

THERMAL ENGINEERING

THERMODYNAMICS (ऊष्मागतिकी)

ऊष्मागतिकी को निम्न प्रकार से परिभाषित किया गया है—

"विज्ञान की वह शाखा जिसके अंतर्गत ऊर्जा तथा उसके रूपान्तरण का अध्ययन किया जाता है, ऊष्मागतिकी कहलाता है।

या

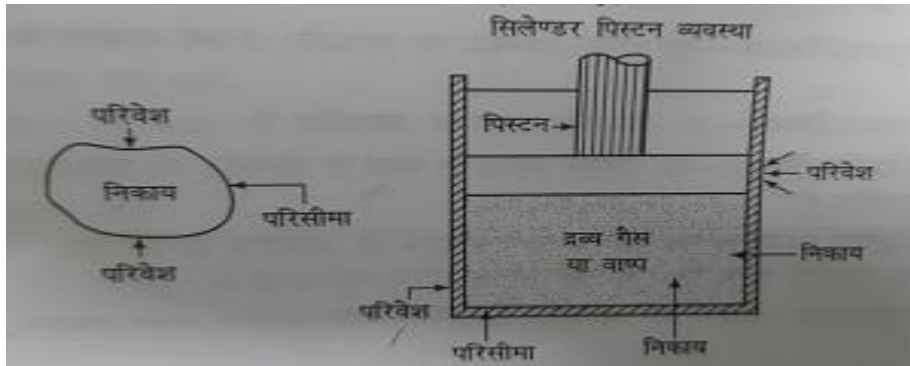
ऊष्मागतिकी वह विज्ञान है जिससे ऊष्मा का ऊर्जा या कार्य के बीच सम्बन्ध दर्शाया जाता है।

या

ऊष्मागतिकी के अंतर्गत हम ऊष्मा तथा कार्य के बीच के सम्बन्ध का अध्ययन भौतिक निकायों के साथ करते हैं।

ऊष्मागतिकीय निकाय (Thermodynamic System):

वह निश्चित क्षेत्र, जिसमें द्रव्य के गुणों का अध्ययन किया जाता है, ऊष्मागतिकी निकाय कहलाता है। इस क्षेत्र में ऊर्जा रूपान्तरण (ऊष्मा तथा कार्य में) या ऊर्जा स्थानान्तरण तथा द्रव्यमान में गुणों के परिवर्तन का अध्ययन किया जाता है। क्षेत्र को चिह्नित करने के लिए, क्षेत्र के चारों ओर रेखा द्वारा उसे घेर दिया जाता है। रेखाओं द्वारा घेरा हुआ क्षेत्र तथा इसमें उपस्थित द्रव्य, दोनों का संयुक्त रूप, ऊष्मागतिकी निकाय कहलाता है।



परिसीमा (Boundary)—वह रेखा जो निकाय के क्षेत्र को चिह्नित करती है, परिसीमा कहलाती है।

या

यह आवरण जो ऊष्मागतिकी निकाय तथा परिवेश को पृथक करती है, परिसीमा कहलाती है।

परिवेश (Surrounding)—निकाय की परिसीमा के बाहर का क्षेत्र जिसमें ऊर्जा का रूपान्तरण होता है, परिवेश कहलाता है।

समष्टि (Universe)—निकाय तथा परिवेश को मिलाकर समष्टि का निर्माण होता है।

ऊष्मागतिकी निकाय वर्गीकरण:-

ऊष्मागतिकी निकाय को दो वर्गों में विभाजित किया गया है—

(i) ऊर्जा में द्रव्यमान स्थानान्तरण के आधार पर-

- (a) खुला ऊष्मागतिकी निकाय (Open thermodynamic system)
- (b) बंद ऊष्मागतिकी निकाय (Closed thermodynamic system)
- (c) विलगित ऊष्मागतिकी निकाय (Isolated thermodynamic system)

