ऊष्मागतिकी

तापीय साम्य

जब दो भिन्न-भिन्न तापो की वस्तुओं को परस्पर एक दुसरें फे सम्पर्क में रखा जाता है तो इन वस्तुओं में ऊष्मा, उच्च ताप वाली वस्तु से निचे ताप वाली वस्तु की ओर प्रवाहित होने लगती है। यह प्रवाह तब तक जारी रहता है जब तक दोनो वस्तुओं पर ताप समान 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 एफ दूसरे के तापीय साम्य में होती है। इसे ऊष्मीय साम्य में भी कहते है।

निकाय की आंतरिक उर्जा

किसी ऊष्मागतिकी निकाय की आंतरिक उर्जा निकाय के अणुओं की स्थानातरित गतिज ऊर्जा, घुर्णन उर्जा. कंपन गतिज ऊर्जा तथा स्थितिज ऊर्जा के योग के बराबर होती है।

विलगित निकाय

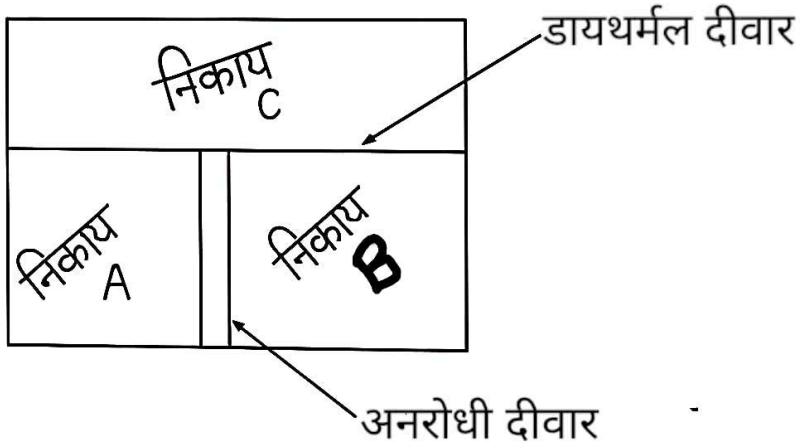
वह निकाय जिसमें ऊष्मा का आदान प्रदान नहीं होता है। अर्थात इन निकाय की आंतरिक उर्जा में कोई परिवर्तन नंही होता है।

अतः $Q = 0$

ऊष्मागतिकी का शून्य कोटि नियम

ऊष्मागतिकी के शुन्य नियम के अनुसार यदि दो निकाय किसी तीसरें ऊष्मागतिकी निकाय के साथ अलग-अलग तापीय साम्य में है तो वह दोनों निकाए भी परस्पर तापीय साम्य में होगें।

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



गुन्य निगम का स्पष्टीकरण

चित्र में दो ऊष्मागतिकी निकाय A और B मे दोनो निकाय एक ऊष्मारोधी दीवार मे अलग-अलग किए गए हैं। एवं दोनो निकाय तीसरें ऊष्मागतिकी निकाय C से एक सुचालक दीवार से जुड़े हैं। सुचालक दीवार में ऊष्मा का आदान-प्रदान होता हैं। 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 बिच ऊष्मा चालक दीवार लगा दी जाए तथा निकाय C की निकाय A एवं B से ऊष्मारोधी दीवार लगाफर उसे अलग कर दें तो इस दशा में ऊष्मागतिकी निकाय A और B ही तापीय साम्य में होंगे।

अतः इससे स्पष्ट होता हैं कि यदि दो निकाय A और B तीसरें निकाय C के साथ अलग-अलग ऊष्मीय साम्यावस्था में हैं तो ऊष्मागतिकी निकाय A और B भी आपस में उष्मीय साम्यावस्था में होंगे। यही उष्मागतिकी की शुन्यता नियम हैं।

ऊष्मा, आंतरिक उर्जा तथा कार्य

ऊष्मा

ऊष्मा ऊर्जा का ही एक रूप हैं तथा वह उर्जा विनियम जो ताप में अंतर के कारण होता हैं उसे ऊष्मा कहते हैं। इसे q द्वारा प्रदर्शित किया जाता हैं।

