टिप्पणियाँ

11

ऊष्मागतिकी

आप अपने दैनिक जीवन में गर्मी व ठंडक के संवेदनों से परिचित हैं। जब आप अपने हाथों को आपस में रगड़ते हैं तो गरमाहट अनुभव करते हैं। आप इस बात को मानेंगे कि इस घटना में गरमाहट का कारण यांत्रिक कार्य है। यह दर्शाता है कि यांत्रिक कार्य व तापीय प्रभाव में कुछ संबंध है। विभिन्न तापमानों पर वस्तुओं के बीच ऊष्मीय (तापीय) ऊर्जा का स्थानान्तरण ऊष्मागतिकी की विषय वस्तु है जो कि अनुभवों पर आधारित घटनाओं का विज्ञान है। तापीय घटना के मात्रात्मक वर्णन के लिये ताप, ऊष्मा और आंतरिक ऊर्जा को परिभाषित करना आवश्यक है। ऊष्मागतिकी के नियम किसी निकाय में ऊष्मा प्रवाह, किए गए कार्य और आंतरिक ऊर्जा के बीच संबंध बताते हैं।

इस पाठ में आप ऊष्मागतिकी के तीन नियमों-शून्य कोटि नियम, ऊष्मागतिकी के प्रथम व द्वितीय नियमों के बारे में ज्ञान प्राप्त करेंगे। ये नियम अनुभव पर आधारित हैं ओर इन्हें किसी प्रमाण की आवश्यकता नहीं है। ऊष्मा गतिकी के शून्य कोटि नियम, प्रथम एवं द्वितीय नियम क्रमशः ताप, आंतरिक ऊर्जा व एन्ट्रॉपी की संकल्पनाओं को प्रस्तुत करते हैं। प्रथम नियम वस्तुतः एक ऊष्मागतिक निकाय के लिए ऊर्जा संरक्षण का सिद्धान्त है। दूसरा नियम कार्य व ऊष्मा के पारस्परिक रूपान्तरण से संबंधित है। आप यह भी जानेंगे कि ऊष्मा ऊर्जा को कार्य में परिणित करने में कार्नो इंजन की दक्षता सर्वाधिक होती है।

उद्देश्य

इस पाठ का अध्ययन करने के बाद आप

- विभिन्न ऊष्मागतिक प्रक्रियाओं के लिये सूचक आरेख खींच सकेंगे और यह दर्शा पाएंगे कि सूचक आरेख के अन्तर्गत क्षेत्रफल कार्य को दर्शाता है;
- ऊष्मागतिक साम्य की व्याख्या कर पायेंगे और ऊष्मागतिकी के शून्य कोटि के नियम का कथन कर पाएंगें;
- किसी तंत्र की आंतरिक ऊर्जा की व्याख्या कर पाएंगे और ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम का कथन कर पाएंगे;

- सरल निकायों (तंत्रों) में ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम का उपयोग कर पाएँगे और इसके सीमाबंधनों का कथन कर पाएंगे;
- त्रिक बिंदु को परिभाषित कर सकेंगे; तथा
- कार्नो चक्र का वर्णन कर सकेंगे तथा इसकी दक्षता के लिये व्यंजक प्राप्त कर पाएंगे।

11.1 ऊष्मा तथा ताप की संकल्पना

11.1.1 ऊष्मा

गुफा मानव के समय से लेकर आज तक सभी मानवीय गतिविधियों में ऊर्जा व्याप्त रही है। ऊर्जा का ऊष्मा के रूप में आविर्भाव हमारे अस्तित्व के लिये अति आवश्यक है। खाने-पकाने में प्रयुक्त ऊर्जा, घरों को रोशन करने वाली प्रकाश ऊर्जा, रेलगाड़ियों व वायुयानों को चलानी वाली ऊर्जा का उद्गम लकड़ी, कोयला, गैस या तेल जलाने पर मुक्त हुई ऊष्मा ऊर्जा है। आप यह पूछेंगे कि ऊष्मा क्या है? इस प्रश्न का उत्तर पाने के लिये हम इस बात पर विचार करते हैं कि जब हम एक साइकिल के पहिये में हवा भरते हैं तो क्या होता है? यदि आप नोजल को छुवें तो आप पायेंगे कि पम्प गरम हो गया है, इसी प्रकार जब आप हाथों को आपस में रगड़ते हैं तो आपको गरमाहट महसूस होती है। आप इस बात से सहमत होंगे कि यह गर्मी पम्प या हाथ के नीचे लौ या किसी और गरम वस्तु के रखने से नहीं हुयी है। यह गर्मी किये गये यांत्रिक कार्य से उत्पन्न हुई है। एक पंप में गैस को संपीडित करने के लिये तथा हाथ को घर्षण के विरुद्ध गति करने में कार्य करना पड़ता है। ये उदाहरण वास्तव में, यांत्रिक कार्य व तापीय प्रभावों के बीच एक संबंध की ओर संकेत करते है।

अनुभव के आधार पर हम जानते हैं कि बर्फ के बराबर ठंडे पानी को गर्मी में खुला छोड़ने पर वह अन्ततः गरम हो जाता है लेकिन गर्म कॉफी का प्याला ठंडा हो जाता है। इसका आशय यह है कि पानी या कॉफी व इसके वातावरण के बीच ऊर्जा का आदान-प्रदान हुआ है। यह ऊर्जा स्थानान्तरण तब तक होता है जब तक कि तापीय साम्य स्थापित नहीं हो जाता अर्थात् निकाय व इसके चारों ओर का वातावरण समान ताप पर नहीं आ जाते। यह इस बात को भी दर्शाता है कि ऊर्जा सदैव उच्च तापमान की वस्तु से निम्न तापमान की वस्तु की ओर संचरित होती है। अब आप पूछ सकते हैं कि ऊर्जा किस रूप में स्थानान्तरित हो रही है। ऊपर दिये गये उदाहरणों में ऊर्जा ऊष्मा के रूप में स्थानान्तरित हो रही है, अतः हम यह कह सकते हैं कि–*ऊष्मा वह ऊर्जा है जो दो या अधिक निकायों या एक निकाय और इसके वातावरण के बीच तापान्तर के कारण स्थानांतरित होती है।*

अब आप पूछ सकते हैं कि इस प्रकार की ऊर्जा की प्रकृति क्या है? इसका उत्तर जूल ने यांत्रिक कार्य और ऊष्मा की तुल्यता पर अपने कार्य द्वारा किया। किसी निकाय अणुओं की यांत्रिक ऊर्जा ऊष्मा से संबंधित होती है।

ऊष्मा का मात्रक कैलॉरी है। एक कैलॉरी को इस प्रकार परिभाषित किया जाता है। एक ग्राम जल का ताप 14.5°C से 15.5°C तक बढ़ाने के लिये आवश्यक ऊष्मा-ऊर्जा की मात्रा को कैलोरी कहते हैं।

किलो कैलॉरी (k cal) ऊष्मा ऊर्जा का अपेक्षाकृत बड़ा मात्रक है।

$$1\,\text{kcal} = 10^3\,\text{cal.}$$

और

$$1\,\text{cal} = 4.18\,\text{J}$$

11.1.2 ताप की संकल्पना

ऊष्मा की प्रकृति का अध्ययन करने में आपने सीखा कि एक ठंडे पानी के गिलास व इसके वातावरण के बीच ऊर्जा का आदान-प्रदान तब तक चलता रहता है जब तक कि तापीय साम्य स्थापित नहीं हो जाता है। एक तापीय साम्य में सभी वस्तुओं का एक सर्वनिष्ठ गुण होता है जिसे **ताप** कहते हैं, जिसका मान उन सभी वस्तुओं के लिये समान होता है। अत: हम यह कह सकते हैं कि *ताप किसी वस्तु का वह गुण है जो कि इस बात का निर्धारण करता है कि यह दूसरी वस्तुओं के साथ तापीय साम्य में है अथवा नहीं।*

