प्रयोग 15

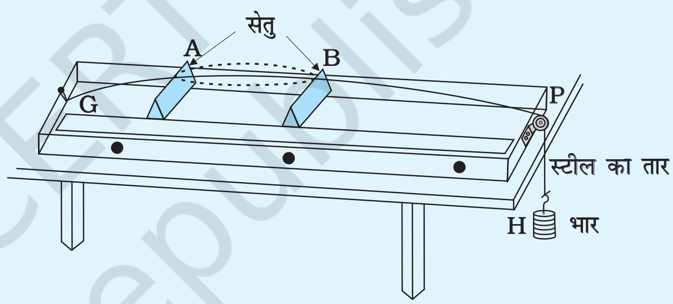
उद्देश्य

(i) स्वरमापी द्वारा नियत तनाव के अधीन किसी दिए गए तार की लंबाई एवं आवृत्ति के बीच संबंध का अध्ययन करना।

(ii) स्वरमापी द्वारा किसी नियत आवृत्ति के लिए दिए गए तार की लंबाई तथा तनाव के बीच संबंध का अध्ययन करना।

उपकरण

स्वरमापी, ज्ञात आवृत्ति के छः स्वरित्र द्विभुज, मीटर स्केल, रबर पैड, पेपर-राइडर, आधे किलोग्राम के बाटों सहित हैंगर, लकड़ी के सेतु।



चित्र E 15.1 स्वरमापी

स्वरमापी

इसमें चित्र E 15.1 में दर्शाए अनुसार एक लंबा ध्वनि बोर्ड अथवा लकड़ी का खोखला बॉक्स होता है जिसके एक सिरे पर एक खूँटी G तथा दूसरे सिरे पर एक घिरनी जड़ी होती है। धातु के तार S का एक सिरा खूँटी से बंधा होता है तथा दूसरा सिरा घिरनी P के ऊपर से गुज़रता है। तार के इस सिरे पर हैंगर लगाकर उससे भार लटकाया जाता है। भार द्वारा इस तार पर तनाव लगाया जाता है। तार के नीचे दो सेतु A तथा B रखकर कंपायमान तार की लंबाई नियत की जा सकती है। इनमें से किसी एक सेतु (जैसे A) की स्थिति स्थिर रखते हैं जिससे सेतु B की स्थिति को परिवर्तित करने पर तार की कंपायमान लंबाई परिवर्तित की जा सके।

सिद्धांत

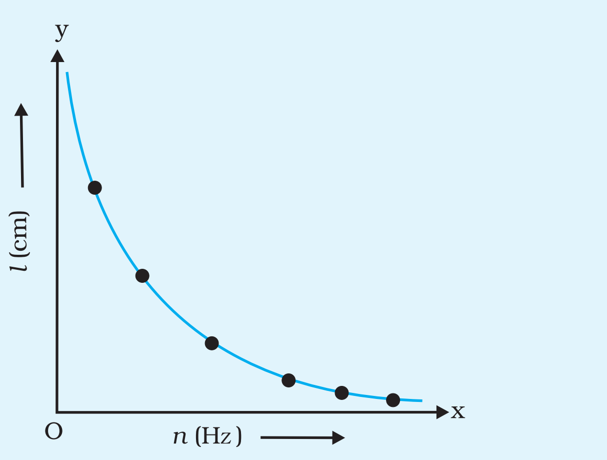
किसी l लंबाई की डोरी की अपनी मूल विधा में कंपन करने की आवृत्ति n को इस प्रकार व्यक्त किया जाता है–

$$n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}} \qquad \text{(E 15.1)}$$

यहाँ m = डोरी की प्रति एकांक लंबाई का द्रव्यमान

l = दो वेज (सेतु) के बीच डोरी की लंबाई

© NCERT not to be republished



चित्र E 15.2 *स्वरित्र द्विभुज की आवृत्ति में परिवर्तन के साथ अनुनाद लंबाई में परिवर्तन*

T = डोरी में तनाव (हैंगर के भार सहित) = Mg

M = निलंबित द्रव्यमान (हैंगर के द्रव्यमान सहित)

(a) किसी दिए गए m तथा नियत T, के लिए,

$$n \alpha \frac{1}{l} \quad \text{अथवा} \quad n\,l = \text{स्थिरांक}$$

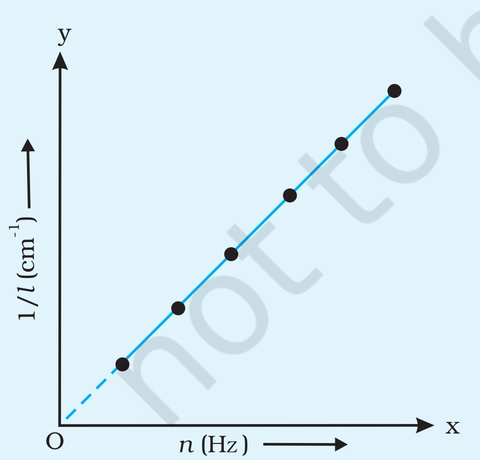
(b) यदि आवृत्ति n नियत है, तो दिए गए तार के लिए (m स्थिर है),

$\frac{\sqrt{T}}{l}$ नियत रहता है। अर्थात $l^2 \propto T$

(i) लंबाई में परिवर्तन के साथ आवृत्ति में परिवर्तन

कार्यविधि

1. स्वरमापी को मेज पर व्यवस्थित करके घिरनी के खाँचे को भली-भाँति साफ़ कीजिए ताकि इसमें निम्नतम घर्षण हो। हैंगर पर उचित बाट लटकाकर तार को तनाव दीजिए।
2. n_1 आवृत्ति के स्वरित्र द्विभुज को रबर-पैड पर धीरे-से मारकर कंपित कीजिए और इसे अपने एक कान के समीप लाइए। स्वरमापी के तार को झंकृत कीजिए और इससे उत्पन्न स्वर की तुलना स्वरित्र द्विभुज द्वारा उत्पन्न स्वर से कीजिए।
3. सेतु B को सरकाकर तार की कंपायमान लंबाई इस प्रकार समायोजित कीजिए कि दोनों स्वर (ध्वनियाँ) समान प्रतीत हों।
4. अंतिम समायोजन के लिए तार AB के मध्य में एक छोटा पेपर राइडर R रखिए। स्वरित्र द्विभुज में ध्वनि उत्पन्न कीजिए और इसके दंड स्तंभ को स्वरमापी के बॉक्स अथवा सेतु A पर रखिए। धीरे-धीरे सेतु B की स्थिति को तब तक समायोजित कीजिए जब तक कि पेपर राइडर R तीक्ष्ण रूप से उत्तेजित न हो जाए। यह अनुनाद को इंगित करता है। तार की A तथा B के बीच की लंबाई अनुनाद-लंबाई होती है जो उस स्थिति में होता है जब कंपित तार की मूल विधा में कंपन की आवृत्ति स्वरित्र द्विभुज की कंपन की आवृत्ति के समान होती है। मीटर स्केल द्वारा इस लंबाई को मापिए।
5. उपरोक्त क्रियाविधि को अन्य पाँच स्वरित्र द्विभुजों के साथ हैंगर पर बाटों को अपरिवर्तित रखते हुए दोहराइए। n तथा l के बीच ग्राफ़ आलेखित कीजिए (चित्र E 15.2)।
6. प्रत्येक स्वरित्र के लिए आवृत्ति का परिकलन करने के पश्चात् चित्र E 15.3 में दर्शाए अनुसार n तथा $1/l$ के बीच, यहाँ l तार की अनुनाद-लंबाई है, ग्राफ़ आलेखित कीजिए।



