखों अथवा टाँगों को रगड़कर ध्वनि उत्पन्न करते हैं।



चित्र 10.3 — मानवों में वाक् तंतु

© NCERT not to be republished

चित्र 10.4 (क) — स्वरित्र द्विभुज एवं रबड़ पैड

चित्र 10.4 (ख) — स्वरित्र द्विभुज को रबड़ पैड से टकराते हुए

चित्र 10.4 (ग) — स्वरित्र द्विभुज की भुजा जल की सतह को स्पर्श करते हुए

10.1.1 स्वरित्र द्विभुज

ध्वनि से जुड़े प्रयोगों के लिए प्रायः स्वरित्र द्विभुज नामक यंत्र का उपयोग किया जाता है। **स्वरित्र द्विभुज (tuning fork)** एक आधार स्तंभ युक्त U आकृति की धात्विक छड़ होती है। यह सामान्यतः स्टील या एलुमिनियम से निर्मित होती है। U निर्मित करने वाले दोनों पार्श्व के भाग या शाखाएँ स्वरित्र द्विभुज की भुजाएँ कहलाती हैं। (चित्र 10.4 क)। इन्हें कंपन कराने हेतु रबड़ के पैड से टकराया जाता है।

क्रियाकलाप 10.2— आइए, अन्वेषण करें

1. एक स्वरित्र द्विभुज तथा नरम रबड़ का एक पैड लीजिए।
2. स्वरित्र द्विभुज को इसके स्तंभ पर पकड़िए।
3. स्वरित्र द्विभुज की एक भुजा को रबड़ पैड पर धीरे से टकराइए (चित्र 10.4 ख) और अपने कान के समीप लाइए। क्या आपको कोई ध्वनि सुनाई देती है? (ध्यान रखिए स्वरित्र द्विभुज किसी कठोर सतह से न टकराएँ)
4. अब कंपन करते हुए स्वरित्र द्विभुज की एक भुजा को जल की सतह से धीरे से स्पर्श कराइए। क्या आपको जल की सतह पर तरंगें निर्मित होती हुई दिखाई देती हैं?
5. इस क्रियाकलाप के चरण 3 को कुछ बार दोहराइए। प्रत्येक बार स्वरित्र द्विभुज की भुजाओं को पृथक-पृथक अभिविन्यास में अपने कान के समीप लाइए। क्या आपको प्रत्येक अभिविन्यास में ध्वनि सुनाई देती है?

जब आप कंपन करते हुए स्वरित्र द्विभुज को अपने कान के समीप लाते हैं तब आप उससे उत्पन्न ध्वनि सुनते हैं। जब स्वरित्र द्विभुज की भुजा जल की सतह को स्पर्श करती है तब जल की सतह पर तरंगें निर्मित होती हैं जो यह दर्शाता है कि स्वरित्र द्विभुज की भुजाएँ वास्तव में कंपन कर रही हैं (चित्र 10.4 ग)। ये अवलोकन इस विचार का समर्थन करते हैं कि ध्वनि कंपन करने वाली वस्तुओं द्वारा उत्पन्न होती है।

सोचिए और बताइए

1. ध्वनि उत्पन्न करने के विभिन्न साधनों की खोज कीजिए।
2. विभिन्न प्रकार के संगीत वाद्ययंत्रों की एक सूची तैयार कीजिए और उनके कंपन करने वाले उन भागों की **पहचान** कीजिए जो ध्वनि उत्पन्न करते हैं।

जिज्ञासा-सूत्र

क्या होता यदि आपका नाम कोई शब्द न होकर एक 'धुन' (tune) होता? मेघालय में शिलांग के समीप एक गाँव है जिसका नाम कोंग थोंग है इसे व्हिसलिंग विलेज (सीटी बजाने वाला गाँव) के नाम से भी जाना जाता है। इस गाँव में प्रत्येक व्यक्ति का नाम एक 'धुन' होती है जिसे गाया अथवा सीटी पर बजाया जा सकता है। इस अद्वितीय परंपरा को *जिंगरवाई इओबेई* कहा जाता है। यह परंपरा बच्चे के जन्म से आरंभ होती है जब माँ अपने बच्चे के लिए लोरी जैसी धुन की रचना करती है।

10.2 ध्वनि का संचरण

आपने देखा है कि ध्वनि कंपन करती हुई वस्तुओं द्वारा उत्पन्न होती है। स्रोत से ध्वनि आपके कान तक कैसे पहुँचती है? ध्वनि वायु से होकर संचरण (propagate) करती है परंतु क्या यह ठोसों एवं द्रवों से होकर भी गमन करती है?

क्रियाकलाप 10.3— आइए, जाँच करें

1. आप और आपका मित्र कक्षा में (आमने-सामने मुख करके) एक डेस्क के विपरीत सिरों पर खड़े हो जाइए। अपने मित्र को डेस्क पर धीरे से आघात करने अथवा खरोंचने के लिए कहिए। वायु से होकर आपके कान तक पहुँचने वाली इस ध्वनि को ध्यानपूर्वक सुनिए।

© NCERT not to be republished

2. अब अपना एक कान डेस्क पर रखिए और दूसरा कान बंद कीजिए और चित्र 10.5 में दर्शाए अनुसार पुनः सुनिए क्या आप डेस्क के माध्यम से ध्वनि सुन पाते हैं?

यह दर्शाता है कि ध्वनि ठोसों से होकर भी संचरण कर सकती है।

चित्र 10.5 — यह जाँच करना कि क्या ध्वनि ठोस वस्तुओं से होकर भी संचरण कर सकती है।

क्रियाकलाप 10.4— आइए, जाँच करें

1. ऊपर तक पानी से भरा एक बड़ा टब अथवा बाल्टी तथा धातु के दो चम्मच लीजिए।
2. चम्मचों को एक-दूसरे से टकराइए और उत्पन्न ध्वनि को सुनिए (चित्र 10.6 क)।
3. अब दोनों चम्मचों को बाल्टी के पार्श्वों अथवा तल को स्पर्श किए बिना जल में डुबोइए और उन्हें जल के भीतर पुन: एक-दूसरे से टकराइए (चित्र 10.6 ख)। क्या अब भी आपको उत्पन्न ध्वनि सुनाई देती है?

जल में डूबे हुए चम्मचों की ध्वनि बताती है कि ध्वनि जल एवं वायु से होकर आप तक पहुँची है। यदि ध्वनि द्रवों में संचरण नहीं करती तो क्या आप यह ध्वनि सुन पाते?

(क)

(ख)

चित्र 10.6 — दो चम्मचों को आपस में टकराना (क) वायु में और (ख) जल में

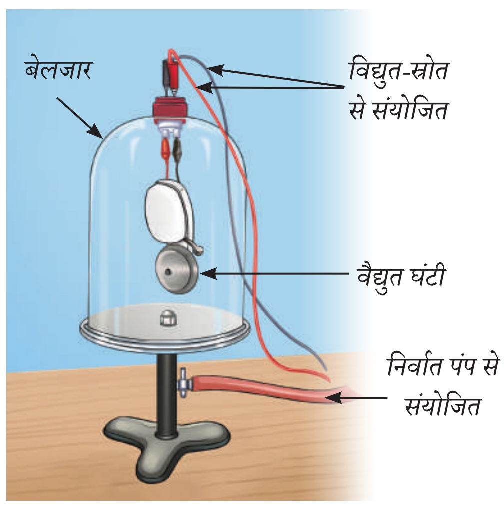
ध्वनि ठोसों, द्रवों और गैसों से होकर गमन अथवा **संचरण** कर सकती है। वह पदार्थ जिससे होकर ध्वनि संचरित होती है **माध्यम (medium)** कहलाता है। ध्वनि अपने स्रोत से आप तक एक माध्यम द्वारा संचरित होती है, परंतु मान लीजिए आपके और ध्वनि स्रोत के मध्य कोई माध्यम नहीं है। ऐसा स्थान जहाँ कोई माध्यम (द्रव्य) नहीं होता उसे **निर्वात (vacuum)** कहा जाता है। क्या आप निर्वात में ध्वनि सुन पाएंगे?

10.2.1 ध्वनि संचरण हेतु माध्यम की आवश्यकता होती है

ध्वनि संचरण हेतु माध्यम की आवश्यकता होती है। सामान्य प्रयोग द्वारा यह दर्शाने के लिए प्राय: निर्वात बेलजार प्रयोग किया जाता है जो चित्र 10.7 में दर्शाया गया है। एक बेलजार में रखी विद्युत घंटी का स्विच ऑन किया जाता है और ध्वनि की प्रबलता पर ध्यान दिया जाता है। जैसे-जैसे निर्वात पंप का उपयोग करके बेलजार से वायु बाहर निकाली जाती है ध्वनि धीमी होती जाती है। जार में लगभग निर्वात की स्थिति आने पर घंटी की ध्वनि सुनाई नहीं देती है जबकि घंटी को बजते हुए देखा जा सकता है। जब जार में वायु को धीरे-धीरे पुन: प्रविष्ट कराया जाता है तो घंटी की ध्वनि पुन: सुनी जा सकती है और धीरे-धीरे यह पूर्व की भाँति प्रबल हो जाती है।

चूँकि यह प्रयोग दर्शाता है कि ध्वनि निर्वात में संचरित नहीं हो सकती है। ध्वनि को संचरण हेतु माध्यम की आवश्यकता होती है। यह माध्यम ठोस, द्रव अथवा गैस हो सकता है।

बाह्य अंतरिक्ष लगभग निर्वातित है अत: वहाँ ध्वनि संचरित नहीं हो सकती है। अत: अंतरिक्ष पोशाक पहनकर अंतरिक्ष में पदयात्रा करते हुए अंतरिक्ष यात्री एक-दूसरे की बातचीत अथवा दो धात्वीय वस्तुओं के टकराने की ध्वनि नहीं सुन सकते हैं। विकल्प के रूप में वे अपने अंतरिक्ष परिधान में लगी विशेष युक्तियों के माध्यम से संवाद करते हैं।



चित्र 10.7— निर्वात बेलजार प्रयोग का चित्र

© NCERT not to be republished

सोचिए और बताइए

3. नीचे दिए गए अभिकथन एवं कारण को पढ़िए और उनके संबंध में आगे दिए गए विकल्पों में से सही विकल्प का चयन कीजिए।
   अभिकथन— किसी बंद जार में से अधिकांश वायु निकाल देने के पश्चात हम इसमें बजती हुई घंटी की ध्वनि नहीं सुन पाते हैं।
   कारण— ध्वनि को संचरण हेतु एक माध्यम की आवश्यकता होती है।
   (i) अभिकथन और कारण दोनों सत्य हैं, परंतु कारण अभिकथन की सही व्याख्या नहीं करता है।
   (ii) अभिकथन और कारण दोनों सत्य हैं, और कारण अभिकथन की सही व्याख्या करता है।
   (iii) अभिकथन सत्य है, परंतु कारण असत्य है।
   (iv) अभिकथन असत्य है, परंतु कारण सत्य है।

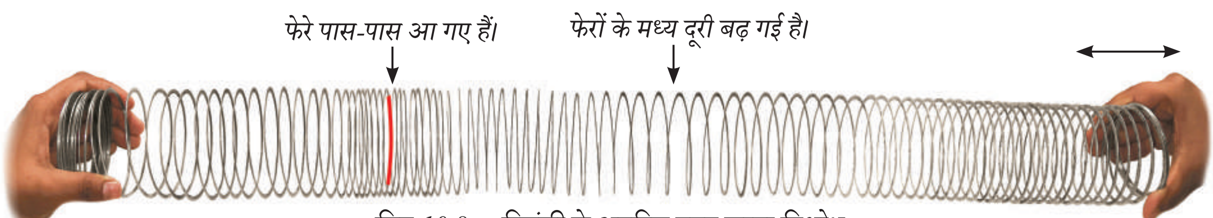
10.3 ध्वनि तरंगें

ध्वनि को संचरण के लिए एक भौतिक माध्यम की आवश्यकता होती है परंतु यह उस माध्यम में किस प्रकार संचरित होती है? क्रियाकलाप 10.2 में जब आपने कंपमान स्वरित्र द्विभुज को विभिन्न अभिविन्यासों में अपने कान के निकट रखा तो आप ध्वनि सुन सकते थे। यह दर्शाता है कि ध्वनि अपने स्रोत (इस प्रकरण में स्वरित्र द्विभुज) से विभिन्न दिशाओं में संचरित होती है। सामान्यतः ध्वनि संचरण की दिशा स्रोत की आकृति पर निर्भर करती है। तथापि सरलता के लिए ध्वनि के संचरण को हम केवल एक ही दिशा में मानेंगे और तदनुसार ही उसका चित्रण करेंगे।

आइए, एक स्लिंकी (धातु या प्लास्टिक की एक लंबी, लचीली खिलौना कमानी) का उपयोग करके एक सरल क्रियाकलाप से प्रारंभ करते हैं जो उस माध्यम के सदृश्य है जिसमें ध्वनि संचरण करती है। ध्वनि जनन के अनुरूपण हेतु हम स्लिंकी के एक सिरे को कंपित करेंगे।

क्रियाकलाप 10.5— आइए, अवलोकन करें

1. एक स्लिंकी तथा एक चिह्नक लीजिए।
2. चिह्नक से स्लिंकी के एक फेरे पर चिह्न लगाइए। स्लिंकी को मेज अथवा फर्श पर क्षैतिजतः फैलाकर रखिए।
3. अपने एक मित्र से स्लिंकी के एक सिरे को पकड़ कर स्थिर रखने के लिए कहिए जबकि आप दूसरे सिरे को पकड़कर स्लिंकी को थोड़ा-सा खींचकर रखिए।
4. अपने सिरे से स्लिंकी को अपने मित्र की ओर बलपूर्वक धकेलिए और उसे तुरंत वापस खींच लीजिए (चित्र 10.8)। क्या आप स्लिंकी में उत्पन्न किसी विक्षोभ (disturbance) का **अवलोकन** करते देखते हैं जो आपके मित्र की ओर बढ़ता है?
5. अब स्लिंकी के सिरे को अनेक बार जल्दी-जल्दी आगे की ओर धक्का दीजिए तथा पीछे की ओर खींच लीजिए (स्लिंकी के सिरे को खींचना और धक्का देना निरंतर उत्पन्न होने वाली ध्वनि के सदृश है)। क्या स्लिंकी में विक्षोभों की एक शृंखला उत्पन्न होती है? क्या ये विक्षोभ स्लिंकी की पूर्ण लंबाई के अनुदिश गति करते हैं? क्या स्लिंकी पर लगाया गया चिह्न विक्षोभ की दिशा के समानांतर आगे-पीछे गति करता है?



