312hi14

14

तरंग परिघटनाएं

आपने ध्यान दिया होगा कि जब किसी तालाब के शान्त पानी में एक पत्थर गिराया जाता है तो उसके पानी पर टकराने के स्थान से संकेन्द्रीय वलय प्रकट होने लगते हैं और पानी की सतह पर फैल जाते हैं। इन वलयों में पानी एकान्तर रुप से ऊँचा व नीचा होता रहता है। यदि पानी की सतह पर एक स्ट्रॉ का टुकड़ा डाल दें तो आप देखेंगे कि वह अपने स्थान पर ही ऊपर नीचे होता रहता है। यहाँ पानी के कण अपने-अपने स्थान पर ऊपर-नीचे गति कर रहे हैं, फिर भी 'कुछ' है जो आगे बढ़ता जाता है। इस को हम ***तरंग*** कहते हैं। तरंगें कई प्रकार की होती हैं प्रगामी और अप्रगामी; यांत्रिक तथा विद्युत' चुम्बकीय। तरंगों का वर्गीकरण अनुर्दर्ध्य तथा अनुप्रस्थ तरंगो के रुप में भी किया जा सकता है, जो इस पर निर्भर करता है कि तरंग के गमन की दिशा तथा माध्यम के कणों की गति की दिशा (यांत्रिक तरंगों) या विद्युत व चुम्बकीय सदिशों की गति की दिशा (विद्युत-चुम्बकीय तरंगें में) में परस्पर क्या संबंध है। तरंगे हमारे अस्तित्व से घनिष्ट रूप से जुड़ी हैं।

वायु में ध्वनि-तरंगों के गमन के कारण हमारे लिये सुनना सम्भव होता है। प्रकाश की तरंगों के कारण (जो निर्वात से भी गमन कर सकती हैं) हम वस्तुओं को देख पाते हें और प्रकाश की चाल से विभिन्न सिग्नलों को ले जाने वाली रेडियो तरंगे विभिन्न प्रकार के संप्रेषणों द्वारा हमें हमारे प्रिय जनों से जोड़ती हैं। वास्तव में तरंग परिघटना सर्वप्रयोजन है।

वाद्ययन्त्रों, रेडियो, टी.वी. की कार्यप्रणाली को समझने के लिए यह आवश्यक है कि हम तरंग परिघटनाओं को समझें। क्या आप तरंगों के बिना जीवन के स्वरुप की कल्पना कर सकते हैं? इस पाठ में आप तरंगों के मूल गुण तथा तरंग परिघटनाओं का अध्ययन करेंगे।

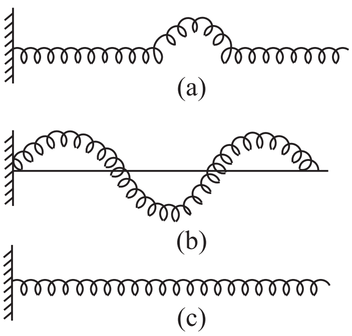
उद्देश्य

इस पाठ के अध्ययन के पश्चात् आप:

- अनुदैर्घ्य व अनुप्रस्थ तरंगों के संचरण की व्याख्या कर सकेंगे और $\upsilon = \nu\lambda$ संबंध को स्थापित कर सकेंगे;

- किसी गैस में अनुदैर्घ्य तरंगों के वेग के लिये न्यूटन का सूत्र लिख सकेंगे और इसमें लाप्लास के संशोधन की व्याख्या कर सकेंगे;
- अनुदैर्घ्य तरंगों का वेग किन कारकों पर निर्भर करता है, इसकी विवेचना कर सकेंगे;
- तनित डोरियों में अनुप्रस्थ तरंगों के बनने की व्याख्या कर सकेंगे;
- किसी सरल आवर्त तरंग के लिये समीकरण स्थापित कर सकेंगे;
- अध्यारोपण के सिद्धांत के आधार पर, विस्पन्दों, व्यतिकरण तथा तरंगों के कला परिवर्तन, की व्याख्या कर सकेंगे;
- आर्गन पाइप व तनित डोरियों में अप्रगामी तरंगों के बनने की व्याख्या कर सकेंगे तथा इनके अधिस्वरों की विवेचना कर सकेंगे;
- डाप्लर प्रभाव की विवेचना कर सकेंगे तथा इस का उपयोग यांत्रिक व प्रकाशीय निकायों के लिये कर सकेंगे;
- विद्युत चुम्बकीय तरंगों के गुणों को समझा सकेंगे; तथा
- विद्युत-चुम्बकीय स्पैक्ट्रम के विभिन्न भागों के तरंग दैर्घ्यों के परास और उनके उपयोग बता सकेंगे।

14.1 तरंग-संचरण



चित्र. 14.1 : स्लिंकी में तरंग गति
(a) स्लिंकी में स्पंद
(b) अनुप्रस्थ तरंग
(c) अनुदैर्घ्य तरंग

स्ट्रॉ के टुकड़े की गति से आप यह समझ सकते हैं कि तरंगें ऊर्जा की वाहक हैं; ये द्रव्य का वहन नहीं करतीं। इस का एक सुस्पष्ट प्रदर्शन ज्वार-भाटे की तरंग में देखा जाता है। क्या आप को गहरे सागर के भीतर भूकंप से उत्पन्न सुनामी तरंगों के कारण हुए विनाश की याद है? इन तरंगों ने इन्डोनेशिया, थाइलैंड, श्रीलंका व भारत पर प्रहार किया था। इसमें 20 m ऊँची तरंगें उत्पन्न हुई थीं और बहुत सी जाने गईं थीं।

किसी माध्यम में तरंगे किस प्रकार गति करती हैं, इसे समझने के लिये आइए एक क्रिया कलाप करें।

क्रियाकलाप 14.1

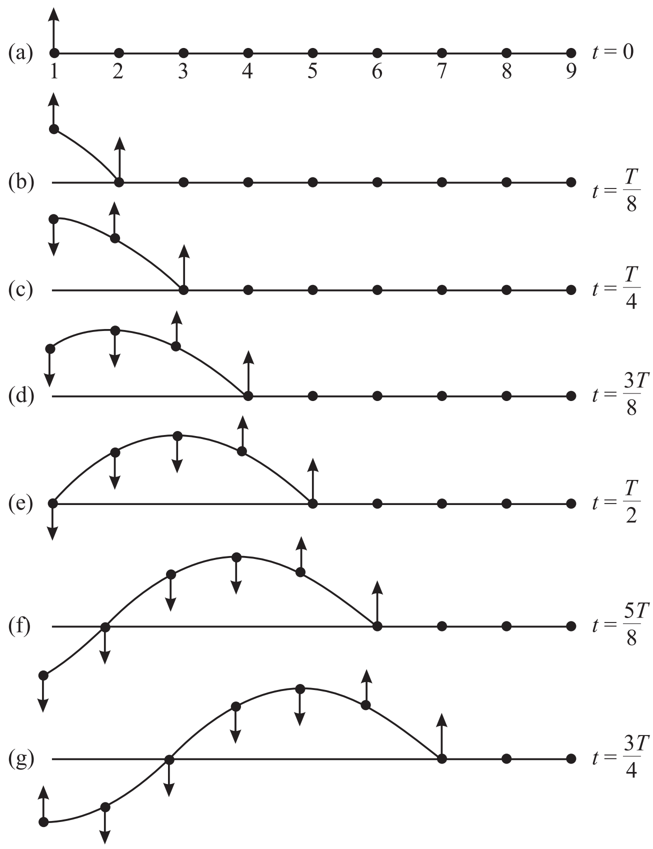
एक स्लिंकी (लम्बी स्प्रिंग की कुंडली) लीजिए और इसे किसी चिकने मेज या फर्श पर रखिए। स्लिंकी के एक सिरे को दृढ़ता से जड़ दीजिए और दूसरे सिरे को खुला (मुक्त) छोड़ दीजिए ताकि इस सिरे को हिलाया जा सके। इस खुले (या मुक्त) सिरे को अपने हाथ में पकड़ कर

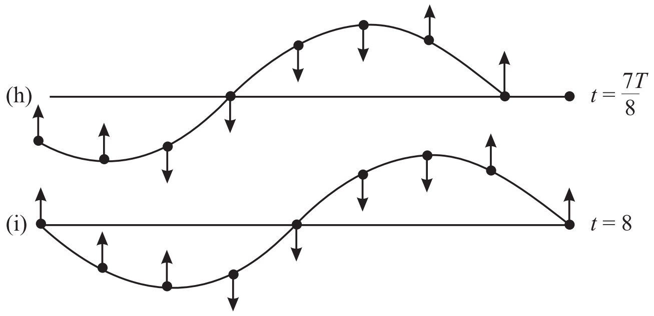
दाई ओर को झटका दीजिए [चित्र 14.1(a)]। आप देखेंगे कि स्लिंकी में एक स्पन्द बन जाता है जो स्थिर सिरे की ओर किसी निश्चित चाल से गति करता है। यह *स्पंद* एक अल्पकालिक तरंग है। स्लिंकी के मुक्त सिरे को दायें-बाये हिलाते रहिए। आप स्पंदों को लगातार स्थिर सिरे की ओर चलते हुए देखेंगे। यह स्प्रिंग से होकर चलती हुई ***अनुप्रस्थ तरंग*** है। [चित्र. 14.1 (b)]।

एक अन्य प्रकार की तरंग भी आप किसी स्लिंकी में उत्पन्न कर सकते हैं। इसके लिये स्लिंकी के स्प्रिंग को खींचकर फर्श या मेज पर सीधा रखिए और इसके खुले सिरे को हाथ से स्प्रिंग की लम्बाई के अनुदिश स्थिर सिरे की ओर शीघ्रता से धक्का दीजिए। सम्पीडन का एक स्पंद स्प्रिंग से होकर जाता है। अपने हाथ से स्प्रिंग के मुक्त सिरे को एक समान गति से आगे-पीछे चलाते रहने पर आप सम्पीडनों और विरलनों को एकान्तर रुप से स्प्रिंग के अनुदिश जाते हुए देख सकते हैं। इन्हें ***अनुदैर्घ्य*** तरंग कहते हैं [चित्र 4.1(C)]।

14.1.1 अनुप्रस्थ तरंगों का संचरण

चित्र 14.2 को देखिए। यह तरंग-संचरण के लिए एक यांत्रिक मॉडल है। इसमें समान दूरियों पर स्थित समान द्रव्यमान की गोलकार गोलियों की एक कतार है जो परस्पर एक समान स्प्रिंगों द्वारा जुड़ी हुई हैं। मान लीजिए किसी प्रकार बाई ओर से नम्बर-1 गोली, T आवर्तकाल से, गोलियों की कतार के लम्बवत् सरल आवर्त गति करती है। विराम के जड़त्व के कारण सभी गोलियाँ एक साथ दोलन नहीं करेंगी। एक गोली के बाद दूसरी गोली फिर उससे अगली एक-एक कर गतिमान होती हैं। मान लीजिए एक गोली से दूसरी





चित्र. 14.2 : जब किसी डोरी में अनुप्रस्थ तरंग उत्पन्न होती है तो T/8 अंतराल पर इसके कणों का तात्कालिक प्रोफाइल ऊपर दर्शाए अनुसार होता है।

अगली गोली तक विक्षोभ के पहुँचने में $T/8$ s समय लगता है। अर्थात् $T/8$ s के अन्तराल में विक्षोभ कण संख्या 1 से कण संख्या 2 तक पहुँच जाता है। इसी प्रकार अगले $T/8$ s अन्तराल में विक्षोभ कण संख्या 2 से कण संख्या 3 तक पहुँच जाता है और यह इसी प्रकार आगे चलता रहता है। चित्र 14.2 के भाग (a) से (i) $T/8$ s के समय अन्तराल पर कणों की तात्कालिक स्थिति दिखाई गई है। (चित्रों में तीर के निशान यह प्रकट करते हैं कि विभिन्न कण उस समय किस दिशा में गति करने वाले हैं।) आप पाएंगे कि

(i) $t = 0$ समय पर, सभी कण अपनी-अपनी मूल स्थिति में हैं।

(ii) $t = T$ समय पर पहला, पाँचवां तथा नौवां कण अपनी-अपनी मूल स्थिति में हैं। पहला तथा नौवां कण ऊपर की ओर गति करने को हैं तथा पाँचवां कण नीचे की ओर गति करने को है। तीसरा व सातवां कण अधिकतम विस्थापन की स्थिति पर है किन्तु वे क्षैतिज अक्ष की विपरीत दिशा में हैं। चित्र 14.1 (a) में अंकित कणों की तात्कालिक स्थितियों को जोड़ने वाला आवरण चित्र 14.2 (i) के समान होगा और यह एक *अनुप्रस्थ तरंग* को निरुपित करता है। तीसरे व सातवें कणों की स्थितियाँ क्रमशः गर्त तथा श्रृंग को निरूपित करती हैं।

यहाँ यह ध्यान देने योग्य है कि यद्यपि डोरी में तरंग तो इसकी लम्बाई के अनुदिश गति करती है पर उसके सभी कण अपनी-अपनी साम्य-स्थिति पर, समान आवर्तकाल (T) तथा आयाम (A) से, ऊपर-नीचे दोलन करते रहते हैं। डोरी के स्थिर सिरे पर पहुँचने तक तरंग *प्रगामी* रहती है।

किसी तरंग गति में समान कला में कम्पन करने वाले दो निकटतम कणों के बीच की दूरी को तरंगदैर्ध्य कहा जाता है। इसे ग्रीक अक्षर λ (लैम्बडा) से निरुपित करते हैं।

स्पष्ट है कि किसी तरंग द्वारा λ दूरी तय करने में T समय लगता है (देखिये चित्र 14.2)। अतः तरंग का वेग,

$$v = \frac{\text{दूरी}}{\text{समय}} = \frac{\lambda}{T} \qquad (14.1)$$

किन्तु, 1/T= ν (न्यू), तरंग की आवृत्ति। अत:

$$v = \nu\lambda \qquad (14.2)$$

यदि दो ऐसे क्रमागत कण जो गति की समान स्थिति में हैं, एक दूसरे से λ दूरी पर हों तो उनके बीच कलान्तर 2π होता है। अत: एकांक दूरी पर कला परिवर्तन,

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \qquad (14.3)$$

हम k को *संचरण नियतांक* कहते हैं। याद कीजिए कि ω (ओमेगा) प्रति एकांक समय में कला परिवर्तन को निर्दिष्ट करता है, किन्तु T समय में कला परिवर्तन 2π होता है। अत:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu \qquad (14.4)$$

समीकरण (14.3) को समीकरण (14.4) से भाग करने पर, हमें तरंग वेग के लिए व्यंजक प्राप्त हो जाता है:

$$v = \frac{\omega}{k} = \frac{2\pi\nu}{2\pi/\lambda}$$

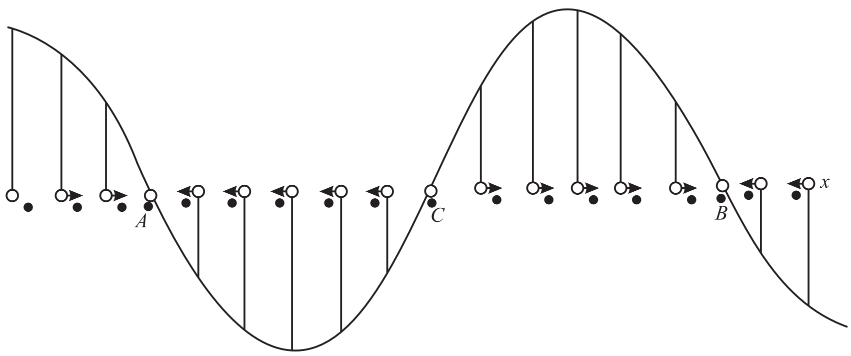
अथवा,

$$v = \nu\lambda \qquad (14.5)$$

आइए अब हम स्पष्ट करें कि अनुदैर्ध्य तरंगों का संचरण किस प्रकार होता है।

14.1.2 अनुदैर्ध्य तरंग का संचरण

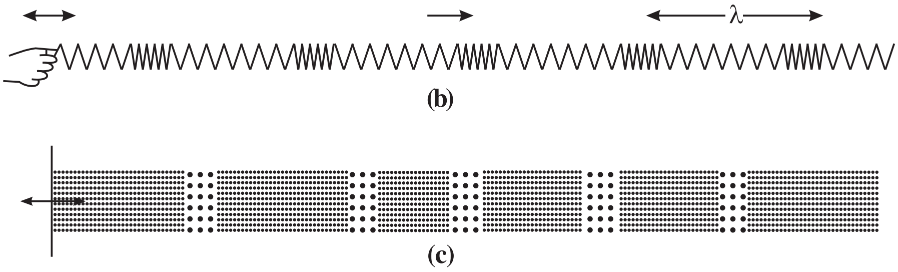
किसी अनुदैर्ध्य तरंग में माध्यम के कणों का विस्थापन तरंग-संचरण की दिशा के अनुदिश होता है। चित्र 14.3 में खोखले गोले किसी माध्यम के आपस में समान दूरियों पर स्थित कणों की मूल स्थितियों को



