ZONE TECH

www.zonetech.in

ZONE TECH

Best Institute For Assistant & Junior Engineer

MECHANICAL ENGINEERING

E-Book

for

(Diploma Students)

ME
Diploma

THERMODYNAMICS

SSC-JE
STAFF SELECTION COMMISSION-JE

RRB-JE
RAILWAY RECRUITMENT BOARD-JE

State-AE/JE
STATE LEVEL EXAMINATIONS

PSUs
PUBLIC SECTOR EXAMINATIONS

CONTACT US: **ZONE TECH**
H.O.: M-28, Madhuban Colony, Near Tonk Bridge, Tonk Phatak, Jaipur
B.O.: F-26/A, Behind Pinkcity Honda Showroom, Gatta Stand, Tonk Road, Jaipur
+91-9828747676
+91-9462447676
www.zonetech.in
www.onlinezonetech.in
info@zonetech.in

CHAPTER - 1
(BASIC CONCEPTS OF THERMODYNAMICS)

Thermodynamics:- विज्ञान की वह शाखा जिसमें energy और उसके interaction का system और surrounding पर प्रभाव का अध्ययन किया जाता है Thermodynamic (ऊष्मागतिकी) कहलाता है,

System:- यह fixed mass और space में (controlled volume) वह region होता है जहाँ पर हमारी study केन्द्रित होती है।

Surrounding:- system को छोडकर बाकी सभी surrounding होता है।

Immediate surrounding:- surrounding का वह हिस्सा जो सीधे ही system से प्रभावित होता है, immediate surrounding कहलाता है।

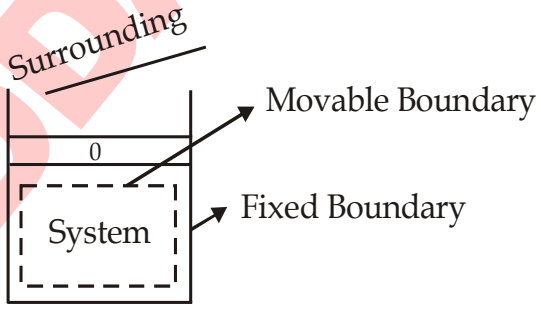
Boundary:- Boundary एक वास्तविक या काल्पनिक surface होती है जो system और surroundings को अलग करती है।

Note:-

(1) यह zero thickness की consider की जाती है।

(2) यह fixed या movable हो सकती है।

(3) Boundary वास्तविक और काल्पनिक हो सकती है। वास्तविक boundaries को continuous line से और काल्पनिक boundaries को dotted line या चित्र से दर्शाया जाता है।



System के प्रकार :-

1. Energy और mass system के आधार पर -

(a) Closed System या Control Mass System:- closed system अपने environment के साथ energy का exchange heat और work के रूप में कर सकता है लेकिन यहाँ पर system की boundary से कोई भी mass का transfer नहीं होता है।

Ex:- movable piston के साथ fit cylinder , Bomb calorimeter, Motor-car battery, etc.

(b) Open System या Control Volume System:- open system अपने surrounding के साथ energy का exchange, heat और work के रूप में करने के साथ system की boundary से mass का भी transfer कर सकता है।

Ex:- Water wheel, Motor car engine, boiler.

DDA - JE

(c) **Isolated System:-** एक fixed mass और energy का विलगित निकाय वह होता है जो ना तो mass का और ना ही energy का surrounding के साथ interreaction करता है।

Ex:- Thermos flask, universe.

Types of System	Exchange of Energy	Exchange of Mass	Example:-
1. Closed System	✓	✗	IC engine without valve.
2. Open System	✓	✓	Piston cylinder with valves turbine, pump
3. Isolated System	✗	✗	Universe Perfectly Insulated Thermos

2. **Phase change के आधार पर**

(a) **Homogeneous system:-** एक system जिसमें केवल एक ही phase रहती है homogeneous system कहलाता है।

Ex:-

1. Ice, water, dry saturated steam.
2. Mixture of amonia and water

(b) **Heterogeneous system:-** एक system जिसमें mass का content पूरे volume में non-uniform रहता है इसका मतलब एक से ज्यादा phase विद्यमान रहती है। heterogeneous system कहलाती है।

Ex:-

1. Ice और water का mixture
2. non-miscible liquids (water + mercury) का mixture

system की properties :- एक thermodynamic property, system के उस characteristics को बताती है जो उसकी अवस्था या दशा का विवरण करती है।

Properties को निम्न प्रकार से विभाजित किया जा सकता है :-

1. **Intensive Property (Intrinsic):-** यह वह properties होती है जो system के mass पर निर्भर नही करती है।

Ex:- Pressure, temperature, density, conductivity, specific energy, velocity और all specific properties, extensive properties का अनुपात

Note:-

1. सभी specific properties ,Intensive properties होती है।

Ex:- Specific volume, Specific Internal energy, Specific heat etc.

2. दो two extensive properties का भाग हमेशा intensive property होता है।

Ex:- $\text{Density} = \frac{\text{Mass}}{\text{Volume}}$

Here, Mass and Volume are extensive property and density is intensive property.

2. **Extensive Property (Extrinsic):-** यह system की वह properties होती है जो system के mass पर निर्भर करती है।

Ex:- Volume, Energy, Entropy, etc.

Note:-

(1) Properties exact differentials होती है।

(2) Properties point function या state function होती है।

(3) Properties path history पर निर्भर नही होती है।

DDA-JE

Thermodynamic Equilibrium:- एक system thermodynamic equilibrium में होता है यदि वह निम्न equilibrium में होता है।

(a) **Thermal Equilibrium:-** (तापमान की समानता) यह वह दशा या अवस्था होती है जिसमें system का temperature uniform रहता है।

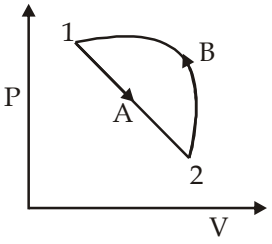
(b) **Mechanical Equilibrium:-** (forces की समानता) अर्थात किसी बिन्दु पर pressure समय के साथ बदलता नही है (यह uniform हो सकता है और नहीं भी) यह वह दशा या अवस्था होती है जिसमें कोई भी unbalance जिसमें system और उसकी boundary पर unbalance force नहीं होता है।

(c) **Chemical Equlibrium:-** कोई भी रासायनिक क्रिया का potential present नही होता है। मतलब chemical potential समान होता है। chemical equilibrium उस अवस्था या दशा को represent करता है जब system में सभी रासायनिक क्रियायें समाप्त हो चुकी होती है। और कोई भी mass का diffusion नही होता है।

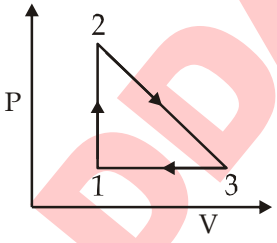
(d) **Phase Equlibrium:-** हर phase का mass, time के साथ constant रहता है।

- **State:-** system की कोई दशा उस system की अवस्था कहलाती है। इसे system की properties से specified किया जाता है।
- **Process:-** यदि किसी property में change होता है तो system के state में change होता है, state में change ही process कहलाता है।
- **Path:-** initial states से final states में system जिन infinite states से होकर गुजरता है, process path कहलाता है।
- **Cycle:-** एक ऐसा process जिसमें initial और final state समान होती है cycle कहलाती है।

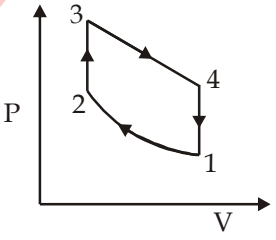
Note:- एक cycle बनाने के लिये minimum दो process की आवश्यकता होती है।



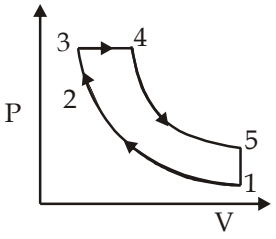
Two Cycle Process



Three Cyclic Process or Lenoir Cycle (used in jet)



Four Cyclic Process or otto Cycle

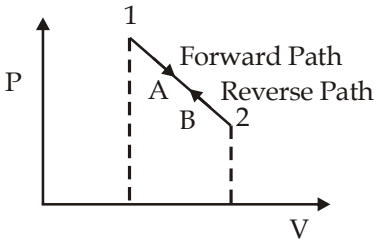


Five Cyclic Process or Dual Cycle

Classification of Process:-

Reversible process:- जब system अपनी वापस वास्तविक states में बिना surrounding पर कोई प्रभाव डाले आ जाता है, तो वह reversible process कहलाता है।

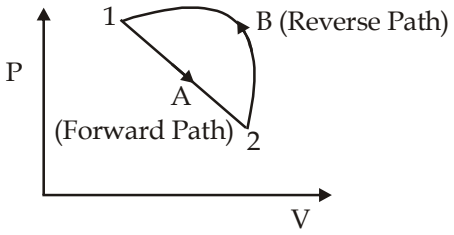
Note:- reversible process के लिये दोनो forward और reverse path same होते है।



Reversible

DDA - JE

Irreversible Process:- एक process, irreversible process होता है यदि non-equilibrium states के sequence से पास होता है इन process के दौरान system की properties की unique value नहीं होती है।

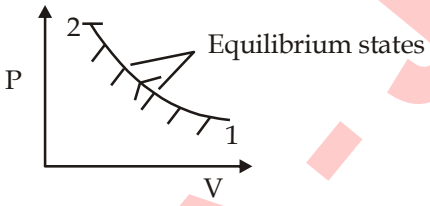


Irreversible

Quasi-static or Quasi-equilibrium Process

यदि एक process बहुत ही धीरे धीरे से होता है और process का हर point equilibrium point होता है तो वह Quasi-static process कहलाता है।

Note:- Quasi-static process friction के बिना ,reversible process तथा friction के साथ irreversible process होता है।



Note:-

- Quasi static gas के compression और expansion process को reversible लिया जाता है।
- nozzle, diffuser से होने वाले Ideal flow को reversible माना जाता है।

Methods जो process को irreversible बनाते है:-

(i) Friction.

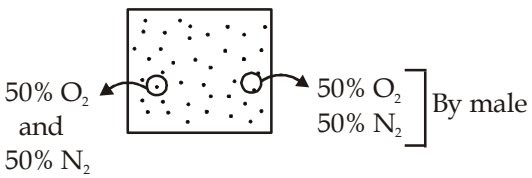
(ii) finite temperature difference से heat का transfer.

(iii) dissimilar fluids की mixing.

(iv) Free Expansion.

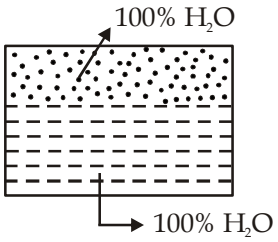
Pure Substance:- यह वह substance होता है जिसका chemical composition mixture के पूरे volume में constant रहता है, phase के निरपेक्ष में

Ex 1:- Gaseous mixture of O_2 तथा N_2



Ex 2:- Water and water vapour

DDA - JE



3. Mustard Oil + $H_2O \rightarrow$ Not a pure substance
4. Ethyl Alcohol + $H_2O \rightarrow$ Pure substance
5. Gaseous Air + Liquid Air $\rightarrow$ Not a pure substance

Atmospheric Air = Dry air (Gaseous Air) + Liquid H_2O

Note:- liquid water और gaseous air का mixture impure substance होता है क्योंकि water vapour content का percentage place to place different होता है। जैसे कि कुछ स्थानों पर ज्यादा आर्द्रता और कुछ स्थानों पर कम आर्द्रता होती है।

Gibbs Phase Rule:-

$$P + F = C + 2$$

जहाँ P = phases की संख्या(Liquid, gas, solid)

C = chemical component की संख्या

F = Degree of Freedom

Degree of Freedom:- Degree of freedom किसी system की states को define करने के लिये आवश्यक independent intensive properties की न्यूनतम संख्या को बताता है।

Ex 1:- O_2 और N_2 gaseous mixture.