1. ऊष्मा का प्रवाह तब ही होता हैं जब निकाय की अवस्था में परिवर्तन हो।

2. ऊष्मा परिवर्तन के प्रभाव को ताप के रूप में देखा जा सकता है।
3. ऊष्मा का प्रवाह हमेशा उच्च ताप से निम्न ताप की ओर होता है।
4. कार्य के समान ऊष्मा भी एक बीजगणितीय राशि हो सकता है।
5. जब निकाय परिवेश से ऊष्मा ग्रहण करता है तो इसे +q से तथा जब निकाय परिवेश को ऊष्मा प्रदान करता है। तों इसे -q से दर्शाया जाता है।
6. ऊष्मा का मान निकाय के अवस्था परिवर्तन के पथ पर निर्भर करता है। अतः ऊष्मा अवस्था फलन नहीं है।
7. ऊष्मा का S। मात्रक जुल (J). तथा CGS म मात्रक कैलोरी (cal) होता है।
8. $1\,Cal = 4.2\,J$

आंतरिक उर्जा

प्रत्येक निकाय में उर्जा की एक निश्चित मात्र होती है जों कि निकाय में उपस्थित पदार्थ की प्रकृति, ताप तथा दाब इत्यादी पर निर्भर करती है।

आंतरिक उर्जा (U): प्रत्येक तंत्र के अन्दर उर्जा की कुछ निश्चित मात्रा होती है, जिसे आंतरिक उर्जा कहते है।

$U = U_{\text{संक्रमण}} + U_{\text{घुर्णन}} + U_{\text{कम्पन}} + U_{\text{बंधन}} + U_{\text{इलेक्ट्रॉनिक}}$ .....

किसी निकाय में उपस्थित पदार्थ के कणों, परमाणु, अणु या आयनों की स्थानातरण, घुर्णन, कम्पन, गतिज ऊर्जा तथा उनमें उपस्थित इलेक्ट्रॉनों एवं नाभिकों की उर्जा को सम्मिलित रूप से निकाय की आंतरिक उर्जा कहते हैं अथवा किसी निकाय की रासायनिक, वैद्युत तथा यांत्रिक उर्जा का योग को आंतरिक उर्जा कहते हैं।

U की इकाई - अर्ग (CGS मे) या जुल (S। मे) होती हैं।

। जुल = 10^7 अर्ग

आंतरिक उर्जा को U द्वारा प्रदर्शित किया जाता हैं।

पदार्थ की प्रकृति, ताप तथा दाब जिन पर निकाय की उर्जा निर्भर करती हैं, निकाय की अवस्था निर्धारित करते हैं। अतः

आंतरिक उर्जा निकाय की अवस्था पर निर्भर करती हैं न की अवस्था परिवर्तन के पथ पर। अतः आंतरिक उर्जा एक अवस्था फलन हैं।

अवस्था फलन- किसी निकाय के वे मुलभुत गुण जो निकाय की अवस्था को निर्धारित करते हैं। उन्हे अवस्था फलन कहते हैं।

आंतरिक उर्जा का निरपेक्ष, मान ज्ञात करना संभव नहीं हैं क्योकि यह अनेक अनिर्धारित कारकों पर निर्भर करती हैं।

लेकिन ऊष्मागतिकी में आंतरिक उर्जा का निरपेक्ष मान की आवश्यकता नहीं होती है। केवल अवस्था परिवर्तन के कारण होने वाला आंतरिक उर्जा परिवर्तन ही महत्वपूर्ण होता है, जिसे आसानी से ज्ञात किया जा सकता है।