चित्र. 14.3 : अनुदैर्ध्य तरंग का ग्राफीय निरुपण

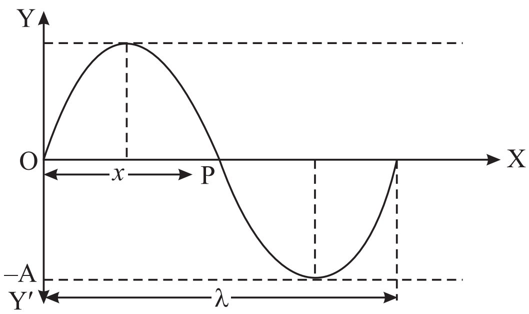
निरुपित करते हैं। चित्र में किसी निश्चित समय पर अनके अनुदैर्ध्य विस्थापन को (अपेक्षाकृत आवर्धित कर) तीरों से दिखाया गया है। आप देखेंगे कि न तो इन तीरों की लम्बाई समान है और न वे समान दिशा में हैं। यह ठोस गोलों की स्थिति से स्पष्ट है जो तीरों के नोकों के अनुरुप कणों की तात्कालिक स्थिति दिखाते हैं। दाई ओर के विस्थापनों को ग्राफ में धनात्मक y-अक्ष पर तथा बाई ओर के विस्थापनों को ग्राफ में धनात्मक y-अक्ष पर दिखाया गया है।

दाई ओर के प्रत्येक तीर के लिये हम एक रेखा अनुपातानुसार ऊपर की ओर खींचते हैं। इसी प्रकार बाई ओर के प्रत्येक तीर के लिये अनुपातानुसार एक रेखा नीचे को खींचते हैं। इन रेखाओं के सिरों को मिलाते हुए निष्कोण वक्र खींचने पर हमें जो ग्राफ प्राप्त होता है वह अनुप्रस्थ तरंग के विस्थापन-समय वक्र के समान ही होता है।



चित्र. 14.4 : किसी स्प्रिंग में अनुदैर्घ्य तरंग ध्वनि तरंगों के समरुप होती हैं।

14.1.3 सरल आवर्त तरंग का एकविमीय समीकरण



चित्र. 14.5 : x-दिशा में गमन करती एक सरल आवर्त तरंग

एक सरल आवर्त तरंग पर विचार करें जो OX के अनुदिश गमन कर रही है (चित्र. 14.5)। मान लीजिए कि यह तरंग अनुप्रस्थ है और माध्यम के कणों के कम्पन YOY′ के अनुदिश हैं। $t = 0$ समय पर विस्थापन को हम निम्नलिखित समीकरण से प्रकट करते हैं–

$$y = a \sin \omega t \qquad (14.6)$$

तब उस समय P बिन्दु पर कम्पनों की कला y से ϕ कोण पीछे है। तब

$$y = a \sin (\omega t - \phi) \qquad (14.7)$$

माना OP = x। क्योंकि प्रति एकांक दूरी कला परिवर्तन k है, हम लिख सकते हैं, $\phi = kx$। अत: समीकरण (14.7) को इस प्रकार लिखा जा सकता है–

$$y(x, t) = a \sin (\omega t - kx) \qquad (14.8)$$

क्योंकि $\omega = 2\pi/t$ और $k = 2\pi/\lambda$, समीकरण (14.8) को इस प्रकार भी लिख सकते हैं

$$y\,(x, t) = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) \qquad (14.9)$$

तरंग वेग ($\upsilon = \lambda/T$) के संदर्भ में, इस समीकरण को निम्न प्रकार भी व्यक्त किया जा सकता है

$$y = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (\upsilon t - x) \qquad (14.10)$$

समीकरण (14.8) को व्युत्पन्न करते हुए हमने O बिन्दु पर तरंग की प्रारंभिक कला को 0 (शून्य) लिया था। यदि O पर प्रारंभिक कला कोण ϕ_0 हो तो, तरंग का समीकरण होगा।

$$y\ (x,t) = a \sin [(\omega t - kx) + \phi_0] \qquad (14.11)$$

किसी तरंग के दो बिन्दुओं के बीच कलान्तर

आइए दो सरल आवर्त्ती तरंगों पर विचार करें जो OX अक्ष के अनुदिश गमन कर रही हैं और निम्नलिखित समीकरणों द्वारा निरूपित हैं

$$y = a \sin (\omega t - kx) \qquad (14.8)$$

एवं

$$y = a \sin [\omega t - k\,(x + \Delta x)] \qquad (14.12)$$

इनके बीच कलान्तर है

$$\Delta\phi = k\Delta x = \frac{2\pi}{\lambda}.\Delta x = -\frac{2\pi}{\lambda}(x_2 - x_1) \qquad (14.13)$$

जहाँ Δx तरंग पर स्थित इन दो बिन्दुओं के बीच पथान्तर है। यहाँ ऋणात्मक चिह्न यह संसूचित करता है कि जो कण अधिक दूरी पर है वह समान कला को बाद में प्राप्त करेगा।

एक ही स्थिति पर समय अन्तराल Δt में कलान्तर

हम एक ही स्थिति में किसी तरंग की कला पर Δt समय के अन्तराल पर विचार करते हैं, किसी क्षण t_1 पर कला

ϕ_1 का मान होगा

$$\phi_1 = \frac{2\pi}{T} t_1 - \frac{2\pi}{\lambda} x$$

और क्षण t_2 पर, कला

$$\phi_2 = \frac{2\pi}{T} t_2 - \frac{2\pi}{\pi} x.$$

तब समय अन्तराल $(t_2 - t_1)$ पर कलान्तर,

$$\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1 = \frac{2\pi}{T}(t_2 - t_1)$$

$$= 2\pi v\,(t_2 - t_1) \qquad [14.13(a)]$$

$$= 2\pi v\,(\Delta t) \qquad [14.13(b)]$$

उदाहरण 14.1 : एक प्रगामी आवर्त तरंग का समीकरण $y = 10^{-4} \sin (100\pi t - 0.1\pi x)$ है, तो गणना कीजिए, इसकी (i) आवृत्ति, (ii) तरंगदैर्घ्य तथा (iii) चाल, यदि x और y मीटर में हैं।

हल: किसी प्रगामी तरंग के तरंग के समीकरण

$$y = A\sin\left(\frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi x}{\lambda}\right)$$

से तुलना करने पर हमें प्राप्त होता है, (i) $2\pi v = 100\,\pi \Rightarrow v = 50$ Hz

(ii) $\frac{2\pi}{\lambda} = 0.1\,\pi \Rightarrow \lambda = 20$ m

(iii) $\upsilon = v\lambda = 1000\ \text{ms}^{-1}$

14.1.4 अनुप्रस्थ और अनुदैर्घ्य तरंगें

अब हम अनुप्रस्थ और अनुदैर्ध्य तरंगों पर विचार करते हैं और उनके बीच अन्तरों का संक्षेप में वर्णन करते हैं।

अनुप्रस्थ तरंगें	अनुदैर्घ्य तरंगें
(i) माध्यम के कणों का विस्थापन तरंग के संचरण की दिशा के लम्बवत् होता है।	(i) कणों का विस्थापन तरंग के संचरण की दिशा में ही होता है।
(ii) यह श्रृंग व गर्त के रूप में माध्यम में संचरित होते हुए दिखाई पड़ती है।	(ii) इसमें संपीडन व विरलन एकान्तर रुप से आगे गति करते हुए दृष्टिगत होते हैं।
(iii) ये केवल ठोसों में या द्रवों की सतहों के ऊपर ही प्रवाहित हो सकती है।	(iii) ये ठोस, द्रव तथा गैस, सभी से प्रवाहित हो सकती है।
(iv) अनुप्रस्थ तरंगों में विस्थापन समय वक्र तरंग का वास्तविक चित्र प्रस्तुत करता है।	(iv) अनुदैर्ध्य तरंगों में विस्थापन-समय वक्र, केवल किसी निश्चित समय में, विभिन्न बिंदुओं पर माध्यम के कणों की स्थिति को निरुपित करता है।

अनुदैर्घ्य व अनुप्रस्थ तरंगों के संचरण के लिये किसी माध्यम के आवश्यक गुणधर्म

(i) माध्यम के कणों का कुछ द्रव्यमान अवश्य होना चाहिए, (ii) माध्यम में प्रत्यास्थता अवश्य होनी चाहिए, अनुदैर्ध्य तरंगों के संचरण के लिए माध्यम में आयतन प्रत्यास्थता आवश्यक है, किन्तु, अनुप्रस्थ तरंगों के लिये दृढ़ता (या अपरुपण) गुणांक की आवश्यकता होती है। जबकि प्रकाश तरंगों या अन्य विद्युत-चुम्बकीय तरंगों को जो अनुप्रस्थ होती हैं, संचरण के लिए किसी द्रव्यात्मक माध्यम की आवश्यकता नहीं होती।

पाठगत प्रश्न 14.1

1. अनुदैर्घ्य व अनुप्रस्थ तरंगों में क्या-क्या अन्तर हैं?
2. कलान्तर तथा पथान्तर में सम्बंध लिखिए।

3. दो सरल आवर्त तरंगों को निम्न लिखित दो समीकरणों से निरुपित किया जाता है;
$y_1 = a \sin(\omega t - kx)$ और $y_2 = a \sin[(\omega t - kx) + \phi]$ इन दो तरंगों के बीच कलान्तर क्या है?

14.2 किसी प्रत्यास्थ माध्यम में अनुदैर्घ्य तथा अनुप्रस्थ तरंगों का वेग

किसी गैस में ध्वनि के वेग के लिए सूत्र प्राप्त करते समय, न्यूटन ने यह मान लिया था कि किसी गैस से होकर ध्वनि के संचरण में, संपीडन और विरलन, समतापी स्थितियों में बनते हैं। अर्थात् आयतन तथा दाब में परिवर्तन स्थिर ताप पर होते हैं। इन परिस्थितियों में, न्यूटन के अनुसार, किसी गैस में ध्वनि का वेग,

$$\upsilon = \sqrt{\frac{P}{\rho}} \text{ होता है।} \qquad (14.15)$$

वायु के मानक ताप व दाब पर, $P = 1.01 \times 10^5 \text{ Nm}^{-2}$ तथा (वायु का घनत्व) $\rho = 1.29 \text{ kg m}^{-3}$ होता है।

ρ व P के इन मानों को समीकरण (14.15) में रखने पर हमें υ का मान प्राप्त होता है–

$$\upsilon = \sqrt{1.01 \times 10^5 / 1.29} = 280 \text{ m s}^{-1}$$

जब बादलों के संघट्ट (टकराने) से तड़ित व गर्जन उत्पन्न होते हैं तो हमें गर्जन की ध्वनि तड़ित देखने के बाद में सुनाई देती है। इस का कारण यह है कि प्रकाश का वेग वायु में ध्वनि के वेग से बहुत अधिक होता है। तड़ित के दिखाई देने तथा गर्जन की ध्वनि सुनाई देने के बीच के समय अन्तराल को नाप कर वायु में ध्वनि का वेग ज्ञात किया जा सकता हैं। अधिक उन्नत तकनीक के उपयोग से 0°C पर वायु में ध्वनि का वेग 333 ms^{-1} पाया गया है। इस प्रकार न्यूटन द्वारा प्रस्तावित सूत्र से प्राप्त ध्वनि के वेग में प्रतिशत त्रुटि $= \dfrac{333 - 280}{333} \times 100\% = 16\%$ है। यह त्रुटि इतनी अधिक है कि यह प्रायोगिक त्रुटि नहीं हो सकती। स्पष्ट है कि न्यूटन की इस धारणा में कि वायु से होकर ध्वनि के संचरण में संपीडन तथा विरलन समतापीय होते हैं, कुछ गलती है।

14.2.1 लाप्लास का संशोधन

लाप्लास ने सुझाया कि वायु में ध्वनि के संचरण की अवधि में वायु की परतों में होने वाले दाब के परिवर्तन रुद्धोष्म होते हैं। इसके निम्नलिखित कारण हैं,

(i) वायु ऊष्मा-कुचालक है। और

(ii) ये संपीडन तथा विरलन इतनी जल्दी-जल्दी होते हैं कि न तो संपीडन से उत्पन्न ऊष्मा बाहर जा सकती है और न ही विरलन में अन्दर आ सकती है।

रुद्धोष्म परिस्थितियों में–

$$E = \gamma P,$$

जहाँ $$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

अत: $$\upsilon = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}} \qquad (14.16)$$

वायु के लिए, $\gamma = 1.4$. अत: मानक दाब व ताप (STP) पर वायु में ध्वनि की चाल

$$\upsilon = \sqrt{1.4 \times 1.01 \times 10^5 / 1.29}$$

$$= 333 \text{ m s}^{-1}$$

यह मान प्रयोगों द्वारा प्राप्त मान के बहुत निकट है।

14.2.2 किसी गैस में ध्वनि के वेग को प्रभावित करने वाले कारक

(i) ताप का प्रभाव

लाप्लास के सूत्र से

$$\upsilon = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$$

क्योंकि घनत्व ρ = एकांक आयतन का द्रव्यमान $= \frac{M}{V}$

$$\upsilon = \sqrt{\frac{\gamma PV}{M}}$$

समीकरण PV = nRT का उपयोग करने पर, जहाँ n गैस के m द्रव्यमान में गोलों की संख्या है,

$$\upsilon = \sqrt{\frac{\gamma RT}{\frac{M}{n}}}$$

$$= \sqrt{\frac{\gamma RT}{m}} \qquad (14.17\text{ a})$$

जहाँ m गैस का ग्राम अणुक द्रव्यमान है। यह परिणाम प्रदर्शित करता है कि

$$\upsilon \propto \sqrt{T}$$

$$\Rightarrow \qquad \upsilon = \upsilon_0 \left(1 + \frac{t}{2 \times 273}\right) + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$\simeq 333 + \frac{333}{546} t$$

$$\simeq 333 + 0.61t \qquad (14.17\text{b})$$

ध्यान दीजिए कि अल्पताप–परिवर्तनों के लिए, ध्वनि का वेग प्रति 1°0 ताप वृद्धि पर 0.61 ms^{-1} बढ़ जाता है।

(*ii*) दाब का प्रभाव

यदि हम किसी गैस पर दाब P बढ़ा दें तो वह संपीडित हो जाती है, किन्तु उसका घनत्व ρ भी दाब P के अनुपात में बढ़ जाता है अर्थात् P/ρ का मान स्थिर रहता है। इसका तात्पर्य यह है कि किसी गैस में ध्वनि के वेग पर दाब का प्रभाव नहीं होता।

(*iii*) घनत्व का प्रभाव-

यदि हम समान दाब व ताप की परिस्थितियों में दो भिन्न-भिन्न गैसों पर विचार करें तो,

$$\upsilon \; \alpha \; \frac{1}{\sqrt{\rho}}$$

यदि हम ऑक्सीजन तथा हाइड्रोजन में ध्वनि के वेगों की तुलना करें तो, हमें प्राप्त होता है,

$$\frac{\upsilon_{\text{ऑक्सीजन}}}{\upsilon_{\text{हाइड्रोजन}}} = \sqrt{\frac{\rho_{\text{हाइड्रोजन}}}{\rho_{\text{ऑक्सीजन}}}} = \sqrt{\frac{M_{\text{हाइड्रोजन}}}{M_{\text{ऑक्सीजन}}}} = \sqrt{\frac{2}{32}} = \frac{1}{4}$$

यह प्रदर्शित करता है कि ताप तथा दाब की समान अवस्थाओं में हाइड्रोजन में ध्वनि का वेग आक्सीजन में ध्वनि के वेग का चार गुना होता है। क्या यह परिणाम द्रवों और ठोसों के लिए भी तर्कसम्मत है? इस प्रश्न के उत्तर का आप अगले उप-अनुच्छेद में पता लगाएंगे।

(*iv*) वायु में ध्वनि के वेग पर आर्द्रता का प्रभाव

जब वायु में आर्द्रता बढ़ती है (ताप व दाब की स्थितियों को नियत रखते हुए) तो उसका घनत्व (ρ) कम हो जाता है अतः वायु में ध्वनि का वेग बढ़ जाता है।

उदाहरण 14.2 : किस ताप पर वायु में ध्वनि का वेग S.T.P. पर उसके मान का दो गुना हो जायेगा?

हल : हम जानते हैं कि, $\frac{\upsilon}{\upsilon_0} = \sqrt{\frac{T}{T_0}} \Rightarrow 2 = \sqrt{\frac{T}{273}}$

दोनों ओर की राशियों का वर्ग करने पर

$$\therefore \quad 4 = \frac{T}{273} \qquad \Rightarrow \qquad T = 273 \times 4 = 1092\text{K}$$

14.2.3 तानित डोरियों में तरंगों का वेग

किसी तानित डोरी में अनुप्रस्थ तरंग का वेग

$$\upsilon = \sqrt{\frac{F}{m}} \qquad (14.18\text{ a})$$

जहाँ F डोरी में तनाव तथा m तार की एकांक लम्बाई का द्रव्यमान है। किसी प्रत्यास्थ माध्यम में अनुदैर्ध्य तरंगों का वेग

$$\upsilon = \sqrt{E/\rho} \qquad (14.18\text{b})$$

जहाँ E प्रत्यास्थता है। यहाँ यह इंगित किया जा सकता है कि ठोसों में प्रत्यास्थता (E) का मान गैसों तथा द्रवों से अधिक होने के कारण ठोसों में अनुदैर्ध्य तरंगों का वेग द्रवों तथा गैसों में वेग की तुलना में अधिक होता है। यथार्थ $\upsilon_g < \upsilon_\ell < \upsilon_s$.