$P + F = C + 2$

$1 + F = 2 + 2 \Rightarrow F = 3$

Ex 2:- Water + Water Vapour

$P + F = C + 2$

$2 + F = 1 + 2 \Rightarrow F = 1$

Ex 3:- H_2O का Tripple point

$P + F = C + 2$

$3 + F = 1 + 2 \Rightarrow F = 0$

मतलब tripple point एक fix point होता है

Water का Tripple Point :-

$T_P = 273.16$ K or 0.01°C, DOF = 0 Phases की संख्या = 3

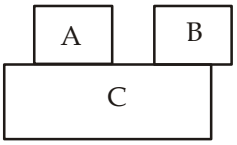
$P_{TP} = 4.579$ mm of Hg = 0.61 KPa or 611 pascal

DDA - JE

CHAPTER - 2
(ZEROTH LAW OF THERMODYNAMICS)

ऊष्मागतिकी का Zeroth law 1931 में fowler ने दिया था। इस नियम के अनुसार यदि एक body A body C के साथ thermal equilibrium में है और एक दूसरी body B भी body C के साथ अलग से thermal equilibrium में है तो body A व body B भी आपस में thermal equilibrium में होगे।

- किसी भी surface की Hotness या coldness उस surface से होने वाले heat transfer को बताती है।
- Temperature molecules की random energy को represent करता है।
- ऊष्मागतिकी के zeroth law में body C एक thermometer की तरह व्यवहार करती है



$$T_A = T_C$$
$$T_B = T_C$$
So $$T_A = T_B$$

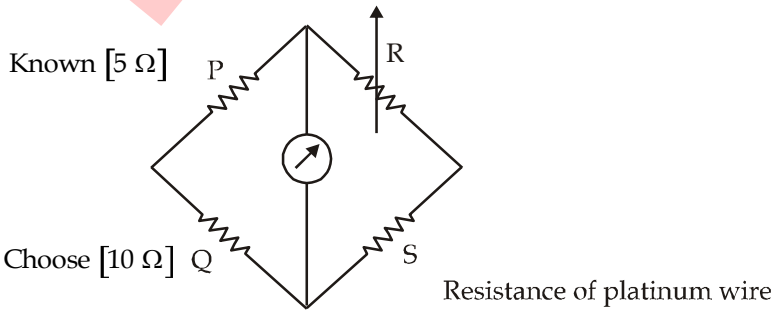
Thermometric Property:- वह variable property जो temperature को find करने में मदद करती है thermometric property कहलाती है। Thermometer, thermometric property को find करने पर आधारित होता है

Ex:- Hg thermometer में length या volume

Types of Thermometer:-

(1) **Resistance thermometer or Thermistor:-** यह wheat stone bridge के principle पर आधारित होता है। यहाँ Thermometric property, resistance होती है।

$$\frac{P}{Q} = \frac{R}{S} \Rightarrow \frac{5}{10} = \frac{8}{S} \qquad \text{Use } S = 16\ \Omega$$

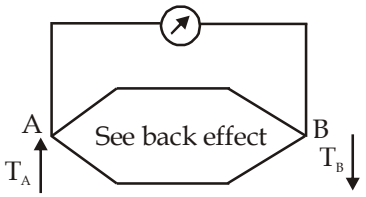


Note:- Unknown resistance, platinum wire का बना होता है।

(2) **Thermocouple Thermometer :-** यह सीबैक (seeback) effect पर आधारित होता है। इस effect के अनुसार यदि दो different metals को आपस में join करके दो भिन्न भिन्न junction बनाये जाते है, और इन junction को different temperature पर रखा जाता है तो वहाँ emf generate होता है जो directly temperature difference के proportional होता है। emf को measure करके unknown temperature को found किया जा सकता है।

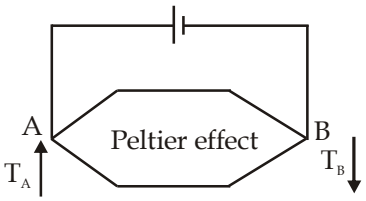
यहाँ Thermometric property emf (voltage, current) होती है।

DDA - JE



Temperature $\propto$ emf

Note:- Peltier effect:- यह सीबैक (seeback) प्रभाव के विपरित होता है तथा इसका उपयोग thermoelectric refrigeration में किया जाता है।



(3) **Constant volume gas thermometer:-** यहाँ thermometric property pressure होती है।

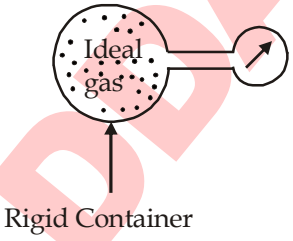
$$PV = mRT$$

$$T = P\left(\frac{V}{mR}\right)$$

$$T \propto P$$

$$T = f(P)$$

- Thermometric property = Pressure



(4) **Constant Pressure gas thermometer:-** यहाँ thermometric property volume होती है।

$$PV = mRT$$

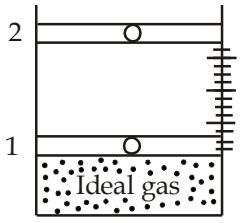
$$V = \left(\frac{mR}{P}\right)T$$

$$V \propto T$$

$$T = f(V)$$

- Thermometric property = Volume

DDA - JE



(5) **Ordinary Thermometer:-** Length/Volume, thermometric property का role play करते है। Mercury (Hg) और Alcohol thermometer के लिये length और volume, thermometric properties होते है।

(6) **Ideal Gas Thermometer:-** यह material of construction से independent होता है। मतलब यदि gas ideal gas है तो इससे कोई प्रभाव नही पड़ता कि वह कौनसी गैस है।

Note:- दोनो constant volume और constant pressure thermometer ideal gas thermometer कहलाते है।क्योंकि इनका material of construction, ideal gas होती है।

Temperature Measurement Scale:-

(1) **1954 से पहले का method :-** इस method में दो reference temperatures लिये जाते है जो ice point (0°C) और steam point (100°C) होते है।

$t = ax + b$ ....(1)

$t_i = ax_i + b$ .....(2) where i = Ice point

$t_s = ax_s + b$ .....(3) s = Steam point

Equation (1) - Equation (2)

$(t - t_i) = a(x - x_i)$ .....(A)

Equation (3) - Equation (2)

$(t_s - t_i) = a(x_s - x_i)$

Equation A/B

$$\frac{t - t_i}{t_s - t_i} = \frac{x - x_i}{x_s - x_i}$$

यदि thermometric property 'x' को find कर लिया जाये तो unknown temperature (t) ज्ञात किया जा सकता है।

(2) **1954 के बाद का method :-** इसमें एक ही unique point (reference point) का उपयोग temperature को measure करने में किया जाता है। वह unique point, water का tripple point होता है।

$PV = mRT$

constant volume gas thermometer में

$V = \text{constant}$

$$P = \left(\frac{mR}{V}\right)T$$

$\therefore \quad P \propto T$

$T = KP$ ....(1)

At tripple point

$T = T_{tp}$ where tp = Triple Point

$P = P_{tp}$

DDA - JE

$$\therefore \quad K = \frac{T_{tp}}{P_{tp}}$$

By equation (1)

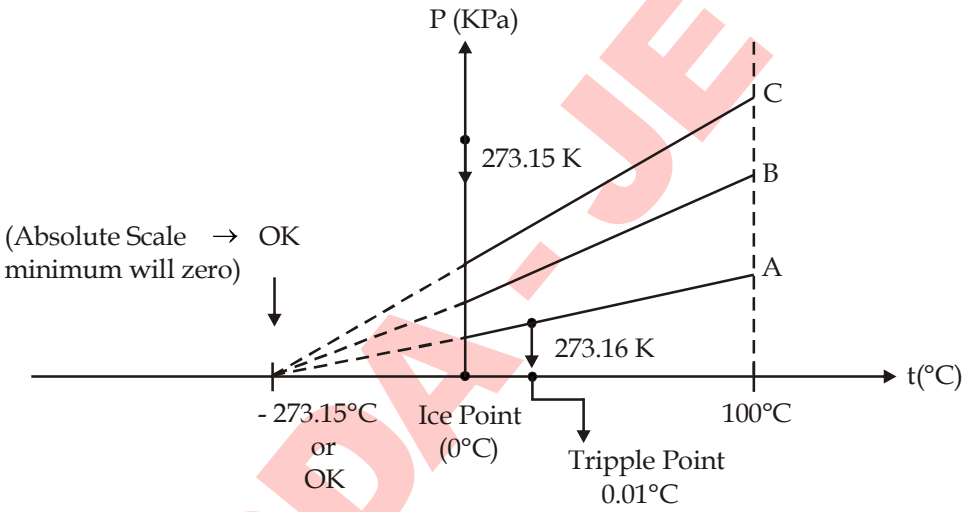
$$\because \quad T = KP$$

$$T = \frac{T_{tp}}{P_{tp}} .P$$

$$T = 273.16\left(\frac{P}{P_{tp}}\right)$$

$$P_{tp} = 0.611 \text{ KPa}$$

Kelvin Scale का concept :-



- Temperature scales nature में arbitary या random होते है।

Temperature Scale:-

Freezing point (Ice point)	Steam Point
0°C	100°C
32°F	212°F
273.15 K	373.15 K
0 R	0.80R
460 Ra	672 Ra

where R = Rumar

Ra = Rankine

$$\frac{\text{Scale} - \text{Ice Point}}{\text{Steam Point} - \text{Ice Point}} = \text{Constant}$$

DDA-JE

$$\frac{C-0}{100-0}=\frac{F-32}{212-32}=\frac{K-273}{373-273}=\frac{R-0}{80-0}=\frac{Ra-460}{672-460}$$

$$\frac{C}{100}=\frac{K-273}{100}$$

$$K=273+C$$

$$\frac{C}{100}=\frac{F-32}{180}$$

$$F=1.8C+32$$

$$C=\frac{F-32}{1.8}$$

Note:-

(1) $t=0°C$

(2) $T=K$

(3) $0°C=273.15\ K$

(4) $(\text{Triple Point})_{H_2O}=273.16\ K$ or $0.01°C$

(5) $(\text{Triple Point})_{\text{Pressure}}=4.587$ mm of Hg or 0.611 KPa or 611 Pascal.

