(adiabatic) होते हैं । रुद्धोष्म प्रक्रियाओं के लिए आदर्श गैसों पर निम्न संबंध लागू होता है

$$PV^{\gamma} = \text{स्थिरांक}$$

अथवा $\Delta (PV^{\gamma}) = 0$

$$P\gamma V^{\gamma-1} \Delta V + V^{\gamma} \Delta P = 0$$

इस प्रकार, आदर्श गैस के लिए रुद्धोष्म आयतन प्रत्यास्थता गुणांक

$$B_{ad} = -\frac{\Delta P}{\Delta V/V} = \gamma P$$

यहाँ γ गैस की दो विशिष्ट ऊष्माओं का अनुपात C_p/C_v है । अत: वायु में ध्वनि की चाल,

$$v = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}} \qquad (15.24)$$

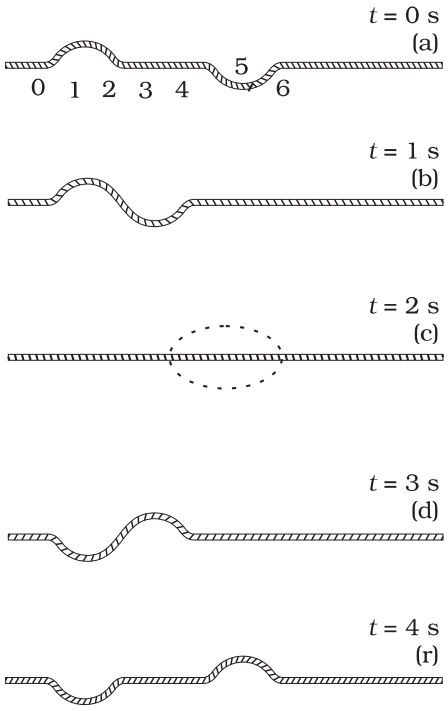
न्यूटन के सूत्र में इस संशुद्धि को **लाप्लास संशोधन** कहते हैं । वायु के लिए $\gamma = 7/5$, अत: अब यदि हम STP पर वायु में ध्वनि की चाल के आकलन के लिए समीकरण (15.24) का प्रयोग करें तो ध्वनि की चाल का मान 331.3 m s^{-1} प्राप्त होता है, जो मापित चाल से मेल खाता है ।

15.5 तरंगों के अध्यारोपण का सिद्धांत

जब विपरीत दिशाओं में गमन करती दो तरंग स्पंद एक दूसरे को पार करते हैं तो क्या होता है? यह देखा जाता है कि पार करने के बाद भी तरंग स्पंद अपना व्यष्टित्व बनाए रखती है। परंतु, अतिव्यापन के दौरान, तरंग पैटर्न दोनों तरंग स्पंदों से भिन्न होता है। चित्र 15.9 बराबर एवं विपरीत आकारों वाले दो तरंग स्पंदों के एक दूसरे की ओर गमन की स्थिति दर्शाता है। जब स्पंद अतिव्याप्ति होते हैं तो परिणामी विस्थापन पृथक-पृथक स्पंदों के कारण विस्थापनों का बीजगणितीय योग होता है। इस प्रकार जोड़ना तरंगों का **अध्यारोपण का सिद्धांत** कहलाता है। इस सिद्धांत के अनुसार, प्रत्येक स्पंद इस प्रकार गमन करता है मानो दूसरे स्पंद विद्यमान नहीं हैं। अत: माध्यम के अवयव दोनों के कारण विस्थापित होते हैं और चूंकि विस्थापन धनात्मक या ऋणात्मक हो सकते हैं, नेट विस्थापन दोनों विस्थापनो का बीजगणितीय योग होता है। चित्र 15.9 विभिन्न समयों पर तरंग आकार का आलेख दर्शाता है। आलेख (c) में विशेष प्रभाव पर ध्यान दें : दोनों स्पंदों के कारण पृथक-पृथक उत्पन्न विस्थापन एक दूसरे को ठीक से निरस्त कर देते हैं तथा प्रत्येक बिंदु पर कुल विस्थापन शून्य है।

अध्यारोपण के सिद्धांत को गणितीय रूप में व्यक्त करने के लिए, मान लीजिए $y_1(x, t)$ तथा $y_2(x, t)$ माध्यम के किसी अवयव के विस्थापन हैं, जो यदि तरंग अलग-अलग गमन करती तो उस अवयव के होते। यदि दो तरंगें किसी क्षेत्र में एक साथ पहुंचती हैं और अतिव्यापित होती हैं तो नेट विस्थापन $y(x, t)$ होगा

$$y(x, t) = y_1(x, t) + y_2(x, t) \qquad (15.25)$$



चित्र 15.9 समान एवं विपरीत विस्थापन वाली विपरीत दिशा में गमन करती दो स्पंद। आलेख (c) में दोनों स्पंदों के अतिव्यापन से शून्य विस्थापन होता है।

यदि किसी माध्यम में एक ही क्षण दो अथवा अधिक तरंगें गमन कर रहीं हैं तो उनका परिणामी तरंग रूप दोनों तरंगों के पृथक-पृथक तरंग फलनों का योग होता है । अर्थात यदि गतिशील तरंगों के तरंग फलन इस प्रकार हैं,

$$y_1 = f_1(x - vt),$$

$$y_2 = f_2(x - vt),$$

.....

.....

$$y_n = f_n(x - vt),$$

तब माध्यम में विक्षोभ का वर्णन करने वाला तरंग फलन इस प्रकार व्यक्त किया जाता है,

$$y = f_1(x - vt) + f_2(x - vt) + \ldots\ldots\ldots + f_n(x - vt)$$

$$= \sum_{i=1}^{n} f_i(x - vt) \qquad (15.26)$$

अध्यारोपण का सिद्धांत व्यतिकरण की परिघटना का मूल है।

सरलता के लिए, किसी तानित डोरी के अनुदिश गमन करती दो आवर्ती प्रगामी तरंगों पर विचार करिये। दोनों तरंगों की कोणीय आवृत्तियाँ ω समान हैं तथा कोणीय तरंग संख्या k भी समान है। अत: इनके तरंगदैर्घ्य भी समान हैं। इनकी तरंग चाल भी समान होगी। मान लीजिए कि इनके आयाम समान हैं तथा दोनों x-अक्ष के धनात्मक दिशा में गमन करती हैं। इन तरंगों में अन्तर केवल आरंभिक कला में है। समीकरण (15.2) के अनुसार इन दोनों तरंगों को इस प्रकार व्यक्त करते हैं :

$$y_1(x, t) = a \sin(kx - \omega t) \qquad (15.27)$$

और $$y_2(x, t) = a \sin(kx - \omega t + \phi) \qquad (15.28)$$

अब अध्यारोपण के सिद्धांत का प्रयोग करने पर, नेट विस्थापन इस प्रकार व्यक्त किया जाता है :

$$y(x, t) = a \sin(kx - \omega t) + a \sin(kx - \omega t + \phi) \qquad (15.29)$$

$$\alpha\left[2\sin\left[\frac{(kx-\omega t)+(kx-\omega t+\phi)}{2}\right]\cos\frac{\phi}{2}\right] \qquad (15.30)$$

यहाँ हमने $(\sin A + \sin B)$ के लिए त्रिकोणमिति के सुपरिचित सूत्र का प्रयोग किया है। अत:

$$y(x,t) = \left[2a\cos\frac{1}{2}\phi\right]\sin\left(kx - \omega t + \frac{1}{2}\phi\right) \qquad (15.31)$$

समीकरण (15.31) यह दर्शाता है कि परिणामी तरंग भी, x-अक्ष की धनात्मक दिशा में गमन करती आवर्ती तरंग है जिसकी आवृत्ति तथा तरंगदैर्घ्य दोनों तरंगों के समान है। परन्तु इसका कलान्तर $\phi/2$ है। महत्वपूर्ण तथ्य यह है कि इसका आयाम दोनों घटक तरंगों के बीच कलान्तर ϕ का फलन है :

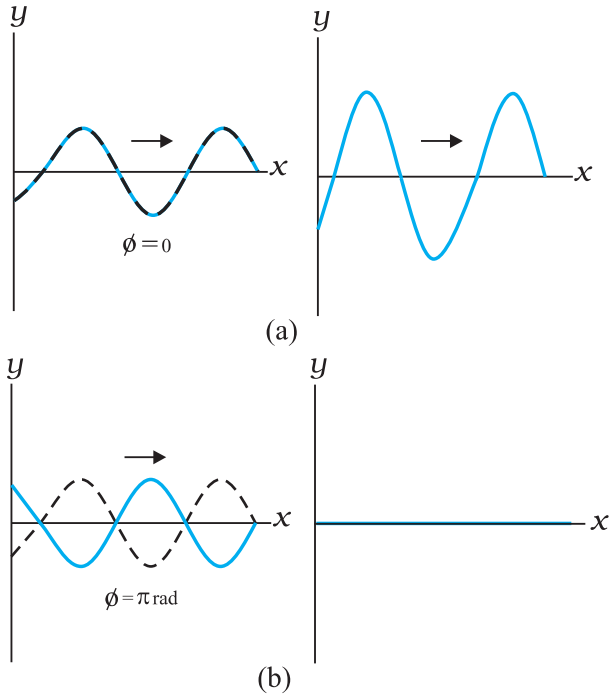
$$A(\phi) = 2a\cos\frac{1}{2}\phi \qquad (15.32)$$

यदि $\phi = 0$, अर्थात् दोनों तरंगें समान कला में हैं,

$$y(x,t) = 2\ a \sin(kx - \omega t) \qquad (15.33)$$

अर्थात् परिणामी तरंग का आयाम $2a$ है, जो A के संभावित मानों में अधिकतम है। $\phi = \pi$ के लिए, दोनों तरंगें पूर्णत: एक दूसरे से विपरीत कलाओं में होती हैं तथा परिणामी तरंग का आयाम सर्वत्र हर क्षण शून्य होता है :

$$y(x, t) = 0 \qquad (15.34)$$



चित्र 15.10 अध्यारोपण के सिद्धांत के अनुसार समान आयाम तथा तरंगदैर्घ्य वाले दो आवृत्ति तरंगों का परिणामी तरंग। परिणामी तरंग का आयाम कलांतर ϕ पर निर्भर करता है। यह कलांतर (a) के लिए शून्य है तथा (b) के लिए π।

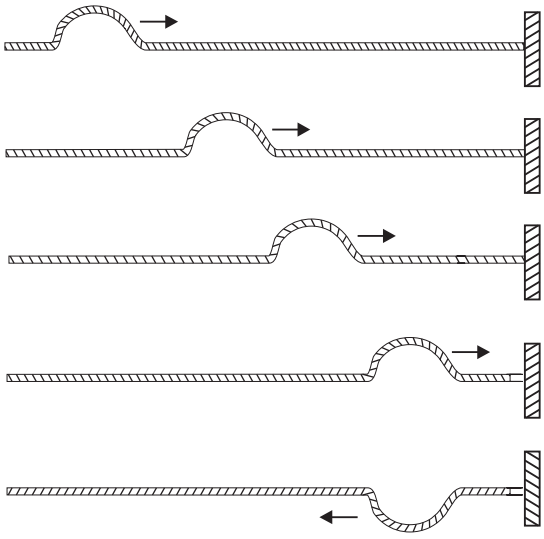
समीकरण (15.33) दो तरंगों का संपोषी व्यतिकरण दर्शाता है। इस प्रकरण में दोनों आयाम जुड़ जाते हैं। समीकरण (15.34) दो तरंगों का विनाशी व्यतिकरण दर्शाता है जिसमें परिणामी तरंग में दोनों आयाम का अंतर होता है। चित्र 15.10 व्यतिकरण के इन दोनों प्रकरणों को दर्शाता है जो अध्यारोपण के सिद्धांत का परिणाम है।

15.6 तरंगों का परावर्तन

पिछले अनुभागों में हमने अपरिबद्ध माध्यमों में तरंग संचरण की चर्चा की । क्या होता है जब कोई स्पंद अथवा तरंग किसी परिसीमा का सामना करती है ? यदि परिसीमा दृढ़ है तो स्पंद

अथवा तरंग परावर्तित हो जाती है। प्रतिध्वनि की परिघटना दृढ़ परिसीमा से परावर्तन का उदाहरण है। यदि परिसीमा पूर्णतः दृढ़ नहीं है, अथवा वह किन्हीं दो भिन्न प्रत्यास्थ माध्यमों के बीच अंतरापृष्ठ है, तो स्थिति कुछ जटिल हो जाती है। इस स्थिति में आपतित तरंग का कुछ भाग परावर्तित हो जाता है तथा कुछ भाग दूसरे माध्यम में पारगमित हो जाता है। यदि कोई तरंग दो भिन्न माध्यमों की परिसीमा पर तिरछी आपतित होती है तो पारगमित तरंग को **अपवर्तित तरंग** कहते हैं। आपतित एवं अपवर्तित तरंगें स्नेल के अपवर्तन के नियमों का पालन करती हैं, तथा आपतित एवं परावर्तित तरंगें परावर्तन के सामान्य नियमों का पालन करती हैं।

चित्र 15.11 किसी तानित डोरी के अनुदिश गमन करती तथा परिसीमा से परावर्तित होती तरंग दर्शाता है। यदि मान लें कि परिसीमा द्वारा ऊर्जा का कोई अवशोषण नहीं होता है तो परावर्तित तरंग का आकार वही होता है जो आपतित स्पंद का है परंतु परावर्तन से इसके कला में π या 180° का कलांतर उत्पन्न हो जाता है। इसका कारण यह है कि परिसीमा दृढ़ है तथा परिसीमा पर सभी क्षणों पर विक्षोभ का विस्थापन शून्य होना चाहिए। अध्यारोपण के सिद्धांत के अनुसार, यह तभी संभव है जब आपतित एवं परावर्तित तरंगों में π कलांतर हो ताकि परिणामी विस्थापन शून्य हो। यह तर्क दृढ़ दीवार में परिसीमा प्रतिबंध पर आधारित है। इस परिणाम को हम गतिकीय दृष्टि से भी प्राप्त कर सकते हैं। जब स्पंद दीवार पर पहुँचता है तो वह दीवार पर बल आरोपित करता है। न्यूटन के तीसरे नियम के अनुसार दीवार



चित्र 15.11 किसी दृढ़ परिसीमा से स्पंद का परावर्तन।

डोरी पर परिणाम में समान तथा दिशा में विपरीत बल आरोपित करती है। परिणामस्वरूप परावर्तित स्पंद उत्पन्न होता है जिसकी कला में π का अंतर होता है।

इसके विपरीत, यदि परिसीमा बिंदु दृढ़ नहीं है और गति के लिए पूर्ण रूप से स्वतंत्र है (जैसे एक डोरी एक ऐसे छल्ले से बंधी है जो किसी छड़ पर स्वतंत्र रूप से गति कर सके) तो परावर्तित स्पंद की कला तथा आयाम (मान लें ऊर्जा ह्रास न हो) वही हैं जो आपतित स्पंद के हैं। नेट परिसीमा पर अधिकतम विस्थापन तब प्रत्येक स्पंद के आयाम का दो गुना है। अदृढ़ परिसीमा का उदाहरण आर्गन पाइप का खुला सिरा है।

संक्षेप में, किसी प्रगामी तरंग या स्पंद की किसी दृढ़ परिसीमा से परावर्तन में π कलांतर उत्पन्न होता है तथा खुले परिसीमा से परावर्तन में कोई कलांतर उत्पन्न नहीं होता है। इस कथन को गणितीय रूप में व्यक्त करने के लिए, मान लीजिए आपतित तरंग को इस प्रकार निरूपित करते हैं :

$$y_i(x, t) = a \sin (kx - \omega t)$$

तब, दृढ़ परिसीमा से परावर्तन के लिए, परावर्तित तरंग को इस प्रकार निरूपित करते हैं,

$$y_r(x, t) = a \sin (kx + \omega t + \pi)$$

$$= -a \sin (kx + \omega t) \qquad (15.35)$$

किसी खुली परिसीमा से परावर्तन के लिए, परावर्तित तरंग को इस प्रकार निरूपित करते हैं,

$$y_r(x, t) = a \sin (kx + \omega t) \qquad (15.36)$$

स्पष्टतः दृढ़ परिसीमा पर $y = y_i + y_r = 0$ सभी बलों पर।

15.6.1 अप्रगामी तरंगें तथा प्रसामान्य विधाएँ

पिछले अनुभाग में हमने एक सिरे पर परिसीमित निकाय पर विचार किया । परंतु ऐसी कई सुपरिचित स्थितियाँ हैं (जैसे दोनों सिरों पर परिबद्ध डोरी अथवा परिमित लम्बाई का वायु कॉलम) जिसमें परावर्तन दो या अधिक सिरों पर होता है। उदाहरण के लिए, किसी डोरी में दाईं और गमन करती तरंग एक सिरे से परावर्तित होती है। यह परावर्तित तरंग दूसरी दिशा में गमन करके दूसरे सिरे से परावर्तित होती है। यह प्रक्रिया तब तक चलती रहती है जब तक डोरी में एक अपरिवर्ती तरंग पैटर्न न बन जाय। ऐसे तरंग पैटर्न अप्रगामी तरंगें कहलाते हैं। गणितीय रूप में इसे व्यक्त करने के लिए,

x–अक्ष की धनात्मक दिशा में गमन करती किसी तरंग तथा x–अक्ष की ऋणात्मक दिशा में गमन करती समान आयाम एवं तरंगदैर्घ्य वाली परावर्तित तरंग पर विचार कीजिए। $\phi = 0$ के लिए समीकरण (15.2) और (15.4) से

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

$$y_2 (x, t) = a \sin (kx + \omega t)$$

तब, अध्यारोपण के सिद्धांत के अनुसार प्राप्त परिणामी तरंग इस प्रकार व्यक्त की जाती है,

$$y (x, t) = y_1 (x, t) + y_2 (x, t)$$
$$= a [\sin (kx - \omega t) + \sin (kx + \omega t)]$$

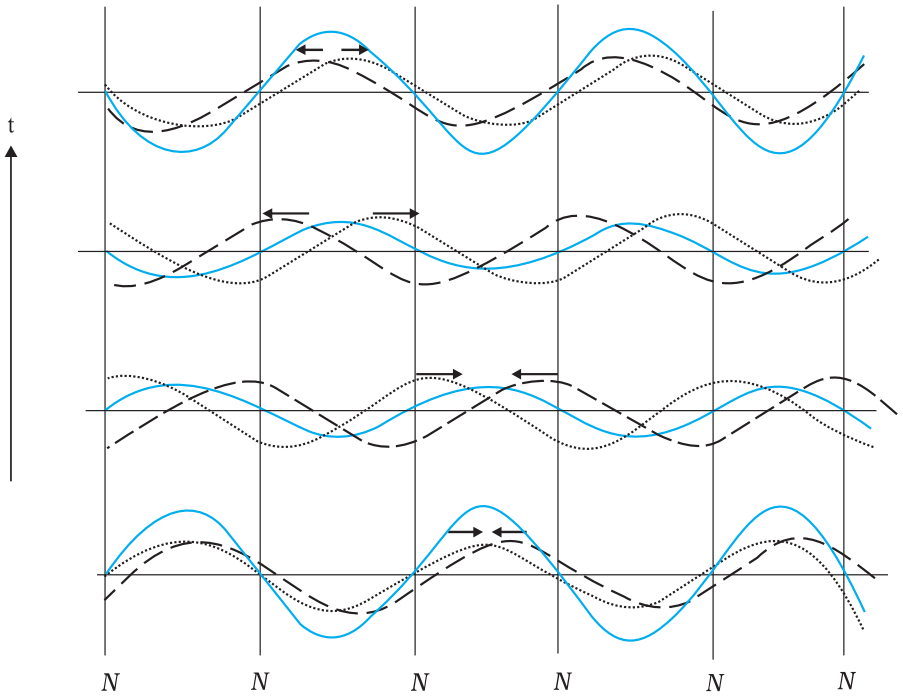
सुपरिचित त्रिकोणमितीय तत्समक

$\sin (A + B) + \sin (A - B) = 2 \sin A \cos B$, का उपयोग करने पर

$$y (x,t) = 2 a \sin kx \cos \omega t \qquad (15.37)$$

समीकरण (15.37) द्वारा निरूपित तरंग पैटर्न तथा समीकरण (15.2) अथवा समीकरण (15.4) द्वारा निरूपित तरंगों के बीच महत्वपूर्ण अंतर पर ध्यान दें। समीकरण (15.37) में पद kx एवं ωt अलग-अलग विद्यमान हैं, न कि $(kx - \omega t)$ के संयोजन के रूप में। इस तरंग का आयाम $2a \sin kx$ है। अतः इस तरंग पैटर्न में, आयाम प्रत्येक बिंदु पर भिन्न होता है परन्तु डोरी का प्रत्येक अवयव समान कोणीय आवृत्ति ω या आवर्त काल से दोलन करता है। तरंग के विभिन्न अवयवों के दोलन में कोई कलांतर नहीं होता है। डोरी पूर्ण रूप से विभिन्न बिंदुओं पर विभिन्न आयामों से एक ही कला में दोलन करती है। तरंग पैटर्न न तो बाईं और और न दाईं ओर गमन करता है। अतः इन्हें अप्रगामी तरंगें कहते हैं। किसी निश्चित स्थिति पर इसका आयाम निश्चित होता है परंतु जैसा पहले बताया गया है विभिन्न स्थितियों पर आयाम भिन्न होता है। जिन बिंदुओं पर आयाम शून्य होता है उन्हें **निस्पंद** कहते हैं तथा जिन बिंदुओं पर अधिकतम होता है उन्हें **प्रस्पंद** कहते हैं। चित्र 15.12 विपरीत दिशाओं में गमन करती दो तरंगों के अध्यारोपण के फलस्वरूप परिणामी अप्रगामी तरंग दर्शाता है।

अप्रगामी तरंगों का सबसे महत्वपूर्ण लक्षण यह है कि निकाय के दोलन की संभावित तरंग दैर्घ्यों या आवृत्तियों के मान, परिसीमा प्रतिबंध के कारण, प्रतिबंधित होते हैं। निकाय किसी स्वेच्छ आवृत्ति से दोलन नहीं कर सकता है (इसकी तुलना



चित्र 15.12 *विपरीत दिशाओं में गमन करती दो आवर्ती तरंगों के अध्यारोपण से उत्पन्न अप्रगामी तरंगें। ध्यान दें कि निस्पंदों (शून्य विस्थापन वाले बिंदु) की स्थिति सभी समयों पर अपरिवर्तित रहती है।*

आवर्ती प्रगामी तरंग से करें) वरन् इसकी दोलन की आवृत्तियाँ स्वाभाविक आवृत्तियों का एक समुच्चय होती हैं। इन आवृत्तियों को दोलन का **प्रसामान्य विधा** कहते हैं। अब हम दोनों सिरों पर परिबद्ध किसी तानित डोरी के लिए प्रसामान्य विधा का निर्धारण करेंगे।

