Study PowerPoint

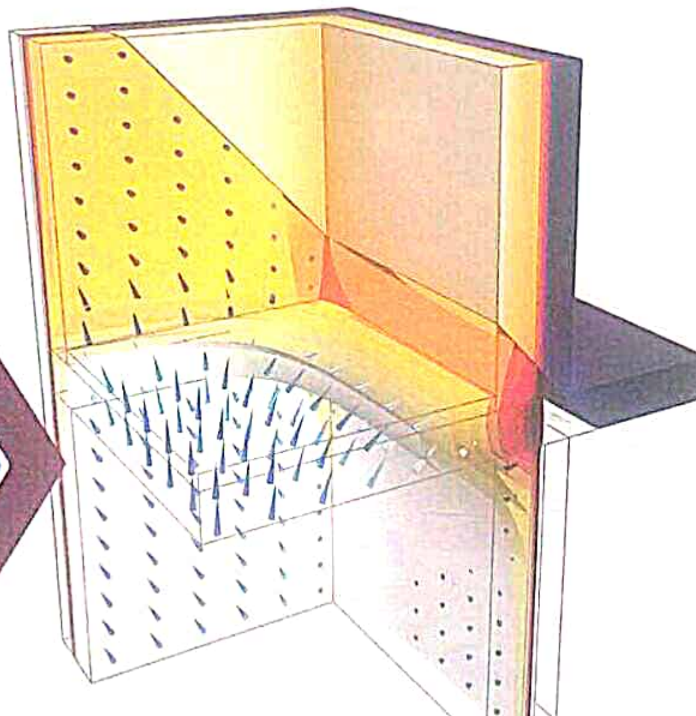
सार्थक

प्राविधिक शिक्षा परिषद् उ० प्र० द्वारा
स्वीकृत नवीनतम् पाठ्यक्रमानुसार

ऊष्मा इंजीनियरिंग

Thermal Engineering

अर्पित सिंह



Jai Prakash Nath Publications
Meerut

Study PowerPoint

SYLLABUS

THERMAL ENGINEERING

RATIOANLE

A diploma holder in this course is supposed to maintain steam generators, turbines, compressors and other power plant equipment. Therefore, it is essential to impart him basic concepts of thermodynamics, steam generators, steam turbines, compressors and about IC engines.

DETAILED CONTENTS

1. Fundamental Concepts

(06 Periods)

Thermodynamic state and system, boundary, surrounding, universe, thermodynamic systems –closed, open, isolated, adiabatic, homogeneous and heterogeneous, macroscopic and microscopic, properties of system – intensive and extensive, thermodynamic equilibrium, quasi – static process, reversible and irreversible processes, Zeroth law of thermodynamics, definition of properties like pressure, volume, temperature, enthalpy, internal energy.

2. Laws of Perfect Gases

(03 Periods)

Definition of gases, explanation of perfect gas laws – Boyle's law, Charle's law, Avagadro's law, Regnault's law, Universal gas constant, Characteristic gas constants, derivation Specific heat at constant pressure, specific heat at constant volume of gas, simple problems on gas equation.

3. Thermodynamic Processes on Gases

(05 Periods)

Types of thermodynamic processes – isochoric, isobaric, isothermal, hyperbolic, isentropic, polytropic and throttling processes, equations representing the processes. Derivation of work done, change in internal energy, rate of heat transfer for the above processes.

4. Laws of Thermodynamics

(06 Periods)

Laws of conservation of energy, first law of thermodynamics (Joule's experiment), Application of first law of thermodynamics to non-flow systems – Constant volume, constant pressure, Adiabatic and polytropic processes.
Steady flow energy equation, Application of steady flow energy to equation, turbines, pump, boilers, nozzles.

Heat source and heat sinks, statement of second laws of thermodynamics : Kelvin Planck's statement, Clasius statement, Perpetual motion Machine of first kind, second kind, Carnot engine, Introduction of third law of thermodynamics, concept of irreversibility, entropy, ideal and real gases.

5. Properties of Steam

(05 Periods)

Formation of steam and related terms, thermodynamics properties of steam, steam tables, internal latent heat, internal energy of steam, Mollier diagram (H – S Chart), Expansion of steam, Hyperbolic, reversible adiabatic and throttling processes.
Quality of steam (dryness fraction).

Study PowerPoint

6. Steam Generators *(04 Periods)*

Uses of steam, classification of boilers, comparison of fire tube and water tube boilers. Construction features of Lancashire boiler, Nestler boiler, Babcock & Wilcox Boiler. Introduction to modern boilers.

7. Air Standard Cycles *(04 Periods)*

Meaning of air standard cycle – its use, condition of reversibility of a cycle. Description of Carnot cycle, Otto cycle, Diesel cycle, simple problems on efficiency, calculation for different cycles. Reasons for highest efficiency of Carnot cycle over all other cycles working between same temperature limits.

8. Air Compressors *(05 Periods)*

Functions of air compressor – uses of compressed air, type of air compressors. Single stage reciprocating air compressor, its construction and working, representation of processes involved on P – V diagram, calculation of work done.

Rotary compressors – types, descriptive treatment of centrifugal compressor, axial flow compressor, vane type compressor.

9. Introduction to Heat Transfer *(04 Periods)*

Modes of heat transfer, Fourier's law, steady state conduction, composite structures, Natural and forced convection, thermal radiation.

10. IC Engines *(12 Periods)*

Introduction, Working principle of two stroke and four stroke cycle, SI engines and CI engines, Otto cycle, diesel cycle and dual cycle, Location and functions of various parts of IC engines and materials used for them. Engines : Engine power - indicated and brake power, Efficiency - mechanical, thermal, relative and volumetric, Methods of finding indicated and brake power, Morse test for petrol engine, Heat balance sheet, simple numerical problems, Concept of pollutants in SI and CI engines, pollution control, norms for two or four wheelers - EURO - 1, EURO – 2.

11. Steam Turbines and Steam Condensers *(08 Periods)*

Function and use of steam turbine, Steam nozzles - types and applications. Steam turbines - impulse, reaction, construction and working principle. Governing of steam turbines, Function of a steam condenser, elements of condensing plant, Classification - jet condenser, surface condenser, Cooling pond and cooling towers.

12. Gas Turbines and Jet Propulsion *(08 Periods)*

Classification, open cycle gas turbine and closed cycle gas turbine, comparison of gas turbines with reciprocating IC engines, applications and limitations of gas turbine. Open cycle constant pressure gas turbines - general layout, PV and TS diagram and working of gas turbine.

Closed cycle gas turbines, PV and TS diagram and working.

Principle of operation of ram-jet engine and turbo jet engine - application of jet engines.

Study PowerPoint

LIST OF PRACTICALS

1. Demonstration of mountings and accessories on a boiler.
2. Demonstrate the working of air compressor.
3. Demonstration of heat transfer through conduction, convection and Radiation.
4. Study of working of high-pressure boiler.
5. Study the working of Lancashire boiler and Nestler boiler.
6. Determination of BHP by dynamometer.
7. Morse test on multi-cylinder petrol engine.
8. Study and Sketch of cut section of 2-stroke and 4-stroke engines.
9. To determine dry fraction of steam by throttling and separating calorimeter.

Study PowerPoint

विषय-सूची

क्र०सं०	अध्याय	पृष्ठ संख्या
•	विषय-परिचय (Introduction)	1-4
1.	मूलभूत सिद्धान्त (Fundamental Concepts)	5-19
2.	आदर्श गैसों के नियम (Laws of Perfect Gases)	20-41
3.	गैसों पर ऊष्मागतिकी प्रक्रम (Thermodynamic Process on Gases)	42-62
4.	ऊष्मागतिकी के नियम (Rules of Thermodynamics)	63-99
5.	भाप के गुण (Properties of Steam)	100-118
6.	भाप जनित्र या बॉयलर (Steam Generator)	119-158
7.	वायु मानक चक्र (Air Standard Cycle)	159-173
8.	वायु सम्पीडक (Air Compressor)	174-199

Study PowerPoint

9.	ऊष्मा अंतरण-परिचय (Introduction to Heat Transfer)	200-208
10.	अंतर्दहन इंजन (Internal Combustion Engine)	209-285
11.	भाप टरबाइन एवं भाप संघनित्र (Steam Turbine and Steam Condenser)	286-326
12.	गैस टरबाइन एवं जेट प्रपल्शन (Gas Turbine and Jet Propulsion)	327-357
13.	प्रयोगात्मक कार्य (Experimental Works)	358-364
•	भाप सारणी (Steam Table)	365-378
•	परीक्षा प्रश्न-पत्र (Examination Paper)	

Study PowerPoint

विषय-परिचय
(Introduction)

ऊष्मागतिकी, ऊष्मागतिकी सिद्धान्तों, ऊष्मागतिकी अनुप्रयोगों के अध्ययन से पूर्व कुछ प्रमुख तथ्यों, सूत्रों, मानकों, मानों का ज्ञान आवश्यक होता है। उपरोक्त की अज्ञानता के कारण ऊष्मागतिकी का अध्ययन सामान्य से कठिन लगने लगता है। अत: कुछ प्रमुख विचारणीय तथ्य निम्नलिखित हैं—

❑ मात्रक एवं विमाएँ

यह किसी निकाय के अभियांत्रिकी टूल माने जाते हैं जिसके द्वारा हम निकाय के भौतिक गुणों को प्रदर्शित एवं उसका अध्ययन करते हैं।

मात्रक (Units)—किसी भौतिक राशि के गणनात्मक गुणों का प्रदर्शन मात्रक कहलाता है या किसी भौतिक राशि को मापने के लिए जिस मानक का प्रयोग करते हैं, वे मात्रक कहलाते हैं।

विमाएँ (Dimensions)—किसी निकाय के भौतिक चर जो निकाय को परिभाषित करते हैं, विमा कहलाते हैं।

उदाहरण के लिए—किसी गैस के लिए तापमान विमा है तथा °C या K इसका मात्रक होता है।

■ मात्रक का वर्गीकरण

मात्रक को दो भागों में वर्गीकृत किया गया ह—

(i) मूल मात्रक (Fundamental unit)

(ii) व्युत्पन्न मात्रक या द्वितीयक मात्रक (Derived or secondary unit)

(i) मूल मात्रक (Fundamental unit)—वह मात्रक जो किसी अन्य मात्रक पर निर्भर नहीं करता है, मूल मात्रक (Fundamental or basic unit) कहलाता है। यह मात्रक सम्पूर्ण ब्रह्माण्ड में एक ही होते हैं।

उदाहरण के लिए—मीटर, किग्रा०, सेकेण्ड आदि।

कुछ प्रमुख भौतिक राशियाँ एवं उसके मूल मात्रक (एस० आई० पद्धति में)

क्र० सं०	भौतिक राशि		मात्रक	
	राशि	चिह्न या प्रतीक	मात्रक	चिह्न या प्रतीक
1.	लम्बाई	l	मीटर	m
2.	द्रव्यमान	m	किलोग्राम	kg
3.	समय	t	सेकण्ड	s
4.	तापमान	T	केल्विन या डिग्री सेल्सियस	K, °C
5.	विद्युत धारा	I	ऐम्पियर	A
6.	ज्योति तीव्रता	I_v	केण्डिला	cd

Study PowerPoint

7.	पदार्थ की मात्रा	n	मोल	mole
8.	समतल कोण	$\alpha, \beta, \theta, \phi$	रेडियन	rad
9.	ठोस कोण	Ω	स्टेरेडियन	sr

(ii) व्युत्पन्न मात्रक या द्वितीयक मात्रक (Derived or secondary unit)—वह मात्रक जो सीधे रूप में इस्तेमाल नहीं किए जाते हैं, अपितु मूल मात्रकों के पदों में व्यक्त किए जाते हैं, व्युत्पन्न मात्रक या द्वितीयक मात्रक कहलाते हैं।

उदाहरण के लिए—मीटर^2, मीटर/सेकण्ड आदि।

कुछ प्रमुख व्युत्पन्न मात्रक या द्वितीयक मात्रक निम्नलिखित हैं—

भौतिक राशि (Physcial Quantity)		**मात्रक (Unit)**	
राशि (Quantity)	**चिह्न या प्रतीक (Symbol)**	**मात्रक (Unit)**	**चिह्न या प्रतीक (Symbol)**
क्षेत्रफल (Area)	A	मीटर^2	m^2
आयतन (Volume)	V	मीटर^3	m^3
विशिष्ट आयतन (Specific volume)	v	मीटर^3/किग्रा	m^3/kg
द्रव्यमान घनत्व, विशिष्ट भार (Mass density specific weight)	ρ, w	किग्रा/मीटर^3	kg/m^3
रेखीय वेग (Linear velocity)	u, v, c	मीटर/सेकण्ड	m/s
रेखीय त्वरण (Linear acceleration)	a	मीटर/सेकण्ड^2	m/s^2
कोणीय वेग (Angular velocity)	ω	रेडियन/सेकण्ड	rad/sec
कोणीय त्वरण (Angular acceleration)	α	रेडियन/सेकण्ड^2	rad/sec^2
बल, भार (Force, weight)	F, W	न्यूटन	N
दाब, प्रतिबल (Pressure, stress)	P	न्यूटन/मीटर^2 या पास्कल	N/m^2 or Pa
कार्य, ऊर्जा एन्थालपी (Work, Energy, Enthalpy)	W, E, H	जूल या न्यूटन-मीटर	J (N-m)
शक्ति (Power)	P	वाट (जूल/सेकण्ड)	W (J/s)
विशिष्ट ऊष्मा (Specific heat)	c	जूल/किग्रा केल्विन	J/kg K
गतिकी श्यानता (Kinematic viscosity)	μ	न्यूटन-सेकण्ड/मीटर^2	N-s/m^2
श्यानता (Viscosity)	v	मीटर^2/सेकण्ड	m^2/s
आवृत्ति (Frequency)	f	हर्ट्ज	Hz
गैस नियतांक (Gas constant)	R	जूल/किग्रा केल्विन	J/kg K
ऊष्मा सुचालकता (Heat conductivity)	K	वाट/मीटर-केल्विन	W/mK = J/s m
आणविक भार (Molecular mass)	$M = \left(\frac{m}{n}\right)$	किग्रा/मोल	kg/mole
आघूर्ण, घूर्ण (Torque, moment)	T, M	न्यूटन-मीटर	N-m
एण्ट्रापी (Entropy)	S	जूल/केल्विन	J/K

Study PowerPoint

मात्रक पद्धति

सामान्यत: चार मात्रक पद्धतियों का इस्तेमाल किया जाता है—

(i) सी० जी० एस० पद्धति (C.G.S. System)

(ii) एफ० पी० एस० पद्धति (F.P.S. System)

(iii) एम० के एस० पद्धति (M.K.S. System)

(iv) एस० आई० पद्धति (S.I. System)

(i) सी० जी० एस० पद्धति (C.G.S. System)—इस पद्धति का पूरा नाम सेन्टीमीटर ग्राम सेकण्ड है। इसे निरपेक्ष मात्रक पद्धति भी कहते हैं।

राशि	मात्रक
लम्बाई	सेन्टीमीटर
द्रव्यमान	ग्राम
समय	सेकण्ड

(ii) एफ० पी० एस० पद्धति (F.P.S. System)—इस पद्धति का पूरा नाम फुट पाउण्ड सेकण्ड हैं।

राशि	मात्रक
लम्बाई	फुट
द्रव्यमान	पाउण्ड
समय	सेकण्ड

(iii) एम० के एस० पद्धति (M.K.S. System)—इस पद्धति का पूरा नाम मीटर किलोग्राम पद्धति है।

राशि	मात्रक
लम्बाई	मीटर
द्रव्यमान	किलोग्राम
समय	सेकण्ड

(iv) एस० आई० पद्धति (S.I. System)—यह मात्रक की अंतराष्ट्रीय पद्धति है। यह सम्पूर्ण ब्रह्माण्ड में मान्य है। इसका प्रारम्भ 1960 में किया गया था।

सारणी 1—विभिन्न गैसों के लिए C_p, C_v, γ तथा R का मान

गैस	C_p (kJ/kgK)	C_v (kJ/kgK)	$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$	R (J/kgK)
वायु	1.005	0.716	1.40	287.0
कार्बन डाइऑक्साइड (CO_2)	0.846	0.657	1.29	188.9
कार्बन मोनो ऑक्साइड (CO)	1.047	0.749	1.40	298.0
नाइट्रोजन	1.043	0.745	1.40	296.8

Study PowerPoint

ऑक्सीजन (O_2)	0.913	0.653	1.39	259.8
हाइड्रोजन (H_2)	14.257	10.133	1.40	4124.4
अमोनिया (NH_3)	2.177	1.692	1.29	485.0
हीलियम (He)	5.234	3.153	1.66	2076.91
आर्गन (Ar)	0.523	0.314	1.67	209.0
मीथेन CH_4	2.169	1.650	1.31	519.0

नोट—

- हाइड्रोजन गैस की विशिष्ट ऊष्मा स्थिर दाब (C_p) पर सबसे अधिक (14.257 kJ/kgK) होती है तथा आर्गन गै का सबसे कम (0.523 kJ/kgK) होती है।
- हाइड्रोजन गैस की विशिष्ट ऊष्मा स्थिर आयतन पर (C_v) सबसे अधिक (10.133 kJ/kgK) होती है तथा आर्ग गैस का सबसे कम (0.314 kJ/kgK) होती है।
- आर्गन गैस का रूद्धोष्म गुणांक (γ) सबसे अधिक (1.67) होता है।
- हाइड्रोजन गैस का गैस नियतांक (R) सबसे अधिक (4124.4) होता है। कार्बन डाइऑक्साइड (188.9) का सब कम होता है।

सारणी 2—विभिन्न ऊर्जाओं का चिह्न निरूपण

विवरण	चिह्न निरूपण
निकाय को प्रदान की ऊष्मा	$\Delta Q = +$ive
निकाय द्वारा निष्कासित ऊष्मा	$\Delta Q = -$ive
निकाय द्वारा किया गया कार्य	$\Delta w = +$ive
निकाय पर किया गया कार्य	$\Delta w = -$ive
आंतरिक ऊर्जा में वृद्धि	$\Delta U = +$ive
आंतरिक ऊर्जा में कमी	$\Delta U = -$ive

❑❑❑

Study PowerPoint

1.4. 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—

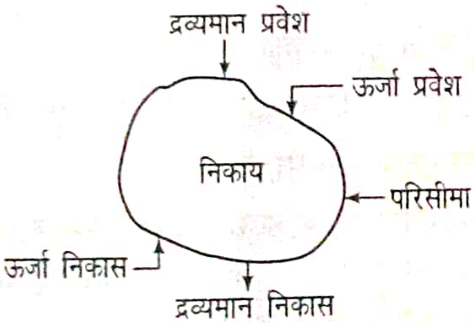
(a) समांग ऊष्मागतिकी निकाय (Homogeneous thermodynamic system)

(b) विषमांग ऊष्मागतिकी निकाय (Hetetrogeneous thermodynamic system)

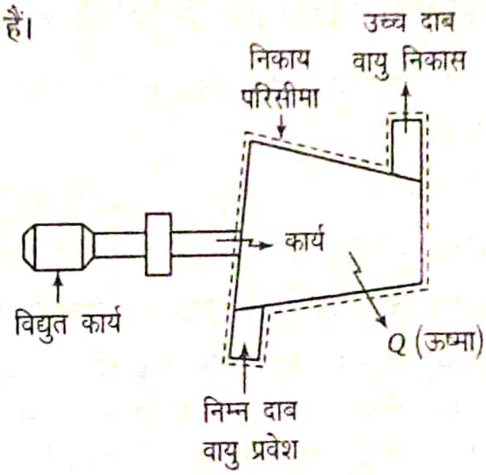
(a) खुला ऊष्मागतिकी निकाय—वह ऊष्मागतिकी निकाय जिसमें निकाय की परिसीमा से ऊर्जा तथा द्रव्यमान दोनों का स्थानान्तरण हो सके, खुला ऊष्मागतिकी निकाय कहलाते हैं।

इसे प्रवाह निकाय (flow system) भी कहा जाता है क्योंकि इसमें कार्यकारी पदार्थ सतत् 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। सामान्यत: सभी अभियांत्रिकी निकाय खुला निकाय होते हैं।



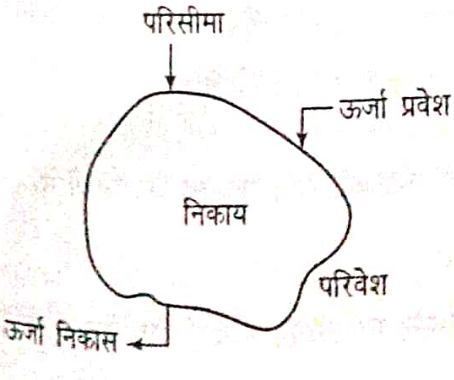
खुला ऊष्मागतिकी निकाय



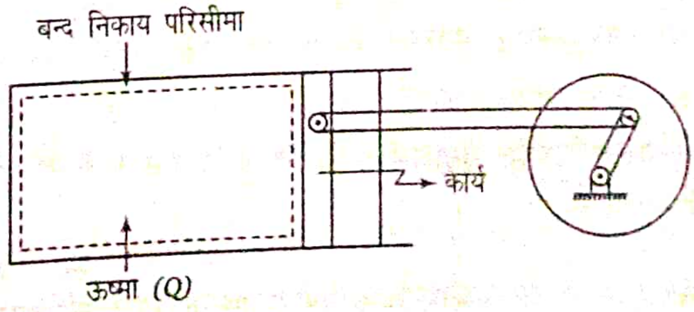
वायु संपीडक

चित्र 1.2

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



बन्द ऊष्मागतिकी निकाय



सिलेण्डर-पिस्टन व्यवस्था

चित्र 1.3

Study PowerPoint

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।

❑ 1.5. 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, एण्ट्रापी आदि।
- **निकाय के गुणधर्म को मुख्यत: 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।

Study PowerPoint

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 गुण गर्म 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।

❑ 1.6. साम्यता : ऊष्मागतिकी के शून्यवाँ नियम का सिद्धान्त

साम्यता किन्हीं दो अवस्थाओं के बीच समानता को दर्शाता हैं।

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।

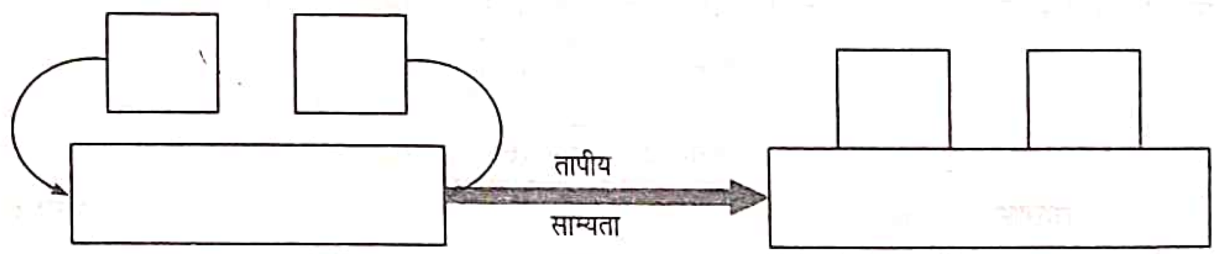
ऊष्मागतिकी साम्यता—किसी निकाय को ऊष्मागतिकी साम्यता में तब कहा जाएगा जब निकाय यांत्रिक एवं रासायनिक साम्यता में हो।

■ ऊष्मागतिकी का शून्यवाँ नियम

इस नियम के अनुसार, "जब कोई दो निकाय किसी तीसरे निकाय के साथ तापीय साम्यता में हों 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) हों। माना दो निकाय A, B गर्म निकाय हैं 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 की 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।



चित्र 1.4

Study PowerPoint

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।

1.7. कार्य (Work)

किसी निकाय द्वारा किया गया कार्य, निकाय पर लग रहे बल तथा उसके विस्थापन का गुणनफल होता है।

अर्थात् $$W = f \times x \quad \text{(N-m)}$$

उपरोक्त कार्य की परिभाषा, यांत्रिकी के लिए उपयुक्त होती है, परन्तु हम ऊष्मागतिकी में कार्य को निम्न प्रकार से परिभाषित करते हैं—

"निकाय एवं परिवेश के मध्य किसी मात्रा निरपेक्ष गुण (तापमान को छोड़ते हुए) में अंतर के फलस्वरूप उनके बीच होने वाले ऊर्जा स्थानान्तरण को (बिना द्रव्यमान स्थानान्तरण किए हुए) कार्य कहते हैं।"

या

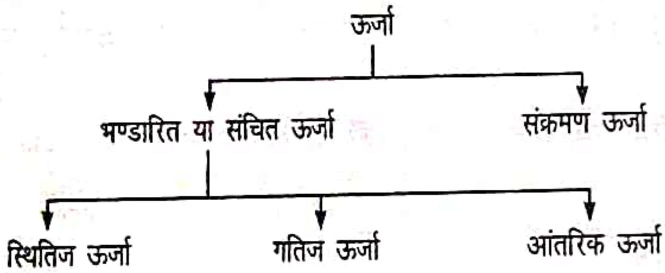
"किसी दी हुई प्रक्रिया के दौरान निकाय द्वारा कार्य को किया गया मानेंगे यदि निकाय के परिवेश पर प्रभावों को भार उठाए जाने के रूप में परिवर्तित किया जा सके।"

1.8. ऊर्जा

न्यूटन के अनुसार, "ऊर्जा किसी निकाय का वह गुण है, जिससे निकाय कार्य करने में सक्षम होता है।"

ऊर्जा की गणना सीधे रूप में नहीं की जा सकती है। यह एक अदिश राशि है तथा इसका मात्रक जूल (न्यूटन-मी) है।

ऊर्जा का वर्गीकरण–



भण्डारित या संचित ऊर्जा—निकाय की वह ऊर्जा जो निकाय की परिसीमाओं के अंदर होती है, भण्डारित या संचित ऊर्जा कहलाती है।

यह मुख्यत: तीन वर्गों में वर्गीकृत होती है—

- स्थितिज ऊर्जा (Potential Energy)
- गतिज ऊर्जा (Kinetic Energy)
- आंतरिक ऊर्जा (Internal Energy)

स्थितिज ऊर्जा—निकाय की स्थिति के कारण उत्पन्न ऊर्जा को स्थितिज ऊर्जा कहते हैं।

$$\text{स्थितिज ऊर्जा} = mgh$$

$$\text{स्थितिज ऊर्जा} = Wh$$

मात्रक = N-m

m = निकाय का द्रव्यमान

Study PowerPoint

g = गुरुत्वाकर्षण बल

h = धरातल तल से निकाय की ऊँचाई

W = निकाय का भार

गतिज ऊर्जा—किसी निकाय की वह ऊर्जा जो उसे स्थिर अवस्था से गतिमान अवस्था में ले आए, गतिज ऊर्जा कहलाती है।

$$KE = \frac{1}{2} mC^2$$

m = निकाय का द्रव्यमान

C = निकाय का वेग

मात्रक = N-m

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

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

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

$$dU = mC_v dT$$

dU = आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन

m = निकाय के अंदर द्रव्यमान

C_v = विशिष्ट ऊष्मा स्थिर आयतन पर

dT = तापमान में परिवर्तन

संक्रमण ऊर्जा—वह ऊर्जा जो निकाय की परिसीमाओं के आर-पार जा सकती है, संक्रमण ऊर्जा कहलाती है।

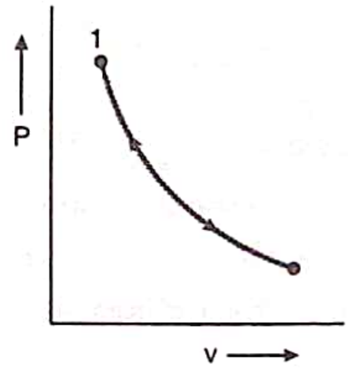
उदाहरण—ऊष्मा, कार्य विद्युत ऊर्जा इत्यादि।

1.9. संतुलन या साम्यावस्था प्रक्रम (Quasi-static Process)

इस प्रक्रम को प्रतिवर्त्य प्रक्रम भी कहा जा सकता है। इस प्रक्रम के दौरान यदि किसी ऊष्मागतिकी निकाय में कोई परिवर्तन हो रहा है तथा हम परिवर्तन को रोक कर दिशा विपरीत कर दे तो प्रक्रम अपनी पुन: प्राम्भिक अवस्था में पहुँच जाता है।

उदाहरण के लिए—

- घर्षण रहित सापेक्ष गति
- द्रव का बहुविधि प्रसारण एवं संपीडन
- स्प्रिंग का प्रसारण एवं संपीडन
- समतापीय प्रसारण एवं संपीडन
- घर्षण रहित रूद्धोष्म संपीडन या प्रसारण (द्रव का)
- इलेक्ट्रोलिसिस



चित्र 1.5

Study PowerPoint

परम तापक्रम पैमाना—यह दो उपवर्गों में विभाजित होता है—

केल्विन पैमाना

$$1\,K = t^{\circ}\,C + 273$$ (यह सेन्टीग्रेड पैमाने का मापक होता है।)

रैंकिन पैमाना

$$1\,R = t^{\circ}F + 460$$ (यह फारेनहाइट पैमाने का मापक होता है।)

(ii) दाब (Pressure)—सामान्यत: दाब, बल तथा क्षेत्रफल के अनुपात को कहते हैं। परन्तु ऊष्मागतिकी में दाब को निम्न प्रकार से परिभाषित किया गया है—

"दाब वह बल है जो किसी निश्चित क्षेत्र या निकाय के आवरण पर कार्यरत होता है।" इसे 'P' द्वारा प्रदर्शित किया जाता है।

$$P = \frac{\text{बल}}{\text{क्षेत्रफल}} = \frac{F}{A}$$

मात्रक : N/m^2, KN/m^2, बार, पास्कल

$$\because \quad 1 \text{ बार} = 10^5\ N/m^2$$

$$= 100\ KN/m^2$$

$$1 \text{ पास्कल} = 1\ N/m^2$$

■ दाब के प्रकार

वातावरणीय दाब—धरातल के ऊपर वातावरण में वायु के स्वयं के भार के कारण किसी निश्चित क्षेत्र में उपजे दाब को वातावरणीय दाब कहते हैं।

वातावरणीय दाब का मान धरातल की ऊपरी सतह पर निर्भर करता है। अत: वातावरणीय दाब का मान स्थिर नहीं होता है।

$$\text{मानक वातावरणीय दाब} = 1.013\ kg/cm^2$$

$$= 101.3\ kN/m^2$$

$$= 10.3 \text{ जल स्तम्भ}$$

$$= 760\ mm \text{ मर्करी स्तम्भ}$$

निर्वात दाब—इसे चूषण दाब भी कहते हैं। यह ऋणात्मक दाब होता है जो वातावरणीय दाब के नीचे पाया जाता है। इसे दाबमापन यंत्र द्वारा मापा जाता है।

निर्वात दाब = वातावरणीय दाब − निरपेक्ष दाब

निरपेक्ष दाब—गेज दाब तथा वातावरणीय दाब का बीजगणितीय योग निरपेक्ष दाब कहलाता है।

निरपेक्ष दाब = वातावरणीय दाब + गेज दाब

गेजदाब—वातावरणीय रेखा को मानक मान कर दाबमापी यंत्र द्वारा मापा गया दाब, गेज दाब कहलाता है। वातावरणीय दाब को आधार माना जाता है, इसलिए गेज दाब का मान सदैव वातावरणीय दाब से अधिक होता है।

विभिन्न प्रकार के दाब का निरूपण आगे दिया गया है—

(iii) विशिष्ट आयतन (Specific volume)—दिए गए कुल आयतन तथा कुल द्रव्यमान के अनुपात को विशिष्ट आयतन कहते हैं।

इसे 'v' द्वारा प्रदर्शित करते हैं।

Study PowerPoint

❑ 1.10. 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 अ प्रारम्भिक अवस्था धारण कर ले, प्रतिवर्त्य प्रक्रम कहलाते हैं।

उदाहरण—जल से वाष्प का निर्माण।

इस प्रक्रम में प्रारम्भिक अवस्था में लौटने के लिए पुन: उसी पथ पर जाना होता है। जिस प्रकार से प्रक्रम की शुरूअ की गई थी। अत: 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 पुन: नहीं ‍ सकता है।

उदाहरण—ईंधन का दहन, मशीन द्वारा यांत्रिक कार्य।

❑ 1.11. विभिन्न ऊष्मागतिकी गुणधर्म

ऊष्मागतिकी गुणधर्म, वे आधारभूत भौतिक राशियाँ होते हैं जिसकी सहायता से ऊष्मागतिकी को परिभाषित कि जाता है।

विभिन्न ऊष्मागतिकी गुणधर्म निम्न है—

(i) तापमान (Temperature)

(ii) दाब (Pressure)

(iii) विशिष्ट आयतन (Specific volume)

(iv) विशिष्ट ऊष्मा (Specific heat)

(v) आंतरिक ऊर्जा (Enternal energy)

(vi) एन्थॉलपी आंतरिक ऊर्जा (Enthalpy)

(vii) एण्ट्रॉपी (Entropy)

(i) तापमान (Temperature)—यह ऊष्मा की तीव्रता का मापक होता है। हम जानते हैं कि ऊष्मा उच्च तापमा निम्न तापमान की ओर प्रवाहित होती है। अत: ऊष्मा का मापन भी उच्च तापमान से निम्न तापमान की ओर ही होता

तापमान के मापन के लिए पैमाना (Scale) का प्रयोग किया जाता है।

- सेन्टीग्रेड पैमाना (Centrigrade scale)
- फारनेहाइट पैमान (Fahrenheit scale)
- परम तापक्रम पैमाना (Absolute Temperature scale)

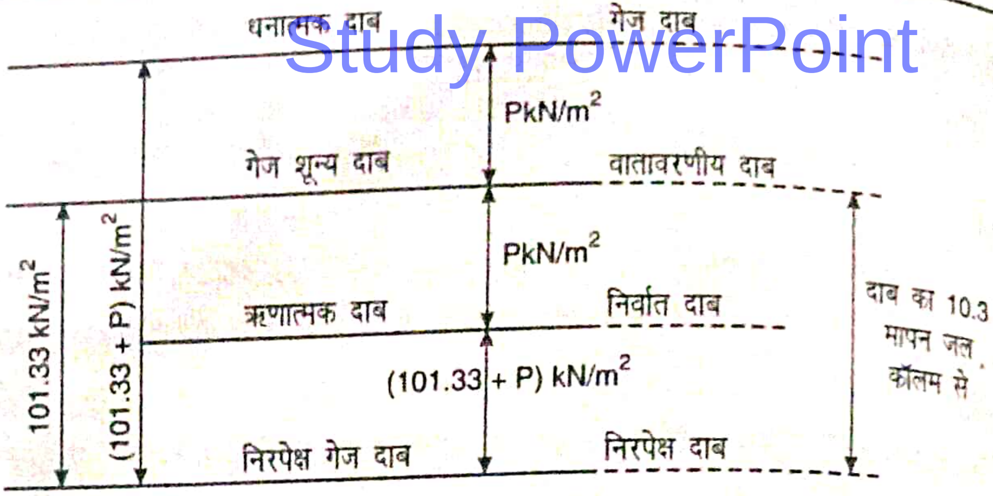
सेन्टीग्रेड पैमाना—इसमें तापमान को °C में मापा जाता है। स्केल पर 100 भाग बने होते हैं। प्रत्येक भाग 1°C होता है। न्यूनतम तापमान 0°C होता है तथा अधिकतम तापमान 100°C होता है। 0°C पानी का जमाव बिन्दु तथा 100°C का उबालक बिन्दु होता है।

फारेनाहाइट पैमाना—इसमें तापमान को फारेनहाइट में मापा जाता है। इनमें स्केल 32° से 212° तक होता है 180 बराबर भागों में बाँटा जाता है।

सेन्टीग्रेड पैमाना तथा फारनेहाइट पैमाना में संबंध—

$$°C = \frac{5}{9}(°F - 32)$$

Study PowerPoint



$$v = \frac{\text{कुल आयतन}}{\text{कुल द्रव्यमान}} = \frac{V}{m}$$

यह विशिष्ट द्रव्यमान का उल्टा होता है।

मात्रक—m^3/kg

(v) **विशिष्ट ऊष्मा** (Specific heat)—किसी पदार्थ की विशिष्ट ऊष्मा, ऊष्मा की वह मात्रा होती है जो किसी की एकांक मात्रा का तापमान 1°C तक बढ़ाता है।

इसे 'c' द्वारा प्रदर्शित किया जाता है। इसका मात्रक kJ/kg K होता है।

माना किसी पदार्थ का द्रव्यमान m तथा तापमान में परिवर्तन T_1 से T_2 है तब—

$$Q = mc(T_2 - T_1), \text{kJ}$$

$$\boxed{c = \frac{Q}{m(T_2 - T_1)}, \text{ kJ/kgK}}$$

विशिष्ट ऊष्मा को दाब एवं आयतन के आधार पर दो वर्गों में वर्गीकृत किया गया है—

विशिष्ट ऊष्मा स्थिर आयतन पर—जब ऊष्मा में वृद्धि स्थिर आयतन पर होती है तब उसे स्थिर आयतन पर विशिष्ट ऊष्मा कहते हैं। इसे 'C_v' द्वारा प्रदर्शित किया जाता है।

विशिष्ट ऊष्मा स्थिर दाब पर—जब ऊष्मा में वृद्धि स्थिर दाब पर होती है तब उसे स्थिर दाब पर विशिष्ट ऊष्मा कहते हैं। इसे 'C_p' द्वारा प्रदर्शित किया जाता है।

(v) **आंतरिक ऊर्जा** (Internal energy)—निकाय की आणविक संरचना एवं अणुओं की गति के फलस्वरूप निकाय में निहित ऊर्जा को आंतरिक ऊर्जा कहते हैं।

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

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

$$\boxed{dU = mC_v dT}$$

dU = आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन

Study PowerPoint

m = निकाय के अंदर द्रव्यमान

C_v = विशिष्ट ऊष्मा स्थिर आयतन पर

dT = तापमान में परिवर्तन

(vi) एन्थालपी (Enthalpy)—किसी निकाय की सम्पूर्ण ऊर्जा को निकाय की एन्थाल्पी कहा जाता है। सम्पूर्ण ऊर्जा प्रवाह ऊर्जा तथा आंतरिक ऊर्जा में संयुक्त रूप होता है। प्रवाह ऊर्जा से तात्पर्य यांत्रिक ऊर्जा या यांत्रिक कार्य से है। इसे 'H' द्वारा प्रदर्शित किया जाता है तथा इसका मात्रक 'kJ/kg' होता है।

$$H = PV + U$$

एन्थालपी में परिवर्तन $dH = dW + dU$

जहाँ dW = कार्य

dU = आंतरिक ऊर्जा

किसी निकाय की विशिष्ट एन्थालपी मात्रा निरपेक्ष गुणधर्म (Intensive property) है।

(vii) एण्ट्रापी (Entropy)—एण्ट्रापी को निम्न प्रकार से परिभाषित किया गया है—

"यह ऊष्मा की मात्रा का फलक होता है, जो ऊष्मा को कार्य में परिवर्तित करने की सम्भावना को प्रदर्शित करता है।"

"It is a function of a quantity of heat shows the possibility of conversion of that heat into work."

क्लासियस असमानता (Classius inequality) के अनुसार,

"जब एक निकाय पूर्ण चक्रीय प्रक्रम से गुजरता है तब पूरे चक्र में राशि $\frac{dQ}{T}$ का समाकलन शून्य या शून्य से कम होता है।"

अर्थात् $$\oint \frac{dQ}{T} \le 0$$

प्रतिक्रम्य प्रक्रम के लिए $\oint \frac{dQ}{T} = 0$

अप्रतिक्रम्य प्रक्रम के लिए $\oint \frac{dQ}{T} < 0$

प्रतिक्रम्य प्रक्रम के लिए राशि $\oint \frac{dQ}{T} = 0$, यह बताता है कि $\frac{dQ}{T}$ एक बिन्दु फलन है। अत: हम कह सकते हैं कि $\frac{dQ}{T}$ निकाय का गुणधर्म होता है। यह गुणधर्म ही एण्ट्रापी कहलाता है। इसे 'S' द्वारा प्रदर्शित करते हैं।

एण्ट्रापी में परिवर्तन $$dS = \oint_1^2 \frac{dQ}{T}$$

एण्ट्रापी को सर्वप्रथम क्लासियस द्वारा इस्तेमाल किया गया जो कि ग्रीक शब्द ट्रापी (Tropee) से लिया गया था जिसका तात्पर्य है रूपान्तरण। यह एक मात्रा सापेक्ष (Extensive property) गुणधर्म है। इसका मात्रक J/K है।

विशिष्ट एण्ट्रापी $= \frac{S}{m}$, J/kg K होता है।

Study PowerPoint

सारांश

- **ऊष्मागतिकी**–विज्ञान की वह शाखा जिसके अंतर्गत ऊष्मा का ऊर्जा तथा कार्य के बीच का सम्बन्ध का अध्ययन किया जाता है।
- **माइक्रोस्कोपिक ऊष्मागतिकी**–इसमें निकाय का अध्ययन आणविक स्तर पर होता है।
- **मैक्रोस्कोपिक ऊष्मागतिकी**–इसमें निकाय को सम्पूर्ण मानते हुए अध्ययन करते हैं।
- **ऊष्मागतिकी निकाय**–वह क्षेत्र जिसमें ऊर्जा का रूपान्तरण कार्य में होता है, ऊष्मागतिकी निकाय कहलाता है।
- **ऊष्मागतिकी परिसीमा**–वह रेखा जो निकाय को चिह्नित करता है, ऊष्मागतिकी परिसीमा कहलाता है।
- **ऊष्मागतिकी परिवेश**–निकाय की परिसीमा के बाहर का क्षेत्र, ऊष्मागतिकी परिवेश कहलाता है।
- **ब्रह्माण्ड**–निकाय, परिसीमा तथा परिवेश का संयुक्त रूप ब्रह्माण्ड कहलाता है।

- **ऊष्मागतिकी निकाय के प्रकार**–
  - **खुला ऊष्मागतिकी निकाय**–वह निकाय जिसमें द्रव्यमान तथा ऊर्जा दोनों का आदान-प्रदान हो सके, खुला ऊष्मागतिकी निकाय कहलाता है।
  - **बंद ऊष्मागतिकी निकाय**–वह निकाय जिसमें केवल ऊर्जा का आदान-प्रदान हो सके, बंद ऊष्मागतिकी निकाय कहलाता है।
  - **विलगित ऊष्मागतिकी निकाय**–वह निकाय जिसमें न तो ऊर्जा का और न ही द्रव्यमान का आदान-प्रदान हो सके विलगित ऊष्मागतिकी निकाय कहलाता है।
  - **समांग ऊष्मागतिकी निकाय**–वह निकाय जिसमें कार्यकारी माध्यम एक ही अवस्थाओं में उपस्थित होता है, समांग ऊष्मागतिकी निकाय कहलाता है।
  - **विषमांग ऊष्मागतिकी निकाय**–वह निकाय जिसमें कार्यकारी पदार्थ एक से अधिक अवस्था में उपस्थित होते हैं, विषमांग ऊष्मागतिकी निकाय कहलाते हैं।

- **निकाय का गुण**

  किसी निकाय की अवस्था को परिभाषित करने के लिए प्रयुक्त विशिष्टयों को निकाय का गुण कहा जाता है।
  यह दो प्रकार से परिभाषित होता है–

  (i) बिन्दु फलन गुणधर्म
  (ii) पथ या मार्ग फलन गुणधर्म

  गुण धर्मों को दो वर्गों में विभाजित किया गया है–

  (i) मात्रा निरपेक्ष गुणधर्म
  (ii) मात्रा सापेक्ष गुणधर्म

  - **ऊष्मागतिकी का शून्यवाँ नियम**

    इस नियम के अनुसार, जब कोई दो वस्तु किसी तीसरी वस्तु के साथ तापीय साम्यता में हो तो वह आपस में भी तापीय साम्यता में होंगी।

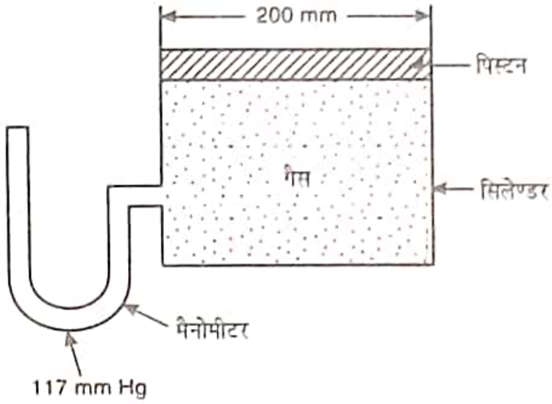
- **विभिन्न ऊष्मागतिकी गुण धर्म निम्न है**–

  (i) तापमान
  (ii) दाव
  (iii) विशिष्ट आयतन
  (iv) विशिष्ट ऊष्मा
  (v) आंतरिक ऊर्जा
  (vi) एन्थालपी

Study PowerPoint

हल सहित उदाहरण

उदाहरण 1. चित्र में एक सिलेण्डर पिस्टन दर्शाया गया है जिससे एक मैनोमीटर जुड़ा है। यदि मैनोमीटर में गैस दाब **117 mmHg** हो तथा सिलेण्डर का व्यास **200 m** हो तो पिस्टन का द्रव्यमान ज्ञात कीजिए।



हल : $P = 117$ mm Hg column

$$d = 200 \text{ m}$$

m = पिस्टन का द्रव्यमान

निचला बल $= mg$

ऊपरी बल $= P \times \frac{\pi}{4} d^2$

संतुलन की स्थिति में

$$mg = P \times \frac{\pi}{4} d^2$$

$$m \times 9.8 = \left(\frac{117}{1000} \times 13.6 \times 100\right) \times \frac{\pi}{4}\left(\frac{200}{1000}\right)^2$$

$$P = 117 \text{ mm Hg}$$

$$p = \rho g h$$

$$p = 13.6 \times 1000 \times 9.8 \times \frac{117}{1000}$$

$$\boxed{m = 49.989 \text{ kg}}$$ Ans.

उदाहरण 2. एक पिस्टन जिसका व्यास 10 cm है 1000 N का बल लगा रहा है। पिस्टन पर दाब ज्ञात कीजिए।

हल : दिया है—

$$d = 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ m}$$

$$F = 1000 \text{ N}$$

हम जानते हैं कि—

$$p = \frac{F}{A}$$

$$p = \frac{100}{\frac{\pi}{4} \times 0.1^2}$$

$$\boxed{p = 127.307 \text{ kN/m}^2}$$ Ans.