चित्र E 15.3 *n के साथ 1/l में परिवर्तन*

© NCERT not to be republished

प्रेक्षण (A)

तार पर तनाव (नियत-हैंगर के अपने भार सहित उस पर लटके बाट के कारण) $T = \ldots N$

सारणी E 15.1– लंबाई के साथ आवृत्ति में परिवर्तन

स्वरित्र द्विभुज की आवृत्ति (Hz)	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5	n_6
अनुनाद लंबाई l (cm)						
$\frac{1}{l}(cm^{-1})$						
nl (Hz cm)						

परिकलन तथा ग्राफ़

प्रत्येक स्वरित्र द्विभुज के लिए $n\,l$ परिकलित कीजिए तथा अनुनाद लंबाई l के व्युत्क्रम $\frac{1}{l}$ को परिकलित कीजिए। n को x अक्ष के अनुदिश तथा $\frac{1}{l}$ को y अक्ष के अनुदिश लेकर दोनों अक्षों पर शून्य से आरंभ करके n तथा $\frac{1}{l}$ के बीच ग्राफ़ आलेखित कीजिए। यह देखिए कि क्या आलेखित बिंदुओं के मध्य से होकर मूल बिंदु से गुज़रने वाली सरल रेखा खींची जा सकती है?

परिणाम

यह जाँच कीजिए कि क्या प्रायोगिक त्रुटियों की सीमा के भीतर गुणनफल $n\,l$ एक स्थिरांक है तथा n एवं $\frac{1}{l}$ के बीच ग्राफ़ एक सरल रेखा भी है। अत: किसी दिए गए तनाव के लिए किसी दी गई तानित डोरी की अनुनाद लंबाई आवृत्ति के व्युत्क्रम के अनुपात में परिवर्तित होती है।

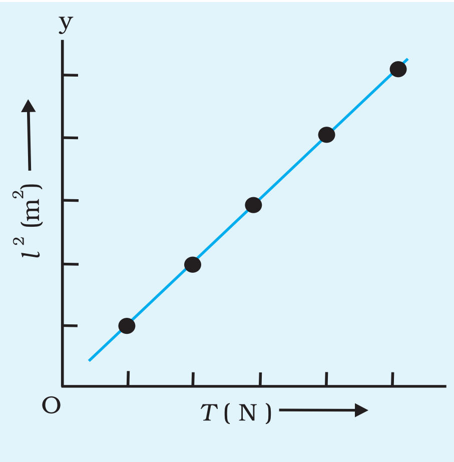
परिचर्चा

1. लंबाई l की माप में त्रुटियाँ हो सकती हैं। अंतिम समस्वरण में सेतुओं के समायोजन में सदैव अनिश्चितता रहती है।

2. घिरनी में घर्षण हो सकता है अत: डोरी में तनाव वास्तविक भार से कम होता है।

3. हो सकता है कि तार का अनुप्रस्थ परिच्छेद एकसमान न हो।

© NCERT not to be republished



चित्र E 15.4 *l^2 तथा T के बीच ग्राफ़*

(ii) नियत आवृत्ति के लिए तनाव के साथ अनुनाद लंबाई में परिवर्तन

1. किसी निश्चित आवृत्ति (जैसे 256 Hz) के स्वरित्र द्विभुज का चयन कीजिए तथा हैंगर से 1kg का बाट लटकाइए। पहले बताई जा चुकी विधि के अनुसार तार की अनुनाद लंबाई ज्ञात कीजिए।
2. 0.5 kg के चरणों में हैंगर पर बाटों में वृद्धि कीजिए तथा हर बार समान स्वरित्र द्विभुज के लिए अनुनाद लंबाई ज्ञात कीजिए। ऐसा कम-से-कम चार बाटों के लिए कीजिए।
3. अपने प्रेक्षणों को सारणीबद्ध कीजिए।
4. चित्र E 15.4 में दर्शाए अनुसार l^2 तथा T के बीच ग्राफ़ खींचिए।

प्रेक्षण (B)

स्वरित्र द्विभुज की आवृत्ति = ... Hz

सारणी E 15.2- तनाव के साथ अनुनाद लंबाई में परिवर्तन

अनुप्रयुक्त तनाव (हैंगर के भार सहित)(N)					
तार की अनुनाद लंबाई l (cm)					
l^2 (cm^2)					
T/l^2 (N/cm^2)					

परिकलन तथा ग्राफ़

हर स्थिति के लिए T/l^2 का मान परिकलित कीजिए। विकल्प के रूप में, l^2 को y-अक्ष के अनुदिश तथा T को x-अक्ष के अनुदिश लेकर l^2 एवं T के बीच ग्राफ़ आलेखित कीजिए।

परिणाम

यह पाया जाता है कि प्रायोगिक त्रुटियों की सीमा में T/l^2 का मान नियत रहता है। l^2 तथा T के बीच ग्राफ़ एक सरल रेखा है। यह दर्शाता है कि $l^2 \propto T$ अथवा $l \propto \sqrt{T}$ ।

इस प्रकार किसी दी गई आवृत्ति के लिए तानित डोरी के कंपन की अनुनाद लंबाई उस पर अनुप्रयुक्त तनाव के वर्गमूल के अनुक्रमानुपाती होती है।

सावधानियाँ

1. घिरनी पूर्णत: घर्षण रहित होनी चाहिए। व्यवहार में ग्रीज़ या अन्य स्नेहक पदार्थ लगाकर घिरनी का घर्षण निम्नतम किया जाता है?

