भौतिकी

अध्याय-12: ऊष्मागतिकी

ऊष्मागतिकी

ऊष्मागतिकी के अंतर्गत हम ऊष्मा तथा यांत्रिक ऊर्जा में परस्पर संबंध का अध्ययन करते हैं। ऊष्मागतिकी के कुछ महत्वपूर्ण तथ्य निम्न प्रकार से हैं-

- ऊष्मा ऊर्जा का ही एक रूप है।
- ऊष्मा इंजन द्वारा ऊष्मीय ऊर्जा का यांत्रिक ऊर्जा में रूपांतरण किया जाता है।
- एक कैलोरी में 4.18 जूल होते हैं यही इसके बीच संबंध है।
- वायु में अनुदैर्ध्य तरंगों का संचरण होना रुद्धोष्म प्रक्रम का एक उदाहरण है।
- बर्फ का गलना तथा मोम का जमना एक समतापी प्रक्रम का उदाहरण है।
- कार्नो इंजन में कार्यकारी पदार्थ आदर्श गैस होती है।
- लोहे पर जंग लगना एक अनुत्क्रमणीय प्रक्रम का उदाहरण है।

तापीय साम्य

जब दो भिन्न-भिन्न तापों की वस्तुओं को परस्पर एक दूसरे के संपर्क में रखा जाता है तो इन वस्तुओं में ऊष्मा, उच्च ताप वाली वस्तु से नीचे ताप वाली वस्तु की ओर प्रवाहित होने लगती है। यह प्रवाह तब तक जारी रहता है जब तक दोनों वस्तुओं पर ताप सामान न हो जाए। जैसे ही दोनों वस्तुओं पर ताप समान हो जाता है तो उनमें ऊष्मा का प्रवाह रुक जाता है। तब इस स्थिति में दोनों वस्तुएं एक-दूसरे के तापीय साम्य में होती हैं। इसे ऊष्मीय साम्य में भी कहते हैं।

निकाय की आंतरिक ऊर्जा

किसी ऊष्मागतिकी निकाय की आंतरिक ऊर्जा निकाय के अणुओं की स्थानांतरित गतिज ऊर्जा, घूर्णन ऊर्जा, कंपन गतिज ऊर्जा तथा स्थितिज ऊर्जा के योग के बराबर होती है।

विलगित निकाय

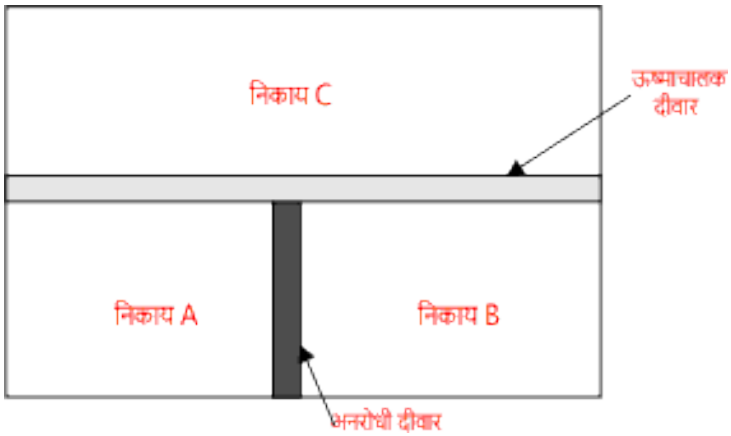
वह निकाय जिसमें ऊष्मा का आदान प्रदान नहीं होता है। अर्थात इस निकाय की आंतरिक ऊर्जा में कोई परिवर्तन नहीं होता है। अतः

$\Delta U = 0$

ऊष्मागतिकी का शून्यवां नियम

ऊष्मागतिकी के शून्य नियम के अनुसार, यदि दो निकाय किसी तीसरे ऊष्मागतिकी निकाय के साथ अलग-अलग तापीय साम्य में है तो वह दोनों निकाय भी परस्पर तापीय साम्य में होंगे।

माना दो ऊष्मागतिकी निकाय A और B हैं जो दोनों अलग-अलग तीसरे ऊष्मागतिकी निकाय C से तापीय साम्य में है। तब निकाय A और B भी तापीय साम्य में होंगे। चित्र सहित स्पष्ट किया गया है।



ऊष्मागतिकी का शून्यवां नियम

शून्य निगम का स्पष्टीकरण

चित्र में दो ऊष्मागतिकी निकाय A और B है दोनों निकाय एक ऊष्मारोधी दीवार (जिसमें ऊष्मा का चालन न हो) से अलग-अलग किए गए हैं। एवं दोनों निकाय, तीसरे ऊष्मागतिकी निकाय C से एक सुचालक दीवार से जुड़े हैं। सुचालक दीवार (ऊष्मा चालक दीवार) में ऊष्मा का आदान-प्रदान होता है इस स्थिति में निकाय A और B अलग अलग होने पर भी निकाय C के साथ तापीय साम्य प्राप्त कर लेते हैं।