11.1.3. ऊष्मागतिक शब्दावली

(i) **ऊष्मागतिकी निकाय :** ऊष्मा गतिक निकाय का तात्पर्य एक निश्चित मात्रा में द्रव्य से है जो कि अद्वितीय (unique) है और उन सभी चीजों से विलगित है जो कि इसे प्रभावित कर सकते हैं। प्रत्येक निकाय एक स्वच्छंद पृष्ठ से परिबद्ध है जो कि इसकी परिसीमा कहलाती है। यह परिसीमा किसी ठोस, द्रव या गैस को परिबद्ध कर सकती है। यह वास्तविक या काल्पनिक हो सकती है, विराम या गति की अवस्था में हो सकती है और अपना आकार व साइज बदल सकती है। किसी निकाय की परिसीमा से बाहर का क्षेत्र उसके वातावरण का निर्माण करता है।

(a) **विवृत्त निकाय (Open System) :** यह निकाय अपने वातावरण के साथ द्रव्यमान एवं ऊर्जा का आदान-प्रदान कर सकता है। पानी गर्म करने का हीटर एक विवृत्त निकाय है।

(b) **संवृत्त निकाय (Closed system) :** यह अपने वातावरण के साथ ऊर्जा का विनिमय कर सकता है, लेकिन द्रव्यमान का नहीं। एक पिस्टन लगे सिलिण्डर में परिबद्ध गैस एक संवृत्त निकाय है।

(c) **विलगित निकाय (Isolated system) :** यह अपने वातावरण से ऊर्जा या द्रव्यमान का किसी भी प्रकार का विनियम नहीं कर सकता, एक भरा हुआ थर्मस फ्लास्क इसका एक अच्छा उदाहरण है।

(ii) **ऊष्मागतिक-चर या निर्देशांक :** माड्यूल 1 में हमने एक वस्तु या निकाय की गति का उसके द्रव्यमान, स्थिति व वेग के पदों में अध्ययन किया। ऊष्मागतिक निकाय का वर्णन करने के लिये हम इसके भौतिक गुणों जैसे तापमान (T), दाब (P) व आयतन (V) को लेते हैं। इन्हें ऊष्मागतिक चर कहा जाता है।

(iii) **सूचक आरेख :** आप पाठ-2 में विस्थापन-समय और वेग-समय ग्राफों के बारे में पढ़ चुके हैं। एक ऊष्मागतिक निकाय का अध्ययन करने के लिये हम एक दाब-आयतन

ग्राफ का उपयोग करते हैं। यह ग्राफ यह दर्शाता है कि ऊष्मागतिक प्रक्रम के दौरान किसी निकाय का दाब (P) अपने आयतन (V) के साथ किस प्रकार परिवर्तित होता है। इसे सूचक आरेख कहते हैं।

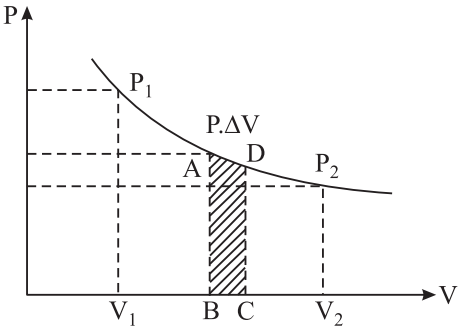
सूचक आरेख का उपयोग किये गये कार्य के लिये एक व्यंजक प्राप्त करने में किया जा सकता है। यह PV ग्राफ (चित्र 11.1) के अंतर्गत क्षेत्र के बराबर है। मान लीजिये कि एक अत्यंत लघु प्रसार ΔV के लिये दाब का प्रारंभिक मान P है। अत: निकाय द्वारा किया गया कार्य

$$\Delta W = P\,\Delta V \qquad (11.1)$$

$$= \text{छायामय पट्टी का क्षेत्रफल } ABCD$$

अब निकाय द्वारा V_1 से V_2 तक प्रसार में किया गया कार्य $= P_1P_2V_2V_1P_1$ का क्षेत्रफल। ध्यान दीजिए कि यह क्षेत्रफल सूचक आरेख की आकृति पर निर्भर करता है।

सूचक आरेख का प्रसार या संपीडन की प्रक्रियाओं में किये गये कार्य की गणना करने के लिए व्यापक रूप से उपयोग किया जाता है। यह उन प्रक्रियाओं में अधिक उपयोगी पाया जाता है जहां P व V के बीच संबंध अज्ञात है। किसी निकाय पर किया गया कार्य उसकी ऊर्जा को बढ़ाता है और निकाय द्वारा किया गया कार्य इसकी ऊर्जा को घटाता है। इसका कारण वस्तु पर किया गया कार्य ऋणात्मक लिया जाता है। आपको यह ध्यान रखना चाहिये कि एक समताप-वक्र (समान ताप पर P-V ग्राफ) के अंतर्गत क्षेत्रफल इसकी आकृति पर निर्भर करता है। हम यह निष्कर्ष निकाल सकते हैं कि एक निकाय द्वारा या उस पर किया गया कार्य उसके पथ पर निर्भर करता है। अर्थात् किया गया कार्य प्रारंभिक व अंतिम अवस्था पर निर्भर नहीं करता है।



चित्र 11.1: सूचक आरेख

11.2 ऊष्मागतिक साम्य

कल्पना कीजिए कि एक पात्र में 60° C पर एक द्रव (पानी, चाय, दूध, कॉफी) भरा है। इसे खुला छोड़ दिया जाता है। यह सामान्य अनुभव की बात है कि कुछ समय पश्चात् पात्र में रखे द्रव का ताप कमरे के ताप के बराबर हो जाता है। हम कह सकते हैं कि पानी ने अपने वातावरण के साथ तापीय साम्य स्थापित कर लिया है।

यदि किसी निकाय के अन्दर दाब या प्रत्यास्थ प्रतिबल में कुछ परिवर्तन उत्पन्न होते हैं तो इससे उसके भागों में कुछ बदलाव हो सकते हैं, तथापि ये परिवर्तन अंततोगत्वा रूक जाते हैं और तंत्र पर कोई असंतुलित बल कार्य नहीं करता है, तब हम कहते हैं कि यह यांत्रिक साम्य की स्थिति में है। क्या आप जानते हैं कि एक पिघली अवस्था से ठोस अवस्था में आने की प्रक्रिया में यांत्रिक संतुलन प्राप्त करने के लिये पृथ्वी भूमध्य रेखा के पास उभर गई। यदि किसी निकाय के अवयव रासायनिक क्रिया करने वाले हों तो कुछ समय पश्चात् सभी

रासायनिक प्रतिक्रियायें रूक जायेंगी। तब यह निकाय रासायनिक साम्यावस्था में कहलायेगा। एक निकाय जो तापीय, यांत्रिक व रासायनिक साम्य को दर्शाता है उसे ऊष्मागतिक साम्यावस्था में कहा जाता है। इस अवस्था में निकाय के स्थूल गुण समय के साथ परिवर्तित नहीं होते हैं।

11.2.1 ऊष्मागतिक प्रक्रम

एक साम्य अवस्था से दूसरी साम्यवस्था में जाने पर यदि ऊष्मागतिक निकाय का कोई भी चर बदलता है तो निकाय को ऊष्मागतिक प्रक्रिया में कहा जाता है। उदाहरण के लिये स्थिर दाब पर एक सिलिण्डर की गैस को गरम किये जाने पर प्रसार होना एक ऊष्मागतिक प्रक्रम है। किसी ऊष्मागतिक प्रक्रम का ग्राफीय निरूपण एक **पथ** कहलाता हैं।

अब हम विभिन्न प्रकार के ऊष्मागतिक प्रक्रमों के बारे में विचार करेंगे।

(i) उत्क्रमणीय प्रक्रम : यदि कोई प्रक्रम ऐसे है जिसमें प्रारंभिक व अंतिम अवस्था के बीच की सभी अवस्थायें साम्यावस्था में हों तथा प्रक्रम का विपरीत दिशा में वापस प्रारंभिक अवस्था में जा पाना संभव हो तो इसे उत्क्रमणीय प्रक्रम कहते हैं। एक उत्क्रमणीय प्रक्रम की गति बहुत धीमी व नियंत्रित होती है। निम्नलिखित उदाहरण देखें–