समीकरण (15.37) से निस्पंद की स्थितियों (जहाँ आयाम शून्य होता है) में

$$\sin kx = 0$$

अर्थात् $kx = n\pi, \quad n = 0, 1, 2, 3...$

चूंकि $k = 2\pi/\lambda$ है, अत:

$$x = n\frac{\lambda}{2}, \qquad n = 0, 1, 2, 3... \qquad (15.38)$$

स्पष्टत: दो क्रमागत निस्पंदों के बीच की दूरी $\frac{\lambda}{2}$ होती है। उसी प्रकार स्पंदों की स्थितियों (जहाँ आयाम अधिकतम होते हैं) में $\sin kx$ का मान अधिकतम होता है :

$$|\sin kx| = 1$$

अर्थात् $kx = (n + \frac{1}{2})\pi, \quad n = 0, 1, 2, 3...$

$k = 2\pi/\lambda$ लेने पर

$$x = (n + \frac{1}{2})\frac{\lambda}{2}, \quad n = 0, 1, 2, 3... \qquad (15.39)$$

पुन: दो क्रमागत प्रस्पंदों के बीच की दूरी $\lambda/2$ होती है। समीकरण (15.38) का उपयोग दोनों सिरों पर परिबद्ध L लंबाई के तानित डोरी के लिए कर सकते हैं। यदि एक सिरे पर $x = 0$ मान लें तो परिसीमा प्रतिबंध होंगे $x = 0$ तथा $x = L$ पर निस्पंद होंगे। $x = 0$ प्रतिबंध की पहले से संतुष्टि होती है। $x = L$ निस्पंद प्रतिबंध के लिए आवश्यक है कि लंबाई L तरंगदैर्घ्य λ से निम्न प्रकार से संबंधित हो

$$L = n\frac{\lambda}{2}, \qquad n = 1, 2, 3... \qquad (15.40)$$

अत: L लंबाई की डोरी पर सीमित तरंगदैर्घ्य की अप्रगामी तरंगें बन सकती हैं जिनका मान निम्नलिखित संबंध द्वारा प्राप्त किया जाता है,

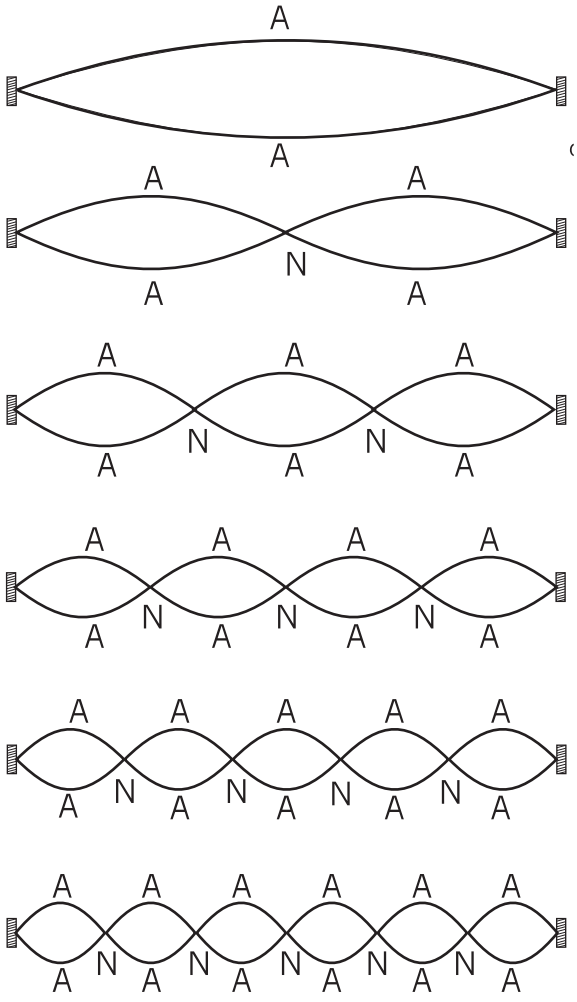
$$\lambda = \frac{2L}{n}, \qquad n = 1, 2, 3... \qquad (15.41)$$

तदनुरूपी आवृत्तियों के मान होंगे

$$\nu = n\frac{v}{2L}, \qquad n = 1, 2, 3... \qquad (15.42)$$

इस प्रकार हमने निकाय के दोलन की स्वाभाविक आवृत्तियाँ अथवा सामान्य विधा निर्धारित कर लिया है। किसी निकाय की न्यूनतम संभावित स्वाभाविक आवृत्ति को निकाय की *मूल विधा* या *प्रथम गुणावृत्ति* कहते हैं। दोनों सिरों पर परिबद्ध L लंबाई के तानित डोरी के लिए $\nu = \frac{v}{2L}$ जो समीकरण (15.42) में $n = 1$ के संगत है। यहाँ v माध्यम के लक्षणों पर आधारित तरंग की चाल है। $n = 2$ की दोलन विधा को द्वितीय गुणावृत्ति कहते हैं। $n = 3$ के तदनुरूपी तृतीय गुणावृत्ति होती है और इसी प्रकार अगली गुणावृत्तियाँ होती हैं। इन विधाओं से संबद्ध आवृत्तियों को ν_n $(n = 1, 2, ...)$ द्वारा चिह्नित किया जाता है।

चित्र 15.13 में दोनों सिरों पर परिबद्ध तानित डोरी में प्रथम छ: गुणावृत्तियाँ दर्शायी गई हैं।



चित्र 15.13 दोनों सिरों पर परिबद्ध तानित डोरी में दोलन की प्रथम छ: गुणावृत्तियाँ।

यह आवश्यक नहीं है कि कोई तानित डोरी इन विधाओं में से किसी विधा में कंपन करे। सामान्यतया किसी डोरी का कंपन विभिन्न विधाओं का अध्यारोपण होता है। कुछ विधाएँ अधिक प्रबलता से उत्तेजित हो सकती हैं और कुछ कम प्रबलता से। सितार व वायलिन जैसे वाद्य यंत्र इस सिद्धांत पर आधारित हैं। कौन सी विधा दूसरी विधा से अधिक उत्तेजित है यह इस बात पर निर्भर करता है कि डोरी को किस बिंदु पर झंकृत किया गया है।

अब हम किसी ऐसे निकाय के कंपनों की विधाओं का अध्ययन करेंगे जिनका एक सिरा बंद है जबकि दूसरा सिरा मुक्त है। अंशत: जल से भरी लम्बी काँच की नलिका का वायु कॉलम ऐसे निकाय का एक उदाहरण है। वायु कॉलम में जल को छूने वाले सिरे पर निस्पंद होता है तथा खुले सिरे पर प्रस्पंद होता है। निस्पंद पर दाब में परिवर्तन अधिकतम होते हैं जबकि विस्थापन न्यूनतम (शून्य) होता है। इसके विपरीत खुले सिरे पर जहाँ प्रस्पंद होते हैं, न्यूनतम दाब परिवर्तन होते हैं तथा विस्थापन का आयाम अधिकतम होता है। जल के संपर्क वाले सिरे को $x = 0$ लेने पर निस्पंद प्रतिबंध (समीकरण 15.38) की स्वत: संतुष्टि होती है। यदि दूसरा सिरा $x = L$ प्रस्पंद हो तो समीकरण (15.39) से यह परिणाम निकलता है कि

$$L = \left(n + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{2}, \quad n = 0, 1, 2, 3...$$

संभावित तरंगदैर्ध्य निम्नलिखित संबंध से प्रतिबंधित होगी

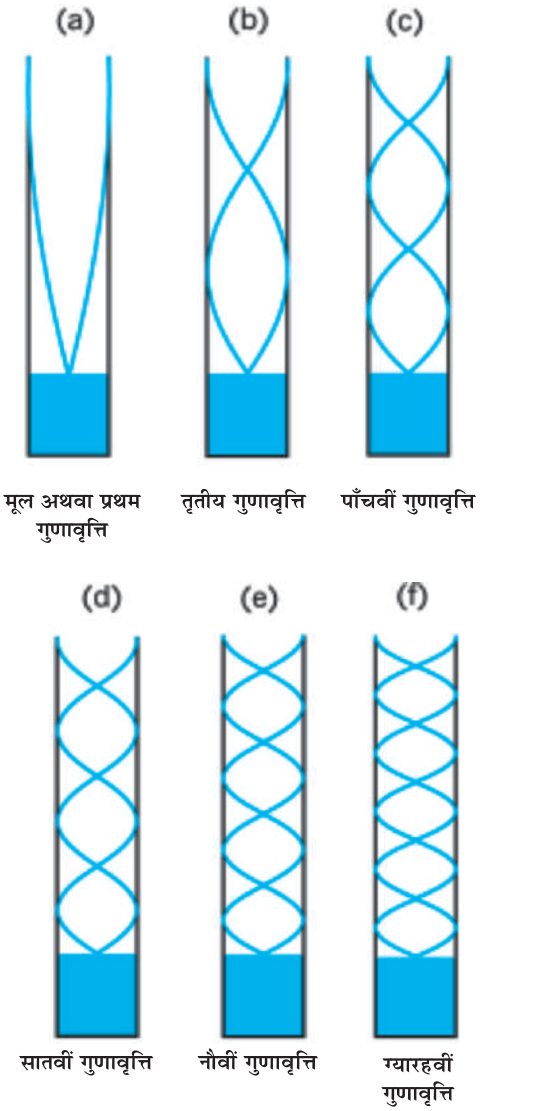
$$\lambda = \frac{2L}{(n+1/2)}, \quad n = 0, 1, 2, 3... \qquad (15.43)$$

निकाय की सामान्य विधाएँ स्वाभाविक आवृत्तियाँ इस प्रकार व्यक्त की जाती हैं :

$$\nu = \left(n + \frac{1}{2}\right)\frac{v}{2L}, \; n = 0, 1, 2, 3... \; (15.44)$$

मूल विधा $n = 0$ के संगत है और यह $\frac{v}{4L}$ है। अन्य उच्च आवृत्तियाँ मूल आवृत्ति की विषम गुणावृत्तियाँ अर्थात् $3\frac{v}{4L}$, $5\frac{v}{4L}$ आदि होती हैं ।

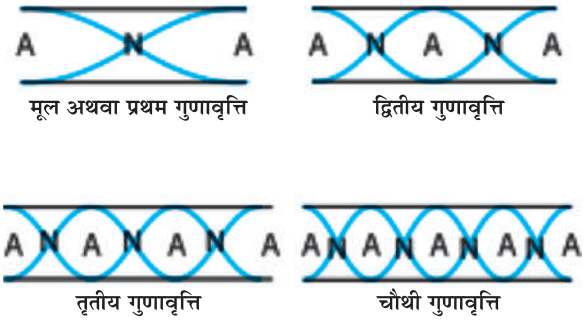
चित्र 15.14 एक सिरे पर खुले तथा दूसरे सिरे पर बंद वायु कॉलम के प्रथम छ: विषम गुणावृत्तियाँ दर्शाता है। दोनों सिरों पर खुले पाइप के लिए प्रत्येक सिरे पर प्रस्पंद होता है। इस प्रकार यह स्पष्ट है कि दोनों सिरों पर खुले वायु कॉलम में सभी



चित्र 15.14 एक सिरे से खुले तथा दूसरे सिरे पर बंद किसी वायु-कॉलम की कुछ प्रसामान्य विधाएँ। केवल विषम विधाएँ संभव हैं।

गुणावृत्तियाँ उत्पन्न होती हैं (देखें चित्र 15.15)। उपरोक्त वर्णित निकायों, डोरी एवं वायु कॉलम में प्रणोदित दोलन (अध्याय 14) उत्पन्न हो सकते हैं। यदि बाह्य आवृत्ति निकाय की स्वाभाविक आवृत्ति के बराबर होती है तो निकाय में **अनुनाद** उत्पन्न होता है।

किसी पात्र की परिधि से दृढ़तापूर्वक परिबद्ध वृत्ताकार झिल्ली, उदाहरणार्थ, तबले की झिल्ली के कंपनों की प्रसामान्य विधाओं का निर्धारण इस परिसीमा शर्त के द्वारा किया जाता है कि झिल्ली की परिधि पर स्थित कोई भी बिंदु कंपन नहीं करता। इस निकाय के कंपन की प्रसामान्य विधाओं की आवृत्तियों का आकलन अधिक जटिल कार्य है । इस समस्या में



चित्र 15.15 किसी खुले पाइप में अप्रगामी तरंगें । पहली चार गुणावृत्तियाँ दर्शायी गई हैं ।

दो विमाओं में तरंग संचरण सम्मिलित होता है । फिर भी इसमें अन्तर्निहित भौतिकी वही है ।

उदाहरण 15.5 दोनों सिरों से खुले किसी पाइप की लंबाई 30.0 cm है । 1.1 kHz आवृत्ति के स्रोत द्वारा इस पाइप की कौन-सी गुणावृत्ति विधा को अनुनाद द्वारा उत्तेजित किया जाता है ? यदि इस पाइप के एक सिरे को बंद कर दिया जाए तो क्या हम फिर भी इसी स्रोत द्वारा अनुनाद सुन सकते हैं ? वायु में ध्वनि की चाल 330 m s^{-1} है ।

हल: खुले पाइप के कंपन की पहली कुछ विधाएँ चित्र 15.15 में दर्शायी गई हैं । पहली गुणावृत्ति की आवृत्ति,

$$\nu_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{v}{2L} \qquad \text{(खुला पाइप)}$$

यहाँ L पाइप की लंबाई है । n वीं गुणावृत्ति की आवृत्ति

$$\nu_n = \frac{nv}{2L} \quad (n = 1, 2, 3\ldots) \text{ (खुला पाइप)}$$

यहाँ $L = 30.0$ cm, $v = 330$ m s^{-1}

$$\nu_n = \frac{n \times 330 \ \text{m s}^{-1}}{2 \times 0.3 \ \text{m}} = 550 \ n \ \text{s}^{-1}$$

स्पष्ट है कि 1.1 kHz आवृत्ति का स्रोत, अनुनाद द्वारा ν_2 आवृत्ति अर्थात् द्वितीय गुणावृत्ति को उत्तेजित करेगा ।

अब यदि पाइप का एक सिरा बंद है तब समीकरण (15.40) से यह परिणाम निकलता है कि इस पाइप की मूल आवृत्ति,

$$\nu_1 = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{4L} \qquad \text{(एक सिरे पर बंद पाइप)}$$

इस पाइप में केवल विषम संख्या की गुणावृत्तियाँ ही विद्यमान होती हैं :

$$\nu_3 = \frac{3v}{4L} \ , \ \nu_5 = \frac{5v}{4L} \quad \text{तथा इसी प्रकार आगे भी...।}$$

$L = 30$ cm तथा $v = 300$ m s^{-1} के लिए, एक सिरे से बंद पाइप की मूल आवृत्ति 275 Hz है तथा स्रोत की आवृत्ति चतुर्थ गुणावृत्ति के तदनुरूपी है। चूँकि यह गुणावृत्ति पाइप के कंपन की संभावित विधा नहीं है, अत: इस स्रोत के साथ पाइप का एक सिरा बंद करने पर कोई अनुनाद सुनाई नहीं देगा। ◀

15.7 विस्पंदें

विस्पंद तरंगों के व्यतिकरण से उत्पन्न एक रोचक परिघटना है। जब लगभग सन्निकट आवृत्ति (परंतु बराबर नहीं) वाली दो आवर्त ध्वनि तरंगें एक ही समय सुनाई देती हैं तो हमें समान आवृत्ति (दोनों सन्निकट आवृत्तियों का औसत) सुनाई देता है परन्तु हमें कुछ और भी सुनाई देता है। हमें ध्वनि की तीव्रता में धीरे-धीरे घटाव और बढ़ाव सुनाई देता है जिसकी आवृत्ति दो सन्निकट आवृत्तियों के अंतर के बराबर होती है। संगीतज्ञ इस परिघटना का उपयोग अपने वाद्यों के समस्वरण में करते हैं। वे अपने यंत्र को तब तक समस्वरक करते रहते हैं जब तक उनके सुग्राही कानों को कोई विस्पंद सुनाई न दे।

इस घटना की गणितीय विवेचना के लिए, हम दो लगभग बराबर कोणीय आवृत्तियों ω_1 एवं ω_2 की आवर्ती ध्वनि तरंगों पर विचार करते हैं तथा सुविधा के लिए स्थिति को $x = 0$ मान लें। समीकरण (15.2) में कला का एक समुचित मान ($\phi = \pi/2$ प्रत्येक तरंग के लिए) तथा बराबर आयाम लेने पर हमें प्राप्त होता है :

$$s_1 = a \cos \omega_1 t \text{ तथा } s_2 = a \cos \omega_2 t \qquad (15.45)$$

यहाँ पर हमने प्रतीक y के स्थान पर s का उपयोग किया है क्योंकि हम अनुदैर्घ्य न कि अनुप्रस्थ विस्थापन की बात कर रहे हैं। मान लीजिए कि दोनों आवृत्तियों में ω_1 थोड़ी बड़ी है। अध्यारोपण के सिद्धांत के अनुसार, परिणामी विस्थापन को हम इस प्रकार व्यक्त करते हैं :

$$s = s_1 + s_2 = a(\cos \omega_1 t + \cos \omega_2 t)$$

$\cos A + \cos B$ के सुपरिचित त्रिकोणमितीय सर्वसमिका का उपयोग करने पर

$$s = 2a \cos \frac{(\omega_1 - \omega_2)t}{2} \cos \frac{(\omega_1 + \omega_2)t}{2} \qquad (15.46)$$

यदि हम $\omega_b = \frac{\omega_1 - \omega_2}{2}$ तथा $\omega_a = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}$ लिखें तब समीकरण (15.46) को इस प्रकार लिख सकते हैं :

संगीत स्तंभ

मंदिरों में, स्तंभों पर बनी संगीत वाद्य बजाती मानवमूर्तियाँ अक्सर देखने में आती हैं, लेकिन, ये स्तंभ, स्वयं संगीत शायद ही कहीं उत्पन्न करते हों। तमिलनाडु के नेल्ल्याप्पर मंदिर में एकल शिला में उत्कीर्णित ऐसे स्तंभों का समूह है जिनको धीरे से टकटकाने पर, भारतीय शास्त्रीय संगीत के मूल स्वर–सा, रे, गा, मा, पा, धा, नी, सा, उत्पन्न होते हैं। इन स्तंभों के कंपन उनमें इस्तेमाल किए गए पत्थर की प्रत्यास्थता, घनत्व और स्तंभ के आकार पर निर्भर करते हैं।

संगीत स्तंभों को तीन श्रेणियों में बाँटा जा सकता है : पहली श्रेणी में है **श्रुति स्तंभ** जो प्राथमिक स्वर–सरगम उत्पन्न करते हैं, दूसरी श्रेणी है **गण–थूंगल** की जो रागों की मूल धुनें उत्पन्न करते हैं और तीसरी श्रेणी है **लय थूंगल** की, यह वह स्तंभ है जो थाप लगाने पर ताल उत्पन्न करते हैं। नेल्ल्याप्पर मंदिर के स्तंभ श्रुति एवं लय श्रेणी के हैं।

पुरातत्ववेत्ता मानते हैं कि नेल्ल्याप्पर मंदिर पाण्डयन कुल के शासकों द्वारा सातवीं शताब्दी में बनवाये गए थे।

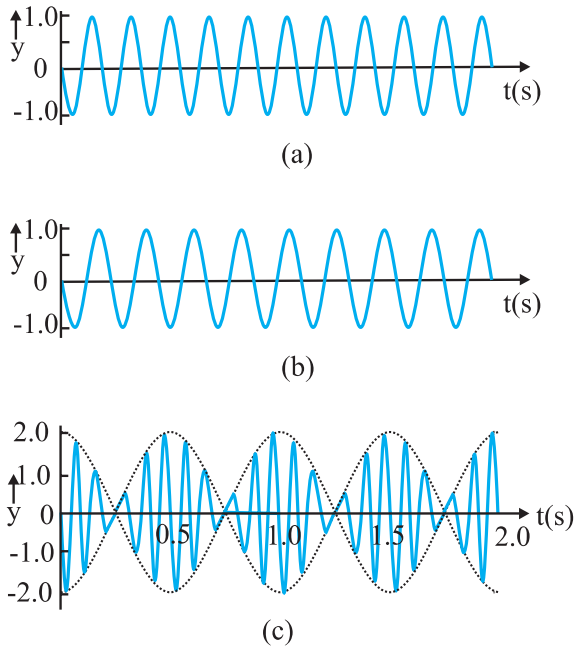
नेल्ल्याप्पर मंदिर तथा दक्षिण भारत में बने कई दूसरे मंदिरों (जैसे हम्पी (देखिये चित्र), कन्याकुमारी और तिरुअनन्तपुरम् के मंदिर) में लगे संगीत–स्तंभ हमारे देश की ही विशिष्टता है और दुनिया के किसी भी भाग में ये नहीं पाए जाते।

$$s = [2\, a \cos \omega_b t] \cos \omega_a t \qquad (15.47)$$

यदि $|\omega_1 - \omega_2| << \omega_1, \omega_2$; $\omega_a >> \omega_b$ है, तब समीकरण (15.47) से निष्कर्ष निकलता है, परिणामी तरंग औसत कोणीय आवृत्ति ω_a से दोलन करता है परन्तु इसका आयाम समय के साथ अचर नहीं है जैसा कि एक शुद्ध आवर्त तरंग के प्रकरण में होता है। जब भी $\cos \omega_b t$ का मान + 1 अथवा –1 होता है आयाम अधिकतम होता है। दूसरे शब्दों में, परिणामी तरंग की तीव्रता में आवृत्ति $2\omega_b = \omega_1 - \omega_2$ से उतार–चढ़ाव होता है। चूंकि $\omega = 2\pi\nu$ विस्पंद ν_{beat} को इस प्रकार व्यक्त करते हैं,

$$\upsilon_{\text{beat}} = \nu_1 - \nu_2 \qquad (15.48)$$

11 Hz तथा 9 Hz के दो आवृत्ति तरंगों से उत्पन्न विस्पंद की परिघटना चित्र 15.16 दर्शाता है। परिणामी तरंग का आयाम 2Hz की आवृत्ति पर विस्पंद दर्शाता है।



चित्र 15.16 (a) 11 Hz आवृत्ति की गुणावृत्ति तरंग का आलेख (b) 9 Hz आवृत्ति की गुणावृत्ति तरंग का आलेख (c) तरंगों (a) तथा (b) का अध्यारोपण से उत्पन्न 2 Hz आवृत्ति का विस्पंद दर्शाता है।

उदाहरण 15.6 दो सितारों की डोरियाँ A तथा B एक साथ 'धा' स्वर बजा रहीं हैं तथा स्वरों में थोड़ा अंतर होने के कारण 5 Hz आवृत्ति के विस्पंद उत्पन्न कर रही हैं। डोरी B के तनाव में कुछ वृद्धि करने पर विस्पंद की आवृत्ति घटकर 3 Hz रह जाती है। यदि A की आवृत्ति 427 Hz है, तो B की मूल आवृत्ति ज्ञात कीजिए।

हल : डोरी में तनाव बढ़ाने पर उसकी कंपन की आवृत्ति बढ़ जाती है। यदि डोरी B की मूल आवृत्ति (ν_B) A की आवृत्ति (ν_A) से अधिक है, तब ν_B में और वृद्धि होने पर विस्पंदों की आवृत्ति