Note:-

- reference point, water का triple point selecte किया जाता है।
- internationally accepted convention के अनुसार

$$1K=\left(\frac{1}{273.16}\right)\text{at triple point of water}$$

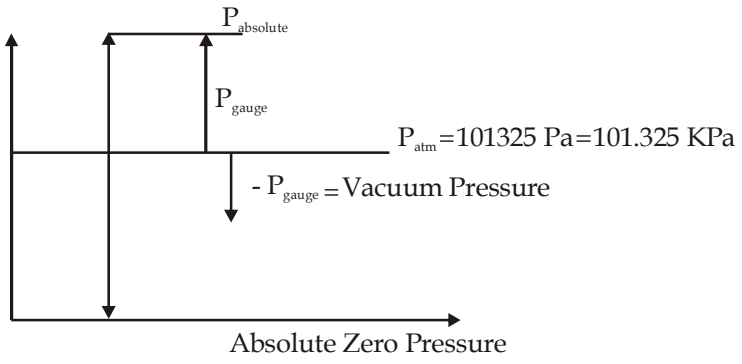
Ideal Gas Equation:- एक gas low pressure और high temperature condition में ideal gas की तरह behave करती है। ideal gas का expression निम्न प्रकार दिया जाता है।

$$PV=mRT$$

Here $R=$ Characteristic gas constant

$T=$ Absolute Temperature

$P=$ Absolute Pressure



$$P_{abs}=P_{atm}+p_{gauge}$$

Mole:- यह mass और molecular weight का ratio होता है।

DDA-JE

$$n = \frac{\text{Mass}}{\text{Molecular weight}}$$

$$PV = n\bar{R}T$$

$$PV = \text{Mass}\left(\frac{\bar{R}}{\text{Molecular weight}}\right)T$$

where

$\bar{R}$ = Universal gas constant (8.314 KJ/kg Mole - K)

For Ideal gas:-

$$R = \frac{\bar{R}}{\text{Molecular weight}} = \frac{8.314 \text{ KJ/kg Mole K}}{28.996 \text{ kg/kg Mole}} = 0.287 \text{ KJ/kgK.}$$

Point Function और Path Function:-

Point Function:- वह variables जो system के द्वारा follow किये गये path से independent होते है point function कहलाते है।

Ex:- Pressure, Temperature, volume, etc.

Note:- सभी properties point function होती है।

Path Function:- वह variables जो system की past history पर निर्भर करते है path function कहलाते है।

Ex:- Heat and work.

Exact Differential:- varibale का cyclic change शून्य होता है।

$$\oint d(\text{var}) = 0$$

Note:- सभी properties, point function और exact differential होती है।

Inexact Differential:- variable का cyclic change शून्य नही होता है।

$$\oint d(\text{var}) \neq 0 \qquad \therefore \oint dP = \oint P_t - P_i = 0$$

Ex:- Heat और work inexact differential होते है उन्हे निम्न प्रकार से प्रदर्शित किया जाता है

Heat:- δQ or $đQ$ or ${}_1Q_2$

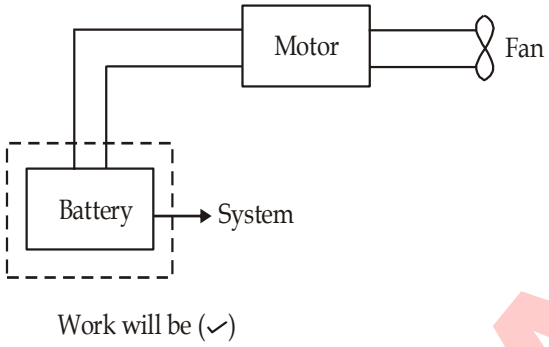
Work:- δW or $đW$ or ${}_1W_2$

DDA-JE

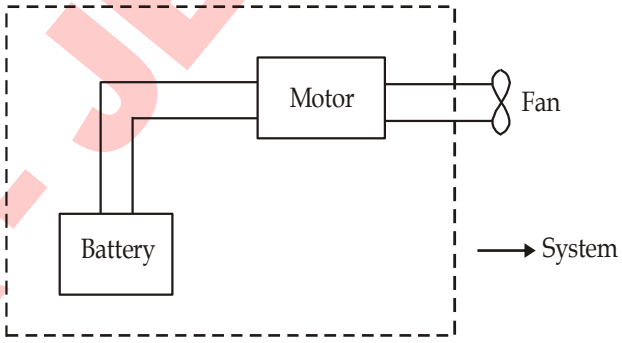
CHAPTER - 3
(ENERGY INTERACTION)

Work:- किसी भी system के द्वारा किया गया work तब ही कहा जा सकता है जब system का surrounding पर सम्पूर्ण प्रभाव को weight को उठाने में convert किया जा सके, जबकि वास्तविकता में weight rise हो भी सकता है और नहीं भी।

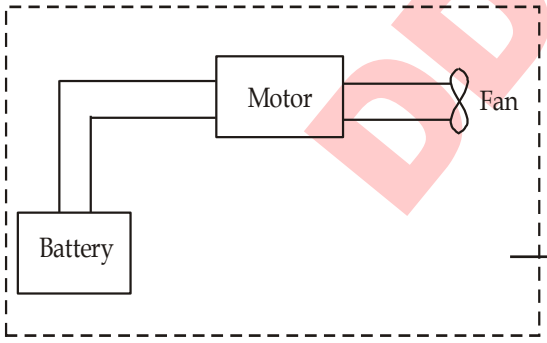
- यह एक energy transfer होता है।
- यह किसी दूरी तक लगने वाले force से सम्बद्ध होता है।



Work will be (✓)



Work (✓)



Work (X) because internal to the system

DDA - JE

Sign Convention:-

1. system के द्वारा किया गया कार्य = + ve
2. system पर किया गया कार्य = - ve

Note:-

(a) Work और heat दोनो ही transient या boundary phenomenon होते है।

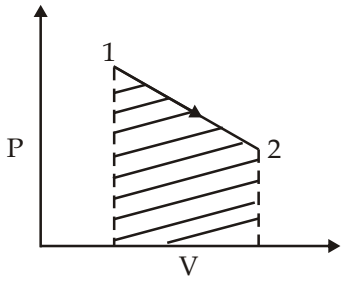
(b) Work और heat दोनो ही path function और Inexact differential होते है अर्थात path history पर निर्भर करते है।

Work के प्रकार :-

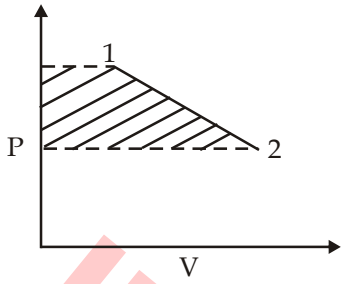
(1) Closed system work या non flow work $W_c = \int PdV$

(2) Open system या steady work $W_c = -\int VdP$

closed system के case में P-V curve के नीचे का area volume axis पर projecte किया जाता है जबकि open system के case में P-V curve के नीचे का area pressure axis projecte किया जाता है।



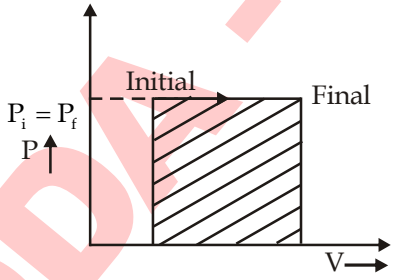
$$W_{close} = \int PdV$$



$$W_{open} = -\int V.dP$$

Different process के लिये Closed System Work का Expression :-

(1) **Constant Pressure/Isobaric/Isopiestic Process:-**



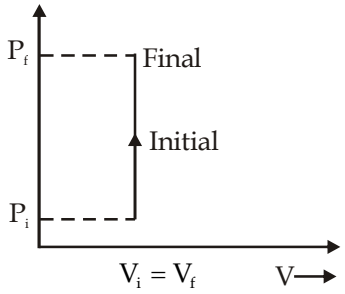
$$P = C$$

$$W_{closed} = \int P.dV$$

$$= P\int_{V_i}^{V_f} dV$$

$$W_{P=C} = P[V_f - V_i]$$

(2) **Constant Volume Process/Isochoric/Isometric Process:-**



DDA - JE

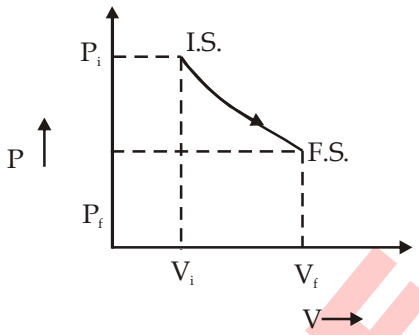
$$V = C$$

$$W_{closed} = \int P dV$$

$\because$ $V_f = V_i$

$\therefore$ $W_{V=C} = 0$

(3) **Constant Temperature/Isothermal/Hyperbolic Process:-**



$$PV = mRT$$

$$PV = \text{constant}$$

$$PV = C$$

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

$$W_{closed} = \int P.dV$$

$$W_{T=C} = \int_{V_i}^{V_f} \frac{C}{V} dV$$

$$W_{closed} = C \, In \frac{V_f}{V_i}$$

$\therefore$ $$W_{closed} = C \, In \frac{P_i}{P_f}$$

$$C = P_i V_i = P_f V_f = mRT_i = mRT_f$$

$\because$ $P_i V_i = P_f V_f$

$$\frac{V_f}{V_i} = \frac{P_i}{P_f}$$

Note:-

(i) isothermal expansion के दौरान final volume की value initial volume के comparision में ज्यादा होती है इसलिए isothermal work के लिये positive expression मिलता है।

$$V_f > V_i$$

DDA - JE

$$\frac{V_f}{V_i} > 1$$

$$W_{T=C} = \text{In}\ \frac{V_f}{V_i} \Rightarrow \text{Positive}$$

इसी प्रकार,

Isothermal compression में

$$V_f < V_i$$

$$\frac{V_f}{V_i} < 1$$

$$W_{T=C} = \text{In}\ \frac{V_f}{V_i} \Rightarrow \text{Negative}$$

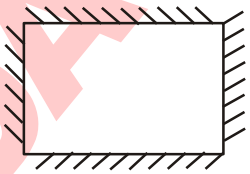
4. **Adiabatic Process:-**

- adiabatic process में system और surrounding के बीच में कोई भी heat का interaction नहीं होता है

Example:- insulated vessel

- यह निम्न नियम को follow करता है।

$$PV^{\gamma} = C$$



γ = Adiabatic Index

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V}$$

For Air:-

$$C_P = 1.005\ \text{KJ/Kg - K}$$

$$C_V = 0.718\ \text{KJ/Kg - K}$$

$$R = C_P - C_V = 0.287\ \text{KJ/Kg - K}$$

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} = 1.4$$

$$PV^{\gamma} = C$$

$$P_i V_i^{\gamma} = P_f V_f^{\gamma}$$

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

DDA - JE

$$W = \int_{V_i}^{V_f} PdV$$

$$= \int_{V_i}^{V_f} \frac{C}{V^\gamma} dV$$

$$= C\int_{V_i}^{V_f} V^{-\gamma} dV$$

$$= C\left[\frac{V^{-\gamma+1}}{-\gamma+1}\right]_{V_i}^{V_f}$$

$$= \frac{C}{1-\gamma}\left[V_f^{1-\gamma} - V_i^{1-\gamma}\right]$$

$$= \frac{1}{1-\gamma}\left[C.V_f^{1-\gamma} - C.V_i^{1-\gamma}\right]$$

$$= \frac{1}{1-\gamma}\left[P_f.V_f.V_f^{1-\gamma} - P_i.V_i.V_i^{1-\gamma}\right]$$

$$= \frac{1}{1-\gamma}\left[P_f.V_f - P_i.V_i\right]$$

$$W_{(PV^\gamma=C)} = \frac{P_iV_i - P_fV_f}{\gamma-1} = \frac{mR\,(T_i - T_f)}{\gamma-1}$$