उदाहरण 3. एक ट्यूब में द्रव भरा है जिसका विशिष्ट गुरुत्व 0.9 है तथा 120 cm गहराई तक है। गेज दाब ज्ञात कीजिए।

हल : दिया है— $\rho_f = 0.9$

$$h = 120 \text{ cm}$$

$$= 1.2 \text{ m}$$

$$P = wh$$

$$= \rho g h$$
$$= \rho_f \times \rho_w \times g \times h$$
$$= \rho_f \times \rho_w$$
$$P = 0.9 \times 100 \times 9.8 \times 1.2$$
$$\boxed{P = 10.595 \text{ kN/m}^2}$$

ρ = द्रव्यमान घनत्व

अभ्यास

1. ऊष्मागतिकी को परिभाषित कीजिए।
2. ऊष्मागतिकी का वर्गीकरण कीजिए।
3. निम्न को परिभाषित कीजिए—
   (i) ऊष्मागतिकी निकाय
   (ii) परिवेश
   (iii) परिसीमा
4. विभिन्न ऊष्मागतिकी निकायों को वर्गीकृत कीजिए।
5. ऊष्मागतिकी गुणधर्म क्या है? वर्गीकरण कीजिए।
6. विभिन्न प्रकार की साम्यता को परिभाषित कीजिए।
7. ऊष्मागतिकी के शून्यवाँ नियम से आप क्या समझते हैं?
8. ऊष्मागतिकी पथ तथा प्रक्रम को समझाइए।
9. निम्न को परिभाषित कीजिए—
   (a) तापमान
   (b) दाब
   (c) विशिष्ट आयतन
   (d) आंतरिक ऊर्जा
   (e) एन्थालपी
   (f) एण्ट्रापी
   (g) विशिष्ट ऊष्मा

✦ वस्तुनिष्ठ प्रश्नावली

1. निम्न में से कौन सा गुण मैक्रोस्कोपिक गुण है?
   (a) तापमान (b) वेग (c) गतिज ऊर्जा (d) संवेग
2. ऊष्मागतिकी का शून्यवाँ नियम आधारित है—
   (a) तापमान पर (b) आंतरिक ऊर्जा पर (c) एण्ट्रापी पर (d) एन्थालपी पर
3. रेडियेटर उदाहरण है—
   (a) खुला निकाय (b) बंद निकाय (c) विलगित निकाय (d) इनमें से कोई नहीं
4. निम्न में से कौन सा गुण मात्रा निरपेक्ष गुण है?
   (a) तापमान (b) आयतन (c) दाब (d) (a) एवं (c)

Study PowerPoint

5. फारनेहाइट तथा सेन्टीग्रेड में संबंध है—

(a) $°C = 5 \times 9(°F + 32)$
(b) $°C = \left(\frac{5}{9}\right) \times (°F + 22)$
(c) $°C = \frac{5}{9} + °F - 32$
(d) $°C = \frac{5}{9}(°F - 32)$

6. 1°C का मान होता है—

(a) 460 K
(b) 373 K
(c) 100 K
(d) 273 K

7. $dU =$

(a) $mc_p dT$
(b) $mc_v dT$
(c) $\frac{p_2}{p_1}$
(d) work done

8. एन्थाल्पी का मान होता है—

(a) $dH = dW + dU$
(b) $dH = dW - dU$
(c) $dH = \frac{dW}{dU}$
(d) $dH = dW \times dU$

9. एन्ट्रापी का मात्रक होता है—

(a) J/k
(b) J/kg k
(c) J-k
(d) J-kg/k

10. एण्ट्रापी है—

(a) मात्रा निरपेक्ष
(b) मात्रा सापेक्ष
(c) (a) and (b)
(d) इनमें से कोई नहीं

उत्तरमाला

1. (a) **2.** (a) **3.** (b) **4.** (d) **5.** (d) **6.** (d) **7.** (b) **8.** (a) **9.** (a) **10.** (b)

❑❑❑

Study PowerPoint

2 आदर्श गैसों के नियम
(Laws of Perfect Gases)

2.1. परिचय (Introduction)

आदर्श गैस वह गैस होती है जो किसी ऊष्मागतिकी प्रक्रम के अधीन अपनी अवस्था परिवर्तन नहीं करती है। यह गैसें प्रायोगिक रूप से संभव नहीं होती है। वायु, ऑक्सीजन इसके उदाहरण हैं। यह गैसें 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।"

या
$$V \propto \frac{1}{P}$$
$$P \propto \frac{1}{V}$$

या
$$PV = C \qquad [T = \text{नियत}]$$

अवस्था 1 से अवस्था 2 के दौरान—
$$P_1V_1 = P_2V_2$$
$$\boxed{\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1}}$$

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

या
$$V \propto T$$
$$\frac{V}{T} = C$$

अवस्था 1 से अवस्था 2 के लिए—
$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Study PowerPoint

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

(iii) गे-लुसॉक का नियम (Gay-Lusac law)—इस नियम के अनुसार, " किसी निश्चित आयतन पर आदर्श गैस का दाब उसके तापमान के समानुपाती होता है।"

$$P \propto T$$

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

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = \frac{P_3}{T_3}$$

(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 $\frac{1}{273}$वाँ हिस्सा होगा।"

यह नियम दाब पर प्रतिपादित किया जाता है।

$V_0 = 0°C$ पर गैस का आयतन

$V_t = t°C$ पर गैस का आयतन

नियम के अनुसार

$$V_t = V_0 \times \left[\frac{273 + t}{273}\right]$$

सार्वत्रिक गैस स्थिरांक और ऐवोगेड्रो की परिकल्पना

सार्वत्रिक गैस स्थिरांक का मान विभिन्न गैसों के लिए भिन्न-भिन्न होता है। सार्वत्रिक गैस स्थिरांक का मान ज्ञात करने से पूर्व निम्न तथ्यों का ज्ञान होना आवश्यक है—

- **मोल** (Mole)
- **ऐवोगेड्रो की संख्या** (Avogadro's Number)

मोल (Mole)—

वह संख्या जो पदार्थ के आणविक भार (Molecular weight) के बराबर होती है, उसकी मोल संख्या कहलाती है।

यदि ठोस का द्रव्यमान $= m$ kg

तथा आणविक भार $= M$ kg/kg moles

तथा मोल की संख्या $n = \frac{m \text{ kg}}{M \text{ kg/kg mole}} = \frac{m}{M}$ kg mole

एवं मोलर आयतन (Moles volume)

$$V_{mole} = \frac{V}{n} \text{ m}^3 / \text{kg mole}$$

जहाँ V = गैस का कुल आयतन

ऐवोग्रेड्रो की संख्या (Avogadro's Number)—

इसके अनुसार प्रत्येक पदार्थ में अणुओं की संख्या 6.02×10^{26} होती है।

यह संख्या ऐवोगेड्रो संख्या (A) कहलाती है।

पदार्थ में कुल अणुओं की संख्या $N = nA$

Study PowerPoint

ऐवोगेड्रो का नियम—इस नियम के अनुसार—

समान दाब व ताप पर सभी आदर्श गैस की आयतन में अणुओं की संख्या समान होती है।

या

सामान्य तापमान एवं दाब पर सभी गैसों के 1 kg mole का आयतन समान होता है तथा यह 22.4 m^3 के बराबर होता है।

सार्वत्रिक गैस स्थिरांक (Universal Gas Constant)

सामान्य गैस समीकरण से $PV = mRT$

$$m = nM$$

$$PV = nMRT$$

$$PV = n(MR)T = n R_0 T$$

$$R_0 = MR$$

$$P\frac{V}{n} = R_0 T$$

$$PV_{mole} = R_0 T \qquad \frac{V}{n} = V_{mole}$$

$$R_0 = \frac{PV_{mole}}{T}$$

$$P = 1.01325 \text{ bar या } 1.01325 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$V_{mole} = 22.4 \text{ m}^3$$

$$T = 273 \text{ K}$$

$$R_0 = \frac{1.01325 \times 10^5 \times 22.4}{273}$$

$$R_0 = 8314 \text{ J/kg mole K}$$

$$\boxed{R_0 = 8.314 \text{ kJ/kg mole K}}$$

$$\boxed{R = \frac{8.314}{M} \text{ kJ/kg K}}$$

जहाँ M = आण्विक द्रव्यमान

R = सार्वत्रिक गैस नियतांक या मोलर गैस नियतांक।

विशिष्ट गैस समीकरण या सामान्य गैस समीकरण (Characteristic Gas Equation or General Gas equation)

सामान्य गैस समीकरण—यह बॉयल एवं चार्ल्स के नियम का संयुक्त रूप है। इस समीकरण के द्वारा हम किसी गैस के दाब, तापमान एवं आयतन में संबंध ज्ञात करते हैं।

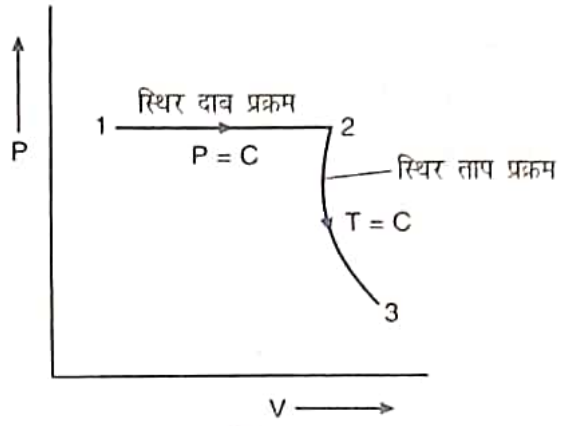
माना, किसी गैस की अवस्था 1 से अवस्था 3 में परिवर्तन हो रहा है तथा इस दौरान गैस पथ 1-2 तथा पथ 2-3 का अनुसरण कर रही है जैसा कि चित्र 2.1 में दर्शाया गया है—

P_1, V_1, T_1 = बिन्दु 1 पर दाब, आयतन एवं तापमान क्रमश:

P_2, V_2, T_2 = बिन्दु 2 पर दाब, आयतन एवं तापमान क्रमश:

P_3, V_3, T_3 = बिन्दु 3 पर दाब, आयतन एवं तापमान क्रमश:

Study PowerPoint



चित्र 2.1

पथ 1-2 के दौरान (नियत दाब पर)—

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$V_2 = \frac{V_1 T_2}{T_1} \qquad \text{...(i)}$$

$\because$ $$T_2 = T_3 \Rightarrow V_2 = \frac{V_1 T_3}{T_1}$$

पथ 2-3 के दौरान (नियत तापमान पर)—

$$P_2 V_2 = P_3 V_3$$

$$V_2 = \frac{P_3 V_3}{P_2}$$

$$V_2 = \frac{P_3 V_3}{P_1} \qquad \text{...(ii)}$$

$\because$ $$P_2 = P_1$$

समीकरण (i) एवं समीकरण (ii) से—

$$\frac{V_1 T_3}{T_1} = \frac{P_3 V_3}{P_1}$$

या $$\frac{V_1 P_1}{T_1} = \frac{P_3 V_3}{T_3} \Rightarrow \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_3 V_3}{T_3}$$

$\Rightarrow$ $$\frac{PV}{T} = \text{constant (नियतांक)}$$

यह नियतांक गैस नियतांक कहलाता है तथा इसको 'R' द्वारा दर्शाते हैं।

$$\frac{PV}{T} = R$$

$$\boxed{PV = RT}$$

M kg द्रव्यमान के लिए—

$$\boxed{PV = mRT}$$ सामान्य गैस समीकरण

Study PowerPoint

गैस की विशिष्ट ऊष्मा (Specific Heat of Gas)

किसी पदार्थ की विशिष्ट ऊष्मा वह मात्रा होती है जो किसी पदार्थ की एकांक मात्रा का तापमान 1°C तक बढ़ाए। इसे 'C' द्वारा प्रदर्शित किया जाता है। इसका मात्रक kJ/kg K होता है। माना किसी पदार्थ का द्रव्यमान m तथा ताप में परिवर्तन T_1 से T_2 हो तब—

$$Q = mc(T_2 - T_1) \text{ kJ}$$

$$c = \frac{Q}{m(T_2 - T_1)} = \text{kJ/kg K}$$

विशिष्ट ऊष्मा दो वर्गों में वर्गीकृत है—(i) स्थिर दाब पर (C_p) (ii) स्थिर आयतन पर (C_v)

C_v तथा C_p में सम्बन्ध

माना किसी गैस को किसी पात्र में गर्म किया जा रहा है तथा वह बिन्दु 1 से बिन्दु 2 का अनुसरण कर रहा है। इस दौरान दाब को स्थिर माना गया है।

माना

m = गैस का द्रव्यमान

V_1 = गैस का प्रारम्भिक आयतन बिन्दु 1 पर

V_2 = गैस का अंतिम आयतन बिन्दु 2 पर

T_1 = गैस का प्रारम्भिक तापमान बिन्दु 1 पर

T_2 = गैस का अंतिम तापमान बिन्दु 2 पर

C_p = गैस की विशिष्ट ऊष्मा स्थिर दाब पर

C_v = गैस की विशिष्ट ऊष्मा स्थिर आयतन पर

P = स्थिर दाब

बिन्दु 1 से बिन्दु 2 पर प्रदत्त ऊष्मा—

$$Q_{1-2} = mC_p (T_2 - T_1)$$

कार्य $$W_{1-2} = P(V_2 - V_1)$$

आंतरिक ऊर्जा में वृद्धि $$U_{1-2} = mC_v (T_2 - T_1)$$

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम के अनुसार

$$Q_{1-2} = W_{1-2} + U_{1-2}$$

$$mC_p (T_2 - T_1) = mC_v (T_2 - T_1) + P(V_2 - V_1)$$

हम जानते हैं कि

$$PV = mRT \quad [R = \text{गैस निय}$$

$$mC_p (T_2 - T_1) = mC_v (T_2 - T_1) + mR(T_2 - T_1)$$

$$C_p = C_v + R$$

$$\boxed{C_p - C_v = R}$$

हम जानते हैं कि

$$\frac{C_p}{C_v} = \gamma \quad [\gamma = \text{रूद्धोष्म गु}$$

 Study PowerPoint

$$C_p = \gamma C_v$$
$$C_p - C_v = R$$
$$\gamma C_v - C_v = R$$
$$C_v (\gamma - 1) = R$$
$$\boxed{C_v = \frac{R}{\gamma - 1}}$$
$$\boxed{\gamma = 1 + \frac{R}{C_v},} \quad \boxed{C_p = \frac{\gamma R}{\gamma - 1}}$$

सारणी 1. विभिन्न गैसों के लिए C_p, C_v, γ तथा R का मान

गैस	C_p (kJ/kgK)	C_v (kJ/kgK)	$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$	R (J/kgK)
वायु	1.005	0.716	1.40	287.0
कार्बन डाइऑक्साइड (CO_2)	0.846	0.657	1.29	188.9
कार्बन मोनो ऑक्साइड (CO)	1.047	0.749	1.40	298.0
नाइट्रोजन	1.043	0.745	1.40	296.8
ऑक्सीजन (O_2)	0.913	0.653	1.39	259.8
हाइड्रोजन (H_2)	14.257	10.133	1.40	4124.4
अमोनिया (NH_3)	2.177	1.692	1.29	485.0
हीलियम (He)	5.234	3.153	1.66	2076.91
आर्गन (Ar)	0.523	0.314	1.67	209.0
मीथेन CH_4	2.169	1.650	1.31	519.0

नोट—

- हाइड्रोजन गैस की विशिष्ट ऊष्मा स्थिर दाब (C_p) पर सबसे अधिक (14.257 kJ/kgK) होती है तथा आर्गन गैस का सबसे कम (0.523 kJ/kgK) होता है।
- हाइड्रोजन गैस की विशिष्ट ऊष्मा स्थिर आयतन पर (C_v) सबसे अधिक (10.133 kJ/kgK) होता है तथा आर्गन का सबसे कम (0.314 kJ/kgK) होता है।
- आर्गन गैस का रूद्धोष्म गुणांक (γ) सबसे अधिक (1.67) होता है।
- हाइड्रोजन गैस का गैस नियतांक (R) सबसे अधिक (4124.4) होता है। कार्बन डाइऑक्साइड (188.9) का सबसे कम होता है।

हल सहित उदाहरण

उदाहरण 1. एक बंद पात्र में गैस का दाब एवं तापमान 1 बार और 20°C है। यदि पात्र का गर्म करके गैस का तापमान 100°C किया जाए तो पात्र के भीतर गैस का दाब ज्ञात कीजिए।

Study PowerPoint

Solution : दिया है—

$$P_1 = 3 \text{ bar}$$
$$T_1 = 20°C$$
$$= 20 + 273 = 293 \text{ K}$$
$$T_2 = 100°C = 100 + 273 = 373 \text{ K}$$
$$V_1 = V_2 = V$$
$$P_2 = ?$$
$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$$
$$P_2 = \frac{T_2}{T_1} \times P_1$$
$$P_2 = \frac{373}{293} \times 1$$
$$\boxed{P_2 = 1.273 \text{ बार}}$$

स्थिर आयतन

उदाहरण 2. गैस की दी हुई मात्रा का आयतन 2 m^3 एवं तापमान 21°C है। यदि गैस को स्थिर दाब पर 150 तक गर्म किया जाए तो गैस का आयतन ज्ञात कीजिए।

हल : दिया है

$$V_1 = 2 \text{ m}^3$$
$$t_1 = 21°C$$
$$t_1 = 21 + 273 = 294 \text{ K}$$
$$t_2 = 150°C = 150 + 273 = 423 \text{ K}$$

गैस का अंतिम आयतन $V_2 = ?$

चार्ल्स के नियम के अनुसार

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}$$
$$V_2 = \frac{T_2}{T_1} \times V_1$$
$$V_2 = \frac{423}{294} \times 2$$
$$\boxed{V_2 = 2.877 \text{ m}^3}$$

उदाहरण 3. एक बंद पात्र जिसका आयतन 1 m^3 है में 2 kg वायु 20°C पर भरी है। पात्र के भीतर की वायु दाब ज्ञात कीजिए। पात्र की वायु को 150°C तक गरम किए जाने पर इसका दाब क्या होगा? वायु के लिए R का 287 J/kgK मानें।

हल : दिया है

$$V_1 = 1 \text{ m}^3$$
$$m = 2 \text{ kg}$$

Study PowerPoint

$$t_1 = 20°C = 20 + 273 = 293\ K$$
$$P_1 = ?$$
$$t_2 = 150° = 150 + 273 = 423\ K$$
$$P_2 = ?$$
$$R = 287\ J/kg\ K$$

हम जानते है कि

$$P_1V_1 = mRT_1$$
$$P_1 \times 1 = 2 \times 287 \times 293$$
$$\boxed{P_1 = 1.68\ bar}$$ Ans.

स्थिर आयतन पर

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$
$$P_2 = P_1 \times \frac{T_2}{T_1}$$
$$= 1.68 \times \frac{423}{293}$$
$$= 2.428\ bar$$ Ans.

उदाहरण 4. गैस की विशिष्ट ऊष्माएँ $C_p = 1.96$ kJ/kg K, $C_v = 1.46$ kJ/kg K है। गैस का मोलर द्रव्यमान तथा नियतांक का मान ज्ञात कीजिए।

हल :

$$C_p = 1.96\ kJ/kg\ K$$
$$C_v = 1.46\ kJ/kg\ K$$

हम जानते है कि

$$C_p - C_v = R$$
$$R = 1.96 - 1.46$$
$$R = 0.5\ kJ/kg\ K$$ Ans.
$$M = \frac{R_0}{R}$$
$$M = \frac{8.314}{0.5}$$
$$M = 16.628$$ Ans.

उदाहरण 5. 47°C तापमान एवं 5 bar दाब पर वायु का आयतन 0.5 m^5 है। वायु की मात्रा ज्ञात कीजिए यदि

$$C_p = 1\ kJ/kg\ K$$
$$C_v = 0.72\ kJ/kg\ K$$

हल :

$$P = 5\ bar = 5 \times 10^5\ N/m^2$$
$$t = 47°C$$
$$= 47 + 273$$

$$= 320\ K$$
$$V = 0.5\ m^3$$
$$C_p = 1\ kJ/kg\ K$$
$$C_v = 0.72\ kJ/kg\ K$$
$$m = ?$$

हम जानते हैं कि

$$C_p - C_v = R$$
$$1 - 0.72 = 0.28\ kJ/kg\ K$$
$$= 280\ J/kg\ K$$

एवं

$$PV = mRT$$
$$m = \frac{PV}{RT}$$
$$m = \frac{5 \times 10^5 \times 0.5}{280 \times 320} = \mathbf{2.79\ kg}$$

❑ 2.2. परिचय (Introduction)

आदर्श गैसें वह गैसें होती हैं जो किसी दाब एवं तापमान के मध्य गैस के नियम का अनुसरण करती हैं।

या

वह गैसें जिनमें किसी प्रकार के असंतुलित बल (Unbalanced force) न लग रहे हों आदर्श गैसें कहलाती हैं।

प्रमुख गुण—

आदर्श गैस $PV = RT$ का अनुसरण करता है।

आदर्श गैस में विशिष्ट ऊष्मा नियत नहीं होता है, यह तापमान का फलक माना जाता है।

वास्तविकता में आदर्श गैसें संभव नहीं होती हैं।

वास्तविक गैसें वह होती हैं जो गैस के नियम का अनुसरण नहीं करती हैं, अर्थात् तापमान एवं दाब में बदलाव के ऊष्मागतिकी गुणों में भी परिवर्तन होता है।

परीक्षणों द्वारा ज्ञात है कि निम्न दाब एवं तापमान के साथ वास्तविक गैसें बॉयल एवं चार्ल्स के नियम का अनु करती हैं।

आदर्श गैस समीकरण $PV = RT$ को हम गैसों के गतिकी सिद्धान्त द्वारा ज्ञात कर सकते हैं। प्रमुख अवधा (Assumptions) निम्नलिखित हैं—

(i) एक निश्चित आयतन का गैस अधिक मात्रा में अणुओं को संग्रहित किया हो।

(ii) अणुओं का खिंचाव पूर्णत: प्रत्यास्थ (perfectly elastic) होना चाहिए।

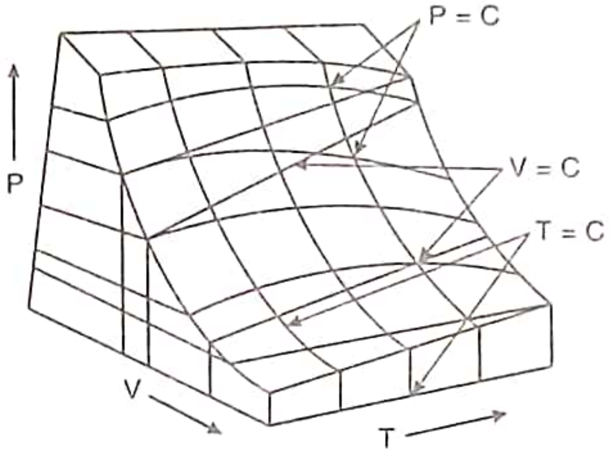
(iii) अणुओं में खिंचाव के दौरान वे किसी प्रकार का बल उत्पन्न न करें।

❑ 2.3. आदर्श गैस के लिए P-V-T सतह

हम जानते हैं आदर्श गैस का व्यवहार तीन चरों (क्रमश: दाब, तापमान एवं आयतन) से संबंधित होता है। य तीन चरों को तीन लम्ववत् अक्षों पर रखा जाए तो हमें एक सतह प्राप्त होती है जो $PV = RT$ को परिभाषित करती है प्रकार की सतह को **P-V-T सतह** कहते हैं। यह सतह आदर्श गैस के आधारभूत गुणों को प्रदर्शित करती है। यह अभियांत्रिकी टूल की तरह कार्य करती है जिसका उपयोग हम विभिन्न ऊष्मागतिकी गुणों तथा प्रक्रम को ज्ञात करने के करते हैं।

Study PowerPoint

P-V-T सतह का आरेख निम्न है—



चित्र 2.2

आरेख में प्रत्येक विन्दु साम्यावस्था को प्रदर्शित करता है तथा रेखाएँ प्रक्रम को प्रदर्शित करती हैं।

2.4. आदर्श गैस की विशिष्ट ऊष्माधारिताएँ (Specific Heat Capacities of Ideal Gas)

स्थिर आयतन पर किसी आदर्श गैस की विशिष्ट ऊष्माधारिताएँ

$$C_v = \left(\frac{dU}{dT}\right)_v$$

जूल के नियम के अनुसार

$$C_v = \frac{dU}{dT}$$

स्थिर दाब पर किसी आदर्श गैस की विशिष्ट ऊष्माधारिता

$$C_p = \frac{dh}{dT}$$

हम जानते हैं कि

$$h = U + PV$$

$$h = U + RT \qquad \because PV = RT$$

T के सापेक्ष अवकलन करने पर—

$$\frac{dh}{dT} = \frac{dU}{dT} + R$$

$$C_p = C_v + R \qquad \left(\frac{dh}{dT} = C_p \text{ तथा } \frac{dU}{dT} = C_v \text{ का मान रखने पर}\right)$$

$$\boxed{C_p - C_v = R}$$

आणविक राशि में

$$\boxed{C_p - C_v = R_0}$$

जहाँ C_p = स्थिर दाब पर विशिष्ट ऊष्माधारिता

C_v = स्थिर आयतन पर विशिष्ट ऊष्माधारिता

Study PowerPoint

2.5. आदर्श गैस की आंतरिक ऊर्जा एवं एन्थालपी

किसी आदर्श गैस की आंतरिक ऊर्जा को जूल के नियम से परिभाषित करते हैं। जूल के नियम के अनुसार, "कि आदर्श गैस की आंतरिक ऊर्जा केवल तापमान पर निर्भर करती है। दाब एवं आयतन से प्रभावित नहीं होती है।"

अर्थात् $U = f(T)$

एन्थालपी की परिभाषा के अनुसार

$$h = U + PV$$

$$PV = RT$$

$$h = U + RT$$

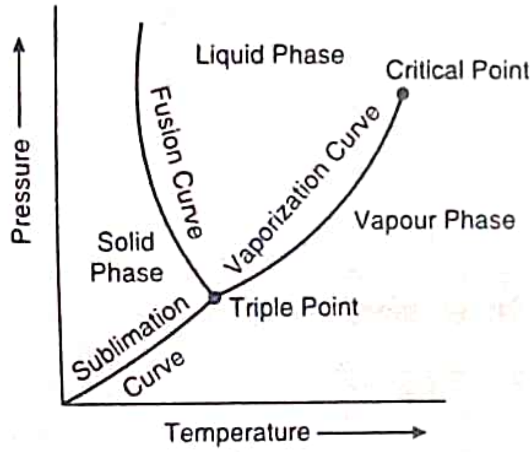
चूँकि U, T का फलक है अत: h भी तापमान का ही फलक होगा।

अत: $h = f(T)$

2.6. ट्रिपल बिन्दु (Triple Point)

ट्रिपल बिन्दु प्राप्त करने के लिए तथा तापमान के बीच आरेख खींचा जाता है।

ट्रिपल बिन्दु का P-T (Pressure-Temperature) आरेख निम्न है—



चित्र 2.3

P-T आरेख के प्रमुख वक्र निम्न हैं—

(i) **सबलिमेशन वक्र** (Sublimation curve)—इसमें ठोस एवं वाष्प अवस्था होती है। इसे फ्रोस्ट रेखा (Frost lin भी कहते हैं।

(ii) **वाष्पीकरण वक्र** (Vapourisation curve)—इसमें द्रव एवं वाष्प अवस्था होती है। इसे वाष्प रेखा (steam lin भी कहते हैं।

(iii) **फ्यूजन वक्र** (Fusion curve)—इसमें ठोस तथा द्रव अवस्था होती है। इसे बर्फ रेखा (Ice line) भी कहते हैं।

सबलिमेशन वक्र एवं वाष्पीकरण वक्र का झुकाव सभी पदार्थों के लिए सदैव धनात्मक होता है। फ्यूजन वक्र क झुकाव (Slope) धनात्मक या ऋणात्मक होता है।

जल का फ्यूजन वक्र का झुकाव सदैव ऋणात्मक होता है।

ट्रिपल बिन्दु वह बिन्दु है जहाँ सबलिमेश्न वक्र, वाष्पीकरण वक्र तथा फ्यूजन वक्र आकार आपस में मिलते हैं।

Study PowerPoint

2.7. वान्डर वाल समीकरण (Vander Waals equation)

वान्डर वाल समीकरण को 1873 में द्रवीय एवं गैसी अवस्था के लिए प्रतिपादित किया गया था।

वान्डर वाल समीकरण

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT$$

a, b = विशिष्ट नियतांक

V = आयतन/द्रव्यमान

R = गैस नियतांक

P = दाब

T = तापमान

यदि आयतन प्रति मोल को माना जाए—

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = R_0 T$$

P = N/m^2

$\bar{V}$ = m^3/kg-mol

$\bar{T}$ = k

R = 8314 Nm/kg mol k

a = Nm^4/(kg-mol)^2

b = m^3/kg mol

वान्डर वाल नियतांक के मान

क्रम संख्या	पदार्थ	a (Nm^4/(kg-mol)^2	b (m^3/kg-mol)
1.	हाइड्रोजन (H_2)	25105	0.0262
2.	ऑक्सीजन (O_2)	139250	0.0314
3.	कार्बन डाइऑक्साइड (CO_2)	362850	0.0423
4.	हीलियम (He)	3417620	0.0228
5.	वायु	135522	0.0362
6.	जल वाष्प (H_2O)	551130	0.0300
7.	मर्करी वाष्प (Hg)	2031940	0.0057

2.8. अमागत प्रयोग (Amagat's Experiment)

वान्डर वाल समीकरण से

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT$$

Study PowerPoint

समीकरण को व्यवस्थित करने पर—

$$PV = \frac{RTV}{V-b} - \frac{a}{V}$$

उपरोक्त समीकरण से यह स्पष्ट है कि दाब के बढ़ने से वान्डर वाल समीकरण में भी बदलाव हो रहा है। अमागत प्रयोग से यही सिद्ध किया जाता है।

T को नियम मानते हुए दोनों पक्षों में P के सापेक्ष अवकलन करने पर

$$\left(\frac{d(PV)}{dP}\right)_T = \left\{\frac{a}{v^2} - \frac{RT_b}{(V-b)^2}\right\}\left(\frac{dV}{dP}\right)_T \quad ...(i)$$

न्यूनतम स्थिति के लिए

$$\left(\frac{d(PV)}{dP}\right)_T = 0 \quad ...(ii)$$

चूँकि $\left(\frac{dV}{dP}\right)_T = 0$ संभव नहीं है। अत: न्यूनतम स्थिति के लिए—

$$\frac{RT_b}{(V-b)^2} = \frac{a}{V^2}$$

या

$$RT.\frac{b}{a} = \left(1 - \frac{b}{V}\right)^2 \quad ...(iii)$$

समीकरण (iii) का मान समीकरण (i) में रखने पपर—

$$\frac{b}{a}\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V-b) = \left(1 - \frac{b}{V}\right)^2$$

सरल करने पर—

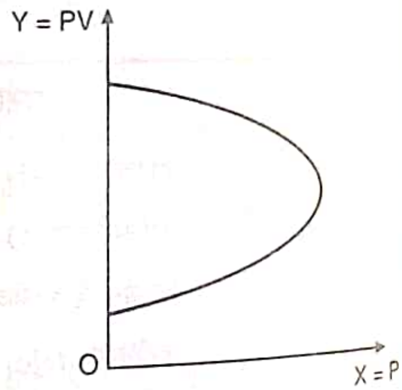
$$V = b\left(\frac{PV^2}{a} + 2\right)$$

दोनों ओर P से गुणा करने पर तथा $PV = \gamma$, $P = x$ रखने पर

$$Y = b\left(\frac{y^2}{a} + 2x\right)$$

या

$$Y(a - by) = 2abx$$



चित्र 2.4

उपरोक्त समीकरण locus of minima को प्रदर्शित करता है।

उपरोक्त समीकरण निम्न परवलय के पथ (Path of parabola) का अनुसरण करेगा।

अमागत का समीकरण 0°C से 100°C के बीच मान्य होता है।

2.9. अवस्था समीकरण (State Equation)

इसे लाक्षणिक समीकरण (Characteristic equation) भी कहते हैं। यह समीकरण अणुओं के बीच आन्तरिक आकर्षण वल के प्रभाव को प्रदर्शित करता है।

Study PowerPoint

अवस्था समीकरण निम्न है—

$$\frac{PV}{RT} = A_0 + A_1P + A_2P^2 + A_3P^3 + \ldots.$$

$$\frac{PV}{RT} = B_0 + \frac{B_1}{V} + \frac{B_2}{V^2} + \frac{B_3}{V^3} + \ldots.$$

जहाँ $A_0, A_1, \ldots..$ तथा B_0, B_1 = लाक्षणिक गुणांक। यह गुणांक तापमान का फलक होता है।

इस समीकरण का उपयोग गैसों के लिए (निम्न तथा मध्यम घनत्व) किया जाता है।

लाक्षणिक गुणांक का मान हम P-V-T के प्रयोगों से प्राप्त करते हैं।

2.10. द्रव्यमान अनुपात (Mass Fraction)

माना एक गैस विभिन्न अवयवों के मिश्रण से प्राप्त होती है। विभिन्न अवयव क्रमशः $a, b, c, d, \ldots.$ हैं। गैस का व्यमान m है।

$$m = m_a + m_b + m_c + m_d + \ldots\ldots = \Sigma m_i$$

जहाँ i = कुल अवयवों की संख्या

$$\Sigma \frac{M_i}{m} = \frac{m_a}{m} + \frac{m_b}{m} + \frac{m_c}{m} + \frac{m_d}{m} + \ldots\ldots$$

$$\Sigma \frac{M_i}{m} = \text{द्रव्यमान अनुपात}$$

द्रव्यमान अनुपात को γ_i द्वारा प्रदर्शित करते हैं।

$$\gamma_i = \frac{\Sigma M_i}{m} = \frac{m_a}{m} + \frac{m_b}{m} + \frac{m_c}{m} + \frac{m_d}{m} + \ldots\ldots$$

द्रव्यमान तथा मात्रा के आधार पर किसी गैस के मिश्रण का विश्लेषण, मात्रात्मक विश्लेषण कहलाता है।

2.11. आण्विक अनुपात (Mole Fraction)

अणुओं की संख्या के आधार पर किसी गैस के मिश्रण का विश्लेषण आणविक विश्लेषण (molecular analysis) हलाता है। माना कुल अणुओं की संख्या n है।

जहाँ n प्रत्येक अणु $a_1, a_2, a_3, a_4 \ldots\ldots$ का योग है।

$$n = n_{a_1} + n_{a_2} + n_{a_3} + n_{a_4} + \ldots\ldots = \Sigma n_i$$

i = कुल अणुओं की संख्या

$$\frac{n_{a_1}}{n} + \frac{n_{a_2}}{n} + \frac{n_{a_3}}{n} + \frac{n_{a_4}}{n} + \ldots\ldots = \frac{\Sigma n_i}{n}$$

$\frac{\Sigma n_i}{n}$ को आणविक अनुपात कहते हैं।

इसे x_i द्वारा प्रदर्शित करते हैं।

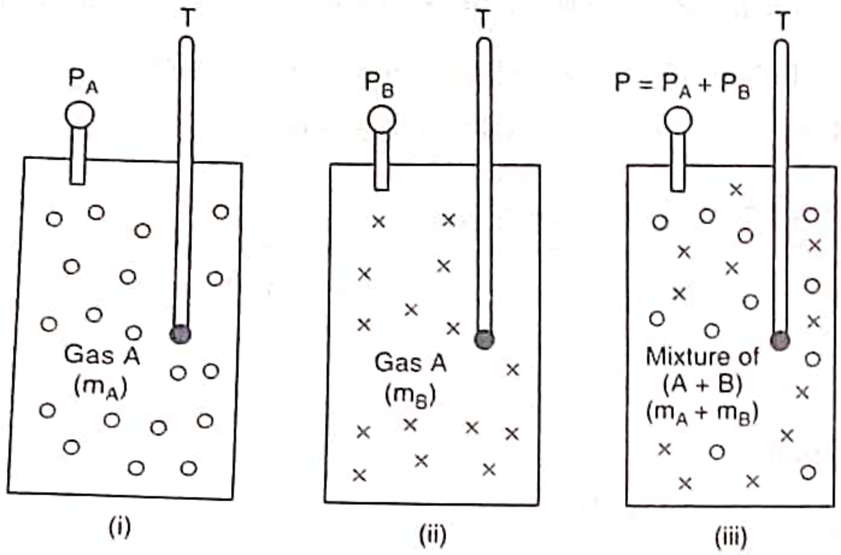
Study PowerPoint

❑ 2.12. आंशिक दाब (Partial Pressure)

बल प्रति क्षेत्रफल को दाब कहते हैं। इसका मात्रक N/m^2 होता है।

आंशिक दाब को डाल्टन (Dalton) द्वारा परिभाषित किया गया था।

डाल्टन के अनुसार आंशिक दाब, किसी निश्चित तापमान तथा दाब द्वारा किसी आयतन के पात्र में मिश्रण उत्सर्जित दाब को आंशिक दाब कहते हैं।



चित्र 2.4

आंशिक दाब को आरेख द्वारा भी प्रदर्शित किया जा सकता है—

माना गैस A तथा B जिसका तापमान T तथा दाब क्रमश: P_A तथा P_B है तथा आयतन V है।

द्रव्यमान के अनुसार

$$m = m_A + m_B$$

डाल्टन के अनुसार

$$P = P_A + P_B$$

डाल्टन का आंशिक दाब का नियम प्रयोगों पर आधारित है तथ यह निम्न दाब पर गैसों के मिश्रण के लिए उप होता है।

❑ 2.13. गैसों की सम्पीड्यता (Compressibility of Gas)

सामान्यत: सभी गैस सम्पीड्य होती हैं। गैसों की सम्पीड्यता को दो वर्गों में विभाजित किया गया है—

(i) समतापीय सम्पीड्यता (Isothermal compressibility)

(ii) रूद्धोष्म सम्पीड्यता (Adiabatic compressibility)

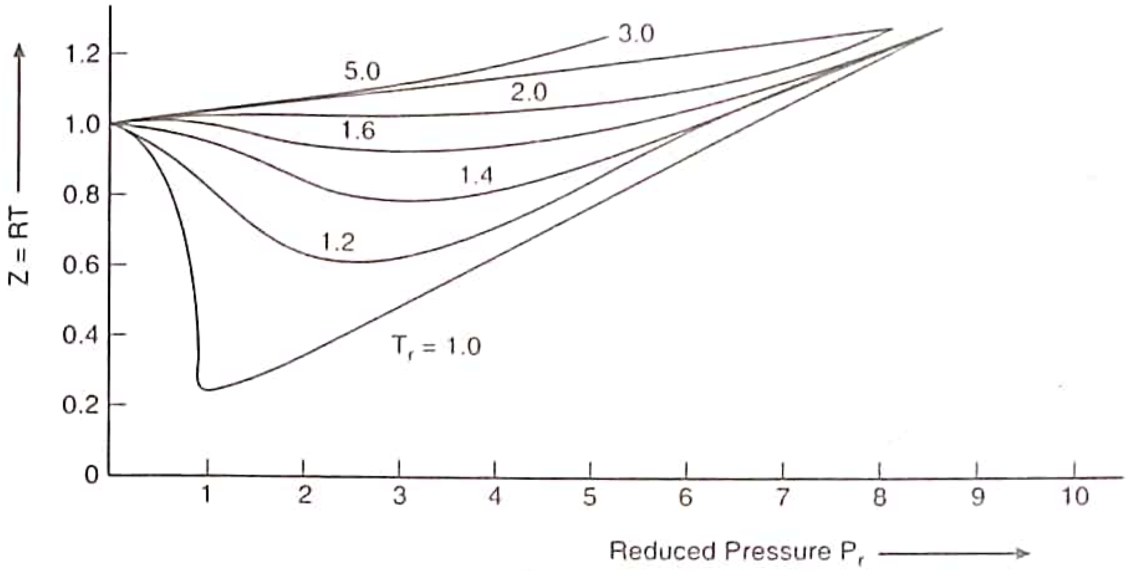
सम्पीड्यता गुणांक (Compressibility factor)—किसी गैस का सम्पीड्यता गुणांक दो गुणों का फलक होत सामान्यत: दाब एवं तापमान।

इस प्रकार कि $Z = f(T_r, P_r)$ क्रांतिक बिन्दु के पहले तक Z का सदैव एक से कम या एक से ज्यादा होता है।

सम्पीड्यता चार्ट सामान्यत: Z एवं P_r के बीच खींचा जाता है।

Study PowerPoint

उदाहरण—



चित्र 2.5

सारांश

- **आदर्श गैस**—वह गैस जो किसी की दाब एवं तापमान के मध्य गैस के नियम का अनुसरण करे, आदर्श गैस कहलाती है।
- **वास्तविक गैस**—वह गैस जो गैस के नियम का अनुसरण नहीं करती है, वास्तविक गैस कहलाती है।
- **P-V-T** सतह : आदर्श गैस के सम्वन्ध में दाब, तापमान एवं आयतन को तीन लम्बवत् अक्षों पर रखा जाए तो हमें एक सतह प्राप्त होती है, जो $PV = RT$ को परिभाषित करता है। इस प्रकार की सतह को P-V-T सतह कहते हैं।
- **आदर्श गैस की आंतरिक ऊर्जा एवं एन्थालपी**

$$v = h = f(T)$$

- **ट्रिपल विन्दु**
- वह विन्दु जहाँ सवलिमेशन वक्र, वाष्पीकरण वक्र आकर आपस में मिलते हैं, ट्रिपल विन्दु कहलाता है।
- **वान्डर वाल समीकरण**

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT$$

- **अमागत समीकरण**

$$Y(a - by) = 2abx$$

- **अवस्था समीकरण**

$$\frac{PV}{RT} = A_0 + A_1 P + A_2 P^2 + A_3 P^3 + \ldots\ldots$$

$$\frac{PV}{RT} = B_0 + \frac{B_1}{V} + \frac{B_2}{V^2} + \frac{B_3}{V^3} + \ldots\ldots$$

- **द्रव्यमान अनुपात**
- इसे Y_i द्वारा प्रदर्शित करते हैं।

$$Y_i = \frac{\Sigma M_i}{M} = \frac{m_a}{m} + \frac{m_b}{m} + \frac{m_c}{m} + \frac{m_a}{m} + \ldots..$$

Study PowerPoint

- **आण्विक अनुपात**
- **इसे x_i द्वारा प्रदर्शित करते हैं।**

$$x_i = \frac{n_{a_1}}{n} + \frac{n_{a_2}}{n} + \frac{n_{a_3}}{n} + \frac{n_{a_4}}{n} + \ldots\ldots$$

- **आंशिक दाब**

$$P = P_a + P_B$$

- **गैसों की सम्पीड्यता**

$$Z = f(T_r, P_r)$$

- **आदर्श गैस**–वह गैस जो किसी ऊष्मागतिकी प्रक्रम के अधीन अपनी अवस्था परिवर्तन नहीं करती है, आदर्श गैस कहलाती है।
- **आदर्श गैस के नियम**

(i) बॉयल का नियम (Boyle's law)

इस नियम के अनुसार–

$$V \propto \frac{1}{P}$$

$$PV = C$$

(ii) चार्ल्स का नियम

इस नियम के अनुसार

$$V \propto T$$

$$V/T = C$$

(iii) गे-लुसॉक का नियम

इस नियम के अनुसार

$$P \propto T$$

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

(iv) रेग्नॉल्ट का नियम

इस नियम के अनुसार

$$V_t = V_0 \times \frac{T}{T_0}$$

- **सार्वत्रिक गैस नियतांक**

$$R_0 = 8314.31 \text{ J/kg mole K}$$

$$R = \frac{8314.31}{M} \text{ J/kg K}$$

- **विशिष्ट गैस समीकरण**

$$PV = mRT$$

P = गैस का दाब

V = गैस का आयतन

m = गैस का द्रव्यमान

Study PowerPoint

R = सार्वत्रिक गैस नियतांक

T = गैस का तापमान

- **विशिष्ट ऊष्मा**–किसी पदार्थ की निश्चित संहति का तापमान 1° बढ़ाने के लिए दी जाने वाली ऊष्मा की मात्रा को विशिष्ट ऊष्मा कहते हैं।

विशिष्ट ऊष्मा स्थिर दाब पर $C_p = \dfrac{dQ}{mdT}$ kJ/kg K

विशिष्ट ऊष्मा स्थिर आयतन पर $C_v = \dfrac{dQ}{mdT}$ kJ/kg K

- **C_p एवं C_v में संबंध**

$$C_p - C_v = R$$

हल सहित उदाहरण

उदाहरण 1. एक स्टील फ्लास्क 0.04 m^3 क्षमता का है जिसमें नाइट्रोजन को 120 bar पर 20°C पर रखा गया है। फ्लास्क को इस प्रकार सुरक्षा प्रदान की गई है कि दाब तापमान नियम बना रहे। निम्न की गणना कीजिए–

नाइट्रोजन की मात्रा kg में।

हल : क्षमता $V = 0.04\ m^3$

दाब $P = 120$ bar

तापमान $T = 20 + 273 = 293$ K

नाइट्रोजन का आणविक भार $M = 28$

$$= \frac{R_0}{M}$$

$$= \frac{8314}{28}$$

$$= 296.90 \text{ J/kg K}$$

यदि नाइट्रोजन को आदर्श गैस मान लें तो—

$$PV = mRT$$

$$m = \frac{PV}{RT} = \frac{120 \times 10^5 \times 0.04}{296.9 \times 293}$$

$m =$ **5.51 kg** **Ans.**

उदाहरण 2. एक गोलाकार आकृति का गुब्बारा जिसका व्यास 6 m है में हाइड्रोजन गैस 1 abs तथा 20°C पर भरा है। थोड़े समय पश्चात् दाब 0.94 भाग वास्तविक दाब का रह जाता है उसी तापमान पर। निम्न की गणना कीजिए—

(i) यदि गुब्बारे की विमाएँ नहीं बदलती हैं तो गैस का वास्तविक द्रव्यमान ज्ञात कीजिए जो बाहर निकलता है।