- एक बीकर में एक बर्फ का टुकड़ा लें और इसे गरम करें। आप देखेंगे कि यह पानी में परिवर्तित हो जाता है। यदि आप इसे रेफ्रीजिरेटर में रखकर समान मात्रा में ऊष्मा बाहर निकाल लें तो यह बर्फ में परिवर्तित हो जाता है अर्थात् प्रारंभिक अवस्था में वापस आ जाता है, अतः यह एक उत्क्रमणीय प्रक्रम है।
- मान लो कोई स्प्रिंग है जिसका एक सिरा स्थिर किया गया है। इसके मुक्त सिरे पर एक के बाद एक द्रव्यमान लटकायें। आप पायेंगे कि स्प्रिंग की लंबाई बढ़ जाती है। अब एक-एक करके द्रव्यमानों को हटाइये। आप देखेंगे कि स्प्रिंग अपनी पूर्वावस्था में आ जाता है। अतः यह एक उत्क्रमणीय प्रक्रम है। उत्क्रमणीय प्रक्रम एक आदर्श स्थिति है जो कभी भी वास्तविकता नहीं बन सकती।

(ii) अनुत्क्रमणीय प्रक्रम : वह प्रक्रम जो अपनी अंतिम अवस्था से प्रारंभिक अवस्था में उसी साम्य अवस्था के साथ-साथ वापिस नहीं लौट सकता अनुत्क्रमणीय प्रक्रम कहलाता है। सभी प्राकृतिक प्रक्रम अनुत्क्रमणीय है। उदाहरण के लिये घर्षण में उत्पन्न ऊष्मा, पानी में घुली चीनी, हवा से लोहे में जंग लगना। अर्थात् अनुत्क्रमणीय प्रक्रम के लिये, बीच की स्थितियां साम्य स्थितियां नहीं हैं, अतः इस प्रकार के प्रक्रम को एक पथ द्वारा निरूपित नहीं किया जा सकता है। क्या इसका यह अर्थ हुआ कि हम एक अनुत्क्रमणीय प्रक्रम विश्लेषण नहीं कर सकते हैं? ऐसा करने के लिए हम स्थिर प्रायः प्रक्रम (quasistatic process) का प्रयोग करते हैं जो कि साम्यावस्था के अत्यंत समीप है।

(iii) समतापी प्रक्रम : एक ऊष्मागतिक प्रक्रम जो एक नियत ताप पर होता है समतापी प्रक्रम कहलाता है।, एक पूर्णरूप से चालक दीवारों वाले सिलिण्डर में आदर्श गैस का प्रसार या संपीडन समतापी प्रक्रम प्रक्रियायें है। दाब व आयतन में परिवर्तन बहुत धीरे होता है ताकि कोई भी ऊष्मा उत्पन्न होने पर वातावरण में स्थानान्तरित हो जाती है और निकाय

का ताप नियत रहता है। तापीय साम्य हमेशा बना रहता है। इस प्रक्रम में ΔQ, ΔU और ΔW नियत रहते हैं।

(iv) रूद्धोष्म प्रक्रम : एक प्रक्रम जिसमें ऊष्मीय ऊर्जा का कोई आदान-प्रदान नहीं होता, रूद्धोष्म प्रक्रम कहलाता है, उदाहरण के तौर पर एक पूर्णत: ऊष्मारोधी सिलिन्डर में आदर्श गैस का प्रसार या संपीडन। यह निकाय अपने वातावरण से पृथक्कृत है अत: कोई ऊष्मा न तो इसमें प्रवेश करती है और न ही इससे बाहर जाती है। अत: इस प्रक्रम में $\Delta Q = 0$ और $\Delta U = -\Delta W$.

निकाय की आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन उस पर किये गये कार्य के बराबर होती है। अत: जब गैस को संपीडित किया जाता है तो निकाय पर कार्य किया जाता है, अत: ΔU धनात्मक हो जाता है और निकाय की आंतरिक ऊर्जा बढ़ जाती है। जब गैस का प्रसार होता है तो निकाय द्वारा कार्य किया जाता है। इसे धनात्मक लिया जाता है और ΔU ऋणात्मक होता है। अत: निकाय की आंतरिक ऊर्जा घटती है।

(v) समदाबी प्रक्रम : स्थिर दाब पर होने वाला ऊष्मागतिक प्रक्रम समदाबी प्रक्रम कहलाता है। वायुमण्डलीय दाब पर पानी का गरम होना एक समदाबी प्रक्रम है।

(vi) समआयतनी प्रक्रम : एक ऊष्मागतिक प्रक्रम जिसमें निकाय का आयतन स्थिर रखा जाता है, समआयतनी प्रक्रम कहलाता है। उदाहरण के तौर पर एक स्थिर आयतन के सिलिन्डर के अन्दर गैस का गरम किया जाना एक समआयतनी प्रक्रम है, इस प्रक्रम में गैस का आयतन स्थिर रखा जाता है अत: कोई कार्य नहीं किया जाता है। अत: $\Delta W = 0$. और हम पाते हैं $\Delta Q = \Delta U$.

एक **चक्रीय प्रक्रम** में निकाय अपनी प्रारंभिक स्थिति में वापस आता है। अर्थात् आंतरिक ऊर्जा में कोई परिवर्तन नहीं होता $\Delta U = 0$.

अर्थात् $\Delta Q = \Delta W$.

11.2.2 ऊष्मागतिकी का शून्यकोटि का नियम

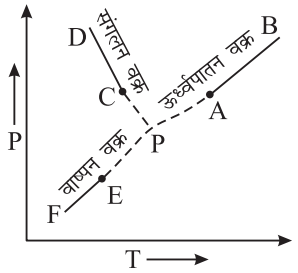
माना धातु के तीन गुटके A, B, C हैं। गुटका A गुटके B के साथ तापीय साम्य में है और गुटका A गुटके C के साथ भी साम्य में है। इसका आशय यह है कि गुटके A का ताप गुटकों B एवं C के ताप के समान है। इससे यह निष्कर्ष निकलता है कि गुटकों B एवं C के ताप समान है। हम इस परिमाण को शून्य कोटि के नियम के रूप में संक्षेप में इस प्रकार व्यक्त करते हैं।

यदि दो पिंड या निकाय A एवं B एक तीसरे पिंड या निकाय C के साथ अलग-अलग तापीय साम्यावस्था में हों तो वे परस्पर भी तापीय साम्य अवस्था में होंगे।

अवस्था परिवर्तन एवं प्रावस्था ग्राफ

आप पढ़ चुके हैं कि मानव ताप व दाब पर किसी वस्तु की तीन अवस्थायें होती हैं, ठोस, द्रव और गैस। एक द्रव्य की विभिन्न अवस्थायें उसकी प्रावस्था कहलाती है–उदाहरण के तौर पर बर्फ (ठोस), पानी (द्रव) व भाप (गैस) पानी की तीन अवस्थायें हैं। हम इन तीन अवस्थाओं का दाब (P), ताप (T) व आयतन (V) दर्शाने वाले ग्राफ की सहायता से विवेचन कर सकते हैं। त्रिविमीय ग्राफ खींचना कठिन है। अत: हम पदार्थ की तीन अवस्थाओं का एक दाब-ताप ग्राफ खींचकर विवेचन कर सकते हैं। इस ग्राफ को प्रावस्था ग्राफ कहते हैं।

चित्र 11.2 को देखिये जो पानी के प्रावस्था ग्राफ को दर्शाता है। आप तीन वक्रों CD, AB, और EF को देख सकते हैं। CD दाब के साथ बर्फ के गलनांक में परिवर्तन को दर्शाता है। इसे **संगलन वक्र** कहते हैं। वक्र ।ठ पानी के क्वथनांक में दाब के साथ परिवर्तन को दर्शाता है इसे **वाष्पन वक्र** कहते हैं। वक्र EF बर्फ का सीधे वाष्प में परिवर्तन दर्शाता है। इसे **ऊर्ध्वापातन वक्र** कहते हैं। यह **वाष्प-हिम वक्र** भी कहलाता है।