पाठगत प्रश्न 14.2

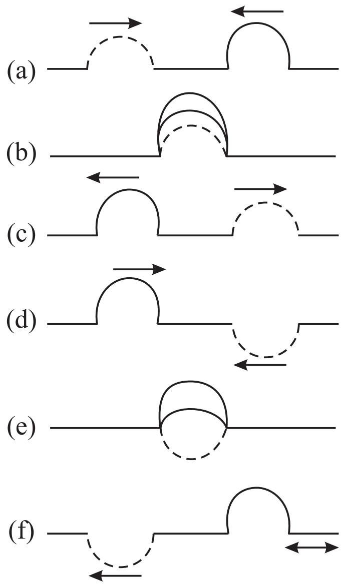
1. ध्वनि के वेग के लिए सूत्र प्राप्त (व्युत्पन्न) करने के लिए न्यूटन ने क्या कल्पना की थी?
2. न्यूटन के सूत्र में क्या गलती थी?
3. यह दर्शाइए कि प्रति 1^0C ताप बढ़ने पर वायु में ध्वनि का वेग 0.61 m s^{-1} बढ़ जाता है।
4. उस ताप की गणना कीजिए जिस पर ध्वनि का वायु में वेग 7^0C पर ध्वनि के वेग का (3/2) गुना हो जाता है।
5. किसी तानित डोरी में तरंग वेग के लिए सूत्र लिखिए।
6. यदि m प्रति एकांक लम्बाई द्रव्यमान की तानित डोरी में उत्पन्न तरंग की तरंग दैर्ध्य λ हो और उसकी आवृत्ति n हो तो, n, λ, F व m संबंध में लिखिए, यदि $\lambda = 2\ell$, हो तो n, l, F व m में क्या संबंध होगा?

14.3 तरंगो का अध्यारोण

मान लीजिए किसी स्लिंकी में दो तरंग स्पंद विपरीत दिशाओं में गमन कर रहे हैं। क्या होगा जब ये दोनों स्पंद मिलते हैं? क्या ये दोनों एक दूसरे का प्रभाव समाप्त कर देंगे? इन प्रश्नों का उत्तर पाने के लिए आइए हम एक क्रिया कलाप करें।

क्रियाकलाप 14.2

किसी तानित स्लिंकी में भिन्न-भिन्न आयाम के दो तरंग शृंग उत्पन्न कीजिए जैसा कि चित्र 14.6 में दिखाया गया है। ये शृंग एक दूसरे की विपरीत दिशा में गति कर रहे हैं। ये दोनों स्लिंकी के बीच में कहीं पर मिलते हैं और एक दूसरे पर अतिव्याप्त हो जाते हैं [चित्र. 14.6(b)] फिर अलग-अलग हो जाते हैं। इसके पश्चात वे फिर उसी दिशा में चलने लगते हैं जिनमें वे मिलने से पहले चल रहे थे और उनका आकार भी नहीं बदलता [चित्र. 14.6(c)].



चित्र. 14.6 :तरंगों के अध्यारोण्ण के सिद्धांत का निदर्शन

अब जैसा चित्र [14.6(d)] में दिखाया गया है स्लिंकी में एक शृंग व एक गर्त उत्पन्न कीजिए। ये मिलते हैं एक दूसरे पर अतिव्याप्त होते हैं और अलग होकर पूर्ववत् ये दोनों विपरीत

दिशाओं में चलते हैं और दोनों का आकार भी वही रहता है जो पहले था। इस प्रयोग को फिर से दोहराइए और ध्यान से देखिए कि दो स्पंदो के अतिव्यापन (या मिलने) के समय क्या होता है, चित्र 14.6(d) तथा [चित्र. 14.6(e)]। आप देखेंगे कि जब दो श्रृंगों का अतिव्यापन होता है तो परिणामी श्रृंग का आयाम बढ़ जाता है, और जब श्रृंग व गर्त का अतिव्यापन होता है तो परिणाम में एक श्रृंग बनता है, (क्योंकि प्रारंभ में श्रृंग का आयाम गर्त से अधिक था) किंतु उसका आयाम पहले श्रृंग के आयाम से कम होता है। इस परिणाम को हम संक्षेप में इस प्रकार लिख सकते हैं– दो स्पंदों के अतिव्यापन बिंदु पर परिणामी विस्थापन उनके अपने अपने विस्थापनों के सदिश योग के बराबर होता है। इसे ***अध्यारोपण का सिद्धांत कहते*** हैं।

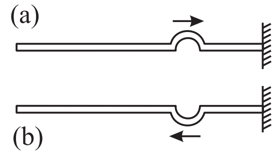
इस क्रियाकलाप से न केवल अध्यारोपण के सिद्धांत का प्रदर्शन होता है वरन् यह भी स्पष्ट होता है कि दो या अधिक तरंगे किसी स्थान से होकर एक दूसरे से स्वतंत्र रूप से संचरित हो सकती हैं। प्रत्येक तरंग इस प्रकार गति करती है जैसे कि अन्य तरंगें हैं ही नहीं। तरंगों के इस महत्वपूर्ण गुण के कारण ही हम अपनी रूचि के अनुसार किसी रेडियो स्टेशन को सुन सकते हैं यद्यपि उसी समय आकाश में कई रेडियो स्टेशनों से प्रसारित तरंगे विद्यमान होती हैं। इस सिद्धांत का उपयोग हम तरंगों के व्यतिकरण, और विस्पंदों तथा अप्रग्रामी तरंगों के बनने की व्याख्या के लिए करते हैं।

14.3.1 तरंगों का परावर्तन और संचरण

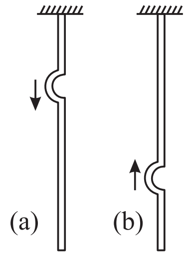
हम यहाँ केवल डोरियों और कमानियों में उत्पन्न होने वाली यांत्रिक तरंगों पर ही विचार करेंगे। जब किसी अनुप्रस्थ तरंग का श्रृंग किसी डोरी के स्थिर सिरे की ओर संचरण करता है तो क्या होता है और ऐसा क्यों होता है, इसको समझने के लिए हम एक क्रियाकलाप करते हैं?

क्रियाकलाप 14.3

किसी स्लिंकी के एक सिरे को स्थिर कर दीजिए जैसा कि चित्र 14.7 में दिखाया गया है। स्लिंकी को क्षैतिज रखते हुए उसके मुक्त सिरे को झटका देकर उसमें एक अनुप्रस्थ स्पंद उत्पन्न कीजिए [चित्र 14.7 (a)]। यह स्पंद a डोरी के स्थिर सिरे की ओर गति करता है। आप देखेंगे कि यह स्पंद स्थिर सिरे से टकरा कर गर्त के रूप में विपरीत दिशा में गति करने लगता है। क्या आप इसका कारण जानते हैं? जब स्पंद स्थिर सिरे से टकराता है तो यह उस आधार पर जिससे स्लिंकी का सिरा बंधा है, एक बल लगाता है, उस बल की समान तथा विपरीत प्रतिक्रिया के कारण न केवल तरंग स्पंद की गति की दिशा वरन् उसके विस्थापन की दिशा भी उल्टी (या विपरीत) हो जाती है (चित्र 14.7 b)। आधार को स्लिंकी से अधिक भारी होने के कारण सघन माध्यम माना जा सकता है। अतः हम कह सकते हैं कि जब तरंग परावर्तन किसी सघन माध्यम से होता है तो, तरंग में π, कलान्तर हो जाता है अर्थात इसकी कला विपरीत (या उल्टी) हो जाती है।



चित्र. 14.7 : सघन माध्यम से परावर्तन (कला उत्क्रमण)

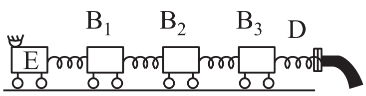


चित्र.14.8(a) : मुक्त सिरे की ओर नीचे को गति करता स्पंद (b) मुक्त सिरे से परावर्तन के पश्चात् इसके विस्थापन की दिशा अपरिवर्तित रहती है।

आइए अब हम देखें कि किसी विरल माध्यम से परावर्तन पर क्या होता है। इसके लिए हम एक दूसरा क्रियाकलाप करते है।

क्रियाकलाप 14.4

एक रबर की नलिका को किसी दृढ़ आधार से लटका दीजिए। इसमें एक तरंग स्पंद उत्पन्न कीजिए जो नलिका में नीचे की ओर गति करे। खुले (या मुक्त) सिरे से परावर्तन के पश्चात्, तरंग स्पंद ऊपर की ओर गति करता है किन्तु इसके विस्थापन की दिशा में कोई परिवर्तन नहीं होता अर्थात श्रृंग, श्रृंग के रूप में ही वापस लौटता है, क्यों? तरंग स्पंद नलिका के खुले सिरे पर पहुँचता है तो वह विरल माध्यम से परिवर्तित होता है। (याद रखिये कि वायु रबर से विरल है)। अत: तरंग स्पंद के विस्थापन में कोई परिवर्तन नहीं होता। इस प्रकार विरल माध्यम से परावर्तन होने पर, कला में परिवर्तन नहीं होता।



चित्र. 14.9 : किसी सघन माध्यम से अनुदैर्घ्य तरंगें बगैर स्वरुप परिवर्तन किन्तु चिह्न में परिवर्तन के साथ परावर्तित होती हैं।

आप अब प्रश्न कर सकते हैं कि क्या अनुदैर्घ्य तरंगों का व्यवहार भी ऐसा ही होता है? चित्र 14.9 देखिए जिसमें बोगियों की एक कतार दिखाई गई है। अब मान लिखिए इंजन E कुछ दाईं ओर गति करता है। इंजन पहली बोगी B_1 को दाहिनी ओर धकेलता है। यह स्प्रिंग फिर अपनी प्रारंभिक स्थिति में जाने का प्रयत्न करता है। जब यह दबा हुआ स्प्रिंग फैलता है, तो पहली व दूसरी बोगी के बीच का स्प्रिंग दब जाता है। अब दूसरा दबा हुआ स्प्रिंग फैलता है, वह थोड़ा सा तीसरी बोगी की ओर गति करता है। इसी प्रकार संपीडन अंतिम स्प्रिंग तक, जो स्थिर स्टैंड D के संपर्क में है, पहुँचता है। जब स्थिर स्टैंड D तथा अंतिम बोगी के बीच का स्प्रिंग फैलता है, केवल अंतिम बोगी ही बाईं ओर को गति करती है। यह प्रक्रम संपीडन के इंजन तथा पहली बोगी के बीच पहुँचने तक चलता रहता है। इस प्रकार संपीडन उसी रूप में अर्थात् सम्पीडन के रूप में ही वापस आ जाता है। किन्तु अब सभी बोगियाँ बाईं ओर गति करती हैं। इस यांत्रिक मॉडल में स्प्रिंग और बोगियाँ एक माध्यम का काम करती हैं। बोगियाँ माध्यम के कणों के सदृश्य हैं और उनके बीच के स्प्रिंग प्रत्यास्थता बल को प्रदर्शित करते हैं।

इस प्रकार सघन माध्यम से परावर्तन में, अनुदैर्घ्य तरंगों का स्वरूप तो वही रहता है किंतु चिह्न (दिशा) में परिवर्तन हो जाता है। जबकि विरल माध्यम से परावर्तन में, अनुदैर्घ्य तरंगों के चिह्न (दिशा) में कोई परिवर्तन नहीं होता, किंतु उनके स्वरूप में परिवर्तन हो जाता है। स्वरूप परिवर्तन

से यह तात्पर्य है कि परावर्तन के पश्चात संपीडन, विरलन के रूप में और विरलन संपीडन के रूप में ही वापस लौटते हैं।

पाठागत प्रश्न 14.3

1. जब विपरीत दिशाओं में चलती हुई दो तरंगें आपस में मिलती हैं तो क्या परिणाम होता है?
2. समान द्रव्यमान की व समान वेग से एक ही सरल रेखा के अनुदिश चलती हुई दो गोलियाँ आपस में टकराती हैं तो क्या होता है?
3. एक डोरी में एक से तरंग स्पंद विपरीत दिशा में गमन कर रहे हैं। क्या होता है जब (i) तरंगे एक ही कला में हैं? (ii) तरंगे विपरीत कला में हैं?
4. जब किसी अनुप्रस्थ तरंग का स्पंद किसी डोरी में चलते हुए उसके स्थिर सिरे पर पहुंचता है तो क्या होता है?
5. किसी डोरी में चलते हुए कोई तरंग स्पंद जब डोरी से मुक्त सिरे पर पहुँचता है तो क्या होता है?
6. क्या होता जब संपीडन की एक तरंग (i) विरल माध्यम से परावर्तित होती है? तथा (ii) सघन माध्यम से परावर्तित होती है?

14.4 एक ही दिशा में चलती हुई तरंगों का अध्यारोपण

एक ही दिशा में गमन करती हुई दो तरंगो का अध्यारोपण तरंगों की कला तथा आवृत्ति के अनुसार दो पृथक-पृथक परिघटनाओं को जन्म देता है: ये हैं (i) व्यतिकरण एवं (ii) विस्पंद। आइए, अब हम इन परिघटनाओं पर विचार करें।

14.4.1 तरंगो का व्यतिकरण

आइए, अब हम तरंगों के अध्यारोपण से प्राप्त व्यतिकरण पैटर्न में अधिकतम व न्यूनतम तीव्रताओं के अनुपात का परिकलन करते हैं। x- अक्ष के अनुदिश समान वेग $\upsilon = \omega/k$ वेग से गमन करती हुई दो सरल आवर्त तरंगों पर विचार कीजिए, जिनके आयाम क्रमशः a_1 और a_2 हैं और जिनकी कोणीय आवृत्ति ω है। किंतु दोनों तरंगों में एक स्थिर कलान्तर ϕ. है। इन तरंगों के समीकरण हैं,

$$y_1 = a_1 \sin(\omega t - kx)$$

और

$$y_2 = a_2 \sin[(\omega t - kx) + \phi]$$

जहाँ $\omega = 2\pi/T$ कोणीय आवृत्ति तथा $k = \dfrac{2\pi}{\lambda}$ तरंग संख्या है।

क्योंकि दोनों तरंगें एक ही वेग, एक ही दिशा में एक ही रेखा के अनुदिश गमन कर रही हैं, इनमें अतिव्यापन (overlapping) होता है। अध्यारोपण के सिद्धांत से, किसी बिन्दु पर इन दोनों तरंगों के कारण परिणामी विस्थापन y होगा

$$y = y_1 + y_2 = a_1 \sin(\omega t - kx) + a_2 \sin[(\omega t - kx) + \phi]$$

यदि $(\omega t - kx) = \theta$, तो

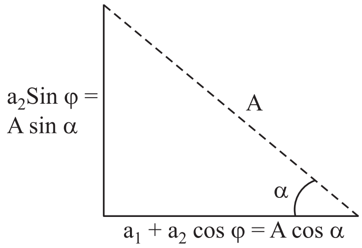
$$y = a_1 \sin\theta + a_2 \sin(\theta + \phi)$$
$$= a_1 \sin\theta + a_2 \sin\theta \cos\phi + a_2 \sin\phi \cos\theta$$

यदि $a_2 \sin\phi = A \sin\alpha$

और $a_1 + a_2 \cos\phi = A \cos\alpha$

तब

$$y = A \cos\alpha \sin\theta + A \sin\alpha \cos\theta$$
$$= A \sin(\theta + \alpha)$$



चित्र. 14.10 : परिणामी आयाम की गणना करना

θ का मान रखने पर

$$y = A \sin[(\omega t - kx) + \alpha]$$

इस प्रकार परिणामी तरंग की कोणीय आवृत्ति ω तथा आयाम A है, जहाँ

$$A^2 = (a_1 + a_2 \cos\phi)^2 + (a_2 \sin\phi)^2$$
$$= a_1^2 + a_2^2 \cos^2\phi + 2a_1a_2 \cos\phi + a_2^2 \sin^2\phi$$

$$A^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2\, a_1a_2 \cos\phi \qquad (14.18)$$

समीकरण (14.18), में ϕ दो अध्यारोपित तरंगों के बीच कलान्तर है। यदि दो तरंग के बीच पथान्तर p, ϕ, के संगत कलान्तर हो तब,

$\phi = \dfrac{2\pi p}{\lambda}$, जहाँ $\dfrac{2\pi}{\lambda}$ प्रति एकांक दूरी कला परिवर्तन है।

जब पथान्तर $\dfrac{\lambda}{2}$ का सम गुणांक हो, *i.e.*, $p = 2m\dfrac{\lambda}{2}$, कलान्तर $\phi = (2\pi/\lambda) \times (2m\,\lambda/2) = 2m\pi$.