यदि A और B के बीच ऊष्मा चालक दीवार लगा दी जाए तथा निकाय C की निकाय A व B से ऊष्मारोधी दीवार लगाकर उसे अलग कर दें, तो इस दशा में ऊष्मागतिकी निकाय A और B ही तापीय साम्य (ऊष्मीय साम्य) में होंगे। निकाय C तापीय साम्य में नहीं है।

अतः इससे स्पष्ट होता है कि यदि दो निकाय A और B किसी तीसरे निकाय C के साथ अलग-अलग उष्मीय साम्यावस्था में हैं तो ऊष्मागतिकी निकाय A और B भी आपस में उष्मीय साम्यावस्था में होंगे। यही ऊष्मागतिकी का शून्यवां नियम है।

अध्याय के अंतर्गत कहीं तो तापीय साम्य प्रयोग किया गया है और कहीं उष्मीय साम्यावस्था शब्द का प्रयोग किया गया है ऐसा क्यों। वास्तव में यह दोनों शब्द एक ही है तापीय साम्य को ही उष्मीय साम्यावस्था कहते हैं या उष्मीय साम्यावस्था को ही तापीय साम्य कहते हैं। दोनों में से किसी भी नाम का प्रयोग कर सकते हैं।

ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम

इस प्रथम के अनुसार, यदि किसी ऊष्मागतिकी निकाय को ऊष्मा दी जाए तो इस ऊष्मा का कुछ भाग निकाय की आंतरिक ऊर्जा में वृद्धि करने में खर्च हो जाएगा। तथा ऊष्मा का शेष भाग ऊष्मागतिकी निकाय द्वारा कार्य करने में व्यय हो जाएगा।
अर्थात किसी निकाय को Q ऊष्मा दी जाए तो ऊष्मा का कुछ भाग, आंतरिक उर्जा में वृद्धि (ΔU) में तथा शेष भाग कार्य W करने में व्यय हो जायेगा, तो

$$\boxed{Q = \Delta U + W}$$

यह ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम (first law of thermodynamics) का गणितीय रूप है। ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम ऊर्जा संरक्षण के नियम का ही एक रूप है।

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम के भौतिक महत्व

इसकी निम्नलिखित तीन तथ्य हैं-

1. ऊष्मा ऊर्जा का ही एक रूप है।
2. ऊष्मागतिकी निकाय में ऊर्जा संरक्षित रहती है।
3. प्रत्येक ऊष्मागतिकी निकाय में आंतरिक ऊर्जा विद्यमान होती है यह आंतरिक ऊर्जा केवल ऊष्मागतिकी निकाय की अवस्था पर निर्भर करती है।

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम की सीमाएं

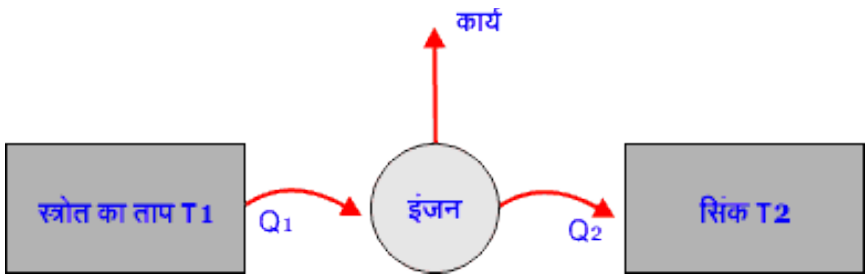
1. किसी वस्तु से ली गई ऊष्मा का केवल कुछ भाग ही कार्य में परिवर्तित किया जा सकता है संपूर्ण ऊष्मा को नहीं किया जा सकता है। शेष भाग बिना किसी कार्य किए, व्यय हो जाता है ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम यह नहीं बताता कि किसी निकाय से ली गई ऊष्मा का कितना भाग कार्य में बदल गया है।

2. ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम यह भी नहीं बताता है कि प्रक्रम संभव है या नहीं। इस नियम से केवल यह ज्ञात होता है कि प्रक्रम में ऊर्जा संरक्षित रहती है। साधारणतः ऊष्मा को पूर्ण रूप से कार्य में नहीं बदला जा सकता है। जबकि कार्य को ऊष्मा में पूर्णतः बदला जा सकता है। इसको हम ऐसा समझते हैं-