© NCERT not to be republished

2. तार में कोई ऐंठन नहीं होनी चाहिए तथा इसका अनुप्रस्थ परिच्छेद एकसमान होना चाहिए। यदि तार में ऐंठन हो तो यथासंभव तार को खींचकर उन्हें समाप्त कर देना चाहिए।
3. सेतु तार के लंबवत् होने चाहिए। इनकी ऊँचाई इस प्रकार समायोजित की जानी चाहिए कि सेतु पर निस्पंद बने?।
4. स्वरित्र द्विभुज को रबर पैड से धीरे-से टकराकर कंपमान करना चाहिए।
5. प्रयोग के पश्चात् हैंगर से बाटों को हटा लेना चाहिए।

त्रुटियों के स्रोत

1. हो सकता है कि घिरनी घर्षणहीन न हो।
2. हो सकता है कि तार दृढ़ एवं एकसमान अनुप्रस्थ परिच्छेद का न हो।
3. सेतु की सुरधार तीक्ष्ण न हो।

परिचर्चा

1. लंबाई l की माप में त्रुटियाँ हो सकती हैं। अंतिम समस्वरण में सेतुओं के समायोजन में सदैव अनिश्चितता रहती है।
2. घिरनी में घर्षण हो सकता है अत: डोरी में तनाव अनुप्रयुक्त वास्तविक तनाव (भार) से कम होता है।
3. हो सकता है कि तार का अनुप्रस्थ परिच्छेद एकसमान न हो।
4. स्वरित्र द्विभुज को केवल उसके दंड स्तंभ से ही पकड़ना चाहिए।

स्व-मूल्यांकन

1. तरंगों का अध्यारोपण नियम क्या है?
2. अप्रगामी तरंगें क्या होती हैं?
3. अप्रगामी तरंगें किन परिस्थितियों में उत्पन्न होती हैं?
4. अपने स्वरमापी की डोरी में निस्पंद तथा प्रस्पंद की पहचान कीजिए।
5. दो सिरों पर स्थिर किसी तानित डोरी में उत्पन्न प्रथम तीन सनादियों की आवृत्तियों में क्या अनुपात होता है?
6. तार का पदार्थ तथा तनाव नियत रखते हुए यदि तार के व्यास में वृद्धि कर दें, तो तार की अनुनाद लंबाई किस प्रकार परिवर्तित होगी?

सुझाए गए अतिरिक्त प्रयोग/क्रियाकलाप

1. समान पदार्थ परंतु तीन विभिन्न व्यासों के तार लेकर किसी दी गई आवृत्ति n तथा तनाव T के लिए प्रत्येक तार के लिए l का मान ज्ञात कीजिए।
2. प्रयोग के प्रथम भाग में प्राप्त मानों के आधार पर m को x अक्ष के अनुदिश लेकर m तथा $\frac{1}{l^2}$ के बीच ग्राफ़ आलेखित कीजिए।
3. सितार, वायलिन, गिटार जैसे तानिक डोरी वाले वाद्य यंत्रों की डोरियों (तारों) की विभिन्न लंबाईयों को समान तनाव में रखकर अथवा समान लंबाई को विभिन्न तनावों पर रखकर झंकृत कीजिए। यह प्रेक्षण कीजिए कि इन यंत्रों द्वारा उत्पन्न ध्वनियों (कंपनों) की आवृत्ति में क्या अंतर आता है।

© NCERT not to be republished

प्रयोग 16

उद्देश्य

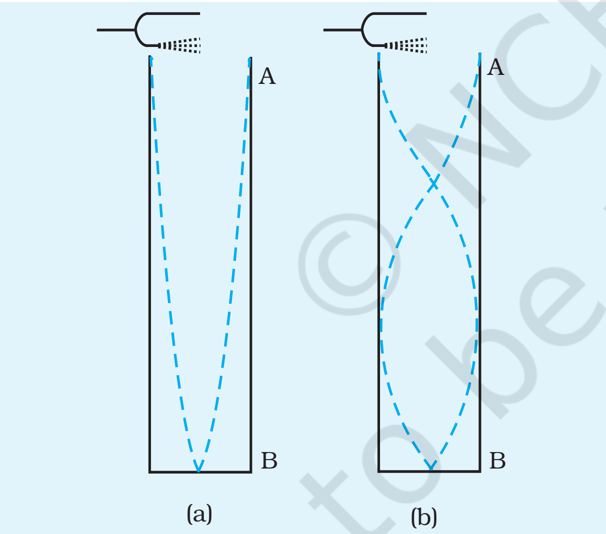
अनुनाद नली द्वारा कक्ष ताप पर वायु में ध्वनि का वेग ज्ञात करना।

उपकरण तथा सामग्री

अनुनाद नली उपकरण, ज्ञात आवृति का स्वरित्र द्विभुज (480 Hz अथवा 512 Hz को प्राथमिकता), रबर-पैड, थर्मामीटर, स्पिरिट लेविल, सेट-स्क्वेयर, बीकर तथा जल।

सिद्धांत

जब ज्ञात आवृति υ का कोई कंपायमान स्वरित्र द्विभुज किसी काँच की नली AB (चित्र E 16.1) में वायु स्तंभ के शीर्ष पर लाया जाता है, तो नली में अप्रगामी तरंग पैटर्न उत्पन्न हो जाता है। उचित परिस्थितियों के अधीन नली में प्रगामी तथा परावर्तित तरंगों का अध्यारोपण होता है जिसके फलस्वरूप नली में अनुनाद उत्पन्न होता है। इसके कारण आयाम में उल्लेखनीय वृद्धि होती है और तीव्र ध्वनि सुनाई देती है। अनुनाद नली जैसी किसी बंद वाद्य नली में बंद सिरे पर एक शून्य आयाम बिंदु होता है (चित्र E 16.2)। अनुनाद होने के लिए खुले सिरे पर एक प्रस्पंद तथा बंद सिरे पर एक निस्पंद बनना चाहिए। मान लीजिए वायु स्तंभ की लंबाई l_1 पर पहली तीव्र ध्वनि सुनायी देती है [चित्र E 16.2(a)]। अर्थात जब लंबाई l_1 के वायु स्तंभ की मूल आवृति स्वरित्र द्विभुज की मूल आवृति के बराबर हो जाती है, तो वायु स्तंभ अधिकतम आयाम से कंपन करने लगता है। वास्तव में कंपन करने वाले वायु स्तंभ की लंबाई नली AB में वायु स्तंभ की वास्तविक लंबाई से कुछ अधिक होती है। इस प्रकार