यदि प्रारंभिक अवस्था (A) तथा अंतिम अवस्था (B) में किसी निकाय की आंतरिक उर्जा क्रमशः तथा U_A तथा U_B है तों आंतरिक उर्जा में परिवर्तन

$$\Delta U = U_B - U_A$$

कार्य

जब किसी निकाय की अवस्था में परिवर्तन किया जाता है तो निकाय की उर्जा भी परिवर्तित होती है। इस उर्जा परिवर्तन को कार्य द्वारा व्यक्त किया जाता है।

$$W = \int P \bullet dV$$

- जब निकाय द्वारा परिवेश पर कार्य किया जाता है तों निकाय की आंतरिक उर्जा कम हो जाती है।
- यदि उपरोक्त परिवर्तनो मे ऊष्मा का स्थानातरण नहीं होता है। अर्थात ये रुद्धोष्म है। तो निकाय पर किया गया कार्य, निकाय की आंतरिक उर्जा में वृद्धि करता है। अर्थात $\triangle U = W_{ad}$ कार्य हमेशा किसी बाह्य बल के विरुद्ध होता है।

कार्य निम्नलिखित प्रकार के होते हैं मुख्यतः

- **यांत्रिक कार्य-** किसी यांत्रिक बल के विरुद्ध किया गया कार्य यांत्रिक उर्जा कहलाती हैं।
- **विद्युत कार्य-** विद्युत बल के विरुद्ध किया गया कार्य विद्युत कार्य कहलाता हैं।
- **गुरुत्वीय कार्य-** जब गुरुत्वीय बल के विरुद्ध कार्य किया जाता है तो इसे गुरुत्वीय बल कहा जाता हैं

S। मात्रक में कार्य को जुल(J) मे तथा CGS मात्रक में इसको अर्ग(erg) में व्यक्त किया जाता हैं।

ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम

इस प्रथम नियम के अनुसार, यदि किसी ऊष्मागतिकी निकाय को ऊष्मा दी जाए तो इस ऊष्मा का कुछ भाग निकाय की आंतरिक उर्जा 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 पृथी ($\triangle U$) मे तथा शेष भाग कार्य W करने में व्यय हो जाएगा. तो

$$Q = \Delta U + W$$

यह ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम का गणितिय रूप हैं। ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम उर्जा संरक्षण के नियम का ही एक रूप हैं।

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम के भौतिक महत्व इसके निम्नलिखित तीन तथ्य हैं।

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

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम की सीमाए

1. किसी वस्तु से ली गई ऊष्मा का केवल कुछ भाग ही कार्य में परिवर्तित किया जा सकता हैं। शेष भाग बिना किसी कार्य किए, व्यर्थ हो जाता हैं। ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम यह नहीं बताता कि किसी निकाय से ली गई ऊष्मा का कितना भाग कार्य मे परिवर्तित होगा।

2. ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम यह भी नही बताता कि प्रक्रम संभव हैं या नहीं।

इस नियम से केवल यह ज्ञात होता है कि प्रक्रम में उर्जा 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 है कि आप किसी चुल्हे पर कोई बर्तन रखकर चुल्हे में आग जलाते है। तो एसा तो संभव नहीं है कि आग का संपूर्ण भाग ही उस बर्तन पर पड़े. कुछ भाग ही उस पर पड़ता है जो कार्य में परिवर्तित हो जाता है एवं शेष भाग बिना किसी कार्य के ही व्यय हो जाता है।

ऊष्मागतिकी प्रक्रम

किसी निकाय की अवस्था में परिवर्तन करके उसे विभिन्न ऊष्मा गतिकी प्रक्रम प्राप्त कर सकते है। किसी निकाय की अवस्था में परिवर्तन कुछ विधियों द्वारा किया जा सकता है। इसके आधार पर ही ऊष्मा गतिकी प्रक्रम को निम्नलिखित चार भागो में बाटा गया है।

1. समदाबी प्रक्रम
2. समआयतनिक प्रक्रम
3. समतापी प्रक्रम
4. रुद्धोष्म अथवा स्थिरोष्म प्रक्रम