चित्र 11.2: जल का प्रावस्था आरेख

यदि आप AB, CD तथा EF रेखाओं को बढ़ाते हैं जैसा कि चित्र में किन्दुकित रेखाओं द्वारा दर्शाया गया है वे एक बिंदु P पर मिलते हैं। इस बिंदु को **त्रिक बिंदु** (triple point) कहते हैं। इस बिंदु पर तीनों अवस्थाओं का सह अस्तित्व होता है।

जब हम किसी ठोस को गरम करते हैं तो इसका ताप बढ़ता है और एक विशिष्ट ताप पर यह गलने लगता है। इस ताप को ठोस का **गलनांक** कहते हैं। अवस्था परिवर्तन की अवधि में हम लगातार ऊष्मा देते हैं लेकिन ताप में वृद्धि नहीं होती है। एकांक द्रव्यमान के ठोस को पूर्णतया इसकी संगत द्रव अवस्था में परिवर्तित करने वे लिये आवश्यक ऊष्मा को **गलन की गुप्त ऊष्मा** कहते हैं।

एक द्रव को गरम करने पर इसके क्वथनांक तक ताप बढ़ता है। क्वथनांक पर दी गयी ऊष्मा इसे गैसीय अवस्था में परिवर्तन करने में प्रयुक्त होती है। किसी द्रव के एकांक द्रव्यमान को एक नियत ताप पर गैसीय अवस्था में परिवर्तित करने के लिए आवश्यक ऊष्मा उस द्रव के **वाष्पीकरण की गुप्त ऊष्मा कहलाती** है।

11.2.3 पानी का त्रिक बिन्दु

किसी शुद्ध पदार्थ का त्रिक बिन्दु एक बहुत स्थायी अवस्था होती है जिसे सटीक रूप से नियत ताप व दाब की मात्राओं से अभिव्यक्त किया जाता है। इसी कारण कैल्विन के थर्मामीटर के पैमाने में पानी का त्रिक बिन्दु उच्च नियत बिंदु के रूप में लिया जाता है।

दाब बढ़ाने पर, ठोस का गलनांक कम होता है और द्रव का क्वथनांक बढ़ता है। अतः यह संभव है कि ताप व दाब की मात्राओं को समायोजित करके हम ऐसे बिंदु पर पहुंच सकते हैं जहां पर पदार्थ की तीनों अवस्थाओं का सहअस्तित्व हो, ताप व दाब के ये मान त्रिक बिंदु को दर्शाते हैं।

पाठगत प्रश्न 11.1

1. रिक्त स्थानों की पूर्ति कीजिये–

   (i) ऊष्मागतिकी के शून्य कोटि नियम जिस मूल संकल्पना का आधार है वह है.....

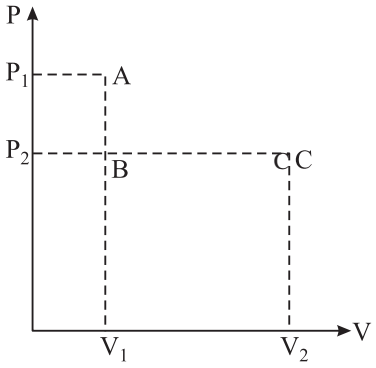
   (ii) यदि एक निकाय A एक निकाय B के साथ तापीय साम्य में है एवं निकाय B एक दूसरे निकाय C के साथ तापीय साम्य में है, तब निकाय A .....के साथ भी तापीय साम्य में होगा।

   (iii) ऊष्मा का सामान्य प्रचलित मात्रक है .....

2. चित्र 11.3 में एक ऊष्मागतिक प्रक्रम का सूचक आरेख दर्शाया गया है। प्रक्रम में तंत्र द्वारा किये गये कार्य की गणना कीजिये।

   (a) A से C तक ABC पथ द्वारा

   (b) यदि C से A तक उसी पथ से वापस आता है तो, उसके द्वारा कुल कितना कार्य किया जाता है?



चित्र. 11.3

3. रिक्त स्थानों की पूर्ति कीजिये–

   (i) एक उत्क्रमणीय क्रिया वह है जिसमें ..... अंतिम अवस्था से प्रारंभिक अवस्था में वापस आया जा सकता है।

   (ii) एक ..... प्रक्रम वह है जिसमें अंतिम स्थिति से प्रारंभिक स्थिति में उन्हीं साम्य अवस्थाओं से वापस नहीं आया जा सकता है।

4. समतापी व रूद्धोष्म प्रक्रम में मूलभूत अंतर लिखिये।

5. त्रिक बिंदु का अभिलक्षण लिखिये।

11.3 किसी निकाय की आंतरिक ऊर्जा

क्या आपने कभी पानी के जमकर बर्फ बनने की प्रक्रिया में युक्त हुई ऊर्जा के बारे में विचार किया है? क्या आप ऐसा नहीं सोचते कि पानी में भी किसी प्रकार की ऊर्जा संग्रहित है। यह ऊष्मा पानी के बर्फ बनने में मुक्त होती है। इस संग्रहीत ऊर्जा को **आंतरिक ऊर्जा** कहते हैं। द्रव्य के अणुगति सिद्धान्त के आधार पर हम आंतरिक ऊर्जा की संकल्पना का विवेचन सभी एकल अवयवों की ऊर्जाओं के योग के रूप में कर सकते हैं। इसमें उनकी यादृच्छिक गति के कारण गतिज ऊर्जा व उनके बीच अन्योन्य क्रियाओं के फलस्वरूप स्थितिज ऊर्जाएं शामिल हैं। अब हम इसका विवेचन करते हैं।

(a) आंतरिक गतिज ऊर्जा : जैसा कि आप जानते हैं, अणुगति सिद्धान्त के अनुसार द्रव्य असंख्य अणुओं से मिलकर बनता है। ये अणु निरन्तर तीव्र गति में होते हैं। जिसके फलस्वरूप इनमें गतिज ऊर्जा होती है। अणुओं की कुल गतिज ऊर्जा वस्तु की आंतरिक गतिज ऊर्जा होती है।

(b) आंतरिक स्थितिज ऊर्जा : अंतरा-अणुक बलों के कारण उत्पन्न ऊर्जा को आंतरिक स्थितिज ऊर्जा कहते हैं।

किसी धातु की छड़ की आंतरिक ऊर्जा चालन इलैक्ट्रॉनों की गतिज ऊर्जाओं, परमाणुओं की स्थितिज ऊर्जाओं और अपनी साम्य स्थिति के इधर-उधर उनकी कंपन ऊर्जाओं से निर्मित होती है। किसी निकाय की ऊर्जा अणुओं की गति में वृद्धि कर (गतिज ऊर्जा में तापीय ऊर्जा के कारण वृद्धि) बढ़ायी जा सकती है। यह अंतराणुक बलों के विरुद्ध अणुओं को खिसकाकर (यानि इस पर कार्य करके) भी बढ़ाई जा सकती है। आंतरिक ऊर्जा को U से दर्शाया जाता है।

किसी निकाय की आंतरिक ऊर्जा = अणुओं की गतिज ऊर्जा + अणुओं की स्थितिज ऊर्जा

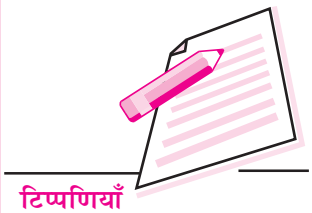
हम एक पृथक्कृत ऊष्मागतिक निकाय के बारे में विचार करते हैं, जिस पर एक बाह्य बल लगा है। मान लिया जाय कि प्रारंभिक अवस्था i से अंतिम अवस्था f तक रूद्धोष्म प्रक्रम से जाने में किया गया कार्य W है। मान लीजिए कि U_i और U_f निकाय की क्रमशः प्रारंभिक व अंतिम स्थिति में आंतरिक ऊर्जायें हैं। क्योंकि निकाय पर कार्य किया जाता है अतः अंतिम अवस्था की आंतरिक ऊर्जा प्रारंभिक अवस्था की आंतरिक ऊर्जा से अधिक होती है।