5. **Polytropic Process:-**

- यह exactly adiabatic process के समान ही होता है लेकिन यहाँ पर system और surrounding के बीच में heat का interaction होता है।
- यह निम्न नियम को follow करता है।

$$PV^n = C$$

$$n = \text{Polytropic Index}$$

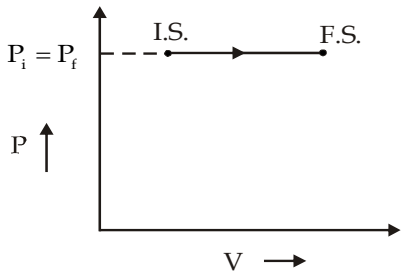
$$1 < n < \gamma$$

$$W_{(PV^n=C)} = \frac{P_iV_i - P_fV_f}{n-1} = \frac{mR\,(T_i - T_f)}{n-1}$$

Different process के लिये open system work का expression :-

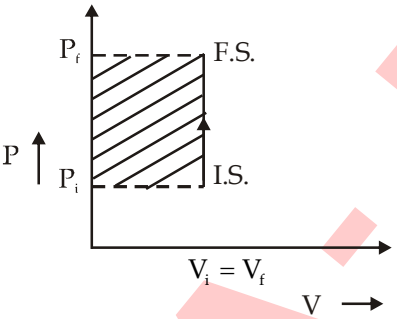
(1) **Constant Pressure Process:-**

DDA - JE



$$W_{open} = -\int VdP$$
$$W_{P=C} = 0$$

(2) **Constant Volume Process:-**



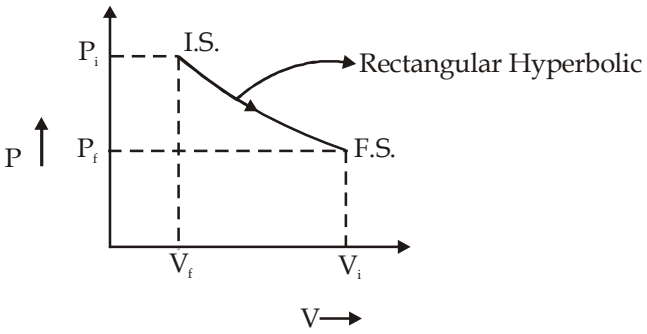
$$W = -\int_{P_i}^{P_f} VdP = -V[P_f - P_i]$$
$$W_{V=C} = V[P_i - P_f]$$

(3) **Isothermal Process:-**

$$PV = mRT$$
$$PV = C$$
$$V = \frac{C}{P}$$
$$W_{T=C} = -\int VdP = -\int_{P_i}^{P_f} \frac{C}{P} dP$$
$$W_{T=C} = -C\int_{P_i}^{P_f} \frac{dP}{P}$$
$$W_{T=C} = -C\ In\frac{P_f}{P_i}$$
$$W_{(T=C)} = C\ In\ \frac{P_i}{P_f} \text{ or } C\ In\ \frac{V_f}{V_i} \qquad \because C = P_iV_i = P_fV_f = mRTi$$

DDA - JE

$$W_{open} = W_{closed}$$



Note:- $PV = C$

दोनो तरफ Differentiate करने पर

$$PdV + VdP = 0$$

$$PdV = - VdP$$

दोनो तरफ Integration करने पर

$$\int PdV = -\int VdP$$

$$W_{closed} = W_{open}$$

isothermal process के लिये closed system और open system का work का expression exactly same होता है।

(4) **Adiabatic Process:-**

$$PV^{\gamma} = C$$

$$P(\gamma V^{\gamma-1} dv) + V^{\gamma} dP = 0$$

Divided by $V^{\gamma-1}$

$$\gamma PdV + VdP = 0$$

$$\int VdP = -\gamma \int PdV$$

$$-\int VdP = \gamma \int PdV$$

$$\downarrow \qquad \downarrow$$

$$W_{open} \qquad W_{closed}$$

$$W_{open} = \gamma\left(\frac{P_i V_i - P_f V_f}{\gamma - 1}\right)$$

(5) **Polytropic Process:-**

$$W_{open} = n\, W_{closed} = n\left(\frac{P_i V_i - P_f V_f}{n-1}\right)$$

$$= n\left(\frac{mR(T_i - T_f)}{n-1}\right)$$

P-V diagram में Slope :-

$$PV^K = C$$

By differenting

$$V^K . dP + K.V^{K-1} . P . dV = 0$$

DDA - JE

$$V^K . dP = - K.V^{K-1} . dV . P$$

$$dP = -\frac{KV^{K-1}}{V^K} . dV . P$$

$$\frac{dP}{dV} = - KV^{-1} . P$$

$$\frac{dP}{dV} = - K\left(\frac{P}{V}\right)$$

$$\frac{dP}{dV} = K\left(\frac{-P}{V}\right)$$

(1) For Isothermal Process:- $K = 1,\ \left(\frac{dP}{dV}\right)_{PV=C} = \frac{-P}{V}$

(2) For Polytropic Process:- $K = n,\ \left(\frac{dP}{dV}\right)_{PV^n=C} = n\left(\frac{-P}{V}\right)$

(3) For Adiabatic Process:- $K = \gamma,\ \left(\frac{dP}{dV}\right)_{PV^\gamma=C} = \gamma\left(\frac{-P}{V}\right)$

(4) For Constant Pressure Process:- $K = 0,\ \left(\frac{dP}{dV}\right)_{P=C} = 0$

(5) For Constant Volume Process:- $K = \infty,\ \left(\frac{dP}{dV}\right)_{V=C} = \infty$

Note:-

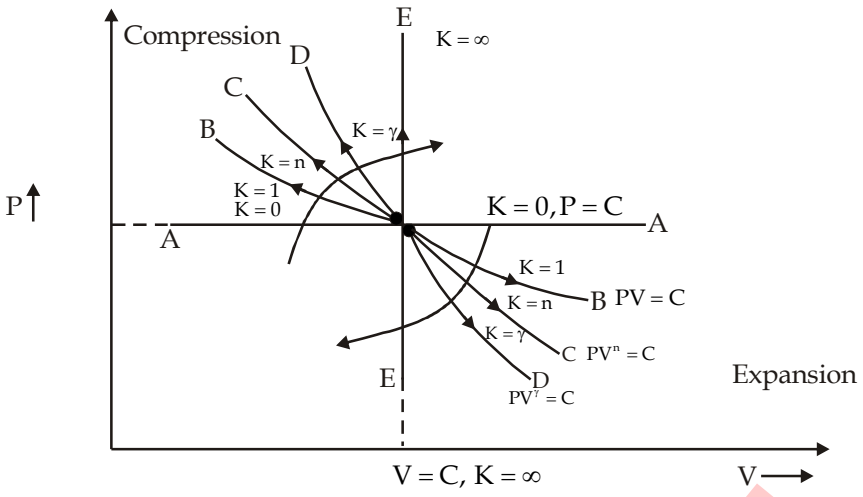
(i) $\left(\frac{dP}{dV}\right)_{PV^\gamma=C} > \left(\frac{dP}{dV}\right)_{PV^n=C} > \left(\frac{dP}{dV}\right)_{PV=C}$ $\because \gamma > n > 1$

(ii) Adiabatic Process की slope, isothermal process से γ times होती है

$$\left(\frac{dP}{dV}\right)_{PV^\gamma=C} = \gamma\left(\frac{dP}{dV}\right)_{PV=C}$$

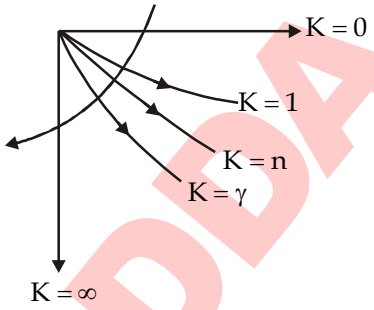
सभी Processes का P-V Curve पर Representation

DDA JE



$$PV^K = C$$

$K = 1$	For Isothermal	$PV = C$
$K = n$	Polytropic	$PV^n = C$
$K = \gamma$	Adiabatic	$PV^\gamma = C$



clockwise direction में K का बढ़ता हुआ क्रम

Various Process के लिये Ideal Gas Equation :-

(1) **Constant Volume Process:-**

$V = \text{Constant}$

$$PV = mRT \Rightarrow P = \left(\frac{mR}{V}\right)T \Rightarrow P = \text{constant } T$$

$$P \propto T \Rightarrow \boxed{\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}}$$

(2) **Constant Pressure Process:-**

$P = \text{Constant}$

$$PV = mRT \Rightarrow V = \left(\frac{mR}{P}\right)T \Rightarrow \qquad V \propto T \Rightarrow \boxed{\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}}$$

DDA - JE

(3) **Isothermal / Constant Temperature Process:-**

$$PV = mRT \Rightarrow PV = \text{Constant} \Rightarrow P \propto \frac{1}{V} \Rightarrow \boxed{\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1}}$$

(4) **Adiabatic Process:-**

$$PV^{\gamma} = C$$

$$P_1V_1^{\gamma} = P_2V_2^{\gamma}$$

हम जानते है कि

$$PV = mRT$$

$$P_1V_1 = mRT_1 \Rightarrow P_1 = \frac{mRT_1}{V_1}$$

$$P_2V_2 = mRT_2 \Rightarrow P_2 = \frac{mRT_2}{V_2}$$

$$\left(\frac{mRT_1}{V_1}\right)V_1^{\gamma} = \left(\frac{mRT_2}{V_2}\right)V_2^{\gamma}$$

$$\frac{T_1}{V_1} \times V_1^{\gamma} = \frac{T_2}{V_2} \times V_2^{\gamma} \Rightarrow T_1V_1^{\gamma-1} = T_2V_2^{\gamma-1} \Rightarrow \boxed{\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1}} \quad \text{.....(A)}$$

$$P_1V_1 = mRT_1 \quad \text{.....(1)}$$

$$P_2V_2 = mRT_2 \quad \text{.....(2)}$$

By Equation (2)/Equation (1)

$$\frac{P_2V_2}{P_1V_1} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} \times \frac{P_1}{P_2} \quad \text{.....(B)}$$

Equation (B) और (A) से

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

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\gamma} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\gamma-1} \Rightarrow \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad \text{.....(A')}$$

(5) **Polytropic Process:-**

$$PV^n = C$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{n-1}, \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}$$

DDA-JE

Name of process	Work		Value of K	P, V and T relation
	Close	Open		
1. Constant Pressure Process (P = C)	$P(V_2 - V_1)$	0	0	$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$
2. Constant Volume Process (V = C)	0	$V(P_1 - P_2)$	∞	$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$
3. Isothermal Process (T = C)	$C \text{ In } \frac{V_2}{V_1}$	$C \text{ In } \frac{V_2}{V_1}$	1	$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1}$
4. Adiabatic Process ($PV^\gamma = C$)	$\frac{P_1V_1 - P_2V_2}{\gamma - 1}$	$\frac{\gamma}{\gamma - 1}(P_1V_1 - P_2V_2)$	γ	$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1}$ $\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$
5. Polytropic Process ($PV^n = C$)	$\frac{P_1V_1 - P_2V_2}{n - 1}$	$\frac{n}{n-1}(P_1V_1 - P_2V_2)$	n	$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{n-1}$ $\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{n-1}{n}}$

Heat:- Heat, temperature difference के वजह से होने वाला energy transfer होता है।

$$Q = mC.\Delta T$$

$$C = \frac{Q}{m.\Delta T} = \frac{Q}{1 \times 1}$$

C specific heat (विशिष्ट ऊष्मा) होती है।

यह unit mass का temperature difference unit बढ़ाने के लिये आवश्यक heat की मात्रा होती है।