चूंकि $\cos 2\pi = +1$, अतः समीकरण (14.18) से हमें प्राप्त होता है,

$$A^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2 = (a_1 + a_2)^2$$

अर्थात्, यदि एक ही दिशा में गमन करती दो सरेखी तरंगे एक ही कला में हों तो उनके अध्यारोपण से प्राप्त परिणामी तरंग का आयाम उनके पृथक-पृथक आयामों के योग के बराबर होता है। क्योंकि किसी स्थिति विशेष पर, तरंग की तीव्रता, उसके आयाम के वर्ग के समानुपाती होती है, अतः

$$I_{max} \;\alpha\; (a_1 + a_2)^2$$

जब $p = (2m + 1)\,\lambda/2$, then $\phi = (2m + 1)\,\pi$ तथा $\cos\phi = -1$. तब समीकरण (14.18) से हमें प्राप्त होता हैं,

$$A^2 = a_1^2 + a_2^2 - 2a_1a_2 = (a_1 - a_2)^2$$

जो यह प्रदर्शित करता है कि यदि एक ही दिशा में गमन करती दो सरेखी तरंगों के बीच पथान्तर π का विषम गुणांक हो तो, उनके अध्यारोपण से उत्पन्न परिणामी तरंग का आयाम उनके पृथक-पृथक आयामों के अंतर के बराबर होता है,

तब $I_{min} \;\alpha\; (a_1 - a_2)^2$

टिप्पणियाँ

इस प्रकार
$$\frac{I_{max}}{I_{mim}} = \frac{(a_1 + a_2)^2}{(a_1 - a_2)^2} \tag{14.19}$$

यदि $a_1 = a_2$, तो परिणामी तरंग की न्यूनतम तीव्रता शून्य होती है। ये परिणाम प्रदर्शित करते हैं कि व्यतिकरण तत्वत: तरंगों के अध्यारोपण के कारण दिक्स्थान में ऊर्जा का पुन: वितरण है।

14.4.2 विस्पंद

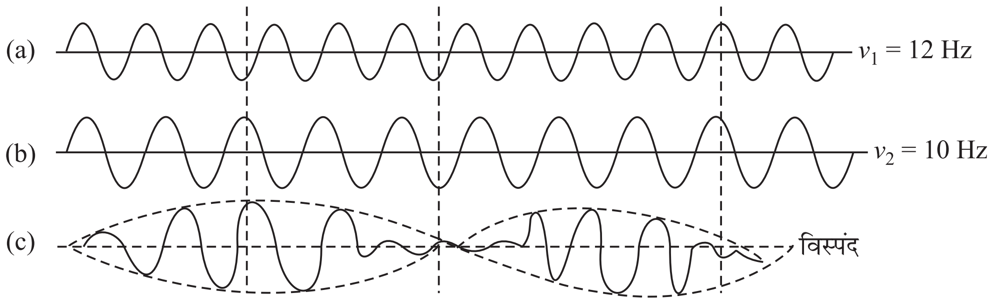
हमने देखा है कि एक ही आवृत्ति की व एक ही दिशा में गमन करने वाली तरंगों के अध्यारोपण से व्यतिकरण होता है। अब हम अनुसंधान करें कि दो लगभग समान आवृत्तियों की तरंगों के अध्यारोपण का परिणाम क्या होगा। पहले हम एक क्रिया कलाप करें।

क्रियाकलाप 14.5

दो स्वरित्र द्विभुज (ट्यूनिंग फॉर्क) A और B लीजिए जिनमें दोनों की आवृत्ति 512 Hz. है। B की एक भुजा पर थोडा सा मोम लगाकर उसे थोड़ा भारी बना लीजिए। अब एक रबर पैड पर टकराकर दोनों को एक साथ कम्पित कराइए। दोनों के हैन्डिलों को एक मेज की सतह पर दबा कर रखिये और उत्पन्न ध्वनि को ध्यान से सुनिए। आप पाएंगे कि ध्वनि की तीव्रता एकान्तर रूप से महत्तम तथा न्यूनतम होती रहती है। ध्वनि की तीव्रता के इस एकान्तर उतार चढ़ाव को *विस्पंद* कहते हैं। ध्वनि की तीव्रता के एक उच्चतम व एक न्यूनतम एकान्तरण को एक विस्पंद कहते हैं। B स्वरित्र द्विभुज की उसी भुजा पर थोड़ा सा मोम और लगाने पर आप पायेंगे कि विस्पंदों की संख्या बढ़ जाती है। B की भुजा पर और अधिक मोम लगाने पर हो सकता है कि विस्पंद न सुनाई दें। कारण यह है कि यदि दो भिन्न-भिन्न ध्वनियां हमारे कान पर 1/10 सेकंड से कम अंतराल पर पड़ें तो वह उनके बीच अंतर नहीं कर पाता अर्थात उन दो ध्वनियों को पृथक रूप से नहीं सुन पाता है। अब हम विस्पंदों के उत्पन्न होने की व्याख्या करेंगे।

(a) विस्पदों का उत्पादन : कल्पना कीजिए कि आप के पास दो स्वरित्र द्विभुज A और B हैं जिनकी आवृत्तियां क्रमश: N और $N + n$ हैं और n का मान 10 से कम है। एक सेकंड में A, N कम्पन करता है, किन्तु B एक सेंकड में A से n कम्पन अधिक कर लेता है, अत: द्विभुज B द्विभुज A की तुलना में (1/n) सेकंड में एक कम्पन तथा $\left(\frac{1}{2n}\right)$ सेकंड में आधा कम्पन अधिक कर लेता है। मान लीजिए $t = o$, अर्थात प्रारम्भ में, दोनों स्वरित्र द्विभुज एक ही कला में कम्पन कर रहे थे। तब (1/2n) सेकंड के पश्चात B , A की तुलना में (आधा) कम्पन अधिक कर लेगा, अत: $\frac{1}{2n}s$ के बाद वह (B) विपरीत कला में कम्पन करेगा। यदि A संपीडन की तरंग प्रेषित करता है तो B विरलन की तरंग प्रेक्षक को प्रेषित करेगा और प्रेक्षक को उसके कान द्वारा प्राप्त ध्वनि की तीव्रता शून्य होगी। (1/n)s, के बाद B, A से एक कम्पन अधिक कर

लेगा। अत: अब यदि A संपीडन की तरंग प्रेषित करता है तो B भी संपीडन की तरंग माध्यम (वायु) में प्रेक्षक को प्रेषित करेगा, और प्रेक्षक द्वारा प्राप्त ध्वनि की तीव्रता अधिकतम होगी। इसी प्रकार (3/2n)सेंकड के बाद दोनों स्वरित्र द्विभुज फिर से विपरीत कला में कम्पन करेंगे। अत: ध्वनि की तीव्रता फिर से न्यूनतम हो जाएगी। यह प्रक्रम इसी प्रकार चलता रहेगा। प्रेक्षक(1/n)सेंकड में एक विस्पंद सुनेगा, अर्थात n विस्पंद एक सेंकड में सुनेगा। इस प्रकार एक सेंकड में सुने गए विस्पंदों की संख्या दो स्वरित्र द्विभुजों की आवृत्ति में अंतर के बराबर होती है। यदि एक सेंकड में 10 से अधिक विस्पंद उत्पन्न हों तो ये पृथक-पृथक नहीं सुनाई देते। विस्पंद आवृत्ति n तथा विस्पंद काल 1/n होता है।



चित्र.14.11 : (a)12 Hz आवृत्ति का विस्थापन-समय ग्राफ (b) 10 Hz आवृत्ति का विस्थापन समय ग्राफ इन दो तरंगों के अध्यारोपण से दो विस्पंद प्रति सेकंड उत्पन्न होते हैं।

(b) ग्राफ विधि : एक 12 cm लम्बी सरल रेखा खींचकर इसको 1 cm लम्बे 12 बराबर भागों में विभाजित कीजिए। इस सरल रेखा पर 1 cm लम्बी तथा 1.5 cm ऊंची 12 तरंगे बनाइये। यह 12 Hz.आवृत्ति की एक तरंग को निरूपित करती है। दूसरी सरल रेखा (b) पर 1.2 cm लम्बी तथा 1.5 cm ऊँची 10 तरंगें बनाइये। यह 10Hz. आवृत्ति की तरंग को निरूपित करती है। चित्र 14.11(c) परिणामी तरंग को निरूपित करता है। चित्र 14.11 में वास्तविक तरंगों को नहीं वरन् विस्थापन समय ग्राफ दिखाया गया है। इस प्रकार परिणामी तीव्रता एकान्तर रूप से उच्चतम व निम्नतम होती रहती है। एक सेंकड में उत्पन्न विस्पंदों की संख्या Δv. है। अत: विस्पंद आवृत्ति दो अध्यारोपित तरंगों की आवृत्ति के अंतर के बराबर है।

उदाहरण 14.3 : एक अज्ञात आवृत्ति का स्वरित्र द्विभुज 500 Hz आवृत्ति के दूसरे स्वरित्र द्विभुज के साथ प्रति सेंकड 5 विस्पंद उत्पन्न करता है। स्वरित्र द्विभुज की अज्ञात आवृत्ति ज्ञात कीजिए।

हल : $v' = v \pm n = 500 \pm 5$

$\Rightarrow$ अज्ञात आवृत्ति 495 Hz or 505 Hz होगी।

उदाहरण 14.4 : किसी व्यतिकरण पैटर्न में अधिकतम व न्यूनतम तीव्रताओं का अनुपात 9 है। अध्यारोपण करती तरंगों का आयाम अनुपात क्या है?

हल : $\frac{I_{max}}{I_{min}} = \frac{a_1 + a_2}{a_1 - a_2}^2 \quad 9 \quad \frac{1+r}{1-r}^2$, जहाँ $r = \frac{a_2}{a_1}$.

टिप्पणियाँ

अत:

$$\frac{1+r}{1-r} = 3$$

इस समीकरण को सरलतापूर्वक हल किया जा सकता है तब $r = \frac{1}{2}$, अर्थात् एक तरंग का आयाम दूसरे से दो गुना है।

पाठागत प्रश्न 14.4

1. यदि व्यतिकरण उत्पन्न करती दो तरंगों का तीव्रता अनुपात 1:16 है तो I_{max}/I_{min} का अनुपात ज्ञात कीजिए?
2. दो ध्वनि-स्रोतों से निकलती हुई क्रमश: v तथा $v+4$ आवृत्ति की तरंगें अध्यारोपित होती हैं? आप क्या अवलोकन करेंगे?
3. आवृत्ति v तथा $v+\Delta v$ की दो तरंगों के अध्यारोपण से उत्पन्न विस्पंदों की आवृत्ति क्या होगी?
4. दो स्वरित्र द्विभुज A और B प्रति सेंकड 5 विस्पंद उत्पन्न करते हैं, A की एक भुजा पर थोड़ा सा मोम लगाने पर भी इनसे प्रति सेंकड 5 विस्पंद उत्पन्न होते हैं। यदि B की आवृत्ति 512 Hz हो तो A की आवृत्ति उस पर मोम लगाने से पहले कितनी थी? अपने उत्तर के लिए कारण लिखिए।

14.5 विपरीत दिशाओं में गमन करती समान आवृत्ति की तरंगों का अध्यारोपण

अभी तक हमने एक ही दिशा में गमन करती हुई संरेखी तरंगों के अध्यारोपण पर विचार किया है। इस प्रकार की तरंगों में शृंग और गर्त अथवा संपीडन और विरलन किसी माध्यम में आगे गमन करते रहते है। इनका वेग माध्यम के गुणों पर निर्भर करता है। किसी माध्यम में एक ही तरंग दैर्ध्य तथा आवृत्ति की एक ही सरल रेखा के अनुदिश एक ही चाल से विपरीत दिशाओं में गमन करती हुई दो तरंगों के अध्यारोपण से अप्रगामी तरंगे उत्पन्न होती हैं। इन तरंगों में शृंग तथा गर्त अथवा संपीडन एवं विरलन किसी प्रेक्षक के सापेक्ष अचल रहते हैं।

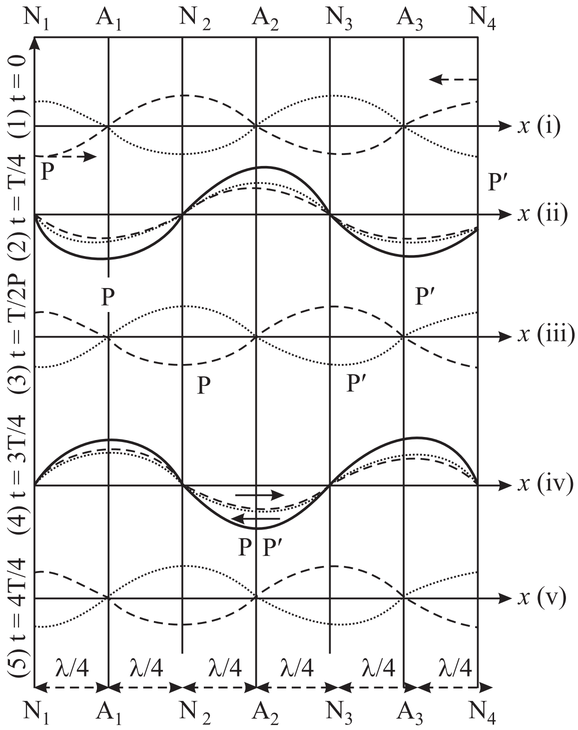
14.5.1 अप्रगामी अचर तरंगों का बनना

अप्रगामी तरंगे किस प्रकार बनती है, यह समझने के लिए चित्र 14.12 को देखिये, जिसमें हमने प्रत्येक T/4 सेकंड अर्थात कम्पनों के आवर्तकाल के 1/4 भाग के पश्चात आपतित, परावर्तित तथा परिणामी तरंगों की स्थितियों को दिखाया है।

(i) प्रारंभ में $t = 0$, समय पर [चित्र. 14.12(i)], बिन्दुओं द्वारा दिखायी गई आपतित तरंग और डैशों द्वारा दिखाई गई परावर्तित तरंग विपरीत कला में हैं, अत: सभी बिन्दुओं पर विस्थापन शून्य है। माध्यम के सभी कण अपनी-अपनी मूल अवस्थाओं में हैं।

(ii) t = T/4 समय पर [चित्र. 14.12(ii)], आपतित तरंग दाईं ओर को λ/4, आगे बढ़ गई है, जैसा कि बिन्दु P के विस्थापन से दिखाया गया है। परावर्तित तरंग बाईं ओर λ/4 आगे बढ़ गई है। परिणामी तरंग के रूप को मोटे सतत् वक्र से दिखाया गया है। यह देखा जा सकता है कि प्रत्येक बिन्दु पर परिणामी विस्थापन अधिकतम है। यहाँ प्रत्येक बिन्दु पर कण-वेग शून्य है और विकृति अधिकतम है।

(iii) t = T/2 समय पर [चित्र. 14.12 (iii)],आपतित तरंग दाईं ओर λ/2 आगे बढ़ गई है, जैसा बिन्दु P के विस्थापन से दिखाया गया है। परावर्तित तरंग बाईं ओर को λ/2 आगे बढ़ गई है, जिसे बिन्दु P′. को विस्थापन से दिखाया गया है। प्रत्येक बिन्दु पर इन विस्थापनों के विपरीत दिशा में होने से परिणामी विस्थापन शून्य है जिसे एक मोटी लाइन से दिखाया गया है।



चित्र. 14.12: एक ही तरंग दैर्ध्य, आयाम आवृत्ति की एक ही सरल रेखा के अनुदिश विपरीत दिशाओं में गमन करती दो तरंगों के अध्यारोपण से अप्रगामी तरंगों का बनना।

(iv) t=3T/4s पर [चित्र. 14.12(iv)], दोनों तरंगे फिर से एक ही कला में हैं। परिणामी विस्थापन अधिकतम है। कण-वेग शून्य है किन्तु विकृति का मान अधिकतम संम्भाव्य मान के बराबर है।

(v) t=4T/4s पर [चित्र. 14.12(v)], आपतित व परावर्तित तरंगे प्रत्येक बिन्दु पर विपरीत कला में है। इन तरंगों का परिणामी एक सरल रेखा है (जिसे मोटी सतत लाइन से दिखाया गया है)। विकृति $\Delta y/\Delta x$ प्रत्येक बिन्दु पर शून्य है।

ध्यान दीजिये कि

- बिन्दुओं N_1, N_2, N_3 और N_4, पर आयाम शून्य है किन्तु विकृति अधिकतम है। ऐसे बिन्दुओं को ***निस्पंद*** कहते हैं।
- बिन्दुओं A_1, A_2 और A_3, पर आयाम है अधिकतम है किन्तु विकृति न्यूनतम है। ऐसे बिन्दुओं को ***प्रस्पंद*** कहते हैं।
- दो क्रमागत निस्पंदों तथा प्रस्पंदों के बीच की दूरी λ/2 है।
- किसी निस्पंद व उससे अगले प्रस्पंद के बीच की दूरी λ/4 है।

टिप्पणियाँ

- अप्रगामी तरंगों का दोलन काल उन दोनों तरंगों के आवर्तकाल के बराबर है जिनके अध्यारोपण से यह अप्रगामी तरंग बनी है।
- ऊर्जा/एकान्तर रूप से किसी बिन्दु के परितः आगे पीछे तरंगायित होती रहती है। किन्तु किसी बिन्दु से होकर औसत ऊर्जा प्रवाह शून्य होता है।

दो सर्वसम, संरेखी और समान चाल से विपरीत दिशाओं में गमन करती हुई तरंगों के अध्यारोपण से अप्रगामी तरंगों बन जाती है। इनकों अप्रगामी तरंगें इसलिए कहा जाता है, क्योंकि इनमें तरंग स्वरूप आगे गति नहीं करता किन्तु एकान्तर रुप से संकुचित व विस्तृत होता रहता है। ऊर्जा केवल आगे-पीछे तरंगयित होती रहती है और औसत रूप से किसी बिन्दु से होकर नेट ऊर्जा प्रवाह नहीं होता।

14.5.2 अप्रगामी तरंग का समीकरण

किसी माध्यम में $\upsilon = \omega/k$ वेग से गमन करती हुई एक सरल आवर्त तरंग का समीकरण है,

$$y_1 = -a\sin(\omega t - kx)$$

किसी सघन माध्यम से परावर्तन के पश्चात यदि यह तरंग उसी सरल रेखा में X–अंक्ष के अनुदिश, उल्टी दिशा में π कलान्तर से गमन करे तो उसका समीकरण होगा,

$$y_2 = a\sin(\omega t - kx)$$

इन दोनों के अध्यारोपण से किसी समय किसी बिन्दु का विस्थापन होगा

$$y = y_1 + y_2$$

$$= a\sin(\omega t - kx) - a\sin(\omega t - kx)$$

त्रिकोणोमिति के सम्बंध $\sin A - \sin B = 2\,\text{Sin}\,(A - B)/2, \cos(A + B)/2$, का उपयोग करने पर, उपरोक्त व्यंजक को सरल करने पर हमें प्राप्त होता है,

$$y = -2a\sin kx\cos\omega t \qquad (14.20)$$

यदि $-2a\sin kx = A$. मान लें तो,

$$y = A\cos\omega t$$

समीकरण (14.20) कोणीय आवृत्ति ω और आयाम $2a\sin kx$ की एक परिणामी तरंग को निरूपित करता है। इस परिणामी तरंग का आयाम दिक्स्थान में ω कोणीय आवृत्ति से दोलन करता है, जो प्रतिमीटर पथान्तर पर कला में होने वाला परिवर्तन है। उन बिन्दुओं पर जहाँ $kx = m\pi = m\lambda/2$, $\sin kx = \sin m\pi = 0$. अतः $A = 0$,

ये बिन्दु जहां आयाम शून्य है, निस्पंद कहलाते हैं। इन बिन्दुओं पर विकृति $\Delta y/\Delta x$ का मान अधिकतम होता है। स्पष्टतः ऐसे दो निकटतम बिन्दुओं के बीच की दूरी $\lambda/2$ है।

उन बिन्दुओं पर जहां $= (2m + 1)\,\pi/2$ or $x = (2m + 1)\,\lambda/2 \times \lambda/2\pi = (2m + 1)\,\lambda/4$

$\text{Sin}\,kx = \sin(2m + 1)\,\pi/2 = \pm 1$.

