Laws of Thermodynamics

आंतरिक ऊर्जा(Internal energy):

निकाय की आणविक संरचना एवं अणुओं की गति के फलस्वरूप निकाय में निहित ऊर्जा को आंतरिक ऊर्जा कहते है।

इसे 'U' द्वारा निरूपित करते हैं। यह निकाय का गुण होता है। यह अदृश्य होता है, तथा इसे सिर्फ महसूस किया जा सकता है।

आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन उसके तापमान में परिवर्तन पर निर्भर करता है। आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन निम्न समीकरण द्वारा ज्ञात किया जाता है-

$$du=mC_vdT$$

dU = आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन
m = निकाय के अन्दर द्रव्यमान
C_v = विशिष्ट ऊष्मा स्थिर आयतन पर
dT = तापमान में परिवर्तन

संक्रमण ऊर्जा- वह ऊर्जा जो निकाय की परिसीमाओं के आर-पार जा सकती है, संक्रमण ऊर्जा कहलाती है। उदाहरण - ऊष्मा, कार्य, विद्युत ऊर्जा इत्यादि ।

ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम:

यह आंतरिक ऊर्जा के सिद्धान्त पर आधारित है। इस नियम का प्रतिपादन जूल द्वारा अपने परीक्षण (1843 से 1848 ई० के मध्य) से किया गया था। इस नियम के अनुसार, "निकाय के पूर्ण चक्रीय परिवर्तन के दौरान निकाय द्वारा परिवेश को दिए गए कार्य का बीजगणितीय योग, निकाय द्वारा परिवेश से ली गई ऊष्मा के बीजगणितीय योग के समानुपाती होता है।"

$$\int dQ= \int dW$$

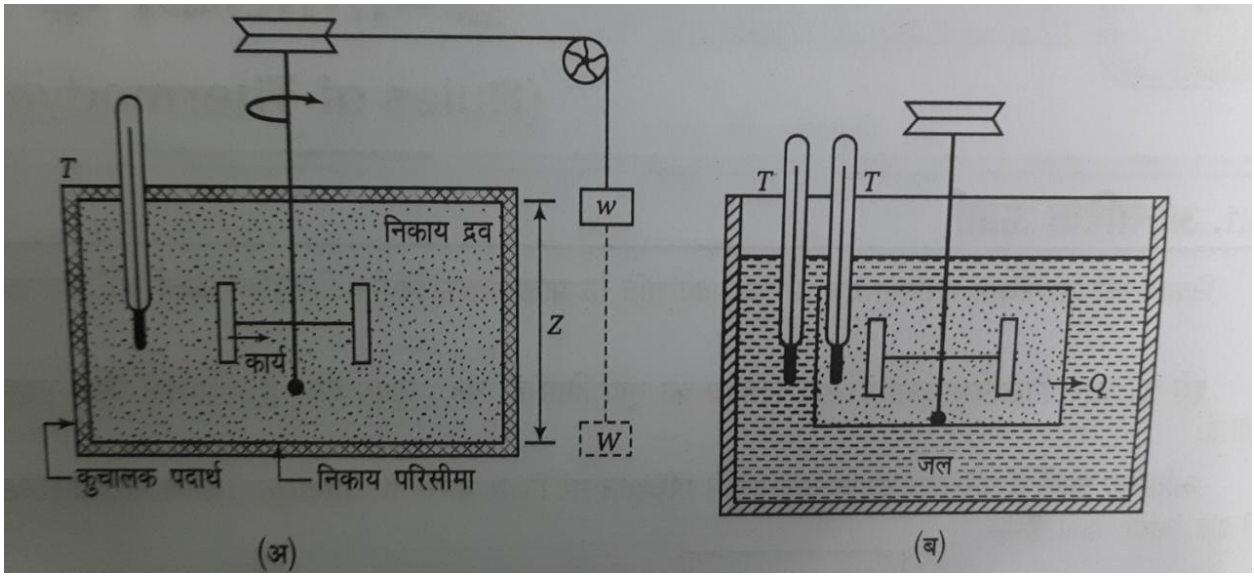
dw = परिवेश को दिया गया कार्य
"ऊष्मा एवं यान्त्रिक कार्य परस्पर एक-दूसरे के समानुपाती होते हैं।"