ऊर्जा संरक्षण के सिद्धान्त के अनुसार

$$U_i - U_f = -W$$

ऋणात्मक चिह्न दर्शाता है कि निकाय पर कार्य किया जाता है।

हम यह इंगित करना चाहते हैं कि कार्य के विपरीत, आंतरिक ऊर्जा प्रारंभिक व अंतिम अवस्थाओं पर निर्भर करती हे, जो कि पथ पर निर्भर नहीं करती है। इसे हम इस प्रकार व्यक्त करते हैं कि U स्थिति का फलन है और अवस्था चरों (state variables) P.V. T. पर निर्भर करता है। ध्यान दीजिए कि निकाय द्वारा कुछ कार्य किया जाता है तो इसकी आंतरिक ऊर्जा कम होती है।



11.4 ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम

अब आप जानते हैं कि ऊष्मागतिकी का शून्य कोटि का नियम हमें विभिन्न निकायों के बीच तापीय साम्य के बारे में जानकारी देता है जिसका अभिलक्षण उनका ताप समान होना है। तथापि यह नियम *असाम्य अवस्था* के विषय में कोई जानकारी नहीं देता है। हम दो उदाहरणों के बारे में विचार करते हैं (i) दो विभिन्न तापों वाले निकाय तापीय संपर्क में रखे जाते हैं और (ii) दो निकायों के बीच यांत्रिक घर्षण। इन दोनों स्थितियों में उनके तापमानों में परिवर्तन आता है लेकिन शून्यकोटि के नियम द्वारा इसकी व्याख्या नहीं की जा सकती, इन प्रक्रमों की व्याख्या करने के लिये ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम की पूर्वधारणा की गयी।

ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम वस्तुत: एक ऊष्मागतिक निकाय के लिये ऊर्जा संरक्षण का सिद्धान्त है। इसके अनुसार किसी ऊष्मागतिक प्रक्रम में आंतरिक ऊर्जा परिवर्तन उसको दी गयी ऊष्मा व इस पर किये गये कार्य के योग के बराबर होती है।

मान लीजिए कि किसी निकाय को ΔQ मात्रा प्रदान की जाती है। $-\Delta W$ वस्तु पर किया गया कार्य है, तब ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम के अनुसार आंतरिक ऊर्जा में वृद्धि

$$\Delta U = \Delta Q - \Delta W \qquad (11.3\,a)$$

यह ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम का गणितीय रूप है। यहाँ ΔQ, ΔU और ΔW SI मात्रकों में हैं। ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम को निम्न प्रकार भी लिख सकते हैं।

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta W \qquad (11.3\,b)$$

ΔQ, ΔU और ΔW के चिह्न निम्न परिपाटी के अनुसार हैं–

1. किसी निकाय द्वारा किया गया कार्य (ΔW) धनात्मक और किसी निकाय पर किया गया कार्य ऋणात्मक लिया जाता है। निकाय के प्रसार में कार्य धनात्मक व संपीडन में ऋणात्मक लिया जाता है। किया गया कार्य प्रारंभिक व अंतिम ऊष्मागतिक अवस्थाओं पर निर्भर नहीं करता यह परिवर्तन के लिये अपनाये गये पथ पर निर्भर करता है।
2. निकाय द्वारा प्राप्त की गयी ऊष्मा धनात्मक तथा उसके द्वारा खोई गयी ऊष्मा ऋणात्मक ली जाती है।
3. आंतरिक ऊर्जा में वृद्धि धनात्मक व ह्रास ऋणात्मक लिया जाता है।

यदि एक निकाय को स्थिति 1 से स्थिति 2 में ले जाया जाता है तो यह पाया जाता है कि ΔQ और ΔW अवस्था परिवर्तन के पथ पर निर्भर करते हैं। तथापि ($\Delta Q - \Delta W$) का मान सभी अवस्था परिवर्तन के पथों के लिये समान रहता है। अत: हम कह सकते हैं कि आंतरिक ऊर्जा ΔU किसी निकाय के ऊष्मागतिकीय परिवर्तन के पथ पर निर्भर नहीं करती।

11.4.1 ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम की सीमाएं

ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम ऊष्मा एवं अन्य प्रकार की ऊर्जा की तुल्यता पर जोर देता है। इस तुल्यता के आधार पर ही हमारी आपकी गतिविधियां संभव है। विद्युत ऊर्जा जिससे हमारे

घरों में प्रकाश होता है, मशीनें काम करती हैं, रेलगाड़ियां चलती है उस ऊष्मा से प्राप्त होती है जो कि जैवाश्म ईंधन या नाभिकीय ईंधन को जलाने से प्राप्त होती है। एक दृष्टि से यह नियम सार्वभौमिक है। यह ऊंचाई बढ़ने के साथ तापमान की गिरावट (रूद्धोष्म ह्रास दर) को समझाता है। प्रवाह प्रक्रमों और रासायनिक क्रियाओं में भी इनके अनुप्रयोग काफी मनोरंजक है। तथापि निम्न प्रक्रमों पर विचार करें।

- आप जानते हैं कि ऊष्मा सदैव गर्म पदार्थ से ठंडे पदार्थ की ओर प्रवाहित होती है लेकिन ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम यह स्पष्टीकरण देने में असमर्थ है कि ऊष्मा अपेक्षाकृत ठंडी वस्तु से गर्म वस्तु की ओर प्रवाहित क्यों नहीं हो सकती है। इसका अर्थ यह हुआ कि इस नियम से ऊष्मा प्रवाह की दिशा के बारे में कोई संकेत नहीं मिलता है।
- आप जानते हैं जब एक गोली लक्ष्य को बेधती है तो गोली की गतिज ऊर्जा ऊष्मा में रूपान्तरित हो जाती है। इस नियम से इस बात का स्पष्टीकरण नहीं होता कि निशाने पर गोली लगने से उत्पन्न ऊष्मा गोली की गतिज ऊर्जा में क्यों रूपान्तरित नहीं हो जाती है ताकि गोली उड़ कर दूर चली जाती। इसका अर्थ यह हुआ कि यह नियम उस परिस्थिति का ज्ञान देनें में असमर्थ है जिसमें ऊष्मा कार्य में रूपान्तरित हो सकती है।

इसके अलावा इसकी एक और स्पष्ट सीमा यह है कि इस नियम से यह ज्ञान नहीं होता कि ऊष्मा किस सीमा तक कार्य में रूपान्तरित हो सकती है, साथ ही इस नियम से यह भी इंगित नहीं होता कि किस सीमा तक ऊष्मा कार्य में रूपान्तरित हो सकती है।

अब आप विराम लें और निम्न प्रश्नों के उत्तर देने का प्रयास करें।

पाठगत प्रश्न 11.2

1. रिक्त स्थानों की पूर्ति कीजिए

(i) किसी निकाय के कणों की गतिज व स्थितिज ऊर्जाओं का योग इसकी ....है।

(ii) किया गया कार्य = – W यह दर्शाता है निकाय..... कार्य किया जाता है।

2. ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम का कथन यह है कि

11.5 ऊष्मागतिकी का दूसरा नियम

आप जानते हैं कि ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम में ऊष्मा प्रवाह, व रूपान्तरण की क्षमता (अर्थात् ऊष्मा को कार्य में परिवर्तित करने की क्षमता) के संदर्भ में स्वाभाविक सीमायें हैं। इस प्रकार आपके मस्तिष्क में एक विचार उठ सकता है कि क्या ऊष्मा को कार्य में बदला जा सकता है। रूपान्तरण की क्या शर्तें है? इन सभी प्रश्नों के उत्तर ऊष्मागतिकी के दूसरे नियम की संकल्पना में शामिल है। ऊष्मागतिकी के द्वितीय नियम के अनेक प्रक्कथन (Statements) हैं। तथापि आप ऊष्मागतिकी के दूसरे नियम के केल्विन प्लाँक (Kelvin Plank) तथा कलॉसियस (Classius) के प्रक्कथन के बारे में अध्ययन करेंगे।