यहां A का मान अधिकतम होता है। इन बिन्दुओं पर विकृति $\Delta y/\Delta x$ शून्य है। ये बिन्दु जहां पर A (आयाम) अधिकतम किन्तु विकृति शून्य होती है। प्रस्पंद कहलाते हैं।

यहाँ यह विचारणीय है कि निस्पंदों पर, कणों का वेग शून्य होता है जबकि प्रस्पदों पर कणों का वेग $\Delta y/\Delta t$ अधिकतम होता है। अतः इससे यह परिणाम निकलता है कि किसी बिन्दु से होकर औसत ऊर्जा प्रवाह शून्य होता है। ऊर्जा केवल इधर-उधर तरंगायित होती रहती है। इसी कारण इन तरंगों को अप्रगामी या अचर तरंगें कहते हैं।

14.5.3 प्रगामी और अप्रगामी तरंगों में अंतर

आइये अब हम प्रगामी तथा अप्रगामी तरंगों में अंतरों का संक्षेप में वर्णन करें।

प्रगामी तरंगें	अप्रगामी तरंगें
1. माध्यम की कुछ अवस्थाएं जैसे शृंग और गर्त या संपीडन तथा विरलन, किसी निश्चित चाल से गमन करती हुई दिखाई पड़ती हैं। यह चाल माध्यम के घनत्व और प्रत्यास्थाता (या तनाव) पर निर्भर करती हैं।	माध्यम के दो निश्चित बिन्दुओं, जिन को निस्पंद कहते हैं, के बीच के खण्ड संकुचित व विस्तृत होते हुए दिखाई पड़ते हैं। माध्यम का प्रत्येक कण माध्य स्थिति के दोनों ओर लोलक की तरह कम्पन करता है।
2. सभी कणों के कम्पन का आयाम समान होता है।	निस्पंदों पर आयाम शून्य तथा प्रस्पंदों पर अधिकतम होता है।
3. एक के बाद एक, सभी कण अपनी मूल स्थिति से अधिकतम वेग से गुजरते हैं।	निस्पंदों पर कण-वेग शून्य तथा प्रस्पदों पर अधिकतम होता है।
4. एक कण से दूसरे को निश्चित वेग से ऊर्जा का स्थानान्तरण होता रहता है।	किसी खण्ड में ऊर्जा का संकुचन व विस्तारन होता रहता है। किन्तु किसी बिन्दु से होकर ऊर्जा का प्रवाह नहीं होता
5. प्रगामी तरंगों में एक के बाद एक, सभी कण अपनी अधिकतम चाल प्राप्त करते हैं।	अप्रगामी तरंगों में भिन्न-भिन्न बिन्दुओं पर अधिकतम वेग भी भिन्न होता है। यह निस्पंदों पर शून्य, किन्तु प्रस्पंदों पर अधिकतम होता है। सभी कण अपना-अपना अधिकतम वेग एक साथ प्राप्त करते हैं।
6. प्रगामी तरंगों में माध्यम के सभी क्षेत्रों पर एक समान विकृति होती है।	अप्रगामी तरंगों में विकृति निस्पंदों पर अधिकतम तथा प्रस्पंदों पर शून्य होती है।
7. माध्यम में ऐसा कोई भी बिन्दु नहीं होता जहाँ पर घनत्व में परिवर्तन नहीं होता।	प्रस्पंदों पर घनत्व में परिवर्तन नहीं होता, किन्तु, निस्पंदों पर अधिकतम घनत्व परिवर्तन होता है।

पाठगत प्रश्न 14.5

1. क्या अप्रगामी तरंगों में किसी बिन्दु से होकर ऊर्जा प्रवाह होता है? अपने उत्तर के लिए कारण लिखिए।

2. दो लगातार निस्पंदों के तथा एक निस्पंद व निकटस्थ प्रस्पंद के बीच की दूरी कितनी होती है।
3. स्पष्ट कीजिए– दाब निस्पंद, विस्थापन स्पंद है और दाब प्रस्पंद, विस्थापन निस्पंद है।
4. वायु में 170 Hz आवृत्ति की अप्रगामी तरंगें बनी हैं। यदि वायु में तरंग वेग 340 ms^{-1}, हो तो (i) दो निकटस्थ निस्पंदों (ii) दो निकटस्थ प्रंस्पंदों तथा (iii) निकटस्थ निस्पंद व प्रस्पंद, के बीच की न्यूनतम दूरी क्या होगी?

14.6 सुस्वर ध्वनि के अभिलक्षण

सुस्वर ध्वनि के अभिलक्षण हमें दो सुस्वर ध्वनियों के बीच भेद करने में सहायता करते हैं। ये अभिलक्षण हैं– तारत्व, प्रबलता और गुणता (या स्वरूप)। अब हम इनका संक्षेप में वर्णन करेंगे।

14.6.1 तारत्व (Pitch)

तारत्व संगीतिक स्वरों का वह अभिलक्षण है जिसमें हम स्वरों का 'उच्च स्वर' या 'निम्न स्वर' में वर्गीकरण कर सकते हैं। यह एक व्यक्तिपरक (subjective) राशि है जो किसी यंत्रसे नहीं नापी जा सकती है। यह स्वर की आवृत्ति पर निर्भर करता है, कर्ण–भेदी, तीक्ष्ण या तीव्र ध्वनि को उच्च तारत्व की ध्वनि कहा जाता है। किन्तु मंद, भारी या सपाट स्वर को निम्न तारत्व की ध्वनि कहते हैं। शेर की दहाड़ उच्च प्रबलता की किन्तु निम्न तारत्व की ध्वनि है। दूसरी ओर मच्छरों की भिनभिनाहट की ध्वनि यद्यपि कम तीव्रता की है, किन्तु उसका उच्च तारत्व है।

14.6.2 प्रबलता

ध्वनि की प्रबलता किसी श्रोता के कान द्वारा प्राप्त ध्वनि की तीव्रता का व्यक्तिपरक (subjective) प्रभाव है, तरंगों की तीव्रता को तरंग द्वारा एकांक क्षेत्र के किसी पृष्ठ के पार एवं उस के लम्बवत्, एकांक समय में वाहित औसत ऊर्जा से मापा जाता है। हमारे कान ध्वनि के बहुत बड़े परास के लिए सुग्राही हैं। अत: ध्वनि प्रबलता के लिये अंकीय स्केल की अपेक्षा लघुगणकीय मापक्रम (स्केल) अधिक सुविधाजनक है।

श्रवण की देहली और ध्वनि की तीव्रता

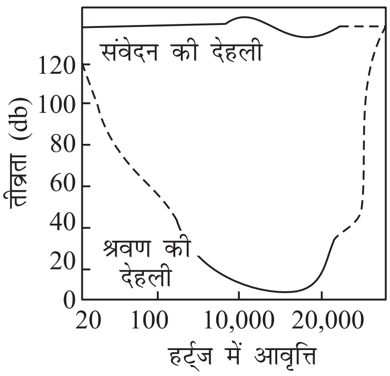
किसी तरंग के तीव्रता स्तर β को निम्न समीकरण से परिभाषित किया जाता है,

$$\beta = 10 \log I/I_0 \qquad (14.21)$$

जहाँ I_0 स्वेच्छिक रूप से चुनी गई एक संदर्भ तीव्रता है, I_0 का मान 10^{-12} Wm^{-2} लिया गया है। तीव्रता का यह मान उस सबसे मंद ध्वनि के अनुरूप है जिसे हम सुन सकते हैं। तीव्रता स्तर को डेसीबेल (db) से मापा जाता है।यदि किसी तरंग की तीव्रता I_0 या 10^{-12} Wm^{-2} हो तो इसका तीव्रता स्तर $I_0 = 0$ db होता है। श्रवण की सीमा के भीतर मानव के कान की सुग्रहता ध्वनि की आवृत्ति पर निर्भर करती है। किसी आवृत्ति पर

'श्रवण की देहली' उस आवृत्ति पर ध्वनि की वह निम्नतम तीव्रता है जिसका संसूचन किया जा सकता है अर्थात् जिसे सुना जा सकता है।

अनुभव की गई प्रबलता का मापदंड सोन (sone) है। एक सोन वह प्रबलता है जो 1kHz आवृत्ति एवं 40db तीव्रता की ध्वनि एक सामान्य श्रवण शक्ति के व्यक्ति के दोनों कानों पर पड़ने पर वह अनुभव करता है।



चित्र 14.13 श्रवण की देहली और अनुभव की देहली के बीच का श्रवण क्षेत्र

चित्र 14.13 में उन आवृत्तियों एवं तीव्रताओं को निरूपित किया गया है जिनके लिए कान सुग्राही होता है। यह चित्र वास्तव में आवृत्ति (हर्ट्ज में) एवं तीव्रता (डेसीबेल में) के बीच ग्राफ है। यह उत्तम श्रवण के लिए श्रवण क्षेत्र का ग्राफ है। इस वक्र के संबंध में निम्नलिखित तथ्यों पर ध्यान दीजिए।

- वक्र का निचला भाग प्रदर्शित करता है कि कान 2000Hz से 3000Hz की आवृत्तियों के लिये सर्वाधिक सुग्राही होते हैं, जहाँ 'श्रवण की देहली' लगभग 5db है। सामान्यत: श्रवण की देहली शून्य db होती है।
- वक्र के ऊपरी भाग के संगत तीव्रताओं से ऊपर की तीव्रताओं पर संवेदन श्रवण से असुविधा और पीड़ा तक में बदल जाता है। वक्र का यह भाग संवेदन की देहली है।
- प्रबलता, तीव्रता के साथ बढ़ती है, किन्तु दोनों के बीच कोई स्पष्ट संबंध नहीं है।
- यह आवश्यक नहीं है कि एक ही तीव्रता किन्तु पृथक आवृत्ति के दो शुद्ध स्वर समान प्रबलता उत्पन्न करें।
- सभी आवृत्तियों के लिए ऊपरी वक्र की ऊंचाई 120 db पर नियत है।

ध्वनि तरंगों की तीव्रता निम्नलिखित कारकों पर निर्भर करती हैं:

- **कम्पन का आयाम:** $I \alpha a^2$, जहाँ a तरंग का आयाम है।
- **श्रोता एवं स्रोत के बीच की दूरी:** $I \alpha \frac{1}{r^2}$, जहाँ r दोनों के बीच की दूरी है (स्रोत बिन्दु रूप हो तो)
- तीव्रता आवृत्ति के वर्ग के समानुपाती होती है ($I \alpha v^2$)
- तीव्रता माध्यम के घनत्व के समानुपाती होती है ($I \alpha \rho$)

14.6.3 गुणता

यह ध्वनि तरंगों का वह अभिलक्षण है, जिसके कारण हम पृथक-पृथक वाद्य यंत्रों के स्वरों को पहचान सकते हैं भले ही वह समान तारत्व व प्रबलता के क्यों न हों। स्वरित्र द्विभुज के

अतिरिक्त अन्य कोई भी यंत्र, शुद्ध स्वर (अर्थात् एक ही विशेष आवृत्ति का स्वर) उत्पन्न नहीं करता। जब कोई यंत्र n आवृत्ति का स्वर उत्पन्न करता है तो, इस स्वर के साथ-साथ अन्य उच्च आवृत्तियों $2n, 3n\ 4n$ .... के स्वर भी उस यंत्र से उत्पन्न हो सकते हैं। इन स्वरों के पृथक-पृथक् आयाम और कला संबंध होते हैं। इन उत्पन्न तरंगों का परिणामी तरंग स्वरूप उत्सर्जित स्वर की गुणता को निर्धारित करता है। प्रबलता और तारत्व के समान गुणता भी एक व्यक्तिपरक राशि है, यह परिणामी तरंग-स्वरूप पर निर्भर करती है।

14.6.4 ऑर्गन पाइप

यह सरलतम रूप का वायु यंत्र है। लकड़ी अथवा धातु का पाइप जो सुस्वर ध्वनि उत्पन्न करता है, ऑर्गन पाइप कहलाता है। बांसुरी, ऑर्गन पाइप का एक उदाहरण है। यदि इसके दोनों सिरे खुले हों तो इसे खुला पाइप कहते हैं। यदि इसका एक सिरा बन्द हो तो इसे **बन्द पाइप** कहते हैं। यदि हम किसी ऑर्गन पाइप को धीरे से फूंकते हैं, तो इससे लगभग शुद्ध स्वर निकलता है। इस शुद्ध स्व्र को **मूल स्वरक** कहते है। किन्तु यदि हम ऑर्गन पाइप को जोर से फूंकें, तो हमें कई अन्य स्वर भी सुनाई देंगे जिनकी आवृत्तियाँ मूल स्वर की आवृत्ति की पूर्णांकी गुणक होती हैं। आप किसी नल से बाल्टी में गिरते हुए पानी द्वारा उत्पन्न विभिन्न ध्वनियों को पहचान सकते हैं। *मूल स्वरक* की इन पूर्णांकी गुणक आवृत्तियों को **अधिस्वरक** (overtone) कहते हैं।

ध्यान में रखिये कि

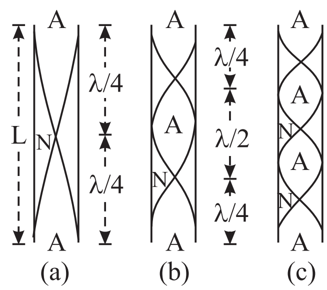
- किसी ऑर्गन पाइप के बन्द सिरे पर वायु के कणों का विस्थापन नहीं हो सकता है, अतः बन्द सिरे पर निस्पंद ही बनना निश्चित है।
- ऑर्गन पाइप का खुला सिरा बाहरी वायुमंडल के सम्पर्क में है अतः वहाँ घनत्व का परिवर्तन अवश्य ही शून्य होगा। अतः खुले सिरे पर अवश्य ही प्रस्पंद बनेगा।

(a) खुला ऑर्गन पाइप : वायु स्तंभ के कम्पनों की सरलतम विधा (mode) को चित्र 14. 14 (a) में दिखाया गया है। इसे मूल स्वरक कहते हैं। इसमें दोनों सिरों पर प्रस्पंद है और उनके बीच में एक निस्पंद हैं। क्योंकि एक प्रस्पंद से उसके निकटतम निस्पंद के बीच की दूरी $\lambda/4$ होती है अतः यदि पाइप की लम्बाई l हो तो

$$l = (\lambda/4) + (\lambda/4) = \lambda/2 \text{ or } \lambda = 2l.$$

अतः उत्पन्न स्वर की आवृत्ति

$$n_1 = \upsilon/\lambda = \upsilon/2l$$



चित्र 14.14: खुले ऑर्गन पाइप के सन्नादी। वक्र अनुदैर्ध्य अप्रगामी तरंगों को प्रकट करते हैं।

वायुस्तम्भ के कम्पनों की अगली विधा को चित्र 14.14 (b) में दिखाया गया है। इस विधा में एक प्रस्पंद तथा एक निस्पंद और उत्पन्न हो गए हैं। इस दशा में

$$\lambda = (\lambda/4) + (\lambda/4) + (\lambda/4) + (\lambda/4) = l$$

इसमें उत्पन्न स्वर की आवृत्ति

$$n_2 = \upsilon/\lambda = \upsilon/l = 2\upsilon/2l$$

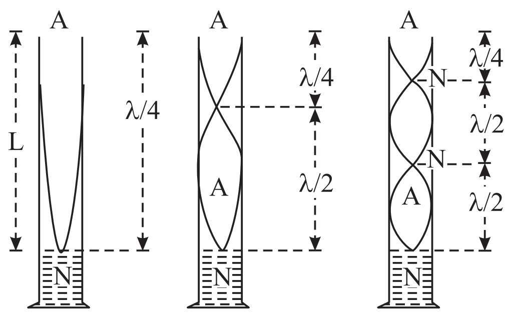
$$n_2 = 2\upsilon/2l$$

अर्थात् $n_2 = 2n_1$

इस प्रकार उत्पन्न स्वर को **द्वितीय संनादी** या **प्रथम अधिस्वरक** कहते हैं। द्वितीय अधिस्वरक प्राप्त करने के लिए आपको पाइप को और जोर से फूंकना होगा अब इसमें एक और निस्पंद तथा एक और प्रस्पंद उत्पन्न होंगें [(चित्र 14.14 (c)]। अतः इस स्थिति में,

$$l = \frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda}{4} + \frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda}{4}$$

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



चित्र 14.15: बन्द ऑर्गन पाइप के संनादी। चित्र में वक्र अनुदैर्ध्य अप्रगामी तरंगों के तरंग रूप को निरूपित करते हैं।

अतः उत्पन्न स्वर की आवृत्ति

$$n_3 = \frac{\upsilon}{\lambda} = \frac{3\upsilon}{2l} = 3n_1$$

इस प्रकार उत्पन्न स्वर को तृतीय संनादी या द्वितीय अधिस्वरक कहते हैं।

(b) बन्द ऑर्गन पाइप : किसी बन्द ऑर्गन पाइप में वायु स्तंभ के कम्पन की सरलतम विधि चित्र 14.5 (a) में दिखाई गई है, इसमें पाइप के खुले सिरे पर एक प्रस्पंद और बन्द सिरे पर एक निस्पंद है। उत्पन्न तरंग की तरंगदैर्ध्य के लिये यह संबंध है।

$$l = \lambda/4 \text{ or } \lambda = 4l$$

अतः उत्सर्जित स्वर की आवृत्ति,

$$n_1 = \upsilon/\lambda = \upsilon/41$$

इस प्रकार उत्पन्न स्वर को मूल स्वरक कहते हैं। पाइप को ओर जोर से फूंकने से एक और निस्पंद व एक और प्रस्पंद बन जायेंगे [चित्र 14.5(b)]। उत्पन्न स्वर की तरंगदैर्ध्य के लिए,

$$l = \frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda}{4} = \frac{3\lambda}{4} \quad \text{or } \lambda = \frac{4l}{3}$$

इस स्वर की आवृत्ति,

$$n_3 = \frac{\upsilon}{\lambda} = \frac{3\upsilon}{4l} = 3n_1$$

इस स्वर को मूल स्वरक का **प्रथम अधिस्वरक** या **तृतीय संनादी कहते हैं।**

$$l = \frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda}{4} + \frac{5\lambda}{4} \quad \text{or } \lambda = \frac{4l}{5}$$

पाइप को और अधिक जोर से फूंकने पर एक और प्रस्पंद तथा और निस्पंद बन जायेगा [चित्र 14.5 (c)] उत्पन्न स्वर की तरंगदैर्ध्य के लिये

$$n_3 = \frac{\upsilon}{\lambda} = \frac{5\upsilon}{4l} = 5n_1$$

इस प्रकार उत्पन्न स्वर को **द्वितीय अधिस्वरक** या पाँचवां संनादी कहते हैं।

खुले व बन्द पाइपों द्वारा उत्सर्जित स्वरों की तुलना से आप पाएंगे कि खुले पाइप में कहीं अधिक अधिस्वरक होते हैं। बन्द पाइपों में सम संख्यक (even numbered) संनादी नहीं होते।

उदाहरण 14.1 बराबर लंबाई के दो पाइप, एक बन्द व दूसरा खुला, दिए गए हैं, उनके मूल स्वरकों की आवृत्तियों का अनुपात क्या होगा?