चित्र 10.8 — स्लिंकी के अनुदिश गमन करता विक्षोभ

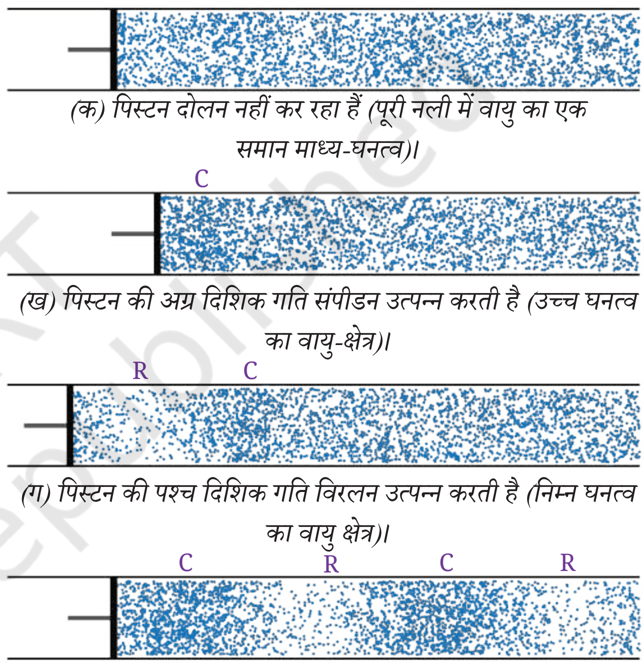
© NCERT not to be republished

आप स्लिंकी में ऐसे क्षेत्रों का अवलोकन करते हैं जहाँ इसके फेरे अपनी सामान्य स्थिति की अपेक्षा एक-दूसरे के निकट आ गए हैं और अन्य क्षेत्र जहाँ वे एक-दूसरे से दूर हट गए हैं। फेरों की अत्यधिक निकटता और अत्यधिक दूरी वाले ये क्षेत्र स्लिंकी के अनुदिश गमन करते हुए प्रतीत होते हैं। तथापि स्लिंकी के फेरे पर अंकित चिह्न स्लिंकी के अनुदिश गमन नहीं करता है। अपितु यह केवल विक्षोभ की दिशा के समानांतर अपनी विरामावस्था के इधर-उधर दोलन करता है। प्रत्येक फेरा अपनी स्वयं की स्थिति के इधर-उधर दोलन करता है जबकि विक्षोभ स्लिंकी के एक सिरे से दूसरे सिरे की ओर गमन करता है।

ध्वनि भी किसी माध्यम में इसी प्रकार संचरित होती है। हमारे इस अनुरूपण में स्लिंकी के फेरों का समीप आना अथवा दूर फैलना उस वायु में उच्च घनत्व अथवा निम्न घनत्व के क्षेत्रों को दर्शाता है जिसमें ध्वनि संचरण कर रही है। मान लीजिए कि वायु से भरी एक लंबी नली है जिसके एक सिरे पर पिस्टन लगा है और दूसरा सिरा खुला है। नली के भीतर पिस्टन को आगे-पीछे दोलन कराया जा सकता है। यहाँ दोलन करने वाले पिस्टन को ध्वनि स्रोत के एक सरल और आदर्श प्रतिरूप के रूप में उपयोग में लाया जाता है जो ध्वनि के वायु में गमन को समझने में सहायता करता है।

चित्र 10.9 (क) में जब पिस्टन दोलन नहीं कर रहा है तो नली के भीतर की वायु का सर्वत्र एकसमान घनत्व होता है जिसे हम माध्य घनत्व कहते हैं। नली में बिंदु द्वारा वायु के कणों को निरूपित किया गया है। जैसे ही पिस्टन आगे गति करता है यह अपने समीप के वायु के कणों को अग्र दिशा में धक्का देता है और विस्थापित करता है परिणामस्वरूप वायु संपीडित हो जाती है और पिस्टन के समीप छोटे से क्षेत्र में इसके घनत्व में वृद्धि हो जाती है (चित्र 10.9 ख)। उच्च घनत्व (औसत घनत्व की तुलना में) की वायु का यह क्षेत्र **संपीडन** (Compression) कहलाता है जिसे चित्र में C से दर्शाया गया है।

संपीडित वायु के कण आगे के कणों से टकराते हैं और संपीडन को आगे बढ़ाते हैं। संपीडित कण पुनः अपने निकटतम कणों से टकराते हैं और इस प्रकार यह संपीडन को आगे बढ़ाने की प्रक्रिया चलती रहती है। परिणामस्वरूप उच्च घनत्व वाला संपीडन वायु के माध्यम से आगे की ओर गति करता है जबकि वायु के कण इसके साथ गमन नहीं करते हैं।



(क) पिस्टन दोलन नहीं कर रहा हैं (पूरी नली में वायु का एक समान माध्य-घनत्व)।

(ख) पिस्टन की अग्र दिशिक गति संपीडन उत्पन्न करती है (उच्च घनत्व का वायु-क्षेत्र)।

(ग) पिस्टन की पश्च दिशिक गति विरलन उत्पन्न करती है (निम्न घनत्व का वायु क्षेत्र)।

(घ) दोलन करता हुआ पिस्टन क्रमिक संपीडन और विरलन उत्पन्न करता है।

चित्र 10.9 — पिस्टनयुक्त नली में वायु का घनत्व

जैसे ही पिस्टन पीछे की ओर गति करता है वायु के कण पीछे की ओर पिस्टन की दिशा में गति करते हैं और पिस्टन के समीप एक छोटे से क्षेत्र में वायु कम सघन हो जाती है (चित्र 10.9 ग)। वायु के इस निम्न घनत्व (औसत घनत्व की तुलना में) वाले क्षेत्र को **विरलन** (Rarefaction) कहते हैं, इसे चित्र में R से दर्शाया गया है। पुनः समीप के कणों से टकराने के कारण विरलन आगे की ओर गति करता है जबकि वायु के कण मात्र अपनी माध्य स्थिति के इधर-उधर दोलन करते हैं।

जैसे ही पिस्टन आगे-पीछे दोलन करता है, क्रमशः संपीडन एवं विरलन उत्पन्न होते हैं (चित्र 10.9 घ)। ये स्रोत से दूर गमन करते हैं और संपीडन एवं विरलन की एक शृंखला उत्पन्न होती है।

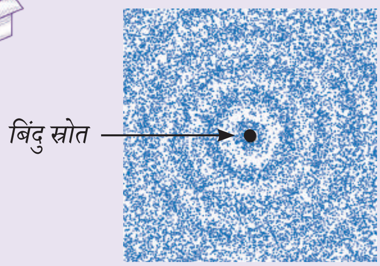
किसी माध्यम में उसके कणों के वास्तविक संचरण के बिना क्रमिक रूप से संचरित होते संपीडनों और विरलनों की यह शृंखला **ध्वनि तरंग (sound wave)** कहलाती है। जिस दिशा में तरंग गमन करती है उसे **तरंग के संचरण की दिशा** के रूप में जाना जाता है।

टिप्पणी

माध्यम के कण तरंग के साथ गमन नहीं करते हैं। ये केवल अपनी माध्य स्थिति के इधर-उधर कंपन करते हैं।

© NCERT not to be republished

आइए, और चिंतन करें



चित्र 10.10 — किसी बिंदु स्रोत से ध्वनि गोलाकार तरंगों के रूप में सभी दिशाओं में गमन करती है।

जब माध्यम किसी नली तक सीमित नहीं होता है तो इसके कंपन करने वाले कण सभी दिशाओं में परिवेशी माध्यम के कणों से टकराते हैं और इस प्रकार ध्वनि तरंगें सभी दिशाओं में फैल जाती हैं। सभी दिशाओं में लगातार ध्वनि उत्पन्न करने वाला ध्वनि का एक लघु स्रोत संपीडन एवं विरलन उत्पन्न करता है जो परिवेशी माध्यम में गोलीय तरंगों (spherical waves) के रूप में सभी दिशाओं में फैल जाता है (चित्र 10.10)। जब यह श्रोता तक पहुँचता है तो ध्वनि का बोध होता है।

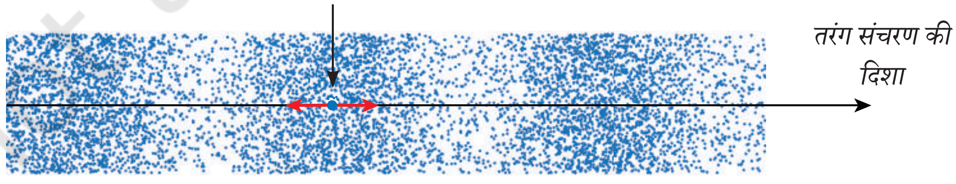
जिज्ञासा-सूत्र

जब पटाखों में विस्फोट होता है अथवा जब बिजली कड़कती है तो इस प्रकार की घटनाओं में अचानक तीव्र ध्वनि क्यों उत्पन्न होती है? ये ध्वनियाँ थोड़ा भिन्न विधि से उत्पन्न होती हैं। जब वायु अथवा गैसों को शीघ्रता से गर्म किया जाता है तब अल्प समय-अंतराल में उनका अति तीव्र गति से प्रसार होता है। यह तीव्र प्रसार वायु घनत्व में अचानक विक्षोभ सृजित करता है जो बाहर की ओर गमन करता है। जब यह विक्षोभ हमारे कानों तक पहुँचता है तब एक तीव्र ध्वनि-स्पंद के रूप में हमें इसकी अनुभूति होती है।

चित्र 10.11 — पराध्वनिक वायुयान

जब कोई पराध्वनिक वायुयान (supersonic aircraft) (चित्र 10.11) ध्वनि की गति से अधिक तीव्रगति से उड़ता है तब ऐसा ही अपेक्षाकृत अधिक जटिल विक्षोभ उत्पन्न होता है। यह एक प्रबल ध्वनि सृजित करता है जिसे **ध्वनि बूम (sonic boom)** कहते हैं।

चित्र 10.9 में क्या आपने ध्यान दिया कि माध्यम का विस्थापन तरंग संचरण की दिशा के समानांतर होता है? ध्वनि तरंगों में माध्यम के कण विक्षोभ के संचरण की दिशा के समानांतर आगे-पीछे कंपन करते हैं (चित्र 10.12)। ऐसी तरंगें जिनमें माध्यम के कण तरंग संचरण की दिशा के समानांतर कंपन करते हैं, **अनुदैर्घ्य तरंगें (longitudinal waves)** कहलाती हैं।



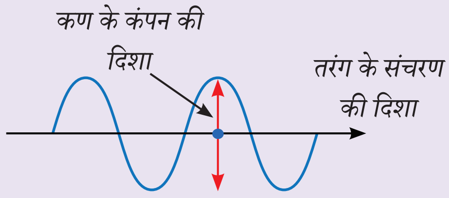
चित्र 10.12 — अनुदैर्घ्य तरंग

यदि कोई माध्यम (अर्थात कण) ही विद्यमान न हो तो क्या ध्वनि तरंगों का संचरण संभव है? किसी भौतिक माध्यम की अनुपस्थिति में ध्वनि तरंगें संचरित नहीं हो सकती हैं। ऐसी तरंगें जिन्हें संचरण हेतु भौतिक माध्यम की आवश्यकता होती है, **यांत्रिक तरंगें (mechanical waves)** कहलाती हैं। ध्वनि तरंग एक यांत्रिक तरंग है।

© NCERT not to be republished

आइए, और चिंतन करें

यांत्रिक तरंगें दो प्रकार की होती हैं—अनुदैर्घ्य तरंगें (longitudinal waves) एवं अनुप्रस्थ तरंगें (transverse waves)। ध्वनि तरंग अनुदैर्घ्य तरंग का एक उदाहरण है जिसमें माध्यम के कण तरंग संचरण की दिशा के समानांतर कंपन करते हैं। अनुप्रस्थ तरंग में माध्यम के कण तरंग संचरण की दिशा के लंबवत कंपन करते हैं (चित्र 10.13)।