बढ़नी चाहिए, परंतु विस्पंद-आवृत्ति में गिरावट पाई गई। अत: यह निष्कर्ष निकलता है कि $\nu_B < \nu_A$। चूँकि $\nu_A - \nu_B = 5$Hz, तथा $\nu_A = 427$ Hz, अत: डोरी B की मूल आवृत्ति $\nu_B = 422$ Hz ◄

15.8 डॉप्लर प्रभाव

यह हमारे दैनिक जीवन का अनुभव है कि जब कोई सीटी बजाती हुई तीव्रगामी रेलगाड़ी हमसे दूर जाती है, उस सीटी के तारत्व (अथवा आवृत्ति) में कमी होती जाती है। जब हम तीव्र गति से किसी ध्वनि-स्रोत के निकट जाते हैं, तब सुनाई देने वाली ध्वनि का तारत्व ध्वनि-स्रोत के वास्तविक तारत्व से अधिक प्रतीत होता है। इसके विपरीत जब कोई प्रेक्षक ध्वनि-स्रोत से दूर हटता जाता है, तो प्रेक्षित तारत्व ध्वनि-स्रोत के वास्तविक तारत्व से कम होता है। इस गति संबंधी आवृत्ति परिवर्तन को **डॉप्लर प्रभाव** कहते हैं। आस्ट्रिया के भौतिकविद जोहान क्रिश्चियन डॉप्लर ने सर्वप्रथम सन् 1842 ई. में इस प्रभाव को प्रस्तावित किया। सन् 1845 में हालैंड में बाईस बैलो ने इसका प्रायोगिक परीक्षण किया। डॉप्लर प्रभाव एक तरंग-परिघटना है, यह केवल ध्वनि तरंगों पर ही लागू नहीं होता, बल्कि यह सभी विद्युत चुंबकीय तरंगों पर भी लागू होता है। लेकिन, हम यहाँ केवल ध्वनि तरंगों पर ही विचार करेंगे।

हम तीन विभिन्न परिस्थितियों में आवृत्ति में परिवर्तन का विश्लेषण करेंगे : (1) प्रेक्षक स्थिर है परंतु स्रोत गतिशील है, (2) प्रेक्षक गतिशील है परंतु स्रोत स्थिर है, तथा (3) प्रेक्षक तथा स्रोत दोनों गतिशील हैं। प्रेक्षक तथा माध्यम के बीच सापेक्ष गति होने अथवा न होने के कारण परिस्थितियाँ (1) व (2) एक दूसरे से भिन्न हैं। अधिकांश तरंगों को संचरण के लिए माध्यम की आवश्यकता होती है; फिर भी, विद्युत चुंबकीय तरंगों को संचरण के लिए माध्यम की आवश्यकता नहीं होती। यदि कोई माध्यम न हो, तो इन दोनों परिस्थितियों में भेद करने का कोई उपाय नहीं होने के कारण, चाहे प्रेक्षक गतिशील हो अथवा स्रोत, डॉप्लर-विस्थापन समान होता है।

15.8.1 स्रोत गतिशील; प्रेक्षक स्थिर

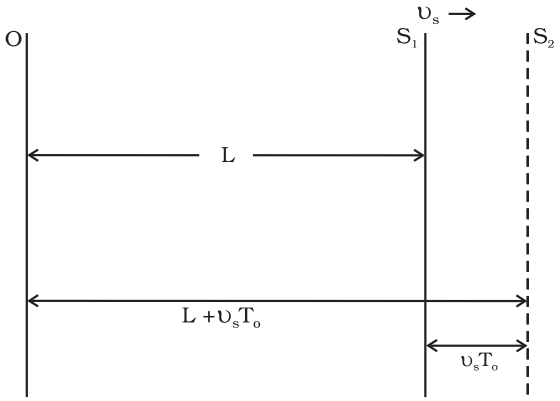
वेग की दिशा के संबंध में हम यह परिपाटी बना लेते हैं कि प्रेक्षक से स्रोत की ओर वेग धनात्मक है। अब हम एक स्रोत S पर विचार करते हैं जो υ_s वेग से गतिमान है और प्रेक्षक एक ऐसे फ्रेम में स्थिर है जिसमें माध्यम भी स्थिर है। मान लीजिए कि कोई तरंग, जिसकी माध्यम के सापेक्ष विराम अवस्था स्थिति प्रेक्षक द्वारा मापी गई कोणीय आवृत्ति ω तथा आवर्तकाल T_0 है, की चाल υ है। हम मानते हैं कि प्रेक्षक के पास एक संसूचक

खुले पाइप में ध्वनि का परावर्तन

जब खुले पाइप में चलता हुआ वायु का, उच्च दाब वाला कोई स्पंद इसके दूसरे सिरे पर पहुँचता है, तो इसका संवेग वायु को खुले में खींच निकालता है इसलिए यहाँ दाब तेजी से गिरकर वायुमण्डलीय दाब के बराबर हो जाता है। परिणामस्वरूप इस स्पंद के पीछे आने वाली कुछ वायु भी बाहर निकल जाती है। पाइप में इस सिरे पर कम दाब, पाइप में, इससे ऊपर की कुछ वायु को नीचे खींचता है। इससे कम दाब का यह क्षेत्र ऊपर की ओर चलता है।

परिणामत: नीचे की ओर चलता हुआ उच्च दाब का स्पंद, न्यून दाब के वायु स्पंद में बदल कर ऊपर की ओर चलता है। हम कहते हैं कि दाब तरंग खुले सिरे से परावर्तित होती है तो इसकी कला में 180° का अंतर आ जाता है। बाँसुरी जैसे खुले ऑर्गन पाइप में अप्रगामी तरंगों का बनना इसी प्रक्रम का परिणाम है।

तुलना के लिए देखें, कि जब उच्च दाब का वायु स्पंद, बंद सिरे पर पहुँचता है, तो क्या होता है: बंद सिरे से टकराकर वायु विपरीत दिशा में वापस लौटती है। यहाँ हम कहते हैं कि दाब तरंग बिना किसी कलांतर के परिवर्तित होती है।



चित्र 15.17 विराम की स्थिति में O पर खड़े प्रेक्षक से परे υ_s चाल से गतिशील कोई स्रोत बिंदु S_1 पर एक तरंग-शिखर उत्सर्जित करता है। यही स्रोत O, $\upsilon_s T_o$ दूरी चलने के पश्चात् बिंदु S_2 से दूसरा तरंग-शिखर उत्सर्जित करता है।

(detector) है जो इसके पास पहुँचने वाले प्रत्येक तरंग-शिखर (crest) को गिनता है । समय $t = 0$ पर जब स्रोत बिंदु S_1 पर अवस्थित है (देखें चित्र 15.17), स्रोत एक तरंग-शिखर उत्सर्जित करता है । इस समय ($t = 0$) पर स्रोत प्रेक्षक से L दूरी पर है । यह तरंग-शिखर प्रेक्षक के पास समय $t_1 = (L/v)$ पर पहुँचता है । समय $t = T_0$ पर स्रोत प्रेक्षक की ओर $v_s T_0$ दूरी चल लेता है और बिंदु S_2 पर पहुँच जाता है जिसकी प्रेक्षक से दूरी $(L+v_s T_0)$ है। बिंदु S_2 पर स्रोत एक और (दूसरा) तरंग-शिखर उत्सर्जित करता है। यह दूसरा तरंग-शिखर प्रेक्षक तक समय t_2 पर पहुँचता है,

$$t_2 = T_0 + \frac{(L + v_s T_0)}{v}$$

समय nT_0 पर स्रोत $(n+1)$ वाँ तरंग-शिखर उत्सर्जित करता है जो प्रेक्षक तक जिस समय t_n पर पहुँचता है उसे इस प्रकार व्यक्त कर सकते हैं,

$$t_{n+1} = nT_0 + \frac{(L + nv_s T_0)}{v}$$

अत: समय अंतराल

$$\left[nT_0 + \frac{(L + nv_s T_0)}{v} - \frac{L}{v}\right]$$

में प्रेक्षक का संसूचक n तरंग-शिखर गिनता है तथा प्रेक्षक तरंग का आवर्तकाल T नीचे दिए अनुसार रिकार्ड करता है

$$T = \left[nT_0 + \frac{(L + nv_s T_0)}{v} - \frac{L}{v}\right]/n$$

$$= T_0 + \frac{v_s T_0}{v}$$

$$= T_0\left(1 + \frac{v_s}{v}\right) \qquad (15.49)$$

समीकरण (15.49) को हम आवृत्ति के पदों में भी लिख सकते हैं । यदि v_0 वह आवृत्ति है जो स्रोत एवं प्रेक्षक दोनों के विराम में होने पर मापी गई है तथा v वह प्रेक्षित आवृत्ति है जो स्रोत के गतिशील होने पर है, तो प्रेक्षित आवृत्ति,

$$\nu = \nu_0\left(1 + \frac{v_s}{v}\right)^{-1} \qquad (15.50)$$

यदि तरंग चाल v की तुलना में स्रोत की चाल v_s का मान कम है तो द्विपद प्रसरण के $\frac{v_s}{v}$ से उच्चतर घातों के पदों को न लेकर, समीकरण (15.50) को सन्निकटत: इस प्रकार लिख सकते हैं,

$$\nu = \nu_0\left(1 - \frac{v_s}{v}\right) \qquad (15.51)$$

यदि स्रोत प्रेक्षक की ओर आ रहा हो तो v_s को $(-v_s)$ से प्रतिस्थापित करने पर हम पाते हैं :

$$\nu = \nu_0\left(1 + \frac{v_s}{v}\right) \qquad (15.52)$$

अत: जब कोई ध्वनि स्रोत किसी प्रेक्षक से दूर जाता है तब उस स्थिति की तुलना में जब यह विराम पर था, प्रेक्षक अपेक्षाकृत कम आवृत्ति मापता है। जब स्रोत उसकी ओर चलता है तो यह तरंगों की आवृत्ति अधिक मापता है।

15.8.2 प्रेक्षक गतिशील; स्रोत स्थिर

अब उस स्थिति में, जब प्रेक्षक स्रोत की ओर v_0 चाल से गतिमान हो, तथा स्रोत विराम में हो, तो डॉप्लर विस्थापन को व्युत्पन्न करने के लिए हमें दूसरे ढंग से आगे बढ़ना होगा । हम गतिशील प्रेक्षक के निर्देश फ्रेम में कार्य करेंगे । इस निर्देश फ्रेम में स्रोत तथा प्रेक्षक चाल v_0 से समीप आते हैं तथा तरंग के समीप आने की चाल $v_0 + v$ है । पिछली परिस्थिति में जो ढंग अपनाया गया था उसी को इस परिस्थिति में भी अपनाने पर हम यह पाते हैं कि पहले तरंग शिखर तथा $(n+1)$ वें तरंग शिखर के प्रेक्षक तक पहुँचने के बीच समय अंतराल इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है,

$$t_{n+1} - t_1 = n T_0 - \frac{n v_0 T_0}{v_0 + v}$$

अत:, प्रेक्षक द्वारा मापा गया तरंग का आवर्त काल

$$T = T_0\left(1 - \frac{v_0}{v_0 + v}\right)$$

$$= T_0\left(1 + \frac{v_0}{v}\right)^{-1}$$

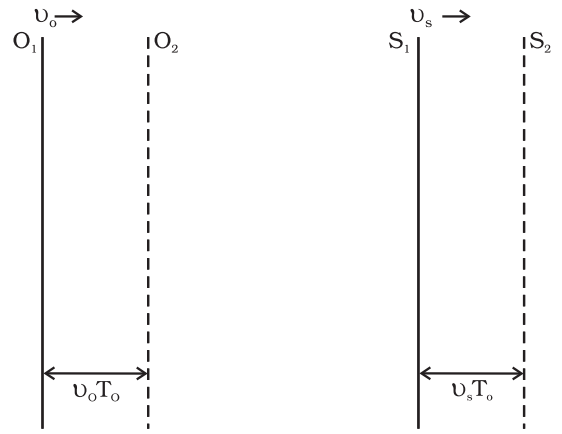
आवृत्ति के पदों में इसे इस प्रकार व्यक्त कर सकते हैं,

$$\nu = \nu_0\left(1 + \frac{v_0}{v}\right) \qquad (15.53)$$

यदि $\frac{v_0}{v}$ का मान कम है, तब डॉप्लर विस्थापन लगभग वही होगा, चाहे प्रेक्षक गति करे अथवा स्रोत, क्योंकि समीकरण (15.53) तथा सन्निकट संबंध (15.51) समान हैं ।

15.8.3 स्रोत तथा प्रेक्षक दोनों गतिशील हैं

अब हम डॉप्लर प्रभाव के लिए, स्रोत तथा प्रेक्षक दोनों को गतिशील लेकर व्यापक व्यंजक व्युत्पन्न करेंगे । पहले की तरह हम प्रेक्षक से स्रोत की दिशा को धनात्मक दिशा मानेंगे। मान लीजिए चित्र 15.18 की भाँति स्रोत तथा प्रेक्षक क्रमशः v_s तथा v_0 वेग से गतिशील हैं, माना समय $t = 0$ पर प्रेक्षक O_1 पर तथा स्रोत $S_1(O)$ की बाईं ओर है। माध्यम के सापेक्ष स्थिर एक प्रेक्षक देखता है कि स्रोत वेग v, आवृति ν और आवर्त काल T_0 की तरंग उत्सर्जित करता है। $t = 0$ पर जब स्रोत पहला तरंग शिखर उत्सर्जित करता हो उस समय प्रेक्षक O_1 की स्रोत S_1 से दूरी L है । अब चूँकि प्रेक्षक गतिशील है, इसलिए तरंग की प्रेक्षक के सापेक्ष



चित्र 15.18 v_0 चाल से गतिमान प्रेक्षक v_s चाल से गतिमान स्रोत। समय $t = 0$ पर दोनों की अवस्थितियाँ क्रमशः O_1 तथा S_1 है जब स्रोत ध्वनि (जिसका माध्यम के सापेक्ष वेग v है) का पहला तरंग-शिखर उत्सर्जित करता है। एक आवर्त काल के बाद ($t = T_0$) प्रेक्षक v_0T_0 दूरी चलकर O_2 पर तथा स्रोत v_sT_0 दूरी चलकर S_2 पर पहुँच जाते हैं, जब स्रोत अगला तरंग-शिखर उत्सर्जित करता है।

चाल $(v + v_0)$ है । अतः पहला तरंग-शिखर प्रेक्षक पर समय $t_1 = L/(v + v_0)$ पर पहुँचता है । समय $t = T_0$ पर प्रेक्षक तथा स्रोत दोनों ही अपनी नयी स्थितियों क्रमशः O_2 तथा S_2 पर पहुँच जाते हैं । प्रेक्षक तथा स्रोत के बीच की नयी दूरी, $O_2S_2 = [L + (v_0 - v_s)/T_0]$ है । S_2 पर स्रोत दूसरा तरंग-शिखर उत्सर्जित कर देता है । यह तरंग-शिखर प्रेक्षक तक समय t_2 पर पहुँचता है जिसे इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है,

$$t_2 = T_0 + [L - (v_s - v_0)T_0]/(v + v_0)$$

समय nT_0 पर, स्रोत $(n + 1)$ वाँ तरंग-शिखर उत्सर्जित कर देता है जो समय t_{n+1} पर प्रेक्षक पर पहुँचता है जिसे इस प्रकार व्यक्त कर सकते हैं,

$$t_{n+1} = nT_o + [L - n(v_s + v_o)T_o)] /(v + v_o)$$

अतः समय अंतराल, $(t_{n+1} - t)$

$$nT_0 + [L + n(v_s+v_0)T_0]/(v+v_0) - L/(v + v_0)$$

में प्रेक्षक n तरंग-शिखर गिनता है तथा प्रेक्षक तरंग का आवर्तकाल T रिकार्ड करता है जिसे इस संबंध द्वारा व्यक्त किया जाता है

$$T = T_0\left(1 + \frac{v_s - v_0}{v + v_0}\right)$$

$$= T_0\left(\frac{v + v_s}{v + v_0}\right) \qquad (15.54)$$

आवृत्ति के पदों में प्रेषक द्वारा प्रेक्षित आवृत्ति को इस प्रकार व्यक्त कर सकते हैं,

$$\nu = \nu_0\left(\frac{v + v_0}{v + v_s}\right) \qquad (15.55)$$

सोचिए कि सीधी पटरियों पर चलती हुई किसी रेलगाड़ी में एक महिला यात्री बैठी है। माना कि वह रेलगाड़ी के ड्राइवर द्वारा बजायी गई सीटी की ध्वनि सुनती है। वह क्या आवृत्ति सुनेगी? यहाँ स्रोत और प्रेक्षक दोनों ही समान वेग से चल रहे हैं अतः आवृत्ति में कोई अंतर नहीं आएगा और यात्री वही प्राकृतिक आवृत्ति सुनेगी जो स्रोत उत्पन्न कर रहा है। लेकिन रेल की पटरियों के पास खड़ा कोई प्रेक्षक प्राकृतिक आवृत्ति से अधिक आवृत्ति नोट करेगा जब रेलगाड़ी उसकी ओर आती है और कम आवृत्ति नोट करेगा जब रेलगाड़ी उससे दूर जाती है।

ध्यान दें कि हमने प्रेक्षक से स्रोत की दिशा को धनात्मक दिशा कहा है। इसलिए यदि प्रेक्षक स्रोत की ओर चल रहा है तो v_0 का मान धनात्मक है जबकि यदि वह स्रोत S से दूर जा रहा हो तो v_0 का मान ऋणात्मक है। दूसरी ओर यदि S प्रेक्षक O से दूर जा रहा है तो v_s का मान धनात्मक है जबकि यदि वह O की ओर आ रहा है तो v_s का मान ऋणात्मक है। स्रोत द्वारा उत्सर्जित ध्वनि सभी दिशाओं में गमन करती है। इस ध्वनि का जो भाग प्रेक्षक की ओर आता है उसको ही वह संसूचित करता

डॉप्लर प्रभाव के अनुप्रयोग

गतिमान पिण्डों की आवृत्तियों में, डॉप्लर प्रभाव के कारण आने वाले अंतर का उपयोग, सेना, औषधि विज्ञान, खगोलिकी जैसे विविध क्षेत्रों में पिण्डों का वेग मापने के लिए किया जाता है। इसका उपयोग पुलिस यह जाँचने के लिए भी करती है कि कोई गाड़ी गतिसीमा से अधिक गति से तो नहीं चलाई जा रही।

ज्ञात आवृत्ति की ध्वनि या विद्युत चुंबकीय तरंगों को गतिमान पिण्ड की ओर भेजा जाता है। मॉनीटरिंग स्टेशन पर, पिण्ड द्वारा परावर्तित तरंगें प्राप्त करके इनकी आवृत्ति ज्ञात की जाती है। इन दो आवृत्तियों का अंतर **डॉप्लर विस्थापन** कहलाता है।

हवाई अड्डों पर वायुयानों के मार्गदर्शन के लिए, सेना में शत्रु यानों के संसूचन के लिए इस विधि का उपयोग किया जाता है। खगोल भौतिकीविद तारों का वेग मापने के लिए इसका उपयोग करते हैं।

डॉक्टर लोग हृदय स्पंदनों और शरीर के विभिन्न अंगों में रक्त प्रवाह का अध्ययन करने के लिए इसका उपयोग करते हैं। यहाँ वे पराध्वनि तरंगों का उपयोग करते हैं और सामान्य व्यवहार में इसे **सोनोग्राफी** कहा जाता है। पराध्वनि तरंगें व्यक्ति के शरीर में प्रवेश करती हैं और इनमें से कुछ परावर्तित हो जाती हैं तथा रक्त की गति और हृदय के वाल्वों के स्पंदन के विषय में जानकारी प्रदान करती है, इसमें भ्रूण के हृदय का स्पंदन भी शामिल है। हृदय से परावर्तित तरंगों से जो चित्र बनता है उसे **इकोकार्डियोग्राम** कहा जाता है।

है। इसी कारण प्रत्येक स्थितियों में प्रेक्षक के सापेक्ष ध्वनि का वेग $(v + v_0)$ होता है।

उदाहरण 15.7 : कोई रॉकेट 200 m s^{-1} की चाल से किसी लक्ष्य की ओर गतिमान है । गति करते समय यह 1000 Hz आवृत्ति की तरंग उत्सर्जित करता है । इस ध्वनि का कुछ भाग लक्ष्य पर पहुँच कर प्रतिध्वनि के रूप में वापस रॉकेट की ओर परावर्तित हो जाता है । (a) लक्ष्य द्वारा संसूचित ध्वनि की आवृत्ति, तथा (b) रॉकेट द्वारा संसूचित प्रतिध्वनि की आवृत्ति परिकलित कीजिए ।

हल : (a) इस प्रश्न में प्रेक्षक स्थिर है तथा स्रोत प्रेक्षक की ओर 200 m s^{-1} चाल से गतिशील है, क्योंकि यह वेग, ध्वनि वेग (= 330 ms^{-1}) के साथ तुलनीय है। अत: हम यहाँ समीकरण (15.50) का उपयोग करेंगे न कि सन्निकट समीकरण (15.51) का। यहाँ क्योंकि स्रोत स्थिर लक्ष्य की ओर चल रहा है v_s के स्थान पर $(-v_s)$ प्रतिस्थापित करेंगे। इस प्रकार समीकरण (15.50) से

$$\nu = \nu_0 \left(1 - \frac{v_s}{v}\right)^{-1}$$

$$= 1000 \text{ Hz} \times \left(1 - \frac{200 \text{ ms}^{-1}}{330 \text{ ms}^{-1}}\right)^{-1}$$

$$= 2540 \text{ Hz}$$

(b) यहाँ इस प्रश्न में अब लक्ष्य स्रोत है (क्योंकि यह प्रतिध्वनि का स्रोत है) तथा रॉकेट का संसूचक अब एक संसूचक अथवा प्रेक्षक (क्योंकि यह संसूचन भी करता है) है । अत: $v_s = 0$ एवं v_0 का मान धनात्मक है। अब स्रोत (लक्ष्य) द्वारा उत्सर्जित ध्वनि की आवृत्ति ν है जो कि लक्ष्य द्वारा अवरुद्ध आवृत्ति है । यहाँ हम स्रोत की मूल आवृत्ति ν_0 का उपयोग नहीं कर सकते । अत: रॉकेट से जुड़े संसूचक द्वारा रिकार्ड की गई आवृत्ति

$$\nu' = \nu \left(\frac{v + v_0}{v}\right)$$

$$= 2540 \text{ Hz} \times \left(\frac{200 \text{ ms}^{-1} + 330 \text{ m s}^{-1}}{300 \text{ m s}^{-1}}\right)$$

$$= 4080 \text{ Hz}$$

सारांश

1. *यांत्रिक तरंगें* द्रव्यात्मक माध्यमों में विद्यमान रह सकती हैं तथा ये न्यूटन के गति के नियमों द्वारा संनियमित होती हैं ।
2. *अनुप्रस्थ तरंगें* वे तरंगें होती हैं जिनमें माध्यम के कण तरंग संचरण की दिशा के लंबवत् दोलन करते हैं ।
3. *अनुदैर्घ्य तरंगें* वे तंरगें होती हैं जिनमें माध्यम के कण तरंग संचरण की दिशा के अनुदिश दोलन करते हैं ।
4. *प्रगामी तरंग* वह तरंग होती है जो माध्यम के एक बिंदु से दूसरे बिंदु तक गमन करती है ।
5. धनात्मक x-दिशा में संचरित ज्यावक्रीय तरंग का *विस्थापन* इस प्रकार व्यक्त किया जाता है–

$$y\,(x,\,t) = a\,\sin\,(kx - \omega t + \phi)$$

यहाँ a तरंग का आयाम, k कोणीय तरंग संख्या, ω कोणीय आवृत्ति, $(kx - \omega t + \phi)$ कला, तथा ϕ कला-नियतांक अथवा प्रारंभिक कला कोण है ।