हल : $\dfrac{\text{खुले पाइप की आवृत्ति}}{\text{बन्द पाइप की आवृत्ति}} = \dfrac{\upsilon/2\ell}{\upsilon/4\ell} = 2$

अतः, खुले पाइप द्वारा उत्पन्न मूल स्वरक की आवृत्ति = 2× बन्द पाइप द्वारा उत्पन्न मूल स्वरक की आवृत्ति

पाठागत प्रश्न 14.6

1. तारत्व व आवृत्ति में क्या संबंध है?
2. सुस्वर ध्वनि का वह कौन सा अभिलक्षण है जिससे हम दो भिन्न-भिन्न वाद्य यंत्रों द्वारा उत्पन्न दो स्वरों को पहचान लेते हैं भले ही उनकी आवृत्ति व तीव्रता बराबर क्यों न हों?
3. ध्वनि के उस अभिलक्षण का नाम लिखिए जो आपको अपने मित्र की आवाज, पहचानने में सहायता करता है।

4. खुले तथा बन्द ऑर्गन पाइप में किसमें अधिक अधिस्वरक होते हैं?
5. समान लम्बाई के (i) खुले पाइप (ii) बन्द पाइप, द्वारा उत्पन्न स्वरों की आवृत्तियों में क्या अनुपात होता है?
6. खुले पाइप के मूल स्वरक की आवृत्ति पर ताप का क्या प्रभाव होगा?

ध्वनि प्रदूषण

जब ध्वनि की अनुभूति श्रवण से असुविधा तक पहुंच जाती है (अर्थात् जब किसी ध्वनि को सुनने से हमें असुविधा होने लगे) तो वह ध्वनि प्रदूषण कहलाता है, और यदि यह एक लम्बे समय तक चलता रहे तो उससे कुछ विशेष मानव अंगों पर हानिकारक प्रभाव पड़ता है। शोर (या रव) औद्योगीकरण का एक उपोत्पाद और विज्ञान द्वारा मनुष्य को प्रदत्त आधुनिक सुख-सुविधाओं का दुरुपयोग है। यहाँ हम शोर (रव) के विभिन्न स्रोतों और मनुष्य द्वारा अनुभव किये गये उनके प्रभावों का सार प्रस्तुत कर रहे हैं।

सारिणी 14.1: रव (शोर) के स्रोत और उनके प्रभाव

स्रोत	**तीव्रता स्तर db में**	**मनुष्य द्वारा अनुभव किये गए प्रभाव**
श्रवण की देहली	$0\,(=10^{-12}\,Wm^{-2})$	बस सुनने लायक
पत्तियों की सरसराहट	10	नीरव
औसत फुसफुसाहट	20	नीरव (शान्त)
रेडियो (हल्का चलाने पर)	40	नीरव (शान्त)
शान्त मोटर वाहन	50	मन्द कोहलाहलपूर्ण
सामान्य बातचीत	65	मन्द कोलाहलपूर्ण
व्यस्त सड़क पर यातायात	70 to 80	कोलाहलपूर्ण
मोटर बाइक और भारी वाहन	90	बहुत कोलाहलपूर्ण
जेंट इंजन लगभग 35m दूर	105	असुविधाजनक
तड़ित	$120\,(=1\,Wm^{-2})$	असुविधाजनक
उड़ते समय जेट वायुयान	150	कष्टकर ध्वनि

(a) ध्वनि प्रदूषण के प्रभाव

1. इससे श्रवणशक्ति को क्षति पहुंचती है। 86db या अधिक तीव्रता की ध्वनि के लम्बे समय तक कान में पड़ने से कान के भीतरी भाग को बहुत क्षति हो सकती है।
2. इससे हृदय की धड़कन बढ़ जाती है और आँखों की पुतली फैल जाती है।
3. इससे भावात्मक अंशांति, चिन्ता व घबराहट उत्पन्न होती है।

टिप्पणियाँ

4. इससे तीव्र सिरदर्द हो जाता है जिससे उल्टियाँ हो सकती है।

(b) ध्वनि प्रदूषण कम करने की विधियाँ

1. पुराने उद्योगों को हटाकर, नये उद्योगों को मनुष्यों के निवास स्थानों से दूर लगाना।
2. मशीनों की अधिक अच्छी देखभाल करना तथा उनके गतिशील भागों को नियमित रूप से स्नेहक (lubrication) व तेल देना।
3. इंजन तथा मशीनों के अधिक अच्छे डिजाइन।
4. लाउडस्पीकारों तथा एम्लीफायरों पर रोक।
5. धार्मिक, राजनीतिक और वैवाहिक जलूसों में पटाखे, बैंड तथा लाउडस्पीकरों के उपयोग को नियंत्रित करना।
6. ध्वनि के मार्ग रोकने के लिये पेड़ लगाना।
7. ध्वनि के मार्ग को रोकने के लिये ध्वनि अवशोषक पदार्थों का उपयोग।
8. दस्तानों व रूई के प्लगों का उपयोग।

प्रघाती तरंगे

यदि कोई ध्वनि तरंग स्रोत ध्वनि तरंगों के वेग से अधिक वेग से गति कर रहा तो प्रघाती तरंगे उत्पन्न होती हैं। इसका एक सुविदित उदाहरण है जब किसी श्रोता के ठीक ऊपर कोई ध्वनि की चाल से तेज चलने वाला वायुयान गुज़रता है तो उसे विस्फोटक ध्वनि सुनाई देती है। यह सुविदित है कि ध्वनि से अधिक तीव्र गति से चलने वाला पिंड स्वंय ध्वनि स्रोत होता है।

14.7 विद्युत चुम्बकीय तरंगें

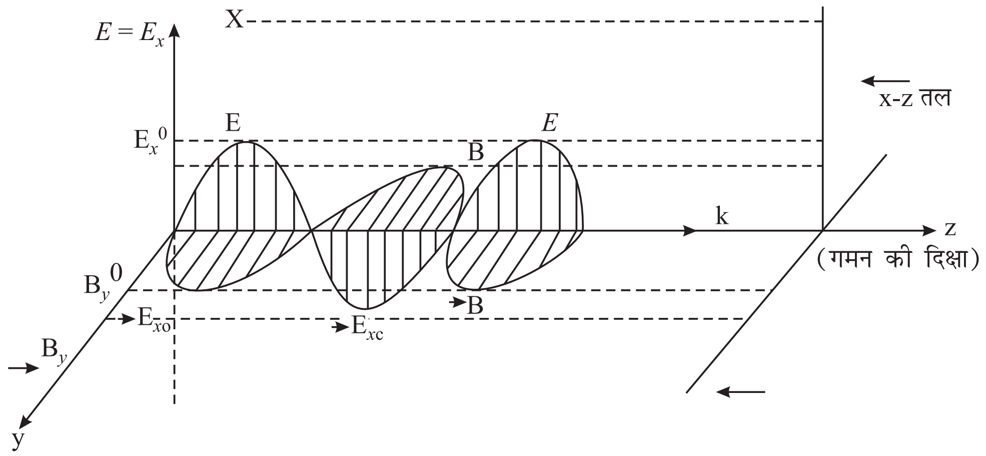
आप जानते हैं कि प्रकाश एक विद्युत चुम्बकीय तरंग है। इसकी तरंगदैर्ध्य 4000 A° से 7500A° तक होती है। विद्युत चुम्बकीय तरंगों का एक संक्षिप्त विवरण नीचे दिया गया है।

14.7.1 विद्युत चुम्बकीय तरंगों के गुण

विद्युत चुम्बकीय तरंगों के निम्नलिखित गुणों को सावधानी पूर्वक नोट कीजिए

(*i*) ये तरंगे अनुप्रस्थ होती हैं,

(*ii*) इनमें विद्युत क्षेत्र (E) और चुम्बकीय क्षेत्र (B), एक दूसरे के तथा तरंगों के प्रसारण की दिशा (k) के लम्बवत् दोलन करते हैं। साथ ही $\mathbf{E} = c\mathbf{B}$. [देखिये चित्र 14.16]।



चित्र 14.16 : विद्युत चुम्बकीय तंरगों में विद्युत व चुम्बकीय क्षेत्र

(iii) ये तरंगें निर्वात से होकर गमन कर सकती हैं जहाँ इनका वेग $= \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}} = 3 \times 10^8$ $ms^{-1} = c$ (प्रकाश का वेग) होता है। यदि किसी माध्यम की चुम्बकशीलता $\mu\ (= \mu_0 . \mu_r)$ और विद्युतशीलता $\varepsilon\ (= \varepsilon_0 \ . \ \varepsilon_r)$ हो तो वेग हो जायेगा–

$$\upsilon = \frac{1}{\sqrt{\mu\varepsilon}} = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}\ \sqrt{\mu_r \varepsilon_r}} = \frac{c}{\sqrt{\mu_r \varepsilon_r}} < c$$

(iv) इन तरंगों का व्यवहार व प्रकृति उनकी आवृत्ति (या तरंगदैर्ध्य) पर निर्भर करती है। मैक्सवेल के सिद्धान्त के अनुसार विद्युत चुम्बकीय तरंगों की संभावित तरंगदैर्ध्य पर कोई प्रतिबंध नहीं है। अत: 6×10^{-13} m तरंगदैर्ध्य से लेकर और अधिक तरंगदैर्ध्य की तरंगे सफलतापूर्वक उत्पन्न की गई हैं। बहुत अधिक तरंगदैर्ध्य की विद्युत चुम्बकीय तरंगों की, जो रेडियो तरंगों के संगत हैं, कोई सीमा नहीं है। दीर्घ से लेकर लघु तरंगदैर्ध्य तक की विद्युत चुम्बकीय तरंगों के पूरे परिसर से विद्युत चुम्बकीय स्पैक्ट्रम बनता है।

जेम्स क्लार्क मैक्सवेल
(1831 – 1879)

स्काटलैंड निवासी गणितज्ञ और भौतिक विज्ञानी मैक्सवेल विद्युत चुम्बकीय क्षेत्र संबंधी अपने सिद्धान्तों के लिये प्रसिद्ध हैं।विद्युत चुम्बकीय सिद्धान्तों के अपने समीकरणों द्वारा उन्होंने दर्शाया कि ये निर्विवाद रूप से विद्युत चुम्बकीय तरंगों के अस्तित्व का संकेत देते हैं, जो प्रकाश के वेग से चलती हैं; और इस प्रकार प्रकाश व विद्युत चुम्बकत्व में परस्पर संबंध है।

क्लासियस के साथ उन्होंने गैसों के गत्यात्मक सिद्धान्त को विकसित किया। उन्होंनें ऊष्मा के सांख्यिकीय सिद्धांत को विकसित किया। वे अनेक विषयों में रूचि रखने वाले व्यक्ति थें उन्होंने ऊर्जा के सम विभाजन प्रमेय को व्युत्पन्न किया। यह प्रदर्शित किया कि श्यानता ताप के समानुपाती होती है। उन्होंने शनि ग्रह के वलयों की व्याख्या करने का प्रयत्न किया।

14.7.2 विद्युत चुम्बकीय स्पेक्ट्रम

मैक्सवेल ने विद्युत चुम्बकीय तरंगो के अस्तित्व का विचार दिया जबकि हर्ट्ज, जगदीश चन्द्र बोस, मार्कोनी व अन्य वैज्ञानिकों ने प्रयोगात्मक रूप से, भिन्न-भिन्न तरंग दैर्ध्य की ऐसी तरंगों को सफलतापूर्वक उत्पन्न किया। तथापि सभी विधियों में विद्युत चुम्बकीय तरंगों का स्रोत त्वरित आवेश है। इन तरंगों का वर्गीकरण उनके उत्पन्न करने की विधियों के अनुसार किया जाता है और तदनुसार उनका नाम रखा जाता है। विभिन्न वर्ग की इन तरंगों द्वारा स्प्रेक्ट्रम के कुछ भागों का अतिव्यापन (Overlapping) भी देखा जाता है। यह प्रकट करता है कि अतिव्यापित क्षेत्र में विद्युत चुम्बकीय तरंगे भिन्न-भिन्न विधियों से उत्पन्न की जा सकती हैं। यह याद रखना महत्वपूर्ण है कि विद्युत चुम्बकीय तरंगों के गुण उनकी आवृत्तियों या तरंगदैर्ध्यों पर निर्भर करते हैं न कि उनके उत्पादन की विधियों पर। विद्युत चुम्बकीय तरंगों का एक उपयुक्त वर्गीकरण विद्युत चुम्बकीय स्प्रेक्ट्रम कहलाता है।

विद्युत चुम्बकीय तरंगों के किसी वर्ग और उसके अगले वर्ग के बीच कोई स्पष्ट विभाजक बिन्दु नहीं है। इसके विभिन्न वर्ग निम्नलिखित है:

(i) **निम्न आवृत्ति विकिरण** $\begin{Bmatrix} v = 60\text{Hz to } 50\text{Hz} \\ \lambda = 5\times10^6\, m \text{ to } 6\times10^6\, m \end{Bmatrix}$: प्रत्यावर्ती धारा (a.c.) परिपथों से उत्पादित इन विकिरणों का वर्गीकरण, शक्ति आवृत्तियों या शक्ति तरंगों या विद्युत शक्ति उपयोगिता युक्त विद्युत चुम्बकीय तरंगों के रूप में किया जाता है। इन तरंगों की आवृत्ति निम्नतम होती है।

(ii) **रेडियो तरंगे-** $\begin{Bmatrix} \lambda = 0.3\text{m to } 10^6\text{ m} \\ v = 10^9\text{ Hz } to \text{ } 300\text{Hz} \end{Bmatrix}$: रेडियों तरंगें तब उत्पन्न होतीं हैं जब आवेशों को चालक तारों से होकर त्वरित किया जाता है। ये L.C. दोलित्रों जैसी इलैक्ट्रॉनिक युक्तियों में उत्पन्न होती हैं। इनका रेडियो व टेलीविजन प्रसारण में बहुत उपयोग होता है।

(iii) **सूक्ष्म तरंगे** $\begin{Bmatrix} \lambda = 10^{-3}\text{ m to } 0.3\text{m} \\ v = 10^{11}\text{ Hz } to \text{ } 10^9\text{ Hz} \end{Bmatrix}$: इनका उत्पादन विशेष निर्वात् नलिकाओं में दोलायमान धाराओं द्वारा होता है। अपनी सूक्ष्य तरंग दैर्ध्य के कारण ये वायुयानों के संचालन में प्रयुक्त रडारों, टीवी प्रसारण और पदार्थ के आण्विक तथा परमाणुवीय गुणों का अध्ययन करने के लिए बहुत उपयुक्त हैं। सूक्ष्म तरंग चूल्हों में इन तरंगों का उपयोग उष्मा तरंगों के रूप में किया जाता है। यह सुझाव दिया गया है कि सौर (ऊर्जा) संग्राहकों द्वारा अंतरक्षि से पृथ्वी को सूक्ष्म तरंगे विकीर्ण कर सौर ऊर्जा का दोहन किया जा सकता है।

(iv) **अवरक्त किरणें** $\begin{Bmatrix} \lambda = 7\times10^{-7}\text{ m to } 10^{-3}\text{ m} \\ v = 4.3\times10^{14}\text{ Hz to } 3\times10^{11}\text{ Hz} \end{Bmatrix}$: अवरक्त किरणों का उष्मता लहरें भी कहा जाता है। ये अधिकांश पदार्थों द्वारा तुरंत अवशोषित हो जाती हैं। जो वस्तु इन तरंगों का अवशोषण करती हैं, उनका ताप बढ़ जाता है। अवरक्त विकिरणों के कई व्यवहारिक और वैज्ञानिक उपयोग हैं, जैसे शारीरिक चिकित्सा, अवरक्त फोटोग्राफी इत्यादि। इन तरंगों को ताप वैद्युत पुंज (थर्मोपाइल) से संसूचित किया जा सकता है।