1. समदाबी प्रक्रम-

वह प्रक्रम जिसमें निकाय पर दाब स्थिर रहे, तो इस प्रकार को समदाबी प्रक्रम कहते हैं। इस प्रक्रम में दाब में कोई परिवर्तन नहीं होता है। अर्थात

$$\Delta P = 0$$

उदाहरण: जल का जमकर बर्फ बनना, द्रव का वाष्प में बदलना, भाप का अतितल्प होना आदी ऐसे प्रक्रम है जिसमें दाब को स्थिर रखा जाता है अर्थात दाब नियत रहता है।

2. समआयतनिक प्रक्रम-

वह प्रक्रम जिसमें निकाय का आयतन स्थिर रहे तो इस प्रकार के प्रक्रम को समआयतनिक प्रक्रम कहते हैं। चूंकि इस प्रक्रम में निकाय का आयतन अपरिवर्तित रहता है।

अर्थात

$$\Delta V = 0$$

अतः इस निकाय द्वारा कोई कार्य नहीं किया जाता है। चूंकि

$$W = P\Delta V = 0$$

3. समतापी प्रक्रम-

वह प्रक्रम जिसमें निकाय का ताप स्थिर रहे, तो इस प्रकार के प्रक्रम को समतापी प्रक्रम कहते हैं। चूंकि इस प्रक्रम में निकाय का ताप स्थिर रहता है। अर्थात

$$\Delta T = 0$$

व्यवहार में कोई भी ऐसा पदार्थ नहीं है जो पुर्ण समतापी हो. अतः पूर्ण समतापी प्रक्रम होना असंभव है।

उदाहरण- बर्फ का गलना, मोम का जमना, द्रव का वाष्पन, जल का उबलना आदी, समतापी प्रक्रम के उदाहरण है।

आदर्श गैस में समतापी प्रक्रम

आदर्श गैस में समतापी प्रक्रम बॉयल के नियम के अनुसार होता है। अर्थात

$$PV = \text{नियतांक}$$

आदर्श गैस में समतापी प्रक्रम होने पर गैस की आंतरिक उर्जा अपरिवर्तित रहती है।

५. रुद्धोष्म प्रक्रम-

वह प्रक्रम जिसमें निकाय के न तों भीतर उष्मा जा सके और न ही निकाय के भितर की ऊष्मा बाहर जा सके, अर्थात ऊष्मा का आदान-प्रदान न हो तों इस प्रकार के प्रक्रम को रुद्धोष्म प्रक्रम कहते हैं।

चूंकि इसमे ऊष्मा का स्थानांतरण शुन्य रहता है। अर्थात

$$Q = 0$$

उदाहरण

1. पम्प से वाहन में हवा भरते समय पम्प के बैरल का गर्म हो जाना।
2. कार्बन डाइऑक्साइड गैस सिलेंडर को अचानक खोलने पर कार्बन डाइऑक्साइड का शुष्क बर्फ बन जाना।
3. साइकिल के ट्यूब से अचानक हवा निकलने पर हवा का ठंडा हो जाना।

आदर्श गैस में रुद्धोष्म प्रक्रम चार्ल्स के नियम के अनुसार होता है।

अर्थात

$$PV^{\gamma} = \text{ नियतांक}$$

समतापी प्रक्रम और रुद्धोष्म प्रक्रम में अंतर

1. समतापी प्रक्रम मे निकाय का ताप नियत रहता है। जबकी रुद्धोष्म प्रक्रम में ऊष्मा का आदान-प्रदान नही होता है।