चित्र 10.13— अनुप्रस्थ तरंग

भूकंप ऐसी भूकंपीय तरंगें उत्पन्न करते हैं जो पृथ्वी से होकर गमन करती हैं। ये तरंगें अनुदैर्घ्य अथवा अनुप्रस्थ हो सकती हैं। अनुदैर्घ्य भूकंपीय तरंगें (seismic waves) भूकंप का पता लगाने वाले भूकंप-लेखी द्वारा पहचानी जाने वाली पहली तरंगें होती हैं।

सभी तरंगें यांत्रिक तरंग नहीं होती हैं अर्थात सभी तरंगों को संचरण हेतु माध्यम की आवश्यकता नहीं होती है। प्रकाश जो एक अनुप्रस्थ तरंग है, निर्वात में गमन कर सकता है। यही कारण है कि सूर्य एवं अन्य तारों का प्रकाश पृथ्वी तक पहुँच पाता है। आप तरंगों के विषय में अधिक विस्तार से उच्च कक्षाओं में अध्ययन करेंगे। एक सोपान ऊपर

सोचिए और बताइए

4. नीचे दिए गए अभिकथन एवं कारण को पढ़िए और उनके संबंध में आगे दिए गए विकल्पों में से सही विकल्प का चयन कीजिए।

   अभिकथन— संपीडन एवं विरलन माध्यम में गति करते हैं।

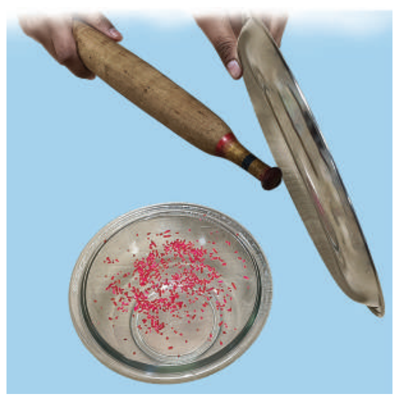
   कारण — माध्यम के कण तरंग के साथ लगातार आगे बढ़ते रहते हैं।

   (i) अभिकथन और कारण दोनों सत्य हैं, परंतु कारण अभिकथन की सही व्याख्या नहीं करता है।
   (ii) अभिकथन और कारण दोनों सत्य हैं और कारण अभिकथन की सही व्याख्या करता है।
   (iii) अभिकथन सत्य है, परंतु कारण असत्य है।
   (iv) अभिकथन असत्य है, परंतु कारण सत्य है।

10.4 ध्वनि तरंगों की ऊर्जा

क्रियाकलाप 10.6—आइए, प्रयोग करें

1. एक चौड़े मुँह वाला पात्र, एक सेलोफेन अथवा रबड़ की शीट (जैसे किसी बड़े गुब्बारे को काटकर निकाली गई) जिसकी लंबाई-चौड़ाई लिए गए पात्र के मुँह से अधिक हो, एक प्रबल ध्वनि स्रोत (जैसे धातु की प्लेट और उस पर चोट मारने के लिए डंडा) तथा अनाज के कुछ दाने अथवा कोई अन्य कण (जैसे— चावल, सूजी, नमक अथवा चाक-पाउडर) लीजिए।
2. शीट को पात्र के किनारों पर खींचकर फैलाइए और फीते अथवा रबड़ बैंड की सहायता से बाँध दीजिए (चित्र 10.14)।
3. शीट पर दानों को समान रूप से बिखरा दीजिए और यह सुनिश्चित कीजिए कि वें किसी एक स्थान पर एकत्रित न हों।
4. पात्र को छुए बिना धातु की प्लेट पर डंडे से चोट मारकर उसके समीप एक प्रबल ध्वनि उत्पन्न कीजिए। शीट पर दानों का अवलोकन कीजिए। क्या ध्वनि का दानों पर कोई प्रभाव पड़ता है?


चित्र 10.14—ध्वनि के कारण गतिमान अनाज के रंगीन दाने

© NCERT not to be republished

टिप्पणी

ध्वनि तरंग के संचरण में ऊर्जा का स्थानांतरण होता है, माध्यम के कणों का नहीं।

5. विभिन्न ध्वनि स्रोतों के साथ इस क्रियाकलाप के चरण 4 को दोहराइए और अनाज के दानों पर पड़ने वाले प्रभाव का अवलोकन कीजिए। आप ध्वनि की तीव्रता को घटा या बढ़ा सकते हैं। भिन्न-भिन्न अनाजों के दाने लेकर क्रियाकलाप दोहराइए।

क्या आपने अनाज के दानों को शीट पर गति करते अथवा उछलते हुए देखा है? ध्वनि स्रोत तो शीट अथवा पात्र को छूता भी नहीं है तब भी ऐसा क्यों होता है? जैसे ही ध्वनि वायु से संचरित होती है यह शीट तक पहुँचती है और इसको कंपन कराती है। यही कंपन अनाज के दानों की गति का कारण बनते हैं।

यह दर्शाता है कि ध्वनि ऊर्जा का एक रूप है। जब ध्वनि स्रोत कंपन करता है तब यह आस-पास के माध्यम में ऊर्जा को स्थानांतरित करता है। किसी माध्यम में ध्वनि संचरण की प्रक्रिया में माध्यम के कण कंपन करते हैं और अन्य कणों से उनके संघट्ट के परिणामस्वरूप ऊर्जा का स्थानांतरण होता है।

आइए, और चिंतन करें

किसी माध्यम के कण वस्तुत: कभी भी विरामावस्था में नहीं होते हैं। वे तापीय ऊर्जा के कारण सर्वदा यादृच्छिक (random) कंपन करते रहते हैं। जब कोई ध्वनि तरंग किसी माध्यम से गुजरती है तो वह इन कणों के कंपन में अस्थायी रूप से वृद्धि कर देती है। तरंग का संचरण हो जाने के पश्चात कण अपनी सामान्य यादृच्छिक गति में वापस लौट आते हैं।

विज्ञान एवं समाज

माइक्रोफोन (चित्र 10.15 क) जो विभिन्न ध्वनि स्रोतों से ध्वनि ग्रहण करने में हमारी सहायता करता है ध्वनि उर्जा को विद्युत ऊर्जा में रूपांतरित करता है। जब हम माइक्रोफोन के सामने बोलते अथवा गाते हैं तो इसमें लगी एक पतली झिल्ली जिसे तनुपट (Diaphragm) कहा जाता है, ध्वनि तरंगों के अनुरूप कंपन करने लगती है। ये कंपन विद्युत संकेतों में रूपांतरित हो जाते हैं। स्पीकर (चित्र 10.15 ख) इसके विपरीत कार्य करता है। विद्युत संकेत स्पीकर के भीतर लगे शंकु अथवा तनुपट को कंपन कराते हैं जिससे ध्वनि उत्पन्न होती है। यदि सभी अवयव सुचारू रूप से कार्य करते हैं तो स्पीकर से निकलने वाली ध्वनि माइक्रोफोन द्वारा ग्रहण की गई मूल ध्वनि के सदृश होती है।

(क) *(ख)*

चित्र 10.15 — (क) माइक्रोफोन (ख) स्पीकर

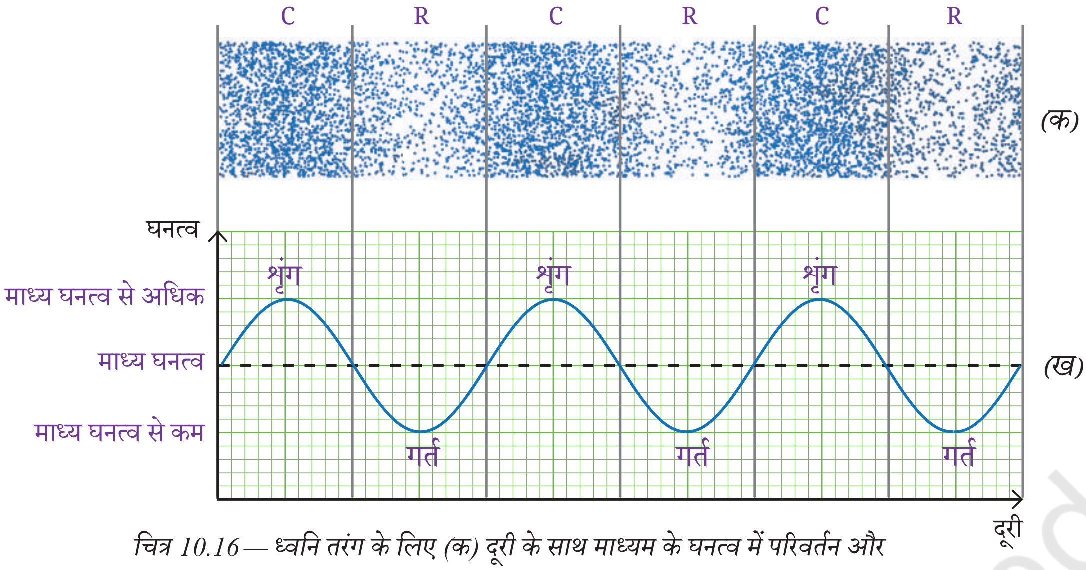
सोचिए और बताइए

5. जब ध्वनि किसी स्वरित्र द्विभुज से आपके कान तक पहुँचती है तो वास्तव में निम्नलिखित में से आपके कान तक क्या पहुँचता है?
   (i) स्वरित्र द्विभुज के समीप के वायु कण
   (ii) ध्वनि तरंगों द्वारा वाहित ऊर्जा
   (iii) स्वरित्र द्विभुज का पदार्थ
   (iv) संपीडित वायु की निरंतर धारा

10.5 ध्वनि तरंग का आलेखीय निरूपण

जैसे-जैसे ध्वनि तरंग संचरित होती है वैसे-वैसे किसी दिए गए क्षण पर माध्यम का घनत्व स्रोत से दूरी के साथ आवर्तत: परिवर्तित होता है। चित्र 10.16 (क) में किसी निश्चित समय पर दूरी के साथ घनत्व का आवर्ती परिवर्तन दर्शाया गया है। इसके संगत आलेख चित्र 10.16 (ख) में दर्शाया गया है जिसमें दूरी X-अक्ष के अनुदिश और माध्यम का घनत्व Y-अक्ष के अनुदिश लिया गया है। इसमें माध्य घनत्व को क्षैतिज बिंदुदार रेखाओं द्वारा अंकित किया गया है। किसी दिए गए समय पर माध्यम का घनत्व दूरी के साथ माध्य घनत्व के सापेक्ष घटता, बढ़ता रहता है।

© NCERT not to be republished



चित्र 10.16 — ध्वनि तरंग के लिए (क) दूरी के साथ माध्यम के घनत्व में परिवर्तन और (ख) दूरी के साथ घनत्व में परिवर्तन का आलेखी निरूपण

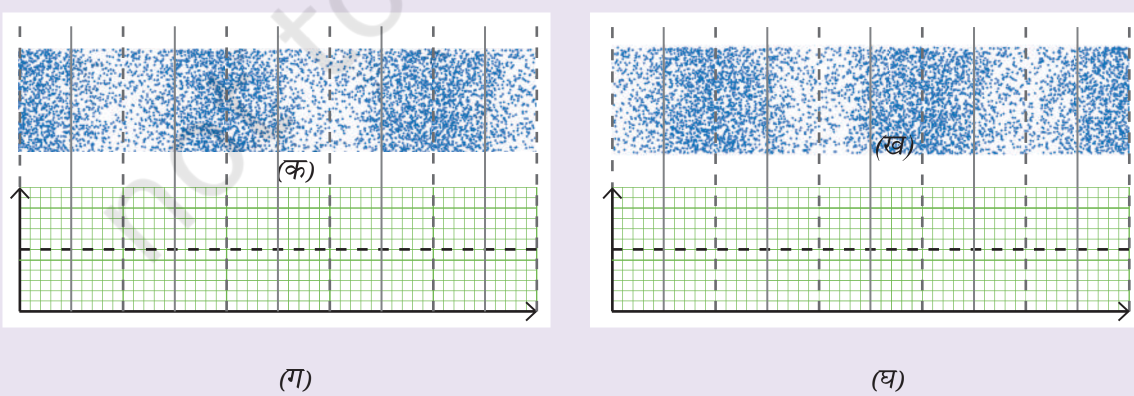
संपीडन (C) के क्षेत्र में माध्यम का घनत्व, औसत घनत्व से अधिक हो जाता है और उच्चतम बिंदु अधिकतम घनत्व को निरूपित करता है (चित्र 10.16 ख)। इसके पश्चात घनत्व कम हो जाता है और अंततः विरलन (R) के क्षेत्र में माध्यम का घनत्व औसत घनत्व से कम हो जाता है और निम्नतम बिंदु न्यूनतम घनत्व को दर्शाता है। तरंग के उच्चतम बिंदु को **श्रृंग (crest)** और निम्नतम बिंदु को **गर्त (trough)** कहा जाता है।

आइए, और आगे बढ़ें

ध्वनि तरंग के आलेखीय निरूपण की एक अन्य विधि माध्यम के किसी विशेष स्थान पर समय के साथ माध्यम के घनत्व के परिवर्तन को आलेखित करना है।

सोचिए और बताइए

6. दो ध्वनि तरंगों के लिए माध्यम का घनत्व परिवर्तन चित्र 10.17 (क) और (ख) में दर्शाया गया है। इस पर संपीडन और विरलन को C एवं R द्वारा **अंकित** कीजिए। चित्र 10.17 (ग) और (घ) में दिए गए आलेख में अक्षों को अंकित कीजिए और चित्र 10.17 (क) और (ख) के संगत वक्र **खींचिए**।

