1. ऊष्मागतिकी के मूल
(Fundamentals of Thermodynamics)

प्रश्न 1. ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम की परिभाषा लिखिए। इसके गणितीय संबंध दीजिए।

|2004, 2005, 08, 13|

उत्तर–ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम (First law of thermodynamics) : यह नियम ऊर्जा की अविनाशिता का नियम है, अर्थात इस नियम के अनुसार न तो ऊर्जा को उत्पन्न किया जा सकता है, और न ही नष्ट किया जा सकता है। परन्तु ऊर्जा को एक Form (रूप) से दूसरे रूप में बदला जा सकता है। जैसे– मैकेनिकल ऊर्जा से विद्युत ऊर्जा में या विद्युत ऊर्जा से मैकेनिकल या यांत्रिक ऊर्जा में।

माना एक बंद निकाय (closed system), जिसमें ऊर्जा परिवर्तन केवल निकाय की सीमा के अंदर ही होता है, यदि dQ ऊष्मा ऊर्जा दी जाती है तो–

$$\oint (dw) = J \times \oint dQ$$

$$\boxed{dQ = dw + du}$$

यहाँ du = निकाय की आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन

dw = निकाय द्वारा किया गया कार्य।

प्रश्न 2. विभिन्न प्रकार के ऊष्मागतिकी निकाय कौन-कौन से हैं? प्रत्येक का उदाहरण दीजिए। |2007, 2010|

उत्तर–ऊष्मागतिकी निकाय (thermodynamics system) मुख्यत: तीन प्रकार के होते हैं।

(*i*) बंद निकाय (Closed system) **|2010, 2011|**

(*ii*) खुला निकाय (Open system) **|2010, 2011|**

(*iii*) विलग निकाय (Isolated system) **|2011|**

(*i*) बंद निकाय Closed system: ऐसा निकाय जिसमें संहति, ऊष्मागतिकी प्रक्रम के पूर्व या बाद में स्थिर रहती है। इस निकाय में केवल ऊष्मा व ऊर्जा ही निकाय की सीमा पार कर सकते हैं।

(*ii*) खुला निकाय Open System: ऐसा निकाय जिसमें ऊष्मागतिकी प्रक्रम के दौरान संहति, ऊष्मा व ऊर्जा तीनों निकाय की सीमा पार कर सकते हैं। इस प्रकार के निकाय की संहति स्थिर नहीं रहती है।

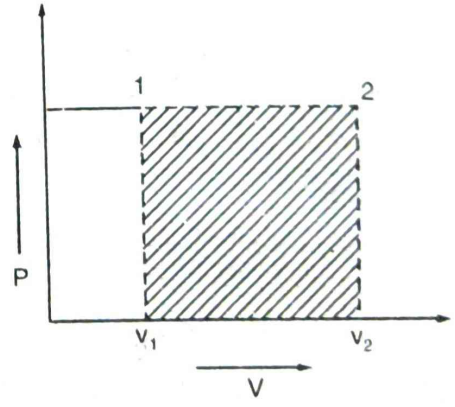
(*iii*) विलग निकाय (Isolated System): इस प्रकार के निकाय में ऊष्मागतिकी प्रक्रम के दौरान निकाय की संहति, ऊष्मा व ऊर्जा तीनों में से कोई भी सीमा पार नहीं करते हैं।

प्रश्न 3. ऊष्मागतिकी प्रक्रम में कार्य की परिभाषा दीजिए तथा समझाइये। |2008, 2011|

उत्तर–ऊष्मागतिकी प्रक्रम में किया गया कार्य : किसी भी ऊष्मागतिकी प्रक्रम के दौरान, किसी गैस को ऊष्मीकृत करना ही कार्य कहलाता है।

जैसे– यदि किसी गैस को इस प्रकार ऊष्मीकृत किया जाता है कि उसका दाब स्थिर रहे तब किया गया कार्य

$$\boxed{W = P(V_2 - V_1)}$$



चित्र 1.