चित्र E 16.1 एक सिरे पर बंद काँच की किसी नली AB में अप्रगामी तरंग का बनना

$$\frac{\lambda}{4} = l_1 + e \qquad \text{(E 16.1)}$$

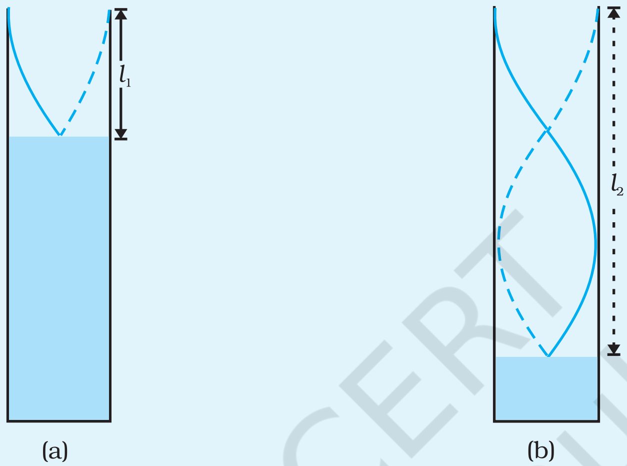
यहाँ e (= 0.6r, यहाँ r = काँच की नली की त्रिज्या) अनुनाद नली का अंत्य संशोधन है तथा λ स्वरित्र द्विभुज द्वारा उत्पन्न ध्वनि की तरंग दैर्घ्य है। अब नली AB के बंद सिरे को और नीचे ले जाने पर मान लीजिए नली में वायु स्तंभ की लंबाई l_2 होने पर दोबारा अनुनाद स्थिति में तीव्र ध्वनि सुनायी देती है [चित्र E. 16.2(b)]। तब यह लंबाई l_2 स्वरित्र द्विभुज द्वारा उत्पन्न ध्वनि की 3/4 तरंग दैर्घ्य के लगभग बराबर होगी।

अर्थात् $\frac{3\lambda}{4} = l_2 + e$ (E 16.2)

समीकरण (E 16.1) को समीकरण (E 16.2) से घटाने पर हमें प्राप्त होता है–

$\lambda = 2\,(l_2 - l_1)$ (E 16.3)

इस प्रकार कक्ष ताप पर वायु में ध्वनि के वेग $(\upsilon = \nu\lambda)$ को निम्न संबंध द्वारा व्यक्त किया जा सकता है, $\upsilon = 2\nu\,(l_2 - l_1)$



चित्र E 16.2 अनुनाद नली में कंपन

© NCERT not to be republished

क्रियाविधि

अनुनाद नली का समायोजन

इस उपकरण में लगभग एक मीटर लंबी तथा 5 cm व्यास की पतली काँच की एक नली लकड़ी के स्टैंड पर ऊर्ध्वाधर स्थिति में दृढ़तापूर्वक जुड़ी होती है। इस नली का निचला सिरा रबर की नली द्वारा एक जलकुंड से जुड़ा होता है। क्लैंप की सहायता से एक ऊर्ध्वाधर छड़ के अनुदिश इस जलकुंड को ऊपर-नीचे सरकाया जा सकता है। रबर की नली के साथ एक पिंच-कॉक जुड़ी होती है जो नली में जल के तल (अथवा वायुस्तंभ की लंबाई) को नियत रखती है। नली AB के अनुदिश एक मीटर स्केल भी जुड़ी होती है। यह समस्त उपकरण तली में समतलकारी पेंच लगे भारी क्षैतिज आधार से जड़ा होता है। कांच की नली तथा जलकुंड दोनों में जल भरा होता है। जब जलकुंड को ऊपर उठाते हैं तो नली में वायुस्तंभ की लंबाई घट जाती है तथा जब नीचे ले जाते है तो वायुस्तंभ की लंबाई बढ़ जाती है। अब

1. उपकरण की नली में लगे समतल पेचों तथा स्पिरिट लेविल की सहायता से अनुनाद नली को ऊर्ध्वाधर समायोजित कीजिए।
2. थर्मामीटर द्वारा कक्ष ताप नोट कीजिए।
3. दिए गए स्वरित्र द्विभुज की आवृति ν नोट कीजिए।

4. ऊर्ध्वाधर छड़ पर जलकुंड को क्लैंप की सहायता से अधिकतम ऊँचाई पर स्थित कीजिए।

प्रथम अनुनाद स्थिति का निर्धारण

5. जलकुंड में इतना जल भरिए कि नली में जल का तल उसके खुले सिरे तक पहुंचे।

6. पिंच कॉक को बंद कीजिए तथा ऊर्ध्वाधर छड़ पर जलकुंड को नीचे लाइए।

7. दिए गए स्वरित्र द्विभुज को धीरे-से रबर पैड से टकराइए और फिर उसे नली के शीर्ष से लगभग 1 cm ऊपर रखिए। स्वरित्र द्विभुज की दोनों भुजाओं को एक के ऊपर दूसरी रखते हुए भू-तल के समांतर रखिए ताकि भुजाएँ ऊर्ध्वाधर तल में कंपन करें। नली में उत्पन्न हो रही ध्वनि को ध्यान से सुनिए। हो सकता है इस स्थिति में यह सुनायी देने योग्य न हो।

8. पिंच कॉक को बहुत धीरे-से ढीला कीजिए तथा नली में जल के तल को बहुत धीरे-से कम होने दीजिए तथा कंपन करते स्वरित्र द्विभुज को अनुनाद नली के खुले सिरे के निकट लाकर ध्वनि की तीव्रता में होती वृद्धि को ध्यान से नोट कीजिए।

9. प्रयोग के चरण (7) तथा (8) को उस समय तक दोहराइए जब तक आप नली में जल के तल की उस यथार्थ स्थिति तक न पहुँच जाएँ जिस पर नली में उत्पन्न ध्वनि की तीव्रता अधिकतम हो। यदि वायुस्तंभ की लंबाई निम्नतम है तो यह स्थिति मूल स्वर अथवा प्रथम अनुनाद स्थिति के तद्नुरूप है। इस स्थिति पर पिंच कॉक को बंद कर दीजिए तथा जल के तल अथवा नली में वायुस्तंभ की लंबाई l_1 को नोट कीजिए (चित्र E 16.2)। यह उस समय की अनुनाद की प्रथम स्थिति का निर्धारण है।

10. प्रथम अनुनाद स्थिति की पुष्टि करने के लिए चरण (5) से (9) को दोहराइए।

11. अब, कंपन करते स्वरित्र द्विभुज को निरंतर नली के खुले सिरे पर रखते हुए अनुनाद नली में धीरे-धीरे जल का तल ऊपर उठाते हुए पहली अनुनाद स्थिति दोबारा ज्ञात कीजिए।