(ii) स्थिर आयतन पर दाब में गिरावट के लिए आवश्यक ऊष्मा निस्तारण की मात्रा।

हल : (i) $\Delta m = m_1 - m_2$

$$= \frac{P_1V_1}{RT_1} = \frac{P_2V_2}{RT_2}$$

$$= \frac{V_1}{RT_1}(P_1 - P_2) \qquad \because V_1 = V_2,\ T_1 = T_2$$

Study PowerPoint

एवं $P_2 = 0.94\,P_1$

$$= \frac{V_1}{RT_1}(P_1 - 0.94\,P_1)$$

$$= \frac{P_1V_1}{RT_1}(1 - 0.94)$$

द्रव्यमान निस्तारण प्रतिशत

$$= \frac{\Delta m}{m_1} \times 100$$

$$= \frac{\frac{P_1V_1}{RT_1}(1-0.94)}{\frac{P_1V_1}{RT_1}}$$

$$= 6\%$$

(ii) आवश्यक ऊष्मा निस्तारण की मात्रा

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{0.94P_1}{T_2} \qquad [\because V_1 = V_2 \text{ and } P_2 =$$

$$Q = mC_v(T_1 - T_2)$$

$$m = \frac{P_1V_1}{RT_1} = \frac{1\times10^5 \times \frac{4}{3}\pi \times 3^3}{\frac{8314}{2} \times 293}$$

$$m = 9.28\text{ kg}$$

$$mR = 8314$$

$$R = \frac{8314}{2}$$

m for $H_2 = 2$

$C_v = 10400$ J/kg K H_2 के लिए

$$Q = 9.28 \times 10400(293 - 275.4)$$

$$Q = \mathbf{1.69\ kJ}$$

Study PowerPoint

उत्तर— $P_1 = 1.33$ bar, $P_2 = 2.11$ bar

2. सिलेण्डर में गैस भरी है जिसकी विशिष्टयाँ निम्न हैं—
   (i) गैस का प्रारम्भिक तापमान = 20°C
   (ii) प्रारम्भिक दाब = 1.5 bar
   (iii) प्रारम्भिक आयतन = 0.1 m^3
   (iv) अंतिम दाब = 7.5 bar
   (v) अंतिम आयतन = 0.04 m^3

   गैस का अंतिम तापमान ज्ञात कीजिए।

   उत्तर— 586 K

3. एक मृदु इस्पात (mild steel) के टुकड़े को 115°C तक गर्म किया जाता है जिसका द्रव्यमान 5 kg है। इस टुकड़े को एक बंद पात्र में 30 kg पानी जो 20°C पर है में डाल दिया जाता है। पात्र की बाहरी दीवारें कुचालक पदार्थों की बनी हैं। गर्म टुकड़ों को डालने से पानी के तापमान में 35°C की बढ़ोत्तरी होती है। मृदु-इस्पात के लिए विशिष्ट ऊष्मा का मान ज्ञात कीजिए।

   उत्तर—0.96 kJ/kg-k

4. एक गैस के लिए C_p = 1.96 kJ/kg-k, C_v = 1.5 kJ/kg-k है। 0.3 मी^{3} के एक नियत आयतन के कक्ष में यह 2 kg गैस 5°C पर भरी जाती है। इस गैस को तब तक गर्म किया जाता है जब तक इसका तापमान 100°C नहीं हो जाता। किए गए कार्य, दी गई ऊष्मा, आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन, मोलर द्रव्यमान तथा नियतांक ज्ञात कीजिए।

   उत्तर— 0.285 kJ, 285 kJ, 18 kg, 0.46 kJ/kg-k

5. 5m^3 क्षमता वाले पात्र में 25 मोलर द्रव्यमान वाली 20 kg गैस भरी है। यदि गैस का तापमान 1°C हो तो इसका दाब ज्ञात करो।

   उत्तर— 3.83 bar

सैद्धान्तिक प्रश्न

1. आदर्श गैस को परिभाषित कीजिए।
2. निम्न नियमों को विस्तार से समझाइए।
   (a) बॉयल का नियम
   (b) चार्ल्स का नियम
   (c) गे-लुॅसाक का नियम
   (d) रेग्नाल्ट का नियम
3. सार्वजनिक गैस स्थिरांक को परिभाषित कीजिए।
4. मोल को परिभाषित कीजिए।
5. ऐवोगेड्रो की संख्या को समझाइए।
6. ऐवोगेड्रो का नियम लिखिए।
7. सार्वत्रिक गैस स्थिरांक का मान ज्ञात कीजिए।
8. सामान्य गैस समीकरण क्या है।
9. विशिष्ट ऊष्मा को परिभाषित कीजिए।

Study PowerPoint

10. C_p तथा C_v में संबंध लिखिए।
11. आदर्श गैस एवं वास्तविक गैस को परिभाषित कीजिए।
12. P-V-T सतह क्या है?
13. आदर्श गैस की विशिष्ट नियम को समझाइए।
14. आदर्श गैस की आंतरिक ऊर्जा एवं एन्थाल्पी में संबंध स्पष्ट कीजिए।
15. ट्रिपल बिन्दु क्या है?
16. वान्डर वाल समीकरण को समझाइए।
17. अमागत प्रयोग लिखिए।
18. अवस्था समीकरण समझाइए।
19. द्रव्यमान अनुपात तथा आणविक अनुपात को परिभाषित कीजिए।
20. आंशिक दाब क्या है?
21. गैसों की सम्पीड्यता को समझाइए।

✦ वस्तुनिष्ठ प्रश्न

1. आदर्श गैस होती है—
   (a) अवस्था परिवर्तन नहीं करती
   (b) $PV = C$ का अनुसरण करती है।
   (c) अवस्था परिवर्तन करती है।
   (d) a and b
2. बायल के नियम के अनुसार—
   (a) $P_1V_1 = P_2V_2$
   (b) $\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$
   (c) $\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$
   (d) इनमें से कोई नहीं
3. चार्ल्स के नियम के अनुसार—
   (a) $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$
   (b) $P_1V_1 = P_2V_2$
   (c) $\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$
   (d) $\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$
4. गे-लुसाक के नियम के अनुसार—
   (a) $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$
   (b) $\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$
   (c) $\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$
   (d) a and b
5. n का मान होता है—
   (a) $\frac{m}{M}$
   (b) $\frac{M}{m}$
   (c) $m \times M$
   (d) इनमें से कोई न
6. पदार्थ में अणुओं की संख्या होती है—
   (a) 6.02×10^{26}
   (b) 6.02×10^{-26}
   (c) n
   (d) इनमें से कोई न
7. R_0 का मान होता है—
   (a) 8.314 kJ/kg mole K
   (b) 8314 J/kg mole K
   (c) a and b
   (d) इनमें से कोई नहीं है
8. R का मात्रक है—
   (a) kJ/kg K
   (b) kJ/kg°C
   (c) kJ/kg mole K
   (d) सभी

Study PowerPoint

9. विशिष्ट गैस समीकरण होता है—

(a) $PV = mRT$ (b) $\frac{PV}{T} = C$ (c) $PV = C$ (d) सभी

10. C_p एवं C_v में संबंध होता है—

(a) $C_p + C_v = R$ (b) $\frac{C_p}{C_v} = \gamma$ (c) $C_p \times C_v = R$ (d) $C_p - C_v = R$

11. आदर्श गैस वह होती है—

(a) गैस के नियम का अनुसरण करे (b) गैस के नियम का अनुसरण न करे
(c) a and b (d) कोई नहीं

12. वास्तविक गैस वह होती है—

(a) गैस के नियम का अनुसरण करे (b) गैस के नियम का अनुसरण न करे
(c) a and b (d) कोई नहीं

13. आंशिक दाब होती है—

(a) $P = P_a + P_b$ (b) $P = \frac{1}{P_a + P_b}$ (c) $P = \frac{P_a + B_b}{P_a}$ (d) $P = \frac{P_a + P_b}{P_b}$

14. वान्डर वाल समीकरण होता है—

(a) $\left(P + \frac{a}{v^2}\right)(V - b) = RT$ (b) $\left(P - \frac{a}{v^2}\right)(V - b) = RT$
(c) $\left(P + \frac{a}{v^2}\right)(v + b) = RT$ (d) $\left(P + \frac{a}{v}\right)(v - b) = RT$

15. Z का मान होता है—

(a) 1 से कम (b) 1 से ज्यादा (c) 1 के बराबर (d) a and b दोनों

उत्तरमाला

1.	(d)	2.	(a)	3.	(a)	4.	(d)	5.	(a)	6.	(a)	7.	(c)	8.	(a)	9.	(a)	10.	(d)
11.	(a)	12.	(b)	13.	(a)	14.	(a)	15.	(d)										

❑❑❑

Study PowerPoint

3 गैसों पर ऊष्मागतिकी प्रक्रम

(Thermodynamic Process on Gases)

❑ 3.1. परिचय (Introduction)

इस अध्याय में हम गैसों पर विभिन्न प्रकार के प्रक्रम तथा उनके प्रभावों का अध्ययन करेंगे। इस अध्याय में हम पथ, प्रक्रम, प्रवाह, प्रतिवर्त्य तथा अप्रतिवर्त्य प्रक्रम, अप्रवाह प्रक्रम तथा प्रवाह प्रक्रम का अध्ययन करेंगे।

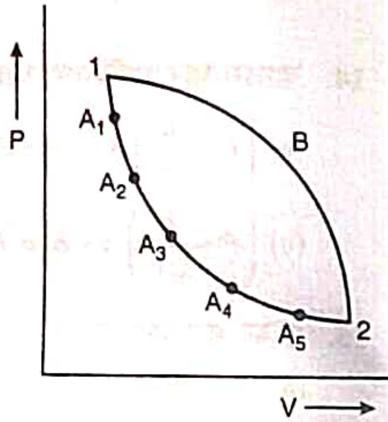
❑ 3.2. ऊष्मागतिकी पथ एवं प्रक्रम

जब कोई निकाय अपनी किसी एक साम्यावस्था से दूसरी साम्यावस्था में जाती है तब वह जिस मार्ग का अनुसरण करती है, उसे ऊष्मागतिकी पथ कहते हैं।

निकाय द्वारा इस पथ पर चलने की प्रक्रिया को ऊष्मागतिकी प्रक्रम कहते हैं। उदाहरण के लिए कोई निकाय 'A' अपनी '1' साम्यावस्था से '2' साम्यावस्था तक पहुँचने के लिए A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 का अनुसरण करती है।

$1-A_1-A_2-A_3-A_4-A_5-2$ किसी ऊष्मागतिकी निकाय का पथ है तथा 1 अवस्था से 2 अवस्था के बीच होने वाले प्रक्रम को ऊष्मागतिकी प्रक्रम कहते हैं।

चक्रीय प्रक्रम—जब कोई निकाय विभिन्न ऊष्मागतिकी पथ का अनुसरण करते हुए अपनी प्रारम्भिक अवस्था में पहुँच जाती है, तो इस प्रक्रम को चक्रीय प्रक्रम कहते हैं।



चित्र 3.1

उदाहरण के लिए चित्र में $1-A_1-A_2-A_3-A_4-A_5-2-B-1$ एक चक्रीय प्रक्रम है।

नोट—ऊष्मागतिकी में चक्रीय प्रक्रम का विशेष महत्व होता है। विभिन्न उपकरण जो चक्रीय प्रक्रम पर आधारित हैं, निम्नलिखित हैं—अंतर्दहन इंजन, वाष्प इंजन, वाष्पशक्ति संयंत्र, गैस टरबाइन शक्ति संयंत्र, संपीडक, रेफ्रिजरेटर आदि।

विभिन्न प्रकार के ऊष्मागतिकी प्रक्रम निम्नलिखित हैं—

(i) स्थिर आयतन प्रक्रम या समआयतनिक प्रक्रम (Constant volume or Isochoric process)

(ii) स्थिर दाव प्रक्रम या समदाबी प्रक्रम (Constant pressure or Isobaric process)

(iii) स्थिर तापमान प्रक्रम या समतापी प्रक्रम (Constant temperature or Isothermal process)

(iv) स्थिर एण्ट्रापी प्रक्रम या रुद्धोष्म प्रक्रम (Constant Entropy or Adiabatic process)

(v) बहुविधि प्रक्रम (Polytropic process)

(vi) थ्राटलिंग प्रक्रम (Throttling process)

(vii) मुक्त प्रसारण प्रक्रम (Free Expansion process)

(viii) अतिपरवलयिक प्रक्रम (Hyperbolic process)

Study PowerPoint

3.3. प्रवाह एवं अप्रवाह प्रक्रम (Flow Proces and Non-Flow Process)

प्रवाह प्रक्रम—वह प्रक्रम जिसे द्रव्यमान, ऊष्मा तथा कार्य तीनों निकाय की परिसीमा के आर-पार आ जा सके प्रवाह क्रम कहलाते हैं।

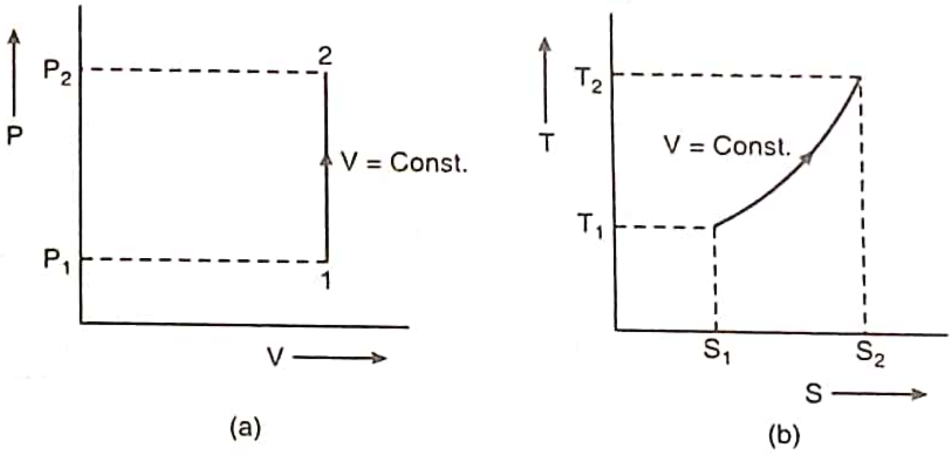
प्रवाह प्रक्रम खुले निकाय में पाया जाता है। यह स्थिर तथा अस्थिर दोनों हो सकता है।

अप्रवाह प्रक्रम—वह प्रक्रम जिसमें सिर्फ ऊर्जा निकाय की परिसीमा से बाहर आ जा सके अप्रवाह प्रक्रम कहलाता अप्रवाह प्रक्रम बंद निकाय में पाया जाता है।

3.4. विभिन्न ऊष्मागतिकी प्रक्रम (Differential Thermodynamic Process)

) स्थिर आयतन प्रक्रम या सम आयतनिक प्रक्रम

निकाय की सभी साम्यावस्था के लिए इस ऊष्मागतिकी प्रक्रम में आयतन स्थिर होता है। स्थिर आयतन पर m kg का दर्श गैस प्रक्रम 1 से प्रक्रम 2 तक जाता है जैसा कि चित्र (a) एवं (b) में प्रदर्शित है।



चित्र 3.2

माना निकाय में आदर्श गैस का प्रारम्भिक दाब, तापमान एवं आयतन क्रमशः P_1, T_1, V_1 हैं तथा निकाय में आदर्श गैस अंतिम दाब, तापमान एवं आयतन क्रमशः P_2, T_2, V_2 हैं। कुछ प्रमुख ऊष्मागतिकी सम्बन्ध निम्नलिखित हैं—

(i) $P-V-T$ में सम्बन्ध

सामान्य गैस समीकरण से

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \qquad \because V_1 = V_2$$

$$\therefore \boxed{\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}} \quad \text{या} \quad \boxed{\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}}$$

(ii) गैस द्वारा किया गया कार्य W_{1-2}

हम जानते हैं कि $\delta W = PdV$

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

$$W_{1-2} = P(V_2 - V_1) \qquad [\because V_2 - V_1 = 0]$$

$$\boxed{W_{1-2} = 0}$$

अतः इस प्रक्रम में गैस द्वारा निकाय पर कोई कार्य नहीं किया जाता है।

Study PowerPoint

(iii) आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन ($U_1 - U_2$)

हम जानते हैं कि $$dU = mC_V\,dT$$

$$\int_1^2 dU = mC_V \int dT$$

$$\boxed{U_{1-2} = mC_V (T_2 - T_1)}$$

(iv) प्रदत्त ऊष्मा (Q_{1-2})

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम के अनुसार

$$dQ = dU + dW$$

हम जानते हैं कि $$dW = 0$$

अत: $$dQ = dU$$

$$\boxed{Q_{1-2} = mC_V (T_2 - T_1)}$$

इस प्रक्रम में प्रदत्त ऊष्मा की कुल मात्रा आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तित हो जाती है।

(v) एन्थालपी में परिवर्तन ($H_2 - H_1$)

$$H_2 - H_1 = U_2 - U_1 + P_2V_2 - P_1V_1 \qquad \because PV = mR$$

$$H_2 - H_1 = mC_V (T_2 - T_1) + mR (T_2 - T_1)$$

$$H_2 - H_1 = m (T_2 - T_1)[C_V + R] \qquad \because R = C_P -$$

$$H_2 - H_1 = m (T_2 - T_1)[C_V + C_P - C_V]$$

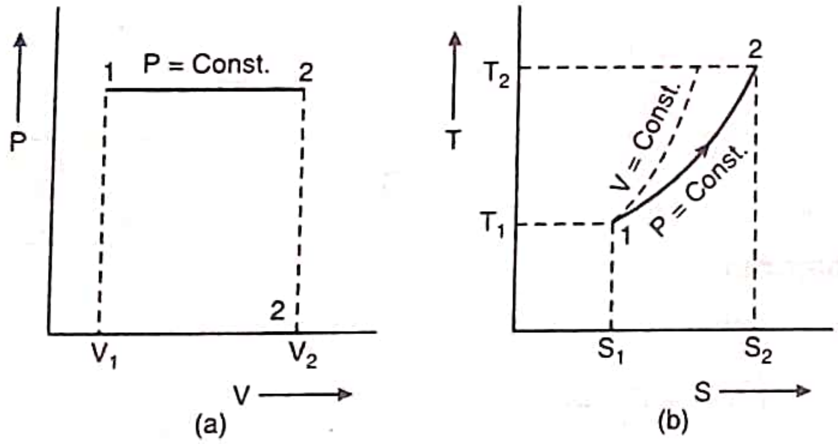
$$\boxed{H_2 - H_1 = mC_p (T_2 - T_1)}$$

नोट— • इस प्रक्रम में निकाय पर कार्य नहीं प्राप्त होता है।
• इस प्रक्रम में आंतरिक ऊर्जा में बढ़ोत्तरी होती है।

(ii) स्थिर दाब प्रक्रम या समदाबी प्रक्रम

निकाय की सभी साम्यावस्था के लिए इस ऊष्मागतिकी प्रक्रम में दाब स्थिर होता है।

स्थिर दाब पर m kg का आदर्श गैस प्रक्रम 1 से प्रक्रम 2 तक जाता है जैसा कि चित्र (a) एवं चित्र (b) में दि गया है।



चित्र 3.3

माना निकाय में आदर्श गैस का प्रारम्भिक दाब, तापमान एवं आयतन क्रमशः P_1, T_1, V_1 हैं तथा निकाय में आदर्श का अन्तिम दाब, तापमान एवं आयतन क्रमशः P_2, T_2, V_2 हैं। कुछ प्रमुख ऊष्मागतिकी सम्बन्ध अग्रलिखित हैं—

Study PowerPoint

(i) $P-V-T$ में सम्बन्ध—

सामान्य गैस समीकरण से,

$$\frac{P_1V_1}{T_1}=\frac{P_2V_2}{T_2} \qquad \therefore P_1=P_2$$

$$\therefore \boxed{\frac{V_1}{T_1}=\frac{V_2}{T_2}} \quad \text{या} \quad \boxed{\frac{V_1}{V_2}=\frac{T_1}{T_2}}$$

(ii) गैस द्वारा किया गया कार्य W_{1-2}

हम जानते हैं कि

$$\delta W = P.dV$$

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

$$W_{1-2}=P(V_2-V_1)$$

$$W_{1-2}=PV_2-PV_1 \qquad [\because PV=mRT]$$

$$\boxed{W_{1-2}=mR\,(T_2-T_1)}$$

(iii) आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन (U_1-U_2)

हम जानते हैं कि

$$dV=mC_v dT$$

$$\int_1^2 dU = mC_v\int_1^2 dT$$

$$\boxed{U_1-U_2=mC_v(T_2-T_1)}$$

(iv) प्रदत्त ऊष्मा (Q_{1-2})

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम के अनुसार

$$dQ=dU+dW$$

$$dQ=mC_v dT+mRdT$$

$$Q_{1-2}=mC_v(T_2-T_1)+mR\,(T_2-T_1)$$

$$\boxed{Q_{1-2}=mC_p(T_2-T_1)} \qquad [\therefore R=C_p-C_v]$$

(v) एन्थालपी में परिवर्तन (H_2-H_1)

$$H_2-H_1=U_2-U_1+P_2V_2-P_1V_1$$

$$H_2-H_1=mC_v(T_2-T_1)+mR\,(T_2-T_1)$$

$$H_2-H_1=m\,(T_2-T_1)(C_v+R) \qquad [\because C_p-C_v=R]$$

$$\boxed{H_2-H_1=mC_p(T_2-T_1)}$$

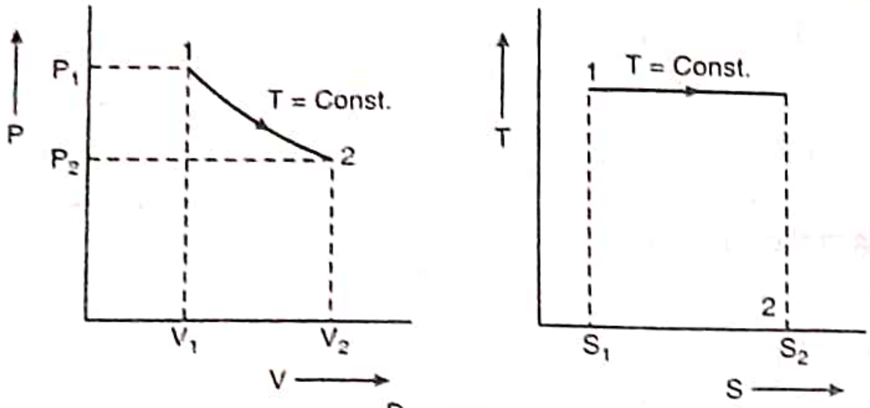
नोट— • आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन सभी प्रक्रम के लिए समान होता है, केवल समतापीय प्रक्रम में शून्य होता है।
• एन्थालपी में परिवर्तन सभी प्रक्रम के लिए समान होता है, केवल समतापी प्रक्रम में शून्य होता है।

(iii) स्थिर तापमान प्रक्रम या समतापीय प्रक्रम

निकाय की सभी साम्यावस्था के लिए इस ऊष्मागतिकी प्रक्रम में तापमान स्थिर रहता है।

Study PowerPoint

स्थिर तापमान पर m kg का आदर्श गैस प्रक्रम 1 से प्रक्रम 2 तक जाता है जैसा कि चित्र (a) एवं चित्र (b) में दि गया है।



चित्र 3.4

माना निकाय में आदर्श गैस का प्रारम्भिक दाब, तापमान एवं आयतन क्रमश: P_1, V_1, T_1 हैं तथा निकाय में आद का अन्तिम दाब, तापमान एवं आयतन क्रमश: P_2, V_2, T_2 हैं।

कुछ प्रमुख ऊष्मागतिकी सम्बन्ध निम्नलिखित हैं—

(i) $P-V-T$ में सम्बन्ध

सामान्य गैस समीकरण से

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \qquad \therefore T_1 = T_2$$

$$\therefore \quad \boxed{P_1V_1 = P_2V_2} \quad \text{या} \quad PV = C$$

(ii) गैस द्वारा किया गया कार्य W_{1-2}

हम जानते हैं कि— $\quad \delta W = PdV$

अवस्था 1 से अवस्था 2 के बीच

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

$$W_{1-2} = P\int_1^2 dV$$

और

$$PV = c$$

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

P का मान समीकरण (2) से समीकरण (1) में रखने पर,

$$W_{1-2} = \int_1^2 \frac{c}{V}dV = c\int_1^2 \frac{1}{V}dV$$

$$W_{1-2} = c\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) \qquad [\because PV = c =$$

$$W_{1-2} = P_1V_1\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) \qquad \left[\because P_1V_1 = P_2V_2 \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} =\right.$$

$$W_{1-2} = P_1V_1\ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) \qquad [\because P_1V_1 =$$

Study PowerPoint

$$W_{1-2} = mRT \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right)$$

$$\boxed{W_{1-2} = 2.303\, mRT \log\left(\frac{P_1}{P_2}\right)}$$

$$\boxed{W_{1-2} = 2.303\, mRT \log\left(\frac{V_2}{V_1}\right)}$$

(iii) आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन ($U_1 - U_2$)

हम जानते हैं कि

$$dU = mC_v dT$$

$$\int_1^2 dU = mC_v \int_1^2 dT$$

$$U_1 - U_2 = mC_v (T_2 - T_1) \qquad \because T_2 - T_1 = 0$$

$$\therefore \quad \boxed{U_1 - U_2 = 0}$$

(iv) प्रदत्त ऊष्मा (Q_{1-2})

$$dQ = dU + dW \qquad \because dU = 0$$

$$\therefore \quad \boxed{dQ = dW}$$

इस प्रक्रम से सम्पूर्ण ऊष्मा कार्य में परिवर्तित हो जाती है। अत: निकाय की गैसें आदर्श की तरह व्यवहार करती हैं।

(v) एन्थालपी में परिवर्तन ($H_2 - H_1$)

पिछले अनुच्छेदों से हमें ज्ञात है कि

$$H_2 - H_1 = mC_p (T_2 - T_1) \qquad \because T_2 - T_1 = 0$$

अत:

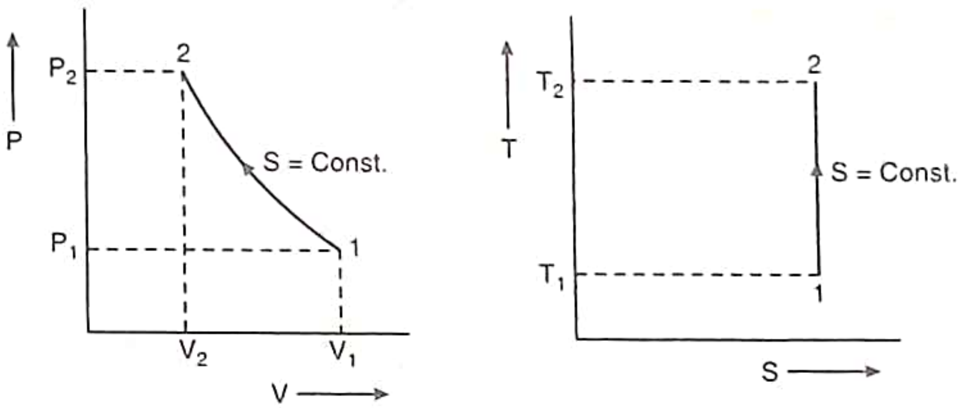
$$H_2 - H_1 = 0$$

(iv) स्थिर एण्ट्रॉपी प्रक्रम या रूद्धोष्म प्रक्रम

इस प्रक्रम में एण्ट्रॉपी स्थिर होती है। इस प्रक्रम में निकाय में परिवेश द्वारा किसी प्रकार का ऊष्मा का अंतरण नहीं होता है। ऊष्मा अंतरण की दृष्टि से निकाय कुचालक माना जाता है।

माना निकाय में आदर्श गैस का प्रारम्भिक दाब, तापमान एवं आयतन क्रमश: P_1, T_1, V_1 हैं तथा निकाय में आदर्श गैस का अंतिम दाब, तापमान एवं आयतन क्रमश: P_2, T_2, V_2 है।

कुछ प्रमुख ऊष्मागतिकी सम्बन्ध निम्नलिखित है—



चित्र 3.5

Study PowerPoint

(i) $P-V-T$ में सम्बन्ध

हम जानते हैं कि

$$\delta Q = dW + dU \qquad \text{[ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम से]}$$

$\because \quad dQ = 0$

$\therefore \quad dW + dU = 0 \qquad [\because \delta W = PdV,\ dU = mC_v dT]$

$$pdV + mC_v dT = 0$$

आदर्श गैस समीकरण से,

$$PV = mRT$$

उपरोक्त समीकरण का अवकलन (Differentiation) करने पर,

$$pdV + VdP = mRdT$$

$$dT = \frac{PdV + VdP}{mR}$$

dT का मान समीकरण (2) से समीकरण (1) में रखने पर,

$$PdV + mC_v \times \left(\frac{PdV + VdP}{mR}\right) = 0$$

$$\Rightarrow \quad \frac{m[PdV \times R + C_v(PdV + VdP)]}{mR} = 0$$

$$\Rightarrow \quad PdV \times R + C_v PdV + C_v VdP = 0$$

$$\Rightarrow \quad (C_p - C_v)PdV + C_v PdV + C_v VdP = 0 \qquad [\because C_p - C_v =$$

$$\Rightarrow \quad C_p PdV - C_v PdV + C_v PdV + C_v VdP = 0$$

$$\Rightarrow \quad C_p PdV + C_v VdP = 0 \qquad \ldots$$

समीकरण (3) को PVC_v से भाग देने पर

$$\Rightarrow \quad \frac{C_p PdV}{PVC_v} + \frac{C_v VdP}{P_v C_v} = 0$$

$$\Rightarrow \quad \frac{C_p dV}{C_v V} + \frac{dP}{P} = 0 \qquad \left[\because \frac{C_p}{C_v} = \right.$$

$$\Rightarrow \quad \gamma \frac{dV}{V} + \frac{dP}{P} = 0 \qquad \ldots($$

समीकरण (4) का समाकलन करने पर,

$$\ln P + \lambda \ln v = c$$

or $\quad \boxed{PV^{\gamma} = c}$

or $\quad P_1 V_1^{\gamma} = P_2 V_2^{\gamma}$

or $\quad \boxed{\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma}}$

or $\quad \boxed{\frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{1/\gamma}}$

Study PowerPoint

सामान्य गैस समीकरण से—

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{P_2V_2}{P_1V_1} = \frac{V_2 / V_1}{P_1 / P_2} = \frac{V_2 / V_1}{(V_2 / V_1)^{\gamma}}$$

or
$$\boxed{\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{1-\gamma}}$$

or
$$\boxed{\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}}$$

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

(ii) गैस द्वारा किया गया कार्य W_{1-2}

हम जानते हैं कि

$$\delta W = PdV$$

$$\int_1^2 dW = P\int_1^2 dV \qquad ...(1)$$

उपरोक्त से हमें ज्ञात है

$$PV^{\gamma} = c \qquad \Rightarrow \qquad P = \frac{c}{V^{\gamma}} \qquad ...(2)$$

P का मान समीकरण (2) से समीकरण (1) में रखने पर,

$$W_{1-2} = c\int_1^2 \frac{dv}{V^{\gamma}}$$

$$= c\int_1^2 V^{-\gamma} dv$$

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

हमें ज्ञात है
$$P_1V_1^{\gamma} = P_2V_2^{\gamma} = c$$

$$W_{1-2} = \frac{P_2V_2^{\gamma}V_2^{-\gamma+1} - P_1V_1^{\gamma}V_1^{-\gamma+1}}{1-\gamma}$$

$$\boxed{W_{1-2} = \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{1-\gamma}}$$

$$\boxed{W_{1-2} = \frac{mR\,(T_2 - T_1)}{1-\gamma}} \qquad [\because Pv = mRT]$$

(iii) आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन ($U_1 - U_2$)

हम जानते हैं कि

Study PowerPoint

$$dU = mC_v dT$$

$$\boxed{U_1 - U_2 = mC_v(T_2 - T_1)}$$

(iv) प्रदत्त ऊष्मा Q_{1-2}

चूँकि इस प्रक्रम में ऊष्मा अंतरण नहीं होता है।

$\therefore$ $$\boxed{dQ = 0}$$

(v) एन्थालपी में परिवर्तन $(H_2 - H_1)$

पिछले अनुच्छेदों से हमें ज्ञात है

$$\boxed{H_2 - H_1 = mC_p(T_2 - T_1)}$$

नोट— • इस प्रक्रम में जब गैसों का प्रसारण होता है तब तापमान घटता है क्योंकि आंतरिक ऊर्जा प्रयोग होती
• इस प्रक्रम में जब गैसों का संपीडन होता है तब तापमान बढ़ता है क्योंकि आंतरिक ऊर्जा संचित होती

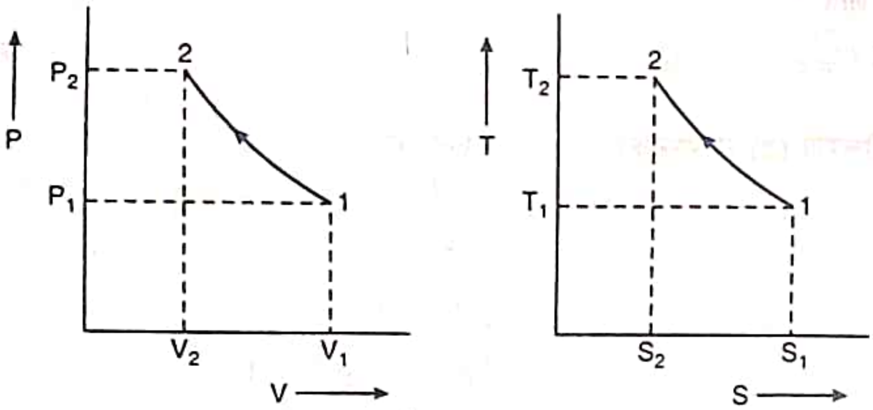
(v) बहुविधि प्रक्रम

इसे गैसों का 'सामान्य प्रसारण एवं संपीडन नियम' भी कहते हैं।

इसे $\boxed{PV^n = c}$ द्वारा प्रदर्शित करते हैं।

$n =$ बहुविधि घातांक (Polytropic index)

$= 0$ से ∞ तक इसका मान होता है।



चित्र 3.6

कुछ प्रमुख ऊष्मागतिकी सम्वन्ध निम्नलिखित हैं—

(i) $P - V - T$ में सम्बन्ध

हम जानते हैं कि

- $P_1V_1^n = P_2V_2^n = C$
- $\dfrac{T_2}{T_1} = \left(\dfrac{V_1}{V_2}\right)^{n-1}$
- $\dfrac{V_2}{V_1} = \left(\dfrac{P_1}{P_2}\right)^{1/n}$

Study PowerPoint

(ii) गैस द्वारा किया गया कार्य W_{1-2}

$$W_{1-2} = \int_1^2 PdV \qquad [\because PV^n = c \Rightarrow cV^{-n}]$$

$$= c\int_1^2 V^{-n} dV$$

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

बहुविधि समीकरण से,

$$P_1V_1^n = P_2V_2^n = c$$

$$W_{1-2} = \frac{P_2V_2^n.V_2^{-n+1} - P_1V_1^n.V_1^{-n+1}}{-n+1}$$

$$W_{1-2} = \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{-n+1}$$

$$\boxed{W_{1-2} = \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{-n+1}}$$

हम जानते हैं कि

$$PV = mRT$$

$$\boxed{W_{1-2} = \frac{mR\,(T_1 - T_2)}{n-1}}$$

जब $m = 1$ हो, तब

$$\boxed{W_{1-2} = \frac{R\,(T_1 - T_2)}{n-1}}$$

(iii) आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन $U_1 - U_2$

$$dU = mC_v dT$$

$$\boxed{U_1 - U_2 = mC_v(T_2 - T_1)}$$

(iv) प्रदत्त ऊष्मा (Q_{1-2})

हम जानते हैं कि $Q_{1-2} = W_{1-2} + dU$

$$= \frac{mR\,(T_1 - T_2)}{n-1} + mC_v(T_2 - T_1)$$

C_v का मान रखने पर,

$$= mR\left(\frac{T_1 - T_2}{n-1}\right) + m\frac{R}{\gamma - 1}(T_2 - T_1)$$

$$= mR\,(T_1 - T_2)\left[\frac{1}{m-1} - \frac{1}{\gamma - 1}\right]$$

$$= mR\,(T_1 - T_2)\left[\frac{\gamma - 1 - (n-1)}{(n-1)(\gamma - 1)}\right]$$

$\therefore \quad \dfrac{C_p}{C_v} = \gamma$

या $\quad C_p - C_v = R$

$$C_p = R + C_v$$

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

$$C_v\gamma = R + C_p$$

$$C_v\gamma - R = C_p$$

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

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

Study PowerPoint

$$= mR\,(T_1 - T_2)\left[\frac{\gamma - n}{(n-1)(\gamma-1)}\right]$$

$$= \frac{mR\,(T_1 - T_2)}{(n-1)} \times \frac{\gamma - n}{\gamma - 1}$$

$$\boxed{Q_{1-2} = w_{1-2} \times \frac{\gamma - n}{\gamma - 1}}$$

(v) एन्थालपी में परिवर्तन $(H_2 - H_1)$

$$H_2 - H_1 = mC_p(T_2 - T_1)$$

बहुविधि घातांक (Polytropic Index) की गणना करना

बहुविधि प्रक्रम के लिए $P_1V_1^n = P_2V_2^n$

दोनों तरफ लघुगणक लेने पर,

$$\log_{10} P_1 + n \log l10\, V_1 = \log_{10} P_2 + n \log_{10} V_2$$

या $$n \log_{10} V_1 - n \log_{10} V_2 = \log_{10} P_2 - \log_{10} P_1$$

या $$n \log_{10}\left(\frac{V_1}{V_2}\right) = \log_{10}\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

$$\boxed{n = -\frac{\log_{10}\left(\frac{P_2}{P_1}\right)}{\log_{10}\left(\frac{V_1}{V_2}\right)}}$$

नोट— • सभी प्रक्रम बहुविधि के ही उदाहरण होते हैं।

उदाहरण के लिए

(i) $n = 0, PV^0 = C$

$P = C$ समदावी प्रक्रम

(ii) $n = 1, PV^1 = C$

$PV = C$ समतापीय प्रक्रम

(iii) $n = \infty, PV^\infty = C$

$V = C$ समआयतनिक प्रक्रम

(iv) $n = \gamma, pV^\gamma = C$

$PV^\gamma =$ रुद्धोष्म प्रक्रम

(vi) अवरुद्ध प्रक्रम (Throttling Process)

वह प्रक्रम जिसमें न तो ऊष्मा प्रदान की जाती है और न ही निष्कासित होती है, अवरूद्ध प्रक्रम कहलाती है। गणितीय रूप से,

$$Q = 0$$

$$W = 0$$

$$\Delta PE = 0$$

$$\Delta KE = 0$$

Study PowerPoint

इस प्रक्रम में, $h_1 = h_2$

थ्राटलिंग प्रक्रम के सम्बन्ध में, एक आदर्श गैस के लिए—

(i) एन्थालपी स्थिर होती है।

(ii) तापमान स्थिर होती है।

(iii) आंतरिक ऊर्जा स्थिर होती है।

थ्राटलिंग प्रक्रम का उपयोग

(i) भाप की स्थिति ज्ञात करने के लिए की जाती है अर्थात् शुष्कता भिन्नता ज्ञात करने के लिए की जाती है।

(ii) टरबाइन की गति नियन्त्रित करने के लिए की जाती है।

(iii) रेफ्रिजरेशन प्लान्ट में रेफ्रीजरेन्ट के दाब को नियन्त्रित करने के लिए किया जाता है।

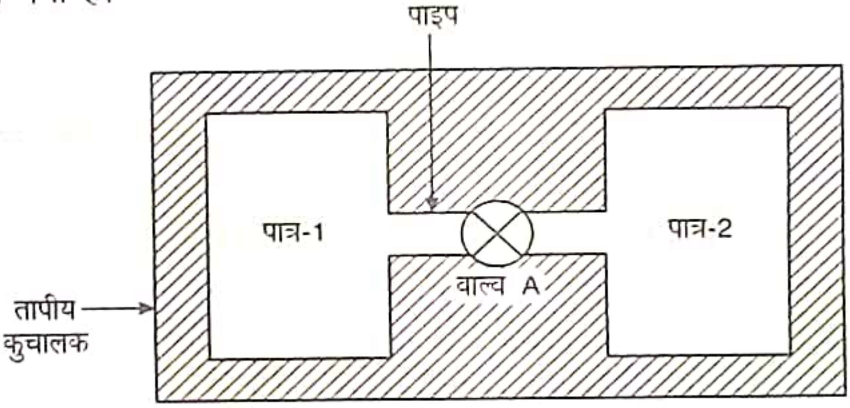
थ्राटलिंग प्रक्रम को जूल एवं थामसन के छिद्र प्लग प्रयोग द्वारा सत्यापित किया गया था।

इस प्रयोग में एक उच्च दाब द्रव को एक छिद्र से गुजारते हैं। छिद्र से गुजारते हुए निम्न निष्कर्ष प्राप्त होता है—

- दाब में कमी होती है तथा आयतन में वृद्धि होती है।
- प्रक्रम रूद्धोष्म होती है। चूँकि निकास से न तो ऊष्मा बाहर निकलती है और न ही अंदर आती है।
- यह प्रतिक्रम्य प्रक्रम नहीं है।
- यह आइसन्ट्रॉपिक प्रक्रम भी नहीं है।
- एण्ट्रॉपी में वृद्धि होती है।

(vii) मुक्त प्रसारण प्रक्रम (Free Expansion Process)

चित्र के अनुसार दो पात्र 1 एवं 2 को छोटे पाइप के माध्यम से वाल्व A की सहायता से जोड़ दिया जाता है। पात्र पूरी रह तापीय कुचालक बनाया गया है।



चित्र 3.7

माना प्रारम्भ में पात्र 1 में निश्चित दाब पर कोई द्रव भरा है तथा पात्र 2 एकदम खाली है। जब वाल्व A को खोला जाता है। तब द्रव पात्र 1 से पात्र 2 में तुरन्त एवं सतत भरने लगता है जिससे दाब, प्रारम्भिक दाब से कम हो जाता है।

इस प्रक्रम को मुक्त प्रसारण प्रक्रम कहते हैं। यह अप्रतिवर्त्य प्रक्रम होता है।

प्रथम नियम लगाने पर,

$$Q = U_2 - U_1 + W$$

चूँकि इस प्रक्रम में परिसीमा का कोई विस्थापन नहीं होता है, अत: $W = 0, Q = 0$

Study PowerPoint

$$U_2 - U_1 = 0$$
$$U_2 = U_1$$

एक आदर्श गैस के लिए

$$C_v T_2 = C_v T_1 \qquad \therefore U = C_v T$$

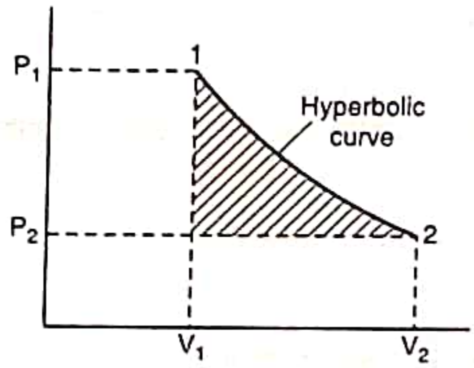
or
$$T_1 = T_2$$

(viii) अतिपरवलयिक प्रक्रम (Hyperbolic process)

आदर्श गैस के सम्बन्ध में इसे समतापीय प्रक्रम भी कहते हैं अर्थात् गैस के प्रसारण एवं सम्पीडन के दौरान यह गैस नियम का अनुसरण करता है।

$$P_1V_1 = P_2V_2 = \ldots\ldots\ldots PV = C$$

यह एक सैद्धान्तिक प्रक्रम है। यदि इस प्रक्रम का $P - V$ आरेख खींचे तो एक अतिपरवलयाकार वक्र प्राप्त होता है।



चित्र 3.8

|| सारांश ||

- **ऊष्मागतिकी पथ एवं प्रक्रम**

  जब कोई निकाय अपनी 1 साम्यावस्था से दूसरी साम्यावस्था में जाती है तब वह जिस मार्ग का अनुसरण काती है उसे ऊष्मागतिकी पथ कहते हैं।

  एक अवस्था से दूसरी अवस्था के बीच के प्रक्रम को ऊष्मागतिकी प्रक्रम कहते हैं।

- **विभिन्न ऊष्मागतिकी प्रक्रम**

  (i) **सम आयतनिक प्रक्रम**–इस प्रक्रम में आयतन स्थिर होता है।

  (ii) **समदाबी प्रक्रम**–इस प्रक्रम में दाब स्थिर होता है।

  (iii) **समतापीय प्रक्रम**–इस प्रक्रम में तापमान स्थिर होता है।

  (iv) **रूद्धोष्म प्रक्रम**–इस प्रक्रम में एण्ट्रॉपी स्थिर होती है।

  (v) **बहुविधि प्रक्रम**–यह $PV^n = C$ का अनुसरण करती है।

  (vi) **थ्राटलिंग प्रक्रम**–वह प्रक्रम जिसमें न तो ऊष्मा प्रदान की जाती है और न ही निष्कासित होती है, अवरुद्ध प्रक्रम कहलाती है।

  (vii) **मुक्त प्रसारण प्रक्रम**–इस प्रक्रम में $T_1 = T_2$ होता है।

  (viii) **अतिपरवलयिक प्रक्रम**–इसे समतापीय प्रक्रम भी कहते हैं।

Study PowerPoint

हल सहित उदाहरण

ऊष्मागतिकी प्रक्रम पर आधारित

उदाहरण 1. एक बंद पात्र में 0.3 m^3 गैस को जिसका दाब एवं ताप 3 bar तथा 57°C है, गर्म किया जाता है। ...न को 5 bar दाब तक गर्म किया जाता है।

निम्न की गणना कीजिये–

(a) T_2 (b) m (c) dU (d) dH

मान लीजिए $C_p = 1.005$ kJ/kg K, $C_v = 0.712$ kJ/kg K

हल—चूँकि पात्र बंद है, इसलिए आयतन स्थिर होता है।

$V_1 = 0.3\ m^3 = V_2$, $P_1 = 3\,bar = 3\times10^5\ N/m^2$, $P_2 = 5\,bar = 5\times10^5\ N/m^2$ $t_1 = 57°\,C = 57+273 = 330\,K$