(ii) पदार्थ की अवस्था के आधार पर-

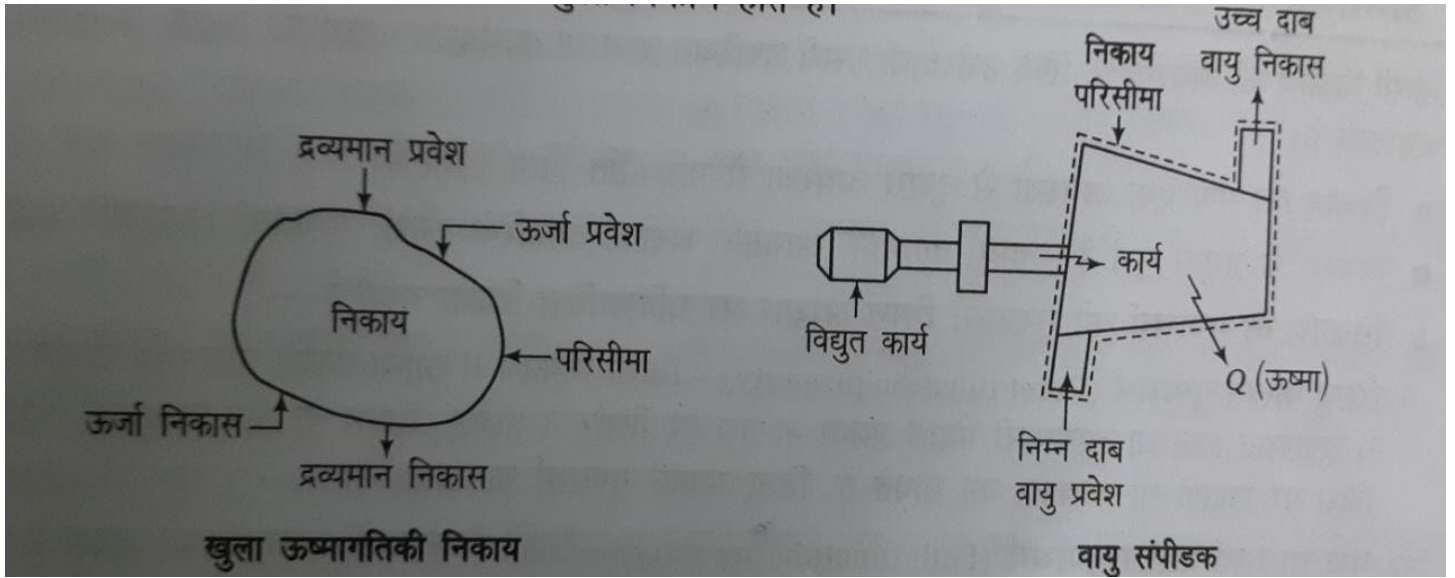
- (a) समांग ऊष्मागतिकी निकाय (Homogeneous thermodynamic system)
- (b) विषमांग ऊष्मागतिकी निकाय (Heterogeneous thermodynamic system)

(a) खुला ऊष्मागतिकी निकाय - वह ऊष्मागतिकी निकाय जिसमें निकाय की परिसीमा से ऊर्जा तथा द्रव्यमान दोनों का स्थानान्तरण हो सके, खुला ऊष्मागतिकी निकाय कहलाते हैं।