द्वितीय अनुनाद स्थिति का निर्धारण

12. पिंच कॉक को खोलकर ऊर्ध्वाधर स्टैंड पर लगे जलकुंड की स्थिति को नीचे सरकाते हुए अनुनाद नली में जल के तल को इतना नीचे लाइए कि अनुनाद नली में वायुस्तंभ की लंबाई पहली लंबाई l_1 की लगभग तीन गुनी हो जाए।

13. आवृति ν_1 के उसी स्वरित्र द्विभुज के साथ नली में द्वितीय अनुनाद स्थिति ज्ञात कीजिए तथा वायुस्तंभ की लंबाई l_2 निर्धारित कीजिए। लंबाई l_2 के लिए चार पाठ्यांक लीजिए–दो जल का तल गिरते हुए तथा अन्य दो जब नली में जल का तल ऊपर उठ रहा हो।

14. आवृति ν_2 का दूसरा स्वरित्र द्विभुज लेकर क्रियाविधि के चरण (5) से (13) को दोहराइए तथा अनुनाद की प्रथम तथा द्वितीय स्थितियों का निर्धारण कीजिए।

15. प्रत्येक प्रकरण में वायु में ध्वनि का वेग परिकलित कीजिए।

© NCERT not to be republished

प्रेक्षण

1. कक्ष का ताप θ = ... °C
2. प्रथम स्वरित्र द्विभुज की आवृति ν_1 = ... Hz
3. द्वितीय स्वरित्र द्विभुज की आवृति ν_2 = ... Hz

सारणी E 16.1 अनुनाद वायुस्तंभों की लंबाइयों का निर्धारण

उपयोग किए गए स्वरित्र द्विभुज की आवृत्ति	क्र. सं.	प्रथम अनुवाद स्थिति के लिए नली में जलस्तंभ की लंबाई l_1			द्वितीय अनुवाद स्थिति के लिए नली में जलस्तंभ की लंबाई l_1		
		जल का स्तर गिरते हुए	जल का स्तर ऊपर चढ़ते हुए	माध्य लंबाई l_1 (cm)	जल का स्तर गिरते हुए	जल का स्तर ऊपर चढ़ते हुए	माध्य लंबाई l_2 (cm)
ν_1 = .. Hz	1						
	2						
ν_2 = .. Hz	1						
	2						

परिकलन

(i) पहले स्वरित्र द्विभुज के लिए जिसकी आवृत्ति ν_1 = ... Hz

वायु में ध्वनि का वेग $\upsilon_1 = 2\ \nu_1\ (l_2 - l_1)$ = ... ms^{-1}

(ii) दूसरे स्वरित्र द्विभुज के लिए जिसकी आवृत्ति ν_2 = ... Hz

वायु में ध्वनि का वेग $\upsilon_2 = 2\nu_2\ (l_2 - l_1)$ = ... ms^{-1}

इनका औसत वेग υ प्राप्त कीजिए।

परिणाम

कक्ष ताप पर ध्वनि का वेग $\frac{\upsilon_1 + \upsilon_2}{2}$ = ... ms^{-1}

सावधानियाँ

1. समतलकारी पेचों द्वारा अनुनाद नली को ऊर्ध्वाधर बनाना चाहिए।
2. प्रयोग को कोलाहल मुक्त परिवेश में करना चाहिए ताकि अनुनाद स्थिति की उचित पहचान हो सके।
3. स्वरित्र द्विभुज को रबर पैड पर बहुत धीरे-से टकराना चाहिए।

© NCERT not to be republished

4. अनुनाद नली में जल के स्तर का घटना अथवा बढ़ना बहुत धीरे-धीरे होना चाहिए।
5. स्वरित्र द्विभुजों की आवृत्तियों का चयन इस प्रकार किया जाना चाहिए कि अनुनाद नली के वायुस्तंभ में दो अनुनाद अवस्थाएँ प्राप्त की जा सकें।
6. कंपन करते स्वरित्र द्विभुज को अनुनाद नली के शीर्ष से लगभग 1 cm ऊपर रखना चाहिए। किसी भी स्थिति में इसे नली को स्पर्श नहीं करना चाहिए।
7. कंपन करते स्वरित्र द्विभुज की दोनों भुजाएँ एक-दूसरे के ऊपर तथा भू-तल के समांतर होनी चाहिए ताकि नली में कंपन ऊर्ध्वाधर प्रवेश करे।
8. प्रयोग की अवधि में कक्ष ताप दो-तीन बार नोट करना चाहिए तथा उनका औसत मान ज्ञात करना चाहिए।

त्रुटियों के स्रोत

1. नली के भीतर की वायु पूर्णत: शुष्क न हो तथा नली में जलवाष्प की उपस्थिति के कारण वायुस्तंभ ध्वनि के वेग का कुछ अधिक मान दर्शा सकता है।
2. अनुनाद नली के अनुप्रस्थ परिच्छेद का क्षेत्रफल हर बिंदु पर एकसमान होना चाहिए।
3. कमरे में वायु प्रवाह नहीं होना चाहिए।

परिचर्चा

1. द्वितीय अनुनाद की स्थिति में ध्वनि की प्रबलता प्रथम अनुनाद की स्थिति की तुलना में कम होती है। हम इस प्रयोग में अनुनाद की दो स्थितियाँ अंत्य संशोधन से बचने के लिए ज्ञात करते हैं। परंतु इस प्रयोग को प्रथम अनुनाद स्थिति ज्ञात करके उसकी अनुनाद लंबाई में अंत्य संशोधन $e = 0.6r$ का अनुप्रयोग करके भी संपन्न किया जा सकता है।
2. किसी दिए गए स्वरित्र द्विभुज के लिए द्वितीय अनुनाद में वायुस्तंभ की लंबाई में परिवर्तन होने पर ध्वनि की आवृति, तरंग दैर्घ्य तथा वेग में कोई परिवर्तन नहीं होता। अत: द्वितीय अनुनाद प्रथम अनुनाद का अधिस्वरक नहीं है।

स्व-मूल्यांकन

1. क्या ध्वनि का वेग ताप पर निर्भर करता है? यदि हाँ, तो संबंध लिखिए।
2. क्या होगा, यदि अनुनाद नली ऊर्ध्वाधर नहीं है?
3. इस प्रयोग में अनुनाद के लिए उत्तरदायी परिघटना का नाम लिखिए।
4. दैनिक जीवन से अनुनाद के कोई अन्य दो उदाहरण दीजिए।

© NCERT not to be republished

सुझाए गए अतिरिक्त प्रयोग/क्रियाकलाप

1. अनुनाद नली में अंत्य संशोधन परिकलित कीजिए।
2. विभिन्न व्यास की अनुनाद नलियों के लिए अंत्य संशोधनों की तुलना कीजिए तथा नली के व्यास एवं अंत्य संशोधन के बीच संबंध का अध्ययन कीजिए।
3. उपरोक्त प्रयोग को दोनों सिरों पर खुली नली के साथ कीजिए।