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम को हम ऊर्जा संरक्षण का भी नियम कहते हैं। इसके अनुसार, "ऊर्जा न तो उत्पन्न की जा सकती है और न ही नष्ट की जा सकती है, सिर्फ एक रूप से दूसरे रूप में रूपान्तरित हो सकती है।"

इस नियम का कोई गणितीय सत्यापन उपलब्ध नहीं, परन्तु इसे परीक्षणों द्वारा सत्यापित किया जा चुका है। इस नियम का अभी तक कोई विरोधी कथन सिद्ध नहीं किया जा सका है, अतः इसे "प्रकृति के नियम" से भी जाना जाता है।

<u>जूल का परीक्षण (1843 1848 ई०):-</u>

जूल द्वारा किए गए परीक्षण में जिस उपकरण का प्रयोग किया गया था उसका व्यवस्थित आरेख निम्नलिखित है—



इस उपकरण में एक पात्र का प्रयोग किया गया था, जिसमें तरल भरा हुआ था। पात्र के चारों ओर कुचालक की एक परत चढ़ा दी गई थी। चित्र (अ) में दिखाए गए आरेख के अनुसार भार को ऊपर से नीचे लाकर पात्र के अन्दर भरे तरल को पायदान पहिए (Pedal Wheel) से घुमाया गया। इस क्रिया के दौरान जूल ने देखा कि तरल के तापमान में वृद्धि होती है, जिसे तरल में डूबे थर्मामीटर द्वारा मापा जा सकता है। तरल में कार्य भार के कारण होता है, जो भार तथा विस्थापन के गुणनफल के बराबर होता है। चित्र (ब) में पात्र के चारों ओर से कुचालक के आवरण को हटाकर जल से भरे पात्र में डुबा दिया जाता है, जिससे तरल से भरा पात्र अपनी प्रारम्भिक अवस्था में आ जाता है।

इस प्रकार सम्पूर्ण निकाय एक पूर्ण चक्रीय प्रक्रम से गुजरता है। प्रयोग द्वारा प्रथम व्यवस्था में किया गया कार्य, दूसरी व्यवस्था में निष्कासित ऊष्मा के लगभग समान होता है, जिसे हम दोनों थर्मामीटर के तापमान द्वारा प्राप्त करते हैं।

जूल द्वारा इस प्रकार कई परीक्षण किए गए जिससे निम्न निष्कर्ष प्राप्त हुआ—

"निकाय को दिए गए शुद्ध कार्य की मात्रा निकाय से परिवेश को अंतरित ऊष्मा की मात्रा के समानुपाती होती है, चाहे कार्य करने की दर एवं कार्य का स्वरूप भिन्न-भिन्न हो ।"

अर्थात् $\int dQ \alpha \int dW$

जब ऊष्मा एवं कार्य के मात्रक एक हो तब

$$\int dQ = \int dW$$

जब ऊष्मा एवं कार्य के मात्रक अलग-अलग

$$J\int dQ = \int dW$$

जहाँ J = नियतांक या ऊष्मा का यान्त्रिक तुल्यांक
J = 427 kg { -m/Kcal (M.K.S. में)

नोट- आंतरिक ऊर्जा, ऊष्मा अंतरण तथा कार्य में सम्बन्ध

किसी अप्रवाही एवं अचक्रीय प्रक्रम (Non-flow and Non-cyclic Process) के लिए

$$dQ-dW=dE$$

dE = कुल ऊर्जा या सम्पूर्ण ऊर्जा

dE = आंतरिक ऊर्जा (U) + स्थितिज ऊर्जा (P.E.) + गतिज ऊर्जा (K.E.)

परन्तु अप्रवाही प्रक्रम के लिए

PE = 0 तथा KE = 0

$$dQ-dW = dU$$

$$dQ + dU = dw$$

उपरोक्त समीकरण को ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम का गणितीय स्वरूप कहा जाता है