ITQuestionBank.com

इस प्रकार ऊष्मागतिकी प्रक्रम में किया गया कार्य उस प्रक्रम के अंतर्गत गैस को ऊष्मीकृत करने में बने P-V आरेख के क्षेत्रफल के बराबर होता है।

W = P– V आरेख का क्षेत्रफल

प्रश्न 4. एंट्रापी (Entropy) से आप क्या समझते हैं? जब एक गैस का विस्तार PV^n = नियतांक सम्बन्ध से किया जाता है, तब उसका एंट्रापी परिवर्तन हेतु व्यंजक व्युत्पन्न कीजिए। [2008]

उत्तर–एंट्रापी (Entropy) : एंट्रापी का अर्थ ऊष्मा ऊर्जा परिवर्तित करने से है। "एंट्रापी किसी पदार्थ का वह ऊष्मीय गुण है जो ऊष्मा ऊर्जा देने पर बढ़ता है। यह किसी पिण्ड की दशा (ताप, दाब आदि) को दर्शाता है।" इसे ϕ से निरूपित करते हैं।

एंट्रापी में परिवर्तन (Change in entropy) =

$$\frac{\text{ऊष्मा ऊर्जा में परिवर्तन}}{\text{औसत परम ताप}}$$

$$\boxed{\Delta\phi = \frac{\Delta H}{T}}$$

PV^n = Constant संबंध वाले प्रक्रम में एंट्रापी परिवर्तन: इस सम्बन्ध वाले प्रक्रम को "रुद्रोष्म प्रक्रम कहते हैं। इस प्रक्रम में कार्यकारी वस्तु में ऊष्मा का अंतरण नहीं होता है। यदि इस प्रक्रम में कार्यकारी वस्तु द्वारा कार्य किया जाता है तो इस प्रकम को Reversible adiabatic process कहते हैं क्योंकि इस प्रक्रम में कार्यकारी वस्तु को ऊष्मा प्रदान नहीं की जाती है। तब

Change in entropy $(\phi_2 - \phi_1) = 0$

[$\because$ दी गई ऊष्मा $(H) = 0$]

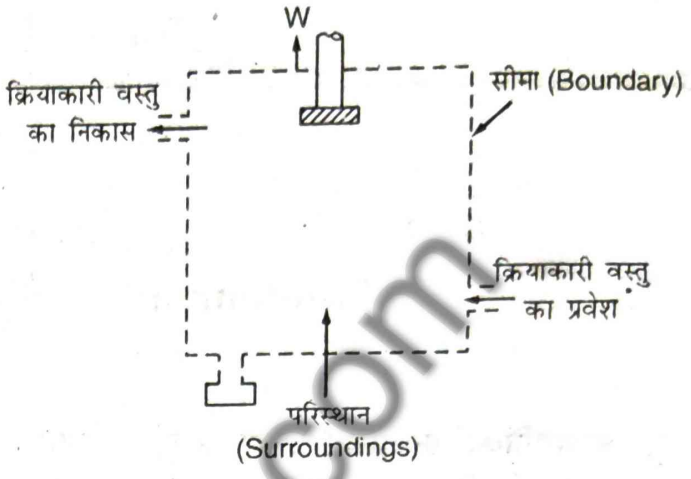
प्रश्न 5. ऊष्मागतिकीय तंत्र क्या है? ऊष्मागतिकीय तंत्र और ऊष्मागतिकीय परिस्थान में अंतर को स्पष्ट कीजिए? एवं ऊष्मागतिकी का शून्यक नियम दीजिए? [2009]

उत्तर– ऊष्मागतिकीय तंत्र : ऊष्मागतिकीय तंत्र वह स्थान हैं जहाँ हम किसी गैस या भाप की संहति एवं ऊर्जा के अंतरण का अध्ययन करते हैं।