© NCERT not to be republished

प्रयोग 17

उद्देश्य

मिश्रण विधि द्वारा दिए गए (i) ठोस तथा (ii) द्रव की विशिष्ट ऊष्मा धारिता निर्धारित करना।

उपकरण तथा सामग्री

ढक्कन, विलोड़क तथा रोधी आच्छदन सहित कॉपर कैलोरीमीटर (ढक्कन में विलोडक के साथ-साथ थर्मामीटर को टाँगने का प्रावधान होना चाहिए), दो थर्मामीटर (0 °C से 100 °C या 110 °C जिनके अल्पतमांक 0.5 °C हों), पीतल/ताँबा/स्टील/ऐलुमिनियम धातु का ठोस सिलिंडर जो दिए द्रव अथवा जल में विलेय न हो, दिया गया द्रव, दो बीकर (100 mL तथा 250 mL), गरम करने की युक्ति (हीटर/तप्तप्लेट, गैस बर्नर), भौतिक तुला, कमानीदार तुला, बाट पेटी (अंश बाटों सहित), प्रबल धागा (25-30 cm लंबा) जल, प्रयोगशाला स्टैंड, त्रिपाद स्टैंड, तार की जाली।

सिद्धांत

द्रव्यमान m तथा विशिष्ट ऊष्मा धारिता s के किसी पिंड के ताप में जब Δt की गिरावट/वृद्धि होती है तो उसके द्वारा खोई ऊष्मा/प्राप्त ऊष्मा ΔQ को इस प्रकार व्यक्त किया जाता है–

$$\Delta Q = ms\,\Delta t \qquad \text{(E 17.1)}$$

विशिष्ट ऊष्मा धारिता– यह ऊष्मा की वह मात्रा है जो किसी पदार्थ के एकांक द्रव्यमान के ताप में 1°C (अथवा 1K) की वृद्धि करने के लिए आवश्यक होती है। इसका मात्रक $\text{Jkg}^{-1}\,\text{K}^{-1}$ है।

कैलोरीमिति का सिद्धांत– जब विभिन्न तापों के पिंड तापीय संपर्क में लाए जाते हैं तो तापीय साम्य में उच्च ताप के पिंड द्वारा खोई ऊष्मा की मात्रा निम्न ताप के पिंड द्वारा प्राप्त ऊष्मा की मात्रा के बराबर होती है, यदि इस निकाय द्वारा परिवेश में ऊष्मा का कोई ह्रास न हो।

(a) मिश्रण विधि द्वारा दिए गए ठोस की विशिष्ट ऊष्मा धारिता का निर्धारण।

कार्यविधि

1. भौतिक तुला को समायोजित कीजिए और यह सुनिश्चित कीजिए कि इसमें शून्यांक त्रुटि न हो।

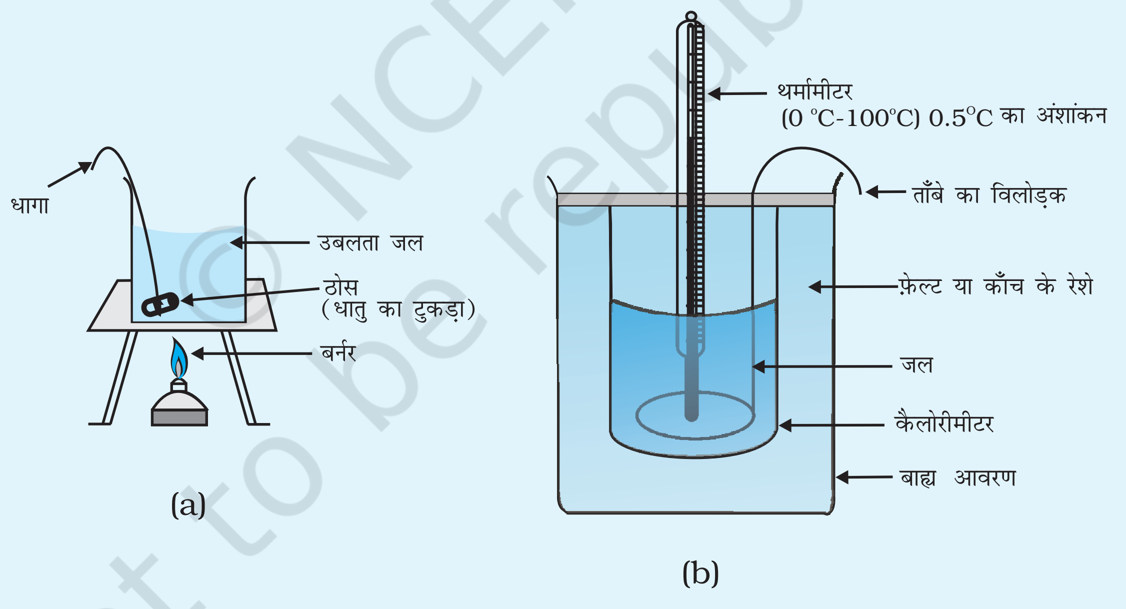
2. भौतिक तुला/कमानीदार तुला द्वारा खाली कैलोरीमीटर को विलोड़क व ढक्कन सहित

© NCERT not to be republished

तौलिए। सुनिश्चित कीजिए कि कैलोरीमीटर साफ़ व शुष्क हो। कैलोरीमीटर का द्रव्यमान m_1 नोट कीजिए। कैलोरीमीटर में जल भरिए। यह सुनिश्चित कीजिए कि कैलोरीमीटर में भरे जल की मात्रा दिए गए ठोस को डुबोने के लिए पर्याप्त हो। कैलोरीमीटर को जल, विलोड़क तथा ढक्कन सहित तौलकर इसका द्रव्यमान m_2 नोट कीजिए। कैलोरीमीटर को इसके रोधी आवरण में रखिए।

3. ठोस को जल में डुबोइए और इसे जल से निकालकर भली-भाँति झटकिए ताकि इसके पृष्ठ से चिपका जल हट जाए। भौतिक तुला से इस गीले ठोस को तोलिए तथा इसका द्रव्यमान m_3 नोट कीजिए।

4. ठोस को बीच में धागे से बाँधिए। यह सुनिश्चित कीजिए कि धागे से उठाने पर ठोस ऊपर उठ जाएगा तथा फिसलेगा नहीं। चित्र E 17.1 में दर्शाए अनुसार त्रिपाद स्टैंड पर रखी तार की जाली पर 250 mL का बीकर रखिए। इस बीकर को जल से लगभग आधा भरिए। अब धागे के दूसरे सिरे को प्रयोगशाला स्टैंड में बांधकर ठोस को बीकर में भरे जल में इस प्रकार डुबोइए कि ठोस जल में पूरा डूब जाए और जल के पृष्ठ से कम-से-कम 0.5 cm नीचे रहे। जल को उसमें लटके ठोस सहित गरम करना आरंभ कीजिए [चित्र E 17.1 (a)]।