$t_2 = ?$

हम जानते हैं कि

(a)
$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

$$\frac{3\times10^5}{330} = \frac{5\times10^5}{T_2}$$

$\Rightarrow$
$$\boxed{T_2 = 550\,K}$$

(b) आदर्श गैस समीकरण

$$P_1V_1 = mRT_1$$

$$m = \frac{P_1V_1}{RT_1}$$

$$m = \frac{3\times10^5\times0.3}{330\times0.293\times1000}$$

$R = C_p - C_v$

$R = 1.005 - 0.712$

$R = 0.293$ kJ/kg K

$$\boxed{m = 0.9308\,kg}$$

(c) $dU = mC_v(T_2 - T_1)$

$$dU = 0.9308\times0.712\,(550-330)$$

$$\boxed{dU = 145.80\,kJ}$$

(d) $dH = mC_p(T_2 - T_1)$

$$dH = 0.9308\times0.712\times(550-330)$$

$$\boxed{dH = 250.7999\,kJ}$$

उदाहरण 2. 5 kg गैस को स्थिर दाब पर तापमान 35° C से 300° C तक गर्म किया जाता है।

निम्न की गणना कीजिए–

(a) विशिष्ट ऊष्मा अनुपात γ (b) प्रदत्त ऊष्मा Q_s

(c) कार्य (d) आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन

Study PowerPoint

(e) एन्थालपी में परिवर्तन (f) एण्ट्रापी में परिवर्तन

यदि $C_p = 0.984$ kJ/kg °K

$C_v = 0.728$ kJ/kg °K

$R = 0.256$ kJ/kg °K

हल—दिया है, $m = 5$ kg

$$T_1 = 35° C = 35 + 273 = 308 \text{ K}$$

$$T_2 = 300° C = 300 + 273 = 573 \text{ K}$$

$$C_p = 0.984 \text{ kJ/kg °K}$$

$$C_v = 0.728 \text{ kJ/kg °K}$$

$$R = 0.256 \text{ kJ/kg °K}$$

(a) $\gamma = \dfrac{C_p}{C_v}$

$$\gamma = \frac{0.984 \text{ kJ/kg° K}}{0.728 \text{ kJ/kg° K}}$$

$$\boxed{\gamma = 1.3516}$$

(b) $Q_s = mC_p(T_2 - T_1)$

$$Q_s = 5 \times 9.84\,(573 - 308)$$

$$\boxed{Q_s = 1303.8 \text{ kJ}}$$

(c) $W_{net} = mR\,(T_2 - T_1)$

$$W_{net} = 5 \times 0.256 \times (573 - 308)$$

$$\boxed{W_{net} = 339.2 \text{ kJ}}$$

(d) $dU = mC_v(T_2 - T_1)$

$$U_{2-1} = 5 \times 0.728 \times (573 - 308)$$

$$\boxed{U_{2-1} = 964.6 \text{ kJ}}$$

(e) $S_2 - S_1 = mC_p \ln\left(\dfrac{T_2}{T_1}\right)$

$$S_2 - S_1 = 5 \times 0.984 \times \ln\left(\frac{573}{308}\right)$$

$$\boxed{S_2 - S_1 = 3.0542 \text{ kJ/K}}$$

(f) $H_2 - H_1 = Q_s$

$$\boxed{H_2 - H_1 = 1303.8 \text{ kJ}}$$

उदाहरण 3. एक समतापीय प्रक्रम में आदर्श गैस का दाब 2 बार है, जिसका आयतन 0.5 m^2 से 2 परिवर्तित होता है। अंतिम दाब तथा कार्य की गणना कीजिए।

हल—दिया है : $P_1 = 2 \text{ bar} = 2 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

Study PowerPoint

$$V_1 = 0.5\ m^3$$
$$V_2 = 2\ m^3$$

(i) कार्य $W_{1-2} = P_1 V_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$

$$W_{1-2} = 2\times 10^5 \times 0.5 \times \ln\left(\frac{2}{0.5}\right)$$

$$\boxed{W_{1-2} = 138.629\ J}$$

(ii) $\frac{P_2}{P_1} = \frac{V_1}{V_2}$

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

$$P_2 = \frac{0.5\times 2\times 10^5}{2}$$

$$P_2 = 0.5\times 10^5\ N/m^2$$

$$\boxed{P_2 = 0.5\ bar}$$

उदाहरण 4. 0.015 m^3 वायु 1.02 बार दाब एवं 22° C पर सिलेण्डर में भरा हुआ है। वायु का संपीडन रूद्धोष्म प्रक्रम के आधार पर 6.8 बार तक होता है।

ज्ञात कीजिए–

(i) अंतिम तापमान **(ii) अंतिम आयतन** **(iii) कार्य**

हल—दिया है, $V_1 = 0.015\ m^3$, $P_1 = 1.02\ bar = 1.02\times 10^5\ N/m^2$, $T_1 = 22°\ C = 22+273 = 295\ K$, $T_2 = ?$

$P_2 = 6.8\ bar = 6.8\times 10^5\ N/m^2$, $V_2 = ?$, $W_{1-2} = ?$

(i) रूद्धोष्म प्रक्रम में,

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

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

$$T_2 = \left(\frac{6.8\times 10^5}{1.02\times 10^5}\right)^{\frac{1.4-1}{1.4}} \times 295 \qquad \gamma = 1.4\ (\text{वायु})$$

$$\boxed{T_2 = 507.24\ K}$$

(ii) $P_1 V_1^{\gamma} = P_2 V_2^{\gamma}$

$$V_2 = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{1}{\gamma}} V_1$$

$$V_2 = \left(\frac{1.02}{6.8}\right)^{\frac{1}{1.4}} \times 0.015$$

$$\boxed{V_2 = 0.00387\ m^3}$$

Study PowerPoint

(iii) $W = \dfrac{mR(T_1 - T_2)}{\gamma - 1}$

$$P_1V_1 = mRT_1$$

$$m = \frac{P_1V_1}{RT_1} = \frac{1.02 \times 0.015}{0.287 \times 10^3 \times 295}$$

$$m = 0.01807 \text{ kg}$$

$$W = \frac{0.01807 \times 0.287 \times 10^3 (295 - 507.24)}{1.4 - 1}$$

$$\boxed{W = -275.1 \text{ J} \quad \text{or} \quad 2.751 \text{ kJ}}$$

उदाहरण 5. किसी निकाय में वायु रूद्धोष्म प्रक्रम के आधार पर प्रसारित होती है। निकाय से निम्न आँकड़े प्र होते हैं–

$$P_1 = 1.02 \text{ bar}, V_1 = 0.3 \text{ m}^3, P_2 = 4 \text{ bar}, T_1 = 130° \text{C}$$

वायु पुनः स्थिर दाब पर गर्म की जाती है, जिससे एन्थालपी बढ़कर 72.5 kJ हो जाती है। ज्ञात कीजिए–

(i) कार्य

(ii) बहुविधि घातांक (n), यदि इन्हीं स्थितियों में बहुविधि कार्य सम्पन्न हो रहा है।

मानिए $C_p = 1$ kJ/kg K, $C_v = 0.714$ kJ/kg K

हल—दिया है,

$$V_1 = 0.2 \text{ m}^3, \quad P_1 = 4 \text{ bar} = 4 \times 10^5 \text{ N/m}^2, \quad T_1 = 130° = 130 + 273 = 403 \text{ K}$$

$$P_2 = 1.02 \text{ bar} = 1.02 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$H_3 - H_2 = 72.5 \text{ kJ}$$

(i) रूद्धोष्म प्रक्रम

$$P_1V_1^\gamma = P_2V_2^\gamma$$

$$V_2 = V_1 \times \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{1}{\gamma}}$$

$$V_2 = 0.2 \times \left(\frac{4 \times 10^5}{1.02 \times 10^5}\right)^{\frac{1}{1.4}}$$

$$\gamma = \frac{1.0}{0.714} = 1.4$$

$$V_2 = 0.53 \text{ m}^3$$

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

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

Study PowerPoint

$$T_2 = 403 \times \left(\frac{1.2}{4.0}\right)^{\frac{0.4}{1.4}}$$

$$T_2 = 272.2 \text{ K}$$

$$P_1V_1 = mRT_1$$

$$m = \frac{P_1V_1}{RT_1}, \qquad R = C_p - C_v$$

$$R = 1.0 - 0.714$$

$$R = 0.286 = 2.86 \text{ J/kg K}$$

$$m = \frac{4\times10^5 \times 0.2}{286\times403}$$

$$m = 0.694 \text{ kg}$$

स्थिर दाब प्रक्रम

$$Q_2 - 3 = C_p(T_3 - T_2)$$

$$= 72.5 = 0.694\times1\times(T_3 - 272.2)$$

$$T_3 = 377 \text{ K}$$

हम जानते हैं कि

$$\frac{P_2V_2}{t_2} = \frac{P_3V_3}{T_3} \qquad \because P_2 = P_3$$

$$V_3 = T_3 \times \frac{V_2}{T_2}$$

$$V_3 = 377\times\frac{0.53}{272.2}$$

$$V_3 = 0.732 \text{ m}^3$$

प्रक्रम 1-2-3 के दौरान कार्य

$$W_{1-2-3} = (W_{1-2})_{\text{रूद्धोष्म}} + (W_{2-3})_{\text{समदावी}}$$

$$W_{1-2-3} = \frac{P_1V_1 - P_2V_2}{\gamma - 1} + P_2(V_3 - V_2)$$

$$W_{1-2-3} = \frac{4\times10^5\times0.2 - 1.02\times10^5\times0.53}{1.4-1} + 1.02\times10^5\,[0.732 - 0.53]$$

$$\boxed{W_{1-2-3} = 85454 \text{ J} = 85.454 \text{ kJ}}$$

(ii) बहुविधि घातांक

$$W_{1-2} = \frac{P_1V_1 - P_3V_3}{n-1} = 85454 = \frac{4\times10^5\times0.2 - 1.02\times10^5\times0.732}{n-2}$$

$$\boxed{n = 1.62}$$

Study PowerPoint

अभ्यास

✦ आंकिक प्रश्न

1. 10 kg गैस का द्रव्यमान स्थिर दाब (5 bar) पर प्रसारित किया जाता है। गैस द्वारा किए गए कार्य की मात्रा यदि प्रक्रम के दौरान एण्ट्रॉपी में परिवर्तन 6.286 kJ/kg K हो तो निम्न की गणना कीजिए—

   (i) प्रारम्भिक आयतन

   (ii) अंतिम आयतन

   $C_p = 1$ kJ/kg K

   उत्तर—0.8 m^3, 1.5 m^3

2. किसी निकाय में निम्न प्रक्रम सम्पन्न हो रहा है—

   स्थिर आयतन पर प्रदत्त ऊष्मा = 90 kJ

   स्थिर दाब पर निष्कासित ऊष्मा एवं कार्य = 95 kJ एवं 18 kJ

   अंत में निकाय अपनी प्रारम्भिक अवस्था में रूद्धोष्म प्रक्रम के कारण आता है। निम्न की गणना कीजि

   (i) रूद्धोष्म कार्य

   (ii) प्रत्येक अवस्था में आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन यदि प्रारम्भिक आंतरिक ऊर्जा 105 kJ हो।

   उत्तर— (i) – 13 kJ, (ii) 105 kJ, (iii) 118 kJ

3. एक दो किग्रा गैस जिसका प्रारम्भिक आयतन, दाब क्रमशः 1.5 m^3, 1 bar है। गैस का सम्पीडन रूद्धोष आधार पर होता है जिससे उसका आयतन 0.5 m^3 तथा दाब 4 bar हो जाता है।

   निम्न की गणना कीजिए—

   (i) कार्य

   (ii) आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन

   उत्तर— –125 kJ, 197 kJ

4. एक सिलेण्डर-पिस्टन निकाय में सिलेण्डर में कार्यकारी माध्यम के रूप में वायु का प्रयोग किया जाता आयतन 0.423 m^3 तथा दाब 10.45 बार है। बहुविधि प्रक्रम के दौरान दाब में परिवर्तन 1.045 बार हो जात यदि प्रक्रम $PV^{3.2} = C$ का अनुसरण करें, तो निम्न की गणना कीजिए—

   (i) प्रसारण के पश्चात् आयतन

   (ii) प्रक्रम के दौरान ऊष्मा का अंतरण

   (iii) पिस्टन द्वारा कार्य

   उत्तर— 2.67 m^3, 652.08 kJ, 391.25 kJ

5. स्थिर आयतन पर एक बंद निकाय में 25°C पर प्रक्रम हो रहा है। प्रक्रम के दौरान ऊष्मा अंतरण की मात्रा निकाय में कार्यकारी पदार्थ का द्रव्यमान 2.5 kg तथा $C_v = 1.2$ kJ/kg K हो तो

   (i) कार्य, (ii) आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन की गणना कीजिए।

   उत्तर— – 45 kJ, 75 kJ

6. एक गैस को इस प्रकार गर्म किया जाता है जिससे इसका अंतिम आयतन प्रारम्भिक आयतन का 5 गुना हो गैस का तापमान 325° C है तथा दाब 8 bar, 1 bar है। गैस $PV^n = C$ का अनुसरण करती हैं निम्न की गण

Study PowerPoint

(i) n

(ii) कार्य

(iii) ऊष्मा स्थानान्तरण/क्रिया

यदि $m = 1, C_v = 0.712$ kJ/kg K, $\gamma = 1.4$

उत्तर— 2.20, 220.34 kJ, 60.598 kJ/kg

7. एक निकाय में प्रदान की गई ऊष्मा की मात्रा 50 kJ है। निकाय में आयतन $0.14\ m^3$ तथा दाब $1.2 \times 10^5\ N/m^2$ है। निकाय के चारों ओर 5.5 m दूरी पर 90 kg द्रव्यमान भरा है। निकाय की आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन ज्ञात कीजिए।

उत्तर— 21.65 kJ

सैद्धान्तिक प्रश्न

1. ऊष्मागतिकी पथ तथा प्रक्रम को समझाइए।
2. निम्न का $P-V$ तथा $T-S$ आरेख बनाए एवं कार्य की गणना कीजिए—
   (a) सम आयतनिक प्रक्रम
   (b) समदाबी प्रक्रम
   (c) समतापीय प्रक्रम
   (d) रूद्धोष्म प्रक्रम
   (e) बहुविधि प्रक्रम
3. निम्न प्रक्रमों को समझाइए—
   (i) मुक्त प्रसारण प्रक्रम
   (ii) थ्राटलिंग प्रक्रम
   (iii) अतिपरवलयिक प्रक्रम
4. बहुविधि घातांक ज्ञात कीजिए।

वस्तुनिष्ठ प्रश्नावली

1. स्थिर दाब प्रक्रम के दौरान कार्य होता है—
   (a) $P(V_2 - V_1)$
   (b) $mR(T_2 - T_1)$
   (c) 0
   (d) (a) and (b)
2. $W_{1-2} = 0$ होता है—
   (a) स्थिर दाब प्रक्रम में
   (b) स्थिर आयतन प्रक्रम में
   (c) स्थिर तापमान प्रक्रम में
   (d) रूद्धोष्म प्रक्रम में
3. आंतरिक ऊर्जा का मान शून्य होता है—
   (a) समतापी प्रक्रम
   (b) प्रतिवर्त्य प्रक्रम
   (c) समदाबी प्रक्रम
   (d) सम आयतनिक प्रक्रम में
4. बहुविधि घातांक का मान होता है—
   (a) $n = \dfrac{\log_{10}\left(\dfrac{P_2}{P_1}\right)}{\log_{10}\left(\dfrac{V_2}{V_1}\right)}$
   (b) $\ln\dfrac{V_2}{V_1} \times \ln\dfrac{P_1}{P_2}$
   (c) $\ln\dfrac{P_2}{P_1} \times \ln\dfrac{V_1}{V_2}$
   (d) 0

Study PowerPoint

5. $n=0$ पर—

(a) समदाबी प्रक्रम होता है
(b) रूद्धोष्म प्रक्रम होता है
(c) थ्राटलिंग प्रक्रम होता है
(d) प्रतिवर्त्य प्रक्रम होता है

6. अवरुद्ध प्रक्रम है—

(a) $Q=0$
(b) $W=0$
(c) $h_1=h_2$
(d) सभी

7. एण्ट्रॉपी है—

(a) बिन्दु फलन है
(b) पथ फलन है
(c) (a) and (b)
(d) इनमें से कोई नहीं

8. रूद्धोष्म प्रक्रम में होता है—

(a) $dS=0$
(b) $dS>1$
(c) $dS<1$
(d) $dS=1$

9. प्रतिवर्त्य प्रक्रम के दौरान—

(a) $dS=\frac{dQ}{T}$
(b) $dS>\frac{dQ}{T}$
(c) $dS\geq\frac{dQ}{T}$
(d) $dS\leq\frac{dQ}{T}$

10. मुक्त प्रसारण प्रक्रम में—

(a) $T_1=T_2$
(b) $T_1>T_2$
(c) $P_1=P_2$
(d) $V_1=V_2$

उत्तरमाला

1. (d) 2. (b) 3. (a) 4. (a) 5. (a) 6. (d) 7. (a) 8. (a) 9. (a)

❑❑❑

Study PowerPoint

4 ऊष्मागतिकी के नियम

(Rules of Thermodynamics)

4.1. आन्तरिक ऊर्जा

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

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

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

$$dU = mC_v dT$$

dU = आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन

m = निकाय के अन्दर द्रव्यमान

C_v = विशिष्ट ऊष्मा स्थिर आयतन पर

dT = तापमान में परिवर्तन

संक्रमण ऊर्जा—वह ऊर्जा जो निकाय की परिसीमाओं के आर-पार जा सकती है, संक्रमण ऊर्जा कहलाती है।

उदाहरण—ऊष्मा, कार्य, विद्युत ऊर्जा इत्यादि।

4.2. ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम

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

गणितीय रूप से

$$\oint dQ = \oint dW$$

जहाँ $\oint$ = पूर्ण चक्रीय प्रक्रम

dQ = परिवेश द्वारा ली गई ऊष्मा

या dW = परिवेश को दिया गया कार्य

"ऊष्मा एवं यान्त्रिक कार्य परस्पर एक-दूसरे के समानुपाती होते हैं।"

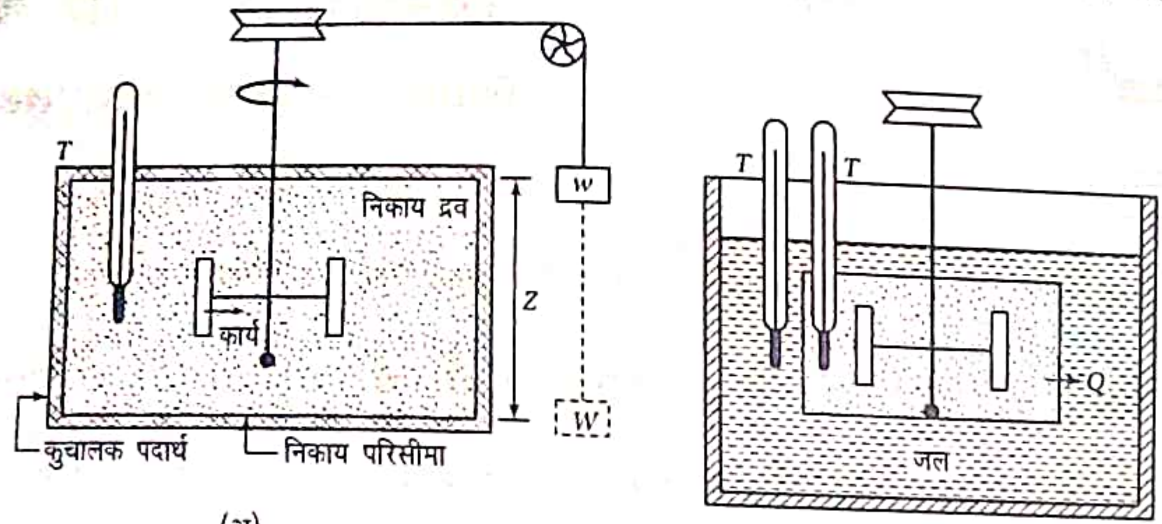
ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम को हम ऊर्जा संरक्षण का भी नियम कहते हैं। इसके अनुसार, "ऊर्जा न तो उत्पन्न की जा सकती है और न ही नष्ट की जा सकती है, सिर्फ एक रूप से दूसरे रूप में रूपान्तरित हो सकती है।"

Study PowerPoint

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

जूल का परीक्षण (1843-1848 ई०)

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



(अ) (ब)

चित्र 4.1

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

चित्र (ब) में पात्र के चारों ओर से कुचालक के आवरण को हटाकर जल से भरे पात्र में डुबा दिया जाता है, जिससे तरल से भरा पात्र अपनी प्रारम्भिक अवस्था में आ जाता है।

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

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

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

अर्थात्
$$\oint dQ \propto dW$$

जब ऊष्मा एवं कार्य के मात्रक एक हो तब
$$\oint dQ = \oint dW$$

जब ऊष्मा एवं कार्य के मात्रक अलग-अलग हो
$$J\oint dQ = \oint dW$$

जहाँ J = नियतांक या ऊष्मा का यान्त्रिक तुल्यांक

$$J = 427\ kg_f\text{-m/Kcal (M.K.S. में)}$$

Study PowerPoint

$$J = 4.18 \text{ kJ/K cal (S.I. में)}$$

नोट—आंतरिक ऊर्जा, ऊष्मा अंतरण तथा कार्य में सम्बन्ध

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

$$dQ - dW = dE$$

जहाँ dE = कुल ऊर्जा या सम्पूर्ण ऊर्जा

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

परन्तु अप्रवाही प्रक्रम के लिए

$$PE = 0 \text{ तथा } KE = 0$$

अत: $$dQ - dW = dU$$

या $$dQ + dU = dW$$

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

4.3. ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम का अनुप्रयोग

स्थिर प्रवाह प्रक्रम

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

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

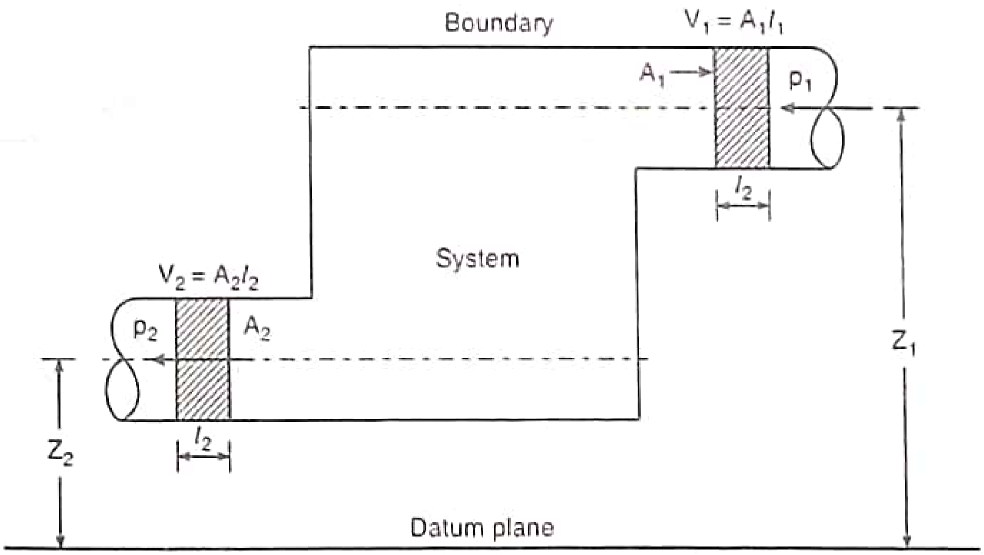
द्रव्यमान प्रवाह पूरे निकाय में नियत बना रहता है।

मिश्रण में प्रवाह समान बना रहता है।

निकाय तथा परिवेश के बीच में केवल ऊष्मा तथा कार्य का सम्बन्ध होता है।

द्रव की अवस्था सभी बिन्दुओं पर नियत होती है, समय के सापेक्ष में।

विश्लेषण के दौरान केवल स्थितिज, गतिज तथा प्रवाह ऊर्जा को माना जाता है।



चित्र 4.2

Study PowerPoint

- हम जानते हैं कि ऊष्मागतिकी प्रथम नियम के अनुसार ⇒ प्रवेशित ऊर्जा = प्रवाह ऊर्जा + गतिज ऊर्जा + ऊर्जा + दी गई ऊष्मा
- दोनों सिरों पर प्रथम नियम लगाने पर—
- स्थिर प्रवाह समीकरण निम्न प्रकार से प्रदर्शित किया जाता है—

$$U_1 + \frac{C_1^2}{Z} + Z_1 g + P_1 V_1 + Q = U_2 + \frac{C_2^2}{Z} + Z_2 g + P_2 V_2 + W$$ (द्रव्यमान

$$(U_1 + P_1 V_1) + \frac{C_1^2}{Z} + Z_1 g + Q = (U_2 + P_2 V_2) + \frac{C_2^2}{Z} + Z_2 g$$

$$\because \quad U + PV = h$$ (ए

$$h_1 + \frac{C_1^2}{Z} + Z_1 g + Q = h_2 + \frac{C_2^2}{Z} + Z_2 g + W$$

यदि Z_1 और Z_2 को नगण्य मान लें तो—

$$\boxed{h_1 + \frac{C_1^2}{Z} + Q = h_2 + \frac{C_2^2}{Z} + W}$$

स्थिर प्रवाह ऊर्जा समीकरण

जहाँ

Q = ऊष्मा की मात्रा

W = कार्य

C = द्रव का वेग

Z = डेटम के ऊपर की ऊँचाई

P = द्रव का दाब

U = आंतरिक ऊर्जा

PV = प्रवाह ऊर्जा

h = एन्थालपी

❑ 4.4. प्रथम नियम के इंजीनियरिंग अनुप्रयोग (Engineering Application of Ist Law of Thermodynamics)

विभिन्न अभियान्त्रिकी अनुप्रयोग निम्नलिखित हैं—

(i) टरबाइन (Turbine)

(ii) पम्प (Pump)

(iii) सम्पीडक (Compressor)

(iv) वायलर (Boiler)

(v) संघनित्र (Condenser)

(vi) वाष्पित्र (Evaporative)

(vii) नॉजल (Nozzle)

Study PowerPoint

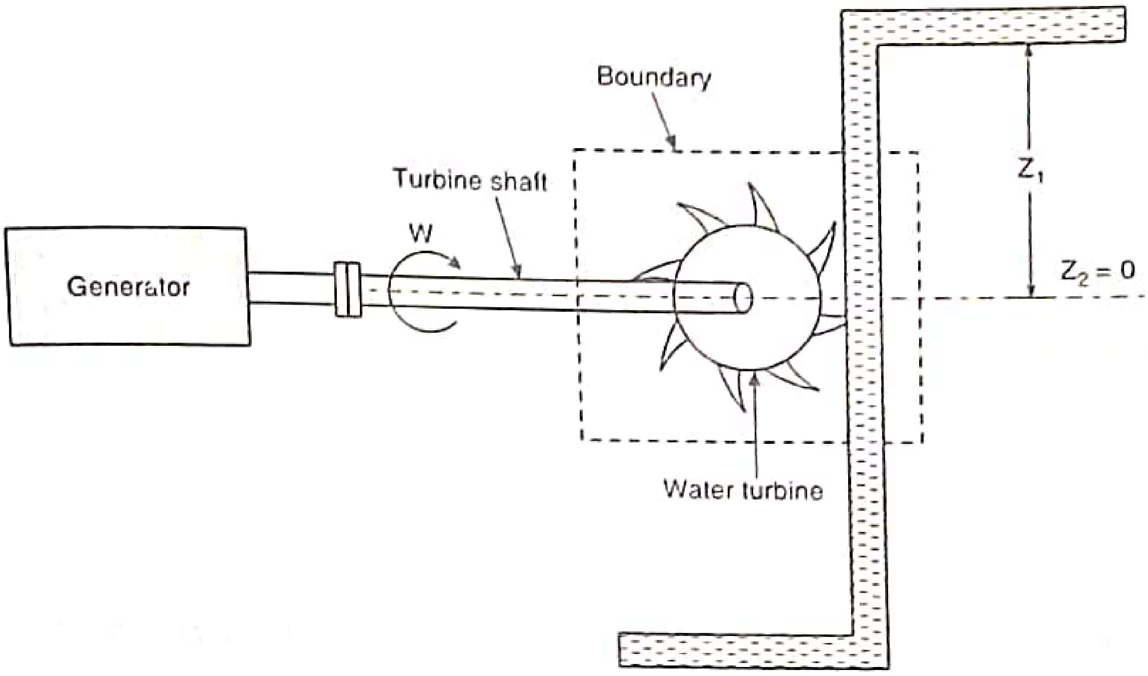
(i) टरबाइन (Turbine)—टरबाइन वह युक्ति है जिसकी सहायता से ऊर्जा के एक रूप को यान्त्रिक ऊर्जा में परिवर्तित करते हैं। इस यान्त्रिक ऊर्जा का उपयोग विद्युत शक्ति उत्पन्न करने में करते हैं।

टरबाइन मुख्यत: दो वर्गों में वर्गीकृत हैं—

(a) जल टरबाइन

(b) वाष्प टरबाइन

(a) जल टरबाइन—इसमें जल की गतिज ऊर्जा का उपयोग किया जाता है। व्यवस्थित आरेख निम्न है—



चित्र 4.3

ऊर्जा प्रवाह समीकरण—

$$\left(u_1 + P_1V_1 + Z_1g + \frac{C_1^2}{Z}\right) + Q = \left(u_2 + P_2V_2 + Z_2g + \frac{C_2^2}{Z}\right) + W \qquad \therefore Q = 0$$

$$\Delta U = 0$$

$$V_1 = V_2 = V$$

$$Z_2 = 0$$

$$\left(P_1V + Z_1g + \frac{C_1^2}{Z}\right) = \left(P_2V + Z_2g + \frac{C_2^2}{Z}\right) + W$$

W धनात्मक होता है क्योंकि निकाय द्वारा कार्य हो रहा है।

(b) भाप या गैस टरबाइन—इस टरबाइन में गैस की गतिज ऊर्जा को यान्त्रिक ऊर्जा में परिवर्तित किया जाता है।

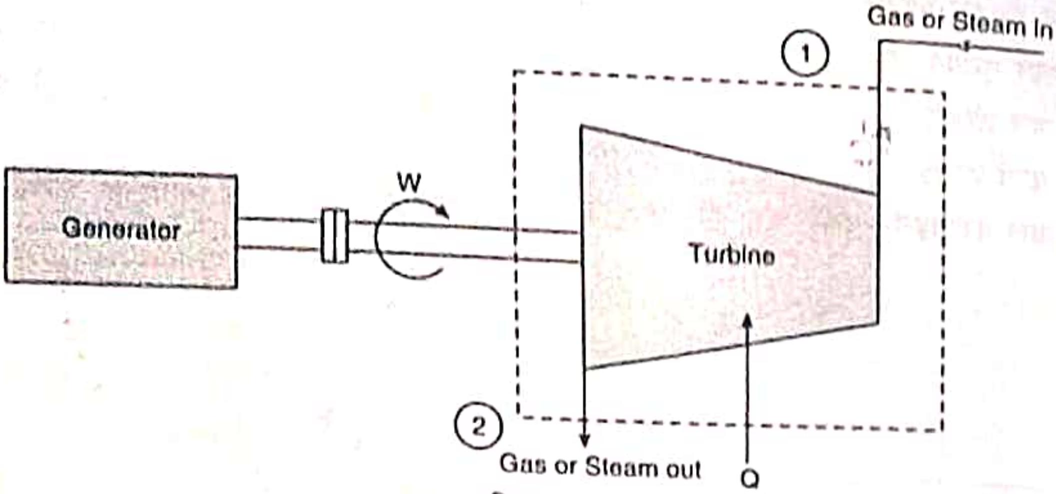
ऊर्जा समीकरण—

$$h_1 + \frac{C_1^2}{Z} - Q = h_2 + \frac{C_2^2}{Z} + W$$

$\therefore$ $Q =$ ऋणात्मक है क्योंकि निकाय पर कार्य हो रहा है।

Study PowerPoint

(II) पम्प (Pump)—इसका मुख्य कार्य निम्न तल से जल को उच्च तल में भेजना होता है।



चित्र 4.4

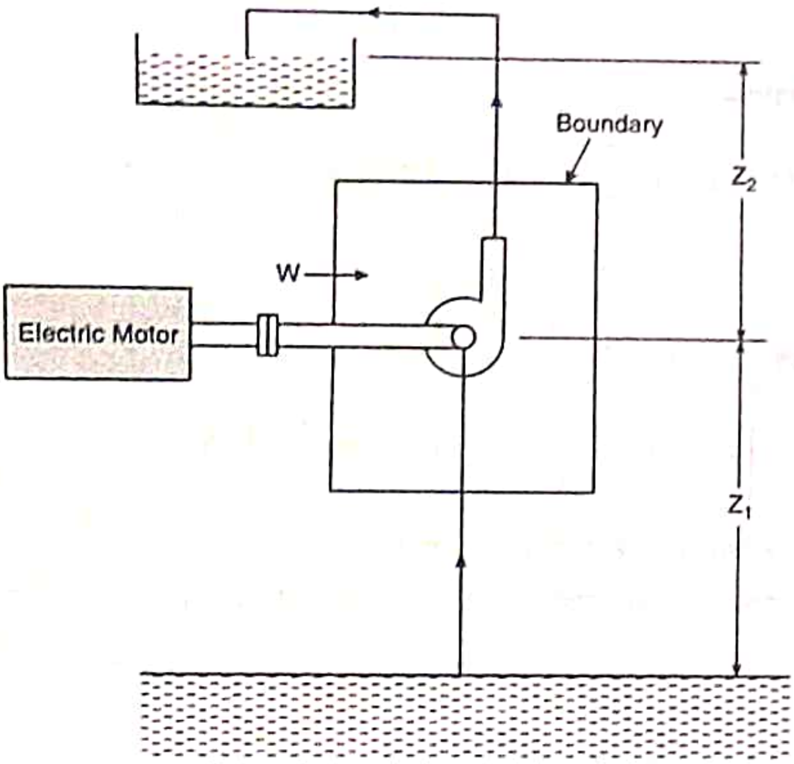
ऊर्जा समीकरण लगाने पर—

$$Q = 0, \Delta U = 0, V_1 = V_2 = V$$

तब
$$P_1V_1 + Z_1g + \frac{C_1^2}{Z} = P_2V_2 + Z_2g + \frac{C_2^2}{Z} - W$$

W = ऋणात्मक है क्योंकि पम्प पर कार्य किया जा रहा है।

(III) सम्पीडक—यह वायु या गैस का सम्पीडन करता है तथा उच्च दाब पर प्रवाहित करता है।



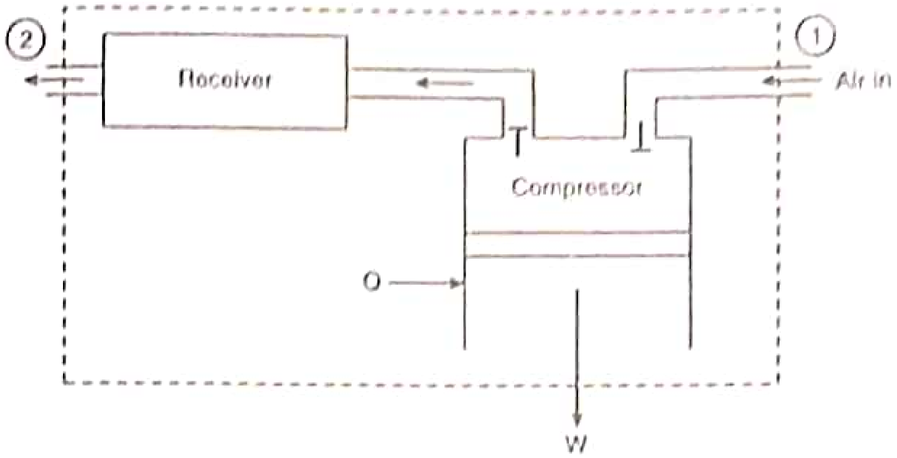
चित्र 4.5

Study PowerPoint

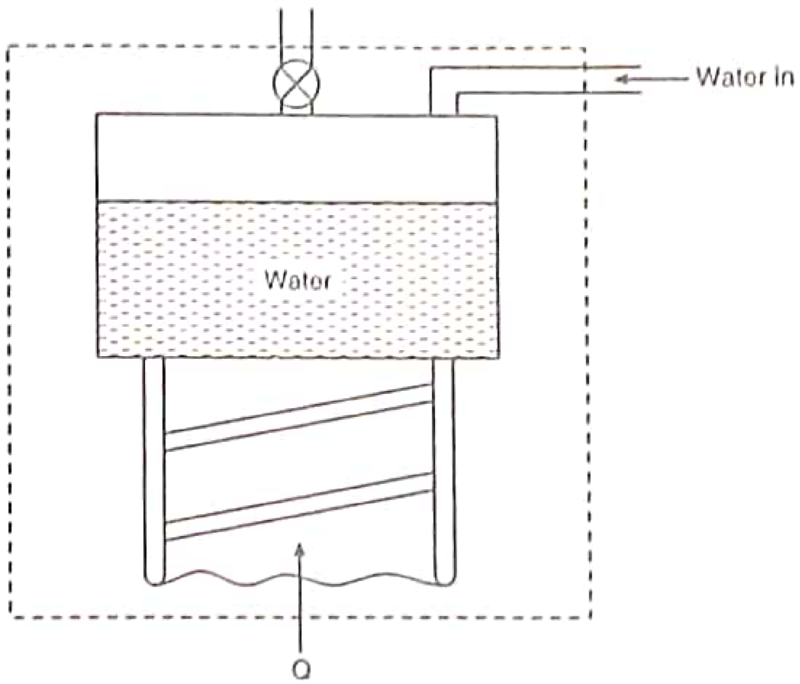
इसमें स्थितिज ऊर्जा = 0, गतिज ऊर्जा = 0

$$h_1 - Q = h_2 - W$$

(iv) बॉयलर—इसका कार्य जल को वाष्प में परिवर्तित करना होता है। जल को वाष्प में ऊष्मा की सहायता से परिवर्तित किया जाता है।



चित्र 4.7



चित्र 4.8

ऊर्जा समीकरण—

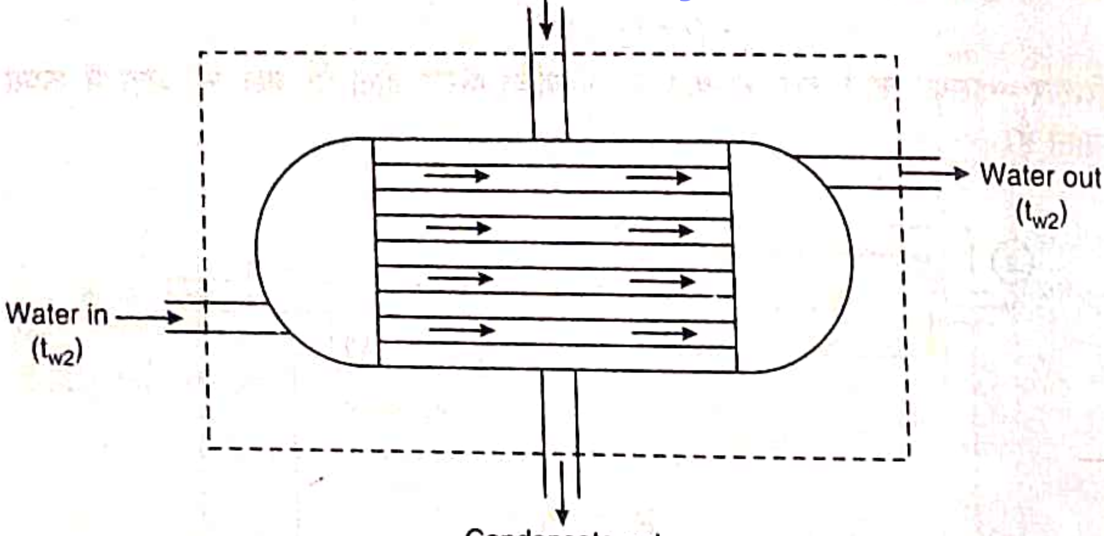
$$\Delta Z = 0 \, \Delta\left(\frac{C^2}{Z}\right) = 0, W = 0$$

$$h_1 + Q = h_2$$

(v) संघनित्र (Condenser)—यह शक्ति संयन्त्रों में प्रयोग किया जाता है। इसका मुख्य कार्य आर्द्र भाप को संघनित कर जल में परिवर्तित करना होता है।

इसमें स्थितिज ऊर्जा, गतिज ऊर्जा तथा कार्य का मान शून्य है।

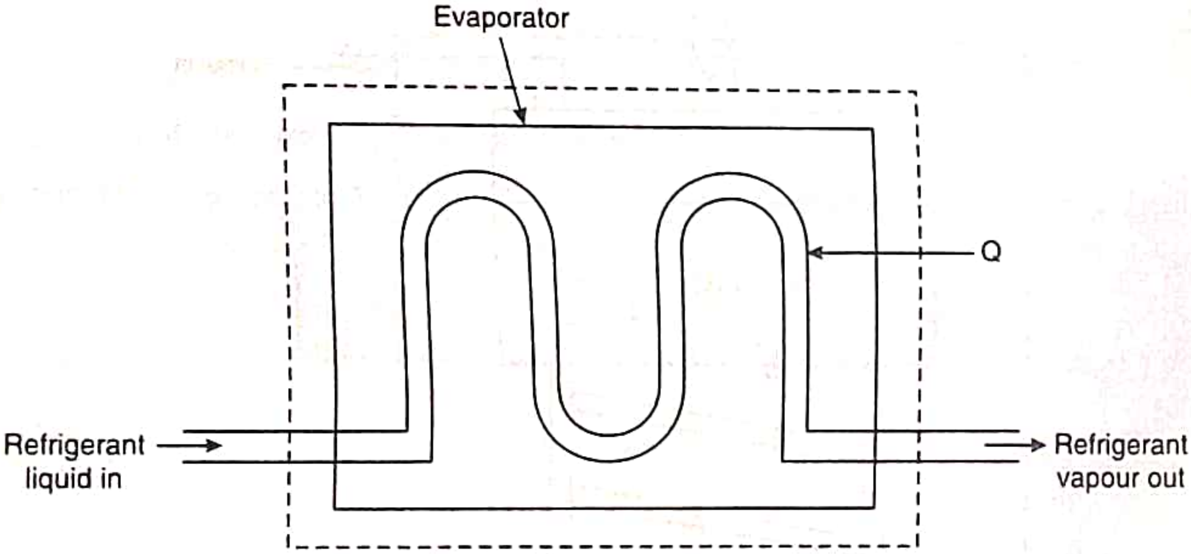
Study PowerPoint



चित्र 4.9

अत: ऊर्जा समीकरण— $$h_1 - Q_1 = h_2$$

(vi) वाष्पित्र (Evoporative)—सामान्यत: यह रेफ्रीजरेटर संयन्त्रों में प्रयोग किया जाता है। यह तापमान को निम्न बनाए रखता है।



चित्र 4.10

स्थितिज ऊर्जा = 0

गतिज ऊर्जा = 0

कार्य = 0

ऊर्जा समीकरण

$$h_1 + Q = h_2$$

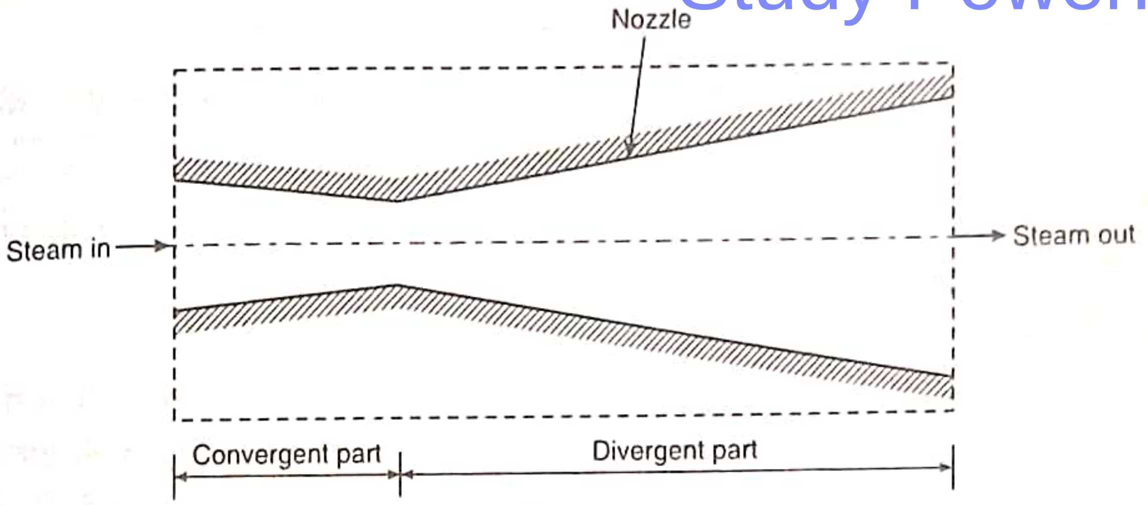
(vii) नॉजल—इसकी सहायता से द्रव या गैस के दाब में गिरावट होती है जिससे वेग बढ़ जाता है।