   कि आप किसी चूल्हे पर कोई बर्तन रखकर चूल्हे में आग जलाते हैं। तो ऐसा तो संभव नहीं है कि आग (ऊष्मा) का संपूर्ण भाग ही उस बर्तन पर पड़े, कुछ भाग ही बर्तन पर पड़ता है जो कार्य में परिवर्तित हो जाता है एवं शेष भाग बिना किसी कार्य के ही व्यय हो जाता है।

ऊष्मा इंजन

यह एक ऐसी युक्ति है जो ऊष्मीय ऊर्जा को यांत्रिक कार्य में परिवर्तित करती है।
ऊष्मा इंजन के मुख्यतः तीन भाग होते हैं।
(1) स्रोत
(2) कार्यकारी पदार्थ (इंजन)
(3) सिंक



कार्नो ऊष्मा इंजन

ऊष्मा इंजन कैसे काम करता है यह चित्र में दिखाया गया है। एक कार्यकारी पदार्थ (इंजन) ऊष्मा स्रोत से ऊष्मा लेता है एवं उसे ऊष्मा का कुछ भाग वह कार्य में परिवर्तित कर देता है तथा शेष भाग को वह सिंक को दे देता है। यह प्रक्रिया एक चक्र की तरह होती है इसलिए इसे चक्र भी कहते हैं।

सिंक का ताप हमेशा स्रोत के ताप से कम होता है। कहीं-कहीं आंकिक प्रश्न को हम समझ नहीं पाते हैं कि सिंक का ताप कौन सा है और स्रोत का ताप कौन सा।

तो आप याद रखें कि जो ताप कम होगा वह सिंक का ताप है।

ऊष्मा इंजन की दक्षता

ऊष्मा इंजन के एक पूर्ण चक्र में किए गए कार्य तथा स्रोत द्वारा ली गई कुल ऊष्मा के अनुपात को ऊष्मा इंजन की दक्षता कहते हैं। इसे η (ईटा) से प्रदर्शित करते हैं।
माना कार्य W तथा स्रोत का ताप Q_1 हो तो उसमें इंजन की दक्षता का सूत्र निम्न होगा। अतः

$$\eta = \frac{W}{Q_1}$$

चूंकि कार्य W = स्रोत ऊष्मा (Q_1) – सिंक ऊष्मा (Q_2)

$$\text{तब } \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

$$\text{या } \boxed{\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}}$$

ऊष्मा इंजन की दक्षता का सूत्र है इससे संबंधित numerical प्रश्न जरूर आते हैं।

कार्नो इंजन

ऊष्मा इंजन एक ऐसी युक्ति है जो उसमें ऊर्जा को यांत्रिक कार्य में परिवर्तित करती है। सन् 1824 ई० में फ्रेंच वैज्ञानिक सैडीकार्नो ने एक आदर्श ऊष्मा इंजन की परिकल्पना की। इस ऊष्मा इंजन को कार्नो ऊष्मा इंजन (Carnot's heat engine) कहते हैं।

इस इंजन में एक चक्र पूरा करने में चार प्रक्रम होते हैं।
(1) समतापी प्रसार
(2) रुद्धोष्म प्रसार
(3) समतापी संपीडन
(4) रुद्धोष्म संपीडन

कार्नो चक्र

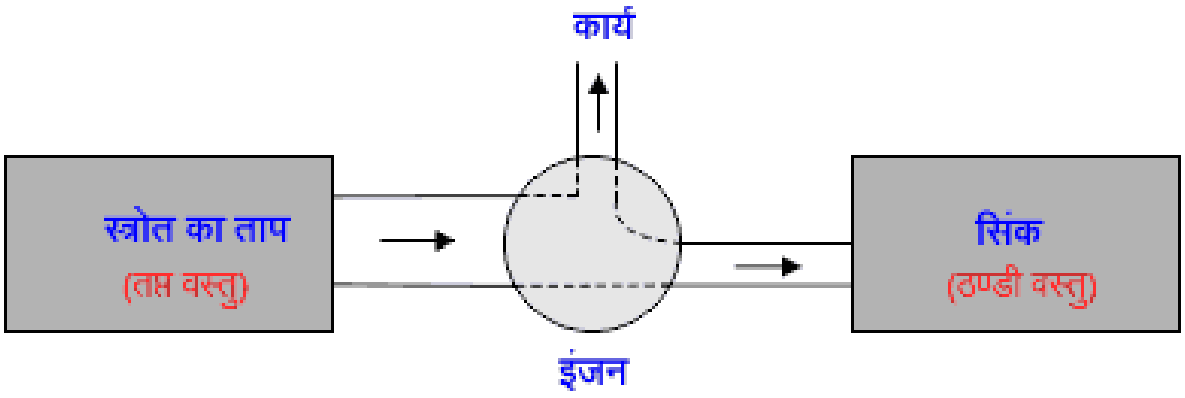
कार्नो ऊष्मा इंजन की क्रियाविधि जिस आदर्श चक्र पर आधारित होती है उसे कार्नो चक्र कहते हैं।
अर्थात् कार्यकारी पदार्थ द्वारा चार प्रक्रम में किए गए एक पूर्ण चक्र को कार्नो चक्र कहते हैं।