चित्र E 17.1 किसी दिए गए ठोस की विशिष्ट ऊष्मा धरिता ज्ञात करने के लिए प्रायोगिक व्यवस्था

5. थर्मामीटर का अल्पतमांक ज्ञात कीजिए। कैलोरीमीटर में भरे जल का ताप मापिए। जल का ताप t_1 नोट कीजिए।

6. बीकर के जल को 5-10 मिनट तक उबलने दीजिए। दूसरे थर्मामीटर से जल का ताप t_2 मापिए तथा इसे नोट कीजिए। ठोस को उससे बंधे धागे-से पकड़कर बीकर से बाहर निकालिए तथा इससे चिपके जल को ठोस से झटककर हटाइए तथा तत्काल

ही उसे कैलोरीमीटर के जल में डालकर इसका ढक्कन तुरंत बंद कर दीजिए [चित्र E 17.1 (b)]। कैलारीमीटर के जल को विलोड़क से हिलाइए। एक बार साम्य स्थिति आने पर अर्थात् मिश्रण का ताप नियत होने पर कैलोरीमीटर में भरे जल का ताप नोट कीजिए। उस ताप को t_3 के रूप में रिकॉर्ड कीजिए।

प्रेक्षण

विलोड़क सहित कैलोरीमीटर का द्रव्यमान (m_1) = ... g

विलोड़क तथा जल सहित कैलोरीमीटर का द्रव्यमान (m_2) = ... g

ठोस का द्रव्यमान (m_3) = ... g

जल का आरंभिक ताप (t_1) = ... °C = ... K

उबलते जल में ठोस का ताप (t_2) = ... °C = ... K

मिश्रण का ताप (t_3) = ... °C = ... K

कैलोरीमीटर के पदार्थ की विशिष्ट ऊष्मा धारिता s_1 = ... $\text{Jkg}^{-1}\ °\text{C}^{-1}$ ($\text{Jkg}^{-1}\ \text{K}^{-1}$)

जल की विशिष्ट ऊष्मा धारिता (s) = $\text{Jkg}^{-1}\ \text{K}^{-1}$

परिकलन

1. कैलोरीमीटर में जल का द्रव्यमान ($m_2 - m_1$) = ... g = ... kg
2. जल तथा कैलोरीमीटर के ताप में परिवर्तन ($t_3 - t_1$) = ... °C
3. ठोस के ताप में परिवर्तन ($t_2 - t_3$) = ... °C

   t_2 से t_3 तक ठंडा होने में ठोस द्वारा दी गई ऊष्मा

   = t_1 से t_3 तक ताप वृद्धि में जल द्वारा ली गई ऊष्मा + t_1 से t_3 तक तापवृद्धि में कैलोरीमीटर द्वारा ली गई ऊष्मा

   $m_3 s_o (t_2 - t_3) = (m_2 - m_1)\, s\, (t_2 - t_1) + m_1 s_1 (t_3 - t_1)$

   $$s_o = \frac{(m_2 - m_1)\, s(t_2 - t_1) + m_1 s_1 (t_3 - t_1)}{m_3 (t_2 - t_3)} = \ldots \text{J kg}^{-1}\ °\text{C}^{-1}$$

(b) मिश्रण विधि द्वारा दिए गए द्रव की विशिष्ट ऊष्मा धारिता का निर्धारण

कार्यविधि

1. भौतिक तुला को समायोजित कीजिए तथा यह सुनिश्चित कीजिए कि उसमें शून्यांक त्रुटि न हो।

© NCERT not to be republished

2. भौतिक तुला/कमानीदार तुला द्वारा खाली कैलोरीमीटर को विलोड़क व ढक्कन सहित तौलिए/सुनिश्चित कीजिए कि कैलोरीमीटर साफ एवं शुष्क हो। कैलोरीमीटर का द्रव्यमान m_1 नोट कीजिए। कैलोरीमीटर में दिया गया द्रव भरिए। यह सुनिश्चित कीजिए कि कैलोरीमीटर में भरे द्रव की मात्रा दिए गए ठोस को डुबोने के लिए पर्याप्त हो। कैलोरीमीटर को द्रव, विलोड़क तथा ढक्कन सहित तोलकर इसका द्रव्यमान m_2 नोट कीजिए। कैलोरीमीटर को इसके रोधी आवरण में रखिए।

3. ज्ञात विशिष्ट ऊष्मा धारिता का धात्विक सिलिंडर लेकर इसे जल में डुबाइए और फिर जल से निकालकर इस भली-भाँति झटकिए ताकि इसके पृष्ठ से जल हट जाए। भौतिक तुला से इस गीले ठोस को तौलिए तथा इसका द्रव्यमान m_3 नोट कीजिए।

4. ठोस को बीच में धागे से कसकर बांधिए। सुनिश्चित कीजिए कि धागे से उठाने पर ठोस बिना फिसले ऊपर उठ जाएगा। चित्र E 17.1 (a) में दर्शाए अनुसार त्रिपाद स्टैंड पर रखी तार की जाली पर 250 mL का बीकर रखिए। इस बीकर को जल से लगभग आधा भरिए। अब प्रयोगशाला स्टैंड से धागे के दूसरे को बाँधकर ठोस को बीकर में भरे जल में इस प्रकार डुबाइए कि ठोस जल में पूरा डूबा रहे और यह जल के पृष्ठ से कम-से-कम 0.5 cm नीचे हो। जल को उसमें लटके ठोस सहित गरम करना आरंभ कीजिए [चित्र E 17.1 (a)]।

5. थर्मामीटर का अल्पतमांक ज्ञात कीजिए। कैलोरीमीटर में भरे द्रव का ताप मापिए। द्रव का ताप t_1 नोट कीजिए।

6. बीकर के जल को 5-10 मिनट तक उबलने दीजिए। दूसरे थर्मामीटर से जल का ताप t_2 मापिए तथा इसे नोट कीजिए। ठोस को उससे बंधे धागे-से पकड़कर बीकर से बाहर निकालिए तथा ठोस को झटककर इसके पृष्ठ से चिपके जल को हटाइए तथा तत्काल ही इसे कैलोरीमीटर के द्रव में डालकर तुरंत ढक्कन को बंद कर दीजिए [चित्र E 17.1 (b)]। कैलोरीमीटर के द्रव को विलोड़क से हिलाइए। मिश्रण का ताप नियत होने पर जैसे ही तापीय साम्यावस्था आ जाए द्रव का ताप मापिए तथा इस ताप t_3 के रूप में नोट कीजिए।