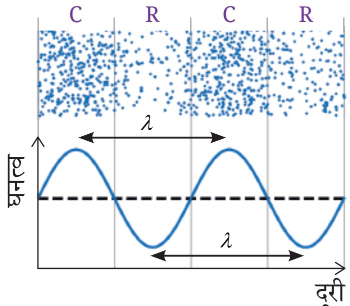


चित्र 10.17 — दो ध्वनि तरंगों के लिए माध्यम में घनत्व परिवर्तन के निरूपण हेतु ग्राफ बनाना।

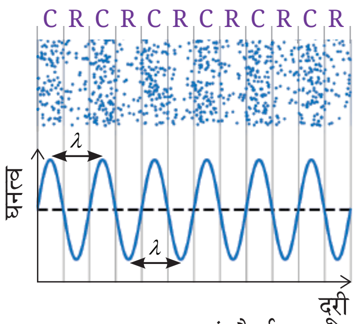
© NCERT not to be republished

10.6 ध्वनि तरंग के अभिलक्षण

10.6.1 तरंगदैर्घ्य, आवृत्ति और आवर्तकाल



(क) दीर्घ तरंगदैर्घ्य



(ख) लघु तरंगदैर्घ्य

चित्र 10.18 — ध्वनि तरंगें

आइए, हम कुछ ऐसी राशियों के विषय में सीखें जिनका उपयोग ध्वनि तरंग का वर्णन करने के लिए किया जाता है। दो क्रमागत शृंगों अथवा दो क्रमागत गर्तों के मध्य की दूरी को तरंग का **तरंगदैर्घ्य (wavelength)** कहा जाता है। इसे चित्र 10.18 में दर्शाया गया है जहाँ दीर्घ और लघु तरंगदैर्घ्य की दो ध्वनि तरंगें दर्शाई गई हैं। तरंगदैर्घ्य को सामान्यतः λ (ग्रीक अक्षर **लैम्डा**) द्वारा दर्शाया जाता है। इसका SI मात्रक **मीटर (m)** है।

ध्वनि तरंग का एक अन्य अभिलक्षण (characteristic), एक ऐसी राशि है जो यह बताती है कि जब ध्वनि तरंग किसी माध्यम में किसी निश्चित स्थान से गुजरती है तो उस स्थान पर माध्यम के घनत्व में परिवर्तन कितनी जल्दी-जल्दी होता है? किसी दी गई स्थिति पर माध्यम का घनत्व क्रमशः अधिकतम (शृंग) से न्यूनतम (गर्त) होता रहता है। किसी नियत बिंदु पर माध्यम के घनत्व का अधिकतम से न्यूनतम और पुनः अधिकतम (अथवा इसके विलोमतः) होने का परिवर्तन क्रम एक पूर्ण **दोलन (oscillation)** होता है।

किसी नियत बिंदु पर प्रति इकाई समय में घनत्व के दोलनों की संख्या, ध्वनि तरंग की **आवृत्ति (frequency)** कहलाती है। इसे सामान्यतः ν (ग्रीक अक्षर **न्यू**) द्वारा निरूपित किया जाता है। इसका SI मात्रक प्रति सेकंड ($\frac{1}{s}$ अथवा s^{-1}) है जिसे **हर्ट्ज** (प्रतीक **Hz**) भी कहा जाता है।

किसी निश्चित बिंदु पर घनत्व के एक पूर्ण दोलन में लगने वाले समय को तरंग का **आवर्तकाल (time period)** कहा जाता है। तरंग का आवर्तकाल प्रतीक T द्वारा निरूपित किया जाता है। इसका SI मात्रक सेकंड (s) है।

आवर्तकाल और आवृत्ति एक-दूसरे के व्युत्क्रम होते हैं। लघु आवर्तकाल के संगत आवृति का मान उच्च होता है।

$$\nu = \frac{1}{T} \tag{10.1}$$

सामान्यतः प्रतिदिन सुनाई देने वाली ध्वनियाँ प्राय: अनेक आवृत्तियों का मिश्रण होती हैं। स्वरित्र द्विभुज को पैड से टकराकर (अनुभाग 10.1.1) अथवा मुख से सीटी बजाकर लगभग एकल आवृत्ति की ध्वनि प्राप्त की जा सकती है।

जिज्ञासा-सूत्र

इंटरनेट पर कुछ नि:शुल्क ऐप्स उपलब्ध हैं जिनका उपयोग शिक्षकों द्वारा विभिन्न आवृत्तियों की ध्वनियाँ उत्पन्न करने और पहचानने के लिए किया जा सकता है। वास्तव में फाइफॉक्स (Phyphox) ऐप्प के ऑडियोस्कोप (Audioscope) का उपयोग करते हुए सावधानीपूर्वक सीटी बजाने पर प्राय: चित्र 10.18 जैसा ग्राफ प्राप्त होता है, जिससे यह पता चलता है कि यह ध्वनि लगभग एक ही आवृत्ति की है।

क्रियाकलाप 10.7—आइए, प्रयोग करें (निदर्शन क्रियाकलाप)

यह क्रियाकलाप शिक्षक की देखरेख में एक कक्षा समूह क्रियाकलाप के रूप में करने की संस्तुति की जाती है।

1. किसी मोबाइल ऐप्प, जैसे— फाइफॉक्स (Phyphox) का उपयोग कीजिए जो ध्वनि की आवृत्तियों की पहचान कर सके। ऐप्प में 'ऑडियो स्पेक्ट्रम' विकल्प का उपयोग कीजिए जो आवृत्ति को ग्राफ के रूप में अथवा हर्ट्ज (Hz) में प्रदर्शित करता है।
2. संगीत के स्वरों 'सा', 'रे', 'गा', 'मा', 'पा', 'धा', 'नि', 'सा' को एक के बाद एक गाने का प्रयास कीजिए अथवा इन स्वरों को उत्पन्न करने हेतु दूसरे फोन पर 'म्यूजिक' या 'टोन जनरेटिंग ऐप्प' का उपयोग कीजिए। इसके साथ ही अवलोकन कीजिए कि प्रत्येक स्वर के उत्पन्न होने पर आवृत्ति किस प्रकार परिवर्तित होती है?
3. संगीत के प्रत्येक स्वर के सन्निकट आवृत्ति मान को **अभिलेखित** कीजिए।
4. 'सा' की आवृत्ति के सापेक्ष प्रत्येक स्वर की आवृत्ति का अनुपात ज्ञात कीजिए और उनकी परस्पर **तुलना** कीजिए। क्या आपको कोई प्रतिरूप (pattern) दिखाई देता है।

© NCERT not to be republished

5. यदि अपनी वाणी और मोबाइल जनित स्वरों दोनों का उपयोग किया गया है तो समान स्वरों के लिए उनकी आवृत्तियों की तुलना कीजिए।

इस क्रियाकलाप में आपने ध्यान दिया होगा कि 'सा' स्वर के लिए आवृत्ति न्यूनतम है और धीरे-धीरे अन्य स्वरों के लिए बढ़ती है। संगीत के प्रत्येक स्वर की एक विशिष्ट आवृत्ति होती है जिसके कारण इसकी ध्वनि भिन्न होती है। आप अन्य ध्वनियों और अपने मित्रों की वाणी की आवृत्तियों की तुलना भी इस ऐप्प के द्वारा कर सकते हैं।

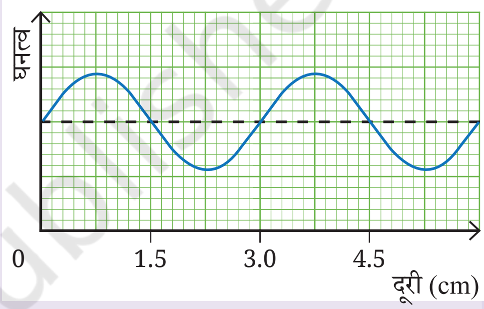
उदाहरण 10.1 — यदि किसी दी गई स्थिति में 2 सेकंड में 10 घनत्व दोलन होते हैं तब (i) ध्वनि तरंग की आवृत्ति और (ii) इसके आवर्त काल का **परिकलन** कीजिए।

उत्तर — ध्वनि तरंग की आवृत्ति $= \dfrac{\text{दोलन की संख्या}}{\text{लिए गया समय}} = \dfrac{10}{2\,\text{s}} = 5\,\text{Hz}$

किसी दी गई स्थिति पर एकल घनत्व दोलन में लगा समय $= \dfrac{2\,\text{s}}{10} = 0.2\,\text{s}$

सोचिए और बताइए

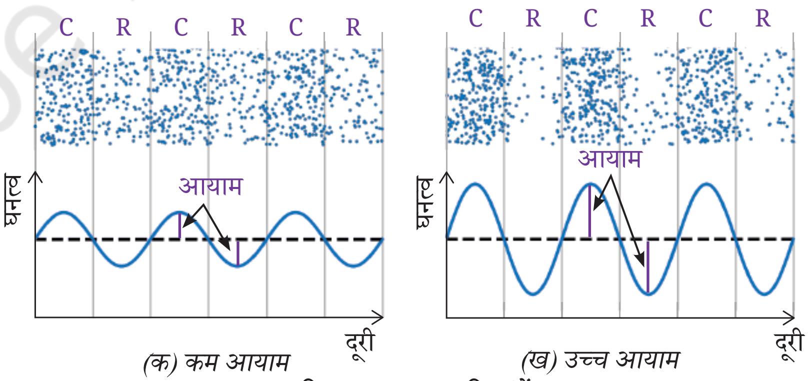
7. क्रियाकलाप 10.1 को पहले एक बार मोटे रबड़ बैंड के साथ इसके पश्चात पतले रबड़ बैंड के साथ दोहराइए। क्या पतला रबड़ बैंड मोटे रबड़ बैंड की तुलना में अधिक तीव्र कंपन करता है? यदि हाँ, तब पतले रबड़ बैंड द्वारा उत्पन्न ध्वनि की आवृत्ति और आवर्तकाल मोटे रबड़ बैंड द्वारा उत्पन्न ध्वनि की आवृत्ति एवं आवर्तकाल से किस प्रकार भिन्न होते हैं?
8. यदि वायु से भरी एक लंबी नली के दोलायमान पिस्टन द्वारा उत्पन्न ध्वनि तरंग की आवृत्ति 20 Hz है तो पिस्टन प्रति मिनट कितने दोलन पूर्ण करता है?
9. बताइए चित्र 10.19 में आलेख द्वारा निरूपित ध्वनि तरंग का अर्ध तरंगदैर्घ्य क्या है?



चित्र 10.19 — ध्वनि तरंग का आलेखीय निरूपण

10.6.2 ध्वनि तरंगों का आयाम और तीव्रता

किसी माध्यम में ध्वनि संपीडन और विरलन द्वारा घनत्व के दोलन के रूप में संचरित होती है। ध्वनि तरंग का **आयाम (amplitude)** औसत घनत्व की तुलना में संपीडन (अथवा विरलन) में वायु के घनत्व में होने वाला अधिकतम परिवर्तन है। घनत्व में परिवर्तन अधिक होता है तो तरंग का आयाम भी बड़ा होता है (चित्र 10.20)।

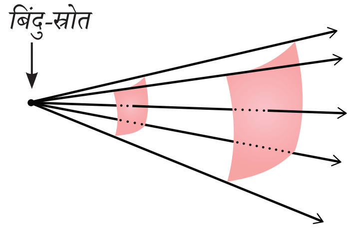


चित्र 10.20 — ध्वनि तरंगें

किसी तरंग का आयाम और उसके द्वारा वाहित ऊर्जा में आपस में संबंध होता है। अधिक आयाम वाली तरंग कम आयाम वाली तरंग की तुलना में अधिक ऊर्जा वहन करती है। इसे क्रियाकलाप 10.6 में देखा जा सकता है। जब धातु की प्लेट पर अधिक शक्ति से प्रहार किया जाता है तो परिवेशी माध्यम के कणों को अधिक ऊर्जा स्थानांतरित होती है जिसके कारण वे अपनी माध्य स्थिति से अधिक विस्थापित होते हैं। परिणामस्वरूप धातु की प्लेट के कंपनों का आयाम बढ़ जाता है और अनाज के दाने अधिक ऊँचाई तक उछलते हैं।

ध्वनि संचरण की दिशा के लंबवत एकांक क्षेत्रफल से एकांक समय में संचरित होने वाली ध्वनि ऊर्जा की मात्रा को ध्वनि की **तीव्रता (intensity)** कहते हैं।

© NCERT not to be republished



चित्र 10.21 — दूरी के साथ वृहत्तर क्षेत्रफल में फैलती हुई ध्वनि ऊर्जा

जैसे-जैसे कोई ध्वनि तरंग अपने स्रोत से दूर जाती है तो यह वृहत्तर क्षेत्रफल में फैलती जाती है (चित्र 10.21) क्योंकि ऊर्जा संरक्षित रहनी चाहिए इसलिए ऊर्जा की समान मात्रा एक वृहत्तर क्षेत्रफल में फैल जाती है। अत: स्रोत से दूरी बढ़ने पर ध्वनि की तीव्रता में कमी होती है। वे ध्वनियाँ जो वृहत्तर आयाम के साथ उत्पन्न होती हैं अधिक ऊर्जा वहन करती हैं और तीव्रता शून्य होने से पूर्व अधिक दूरी तक गमन कर सकती हैं।

