

द्रव्य के तापीय गुण

- 11.1 भूमिका
- 11.2 ताप तथा ऊष्मा
- 11.3 ताप मापन
- 11.4 आदर्श गैस समीकरण तथा परम ताप
- 11.5 तापीय प्रसार
- 11.6 विशिष्ट ऊष्मा धारिता
- 11.7 ऊष्मामिति
- 11.8 अवस्था परिवर्तन
- 11.9 ऊष्मा स्थानांतरण
- 11.10 न्यूटन का शीतलन नियम

सारांश
विचारणीय विषय
अभ्यास

11.1 भूमिका

हम सभी में ताप तथा ऊष्मा की सहज बोध धारणा होती है। ताप किसी वस्तु की तप्तता (ऊष्णता) की माप होती है। उबलते जल से भरी केतली बर्फ से भरे बॉक्स से अधिक तप्त होती है। भौतिकी में हमें ऊष्मा, ताप, आदि धारणाओं को अधिक सावधानीपूर्वक परिभाषित करने की आवश्यकता होती है। इस अध्याय में आप यह जानेंगे कि ऊष्मा क्या है और इसे कैसे मापते हैं, तथा एक वस्तु से दूसरी वस्तु में ऊष्मा प्रवाह की विभिन्न प्रक्रियाओं का अध्ययन करेंगे। अध्ययन करते आप यह भी ज्ञात करेंगे कि किसी बैलगाड़ी के लकड़ी के पहिए की नेमि पर लोहे की रिंग चढ़ाने से पहले लोहार इसे तप्त क्यों करते हैं, तथा सूर्य छिपने के पश्चात् समुद्र तटों पर पवन प्रायः अपनी दिशा उत्क्रमित क्यों कर लेती है? आप यह भी जानेंगे कि क्या होता है जब जल उबलता अथवा जमता है तथा इन प्रक्रियाओं की अवधि में इसके ताप में परिवर्तन नहीं होता, यद्यपि काफी मात्रा में ऊष्मा इनके भीतर/इनसे बाहर प्रवाहित होती है।

11.2 ताप तथा ऊष्मा

हम द्रव्य के तापीय गुणों के अध्ययन का आरंभ ताप तथा ऊष्मा की परिभाषा से कर सकते हैं। ताप तप्तता अथवा शीतलता की आपेक्षिक माप अथवा सूचन होता है। किसी तप्त बर्तन के ताप को उच्च ताप तथा बर्फ के घन के ताप को निम्न ताप कहते हैं। एक पिण्ड जिसका ताप दूसरे पिण्ड की अपेक्षा अधिक है, अपेक्षाकृत अधिक तप्त कहा जाता है। ध्यान दीजिए, कि लंबे और ठिगने की भांति तप्त तथा शीत भी आपेक्षिक पद हैं। हम स्पर्श द्वारा ताप का अनुभव कर सकते हैं। परन्तु यह ताप बोध कुछ-कुछ अविश्वसनीय होता है तथा इसका परिसर इतना सीमित है कि किसी वैज्ञानिक कार्यों के लिए इसका कोई उपयोग नहीं किया जा सकता।

अपने अनुभवों से हम यह जानते हैं कि किसी तप्त गर्मी के दिन एक मेज पर रखा बर्फ के शीतल जल से भरा गिलास अंततोगत्वा गर्म हो जाता है जबकि तप्त चाय से भरा प्याला उसी मेज पर ठंडा हो जाता है। इसका अर्थ यह हुआ कि जब भी किसी वस्तु (निकाय), इस प्रकरण में बर्फ का शीतल जल अथवा