(v) **दृश्य प्रकाश** $\begin{Bmatrix} \lambda = 4\times10^{-7}\,\text{m to } 7\times10^{-7}\,\text{m} \\ v = 7.5\times10^{14}\,\text{Hz to } 4.3\times10^{14}\,\text{Hz} \end{Bmatrix}$: यह वह विद्युत चुम्बकीय (e.m.) तरंगें हैं जिन्हें हमारी आँख संसूचित कर सकती है या जिनके लिए मानव की आँख का रेटीना (दृष्टिपटल) संवेदनशील है। यह सम्पूर्ण विद्युत चुम्बकीय स्पेक्ट्रम का एक छोटा सा भाग है। ये परमाणुओं और अणुओं में इलेक्ट्रॉनों के पुनर्विन्यास से उत्पन्न होती हैं, जब कोई इलेक्ट्रॉन किसी परमाणु के बाहरी कक्ष से कम ऊर्जा के भीतरी कक्ष में गिरता है तो अतिरिक्त ऊर्जा दृश्य विकिरणों के रूप में विकिरित हो जाती है। दृश्य प्रकाश की विभिन्न तरंग दैर्ध्यों का रंगों में वर्गीकरण किया गया है। यह रंग बैगनी $(\lambda = 4\times10^{-7}\text{m})$ से लाल $(\lambda = 7\times10^{-7})$. तक हैं। मानव नेत्र पीले रंग के प्रकाश $(\lambda = 5\times10^{-7}\text{m})$.लिए सर्वाधिक सुग्राही है। प्रकाश हमारे चारों ओर के विश्व से सम्पर्क के लिए मूलाधार है।

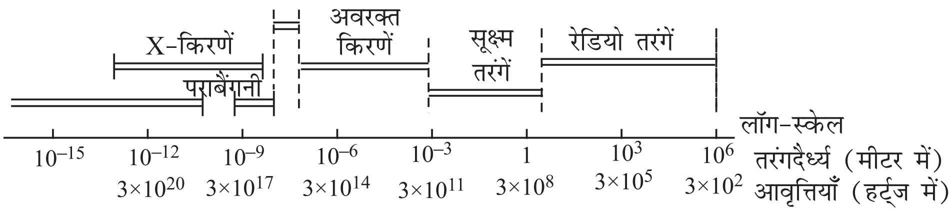
(vi) **पराबैंगनी** $\begin{Bmatrix} \lambda = 3\times10^{-9}\,\text{m to } 4\times10^{-7}\,\text{m} \\ v = 10^{-17}\,\text{Hz to } 7.5\times10^{14}\,\text{Hz} \end{Bmatrix}$: सूर्य पराबैंगनी विकिरणों का महत्वपूर्ण स्रोत है, जो धूप-ताम्रता का मुख्य कारण है। सूर्य से आने वाले पराबैंगनी प्रकाश का अधिकांश भाग ऊपरी वायुमंडल अर्थात समतापमंडल द्वारा जहां ओजोन गैस होती है, अवशोषित कर लिया जाता है। यह ओजोन परत तब अवशोषित ऊर्जा को ऊष्मा-विकिरणों के रूप में उत्सर्जित करती है, इस प्रकार ओजोन द्वारा प्राण घातक (प्राणियों के लिए हानिकार) विकिरण, लाभदायक ऊष्मा विकिरणों में परिवर्तित कर दिए जाते हैं जिससे वायुमण्डल गर्म रहता है। इन परा बैंगनी किरणों का उपयोग पीने के पानी में कीटाणु को नष्ट करने, आपरेशन कक्षों को रोगाणुरहित करने और दस्तावेजों की जालसाजी की जांच करने के लिए किया जाता है।

(vii) **एक्स-किरणें** $\begin{Bmatrix} \lambda = 4\times10^{-13}\,\text{m to } 4\times10^{-8}\,\text{m} \\ v = 7.5\times10^{20}\,\text{Hz to } 7.5\times10^{15}\,\text{Hz} \end{Bmatrix}$: एक्स-किरणें तब उत्पन्न होती हैं जब टंगस्टन जैसी किसी उच्चगलनांक की धातु के लक्ष्य पर उच्च ऊर्जा के इलेक्ट्रानों की बौछार की जाती है। एक्स किरणों का महत्वपूर्ण उपयोग चिकित्सीय निदान और कुछ प्रकार के कैंसरों के इलाज में किया जाता है। क्योंकि एक्स-किरणें जीवित ऊतकों को नष्ट करती हैं अतः सावधानी रखनी चाहिए कि अधिक समय तक एक्स किरणें सम्पर्क में न आएं। एक्स किरणों का उपयोग क्रिस्ट्रलों की संरचना के अध्ययन में भी होता है। एक्स-किरणों का संसूचन (पहचान) फोटोग्राफिक प्लेटों से होता है।

(viii) **गामा किरणें** $\begin{Bmatrix} \lambda = 6\times10^{-17}\,\text{m to } 10^{-10}\,\text{m} \\ v = 5\times10^{24}\,\text{Hz to } 3\times10^{18}\,\text{Hz} \end{Bmatrix}$: ये किरणें कोबल्ट (60) और सीजियम (137) जैसे रेडियो ऐक्टिव (विघटनामिक) नाभिकों से उत्सर्जित होती हैं। ये नाभिकीय रिऐक्टरों में कुछ नाभिकीय अभिक्रियों के दौरान भी निकलती हैं। गामा किरणों की भेदन क्षमता बहुत अधिक होती हैं। जीवित ऊतकों द्वारा अवशोषित होने पर ये उन्हें गंभीर क्षति

पहुँचाती हैं। गामा किरणों के घातक प्रभाव से बचने के लिए लेड धातु की मोटी चादरों का उपयोग किया जाता है। विद्युत चुम्बकीय तरंगों की ऊर्जा (E) उनकी आवृत्ति के समानुपाती ($E = h\nu$) तथा तरंग दैर्ध्य की व्युत्क्रमानुपाती $\left(E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}\right)$ होती है। अतः गामा किरणों में सर्वाधिक ऊर्जा और भेदन क्षमता होती हैं जबकि शक्ति आवृत्तियों और ए.एम (आयाम मॉडुलित) रेडियो तरंगसबसे दुर्बल विकिरण हैं। गामा किरणों का उपयोग धातु की ढली हुई वस्तुओं में त्रुटियों जानने के लिए किया जाता है। गामा किरणों का संसूचन गाइगर नली या प्रस्फुरण गणित्र के द्वारा किया जाता है।

स्पैक्ट्रम में भिन्न-भिन्न प्रकार के विकिरणों का लाक्षणिक व्यवहार, माध्यम के अनुसार, भिन्न-भिन्न होता है, उदाहरण के लिए हमारा सम्पूर्ण शरीर दृष्य विकिरणों के लिए अपारदर्शी है, हमारे ऊतक एक्स किरणों के लिए पारदर्शी हैं। इसी प्रकार पृथ्वी के वायुमण्डल का व्यवहार भी भिन्न-भिन्न प्रकार के विकिरणों के लिए भिन्न होता है।



चित्र. 14.17 : विद्युत चुम्बकीय स्प्रेक्ट्रम

पाठगत प्रश्न 14.7

1. रिक्त स्थानों की पूर्ति कीजिए:

   (i) .... विशेष निर्वात नलिकाओं में दोलित धाराओं से उत्पन्न होती हैं.

   (ii) मानव नेत्र .... रंग के लिए सर्वाधिक संवेदनशील है।

   (iii) .... पराबैगनी विकिरणों का महत्वपूर्ण स्रोत है।

   (iv) .... का उपयोग चिकित्सा में निदान के लिए एक साधन के रूप में होता है।

   (v) अवरक्त विकिरणों का संसूचन .... से होता है।

2. किन विकिरणो में अधिक ऊर्जा होती है?

   (i) पराबैगनी या अवरक्त ....

   (ii) एक्स-किरणें या गामा किरणें ....

3. वायुयानों के संचालन-रडार में किन तरंगों का उपयोग होता है?

4. कौन सी गैस सूर्य से आने वाले परा बैगनी विकिरणों को पृथ्वी की सतह तक पहुँचने से रोकती है?

5. किसी विद्युत चुम्बकीय (e.m.) क्षेत्र में विद्युत तथा चुम्बकीय क्षेत्र आपस में किस प्रकार अभिविन्यस्त होते हैं?

14.8 डॉप्लर प्रभाव

रेलवे प्लेटफॉर्म पर किसी आने वाली ट्रेन (रेलगाड़ी) की प्रतीक्षा करते हुए आपने अवलोकन किया होगा कि हमारी ओर आते हुए इंजन की सीटी के तारत्व, और हमसे दूर जाते हुए इंजन की सीटी के तारत्व, में अन्तर होता है। आप नोट करेंगे कि जब इंजन हमारी ओर आता है तो तारत्व अधिक होता है और जब वह हमसे दूर जाता है तो तारत्व कम होता है। इसी प्रकार पहाड़ो में चढ़ाई पर चढ़ती बस के हार्न का तारत्व भी लगातार बदलता रहता है। ध्वनि के स्रोत तथा श्रोता की सापेक्ष गति के कारण आवृत्ति में आभासी परिवर्तन डॉप्लर प्रभाव कहलाता है।

क्रिस्चियन डॉप्लर

(1803 – 1853)

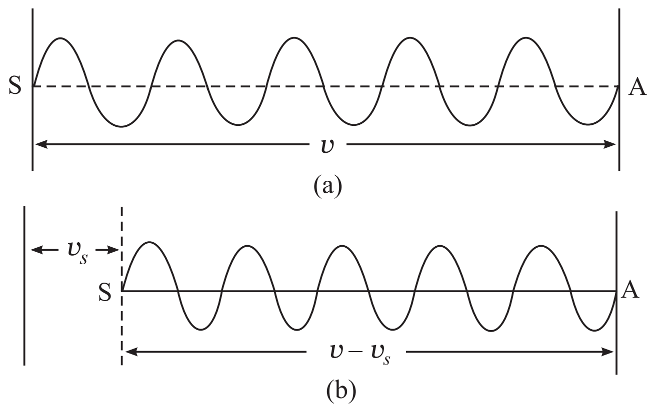
आस्ट्रिया निवासी भौतिक विज्ञानी और गणितज्ञ सी.जे. डॉप्लर का जन्म नवम्बर 29,1803 में एक राज के घर में हुआ था। दुबले पतले डॉप्लर को अपने पारिवारिक व्यावसाय के लिए अधिक योग्य नहीं माना जाता था। अत: साल्जबर्ग लाइकोसिन में गणित के प्रोफेसर की सिफारिश पर उन्हें वियेना पॉलिटैक्निक भेज दिया गया जहां से उन्होंने 1825 ई. में स्नातक परीक्षा पास की। डॉप्लर को जीवन पर्यंत संघर्ष करना पड़ा। उन्होंने 18 महीने एक रुई कातने की फैक्ट्री में मुनीम (या लेखाकार) का काम करना पड़ा। 1836 में जब उन्हें एक टेक्निकल माध्यमिक विद्यालय में स्थायी नियुक्ति मिली तब ही वे अपने विवाह के बारे में सोच पाए। एक बार विद्यार्थियों के लिए गणित का कठिन प्रश्न पत्र बनाने के लिए उन्हें डाँट भी पड़ी थी। किन्तु अनेक बाधाओं को हटाते हुए वे अंत में वियेना विश्वविद्यालय के नये भौतिकी संस्थान का निदेशक बनने में सफल हुए।

डॉप्लर प्रभाव की खोज ने उन्हें रातों रात प्रसिद्ध बना दिया, क्योंकि इसके ध्वनि विज्ञान और प्रकाश विज्ञान पर दूरगामी प्रभाव हुए। विज्ञान व प्रौद्योगिकी में, रडार, सोनार, प्रसारी विश्व की धारणा आदि ऐसे कई विकासों के लिए हम डॉप्लर प्रभाव के आभारी हैं। मार्च 17, 1853 में इटली के नगर वेनिस में उनकी मृत्यु हो गई।

कल्पना कीजिए कि माध्यम (वायु) के सापेक्ष ध्वनि का वेग υ ध्वनि स्रोत का वेग υ_s और श्रोता का वेग υ_o है। यहाँ यह नोट करना महत्वपूर्ण है कि गतिशील स्रोत से उत्पन्न तरंगे ध्वनि की चाल पर कोई प्रभाव नहीं डालतीं। चाल υ माध्यम का गुण है। स्रोत से निकलने के पश्चात तरंगें उस स्रोत को भूल जाती हैं। मान लीजिए कि ध्वनि का स्रोत, श्रोता और ध्वनि की तरंगे

बाईं से दाईं ओर को गमन करती हैं। पहले हम स्रोत की गति के प्रभाव पर विचार करें कोई स्वर जो किसी समय ध्वनि के स्रोत को छोड़ता है, एक सेंकड के बाद A पर पहुँचता है, इस प्रकार $SA = \upsilon$. इतने समय में स्रोत υ_s. दूरी तय कर लेता है। अत: स्रोत से एक सेंकड में निकली कुल n तरंगें x स्थान $= \upsilon - \upsilon_s$. में समा जाती हैं। इस प्रकार तरंग की तरंग दैर्ध्य कम होकर λ हो जाती है।

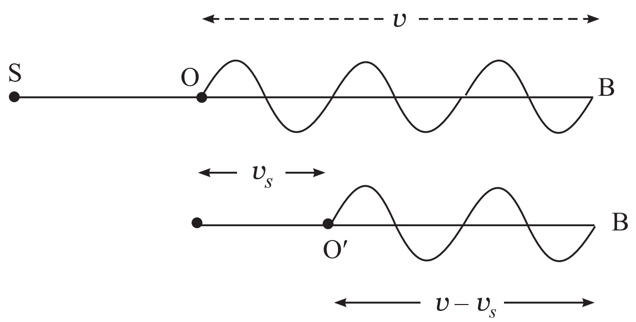
$$\lambda' = \frac{\upsilon - \upsilon_s}{n} \qquad ...(14.22)$$



चित्र. 14.18 :स्रोत के गति करने पर तरंगों का संकुलन

अब हम श्रोता की गति के प्रभाव पर विचार करते हैं। एक विशेष तरंग जो किसी विशेष समय पर श्रोता (O) पर पहुँती है, एक सेकंड के बाद B पर पहुँच जायेगी। इस प्रकार $OB = \upsilon$. किंतु, इस बीच श्रोता O से O′ तक पहुँच गया है। अत: एक सेकंड में श्रोता से होकर केवल उतनी ही तरंगे जाती हैं जो स्थान O′B में अवस्थित हैं। अत: श्रोता से होकर एक सेकंड में जाने वाली तरंगों की संख्या

$$n' = (\upsilon - \upsilon_0)/\lambda'$$



चित्र. 14.19 : गतिमान श्रोता द्वारा प्राप्त तरंगें

समीकरण (14.22) से λ' का मान रखने पर

$$n' = \frac{\upsilon - \upsilon_0}{\upsilon - \upsilon_s} n \qquad (14.24)$$

जहाँ n' प्रेक्षित आवृत्ति है जब स्रोत व श्रोता दोनों गति में हैं और स्रोत, श्रोता की ओर गमन कर रहा है।

समीकरण 14.24 का उपयोग करते समय, ध्वनि का वेग स्रोत से श्रोता की दिशा में धनात्मक लिया जाता है। इसी प्रकार, v_0 और v_s को धनात्मक लिया जाता है यदि वे v की दिशा में हों और ऋणात्मक लिया जाता है। यदि वे इसके विपरीत दिशा में हों।

डॉप्लर प्रभाव की उपयोगिता इस तथ्य से है कि यह प्रकाश व ध्वनि, दोनों तरंगों के लिए लागू होता है। विशेषत: इससे प्रसारी विश्व की धारणा को बल मिला है। निम्नलिखित उदाहरण से आपको डॉप्लर प्रभाव के इस अनुप्रयोग को समझने में सहायता मिलेगी।

उदाहरण 14.6 : किसी तारे से निकलने वाले प्रकाश का विश्लेषण करने पर किसी स्पेक्ट्रमी रेखा में स्पेक्ट्रम के लाल सिरे की ओर विस्थापन पाया जाता है। यदि यह विस्थापन जिसे रेड शिफ्ट कहते हैं 0.032 प्रतिशत हो तो तारे के पीछे हटने क वेग की गणना कीजिए।

हल : इसमें तरंगों का स्रोत तारा है। प्रेक्षक पृथ्वी पर विराम अवस्था में है। हम देख चुके हैं कि

$$\lambda' = \frac{v - v_s}{n}$$

किन्तु $n = v/\lambda$ अत:, λ'

$$= \frac{v - v_s}{v/\lambda}$$

$$= \lambda \frac{(v - v_s)}{v}$$

$$= \lambda \; 1 - \frac{v_s}{v}$$

या

$$\frac{\lambda' - \lambda}{\lambda} = -\frac{v_s}{v}$$

या

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v_s}{v}$$

दिया है अत: हमें दिया गया है: $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = 0.032/100$. और $v = c = 3 \times 10^8$ m s^{-1}, we get

$v_s = v\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = -(3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1} \times 0.032/100) = -9.6 \times 10^4 \text{ m s}^{-1}$.