6. किसी प्रगामी तरंग का तरंगदैर्घ्य λ, उसके किन्हीं ऐसे दो क्रमागत बिंदुओं के बीच की दूरी के बराबर होती है जो किसी क्षण पर समान कला में होते हैं। अप्रगामी तरंगों के लिए यह दो क्रमागत निस्पंदों अथवा प्रस्पंदों के बीच की दूरी के दोगुने के बराबर होती है।
7. किसी तरंग के *आवर्तकाल* T को उस समय द्वारा परिभाषित किया जाता है जिसमें माध्यम का कोई अवयव अपना एक दोलन पूर्ण करता है। यह तरंग की कोणीय आवृत्ति ω से इस प्रकार संबधित होता है

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

8. किसी तरंग की *आवृत्ति* ν को $1/T$ के रूप में परिभाषित किया जाता है तथा आवृत्ति व कोणीय आवृत्ति में निम्नलिखित संबंध होता है :

$$\nu = \frac{\omega}{2\pi}$$

9. प्रगामी तरंग की *चाल* $v = \frac{\omega}{k} = \frac{\lambda}{T} = \lambda\nu$
10. किसी तानित डोरी पर *अनुप्रस्थ तरंग की चाल* उस डोरी के गुणों से निर्धारित होती है । यदि किसी डोरी में तनाव T है तथा डोरी का रैखिक द्रव्यमान घनत्व μ है तो उस डोरी में अनुप्रस्थ तरंग की चाल,

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

11. *ध्वनि तरंगें* अनुदैर्घ्य यांत्रिक तरंगें होती हैं जो ठोसों, द्रवों तथा गैसों में गमन कर सकती हैं । यदि किसी माध्यम का आयतन प्रत्यास्थता गुणांक B तथा घनत्व ρ है तो उस माध्यम में ध्वनि तरंगों की चाल

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

धातु की छड़ में अनुदैर्घ्य तरंगों की चाल

$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$

किसी गैस में, चूँकि $B = \gamma P$, अत: ध्वनि की चाल

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

यहाँ γ गैस की दो विशिष्ट ऊष्माओं का अनुपात $(\gamma = C_p/C_v)$, ρ गैस का घनत्व तथा P गैस का दाब है ।

12. जब दो या अधिक तरंगें किसी माध्यम से गमन करती हैं, तब माध्यम के किसी अवयव का विस्थापन प्रत्येक तरंग के

12. जब दो या अधिक तरंगें किसी माध्यम से गमन करती हैं, तब माध्यम के किसी अवयव का विस्थापन प्रत्येक तरंग के विस्थापनों का बीजगणितीय योग होता है । इसे तरंगों के *अध्यारोपण का सिद्धांत* कहते हैं ।

$$y = \sum_{i=1}^{n} f_i\,(x - vt)$$

13. एक ही डोरी पर गमन करती दो ज्यावक्रीय तरंगें अध्यारोपण के सिद्धांत के अनुसार संकलन अथवा निरसन द्वारा व्यतिकरण की परिघटना प्रदर्शित करती हैं । यदि समान आयाम a तथा समान आवृत्ति वाली परंतु कला में कला-नियतांक ϕ के अंतर वाली दो तरंगें एक ही दिशा में गतिमान हैं तो उनके व्यतिकरण का परिणाम एक एकल तरंग होती हैं जिसकी आवृत्ति भी उनके समान होती है :

$$y(x,t) = \left[2a\cos\frac{1}{2}\phi\right]\sin\left(kx - \omega t + \frac{1}{2}\phi\right)$$

यदि $\phi = 0$ अथवा 2π का पूर्णांक गुणज हो तो तरंगें एकदम समान कला में होती हैं तथा व्यतिकरण संपोषी होता है; यदि $\phi = \pi$ अथवा π रेडियन का विषम गुणज हो तो तरंगें एकदम विपरीत कलाओं में होती है तथा व्यतिकरण विनाशी होता है ।

14. किसी प्रगामी तरंग का किसी दृढ़ परिसीमा अथवा बंद सिरे पर परावर्तन कला-उत्क्रमण के साथ होता है, परंतु किसी खुली परिसीमा पर यह परावर्तन बिना किसी कला-परिवर्तन के होता है ।

किसी आपतित तरंग के लिए

$$y_i(x, t) = a \sin(kx - \omega t)$$

दृढ़ परिसीमा से परावर्तित तरंग के लिए

$$y_r(x, t) = -a \sin(kx + \omega t)$$

खुली परिसीमा से परावर्तित तरंग के लिए

$$y_r(x, t) = a \sin(kx + \omega t)$$

15. विपरीत दिशाओं में गतिशील दो सर्वसम तरंगों के व्यतिकरण से अप्रगामी तरंगें उत्पन्न होती हैं । दोनों सिरों पर परिबद्ध तानित डोरी में उत्पन्न अप्रगामी तरंगों को इस प्रकार व्यक्त किया जाता है

$$y(x, t) = [2a \sin kx] \cos \omega t$$

अप्रगामी तरंगों का एक अभिलक्षण यह है कि इनमें शून्य विस्थापन की निश्चित अवस्थितियाँ जिन्हें निस्पंद कहते हैं तथा अधिकतम विस्थापन की निश्चित अवस्थितियाँ जिन्हें प्रस्पंद कहते हैं, होती हैं । दो क्रमागत निस्पंदों अथवा दो क्रमागत प्रस्पंदों के बीच की दूरी होती है ।

L लंबाई की तानित डोरी जो दोनों सिरों पर परिबद्ध हो, निम्नलिखित आवृत्तियों से कंपन करती है :

$$\nu = n\frac{v}{2L},\ n = 1, 2, 3....$$

यहाँ v तरंग की डोरी पर गमन की चाल है । इस संबंध से प्राप्त आवृत्तियों को सेट निकाय के कंपन अथवा दोलन की *प्रसामान्य विधाएँ* कहते है । निम्नतम आवृत्ति से दोलन की विधा *मूल विधा* अथवा *प्रथम गुणावृत्ति* कहलाती है । $n = 2$ की दोलन विधा को *द्वितीय गुणावृत्ति* कहते हैं, और इसी प्रकार क्रम बढ़ता जाता है ।

L लंबाई की कोई नली जिसका एक सिरा बंद तथा दूसरा सिरा खुला हो, जैसे वायु-कॉलम, निम्नलिखित आवृत्तियों से कंपन करता है :

$$\nu = \left(n + \frac{1}{2}\right)\frac{v}{2L},\ n = 0, 1, 2, 3....$$

उपरोक्त संबंध द्वारा निरूपित आवृत्तियों का सेट इस प्रकार के निकाय के दोलन की *प्रसामान्य विधाएँ* होती हैं । इस संबंध द्वारा $n = 0$ के लिए प्राप्त निम्नतम आवृत्ति $v/4L$ है, जो इस प्रकार के निकाय की मूल विधा अथवा प्रथम गुणावृत्ति होती है ।

16. दोनों सिरों से परिबद्ध L लंबाई की तानित डोरी अथवा एक सिरे से बंद तथा दूसरे सिरे पर मुक्त वायु-कॉलम जिन आवृत्तियों से कंपन करते हैं उन्हें इन निकायों की प्रसामान्य विधाएँ कहते हैं । इनमें से प्रत्येक आवृत्ति निकाय की *अनुनाद आवृत्ति* होती है ।

17. *विस्पंद* तब उत्पन्न होते हैं जब बहुत कम अंतर की दो आवृत्तियों ν_1 तथा ν_2 की तरंगें एक साथ संसूचित की जाती हैं। विस्पंद आवृत्ति इस प्रकार व्यक्त की जाती है,

$$\nu_{\text{beat}} = \nu_1 \sim \nu_2$$

18. माध्यम के सापेक्ष ध्वनि स्रोत अथवा प्रेक्षक O की गति के कारण किसी तरंग की प्रेक्षित आवृत्ति में परिवर्तन होना *डॉप्लर प्रभाव* कहलाता है। ध्वनि के लिए प्रेक्षित आवृत्ति को ध्वनि स्रोत की आवृत्ति ν_0 के पदों में व्यक्त किया जाता है

$$\nu = \nu_0 \left[\frac{v + v_0}{v + v_s}\right]$$

यहाँ v माध्यम में ध्वनि की चाल, v_0 माध्यम के सापेक्ष प्रेक्षक की चाल तथा v_s माध्यम के सापेक्ष ध्वनि-स्रोत का वेग है । इस सूत्र का उपयोग करते समय, OS की दिशा में वेग धनात्मक और विपरीत दिशा में ऋणात्मक लिए जाएँगे।

भौतिक राशि	प्रतीक	विमाएँ	मात्रक	टिप्पणी
तरंगदैर्घ्य	λ	[L]	m	एक ही क्षण पर समान कला के दो क्रमागत बिंदुओं के बीच की दूरी
संचरण नियतांक	k	[L^{-1}]	m^{-1}	$k = \frac{2\pi}{\lambda}$
तरंग चाल	v	[LT^{-1}]	m s^{-1}	$\nu = v\lambda$
विस्पंद आवृत्ति	ν_{beat}	[T^{-1}]	s^{-1}	दो निकट आवृत्तियों की अध्यारोपित तरंगों की आवृत्तियों का अंतर

विचारणीय विषय

1. तरंग किसी माध्यम में समूचे द्रव्य की गति नहीं है । पवन वायु में ध्वनि तरंग से भिन्न होती है । पवन में एक स्थान से दूसरे स्थान तक वायु की गति सम्मिलित होती है । ध्वनि तरंग में वायु की परतों का संपीडन तथा विरलन सम्मिलित होता है ।
2. तरंग में एक स्थान से दूसरे स्थान तक ऊर्जा स्थानांतरित होती है न कि द्रव्य ।
3. माध्यम के निकटतम दोलनी भागों के बीच आद्योपांत (शुरू से अंत तक) प्रत्यास्थ बलों के युग्मन के कारण ऊर्जा स्थानांतरण होता है ।
4. अनुप्रस्थ तरंगों का संचरण केवल उन्हीं माध्यमों में हो सकता है जिनमें अपरूपण प्रत्यास्थता गुणांक हो, उदाहरणार्थ ठोस । अनुदैर्घ्य तरंगों को आयतन प्रत्यास्थता गुणांक की आवश्यकता होती है, अतः ये तरंगें सभी माध्यमों-ठोस, द्रव तथा गैस में संभव होती हैं ।
5. दी गई आवृत्ति की किसी सरल आवर्त प्रगामी तरंग में सभी कणों का आयाम समान होता है, परंतु किसी दिए गए नियत समय पर उनकी कलाएँ भिन्न होती हैं । किसी अप्रगामी तरंग में किसी निश्चित क्षण पर सभी कणों की कलाएँ समान होती हैं परंतु उनके आयाम भिन्न होते हैं ।

6. किसी माध्यम में विराम की स्थिति वाले प्रेक्षक के सापेक्ष उस माध्यम में किसी यांत्रिक तरंग की चाल (v) केवल माध्यम के प्रत्यास्थ तथा अन्य गुणों (जैसे द्रव्यमान घनत्व) पर निर्भर करती है । यह ध्वनि-स्रोत के वेग पर निर्भर नहीं करती ।
7. माध्यम के सापेक्ष v_0 वेग से गतिशील किसी प्रेक्षक के लिए प्रत्यक्ष रूप से तरंग की चाल v से भिन्न होती है तथा यह चाल $v \pm v_0$ होती है ।

अभ्यास

15.1 2.50 kg द्रव्यमान की 20 cm लंबी तानित डोरी पर 200 N बल का तनाव है । यदि इस डोरी के एक सिरे को अनुप्रस्थ झटका दिया जाए तो उत्पन्न विक्षोभ कितने समय में दूसरे सिरे तक पहुँचेगा ?

15.2 300 m ऊँची मीनार के शीर्ष से गिराया गया पत्थर मीनार के आधार पर बने तालाब के पानी से टकराता है । यदि वायु में ध्वनि की चाल 340 m s^{-1} है तो पत्थर के टकराने की ध्वनि मीनार के शीर्ष पर पत्थर गिराने के कितनी देर बाद सुनाई देगी ? (g = 9.8 m s^{-2})

15.3 12.0 m लंबे स्टील के तार का द्रव्यमान 2.10 kg है । तार में तनाव कितना होना चाहिए ताकि उस तार पर किसी अनुप्रस्थ तरंग की चाल 20 °C पर शुष्क वायु में ध्वनि की चाल (343 m s^{-1}) के बराबर हो ।

15.4 सूत्र का उपयोग करके स्पष्ट कीजिए कि वायु में ध्वनि की चाल क्यों

(a) दाब पर निर्भर नहीं करती,

(b) ताप के साथ बढ़ जाती है, तथा

(c) आर्द्रता के साथ बढ़ जाती है ?

15.5 आपने यह सीखा है कि एक विमा में कोई प्रगामी तरंग फलन $y = f(x, t)$ द्वारा निरूपित की जाती है जिसमें x तथा t को $x - vt$ अथवा $x + vt$ अर्थात् $y = f(x \pm vt)$ संयोजन में प्रकट होना चाहिए । क्या इसका प्रतिलोम भी सत्य है ? नीचे दिए गए y के प्रत्येक फलन का परीक्षण करके यह बताइए कि वह किसी प्रगामी तरंग को निरूपित कर सकता है:

(a) $(x - vt)^2$

(b) $\log [(x+vt)/x_0]$

(c) $1/(x + vt)$

15.6 कोई चमगादड़ वायु में 1000 k Hz आवृत्ति की पराश्रव्य ध्वनि उत्सर्जित करता है । यदि यह ध्वनि जल के पृष्ठ से टकराती है, तो (a) परावर्तित ध्वनि तथा (b) पारगमित ध्वनि की तरंगदैर्घ्य ज्ञात कीजिए । वायु तथा जल में ध्वनि की चाल क्रमशः 340 m s^{-1} तथा 1486 m s^{-1} है ।

15.7 किसी अस्पताल में ऊतकों में ट्यूमरों का पता लगाने के लिए पराश्रव्य स्कैनर का प्रयोग किया जाता है । उस ऊतक में ध्वनि में तरंगदैर्घ्य कितनी है जिसमें ध्वनि की चाल 1.7 k m s^{-1} है ? स्कैनर की प्रचालन आवृत्ति 4.2 MHz है ।

15.8 किसी डोरी पर कोई अनुप्रस्थ गुणावृत्ति तरंग का वर्णन

$$y(x, t) = 3.0 \sin (36\, t + 0.018\, x + \pi/4)$$

द्वारा किया जाता है । यहाँ x तथा y सेंटीमीटर में तथा t सेकंड में है । x की धनात्मक दिशा बाएँ से दाएँ है ।

(a) क्या यह प्रगामी तरंग है अथवा अप्रगामी ? यदि यह प्रगामी तरंग है तो इसकी चाल तथा संचरण की दिशा क्या है ?

(b) इसका आयाम तथा आवृत्ति क्या है ?

(c) उद्गम के समय इसकी आरंभिक कला क्या है ?

(d) इस तरंग में दो क्रमागत शिखरों के बीच की न्यूनतम दूरी क्या है ?

15.9 प्रश्न 15.8 में वर्णित तरंग के लिए x = 0 cm, 2 cm तथा 4 cm के लिए विस्थापन (y) और समय (t) के बीच ग्राफ आलेखित कीजिए । इन ग्राफों की आकृति क्या है ? आयाम, आवृत्ति अथवा कला में से किन पहलुओं में प्रगामी तरंग में दोलनी गति एक बिंदु से दूसरे बिंदु पर भिन्न है ?

15.10 प्रगामी गुणावृत्ति तरंग

$y\,(x, t) = 2.0 \cos 2\pi\,(10\,t - 0.0080\,x + 0.35)$

जिसमें x तथा y को m में तथा t को s में लिया गया है, के लिए उन दो दोलनी बिंदुओं के बीच कलांतर कितना है जिनके बीच की दूरी है

(a) 4 m

(b) 0.5 m

(c) $\lambda/2$

(d) $\frac{3\lambda}{4}$

15.11 दोनों सिरों पर परिबद्ध किसी तानित डोरी पर अनुप्रस्थ विस्थापन को इस प्रकार व्यक्त किया गया है

$$y(x, t) = 0.06 \sin\left(\frac{2\pi}{3}x\right) \cos (120\,\pi\,t)$$

जिसमें x तथा y को m तथा t को s में लिया गया है। इसमें डोरी की लंबाई 1.5 m है जिसकी संहति 3.0×10^{-2} kg है। निम्नलिखित का उत्तर दीजिए :

(a) यह फलन प्रगामी तरंग अथवा अप्रगामी तरंग में से किसे निरूपित करता है ?

(b) इसकी व्याख्या विपरीत दिशाओं में गमन करती दो तरंगों के अध्यारोपण के रूप में करते हुए प्रत्येक तरंग की तरंगदैर्घ्य, आवृत्ति तथा चाल ज्ञात कीजिए।

(c) डोरी में तनाव ज्ञात कीजिए।

15.12 (i)प्रश्न 15.11 में वर्णित डोरी पर तरंग के लिए बताइए कि क्या डोरी के सभी बिंदु समान (a) आवृत्ति, (b) कला, (c) आयाम से कंपन करते हैं ? अपने उत्तरों को स्पष्ट कीजिए।

(ii)एक सिरे से 0.375 m दूर के बिंदु का आयाम कितना है ?

15.13 नीचे किसी प्रत्यास्थ तरंग (अनुप्रस्थ अथवा अनुदैर्घ्य) के विस्थापन को निरूपित करने वाले x तथा t के फलन दिए गए हैं। यह बताइए कि इनमें से कौन (i) प्रगामी तरंग को, (ii) अप्रगामी तरंग को, (iii) इनमें से किसी भी तरंग को नहीं निरूपित करता है

(a) $y = 2 \cos (3x) \sin 10\,t$

(b) $y = 2\sqrt{x - v\,t}$

(c) $y = 3 \sin (5x - 0.5\,t) + 4 \cos (5x - 0.5t)$

(d) $y = \cos x \sin t + \cos 2x \sin 2t$

15.14 दो दृढ़ टेकों के बीच तानित तार अपनी मूल विधा में 45 Hz आवृत्ति से कंपन करता है। इस तार का द्रव्यमान 3.5×10^{-2} kg तथा रैखिक द्रव्यमान घनत्व 4.0×10^{-2} kg m^{-1} है। (a) तार पर अनुप्रस्थ तरंग की चाल क्या है, तथा (b) तार में तनाव कितना है ?

15.15 एक सिरे पर खुली तथा दूसरे सिरे पर चलायमान पिस्टन लगी 1 m लंबी नलिका, किसी नियत आवृत्ति के स्रोत (340 Hz आवृत्ति का स्वरित्र द्विभुज) के साथ, जब नलिका में वायु कॉलम 25.5 cm अथवा 79.3 cm होता है तब अनुनाद दर्शाती है। प्रयोगशाला के ताप पर वायु में ध्वनि की चाल का आकलन कीजिए। कोर-प्रभाव को नगण्य मान सकते हैं।

15.16 100 cm लंबी स्टील-छड़ अपने मध्य बिंदु पर परिबद्ध है। इसके अनुदैर्घ्य कंपनों की मूल आवृत्ति 2.53 kHz है। स्टील में ध्वनि की चाल क्या है ?

15.17 20 cm लंबाई के पाइप का एक सिरा बंद है। 430 Hz आवृत्ति के स्रोत द्वारा इस पाइप की कौन-सी गुणावृत्ति विधा अनुनाद द्वारा उत्तेजित की जाती है ? यदि इस पाइप के दोनों सिरे खुले हों तो भी क्या यह स्रोत इस पाइप के साथ अनुनाद करेगा ? वायु में ध्वनि की चाल 340 m s^{-1} है।

15.18 सितार की दो डोरियाँ A तथा B एक साथ 'गा' स्वर बजा रही हैं तथा थोड़ी-सी बेसुरी होने के कारण 6 Hz आवृत्ति के विस्पंद उत्पन्न कर रही हैं। डोरी A का तनाव कुछ घटाने पर विस्पंद की आवृत्ति घटकर 3 Hz रह जाती है। यदि A की मूल आवृत्ति 324 Hz है तो B की आवृत्ति क्या है ?

15.19 स्पष्ट कीजिए क्यों (अथवा कैसे) :

(a) किसी ध्वनि तरंग में विस्थापन निस्पंद दाब प्रस्पंद होता है और विस्थापन प्रस्पंद दाब निस्पंद होता है।

(b) आँख न होने पर भी चमगादड़ अवरोधकों की दूरी, दिशा, प्रकृति तथा आकार सुनिश्चित कर लेते है।

(c) वायलिन तथा सितार के स्वरों की आवृत्तियाँ समान होने पर भी हम दोनों से उत्पन्न स्वरों में भेद कर लेते हैं।

(d) ठोस अनुदैर्घ्य तथा अनुप्रस्थ दोनों प्रकार की तरंगों का पोषण कर सकते हैं जबकि गैसों में केवल अनुदैर्घ्य तरंगें ही संचरित हो सकती हैं, तथा

(e) परिक्षेपी माध्यम में संचरण के समय स्पंद की आकृति विकृत हो जाती है।

15.20 रेलवे स्टेशन के बाह्य सिगनल पर खड़ी कोई रेलगाड़ी शांत वायु में 400 Hz आवृत्ति की सीटी बजाती है। (i) प्लेटफॉर्म पर खड़े प्रेक्षक के लिए सीटी की आवृत्ति क्या होगी जबकि रेलगाड़ी (a) 10 m s^{-1} चाल से प्लेटफॉर्म की ओर गतिशील है, तथा (b) 10 m s^{-1} चाल से प्लेटफॉर्म से दूर जा रही है ? (ii) दोनों ही प्रकरणों में ध्वनि की चाल क्या है ? शांत वायु में ध्वनि की चाल 340 m s^{-1} लीजिए।

15.21 स्टेशन यार्ड में खड़ी कोई रेलगाड़ी शांत वायु में 400 Hz आवृत्ति की सीटी बजा रही है। तभी 10 m s^{-1} चाल से यार्ड से स्टेशन की ओर वायु बहने लगती है। स्टेशन के प्लेटफॉर्म पर खड़े किसी प्रेक्षक के लिए ध्वनि की आवृत्ति, तरंगदैर्घ्य तथा चाल क्या हैं ? क्या यह स्थिति तथ्यत: उस स्थिति के समरूप है जिसमें वायु शांत हो तथा प्रेक्षक 10 m s^{-1} चाल से यार्ड की ओर दौड़ रहा हो ? शांत वायु में ध्वनि की चाल 340 m s^{-1} ले सकते हैं।

अतिरिक्त अभ्यास

15.22 किसी डोरी पर कोई प्रगामी गुणावृत्ति तरंग इस प्रकार व्यक्त की गई है

$$y\,(x, t) = 7.5 \sin (0.0050\,x + 12\,t + \pi/4)$$

(a) $x = 1$ cm तथा $t = 1$ s पर किसी बिंदु का विस्थापन तथा दोलन की चाल ज्ञात कीजिए। क्या यह चाल तरंग संचरण की चाल के बराबर है ?