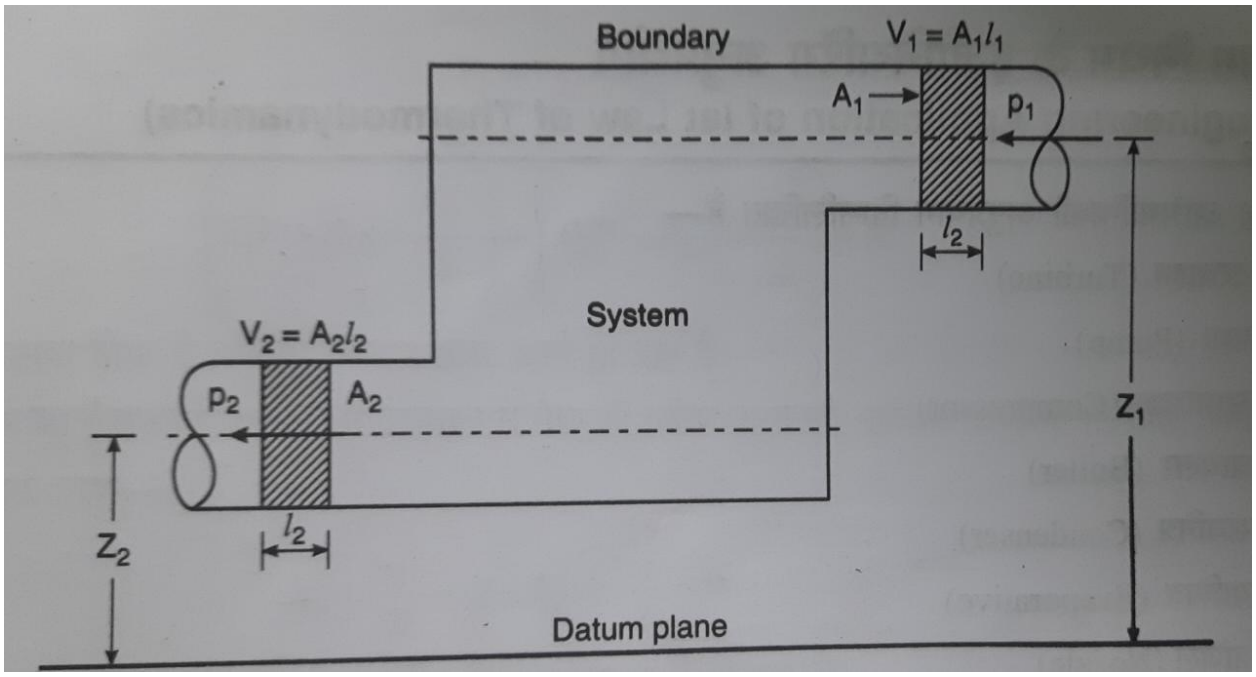
ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम का अनुप्रयोग:

स्थिर प्रवाह प्रक्रम

वह प्रक्रम जिसमें कार्यकारी पदार्थ की मात्रा निकाय में प्रवेश करते समय तथा निकाय से बाहर निकलते समय नियत बना रहता है, स्थिर प्रवाह प्रक्रम (Steady flow process) कहलाता है।

स्थिर प्रवाह प्रक्रम के लिए कुछ मान्यताएँ मानी गई हैं जो निम्नलिखित हैं-

- द्रव्यमान प्रवाह पूरे निकाय में नियत बना रहता है।
- मिश्रण में प्रवाह समान बना रहता है।
- निकाय तथा परिवेश के बीच में केवल ऊष्मा तथा कार्य का सम्बन्ध होता है।
- द्रव की अवस्था सभी बिन्दुओं पर नियत होती है, समय के सापेक्ष में।
- विश्लेषण के दौरान केवल स्थितिज, गतिज तथा प्रवाह ऊर्जा को माना जाता है।



हम जानते हैं कि ऊष्मागतिकी प्रथम नियम के अनुसार

प्रवेशित ऊर्जा प्रवाह ऊर्जा + गतिज ऊर्जा + स्थितिय ऊर्जा + दी गई ऊष्मा

दोनों सिरों पर प्रथम नियम लगाने पर-

स्थिर प्रवाह समीकरण निम्न प्रकार से प्रदर्शित किया जाता है-

$$U_1 + C_1^2/ Z + Z_1g + P_1V_1 + Q = U_2 + C_2^2/ Z + Z_2g + P_2V_2 + W$$

$$(U_1 + P_1V_1) + C_1^2/ Z + Z_1g + Q = (U_2 + P_2V_2) + C_2^2/ Z + Z_2g + W$$

$$U + PV = h$$

$$h_1 + C_1^2/Z + Z_1 g + Q = h_2 + C_2^2/Z + Z_2 g + W$$

Q= ऊष्मा की मात्रा
Z = डेटम के ऊपर की ऊँचाई
P = द्रव का दाब
U = आंतरिक ऊर्जा
PV = प्रवाह ऊर्जा
h = एन्थालपी