10.6.3 ध्वनि की चाल

ध्वनि की चाल यह दर्शाती है कि ध्वनि तरंगें माध्यम में कितनी तीव्र गति से संचरित होती हैं? संपीडन और विरलन के संदर्भ में हम चाल को एक ऐसी राशि के रूप में समझ सकते हैं जो यह निर्धारित करती है कि माध्यम में घनत्व-विक्षोभ कितनी तीव्र गति से आगे बढ़ते हैं। **ध्वनि की चाल (speed of sound)** को उस दूरी के रूप में परिभाषित किया जा सकता है जो तरंग का कोई बिंदु, जैसे — शृंग (अथवा गर्त) एकांक समय में तय करता है।

किसी दी गई आवृत्ति की ध्वनि तरंग के लिए दो क्रमागत शृंगों (अथवा दो क्रमागत गर्तों) के मध्य की दूरी एक तरंगदैर्घ्य (λ) होती है। यह किसी विक्षोभ द्वारा एक आवर्त काल (T) में चली गई दूरी होती है। इस प्रकार ध्वनि की चाल (υ) को निम्नवत व्यक्त किया जा सकता है —

$$\text{चाल} = \frac{\text{दूरी}}{\text{समय}} \quad \Rightarrow \quad \upsilon = \frac{\lambda}{T}$$

हम जानते हैं कि आवृत्ति $\nu = \frac{1}{T}$ (समीकरण 10.1), अत:

$$\upsilon = \lambda \times \nu \qquad (10.2)$$

$$\text{चाल} = \text{तरंगदैर्घ्य} \times \text{आवृत्ति}$$

ध्वनि की चाल उस माध्यम पर निर्भर करती जिसमें यह गमन करती है। यह ठोसों में सबसे अधिक तीव्र गति से, द्रवों में उससे धीमी गति से और गैसों में सबसे धीमी गति से गमन करती है। उदाहरण के लिए— जल में ध्वनि की चाल, वायु में ध्वनि की चाल से 4 से 5 गुना अधिक होती है। साधारणत: ठोसों में ध्वनि की चाल, वायु में ध्वनि की चाल से 15 से 20 गुना अधिक होती है।

वायु में ध्वनि की चाल ताप और आर्द्रता पर भी निर्भर करती है। जैसे ही हम ताप अथवा आर्द्रता में वृद्धि करते हैं ध्वनि की चाल में वृद्धि होती है। उदाहरण के लिए— 0°C पर शुष्क वायु में ध्वनि की चाल लगभग 331 m s^{-1} और 22 °C पर लगभग 344 m s^{-1} रहती है।

क्या होगा यदि...

वायु में ध्वनि की चाल आवृत्ति पर निर्भर करती तो क्या तब भी गायक द्वारा वाद्ययंत्रों के साथ प्रस्तुत संगीत कानों को सुखद लगता है? अपने उत्तर के समर्थन में तर्क दीजिए।

आइए, और चिंतन करें

वायु की भाँति अधिकांश माध्यमों में ध्वनि की चाल केवल माध्यम पर निर्भर करती है यह ध्वनि के स्रोत अथवा आवृत्ति पर निर्भर नहीं करती है। यदि किसी स्रोत की आवृत्ति परिवर्तित होती है तो माध्यम में ध्वनि तरंग का तरंगदैर्घ्य परिवर्तित होता है जबकि ध्वनि की चाल नियत रहती है। कुछ विशेष पदार्थों जैसे — सरंध्र फोम अथवा अभियांत्रित संरचनाएँ भिन्न प्रकार से व्यवहार कर सकती हैं।

उदाहरण 10.2 — मनुष्यों में ध्वनि की श्रव्यता का परिसर लगभग 20 Hz से 20 kHz होता है। वायु में इन दोनों आवृत्तियों के संगत तरंगदैर्घ्य क्या हैं? वायु में ध्वनि की चाल 344 m s^{-1} का उपयोग करें।

उत्तर — तरंगदैर्घ्य (λ), आवृत्ति (ν) और चाल (υ) में संबंध का उपयोग करें तो

तरंग की चाल = आवृत्ति × तरंगदैर्घ्य

© NCERT not to be republished

इसलिए तरंगदैर्घ्य $\lambda = \dfrac{\text{तरंग की चाल}}{\text{आवृत्ति}}$

(i) $\nu = 20\ \text{Hz}$ के लिए $\quad \lambda = \dfrac{344\ \text{m s}^{-1}}{20\ \text{s}^{-1}} = 17.2\ \text{m}$

(ii) $\nu = 20\ \text{kHz} = 20000\ \text{Hz}$ के लिए $\quad \lambda = \dfrac{344\ \text{m s}^{-1}}{20000\ \text{s}^{-1}} = 0.0172\ \text{m} = 1.72\ \text{cm}$

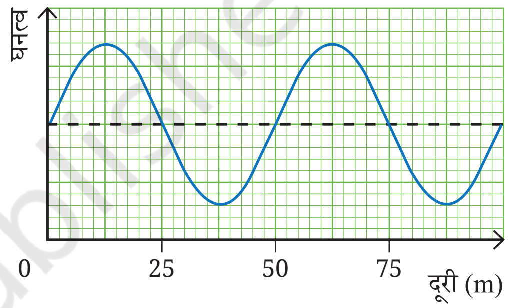
वायु में ध्वनि की आवृत्ति (i) 20 Hz के संगत तरंगदैर्घ्य 17.2 m और (ii) 20000 Hz के संगत 1.72 cm है।

उदाहरण 10.3 — मेघों की गड़गड़ाहट के समय गर्जन की ध्वनि से पूर्व तड़ित की चमक दिखाई देती है क्योंकि प्रकाश की तुलना में ध्वनि बहुत धीमी गति से गमन करती है। यदि तड़ित की चमक देखने और गर्जन सुनने के मध्य का समयांतराल 5 s मापा जाता है तो तड़ित गिरने की दूरी का अनुमान लगाइए। वायु में ध्वनि की चाल $340\ \text{m s}^{-1}$ का उपयोग कीजिए। मान लीजिए कि प्रकाश (चाल = $300000\ \text{km s}^{-1}$) आप तक तत्काल पहुँचता है।

उत्तर — दूरी = $\upsilon \times t = 340\ \text{m s}^{-1} \times 5\ \text{s} = 1700\ \text{m}$

तड़ित-पात लगभग 1.7 km की दूरी पर होता है।

उदाहरण 10.4 — स्टील में संचरित ध्वनि तरंग के आलेखीय निरूपण (चित्र 10.22) से इसकी तरंगदैर्घ्य ज्ञात कीजिए। यदि स्टील में ध्वनि की चाल $5000\ \text{m s}^{-1}$ है तो इसकी आवृत्ति और आवर्तकाल का परिकलन कीजिए।



चित्र 10.22 — ध्वनि तरंग का आलेखीय निरूपण

उत्तर — आलेख (चित्र 10.22) से तरंगदैर्घ्य $\lambda = 50\ \text{m}$

समीकरण (10.2) के उपयोग से ध्वनि तरंग की आवृत्ति है

$$\nu = \frac{\upsilon}{\lambda} = \frac{5000\ \text{m s}^{-1}}{50\ \text{m}} = 100\ \text{Hz}$$

समीकरण (10.1) का उपयोग करने पर ध्वनि तरंग का आवर्तकाल

$$T = \frac{1}{\nu} = \frac{1}{100\ \text{Hz}} = 0.01\ \text{s}$$

सोचिए और बताइए

10. तालिका 10.1 वायुमंडलीय दाब पर कुछ माध्यमों में ध्वनि की चाल दर्शाती है।

तालिका 10.1 — 15 °C पर विभिन्न माध्यमों में ध्वनि की चाल

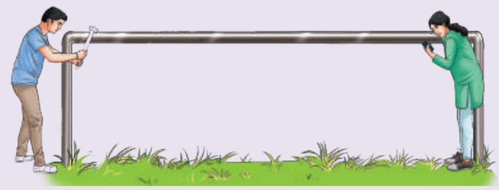
अवस्था	पदार्थ/माध्यम	लगभग चाल
ठोस	स्टील	$5000\ \text{m s}^{-1}$
द्रव	जल	$1500\ \text{m s}^{-1}$
गैस	वायु	$340\ \text{m s}^{-1}$

निम्न अनुपात ज्ञात करके भिन्न-भिन्न माध्यमों में ध्वनि के चालों की तुलना कीजिए।

(i) वायु में ध्वनि की चाल के सापेक्ष जल में ध्वनि की चाल।

(ii) जल में ध्वनि की चाल के सापेक्ष स्टील में ध्वनि की चाल।

11. किसी परिसर की स्टील की बनी सीधी बाड़ के साथ दो मित्र एक-दूसरे से 340 m की दूरी पर खड़े हैं (चित्र 10. 23)। गुंजन बाड़ पर अपना कान रखती है और उसका मित्र धातु की किसी वस्तु से बाड़ पर प्रहार करता है। चित्र 10.1 में दी गई स्टील और वायु में ध्वनि की चाल के मानों का उपयोग करके गुंजन तक वायु और स्टील के माध्यम से पहुँचने वाली ध्वनि के मध्य के समय अंतराल का परिकलन कीजिए। क्या इसके लिए दोनों ध्वनियों के मध्य अंतर करना संभव होगा? (दो ध्वनियों को पृथक-पृथक सुनने हेतु उनके मध्य कम-से-कम 0.1 s का समय अंतराल होना चाहिए।)



चित्र 10.23 — स्टील एवं वायु के माध्यम से पहुँचने वाली ध्वनियों के मध्य समय अंतराल

10.6.4 मानव द्वारा ध्वनि-बोध

ध्वनि के भौतिक गुण, जैसे — आवर्त काल, तरंगदैर्घ्य, आवृत्ति, आयाम और चाल सुपरिभाषित हैं और इन्हें मापा भी जा सकता है। तथापि ध्वनि को अनुभव करने की प्रक्रिया व्यक्तिनिष्ठ होती है। ध्वनि संबंधी मानव बोध, प्रबलता और तारत्व जैसे शब्दों द्वारा वर्णित किया जाता है जिनका भौतिक गुणों से कोई सरल संबंध नहीं होता है।

तारत्व

ध्वनि की आवृत्ति का मानवीय बोध **तारत्व (pitch)** कहलाता है। सामान्यत: तीक्ष्ण कर्णभेदी ध्वनियाँ, जैसे— सीटी या सायरन की ध्वनि उच्च तारत्व की ध्वनि कहलाती हैं। दूसरी ओर गंभीर ध्वनियाँ, जैसे— मेघों की गड़गड़ाहट अथवा विमान की गर्जना का तारत्व कम होता है। सामान्यत: उच्च तारत्व वाली ध्वनियों की आवृत्ति उच्च होती है और कम तारत्व वाली ध्वनियों की आवृत्ति कम होती है। यद्यपि इनमें सटीक गणितीय संबंध जटिल है।

जिज्ञासा-सूत्र

प्रत्येक व्यक्ति की वाणी विशिष्ट होती है और प्राय: अपने शिक्षक या मित्रों द्वारा आपका नाम पुकारे जाने पर उसकी वाणी से उसे आप तुरंत पहचान लेते हैं। हमारी वाक् ध्वनियों में भिन्नता क्यों होती है? पुरूष, महिला और बच्चों की वाणियों में मात्र आवृत्ति भिन्नता ही नहीं होती हैं अपितु वे इस बात पर भी निर्भर करती हैं कि गले, मुँह और नासा गुहा से ध्वनि किस प्रकार उत्पन्न होती है। किशोरावस्था के समय लड़कों के वाक् तंतु लंबे और मोटे हो जाते हैं और बहुधा कम कंपन करते हैं, अत: उनकी वाणी में गहनता आ जाती है। आइए, हम भिन्न-भिन्न आवृत्तियों की ध्वनियों को सुनने और उनकी समालोचना के लिए एक क्रियाकलाप करें।

क्रियाकलाप 10.8—आइए, प्रयोग करें (निदर्शन क्रियाकलाप)

यह क्रियाकलाप शिक्षक द्वारा निर्देशित कक्षा समूह क्रियाकलाप के रूप में करने की संस्तुति की जाती है।

1. एक मोबाइल ऐप्प खोलिए जो विभिन्न प्रकार की ध्वनि उत्पन्न कर सके।
2. आवृत्ति का मान 100 Hz लगाइए। 'प्ले' बटन दबाइए और ध्यानपूर्वक सुनिए।
3. आवृत्ति को प्रत्येक बार 100 Hz बढ़ाते हुए 1000 Hz तक ले जाइए और वर्णन कीजिए कि ध्वनि किस प्रकार परिवर्तित होती है?
4. अब आवृत्ति को 50 Hz पर व्यवस्थित कीजिए और 20 Hz तक अथवा उस मान तक कम करते जाइए जहाँ आप ध्वनि को सुन नहीं पाते हैं।

not to be republished © NCERT

क्या मनुष्य सभी ध्वनियों को सुन सकते हैं? मनुष्य ध्वनियों को आवृत्तियों के केवल एक सीमित परिसर में ही सुन सकते हैं। यह श्रव्यता परिसर अथवा मनुष्यों में ध्वनि सुनने की आवृत्तियों का परिसर 20 Hz से 20000 Hz (20 kHz) तक होता है। तथापि यह परिसर प्रत्येक व्यक्ति के लिए भिन्न होता है और आयु वृद्धि के साथ घटता है। 20 Hz से कम आवृत्ति वाली ध्वनि तरंगों को **अवश्रव्य तरंगें (infrasonic waves)** कहते हैं जबकि 20 kHz से अधिक आवृत्ति वाली ध्वनि तरंगों को **पराश्रव्य तरंगें (ultrasonic waves)** कहते हैं। मानव अवश्रव्य ध्वनियों या पराश्रव्य ध्वनि को नहीं सुन सकते हैं परंतु कुछ जानवर सुन सकते हैं। कुत्ते, बिल्लियाँ, चमगादड़ और डॉलफिन पराश्रव्य तरंगों को सुन सकते हैं जबकि हाथी अवश्रव्य तरंगों को सुन सकते हैं।