केल्विन-प्लाँक प्रक्कथन : यह ऊष्मा इंजनों की क्षमताओं के बारे में अनुभव पर आधारित है। ऊष्मा इंजन के बारे में अगले परिच्छेद में विवेचना की गयी है। एक ऊष्मा इंजन में, कार्यकारी पदार्थ स्त्रोत (गर्म पदार्थ) से ऊष्मा लेता है और इसके कुछ अंश को कार्य में रूपान्तरित करने के पश्चात ऊष्मा के शेष भाग को सिंक (ठंडी वस्तु या वातावरण) को दे देता है। ऐसा कोई इंजन नहीं है जो सम्पूर्ण ऊष्मा को, बिना सिंक को कुछ ऊष्मा प्रदान किये, कार्य में बदल सकता है। इन प्रेक्षणों के आधार पर केल्विन व प्लाँक ने ऊष्मागतिकी के दूसरे नियम के बारे में यह कथन दिया।

किसी निकाय के लिये नियत ताप पर किसी स्त्रोत से ऊष्मा अवशोषित करके उसकी संपूर्ण मात्रा को कार्य में रूपान्तरित करना असंभव है।

क्लॉसियस द्वारा दिया गया ऊष्मागतिकी का दूसरा नियम: यह रेफ्रीजरेटर के कार्य पर आधारित है। रेफ्रीजरेटर विपरीत दिशा में कार्य करने वाला ऊष्मा इंजन है। जब इस पर कार्य किया जाता है तो यह अपेक्षाकृत ठंडी वस्तु से अपेक्षाकृत गर्म वस्तु को ऊष्मा हस्तान्तरित कर देता है। यहाँ निकाय पर किये गये बाह्य कार्य की संकल्पना महत्वपूर्ण है। इस बाह्य कार्य को करने के लिये किसी बाह्य स्त्रोत द्वारा ऊर्जा आपूर्ति आवश्यक हैं इन तथ्यों के आधार पर क्लासियस ने ऊष्मागतिकी के दूसरे नियम के बारे में यह प्रक्कथन दिया।

किसी प्रक्रम में बाह्य कार्य किये बिना अपेक्षाकृत ठंडी वस्तु से ऊष्मा गर्म वस्तु में रूपांतरित करना असंभव है।

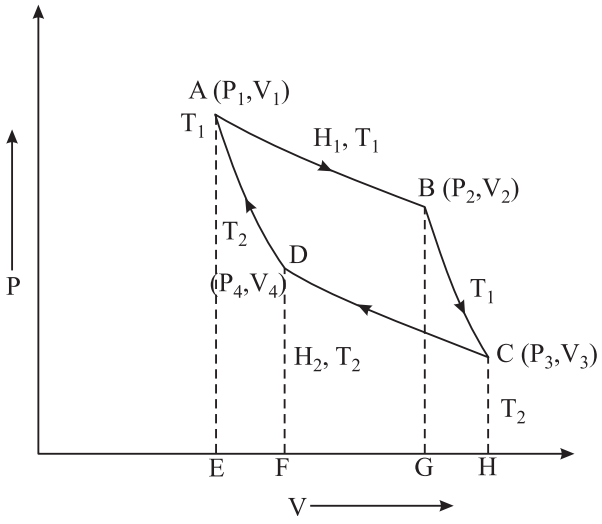
अत: ऊष्मागतिकी के दूसरे नियम की भूमिका प्रायोगिक रूप से उपयोगी जैसे ऊष्मा इंजन और रेफ्रीजरेटर में बेजोड़ है।

11.5.1 कार्नो चक्र

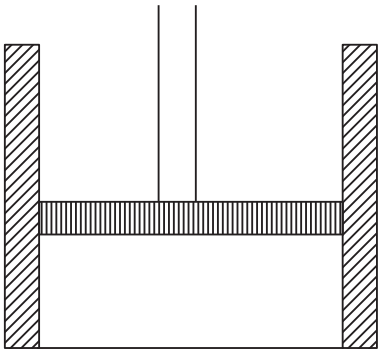
आपने यह अवलोकन किया होगा कि जब एक ढक्कन वाले बर्तन में पानी उबाला जाता है तो अन्दर पैदा हुई भाप ढक्कन को उछाल देती है। इससे यह संकेत मिलता है कि उच्च दाब की भाप से उपयोगी कार्य किया जा सकता है। **ऐसी युक्ति जो ऊष्मा को अविराम रूप से कार्य में रूपान्तरित करती है ऊष्मा इंजन कहलाती है।** दैनिक जीवन में काम आने वाले आधुनिक इंजन, ऊष्मा इंजन के सिद्धान्त पर आधारित है। इनको तीन श्रेणियों में बांटा जाता है–भाप इंजन, अंतर्दहन इंजन और गैस टरबाइन इंजन।

कार्नो चक्रमें कार्यकारी पदार्थ को चार प्रचालनों के चक्र से गुजारा जाता है–(a) समतापी प्रसार (b) रूद्धोष्म प्रसार (c) समतापी संपीडन व (d) रूद्धोष्म संपीडन।

ऐसा चक्र चित्र 11.4 में P-V ग्राफ से निरूपति किया गया है। कार्नो चक्र के चार प्रचालनों को समझाने के लिये मान लीजिये कि कार्यकारी पदार्थ के एक ग्राम मोल (1 g mol) को सिलिंडर में भरा गया है। चित्र 11.5 देखिये। सूचक ग्राफ में पदार्थ की मूल अवस्थाओं को बिन्दु द्वारा दर्शाया गया है। बिन्दु A पर पदार्थ का तापमान T_1, दाब P_1 और आयतन V_1 हैं।



चित्र 11.4: कार्नो चक्र का सूचक आरेख



चित्र 11.5: कार्यकारी पदार्थ के साथ सिलिन्डर

(a) **समतापी प्रसार :** सिलिण्डर को स्रोत के साथ तापीय संपर्क में रख दिया जाता है और कार्यकारी पदार्थ का प्रसार होने दिया जाता है। कार्यकारी पदार्थ का आयतन V_2 हो जाता है। इस प्रकार कार्यकारी पदार्थ पिस्टन को उठाने में कार्य करता है। जिससे, कार्यकारी पदार्थ का ताप गिरने लगता है, लेकिन यह स्रोत के साथ ऊष्मीय संपर्क में है इसलिये यह T_1 ताप पर स्रोत से ऊष्मा की H_1 मात्रा अवशोषित करेगा। इसे बिंदु B से दर्शाया गया है। बिंदु B पर दाब व आयतन के मान P_2 और V_2 है। सूचक आरेख (चित्र 11. 4) में आप देखते हैं कि A से B में जाने पर तंत्र का ताप समान रहता है और कार्यकारी पदार्थ का प्रसार होता है। हम इसे **समतापी प्रसार प्रक्रम** कहते हैं, H_1 समतापी प्रसार में अवशोषित हुई ऊष्मा है। तब ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम के अनुसार H_1 ताप T पर A से B तक समतापी प्रसार में गैस द्वारा किये गये कार्य के बराबर है। माना W_1 समतापी प्रसार AB में गैस द्वारा किया गया बाह्य कार्य है। तब यह क्षेत्रफल AB, EA के बराबर होगा,