(b) डोरी के उन बिंदुओं की अवस्थिति ज्ञात कीजिए जिनका अनुप्रस्थ विस्थापन तथा चाल उतनी ही है जितनी $x = 1$ cm पर स्थित बिंदु की समय $t = 2$ s, 5 s तथा 11 s पर है।

15.23 ध्वनि का कोई सीमित स्पंद (उदाहरणार्थ सीटी की 'पिप') माध्यम में भेजा जाता है। (a) क्या इस स्पंद की कोई निश्चित (i) आवृत्ति, (ii) तरंगदैर्घ्य, (iii) संचरण की चाल है ? (b) यदि स्पंद दर 1 स्पंद प्रति 20 सेकंड है अर्थात् सीटी प्रत्येक 20 s के पश्चात् सेकंड के कुछ अंश के लिए बजती है, तो सीटी द्वारा उत्पन्न स्वर की आवृत्ति (1/20) Hz अथवा 0.05 Hz है ?

15.24 8.0×10^{-3} kg m^{-1} रैखिक द्रव्यमान घनत्व की किसी लंबी डोरी का एक सिरा 256 Hz आवृत्ति के विद्युत चालित स्वरित्र द्विभुज से जुड़ा है। डोरी का दूसरा सिरा किसी स्थिर घिरनी के ऊपर गुजरता हुआ किसी तुला के पलड़े से बँधा है जिस पर 90 kg के बाट लटके हैं। घिरनी वाला सिरा सारी आवक ऊर्जा को अवशोषित कर लेता है जिसके कारण इस सिरे से परावर्तित तरंगों का आयाम नगण्य होता है। $t = 0$ पर डोरी के बाएँ सिरे (द्विभुज वाले सिरे) $x = 0$ पर अनुप्रस्थ विस्थापन शून्य है ($y = 0$) तथा वह y की धनात्मक दिशा के अनुदिश गतिशील है। तरंग का आयाम 5.0 cm है। डोरी पर इस तरंग का वर्णन करने वाले अनुप्रस्थ विस्थापन y को x तथा t के फलन के रूप में लिखिए।

15.25 किसी पनडुब्बी से आबद्ध कोई 'सोनार' निकाय 40.0 kHz आवृत्ति पर प्रचालन करता है। कोई शत्रु-पनडुब्बी 360 km h^{-1} चाल से इस सोनार की ओर गति करती है। पनडुब्बी से परावर्तित ध्वनि की आवृत्ति क्या है? जल में ध्वनि की चाल 1450 m s^{-1} लीजिए।

15.26 भूकंप पृथ्वी के भीतर तरंगें उत्पन्न करते हैं। गैसों के विपरीत, पृथ्वी अनुप्रस्थ (*S*) तथा अनुदैर्घ्य (*P*) दोनों प्रकार की तरंगों की अनुभूति कर सकती है। *S* तरंगों की प्रतिरूपी चाल लगभग 4.0 km s^{-1}, तथा *P* तरंगों की प्रतिरूपी चाल लगभग 8.0 km s^{-1} है । कोई भूकंप-लेखी किसी भूकंप की *P* तथा *S* तरंगों को रिकार्ड करता है। पहली *P* तरंग पहली *S* तरंग की तुलना में 4 मिनट पहले पहुँचती है । यह मानते हुए कि तरंगें सरल रेखा में गमन करती हैं यह ज्ञात कीजिए कि भूकंप घटित होने वाले स्थान की दूरी क्या है।

15.27 कोई चमगादड़ किसी गुफा में फड़फड़ाते हुए पराश्रव्य ध्वनि उत्पन्न करते हुए उड़ रहा है। मान लीजिए चमगादड़ द्वारा उत्सर्जित पराश्रव्य ध्वनि की आवृत्ति 40 kHz है। किसी दीवार की ओर सीधा तीव्र झपट्टा मारते समय चमगादड़ की चाल ध्वनि की चाल की 0.03 गुनी है। चमगादड़ द्वारा सुनी गई दीवार से परावर्तित ध्वनि की आवृत्ति क्या है ?

भौतिकी विज्ञान

भाग 2

कक्षा 11 के लिए पाठ्यपुस्तक

पंजाब स्कूल शिक्षा बोर्ड

साहिबजादा अजीत सिंह नगर

© पंजाब सरकार

पहला संस्करण 2016 : ..... 10,000 प्रतियाँ

[This book has been adopted with the kind permission of the National Council of Educational Research and Training.New Delhi]

All rights, including those of translation, reproduction and annotation etc., are reserved by the Punjab Government.

संयोजक: उपनीत कौर ग्रेवाल, विषा माहिर
पंजाब स्कूल शिक्षा बोर्ड

चित्रकार: मनजीत सिंह ढिल्लों
पंजाब स्कूल शिक्षा बोर्ड

चेतावनी

1. कोई भी एजेंसी-होल्डर अधिक पैसे लेने के उद्देश्य से पाठ्य-पुस्तकों पर जिल्दबन्दी नहीं कर सकता। (एजेंसी-होल्डरों के साथ हुए समझौते की धारा नं. 7 के अनुसार)
2. पंजाब स्कूल शिक्षा बोर्ड द्वारा मुद्रित तथा प्रकाशित पाठ्य-पुस्तकों के जाली और नकली प्रकाशन (पाठ्य-पुस्तकों) की छपाई, प्रकाशन, स्टॉक करना, जमाखोरी या बिक्री आदि करना भारतीय दंड प्रणाली के अन्तर्गत गैरकानूनी जुर्म है।

(पंजाब स्कूल शिक्षा बोर्ड की पाठ्य-पुस्तकें बोर्ड के 'वाटर मारक' वाले कागज़ के ऊपर ही मुद्रित की जाती हैं।)

मूल्य : ₹

सचिव, पंजाब स्कूल शिक्षा बोर्ड, विद्या भवन, फेज-8, साहिबज़ादा अजीत सिंह नगर-160062 द्वारा प्रकाशित एवं मैसर्स **दिल्ली प्रिन्टर्ज़**, जालन्धर द्वारा मुद्रित।

प्राक्कथन

पंजाब स्कूल शिक्षा बोर्ड पाठ्यक्रमों और पाठ्य-पुस्तकों के संशोधन और तैयार करने के कार्य में निरन्तर प्रयत्नशील है। आधुनिक युग में, विद्यार्थियों को सही शिक्षा देना अभिभावक और अध्यापकों का साँझा उतरदायित्व है। इस उत्तरदायित्व और शैक्षिक आवश्यकताओं को समझते हुए गणित के पाठ्यक्रम और पाठ्य-पुस्तकों में राष्ट्रीय पाठ्यचर्या की रूपरेखा (2005) के आधार पर महत्वपूर्ण परिवर्तन किये जा रहे हैं।

स्कूल पाठ्यचर्या में भौतिकी भाग-2 विषय का महतवपूर्ण योगदान है और आवश्यक शैक्षिक परिणाम प्राप्त करने के लिए अच्छी पाठ्य-पुस्तक का होना प्राथमिकता है। अत: इस पाठ्य-पुस्तक में विषय सामग्री इस प्रकार व्यवस्थित की गई है जिससे विद्यार्थियों की तार्किक क्षमता विकसित होने का साथ-साथ विष्य को समझने की योग्यता में बढ़ोतरी होगी। अभ्यास प्रश्न विद्यार्थियों के मानसिक स्तर के अनुसार तैयार किया गये हैं। यह पाठ्य-पुस्तक एन.सी.ई.आर.टी. द्वारा कक्षा-11 के लिए तैयार की गई और पंजाब स्कूल शिक्षा बोर्ड द्वारा एन.सी.ई.आर.टी.से अनुमति प्राप्त करने के उपरान्त प्रकाशित की गई है।

पाठ्य-पुस्तक को विद्यार्थियों और अध्यापकों के लिए अधिक से अधिक उपयोगी बनाने का भरपूर प्रयास किया गया है। फिर भी, पुस्तक को और अधिक अच्छा बनाने के लिए क्षेत्र से आये बढ़िया सुझाव आदर सहित स्वीकार किये जायेंगे।

चेयरपरसन

पंजाब स्कूल शिक्षा बोर्ड

मोहाली।

NCERT की पाठ्यपुस्तक निर्माण समिति

अध्यक्ष, विज्ञान और गणित पाठ्यपुस्तकों की सलाहकार समिति

जे.वी. नार्लीकर, *इमेरिटस प्रोफ़ेसर*, अंतर-विश्वविद्यालय केंद्र : खगोलविज्ञान और खगोलभौतिकी, पुणे

मुख्य सलाहकार

ए.डब्ल्यू. जोशी, *प्रोफ़ेसर*, हानरेरी विजिटिंग साइंटिस्ट, एनसीआरए, पुणे
(भूतपूर्व प्रोफ़ेसर, भौतिकी विभाग, पुणे विश्वविद्यालय)

सदस्य

अनुराधा माथुर, *पी.जी.टी.*, मॉडर्न स्कूल, बसंत विहार, नयी दिल्ली
आर.जोशी. *प्रवक्ता* (एस.जी.), डी.ई.एस.एम., एन.सी.ई.आर.टी., नयी दिल्ली
एच.सी. प्रधान, *प्रोफ़ेसर*, होमी भाभा विज्ञान शिक्षा केन्द्र, टाटा इंस्टीट्यूट ऑफ फंडामेंटल रिसर्च, मुंबई
एन. पंचपकेशन, *अवकाश प्राप्त प्रोफ़ेसर,* भौतिकी एवं खगोलभौतिकी विभाग, दिल्ली विश्वविद्यालय, दिल्ली
एस. राय चौधरी, *प्रोफ़ेसर*, भौतिकी एवं खगोलभौतिकी विभाग, दिल्ली विश्वविद्यालय, दिल्ली
एस.के. दास, *रीडर*, डी.ई.एस.एम., एन.सी.ई.आर.टी., नयी दिल्ली
एस.एन. प्रभाकर, *पी.जी.टी.*, डी.एम.स्कूल, क्षेत्रीय शिक्षा संस्थान, एन.सी.ई.आर.टी., मैसूर
गगन गुप्त, *रीडर*, डी.ई.एस.एम., एन.सी.ई.आर.टी., नयी दिल्ली
चित्रा गोयल, *पी.जी.टी.*, राजकीय प्रतिभा विकास विद्यालय, त्यागराज नगर, लोदी रोड, नयी दिल्ली
टी.जे. सिंह, *प्रोफ़ेसर*, भौतिकी विभाग, मणिपुर विश्वविद्यालय, इम्फाल
पी.के. श्रीवास्तव, *अवकाश प्राप्त प्रोफ़ेसर*, निदेशक, सीएसईसी, दिल्ली विश्वविद्यालय, दिल्ली
पी.के. मोहंती, *पी.जी.टी.*, सैनिक स्कूल, भुवनेश्वर
पी.सी. अग्रवाल, *रीडर*, क्षेत्रीय शिक्षा संस्थान, एन.सी.ई.आर.टी., भुवनेश्वर
वी.पी. श्रीवास्तव, *रीडर*, डी.ई.एस.एम., एन.सी.ई.आर.टी., नयी दिल्ली
शेर सिंह, *पी.जी.टी.*, नवयुग स्कूल, लोदी रोड, नयी दिल्ली

सदस्य-समन्वयक (अंग्रेजी संस्करण)

वी.के. शर्मा, *प्रोफ़ेसर*, डी.ई.एस.एम., एन.सी.ई.आर.टी., नयी दिल्ली

हिंदी अनुवादक

आर.एस. दास, *अवकाश प्राप्त उपप्रधानाचार्य*, बलवंत राय मेहता विद्याभवन सीनियर सेकंडरी स्कूल, नयी दिल्ली
ओ.पी. खंडेलवाल, *अवकाश प्राप्त रीडर*, द्रोणाचार्य राजकीय महाविद्यालय, गुड़गाँव, हरियाणा
जे.पी. अग्रवाल, *अवकाश प्राप्त प्राचार्य*, शिक्षा निदेशालय, राष्ट्रीय राजधानी क्षेत्र, दिल्ली
विनोद प्रकाश, *अवकाश प्राप्त प्रोफ़ेसर*, भौतिकी विभाग, इलाहाबाद विश्वविद्यालय, इलाहाबाद, उ.प्र.

सदस्य-समन्वयक

वी.पी. श्रीवास्तव, *रीडर*, डी.ई.एस.एम., एन.सी.ई.आर.टी., नयी दिल्ली

विषय-सूची

अध्याय 9
ठोसों के यांत्रिक गुण

9.1 भूमिका 237
9.2 ठोसों का प्रत्यास्थ व्यवहार 238
9.3 प्रतिबल तथा विकृति 238
9.4 हुक का नियम 240
9.5 प्रतिबल-विकृति वक्र 240
9.6 प्रत्यास्थता गुणांक 241
9.7 द्रव्यों के प्रत्यास्थ व्यवहार के अनुप्रयोग 246

अध्याय 10
तरलों के यांत्रिकी गुण

10.1 भूमिका 253
10.2 दाब 253
10.3 धारारेखी प्रवाह 260
10.4 बर्नूली का सिद्धांत 261
10.5 श्यानता 266
10.6 रेनल्ड्स संख्या 268
10.7 पृष्ठ तनाव 269

अध्याय 11
द्रव्य के तापीय गुण

11.1 भूमिका 283
11.2 ताप तथा ऊष्मा 283
11.3 ताप मापन 284
11.4 आदर्श गैस समीकरण तथा परम ताप 284
11.5 तापीय प्रसार 285
11.6 विशिष्ट ऊष्मा धारिता 289
11.7 ऊष्मामिति 290
11.8 अवस्था परिवर्तन 291
11.9 ऊष्मा स्थानांतरण 295
11.10 न्यूटन का शीतलन नियम 300

अध्याय 12

ऊष्मागतिकी

12.1 भूमिका 308
12.2 तापीय साम्य 309
12.3 ऊष्मागतिकी का शून्य कोटि नियम 310
12.4 ऊष्मा, आंतरिक ऊर्जा तथा कार्य 310
12.5 ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम 312
12.6 विशिष्ट ऊष्मा धारिता 313
12.7 ऊष्मागतिकीय अवस्था चर तथा अवस्था का समीकरण 314
12.8 ऊष्मागतिकीय प्रक्रम 315
12.9 ऊष्मा इंजन 318
12.10 प्रशीतक/ऊष्मा पंप 318
12.11 ऊष्मागतिकी का द्वितीय नियम 319
12.12 उत्क्रमणीय व अनुत्क्रमणीय प्रक्रम 320
12.13 कार्नो इंजन 321

अध्याय 13

अणुगति सिद्धांत

13.1 भूमिका 328
13.2 द्रव्य की आण्विक प्रकृति 328
13.3 गैसों का व्यवहार 330
13.4 आदर्श गैसों का अणुगति सिद्धांत 333
13.5 ऊर्जा के समविभाजन का नियम 338
13.6 विशिष्ट ऊष्मा धारिता 339
13.7 माध्य मुक्त पथ 342

अध्याय 14

दोलन

14.1 भूमिका 347
14.2 दोलन और आवर्ती गति 348
14.3 सरल आवर्त गति 350
14.4 सरल आवर्त गति तथा एकसमान वर्तुल गति 352
14.5 सरल आवर्त गति में वेग तथा त्वरण 354
14.6 सरल आवर्त गति के लिए बल नियम 356
14.7 सरल आवर्त गति में ऊर्जा 357
14.8 सरल आवर्त गति निष्पादित करने वाले कुछ निकाय 358
14.9 अवमंदित सरल आवर्त गति 361
14.10 प्रणोदित दोलन तथा अनुनाद 363

अध्याय 15

तरंगें

15.1 भूमिका 374

15.2 अनुप्रस्थ तथा अनुदैर्घ्य तरंगें 376

15.3 प्रगामी तरंगों में विस्थापन संबंध 378

15.4 प्रगामी तरंग की चाल 380

15.5 तरंगों के अध्यारोपण का सिद्धांत 384

15.6 तरंगों का परावर्तन 385

15.7 विस्पंदें 390

15.8 डॉप्लर प्रभाव 392

अभ्यास तथा अतिरिक्त अभ्यासों के उत्तर 403

ग्रंथ सूची 411

पारिभाषिक शब्दावली 413

पूरक पाठ्य सामग्री 421

अभ्यास तथा अतिरिक्त अभ्यासों के उत्तर

अध्याय 9

9.1 1.8

9.2 (a) दिए गए ग्राफ के अनुसार 150×10^6 N m^{-2} प्रतिबल के लिए विकृति 0.002 है । अत: पदार्थ का यंग प्रत्यास्थता गुणांक $= 7.5 \times 10^{10}$ N m^{-2}

(b) पदार्थ की सन्निकट पराभव सामर्थ्य $= 3 \times 10^8$ N m^{-2}

9.3 (a) पदार्थ A

(b) पदार्थ A अधिक तन्य पदार्थ है क्योंकि इसमें प्रत्यास्थता सीमा तथा विभंजन बिंदु के मध्य अप्रत्यास्थ विरूपण पदार्थ B की अपेक्षा अधिक है ।

9.4 (a) गलत

(b) सत्य

9.5 1.5×10^{-4} m (स्टील); 1.3×10^{-4} m (पीतल)

9.6 विस्थापन $= 4 \times 10^{-6}$ m

9.7 2.8×10^{-6}

9.8 0.127

9.9 7.07×10^4 N

9.10 $D_{copper}/D_{iron} = 1.25$

9.11 1.539×10^{-4} m

9.12 2.026×10^9 Pa

9.13 1.034×10^3 kg/m^3

9.14 0.0027

9.15 $0.058\,cm^3$

9.16 $2.2 \times 10^6\,N/m^2$

9.17 निहाई के शिखर पर दाब $= 2.5 \times 10^{11}$ Pa

9.18 (a) 0.7 m (b) स्टील तार से 0.43 m

9.19 लगभग 0.01 m

9.20 260 kN

9.21 $2.5 \times 10^{-4}\,m^3$

अध्याय 10

10.3 (a) घटता है, (b) बढ़ती, घटती, (c) अवरूपण विकृति, अवरूपण विकृति की दर (d) द्रव्यमान संरक्षण नियम, बर्नूली के समीकरण से (e) अधिक

10.5 6.2×10^6 Pa

10.6 10.5 m

10.7 समुद्र में उस गहराई पर दाब लगभग 3×10^7 Pa है । यह संरचना उपयुक्त है क्योंकि यह इससे कहीं अधिक प्रतिबल/दाब को सँभाल सकती है ।

10.8 6.92×10^5 Pa

10.9 0.800

10.10 स्पिरिट वाली भुजा में पारे का स्तर ऊपर उठेगा; पारे के स्तरों में अंतर = 0.221 cm

10.11 नहीं, बर्नूली का नियम केवल धारारेखीय प्रवाहों पर ही लागू होता है ।

10.12 नहीं, जिन दो बिंदुओं पर बर्नूली के समीकरण का अनुप्रयोग करना है उनके बीच वायुमंडलीय दाबों में सार्थक अंतर होना चाहिए ।

10.13 9.8×10^2 Pa (रेनल्ड्स संख्या लगभग 0.3 है, अत: प्रवाह स्तरीय है ।)

10.14 1.5×10^3 N

10.15 चित्र (a) सही नहीं है [कारण : संकीर्णन पर (जहाँ नली की अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल कम है) द्रव्यमान सरंक्षण नियम के कारण प्रवाह की चाल अधिक है । परिणामस्वरूप, बर्नूली के सिद्धांत के अनुसार वहाँ पर दाब कम है । हमने यह परिकल्पना की है कि तरल असंपीड्य है ।]

10.16 $0.64\,m\,s^{-1}$

10.17 $2.5 \times 10^{-2}\,N\,m^{-1}$

10.18 (b) तथा (c) के लिए 4.5×10^{-2} N अर्थात् ठीक उतना ही जितना (a) में है ।

10.19 दाब-आधिक्य = 310 Pa, कुल दाब = 1.031×10^5 Pa । तथापि, चूंकि प्रश्न में दिया गया आंकड़ा तीन अंकों तक यथार्थ है, हमें बूँद के भीतर कुल दाब को 1.01×10^5 Pa लिखना चाहिए ।

10.20 साबुन के बुलबुले के भीतर दाब-आधिक्य = 20.0 Pa ; साबुन के विलयन में डूबे वायु के बुलबुले के भीतर दाब-आधिक्य = 10.0 Pa । वायु के बुलबुले के लिए बाहर का दाब $= 1.01 \times 10^5 + 0.4 \times 10^3 \times 9.8 \times 1.2 = 1.06 \times 10^5$ Pa । दाब आधिक्य इतना कम है कि तीन सार्थक अंकों तक वायु के बुलबुले के भीतर कुल दाब $= 1.06 \times 10^5$ Pa ।

10.21 55 N (ध्यान दीजिए, आधार का क्षेत्रफल उत्तर को प्रभावित नहीं करता) ।

10.22 (a) (a) के लिए, निरपेक्ष दाब = 96 cm (Hg) ; प्रमापी दाब = 20 cm (Hg)
(b) के लिए, निरपेक्ष दाब = 58 cm (Hg); प्रमापी दाब = –18 cm (Hg) ।
(b) बाईं भुजा में पारा ऊपर चढ़ेगा ताकि दोनों भुजाओं के पारद तलों में अंतर 19 cm हो जाए ।

10.23 दो समान क्षेत्रफलों वाले आधारों पर दाब (और इसीलिए बल) समान हैं । परंतु जल द्वारा बर्तन की दीवारों पर भी बल आरोपित किया जाता है, यदि बर्तन की दीवारें आधार के पूर्णत: अभिलंबवत नहीं हैं, तो इस बात का शून्येतर ऊर्ध्वाधर घटक होता है । जल द्वारा बर्तन की दीवारों पर आरोपित बलों का नेट ऊर्ध्वाधर घटक पहले बर्तन के लिए दूसरे बर्तन की तुलना में अधिक होता है । अत: दोनों प्रकरणों में आधारों पर समान बल आरोपित होने पर भी बर्तनों के भार भिन्न-भिन्न होते हैं।

10.24 0.2 m

10.25 (a) दाब ह्रास अधिक है; (b) तरल प्रवाह का वेग बढ़ने पर क्षयकारी बल अधिक महत्वपूर्ण हो जाते हैं ।