प्रबलता

मनुष्यों को ध्वनि तरंगों के आयाम का बोध ध्वनि की प्रबलता (loudness) के रूप में होता हैं। अधिक आयाम वाली ध्वनियाँ अधिक प्रबल सुनाई देती हैं जबकि कम आयाम की ध्वनि धीमी सुनाई पड़ती है। जैसे-जैसे हम ध्वनि स्रोत से दूर होते जाते हैं वैसे-वैसे ध्वनि की प्रबलता कम होती जाती है।

सामान्य भाषा में प्रबलता और तीव्रता शब्दों का उपयोग प्राय: उनमें बिना कोई भेद किए कर लिया जाता है। तथापि तीव्रता एक मापन योग्य राशि है जबकि प्रबलता श्रोता की श्रव्य क्षमता पर निर्भर करती है।

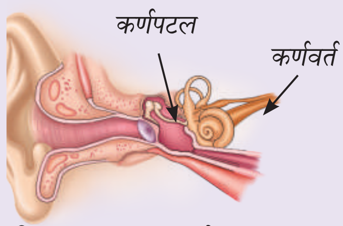
विज्ञान एवं समाज

ध्वनि की प्रबलता को सामान्यत: डेसिबेल (dB) में मापा जाता है। अति मृदु ध्वनियाँ, जैसे— पत्तियों की सरसराहट केवल कुछ dB की होती हैं, सामान्य वार्तालाप लगभग 60 dB की होती है। दूसरी ओर अत्यधिक प्रबल ध्वनि, जैसे— पटाखों की ध्वनि 100 dB से अधिक हो सकती है। डेसिबेल स्तर में थोडी-सी वृद्धि से भी ध्वनि तीव्रता में बहुत अधिक वृद्धि हो जाती है।

अवांछित अथवा हानिकारक ध्वनि को शोर (noise) कहा जाता है। ध्वनि प्रदूषण एक गंभीर समस्या है। अनुशंसित सीमाओं से ऊपर के ध्वनि स्तरों के प्रभाव में विशेषकर दीर्घकाल के लिए रहना स्वास्थ्य, निद्रा और श्रवण क्षमता को प्रभावित कर सकता है। दीर्घकाल तक प्रबल ध्वनि को सुनने से, सुनने की क्षमता कम हो सकती है जिसका परीक्षण श्रव्यता आलेख का उपयोग करके किया जा सकता है। श्रवण ह्रास पीडित लोग श्रवण सहायक यंत्र का उपयोग कर सकते हैं जिसमें एक माइक्रोफोन, एक प्रवर्धक (Amplifier) और स्पीकर लगा होता है जो उन्हें सुनने में सहायता करता है जिससे वे भली-भाँति संप्रेषण कर सकते हैं।

आइए, और चिंतन करें

हम प्राय: यह स्पष्ट अनुभव नहीं कर पाते हैं कि हमारी श्रवण इन्द्री कितनी अद्भुत है। जब ध्वनि कान में प्रवेश करती है तो यह कर्णपटल (eardrum)नामक पतली झिल्ली में कंपन उत्पन्न करती है (चित्र 10.24)। कान की नन्हीं अस्थियाँ तीव्रता से इन कंपनों को प्रवर्धित करती हैं और कर्णावर्त (cochlea) उन्हें विद्युत संकेतों में रूपांतरित कर देता है जो मस्तिष्क तक पहुँचते हैं। इनकी अनुभूति मस्तिष्क ध्वनि के रूप में करता है।



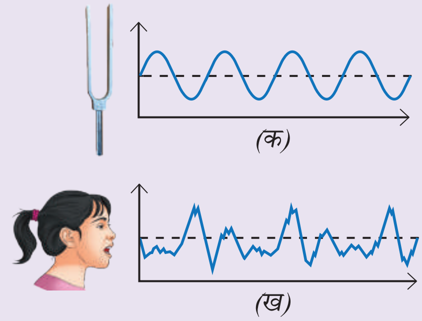
चित्र 10.24 — मानव के कान का एक व्यवस्थित आरेख

दो कानों की उपस्थिति मस्तिष्क को ध्वनि के उद्गम की दिशा सुनिश्चित करने में समर्थ बनाती है। यह तुलना करके कि किस कान ने ध्वनि को पहले सुना, मस्तिष्क दोनों कानों द्वारा सुनी गई ध्वनि के मध्य सूक्ष्म समय अंतराल (प्राय: एक सेकंड के हजारवें भाग से भी कम) के आधार पर यह पता लगा लेता है कि ध्वनि कहाँ से आई है?

विभिन्न जंतु भिन्न-भिन्न ढंग से सुनते हैं। साँप और मछलियाँ अपनी देह के माध्यम से कंपनों की अनुभूति करती हैं जबकि कुछ कीटों के शरीर के भागों पर सुनने के लिए कर्ण जैसे अंग होते हैं।

© NCERT not to be republished

जिज्ञासा-सूत्र



चित्र 10.25 — (क) कंपमान स्वरित्र द्विभुज अथवा सीटी बजाते हुए व्यक्ति द्वारा और (ख) गाना गाते हुए बच्चे द्वारा उत्पन्न ध्वनि का आरेखीय निरूपण

एकल आवृत्ति-मान की ध्वनि को स्वर कहते हैं, जैसे — स्वरित्र द्विभुज अथवा सीटी द्वारा उत्पन्न ध्वनि (चित्र 10.25 क)। तानपुरे के तार को छेड़ने या गाने से उत्पन्न होने वाले संगीत का स्वर (note) (चित्र 10.25 ख) निम्नतम आवृत्ति और उच्चतर आवृत्तियों का संयोजन होता है जिसमें निम्नतम आवृत्ति को मूल आवृत्ति (fundamental frequency) और उच्चतर आवृत्तियों को अधिस्वरक (overtones) कहा जाता है जो मिलकर एक समृद्ध और सुखद ध्वनि सृजित करते हैं। सारंगी, सितार और वीणा जैसे भारतीय तार वाद्ययंत्रों में इस संयोजन को और समृद्ध करने हेतु अतिरिक्त तारों का उपयोग करते हैं।

जब पृथक-पृथक वाद्ययंत्र, जैसे — बाँसुरी, एकतारा या तबला समान प्रबलता के समान स्वर बजाते हैं तब उनमें से प्रत्येक की ध्वनि पृथक और अद्वितीय होती है। इस गुण को ध्वनिगुणता (Timbre) कहा जाता है। यह वाद्ययंत्र के आकार, पदार्थ और रचना पर निर्भर करता है जो अधिस्वरकों के प्रतिमान और तीव्रता को निर्धारित करते हैं।

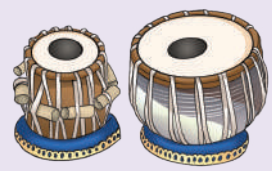
अष्टक (octave) ऐसे दो सम स्वरों के मध्य का अंतराल है जिनमें एक की मूल आवृत्ति दूसरे की मूल आवृत्ति की दो गुनी होती है (उदाहरण के लिए — 200 Hz और 400 Hz)

वैज्ञानिक-परिचय

सर सी.वी.रमन को प्रकाश में रमन प्रभाव की खोज के लिए भारत का पहला नोबेल पुरस्कार प्राप्त हुआ। इन्होंने तबला और मृदंगम जैसे भारतीय ताल वाद्ययंत्रों का अध्ययन यह समझने के लिए किया था कि ये इतनी समृद्ध और सूक्ष्म ध्वनियाँ कैसे उत्पन्न करते हैं और इस प्रकार इन्होंने ध्वनि विज्ञान में भी महत्त्वपूर्ण योगदान किया।

जिज्ञासा-सूत्र

तबला (चित्र 10.26) या मृदंगम जैसे भारतीय ताल-वाद्यों के ढोलशीर्ष पटलों के केंद्र पर एक काला धब्बा होता है जिसे 'स्याही' कहते हैं। यह धब्बा पटल के कंपनों को परिवर्तित कर देता है। इससे ये वाद्य यंत्र विविध प्रकार की समृद्ध ध्वनियाँ उत्पन्न कर पाते हैं। स्याही, स्वर नियंत्रण का वह स्तर प्रदान करती है जो अन्य ताल वाद्य यंत्रों में पाना दुर्लभ होता है।



चित्र 10.26 — तबलों का जोड़ा

10.7 ध्वनि का परावर्तन

कक्षा 8 जिज्ञासा अध्याय 10

ध्वनि तरंगें ठोस या द्रव जैसी बाधाओं से टकराकर वापस लौट सकती हैं। इसे **ध्वनि का परावर्तन (reflection of sound)** कहा जाता है। ध्वनि परावर्तन के उन्हीं नियमों का पालन करती है जो आपने प्रकाश के लिए समझे थे। ध्वनि के आपतन और परावर्तन की दिशाएँ आपतन बिंदु पर परावर्तक पृष्ठ (reflecting surface)के अभिलंब के साथ समान कोण बनाती हैं और आपतित किरण, अभिलंब और परावर्तित किरण ये तीनों एक ही तल में स्थित होते हैं। ध्वनि के परावर्तन का सबसे सामान्य उदाहरण प्रतिध्वनि (echo) है।

© NCERT not to be republished

10.7.1 प्रतिध्वनि

यदि हम किसी पर्वत, खड़ी चट्टान अथवा किसी लंबे मार्ग के समीप चिल्लाते हैं तो हमें कुछ समय पश्चात अपनी वाणी पुन: सुनाई दे सकती है। इसे **प्रतिध्वनि (echo)** के रूप में जाना जाता है। यह वह ध्वनि है जो किसी दूर स्थित वस्तु के कठोर पृष्ठ से परावर्तित होकर हमारे पास वापस आती है।

प्रतिध्वनियाँ प्रत्येक स्थान पर नहीं सुनी जाती हैं। किसी छोटे कमरे में दीवारों से परावर्तित ध्वनि इतनी शीघ्र वापस आ जाती है कि हमारा मस्तिष्क उसे मूल ध्वनि से पृथक ही नहीं कर पाता है। यदि हमारे कानों तक पहुँचने वाली दो ध्वनियों के मध्य का समय अंतराल कम-से-कम 0.1 सेकंड हो तो हम उन्हें भिन्न-भिन्न ध्वनियों के रूप में सुन सकते हैं। यदि यह समय अंतराल 0.1 सेकंड से कम हो तो हम उन्हें स्पष्ट रूप से अलग करके नहीं पहचान पाते।

0.1 सेकंड का यह समय हमें उस परावर्तक सतह की न्यूनतम दूरी का अनुमान लगाने में सहायता करता है, जहाँ से हमें प्रतिध्वनि सुनाई दे सकती है।

यदि हम ध्वनि की चाल 340 $m\ s^{-1}$ मानें तो 0.1 सेकंड में ध्वनि द्वारा तय की गई दूरी होगी —

$$\text{दूरी} = \text{चाल} \times \text{समय} = 340\ m\ s^{-1} \times 0.1\ s = 34.0\ m$$

ध्यान दीजिए कि 34 m वह कुल दूरी है जो ध्वनि अपने स्रोत से परावर्तक सतह तक जाकर वापस आने में तय करती है।अतः प्रतिध्वनि सुनने के लिए न्यूनतम दूरी इसकी आधी अर्थात 17 m होगी

कठोर और चिकनी सतहें ध्वनि को परावर्तित करती हैं इसलिए इनके कारण उत्पन्न प्रतिध्वनि अधिक स्पष्ट सुनाई देती हैं कोमल सतहें, जैसे — मोटे कपडे के पर्दे, ध्वनि को अवशोषित कर लेती हैं, जबकि खुरदरी सतहें ध्वनि को विभिन्न दिशाओं में प्रकीर्णित कर देती हैं। ऐसी स्थिति में प्रतिध्वनि स्पष्ट रूप से सुनाई नहीं देती।

उदाहरण10.5 — आप एक खाली गलियारे में ताली बजाते हैं और 0.5 सेकंड पश्चात आपको प्रतिध्वनि सुनाई देती है। यदि वायु में ध्वनि की चाल 340 $m\ s^{-1}$ है तो दीवार से अपनी दूरी ज्ञात कीजिए?