Note:-

1. solid और liquid के case में specific heat process पर निर्भर नही करती है। जबकि gases के case में यह process पर निर्भर करती है।

Air के लिये,

$C_P = 1.005$ KJ/Kg-K

$C_V = 0.718$ KJ/Kg-K

For H_2O,

$C = 4.187$ KJ/Kg-K

2. C_P की value C_V से हमेशा ज्यादा क्यों होती है?

constant volume process के case में complete heat, gases molecule के temperature को बढ़ाने में use होती है जबकि constant pressure process के case में, heat का कुछ part gases molecules का temperature बढ़ाने में और बाकी कुछ part work करने में use होता है।

(3) Isothermal Specific Heat

$$C_{T=C} = \frac{Q}{m.\Delta T} \qquad \because \Delta T = 0$$

$$C_{T=C} = \infty$$

DDA-JE

(4) Adiabatic Specific Heat

$$C_{PV^{\gamma}=C} = \frac{Q}{m.\Delta T} \qquad \because Q = 0$$

$$C_{PV^{\gamma}=C} = 0$$

Heat के प्रकार :-

(i) Sensible Heat (विशिष्ट ऊष्मा)

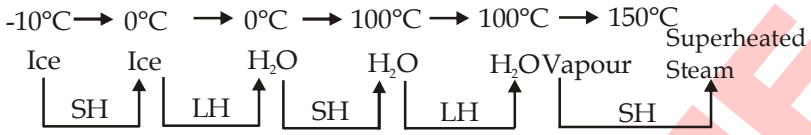
(ii) Latent Heat (गुप्ता ऊष्मा)

Solid $\rightarrow$ Liquid = Fusion (गलन)

Solid $\rightarrow$ Vapour = Sublimation (ऊर्ध्वपातन)

Sensible Heat:- temperature difference के कारण होने वाली heat का transfer sensible heat होती है।

Latent Heat:- phase change करने के लिये आवश्यक heat latent heat होती है।



$$SH = mC.\Delta T$$

$$LH = m.LH_{Fusion/Vapourisation/Sublimation}$$

Enthalpy (H):-

- यह system के कुल heat content को बताता है।
- Enthalpy (H) internal energy (U) और flow work ($P\nu$) का summation होती है।

$$H = U + PV$$

$$\frac{H}{m} = \frac{U}{m} + P\left(\frac{V}{m}\right)$$

$$h = u + Pv$$

जहाँ h = Specific enthalpy

u = Specific Internal energy

Pv = Flow work

Enthalpy की unit :-

Joule or N - m

Dimensional Formula:- ML^2T^{-2}

Flow Work or Displacement Work:-

यह control volume से, small fluid element को अन्दर और बाहर विस्थापित करने के लिये आवश्यक work की मात्रा होती है।

Mathematically,

Flow work = Pv

जहाँ P = Pressure

v = Specific volume

control volume की boundary को control surface की तरह जाना जाता है।

Heat के लिये Sign Convention :-

(1) System को दी गई heat

$Q_{Supplied}$ = + ve

(2) System से rejecte की गई heat

$Q_{Rejected}$ = - ve

DDA - JE

Work और Heat का Equivalance :- किसी भी system में temperature दो तरीके से बढ़ाया जा सकता है।

(1) System को heat supply करके

(2) System के द्वारा work करा कर

Joule's Law:- Joule's के नियम के अनुसार work heat के proportional होता है

$$W \propto Q$$

$$W = JQ \Rightarrow \boxed{J = \frac{W}{Q}}$$

$J =$ Heat का Mechanical Equivalance

यदि $Q = 1$ Kcal. तब

$J = W$

मतलब किसी system के लिए 1 Kcal heat produce करने के लिये आवश्यक joule work ही heat का mechanical equivalance कहलाता है।

$$J = 4.2 \times 10^3 \frac{\text{Joule}}{\text{K cal}}$$

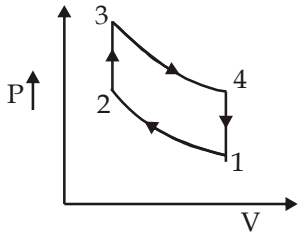
$$= 4.2 \frac{\text{Joule}}{\text{cal}} \qquad \because 1 \text{ Joule} = 10^7 \text{ Erg.}$$

$$J = 4.2 \times 10^7 \text{ Erg/cal.}$$

DDA - JE

CHAPTER - 4
(FIRST LAW OF THERMODYNAMICS)

- Energy को ना तो creat किया जा सकता है और ना ही destroy किया जा सकता है इसे एक रूप से दूसरे रूप में convert किया जा सकता है।
- ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम के अनुसार :- closed system के लिये net heat interaction का cyclic integral और net work का cyclic integral same होता है जब दोनो को उनकी unit में express किया जाता है।



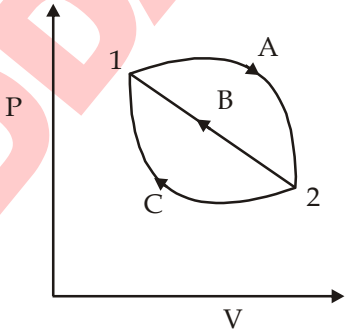
$$\oint \delta Q_{Net} = \oint \delta W_{Net} \qquad .....(1)$$

$$Q_{1-2} + Q_{2-3} + Q_{3-4} + Q_{4-1} = W_{1-2} + W_{2-3} + W_{3-4} + W_{4-1}$$

- समीकरण 1 दोनो reversible और irreversible process के लिये valid होता है।

First law Thermodynamics के परिणाम :-

(1) **Heat transfer एक path function होता है**



Process 1-A-2-B-1

$$Q_{1-A-2} + Q_{2-B-1} = W_{1-A-2} + W_{2-B-1} \qquad .....(A)$$

Process 1-A-2-C-1

$$Q_{1-A-2} + Q_{2-C-1} = W_{1-A-2} + W_{2-C-1} \qquad .....(B)$$

$$Q_{2-B-1} - Q_{2-C-1} = W_{2-B-1} - W_{2-C-1} \qquad .....(C)$$

$\because \quad W_{2-B-1} - W_{2-C-1} \neq 0$

$\therefore \quad Q_{2-B-1} - Q_{2-C-1} \neq 0$

$$Q_{2-B-1} \neq Q_{2-C-1}$$

heat और work के regarding important point :- ऊपर किये गये discussion के आधार पर कहा जा सकता है कि heat और work path पर निर्भर करते है। इसलिए यह path function होते है।

DDA - JE

(2) **Energy एक property होती है**

Using equation (C)

$$Q_{2\text{-}B\text{-}1} - Q_{2\text{-}C\text{-}1} = W_{2\text{-}B\text{-}1} - W_{2\text{-}C\text{-}1}$$
$$Q_{2\text{-}B\text{-}1} - W_{2\text{-}B\text{-}1} = Q_{2\text{-}C\text{-}1} - W_{2\text{-}C\text{-}1} = dE$$
$$(\delta Q - \delta W)_{2\text{-}B\text{-}1} = (\delta Q - \delta W)_{2\text{-}C\text{-}1}$$

इसलिए यह अलग अलग path पर निर्भर नही करता है, अत: यह एक property है जिसे energy कहा जाता है।

$$\delta Q - \delta W = dE$$
$$\delta Q = dE + \delta W \quad \text{.....(2)}$$
$$dE = d\,(K.E. + P.E. + U)$$

K.E., P.E. को neglecte (नगण्य) करने पर

$$dE = dU$$

By equation 2:- $\delta Q = dU + \delta W$ .....(3)

Condition for applying $W = \int P.dV$

(a) यह एक reversible process होना चाहिए।

(b) एक closed system होना चाहिए।

(c) यह boundary को cross करना चाहिए।

By equation 3

$$\delta Q = dU + PdV \quad \text{....(4)}$$

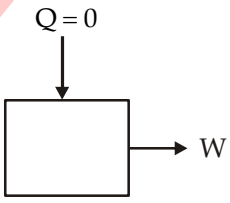
समीकरण no. 4 केवल reversible और closed system के लिये ही valid होता है।

(3) isolated system की energy constant रहती है

$$\delta Q = dE + \delta W$$
$$dE = 0$$
$$E_f - E_i = 0$$
$$E_f = E_i$$

energy में कोई बदलाव नही होता

(4) PMM-1 (Perpetual motion machine 1) यह impossible होता है क्योंकि यह ऊष्मा गति के प्रथम नियम का उल्लंघन करती है।



PMM-1 एक ऐसी device का concept है जो बिना कोई बाहर से energy absorb किये continuously work develop करती है, जो कि असम्भव है।

Closed system के लिये Heat का Expression :-

(1) **Constant Volume Process:-**

$$\delta Q = dU + P.dV$$
$$V = \text{constant}$$
$$dV = 0$$
$$\delta Q = dU \quad \text{.....(1)}$$
$$\delta Q_{V=C} = mC_V.dT \quad \text{.....(2)}$$

DDA-JE

समीकरण (2) valid होती है,

- किसी भी substance के लिये
- केवल constant volume process के लिये
- दोनो Quasi-static और Non-Quasi static process के लिये

समीकरण (1) और (2) को compare करने पर

$$\delta Q = dU = mC_V.dT$$

$$dU = mC_V.dT \quad \text{.....(3)}$$

समीकरण (3) valid होता है,

- किसी भी substance के लिये
- किसी भी process के लिये
- दोनो Quasi-static और Non-Quasi static के लिये

ऊपर दिया गया expression सभी process के लिये applicable होता है क्योंकि इसमें सभी parameter properties है, और सभी properties point function होती है।

Note:- ideal gas के लिये internal energy केवल temperature का function होती है।

(2) **Constant Pressure Process:-**

$$\delta Q = dU + PdV$$

$$P = \text{Constant}$$

$$\delta Q = dU + d(PV)$$

$$\delta Q = d(U + PV)$$

$$\delta Q = dH \quad \text{.....(1)}$$

$$\delta Q_{P=C} = mC_P dT \quad \text{.....(2)}$$

समीकरण (2) valid होता है

- किसी भी substance के लिये
- केवल constant pressure process के लिये
- दोनो Quasi-static और Non-Quasi static process के लिये

$$dH = mC_P dT \quad \text{.....(3)}$$

समीकरण (3) valid होता है

- किसी भी substance के लिये
- किसी भी process के लिये
- दोनो Quasi-static और Non-Quasi static process के लिये
- यह expression सभी process के लिये applicable होता है।

Note:- Ideal gas के लिये enthalpy केवल temperature का function होती है।

(3) **Constant Temperature Process:-**

$$\delta Q = dU + dW$$

$$T = \text{constant}$$

$$dT = 0$$

$$\therefore \quad dU = 0$$

$$\delta Q = dW$$

DDA - JE

$$\delta Q = \delta W = C\, ln \frac{V_f}{V_i} = C\, ln \frac{P_i}{P_f}$$

constant temperature process में supplied heat net work done के बराबर होती है।

(4) **Adiabatic Process:-**

$$\delta Q = 0$$

$$\delta Q = dU + \delta W$$

$$\delta W = -dU$$

Note:- Adiabatic process में work done, internal energy में decrease के बराबर होता है।