इस तंत्र में निकाय का आयतन परिवर्तनीय (Changeable) हो सकता है।

ऊष्मागतिकीय परिस्थान : किसी भी ऊष्मागतिकी निकाय के बाहर का स्थान, उसका परिस्थान कहलाता है। यह निकाय से उसकी सीमा द्वारा अलग किया जाजा है। परिस्थान का ऊष्मागतिकी तंत्र पर प्रभाव पड़ता है।

बिन्दुदार घेरे के अंदर ऊष्मागतिकीय तंत्र एवं बाहर ऊष्मागतिकी परिस्थान प्रदर्शित है।

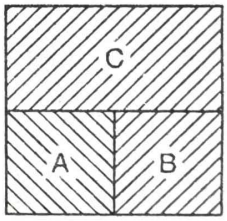


चित्र 2.

Zeroth law of thermodynamics (ऊष्मागतिकी का शून्यक नियम) 2010, 2012

ऊष्मागतिकी के शून्यक नियम के अनुसार, "यदि दो वस्तुएं किसी तीसरी वस्तु के साथ तापीय साम्यावस्था में हैं तो वे आपस में भी तापीय साम्यावस्था में होंगे"।

उदाहरण के लिए यदि कोई वस्तु A वस्तु C के साथ तापीय साम्यावस्था में है और वस्तु B भी वस्तु C के साथ तापीय साम्यावस्था में है तो वस्तु A तथा B भी आपस में तापीय साम्यावस्था में होंगे।



प्रश्न 6. दिखाइये कि ऊष्मागतिकी के द्वितीय नियम के केल्विन प्लैंक तथा क्लैसियस कथन समतुल्य है। [2009, 07]

अथवा

प्रश्न 7. ऊष्मागतिकी के द्वितीय नियम को समझाइये। [2011]

उत्तर– Kelvin Plank's statement : केल्विन प्लैंक के अनुसार, ऐसा कोई भी इंजन बनाना संभव नहीं हैं जो चक्रीय प्रक्रम (Cyclic process) पर कार्य करती हुई प्राप्त सारी ऊष्मा ऊर्जा (Heat energy) को यांत्रिक ऊर्जा में परिवर्तित करने की क्षमता रखता है।

ITQuestionBank.com

Clacius statement : क्लेसियस के अनुसार, "कोई भी ऐसी युक्ति संभव नहीं है जो बिना बाह्य ऊर्जा की सहायता के ठण्डी वस्तु से गर्म वस्तु की ओर ऊष्मा का स्थानान्तरण करने की क्षमता रखती हो।"

अत: ऊष्मागतिकी के द्वितीय नियम के अनुसार, Kelvin Plank's एवं Clacius statements एक दूसरे के समतुल्य हैं।

प्रश्न 8. समतापी तथा रुद्धोष्म प्रक्रम में अंतर स्पष्ट करते हुए पूर्ण ऊष्मा को परिभाषित कीजिए। [2011]

उत्तर– समतापी प्रक्रम (Isothermal Process) (2006)

इस प्रक्रम में गैस का विस्तार एवं संपीड़न स्थिर ताप पर किया जाता है अर्थात् प्रक्रम बायल के नियम (Boyle's law) $PV = C$ का अनुसरण करता है।

$$PV = C$$

$$P_1V_1 = P_2V_2 = C$$

$$\boxed{\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1} = C}$$

रुद्धोष्म प्रक्रम (Adiabatic process): इस प्रक्रम में गैस के विस्तार के अंतर्गत ऊष्मा न तो प्रदान की जाती है और न ही संपीड़न के दौरान बाहर निकाली जाती है, अर्थात प्रक्रम के दौरान ऊष्मा का स्थानांतरण नहीं होता है।

पूर्ण ऊष्मा : किसी गैस की सम्पूर्ण ऊर्जा को H से प्रदर्शित करते हैं। यह आंतरिक ऊर्जा U तथा बाह्य ऊर्जा द्वारा किये गये कार्य PV के योग के बराबर होता है।

$$\boxed{H = U + PV}$$

प्रश्न 9. ऊष्मागतिकीय संतुलन (Thermodynamic equilibrium) को स्पष्ट कीजिए। [2012]