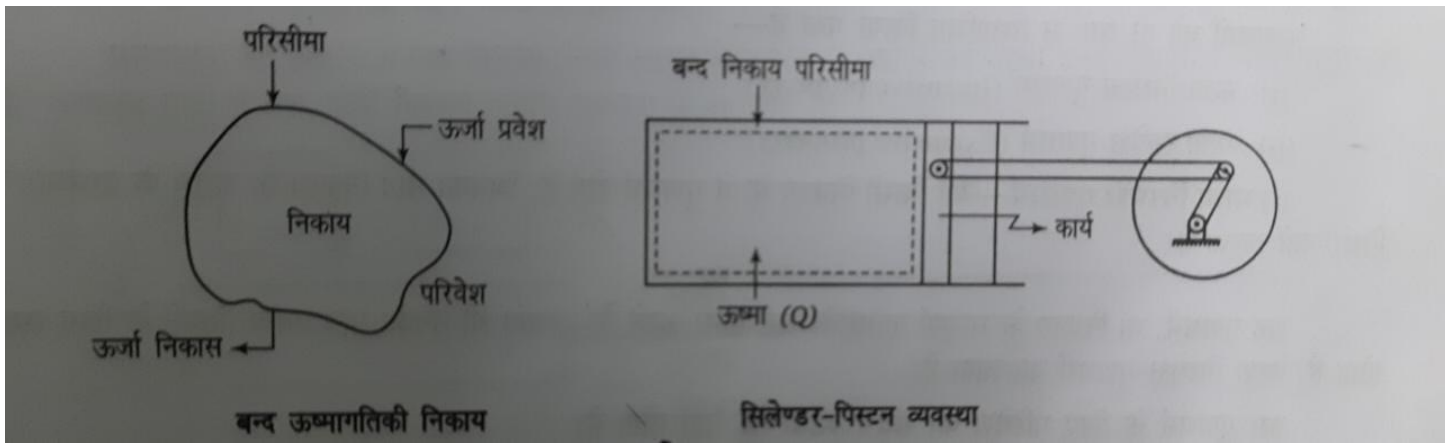
इसे प्रवाह निकाय (flow system) भी कहा जाता है क्योंकि

इसमें कार्यकारी पदार्थ सतत रूप से निकाय की परिसीमा में प्रवेश तथा बाहर निकल सकते हैं।

उदाहरण के लिए-गैस टरबाइन, वाष्प टरबाइन, बायलर, वायु संपीडक, वाष्प इंजन, अंतर्दहन इंजन आदि। सामान्यतः सभी अभियांत्रिकी निकाय खुला निकाय होते हैं।



(b) बंद ऊष्मागतिकी निकाय—वह ऊष्मागतिकी निकाय जिसमें निकाय की परिसीमा से केवल ऊर्जा का स्थानान्तरण हो सके, बंद ऊष्मागतिकी निकाय कहलाता है।



बंद ऊष्मागतिकी निकाय के उदाहरण में प्रेशर कुकर, रेडियेटर प्रमुख हैं। किसी इंजन का सिलेण्डर एवं पिस्टन भाग भी बंद निकाय का उदाहरण है।

(c) विलगित ऊष्मागतिकी निकाय - वह ऊष्मागतिकी निकाय जिसमें निकाय की परिसीमा से न तो ऊर्जा का आदान-प्रदान हो सके और न ही द्रव्य का, विलगित ऊष्मागतिकी निकाय कहलाते हैं।

उदाहरण - थर्मल फ्लास्क ।

(d) समांग ऊष्मागतिकी निकाय - वह ऊष्मागतिकी निकाय जिसमें द्रव्य या कार्यकारी पदार्थ एक ही अवस्था में उपस्थित हों, समांग ऊष्मागतिकी निकाय कहलाते हैं।

उदाहरण के लिए-वायु एवं शुष्क वाष्प का मिश्रण, द्रव अमोनिया एवं जल का मिश्रण, जल एवं नाइट्रिक अम्ल का मिश्रण, आक्टेन एवं हेप्टेन का मिश्रण।

(e) विषमांग ऊष्मागतिकी निकाय—वह ऊष्मागतिकी निकाय जिसमें द्रव्य या कार्यकारी पदार्थ एक से अधिक अवस्था में उपस्थित हों, विषमांग ऊष्मागतिकी निकाय कहलाते हैं।

उदाहरण के लिए-वायु एवं आर्द्र वाष्प का मिश्रण, जल एवं बर्फ का मिश्रण, द्रव एवं गैस का मिश्रण, जल एवं तेल का मिश्रण आदि।

ऊष्मागतिकी निकाय के गुण (Property of Thermodynamic System)