(5) **Polytropic Process:-**

C_P, C_V, R और γ में Relationship :-

$$C_P - C_V = R$$

$$\gamma . C_V - C_V = R \qquad \because \frac{C_P}{C_V} = \gamma$$

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

$$C_V = \frac{R}{\gamma - 1}, \qquad C_P = \frac{\gamma R}{\gamma - 1}$$

$$\delta Q = dU + \delta W_{closed}$$

$$\delta Q = mC_V(T_f - T_i) + \frac{P_i V_i - P_f V_f}{n-1}$$

$$\because PV = mRT, \quad C_V = \frac{R}{\gamma - 1}$$

$$\delta Q = \frac{m.R}{\gamma - 1}(T_f - T_i) + \frac{P_i V_i - P_f V_f}{n-1}$$

$$= \frac{mRT_f - mRT_i}{\gamma - 1} + \frac{P_i V_i - P_f V_f}{n-1}$$

$$= \frac{P_f V_f - P_i V_i}{\gamma - 1} + \frac{P_i V_i - P_f V_f}{n-1}$$

$$\delta Q = \frac{P_i V_i - P_f V_f}{n-1} - \frac{P_i V_i - P_f V_f}{\gamma - 1}$$

$$\delta Q = (P_i V_i - P_f V_f)\left[\frac{1}{n-1} - \frac{1}{\gamma - 1}\right]$$

$$\delta Q = (P_i V_i - P_f V_f)\left[\frac{\gamma - 1 - n + 1}{(\gamma - 1)(n-1)}\right]$$

DDA - JE

$$\delta Q = \frac{P_i V_i - P_f V_f}{n-1}\left(\frac{\gamma - n}{\gamma - 1}\right)$$

$$\delta Q = \left(\frac{\gamma - n}{\gamma - 1}\right) W_{closed} \qquad \because \qquad W_{closed} = \frac{P_i V_i - P_f V_f}{n-1}$$

polytropic process में heat supplied की value internal energy के term में

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

$$\delta Q = \left(\frac{\gamma - n}{\gamma - 1}\right)\left(\frac{P_i V_i - P_f V_f}{n-1}\right)$$

$$\delta Q = \left(\frac{\gamma - n}{\gamma - 1}\right)\left(\frac{mR(T_i - T_f)}{n-1}\right)$$

$$\delta Q = \left(\frac{\gamma - n}{n-1}\right) m \frac{R}{\gamma - 1}(T_i - T_f)$$

$$\delta Q = \frac{\gamma - n}{n-1}\, mC_V\,(T_i - T_f) \qquad \because C_V = \frac{R}{\gamma - 1}$$

$$\delta Q = \frac{n - \gamma}{n-1} mC_V\,(T_f - T_i)$$

$$\delta Q = \frac{n - \gamma}{n-1} mC_V\, dT \qquad \text{.....(1)}$$

$$\delta Q = \frac{n - \gamma}{n-1} dU$$

Polytropic Specific Heat:-

हम जानते है कि polytropic process में heat transfer

$$\delta Q = mC_{Poly}\, dT \qquad \text{.....(2)}$$

से दिया जाता है।

समीकरण (1) तथा (2) की तुलना करने पर

$$C_{Poly} = \left(\frac{n - \gamma}{n-1}\right) C_V$$

$$C_{Poly} = \text{Negative value} \qquad \text{if } 1 < n < \gamma$$

polytropic process में विशिष्ट ऊष्मा negative होती है जिसका मतलब polytropic process में internal energy decrease करती है(नकारात्मक).

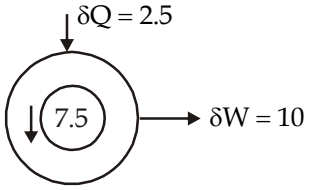
$$\delta Q = \frac{\gamma - n}{\gamma - 1}\delta W$$

$$\gamma = 1.4, n = 1.3$$

$$\delta Q = \frac{1.4 - 1.3}{1.4 - 1}\delta W$$

$$\delta Q = \frac{1}{4}\delta W$$

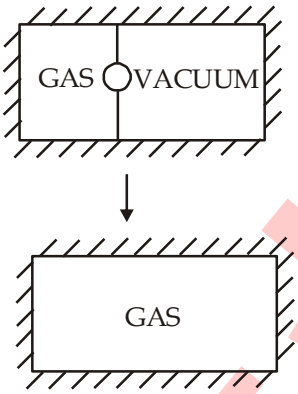
DDA - JE



जब polytropic process में heat supply की जाती है तो temperature decrease होता है, क्योंकि δW का मान δQ से ज्यादा होता है, क्योंकि internal energy decrease होती है।

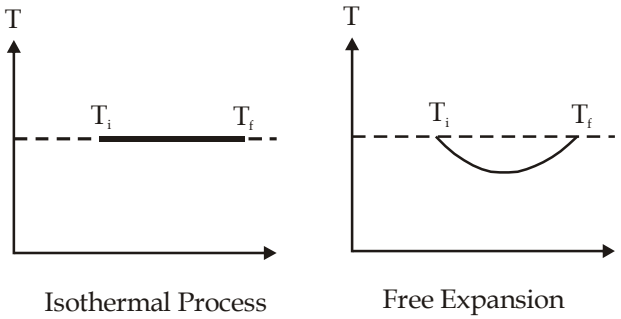
Free Expansion:-

vacuum के against में expansion, ही free expansion कहलाता है।



$$\delta Q = 0,\ \delta W = 0$$
$$\delta Q = dU + \delta W$$
$$dU = 0$$
$$mC_V dT = 0$$
$$mC_V (T_i - T_f) = 0$$
$$T_i = T_f$$

यहाँ temperature ($T_i = T_f$) होता है, इसका मतलब यह नहीं है कि यह एक isothermal process होता है, क्योंकि isothermal process में temperature हर point पर constant रहता है, लेकिन free expansion में temperature केवल initial और final point पर ही बराबर होता है।

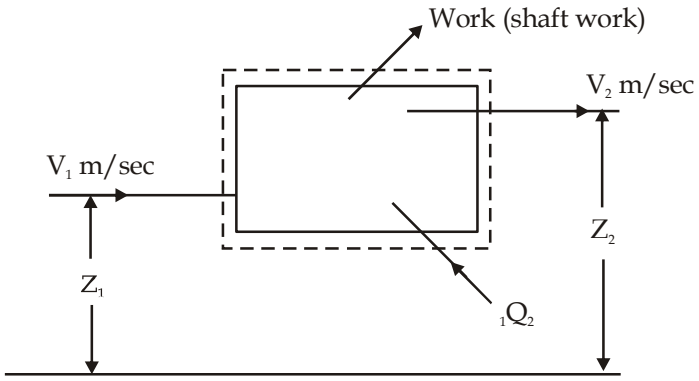


Isothermal Process Free Expansion

Steady Flow Energy Equation (SFEE):-

Steady flow का मतलब जब system की properties समय के साथ vary नही करती है।

ZDA-JE



$$_1Q_2 + m(U_1 + P_1V_1 + \frac{V_1^2}{2} + gZ_1) = {}_1W_2 + m(U_2 + P_2V_2 + \frac{V_2^2}{2} + gZ_2)$$

हम जानते है कि $u_1 + P_1v_1 = h_1$, $u_2 + P_2v_2 = h_2$

$$_1Q_2 - {}_1W_{S_2} = m[(h_2 - h_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(Z_2 - Z_1)$$

Per unit mass

$$_1q_2 - {}_1W_2 = (h_2 - h_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(Z_2 - Z_1)$$

$$\delta q - \delta W = dh + d(KE) + d(PE)$$

Special Case:-

(1) **Nozzle:-** यह kinetic energy (velocity) को pressure energy के expanse पर increase करती है।

Assumptions:-

(a) Well insulated $(Q = 0)$

(b) No work transfer $(W = 0)$

(c) Neglecting PE change

(d) Neglecting initial KE

$$\delta Q - \delta W = dh + d(KE) + d(PE)$$

$$dh + d(KE) = 0$$

$$(h_1 - h_2) = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} \qquad \left| \because V_2 >>> V_1,\ V_1 \approx 0 \right.$$

$$h_1 - h_2 = \frac{V_2^2}{2}$$

$$V_2 = \sqrt{2(h_1 - h_2)} \qquad \text{If h in Joule}$$

$$V_2 = \sqrt{2000(h_1 - h_2)} = 44.72\sqrt{C_P(T_1 - T_2)} \qquad \text{If h in Kg}$$

(2) **Diffuser:-** यह pressure energy को बढ़ाता है और velocity को कम करता है।

DDA - JE

$$V_1 = 44.72\sqrt{(h_2 - h_1)}$$

(3) **Turbine:-** यह एक work producing device होता है। इसमें working fluid से energy, rotor को transfer होती है।

Assumption:-

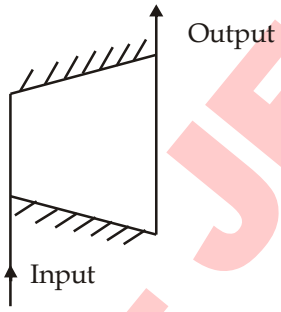
(a) Well insulated

(b) Neglecting KE change

(c) Neglecting PE change

$$\delta Q - \delta W = dh + d(KE) + d(PE)$$

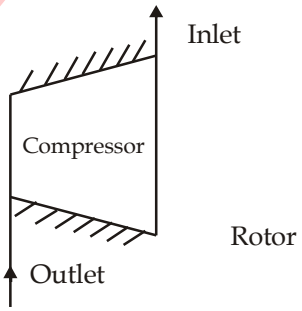
$$W_T = (h_1 - h_2)$$



(4) **Pump and Compressor:-** यह work absorbing device होते है। इनमें rotor से energy working fluid को transfer की जाती है।

- Pump का उपयोग pressure head को बढ़ाने में किया जाता है और generally pump liquid को handle करता है। जबकि compressor का उपयोग दोनो pressure और temperature को बढ़ाने में किया जाता है। इसका उपयोग generally vapour (गैसीय अवस्था) को handle करने में किया जाता है।

$$W_{P/C} = (h_2 - h_1)$$



(5) **Boiler and Evaporator:-**

- सभी heat exchanger constant pressure पर कार्य करते है।
- यह एक heat exchanger होता है जिसमें constant pressure पर heat supplied की जाती है।

$$\delta Q = \delta W = dh + d(KE) + d(PE)$$

$$Q_{B/E} = (h_2 - h_1)$$

DDA-JE

Assumption:-

(a) Neglecting KE change

(b) Neglecting PE change

(c) Neglecting work

(6) **Condensor:-** यह एक प्रकार का heat exchanger है जिसमें constant pressure पर heat rejecte होती है।

$$Q_C = (h_1 - h_2)$$

(7) **Throttling:-** किसी भी restricated passage, partially opened valve, venturimeter, porous plug से होने वाला flow throttling कहलाता है। Throttling process, constant enthalpy या isenthalpic process के नाम से भी जाना जाता है।

Assumption:-

(a) Neglecting KE change

(b) Neglecting PE change

(c) No work

(d) यह irreversible adiabatic process होता है।

$$\delta Q - \delta W = dh + d(KE) + d(PE)$$

$$dh = 0 \Rightarrow h_1 = h_2$$

Note:- Throttling के परिणाम स्वरूप expansion होता है और हमेशा pressure decrease होता है।

Heat और Work के Regarding Important Point :-

(1) दोनो path function होते है।

(2) दोनो inexact differential होते है

(4) दोनो ही boundary phenomenon है।

(3) दोनो ही energy in transition phenomenon है।

(4) सभी energy transfer की सभी forms work transfer होती है केवल temeprature difference की वजह से होने वाले energy transfer को छोड़कर।

(5) Heat को low grade energy जबकि work को high grade energy कहा जाता है।

DDA - JE

CHAPTER - 5
(SECOND LOW OF THERMODYNAMICS & ENTROPY)

- thermodynamics का first law, energy के concept को quantity के basis पर define करता है। यह energy conversion की possibe direction के बारे में कोई information नही देता है।
- यह thermodynamics का second law होता है जो process की feasibility और energy conversion की possible direction को entropy के concept से define करता है। इसे "directional law" या "law of degradation of energy" भी कहते है।
- यह energy को quality basis पर define करता है।

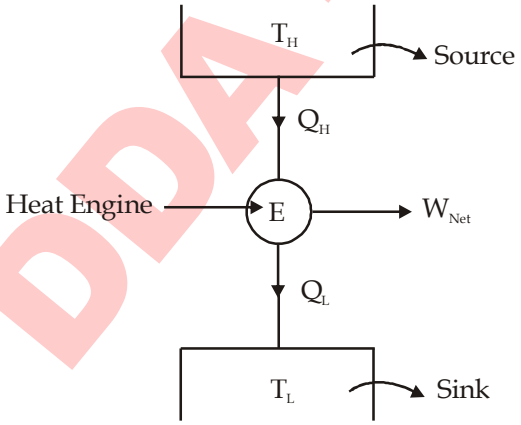
Note:- High grade energy का low grade energy में complete conversion हो जाता है, लेकिन low grade energy का high grade energy में complete conversion possible नहीं है।

Thermal Energy Reservoir:-

यह infinite heat capacity का reservoir होता है। Ex:- Evaporator, condensor.