<u>ऊष्मागतिकी का द्वितीय नियम:</u>

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम की कुछ सीमाएँ (limitation) थीं, जैसे—

प्रथम नियम के अनुसार ऊर्जा एवं कार्य एक-दूसरे के समानुपती होता है। इसका तात्पर्य है कि सम्पूर्ण यान्त्रिक ऊर्जा, ऊष्मीय ऊर्जा में परिवर्तित हो जाती है। परन्तु सम्पूर्ण ऊष्मीय ऊर्जा यान्त्रिक ऊर्जा में परिवर्तित हो जाए यह सम्भव नहीं है। अतः ऊर्जा संरक्षण में भी सीमाएँ होती हैं। उदाहरण के लिए जब गाड़ी ऊँचाई पर चढ़ती है तो इंजन ईंधन का इस्तेमाल करता है। परन्तु जब गाड़ी ऊंचाई से नीचे की ओर चलती है तब ईंधन इंजन को वापस नहीं होता है।

उपरोक्त कथन ऊष्मागतिकी के द्वितीय नियम का आधार बना।

ऊष्मागतिकी के द्वितीय नियम के अनुसार, "ऊष्मा कभी ठण्डी वस्तु से गर्म वस्तु की ओर स्वतः प्रवाहित नहीं होती

इस नियम को विभिन्न विद्वानों द्वारा निम्न प्रकार से परिभाषित किया गया है-

(i) **केल्विन प्लांक का कथन** -इनके अनुसार, "कोई ऐसा इंजन बनाना संभव नहीं है जो कि चक्रीय प्रक्रम पर प्रचालित होते हुए प्राप्त की गई समस्त ऊष्मीय ऊर्जा को कार्य में परिवर्तित कर सके।"
अर्थात् किसी इंजन के लिए

$$dQ \neq d.W$$

(ii) क्लासियस का कथन इनके अनुसार, "ऊष्मा स्वतः किसी ठण्डी वस्तु से गर्म वस्तु की ओर प्रवाहित नही हो सकती जब तक कि किसी बाह्य युक्ति का प्रयोग नहीं किया जाए।"

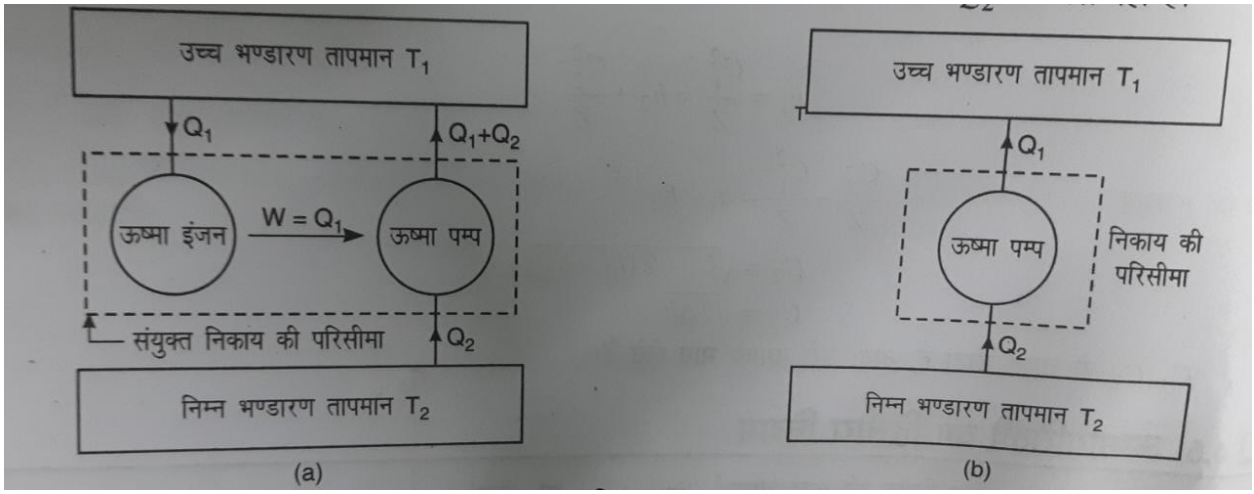
(iii) एण्ट्रॉपी वृद्धि का सिद्धान्त-इस सिद्धान्त के अनुसार, "किसी विलगित निकाय की एण्ट्रॉपी, समस्त वास्तविक प्रक्रमों में बढ़ती है तथा आदर्श प्रक्रमों में संरक्षित रहती है।"