किसी निकाय की अवस्था के लिए उत्तरदायी उसमें उपस्थित द्रव्य या कार्यकारी पदार्थ का लक्षण या व्यवहार, निकाय का गुण कहलाता है।

- निकाय का गुण एक अवस्था से दूसरी अवस्था में परिवर्तित होता रहता है।

- निकाय के प्रमुख गुण हैं-दाब, तापमान, आयतन, घनत्व, आंतरिक ऊर्जा, एन्थाल्पी, एन्ट्रॉपी आदि।

निकाय के गुणधर्म को मुख्यतः निम्न आधार पर परिभाषित किया गया है-

बिन्दु फलन गुणधर्म (Point function property) — किसी निकाय में ऊष्मागतिकी प्रक्रम के दौरान जब निकाय में उपस्थित द्रव्य या कार्यकारी पदार्थ प्रक्रम के पथ पर निर्भर न होकर, प्रक्रम के उस बिन्दु पर निर्भर करते हैं, जिस पर लक्षण या व्यवहार को मापते हैं, बिन्दु फलन गुणधर्म कहलाता है।

पथ या मार्ग फलन गुणधर्म (Path function property) — किसी निकाय में ऊष्मागतिकी प्रक्रम के दौरान जब निकाय में उपस्थित द्रव या कार्यकारी पदार्थ, प्रक्रम के पथ पर निर्भर करता है जिस पर लक्षण या व्यवहार को मापते हैं, न कि प्रक्रम के किसी बिन्दु पर, पथ या मार्ग फलन गुणधर्म कहलाता है।

गुणधर्म का वर्गीकरण

गुणधर्मों को दो वर्गों में विभाजित किया गया है-

(i) मात्रा निरपेक्ष गुणधर्म (Intensive property)

(ii) मात्रा सापेक्ष गुणधर्म (Extensive property)

(i) मात्रा निरपेक्ष गुणधर्म - यह किसी निकाय के वे गुणधर्म होते हैं, जिनका मान निकाय के पदार्थ के द्रव्यमान पर निर्भर नहीं करता है।

या

वह गुणधर्म, जो निकाय के सम्पूर्ण पदार्थ के कई हिस्से करने के पश्चात् भी उनका मान प्रत्येक हिस्से के लिए समान होता है, मात्रा निरपेक्ष गुणधर्म कहलाता है।

इस गुणधर्म के लिए परिवेश का संदर्भ आवश्यक नहीं होता है।

उदाहरण – तापमान, दाब, घनत्व या विशिष्ट द्रव्यमान, आपेक्षिक भार या विशिष्ट भार, विशिष्ट आयतन, विशिष्ट गुरुत्व आदि।

(ii) मात्रा सापेक्ष गुणधर्म—यह किसी निकाय के वे गुणधर्म होते हैं, जिनका मान निकाय के पदार्थ के द्रव्यमान पर निर्भर करता है।

या

वह गुणधर्म, जो निकाय के सम्पूर्ण पदार्थ के कई हिस्से करने के पश्चात् उसका मान प्रत्येक हिस्से के लिए भिन्न-भिन्न होता है, मात्रा सापेक्ष गुणधर्म कहलाता है।

ये गुण निकाय के द्रव्यमान के समानुपाती होते हैं।

उदाहरण - आयतन, ऊर्जा, द्रव्यमान, भार आदि।

प्रतिवर्त्य एवं अप्रतिवर्त्य प्रक्रम (Reversible and Irreversible Process)

(i) प्रतिवर्त्य प्रक्रम-जब ऊष्मागतिकी निकाय में प्रक्रम इस प्रकार से हो कि प्रक्रम समाप्त होने पर निकाय अपनी प्रारम्भिक अवस्था धारण कर ले, प्रतिवर्त्य प्रक्रम कहलाते हैं।