स्थितिज ऊर्जा = 0

$W = 0$

$Q = 0$

Study PowerPoint



चित्र 4.11

$$h_1 = \frac{C_1^2}{Z} = h_2 + \frac{C_2^2}{Z}$$

$$\frac{C_2^2}{Z} - \frac{C_1^2}{Z} = h_1 - h_2$$

$$C_2 = \sqrt{C_1 + 2(h_1 - h_2)}$$

$$C_2 = \sqrt{2\Delta h}$$

C_1, C_2 से बहुत छोटा है, अत: उसे नगण्य मान लेते हैं।

4.5. ऊष्मागतिकी का द्वितीय नियम

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

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

उपरोक्त कथन ऊष्मागतिकी के द्वितीय नियम का आधार बना।

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

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

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

अर्थात् किसी इंजन के लिए $dQ \neq d \cdot W$

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

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

Study PowerPoint

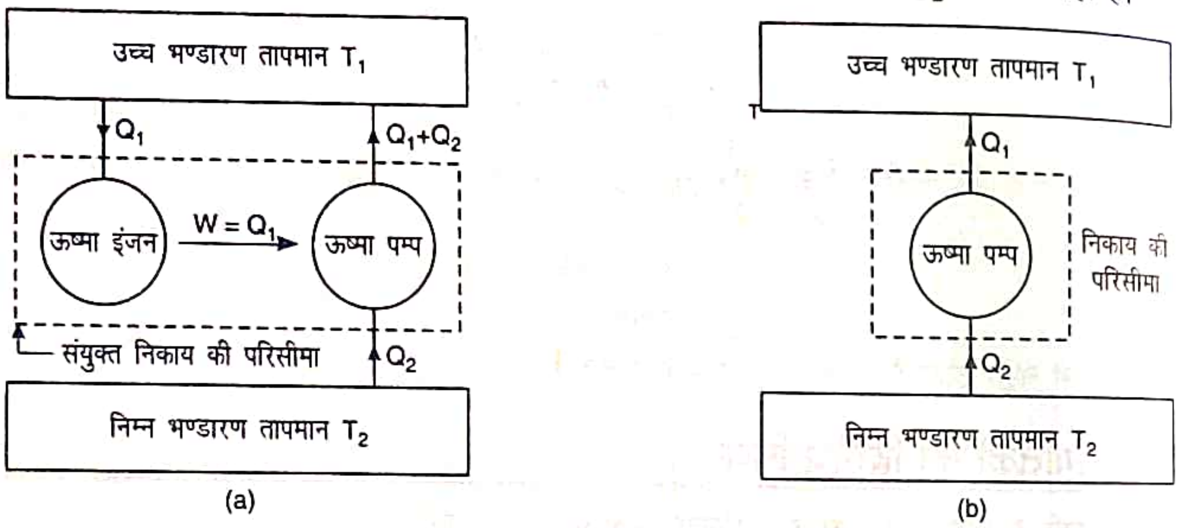
❑ 4.6. कैल्विन-प्लैंक तथा क्लासियस की परिभाषाओं में समानता (Equivalence of Kelvin-Plank's Statement and Classius Statement)

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

जो निकाय किसी एक कथन का अनुसरण करेगी वह दूसरे कथन का भी अनुसरण करेगी।

इसको सिद्ध करने के लिए हम ऊष्मा इंजन तथा ऊष्मा पम्प का उदाहरण लेते हैं।

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



चित्र 4.12

अतः उपरोक्त कथन क्लासियस के कथन का विरोध कर रहा है। अतः केल्विन प्लैंक का कथन भी गलत सा रहा है।

अतः हम कह सकते हैं कि दोनों कथन एक-दूसरे के समतुल्य हैं।

❑ 4.7. प्रपीचुअल गति मशीन (प्रथम श्रेणी एवं द्वितीय श्रेणी) PMM1, 2

■ प्रथम श्रेणी (PMM1)

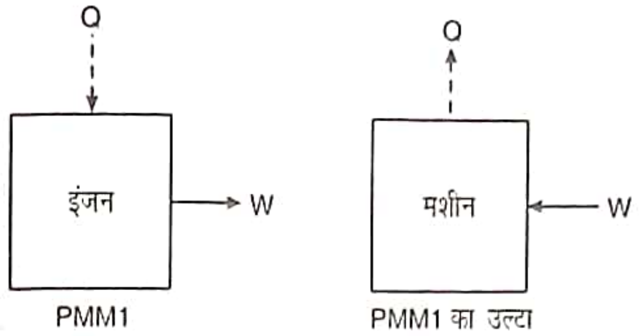
ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम ऊर्जा संरक्षण का नियम है, अर्थात् ऊर्जा न तो नष्ट की जा सकती है और न ही की जा सकती है, सिर्फ एक रूप से दूसरे रूप में स्थानान्तरित हो सकती है। ऐसी गति मशीनें जो ऊष्मागतिकी के प्रथम का अनुसरण करें, प्रथम श्रेणी प्रपीचुअल गति मशीन कहलाती हैं।

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

■ प्रथम श्रेणी का उल्टा (Converse of PMM1)

इसके अनुसार ऐसी कोई मशीन नहीं है जिस पर लगातार कार्य कर हम ऊर्जा की सतत आपूर्ति कर सकें।

Study PowerPoint



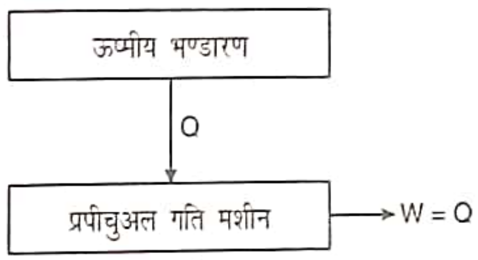
चित्र 4.13

द्वितीय श्रेणी (PMM2)

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

ऐसी मशीनें जो ऊष्मागतिकी के द्वितीय नियम का विरोध करें, द्वितीय श्रेणी प्रपीचुअल गति मशीनें कहलाती हैं।

"ऐसी मशीन जो किसी ऊष्मा भण्डारण से ऊष्मा को अवशोषित कर उसे 100% कार्य में परिवर्तित कर सके, द्वितीय श्रेणी प्रपीचुअल गति मशीनें कहलाती हैं।"



चित्र 4.14

4.8. ऊष्मा भण्डारण (Heat Reservoir)

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

ऊष्मा भण्डारण को दो वर्गों में वर्गीकृत किया गया है—

(i) ऊष्मा स्रोत (Heat Source)

(ii) ऊष्मा सिंक (Heat Sink)

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

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

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

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

4.9. ऊष्मा इंजन, ऊष्मा पम्प, रेफ्रीजरेटर

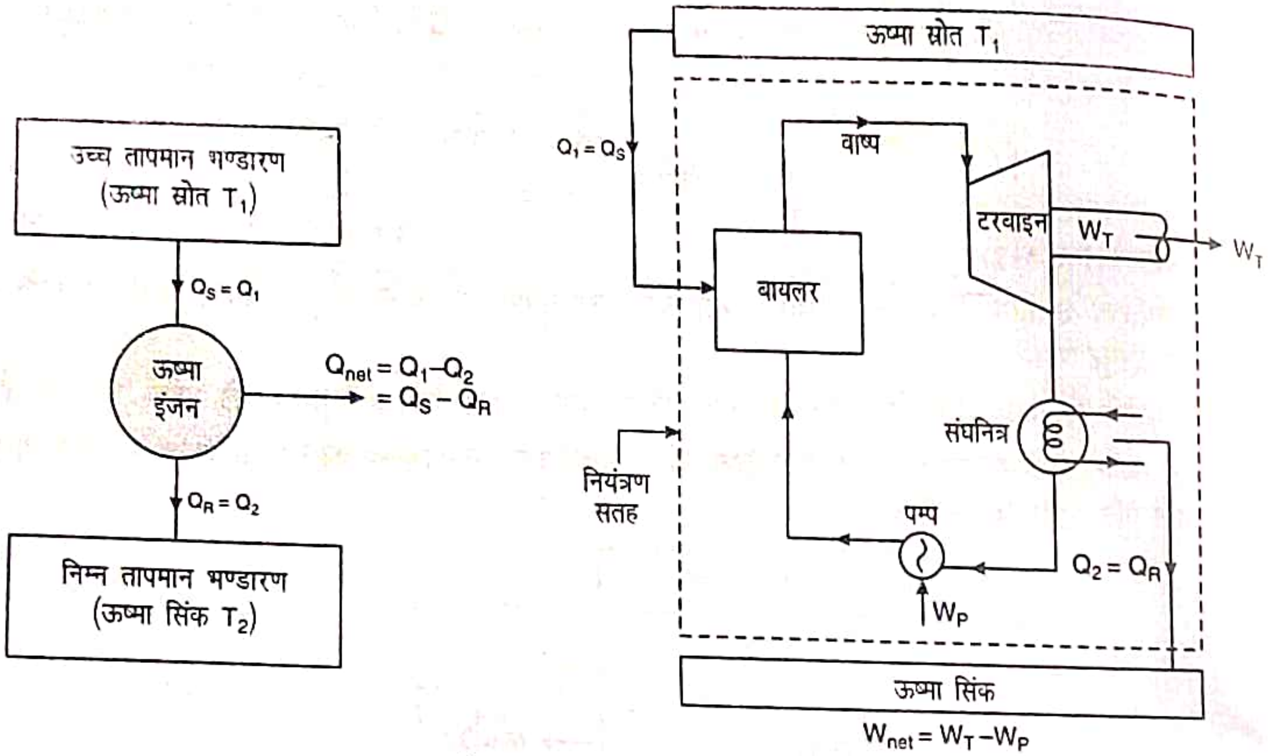
"ऊष्मा इंजन एक ऐसा ऊष्मागतिकी निकाय है जो एक चक्रीय प्रक्रम पर प्रचालित होते हैं, ऊष्मा को यान्त्रिक कार्य में परिवर्तित कर सके।"

Study PowerPoint

या

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

उदाहरण के लिए—बायलर टरबाइन आदि।



चित्र 4.15–ऊष्मा इंजन की कार्यविधि

चित्र में ऊष्मा इंजन के रूप में बॉयलर को दर्शाया गया है जो एक चक्रीय प्रक्रम पर प्रचालित होता है। इसमें ऊ स्रोत से ऊष्मा (Q_1) कार्यकारी माध्यम जल को स्थानान्तरित की जाती है, जिससे वह वाष्प में परिवर्तित हो जाता है। यह वा टरबाइन पर कार्य में परिवर्तित हो जाता है। टरबाइन द्वारा निकास वाष्प संघनित्र में प्रवेश करता है। जहाँ यह ठण्डा होकर प की सहायता से पुन: बायलर में भेज दिया जाता है तथा चक्र पूर्ण हो जाता है।

ऊष्मा इंजन की तापीय दक्षता

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

$$\text{प्राप्त शुद्ध कार्य } (W_{net}) = Q_1 - Q_2 \text{ या } Q_S - Q_R$$

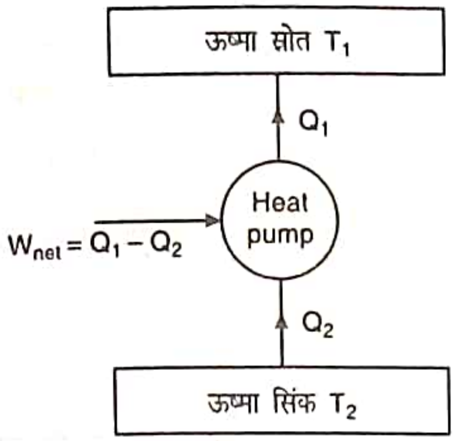
$$\text{प्रदत्त ऊष्मा } (Q_S) = Q_1 \text{ या } Q_S$$

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_S} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{Q_S - Q_R}{Q_S}$$

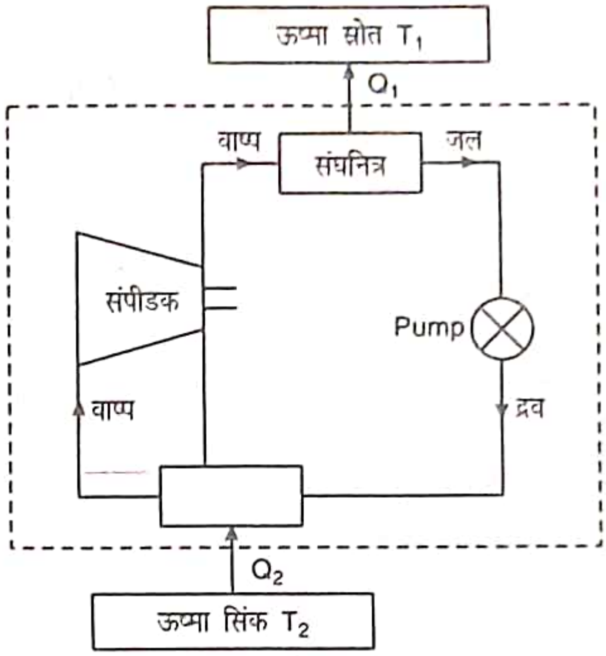
ऊष्मा पम्प

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

Study PowerPoint



ऊष्मा पम्प का ब्लाक आरेख



ऊष्मा पम्प की क्रियाविधि

चित्र 4.16

रेफ्रीजरेटर

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

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

ऊष्मा पम्प एवं रेफ्रीजरेटर का निष्पादन

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

''यह उत्पन्न वांछित प्रभाव (desired effect) तथा उक्त प्रभाव उत्पन्न करने के लिए निकाय द्वारा किए गये जाने वाले कार्य की मात्राओं का अनुपात होता है।''

पम्प में उत्पन्न वांछित प्रभाव से तात्पर्य उच्च तापमान पिण्ड को दी गई ऊष्मा Q_1

रेफ्रीजरेटर में उत्पन्न वांछित प्रभाव से तात्पर्य निम्न तापमान पिण्ड से ली गई ऊष्मा Q_2

$$(COP)_P = \frac{\text{उत्पन्न वांछित प्रभाव}}{\text{कार्य}}$$

$$\boxed{(COP)_P = \frac{Q_1}{Q_1 - Q_2} = \frac{T_1}{T_1 - T_2}}$$

$$(COP)_R = \frac{\text{उत्पन्न वांछित प्रभाव}}{\text{कार्य}}$$

$$\boxed{(COP)_R = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}}$$

Study PowerPoint

$(COP)_P$ तथा $(COP)_R$ में सम्बन्ध

$$(COP)_P = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$

$$(COP)_P = \frac{T_2}{T_1 - T_2} + 1$$

$$\boxed{(COP)_P = (COP)_R + 1} \qquad \because \ (COP)_R = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

नोट—ऊष्मा पम्प का निष्पादन रेफ्रीजरेटर के निष्पादन गुणांक से सदैव इकाई अधिक होता है।

❑ 4.10. कॉरनाट इंजन : प्रतिक्रम्य चक्र इंजन

1824 ई० में फ्रांस के एक वैज्ञानिक निकोलस कॉरनाट द्वारा एक इंजन बनाया गया जो चार प्रतिक्रम्य प्रक्रमों पर आधारित था। इस इंजन को कॉरनाट इंजन कहा गया।

चार प्रतिक्रम्य प्रक्रम निम्नलिखित हैं—

दो प्रतिक्रम्य समतापीय प्रक्रम

दो प्रतिक्रम्य रूद्धोष्म प्रक्रम

चूँकि चारों प्रक्रम प्रतिक्रम्य चक्र पर आधारित हैं, इसलिए इसे प्रतिक्रम्य चक्र इंजन भी कहते हैं।

■ कॉरनाट इंजन के लिए प्रकल्पनाएँ

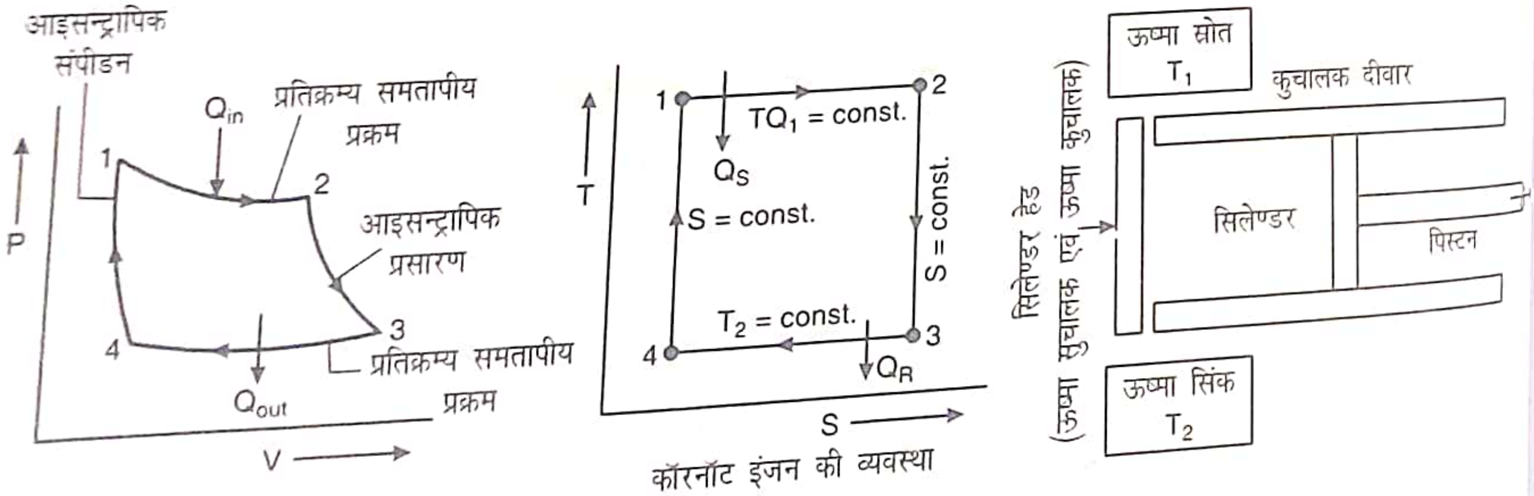
कारनॉट इंजन के निर्माण के लिए प्रमुख प्रकल्पनाएँ निम्नलिखित हैं—

(i) सिलेण्डर के अन्दर पिस्टन की गति घर्षण रहित होती है।

(ii) सिलेण्डर एवं पिस्टन की दीवारें पूर्णत: ऊष्मारोधी होती हैं।

(iii) सिलेण्डर हैड इस प्रकार बनाया जाए कि वह एक बार सुचालक की भाँति कार्य करे तथा एक बार कुचालक की भाँति कार्य करे।

(iv) इंजन में ऊष्मा स्रोत एवं ऊष्मा सिंक दोनों उपलब्ध हों।



चित्र 4.17

■ कॉरनाट इंजन की क्रियाविधि

इंजन सिलेण्डर में कार्यकारी माध्यम के रूप में द्रव या गैस का प्रयोग किया जाता है तथा पिस्टन इंजन सिलेण्डर के अन्दर पश्चाग्र गति करता है।

 Study PowerPoint

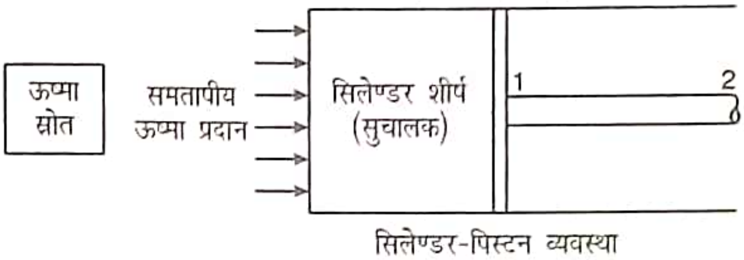
चार चक्रीय प्रक्रम निम्नलिखित हैं—

(i) प्रक्रम 1-2 : प्रतिक्रम्य समतापीय प्रदत्त ऊष्मा प्रक्रम

इस प्रक्रम में इंजन सिलेण्डर के सम्पर्क में ऊष्मा स्रोत को लाया जाता है तथा इस समय सिलेण्डर हेड सुचालक की भाँति कार्य करता है। सिलेण्डर के अन्दर पिस्टन पश्चाग्र गति करता है।

प्रक्रम 1-2 के दौरान कार्य $W_{1-2} = \int_{V_1}^{V_2} P.dV$

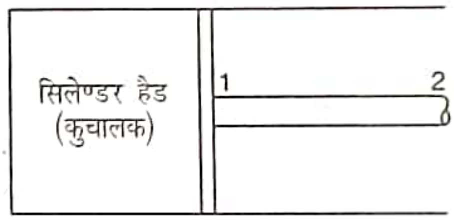
गैस का प्रसारण $PV = C$ के नियम से होता है।



चित्र 4.18

(ii) प्रक्रम 2-3 : आइसन्ट्रापिक प्रसारण प्रक्रम

इस प्रक्रम के दौरान सिलेण्डर हेड एक कुचालक की भाँति कार्य करता है तथा गैसों का प्रसारण रूद्धोष्म प्रक्रम की भाँति होता है। गैसों के प्रसारण के कारण पिस्टन पश्चाग्र गति करता है।



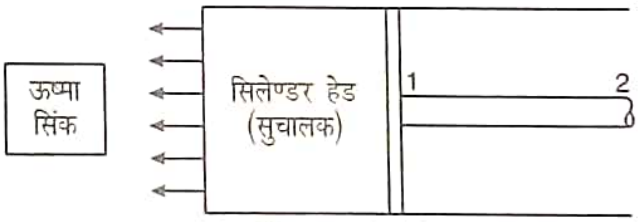
चित्र 4.19

प्रक्रम 2-3 के दौरान कार्य $W_{2-3} = P\int_{V_2}^{V_3} dV$

गैस का प्रसारण $PV^{\gamma} = C$ नियम से होता है।

प्रक्रम 3-4 : समतापीय ऊष्मा निष्कासन प्रक्रम

इस प्रक्रम के दौरान इंजन सिलेण्डर हेड एक सुचालक की भाँति कार्य करता है। इंजन सिलेण्डर हेड (शीर्ष) के सम्पर्क में ऊष्मा सिंक को लाया जाता है, जिस कारण से इंजन सिलेण्डर से ऊष्मा का निष्कासन होता है (उच्च तापमान भण्डारण से निम्न तापमान भण्डारण की तरफ)। गैसों के संपीडन से पिस्टन पश्चाग्र गति करता है।



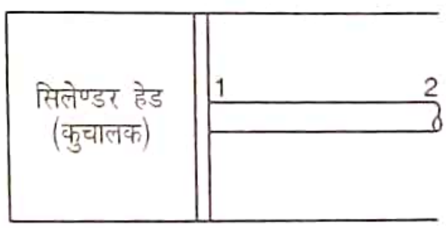
चित्र 4.20

प्रक्रम के दौरान कार्य $W_{3-4} = -P\int_{V_3}^{V_4} dV$

गैसों का संपीडन $PV = C$ के नियम से होता है।

प्रक्रम 4-1 : आइसन्ट्रॉपिक संपीडन प्रक्रम

इस प्रक्रम के दौरान सिलेण्डर हेड एक कुचालक की भाँति कार्य करता है। कार्यकारी माध्यम के सम्पीडन से पिस्टन पश्चाग्र गति कर अपनी प्रारम्भिक अवस्था में पहुँचता है तथा चक्र पूरा करता है।



चित्र 4.21

$(\ldots)_R$ में सम्बन्ध

StudyPowerPoint

$$(COP)_P = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$

$$(COP)_P = \frac{T_2}{T_1 - T_2} + 1$$

$$\boxed{(COP)_P = (COP)_R + 1} \qquad \because \ (COP)_R = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

नोट—ऊष्मा पम्प का निष्पादन रेफ्रीजरेटर के निष्पादन गुणांक से सदैव इकाई अधिक होता है।

❑ 4.10. कॉरनाट इंजन : प्रतिक्रम्य चक्र इंजन

1824 ई० में फ्रांस के एक वैज्ञानिक निकोलस कॉरनाट द्वारा एक इंजन बनाया गया जो चार प्र... आधारित था। इस इंजन को कॉरनाट इंजन कहा गया।

चार प्रतिक्रम्य प्रक्रम निम्नलिखित हैं—

दो प्रतिक्रम्य समतापीय प्रक्रम

दो प्रतिक्रम्य रूद्धोष्म प्रक्रम

चूँकि चारों प्रक्रम प्रतिक्रम्य चक्र पर आधारित हैं, इसलिए इसे प्रतिक्रम्य चक्र इंजन भी कहते है...

■ कॉरनाट इंजन के लिए प्रकल्पनाएँ

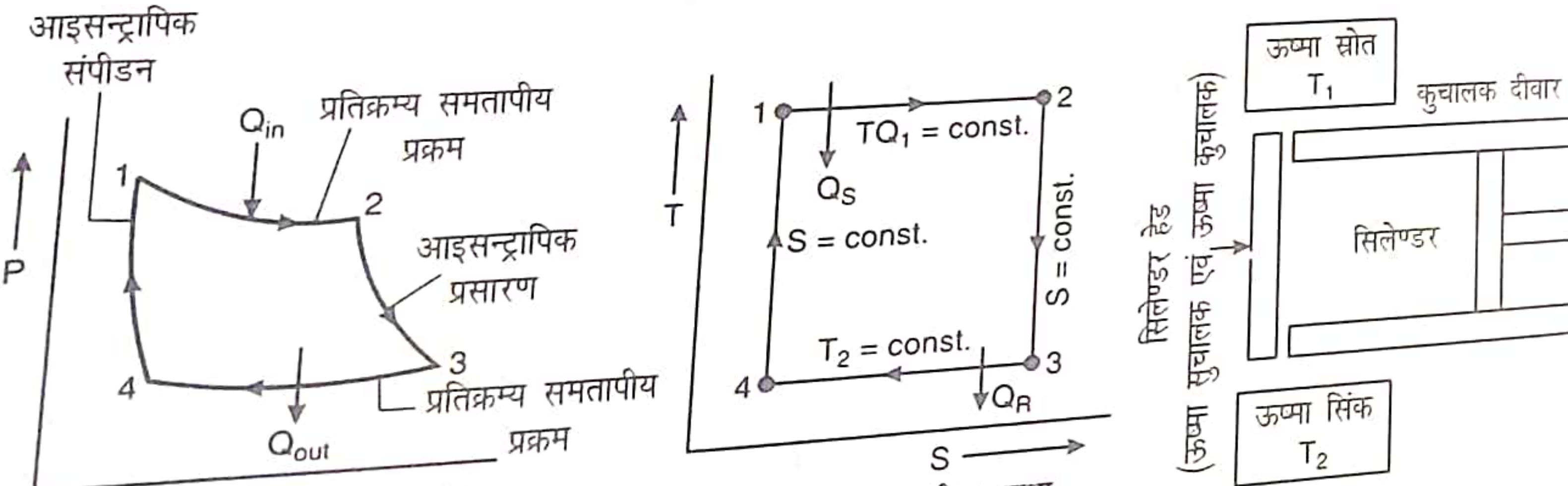
कारनॉट इंजन के निर्माण के लिए प्रमुख प्रकल्पनाएँ निम्नलिखित हैं—

(i) सिलेण्डर के अन्दर पिस्टन की गति घर्षण रहित होती है।

(ii) सिलेण्डर एवं पिस्टन की दीवारें पूर्णत: ऊष्मारोधी होती हैं।

(iii) सिलेण्डर हैड इस प्रकार बनाया जाए कि वह एक बार सुचालक की भाँति कार्य करे तथा एक ... भाँति कार्य करे।

(iv) इंजन में ऊष्मा स्रोत एवं ऊष्मा सिंक दोनों उपलब्ध हों।



कॉरनॉट इंजन की व्यवस्था

चित्र 4.17

■ कॉरनाट इंजन की क्रियाविधि

इंजन सिलेण्डर में कार्यकारी माध्यम के रूप में द्रव या गैस का प्रयोग किया जाता है तथा पिस्टन इं... ... गति करता है।

 Study PowerPoint

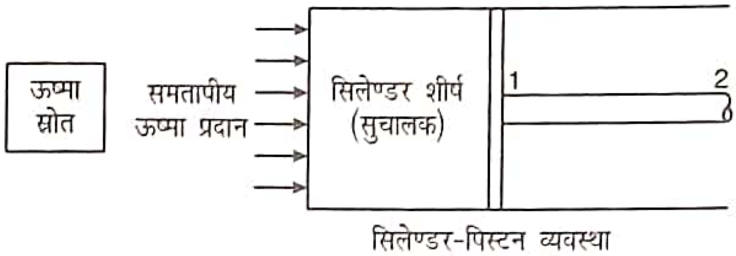
चार चक्रीय प्रक्रम निम्नलिखित हैं—

(i) प्रक्रम 1-2 : प्रतिक्रम्य समतापीय प्रदत्त ऊष्मा प्रक्रम

इस प्रक्रम में इंजन सिलेण्डर के सम्पर्क में ऊष्मा स्रोत को लाया जाता है तथा इस समय सिलेण्डर हेड सुचालक की भाँति कार्य करता है। सिलेण्डर के अन्दर पिस्टन पश्चाग्र गति करता है।

प्रक्रम 1-2 के दौरान कार्य $W_{1-2} = \int_{V_1}^{V_2} P.dV$

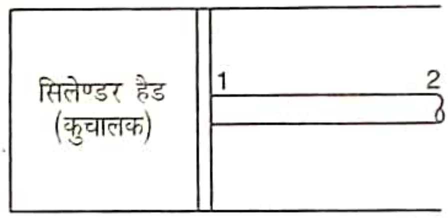
गैस का प्रसारण $PV = C$ के नियम से होता है।



चित्र 4.18

(ii) प्रक्रम 2-3 : आइसन्ट्रापिक प्रसारण प्रक्रम

इस प्रक्रम के दौरान सिलेण्डर हेड एक कुचालक की भाँति कार्य करता है तथा गैसों का प्रसारण रूद्धोष्म प्रक्रम की भाँति होता है। गैसों के प्रसारण के कारण पिस्टन पश्चाग्र गति करता है।



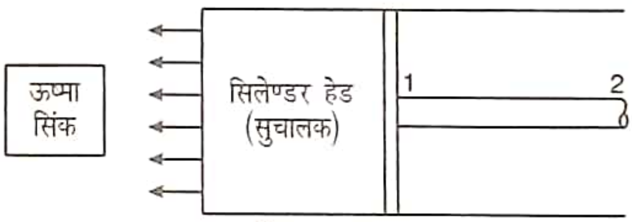
चित्र 4.19

प्रक्रम 2-3 के दौरान कार्य $W_{2-3} = P\int_{V_2}^{V_3} dV$

गैस का प्रसारण $PV^{\gamma} = C$ नियम से होता है।

प्रक्रम 3-4 : समतापीय ऊष्मा निष्कासन प्रक्रम

इस प्रक्रम के दौरान इंजन सिलेण्डर हेड एक सुचालक की भाँति कार्य करता है। इंजन सिलेण्डर हेड (शीर्ष) के सम्पर्क में ऊष्मा सिंक को लाया जाता है, जिस कारण से इंजन सिलेण्डर से ऊष्मा का निष्कासन होता है (उच्च तापमान भण्डारण से निम्न तापमान भण्डारण की तरफ)। गैसों के संपीडन से पिस्टन पश्चाग्र गति करता है।



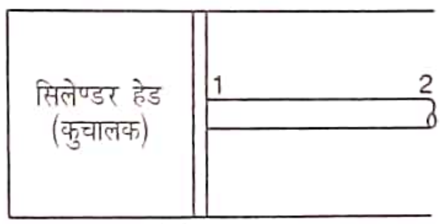
चित्र 4.20

प्रक्रम के दौरान कार्य $W_{3-4} = -P\int_{V_3}^{V_4} dV$

गैसों का संपीडन $PV = C$ के नियम से होता है।

प्रक्रम 4-1 : आइसन्ट्रॉपिक संपीडन प्रक्रम

इस प्रक्रम के दौरान सिलेण्डर हेड एक कुचालक की भाँति कार्य करता है। कार्यकारी माध्यम के सम्पीडन से पिस्टन पश्चाग्र गति कर अपनी प्रारम्भिक अवस्था में पहुँचता है तथा चक्र पूरा करता है।



चित्र 4.21

Study PowerPoint

प्रक्रम के दौरान कार्य $W_{4-1} = -P\int_{V_4}^{V_1} dV$

गैसों का संपीडन $PV^{\gamma} = C$ के नियम से होता है।

कॉरनाट चक्र की दक्षता

हम जानते हैं कि

$$\eta_c = \frac{\text{नेट कार्य प्रति चक्र } (W_{net})}{\text{नेट प्रदत्त ऊष्मा प्रति चक्र } (Q_s)}$$

प्रक्रम 1-2 : $PV = C, dU = 0$

$$q_{2-1} = W_{2-1} = \int_1^2 PdV = RT_1 \log_e \frac{P_1}{P_2}$$

प्रक्रम 2-3 : $PV^{\gamma} = C, q_{2-3} = 0$

$$W_{2-3} = (U_2 - U_3) = C_v(T_2 - T_3)$$

प्रक्रम 3-4 : $PV = C, dU = 0$

$$q_{3-4} = W_{3-4} = -RT_3 \log_e \frac{P_4}{P_3}$$

प्रक्रम 4-1 : $PV^{\gamma} = C, q_{4-1} = 0$

$$W_{4-1} = -(U_1 - U_4) = C_v(T_1 - T_4)$$

नेट कार्य

$\Rightarrow$ प्रक्रम 1-2 के दौरान प्रदत्त ऊष्मा – प्रक्रम 3-4 के दौरान निष्कासित ऊष्मा

$$= RT_1 \log_e \frac{P_1}{P_2} - RT_3 \log_e \frac{P_4}{P_3}$$

चूँकि प्रक्रम 2-3 एवं प्रक्रम 3-4 रूद्धोष्म प्रक्रम हैं

तब
$$\frac{P_2}{P_3} = \left(\frac{T_2}{T_3}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{T_1}{T_4}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

और
$$T_2 = T_1 \text{ या } T_3 = T_4$$

इस प्रकार
$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1}{P_4} \Rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \frac{P_4}{P_3}$$

नेट कार्य $W_{net} = RT_1 \log_e \frac{P_1}{P_2} - RT_3 \log_e \frac{P_4}{P_3}$

$$W_{net} = R(T_1 - T_3)\log_e \frac{P_1}{P_2}$$

$$\eta_{carnot} = \frac{\text{नेट कार्य}}{\text{प्रदत्त ऊष्मा}}$$

$$= \frac{R(T_1 - T_3)\log_e \frac{P_1}{P_2}}{RT_1 \log_e \frac{P_1}{P_2}}$$

$$\boxed{\eta_{carnot} = \frac{T_1 - T_3}{T_1}}$$

कारनॉट इंजन की सीमाएँ

इंजन में पिस्टन की गति घर्षणरहित होती है, जो प्रायोगिक रूप से संभव नहीं होता है।

तापमान नियत बना रहता है जो संभव नहीं है।

4.11. एण्ट्रॉपी : सिद्धान्त एवं भौतिक महत्व

एण्ट्रॉपी को निम्न प्रकार से परिभपित किया गया है—

"यह ऊष्मा की मात्रा का फलक होता है, जो ऊष्मा को कार्य में परिवर्तित करने की सम्भावना को प्रदर्शित करता है।"

"It is a function of a quantity of heat shows the possibility of conversion of that heat into work."

क्लासियस असमानता (Classius inequality) के अनुसार,

"जब एक निकाय पूर्ण चक्रीय प्रक्रम से गुजरता है तब पूरे चक्र में राशि $\frac{dQ}{T}$ का समाकलन शून्य या शून्य से कम होता है।"

अर्थात् $$\oint \frac{dQ}{T} \le 0$$

प्रतिक्रम्य प्रक्रम के लिए $$\oint \frac{dQ}{T} = 0$$

अप्रतिक्रम्य प्रक्रम के लिए $$\oint \frac{dQ}{T} = 0$$

प्रतिक्रम्य प्रक्रम के लिए राशि $\oint \frac{dQ}{T} = 0$, यह बताता है कि $\frac{dQ}{T}$ एक बिन्दु फलन है। अत: हम कह सकते हैं कि $\frac{dQ}{T}$ निकाय का गुणधर्म होता है। यह गुणधर्म ही एण्ट्रॉपी कहलाता है। इसे 'S' द्वारा प्रदर्शित करते हैं।

एण्ट्रॉपी में परिवर्तन $$dS = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$$

एण्ट्रॉपी को सर्वप्रथम क्लासियस द्वारा इस्तेमाल किया गया जो कि ग्रीक शब्द ट्रापी (Tropee) से लिया गया था जिसका तात्पर्य है रूपान्तरण। यह एक मात्रा सापेक्ष (Extensive property) गुणधर्म है। इसका मात्रक J/k है।

विशिष्ट एण्ट्रॉपी $= \frac{S}{m}$, J/kg K होता है।

4.12. एण्ट्रॉपी : बिन्दु फलन

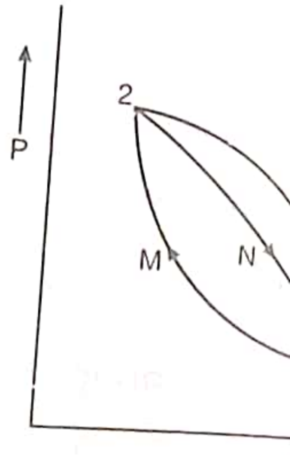
Study PowerPoint

एण्ट्रॉपी एक बिन्दु फलन है। इसको सिद्ध करने के लिए एक उदाहरण को लेते हैं—

हम जानते हैं कि

किसी प्रतिक्रम्य चक्रीय प्रक्रम के लिए—

$$\oint \frac{dQ}{T} = 0$$



चित्र 4.22

चक्र $1-M-2-N-1$ के लिए

$$\int_1^2 \frac{dQ}{T} + \int_2^1 \frac{dQ}{T} = 0 \quad \text{...(1)}$$

पथ M पथ N

चक्र $1-N-2-0-1$ के लिए

$$\int_1^2 \frac{dQ}{T} + \int_2^1 \frac{dQ}{T} = 0 \quad \text{...(2)}$$

पथ N पथ O

समीकरण (1) व (2) से

$$\int_2^1 \frac{dQ}{T} = \int_2^1 \frac{dQ}{T}$$

पथ M पथ N

उपरोक्त समीकरण से वह स्पष्ट होता है कि किसी निकाय की एण्ट्रॉपी निकाय के पथ पर निर्भर नहीं कर किसी निकाय की एण्ट्रॉपी, बिन्दु फलन गुणधर्म होता है।

4.13. एण्ट्रॉपी के लक्षण

किसी निकाय की एण्ट्रॉपी बढ़ती है यदि ऊष्मा को प्रदत्त किया जाए, चाहे तापमान में परिवर्तन कुछ भी बढ़े या घटे)।

किसी निकाय की एण्ट्रॉपी घटती है यदि ऊष्मा निष्कासित होती है, चाहे तापमान में परिवर्तन कुछ भी हो (या घटे)।

किसी निकाय की एण्ट्रॉपी घटती है यदि ऊष्मा निष्कासित होती है, चाहे तापमान में परिवर्तन कुछ भी हो (या घटे)।

किसी निकाय की एण्ट्रॉपी स्थिर होती है, रूद्धोष्म घर्षणहित प्रक्रम के लिए।

किसी थ्राटलिंग प्रक्रम में यदि कार्य न हो तो एण्ट्रॉपी बढ़ती है (ऊष्मा का तापमान कम होना चाहिए)।

किसी निकाय की एण्ट्रॉपी में परिवर्तन अप्रतिक्रम्य प्रक्रम के लिए हमेशा $\frac{dQ}{T}$ से ज्यादा होता है।

किसी प्रतिक्रम्य प्रक्रम के लिए $dS = \frac{dQ}{T}$

किसी अप्रतिक्रम्य प्रक्रम के लिए $dS > \frac{dQ}{T}$

Study PowerPoint

किसी विलगित निकाय के लिए $dS \geq \frac{dQ}{T}$

हम जानते हैं कि सभी प्रक्रम प्रयोगिक रूप से अप्रतिक्रम्य होते हैं, इसलिए ब्रह्माण्ड में एण्ट्रॉपी हमेशा बढ़ती है।

4.14. विभिन्न प्रक्रम के दौरान एण्ट्रॉपी में परिवर्तन

माना किसी निकाय में कार्यकारी माध्यम का द्रव्यमान $= m$

प्रारम्भिक दाब, आयतन तथा तापमान क्रमश: $= P_1, V_1, T_1$

अंतिम दाब, आयतन तथा तापमान क्रमश: $= P_2, V_2, T_2$

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम से

$$\delta Q = dU + dW$$

दोनों तरफ T से भाग देने पर

$$\frac{\delta Q}{T} = \frac{dU}{T} + \frac{\delta W}{T} \qquad \frac{\delta Q}{T} = dS$$

$$dS = \frac{dU}{T} + \frac{PdV}{T} \qquad \delta W = P\,dV \qquad ...(1)$$

$$TdS = dU + PdV \qquad ...(2)$$

और

$$U = H - PV \qquad [U = \text{आंतरिक ऊर्जा},\ H = \text{कुल ऊष्मा}]$$

$$TdS = d(H - PV) + PdV$$

$$TdS = dH - PdV - Vd_P + PdV$$

$$TdS = dH - Vdp \qquad ...(3)$$

$$dS = \frac{dH}{T} - \frac{VdP}{T} \qquad ...(4)$$

समीकरण (1) एवं समीकरण (2) का समाकलन करने पर

समीकरण (1) से

$$\int_1^2 dS = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dH}{T} + \int_1^2 \frac{PdV}{T} \qquad ...(5)$$

समीकरण (4) से

$$\int_1^2 dS = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dH}{T} - \int_1^2 \frac{VdV}{T} \qquad ...(6)$$

समीकरण (5) एवं (6) खुला एवं बंद निकाय दोनों तथा प्रतिक्रम्य एवं अप्रतिक्रम्य प्रक्रम के लिए मान्य है।

आदर्श गैस के लिए

$$dU = mC_v dT \text{ and } dH = mC_p dT$$

और

$$PV = mRT$$

$$\frac{V}{T} = \frac{mR}{P}$$

$$\frac{P}{T} = \frac{mR}{V}$$

समीकरण (5) एवं (6) को व्यवस्थित करने पर

$$\int_1^2 dS = S_2 - S_1 = \frac{dT}{T} + mR\frac{dV}{V}$$

या

$$\boxed{S_2 - S_1 = mC_v\int_{T_1}^{T_2}\frac{dT}{T} + mR\int_{V_1}^{V_2}\frac{dV}{V}}$$

और

$$\int_1^2 dS = S_2 - S_1 = mC_p\frac{dT}{T} - mR\frac{dP}{P}$$

$$\boxed{S_2 - S_1 = mC_p\int_{T_1}^{T_2}\frac{dT}{T} - mR\int_{P_1}^{P_2}\frac{dP}{P}}$$

समीकरण (A) एवं समीकरण (B) एण्ट्रॉपी में परिवर्तन का सामान्य समीकरण है।

एण्ट्रॉपी में परिवर्तन स्थिर आयतन या समतापीय प्रक्रम के लिए

हम जानते हैं कि स्थिर आयतन प्रक्रम में $dV = \text{constant}$

तब

$$S_2 - S_1 = mC_v\int_{T_1}^{T_2}\frac{dT}{T} + mR\int_{V_1}^{V_2}\frac{dV}{V}$$

$$= mC_v\int_{T_1}^{T_2}\frac{dT}{T}$$ [∵ dV =

$$\boxed{S_2 - S_1 = mC_v \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)}$$

सामान्य गैस समीकरण से,

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

या

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{P_2}{P_1}$$ [∵ V_1 =

$$\boxed{(S_2 - S_1) = mC_v \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)}$$

एण्ट्रॉपी में परिवर्तन स्थिर दाब या समदाबीय प्रक्रम के लिए

प्रक्रम

$$P = C$$

$$dP = 0$$

तब

$$S_2 - S_1 = mC_p\int_{T_1}^{T_2}\frac{dT}{T} - mR\int_{P_1}^{P_2}\frac{dP}{P}$$

$$= mC_p\int_{T_1}^{T_2}\frac{dT}{T}$$ [∵ dP =

$$\boxed{S_2 - S_1 = mC_p \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)}$$

या

$$\boxed{S_2 - S_1 = mC_p \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)}$$

Study PowerPoint

सामान्य गैस समीकरण से

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \quad \text{या} \quad \frac{T_2}{T_1} = \frac{V_2}{V_1}$$

एण्ट्रॉपी में परिवर्तन स्थिर तापमान या समतापीय प्रक्रम के लिए

हम जानते हैं कि

समतापीय प्रक्रम में $T = \text{Constant}$

$$dT = 0$$

तब

$$S_2 - S_1 = mC_v\int_{T_1}^{T_2}\frac{dT}{T} + mR\int_{V_1}^{V_2}\frac{dV}{V}$$

$$S_2 - S_1 = mR\int_{V_1}^{V_2}\frac{dV}{V}$$

$$\boxed{S_2 - S_1 = mR\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)}$$

सामान्य गैस समीकरण से

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

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

$$\boxed{S_2 - S_1 = mR\ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) = m(C_p - C_v)\ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right)} \qquad [\because C_p - C_v = R]$$

एण्ट्रापी में परिवर्तन रूद्धोष्म प्रक्रम के दौरान

हम जानते हैं कि रूद्धोष्म प्रक्रम में,

$$dQ = 0$$

तब

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

$$\boxed{dS = 0}$$

इस प्रक्रम को आइसन्ट्रॉपिक प्रक्रम भी कहते हैं।

एण्ट्रापी में परिवर्तन बहुविधि प्रक्रम के लिए

हम जानते हैं कि बहुविधि प्रक्रम में

$$dQ = \frac{\gamma - n}{\gamma - 1} \times \delta W \qquad [\gamma = \text{रूद्धोष्म गुणांक}]$$

$$dQ = \frac{\gamma - n}{\gamma - 1} PdV \qquad [n = \text{बहुविधि घातांक}]$$

प्रतिक्रम्य के लिए

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

Study PowerPoint

$$dQ = \frac{\frac{\gamma - n}{\gamma - 1} PdV}{T}$$

$$dS = \frac{\gamma - n}{\gamma - 1} \times \frac{P}{T} dV$$

सामान्य गैस समीकरण से

$$PV = mRT$$

$$\frac{P}{T} = \frac{mR}{V}$$

$$dS = \frac{\gamma - n}{\gamma - 1} \times mR \frac{dV}{V}$$

$$\int_{S_1}^{S_2} ds = \frac{\gamma - n}{\gamma - 1} \times \int_{V_1}^{V_2} ds \frac{dV}{V}$$

$$S_2 - S_1 = \frac{\gamma - n}{\gamma - 1} mR \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

$$\boxed{S_2 - S_1 = \frac{\gamma - n}{\gamma - 1} \times mR \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)}$$

4.15. अप्रतिवर्तनियता की संकल्पना (Concept of Irreversibility)

वास्तविक कार्य सदैव आदर्श प्रतिवर्त्य कार्य से कम होता है। इन दोनों के अन्तर को "अप्रतिवर्तनियता" कहते J से प्रदर्शित करते हैं।

$$I = W_{max} - W$$

एकांक द्रव्यमान के लिए (अप्रवाही प्रक्रम)

$$I = [U_1 - U_2 - T_0 (S_1 - S_2)] - [(U_1 - U_2) + Q_2]$$

$$I = T_0 (S_2 - S_1) - Q_2$$

$$I = T_0 (\Delta S)_{system} + T_0 (\Delta S)_{surrounding}$$

$$I = T_0 [(\Delta S)_{system} + (\Delta S)_{surrounding}]$$

$$I \geq 0$$

प्रवाही प्रक्रम के लिए—

$$I = W_{max} - W$$

$$= \left[\left(b_1 + \frac{C_1^2}{Z} + gZ_1\right) - \left(b_2 + \frac{C_2^2}{Z} + gZ_2\right)\right] - \left(h_1 + \frac{C_1^2}{Z} + gZ_1\right) - \left(h_2 + \frac{C_2^2}{Z} + gZ_2\right) + \ldots$$

$$I = T_0 (S_2 - S_1) - Q$$

$$I = T_0 (\Delta S)_{sysiem} + T_0 (\Delta S)_{surrounding}$$

$$I = T_0 (\Delta S_{system} + \Delta_{surrounding})$$

Study PowerPoint

ऊष्मागतिकी का तृतीय नियम—यह निरपेक्ष शून्य एण्ट्रापी पर आधारित है। इस नियम के अनुसार, "किसी का परम तापक्रम" पर एन्ट्रॉपी शून्य होती है। यह नियम संभव नहीं होता है।

यह नियम प्रयोगात्मक परीक्षणों पर आधारित हैं, इनका कोई गणितीय साक्ष्य उपलब्ध नहीं है। यह नियम तर्कपूर्ण होता

|| सारांश ||

ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम

- इस नियम के अनुसार ऊष्मा तथा कार्य एक-दूसरे के समानुपाती होते हैं।

एन्थालपी

- किसी निकाय की कुल ऊष्मा को उसकी एन्थालपी कहते हैं।

ऊष्मागतिकी का द्वितीय नियम

- इस नियम के अनुसार, "ऐसा इंजन बनाना संभव नहीं है जो ऊष्मा सिंक से ऊष्मा स्रोत को ऊष्मा प्रदान कर सके, जब तक कि किसी बाह्य युक्ति का प्रयोग न किया जाए।"

ऊष्मा इंजन

- यह एक ऊष्मागतिकी निकाय है, जो चक्रीय प्रक्रम पर प्रचालित होते हुए ऊष्मा को कार्य में परिवर्तित कर सके।

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

- **ऊष्मा पम्प**–यह एक ऊष्मागतिकी निकाय है, जो चक्रीय प्रक्रम पर प्रचालित होते हुए सिंक से स्रोत को ऊष्मा प्रदान कर सके।

$$(\text{COP})_P = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$

- **रेफ्रीजरेटर**–इसका कार्य ऊष्मा पम्प के समान होता है, परन्तु इसका तापमान परिवेश से कम बना रहता है।

$$(\text{COP})_R = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$

$$\boxed{(\text{COP})_P = (\text{COP})_R + 1}$$

- **कारनॉट इंजन**–यह एक प्रतिक्रम्य चक्र पर आधारित होता है।

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

- **एण्ट्रापी**–यह ऊष्मा की मात्रा का फलक होता है, जो ऊष्मा की कार्य परिवर्तन की सम्भावना को प्रदर्शित करता है। इसे S द्वारा प्रदर्शित करते हैं।

$$dS = \frac{dQ}{T} \text{ J/k}$$

- प्रथम नियम के इंजीनियरिंग अनुप्रयोग
  (i) टरबाइन
  (ii) पम्प
  (iii) सम्पीडक
  (iv) बॉयलर
  (v) संघनित्र

Study PowerPoint

(vi) वाष्पित्र

(vii) नॉजल

- **ऊष्मागतिकी का तृतीय नियम**
  - यह निरपेक्ष शून्य एण्ट्रापी पर आधारित है। इस नियम के अनुसार "किसी पदार्थ का परम तापक्रम पर एण्ट्रापी शून्य है। यह नियम संभव नहीं होता है।

हल सहित उदाहरण

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम पर आधारित

उदाहरण 1. सिलेण्डर-पिस्टन व्यवस्था में, सिलेण्डर के अन्दर गैस इस प्रकार सम्पीडित होती है कि सम्पी अंत में आयतन प्रारम्भिक आयतन का आधा रह जाता है। सम्पीडन के दौरान परिवेश निष्कासित ऊष्मा की मात्रा 23 है। व्यवस्था में आंतरिक ऊर्जा स्थिर मानी जाती है।

कार्य की गणना कीजिए।

हल : हम जानते हैं कि ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम से

$$Q_{1-2} = U_{1-2} + W_{1-2}$$

प्रश्नानुसार,

$$Q_{1-2} = -230 \text{ kJ}$$ (–ve चिन्ह संपीडन के क

$$U_{1-2} = 0$$

$$Q_{1-2} = 0 + W_{1-2}$$

$$\boxed{W_{1-2} = -230 \text{ kJ}}$$

–ve का तात्पर्य है निकाय पर कार्य किया जा रहा है।

उदाहरण 2. एक बंद चक्रीय प्रक्रम से निम्न आँकड़े प्राप्त किए गए हैं—

प्रक्रम	ऊष्मा Q (kJ/min)	W (kJ/min)
1-2	0	–650
2-3	4500	0
3-4	–500	4000
4-1	–950	–350

ज्ञात कीजिए—

(i) क्या प्रक्रम, ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम का अनुसरण करती है?