10.26 (a) 0.98 m s^{-1} ; (b) 1.24×10^{-5} $m^3 s^{-1}$

10.27 4393 kg

10.28 5.8 cm s^{-1}, 3.9×10^{-10} N

10.29 5.34 mm

10.30 पहली नली के लिए दाबांतर (अवतल तथा उत्तल पार्श्वों के बीच) $= 2 \times 7.3 \times \frac{10^{-2}}{3} \times 10^{-3} = 48.7$ Pa । इसी प्रकार दूसरी नली के लिए दाबांतर = 97.3 Pa। फलस्वरूप, दोनों नलियों में भरे जल के स्तरों में अंतर $= \frac{48.7}{10^3 \times 9.8}$ m = 5.0 mm । पतली नली में जल का स्तर अपेक्षाकृत ऊँचा है (ध्यान दीजिए शून्य स्पर्श कोण के लिए नवचंद्रक (meniscus) की त्रिज्या नली की त्रिज्या के समान होती है । दोनों नलियों में पृष्ठ का अवतल पार्श्व 1 वायुमंडल दाब पर है ।

10.31(b) 8 km । यदि हम ऊँचाई के साथ g के मान में परिवर्तन को विचार में लाएँ तो ऊँचाई कुछ अधिक होगी – लगभग 8.2 km ।

अध्याय 11

11.1 नियॉन : – 248.58 °C = – 415.44 °F

CO_2 : –56.60 °C = – 69.88 °F $\quad [t_F = \frac{9}{5} t_c + 32]$ उपयोग कीजिए ।

11.2 $T_A = \left(\frac{4}{7}\right) T_B$

11.3 384.8 K

11.4 (a) त्रिक बिंदु एक अद्वितीय तापांक होता है; गलन बिंदु तथा क्वथन बिंदु के तापांक दाब पर निर्भर करते हैं; (b) एक अन्य नियत तापांक स्वयं निरपेक्ष शून्य होता है; (c) त्रिक बिंदु 0.01 °C है 0 °C नहीं है; (d) 491.69

11.5 (a) $T_A = 392.69$ K, $T_B = 391.98$ K ; (b) यह विसंगति इसलिए उत्पन्न होती है क्योंकि गैसें पूर्णत: आदर्श गैसें नहीं होतीं । इस विसंगति को कम करने के लिए पाठ्यांक कम से कम दाबों पर लेने चाहिए और मापे गए तापों तथा गैस के त्रिक बिंदु पर परम दाब के बीच खींचे गए आरेख को जबकि दाब शून्य की ओर अग्रसित होता है तो अन्य तापों को प्राप्त करने के लिए बहिर्वेशित (extrapolate) करना चाहिए । इन परिस्थितियों में गैसें आदर्श गैस जैसा व्यवहार करने लग जाती हैं ।

11.6 छड़ की 45.0 °C पर वास्तविक लंबाई = 63.0 + 0.0136 = 63.0136 cm (तथापि हमें यह कहना चाहिए कि तीन सार्थक अंकों पर लंबाई में अंतर 0.0136 cm है, परंतु कुल लंबाई तीन सार्थक अंकों तक 63.0 cm ही है । इसी छड़ की 27.0 °C पर लंबाई = 63.0 cm

11.7 जब धुरी को –69 °C तक ठंडा किया जाता है तो पहिया धुरी पर चढ़ता है।

11.8 व्यास में वृद्धि का परिमाण $= 1.44 \times 10^{-2}$ cm

11.9 3.8×10^2 N

11.10 चूंकि संयोजित छड़ के सिरे शिंकजे में जकड़े नहीं हैं अत: दोनों में मुक्त रूप से प्रसार होगा ।

$\Delta l_{\text{पीतल}} = 0.21$ cm ; $\Delta l_{\text{स्टील}} = 0.126$ cm $= 0.13$ cm

लंबाई में कुल परिवर्तन $= 0.34$ cm । चूंकि छड़ें प्रसार के लिए स्वतंत्र हैं, उनमें कोई तापीय प्रतिबल उत्पन्न नहीं होता ।

11.11 $0.0147 = 1.5 \times 10^{-2}$

11.12 103 °C

11.13 1.5 kg

11.14 0.43 J g^{-1} K^{-1} ; कमतर

11.15 गैसें द्विपरमाणुक हैं, तथा स्थानांतरण की स्वातंत्र्य कोटि के अतिरिक्त उनकी अन्य स्वातंत्र्य कोटि (अर्थात् गति की अन्य विधाएँ) भी संभव हैं । गैस के ताप में कुछ वृद्धि के लिए सभी विधाओं की माध्य ऊर्जा में वृद्धि करने के लिए ऊष्मा की आपूर्ति करनी होती है । फलस्वरूप, एक परमाणुक गैसों की तुलना में द्विपरमाणुक गैसों की मोलर विशिष्ट ऊष्मा अधिक होती है । यह दर्शाया जा सकता है कि यदि हम केवल गति की घूर्णी विधा पर ही विचार करें तो द्विपरमाणुक गैसों की मोलर विशिष्ट ऊष्मा (5/2)R होती है जो केवल क्लोरीन को छोड़कर सारणी में दिए गए सभी गैसों के प्रेक्षणों के लिए सत्य है । क्लोरीन की मोलर विशिष्ट ऊष्मा का अधिक मान यह दर्शाता है कि क्लोरीन के अणु में कमरे के ताप पर घूर्णी विधा के अतिरिक्त कंपन विधा भी उपस्थित है ।

11.16 (a) त्रिक बिंदु पर ताप $= -56.6$ °C तथा दाब $= 5.11$ atm

(b) दाब घटने पर CO_2 का क्वथनांक तथा गलनांक दोनों घट जाते हैं ।

(c) CO_2 के क्रांतिक ताप एवं दाब क्रमश: 31.1 °C तथा 73.0 atm हैं । इससे उच्च ताप पर CO_2 द्रवित नहीं होगी, चाहे उस पर कितना भी अधिक दाब आरोपित किया जाए ।

(d) (a) वाष्प; (b) ठोस; (c) द्रव

11.17 (a) नहीं, वाष्प सीधे ही ठोस में संघनित हो जाती है ।

(b) यह द्रव प्रावस्था में परिवर्तित हुए बिना ही सीधे ठोस में संघनित हो जाती है ।

(c) यह पहले द्रव प्रावस्था में और फिर वाष्प प्रावस्था में परिवर्तित होता है । गलनांक तथा क्वथनांक वे बिंदु हैं जहाँ 10 atm के नियत दाब पर *P-T* आरेख को क्षैतिज रेखा गलन तथा वाष्पन वक्रों को प्रतिच्छेदित करती है।

(d) यह द्रव प्रावस्था के किसी स्पष्ट संक्रमण को नहीं दर्शाएगा । परंतु जैसे-जैसे इसका दाब बढ़ेगा यह अपने आदर्श गैस व्यवहार से अधिकाधिक हटता जाएगा ।

11.18 4.3 g/min

11.19 3.7 kg

11.20 238 °C

11.22 9 min

अध्याय 12

12.1 16 g/min

12.2 934 J

12.4 $(2)^{7/5} = 2.64$

12.5 16.9 J

12.6 (a) 0.5 atm (b) शून्य (c) शून्य (गैस को आदर्श मानते हुए) (d) नहीं, चूंकि प्रक्रिया (जिसे मुक्त प्रसार कहते हैं) तीव्र है तथा नियंत्रित नहीं की जा सकती । अंतर अवस्थाएँ साम्य अवस्थाएँ नहीं होतीं तथा गैस समीकरण का पालन नहीं करतीं । कुछ समय के पश्चात् गैस साम्यावस्था में लौट आती है जो उसके P-V-T पृष्ठ पर स्थित होती है ।

12.7 15%, 3.1×10^{9} J

12.8 25 W

12.9 450 J

12.10 10.4

अध्याय 13

13.1 4×10^{-4}

13.3 (a) बिंदुकित आरेख 'आदर्श' गैस व्यवहार के तदनुरूपी है; (b) $T_1 > T_2$; (c) 0.26 J K^{-1} ; (d) नहीं, 6.3×10^{-5} kg H_2 से समान मान प्राप्त होगा ।

13.4 0.14 kg

13.5 5.3×10^{-6} m^3

13.6 6.10×10^{26}

13.7 (a) 6.2×10^{-21} J ; (b) 1.24×10^{-19} J ; (c) 2.1×10^{-16} J

13.8 हाँ, आवोगाद्रो नियम के अनुसार । नहीं, तीनों गैसों में सबसे हलकी गैस के लिए v_{rms} सर्वाधिक है; नियॉन ।

13.9 2.52×10^{3} K

13.10 माध्य मुक्त पथ के लिए निम्नलिखित सूत्र का उपयोग करिए

$$\bar{l} = \frac{1}{\sqrt{2}\pi n d^2}$$

यहाँ d अणु का व्यास है । दिए गए ताप तथा दाब के लिए $N/V = 5.0\times10^{25}$ m^{-3} तथा $\bar{l} = 1.0\times10^{-7}$ m ; $v_{rms} = 5.1\times10^{2}$ m s^{-1}

संघट्ट आवृत्ति $= \frac{v_{rms}}{\bar{l}} = 5.1\times10^{9}\,s^{-1}$ । संघट्ट द्वारा लिया गया समय $= \frac{d}{v_{rms}} = 4\times10^{-13}$ s । क्रमागत संघट्टों के बीच लिया गया समय $= \frac{\bar{l}}{v_{rms}} = 2\times10^{-10}$ s । इस प्रकार, क्रमागत संघट्टों के बीच का समय 1 संघट्ट में लगे समय का 500 गुना है । इस प्रकार किसी गैस का कोई अणु अवश्य ही अधिकांश समय मुक्त गति करता है ।

13.11 लगभग 24 cm पारा बाहर निकल जाता है तथा शेष पारे का 52 cm ऊँचा स्तंभ तथा 48 cm वायु का स्तंभ इसमें जुड़कर बाह्य वायुमंडलीय दाब के साथ साम्य (संतुलन) में रहते हैं (यहाँ हम यह मानते हैं कि प्रयोग की समस्त अवधि में ताप में कोई अंतर नहीं होता)।

13.12 ऑक्सीजन

13.14 कार्बन [1.29Å]; सोना [1.59Å] ; द्रवित नाइट्रोजन [1.77Å] ; लिथियम [1.73Å] ; द्रवित फ्लुओरीन [1.88Å] ।

अध्याय 14

14.1 (b), (c)

14.2 (b) तथा (c) सरल आवर्त गति; (a) तथा (d) आवर्ती गति को निरूपित करते हैं परंतु सरल आवर्त गति का निरूपण नहीं करते [किसी बहुपरमाणुक अणु की कई प्राकृतिक आवृत्तियाँ होती हैं; अत: व्यापक रूप में, इसका कंपन विभिन्न आवृत्तियों की कई सरल आवर्त गतियों का अध्यारोपण होता है । यह अध्यारोपण आवर्ती तो होता है, परंतु सरल आवर्त गति नहीं होता]।

14.3 (b) तथा (d) आवर्ती हैं जिनमें प्रत्येक का आवर्तकाल 2 s है; (a) तथा (c) आवर्ती नहीं हैं [ध्यान दीजिए, किसी गति के आवर्ती होने के लिए केवल किसी एक स्थिति की पुनरावृत्ति होना ही पर्याप्त नही होता; एक आवर्तकाल की समस्त गति की क्रमागत पुनरावृत्ति होनी चाहिए] ।

14.4 (a) सरल आवर्त गति, $T = 2\pi/\omega$; (b) आवर्ती, $T = 2\pi/\omega$ परंतु सरल आवर्त गति नहीं; (c) सरल आवर्त गति, $T = \pi/\omega$; (d) आवर्ती, $T = 2\pi/\omega$ परंतु सरल आवर्त गति नहीं; (e) अनावर्ती; (f) अनावर्ती (प्राकृतिक नियमों के अनुसार स्वीकार करने योग्य नहीं क्योंकि जैसे ही $t \to \infty$, फलन $\to \infty$)

14.5 (a) 0, +, + ; (b) 0, –, – ; (c) –, 0, 0 ; (d) –, –, – ; (e) +, +, + ; (f) –, –, –

14.6 (c) सरल आवर्त गति का निरूपण करता है ।

14.7 A = $\sqrt{2}$ cm, $\phi = 7\pi/4$; B = $\sqrt{2}$ cm, $\alpha = \pi/4$

14.8 219 N

14.9 आवृत्ति = 3.2 s^{-1}; द्रव्यमान का अधिकतम त्वरण = 8.0 m s^{-2}; द्रव्यमान की अधिकतम चाल = 0.4 m s^{-1}

14.10 (a) $x = 2 \sin 20\, t$ (b) $x = 2 \cos 20\, t$

(c) $x = -2 \cos 20\, t$

यहाँ x cm में है । इन फलनों के न तो आयाम में कोई अंतर है, और न ही आवृत्ति में कोई अंतर है । इनकी प्रारंभिक कलाओं में अंतर है ।

14.11 (a) $x = -3 \sin \pi t$, यहाँ x को cm में मापा गया है ।

(b) $x = -2 \cos \pi/2\, t$, यहाँ x को cm में मापा गया है ।

14.13 (a) (a) तथा (b) दोनों के लिए F/k

(b) (a) के लिए $T = 2\sqrt{\frac{m}{k}}$ तथा (b) के लिए $T = 2\sqrt{\frac{m}{2k}}$

14.14 100 मीटर/मिनट

14.15 8.4 s

14.16 (a) सरल लोलक के लिए k स्वयं m के अनुक्रमानुपाती है, इसलिए m निरस्त हो जाता है।

(b) $\sin\theta < \theta$; यदि प्रत्यानयन बल $mg \sin\theta$ का प्रतिस्थापन $mg\,\theta$ से कर दें, तब इसका अर्थ यह होगा कि बड़े कोणों के लिए g के परिमाण में प्रभावी कमी, तथा इस प्रकार सूत्र $T = 2\pi\sqrt{l/g}$ से प्राप्त आवर्तकाल के परिमाण में वृद्धि, जहाँ यह कल्पना की गई है कि $\sin\theta = \theta$ (जो सभी छोटे कोणीय विस्थापनों के लिए लगभग सत्य होता है ।)

(c) हाँ, क्योंकि कलाई घड़ी में आवर्तकाल (गति) कमानी-क्रिया पर निर्भर करता है, जिसका गुरुत्वीय त्वरण से कोई संबंध नहीं होता ।

(d) स्वतंत्रतापूर्वक गिरते हुए मनुष्य के लिए गुरुत्वीय त्वरण g का प्रभावी मान शून्य हो जाता है, अत: आवृत्ति शून्य है ।

14.17 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{\sqrt{g^2 + v^4/R^2}}}$; संकेत: क्षैतिज तल में कार्यरत त्रिज्य (अरीय) त्वरण के $\frac{v^2}{R}$ के कारण प्रभावी गुरुत्वीय त्वरण घट जाएगा ।

14.18 साम्यावस्था में, कॉर्क का भार उत्प्लावन बल के बराबर होता है । जब कॉर्क को x दूरी तक नीचे दबाया जाता है, तब उस पर नेट उत्प्लावन बल $Ax\rho_l g$ कार्य करता है । अत: बल स्थिरांक $k = A\rho_l g$ । अब $m = Ah\rho$ तथा $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ का उपयोग करके हम आवश्यक सूत्र प्राप्त कर सकते हैं ।

14.19 जब दोनों सिरे वायुमंडल की ओर खुले हैं तथा दोनों भुजाओं में भरे द्रवों के तलों में अंतर h है, तब द्रव–स्तंभ पर आरोपित नेट बल $Ah\rho g$ है, यहाँ A नली की अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल तथा ρ नली में भरे द्रव का घनत्व है। चूंकि प्रत्यानयन बल h के अनुक्रमानुपाती है, अतः गति सरल आवर्त है ।

14.20 $T = 2\pi\sqrt{Vm/Ba^2}$ यहाँ B वायु का आयतन प्रत्यास्थता गुणांक है। समतापी परिवर्तन के लिए $B = P$ ।

14.21 (a) $5 \times 10^4\ \text{N m}^{-1}$; (b) $1344.6\ \text{kg s}^{-1}$

14.22 संकेत : माध्य गतिज ऊर्जा $= \frac{1}{T}\int_0^T \frac{1}{2} mv^2 dt$

माध्य स्थितिज ऊर्जा $= \frac{1}{T}\int_0^T \frac{1}{2} kx^2 dt$

14.23 संकेत : किसी मरोड़ी लोलक के लिए आवर्तकाल $T = 2\pi\sqrt{I/\alpha}$, यहाँ I घूर्णन अक्ष के परितः जड़त्व आघूर्ण है। हमारे प्रकरण में $I = \frac{1}{2}MR^2$, यहाँ M चक्रिका का द्रव्यमान तथा R उसकी त्रिज्या है। दी गई राशियों के मान रखने पर, $\alpha = 2.0\ \text{N m rad}^{-1}$ ।

14.24 (a) $-5\pi^2\ \text{m s}^{-2}$; 0; (b) $-3\pi^2\ \text{m s}^{-2}$; $0.4\pi\ \text{m s}^{-1}$; (c) 0 ; $0.5\ \pi\ \text{m s}^{-1}$

14.25 $\sqrt{\left(x_0^2 + \frac{v_0^2}{\omega^2}\right)}$

अध्याय 15

15.1 0.5 s

15.2 8.7 s

15.3 $2.06 \times 10^4\ \text{N}$

15.4 आदर्श गैस नियम मान लीजिए : $P = \frac{\rho RT}{M}$

यहाँ ρ गैस का घनत्व M आण्विक द्रव्यमान तथा T ताप है।

इससे हमें $v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$ प्राप्त होता है।

इससे यह प्रदर्शित होता है कि तरंग की चाल v

(a) दाब पर निर्भर नहीं करती।

(b) ताप के साथ $\sqrt{T}$ के अनुसार बढ़ती है।

(c) जल का आण्विक द्रव्यमान (18), N_2 के आण्विक द्रव्यमान (28) तथा ऑक्सीजन के आण्विक द्रव्यमान (32) से कम है, अतः आर्द्रता में वृद्धि होने पर वायु का आण्विक द्रव्यमान घट जाता है, फलस्वरूप चाल v बढ़ जाती है।

15.5 इसका विलोम सत्य नहीं है। किसी प्रगामी तरंग के स्वीकार करने योग्य फलन के लिए एक प्रत्यक्ष आवश्यकता यह है कि यह हर समय तथा हर स्थान पर परिमित होनी चाहिए। दिए गए फलनों में से केवल फलन (c) ही इस शर्त को संतुष्ट करता है। शेष फलन संभवतया किसी प्रगामी तरंग को निरूपित नहीं कर सकते।

15.6 (a) $3.4 \times 10^{-4}\ \text{m}$ (b) $1.49 \times 10^{-3}\ \text{m}$

15.7 $4.1 \times 10^{-4}\ \text{m}$

15.8 (a) यह प्रगामी तरंग है, जो $20\ \text{m s}^{-2}$ चाल से दाएँ से बाएँ गतिशील है।

(b) $3.0\ \text{cm}, 5.7\ \text{s}^{-1}\ \text{Hz}$

(c) $\pi/4$

(d) 3.5 m

15.9 सभी ग्राफ ज्यावक्रीय हैं। इन सभी के आयाम तथा आवृत्तियाँ समान हैं, परंतु प्रारंभिक कलाएँ भिन्न हैं।

15.10 (a) $6.4\,\pi$ rad

(b) $0.8\,\pi$ rad

(c) π rad

(d) $(\pi/2)$ rad

15.11 (a) अप्रगामी तरंगें

(b) सभी तरंगों के लिए $l = 3$ m, $n = 60$ Hz तथा $v = 180$ m s^{-1}

(c) 648 N

15.12 (a) निस्पंदों को छोड़कर डोरी के अन्य सभी बिंदुओं की आवृत्ति तथा कला समान हैं, परंतु आयाम समान नहीं हैं।

(b) 0.042 m

15.13 (a) यह फलन अप्रगामी तरंग को निरूपित करता है ।

(b) किसी भी तरंग के लिए स्वीकार करने योग्य फलन नहीं।

(c) प्रगामी गुणावृत्ति तरंग।

(d) दो अप्रगामी तरंगों का अध्यारोपण।

15.14 (a) 79 m s^{-1}

(b) 248 N

15.15 347 m s^{-1}

संकेत : $v_n = \dfrac{(2n-1)v}{4l}$; किसी एक सिरे से बंद पाइप के लिए $n = 1, 2, 3, ...$

15.16 5.06 km s^{-1}

15.17 प्रथम गुणावृत्ति (मूल स्वरक), नहीं

15.18 318 Hz

15.20 (i) (a) 412 Hz (b) 389 Hz; (ii) प्रत्येक प्रकरण में 340 m s^{-1}

15.21 400 Hz, 0.875 m, 350 m s^{-1}। नहीं, क्योंकि इस प्रकरण में माध्यम के सापेक्ष प्रेक्षक तथा स्रोत दोनों गतिशील हैं।

15.22 (a) 1.666 cm, 87.75 cm s^{-1}। नहीं, तरंग प्रसारण का वेग –24 m s^{-1}।

(b) वे सभी बिंदु जिनकी दूरियाँ $n\,\lambda\,(n = \pm 1, \pm 2, \pm 3....)$ हैं, यहाँ $\lambda = 12.6$ m (बिंदु $x = 1$ cm से)।

15.23 (a) किसी स्पंद की कोई निश्चित आवृत्ति अथवा तरंगदैर्घ्य नहीं होती। परंतु उसकी (किसी अक्षेपणी माध्यम में) प्रसारण की एक निश्चित चाल होती है।

(b) नहीं

15.24 $y = 0.05 \sin(\omega t - k x)$; यहाँ $\omega = 1.61 \times 10^3$ s^{-1}, $k = 4.84$ m^{-1}; x तथा y को मीटर में मापा गया है।

15.25 45.9 kHz

15.26 1920 km

15.27 42.47 kHz

ग्रंथ सूची

पाठ्यपुस्तकें

इस पुस्तक में जिन विषयों को सम्मिलित किया गया है, उन विषयों के अतिरिक्त अध्ययन के लिए आप निम्नलिखित पुस्तकों में से एक या अधिक पुस्तकें पढ़ना चाहेंगे । यद्यपि इन पुस्तकों में से कुछ उच्च स्तर की हैं और उनमें ऐसे अनेक विषय दिए गये हैं जो इस पुस्तक में नहीं हैं ।

1 **Ordinary Level Physics**, A.F. Abbott, Arnold-Heinemann (1984).

2 **Advanced Level Physics**, M. Nelkon and P. Parker, 6th Edition Arnold-Heinemann (1987).

3 **Advanced Physics**, Tom Duncan, John Murray (2000).

4 **Fundamentals of Physics**, David Halliday, Robert Resnick and Jearl Walker, 7th Edition John Wily (2004).

5 **University Physics**, H.D. Young, M.W. Zemansky and F.W. Sears, Narosa Pub. House (1982).

6 **Problems in Elementary Physics**, B. Bukhovtsa, V. Krivchenkov, G. Myakishev and V. Shalnov, Mir Publishers, (1971).

7 **Lectures on Physics** (3 volumes), R.P. Feynman, Addision – Wesley (1965).