उदाहरण- जल से वाष्प का निर्माण।

इस प्रक्रम में प्रारम्भिक अवस्था में लौटने के लिए पुनः उसी पथ पर जाना होता है। जिस प्रकार से प्रक्रम की शुरुआत की गई थी। अतः हम कह सकते हैं कि हमें उल्टी दिशा में पथ का अनुसरण करना होता है।

(ii) **अप्रतिवर्त्य प्रक्रम** - इस प्रक्रम में ऊष्मागतिकी निकाय में प्रक्रम अपनी प्रारम्भिक अवस्था में पुनः नहीं लौट निम्न प्रक

उदाहरण - ईंधन का दहन, मशीन द्वारा यांत्रिक कार्य।

साम्यता :

साम्यता किन्हीं दो अवस्थाओं के बीच समानता को दर्शाता है।

साम्यता चार प्रकार की होती है, जो निम्नलिखित हैं-

तापीय साम्यता- किसी निकाय को तापीय साम्य की अवस्था में तब कहा जाएगा जब निकाय के प्रत्येक भाग के बीच का तापमान समान होगा या निकाय में कोई तापान्तर नहीं होगा। तापीय साम्यता में तापमान के क्षणिक परिवर्तन का कोई प्रभाव नहीं होता है।

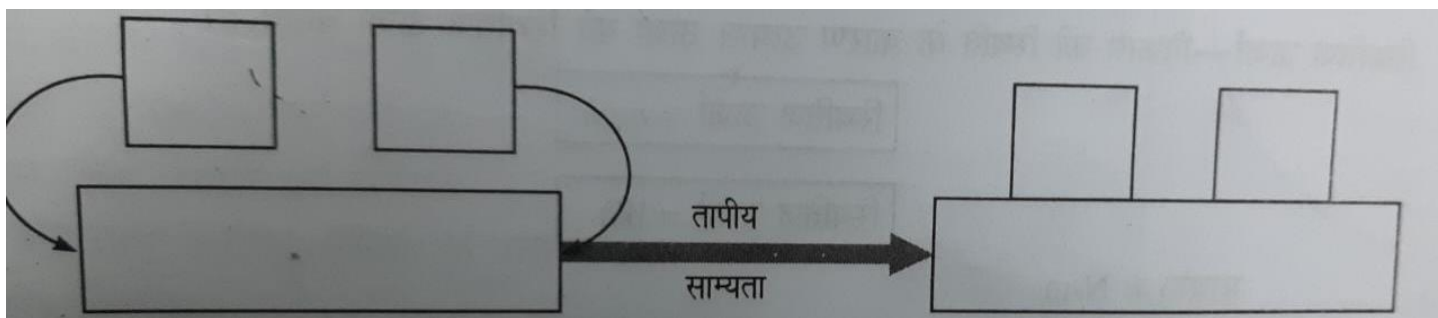
यांत्रिक साम्यता- किसी निकाय को यांत्रिक साम्य की अवस्था में तब कहा जाएगा जब निकाय के प्रत्येक भाग के बीच बल साम्यावस्था में हो या निकाय में कोई असंतुलित बल कार्य न कर रहा हो। यांत्रिक साम्यता तभी संभव है जब निकाय के अंदर का दाब समान हो तथा निकाय एवं परिवेश के बीच कोई दाबान्तर न हो। रासायनिक साम्यता- किसी निकाय को रासायनिक साम्यता में तब कहा जाएगा जब निकाय के अंदर कोई रासायनिक अभिक्रिया न हो रही हो।

ऊष्मागतिकी साम्यता- किसी निकाय को ऊष्मागतिकी साम्यता में तब कहा जाएगा जब निकाय यांत्रिक एवं रासायनिक साम्यता में हो।

ऊष्मागतिकी के शून्यवाँ नियम का सिद्धान्त:

इस नियम के अनुसार, "जब कोई दो निकाय किसी तीसरे निकाय के साथ तापीय साम्यता में हो तो, दोनों निकाय आपस में तापीय साम्यता में होंगे।"