(ii) नेट कार्य kW में।

(iii) चक्र की दक्षता।

हल : (i) हम जानते हैं कि यदि प्रक्रम प्रथम नियम का अनुसरण करें तब—

$$dQ_{net} = dW_{net}$$

$$dQ_{net} = Q_{1-2} + Q_{2-3} + Q_{3-4} + Q_{4-1}$$

$$= (0 + 4500 - 550 - 950) \text{ kJ/min}$$

Study PowerPoint

$$dQ_{net} = 3000\,kJ/min \quad ...(1)$$

$$dW_{net} = W_{1-2} + W_{2-3} + W_{3-4} + W_{4-1}$$

$$= (-650 + 0 + 4000 + 350)\,kJ/min$$

$$dW_{net} = 3000\,kJ/min \quad ...(2)$$

समीकरण (1) एवं समीकरण (2) से

$$\boxed{dQ_{net} = dW_{net}}$$

अत: प्रक्रम प्रथम नियम का अनुसरण करेगी।

(ii)

$$W_{net} = 3000\,kJ/min$$

$$= \frac{3000}{60}\,kJ/sec$$

$$\boxed{W_{net} = 50\,kJ/sec \text{ or } 50\,kW}$$

(iii) चक्र की दक्षता

$$= \frac{dW_{net}}{dQ_{net}}$$

$$= \frac{3000}{3000}$$

$$\boxed{n = 1 \text{ या } 100\%}$$

उदाहरण 3. 0.3 kg का गैस 100 KPa पर 40° C पर सिलेण्डर में संचित किया गया है। सिलेण्डर में पिस्टन की ...कारण गैस का संपीडन 100 KPa से 1 MPa तक होता है तथा तापमान बढ़कर 160° C हो जाता है। प्रक्रम के ...यदि कार्य 30 kJ होता है तो ऊष्मा स्थानान्तरण ज्ञात कीजिए, यदि C_v = 0.75 kJ/kg K हो।

हल : दिया है $m = 0.3$ kg

$$T_1 = 40° = 40 + 273 = 313\,K$$

$$P_1 = 100\,KPa$$

$$T_2 = 160°\,C = 160 + 273 = 433\,K$$

$$P_2 = 1\,MPa$$

$$W = -30\,kJ$$ (–ve संपीडन के कारण)

हम जानते हैं कि

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम से

$$Q = \Delta U + W$$

$$Q = MC_v(T_2 - T_1) + W$$

$$\Delta U = mC_v(T_2 - T_1)$$

$$Q = 0.3 \times 0.75\,(433 - 313) - 30$$

$$Q = 27 - 30$$

Study PowerPoint

$$Q = -3\,kJ$$

(–ve चिन्ह यह प्रदर्शित करता है निकाय से ऊष्मा निष्कासित होती है।)

उदाहरण 4. स्थिर दाब 0.105 MPa पर गैस का सम्पीडन बिना घर्षण के होता है। आयतन में परिवर्तन 0.4 से 0.20 m^3 तक होता है। द्रव्यमान को एक मानते हुए आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन ज्ञात कीजिए यदि गैस द्वारा निष्कासित ऊष्मा 42.5 kJ हो।

हल : दिया है, $P_1 = 0.105$ MPa, $P_2 = 0.105 \times 10^3$ KPa

$$V_1 = 0.4\,m^2$$

$$V_2 = 0.20\,m^3$$

$$Q = -425\,kJ$$

(–ve चिन्ह क्योंकि गैस से ऊष्मा का निष्कासन हो रहा है)

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम से

$$Q = \Delta U + dW$$

$$\Delta U = Q - dW$$

$$= -42.5 - P(V_2 - V_1)$$

$$= -42.5 - 0.105(2.20 - 0.40) \times 10^3$$

$$= -42.5 + 21\,kJ$$

$$\boxed{\Delta U = -21.5\,kJ}$$ (–ve चिन्ह आंतरिक ऊर्जा में कमी को दर्शाता है)

उदाहरण 5. एक 1 kg का आदर्श गैस 18° C से 93° C तक गर्म किया जाता है। निम्न की गणना कीजिए

(i) विशिष्ट ऊष्मा स्थिर आयतन या स्थिर दाब पर

(ii) आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन

(iii) कार्य दिया है $R = 0.264$ kJ/kg°K

$$\gamma = 1.18$$

$$Q = 160\,kJ$$

हल : दिया है,

$$m = 1\,kg$$

$$T_1 = 18 + 273 = 291\,K$$

$$T_2 = 93 + 273 = 366\,K$$

$$R = 0.264\,kJ/kg°K$$

$$\gamma = 1.18$$

$$Q = 160\,kJ$$

(a) C_p and C_v

$$C_p - C_v = R$$

Study PowerPoint

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

$$C_p - C_v = 0.264$$

$$\frac{C_p}{C_v} = 1.18$$

$$C_p = 1.18\, C_v$$

$$1.18 C_v - C_v = 0.264$$

$$C_v = \frac{0.264}{0.18}$$

$$\boxed{C_v = 1.467 \text{ kJ/kg°K}}$$

$$\boxed{C_p = 1.731 \text{ kJ/kg°K}}$$

(b) आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन

$$\Delta U = mC_v (T_2 - T_1)$$

$$\Delta U = 1 \times 1.467 (366 - 291)$$

$$\boxed{\Delta U = 110.025 \text{ kJ}}$$

(c) कार्य dW

$$dW = Q - \Delta U$$

$$= 160 - 110.025$$

$$= 49.975 \text{ kJ}$$

$$\boxed{dW = 50 \text{ kJ}}$$

उदाहरण 6. 0.5 kg गैस का दाब 8.8 बार से 1.1 बार तक घटता है तथा निकाय में ऊष्मा अंतरण शून्य है। निकाय का प्रारम्भिक तापमान 200° C है।

कार्य तथा आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन ज्ञात कीजिए यदि— **(2005)**

$$C_p = 1.008, C_v = 0.714$$

हल : दिया है,

$$m = 0.5 \text{ kg}$$

$$P_1 = 8.8 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$P_2 = 1.1 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$T_1 = 200 + 273 = 473 \text{ K}$$

$$C_p = 1.008$$

$$C_v = 0.714$$

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{1.008}{0.714} = 1.41$$

हम जानते हैं कि रूद्धोष्म प्रक्रम में

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

$$\frac{T_2}{473} = \left(\frac{1.1\times10^5}{8.8\times10^5}\right)^{\frac{1.41-1}{1.41}}$$

$$T_2 = 258.38 \text{ K}$$

(i) रूद्धोष्म प्रक्रम के दौरान कार्य

$$dW = \frac{mR\,(T_1 - T_2)}{\gamma - 1}$$

$$dW = \frac{0.5\times(1.008-0.714)(473-258.38)}{1.41-1}$$

$\therefore$ $$C_p - C_v = R$$

$$\boxed{dW = 76.949 \text{ kJ}}$$

(ii) आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन dU

$$dQ = dU + dW$$

$\because$ $$dQ = 0$$

$$dU = -dW$$

$$\boxed{dU = -76.949 \text{ kJ}}$$

(–ve चिन्ह आंतरिक ऊर्जा में कमी को प्रदर्शित करता

उदाहरण 7. एक 2 kg का आदर्श गैस का दाब 10 बार तथा 500 K तापमान है। गैस का आयतन 0.3 m³ है। प्रसारण के लिए $pV^{1.2} = C$ का अनुसरण करती है तथा आंतरिक ऊर्जा में कमी 300 kJ है। ज्ञात कीजिए—

(i) R

(ii) कार्य, यदि $\gamma = 1.4$ हो तो। (20

हल : दिया है,

$$m = 2 \text{ kg}$$

$$P_1 = 10 \text{ bar} = 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$T_1 = 500 \text{ K}$$

$$V_1 = 0.3 \text{ m}^3$$

$$PV^n = C$$

$\Rightarrow$ $$PV^{1.2} = C$$

$$n = 1.2$$

$$\Delta U = -300 \text{ kJ} = -300\times10^3 \text{ J}$$

$$\gamma = 1.4$$

Study PowerPoint

(i) हम जानते हैं कि

$$P_1V_1 = mRT_1$$

$$R = \frac{P_1V_1}{mT_1}$$

$$R = \frac{10^6 \times 0.3}{2 \times 500}$$

$$R = 300 \text{ J/kg°K}$$

(ii) $dQ = dU + dW$

$$dU = -300 \text{ kJ} = -3 \times 10^5$$

$$dU = mC_v(T_2 - T_1)$$

$$-3 \times 10^5 = 2 \times 750\,(T_2 - T_1)$$

माना

$$C_v = 0.750 \text{ kJ/kg °K}$$

$$C_v = 750 \text{ J/kg °K}$$

$$(T_2 - T_1) = -200 \text{ K}$$

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

$$C_p = \frac{1.4 \times 300}{1.4 - 1}$$

$$C_p = 1050 \text{ J/kg °K}$$

$$dQ = mC_p(T_2 - T_1)$$

$$dQ = 2 \times 1050 \times -200$$

$$dQ = -420000 \text{ J}$$

$$dQ = -420 \text{ kJ}$$

$$dQ = dU + dW$$

$$-420 = 300 + dW$$

$$dW = -420 + 300$$

$$\boxed{dW = -120 \text{ kJ}}$$

(–ve चिन्ह यह प्रदर्शित करता है कि निकाय पर कार्य हो रहा है)

कारनॉट चक्र पर आधारित

उदाहरण 1. एक कारनॉट-रेफ्रीजरेटर इंजन जिसका अंतिम तापमान 243 K है तथा यह 1.25 kW कार्य उत्पन्न रता है। ऊष्मा अवशोषण 210 kJ/min है। ज्ञात कीजिए

(i) COP

(ii) तापमान जिस पर ऊष्मा का निष्कासन हो।

(iii) निष्कासित ऊष्मा kJ/टन **(2003)**

हल : दिया है

$$T_2 = 243 \text{ K}$$

$$W_{net} = 1.25 \text{ kW/ton}$$

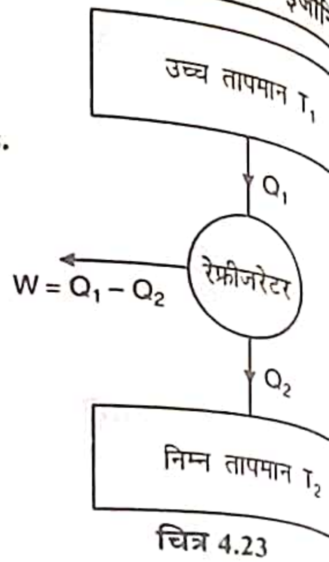
$$Q_2 = 210 \text{ kJ/min}$$

$$Q_2 = 3.5 \text{ kW}$$

Study PowerPoint

(i) $(COP)_R = \frac{Q_2}{W_{net}} = \frac{3.5}{1.25}$

$$\boxed{(COP)_R = 2.8}$$ **Ans.**



चित्र 4.23

(ii) T_1

हम जानते हैं कि

$$(COP)_R = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

$$2.8 = \frac{243}{T_1 - 243}$$

$$T_1 = 329.8\,°K$$

(iii) ऊष्मा निष्कासन

$$Q_1 = W + Q_2$$

$$Q_1 = 1.2 + 3.5$$

$$\boxed{Q_1 = 4.75\ kW/ton}$$

उदाहरण 2. एक कारनॉट इंजन 260°C पर 0.64 kJ ऊष्मा प्रदत्त करता है। प्रति चक्र कार्य 0.27 kJ है। ज्ञात कीजिए—

(i) सिंक का तापमान जिस पर ऊष्मा का निष्कासन होता है।

(ii) इंजन की ऊष्मीय दक्षता।

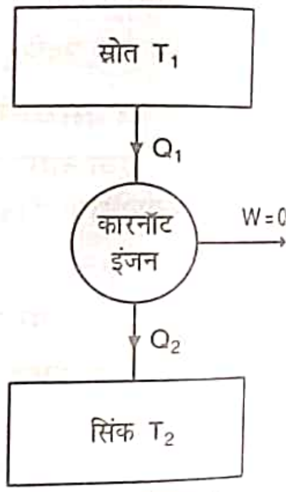
हल : दिया है

$$T_1 = 260 + 273 = 533\,°K$$

$$Q_1 = 0.64\ kJ = 640\ J$$

$$W_{net} = 0.27\ kJ = 270\ J$$

हम जानते हैं कि



चित्र 4.24

$$\eta_E = \frac{W_{net}}{Q_s}$$

$$\frac{270}{640} = \frac{533 - T_2}{T_1}$$

$$\frac{270}{640} = \frac{533 - T_2}{533}$$

$$\boxed{T_2 = 308.14\ K \text{ या } 35.14°}$$

$$\eta = \frac{270}{640}$$

$$\boxed{\eta = 421875\%}$$

Study PowerPoint

उदाहरण 3. एक कारनॉट इंजन 825°C से 125°C के बीच कार्य करता है। ऊष्मा अवशोषण की दर प्रति मिनट 600 kJ है। इंजन की दक्षता ज्ञात कीजिए।

हल : दिया है : भण्डारण का उच्च तापमान $T_1 = 825°C = 825 + 273 = 1098$ K

निम्न भण्डारण का तापमान $T_2 = 125° C = 125 + 273 = 398$ K

$$\eta = \frac{T_1 + T_2}{T_1} = \frac{1098 - 398}{1098}$$

$$\boxed{\eta = 63.75\%}$$

उदाहरण 4. एक कारनॉट रेफ्रीजरेटर 1.3 kW शक्ति का प्रयोग कर 1 टन रेफ्रीजरेशन प्रभाव उत्पन्न करती है। इस दौरान तापमान –38° C है। ज्ञात कीजिए—

(a) COP (b) उच्च भण्डारण तापमान

(c) यदि यह रेफ्रीजरेटर, ऊष्मा पम्प की तरह कार्य करे तो COP एवं ऊष्मा प्रदत्त ज्ञात कीजिए।

हल : $T_2 = -38° C = -38 + 273 = 235$ K

$$\text{शक्ति} = 1.3 \text{ kW} = 1.3 \text{ kJ/sec} = 1.3 \times 3600 \text{ kJ/hr}$$

$$1 \text{ टन रेफ्रीजरेशन प्रभाव} = 14000 \text{ kJ/hr}$$

$$(COP)_R = \frac{\text{प्रति घण्टे उत्पन्न रेफ्रीजरेशन प्रभाव}}{\text{कार्य प्रति घण्टे}}$$

$$(COP)_R = \frac{14000}{1.3 \times 3600}$$

$$\boxed{(COP)_R = 2.99}$$

$$(COP)_R = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

$$2.99 = \frac{235}{T_1 - 235}$$

$$\boxed{T_1 = 314 \text{ K} = 41° \text{ C}}$$

जब इंजन, ऊष्मा पम्प की तरह कार्य करे तब

$$\text{ऊष्मा प्रदत्त} = \frac{14000}{60} + 1.3 \times 3600$$

$$= 311.3 \text{ kJ/min}$$

$$(COP)_P = \frac{\text{प्रदत्त ऊष्मा}}{\text{कार्य}}$$

$$(COP)_P = \frac{311.3}{1.3 \times 60}$$

$$\boxed{(COP)_P = 3.99}$$

या, हम जानते हैं कि

$$(COP)_P = 1 + (COP)_R$$

$$(COP)_P = 1 + 2.99$$

$$\boxed{(COP)_P = 3.99}$$

Study PowerPoint

✦ एण्ट्रॉपी में परिवर्तन पर आधारित

उदाहरण 1. एक गैस की निश्चित मात्रा को स्थिर आयतन पर गर्म किया जा रहा है जिससे तापमान परि 175°C से 50°C तक हो रहा है। आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन 460 kJ हो तो एण्ट्रॉपी में परिवर्तन ज्ञात करें।

हल : दिया है,

$$\Delta U = 460\,\text{kJ}$$
$$T_1 = 50 + 273 = 323\,\text{K}$$
$$T_2 = 175 + 273 = 448\,\text{K}$$

स्थिर आयतन पर आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन

$$\Delta U = mC_v(T_2 - T_1)$$
$$460 = mC_v(448 - 323)$$
$$mC_v = 3.68$$

एण्ट्रापी में परिवर्तन $(S_2 - S_1) = mC_v \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)$

$$S_2 - S_1 = 3.68 \times \ln\left(\frac{478}{323}\right)$$

$$\boxed{S_2 - S_1 = 1.203\ \text{kJ/kg K}}$$

उदाहरण 2. 1 m^3 आयतन का गैस स्थिर तापमान पर 127°C पर 2.5 bar पर 2.5 bar से 12.0 bar सम्पीडित किया जाता है। कार्य तथा एण्ट्रॉपी में परिवर्तन ज्ञात कीजिए।

हल : स्थिर तापमान प्रक्रम पर कार्य $W_{1-2} = P_1V_1 \log_e\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$

दिया है

$$P_1 = 2.5\ \text{bar} = 2.5 \times 10^5\ \text{N/m}^2$$
$$P_2 = 12.0\ \text{bar} = 12.0 \times 10^5\ \text{N/m}^2$$
$$V_1 = 1\,\text{m}^3$$

हम जानते हैं कि $P_1V_1 = P_2V_2$

$$\Rightarrow \quad V_2 = \frac{P_1V_1}{V_2} = \frac{2.5 \times 10^5 \times 1}{12.0 \times 10^5} = 0.208\ \text{m}^3$$

$$W_{1-2} = 2.5 \times 10^5 \times 1 \times \log_e\left(\frac{0.208}{1}\right)\text{J}$$

$$= -392,554.299\ \text{J}$$

$$\boxed{W_{1-2} = 392.554\ \text{kJ}}$$

हम जानते हैं कि

$$P_1V_1 = mRT_1$$

$$mR = \frac{P_1V_1}{T_1}\,T_1 = 127°\,\text{C}$$

Study PowerPoint

$$V = 127 + 273 = 400$$

$$mR = \frac{2.5 \times 10^5 \times 1}{400}$$

$$mR = 625 \text{ kJ/K}$$

एण्ट्रॉपी में परिवर्तन

$$S_2 - S_1 = mR \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

$$S_2 - S_1 = 625 \times \ln\left(\frac{0.208}{1}\right)$$

$$S_2 - S_1 = -981.385 \text{ kJ/kg K}$$

अभ्यास

✦ महत्वपूर्ण प्रश्न

1. एक कारनॉट रेफ्रीजरेटर इंजन जिसका अंतिम तापमान 243°K है तथा यह 1.25 kW कार्य उत्पन्न करती है। ज्ञात कीजिए—
   (i) COP (ii) तापमान जिस पर ऊष्मा का निष्कासन होता है। (iii) निष्कासित ऊष्मा kJ/टन **(2003)**
2. ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम को समझाइए तथा इसका गणितीय निरूपण भी दर्शाइए। **(2004, 05, 09)**
3. एण्ट्रॉपी को परिभाषित कीजिए। एण्ट्रॉपी का सम्बन्ध ज्ञात कीजिए जब $PV^{\gamma} = C$ हो।
4. ऊष्मा इंजन, ऊष्मा पम्प एवं रेफ्रीजरेटर को परिभाषित कीजिए। दक्षता तथा COP को परिभाषित कीजिए। **(2008)**
5. कारनॉट चक्र को परिभाषित कीजिए तथा $P-V$ आरेख द्वारा समझाइए। **(2009)**
6. ऊष्मागतिकी के द्वितीय नियम को समझाइए। **(2009)**
7. एक कारनॉट इंजन 260° C पर 0.64 kJ ऊष्मा प्रदत्त करता है। प्रति चक्र कार्य 0.27 kJ है। निम्न को ज्ञात कीजिए—
   (i) सिंक का तापमान जिस पर ऊष्मा का निष्कासन होता है।
   (ii) इंजन की ऊष्मीय दक्षता **(2010)**
8. एण्ट्रॉपी एवं प्रतिक्रम्य प्रक्रम को समझाइए। **(2010)**
9. एक कारनॉट इंजन 825°C से 125° C के बीच कार्य करता है। ऊष्मा अवशोषण की दर प्रति मिनट 3600 kJ है। ज्ञात कीजिए शक्ति एवं निष्कासित ऊष्मा प्रति सेकण्ड। **(2012)**
10. ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम को समझाइए। **(2013)**
11. किसी गैस का तापन एवं प्रसारण, रूद्धोष्म प्रक्रम में $P-V$ आरेख द्वारा समझाइए तथा कार्य, आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन, एल्थालपी में परिवर्तन का समीकरण ज्ञात कीजिए। **(2013)**
12. 30° C तथा 1 bar पर वायु का संपीडन रूद्धोष्म प्रक्रम ($n = 1.4$) के अनुसार 5 m^3 से 1 m^3 तक होता है। ज्ञात कीजिए अंतिम तापमान, दाब, कार्य तथा स्थानान्तरित ऊष्मा। **(2013)**
13. ऊष्मागतिकी के द्वितीय नियम का कथन देकर उसे समझाइये। **(2014)**
14. एक कारनॉट चक्र में 100° C पर 25 kJ ऊष्मा की आपूर्ति की जाती है जबकि 0° C पर 18.3 kJ ऊष्मा का उत्सर्जन किया जाता है। सेन्टीग्रेड पैमाने पर परम शून्य को ज्ञात कीजिए। **(2014)**
15. एन्ट्रापी के बढ़ने के सिद्धान्त का वर्णन कीजिये। **(2014)**

Study PowerPoint

✦ ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम पर आधारित प्रश्न

1. एक चक्रीय प्रक्रम पर आधारित निकाय से निम्न आँकड़े प्राप्त किए जाते हैं—

   30 kJ, –100 kJ, –35 kJ, 140 kJ

   यदि आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन नगण्य हो तो कार्य की मात्रा की गणना कीजिए।

   उत्तर— 35 kJ

2. एक सिलेण्डर पिस्टन व्यवस्था में कार्यकारी माध्यम के रूप में वायु का प्रयोग किया जाता है। पिस्टन की गति कारण वायु का संपीडन एवं प्रसारण इस प्रकार होता है कि—

   (i) संपीडन के कारण, पिस्टन द्वारा वायु पर कार्य 10 kJ तथा ऊष्मा निष्कासन 60 kJ है।
   (ii) प्रसारण के कारण कार्य 20 kJ है।

   ज्ञात कीजिए—

   (i) प्रति चक्र ऊष्मा अंतरण
   (ii) नेट कार्य

   उत्तर— 160 kJ, 100 kJ

3. संपीडन स्ट्रोक के दौरान अंतर्दहन इंजन में ऊष्मा का निष्कासन 50 kJ/kg है तथा कार्य प्रदत्त 100 kJ/kg है। कीजिए कि आंतरिक ऊर्जा में बढ़ोत्तरी होगी या कमी तथा कितनी।

   उत्तर—50 kJ/kg, बढ़ोत्तरी

✦ कारनॉट चक्र, ऊष्मा इंजन, ऊष्मा पम्प, रेफ्रीजरेटर पर आधारित प्रश्न

1. एक कारनॉट चक्र पर आधारित रेफ्रीरेटर की शक्ति की गणना कीजिए यदि रेफ्रीजरेटर –30° C तापमान पर 34 kW ऊष्मा निकाय को प्रदान करती हैं, जिसका तापमान 25° C है।

   उत्तर— 78.8 kW

2. एक कारनॉट इंजन 150°C से 40° C तापमान के बीच कार्य करता है। यदि इंजन 200 kJ ऊष्मा प्राप्त करता है चक्र की तापीय दक्षता, कार्य तथा निष्कासित ऊष्मा ज्ञात कीजिए।

   उत्तर— 0.26, 52 kJ, 148 kJ

3. एक ऊष्मा इंजन में उच्च तापमान भण्डारण जिसका तापमान 800°C है तथा सिंक का तापमान 30°C है, इंजन चलाने के लिए आवश्यक शक्ति की गणना kW में कीजिए।

   उत्तर— 0.392 kW

4. दो स्थिर तापमान स्रोत से प्रतिक्रम्य इंजन को 1000 K, 800 K पर क्रमश: ऊष्मा प्रदत्त की जा रही है। यदि इं ऊष्मा का निष्कासन सिंक को 310 K पर करती है तथा इंजन पर उपलब्ध कार्य 100 kW है तथा ऊष्मा निष्कासन मात्रा 60 kW है, तो प्रत्येक स्रोत को प्रदत्त ऊष्मा की मात्रा तथा इंजन की दक्षता ज्ञात कीजिए।

   उत्तर— 25.8 kJ, 134.2 kJ, 62.5%

5. एक कोल्ड स्टोरेज का तापमान 263 K पर नियन्त्रित किया गया है जबकि वातावरणीय तापमान 300 K है। को स्टोरेज में ऊष्मा भार 30 kW है तथा वास्तविक COP, आदर्श COP का 60% है। कोल्ड स्टोरेज को चलाने के लि आवश्यक शक्ति की गणना कीजिए।

   उत्तर— 7.04 W

Study PowerPoint

एण्ट्रॉपी में परिवर्तन पर आधारित प्रश्न

1. एक 2 kg द्रव्यमान की गैस जिसका दाब एवं आयतन 986 kW/m^2 तथा 5 m^3 क्रमशः हैं। प्रसारण के पश्चात् यदि गैस का दाब एवं आयतन 12.3 m^3 तथा 0.310 kW/m^2 हो तो गैस की एण्ट्रॉपी में परिवर्तन ज्ञात कीजिए। यदि C_p = 1.005 kJ/kg K, C_v = 0.715 kJ/kg K

   उत्तर— 0.1663 kJ/kg K

2. एक नियत द्रव्यमान का गैस स्थिर आयतन पर 50° C से 175° C तक गर्म किया जा रहा है। जिस कारण से आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन 460 kJ है। एण्ट्रॉपी में परिवर्तन ज्ञात कीजिए।

   उत्तर— 1.203 kJ/kg K

3. एक आदर्श गैस जिसका दाब एवं आयतन 1 bar एवं 0.9 m^3 तथा गैस के नियम का अनुसरण $PV^{1.25} = C$ के अनुसार करती है। गैस के सम्पीडन के कारण आयतन में परिवर्तन 0.6 m^3 है। यदि $\gamma = 1.4$ एवं R = 0.287 kJ/kg K हो तो गैस का अन्तिम दाब एवं एण्ट्रॉपी में परिवर्तन ज्ञात कीजिए।

   उत्तर— 1.66 bar, –0.0435 kJ/kg K

4. एक आदर्श गैस प्रतिक्रम्य समतापीय प्रक्रम से गुजर रहा है जिसकी दाब 1 bar तथा तापमान 40°C है। प्रक्रम के पश्चात् गैस का दाब 10 bar हो जाता है। एण्ट्रॉपी में परिवर्तन ज्ञात कीजिए यदि R = 0.287 kJ/kg K हो।

   उत्तर— 0.6601 kJ/kg K

अन्य महत्वपूर्ण प्रश्न

1. सिद्ध कीजिए कि आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन निकाय का गुण है।
2. बहुविधि प्रक्रम किस नियम का अनुसरण करती है?
3. ऊर्जा रूपान्तरण नियम को समझाइए।
4. प्रतिक्रम्य एवं अप्रतिक्रम्य ऊष्मागतिकी प्रक्रमों का उल्लेख कीजिए। अप्रतिक्रम्यता के कारणों का वर्णन कीजिए।
5. ऊष्मागतिकी चक्र क्या है? ऊष्मा चक्र की दक्षता की गणना किस प्रकार की जाती है?
6. एण्ट्रॉपी क्या है? आदर्श गैस में एण्ट्रॉपी में परिवर्तन का समीकरण ज्ञात कीजिए।
7. ऊष्मीय दक्षता तथा निष्पादन गुणांक में अंतर स्पष्ट कीजिए।
8. तापमान एवं एण्ट्रॉपी आरेख से आप क्या समझते हैं?
9. एण्ट्रॉपी के लक्षणों की विवेचना कीजिए।
10. किसी निकाय के लिए एण्ट्रॉपी में परिवर्तन ज्ञात कीजिए यदि—
    (i) निकाय में प्रक्रम समदाबी हो
    (ii) निकाय में प्रक्रम समआयतनिक हो
    (iii) निकाय में समतापीय हो
    (iv) निकाय में प्रक्रम रूद्धोष्म हो
    (v) निकाय में प्रक्रम बहुविधि हो।
11. अवास्तविक मशीन प्रथम श्रेणी तथा द्वितीय श्रेणी को समझाइए।
12. सिद्ध कीजिए—

$$Q = \Delta U + W$$

13. कारनॉट चक्र की अवधारणाएँ तथा दक्षता को परिभाषित कीजिए।

Study PowerPoint

✦ बहुविकल्पीय प्रश्न

1. चार्ल्स के अनुसार—
(a) $\frac{T_2}{T_1} = \frac{P_2}{P_1}$, यदि V नियत हो
(b) $\frac{T_2}{T_1} = \frac{V_2}{V_1}$, यदि P नियत हो
(c) $\frac{P_2}{P_1} = \frac{V_2}{V_1}$, यदि T नियत हो
(d) (a), (b) एवं (c) तीनों

2. सामान्य गैस समीकरण—
(a) $PV = nRT$
(b) $PV = mRT$
(c) $PV^n = C$
(d) $C_p - C_v = \frac{R}{J}$

3. गैस नियतांक (R) होता है—
(a) $\frac{C_p}{C_v}$
(b) $\frac{C_v}{C_p}$
(c) $C_p - C_v$
(d) $C_p + C_v$

4. बंद निकाय होता है—
(a) जिसमें ऊष्मागतिकी प्रक्रम होते हैं।
(b) जिसमें द्रव्यमान परिसीमा के बाहर आ जा सकता है।
(c) जिसमें केवल ऊर्जा परिसीमा के बाहर आ जा सकते हैं।
(d) जिसमें द्रव्यमान एवं ऊर्जा दोनों परिसीमा के आर-पार हो सकते हैं।

5. मात्रा निरपेक्ष गुण होते हैं—
(a) निकाय द्रव्यमान पर निर्भर करता है।
(b) निकाय द्रव्यमान पर निर्भर नहीं करता है।
(c) (a) एवं (b) दोनों
(d) (a) एवं (b) दोनों नहीं

6. ऊष्मा एवं कार्य—
(a) बिन्दुफलन
(b) पथ फलन
(c) निकाय का गुण
(d) मात्रा निरपेक्ष गु

7. एक प्रतिक्रम्य बहुविधि प्रक्रम निम्न समीकरण द्वारा दर्शाया जाता है—
(a) $(PV)^n = C$
(b) $PV^n = C$
(c) $PV^{-n} = C$
(d) $P^nV = C$

8. यदि $n = 1$ हो तो, बहुविधि प्रक्रम होगा—
(a) प्रतिक्रम्य प्रक्रम
(b) मुक्त प्रसारण प्रक्रम
(c) समतापीय प्रक्रम
(d) रूद्धोष्म प्रक्रम

9. आदर्श गैस का रूद्धोष्म प्रक्रम निम्न समीकरण द्वारा दिया जाता है—
(a) $PV^n = C$
(b) $PV = C$
(c) $PV^\gamma = C$
(d) $PV^{1/\gamma} = C$

10. समतापीय प्रक्रम में आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन होता है—
(a) बढ़ता है
(b) घटता है
(c) नियत रहता है
(d) व्यवहार पता नहीं लगता है

11. तापमान के मापन के लिए प्रयुक्त नियम होता है—
(a) ऊष्मागतिकी का शून्यवां नियम
(b) ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम
(c) ऊष्मागतिकी का द्वितीय नियम
(d) ऊष्मागतिकी का तृतीय नियम

12. एण्ट्रॉपी में परिवर्तन निर्भर करता है—
(a) द्रव्यमान स्थानान्तरण पर
(b) ऊष्मा स्थानान्तरण पर
(c) तापमान में परिवर्तन पर
(d) ऊष्मागतिकी अवस्था पर

13. सम आयतनिक प्रक्रम होता है जिसमें—
(a) सभी गुण नियत होते हैं
(b) मुक्त प्रसारण होता है
(c) ऊर्जा का रूपान्तरण नहीं होता है
(d) कार्य शून्य होता है

Study PowerPoint

14. बहुविधि गुणांक का मान होता है—

(a) $\dfrac{\log\left(\dfrac{P_2}{P_1}\right)}{\log\left(\dfrac{V_1}{V_2}\right)}$ (b) $\dfrac{\log\left(\dfrac{P_1}{P_2}\right)}{\log\left(\dfrac{V_1}{V_2}\right)}$ (c) $\dfrac{\log\left(\dfrac{V_1}{V_2}\right)}{\log\left(\dfrac{P_2}{P_1}\right)}$ (d) $\dfrac{\log\left(\dfrac{V_2}{V_1}\right)}{\log\left(\dfrac{P_2}{P_1}\right)}$

15. एक प्रतिक्रम्य रूद्धोष्म प्रक्रम में एण्ट्रॉपी होता है—

(a) अधिकतम (b) न्यूनतम (c) शून्य (d) ऋणात्मक

16. प्रायोगिक रूप से सभी इंजीनियरिंग प्रक्रम होते हैं—

(a) क्वासी-स्टैटिक (b) प्रतिक्रम्य

(c) अप्रतिक्रम्य (d) ऊष्मागतिकी साम्यता में

17. ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम निम्न के बीच सम्बन्ध को दर्शाता है—

(a) ऊष्मा एवं कार्य (b) ऊष्मा, कार्य एवं गुण

(c) गुणों के बीच (d) विभिन्न ऊष्मागतिकी प्रक्रम

18. ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम प्रतिपादित किया गया था—

(a) जूल द्वारा (b) कारनॉट द्वारा (c) चार्ल्स द्वारा (d) केल्विन-प्लांक द्वारा

19. रूद्धोष्म प्रक्रम में कार्य होता है—

(a) $\dfrac{P_2V_2 - P_1V_1}{1-n}$ (b) $\dfrac{P_2V_2 - P_1V_1}{\gamma - 1}$

(c) $\dfrac{P_2V_2 - P_1V_1}{1-\gamma}$ (d) $\dfrac{\gamma - 1}{J}(P_2V_2 - P_1V_1)$

20. कारनॉट चक्र की दक्षता अधिकतम होती है—

(a) नए इंजन के लिए (b) अप्रतिक्रम्य इंजन के लिए

(c) प्रतिक्रम्य इंजन के लिए (d) पेट्रोल एवं डीजल इंजन के लिए

उत्तरमाला

1. (b)	2. (b)	3. (c)	4. (a)	5. (a)	6. (b)	7. (b)	8. (c)	9. (c)	10. (c)
11. (a)	12. (b)	13. (d)	14. (a)	15. (c)	16. (d)	17. (d)	18. (a)	19. (c)	20. (c)

□□□

Study PowerPoint

5

भाप के गुण
(Properties of Steam)

5.1. परिचय

प्रकृति में पाए जाने वाले द्रव्य (substance) का तापमान, दाब अलग-अलग होता है। यह द्रव्य विभिन्न कलाओं (Phases) में उपस्थित होते हैं। ऊष्मागतिकी निकाय में यह द्रव्य विभिन्न कलाओं में उपस्थित होते हैं तथा ऊष्मागतिकी प्रक्रम के अधीन यह कलाएँ (Phases) परिवर्तित होती रहती हैं। ऊष्मागतिकी निकाय में प्रयुक्त द्रव्य, शुद्ध द्रव्य होता है। शुद्ध द्रव्य, ऐसे पदार्थ होते है जो चाहे किसी भी अवस्था में हों उनकी रासायनिक संरचना (Chemical structure) समांग (Homogeneous) एवं स्थायी (Stable) होती है।

उदाहरण के लिए, पानी, बर्फ एवं भाप का मिश्रण। अभियांत्रिकी में शुद्ध द्रव्य को कार्यकारी माध्यम के रूप में प्रयोग किया जाता है।

सामान्य निकायों में कार्यकरी माध्यम के रूप में जलवाष्प एवं भाप (शुद्ध द्रव्य) का प्रयोग किया जाता है।

भाप को शुद्ध द्रव्य के रूप में वृहत्त रूप से उपयोग किया जाता है। इस अध्याय में हम भाप के निर्माण, भाप के गुणों एवं विभिन्न प्रक्रमों के दौरान गुणों में में परिवर्तन का अध्ययन करते हैं।

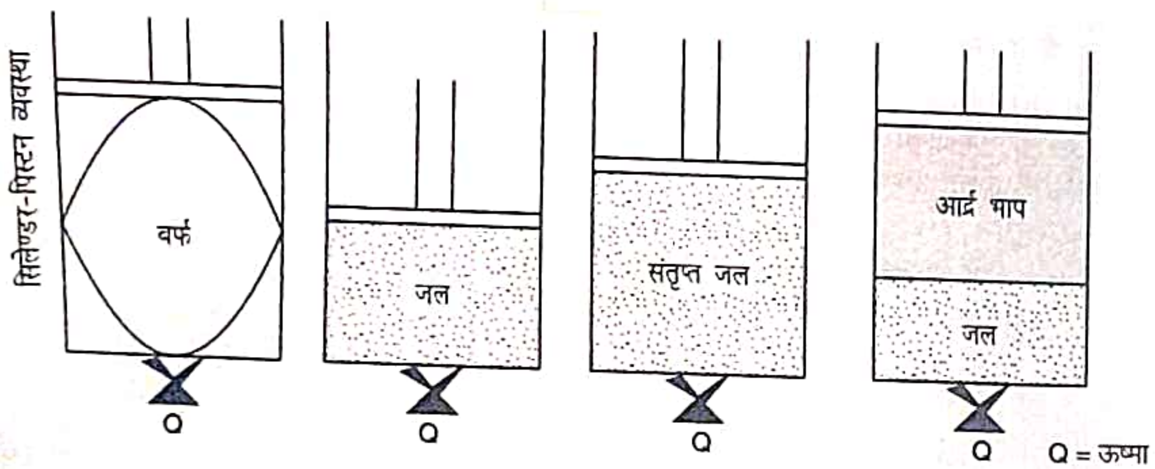
5.2. भाप

जल का गैसीय या वाष्पीय स्वरूप भाप कहलाता है। भाप का निर्माण जल की अवस्था परिवर्तन से होता है और यह ऊष्मागतिकी में ऊर्जा रूपान्तरण का प्रमुख कार्यकारी माध्यम है।

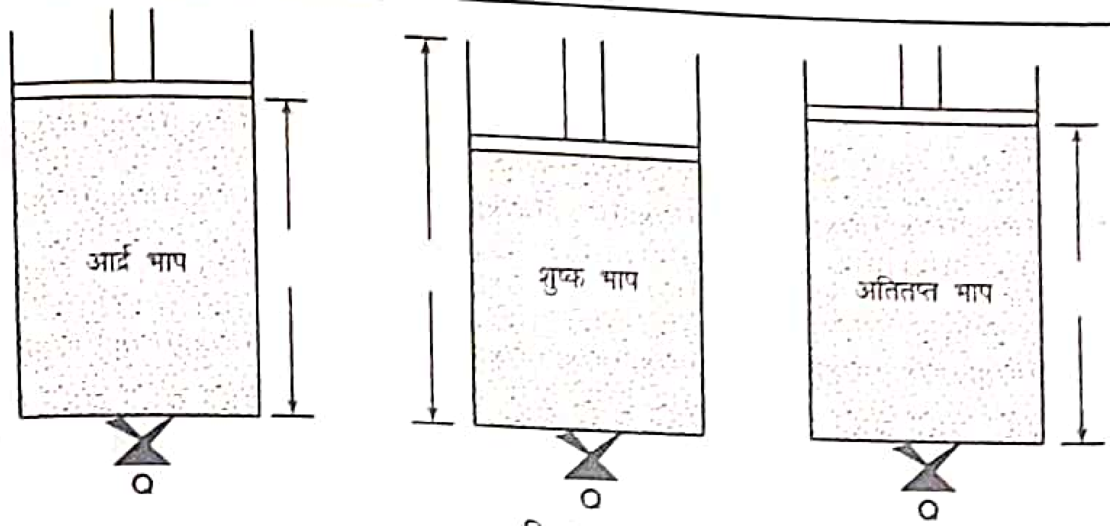
हम जानते हैं कि जल तीन अवस्थाओं में उपस्थित होता है—

(i) ठोस (ii) जल (द्रव) (iii) गैस (वाष्प)

जल की गैसीय अवस्था अर्थात् वाप का निर्माण एवं गुणों में होने वाले परिवर्तन का व्यवस्थित आरेख निम्नलिखित है—



Study PowerPoint



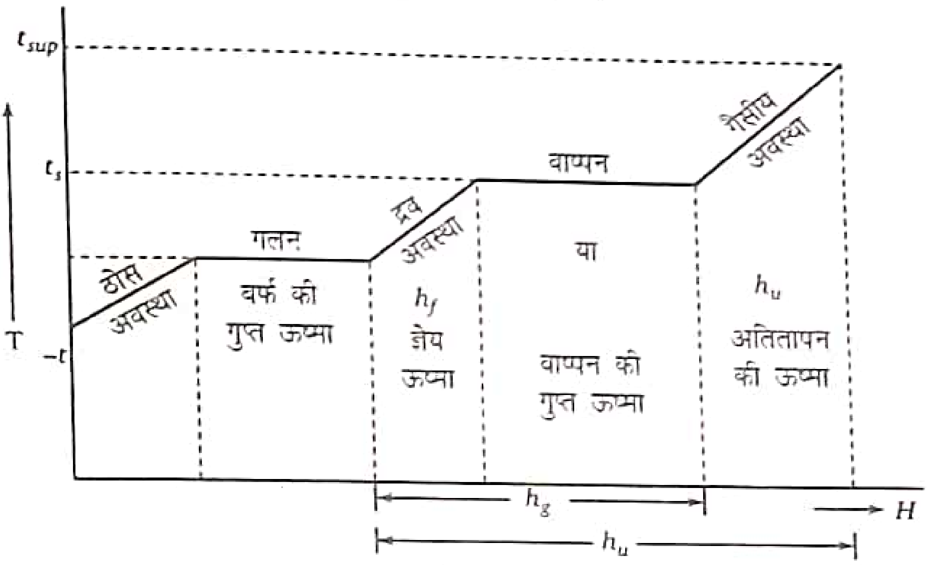
चित्र 5.1

5.3. वाष्प निर्माण में प्रयुक्त चरण

स्थिर दाब पर जल को गर्म करके अतितप्त भाप में परिवर्तित करने की प्रक्रिया को उपरोक्त चित्र में दिखाया गया है। प बनने की प्रक्रिया का तापमान एन्थालपी आरेख (T-H diagram) निम्न है—