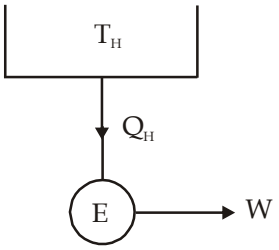
(i) **Source:-** यह बिना अपने temperature में change किये heat energy को supply करता है।

(ii) **Sink:-** यह बिना अपने temperature में change किये heat energy को absorb करता है।



Kelvin - Plank's Statement:-

Kelvin plank के अनुसार "किसी cycle में operate करती हुई ऐसी device बनाना असम्भव है जो केवल एक ही thermal reservoir से interact करते हुये continuous work produce करें।



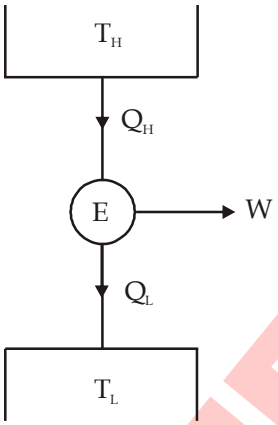
(not possible)

DDA - JE

ऐसी device PMM-2 कहलाती है।

Heat engine का Concept :-

Heat engine, heat का कुछ part work में convert करता है और बाकी remaining part को surrounding में reject करता है।



$$\eta_E = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} = \frac{W_{net}}{Q_S} = \frac{Q_H - Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{Q_{rejected}}{Q_{supplied}}$$

यह समीकरण reversible और irreversible cycle दोनो के लिये valid होती है।

Thermodynamic Temperature Scale (केवल reversible processes के लिये)

$$Q \propto T$$

$$\eta_E = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

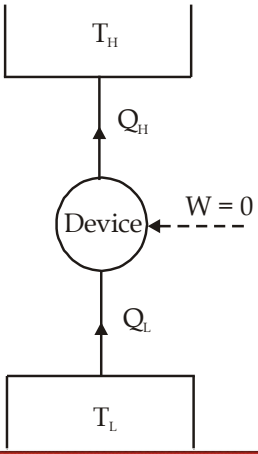
यह समीकरण reversible cycle के लिये valid होता है।

जहाँ η_E = Carnot efficiency

Note:- यह work producing device का concept प्रदान करते है। अर्थात engine.

Clausius Statement:-

किसी cycle में operate करती हुई ऐसी device बनाना असम्भव है जो low temperature reservoir से high temperature reservoir की ओर बिना कोई other energy को use किये heat का transfer कर दें।

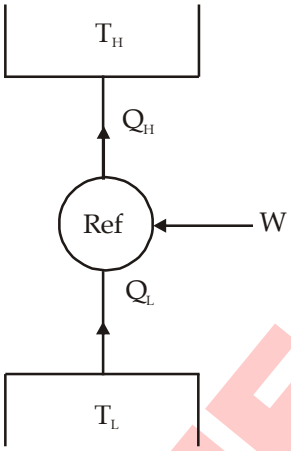


DDA-JE

(not possible)

Concept of Refrigerator:-

Refrigerator surrounding की तुलना में कम temperature को maintain करता है। यह एक cyclic device है जो कुछ energy input के साथ work करती है।



Note:- यह work absorbing device का concept प्रदान करती है। जैसे कि pump.

COP/EPR:-

COP. = Coefficient of Performance

E.P.R. = Energy Performance Ratio

$$(COP) = \frac{\text{Desired Effect}}{W_{input}}$$

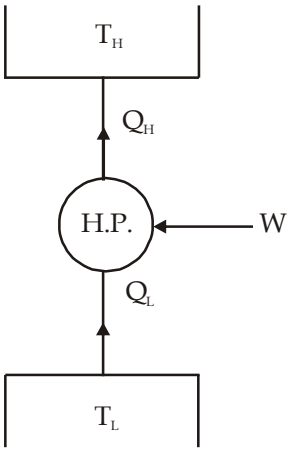
$$(COP)_{Ref} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L}$$

यह समीकरण दोनो reversible और irreversible cycle के लिये valid होती है।

$$(COP)_{Ref} = \frac{T_L}{T_H - T_L}$$

सह समीकरण केवल reversible cycle के लिये valid होती है।

Concept of Heat Pump:- Heat Pump surrounding की तुलना में higher temperature को maintain करता है। यह एक cyclic device होती है जो कुछ energy form के साथ work करती है।



DDA JE

$$(COP.)_{HP} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_L}$$

यह समीकरण दोनो reversible और irreversible cycle के लिये valid होती है।

$$(COP)_{HP} = \frac{T_H}{T_H - T_L}$$

यह समीकरण केवल reversible cycle के लिये valid होती है।

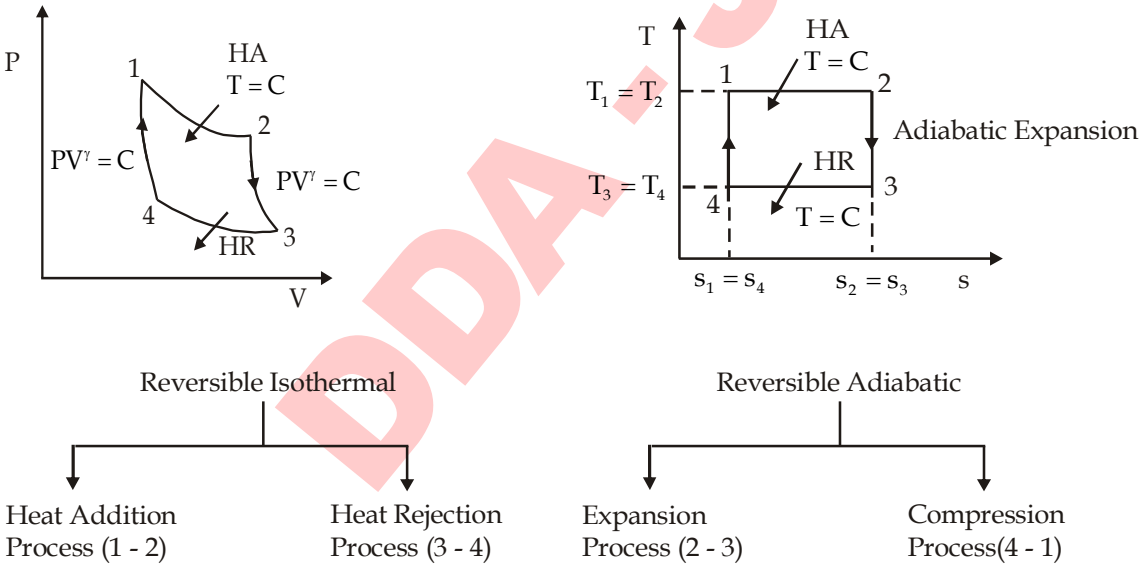
Note:- Heat pump और refrigerator को reverse heat engine कहा जाता है।

Relationship between $(COP)_{HP}$, $(COP)_{Ref}$ and (η_{HE}) -

$$(C.O.P)_{HP} = 1 + (C.O.P)_{Ref} = \frac{1}{\eta_{HE}}$$

ऊपर दिया गया relation same temperature limits में ही applicable होता है।

Carnot Cycle (Reversible Cycles) :- Carnot cycle में दो isothermal और दो adiabatic process होते है। carnot cycle में सभी process reversible होते है इसलिए carnot cycle, reversible cycle कहलाती है।. carnot cycly की efficiency बाकी सभी cycles की तुलना में highest होती है।



Drawbacks of Carnot cycle:-

(1) सभी processes reversible होते है जो pratically achieve करना असम्भव होता है।

(2) Carnot cycle में मुख्यत: isothermal और adiabatic process होते है। isothermal condition achieve करने के लिए piston को बहुत ही slow speed से move करना पड़ता है। जबकि adiabatic condition achieve करने के लिए piston को बहुत ही fast speed से move करना पड़ता है इसलिये इन दोनो का combination achieve करना मुश्किल होता है।

(3) adiabatic process की slope isothermal process से γ times होती है इसकी वजह से P-V curve का area कम होता है और net work भी low होता है।

Carnot Theorem:- सभी heat engines जो same temperature limit में operate करते है, कि efficiency carnot heat engine (reversible heat engine) से कम होती है।

$$\eta_{Reversible} > \eta_{Irreversible}$$

DDA - JE

Note:-

(1) carnot cycle की efficiency workin fluid पर निर्भर नही करती है।

(2) carnot cycle की efficiency temperature limit पर निर्भर करती है।

$$Q = F(T)$$

(3) किसी भी reversible engine की maximum possible efficiency, carnot efficiency से दी जाती है, जिसका mathematical expression

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_{Lower}}{T_{Higher}}$$

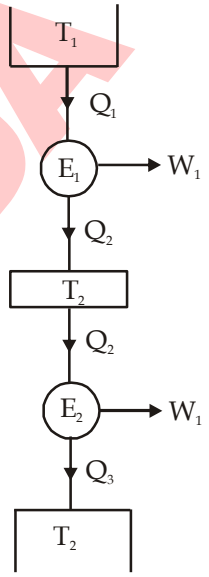
से दिया जाता है।

(4) यदि 'n' number reversible engines same temperature limit में different working fluids (petrol, diesel, air, etc) पर operate करते है तो maximum possible efficiency या carnot efficiency या ideal efficiency की value सभी के लिये same होगी।

(5) **Relative Efficiency (second law efficiency):-** यह actual efficiency और reversible efficiency का ratio होता है।

$$\eta_{Relative} = \frac{\eta_{Actual}}{\eta_{Reversible}} = \frac{W_{Actual}}{W_{Reversible}}$$

Relation in Temperature:-



Case I:- When efficiency is same:-

$$\eta_1 = \eta_2$$

$$\frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{T_2 - T_3}{T_2}$$

$$1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_3}{T_2} \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \frac{T_3}{T_2}$$