नियम के सत्यापन के लिए किन्हीं तीन निकाय A, B, C को लेते हैं, जो परिवेश से विलगित (Isolated) हो। माना दो निकाय A, B गर्म निकाय है तथा C ठण्डा निकाय है। जब A निकाय तथा C निकाय को आपस में सम्पर्क में लाते हैं तब ऊष्मा उच्च निकाय से निम्न निकाय को ओर प्रवाहित होती है तथा दोनों निकाय तापीय साम्यता में आ जाते हैं। इस प्रकार जब निकाय B तथा निकाय C को आपस में सम्पर्क में लाते हैं तब ऊष्मा उच्च निकाय से निम्न निकाय की ओर प्रवाहित होती है तथा दोनों निकाय तापीय साम्यता में आ जाते हैं।



इस प्रकार तीनों निकाय तापीय साम्यता से आ जाते हैं तथा ऊष्मागतिकी का शून्यवाँ नियम सत्यापित होता है। ऊष्मागतिकी का शून्यवाँ नियम तापमान के मापन पर निर्भर करता है।

Laws of Perfect Gases

आदर्श गैस वह गैस होती है जो किसी ऊष्मागतिकी प्रक्रम के अधीन अपनी अवस्था परिवर्तन नहीं करती है। यह गैसे प्रायोगिक रूप से संभव नहीं होती है। वायु, ऑक्सीजन इसके उदाहरण हैं। यह गैसों कुछ नियम का अनुसरण करती हैं। प्रमुख नियम निम्नलिखित हैं-

(i) बॉयल का नियम (Boyle's law)

(ii) चार्ल्स का नियम (Charle's law)

(iii) गे-लुसॉक का नियम (Gay-Lussac law)

(iv) रेग्नॉल्ट का नियम (Reganult's law)

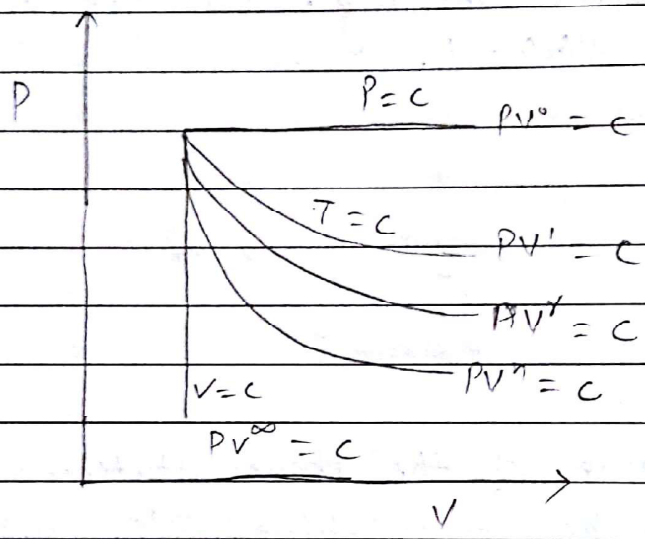
(i) **बॉयल का नियम** — इस नियम के अनुसार “किसी गैस के निश्चित द्रव्यमान तथा नियत तापमान पर गैस का आयतन, गैस के दाब के व्युत्क्रमानुपाती होता है।”

(ii) **चार्ल्स का नियम**—इस नियम के अनुसार, “नियत दाब पर किसी गैस का तापमान एवं दाब एक-दूसरे के समानुपाती होते हैं।”

- (iii) **गे-लुसाँक का नियम (Gay - Lusac law)** - इस नियम के अनुसार, का दाब उसके तापमान के समानुपाती होता है।"
- (iv) **रेग्नॉल्ट का नियम (Rengnault 's law)** — इस नियम के अनुसार, "किसी आदर्श गैस का तापमान 1°C बदलने पर उसके आयतन में होने वाला परिवर्तन 0° पर उसके आयतन का $1/273$ वाँ हिस्सा होगा।" यह नियम दाब पर प्रतिपादित किया जाता है।

as equivalent form of energy intransient and does not indicate the possibility of a spontaneous process proceeding in a certain direction. It is the 2nd law w/c assign a quantity to different form of energy and also indicate the direction of any spontaneous process.