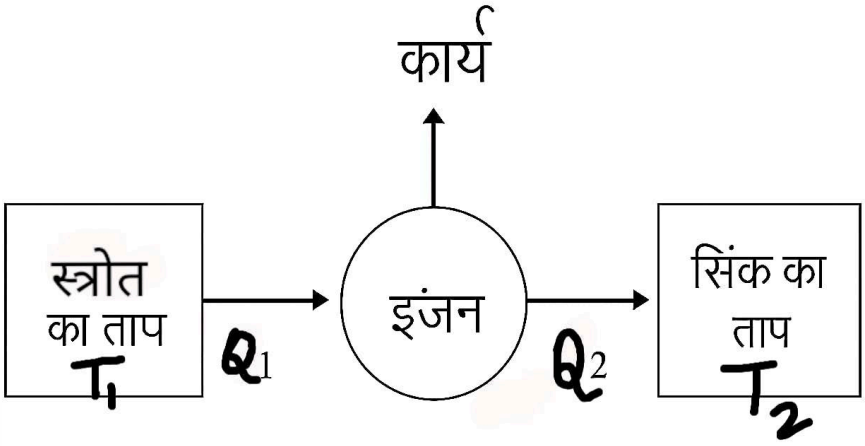
2. समतापी प्रक्रम में गैस की विशिष्ट ऊष्मा अनंत होती है। जबकी रुद्धोष्म प्रक्रम में गैस की विशिष्ट ऊष्मा शुन्य होती है।
3. समतापी प्रक्रम में निकाय की आंतरिक उर्जा नियत रहती है। जबकी रुद्धोष्म प्रक्रम में निकाय की आंतरिक उर्जा बदल जाती है।
4. समतापी प्रक्रम बहुत धीरे-धीरे होता है जबकी रुद्धोष्म प्रक्रम तेजी से होता है।

ऊष्मा इंजन

यह एक ऐसी युक्ति है जो उष्मीय उर्जा को यांत्रिक कार्य में परिवर्तित करती है। उष्मा इंजन के मुख्यतः तीन भाग होते हैं।

1. स्त्रोत
2. कार्यकारी पदार्थ
3. सिंक

BoardStudy



उष्मा इंजन कैसे काम करता है यह चित्र में दिखाया गया है। एक कार्यकारी पदार्थ उष्मा स्त्रोत से उष्मा लेता है एवं उस उष्मा 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 है।

सिंक का ताप हमेशा स्त्रोत के ताप से कम होता है।

ऊष्मा इंजन की दक्षता

उष्मा इंजन के एक पूर्ण चक्र में किए गए कार्य तथा स्रोत द्वारा ली गई कुल ऊष्मा के अनुपात को ऊष्मा इंजन की दक्षता कहते है।

इसे η से प्रदर्शित करते है। माना कार्य W तथा स्त्रोत से ली गई ऊष्मा Q_1 हो, तो उष्मा इंजन की दक्षता का सुत्र निम्न होगा। अतः

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

कार्य W = स्त्रोत ऊष्मा (Q_1) - सिंक ऊष्मा (Q_2)

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

उष्मागतिकी का द्वितीय नियम

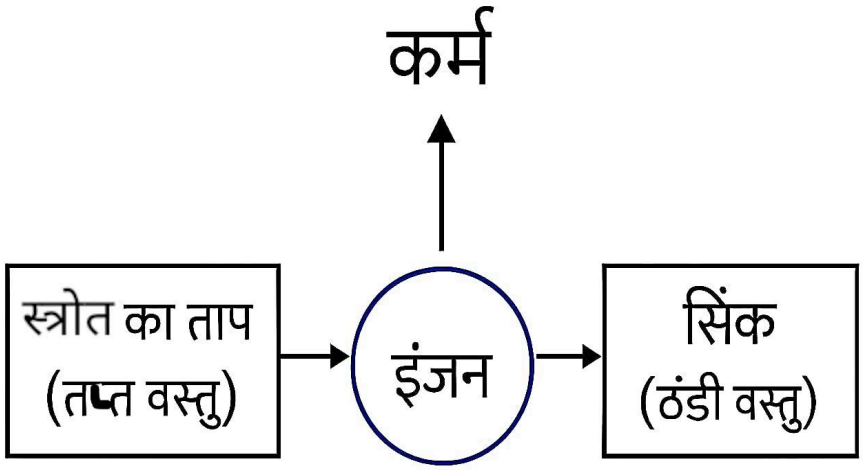
इस नियम के अनुसार, किसी भी स्वतः चलित मशीन जिससे कोई भी बाह्य स्त्रोत की सहायता न ली जाए, के द्वारा उष्मा को किसी ठंडी वस्तु से गर्म वस्तु अथवा नीचे ताप वाली वस्तु से उच्च ताप वाली वस्तु को देना असंभव है।