भाप बनने की प्रक्रिया के दौरान विभिन्न चरण निम्नलिखित हैं—

चरण $P-Q$—इस चरण के दौरान स्थिर दाब पर किसी निश्चित द्रव्यमान के बर्फ को ऊष्मा प्रदान की जाती है, सके कारण बर्फ की अवस्था परिवर्तित (ठोस से द्रव) होने लगती है।



चित्र 5.2

चरण $Q-R$—इस चरण के दौरान ऊष्मा की बढ़ोत्तरी के कारण सम्पूर्ण बर्फ जल में परिवर्तित हो जाता है। चरण के ौरान प्रदान की दी ऊष्मा को बर्फ से गुप्त ऊष्मा (Latent heat of ice) कहते हैं।

चरण $R-S$—सतत् ऊष्मा के प्रवाह के कारण जल के तापमान में वृद्धि होने लगती है। इस चरण के दौरान दाब को ंतृप्त दाब कहते हैं। इस चरण के दौरान वाष्पन 1.01325 बार या 760 mm Hg पर होता है। चूँकि इस चरण के दौरान दाब में ृद्धि होने लगती है, जिससे संतृप्त तापमान भी बढ़ने लगता है।

चरण के दौरान प्रदान की गई ऊष्मा को ज्ञेय ऊष्मा (Sensible heat) या संतृप्त जल की एन्थालपी या जल की कुल ऊष्मा कहते हैं। चरण के दौरान आयतन में भी वृद्धि होती है। जल के इस आयतन को संतृप्त जल का विशिष्ट आयतन कहते हैं।

Study PowerPoint

प्रक्रम $S - T$—विन्दु S के पश्चात्, जब ऊष्मा को और बढ़ाया जाता है तब जल का वाष्पन होने लगता है, वाष्प पश्चात् जल, वाष्प में परिवर्तित होने लगता है।

चरण के दौरान तापमान नियत बना रहता है। प्रारम्भ में जो वाष्प बनता है उसमें जल के कण भी विद्यमान रहते हैं वाष्प को आर्द्रवाष्प या आर्द्र भाप (Wet steam) कहा जाता है। चरण के प्रारम्भ में प्रदान की गई ऊष्मा को आर्द्र वाष्प एन्थालपी कहते हैं तथा आयतन को आर्द्र भाप का विशिष्ट आयतन (Specific volume of wet steam), V_{wet} कहते

ऊष्मा की और बढ़ोत्तरी के कारण आर्द्र भाप में विद्यमान जल के कणों का भी वाष्पन होने लगता है। बिन्दु T पर भाप में विद्यमान सभी जल के कण का वाष्पन हो जाता है। इस बिन्दु पर बने भाप को शुष्क एवं संतृप्त भाप (Dry saturated steam) कहते हैं। इस बिन्दु पर भाप के आयतन को शुष्क एवं संतृप्त भाप का विशिष्ट आयतन कहते हैं। चरण दौरान प्रदान की गई ऊष्मा को वाष्पन की गुप्त ऊष्मा (Latent heat of vaporization) कहते हैं। चरण के दौरान तापमा भाप का शुष्क तापमान कहते हैं। इस चरण के दौरान भाप, गैस के नियम का अनुसरण नहीं करती है।

चरण $T - U$—जब हम शुष्क एवं संतृप्त भाप को और ऊष्मा प्रदान करें तो उसका संतृप्त तापमान भी बढ़ने है। इस प्रक्रम को अतितापन कहते हैं तथा प्रक्रम के दौरान बनी भाप को अतितप्त भाप कहते हैं। इस चरण के दौरान प्रदा गई ऊष्मा को अतितप्त ऊष्मा या अतितापन की ऊष्मा कहते हैं। चरण के दौरान तापमान को अतितप्त कोटि (Degree of s heat) कहते हैं। भाप के आयतन को अतितप्त भाप का विशिष्ट आयतन कहते हैं। इस चरण में भाप, गैस के नियम अनुसरण करती है अर्थात् गैस बॉयल एवं चार्ल्स दोनों के नियम का पालन करती है।

❑ 5.4. भाप की अवस्था

जल से भाप निर्माण के दौरान भाप तीन अवस्थाओं में पाया जाता है, जो निम्नलिखित हैं—

(i) आर्द्र भाप (Wet steam)

(ii) शुष्क एवं संतृप्त भाप (Dry and saturated steam)

(iii) अतितप्त भाप (Superheated steam)

(i) आर्द्र ताप—भाप का वह रूप जिसमें जल के कण भी विद्यमान रहते हैं, आर्द्र भाप कहलाती है।

या

जब हम जल को ऊष्मा प्रदान करते हैं, तब जल का संतृप्त तापमान बढ़ने लगता है तथा जल का वाष्पन प्रारम्भ जाता है और ऊष्मा प्रदान करने पर जल दो अवस्थाओं जल एवं वाष्प में परिवर्तित हो जाता है। इस भाप को आर्द्र भाप या भाप कहा जाता है। इसे द्वि-अवस्था भाप भी कहा जाता है।

(ii) शुष्क एवं संतृप्त भाप—भाप का वह रूप जिसमें एक भी जल के कण विद्यमान नहीं होते हैं, शुष्क एवं स भाप कहलाती है। बिन्दु T पर (आरेख $T - H$ में) हमें शुष्क एवं संतृप्त भाप प्राप्त होती है। शुष्क एवं संतृप्त भाप एक अ में पाई जाती है।

(iii) अतितप्त भाप—जब शुष्क एवं संतृप्त भाप को स्थिर दाब पर और गर्म किया जाता है तब भाप का स तापमान बढ़ने लगता है तथा भाप एक आदर्श गैस की तरह व्यवहार करने लगती है। इस भाप को अतितप्त भाप कहते हैं।

❑ 5.5. भाप के गुण

वह ऊष्मागतिकी गुण जो भाप के लक्षण को प्रदर्शित करते हैं, भाप के गुण कहलाते हैं। विभिन्न गुण निम्नलिखित है

(i) विशिष्ट आयतन

(ii) तापमान

(iii) दाब

(iv) एन्थालपी

(v) एण्ट्रॉपी

(vi) आंतरिक ऊर्जा, आदि।

Study PowerPoint

यदि किसी ऊष्मागतिकी निकाय में कार्यकारी माध्यम के रूप में भाप का प्रयोग किया जा रहा है, तो उपरोक्त गुणों की जानकारी के बिना, निकाय को परिभाषित करना संभव नहीं होता है।

(i) विशिष्ट आयतन—भाप के आयतन तथा भाप के द्रव्यमान के अनुपात को भाप का विशिष्ट आयतन कहते हैं। इसका मात्रक m^3/kg है।

आर्द्र भाप का विशिष्ट आयतन

माना आर्द्र भाप का द्रव्यमान $= 1$ kg

आर्द्र भाप की गुणवत्ता $= x =$ शुष्कता भिन्नता

आर्द्र भाप में जल कणों की मात्रा $= (1-x)$

$$\text{आर्द्र भाप का विशिष्ट आयतन} = xV_g + (1-x)V_f$$

जहाँ V_g = शुष्क वाष्प का विशिष्ट आयतन

V_f = शुष्क जल कणों का विशिष्ट आयतन

यदि V_f की मात्रा बहुत कम हो तो

$$V_{wet} = xV_g \ m^3/kg$$

- **शुष्क भाप का विशिष्ट आयतन**—

हम जानते हैं कि शुष्क भाप कणों में एक भी जल के कण विद्यमान नहीं होते हैं अर्थात्

$x = 1$, तब

$$V_{dry} = V_g \ (m^3/kg)$$

- **अतितप्त भाप**

हम जानते हैं कि अतितप्त भाप आदर्श गैस की तरह व्यवहार करती है।

$$\frac{V_g}{T_g} = \frac{V_{sup}}{T_{sup}}$$

$$V_{sup} = V_g \times \frac{T_{sup}}{T_g} \ m^3/kg$$

जहाँ V_g = शुष्क वाष्प का विशिष्ट आयतन

V_{sup} = अतितप्त वाष्प का विशिष्ट आयतन

T_{sup} = अतितप्त तापमान

T_g = संतृप्त तापमान

(ii) एन्थालपी (H), kJ/kg—यह किसी निश्चित द्रव्यमान जल को दी गई ऊष्मा की मात्रा होती है जिससे वह वाष्प में परिवर्तित हो जाए। जल से वाष्प परिवर्तन के लिए दी गई ऊष्मा को दो भागों में विभाजित किया गया है—

(a) ज्ञेय ऊष्मा—किसी निश्चित द्रव्यमान जल का तापमान 0° C से बढ़ाकर संतृप्त जल तापमान में परिवर्तित करने के लिए आवश्यक ऊष्मा की मात्रा को ज्ञेय ऊष्मा कहते हैं। इसे 'h' द्वारा प्रदर्शित किया जाता है। h का मान दाब बढ़ने से बढ़ता है।

(b) गुप्त ऊष्मा—किसी निश्चित द्रव्यमान के संतृप्त जल का तापमान बढ़ाकर संतृप्त भाप में परिवर्तित करने के लिए आवश्यक ऊष्मा की मात्रा को गुप्त ऊष्मा कहते हैं। इसे 'l' द्वारा प्रदर्शित किया जाता है।

दाब का मान बढ़ने पर 'l' का मान कम होता है।

Study PowerPoint

चरम दाब (Critical pressure) पर 'l' का मान शून्य होता है।

किसी भाप की एन्थालपी उसकी ज्ञेय ऊष्मा (Sensible heat) तथा गुप्त ऊष्मा का योग होता है। एन्थालपी द्वारा प्रदर्शित करते हैं।

$$H = h + l, \text{ kJ/kg}$$

आर्द्र भाप की एन्थालपी

$$H_w = h + xl, \text{ kJ/kg}$$

x = शुष्कता भिन्नता

शुष्क भाप की एन्थालपी

$$H_D = h + l, \text{ kJ/kg}$$

अतितप्त भाप की एन्थालपी

$$H_S = h + l + C_p(T_{sup} - T_{sat}), \text{ kJ/kg}$$

$$H_S = h_D + C_P(T_{sup} - T_{sat}), \text{ kJ/kg}$$

C_p = स्थिर दाब पर विशिष्ट ऊष्मा

$= 1.167 - 2.5$ kJ/kg K

T_{sup} = अतितप्त भाप का तापमान

T_{sat} = संतृप्त भाप का तापमान

(iii) भाप द्वारा किया गया कार्य (N-m)—

हम जानते हैं कि

कार्य = बल × विस्थापन (यान्त्रिकी में)

या

कार्य = दाब × आयतन में परिवर्तन (ऊष्मागतिकी में)

आर्द्र भाप द्वारा किया गया कार्य

$$P \times (x.V_g - V_w) \times 10^5 \text{ N-m}$$

V_g = शुष्क भाप का विशिष्ट आयतन

V_w = जल का आयतन

0.1 kg जल का आयतन = 0.001 m^3/kg जल का विशिष्ट आयतन

शुष्क भाप द्वारा किया गया कार्य

$$P \times (V_g - V_w) \times 10^5 \text{ N-m}$$

अतितप्त भाप द्वारा किया गया कार्य

$$P \times (V_{sup} - V_g) \times 10^5 \text{ N-m}$$

V_{sup} = अतितप्त भाप का विशिष्ट आयतन

(iv) भाप की आंतरिक ऊर्जा, kJ/kg

आंतरिक ऊर्जा की गणना हम ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम से करते हैं।

$$dU = H - dW, \text{ kJ/kg}$$

Study PowerPoint

जहाँ

dU = आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन

H = एन्थालपी

dW = कार्य

आर्द्र भाप की आंतरिक ऊर्जा

$$U = (H)_{wet} - (dW)_{wet} \text{ kJ/kg}$$

शुष्क वाष्प की आंतरिक ऊर्जा

$$U = (H)_{dry} - (dW)_{dry} \text{ kJ/kg}$$

अतितप्त भाप की आंतरिक ऊर्जा

$$U = (H)_{sup} - (dW)_{sup} \text{ kJ/kg}$$

5.6. कुछ प्रमुख परिभाषाएँ

(i) शुष्कता भिन्नता—यह आर्द्र भाप की गुणवत्ता का मापन होता है। इसे 'x' द्वारा प्रदर्शित करते हैं। यह शुष्क भाप के द्रव्यमान तथा कुल आर्द्र भाप के द्रव्यमान का अनुपात होता है।

$$x = \frac{m_g}{m_g + m_f}$$

जहाँ m_g = शुष्क वाष्प का द्रव्यमान

m_f = जल वाष्प का द्रव्यमान

(ii) भाप की गुणवत्ता (Quality of steam)—इसके द्वारा शुष्कता भिन्नता को प्रतिशत में व्यक्त किया जाता है। इसे $x\%$ द्वारा प्रदर्शित करते हैं।

(iii) आर्द्रता भिन्नता (Wetness fraction)—यह भी आर्द्र भाप की गुणवत्ता का मापन होता है। इसे $(1-x)$ द्वारा प्रदर्शित करते हैं। यह जल वाष्प कणों के द्रव्यमान तथा कुल आर्द्र वाष्प के द्रव्यमान का अनुपात होता है।

$$1 - x = \frac{m_f}{m_g - m_f}$$

(iv) प्राइमिंग (Priming)—यह आर्द्रता भिन्नता को प्रतिशत में व्यक्त करता है। $(1-x)\%$

$$\text{Quality + Priming = 100\%}$$

(v) संतृप्त तापमान (Saturation temperature)—वह तापमान जिस पर जल अपनी अवस्था परिवर्तित कर वाष्प में बदलता है, संतृप्त तापमान कहलाता है। इसे T_{sat} द्वारा प्रदर्शित करते हैं। इसका मात्रक °C या K होता है। मानक संतृप्त तापमान = 99.6° C

या

जब हम जल को ऊष्मा प्रदान करते हैं तो उसका तापमान 0° C से बढ़ने लगता है। जब तापमान 99.6°C पर पहुँचता है तो जल की अवस्था परिवर्तित होकर भाप में बदल जाती है। इस तापमान को संतृप्त तापमान कहते हैं।

(vi) भाप की एण्ट्रापी

हम जानते हैं कि

$$dS = \frac{dQ}{T} \quad \text{or} \quad \frac{C\,dT}{T}$$

Study PowerPoint

$$\int_0^S dS = C\int_{273}^{T_g} \frac{dT}{T}$$

$$\Delta S = C \ln\left(\frac{T_g}{273}\right)$$

$$\Delta S = 2.303 C \log_{10}\left(\frac{T_g}{273}\right)$$

जहाँ C = जल की विशिष्ट ऊष्मा

T_g = तापन के वाद का तापमान

आर्द्र भाप की एण्ट्रापी

$$S_{wet} = S_f + xS_{fg} = C_p \ln\frac{T_g}{273} + x\frac{h_{fg}}{T_g}$$

शुष्क एवं संतृप्त भाप की एण्ट्रापी

$$S_g = S_f + S_{fg} = C_p \ln\frac{T_g}{273} + \frac{h_{fg}}{T_g}$$

अतितप्त भाप की एण्ट्रापी $$S_s = S_g + C_p \ln\left(\frac{T_{sup}}{T_g}\right)$$

जहाँ S = एण्ट्रापी (kJ/kg K)

S_f = संतृप्त जल की एण्ट्रापी P दाब पर (kJ/kg K)

S_{fg} = भाप की एण्ट्रापी P दाब पर (kJ/kg K)

S_g = संतृप्त भाप की एण्ट्रापी P दाब पर (kJ/kg K)

C_p = विशिष्ट ऊष्मा स्थिर दाब पर, (kJ/kg K)

T_{sup} = अतितप्त तापमान (°C or K)

T_{sat} = संतृप्त तापमान (°C or K)

❑ 5.7. भाप सारणी एवं उसके अनुप्रयोग

भाप के विभिन्न ऊष्मागतिकी गुणों जैसे विशिष्ट आयतन, ऊष्मा (ज्ञेय ऊष्मा, गुप्त ऊष्मा, कुल ऊष्मा), आं ऊर्जा, संतृप्त तापमान, एण्ट्रापी का क्रमब सारणीय (Tabular) प्रदर्शन, भाप सारणी कहलाता है। भाप सारणी में विशिष्ट का मान नियत माना जाता है। यह सारणी द्रव्यमान को एक मानते हुए वनाया गया है।

भाप सारणी को निम्न आधार पर बनाया गया है—

(i) दाब के आधार पर

(ii) तापमान के आधार पर

यह सारणी विभिन्न अभियान्त्रिकी अनुप्रयोगों में प्रयोग की जाती है।

(i) दाब के आधार पर भाप सारणी—इसे हम संतृप्त जल-वाष्प दाब सारणी कहते हैं। इस सारणी में प्रथम क में दाब होता है जिसका मान 0.667 KPa चरम दाब 22.03 MPa तक होता है।

सारणी के दूसरे कॉलम में दाब के परिणामस्वरूप संतृप्त तापमान का मान °C में होता है।

सारणी के अगले कॉलम में विशिष्ट आयतन का मान होता है। संतृप्त जल के विशिष्ट आयतन को V_f तथा वाष्प के विशिष्ट आयतन को V_g द्वारा प्रदर्शित किया गया है। सारणी के अगले कॉलम में विशिष्ट एन्थालपी होती है। जल की एन्थालपी को h_f से (जिसे हम ज्ञेय ऊष्मा कहते हैं) वाष्प की एन्थालपी को h_{fg} से (जिसे हम गुप्त ऊष्मा कहते तथा शुष्क एवं संतृप्त वाष्प की एन्थालपी को h_g (जिसे हम कुल ऊष्मा या कुल एन्थालपी कहते हैं) से प्रदर्शित करते हैं।

Study PowerPoint

सारणी के अगले कॉलम में विशिष्ट एण्ट्रापी का मान होता है। संतृप्त जल की विशिष्ट एण्ट्रापी को S_f द्वारा, वाष्प शिष्ट एण्ट्रापी को S_{fg} द्वारा तथा शुष्क एवं संतृप्त भाप की विशिष्ट एण्ट्रापी को S_g द्वारा प्रदर्शित करते हैं।

सारणी का क्रमबद्ध आरेख का उदाहरण निम्न है—

ाब	तापमान	विशिष्ट आयतन (m^3)/kg		विशिष्ट एन्थालपी (kJ/kg)			विशिष्ट एण्ट्रापी (kJ/kg K)		
bar	t°C	V_f	V_g	h_f	h_{fg}	h_g	S_f	S_{fg}	S_g
06113	0.01	0.0010002	206.14	0.01	2501.3	2501.4	0.000	9.156	9.156
010	7.0	0.0010000	129.21	29.3	2484.9	2514.2	0.106	8.870	8.976
105	13.0	0.0010007	87.98	54.7	2470.6	2525.3	0.196	8.632	8.828
020	17.0	0.0010001	67.00	73.5	2460.0	2533.5	0.261	8.463	8.724
025	21.1	0.0010002	54.25	88.5	2451.6	2540.1	0.312	8.331	8.643
030	24.1	0.0010003	45.67	101.0	2444.5	2545.5	0.355	8.223	8.578
035	26.7	0.0010003	39.50	111.9	2438.5	2550.3	0.391	8.132	8.523

ापमान के आधार पर

इस सारणी में प्रथम कॉलम में तापमान होता है, जिसका मान 0° C से 374.15°C (क्रान्तिक तापमान) तक होता है। ी के अगले कॉलम में तापमान के परिणामस्वरूप दाब का मान होता है। सारणी के अगले कॉलम में विशिष्ट आयतन का ोता है। संतृप्त जल के विशिष्ट आयतन को V_f तथा संतृप्त वाष्प के विशिष्ट आयतन को V_g द्वारा प्रदर्शित किया जाता है।

सारणी के अगले कॉलम में विशिष्ट एन्थालपी होती है। संतृप्त जल की एन्थालपी को h_f से (जिसे हम ज्ञेय ऊष्मा हैं), वाष्प की एन्थालपी को h_{fg} से (जिसे हम गुप्त ऊष्मा कहते हैं) तथा शुष्क एवं संतृप्त वाष्प की एन्थालपी को जसे कुल ऊष्मा या कुल एन्थालपी कहते हैं) से प्रदर्शित करते हैं।

सारणी के अगले कॉलम में विशिष्ट एण्ट्रापी का मान होता है। संतृप्त जल की विशिष्ट एण्ट्रापी को S_f द्वारा वाष्प की ट एण्ट्रापी को S_{fg} द्वारा तथा शुष्क एवं संतृप्त भाप की विशिष्ट एण्ट्रापी को S_g द्वारा प्रदर्शित करते हैं।

सारणी का क्रमबद्ध आरेख का उदाहरण निम्न है—

T)t	तापमान P	विशिष्ट आयतन (m^3)/kg		विशिष्ट एन्थालपी (kJ/kg)			विशिष्ट एण्ट्रापी (kJ/kg K)		
	P	V_f	V_g	h_f	h_{fg}	h_g	S_f	S_{fg}	S_g
	0.0061	0.0010002	206.3	–0.02	2501.4	2501.4	–0.0001	9.1566	9.1565
1	0.0061	0.0010002	206.3	0.01	2501.3	2501.3	0.0000	9.156	9.156
	0.0065	0.0010002	192.6	4.2	2499.0	2502.2	0.015	9.115	9.130
	0.0070	0.0010001	179.9	8.4	2496.7	2505.0	0.031	9.73	9.104
	0.0076	0.0010001	168.1	12.6	2494.3	2506.9	0.046	9.032	9.077
	0.0081	0.0010001	157.2	16.8	2491.9	2508.7	0.061	8.990	9.051
	0.0087	0.0010001	147.1	21.0	2489.6	2510.6	0.076	8.950	9.026

भाप सारणी का प्रयोग विभिन्न अभियान्त्रिकी समस्याओं को सुलझाने के लिए प्रयोग किया जाता है। सम्पूर्ण भाप ी पुस्तक के अंत में लगाई गई है।

Study PowerPoint

❑ 5.8. भाप की विभिन्न अवस्थाओं का H-S आरेख पर निरूपण

भाप की विभिन्न अवस्थाएँ हैं—

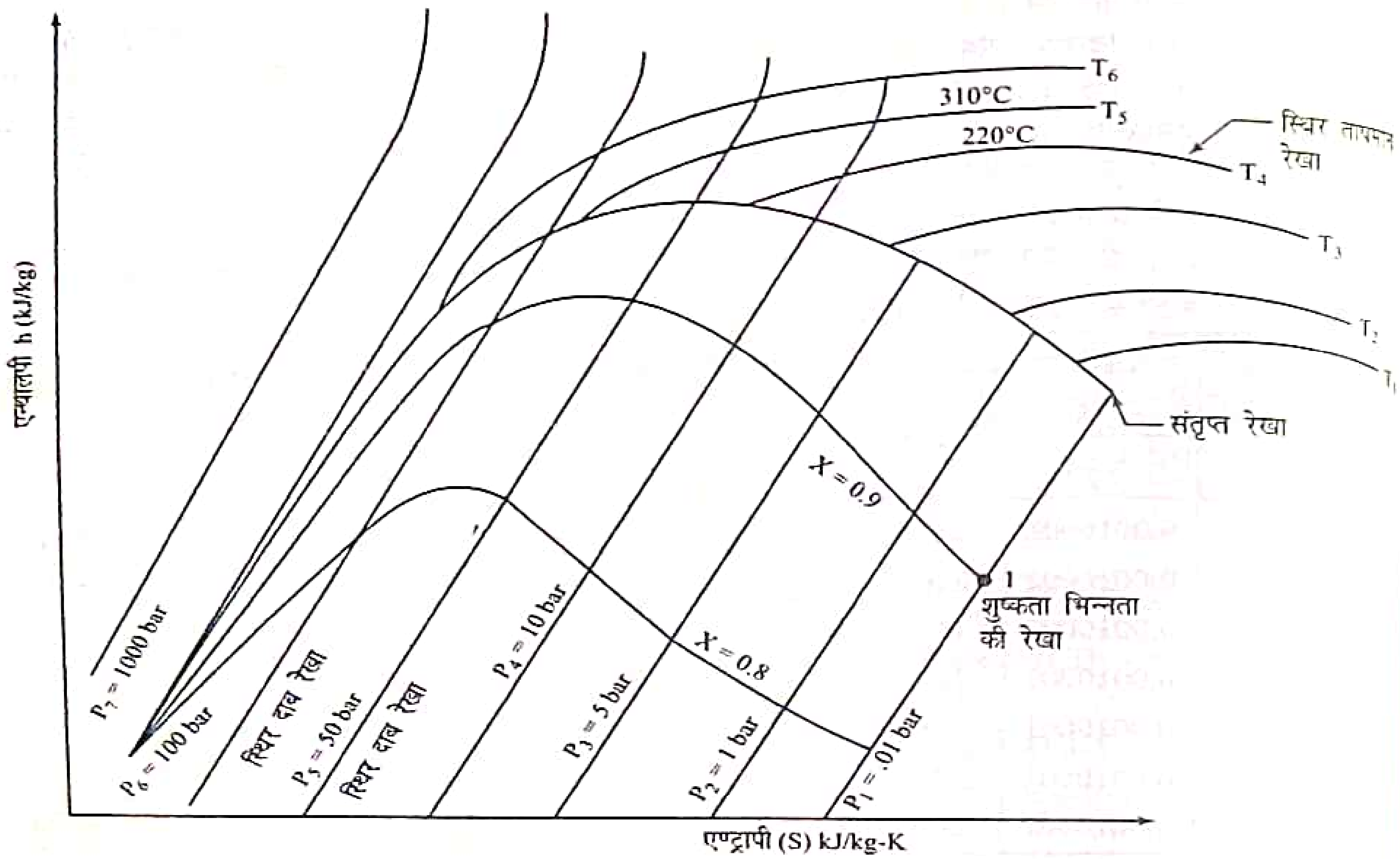
- आर्द्र भाप
- शुष्क एवं संतृप्त भाप
- अतितप्त भाप

भाप की इन अवस्थाओं को विभिन्न आरेख पर निरूपण का मुख्य उद्देश्य भाप के गुणों को सीधे रूप में ज्ञात करना होता है।

एन्थालपी-एन्ट्रापी आरेख ($H-S$ आरेख) या मोलियर आरेख—1904 ई० में डॉ० मोलियर द्वारा भाप की ऊष्मा (एन्थालपी) तथा एण्ट्रॉपी के बीच आरेख खींचा गया था जिसे हम एन्थालपी-एण्ट्रापी आरेख ($H-S$ आरेख) या मोलियर आरेख कहते हैं। इसमें x-अक्ष पर एण्ट्रापी तथा y-अक्ष पर एन्थालपी को दर्शाया जाता है। आरेख में तापमान, दाब, शुष्कता भिन्नता का मान विभिन्न रेखाओं द्वारा प्रदर्शित किया जाता है।

आरेख में कार्य की गणना सीधे रेखाओं की लम्बाई से ज्ञात करते हैं जबकि $T-S$ आरेख में क्षेत्रफल द्वारा ज्ञात करते हैं।

$H-S$ आरेख निम्न है—



चित्र 5.3

Study PowerPoint

भाप की शुष्कता भिन्नता की गणना करना (Determination of Dryness Fraction of Steam)

भाप की शुष्कता भिन्नता की गणना हम कैलोरीमीटर की सहायता से करते हैं।

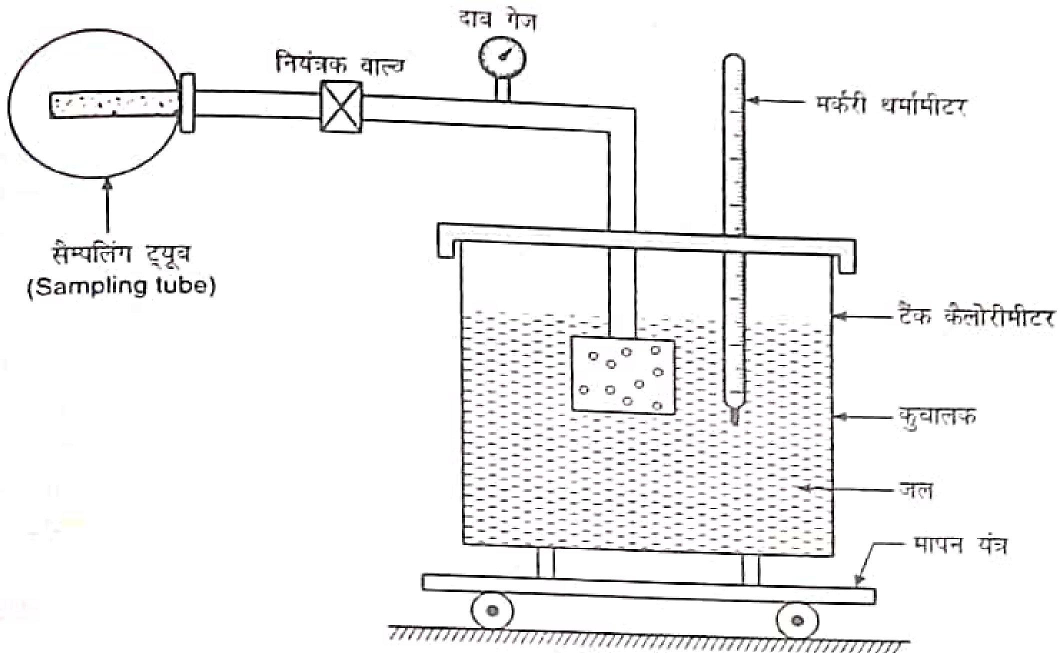
मुख्य निम्न प्रकार के कैलोरीमीटर प्रयोग किए जाते हैं—

(i) टैंक या बकेट कैलोरीमीटर (Tank or Bucket Calorimeter)

(ii) थ्राटलिंग कैलोरीमीटर (Throttling Calorimeter)

(iii) थ्राटलिंग या अलगाव कैलोरीमीटर (Throttling or Separating Calorimeter)

(i) टैंक या बकेट कैलोरीमीटर (Tank or Bucket Calorimeter)—कैलोरीमीटर का व्यवस्थित आरेख निम्न है—



चित्र 5.4

इस विधि में ज्ञात द्रव्यमान के भाप को ज्ञात द्रव्यमान के जल से गुजारा जाता है तथा भाप पूर्णत: संघनित्र हो जाती है। "उपरोक्त प्रक्रम से भाप द्वारा निष्कासित ऊष्मा का मान जल द्वारा ग्रहण ऊष्मा के मान के बराबर होता है।"

क्रियाविधि

भाप को सैम्पलिंग ट्यूब की सहायता से बकेट कैलोरीमीटर में भेजते हैं जिसमें ज्ञात द्रव्यमान का जल भरा होता है। कैलोरीमीटर का भार भाप के मिश्रण से पूर्ण तथा मिश्रण के बाद तौलकर ज्ञात कर लिया जाता है। तापमान तथा दाब का मापन थर्मामीटर एवं दाब गेज की सहायता से मिश्रण से पूर्ण तथा मिश्रण के बाद कर लिया जाता है।

परिभाषा के अनुसार,

$$m_s[xh_{fg} + C_{pw}(t_s - t_{cws})] = (t_{cws} - t_{cw})(m_w c_{pw} + m_c c_{pc})$$

जहाँ $m_s = (m_{cws} - m_{cw}) =$ कैलोरीमीटर से संघनित्र भाप का द्रव्यमान (kg में)

$m_{cws} =$ कैलोमीटर, जल तथा संघनित्र भाप का द्रव्यमान (kg में)

$m_{cw} =$ कैलोरीमीटर एवं जल का द्रव्यामन (kg में)

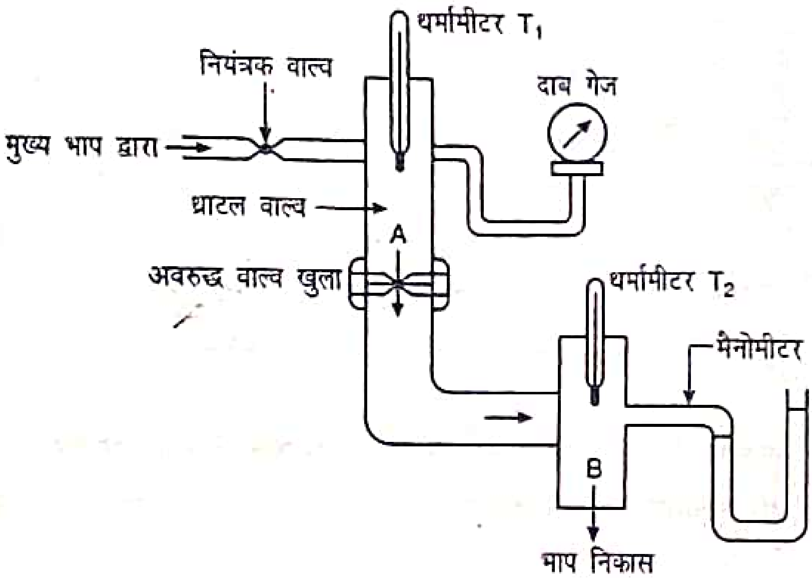
$x =$ शुष्कता भिन्नता

Study PowerPoint

h_{fg} = भाप की गुप्त ऊष्मा
C_{pw} = जल की विशिष्ट ऊष्मा
t_s = संतृप्त तापमान (भाप का)
p_s = भाप का दाब (गेज का)
p_a = वातावरणीय दाब
t_{cws} = भाप के मिश्रण के पश्चात् कैलोरीमीटर एवं जल का तापमान
t_{cw} = भाप के मिश्रण से पूर्ण कैलोरीमीटर एवं जल का तापमान
$m_w = (m_{cw} - m_c)$ = जल का द्रव्यमान
m_c = कैलोरीमीटर का द्रव्यमान
C_{pc} = कैलोरीमीटर की विशिष्ट ऊष्मा
$m_c C_{p_c}$ = जल समतुल्यांक कैलोरीमीटर का।

उपरोक्त समीकरण के द्वारा हम शुष्कता भिन्नता का मान ज्ञात कर सकते हैं।

(ii) थ्राटलिंग कैलोरीमीटर (Throttling Calorimeter)—उपरोक्त आरेख से हम देखते हैं कि भाप मु लाइन से नियन्त्रक वाल्व की सहायता से कैलोरीमीटर में प्रवेश करती है। भाप के दाब एवं तापमान की गणना थर्मा दाब गेज की सहायता से करते हैं। भाप को सर्वप्रथम थ्राटल वाल्व की सहायता से अवरुद्ध वाल्व में भेजते हैं एवं दा मापन थर्मामीटर एवं मैनोमीटर की सहायता से किया जाता है।



चित्र 5.5

हम जानते हैं कि थ्राटलिंग प्रक्रम में एन्थालपी नियत रहती है।

इसलिए थ्राटलिंग से पूर्ण एन्थालपी (P_1 दाब पर) = थ्राटलिंग के बाद एन्थालपी (P_2 दाब पर)

$$h_{f_1} = xh_{fg_1} = h_{g_2} + C_p(t_{sup} - t_2)$$

जहाँ T_2 = संतृप्त तापमान P_2 दाब पर
h_{f_1} = जल की ज्ञेय ऊष्मा P_1 दाब पर
x = शुष्कता भिन्नता
h_{fg_1} = भाप की गुप्त ऊष्मा P_1 पर
h_{g_2} = शुष्क वाष्प की कुल ऊष्मा P_2 पर

Study PowerPoint

C_p = विशिष्ट ऊष्मा स्थिर दाब पर

t_{sup} = थ्राटलिंग से पूर्व अतितप्त तापमान P_2 पर

Table : 1 भाप की विभिन्न अवस्थाओं के लिए भाप के गुण

भाप की विभिन्न अवस्थाएँ	विशिष्ट आयतन (m^3/kg) 'V'	कार्य (N-m)	आंतरिक ऊर्जा (kJ/kg) 'U'	एन्थालपी (kJ/kg) 'H'	एण्ट्रापी (kJ/kg K) 'S'
आर्द्र भाप	$V = xV_g + (1-x)V_f$ $V = xV_g$	$= P \times (xV_g - V_w) \times 10^5$	$= (h_w + xh_g) - PxV_g$	$H = h + xl$	$C \ln = \frac{T_g}{273} + \frac{xhf_g}{T_g}$
शुष्क एवं संतृप्त भाप	$V = V_g$	$= P \times (V_g - V_w) \times 10^5$	$= hg - PV_g$	$H_{dry} = h + l$	$C \ln \frac{T_g}{273} + \frac{hf_g}{T_g}$
अतितप्त भाप	$V = V_g \times \frac{T_{sup}}{T_{sat}}$	$= P \times (V_{sup} - V_w) \times 10^5$	$= h_{sup} - PV_{sup}$ $= h_{sup} - P \times V_g \times \frac{T_{sup}}{T_{sat}}$	$H = H_{dry} + C_p (T_{sup} - T_{sat})$ [C_p = 1.67 to 1.67 to 2.5	$S_g + C_p \ln \left(\frac{T_{sup}}{T_g}\right)$

|| सारांश ||

- **भाप**—जल की गैसीय अवस्था को भाप कहते हैं।
- भाप तीन अवस्थाओं में पाई जाती है—
  - **आर्द्र भाप**—भाप का वह रूप जिसमें जल के कण भी विद्यमान होते हैं, आर्द्र भाप कहलाती है।
  - **शुष्क एवं संतृप्त भाप**—भाप का वह रूप जिसमें जल के कण विद्यमान नहीं होते हैं, शुष्क एवं संतृप्त भाप कहलाते हैं।
  - **अतितप्त भाप**—संतृप्त तापमान के ऊपर, बनी भाप को अतितप्त भाप कहते हैं।
- **विशिष्ट आयतन**—भाप के आयतन तथा द्रव्यमान के अनुपात को विशिष्ट आयतन कहते हैं।
- **एन्थालपी**—यह ज्ञेय ऊष्मा तथा गुप्त ऊष्मा का योग होता है। इसे कुल ऊष्मा भी कहते हैं।
- **शुष्कता भिन्नता**—यह शुष्क वाष्प का द्रव्यमान तथा कुल आर्द्र भाप के द्रव्यमान का अनुपात होता है।
- **संतृप्त तापमान**—यह वह तापमान होता है जिस पर जल अपनी अवस्था परिवर्तन कर वाष्प में परिवर्तित हो जाता है।
- **एण्ट्रापी**—यह $dS = \frac{dQ}{T}$ होता है।
- **भाप सारणी**—यह भाप के विभिन्न गुणों का सारणी आरेख होता है।
- **मोलियर चार्ट**—यह भाप के विभिन्न गुणों का ग्राफीय आरेख होता है।

हल सहित उदाहरण

उदाहरण 1. शुष्कता भिन्नता की गणना कीजिए यदि भाप का द्रव्यमान 4.7 kg कुल ऊष्मा 11000 kJ तथा दाब 5 bar हो। **(2004)**

हल : दिया है,

$$m = 4.7 \text{ kg}$$

$$\text{कुल ऊष्मा} = 11000 \text{ kJ}$$

$$\text{कुल ऊष्मा/kg} = \frac{11000}{7.7} \text{ kJ/kg}$$

$$H_w = 2340.42 \text{ kJ/kg}$$

Study PowerPoint

भाप सारणी से 5 bar दाब पर

$$h = 640.1 \text{ kJ/kg}$$
$$L = 2107.4 \text{ kJ/kg}$$

हम जानते हैं कि

$$H_w = h + xL$$
$$= 2380.42 = 640.1 + x(2107.4)$$

$$\boxed{x = 0.8257}$$

उदाहरण 2. यदि भाप का द्रव्यमान 1 kg हो तथा तापमान एवं दाब 168.12°C एवं 7.8 bar (निरपेक्ष) हो तो उसकी ऊष्मा की गणना कीजिए यदि — (20

(a) शुष्कता भिन्नता $x = 0.88$

(b) यदि भाप शुष्क हो।

हल : दिया है,

$$m = 1 \text{ kg}$$
$$F = 1 \text{ kg}$$
$$P = 7.8 \text{ bar}$$

7.8 बार दाब पर

$$T_{sat} = 168.12°C$$
$$h = 716.1 \text{ kJ/kg}$$
$$L = 2050.12 \text{ kJ/kg}$$

(a) जब शुष्कता भिन्नता $x = 0.88$

$$H_w = h + xL$$
$$H_w = 716.1 + 0.88 \times 2050.12$$
$$\boxed{H_w = 2520.21 \text{ kJ/kg}}$$

(b) जब भाप शुष्क हो

$$x = 1$$
$$H_D = h + L$$
$$H_D = 716.1 + 2050.12$$
$$\boxed{H_D = 2766.22 \text{ kJ/kg}}$$

उदाहरण 3. एक इंजन बायलर से 99% संतृप्त भाप 18 bar दाब पर प्राप्त करता है। पाइप लाइन में भाप प्रवाह के दौरान हानि 16.75 kJ/kg है। इंजन के अंत में पाइप में शुष्कता भिन्नता ज्ञात कीजिए। (20

हल : दिया है

$$P = 18 \text{ bar}$$
$$x_1 = 0.99$$
$$\Delta H = 16.75 \text{ kJ/kg} \quad \text{(ऊष्मा हानि)}$$

Study PowerPoint

15 bar दाब पर, भाप सारणी से

$$[illegible]$$

(seven more lines of equations, each beginning H_1 = … through H_2 = …: [illegible])

यदि इसके बाद ... [illegible]

$$H_2 = [illegible]$$

$$[illegible]$$

$$\boxed{x_2 = [illegible]}$$

उदाहरण 4. 1 kg अतितप्त भाप का दाब एवं तापक्रम 15 bar एवं 250°C है। भाप की एन्थाल्पी तथा आयतन ज्ञात कीजिए। (2013)

हल : 15 bar दाब पर

$t_s = 198.3°C$, $v_g = 0.1317\ m^3/kg$, $h_f = [illegible]\ kJ/kg$

$h_{fg} = 1947\ kJ/kg$, $h_g = 2792\ kJ/kg$, $C_p = [illegible]\ kJ/kg\ K$

हल : हम जानते हैं कि अतितप्त भाप की एन्थाल्पी

$$H_{sup} = h_f + h_{fg} + C_p(T_{sup} - T_{sat})$$

$$H_{sup} = H + C_p(T_{sup} - T_{sat})$$

$$H_{sup} = 2792 + [illegible](250 - 198.3) \qquad [\because H = h_f + h_{fg} = [illegible]]$$

$$\boxed{H_{sup} = [illegible]\ kJ/kg}$$

$$v_{sup} = v_g \times \frac{T_{sup}}{T_{sat}}$$

$$v_{sup} = [illegible] \times \frac{[illegible]}{[illegible]}$$

$$\boxed{v_{sup} = [illegible] \times 10^{[illegible]}\ m^3/kg}$$

उदाहरण 5. निम्न परिस्थितियों में भाप के गुण ज्ञात कीजिए—

(i) जब भाप का दाब 5 bar तथा एन्थाल्पी 2700 kJ/kg हो।

(ii) जब भाप का दाब 5 bar तथा तापक्रम 180°C हो।

(iii) जब भाप का दाब 10 bar तथा विशिष्ट आयतन 0.18 m^3/kg हो।

हल : दिया है—

(i) जब $P = 5$ bar, $H = 2700$ kJ/kg

5 bar दाब भाप सारणी से

$$h = 639.9 \text{ kJ/kg}$$
$$l = 2107.5 \text{ kJ/kg}$$

हम जानते हैं कि

$$H = h + xl$$
$$2700 = 639.9 + x \times 2107.5$$
$$\boxed{x = 0.997}$$

(ii) जब $P = 5$ bar, $t = 180°$ C

भाप सारणी से 5 bar दाब पर

$$T = 151.8°C$$

हम देखते हैं कि $t = 180°$ दिया है, अत: हम देखते हैं कि

$T = 151.8°$ C संतृप्त तापमान है।

अतितप्त कोटि $= t_{sup} - t_{sat}$

$= 180° - 151.8°$

$\boxed{\text{अतितप्त कोटि} = 28.2°}$

(iii) जब $P = 10$ bar तथा $V = 0.18 \text{ m}^3/\text{kg}$

हम जानते हैं कि

$$V = V_w + x.V_g$$

⇒ $V_w = 0.001 \text{ m}^3/\text{kg}$

$V_g = 0.194 \text{ m}^3/\text{kg}$ (भाप सारणी

$$0.18 = 0.001 + x \times 0.194$$
$$\boxed{x = 0.922}$$

उदाहरण 6. एक पात्र जिसका आयतन 0.6 m³ है तथा द्रव्यमान 3.0 kg है। पात्र में जल वाष्प भरा है जि दाब 0.5 MPa है। ज्ञात कीजिए—

(a) द्रव का द्रव्यमान एवं आयतन

(b) वाष्प का द्रव्यमान एवं आयतन।

हल : दिया है

$V = 0.6 \text{ m}^3$ (पात्र का आयतन)

$m = 3.0$ kg (जल वाष्प का द्रव्यमान)

$P = 0.5 \text{ MPa} = 5$ bar

विशिष्ट आयतन $v = \dfrac{V}{M} = \dfrac{0.6}{3} \text{ m}^3/\text{kg}$

Study PowerPoint

$$v = 0.2\ m^3/kg$$

भाप सारणी से 5 bar दाब पर

$$V_g = 0.375\ m^3/kg$$
$$V_f = 0.00109\ m^3/kg$$
$$V_{fg} = V_g - V_f$$
$$V_{fg} = 0.375 - 0.00109\ m^3/kg$$
$$V_{fg} = 0.37391\ m^3/kg$$

हम जानते हैं कि

$$V = x \cdot V_g - (1-x)V_f$$
$$0.2 = 0.375 - (1-x)0.00109$$
$$x = 0.535$$

(a) द्रव का द्रव्यमान एवं आयतन

$$M_{\text{द्रव}} = m(1-x)$$
$$= 3.0\,(1-0.535)$$
$$\boxed{M_{\text{द्रव}} = 1.395\ kg}$$

$$\text{द्रव का आयतन} = M_{liq} \times V_f \qquad \left[\because V_f = \frac{V_{liq}}{M_{liq}}\right]$$

$$\text{द्रव का आयतन} = 1.404 \times 0.00109\ m^3$$
$$\boxed{\text{द्रव का आयतन} = 0.00153\ m^3}$$