DDA - JE

$$T_2 = \sqrt{T_3 \times T_1}$$

Case II:- When work done is same:-

$$W_1 = W_2$$

$$Q_1 - Q_2 = Q_2 - Q_3$$

$$T_1 - T_2 = T_2 - T_3 \Rightarrow 2T_2 = T_1 + T_3 \Rightarrow T_2 = \frac{T_1 + T_3}{2}$$

source और sink temperature का reversible heat engine और reversible cycle की efficiency (η) पर प्रभाव :-

$$\eta_{\text{Reversible}} = \frac{T_H - T_L}{T_H}$$

$$\eta_{\text{Reversible}} = 1 - \frac{T_L}{T_H} \quad \text{.....(A)}$$

इस समीकरण से $\eta_{\text{Reversible}}$ को निम्न तरीकों से बढ़ाया जा सकता है।

(1) T_{Lower} को कम करके

(2) T_{Higher} को increase करके

(1) T_H को ΔT से बढ़ाने पर :-

$$\eta_{\text{Reversible}} = \frac{(T_H + \Delta T) - T_L}{T_H + \Delta T}$$

$$\eta_{\text{Reversible}} = \frac{(T_H - T_L) + \Delta T}{T_H + \Delta T} \quad \text{.....(1)}$$

(2) T_L को ΔT से कम करने पर :-

$$\eta_{\text{Reversible}} = \frac{T_H - (T_L - \Delta T)}{T_H}$$

$$\eta_{\text{Reversible}} = \frac{(T_H - T_L) + \Delta T}{T_H} \quad \text{.....(2)}$$

समीकरण (1) और (2) से हम कह सकते है कि reversible engine की efficiency को increase करने के लिये, lower temperature (T_L) को decrease करना ज्यादा best option है।

Clausious in equality:- clausious के अनुसार $\oint \frac{\delta Q}{T}$ का cyclic intregral हमेशा शून्य से कम या बराबर होता है।

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$$

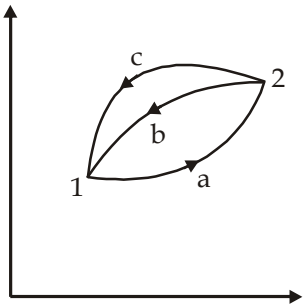
$\oint \frac{\delta Q}{T} < 0 \rightarrow$ Irreversible cycle

$\oint \frac{\delta Q}{T} = 0 \rightarrow$ Reversible cycle

DDA - JE

$$\oint \frac{\delta Q}{T} > 0 \rightarrow \text{Impossible cycle}$$

Entropy:- यह molecules की randomness या disorderness की degree को measure करती है यह एक extensive property होती है।



हम जानते है कि reversible process के लिये

By Clausious inequality

$$\oint \frac{\delta Q}{T} = 0$$

By Cycle 1-a-2-b-1:-

$$\left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{1-a-2} = \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{2-b-1} \quad \text{.....(1)}$$

By Cycle 1-a-2-c-1:-

$$\left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{1-a-2} = \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{2-c-1} \quad \text{.....(2)}$$

समीकरण (1) और (2) के द्वारा

$$\left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{2-b-1} = \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{2-c-1}$$

अत: $\frac{\delta Q}{T}$ की value अलग-अलग path पर निर्भर नही करती है इसलिए यह point function होता है। इसलिए यह एक property है जिसे 's' से denote किया जाता है।

$$\left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{\text{Reversible}} = 0$$

$$ds = 0, \qquad s = \text{entropy}$$

$$ds = \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{\text{Reversible}} \quad \text{Unit} = \frac{KJ/Kg}{K} = \frac{KJ}{Kg.K}$$

For Irreversible Process:-

$$\frac{\delta Q}{T} < 0$$

DDA - JE

$$\left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{IRR} < ds$$

System की Entropy change :- system की total entropy change, external interactin की वजह से entropy change और internal irreversiblity की वजह से होने वाले entropy change का योग होता है।

$$ds = (ds)_{EI} + (ds)_{IRR}$$

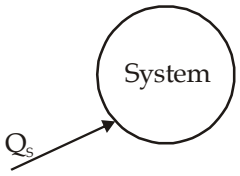
$$ds = \left(\frac{\delta Q}{T}\right) + (\delta s)_{gen}$$

Case I:- यदि system internally reversible है, तब system की entropy में change external heat interaction से ज्ञात किया जाता है।

$$(ds)_{IRR} = 0 \quad \text{or} \quad (\delta s)_{gen} = 0$$

$$ds = \frac{dQ}{T}$$

Case (a):- यदि system को heat supplied की जाती है तो system की entropy change की value positive होगी।

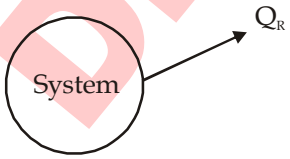


$$\delta Q > 0$$

$$\frac{\delta Q}{T} > 0$$

$$ds > 0 \text{ (positive)}$$

Case (b):- यदि system से heat rejected की जाती है तो system की entropy change की value negative होगी।

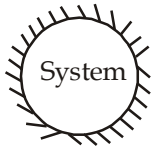


$$\delta Q < 0$$

$$\frac{\delta Q}{T} < 0$$

$$ds < 0 \text{ (Negative)}$$

Case (c):- यदि system reversible और well insulated है तो system की entropy change की value शून्य होगी अर्थात reversible adiabatic system constant entropy या 'isentropic' होता है।



$$\delta Q = 0$$

$$\frac{\delta Q}{T} = 0$$

DDA - JE

$ds = 0$ (zero value)

$s_2 - s_1 = 0$

$s_1 = s_2 = \text{constant}$

Note:- system की entropy change की value positive, zero और negative value हो सकती है लेकिन universe की entropy change की value कभी भी negative नही हो सकती।

Case 2: यदि system irreversible है तब

$$ds = \frac{\delta Q}{T} + (\delta s)_{gen}$$

Case (a):- यदि system adiabatic है, तो system का entropy change का मान entropy generation के बराबर होगा और entropy generation की value कभी भी negative नही हो सकती।

Adiabatic so $\delta Q = 0$

$ds = (\delta s)_{gen}$

$\therefore \quad ds = \text{Positive}$

Case (b):- यदि internal irreversibility में होने वाले entropy increase को external interaction की वजह से होने वाले entropy decrease से compansate किया जाता है तो system की entropy change की value zero होती है मतलब process isentropic होता है।

Note :-

हर reversible adiabatic process, isentropic process होता है लेकिन हर isentropic process reversible adiabatic हो यह जरूरी नही।

T-ds Equation:-

T-S curve के अन्दर का area net heat interaction के बारे में बताता है।

$$\delta Q = dU + PdV$$

For reversible process

$$\frac{\delta Q}{T} = ds$$

$$\delta Q = Tds$$

$$Tds = dU + PdV \qquad \text{.....(1)}$$

समीकरण (1) दोनो reversible और irreversible process के लिये valid होती है क्योंकि ऊपर दिए गये exprasion में सभी parameter properties है।

$$H = U + PV$$

$$dH = dU + PdV + VdP$$

$$dH = \delta Q + VdP$$

$$\delta Q = dH - VdP$$

For reversible process

$$\frac{\delta Q}{T} = ds$$

$$\delta Q = Tds$$

$$Tds = dH - VdP \qquad \text{.....(2)}$$

समीकरण (2) दोनो reversible और irreversible process के लिये valid होती है क्योंकि ऊपर दिए गये exprasion में सभी parameter properties है।

$$T.ds = dU + PdV$$

$$ds = \frac{dU}{T} + \frac{P}{T}.dV \qquad \because PV = RT$$

DDA - JE

$$\int_{S_i}^{S_f} ds = \int_{T_i}^{T_f} C_V \cdot \frac{dT}{T} + \int_{V_i}^{V_f} R \cdot \frac{dV}{V} \qquad \frac{P}{T} = \frac{R}{V}$$

$$S_f - S_i = C_V \ln\left(\frac{T_f}{T_i}\right) + R \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right) \qquad \text{.....(3)}$$

$$Tds = dh - VdP \qquad \because PV = RT$$

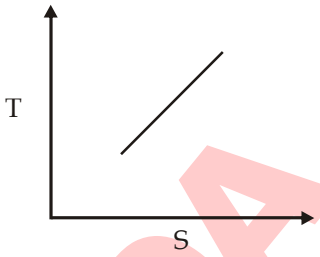
$$ds = \frac{dh}{T} - \frac{V}{T} dP \qquad \frac{V}{T} = \frac{R}{P}$$

$$ds = \frac{dh}{T} - \frac{R}{P} . dP$$

$$\int_{S_i}^{S_f} ds = \int_{T_i}^{T_f} C_P \cdot \frac{dT}{T} + \int_{P_i}^{P_f} R \cdot \frac{dP}{P}$$

$$S_f - S_i = C_P \ln\left(\frac{T_f}{T_i}\right) - R \ln\left(\frac{P_f}{P_i}\right) \qquad \text{.....(4)}$$

T-S diagram में slope :-



$$\text{Slope of this T-S diagram} = \frac{dT}{dS}$$

अलग अलग process के लिये T-S diagram में slope :-

1. **Constant Volume Process:-**

first T-ds equation से

$$Tds = dU + PdV$$
$$V = \text{Constant}$$
$$Tds = dU$$
$$Tds = C_V dT$$
$$\left(\frac{dT}{dS}\right)_{V=C} = \frac{T}{C_V}$$

2. **Constant Pressure Process:-**

second T-ds equation से

$$Tds = dh - VdP$$
$$P = \text{Constant}$$
$$Tds = dh$$
$$Tds = C_P dT$$
$$\left(\frac{dT}{dS}\right)_{P=C} = \frac{T}{C_P}$$

DDA - JE

Note:- $C_P > C_V$, इसलिए constant volume process की slope T-S diagram में constant pressure process की slope से ज्यादा होती है।

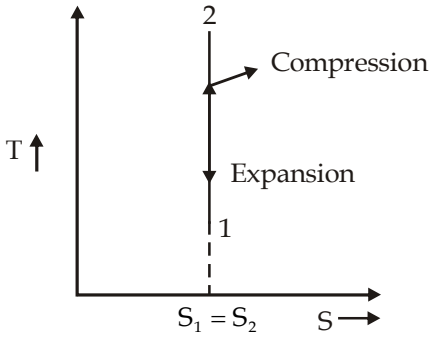
3. **Isothermal Process:-**

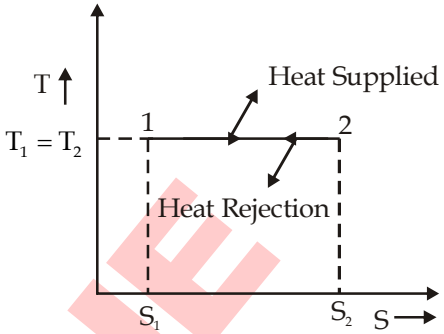
   Slope = 0

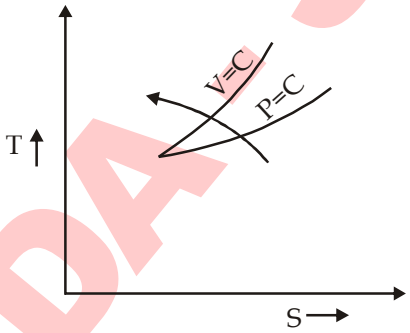
4. **Adiabatic Process:-**

   Slope = ∞

Constant pressure, constant volume, isothermal और adiabatic process का T-S diagram पर Representation:-







DDA JE