8 **Berkeley Physics Course** (5 volumes) McGraw Hill (1965).

   a. Vol. 1 – Mechanics: (Kittel, Knight and Ruderman)

   b. Vol. 2 – Electricity and Magnetism (E.M. Purcell)

   c. Vol. 3 – Waves and Oscillations (Frank S. Craw-ford)

   d. Vol. 4 – Quantum Physics (Wichmann)

   e. Vol. 5 – Statistical Physics (F. Reif)

9 **Fundamental University Physics**, M. Alonso and E. J. Finn, Addison – Wesley (1967).

10 **College Physics**, R.L. Weber, K.V. Manning, M.W. White and G.A. Weygand, Tata McGraw Hill (1977).

11 **Physics**: **Foundations and Frontiers**, G. Gamow and J.M. Cleveland, Tata McGraw Hill (1978).

12 **Physics for the Inquiring Mind**, E.M. Rogers, Princeton University Press (1960)

13 **PSSC Physics Course**, DC Heath and Co. (1965) Indian Edition, NCERT (1967)

14 **Physics Advanced Level**, Jim Breithampt, Stanley Thornes Publishers (2000).

15 **Physics,** Patrick Fullick, Heinemann (2000).

16 **Conceptual Physics,** Paul G. Hewitt, Addision-Wesley (1998).

17 **College Physics,** Raymond A. Serway and Jerry S. Faughn, Harcourt Brace and Co. (1999).

18 **University Physics,** Harris Benson, John Wiley (1996).

19 **University Physics,** William P. Crummet and Arthur B. Western, Wm.C. Brown (1994).

20 **General Physics,** Morton M. Sternheim and Joseph W. Kane, John Wiley (1988).

21 **Physics,** Hans C. Ohanian, W.W. Norton (1989).
22 **Advanced Physics,** Keith Gibbs, Cambridge University Press (1996).
23 **Understanding Basic Mechanics,** F. Reif, John Wiley (1995).
24 **College Physics,** Jerry D. Wilson and Anthony J. Buffa, Prentice-Hall (1997).
25 **Senior Physics, Part – I,** I.K. Kikoin and A.K. Kikoin, Mir Publishers (1987).
26 **Senior Physics, Part – II,** B. Bekhovtsev, Mir Publishers (1988).
27 **Understanding Physics,** K. Cummings, Patrick J. Cooney, Priscilla W. Laws and Edward F. Redish, John Wiley (2005)
28 **Essentials of Physics,** John D. Cutnell and Kenneth W. Johnson, John wiley (2005)

सामान्य पुस्तकें

विज्ञान के अनुदेशित तथा मनोरंजक सामान्य अध्ययन के लिए आप निम्नलिखित पुस्तकों में से कुछ पुस्तकें पढ़ना चाहेंगे । तथापि ध्यान रखिए, इनमें से कुछ पुस्तकों को लिखने का स्तर आपकी प्रस्तुत पुस्तक के स्तर से काफी उच्च रखा गया है ।

1 **Mr. Tompkins** in paperback, G. Gamow, Cambridge University Press (1967).
2 **The Universe and Dr. Einstein**, C. Barnett, Time Inc. New York (1962).
3 **Thirty years that Shook Physics**, G. Gamow, Double Day, New York (1966).
4 **Surely You're Joking, Mr. Feynman**, R.P. Feynman, Bantam books (1986).
5 **One, Two, Three… Infinity**, G. Gamow, Viking Inc. (1961).
6 **The Meaning of Relativity**, A. Einstein, (Indian Edition) Oxford and IBH Pub. Co (1965).
7 **Atomic Theory and the Description of Nature**, Niels Bohr, Cambridge (1934).
8 **The Physical Principles of Quantum Theory**, W. Heisenberg, University of Chicago Press (1930).
9 **The Physics-Astronomy Frontier**, F. Hoyle and J.V. Narlikar, W.H. Freeman (1980).
10 **The Flying Circus of Physics with Answer**, J. Walker, John Wiley and Sons (1977).
11 **Physics for Everyone** (series), L.D. Landau and A.I. Kitaigorodski, Mir Publisher (1978).
Book 1: Physical Bodies
Book 2: Molecules
Book 3: Electrons
Book 4: Photons and Nuclei.
12 **Physics can be Fun**, Y. Perelman, Mir Publishers (1986).
13 **Power of Ten**, Philip Morrison and Eames, W.H. Freeman (1985).
14 **Physics in your Kitchen Lab.**, I.K. Kikoin, MIR Publishers (1985).
15 **How Things Work : The Physics of Everyday Life**, Louis A. Bloomfield, John Wiley (2005)
16 **Physics Matters : An Introduction to Conceptual Physics,** James Trefil and Robert M. Hazen, John Wiley (2004).

पारिभाषिक शब्दावली

ढाँचा	Framework
यांत्रिकी	Mechanics
परमाण्विक	Atomic
आण्विक	Molecular
प्रकाश वैद्युत प्रभाव	Photo electric effect
क्वांटम	Quantum
प्रतिकण	Antiparticle
विषय	Discipline
प्रति-इलेक्ट्रॉन	Anti-electron
एकीकरण	Unification
न्यूनीकरण	Reduction
अवयव	Constituent
स्थूल	Macroscopic
धारणा, संकल्पना	Concept
सार्वत्रिक	Universal
प्रभावक्षेत्र	Domain
गुरुत्वाकर्षण	Gravitation
वैद्युत चुंबक	Electromagnet
अणुगति सिद्धांत	Kinetic theory
सांख्यिकीय यांत्रिकी	Statistical mechanics
ताप	Temperature
औसत	Average
माध्य	Mean
पार्थिव	Terrestrial
आकाशीय पिंड	Celestial Object
ग्रहण	Eclipse
ज्वारभाटा	Tide
ज्वालामुखी	Volcano
इन्द्रधनुष	Rainbow
परिघटना	Phenomena
अन्योन्य क्रिया	Interaction
प्रौद्योगिकी	Technology
प्रेक्षण	Observation
गुणात्मक	Qualitative
मात्रात्मक	Quantitative
पूर्वानुमान	Prediction
प्रतिरूपण	Modelling
सत्यापन	Verification
परिकल्पना	Speculation
अटकलबाजी	Conjecture
यथार्थता	Accuracy
परिशुद्धता	Precision
दीर्घवृत्तीय	Elliptical
सूर्य-केंद्रीय	Heliocentric
ग्रहीय	Planetary
कक्षा	Orbit
प्रकीर्णन	Scattering
पारस्परिक क्रिया	Interplay
खगोलीय	Astronomical
विघटनाभिक, रेडियोऐक्टिव	Radioactive
नाभिक	Nucleus
नाभिकीय संलयन	Nuclear fusion
नाभिकीय विखंडन	Nuclear fission
शृंखला अभिक्रिया	Chain reaction
बंधन ऊर्जा	Binding energy
विलोपन	Annihilation
चिरसम्मत भौतिकी	Classical Physics
संतुलन, साम्यावस्था	Equilibrium
वैद्युतगतिकी, विद्युत्-गतिकी	Electrodynamics
प्रकाशिकी	Optics
ऊष्मागतिकी	Thermodynamics
चुंबकीय क्षेत्र	Magnetic field
निकाय	System
आयनमंडल	Ionosphere
दक्षता	Efficiency
परास	Range

दृढ़ पिंड	Rigid body
विद्युत्वाही चालक	Current carrying conductor
मूल कण	Elementary particles
वायु प्रतिरोध	Air resistance
निर्वातित	Evacuated
मुक्त पतन	Free fall
आकाशगंगा	Galaxy
विश्व	Universe
भौतिक राशि	Physical quantity
अनुप्रयुक्त भौतिकी	Applied Physics
मापन	Measurement
सन्निकटन	Approximation
त्वरण	Acceleration
गुरुत्वीय त्वरण	Acceleration due to gravity
प्रतिरोध	Resistance
संचार	Communication
अनुप्रयोग	Applications
आण्विक शस्त्र	Nuclear Weapon
आण्विक शक्ति रिएक्टर	Nuclear power reactor
न्यूट्रॉन-प्रेरित विखंडन	Neutron induced fission
वैकल्पिक ऊर्जा स्रोत	Alternative energy source
जीवाश्मी ईंधन	Fossil fuel
सौर ऊर्जा	Solar energy
भूतापीय ऊर्जा	Geothermal energy
आनुवंशिक अभियांत्रिकी	Genetic engineering
आघात	Impact
चक्रदोला (गोल चक्र)	Merry go round
पेशीय बल	Muscular force
स्पर्शीय बल	Contact force
घर्षण	Friction
कमानी	spring
तनाव	tension
उत्प्लावकता	buoyancy
श्यानता	Viscous force
पृष्ठ तनाव	Surface tension
सूक्ष्म प्रभाव क्षेत्र	Microscopic domain
अंतराण्विक	Intermolecular
अंतरपरमाण्विक	Interatomic
मूल बल	Fundamental force
प्रत्यास्थ बल	Elastic force
व्युत्पन्न बल	Derived force
आनुभविक नियम	Empirical law
अनुक्रमानुपाती	Directly proportional
व्युत्क्रमानुपाती	Inversely proportional
कृत्रिम उपग्रह	Artificial satellites
मंदाकिनीय गुच्छे	Galactic cluster
विजातीय आवेश	Unlike charges
सजातीय आवेश	Like charges
प्रतिकर्षण बल	Repulsive force
आवेशयुक्त संघटन	Charged constituents
तात्क्षणिक	Instantaneous
अभिलंबवत्	Normally
ऊर्ध्वाधर	Vertical
लंबवत्	Perpendicularly
क्षैतिज	Horizontal
माध्यम	Medium
गतिकी	Dynamics
तरंग सिद्धांत	Wave theory
विकिरण	Radiation
ब्राउनी गति	Brownian motion
आपेक्षिकता का विशिष्ट सिद्धांत	Special theory of relativity
भौतिकविद्	Physicist
द्रव्यमान-ऊर्जा तुल्यता	Mass-energy equivalence
आपेक्षिकता का व्यापक सिद्धांत	General theory of relativity
उद्दीपित उत्सर्जन	Stimulated emission
कृष्णिका	Black body
ब्रह्मांडिकी	Cosmology
स्थूल बोसॉन	Massive boson
क्रांतिक	Critical
उदासीन	Neutral
निरस्त	Cancel
आंतरिक	Intrinsic
उत्सर्जित, निर्गत	Emitted
बोस-आइंस्टाइन सांख्यिकी	Bose-Einstein Statistics
फर्मी-डिरॉक सांख्यिकी	Fermi-Dirac Statistics
मैक्सवैल-बोल्ट्ज़मान सांख्यिकी	Maxwell-Boltzamann Statistics
पाउली अपवर्जन सिद्धांत	Pauli exclusion principle
प्रचक्रण	Spin
अर्धपूर्णांक	Half integer
उच्च ऊर्जा संघट्ट	High energy collision
नाभिकीय प्रक्रिया	Nuclear process
क्षय	Decay
विनिमय	Exchange
संवेग	Momentum
आवेग	Impulse

संरक्षण	Conservation
प्रतिक्षेप	Recoil
अनंत	Infinity
यांत्रिक ऊर्जा	Mechanical energy
गतिज ऊर्जा	Kinetic energy
स्थितिज ऊर्जा	Potential energy
वियुक्त निकाय	Isolated system
ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम	First law of thermodynamics
रूपांतरण	transformation
अभिकारक	Reactant
उत्पाद	Product
अविनाशी	Indestructible
पुनर्व्यवस्था	Rearrangement
ऊष्माक्षेपी	Exothermic
ऊष्माशोषी	Endothermic
द्रव्यमान-क्षति	Mass defect
आंकिक रूप से	Numerically
अदिश	Scalar
सदिश	Vector
रैखिक	Linear
कोणीय	Angular
समता	Parity
विचित्रता	Strangeness
अस्तित्व	Existence
सममिति	Symmetry
समरूप	Identical
स्थानांतरीय	Translational
विस्थापन	Displacement
दिक्काल	Space and time
समदैशिकता	Isotropy
अमूर्त	Abstract
मूर्त	Concrete
मूल मात्रक	Fundamental unit
व्युत्पन्न मात्रक	Derived unit
गुणज (अपवर्त्य)	Multiples
अपवर्तक	Submultiples
पूर्वलग्न	Prefix
ऊष्मागतिक ताप	Thermodynamic temperature
स्वेच्छगृहीत	Arbitraily chosen
लंबन, पैरेलैक्स	Parallax
कोणीय व्यास	Angular diameter
अंतर्ग्रह	Inferior planets
प्रसर कोण	Elongation
खगोलीय मात्रक	Astronomical unit
संसूचक	Detector
संग्रहण	Reception
प्रतिध्वनि	Echo
बाह्य ग्रह	Exterior planets
अर्धदीर्घ अक्ष	Semi major axis
कक्षीय अवधि	Orbital period
विभेदन	Resolution
पुंज	Beam
सुरंगन सूक्ष्मदर्शिका	Tunnelling microscopy
एकीकृत परामाण्वीय द्रव्यमान (संहति) मात्रक	Unified atomic mass unit
जड़त्वीय द्रव्यमान	Inertial mass
गुरुत्वीय द्रव्यमान	Gravitational mass
सार्थक अंक	Significant figures
विमीय सूत्र	Dimensional formulae
विमीय समीकरण	Dimensional equation
यादृच्छिक त्रुटियाँ	Random errors
अल्पत्मांक त्रुटियाँ	Least count error
सुबाह्य	Portable
परिक्रमा, परिक्रमण	Revolution
पथ लंबाई	Path length
संपाती	Coincide
मूल बिंदु	Origin
परिमाण	Magnitude
दिशा	Direction
सरल रेखीय गति	Rectilinear motion
एक-विमीय गति	One dimensional motion
पश्चगामी	Backward
अग्रवर्ती	Forward
ऊर्ध्वगामी, उपरिमुखी	Upward
अधोगामी, अधोमुखी	Downward
तद्नुरूप	Corresponding
औसत वेग	Average velocity
औसत चाल	Average speed
मानक अंकन	Standard notation
प्रवणता	Slope
तात्क्षणिक वेग	Instanteneous velocity
अनंत: सूक्ष्म	Infinitesimally small
संबद्ध	Connecting

अवकल गणित	Differential calculus
अवकल गुणांक	Differential coefficient
स्पर्श रेखा	Tangent
सीमांत प्रक्रिया	Limiting process
आंकड़े	Data
यथार्थ व्यंजक	Exact expression
समय का फलन	Function of time
नत समतल	Inclined plane
तात्क्षणिक त्वरण	Instantaneous acceleration
औसत त्वरण	Average acceleration
रोचक लक्षण	Interesting feature
निष्कोण	Smooth
अंकीय औसत	Arithmetic average
विषम अंक	Odd number
क्रमिक अंतराल	Successive interval of time
रोधन दूरी	Stopping distance
ब्रेकिंग दूरियाँ	Braking distances
प्रतिक्रिया काल	Reaction time
उभयनिष्ठ	Common point
परवलय	Parabola
बीजगणित	Algebra
दहन उत्पाद	Products of combustion
नियत दिशा	Constant direction
स्थिर लिफ्ट	Stationary lift
प्रेक्षक	Observer
शुद्ध गतिक	Kinematic
शुद्ध गतिकी	Kinematics
घूर्णन	Rotation
आलेखी विधि	Graphical Method
विश्लेषणात्मक विधि	Analytical method
अदिश गुणनफल	Scalar Product or dot product
सदिश गुणनफल	Vector-product or cross product
प्रक्षेप्य	Projectile
एकसमान वृत्तीय गति	Uniform circular motion
दिशात्मक दृष्टिकोण	Directional aspect
दिक्स्थान	Space
समतल	Plane
परिमाप	Perimeter
परम मान	Absolute value
सदिशों का योग संबंधी-त्रिभुज का नियम	Triangle law of vector-addition
सदिशों का योग संबंधी चतुर्भुज का नियम	Parallelogram law of vector-addition
"शीर्ष एवं पुच्छ" नियम	"Head and Tail" rule
स्थिति सदिश	Position vector
विस्थापन सदिश	Displacement vector
वेग सदिश	Velocity vector
त्वरण सदिश	Acceleration vector
एकांक सदिश	Unit vectors
सदिशों के जोड़ का साहचर्य नियम	Associative law of vector-addition
क्रम-विनिमेय नियम	Commutative law
वितरण का नियम	Distributive law
संपाती	Coincide
समतुल्यता	Equality
शून्येतर	Non-zero
दक्षिणावर्ती नियम	Right hand rule
त्रिकोणमिति	Trigonometry
निर्देशांक	Co-ordinates
उन्नयन कोण	Angle of elevation
अवनमन कोण	Angle of declination
व्यंजक	Expression
ज्या-नियम	Law of sine
कोज्या-नियम	Law of cosine
त्रिज्यीय	Radial
निर्देश-तंत्र	Frame of reference
फलन	Function
समकालिक	Simultaneous
उड्डयन काल	Time of flight
चट्टान	Cliff
अभिकेंद्र बल	Centripetal force
अभिकेंद्र त्वरण	Centripetal acceleration
आवर्त काल	Time period
आवृत्ति	Frequency
कोणीय चाल	Angular speed
खाँचा	Groove
अध्यारोपण	Superposition
गुरुत्वीय विभव	Gravitational potential
भ्रामकता	Fallacy
संवेग संरक्षण	Conservation of momentum
साम्यावस्था	Equilibrium
जड़त्वीय फ्रेम	Inertial frame
छद्म बल	Pseduo-force

परिवर्ती	Variable
आनत तल	Inclined plane
अरस्तू	Aristotle
युगांतरीय	Epochal
सार्वभौमिक	Universal
नेट	Net
संघट्ट, टक्कर	Collision
जड़त्व	Inertia
आघूर्ण	Moment
आंतरिक बल	Internal force
सौर परिवार	Solar system
उपग्रह	Satellite
विरूपण	Deformation
युग्म	Pair
अंतरातारकीय	Interstellar space
क्षणिक, क्षण	Instant
प्रत्यास्थ	Elastic
अप्रत्यास्थ	Inelastic
गतिक प्रतिक्रिया	Kinetic reaction
गतिज घर्षण	Kinetic friction
विलगित, वियुक्त, पृथक	Isolated
बहुभुज	Polygon
प्रतिक्षेप, प्रतिक्षिप्त	Recoil
कुंडलित कमानी	Coiled Spring
उत्प्लावन, उत्प्लावकता	Buoyancy
उत्प्लावन बल	Buoyant force
संपीडन	Compression
प्रत्यानयन बल	Restoring force
प्रसर कोण दैर्घ्यवृद्धि	Elongation
श्यान बल	Viscous force
कमानी बल	Spring force
विन्यास, संरूपण	Configuration
अवितान्य	Inextensible
सूक्ष्म, सूक्ष्मदर्शनीय, सूक्ष्मदर्शीय	Microscopic
स्थैतिक घर्षण	Static friction
समुपस्थित गति	Impending motion
गतिक घर्षण	Dynamic friction
सर्पी घर्षण	Sliding friction
सीमांत मान	Limiting value
लोटनिक घर्षण	Rolling friction
बॉल-बेयरिंग	Ball-bearing
स्नेहक	Lubricant
स्नेहन	Lubrication
त्वरित फ्रेम	Accelerated frame
कोरिऑलिस बल	Coriolis force
निरपेक्ष विराम	Absolute rest
तुल्यता	Equivalence
प्रणोद	Thrust
दहनशील गैस	Combustion gas
निष्कासित गैस	Ejected gas
बल निर्देशक आरेख	Free body diagram
व्यापकीकरण	Generalisation
संकुचन	Contraction
आंतरिक ऊर्जा	Internal energy
असंरक्षी	Non-conservative
प्रक्षेप पथ	Trajectory
संरूपण	Configuration
मंदक	Moderator
प्रतिक्षेपहीन उत्सर्जन	Recoilless emission
जालक (लैटिस)	Lattice
कोणीय संवेग	Angular momentum
वामावर्त	Anticlockwise
कोणीय त्वरण	Angular acceleration
क्षेत्रीय वेग	Areal velocity
सममित अक्ष	Axis of symmetry
द्विअंगी निकाय	Binary system
दक्षिणावर्त	Clockwise
बलयुग्म	Couple
केंद्रक	Centroid
आलंब	Fulcrum
गतिपालक चक्र	Fly wheel
पटल	Lamina
उत्तोलक-भुजा	Lever arm
संपर्क रेखा	Line of contact
जड़त्वाघूर्ण	Moment of inertia
अभिविन्यास	Orientation
दृढ़ वस्तु	Rigid body
परिभ्रमण त्रिज्या	Radius of gyration
घूर्णीय गतिज ऊर्जा	Rotational kinetic energy
बल आघूर्ण	Torque
प्रमेय	Theorem
तनाव	Tension
स्पर्श रेखीय	Tangential
अक्षीय घूर्णन	Axial rotation
ऊँचाई	Altitude

कृत्रिम	Artificial
शिलाखंड, खंडाश्य	Boulder
कृष्ण विवर	Black hole
कृष्णिका	Black body
रसभरी	Berry
बंधन ऊर्जा	Binding energy
तारामंडल	Constellations
निर्देशांक निकाय	Coordinate system
केंद्राभिमुखी	Centripetal
संप्रेषण	Communication
आंकड़े	Data base
अधिचक्र	Epicycle
दीर्घवृत्त	Ellipse
भूमध्यवर्ती उभार	Equational bulge
पलायन चाल	Escape speed
लिफ्ट	Elevator
नाभि	Foci
भूकेंद्री	Geocentric
भूस्थैतिक	Geostationary
भूसमकालिक	Geosynchronous
अर्धगोलीय	Hemisphere
अतिपरिवलय	Hyperbola
तादम्य	Identity
व्युत्क्रम	Inverse
बृहस्पति	Jupiter
अक्षांश	Latitude
मंगल	Mars
बुध	Mercury
कक्षा	Orbit
आवर्तिता	Periodicity
प्लूटो	Pluto
अध्यारोपण	Superposition
सार्वत्रिक नियम	Universal law
शुक्र	Venus
भारहीनता	Weightlessness
भार	Weight
आंतरिक संरचना	Internal structure
अभिलाक्षणिक गुण	Characteristic properties
इमारती खंड	Building blocks
पृथकन	Separation
अतिव्यापन	Overlapping
घातांक	Power
असार्थक	Inaccurate
तरल यांत्रिकी	Machanics of fluids
वृहदणु	Macromolecule
अंतर्परिक्षिप्त	Inter-dispersed
अक्रिस्टलीय	Amorphous
क्रिस्टलाणु	Crystallite
अंश क्रिस्टलीय ठोस	Semi-crystalline solid
विकृति (अपरूपण)	Strain
उभयनिष्ठ	Common to two
सर्वनिष्ठ	Common to all
चित्रांकन	Picturisation
परीक्षण निदर्श (प्रादर्श)	Experimental sample
भंगुर	Brittle
पराभव बिंदु	Yield point
पराभव सामर्थ्य	Yield strength
चरम सामर्थ्य	Ultimate strength
तनन सामर्थ्य	Tensile strength
आघातवर्ध्य	Ductile
सुघट्य क्षेत्र	Plastic region
प्रत्यास्थ शैथिल्य	Elastic hysteresis
क्रियात्मक	Operational
व्यावर्तन (ऐंठन)	Twist
चल द्रवीय	Hydraulic
मिश्रित	Composite
वायुमंडलीय	Atmospheric
वायुगतिकी	Aerodynamics
बहि:स्राव	Efflux
तुल्यांक	Equivalent
बुलबुला	Bubble
तरल	Fluid
तरलगतिकी	Fluid Dynamics
प्लवन	Floatation
अंशांकित	Calibrated
संपीड्य	Compressible
केशिका	Capillary
युक्ति	Device
गेज़ दाब	Gauge pressure
अघूर्णी	Irrotational
धारारेखी प्रवाह	Streamline flow
पृष्ठ तनाव	Surface tension
पृष्ठ ऊर्जा	Surface energy
प्रक्षोभ	Turbulence