इस नियम को व्यक्त करने के लिए निम्न कथन मुख्य है-

I. केल्विन प्लांक कथन

उष्मा इंजन द्वारा स्त्रोत से ली गयी ऊष्मा का कुछ भाग कार्य में परिवर्तित करके शेष भाग को शीतल वस्तु को दे दिया जाता है। चित्र से स्पष्ट है। अब तक ऐसा कोई भी उष्मा इंजन नहीं है जो उष्मा स्त्रोत से उष्मा लेकर उस उष्मा को पूर्ण तथा कार्य में रुपांतरित कर दे अर्थात उष्मा स्त्रोत से ली गई संपूर्ण उष्मा कार्य में बदल जाए एवं शीतल वस्तु को ऊष्मा नहीं दी जाए।

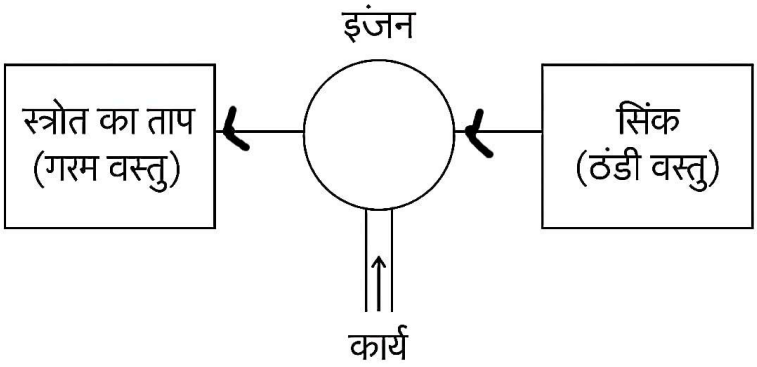
इसके आधार पर वैज्ञानिक केल्विन और प्लांक में एक कथन दिया "ऐसा किसी भी उष्मा इंजन का निर्माण संभव नहीं है जो उष्मा स्त्रोत से उष्मा लेकर उष्मा को पूर्ण रूप से कार्य में परिवर्तित कर दे।"



2. क्लासियस का कथन-

यह कथन प्रशीतित्र के सिद्धान्त पर आधारित है। प्रशीतित्र में कार्यकारी पदार्थ ठंडी वस्तु सें उष्मा लेकर उसे अधिक ताप वाली वस्तु को अधिक मात्रा में देता है। ऐसा करने के लिए कार्यकारी पदार्थ पर किसी बाह्य स्त्रोत द्वारा कार्य किया जाता है। ऐसा प्रशीतित्र का निर्माण असंभव है जो बिना किसी बाह्य स्त्रोत की सहायता के उष्मा को सिंक से लेकर स्त्रोत कों पहुंचा सकें। इसकें आधार पर वैज्ञानीक क्लासियस नें एक कथन दिया -

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



उष्मागतिकी का द्वितीय नियम उष्मागतिकी के प्रथम नियम का एक पूरक है। अब तक ऐसी किसी मशीन का निर्माण नही हुआ है जो उष्मागतिकी के द्वितीय नियम का उल्लंघन करती है। यह नियम केवल चक्रीय प्रक्रम पर ही लागू होता है।

ठण्डी वस्तु, शीतल वस्तु अथवा सिंक तीनों एक ही है। इनका ताप तप्त वस्तु से कम होता है। चूंकि सिंक में स्त्रोत की उष्मा का कुछ भाग ही प्रवेश करता है।

उत्क्रमणीय व अनुत्क्रमणीय प्रक्रम

उत्क्रमणीय प्रक्रम

वह प्रक्रम जो विपरित परिस्थितियाँ में ठीक उसी अवस्थाओं में संपन्न किया जा सकता है जिन अवस्थाओं में सीधे क्रम में संपन्न किया जा सकता है। इस प्रकार के प्रक्रम को उत्क्रमणीय प्रक्रम कहते हैं।