ऋणात्मक चिन्ह प्रकट करता है कि तारा हमसे दूर जा रहा है। इससे खगोल भौतिकी विज्ञानियों ने यह परिणाम निकाला है कि विश्व का प्रसार हो रहा है।

पाठगत प्रश्न 14.8

1. किसी पनडुब्बी में लगा सोनार 40 kHz आवृत्ति पर काम करता है। शत्रु देश की एक पनडुब्बी इसकी ओर 100 ms^{-1}. की चाल से आ रही है। सोनार द्वारा परावर्तित ध्वनि की आवृत्ति ज्ञात कीजिए। पानी में ध्वनि का वेग 1450 m s^{-1}.लीजिए।

2. 200 Hz आवृत्ति की सीटी बाजाता हुआ एक इंजन 16 ms^{-1} के वेग से एक पहाड़ी की ओर गति कर रहा है, जिससे एक सुस्पष्ट प्रतिध्वनि सुनाई देती है। इंजन के ड्राइवर (चालक) द्वारा सुनी गई प्रतिध्वनि की आवृत्ति की गणना कीजिए। वायु में ध्वनि का वेग 340 $m\ s^{-1}$ है।

प्रकाश की चाल-स्थिरता

अरस्तु का विश्वास था कि प्रकाश अनंत वेग से गमन करता है। सितम्बर 1876 में हालैंड के एक खगोलज्ञ रोमर ने पैरिस विज्ञान अकादमी की एक सभा में सूचित किया कि बृहस्पति के भीतरी उपग्रह इओ के ग्रहण कालों में विसंगति प्रकाश के परिमित वेग के कारण हो सकती है। फिजू, फोको, माइकल्सन आदि वैज्ञानिकों ने वायु में प्रकाश का वेग और अधिक परिशुद्ता से ज्ञात करने के लिए प्रयोग किए।

अलबर्ट आइन्स्टाइन ने 1905 में सापेक्षता क विशेष सिद्धांत पर जो लेख लिखे उनके तर्क दो अभिग्रहीतों पर आधारित थे। उनमें से एक यह था कि निर्वात में प्रकाश की चाल नियत है और इस पर प्रकाश की तरंग दैर्घ्य, स्रोत अथवा प्रेक्षक के वेग का कोई प्रभाव नहीं होता। 1983 में प्रकाश के वेग को एक सार्वत्रिक नियंताक घोषित किया गया और इसका मान 299792458 $m\ s^{-1}$.माना गया।

तथापि आस्ट्रेलिया के वैज्ञानिक बैरी सटरफील्ड और ट्रिवन नोरवाह ने पिछले 300 वर्षा में प्रकाश के निर्वात में वेग पर किए गए 16 प्रयोगों के आंकड़ों का अध्ययन किया। उनके अनुसार प्रकाश की निर्वात में चाल समय के साथ घटती जा रही है। यदि उनकी परिकल्पना की प्रयोगों द्वारा पुष्टि हो जाती है और यह लम्बे समय तक बनी रहती है, तो इससे संसार के बारे में हमारे विचारों में पूर्ण परिवर्तन हो जाएगा। जिन मुख्य क्षेत्रों में वृहत् परिवर्तन होंगे वह हैं– मैक्सवेल के नियम , परमाणु की संरचना, रेडियो एक्टिव क्षय, गुरुत्व, दिक्काल समय और द्रव्यमान की धारणाएं आदि।

आपने क्या सीखा

- तरंग गति में ऐसे दो निकटतम बिन्दुओं के बीच की दूरी को तरंग दैर्ध्य कहते हैं जो एक ही कला में हों।
- उस सरल आवर्त तरंग का समीकरण जो धनात्मक x–अक्ष के अनुदिश गमन करती है, $y = a \sin (\upsilon t - kx)$ है।
- प्रति एकांक क्षेत्रफल के लम्बवत् एक सेकंड में उत्सर्जित ऊर्जा को तीव्रता कहते हैं।
- यदि माध्यम के कणों के कम्पन तरंग के संचरण की दिशा के लम्बवत् हों तो तरंग को अनुप्रस्थ तरंग कहते हैं, किंतु यदि ये कम्पन संचरण की दिशा के अनुदिश ही हों, तो तरंग को अनुदैर्घ्य कहते हैं। अनुप्रस्थ व अनुदैर्घ्य तरंगो का वेग क्रमश: समीकरणों $\upsilon = \sqrt{T/m}$ और $\upsilon = \sqrt{E/\rho}$ द्वारा व्यक्त होता है।

- सघन माध्यम से परावर्तन के कारण कला में π. परिवर्तन हो जाता है। किंतु विरल माध्यम से परिवर्तन के कारण कला में परिवर्तन नहीं होता।
- दो तरंगों के अध्यारोपण से किसी बिन्दु पर परिणामी विस्थापन उस बिन्दु पर पृथक–पृथक विस्थापनों का सदिश योग होता है।
- एक ही सरल रेखा के अनुदिश एक ही दिशा में गतिमान, समान आवृत्तियों किन्तु पृथक कला की दो तरंगों के अध्यारोपण से ऊर्जा का पुन: वितरण हो जाता है जिससे व्यतिकरण पैटर्न बनते हैं।
- एक ही सरल रेखा के अनुदिश समान आवृति आयाम तथा चाल की दो विपरीत दिशाओं में चलती तरंगों के अध्यारोपण से अप्रगामी तरंगें बनती हैं। इस प्रकार की तरंगों में तरंग का रूप गति नहीं करता।
- प्रगामी तरंग में दो क्रमागत निष्पंदों या प्रस्पंदों के बीच की दूरी $\lambda/2$ होती है। अत: यह स्पष्ट है कि दो निष्पंदों के बीच में एक प्रस्पंद तथा दो प्रस्पदों के बीच में एक निस्पंद होता है।
- तीव्रता स्तर समीकरण $\beta = 10\log(I/I_0)$, जहाँ I_0 को 10^{-12} W m^{-2} मान लिया गया है। तीव्रता स्तर को डेसीबेल में नापते हैं।
- गुणता किसी स्तर का वह अभिलक्षण है जिसके कारण हम दो पृथक वाद्य यंत्रों की ध्वनियों को पहचान सकते है। भले ही उनकी तीव्रता व आवृत्तियाँ समान हों।
- विद्युत चुम्बकीय तरंगें की प्रकृति अनुप्रस्थ है और उन्हें संचरण के लिए किसी माध्यम की आवश्यकता नहीं होती।
- प्रकाश की तरंगे विद्युत चुम्बकीय तरंगे हैं जिनका परिसर 4000 Å – 7500 Å.होता है।
- विद्युत चुम्बकीय तरंगों की आवृत्ति माध्यम में परिवर्तन से परिवर्तित नहीं होती।
- विद्युत चुम्बकीय तरंगों का उपयोग बेतार रेडियो, संचार, टी.वी. प्रसारण, उपग्रह संचार आदि में होता है।

पाठांत अभ्यास

1. आप तरंग की परिभाषा सबसे सामान्य रूप में कैसे करेंगे?
2. एक उपयुक्त यांत्रिक मॉडल की सहायता से (i) अनुप्रस्थ तरंगों (ii) अनुदैर्ध्य तरंगों के संचरण की व्याख्या कीजिए। आवृत्ति तथा तरंग दैर्घ्य की परिभाषा लिखिए।
3. कोणीय आवृत्ति ω और संचरण नियंताक की परिभाषा लिखिए और इससे प्रदर्शित कीजिए कि तरंग संचरण का वेग, $\upsilon = \omega/k = n\lambda$ होता है।
4. किसी सरल आवर्त तरंग के लिए एक समीकरण प्राप्त कीजिए।
5. (i) अनुप्रस्थ (ii) अनुदैर्ध्य, तरंगों के संचरण के लिए माध्यम में क्या आवश्यक गुण होने चाहिए।

6. किसी तरंग की तीव्रता के लिए, उसके वेग, आयाम और आवृत्ति तथा माध्यम के घनत्व के संदर्भ में एक व्यंजक प्राप्त कीजिए।

7. किसी गैस में ध्वनि के वेग के लिए न्यूटन का सूत्र लिखिए और लाप्लास के संशोधन की व्याख्या कीजिए।

8. तरंगों में कब होता है (i) रचनात्मक व्यतिकरण (ii) विघटनात्मक व्यतिकरण?

9. त्रिकोणोमिति का उपयोग करते हुए प्रदर्शित कीजिए की समान कोणीय वेग ω समान तरंग दैर्ध्य λ किंतु पृथक आयाम a_1 और a_2 की दो सरल आवर्त तरंगों के अध्यारोपण से प्राप्त परिणामी तरंग का आयाम $A = \sqrt{a_2^2 + a_2^2 + 2a_1 a_2 \cos\theta}$, जहाँ θ इन तरंगों के बीच कलान्तर है। A, का मान क्या होगा, $\theta = 0$, (ii) $\theta = 2\pi$, और (iii) $\theta = (2m + 1)\pi$?

10. विस्पंद क्या हैं? ये कैसे बनते हैं? ग्राफीय विधि से व्याख्या कीजिए।

11. ग्राफीय विधि से अप्रगामी तरंगों के बनने की व्याख्या कीजिए। इन तरंगों को अप्रगामी क्यों कहते हैं? निष्पंद व प्रस्पंद की परिभाषा लिखिए।

12. प्रगामी तथा अप्रगामी तरंगों के तीन अंतर लिखिए।

13. किसी अप्रगामी तरंग के लिए समीकरण प्राप्त कीजिए, और प्रदर्शित कीजिए की विस्थापन निस्पंद, दाब प्रस्पंद तथा विस्थापन प्रस्पंद दाब निस्पंद होते हैं।

14. सुस्वर ध्वनियों के अभिलक्षण क्या हैं? व्याख्या कीजिए।

15. डेसीबेल (db) क्या है? श्रवण की देहली तथा संवेदन की देहली से क्या तात्पर्य है?

16. ध्वनि की गुणता से क्या समझते हैं? उदाहरण सहित व्याख्या कीजिये।

17. किसी ऑर्गन पाइप के संनादी स्वरों की व्याख्या कीजिए। प्रदर्शित कीजिये कि खुले पाइप में अधिक संनादी स्वर होते हैं।

18. प्रदर्शित कीजिए कि (i) खुले पाइप के मूलस्वरक की आवृत्ति, बन्द पाइप के मूलस्वरक की आवृत्ति को दुगुनी होती है। (ii) समान आवृत्ति के मूलस्वरक के लिये खुल पाइप की लम्बाई, बन्द पाइप से दोगुनी होनी चाहिए।

19. किसी ऑर्गन पाइप में निष्पंदों व प्रस्पंदों की उपस्थिति दिखाने के लिये एक प्रयोग का वर्णन कीजिए।

20. **ध्वनि** प्रदूषण के कारण, उसके हानिकारक प्रभावों की उपस्थिति दिखाने के लिये एक प्रयोग का वर्णन कीजिए।

21. डॉप्लर प्रभाव की व्याख्या कीजिए और आभासी आवृत्ति के लिये एक व्यंजक व्युत्पन्न कीजिए। यदि ध्वनि संचरण का माध्यम भी गति में हो तो यह व्यंजक किस प्रकार रूपांरित हो जाएगा।

22. (i) तारों के पश्चसरण (recession) वेग के मापन (ii) रडार द्वारा शत्रु के विमानों के वेग के मापन, और (iii) सोनार द्वारा शत्रु की नावों के वेग के मापन, में डॉप्लर प्रभाव के उपयोग की विवेचन कीजिए।

23. (23) उस गैस में ध्वनि के वेग की गणना कीजिए जिसमें 1.00 m और 1.01 m तरंगदैर्घ्य की तरंगे 3 सेकंड में 10 विस्पंद उत्पन्न करती हैं।

24. उस बन्द पाइप की लम्बाई कितनी होगी जिसके निम्नतम स्वर की आवृत्ति 20º C पर 256 Hz है? वायु में ध्वनि का वेग 0ºC पर 332 m s^{-1} है।

25. किसी ध्वनि स्रोत द्वारा उत्सर्जित ध्वनि की आवृत्ति 1Hz है। किसी श्रोता द्वारा सुनी गई ध्वनि की आवृत्ति की गणना कीजिये जब (a) स्रोत व श्रोता दोनों विराम अवस्था में हैं (b) स्रोत, 50 m s^{-1} के वेग से श्रोता की ओर गति कर रहा है। (c) स्रोत 50 m s^{-1} के वेग से श्रोता से दूर गति कर रहा है। वायु में ध्वनि का वेग 350 m s^{-1} है।

26. विद्युत चुम्बकीय तरंगों के उन लक्षणों को लिखिए जो उन्हें ध्वनि तरंगों से असदृश्य (भिन्न) बनाते हैं।

27. विद्युत चुम्बकीय तरंगों का वेग उनके संचरण के माध्यम की चुम्बकीशीलता (μ) तथा विद्युतशीलता (ε) पर किस प्रकार निर्भर करती है?

28. निम्नलिखित विद्युत चुम्बकीय तरंगों की तरंगदैर्घ्य परिसर कहाँ से कहाँ तक होता है?

    (i) रेडियो तरंगें (ii) सूक्ष्मतरंगें (iii) पराबैगनी तरंगें (iv) एक्स–किरणें।

29. एक्स–किरणें किस प्रकार उत्पन्न होती हैं?

30. क्या सभी आवृत्तियों की विद्युत चुम्बकीय तरंगे निर्वात् से होकर जा सकती हैं?

31. रिक्त स्थान भरिये:

    (i) परिवर्ती विद्युत क्षेत्र अपने आसपास के क्षेत्र में _______________ उत्पन्न करता है।

    (ii) ____________ हमारी आँखों के लिये एक्स–किरणों से अधिक हानिकारक होती हैं।

    (iii) ___________ कोबल्ट के रेडियो एक्टिव नाभिकों से उत्सर्जित होती हैं।

    (iv) अवरक्त किरणें में ________________ से कम ऊर्जा होती है।

    (v) Z- दिशा में संचरित विद्युत चुम्बकीय तरंग में यदि E क्षेत्र X-Z तल में दोलन करें तो B-क्षेत्र ________________ तल में दोलन करेगा।

    (vi) मुक्त **दिक्स्थान** में विद्युत चुम्बकीय तरंगों के लिये अनुपात $\frac{\mathbf{E}}{\mathbf{H}}$ को _______________ कहते हैं।

    (vii) F-M बैंड का परिसर _________________ है।

    (viii) T.V. (टी.वी.) प्रसारण मे ____________ सिग्नल का आवत्ति माडुलन होता है।

पाठगत प्रश्नों के उत्तर

14.1

1. 14.1.4. खंड को देखिए
2. यदि पथान्तर p हो तो कलान्तर $\theta = \frac{2\pi}{\lambda}p.$
3. ϕ

14.2

1. न्यूटन ने माना था कि ध्वनि तरंगों द्वारा उत्पन्न संपीडन व विरलन, समतापीय अवस्था में होते हैं।
3. न्यूटन ने ध्वनि संचरण में रूद्वोष्म अवस्थाओं के स्थान पर समतापीय अवस्था की कल्पना की थी।
4. $357^0C.$
5. $v = \sqrt{\frac{T}{m}}$
6. अतः $n = \frac{1}{\lambda}\sqrt{\frac{T}{m}}$

सर्वाधिक सरल कम्पन की दशा में डोरी के दोनों सिरों पर निस्पंद तथा बीच में प्रस्पंद कहते बनते हैं, अतः $l = l/2$ या $\lambda = 2l$, अतः $n = \lambda/2l\sqrt{\frac{T}{m}}$. यदि डोरी p भागों में कम्पन करे तो $\lambda = p\ l/2$ or $\lambda = 2l/p$. तब $n = (p/2l)\sqrt{\frac{T}{m}}$.

14.3

सभी प्रश्नों के उत्तरों के लिये पुस्तक देखिए

14.4

1. 25/9.
2. 4 विस्पंद प्रति सेकंड उत्पन्न होंगे।
3. विस्पंदों की आवृत्ति Δv है।
4. 517, मोम लगाने पर A की आवृत्ति 517 से 507Hz हो जाती है।

14.5

1. नहीं। किसी खंड में ऊर्जा आगे-पीछे दोलन करती है।
2. दो लगातार निस्पंदों के बीच की दूरी $\lambda/2$, और एक निस्पंद व प्रस्पंद के बीच की दूरी $\lambda/4$ है।
4. (i) 1m, (ii) 1m, (iii) 1/4m.

14.6

1. आवृत्ति बढ़ने से तारत्व भी बढ़ता है।
2. गुणता
3. गुणता
4. खुला पाइप
5. (i) बन्द पाइप के मूल स्वरक के लिये $l = \lambda/4$ or $\lambda = 4l$, अत: $n = \upsilon/\lambda = \upsilon/4l$.

   (ii) खुले पाइप के लिये $\ell = \lambda/2$. अत: $n' = \upsilon/2l$.

(i) और (ii) दोनों की तुलना करने पर $n' = 2n$

6. $n = \dfrac{\upsilon}{2\ell}$ क्योंकि ताप बढ़ने पर υ बढ़ता है n भी बढ़ता है।

14.7

(*i*) माइक्रो तरंगे (सूक्ष्म तरंगे)

(*ii*) पीला-हरा ($\lambda = 5 \times 10^{-7}$ m)

(*iii*) सूर्य

(*iv*) एक्स-किरणों

(*v*) थर्मोपाइल (ताप वैद्युत पुंज)

2. (*i*) पराबैगनी

   (ii) गामा-किरणें
3. सूक्ष्म तरंगें
4. ओजोन
5. एक दूसरे के लम्बवत्

14.8

1. $n' = n\dfrac{c - \upsilon_0}{c} = 40 \times 10^3 \times \dfrac{1450 - 100}{1450}$

$$= 40 \times \frac{135}{145} \times 10 = 37.2 \text{ kHz.}$$

टिप्पणियाँ

2. $n' = 200 \times \frac{340 + 16}{340 - 16}$

$= 200 \times \frac{356}{224} = 220$ Hz.

पाठ्गत प्रश्नों के उत्तर

23. 337 m s^{-1}

24. ⊔ 30 cm.

25. (*a*) 1 kHz

    (*b*) 857 Hz

    (*c*) 1143 Hz.