Displacement Work For Various Non-flow Process



1. Constant Pressure Process:-

$$W = \int_1^2 P dV = P(V_2 - V_1)$$

$$Q = du + W$$

$$Q = m C_v dT + W$$

2. Constant Volume Pressure

$$V = \text{const.}$$

$$W = \int_1^2 P dV = P \times (V_2 - V_1)$$

$$W = P \times 0 = 0$$

$$Q = du + W \quad (W = 0)$$

$$Q = m C_v dT$$

3. Isothermal Process ($T = \text{const.}$)

$$W = \int_1^2 P dV$$

$$PV = C$$

$$P = \frac{C}{V}$$

$$W = \int_1^2 \frac{C}{V} dV$$

$$W = C [\log V]_1^2$$

$$W = C \log V_2 - C \log V_1 \quad \left\{ \log = \ln \right\}$$

$$W = C \log \frac{V_2}{V_1}$$

$$W = C = P_1 V_1 = P_2 V_2 = nRT = n\bar{R}T$$

$$Q = du + W$$

$$= m C_v dT + W$$

$$Q = 0 + W \quad \left\{ T \Rightarrow \text{constant} \right\}$$

$$Q = C \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$PV = C$$

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

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

$$W = C \log \frac{P_1}{P_2}$$

A. Adiabatic Process

$$Q = 0$$

$$\boxed{T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P dV$$

$$W = \int_{V_1}^{V_2} C dV$$

$$\left\{ \begin{array}{l} C_p \\ C_v \end{array} \right. = \gamma$$

$$W = C \int V^{-\gamma} dV$$

$$W = C \left[\frac{V^{-\gamma+1}}{-\gamma+1} \right]_1^2$$

$$W = C \left[\frac{V_2^{1-\gamma} - V_1^{1-\gamma}}{1-\gamma} \right]$$

$$W = \left[\frac{C V_2^{1-\gamma} - C V_1^{1-\gamma}}{1-\gamma} \right]$$

$$W = \left[\frac{P_2 V_2^{\gamma} V_2^{-\gamma+1} - P_1 V_1^{\gamma} V_1^{-\gamma+1}}{1-\gamma} \right]$$

$$\boxed{W = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1-\gamma}}$$

$$Q = du + W$$

$$0 = du + W$$

$$du = -W$$

Note: - Reversible adiabatic process is isentropic process ($\Delta S = 0$).

Polytropic Process

$$PV^n = C \quad \text{where } -\infty < n < \infty$$

$n \rightarrow \text{index}$

$$W = \int_1^2 P dV$$

$$W = \int_1^2 \frac{C}{V^n} dV$$

$$W = C \left[\frac{V^{-n+1}}{-n+1} \right]_1^2$$

$$W = C \left[\frac{V_2^{-n+1}}{-n+1} - \frac{V_1^{-n+1}}{-n+1} \right]$$

$$W = C \left[\frac{CV_2^{-n+1}}{1-n} - \frac{CV_1^{-n+1}}{1-n} \right]$$

$$W = \frac{P_2 V_2^{1-n} V_2^{-n+1}}{1-n} - \frac{P_1 V_1^{1-n} V_1^{-n+1}}{1-n} \quad \left. \vphantom{\frac{P_2 V_2^{1-n} V_2^{-n+1}}{1-n}} \right\} C = PV$$

$$W = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1-n}$$

$$Q = du + W$$

$$= m C_v (T_2 - T_1) + \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{(1-n)} \quad \text{--- (2)}$$