सरल भाषा में कहे तो किसी वस्तु को उष्मा देने में उससे कार्य प्राप्त होता है। यदि हम उस वस्तु पर कार्य करे तो उष्मा उत्पन्न होनी चाहिए।

अर्थात किसी निकाय को Q उष्मा दी जाए तथा उससे W कार्य प्राप्त होता है यदि निकाय पर W कार्य किया जाए तो उससे Q उष्मा प्राप्त होनी चाहिए।

अतः यह प्रक्रम सीधी अवस्थाओं में भी वही कार्य करता है जो विपरित अवस्थाओं में सम्पन्न करता है।

उत्क्रमणीय प्रक्रम को सपन्न करने की कुछ शर्ते हैं-

1. क्षयकारी बल अनुपस्थित होने चाहिए। अर्थात घर्षण बल, श्यानता, अप्रत्यास्थता, विद्युत प्रतिरोध आदी पूर्ण रूप से उपस्थित नहीं होने चाहिए इनकी उपस्थिती के कारण प्रक्रम उत्क्रमणीय नहीं बनता है। यह क्षयकारी बल प्रक्रम को अनुत्क्रमणीय बनाते हैं। अतः प्रक्रम कें उत्क्रमणीय होने के लिए क्षयकारी बल पुर्ण रूप से अनुपस्थित होने चाहिए।

2.प्रक्रम बाह्य परिवेश के साथ यांत्रिक, उष्मीय साम्य में रहना चाहिए। उत्क्रमणीय प्रक्रम कि यह शर्ते कभी पूरी नहीं होती हैं। अर्थात उत्क्रमणीय प्रक्रम एक आदर्श प्रक्रम है।

अनुत्क्रमणीय प्रक्रम

वह प्रक्रम जो विपरित परिस्थितियों में ठीक उसी तरह संपन्न नहीं किया जा सकता है जिस प्रकार सीधी परिस्थितियों में संपन्न किया जा सकता है। इस प्रकार के प्रक्रम को अनुत्क्रमणीय प्रक्रम कहते हैं।

अर्थात किसी निकाय को अगर Q ऊष्मा दी जाए तथा उससे W कार्य प्राप्त किया जाए तो अगर निकाय द्वारा W कार्य करने पर उससे Q उष्मा प्राप्त नहीं होती है। अतः यह प्रक्रम जो उत्क्रमणीय नहीं होता है उन्हें अनुत्क्रमणीय प्रक्रम कहते हैं।

उदाहरण

1. पानी में चीनी का घुलना- अर्थात पानी में चीनी घुल जाए तो पानी से चीनी प्राप्त नही की जा सकती है। अतः यह एक अनुक्रमणीय प्रक्रम है।
2. लोहें में जंग लगना एक अनुत्क्रमणीय प्रक्रम है।

वह सभी प्रक्रम जिसमें एक बार कोई कार्य करने पर दोबारा वही उत्पन्न नहीं किया जा सकता तो वह सभी प्रक्रम अनुत्क्रमणीय प्रक्रम होते हैं।

कार्नो इंजन

- उष्मा इंजन एक ऐसी युक्ति है जो ऊष्मीय उर्जा को यांत्रिक कार्य में परिवर्तित करती है। सन 1824 में फ्रेंच वैज्ञानिक, सादी कार्नो ने एक आदर्श उष्मा इंजन की परिकल्पना की। इस उष्मा इंजन को कार्नो उष्मा इंजन कहते है।

इस इंजन में एक चक्र पूरा करने मे चार प्रक्रम होते है।

1. समतापी प्रसार
2. रुद्धोष्म प्रसार
3. समतापी संपीडन
4. रुद्धोष्म संपीडन

कार्नो चक्र

कार्नो ऊष्मा इंजन की क्रियाविधी जिस आदर्श चक्र पर आधारित होती है। उसे कार्नो चक्र कहते है।,

अर्थात कार्यकारी पदार्थ द्वारा चार प्रक्रमों में किए गए पूर्ण चक्र को कार्नो चक्र कहते है।