उत्तर– दो अलग-अलग तापमान की वस्तुओं को एक दूसरे के सम्पर्क में लाने के बाद उच्च ताप की वस्तु से निम्न ताप की वस्तु में ऊष्मा का स्थानान्तरण तब तक होता है जब तक कि दोनों वस्तुओं का तापमान एक समान नहीं हो जाता, ऊष्मा के Transfer की इस घटना को Thermodynamic equilibrium कहते है।

जैसे कि एक पानी की ठण्डी बोतल को यदि वायुमण्डल में रख दिया जाये तो वायुमण्डल से ऊष्मा बोतल की तरफ Transfer होती है तथा Transfer तब तक होता रहता है जब तक ठण्डी बोतल का तापमान वायुमण्डल के तापमान के समान न हो जाए।

प्रश्न 10. विभिन्न प्रकार के ऊष्मागतिकीय प्रक्रम क्या हैं? इनको PV ग्राफ पर दर्शाइये। [2012]

उत्तर– ऊष्मागतिकीय प्रक्रम Thermodynamic process): किसी निकाय में ऊष्मा प्रवाह के कारण निकाय में भरी गैसों की अवस्था में होने वाले परिवर्तन को ही ऊष्मागतिकीय प्रक्रम कहते हैं।

इस प्रक्रम के कारण पदार्थ या गैस के गुणों जैसे– दाब, ताप, आयतन, ऊर्जा, आन्तरिक ऊर्जा, समस्त ऊष्मा, तथा एंट्रापी आदि में भी परिवर्तन होते हैं।

इंजीनियरिंग के फील्ड में उपयोग में लाये जाने वाले निम्न महत्वपूर्ण ऊष्मागतिकीय प्रक्रम हैं–

(*i*) स्थिर दाब प्रक्रम (Isobaric process or constant pressure process)

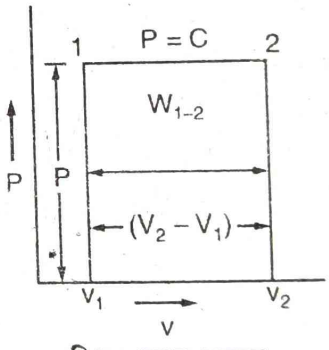
(*ii*) स्थिर आयतन प्रक्रम (Isochoric process or constant volume process)

(*iii*) स्थिर ताप प्रक्रम (Isothermal process or constant temperature process)

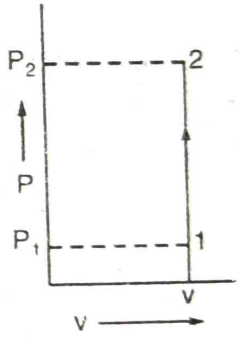
(*iv*) रुद्धोष्म प्रक्रम (Isentropic process or Adiabatic process)

(*v*) बहुविधि प्रक्रम (Polytropic process)