केल्विन - प्लैंक तथा क्लासियस की परिभाषाओं में समानता (Equivalence of Kelvin-Plank's Statement and Classius Statement)

हम जानते हैं कि कैल्विन-प्लैंक का कथन तथा क्लासियस का कथन दोनों में अंतर है। परन्तु किसी एक के
विरोधाभास में दूसरे का भी विरोध होता है।

अतः हम कह सकते हैं कि दोनों कथन एक-दूसरे के समतुल्य जो निकाय किसी एक कथन का अनुसरण करेगी वह दूसरे कथन का भी अनुसरण करेगी। इसको सिद्ध करने के लिए हम ऊष्मा इंजन तथा ऊष्मा पम्प का उदाहरण लेते हैं।

चित्र (a) में ऊष्मा इंजन को दर्शाया गया है जो ऊष्मा स्रोत से Q_1 ऊष्मा ग्रहण करती है तथा उसे W कार्य में परिवर्तित कर देती है। इसी चित्र में ऊष्मा इंजन द्वारा प्राप्त कार्य को ऊष्मा पम्प को प्रदान करते हैं। यह पम्प ऊष्मा सिंक सेQ_2 प्राप्त करता है तथा उच्च तापमान को $Q_1 + Q_2$ प्रदान करता है। परन्तु ऊष्मा इंजन को चलाने के लिए केवल 2 ही पर्याप्त है। चित्र में ऊष्मा इंजन तथा ऊष्मा पम्प दोनों ऊष्मा स्रोत की तरह कार्य करते हैं। जो बिना Q_2 के चल रहा है।



अतः उपरोक्त कथन क्लासियस के कथन का विरोध कर रहा है। अतः केल्विन प्लैंक का कथन भी गलत साबित हो।
अतः हम कह सकते हैं कि दोनों कथन एक-दूसरे के समतुल्य हैं।

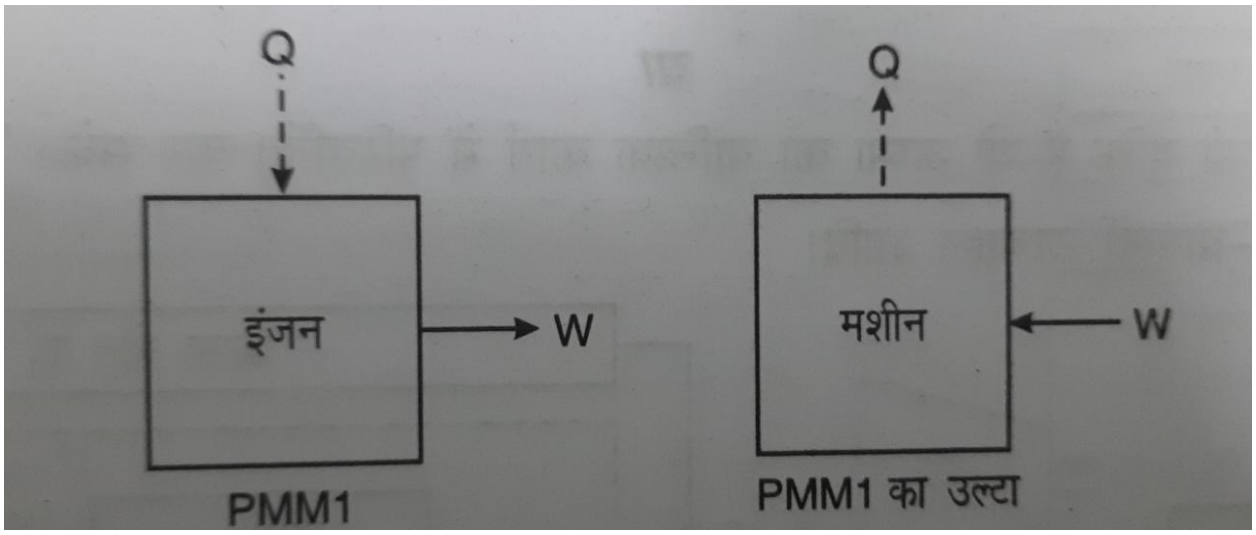
प्रपीचुअल गति मशीन (प्रथम श्रेणी एवं द्वितीय श्रेणी) PMM1, 2:

प्रथम श्रेणी (PMM1)

ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम ऊर्जा संरक्षण का नियम है, अर्थात् ऊर्जा न तो नष्ट की जा सकती है और न ही उत्पन्न की जा सकती है, सिर्फ एक रूप से दूसरे रूप में स्थानान्तरित हो सकती है। ऐसी गति मशीनें जो ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम का अनुसरण करें, प्रथम श्रेणी प्रपीचुअल गति मशीन कहलाती हैं।

इन्हें अवास्तविक मशीनें भी कहा जाता है क्योंकि ऐसी कोई मशीन नहीं है जो लगातार यान्त्रिक कार्य देती रही है, बिना किसी ऊर्जा ह्रास के।

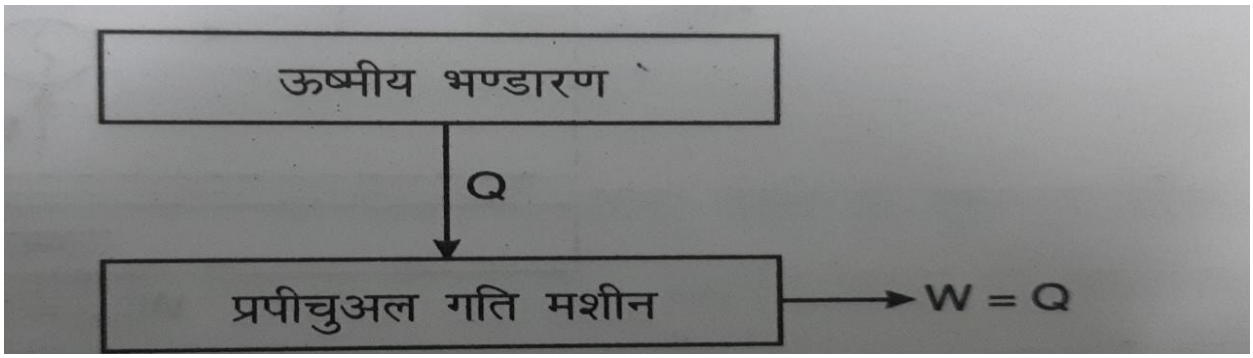
प्रथम श्रेणी का उल्टा (Converse of PMM1)
इसके अनुसार ऐसी कोई मशीन नहीं है जिस पर लगातार कार्य कर हम ऊर्जा की सतत आपूर्ति कर सकें।



द्वितीय श्रेणी (PMM2)

ऊष्मागतिकी के द्वितीय नियम के अनुसार, “कोई ऐसा इंजन बनाना सम्भव नहीं है जो 100% आउटपुट प्रदान करे किसी दिए हुए इनपुट पर।"

ऐसी मशीनें जो ऊष्मागतिकी के द्वितीय नियम का विरोध करें, द्वितीय श्रेणी प्रपीचुअल गति मशीनें कहलाती हैं। "ऐसी मशीन जो किसी ऊष्मा भण्डारण से ऊष्मा को अवशोषित कर उसे 100% कार्य में परिवर्तित कर सके, द्वितीय श्रेणी प्रपीचुअल गति मशीनें कहलाती हैं।”



ऊष्मा भण्डारण (Heat Reservoir):
एक ऐसा निकाय जो पर्याप्त बड़ा हो, स्थायी साम्यावस्था में हो तथा जिसमें ऊष्मा की एक निश्चित मात्रा के अंतरण के पश्चात् (ऊष्मा देने या ऊष्मा लेने) भी उसके तापमान में परिवर्तन नगण्य हो, "ऊष्मा भण्डारण" कहलाते हैं।

ऊष्मा भण्डारण को दो वर्गों में वर्गीकृत किया गया है-

(i) ऊष्मा स्रोत (Heat Source)

(ii) ऊष्मा सिंक (Heat Sink)