$$W_1 = \text{क्षेत्रफल} ABGEA$$

(b) रूद्धोष्म प्रसार : फिर सिलिन्डर को स्रोत से हटाकर एक पूर्ण ऊष्मारोधी स्टेण्ड पर रखा जाता है। पिस्टन पर भार को P_3 तक कम किया जाता है। यह प्रसार पूर्णतया रूद्धोष्म है क्योंकि कोई ऊष्मा न तो कार्यकारी पदार्थ तक पहुंच सकती है और न ही इससे अलग हो सकती है। अत: पिस्टन उठाने में कार्यकारी पदार्थ अपनी आंतरिक ऊर्जा खर्च करके बाह्य कार्य करता है। अत: इसका ताप गिर जाता है। गैस का ताप T_2 (सिंक का ताप) तक गिरने तक रूद्धोष्म रूप से प्रसार करने दिया जाता है इसे सूचक ग्राफ में रूद्धोष्म वक्र BC से दर्शाया गया हैं। हम इसे **रूद्धोष्म प्रसार** कहते हैं। C पर कार्यकारी पदार्थ का दाब व आयतन क्रमश: P_3 व V_3 हैं। B से C तक जाने में कार्यकारी पदार्थ द्वारा किया गया कार्य

$$W_2 = \text{BCHGB क्षेत्रफल}$$

(c) समतापी संपीडन : सिलिन्डर को ऊष्मारोधी स्टैण्ड से हटाकर इसे T_2 ताप के सिंक पर रखें। गैस को धीरे से संपीडित करने के लिये पिस्टन के ऊपर भार रखकर (दाब लगाकर) दाब व आयतन के मान क्रमश: P_4 व V_4 होने तक जारी रखें। इसे सूचक आरेख में D बिंदु से निरूपित किया गया है (चित्र 11.4)। संपीडन से बढ़ी ऊष्मा H_2 सिंक को दे दी जायेगी। इस प्रकार तंत्र के ताप में कोई अन्तर नहीं आता। अत: इसे **समतापी संपीडन प्रक्रम** कहते हैं। इसे (चित्र 11.4) में CD वक्र द्वारा दर्शाया गया है।

$$W_3 = \text{CHFDC क्षेत्रफल}$$

(d) रूद्धोष्म संपीडन : एक बार फिर से निकाय को (सिलिन्डर को) ऊष्मारोधी स्टैंड पर रखिए और पिस्टन पर धीरे-धीरे भार बढ़ाइए। पदार्थ का रूद्धोष्म संपीडन होता है। यह संपीडन ताप T_1 होने तक बढ़ने दिया जाता हैं और पदार्थ अपने प्रारंभिक दाब व आयतन के मान P_1 व V_1 प्राप्त कर लेता है। यह एक रूद्धोष्म संपीडन प्रक्रम है– जिसे वक्र DA द्वारा सूचक ग्राफ (चित्र 11.4) में दर्शाया गया है। माना D से A तक रूद्धोष्म प्रक्रम में W_4 कार्य किया जाता है। तब

$$W_4 = \text{Area DFEAD}$$

प्रचालन चक्र के दौरान कार्यकारी पदार्थ स्रोत से H_1 मात्रा में ऊष्मा लेता है–और सिंक को H_2 मात्रा देता है। अत: कार्यकारी पदार्थ द्वारा अवशोषित नेट ऊष्मा का मान

$$\Delta H = H_1 - H_2$$

और इंजन द्वारा एक चक्र में किया गया नेट कार्य (मान W) है।

जहां

$$W = \text{क्षेत्र ABCHEA} - \text{क्षेत्र CHEADC}$$

$$= \text{क्षेत्र ABCD}$$

$$\text{या ABCD का क्षेत्रफल}$$

अत: एक चक्र में किया गया कार्य P-v आरेख के क्षेत्रफल के बराबर होता है।

आप यह पढ़ चुके हैं कि चक्रीय प्रक्रम में पदार्थ की प्रारंभिक व अंतिम स्थितियां समान हैं। अर्थात् इसकी आंतरिक ऊर्जा अपरिवर्तित रहती है। अत: ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम के अनुसार

$$W = H_1 - H_2$$

अत: ऊष्मा कार्य में परिवर्तित हो गयी है और चक्र की पुनरावृत्ति करके कितनी ही मात्रा में कार्य किया जा सकता है।

11.7.2 कार्नो इंजन की दक्षता

कार्नो इंजन की दक्षता की परिभाषा, ''यह एक चक्र में कार्य में रूपान्तरित ऊष्मा तथा कार्यकारी पदार्थ द्वारा स्त्रोत से ली गयी ऊष्मा का अनुपात है,

$$\eta = \frac{\text{ऊष्मा का कार्य में रूपान्तरण}}{\text{स्त्रोत से ली गयी ऊष्मा}}$$

अथवा

$$\eta = \frac{H_1 - H_2}{H_1} = 1 - \frac{H_2}{H_1}$$

कार्नो इंजन के लिए यह दिखाया जा सकता है कि,

$$\frac{H_2}{H_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

अत:

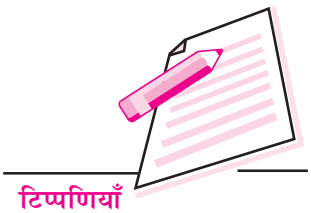
$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

लेकिन $H_2 = 0$ के लिये $T_2 = 0$ होना चाहिये। इसका आशय यह हुआ कि η 100% तभी होगी जब $T_2 = 0$ होगा। ऐसी स्थिति में गर्म स्त्रोत से ली गयी पूरी ऊष्मा कार्य में बदल जाती है। यह ऊष्मागतिकी के दूसरे नियम की अवहेलना होगी। अत: एक भाप इंजन निश्चित ताप सीमाओं के बीच ही कार्य कर सकता है और इसकी क्षमता 1 से कम होगी।

यह तर्क भी दिया जा सकता है कि कार्नो चक्र क्योंकि एक उत्क्रमणीय चक्र है। अत: कोई भी इंजन समान तापान्तर के बीच कार्य करने वाले कार्नो इंजन से अधिक क्षमता का नहीं हो सकता है।

11.7.3 कार्नो चक्र की सीमाएं

आपने कार्नोचक्र का अध्ययन समतापी व रूद्धोष्म प्रक्रमों के संदर्भ में किया है। यहां इस बात पर ध्यान देना आवश्यक है कि समतापी प्रक्रम केवल तभी होता है जब पिस्टन अत्यधिक धीरे-धीरे चले। तात्पर्य यह है कि कार्यकारी पदार्थ से स्त्रोत तक ऊष्मा के स्थानान्तरण के लिए पर्याप्त समय हो तथा दूसरी ओर रूद्धोष्म प्रक्रम में ऊष्मा स्थानान्तरण से बचने के लिए पिस्टन अत्यधिक तीव्र गति से चलता है। व्यवहार में इन दोनों ही महत्वपूर्ण शर्तों को पूरा करना असंभव है। इन्हीं कारणों से सभी व्यावहारिक इंजनों की दक्षता कार्नो इंजन से कम होती है।



पाठगत प्रश्न 11.3

1. निम्न कथन सत्य हैं या असत्य

   (i) एक कार्नो इंजन में जब एक आदर्श गैस द्वारा गर्म ऊष्मा ली जाती है तब स्रोत का ताप गिर जाता है।

   (ii) कार्नो इंजन में यदि सिंक का ताप कम हो जाता है तो इंजन की दक्षता भी कम हो जाती है।

2. एक कार्नो इंजन की 100 K और 500 K के बीच तथा T और 100 K के बीच दक्षता समान है। बतलाइये T का मान क्या होगा?