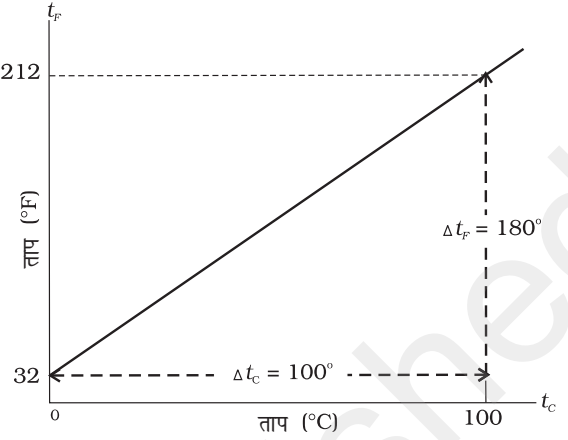
गर्म चाय, तथा उसके परिवेशी माध्यम के तापों में अंतर होगा तो वस्तु तथा उसके परिवेशी माध्यम के बीच उस समय तक ऊष्मा स्थानांतरण होता है जब तक वस्तु तथा इसका परिवेशी माध्यम समान ताप पर नहीं आ जाते। हम यह भी जानते हैं कि गिलास में भरे शीतल जल के प्रकरण में ऊष्मा पर्यावरण से गिलास में प्रवाहित होती है, जबकि गर्म चाय के प्रकरण में ऊष्मा गर्म चाय के प्याले से पर्यावरण में प्रवाहित होती है। अतः हम यह कह सकते हैं कि **ऊष्मा ऊर्जा का एक रूप है जिसका स्थानांतरण दो (अथवा अधिक) निकायों के बीच अथवा किसी निकाय तथा उसके परिवेश के बीच ताप में अंतर के कारण होता है।** स्थानांतरित ऊष्मा ऊर्जा के SI मात्रक को जूल (J) में व्यक्त किया जाता है जबकि ताप का SI मात्रक केल्विन (K) है तथा °C सामान्य उपयोग में आने वाला ताप का मात्रक है। जब किसी वस्तु को गर्म करते हैं तो उसमें बहुत से परिवर्तन हो सकते हैं। इसके ताप में वृद्धि हो सकती है, इसमें प्रसार हो सकता है अथवा अवस्था परिवर्तन हो सकता है। अनुवर्ती अनुभागों में हम विभिन्न वस्तुओं पर ऊष्मा के प्रभाव का अध्ययन करेंगे।

11.3 ताप मापन

तापमापी (थर्मामीटर) का उपयोग करके ताप की एक माप प्राप्त होती है। पदार्थों के बहुत से भौतिक गुणों में ताप के साथ पर्याप्त परिवर्तन होते हैं जिन्हें तापमापी की रचना का आधार मानकर उपयोग किया जाता है। सामान्य उपयोग में आने वाला गुण “ताप के साथ किसी द्रव के आयतन में परिवर्तन” होता है। उदाहरण के लिए, सामान्य तापमापी (काँच-में-द्रव प्रकार), जिससे आप परिचित हैं। पारा तथा एल्कोहॉल ऐसे द्रव हैं जिनका उपयोग अधिकांश काँच-में-द्रव तापमापियों में किया जाता है।

तापमापियों का अंशांकन इस प्रकार किया जाता है कि किसी दिए गए ताप को कोई संख्यात्मक मान निर्धारित किया जा सके। किसी भी मानक मापक्रम के लिए दो नियत संदर्भ बिंदुओं की आवश्यकता होती है। चूंकि ताप के साथ सभी पदार्थों की विमाएँ परिवर्तित होती हैं अतः प्रसार के लिए कोई निरपेक्ष संदर्भ उपलब्ध नहीं है। तथापि आवश्यक नियत बिंदु को सदैव समान ताप पर होने वाली भौतिक परिघटनाओं से संबंधित किया जा सकता है। जल का हिमांक तथा भाप-बिंदु दो सुविधाजनक नियत बिंदु हैं, जिन्हें हिमांक तथा क्वथनांक कहते हैं। ये दो नियत बिंदु वह ताप हैं जिन पर शुद्ध जल मानक दाब के अधीन जमता तथा उबलता है। फारेनहाइट ताप मापक्रम तथा सेल्सियस ताप मापक्रम, दो सुपरिचित ताप मापक्रम हैं। फारेनहाइट मापक्रम पर हिमांक तथा भाप-बिंदु के मान क्रमशः 32°F तथा 212°F हैं जबकि सेल्सियस मापक्रम पर इनके मान क्रमशः 0°C तथा 100°C हैं। फारेनहाइट मापक्रम पर दो संदर्भ