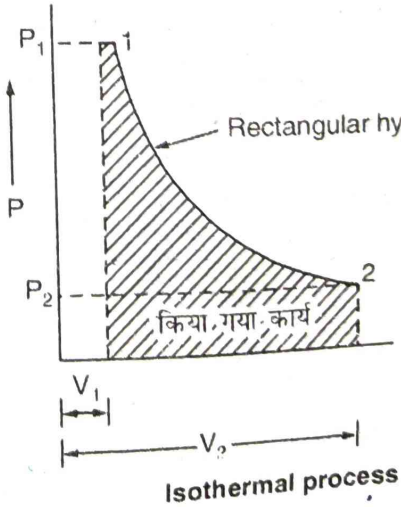
PV Diagrams



स्थिर दाब प्रक्रम

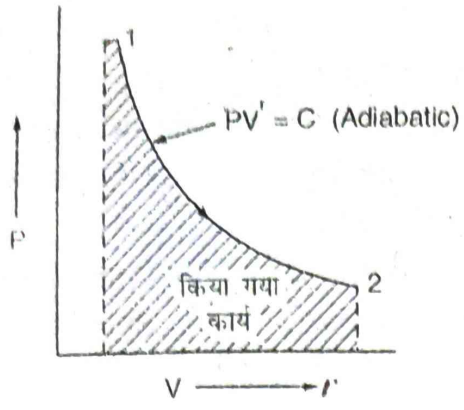


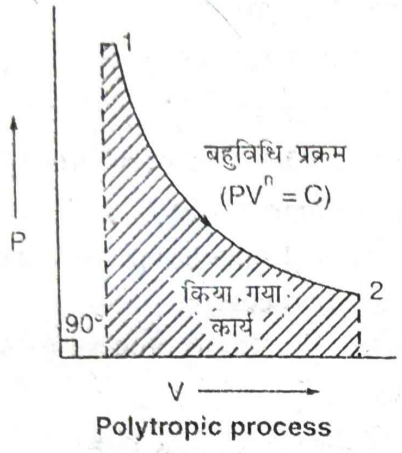
स्थिर आयतन प्रक्रम



Isothermal process

IIT Question Bank.com

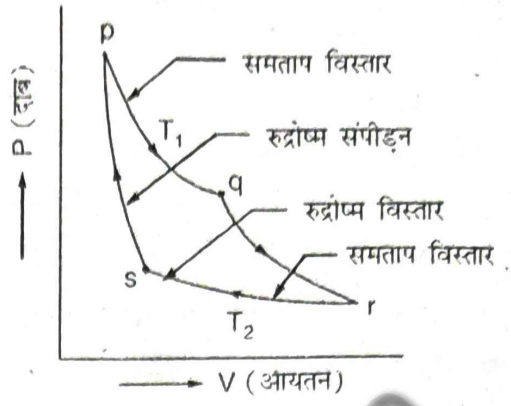




चित्र 3.

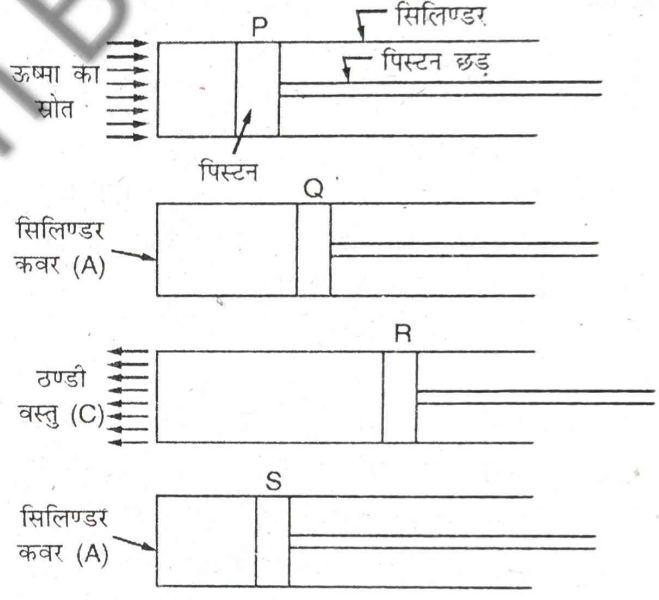
प्रश्न 11. उपयुक्त दाब-आयतन आरेख की सहायता से कारनोट चक्र की कार्यप्रणाली को समझाइये तथा उसकी दक्षता हेतु सूत्र व्युत्पन्न कीजिए। (2009)