उत्तर — ध्वनि दीवार तक जाकर वापस आती है, इसलिए

$$\text{दीवार से दूरी} = \frac{\text{ध्वनि की चाल} \times \text{समय}}{2} = \frac{340\ m\ s^{-1} \times 0.5\ s}{2} = 85\ m$$

सोचिए और बताइए

12. किसी प्रयोग में यह आवश्यक है कि प्रतिध्वनि ध्वनि उत्सर्जन के कम-से-कम 0.2 सेकंड पश्चात सुनाई दे। परावर्तक सतह को न्यूनतम कितनी दूरी पर रखा जाना चाहिए? इसके लिए ध्वनि की चाल को आप 343 $m\ s^{-1}$ मान लीजिए।

10.7.2 अनुरणन

कभी-कभी किसी बड़े हॉल या सभागार में उत्पन्न ध्वनि दीवारों से अनेक बार परावर्तित होती रहती हैं। इन बहु परावर्तनों के कारण ध्वनि, स्रोत के बंद हो जाने के पश्चात भी कुछ समय तक सुनाई देती रहती हैं। इस घटना को **अनुरणन (reverberation)** कहते हैं।

यह तब होता है जब विभिन्न सतहों से परावर्तित ध्वनियाँ 0.05 सेकंड से कम समयांतराल में हमारे कानों तक पहुँचती हैं।

आधुनिक सभागारों और बड़े कॉन्सर्ट हॉलों को वास्तुकला के अनुसार इस प्रकार बनाया जाता है कि उनमें उपयुक्त प्रतिध्वनि स्थायित्व बनी रहे। इससे श्रोता प्रत्येक स्थान पर भाषण, संगीत तथा अन्य ध्वनियों को बिना विकृति के स्पष्ट सुन सकते हैं।

not to be republished © NCERT

ध्वनि-अवशोषक पैनल, गद्देदार कुर्सियाँ, पर्दे तथा अन्य मुलायम और छिद्रयुक्त सतहें अनावश्यक प्रतिध्वनि स्थायित्व को कम करती हैं अन्यथा ध्वनि अस्पष्ट और विकृत हो सकती है।

जिज्ञासा-सूत्र

भारत सहित विश्व के मध्यकालीन वास्तुकारों ने गहन ध्वनिक समझ के आधार पर अनेक स्मारकों का निर्माण किया। कर्नाटक के बीजापुर स्थित प्रसिद्ध गोल गुम्बज की मर्मरश्रावी गैलरी का अभिकल्प अत्यंत अद्भुत है। इसकी विशेष संरचना के कारण धीमी-सी फुसफुसाहट भी विशाल गुंबद में कई बार सुनाई देती है।

10.8 पराश्रव्य तथा अवश्रव्य तरंगें और उनके अनुप्रयोग

मनुष्यों की श्रव्य सीमा से बाहर की आवृत्तियों वाली ध्वनि तरंगों के विज्ञान, चिकित्सा तथा प्रौद्योगिकी में अनेक महत्वपूर्ण अनुप्रयोग हैं।

जिज्ञासा-सूत्र

- ध्वनि तरंगें (Sound waves)
  - अवश्रव्य तरंगें (Infrasonic waves) (20 Hz से कम)
    - इसका उपयोग भूकंप तथा ज्वालामुखी विस्फोट जैसी प्राकृतिक घटनाओं का पता लगाने में किया जाता है।
    - तीव्र झंझावत का पता लगाने में भी उपयोग क्योंकि ऐसी तरंगें वायु और पृथ्वी में लंबी दूरी तक यात्रा करती हैं।
  - मनुष्यों के लिए श्रव्यता परिसर (Human audible range) (20 Hz से 20 kHz)
  - पराश्रव्य तरंगें (Ultrasonic waves) (20 kHz से अधिक)
    - बिना शल्यक्रिया के आंतरिक अंगों का प्रतिबिंब प्राप्त करने में उपयोग (जिसे अल्ट्रासोनोग्राफी कहते हैं)
    - गुर्दे की पथरी को छोटे- छोटे टुकड़ों में तोड़ने में उपयोग जिससे कि वे शरीर से निष्कासित हो सकें।
    - उद्योगों में अल्ट्रासोनिक वेल्डिंग तथा संवेदनशील मशीन के भागों की सफाई में उपयोग।
    - निर्माण कार्य और औद्योगिक परीक्षणों में धातु खंडों के भीतर दोषों का पता लगाने में उपयोग।
    - ध्वनि तरंगों के परावर्तन द्वारा वस्तुओं का स्थान ज्ञात करने में उपयोग।

© NCERT not to be republished

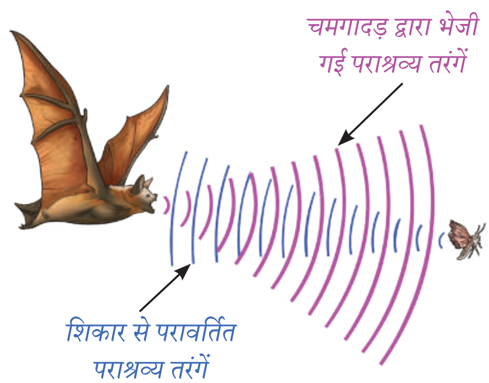
10.8.1 प्रतिध्वनि द्वारा स्थान निर्धारण

चमगादड़ निशाचर जीव होते हैं जो अंधेरे में उड़ते हुए बिना किसी वस्तु से टकराए अपने शिकार की खोज कर लेते हैं। अधिकांश चमगादड़ पराश्रव्य तरंगों के छोटे-छोटे स्पंद उत्सर्जित करते हैं जो आस-पास की वस्तुओं से परावर्तित हो जाते हैं। प्रतिध्वनियों की अनुभूति कर चमगादड़ बाधाओं और शिकार की स्थिति का पता लगा लेते हैं (चित्र 10.27)।

परावर्तित ध्वनि तरंगों की सहायता से वस्तुओं का स्थान ज्ञात करने की इस क्षमता को **प्रतिध्वनि द्वारा स्थान निर्धारण (echolocation)** कहते हैं। चमगादड़ों के अतिरिक्त

क्या होगा यदि...

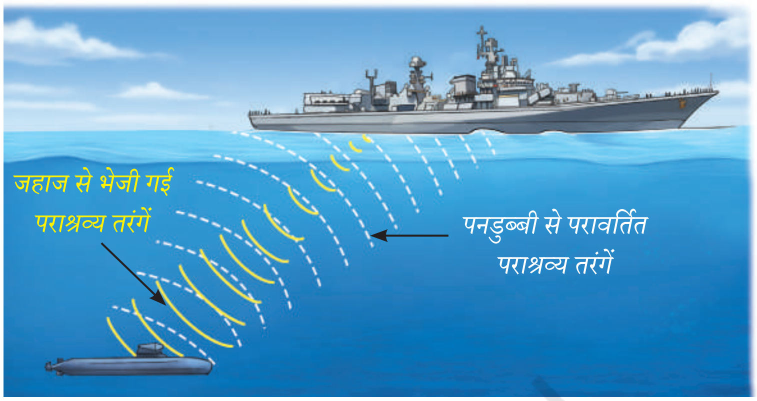
यदि मनुष्य भी कुत्तों की तरह पराश्रव्य तरंगों को पहचान सकते तो इसके क्या लाभ और हानियाँ होती?



चित्र 10.27 — चमगादड़ों द्वारा प्रतिध्वनि निर्धारण

डॉल्फिन, व्हेल तथा कुछ पक्षी भी दिशा-निर्धारण और शिकार के लिए प्रतिध्वनि द्वारा स्थान निर्धारण का उपयोग करते हैं।

मनुष्यों ने इसी सिद्धांत को जल के भीतर अन्वेषण के लिए सोनार (sonar— sound navigation and ranging) में अपनाया है। सोनार में पराश्रव्य तरंगों को जल में भेजा जाता है और परावर्तित तरंगों का विश्लेषण करके जल के भीतर स्थित वस्तुओं, जैसे — पनडुब्बियों या जहाजों के अवशेषों की दूरी, दिशा तथा गति का पता लगाया जाता है (चित्र 10.28)।



चित्र 10.28 — सोनार की कार्यप्रणाली

उदाहरण 10.6 — समुद्री जल में भेजा गया एक नौसैनिक सोनार संकेत 0.90 सेकंड के पश्चात वापस लौटता है। समुद्री जल में ध्वनि की चाल 1530 m s^{-1} है। बताइए कि वस्तु कितनी दूरी पर है?

उत्तर — वस्तु तक पहुँचने और वापस लौटने में लगा कुल समय = 0.90 s

वस्तु तक पहुँचने में लगा समय कुल समय का आधा होगा $= \frac{0.90\text{ s}}{2} = 0.45\text{ s}$

अतः दूरी = चाल × समय = 1530 m s^{-1} × 0.45 s = 688.5 सेकंड

इस प्रकार वस्तु की दूरी 688.5 m है।

विज्ञान एवं समाज

दूरनियंत्रित यान (drone) (चित्र 10.29) और विमान अपने मोटरों तथा इंजनों से विशिष्ट प्रकार की ध्वनि उत्पन्न करते हैं। जब वे दिखाई भी नहीं देते हैं तब भी उनके द्वारा उत्पन्न निम्न आवृत्ति की मर्मर ध्वनि को सुग्राही ध्वनि संवेदकों की सहायता से पहचाना जा सकता है।

यह विधि जिसे ध्वनि आधारित चौकसी कहा जाता है, रक्षा एवं बचाव हेतु वायुक्षेत्र के पर्यवेक्षण में सहायता करती है।

चित्र 10.29 — एक दूरनियंत्रित यान

सोचिए और बताइए

13. जल में ध्वनि प्रकाश की अपेक्षा बहुत अधिक दूरी तक गमन करती है, इसलिए इसका उपयोग विभिन्न अंतर्जलीय अनुप्रयोगों में किया जाता है। महासागर की गहराई ज्ञात करने के लिए भेजा गया कोई सोनार संकेत 4 सेकंड में वापस लौटता है। यदि समुद्री जल में ध्वनि की चाल 1500 m s^{-1} है तो बताइए कि उस स्थान पर महासागर की गहराई कितनी होगी?

खोज जारी है...

ध्वनि हमें मानव की श्रवण सीमा से परे जाकर स्थानों और परिघटनाओं का अन्वेषण करने में सहायता करती है। अंतरिक्ष अन्वेषी यंत्रों द्वारा मंगल ग्रह पर उत्पन्न ध्वनियों को पहली बार रिकॉर्ड किया गया है। वैज्ञानिक दूरस्थ भूकंपों की ध्वनियों के समय का अध्ययन करके महासागर के तापमान में होने वाले सूक्ष्म परिवर्तनों को माप रहे हैं ताकि पृथ्वी की परिवर्तित होती जलवायु को समझा जा सके। जीवविज्ञानी मच्छरों की भनभनाहट का उपयोग रोग फैलाने वाले मच्छरों की पहचान करने में कर रहे हैं जबकि शोधकर्ता सूक्ष्म जीवों द्वारा मिट्टी में उत्पन्न हल्की ध्वनियों को सुनकर मिट्टी के स्वास्थ्य और जैव विविधता का अध्ययन कर रहे हैं। जैसे-जैसे प्रौद्योगिकी उन्नत हो रही है, ध्वनि ग्रहों, जीवित प्राणियों तथा प्रकृति की छिपी गतिविधियों के अध्ययन का और भी अधिक शक्तिशाली साधन बनती जा रही है।

© NCERT not to be republished

सारांश

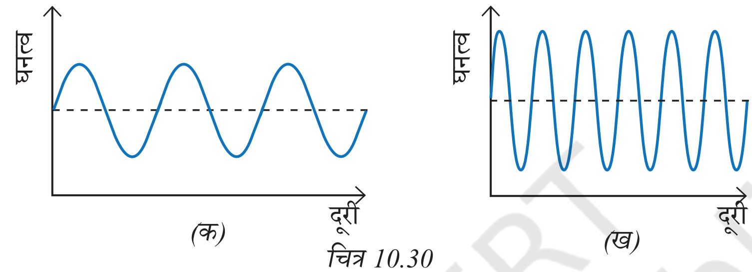
- ध्वनि कंपन करने वाली वस्तुओं द्वारा उत्पन्न होती है।
- ध्वनि एक अनुदैर्घ्य यांत्रिक तरंग है जिसे संचरण के लिए माध्यम की आवश्यकता होती है।
- ध्वनि ठोसों, द्रवों तथा गैसों में संचरित हो सकती हैं।
- ध्वनि के संचरण में माध्यम के कण नहीं बल्कि घनत्व में उत्पन्न विक्षोभ आगे की ओर बढ़ता है। माध्यम के कण केवल अपनी माध्य स्थिति के आस-पास कंपन करते हैं।
- किसी तरंग के दो क्रमागत शिखरों अथवा दो क्रमागत गर्तों के मध्य की दूरी को तरंगदैर्घ्य कहते हैं।
- किसी निश्चित बिंदु पर माध्यम के घनत्व का अधिकतम से न्यूनतम और पुनः अधिकतम (या इसके विपरीत) परिवर्तन एक पूर्ण दोलन कहलाता है।
- किसी निश्चित बिंदु पर एकांक समय में होने वाले घनत्व दोलनों की संख्या को ध्वनि तरंग की आवृत्ति कहते हैं।
- किसी निश्चित बिंदु पर एक पूर्ण घनत्व दोलन में लगने वाले समय को तरंग का आवर्तकाल कहते हैं।
- ध्वनि तरंग का आयाम संपीडन या विरलन में वायु के घनत्व में उसके औसत घनत्व की तुलना में होने वाला अधिकतम परिवर्तन है।
- ध्वनि तरंग के संचरण की दिशा के लंबवत प्रति इकाई क्षेत्रफल से प्रति इकाई समय में संचरित होने वाली वाली ध्वनि ऊर्जा की मात्रा को ध्वनि की तीव्रता कहते हैं।
- ध्वनि की चाल वह दूरी है जो तरंग का कोई बिंदु, जैसे शृंग या गर्त, एकांक समय में तय करता है।
- विभिन्न सतहों से ध्वनि के परावर्तन के कारण प्रतिध्वनि और अनुरणन सुनाई देते हैं।
- 20 Hz से कम आवृत्ति वाली ध्वनि तरंगों को अवश्रव्य तरंगें कहते हैं। 20 kHz से अधिक आवृत्ति वाली ध्वनि तरंगों को पराश्रव्य तरंगें कहते हैं।