3. कार्नो इंजन के लिये एक प्रारूपी (typical) आरेख बनाइये और इस आरेख में वह क्षेत्र दर्शाइए जो

   (i) स्रोत से ली गयी ऊष्मा को दर्शाता है (ii) सिंक को दी गई ऊष्मा को दिखाता है। (iii) कार्य में रूपान्तरित ऊष्मा को दर्शाता है।

आपने क्या सीखा

- ऊष्मा ऊर्जा का एक रूप है जो हमें गर्मी की अनुभूति कराता है।
- उच्चतर ताप पर वस्तु से निम्नतर ताप पर वस्तु के बीच तापान्तर के कारण जो ऊर्जा प्रवाहित होती है उसे ऊष्मा कहते हैं।
- ऊष्मा ऊर्जा का सामान्य प्रचलित मात्रक कैलॉरी है। 1 cal = 4.18 J और 1k cal = 10^3 cal
- ऊष्मागतिक प्रक्रम का ऐसा ग्राफ जो यह दर्शाता है कि किसी निकाय का दाब अपने आयतन के साथ किस प्रकार परिवर्तित होता है, सूचक ग्राफ कहलाता है।
- एक गैस के प्रसार या संपीडन में किया गया कार्य $P\Delta V = P(V_f - V_i)$।
- ऊष्मागतिकी के शून्य कोटि के नियम के अनुसार, ''यदि दो निकाय किसी तीसरे निकाय के साथ अलग-अलग तापीय साम्य में हों तो उन दोनों निकायों के बीच भी तापीय साम्य होना चाहिए।
- किसी वस्तु के अणुओं की गतिज ऊर्जा व स्थितिज ऊर्जा का योग उसकी आंतरिक ऊर्जा बतलाता है। आंतरिक ऊर्जा व कार्य में $U_i - U_f = -W$ संबंध होता है।
- ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम के अनुसार किसी निकाय को दी गयी ऊष्मा ऊर्जा की मात्रा निकाय की आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन व किये गये बाह्य कार्य के योग के बराबर होती है।

- ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम प्रक्रम की दिशा के बारे में कोई जानकारी नहीं देता है।
- वह प्रक्रम जो अंतिम अवस्था में पहुंचने पर विपरीत दिशा में लौट कर प्रारंभिक अवस्था में पहुंच जाता है उत्क्रमणीय प्रक्रम कहलाता है।
- वह प्रक्रम जो अपनी अंतिम अवस्था में से प्रारंभिक अवस्था में उसी साम्य अवस्था के साथ-साथ वापिस नहीं लौट सकता अनुत्क्रमणीय प्रक्रम कहलाता है। किन्तु स्थिर ताप पर होने वाला प्रक्रम समतापी प्रक्रम होता है।
- एक समान ऊष्मा पर होने वाला कोई भी ऊष्मागतिक प्रक्रम रूद्धोष्म प्रक्रम होता है।
- द्रव की तीन अवस्थाएं इसकी प्रावस्थायें कहलाती हैं तथा द्रव की तीन प्रवस्थाओं को दर्शाने वाला दाब-ताप आरेख प्रावस्था आरेख कहलाता है।
- प्रावस्था आरेख में त्रिक बिंदु द्रव्य के विशेष ताप एवं दाब को दर्शाता है। इस बिंदु पर द्रव्य की तीनों अवस्थाएं–ठोस, द्रव एवं वाष्प एक साथ पाई जा सकती हैं।
- ऊष्मागतिकी के दूसरे नियम के बारे में केल्विन-प्लांक प्रक्कथन के अनुसार–ऊष्मा के एक स्रोत से अविराम कार्य प्राप्त करते रहना संभव है।
- क्लासियस के दूसरे नियम के कथन के अनुसार–कार्यकारी पदार्थ पर बाह्य कार्य किये बिना अपेक्षाकृत ठंडी वस्तु से ऊष्मा अपेक्षाकृत गरम वस्तु में स्थानान्तरित नहीं हो सकती है।
- किसी ऊष्मा इंजन के तीन अनिवार्य अवयव हैं

  (i) सिंक–जिसमें से ऊष्मा ली जा सकती है।

  (ii) सिंक–जिसमें ऊष्मा दी जा सकती हैं।

  (iii) कार्यकारी पदार्थ–जो ऊष्मा प्राप्त करने पर यांत्रिक कार्य करता है।
- कार्नो इंजन एक आदर्श इंजन होता है जिसमें कार्यकारी पदार्थ को चार प्रचालनों के चक्र से गुजारा जाता है: (i) समतापी प्रसार (ii) रूद्धोष्म प्रसार (iii) समतापी संपीडन (iv) रूद्धोष्म संपीडन। इस प्रकार के चक्र को कार्नो चक्र कहते हैं।
- एक कार्नो इंजन की दक्षता इस प्रकार दी जाती है।

$$\eta = 1 - \frac{H_2}{H_1}, \; H_1 = \text{अवशोषित ऊष्मा} \; H_2 = \text{निराकृत ऊष्मा}$$

$$= 1 - \frac{T_2}{T_1}, \; T_1 = \text{स्रोत का ताप} \; T_2 = \text{सिंक का ताप}$$

- दक्षता पदार्थ की प्रकृति पर निर्भर नहीं करती है।

पाठांत प्रश्न

1. आंतरिक ऊर्जा और ऊष्मा ऊर्जा में भेद लिखिए।
2. सूचक ग्राफ किसे कहते है? आदर्श गैस प्रसार के दौरान किए गए कार्य के लिए व्यंजक प्राप्त कीजिए।
3. ऊष्मागतिकी के शून्य कोटि नियम का उपयोग करके ताप की परिभाषा लिखिए।
4. ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम और उसकी सीमायें लिखिए।
5. समतापी, रूद्धोष्म, समदाबी तथा समआयतनी प्रक्रमों में क्या अन्तर है?
6. ऊष्मागतिकी का दूसरा नियम लिखिए।
7. उदाहरणों सहित उत्क्रमणीय व अनुत्क्रमणीय प्रक्रमों की विवेचना कीजिए।
8. कार्नो चक्र की व्याख्या कीजिए। सूचक ग्राफ की सहायता से कार्नो इंजन की दक्षता की गणना कीजिए।
9. उस निकाय की आंतरिक ऊर्जा में होने वाले परिवर्तन का मान ज्ञात कीजिए जो (a) 200 J ऊष्मा अवशोषित करता है और 500 J कार्य करता है (b) 110 J ऊष्मा अवशोषित करता है तथा इस पर 400 J का कार्य किया जाता है।
10. एक कार्नो इंजन जिसके स्रोत का ताप 400 K है, इस ताप पर ऊष्मा की 200 कैलोरी लेता है और सिंक को ऊष्मा की 150 कैलोरी निराकृत कर देता है। (i) बतलाइए सिंक का ताप क्या है? (ii) इंजन की दक्षता का मान ज्ञात कीजिए।
11. 250 K व 300 K के बीच रेफ्रिजरेटर के स्रोत रूप में कार्य कर रहा है कार्नो इंजन निम्न ताप पर सिंक से 500 कैलोरी ग्रहण करता है। बताइए (i) उच्च ताप पर सिंक में निराकृत ऊष्मा की मात्रा क्या होगी? (ii) रेफ्रिजरेटर को चलाने के लिये प्रतिचक्र किये कार्य की मात्रा बताइए।
12. एक कार्नो इंजन 400 K पर किसी स्रोत से 200 कैलोरी ऊष्मा लेता है और 150 कैलोरी सिंक को निराकृत करता है, तो (i) सिंक का ताप कितना है। (ii) इंजन की दक्षता ज्ञात कीजिए।

पाठान्त प्रश्नों के उत्तर

11.1

1. (i) ताप (ii) C (iii) जूल या कैलोरी
2. (a) $P_2 (V_2 - V_1)$ (b) $-P_2 (V_2 - V_1)$

टिप्पणियाँ

3. (i) उत्क्रमणीय (ii) अनुत्क्रमणीय

4. समतापी प्रक्रम स्थिर ताप पर होता है जबकि रूद्धोष्म प्रक्रम स्थिर ऊष्मा पर।

5. त्रिक बिंदु पर द्रव्य की तीनों अवस्थाओं–ठोस, द्रव व वाष्प, का सहअस्तित्व हो सकता है।

11.2

1. (i) आंतरिक ऊर्जा (ii) पर

2. यह बतलाता है कि किसी निकाय को दी गई ऊष्मा उसकी आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन एवं बाह्य कार्य के योग के बराबर होती है।

11.3

1. (i) गलत (ii) सही

2. (i) 2000 K (ii) 8583.1K

पाठान्त प्रश्नों के उत्तर

9. (a) 1500 J (b) 1500 J.

10. 300K, 25%

11. 577 कैलोरी, 3225