बिंदुओं के बीच 180 समान अंतराल हैं तथा सेल्सियस मापक्रम पर ये अंतराल 100 हैं।



चित्र 11.1 फारेनहाइट ताप (t_F) प्रति सेल्सियस ताप (t_C) का आलेखन।

दो मापक्रमों में रूपांतरण के लिए आवश्यक संबंध को फारेनहाइट ताप (t_F) तथा सेल्सियस ताप (t_C) के बीच ग्राफ से प्राप्त किया जा सकता है। यह एक सरल रेखा (चित्र 11.1) है जिसका समीकरण इस प्रकार है :

$$\frac{t_F - 32}{180} = \frac{t_C}{100} \quad (11.1)$$

11.4 आदर्श-गैस समीकरण तथा परम ताप

काँच-में-द्रव तापमापी, प्रसार गुणों में अंतर के कारण नियत बिंदुओं से अन्य तापों के भिन्न पाठ्यांक दर्शाते हैं। परन्तु ऐसे तापमापी जिनमें गैस का उपयोग होता है, चाहे उनमें किसी भी गैस का उपयोग किया जाए, सदैव एक ही पाठ्यांक प्रदर्शित करते हैं। प्रयोग यह दर्शाते हैं कि सभी गैसों कम घनत्व होने पर समान प्रसार-आचरण दर्शाती हैं। वे चर राशियाँ, जो किसी दी गई मात्रा (द्रव्यमान) की गैस के आचरण की व्याख्या करते हैं, दाब, आयतन तथा ताप (P , V , तथा T) (यहाँ $T = t + 273.15$; t सेल्सियस मापक्रम °C में ताप है)। जब ताप को नियत रखा जाता है, तो किसी गैस की निश्चित मात्रा का दाब तथा आयतन $PV =$ नियतांक के रूप में संबंधित होते हैं। इस संबंध को, एक अंग्रेज रसायनज्ञ रॉबर्ट बॉयल (1627-1691) जिन्होंने इस संबंध की खोज की थी, के नाम पर बॉयल-नियम कहते हैं। जब दाब को नियत रखते हैं, तो किसी निश्चित परिमाण की गैस का आयतन उसके ताप से इस प्रकार संबंधित है : $V/T =$ नियतांक। यह संबंध फ्रेंच वैज्ञानिक जैक्स चार्ल्स (1747-1823) के नाम पर चार्ल्स के नियम से जाना जाता

है। कम घनत्व पर गैसों इन नियमों का पालन करती हैं जिन्हें एकल संबंध में समायोजित किया जा सकता है। ध्यान दीजिये कि चूँकि गैस की दी हुई मात्रा के लिए $PV =$ नियतांक तथा $V/T =$ नियतांक, इसलिए PV/T भी एक नियतांक होना चाहिए। इस संबंध को आदर्श गैस नियम कहते हैं। इसे और अधिक व्यापक रूप में लिखा जा सकता है जिसका अनुप्रयोग केवल किसी एकल गैस की दी गई मात्रा पर ही नहीं होता, वरन् किसी भी तनु गैस की किसी मात्रा के लिए किया जा सकता है। इस संबंध को **आदर्श गैस समीकरण** कहते हैं।

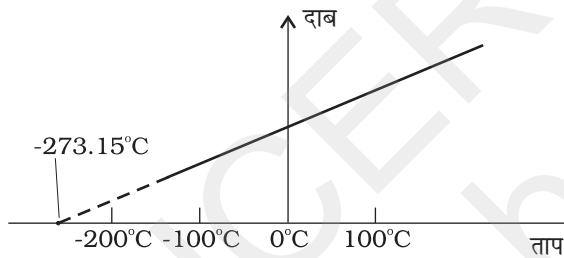
$$\frac{PV}{T} = \mu R$$

अथवा $PV = \mu RT$ (11.2)

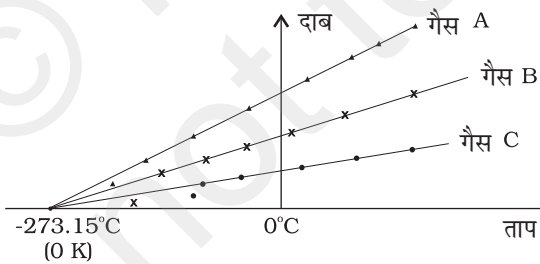
यहाँ, μ गैस के प्रतिदर्श में मोल की संख्या है तथा R को सार्वत्रिक गैस नियतांक कहते हैं :

$$R = 8.31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

समीकरण 11.2 से हमने जाना है कि दाब तथा आयतन (का गुणनफल) ताप के अनुक्रमानुपाती है : $PV \propto T$ । यह संबंध किसी नियत आयतन गैस तापमापी में ताप मापन के लिए गैस के उपयोग को स्वीकार करते हैं। किसी गैस का आयतन नियत रखने पर, $P \propto T$ प्राप्त होता है। इस प्रकार, किसी नियत आयतन गैस तापमापी में ताप को दाब के पदों में मापा जाता है। चित्र 11.2 में दर्शाए अनुसार, इस प्रकरण में, दाब तथा ताप के बीच ग्राफ एक सरल रेखा होता है।