(i) ऊष्मा त्रोत- किसी ऊष्मागतिकी निकाय के उच्च तापमान वाले भण्डारण को हम ऊष्मा स्रोत कहते हैं। इस निकाय से ऊष्मा प्रदान की जाती है।

उदाहरण के लिए-बायलर भट्टी, दहन कक्ष, सूर्य आदि।

(ii) ऊष्मा सिंक —किसी ऊष्मागतिकी निकाय के निम्न तापमान वाले भण्डारण को हम ऊष्मा सिंक कहते हैं। इस निकाय में ऊष्मा ग्रहण की जाती है।

उदाहरण के लिए-वायु, नदी, समुद्र जल आदि ।

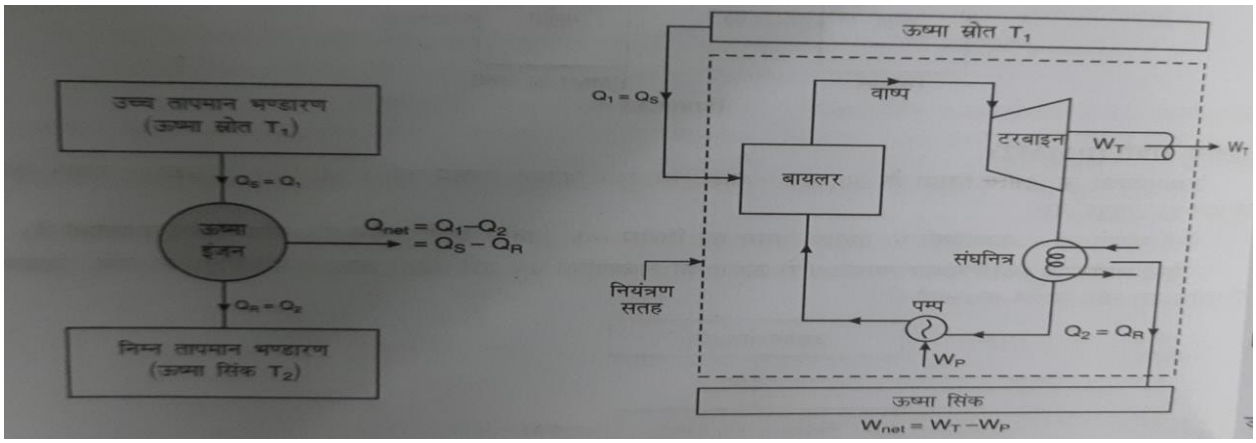
ऊष्मा इंजन, ऊष्मा पम्प, रेफ्रीजरेटर:

"ऊष्मा इंजन एक ऐसा ऊष्मागतिकी निकाय है जो एक चक्रीय प्रक्रम पर प्रचालित होते हैं, ऊष्मा को यान्त्रिक कार्य में परिवर्तित कर सके।"

या

“ऊष्मा इंजन एक ऐसी युक्ति है जो ऊष्मा को यान्त्रिक कार्य में परिवर्तित कर सके।"

उदाहरण के लिए-बायलर टरबाइन आदि।



चित्र में ऊष्मा इंजन के रूप में बॉयलर को दर्शाया गया है जो एक चक्रीय प्रक्रम पर प्रचालित होता है। इसमें ऊष्म स्रोत से ऊष्मा (21) कार्यकारी माध्यम जल को स्थानान्तरित की जाती है, जिससे वह वाष्प में परिवर्तित हो जाता है। यह वाष्प टरबाइन पर कार्य में परिवर्तित हो जाता है। टरबाइन द्वारा निकास वाष्प संघनित्र में प्रवेश करता है। जहाँ यह ठण्डा होकर पम्प की सहायता से पुनः बायलर में भेज दिया जाता है तथा चक्र पूर्ण हो जाता है।

ऊष्मा इंजन की तापीय दक्षता:

ऊष्मा इंजन की तापीय दक्षता उससे प्राप्त शुद्ध कार्य एवं उसे प्रदत्त ऊष्मा का अनुपात होता है।