उत्तर– कारनोट चक्र (Carnot Cycle) : यह एक आदर्श ऊष्मा इंजन चक्र (cycle) है। चित्र 4 के अनुसार इसमें चार क्रियायें क्रमश: समताप विस्तार (isothermal expansion), समताप संपीड़न (isothermal compression), रूद्रोष्म विस्तार (adiabatic expansion) एवं रूद्रोष्म संपीड़न (adiabatic compression) होती हैं। इस इंजन में सिलिण्डर व पिस्टन ऊष्मा कुचालक पदार्थ व सिलिण्डर हैड (cylinder head) को ऊष्मा सुचालक पदार्थ का बना हुआ माना गया है। सिलिण्डर के हैड को ढ़कने के लिये कुचालक पदार्थ का बना एक सिलिण्डर हैड कवर '*A*' होता है (देखिये चित्र 5)। ऊष्मा देने के लिये एक ऊष्मा स्रोत '*B*' का प्रयोग किया जाता है। ऊष्मा को T_1 तापक्रम पर सिलिण्डर हैड को प्रदान किया जायेगा। एक ठण्डी वस्तु (cold sink) *C* का प्रयोग किया जाता है जो T_2 परम ताप पर ऊष्मा का शोषण (absorb) कर सके। कार्यकारी पदार्थ पूर्ण गैस का एक किग्रा द्रव्यमान है।



चित्र 4. कारनोट चक्र

प्रथम क्रिया–सर्वप्रथम सिलिण्डर में पिस्टन अपनी प्रारंभिक *P* स्थिति पर होता है। इस स्थिति में कार्यकारी पदार्थ को ऊष्मा के स्रोत '*B*' से सिलिण्डर हैड को छुआ कर ऊष्मा प्रदान की जाती है। जिसके कारण पिस्टन '*P*' से '*Q*' स्थिति तक गति करता है। गैस का विस्तार समतापीय प्रक्रम (isothermal process) के अंतर्गत तापक्रम (T_1) पर होता है। इस प्रक्रम को (*PV*) आरेख पर (*pq*) से प्रदर्शित किया गया है।



चित्र 5. कारनोट चक्र की क्रियायें

अत: ऊष्मा गतिकी के प्रथम नियम से, यहाँ गैस के द्वारा प्राप्त ऊष्मा (Q_1) पिस्टन के द्वारा किये गये कार्य (W_1) के बराबर होगी।

$$Q_1 = W_1 + E_1$$

यहाँ $E_1 = 0$

क्योंकि प्रक्रम समतापीय है जिसके अंतर्गत गैस के ताप में कोई परिवर्तन नहीं होता है।

ITQuestionBank.com

अत:

$$Q_1 = W_i$$

$$= P_P V_P \log_e \left(\frac{V_q}{V_P}\right) = RT_1 \log_e \left(\frac{V_q}{V_P}\right)$$

प्रश्न 12. हीट इंजन, हीट पम्प तथा रेफ्रीजेरेटर में विभेद कीजिए। उनकी दक्षता/COP हेतु सूत्र लिखिए।

[2008]

उत्तर– Heat engine (ऊष्मा इंजन): ऊष्मा इंजन विभिन्न पुर्जो का ऐसा संयोजन है, जो उपलब्ध ऊष्मा ऊर्जा को यांत्रिक ऊर्जा में परिवर्तित करता है। इनमें मुख्यतया द्रव ईधनों या गैस ईधनों या भाप का कार्यकारी तरल के रूप में प्रयोग किया जाता है।

ऊष्मा इंजनों का प्रयोग रेलवे इंजनों, ट्रक, बस, कार, स्कूटर, पम्पिंग ,सेट आदि में किया जाता है।

Heat pump (ऊष्मा पम्प): इनका कार्य ऊष्मा ऊर्जा को ठण्डी वस्तु से गर्म की ओर प्रवाहित करना है। ऊष्मा पम्प, ऊष्मा इंजन के विपरीत है, क्योंकि प्राकृतिक उपायों से ऊष्मा ठण्डी वस्तु से गर्म वस्तु की ओर प्रवाहित नहीं हो सकती है।

सभी प्रकार के प्रशीतन तंत्र (Refrigerator) ऊष्मा पम्प इसके उदाहरण है।

रेफ्रीजेरेटर : हम जानते हैं कि प्रशीतन का तात्पर्य ठण्डा पैदा करने से है। प्रशीतन विधि में हम एक ठण्डी वस्तु से उसके चारों तरफ के गर्म वातावरण में ऊष्मा का निष्कर्षण करते हैं। रेफ्रीजेरेटर एक ऐसी मशीन है जिसके द्वारा ठण्डक पैदा की जाती है।