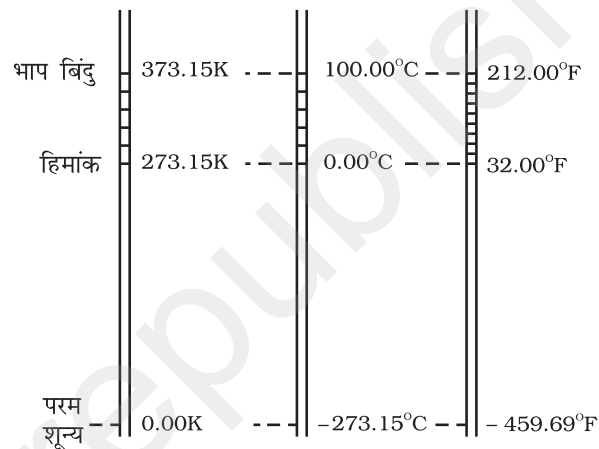


चित्र 11.2 नियत आयतन पर रखी किसी कम घनत्व की गैस के दाब तथा आयतन के बीच ग्राफ।



चित्र 11.3 दाब तथा ताप के बीच ग्राफ का आलेखन तथा कम घनत्व की गैसों के लिए रेखाओं का बहिर्वेशन समान परम शून्य ताप को संकेत करता है।

तथापि, निम्न ताप पर वास्तविक गैसों पर ली गई मापों तथा आदर्श गैस नियम द्वारा प्रागुक्त मानों में अंतर पाया गया है। परन्तु एक विस्तृत ताप परिसर में यह संबंध रैखिक है तथा ऐसा प्रतीत होता है कि यदि गैस गैसीय अवस्था में ही बनी रहे तो ताप घटाने पर दाब शून्य हो जाएगा। चित्र 11.3 में दर्शाए अनुसार, सरल रेखा को बहिर्वेशित करके किसी आदर्श गैस के लिए परम निम्न ताप प्राप्त किया जा सकता है। इस ताप का मान -273.15°C पाया गया तथा इसे **परम शून्य** कहा जाता है। परम शून्य ब्रिटिश वैज्ञानिक लॉर्ड केल्विन के नाम पर केल्विन ताप मापक्रम अथवा परम ताप मापक्रम का आधार है। इस मापक्रम पर -273.15°C को शून्य बिंदु के रूप में, अर्थात् 0 K लिया जाता है (चित्र 11.4)।



चित्र 11.4 केल्विन, सेल्सियस तथा फारेनहाइट ताप मापक्रमों में तुलना।

केल्विन मापक्रम के लिए मात्रक की आमाप अंश सेल्सियस डिग्री के समान है, अतः इन मापक्रमों के तापों में संबंध इस प्रकार है :

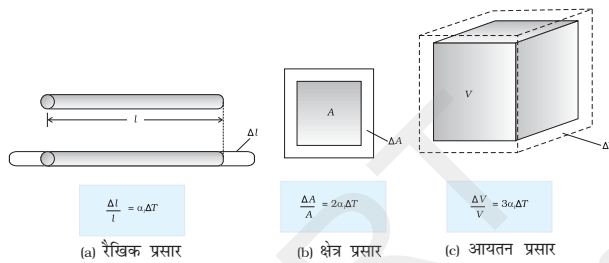
$$T = t_c + 273.15 \quad (11.3)$$

11.5 तापीय प्रसार

आपने यह देखा होगा कि कभी-कभी धातुओं के ढक्कन वाली बंद बोतलों के चूड़ीदार ढक्कनों को इतना कसकर बंद कर दिया जाता है कि ढक्कनों को खोलने के लिए उन्हें कुछ देर तक गर्म जल में डालना होता है। ऐसा करने पर ढक्कन में प्रसार होकर वह ढीला हो जाता है और उसकी चूड़ियाँ आसानी से खुल जाती हैं। द्रवों के प्रकरण में आपने यह देखा होगा कि जब किसी तापमापी को हलके उष्ण जल में रखते हैं, तो उस तापमापी में पारा कुछ ऊपर चढ़ जाता है। यदि हम तापमापी को