प्राप्त शुद्ध कार्य (Wnet) = $Q_1 - Q_2$

या

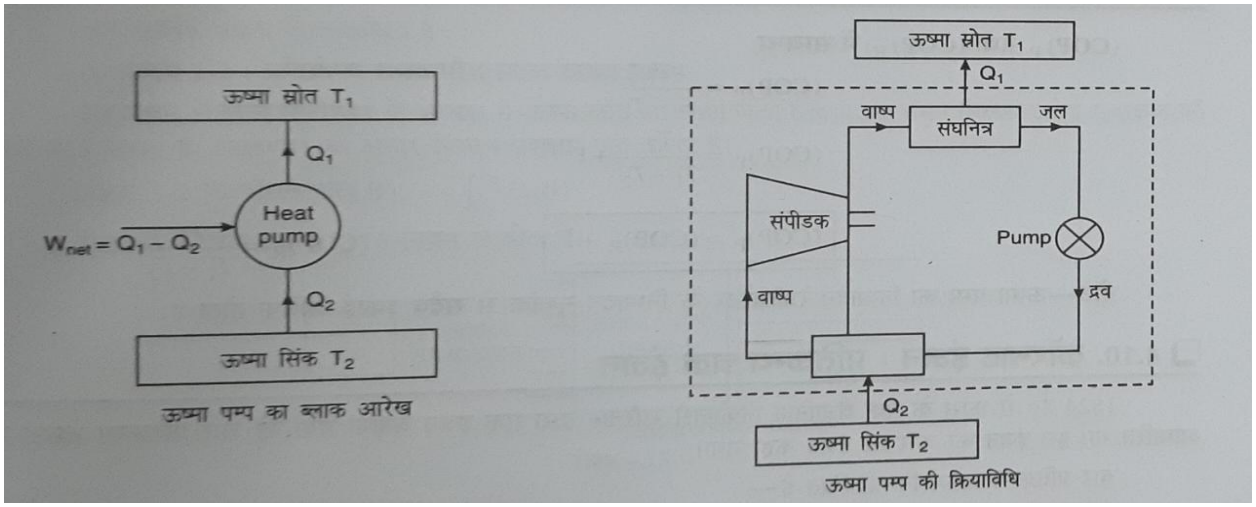
(Wnet) =Qs - OR

प्रदत्त ऊष्मा (Qs) = Q_1 या Qs

$$\eta_{th} = W_{net} / Qs$$

ऊष्मा पम्प:

"एक ऐसा ऊष्मागतिकी निकाय जो चक्रीय प्रक्रम पर प्रचालित हुए निम्न तापमान वाली भण्डारण से ऊष्मा निकालकर, उच्च तापमान वाली भण्डारण को प्रवाहित करे।" ऊष्मा पम्प का प्रारम्भिक उद्देश्य उच्च तापमान वाले पिण्ड से ऊष्मा निकालकर उसका तापमान परिवेश से अधिक बनाए रखना होता है।



रेफ्रीजरेटर:

रेफ्रीजरेटर एक प्रकार का ऊष्मा पम्प ही होता है, परन्तु दोनों के मूलभूत उद्देश्यों में अन्तर होता है।

"रेफ्रीजरेटर एक ऐसा ऊष्मागतिकी निकाय है जो एक चक्रीय प्रक्रम पर प्रचालित होते हुए निम्न तापमान पिण्ड से ऊष्मा निकालकर उसका तापमान परिवेश से कम बनाए रखता है।"

ऊष्मा पम्प एवं रेफ्रीजरेटर का निष्पादन:

ऊष्मा पम्प एवं रेफ्रीजरेटर का निष्पादन हम उसके निष्पादन गुणांक के द्वारा ज्ञात करते हैं। निष्पादन गुणांक को निम्न प्रकार से परिभाषित किया जाता है-

"यह उत्पन्न वांछित प्रभाव (desired effect) तथा उक्त प्रभाव उत्पन्न करने के लिए निकाय द्वारा किए गये जाने वाले कार्य की मात्राओं का अनुपात होता है।" पम्प में उत्पन्न वांछित प्रभाव से तात्पर्य उच्च तापमान

पिण्ड को दी गई ऊष्मा Q_1 रेफ्रीजरेटर में उत्पन्न वांछित प्रभाव से तात्पर्य निम्न तापमान पिण्ड से ली गई ऊष्मा Q_2 .

$$(COP)_p = \text{उत्पन्न वांछित प्रभाव /कार्य}$$

$$(COP)_p = Q_1/(Q_1- Q_2)$$