© NCERT not to be republished

अभ्यास प्रश्न

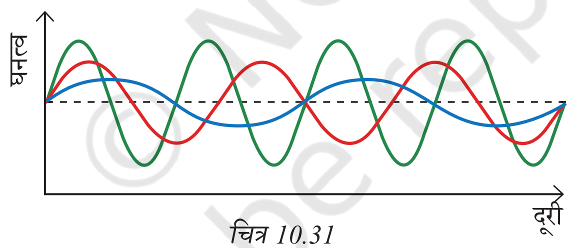
1. कौन-सा अवलोकन इस विचार का सर्वोत्तम समर्थन करता है कि ध्वनि एक यांत्रिक तरंग है?
   (i) ध्वनि परावर्तन प्रदर्शित करती है।
   (ii) ध्वनि के संचरण के लिए माध्यम आवश्यक है।
   (iii) ध्वनि की आवृत्ति होती है।
   (iv) ध्वनि ऊर्जा वहन करती है।
2. किसी माध्यम में संचरित हो रही ध्वनि तरंग की आवृत्ति बढ़ाने पर क्या बढ़ेगा?
   (i) तरंगदैर्घ्य
   (ii) चाल
   (iii) प्रति सेकंड संपीडनों की संख्या
   (iv) आवर्तकाल

3. यदि किसी बिंदु से 4 सेकंड में 20 संपीडन गुजरते हैं तो आवृत्ति होगी—
   (i) 80 Hz
   (ii) 5 Hz
   (iii) 10 Hz
   (iv) 0.2 Hz
4. किसी कक्ष में परावर्तित ध्वनि उत्पन्न होने के 0.05 सेकंड पश्चात कान तक पहुँचती है। क्या यह प्रतिध्वनि उत्पन्न करेगी या अनुरणन? कारण सहित बताइए।
5. चित्र 10.30 में दो ध्वनि तरंगों के आरेखीय निरूपण दिए गए हैं। यदि X और Y अक्षों के पैमाने समान हों तो बताइए—
   (i) किस तरंग का तरंगदैर्घ्य अधिक है?
   (ii) किस तरंग का आयाम कम है?



चित्र 10.30

6. चित्र 10.31 में तीन स्रोत A, B और C द्वारा उत्पन्न ध्वनि तरंगें दर्शाई गई हैं। यदि A की आवृत्ति अधिकतम और C की न्यूनतम है तो संबंधित वक्रों की पहचान कीजिए तथा उन पर A, B और C अंकित कीजिए।



चित्र 10.31

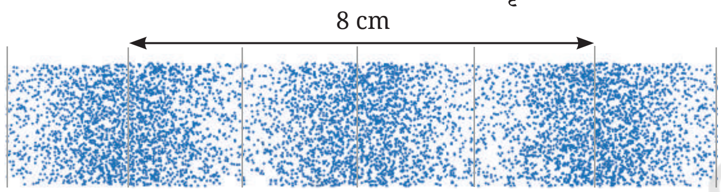
7. ऐसी ध्वनि तरंग का ग्राफ बनाइए जिसका घनत्व आयाम 3 मात्रक तथा तरंगदैर्घ्य 4 cm हो।
8. किसी फिल्म में अंतरिक्ष में हुए किसी अंतरिक्ष यान के विस्फोट में प्रकाश और ध्वनि दोनों का एक साथ एक ही समय पर उत्पन्न होना दर्शाया जाता है। बताइए कि इस चित्रण में क्या त्रुटियाँ हैं?
9. एक स्रोत 3.44 m तरंगदैर्घ्य वाली ध्वनि तरंग उत्पन्न करता है। यदि तरंग की चाल 344 $m\ s^{-1}$ है तो उसका आवर्तकाल ज्ञात कीजिए।
10. किसी डूबे हुए जलयान की खोज के लिए किसी जलपोत से भेजे गए सोनार संकेत की प्रतिध्वनि 5 सेकंड पश्चात प्राप्त होती है। यदि समुद्री जल में पराश्रव्य तरंग की चाल 1525 $m\ s^{-1}$ है तो डूबे हुए जहाज के भगनावशेष समुद्र में लगभग कितनी गहराई पर स्थित है?
11. किसी वाहन में पार्किंग सहायता प्रणाली के एक भाग के रूप में पराश्रव्यी दूरी संवेदक लगा हुआ है जो प्रतिध्वनि निर्धारण तकनीक का उपयोग करता है। वाहन को पीछे करते समय (यह लगभग 40 kHz की) पराश्रव्यी तरंगें उत्सर्जित करता है जो अवरोध से परावर्तित होकर वापस आती हैं। यदि

© NCERT not to be republished

चेतावनी बीप अवरोध से 1.2 m दूरी पर बजना आरंभ होती है तो पराश्रव्यी तरंग को अवरोध तक जाकर वापस आने में कितना समय लगता है? मान लीजिए कि वायु में पराश्रव्यी तरंग की चाल 345 m s^{-1} है।

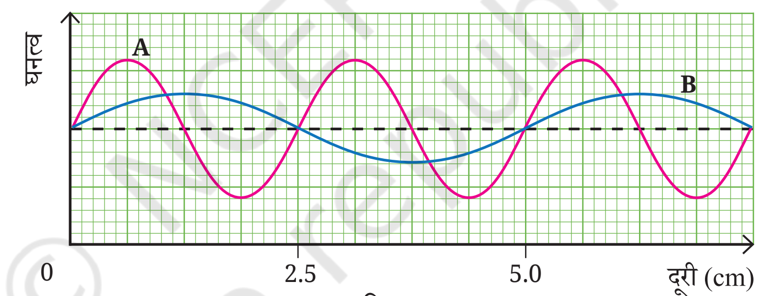
12. वायु में ध्वनि की चाल 0 °C पर लगभग 331 m s^{-1} तथा 22 °C पर लगभग 344 m s^{-1} है। यदि वायु का तापमान 22 °C से घटकर 0 °C हो जाए, तो 1720 m दूरी तय करने में मेघगर्जन की ध्वनि को लगभग कितना अतिरिक्त समय लगेगा? मान लीजिए कि अन्य सभी परिस्थितियाँ अपरिवर्तित रहती हैं।

13. 340 m s^{-1} की चाल से संचरित हो रही एक ध्वनि तरंग के लिए माध्यम के घनत्व में परिवर्तन चित्र 10.32 में दर्शाया गया है। ध्वनि तरंग का तरंगदैर्घ्य तथा आवृत्ति का परिकलन कीजिए।



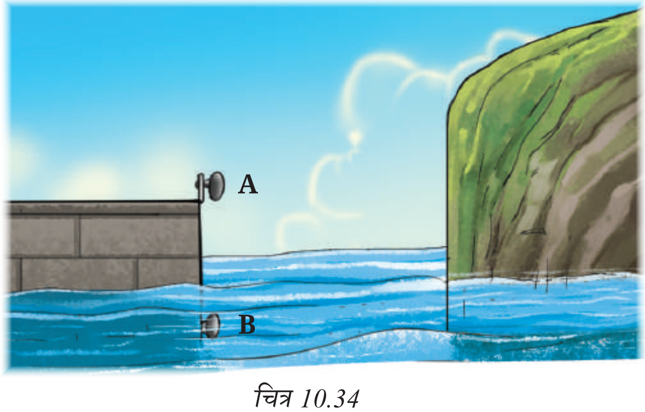
चित्र 10.32

14. 345 m s^{-1} की समान चाल से संचरित हो रही दो ध्वनि तरंगों A तथा B का आलेखीय निरूपण चित्र 10.33 में दर्शाया गया है। प्रत्येक तरंग का तरंगदैर्घ्य कितना है? इसके साथ ही उनकी आवृत्तियों का भी परिकलन कीजिए।



चित्र 10.33

15. दो सर्वसम ध्वनि स्रोत बिंदु A और B पर रखे गए हैं — इनमें से एक वायु में है और दूसरा जल में डुबोया गया है (चित्र 10.34)। दोनों स्रोत एक ही समय पर ध्वनि उत्पन्न करते हैं जो क्षैतिज दिशा में चट्टान की ऊर्ध्वाधर सतह तक जाती है और वापस लौटती है। यदि A बिंदु तक ध्वनि के लौटने में लगा समय B बिंदु तक ध्वनि के लौटने में लगे समय का 4.5 गुना है तो वायु और जल में ध्वनि के वेगों का अनुपात क्या है?



चित्र 10.34

परियोजना कार्य

- वर्तमान में अनेक लोग ईयरफोन का अत्यधिक उपयोग करते हैं। ऐसे शोध अध्ययनों का पता लगाइए यदि उपलब्ध हों, जो यह समझने के लिए किए गए हों कि ईयरफोन के अधिक उपयोग का सुनने की क्षमता पर क्या प्रभाव पड़ता है। यह भी जानिए कि श्रवण क्षमता का परीक्षण कैसे किया जाता है तथा निम्न, मध्यम और उच्च श्रवण क्षमता ह्रास निर्धारित करने के लिए डेसीबल की क्या सीमाएँ निर्धारित की गई हैं। श्रवण सहायक यंत्रों अथवा उपकरणों को खरीदने तथा निःशुल्क कर्णावर्त प्रतिरोपण से संबंधित सरकारी योजनाओं की जानकारी भी एकत्र कीजिए। इसके साथ अपने निष्कर्षों पर एक लेख भी लिखिए।
- पोस्टर पेपर या गत्ते एवं आसंजक टेप की सहायता से एक शंकु बनाइए। मोबाइल फोन में कोई संगीत कार्यक्रम चला कर मोबाइल को शंकु से ढक दीजिए। शंकु के साथ और शंकु के बिना ध्वनि की प्रबलता की तुलना कीजिए। आप ध्वनि की विशेषताओं को मापने के लिए किसी अन्य मोबाइल फोन में उपलब्ध ऐप्प का भी उपयोग कर सकते हैं। विभिन्न आकारों के आवरण लेकर प्रयोग कीजिए और अपने अवलोकनों को अभिलेखित कीजिए। (यह क्रियाकलाप शिक्षक के मार्गदर्शन में कराई जाए।)
- संगीत समारोहों और सम्मेलन कक्षों में मंच के पीछे की दीवारों तथा छतों का घुमावदार डिजाइन, समतल सतहों की तुलना में श्रोताओं के लिए ध्वनि की गुणवत्ता को कैसे श्रेष्ठ बनाता है? आप किसी वास्तुकार से परामर्श कर सकते हैं या इंटरनेट पर इस विषय में खोज सकते हैं।
- किसी मित्र के साथ 200 m या इससे भी बड़े खुले परिसर में ध्वनि की गति मापने की एक सरल गतिविधि कीजिए। (यह गतिविधि शिक्षक के मार्गदर्शन में कराई जाए।)
  - (i) आपका मित्र खुले परिसर के एक छोर पर गुब्बारों के साथ खड़ा हो जबकि आप दूसरे छोर पर स्टॉपवॉच लेकर खड़े हों।
  - (ii) अपने मित्र को एक गुब्बारा फोड़ने का संकेत दीजिए। जैसे ही आप गुब्बारे को फूटते हुए देखें, स्टॉपवॉच चालू कर दीजिए। जैसे ही गुब्बारे के फटने की ध्वनि सुनाई दे तो स्टॉपवॉच बंद करके समय अंकित कीजिए।
  - (iii) इस प्रयोग को कई बार दोहराइए और प्राप्त समयों का औसत ज्ञात कीजिए।
  - (iv) मोबाइल फोन में उपलब्ध किसी मानचित्र अनुप्रयोग की सहायता से अपने और अपने मित्र के मध्य की अनुमानित दूरी ज्ञात कीजिए।
  - (v) मापी गई दूरी को औसत समय से विभाजित करके ध्वनि की औसत गति ज्ञात कीजिए। बताइए कि प्रयोग से प्राप्त गति का मान कितना है? इसकी तुलना वायु में ध्वनि की गति से कीजिए, जो लगभग होती है।
  - (vi) आपने गुब्बारे के फटने को 'देखने' और उसकी ध्वनि को 'सुनने' के मध्य का समय ही क्यों मापा?
- इंटरनेट संसाधनों की सहायता से आर्द्रता और तापमान का ध्वनि की गति पर प्रभाव जानिए। इसके लिए कुछ संसाधनों की सूची नीचे दी गई है।
  - (i) https://phet.colorado.edu/en/simulations/sound-waves/
  - (ii) https://musiclab.chromeexperiments.com/Experiments
  - (iii) https://phyphox.org/experiments

© NCERT not to be republished