उष्ण जल से बाहर निकाल लेते हैं तो तापमापी में पारे का तल नीचे गिर जाता है। इसी प्रकार, गैसों के प्रकरण में, ठंडे कमरे में आंशिक रूप से फूला कोई गुब्बारा, उष्ण जल में रखे जाने पर अपनी पूरी आमाप तक फूल सकता है। इसके विपरीत, जब किसी पूर्णतः फूले किसी गुब्बारे को शीतल जल में डुबाते हैं तो वह भीतर की वायु के सिकुड़ने के कारण सिकुड़ना आरंभ कर देता है।

यह हमारा सामान्य अनुभव है कि अधिकांश पदार्थ तप्त होने पर प्रसारित होते हैं तथा शीतलन पर सिकुड़ते हैं। किसी वस्तु के ताप में परिवर्तन होने पर उसकी विमाओं में अंतर हो जाता है। किसी वस्तु के ताप में वृद्धि होने पर उसकी विमाओं में वृद्धि होने को तापीय प्रसार कहते हैं। लंबाई में प्रसार को **रैखिक प्रसार** कहते हैं। क्षेत्रफल में प्रसार को **क्षेत्र प्रसार** कहते हैं। आयतन में प्रसार को **आयतन प्रसार** कहते हैं (चित्र 11.5)।



चित्र 11.5 तापीय प्रसार।

यदि पदार्थ किसी लंबी छड़ के रूप में है, तो ताप में अल्प परिवर्तन, ΔT , के लिए लंबाई में भिन्नात्मक परिवर्तन, $\Delta l/l$, ΔT के अनुक्रमानुपाती होता है।

$$\frac{\Delta l}{l} = \alpha_l \Delta T \quad (11.4)$$

जहाँ α_l को **रैखिक प्रसार गुणांक** कहते हैं तथा यह छड़ के पदार्थ का अभिलक्षण होता है। सारणी 11.1 में ताप परिसर 0°C से 100°C में कुछ पदार्थों के रैखिक प्रसार गुणांकों के प्रतिरूपी माध्य मान दिए गए हैं। इस सारणी से काँच तथा ताँबे के लिए α_l के मानों की तुलना कीजिए। हम यह पाते हैं कि समान ताप वृद्धि के लिए ताँबे में काँच की तुलना में पाँच गुना अधिक प्रसार होता है। सामान्यतः, धातुओं में अधिक प्रसार होता है तथा इनके लिए α_l के मान अपेक्षाकृत अधिक होते हैं।

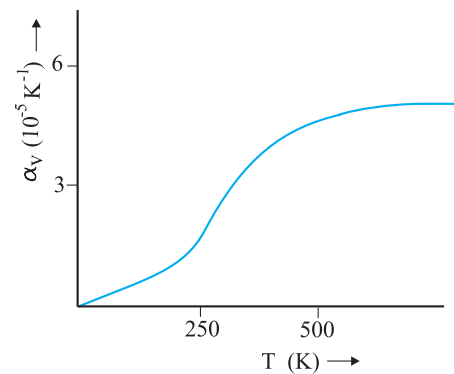
सारणी 11.1 कुछ पदार्थों के लिए रैखिक प्रसार गुणांकों के मान

पदार्थ	α_l (10^{-5}K^{-1})
एलुमिनियम	2.5
पीतल	1.8
लोहा	1.2
ताँबा	1.7
चाँदी	1.9
सोना	1.4
काँच (पायरेक्स)	0.32
लैड	0.29

इसी प्रकार, हम किसी ताप परिवर्तन, ΔT के लिए किसी पदार्थ के भिन्नात्मक आयतन परिवर्तन, $\frac{\Delta V}{V}$, पर विचार करते हैं तथा **आयतन प्रसार गुणांक**, α_v को इस प्रकार परिभाषित करते हैं

$$\alpha_v = \left(\frac{\Delta V}{V} \right) \frac{1}{\Delta T} \quad (11.5)$$

यहाँ भी α_v पदार्थ का अभिलक्षण है, परन्तु सही अर्थ में यह नियतांक नहीं है। व्यापक रूप में यह ताप पर निर्भर करता है (चित्र 11.6)। यह पाया गया है कि केवल उच्च ताप पर α_v नियतांक बन जाता है।



चित्र 11.6 ताप के फलन के रूप में ताँबे का आयतन प्रसार गुणांक।

सारणी 11.2 में $0-100^\circ\text{C}$ ताप परिसर में कुछ सामान्य पदार्थों के आयतन प्रसार गुणांकों के मान दिए गए हैं। आप यह देख सकते हैं कि इन पदार्थों (ठोस तथा द्रव) के तापीय प्रसार