रेफ्रीजेरेटर का उपयोग मुख्यतया घरों में खाने की वस्तुओं को रखने में, मेडिकल स्टोर्स में दवाइयों को विभिन्न तापक्रमों पर रखने में, चिकित्सालयों आदि में किया जाता है।

Heat engine, Heat pump, एवं Refrigerator की

$$\text{COP} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}}$$

$$= \frac{\text{निर्गत ऊष्मा ऊर्जा}}{\text{प्रदत्त ऊष्मा ऊर्जा}}$$

प्रश्न 13. निम्नलिखित को परिभाषित कीजिए:

(अ) विलगित तंत्र (ब) आंतरिक ऊर्जा (स) एंथैल्पी (द) एंट्रापी

उत्तर– (अ) विलगित तंत्र (Isolated system) : इस प्रकार के निकाय में ऊष्मागतिकी प्रक्रम के दौरान निकाय की संहति, ऊष्मा व ऊर्जा तीनों में से कोई भी निकाय की सीमा पार नहीं करते हैं।

(ब) आंतरिक ऊर्जा (Internal energy) : किसी गैस के अणुओं तथा परमाणुओं के आपस में खिंचाव के कारण उत्पन्न ऊर्जा को उसकी आंतरिक ऊर्जा कहते हैं। आंतरिक ऊर्जा सामान्यत: उस गैस के तापमान पर निर्भर करती है।

यदि किसी गैस के, आरम्भिक तथा अंतिम तापमान T_1 एवं T_2 द्वारा प्रदर्शित हो और स्थिर आयतन पर विशिष्ट ऊष्मा C_v द्वारा प्रदर्शित की जाये तब आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन,

$$\delta u = C_v (T_2 - T_1)$$ होगा।

यहाँ गैस की संहति 1 किग्रा ली गई है।

(स) एंथैल्पी (Entalpy): किसी गैस की संपूर्ण ऊर्जा (enthalpy) को 'H' से प्रदर्शित करते हैं। यह आंतरिक ऊर्जा U तथा बाह्य ऊर्जा द्वारा किये गये कार्य PV के योग के बराबर होता है।

ऊष्मा गतिकी के प्रथम नियम के अनुसार

$$H = U + PV$$

(द) एन्ट्रापी (Enthropy) : जब किसी गैस को ऊष्मा दी जाती है तो उसकी एंट्रापी में परिवर्तन होता हैं माना किसी गैस के इकाई भार को 'T' ताप पर dH ऊष्मा दी जाती है।

एंट्रापी में परिवर्तन $(d\phi) = \frac{dH}{T}$ होगा।

यदि ϕ_1 एवं ϕ_2 किसी गैस या भाप की आरंभिक एवं अंतिम एंट्रापी की दशायें तथा 'H' दी गई ऊष्मा को प्रदर्शित करे तब गैस की एंट्रापी में कुल परिवर्तन $(\phi_2 - \phi_1) = H/T$ से प्रदर्शित किया जायेगा।

किसी गैस या भाप के ऊष्मीय गुण को एंट्रापी कहते हैं, इसका मान ऊष्मा देने के साथ-साथ बढ़ता है। यह गैस या भाप की अवस्था को प्रदर्शित करती है जैसे दाब व ताप इत्यादि। **परंतु इसको किसी यंत्र के द्वारा नहीं मापा जा सकता है।** इसको गणनात्मक विधि से गणना किया जा सकता है यदि किसी वस्तु की एंट्रापी को उसकी संहति से भाग दें, तो उसको विशिष्ट एंट्रापी (specific entropy) कहते हैं। विशिष्ट एंट्रापी की इकाई किलो जूल/किग्रा k है।

ITQuestionBank.com