प्रेक्षण

विलोड़क सहित कैलोरीमीटर का द्रव्यमान (m_1) = ... g

द्रव सहित कैलोरीमीटर का द्रव्यमान (m_2) = ... g

ठोस का द्रव्यमान (m_3) = ... g

द्रव का आरंभिक ताप (t_1) = ... °C = ... K

उबलते जल में ठोस का ताप (t_2) = ... °C = ... K

मिश्रण का ताप (t_3) = ... °C = ... K

कैलोरीमीटर के पदार्थ की विशिष्ट ऊष्मा धारिता s_1 = ... Jkg^{-1} $°C^{-1}$ (Jkg^{-1} K^{-1})

ठोस की विशिष्ट ऊष्मा धारिता (s) = ... Jkg^{-1} K^{-1}

© NCERT not to be republished

परिकलन

1. कैलोरीमीटर में द्रव का द्रव्यमान $(m_2 - m_1)$ = ... g = ...kg
2. द्रव तथा कैलोरीमीटर के ताप में परिवर्तन $(t_3 - t_1)$ = ... °C
3. ठोस के ताप में परिवर्तन $(t_2 - t_3)$ = ...°C = ... K

   t_2 से t_3 तक ठंडा होने में ठोस द्वारा दी गई ऊष्मा

   = t_1 से t_3 तक ताप वृद्धि में जल द्वारा ली गई ऊष्मा + t_1 से t_3 तक तापवृद्धि में कैलोरीमीटर द्वारा ली गई ऊष्मा

   $$m_3 s_o (t_2 - t_3) = (m_2 - m_1)\, s\, (t_2 - t_1) + m_1 s_1 (t_3 - t_1)$$

   $$s = \frac{m_3 s_0 (t_2 - t_3) - m_1 s_1 (t_3 - t_1)}{(m_2 - m_1)(t_2 - t_1)} = \ldots \text{ J kg}^{-1}\,°\text{C}^{-1}$$

परिणाम

(a) प्रायोगिक त्रुटियों की सीमा में दिए गए ठोस की विशिष्ट ऊष्मा धारिता ... $\text{Jkg}^{-1}\,\text{K}^{-1}$

(b) प्रायोगिक त्रुटियों की सीमा में दिए गए द्रव की विशिष्ट ऊष्मा धारिता ... $\text{Jkg}^{-1}\,\text{K}^{-1}$

सावधानियाँ

1. भौतिक तुला सही रूप से चालू स्थिति में होनी चाहिए तथा यह सुनिश्चित कीजिए कि उसमें शून्यांक त्रुटि न हो।
2. दोनों थर्मामीटरों का परिसर तथा अल्पतमांक समान होना चाहिए।
3. उपयोग किया जाने वाला ठोस प्रायोगिक द्रव के साथ रासायनिक अभिक्रिया करने वाला नहीं होना चाहिए।
4. कैलोरीमीटर को सदैव रोधी आवरण में तथा ऊष्मा स्रोत से पर्याप्त दूरी पर रखा जाना चाहिए। उसे सीधे धूप में भी नहीं रखना चाहिए ताकि वह परिवेश से कोई ऊष्मा अवशोषित न करे।
5. गरम ठोस को अत्यंत शीघ्रता से स्थानांतरित करना चाहिए ताकि उसका ताप वही रहे जो द्रव में गिरने से पूर्व नोट किया गया था।
6. कैलोरीमीटर में भरे द्रव में ठोस को गिराते समय द्रव छलकना नहीं चाहिए। यह परामर्श दिया जाता है कि ठोस को धागे की सहायता से धीरे-धीरे द्रव में डुबोया जाना चाहिए।
7. ताप मापते समय थर्मामीटर सदैव ऊर्ध्वाधर होना चाहिए। दृश्य रेखा को सदैव थर्मामीटर में पारे के तल के लंबवत रखते हुए ही ताप की माप लेनी चाहिए।

© NCERT not to be republished

त्रुटियों के स्रोत

1. विकिरण के कारण ऊष्मा क्षति को पूर्णतः समाप्त नहीं किया जा सकता।
2. ठोस को कैलोरीमीटर में स्थानांतरित करते समय होने वाली ऊष्मा क्षति का लेखा नहीं दिया जा सकता है।
3. यद्यपि थर्मामीटर में भरे पारे की विशिष्ट ऊष्मा धारिता कम होती है तथापि यह कुछ ऊष्मा अवशोषित करता है।
4. द्रव्यमान तथा ताप की माप में कुछ त्रुटियाँ हो सकती हैं।

परिचर्चा

1. उबलते जल में रखे ठोस को कैलोरीमीटर में भरे द्रव में स्थानांतरित करते समय कुछ ऊष्मा क्षति हो सकती है। गर्म ठोस को कैलोरीमीटर में डालने तथा ढक्कन बंद करने में कुछ समय लगने के कारण भी कुछ ऊष्मा क्षति हो सकती है।
2. हो सकता है कि कैलोरीमीटर का रोधी आवरण पूर्णतः रोधी न हो।
3. कैलोरीमीटर, कैलोरीमीटर और द्रव तथा ठोस के द्रव्यमानों की मापों में त्रुटि के कारण द्रव की विशिष्ट ऊष्मा धारिता के परिकलन पर प्रभाव पड़ सकता है।
4. ताप मापन में त्रुटि के कारण भी द्रव की विशिष्ट ऊष्मा धारिता का परिकलन प्रभावित हो सकता है।
5. यद्यपि धातु का टुकड़ा उबलते जल में रखा होता है तथापि यह संभव है कि उसका ताप यथार्थ में उबलते जल के ताप के बराबर न हो।

स्व-मूल्यांकन

1. जल तुल्यांक क्या होता है?
2. हम सामान्यतः ताँबे का कैलोरीमीटर क्यों उपयोग करते हैं?
3. ताप मापने से पूर्व हम कैलोरीमीटर में भरे द्रव को विलोड़ित क्यों करते हैं?
4. क्या विशिष्ट ऊष्मा धारिता एक नियत राशि है?
5. तापीय साम्य क्या होता है?

सुझाए गए अतिरिक्त प्रयोग/क्रियाकलाप

यदि हमें ठोस एवं द्रव की विशिष्ट ऊष्मा धारिताएँ ज्ञात हों तो हम कैलोरीमिति का सिद्धांत सत्यापित कर सकते हैं।

© NCERT not to be republished