ऊष्मागतिकी का द्वितीय नियम

इस नियम के अनुसार, किसी भी स्वतः चलित मशीन जिससे कोई भी बाह्य स्रोत की सहायता के, ऊष्मा को किसी ठंडी वस्तु से गर्म वस्तु अथवा नीचे ताप वाली वस्तु से ऊंचे ताप वाली वस्तु को देना असम्भव है।
इस नियम को व्यक्त करने के लिए निम्न कथन मुख्य हैं-

1. केल्विन प्लांक कथन

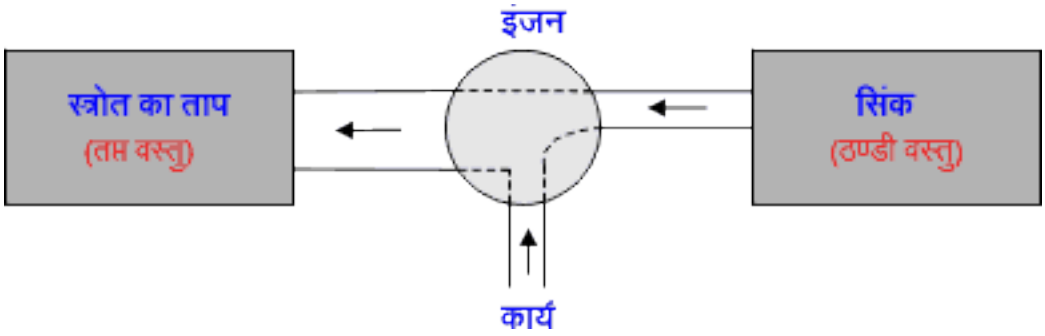
ऊष्मा इंजन के बारे में हम पढ़ चुके हैं। ऊष्मा इंजन द्वारा स्रोत से ली गई ऊष्मा का कुछ भाग कार्य में परिवर्तित करके शेष भाग को शीतल वस्तु (सिंक) को दे दिया जाता है चित्र से स्पष्ट है। अब तक ऐसा कोई भी ऊष्मा इंजन नहीं है जो ऊष्मा स्रोत से ऊष्मा लेकर उस ऊष्मा को पूर्णतया कार्य में रूपांतरित कर दें। ऊष्मा स्रोत से संपूर्ण ऊष्मा कार्य में बदल जायें, एवं शीतल वस्तु को ऊष्मा नहीं दी जाये। इसके आधार पर वैज्ञानिक केल्विन और प्लांक ने एक कथन दिया -
"ऐसा किसी भी ऊष्मा इंजन का निर्माण संभव है जो ऊष्मा स्रोत से ऊष्मा लेकर उस ऊष्मा को पूर्ण रूप से कार्य में परिवर्तित कर दें।"



2. क्लॉसियस का कथन

यह कथन प्रशीतित्र (refrigerator) के सिद्धांत पर आधारित है प्रशीतित्र में कार्यकारी पदार्थ ठंडी वस्तु (नीचे तक वाली) से ऊष्मा लेकर उसे अधिक ताप वाली वस्तु (स्रोत) को अधिक मात्रा में देता है। ऐसा करने से कार्यकारी पदार्थ (ऊष्मा इंजन) पर किसी बाह्य स्रोत द्वारा कार्य किया जाता है। ऐसा प्रशीतित्र का निर्माण असंभव है जो बिना किसी बाह्य स्रोत की सहायता के ऊष्मा को सिंक (ठंडी वस्तु) से लेकर स्रोत (तप्त वस्तु) को पहुंचा सकें। इसके आधार पर वैज्ञानिक क्लॉसियस ने एक कथन दिया -

"बिना किसी बाह्य स्रोत की सहायता के किसी स्वतः चलित मशीन के द्वारा ऊष्मा को ठंडी वस्तु से लेकर तप्त वस्तु तक पहुंचाना असंभव है।"



ऊष्मागतिकी का द्वितीय नियम ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम का एक पूरक है।

अब तक ऐसी किसी मशीन का निर्माण नहीं हुआ है जो ऊष्मागतिकी के द्वितीय नियम का वर्णन करती है। यह नियम केवल चक्रीय प्रक्रम पर ही लागू होता है।

ठंडी वस्तु, शीतल वस्तु अथवा सिंक तीनों एक ही है। इनका ताप तप्त वस्तु (स्रोत) से कम होता है। चूंकि सिंक में स्रोत की ऊष्मा का कुछ भाग ही प्रवेश करता है।