$$\therefore C_p - C_v = (R) \quad \text{--- (1)}$$

$$\left[\gamma = \frac{C_p}{C_v} \right] \Rightarrow C_p = \gamma C_v$$

$$\gamma C_v - C_v = R$$

$$C_v (\gamma - 1) = R$$

$$\left[C_v = \frac{R}{\gamma - 1} \right]$$

$$\therefore C_p - C_v = R$$

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

$$C_v = \frac{C_p}{\gamma}$$

$$C_p - \frac{C_p}{\gamma} = R$$

$$C_p \left(1 - \frac{1}{\gamma} \right) = R$$

$$C_p \left(\frac{\gamma - 1}{\gamma} \right) = R$$

$$\boxed{C_p = \frac{R\gamma}{\gamma - 1}}$$

Now, putting C_v in eqⁿ. (2)

$$Q = \frac{MR(T_2 - T_1)}{\gamma - 1} - \frac{(P_1 V_1 - P_2 V_2)}{1 - n}$$

$$= \frac{MRT_2 - MRT_1}{\gamma - 1} - \frac{(P_1 V_1 - P_2 V_2)}{(1 - n)}$$

Since $PV = MRT$
 $P_1 V_1 = MRT_1$

Hence,

$$Q = M \left(\frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{\gamma - 1} \right) - \frac{(P_1 V_1 - P_2 V_2)}{1 - n}$$

$$= -\frac{(1 - n)(P_2 V_2 - P_1 V_1)}{(\gamma - 1)} - \frac{(P_1 V_1 - P_2 V_2)}{(1 - n)}$$

$$Q = \left(\frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{\gamma - 1} \right) + \left(\frac{P_1 V_1 - P_2 V_2}{n - 1} \right)$$

$$Q = \frac{P_2 V_2}{\gamma - 1} - \frac{P_1 V_1}{\gamma - 1} + \frac{P_1 V_1}{n - 1} - \frac{P_2 V_2}{n - 1}$$

$$Q = P_1 V_1 \left[\frac{1}{n-1} - \frac{1}{\gamma-1} \right] + P_2 V_2 \left[\frac{1}{\gamma-1} - \frac{1}{n-1} \right]^{-1}$$

$$Q = P_1 V_1 \left[\frac{1}{n-1} - \frac{1}{\gamma-1} \right] - P_2 V_2 \left[\frac{1}{n-1} - \frac{1}{\gamma-1} \right]$$

$$Q = P_1 V_1 \left[\frac{1}{n-1} - \frac{1}{\gamma-1} \right] [P_1 V_1 - P_2 V_2]$$

$$Q = \frac{1}{n-1} \left[\frac{1 - (n-1)}{\gamma-1} \right] [P_1 V_1 - P_2 V_2]$$

$$Q = \frac{1}{n-1} \left[\frac{\gamma - \gamma - n + \gamma}{\gamma-1} \right] [P_1 V_1 - P_2 V_2]$$

$$Q = \frac{1}{n-1} \left[\frac{\gamma - n}{\gamma-1} \right] [P_1 V_1 - P_2 V_2]$$

$$Q = \left(\frac{\gamma - n}{\gamma-1} \right) \left[\frac{P_1 V_1 - P_2 V_2}{n-1} \right]$$

$$Q = \left(\frac{\gamma - n}{\gamma-1} \right) W_{\text{by}}$$

	Constant Pressure ($P=C$)	Constant Volume ($V=C$)	Constant temp. (Isothermal) ($T=C$)	Adiabatic ($Q=0$)	Polytropic
Work	$W = P(V_2 - V_1)$	$W = 0$	$W = C \ln \frac{V_2}{V_1}$ (or) $W = C \ln \frac{P_1}{P_2}$	$W = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1-\gamma}$	$W = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1-n}$
Heat	$Q = dH$	$Q = du$	$Q = W$	$Q = 0$	$Q = \left(\frac{\gamma - n}{\gamma - 1} \right) W_{poly}$
Ideal Gas	$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$	$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$	$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1}$	$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\gamma-1/\gamma}$ $\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1/\gamma}$	$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{n-1/n}$ $\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{n-1/n}$
$PV^k = C$	$k = 0$	$k = \infty$	$k = 1$	$k = \gamma$	$k = n$