अंतिम वेग	Terminal velocity
संरचना	Constitution
विसरण	Diffusion
स्वातंत्र्य-कोटि	Degree of freedom
द्वि-परमाणुक	Diatomic
समविभाजन	Equipartition
परिकल्पना	Hypothesis
अणुक	Molar
एक-परमाणुक	Monatomic
औसतमुक्त पथ	Mean free path
सूक्ष्मदर्शी	Microscope
आविर्भाव	Manifestation
प्रावस्था संक्रमण	Phase transition
बहु-परमाणुक	Polyatomic
पराग कण	Pollen grain
वर्ग-माध्यमूल चाल	Root mean square speed
दृढ़-घूर्णी	Rigid rotator
विशिष्ट ऊष्मा	Specific heat
दूरबीन, दूरदर्शी	Telescope
कंपनीय ऊर्जा	Vibrational energy
टेढ़ा-मेढ़ा	Zig zag
ऊष्मीय	Thermal
ऊष्मा	Heat
परम ताप मापक्रम	Absolute scale of temperature
परम शून्य	Absolute zero
आदर्श गैस	Ideal gas
रेखीय प्रसार गुणांक	Coefficient of linear expansion
आयतन प्रसार गुणांक	Coefficient of volume expansion
प्रतिवेश	Surroundings (of the system)
ऊर्जा के समविभाजन का नियम	Law of equipartition of energy
समतापीय	Isothermal
रुद्धोष्म	Adiabatic
प्रावस्थाएँ	Phases (solid, liquid, gas)
अनंत सूक्ष्म	Infinitesimal
साम्य रेखा	Equilibrium line
यांत्रिक साम्यता	Mechanical equilibrium
ऊष्मीय साम्यता	Thermal equilibrium
सह-अस्तित्व	Co-existence
ऊष्माशय	Reservoir (of heat)
अभिगम	Sink (of heat)
प्रशीतक	Refrigerator
निष्पादन गुणांक	Coefficient of performance
आदर्शीकृत उत्क्रमणीय प्रक्रम	Idealised reversible process
असममिति	Asymmetry
अर्ध स्थिर	Semi-static
अक्षयकारी बल	Conservative force
कार्नो इंजन	Carnot engine
कार्नो चक्र	Carnot cycle
क्षयकारी बल	Dissipative force
सूक्ष्म संघटक	Microscopic constituent
ऊष्माधारिता	Thermal capacity, Heat capacity
ग्राम-अणुक आयतन	Molar volume (22.4 L at STP)
अवशोषित	Absorbed
क्वथनांक	Boiling point
गलनांक	Melting point
ऊष्मारोधी	Heat Insulator
रुद्धोष्म भित्ति (दीवार)	Adiabatic wall
तापमिति	Thermometry
तापयुग्म	Thermocouple
ऊष्मीय प्रसार	Thermal expansion
स्थिर आयतन तापमापी	Constant volume thermometer
असंपीड्यता	Incompressibility
संघनित	Condensed
यंग गुणांक/यंग प्रत्यास्थता गुणांक	Young's Modulus
सन्निकटन	Approximation
ऊष्मीय प्रतिबल	Thermal stress
संपीडन विकृति	Compressive strain
अनुप्रस्थ काट	Cross section
ऊष्मामापी, कैलोरीमीटर	Calorimeter
मोलीय विशिष्ट ऊष्मा	Molar specific heat
तापस्थायी	Thermostat
सुस्पष्ट	Distinct
समताप रेखा	Isotherm
स्थैतिककल्प	Quasi-static
केल्विन मापक्रम	Kelvin scale
समआयतनिक	Isochoric
संचरण	Conduction
संवहन	Convection
विकिरण	Radiation

ऊष्मा संचरण	Thermal conduction
ऊष्मा संवहन, संवहन	Thermal convection
ऊष्मा विकिरण	Thermal Radiation
ऊष्मीय संपर्क	Thermal contact
स्थायी अवस्था	Stationary state
ऊष्मा चालकता	Thermal conductivity
ताप प्रवणता	Temperature gradient
उत्सर्जन	Emission
अवशोषण	Absorption
परावर्तन	Reflection
पारगमन	Transmission
अवशोषकता	Absorptivity
उत्सर्जकता	Emissivity
परावर्तकता	Reflectivity
किरखोफ का नियम	Kirchhoff's law
बोल्ट्ज़मान-स्टेफॉन का नियम	Boltzmann-Stefan's law
वीन-विस्थापन नियम	Wein's displacement law
शीतलन	Cooling
दीप कज्जल	Lamp black
उत्तापमापी	Pyrometer
सौर ऊष्मांक	Solar constant
प्रकीरण	Scattered
आवर्ती गति	Periodic motion
सरल आवर्त गति	Simple harmonic motion
अवमंदित गति	Damped motion
प्रणोदित दोलन	Forced oscillations
युग्मित दोलक	Coupled oscillator
गोलक	Bob
कोणांक	Argument
कंपन	Vibration
काल	Period
भूकंपी तरंगें	Seismic wave
वैद्युत चुंबकीय तरंगें	Electromagnetic wave
द्रव्य तरंगें	Matter wave
चर	Variable
संदर्भ (कण)	Reference (particle)
प्रक्षेप	Projection
त्रिज्य (घटक)	Radial (component)
लय, ताल	Rhythm
विस्पंद	Beats
स्वातंत्र्य कोटि	Degree of freedom
विधा	Mode
माडुलन	Modulation
कर्षण	Drag
ऐंठन कोण	Angle of twist
(फूरिये) विश्लेषण	(Fourier) Analysis
अनुप्रस्थ तरंग	Transverse wave
अनुदैर्घ्य तरंग	Longitudinal wave
प्रगामी तरंग	Progressive wave
व्यतिकरण	Interference
दोलन	Oscillation
विक्षोभ	Disturbance
वाक्-तंतु	Vocal cords
अंतर-तारकीय आकाश	Inter-stellar space
सूक्ष्म तरंगें	Microwaves
पराबैंगनी प्रकाश	Ultraviolet light
क्वांटम यांत्रिकीय	Quantum mechanical
आवर्ती दोलन	Harmonic oscillation
स्पंद	Pulse
ज्यावक्रीय फलन	Sinusoidal function
कोज्या वक्र	Cosine curve
अप्रगामी तरंग	Stationary wave
अपरूपण विकृति	Shearing strain
केशिकात्वीय तरंगें	Capillary waves
गुरुत्व तरंगें	Gravity waves
कोणीय तरंग संख्या	Angular wave number
कोणीय आवृत्ति	Angular frequency
कला-कोण	Phase angle
तरंग फलन	Wave function
तरंगदैर्घ्य	Wavelength
गर्त	Trough
शीर्ष, शिखर	Crest
तानित डोरी	Stretched string
आयतन प्रत्यास्थता गुणांक	Bulk modulus
संपोषी व्यतिकरण	Constructive interference
विनाशी व्यतिकरण	Destructive interference
निस्पंद	Nodes
प्रस्पंद	Antinodes
मूल विधा	Fundamental mode
प्रथम गुणावृत्ति	First harmonic
द्वितीय गुणावृत्ति	Second harmonic
गुणावृत्ति श्रेणी	Harmonic series
गुणावृत्ति संख्या	Harmonic number
अनुनाद	Resonance

पूरक पाठ्य सामग्री

अध्याय 9

9.6.5 प्वासों अनुपात

अनुभाग 9.6.2 में वर्णित यंग गुणांक प्रयोग में सावधानीपूर्वक किए गए परीक्षणों से ज्ञात होता है कि तनाव के अन्तर्गत किसी तार के अनुप्रस्थ परिच्छेद (अथवा उसके व्यास) में कुछ कमी होती है। प्रयुक्त बल के लम्बवत दिशा में होने वाली विकृति को **पार्श्विक विकृति** कहते हैं। सिमोन प्वासों ने यह निर्धारित किया था कि प्रत्यास्थता सीमा में पार्श्विक विकृति अनुदैर्घ्य विकृति के समानुपाती होती है। किसी तानित तार में पार्श्विक विकृति तथा अनुदैर्घ्य विकृति का अनुपात **प्वासों अनुपात** कहलाता है। यदि किसी तार का मूल व्यास d तथा प्रयुक्त प्रतिबल की दशा में व्यास में संकुचन Δd है, तो पार्श्विक विकृति $\Delta d/d$ होगी। यदि इस तार की मूल लंबाई L तथा प्रयुक्त प्रतिबल की स्थिति में लंबाई में वृद्धि ΔL है, तो अनुदैर्घ्य विकृति $\Delta L/L$ है। अत: प्वासों अनुपात $(\Delta d/d)/(\Delta L/L)$ अथवा $(\Delta d/\Delta L) \times (L/d)$ होगा। प्वासों अनुपात दो विकृतियों का अनुपात है। अत: यह एक संख्या है तथा इसकी कोई विमा अथवा मात्रक नहीं होता। इसका मान पदार्थ की प्रकृति पर ही निर्भर करता है। स्टील के लिए इस अनुपात का मान 0.28 तथा 0.30 के मध्य होता है। एल्युमीनियम की मिश्रधातुओं के लिए इसका मान लगभग 0.33 होता है।

9.6.6 तानित तार में प्रत्यास्थ स्थैतिक ऊर्जा

जब किसी तार पर तनन प्रतिबल आक्षेपित किया जाता है, तो अंत:परमाण्विक बलों के विरुद्ध कार्य किया जाता है। यह कार्य तार में प्रत्यास्थ स्थैतिक ऊर्जा के रूप में संग्रहित हो जाता है। कोई L मूल लंबाई तथा A अनुप्रस्थ परिच्छेद क्षेत्रफल के एक तार की लंबाई के परित: किसी विकृतकारी बल F लगाने पर माना कि लंबाई में l वृद्धि हो जाती है, तब समीकरण (9.8) से हमें $F = YA \times (l/L)$ प्राप्त होता है। यहाँ Y तार के पदार्थ का यंग गुणांक है। अब इस तार की लंबाई में अत्यन्त सूक्ष्म dl मात्रा से पुन: वृद्धि कराने के लिए प्रयुक्त कार्य dW का मान $F \times dl$ अथवा $YAl\,dl/L$ होगा। अत: किसी तार को उसकी मूल लंबाई L से $L + l$ तक अर्थात् $l = 0$ से $l = l$ तक बढ़ाने में किया गया कार्य (W) –

$$W = \int_0^l \frac{YAl}{L} dl = \frac{YA}{2} \times \frac{l^2}{L}$$

$$W = \frac{1}{2} \times Y \times \left(\frac{l}{L}\right)^2 \times AL$$

$$= \frac{1}{2} \times \text{ यंग गुणांक} \times \text{विकृति}^2 \times \text{तार का आयतन}$$

$$= \frac{1}{2} \times \text{ प्रतिबल} \times \text{विकृति} \times \text{तार का आयतन}$$

यह कार्य तार में प्रत्यास्थ स्थैतिक ऊर्जा (U) के रूप में संग्रहित हो जाती है। अत: तार में पदार्थ की प्रति एकांक आयतन प्रत्यास्थ स्थैतिक ऊर्जा (u) निम्न है –

$$u = \frac{1}{2} \times \sigma\varepsilon \qquad \text{(A1)}$$

अध्याय 10

क्रांतिक वेग

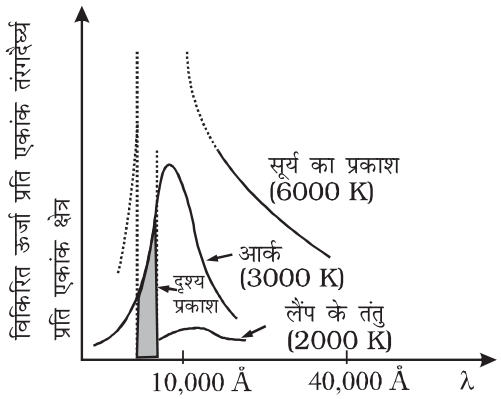
(भौतिकी, कक्षा-11 भाग 2 पाठ्यपुस्तक के अध्याय 10, पृष्ठ 268 पर दूसरे कॉलम के अन्तिम पैराग्राफ से पहले पढ़ा जाए)

किसी नलिका में द्रव के उस अधिकतम वेग जिस पर प्रवाह धारारेखीय रहता है, को **क्रांतिक वेग** कहते हैं। समीकरण (10.21) से इसका मान $v_c = R_e \times \eta / (\rho \times d)$ होता है।

अध्याय 11

11.9.4 कृष्णिका विकिरण

अब तक हमने उष्मा विकिरण के तरंगदैर्घ्य के पक्ष का उल्लेख नहीं किया है। किसी ताप पर उष्मा विकिरण के विषय में महत्त्वपूर्ण बात यह है कि विकिरण में मात्र एक ही (या कतिपय) तरंगदैर्घ्य नहीं होते हैं, बल्कि इसमें कम तरंगदैर्घ्य से लेकर अधिक तरंगदैर्घ्य के बीच उसका सतत् स्पैक्ट्रम होता है। तथापि विभिन्न तरंगदैर्घ्यों के लिए विकिरित उष्मा की ऊर्जा की मात्रा भिन्न-भिन्न होती है। चित्र A1 विभिन्न तापों पर किसी कृष्णिका के एकांक क्षेत्र द्वारा एकांक तरंगदैर्घ्य पर उत्सर्जित विकिरित ऊर्जा तथा तरंगदैर्घ्य के मध्य प्रायोगिक वक्र दर्शाता है।



चित्र *A1:* कृष्णिका द्वारा विभिन्न तापों पर उत्सर्जित ऊर्जा तथा तरंगदैर्घ्य के मध्य खींचे गए वक्र।

इस बात पर गौर कीजिए कि तरंगदैर्घ्य λ_m जिसके लिए विकिरित ऊर्जा सर्वाधिक है, ताप बढ़ने पर घटती है। λ_m तथा T के मध्य संबंध को **वीन-विस्थापन नियम** कहते हैं-

$$\lambda_m T = \text{नियतांक} \qquad \text{(A1)}$$

नियतांक (वीन नियतांक) का मान 2.9×10^{-3} m K होता है। यह नियम इस बात की व्याख्या करता है कि जब लोहे के किसी टुकड़े को अग्नि में गर्म करते हैं, तो उसका रंग पहले हलका लाल, फिर रक्ताभ पीला और अंत में सफेद क्यों हो जाता है। वीन-नियम का उपयोग खगोलीय पिंडों, जैसे- चाँद, सूर्य या अन्य तारों की सतह के ताप का अनुमान लगाने में करते हैं। चंद्रमा से प्रकाश की सबसे अधिक तीव्रता 14 μm तरंगदैर्घ्य के आसपास होती है। वीन-नियम से चन्द्रमा की सतह का ताप 200 K अनुमानित किया गया है। सौर विकिरण की अधिकतम तीव्रता $\lambda_m = 4753$ Å पर होती है। इसके अनुसार $T = 6060$ K। याद रखिए कि यह ताप सूर्य की सतह का है न कि उसके आंतरिक (भीतरी) भाग का।

चित्र A1 में दर्शाए गए कृष्णिका विकिरण वक्रों से संबंधित सर्वाधिक विशिष्ट बात यह है कि ये वक्र *सार्वत्रिक* होते हैं। ये कृष्णिका के केवल ताप पर निर्भर करते हैं न कि उसके आकार, आकृति या पदार्थ पर। बीसवीं शताब्दी के प्रारंभ में कृष्णिका के विकिरण को सैद्धांतिक रूप से व्याख्या करने के लिए जो प्रयास किए गए उन्होंने भौतिकी में क्वांटम क्रांति की प्रेरणा दी। इसके विषय में आप आगे अपने पाठ्यक्रम में पढ़ेंगे।

विकिरण द्वारा ऊर्जा बिना माध्यम के (अर्थात् निर्वात में) बहुत दूरियों तक स्थानान्तरित की जा सकती है। परम ताप T पर किसी वस्तु द्वारा उत्सर्जित कुल विद्युत चुम्बकीय ऊर्जा उसके आकार, उसकी उत्सर्जित करने की क्षमता (जिसे उत्सर्जकता कहते हैं) और विशेष रूप से उसके ताप के समानुपाती होती है। एक वस्तु के लिए जो पूर्ण उत्सर्जक है, प्रति इकाई समय में उत्सर्जित ऊर्जा (H) होगी-

$$H = A\sigma T^4 \qquad \text{(A2)}$$

जहाँ A वस्तु का क्षेत्रफल है तथा T उसका परमताप है। इस सम्बन्ध को पहले स्टेफॉन ने प्रयोगों से निकाला तथा बाद में बोल्ट्समान ने सैद्धांतिक रूप से सिद्ध किया। इसे **स्टेफॉन बोल्ट्समान नियम** तथा नियतांक σ को स्टेफॉन-बोल्टसमान नियतांक कहते हैं। SI मात्रक पद्धति में इसका मान 5.67×10^{-8} W m^{-2} K^{-4} होता है। अधिकतर वस्तुएँ समीकरण (A2) में दी गई उष्मा की दर का कुछ अंश ही उत्सर्जित करती हैं। दीप कज्जल जैसे पदार्थों द्वारा उत्सर्जित उष्मा की दर ही इस सीमा के करीब होती है। इस कारण 'एक' विमाहीन अंश e जिसे वस्तु की **उत्सर्जकता** कहते हैं, को परिभाषित करते हैं और समीकरण (A2) को निम्न प्रकार से व्यक्त करते हैं-

$$H = Ae\sigma T^4 \qquad \text{(A3)}$$

किसी आदर्श विकिरक के लिए $e = 1$ होता है। उदाहरण के तौर पर टंगस्टन लैम्प के लिए e का मान लगभग 0.4 होता है। इस तरह 0.3 cm^2 पृष्ठ क्षेत्रफल तथा 3000K ताप वाला टंगस्टन लैम्प निम्नलिखित दर से उष्मा विकिरित करेगा-

$$H = 0.3 \times 10^{-4} \times 0.4 \times 5.67 \times 10^{-8} (3000)^4 = 60 \text{ W}$$

T ताप वाली कोई वस्तु जिसके चारों ओर के वातावरण का ताप T_S है, ऊर्जा का अवशोषण तथा उत्सर्जन दोनों करती है। अत: किसी आदर्श विकिरक से विकिरित उष्मा के क्षय (हानि) की नेट दर निम्नलिखित सूत्र से व्यक्त की जाएगी –

$$H = \sigma A (T^4 - T_s^4)$$

उस वस्तु के लिए जिसकी उत्सर्जकता e है, उपरोक्त सूत्र निम्न प्रकार से रूपांतरित हो जाएगा –

$$H = e\sigma A (T^4 - T_s^4) \qquad \text{(A4)}$$

उदाहरणार्थ, आइए, हम अपने शरीर से उत्सर्जित उष्मा की गणना करें। मान लीजिए किसी व्यक्ति के शरीर का पृष्ठ क्षेत्रफल लगभग 1.9 m^2 है तथा कमरे का ताप 22°C है। जैसाकि हम जानते हैं, शरीर का आंतरिक ताप 37°C होता है। माना, त्वचा का ताप 20°C है। प्रासंगिक विद्युत चुम्बकीय विकिरण क्षेत्र में त्वचा की उत्सर्जकता 'e' लगभग 0.97 है। इस उदाहरण से उष्मा हानि की दर–

$$H = 5.67\times10^{-8}\times1.9\times0.97\times\{(301)^4-(295)^4\}$$
$$= 66.4\ \text{W}$$

जो विराम अवस्था में शरीर द्वारा उत्पन्न ऊर्जा की दर (120 W) के आधे से थोड़ा अधिक है। उष्मा के इस क्षय को कारगर तरीके से रोकने के लिए आधुनिक आर्कटिक कपड़े (आम कपड़ों से अच्छे) इस प्रकार बनाए जाते हैं कि शरीर की त्वचा के साथ एक अतिरिक्त पतली चमकदार धातुई परत होती है, जो शरीर के विकिरण को परावर्तित कर देती है।

11.9.5 ग्रीनहाउस प्रभाव

पृथ्वी की सतह उष्मा विकिरण का स्रोत है, क्योंकि यह सूर्य से प्राप्त ऊर्जा अवशोषित करती है। इस विकिरण का तरंगदैर्घ्य, दीर्घ तरंगदैर्घ्य (अवरक्त) क्षेत्र में होता है, परंतु इस विकिरण का अधिकतम अंश ग्रीनहाउस गैसों द्वारा अवशोषित हो जाता है। ये गैस हैं – कार्बन डाइऑक्साइड (CO_2), मेथैन (CH_4), नाइट्रसऑक्साइड (N_2O), क्लोरोफ्लोरोकार्बन (CF_xCl_x) तथा क्षोभमंडलीय ओज़ोन (O_3)। इसके फलस्वरूप वायुमण्डल गर्म हो जाता है, जो पृथ्वी को और अधिक ऊर्जा देती है और पृथ्वी की सतह और गर्म हो जाती है। इससे पृथ्वी की सतह से विकिरण की तीव्रता बढ़ जाती है। उपरोक्त वर्णित प्रक्रियाओं का चक्र तब तक चलता है, जब तक अवशोषण के लिए कोई ऊर्जा शेष न हो। नेट प्रभाव, पृथ्वी की सतह तथा वायुमण्डल का और गर्म होना है। इसे **ग्रीनहाउस प्रभाव** कहते हैं। यदि यह प्रभाव नहीं होता तो पृथ्वी का ताप –18°C होता।

मानविक गतिविधियों के कारण वायुमंडल में ग्रीनहाउस गैसों की सांद्रता बढ़ गई है, जिससे पृथ्वी और गर्म हो जाती है। एक अनुमान के अनुसार सांद्रता में इस वृद्धि से इस शताब्दी के आरंभ से अब तक पृथ्वी का ताप औसतन 0.3°C से 0.6°C बढ़ गया है। अगली शताब्दी के मध्य तक भूमण्डलीय ताप वर्तमान की तुलना में 1°C से 3°C अधिक होगा। इस विश्वव्यापी उष्णता से मानव जीवन,पौधों तथा जानवरों को खतरा है। इस उष्णता से बर्फ छत्रक तेज़ी से पिघल रहे हैं, समुद्र तल ऊपर जा रहा है तथा मौसम का पैटर्न बदल रहा है। कई तटीय शहरों पर डूबने का खतरा मंडरा रहा है। ग्रीनहाउस प्रभाव से रेगिस्तान का प्रसार हो सकता है। पूरे विश्व में विश्वव्यापी उष्णता के प्रभाव को कम करने के प्रयास किए जा रहे हैं।