(b) वाष्प का द्रव्यमान एवं आयतन

$$M_{\text{वाष्प}} = mx$$
$$M_{\text{वाष्प}} = 3.0 \times 0.535$$
$$\boxed{M_{\text{वाष्प}} = 1.605\ kg}$$
$$V_{\text{वाष्प}} = M_{vap} \times V_g\ m^3$$
$$V_{\text{वाष्प}} = 1.605 \times 0.375\ m^3$$
$$\boxed{V_{\text{वाष्प}} = 0.602\ m^3}$$

अभ्यास

✦ महत्वपूर्ण प्रश्न

1. संतृप्त कोटि को परिभाषित कीजिए। (2003)
2. शुष्कता भिन्नता की गणना कीजिए यदि भाप का द्रव्यमान 4.7 kg, कुल ऊष्मा 11000 kJ तथा दाब 5 bar हो। (2004)
3. शुष्क भाप के लाभ बताइए। (2004)
4. यदि भाप का द्रव्यमान 1 kg हो तथा तापमान एवं दाब 7.25°C तथा 7.8 bar क्रमशः हो तो कुल ऊष्मा की गणना कीजिए। यदि—

Study PowerPoint

(a) शुष्कता भिन्नता $x = 0.88$

(b) यदि भाप शुष्क हो। (2005)

5. स्थिर दाब पर भाप निर्माण के विभिन्न चरणों तथा प्रक्रम को समझाइए। तापमान-एन्थालपी आरेख भी खींचिए। (2007)

6. निम्न को परिभाषित कीजिए—
   (a) गुप्त ऊष्मा (b) अतितापन की ऊष्मा (c) आर्द्र भाप का विशिष्ट आयतन (d) कार्य
   (e) अतितप्त भाप के लाभ (2008)

7. निम्न को समझाइए—
   (a) स्थिर दाब पर भाप का निर्माण
   (b) मोलियर चार्ट एवं उसके अनुप्रयोग (2008)

8. निम्न को परिभाषित कीजिए—
   (a) आर्द्र भाप (b) संतृप्त भाप (c) अतितप्त भाप (d) शुष्कता भिन्नता (e) एन्थालपी

9. $T-S$ आरेख पर विभिन्न गुणों पर दाब के प्रभाव को समझाइए—
   (a) वाष्पन की कुल ऊष्मा पर
   (b) संतृप्त तापमान पर
   (c) शुष्क एवं संतृप्त भाप की कुल ऊष्मा पर (2011)

10. बर्फ से अतितप्त भाप बनने में प्रयुक्त विधियों का स्थिर दाब पर उल्लेख कीजिए। (2012)

11. एक इंजन बायलर से 99% संतृप्त वाष्प स्थिर दाब पर प्राप्त करता है। पाइप लाइन में भाप प्रवाह के दौरान हानि 16.75 kJ/kg है। इंजन के अंत में पाइप में शुष्कता भिन्नता तथा भाप का तापमान ज्ञात कीजिए। (2012)

12. अतितप्त भाप के प्रजनन का उल्लेख कीजिए। विशिष्ट आयतन तथा एन्थालपी के बीच सम्बन्ध ज्ञात कीजिए। (2013)

14. 1 kg अतितप्त भाप का दाब एवं तापमान 15 bar एवं 250°C है। भाप की एन्थालपी तथा आयतन ज्ञात कीजिए। (2013)

यदि 15 bar दाब पर—

$$t_s = 198.3°\text{C}$$
$$v_g = 0.1317\ \text{m}^3/\text{kg}$$
$$h_f = 845\ \text{kJ/kg}$$
$$h_{fg} = 1947\ \text{kJ/kg}$$
$$h_g = 2792\ \text{kJ/kg}$$
$$C_p = 0.5\ \text{kJ/kg K}$$

✦ सैद्धान्तिक प्रश्न

1. एक प्राथमिक चालक 21 bar दाब एवं 300° C पर भाप प्राप्त करता है तथा 0.1 बार एवं 0.9 शुष्कता भिन्नता पर भाप को निष्कासित करता है। एन्थालपी में कमी ज्ञात कीजिए। यदि $C_p = 2$ kJ/kg K हो।

   उत्तर— 623.19 kJ/kg

2. एक पात्र जिसकी क्षमता 0.05 m^3 है, द्रव एवं शुष्क वाष्प का मिश्रण पात्र में भरा है जिसका तापमान 245° C है। यदि पात्र में 10 kg द्रव हो तो निम्न की गणना कीजिए—
   (a) दाब (b) द्रव्यमान (c) विशिष्ट आयतन (d) विशिष्ट एन्थालपी
   (e) विशिष्ट एण्ट्रापी (f) विशिष्ट आंतरिक ऊर्जा

Study PowerPoint

उत्तर— (a) 36.5 bar (b) 10.688 kg, (c) 0.004654 m^3, (d) 1172.7 kJ/kg, (e) 2.9623 kJ/kg K, (f) 1155.78 kJ/kg

3. भाप के 30° C एवं 10 bar दाब पर निम्न की गणना कीजिए—
(a) भाप की एन्थालपी जब $x = 0.9$
(b) भाप की एन्थालपी जब भाप शुष्क एवं संतृप्त हो
(c) भाप की एन्थालपी जब भाप अतितप्त हो एवं $T_{sup} = 300°$ C, $C_p = 2.2$ kJ/kg K
उत्तर— (a) 2448.84 kJ, (b) 2650.2 kJ, (c) 2914.42 kJ

4. 0.15 m^3 आयतन के आर्द्र वाष्प के द्रव्यमान की गणना कीजिए यदि वाष्प का दाब नियत हो (4 bar) तथा शुष्कता भिन्नता 0.8 हो।
1 m^3 वाष्प के लिए आवश्यक ऊष्मा की गणना कीजिए।
उत्तर— 0.4058 kg, 6252.9 kJ

5. 4.4 kg वाष्प उत्पन्न करने के लिए आवश्यक ऊष्मा की गणना कीजिए यदि $P = 6$ bar तथा तापान्तर 250°C – 300°C एवं $C_p = 2.2$ kJ/kg K
उत्तर— 12454.6 kJ

6. 1 kg द्रव्यमान के जल को (47.8°C एवं 14 bar पर) ऊष्मा प्रदान की जाती है जिससे जल अतितप्त वाष्प में परिवर्तित हो जाता है। अतितप्त तापमान 110° C हो तो निम्न की गणना कीजिए—
(a) अतितप्त भाप की एन्थालपी
(b) आवश्यक ऊष्मा
(c) अतितापन की कुल ऊष्मा
उत्तर— 3018.8 kJ, 2818.71 kJ, 231 kJ

7. भाप सारणी की सहायता से अतितप्त भाप की औसत विशिष्ट ऊष्मा ज्ञात कीजिए जब—
(a) दाब 0.75 bar एवं तापमान 100° C–150° C हो।
(b) दाब 0.5 bar एवं तापमान 300°–400° C हो।
उत्तर— (a) 1.976 kJ, (b) 2.304 kJ

✦ अन्य महत्वपूर्ण प्रश्न

1. निम्न को परिभाषित कीजिए—
(a) भाप की गुणवत्ता
(b) आर्द्रता गुणांक
(c) संतृप्त तापमान
(d) अतितप्त तापमान
(e) अतितप्त कोटि
2. ज्ञेय ऊष्मा, गुप्मा ऊष्मा एवं अतितप्त ऊष्मा को परिभाषित कीजिए।
3. भाप सारणी को किस प्रकार वर्गीकृत करते हैं?
4. भाप के विभिन्न गुणों को लिखिए।
5. एन्थालपी-एण्ट्रापी आरेख को समझाइए।
6. निम्न आरेख को बनाइए—
(a) $P - V$
(b) $T - S$
(c) $H - S$

✦ बहुविकल्पीय प्रश्न

1. वाष्प की अतितापन ऊष्मा होती है—

(a) $h_{sup} = h_f + h_{fg}$

(b) $h_{sup} = h + l + C_p (T_{sup} - T_{sat})$

(c) $h_{sup} = h_f + xh_{fg} + C_p \log_e \frac{T_g}{273}$

(d) $h_{sup} = h_f + h_{fg} + C_p \log_e \frac{T_{sup}}{T_{sat}}$

Study PowerPoint

2. मोलियर आरेख खींचा गया है—
(a) दाब एवं आयतन के बीच
(b) एन्थालपी एवं एण्ट्रापी के बीच
(c) एण्ट्रापी एवं तापमान के बीच
(d) तापमान एवं एन्थालपी के बीच

3. जल को 0°C से गर्म करने पर विशिष्ट आयतन—
(a) पहले बढ़ता है फिर घटता है
(b) पहले घटता है फिर बढ़ता है
(c) सदैव बढ़ता है
(d) सदैव घटता है

4. गुप्त ऊष्मा होता है—
(a) $h_{fg} - \frac{Pv_g}{J}$
(b) $h_{sup} - \frac{Pv_f}{J}$
(c) $h_g - \frac{Pv_g}{J}$
(d) $h_{fg} + \frac{Pv_g}{J}$

5. कौन-सी भाप गैस के नियम का अनुसरण करती है?
(a) आर्द्र भाप
(b) शुष्क एवं संतृप्त भाप
(c) अतितप्त भाप
(d) इसमे से सभी

6. 1 kg जल की एण्ट्रापी होती है—
(a) $C_p \log_e\left(\frac{T}{273}\right)$
(b) $C_p \log_{10} \frac{T}{273}$
(c) $C_p \log_e \frac{T_2}{T_1}$
(d) $C_p \log_e \frac{T_2}{273}$

7. आर्द्र भाप की एण्ट्रापी होती है—
(a) $S_f + \frac{h_{fg}}{T_s}$
(b) $S_f + x\frac{h_{fg}}{T_s}$
(c) $S_f + \frac{h_{fg}}{T_s}$
(d) $S_f + C_p \log_e \frac{T_{sup}}{T_{sat}}$

8. क्रान्तिक बिन्दु पर वाष्पन की गुप्त ऊष्मा होती है—
(a) शून्य से कम
(b) शून्य के बराबर
(c) शून्य से ज्यादा
(d) इनमे से कोई नहीं

9. दाब बढ़ने के साथ—
(a) शुष्क एवं संतृप्त भाप की एन्थालपी बढ़ती है
(b) शुष्क एवं संतृप्त भाप की एन्थालपी घटती है
(c) शुष्क एवं संतृप्त भाप की एन्थालपी नियत रहती है
(d) सभी

10. शुष्कता भिन्नता होती है—
(a) $x = \frac{m_s}{m_s + m_w}$
(b) $x = m_s$
(c) $x = \frac{m_s}{m_w}$
(d) $x = \frac{m_{\text{dry steam}}}{m_{\text{dry steam}} + m_{\text{water vapour}}}$

11. क्रान्तिक बिन्दु पर P एवं t का मान होता है—
(a) $P = 374.15$ bar, $t = 221.2$°C
(b) $p = 374.15$ bar, $t = 221.2$ K
(c) $P = 221.2$ bar, $t = 374.15$°C
(d) $P = 221.2$ bar, $t = 100$°C

उत्तरमाला

1. (b) 2. (d) 3. (b) 4. (a) 5. (c) 6. (a) 7. (b) 8. (b) 9. (b) 10. (d)
11. (c)

□□□

Study PowerPoint

6 भाप जनित्र या बॉयलर
(Steam Generator)

6.1. प्रस्तावना

पिछले अध्याय में हमने भाप, भाप निर्माण, भाप के गुण तथा भाप के प्रकार का अध्ययन किया। इस अध्याय में हम भाप निर्माण के लिए प्रयुक्त युक्ति (उपकरण) का अध्ययन करेंगे। इस अध्याय में हम बॉयलर, बॉयलर की संरचना, बॉयलर के प्रकार, बॉयलर उपसाधन, बॉयलर मितोपयोजक आदि का अध्ययन करेंगे। इस अध्याय में बॉयलर दक्षता, बॉयलर निष्पादन आदि भी ज्ञात करेंगे।

हम जानते हैं कि भाप, तापीय शक्ति संयन्त्र या वाष्प शक्ति संयन्त्र में कार्यकारी माध्यम के रूप में प्रयोग की जाती है। भाप को कार्यकारी माध्यम के रूप में प्रयोग इसलिए किया जाता है क्योंकि जल आसानी से उपलब्ध होता है एवं सस्ता होता है। जल की गुणवत्ता के लिए जल का उपचार भी आसानी से हो जाता है। इस अध्याय में उपरोक्त का अध्ययन करेंगे।

6.2. भाप जनित्र या बॉयलर

बॉयलर या भाप जनित्र एक ऐसा बंद पात्र है, जिसका उपयोग वाष्प उत्पादन के लिए किया जाता है, परन्तु सभी बंद पात्रों को बॉयलर की संज्ञा नहीं दी जा सकती है।

अतः बॉयलर एक्ट 1962 के अनुसार, "एक ऐसा बंद पात्र जिसकी क्षमता 10 गैलन से अधिक होती है तथा जिसका उपयोग स्वच्छतापूर्वक वाष्प उत्पादन के लिए किया जाता हो, बॉयलर कहलाता है।"

ए०एस०एम०ई० (अमेरिकन सोसाइटी ऑफ मैकेनिकल इंजीनियर) के अनुसार बॉयलर को निम्न प्रकार से परिभाषित किया गया है—

"एक ऐसा उपकरण जो जल (द्रवीय अवस्था) से वाष्प (गैसीय अवस्था) बनाने में सक्षम हो बॉयलर कहलाता है।" वाष्प निर्माण के लिए ऊष्मा की मात्रा को भट्टी के द्वारा प्रदान किया जाता है।

6.3. बॉयलर के मुख्य अवयव

एक भाप जनित्र मुख्य रूप से निम्न अंगों के समावेश से बनता है—

(i) बॉयलर खोल (ii) दहन भट्टी (iii) आलिका (iv) भट्टी
(v) चढ़नार एवं उपसाधन (vi) भरण पम्प (vii) चिमनी तथा पंखे (viii) ट्यूब एवं हेडर
(ix) तापक सतह

(i) बॉयलर खोल (Boiler Shell)—बेलनाकार आकृति वाला भाग होता है जो इस्पात प्लेटों को मोड़कर बनाया जाता है, ऊपरी तथा निचले सिरों को प्लेटों द्वारा जोड़ दिया जाता है। आवश्यकतानुसार छिद्रों के लिए स्थान बने होते हैं।

(ii) दहन भट्टी (Combustion Chamber)—खोल का निचला भाग होता है जिससे ऊष्मीय ऊर्जा प्राप्त होती है। यह ऊष्मीय ऊर्जा जल से वाष्प बनाने के लिए प्रयोग की जाती है।

Study PowerPoint

(iii) जाली (Grate)—ठोस ईंधन दहन के लिए प्रयोग किया जाता है। यह ढलवाँ लोहे का बार की आकृति होता है जिसमें छिद्रों का प्रयोग किया जाता है। जाली के ऊपर ठोस ईंधन (कोयला) को रखा जाता है। छिद्र दहन के लि की आपूर्ति करते हैं तथा दहन के पश्चात् बचे अवशेष को छानकर बाहर निकालने में सहायक होते हैं।

(iv) भट्टी (Furnace)—इसे फायर-बॉक्स भी कहते हैं। जाली के ऊपर तथा बॉयलर खोल के नीचे का भ कहलाता है। दहन कक्ष तथा जाली दोनों भट्टी के अन्दर आते हैं।

(v) चढ़नार एवं उपसाधन (Mounting and Accessories)—बॉयलर के वे अंग जो बॉयलर के सुरक्षित प में सहायक होते हैं, चढ़नार कहलाते हैं। **उदाहरणार्थ**—दाब गेज, सुरक्षा वाल्व, जल-तल सूचक, रोक वाल्व, फीडचैक निकास टोंटी, गलन-प्लग, प्रवेश छिद्र आदि।

बॉयलर के वे अंग जो बॉयलर की दक्षता वृद्धि में सहायक होते हैं, उपसाधन कहलाते हैं। **उदाहरणार्थ**—जल युक्ति, भरण-जल तापक, अतितापक, मितोपयोजक, वायु-पूर्वतापक, वायु सम्भरण युक्ति आदि।

(vi) भरण पम्प (Feed Pump)—बॉयलर का वह अंग जो जल स्रोतों से जल को भरण जल के रूप में खोल में प्रवेश कराता है, भरण पम्प कहलाता है।

(vii) चिमनी तथा पंखे (Chimney and Fans)—यह बॉयलर का वह अंग है, जो दहन से उत्पन्न वायुमण्डल से निकालने में सहायक होता है।

(viii) ट्यूब एवं हेडर (Tubes and Header)—बॉयलर संयन्त्र में भरण जल तथा वाष्प को एक स्थान से दूसरे पर ले जाने के लिए ट्यूब तथा हेडर का इस्तेमाल किया जाता है।

(ix) तापक सतह (Heating Surface)—जाली के ऊपर का वह भाग जिस पर ईंधन का दहन होता है, तापक कहलाता है।

❑ 6.4. बॉयलर का वर्गीकरण

बॉयलर का वर्गीकरण निम्न आधार पर किया गया है—

(i) ईंधन के आधार पर—ईंधन के आधार पर बॉयलर को तीन वर्गों में विभाजित किया गया है—

ठोस ईंधन दहन बॉयलर (उदाहरण—कोयला)

तरल ईंधन दहन बॉयलर (उदाहरण—पेट्रोलियम)

गैसीय ईंधन दहन बॉयलर (उदाहरण—बायोगैस)

(ii) दहन कक्ष की स्थिति के आधार पर—दो भागों में विभाजित किया गया है—

अन्त:दहन बॉयलर (Internally Fired Boiler)—अन्त:दहन बॉयलर में दहन कक्ष बॉयलर खोल के उपस्थित होता है। उदाहरण—लोकोमोटिव बॉयलर, लंकाशायर बॉयलर आदि।

बाह्य दहन बॉयलर (Externally Fired Boiler)—बाह्य दहन बॉयलर में दहन कक्ष बॉयलर खोल के उपस्थित होता है। उदाहरण—बैवकॉक एवं विलकॉक, स्टर्लिंग बॉयलर।

(iii) बॉयलर के अक्ष की स्थिति के आधार पर—

ऊर्ध्वाधर बॉयलर (Vertical Boiler)—उदाहरण काकरान बॉयलर

क्षैतिज बॉयलर (Horizontal Boiler)—उदाहरण रेल इंजन बॉयलर

नत बॉयलर (Inclined Boiler)—उदाहरण स्टर्लिंग बॉयलर

(iv) बॉयलर में जल एवं गर्म गैसों के प्रवाह के आधार पर—

धूम्र-नली बॉयलर (Fire Tube Boiler)—इस बॉयलर में भट्टी के अन्दर की गर्म गैसें नलियों के भीतर प्रव होती है तथा भरण जल इन नलियों के ऊपर से प्रवाहित होती है। **उदाहरण**—रेल इंजन बॉयलर, लंकाशायर बॉयलर आदि।

Study PowerPoint

जल-नली बॉयलर (Water Tube Boiler)—इस बॉयलर में भरण जल नलियों के भीतर प्रवाहित होता है तथा भट्टी की गर्म गैस नलियों के ऊपर से प्रवाहित होती है। उदाहरण—बैबकॉक एवं विलकॉक, स्टर्लिंग बॉयलर आदि।

(v) बॉयलर में पानी के संचरण के आधार पर—मुख्यतः दो प्रकार के होते हैं—

प्राकृतिक संचरण बॉयलर—इस बॉयलर में भरण जल स्वतः ट्यूब के माध्यम से बॉयलर खोल में प्रवेश करती है। इस बॉयलर में पम्प की आवश्यकता नहीं होती है।

कृत्रिम संचरण बॉयलर—इस बॉयलर में पानी के संचरण के लिए पम्प की आवश्यकता होती है।

(vi) बॉयलर के दाब के आधार पर—

निम्न दाब बॉयलर—इस बॉयलर में भाप का दाब 80 bar से कम होता है। उदाहरण—रेल इंजन बॉयलर, लंकाशायर बॉयलर, कार्निश बॉयलर।

उच्च दाब बॉयलर—इस बॉयलर में भाप का दाब 80 bar से अधिक होता है। उदाहरण—लॉ-मान्ट बॉयलर, विलकॉक्स बॉयलर।

(vii) बॉयलर क्षमता के आधार पर—

निम्न क्षमता बॉयलर—इस बॉयलर की क्षमता 10 ton/प्रति घण्टा होती है।

उदाहरण—रेल इन्जन बॉयलर।

उच्च क्षमता बॉयलर—इस बॉयलर की क्षमता 100 ton/घण्टा होती है।

उदाहरण—लॉ-मान्ट बॉयलर, बेन्सन बॉयलर।

6.5. बॉयलर प्लान्ट के मुख्य लक्षण

एक अच्छे बॉयलर में निम्न गुणों का होना आवश्यक होता है—

(i) वाष्प उत्पादन की दर आवश्यकतानुसार होनी चाहिए।

(ii) बॉयलर कम से कम स्थान घेरने वाला होना चाहिए।

(iii) बॉयलर का परिचालन विश्वसनीय होना चाहिए।

(iv) बॉयलर आसानी से शुरू हो जाना चाहिए।

(v) बॉयलर की ऊष्मीय दक्षता अधिक होनी चाहिए।

(vi) बॉयलर का डिजाइन सरल होना चाहिए।

(vii) बॉयलर का भार कम होना चाहिए।

(viii) बॉयलर के अंग जंगरोधी होने चाहिए।

(ix) बॉयलर का उपयोग करते समय सुरक्षा का आभास होना चाहिए।

(x) बॉयलर की प्रारम्भिक लागत तथा कार्यकारी लागत कम होनी चाहिए।

(xi) बॉयलर का रख-रखाव आसान होना चहिए।

6.6. बॉयलर चढ़नार (Boiler Mounting)

विभिन्न प्रकार के गेज एवं वाल्व जो बॉयलर के सुरक्षित परिचालन में सहायक होते हैं, बॉयलर चढ़नार कहलाते हैं। यह चढ़नार बॉयलर पर सीधे लगे होते हैं।

Study PowerPoint

भारतीय बॉयलर एक्ट के अनुसार, बॉयलर के सुरक्षित परिचालन के लिए निम्न चढ़नार आवश्यक होते है

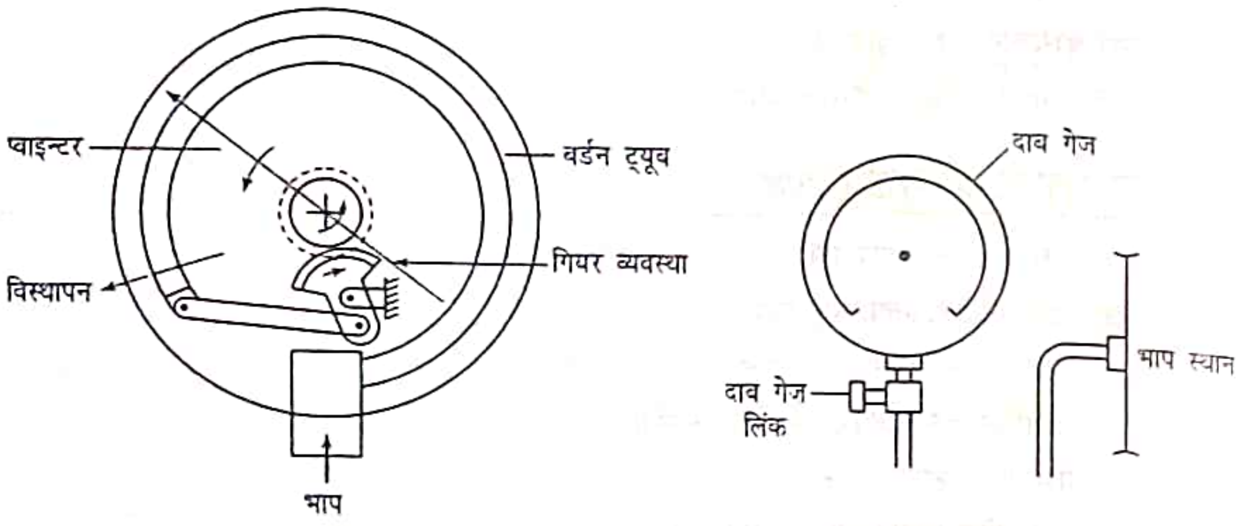
(i) दाब गेज (Pressure gauge)
(ii) सुरक्षा वाल्व (Safety valve)
(iii) जल-तल-सूचक या जल गेज (Water gauge or water level indicator)
(iv) भाप रोक वाल्व (Steam stop valve)
(v) भरण चेक वाल्व (Feed check valve)
(vi) ग्लनीय प्लग (Fusible plug)
(vii) निकास टोंटी (Blow of cock)

(i) दाब गेज—दाब गेज सामान्यत: बॉयलर ड्रम या खोल के शीर्ष सम्मुख पर लगा होता है। दाब गेज का मुख बॉयलर में उपजे भाप के दाब को बताना होता है।

दो प्रकार के दाब गेज प्रयोग किए जाते हैं—

(a) डायफ्राम दाब गेज (Diaphragm pressure gauge)
(b) वर्डन दाब गेज (Bourdon pressure gauge)

(a) बर्डन दाब गेज—वर्डन दाब गेज का व्यवस्थित आरेख निम्नलिखित है—



दाब गेज

दाब गेज साइफन

चित्र 6.1

क्रियाविधि—इस दाब गेज में, प्वाइन्टर लीवर एवं गियर की सहायता से वर्डन ट्यूब से जुड़ा होता है, जैसा चि में दिखाया गया है। जब कार्यकारी पदार्थ (भाप) को इस ट्यूब से गुजारा जाता है तो प्रवाह चक्रीय होते हुए प्वाइन्टर क प्रदान करता है, यह प्वाइन्टर चक्रीय स्केल से जुड़ा होता है। जो भाप के दाब को बताता है। जितना भाप का दाब प्वाइन्टर उतना ही स्केल आगे बढ़ता है। दाब गेज को बॉयलर से साइफन द्वारा जोड़ा जाता है।

(ii) सुरक्षा वाल्व—बॉयलर एक्ट के अनुसार, प्रत्येक बॉयलर में कम से कम दो सुरक्षा वाल्व लगे होने सुरक्षा वाल्व का मुख्य कार्य अत्यधिक उपजे ऊष्मा को बाहर वायुमण्डल में निकालना होता है जिससे बॉयलर के अ दाब, निश्चित मान तक बना रहे। हम जानते हैं कि बॉयलर का डिजाइन एक निश्चित सीमा के लिए किया जाता है। भाप क बढ़ने पर बॉयलर फट सकता है। इसलिए सुरक्षा की दृष्टि से यह बॉयलर का महत्वपूर्ण अंग है।

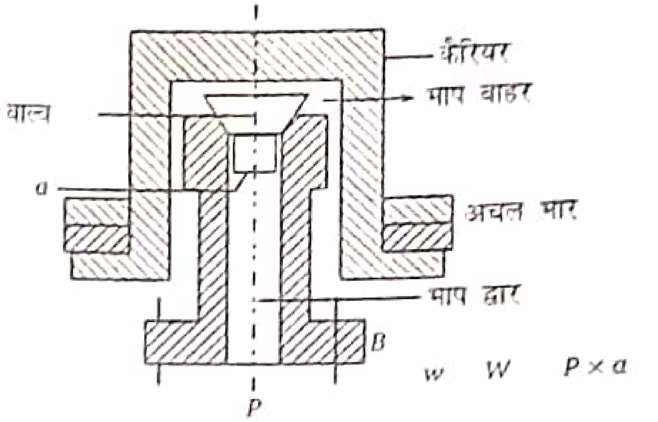
मुख्यत: तीन प्रकार के सुरक्षा वाल्व का प्रयोग किया जाता है—

Study PowerPoint

(a) अचल भार सुरक्षा वाल्व (Dead weight safety valve)
(b) लीवर सुरक्षा वाल्व (Lever safety valve)
(c) स्प्रिंग भारित सुरक्षा वाल्व (Spring loaded safety valve)

(a) अचल या स्थिर भार सुरक्षा वाल्व (Dead weight safety valve)—सुरक्षा वाल्व का व्यवस्थित आरेख निम्न

चित्र 6.2 में A एक ढलवा लोहे की पाइप होती है जिसमें भाप दाब कार्य करता है। पाइप का निचला हिस्सा फ्लेंज B से जुड़ा होता जो बॉयलर खोल से सीधे रूप में जुड़ा होता है। C एक गन धातु का वाल्व होता है, जो अपनी वाल्व सीट पर बैठा होता है। जब भाप दाब मानक दाब से अधिक हो जाता है तब वाल्व अपनी सीट से उठने लगता है और अतिरिक्त भाप वायुमण्डल में निकाल दिया जाता है।



चित्र 6.2

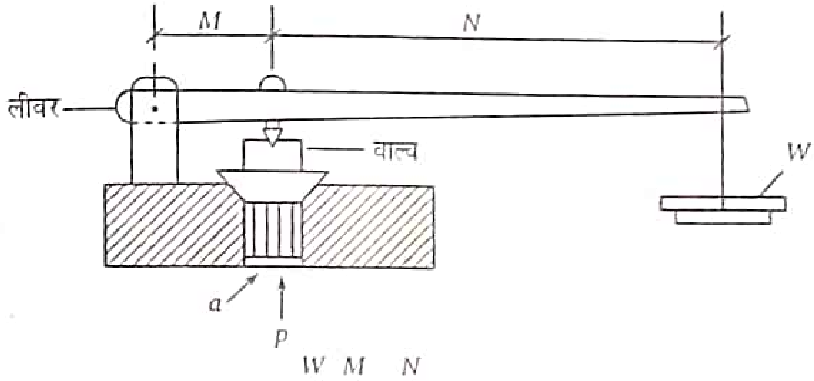
साम्यावस्था में

$$w + W = P \times a$$

इस समीकरण द्वारा हम भाप का दाब 'P' ज्ञात कर सकते हैं।

(b) लीवर सुरक्षा वाल्व—सुरक्षा वाल्व का व्यवस्थित आरेख निम्न है—

इसमें एक लीवर तथा एक भार W होता है। वाल्व बाड़ी के अन्दर वाल्व सीट पर वाल्व बैठा होता है। वाल्व सीट एवं वाल्व दोनों गन धातु का बना होता है। लीवर एक सिरे से कब्जेदार होता है तथा दूसरे सिरे से भार को लटकाया जाता है। यह लीवर, वाल्व को उसके वाल्व सीट पर बैठाए रखता है।



चित्र 6.3

जब भाप का दाब बॉयलर में उसके मानक दाब से अधिक हो जाती है तो वाल्व अपनी सीट से उठकर अतिरिक्त भाप को वायुमण्डल में निकाल देता है, जिससे बॉयलर की दाब कम हो जाती है। बॉयलर का दाब कम हो जाने पर भार के कारण लीवर की सहायता से वाल्व पुनः अपनी सीट पर बैठ जाता है।

साम्यावस्था में

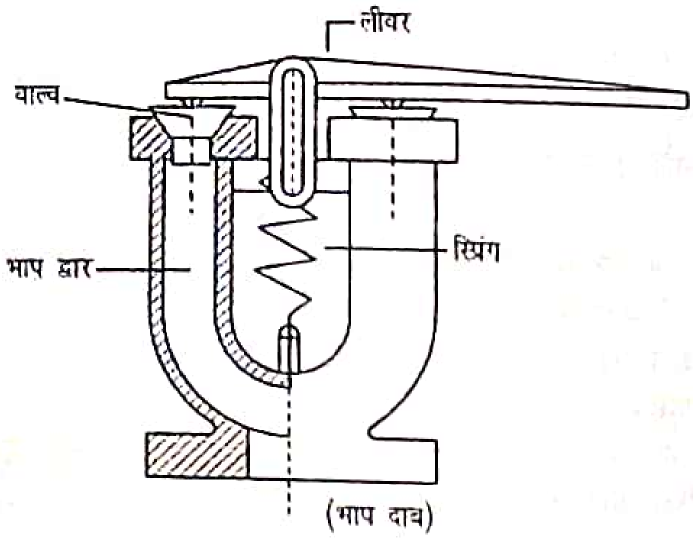
$$w(M + N) = P \times a \times m$$

इस समीकरण द्वारा भाप का दाब ज्ञात किया जा सकता है।

(c) स्प्रिंग भारित लीवर सुरक्षा वाल्व—इस सुरक्षा वाल्व में दो भाप रास्ते एवं दो वाल्व लगे होते हैं। यह भाप रास्ते वाल्व द्वारा बंद किए जाते हैं जो केन्द्रीय स्प्रिंग द्वारा नियन्त्रित होते हैं। भाप के दाब को स्प्रिंग में तनाव द्वारा नियन्त्रित किया जाता है। एक अन्य लीवर की सहायता से भी भाप के दाब को नियन्त्रित किया जाता है।

Study PowerPoint

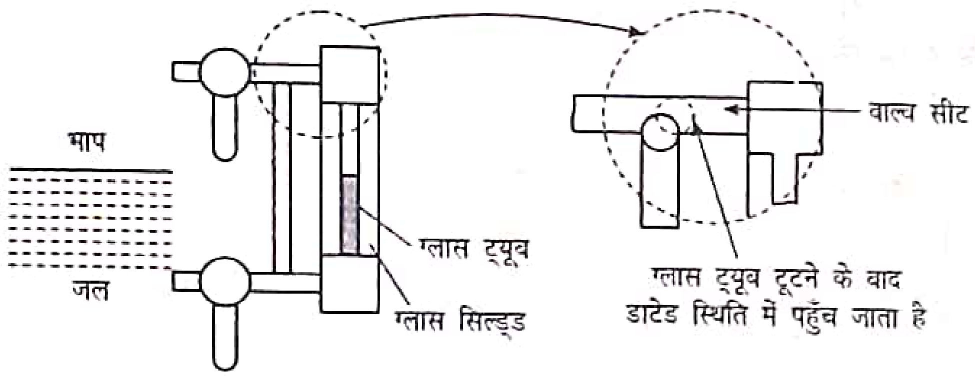
यह वाल्व कम्पन द्वारा प्रभावित नहीं होता है। यह उच्च दाब बॉयलर में प्रयोग किया जाता है।



चित्र 6.4

(iii) जल गेज या जल-तल सूचक—जल तल सूचक का मुख्य कार्य बॉयलर ड्रम में जल के तल को नियमि से मापना होता है। बॉयलर के सामान्य परिचालन में दो जल गेज लगे होते हैं। गेज में सामान्यत: एक ग्लास की ट्यूब लगी है जो बॉयलर ड्रम से जुड़ी होती है। यह ग्लास की ट्यूब दो ट्यूबों द्वारा भाप एवं जल साइड से बॉयलर से जुड़ी होती है के तल को मापने के लिए गेज में लगे वाल्व हमेशा खुले होने चाहिए।

यह बॉयलर खोज में तेल से जल के तल के गिरने से बॉयलर को होने वाले नुकसान को बचाता है।



चित्र 6.5

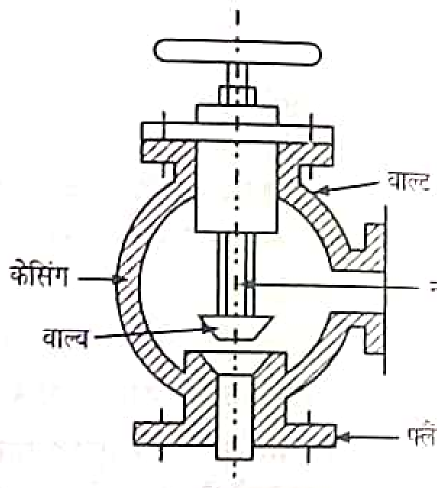
(iv) भाप-रोक वाल्व—इसे जंक्शन वाल्व के नाम से भी जाना जाता है। वाल्व को सीधे बॉयलर से जोड़ दिया जाता है तथा यह पाइप जिससे भाप टरबाइन को प्रवाहित करता है उसमें लगा दिया जाता है। यह वाल्व भाप के प्रवाह को रोकता है, इसलिए इसे रोक वाल्व भी कहते हैं।

इसका प्रमुख कार्य निम्नलिखित हैं—

यह भाप पाइप लाइन में भाप के प्रवाह को रोकता है।

भाप के प्रवाह को परिस्थिति के अनुसार व्यवस्थित करता है।

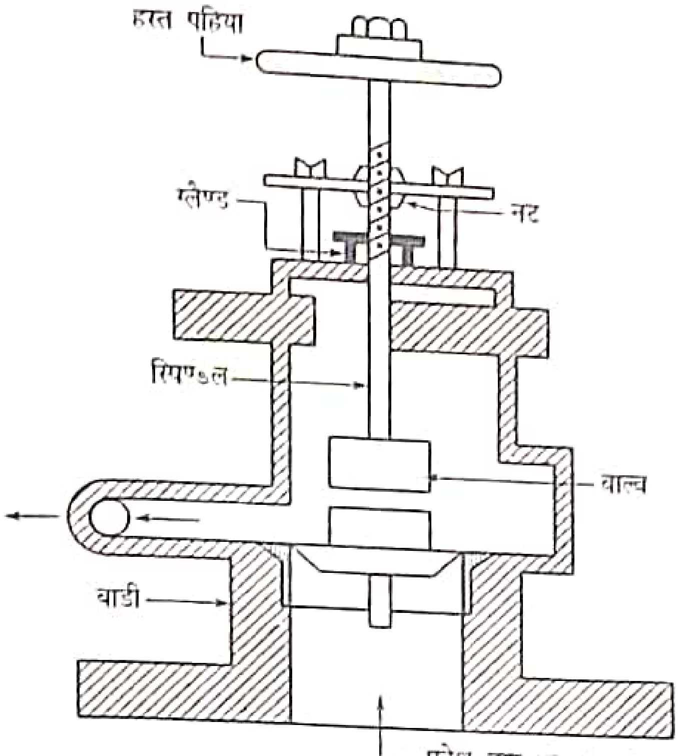
जंक्शन वाल्व तथा भाप-रोक वाल्व दोनों लगभग समतुल्य होते हैं, अंतर सिर्फ इतना होता है कि जंक्शन वाल्व साइज में बड़ा होता है।



चित्र 6.6

Study PowerPoint

(v) संभरण चेक वाल्व—संभरण चेक वाल्व, बॉयलर खोल के पास सामान्य जल के तल से नीचे लगा होता है। यह बॉयलर खोल में जल की सतत आपूर्ति में सहायक होता है। यह बॉयलर खोल में जल को एक दिशा में प्रवाहित करता है, जिससे जल बॉयलर खोल से बाहर नहीं आता है।



चित्र 6.7

इस वाल्व में एक चेक वाल्व लगा होता है जो एक गन मेटल सीट पर बैठा होता है। जल के दाब के कारण यह चेक वाल्व स्वत: ऊपर नीचे प्रवाहित होता रहता है।

यह फ्लेंज की सहायता से बॉयलर खोल के अंत में लगी होती है। यह हस्तचलित पहिए द्वारा संचालित होता है। चेक वाल्व के स्थान पर नान रिटर्न वाल्व (Non-return valve, NRV) का प्रयोग किया जाता है।

संभरण चेक वाल्व के मुख्य कार्य—

जल के प्रवाह को नियन्त्रित करता है।

पम्प की अनुपस्थिति में बॉयलर के प्रवाह को एक दिशा में बनाए रखता है।

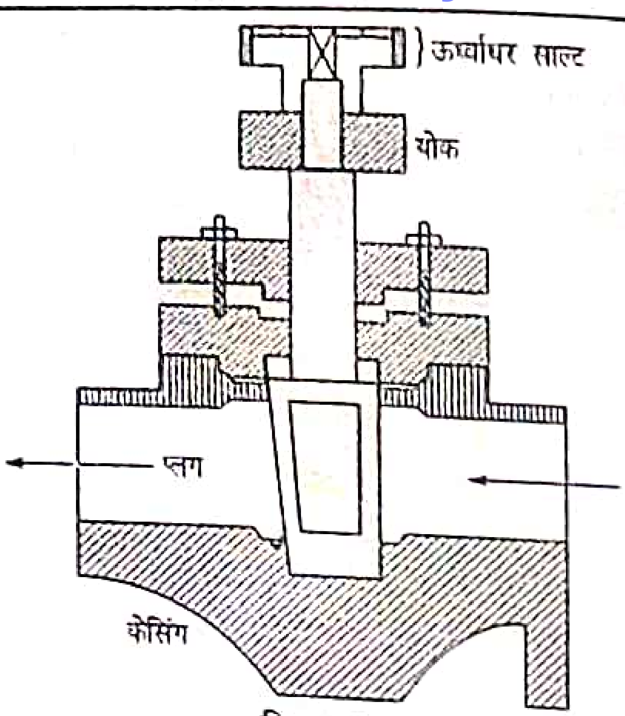
(vi) निकास टोंटी—निकास टोंटी का आरेख चित्र 6.8 में दिया है—

इसमें एक शंक्वाकार प्लग लगा होता है। यह प्लग केसिंग में एसबेस्टस पदार्थ के साथ व्यवस्थित होता है। प्लग का सैंक एक ग्लैण्ड एवं स्टफिंग बॉक्स (Gland and stuffing box) की सहायता से बन्द होता है। बॉक्स स्पैनर को बद्ध करने के लिए योक (Yoke) एवं ऊर्ध्व साल्ट का प्रयोग किया जाता है। बाक्स स्पैनर का प्रयोग प्लग स्पिण्डल को घुमाने के लिए प्रयोग किया जाता है। प्लग में एक छिद्र बना होता है। जब हम केसिंग छिद्र एवं प्लग छिद्र को एक सीधी रेखा में ले आते हैं तो जल का प्रवाह होता है।

मुख्य कार्य—

- जल विसर्जन (water discharge) के लिए प्रयोग किया जाता है।
- तलछट्टी में जमे अवसाद को बाहर निकालने का कार्य करता है।
- निरीक्षण, परीक्षण रख-रखाव के दौरान बॉयलर को खाली करता है।

Study PowerPoint



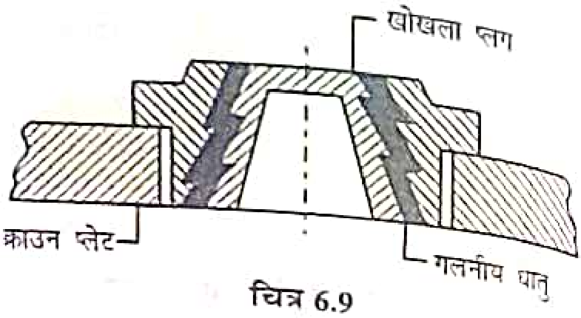
चित्र 6.8

(vii) गलनीय प्लग (Fusible plug)—

मुख्य कार्य निम्नलिखित हैं—

यह बॉयलर को अतितापन से होने (Overheating) वाले नुकसान से बचाता है। अतितापन का मुख्य कारण जल के स्तर में कमी होती है।

यह बॉयलर खोल एवं दहन भट्टी के बीच में लगा होता है। दहन भट्टी में यह प्लग फायर बाक्स क्राउन प्लेट की सहायता से जुड़ा होता है।



चित्र 6.9

संरचना

गलनीय प्लग का मुख्य भाग खोखले गन धातु का बना होता है जो फायर बॉक्स क्राउन पर बाँध होता है। एक षट्कोणीय फ्लैंज (hexagonal flange) की सहायता से गलनीय प्लग बॉयलर खोल से जुड़ा होता है। प्लग में मुख्यत: तीन भाग होते हैं। एक भाग गलनीय धातु का बना होता है जो दो गन धातु भाग से जुड़ा होता है। गलनीय धातु से बना भाग खोखला होता है।

गलनीय धातु के रूप में सामान्यत: टिन का प्रयोग किया जाता है जिसका गलनीय तापमान 300°C है।

क्रियाविधि

जब बॉयलर अपनी सामान्य कार्यकारी अवस्था में होता है अर्थात् जल का तल अपनी सामान्य रेन्ज में होता है, तब प्लग जल में डूबा होता है। जब जल का तल कम होने लगता है, तब प्लग पर से पानी हटने लगता है और प्लग भाप के सम्पर्क में आने लगता है। धीरे-धीरे प्लग का अतितापन होने लगता है और प्लग का बीच वाला भाग (जोकि गलनीय होता है) टूटकर भट्टी में गिर जाता है जिससे भट्टी की ऊष्मा कम हो जाती है और बॉयलर फटने से बच जाता है।

अन्य प्रमुख चढ़नार निम्नलिखित हैं—

कीचड़ छिद्र (Mud hole)

निरीक्षण छिद्र (Inspection or sight hole)

मुख्य छिद्र (Main hole or man hole)

इन छिद्रों का मुख्य कार्य मरम्मत, निरीक्षण, परीक्षण, रख-रखाव कार्यों के लिए प्रयोग किया जाता है। यह छिद्र बॉयलर के सुरक्षित परिचालन में सहायक होते हैं।

Study PowerPoint

6.7. बॉयलर उपसाधन (Boiler Accessories)

बॉयलर के प्रचालन को दक्ष करने तथा दक्षता वृद्धि के लिए प्रयुक्त युक्तियों को बॉयलर उपसाधन कहते हैं। बॉयलर उपसाधन का प्रयोग नहीं करने पर बॉयलर का कार्य सुचारु रूप से तो होता है, परन्तु इसके न लगने पर बॉयलर की दक्षता प्रभावित होती है।

प्रमुख उपसाधन निम्नलिखित हैं—

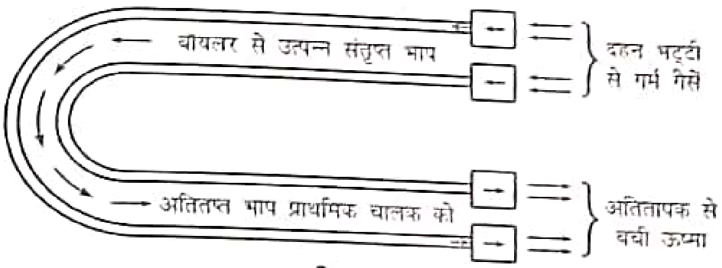
(i) अतितापक (Super heater)

(ii) मितोपयोजक (Economiser)

(iii) वायु पूर्व तापक (Air preheater)

(a) अतितापक (Superheater)

इसका प्रमुख कार्य बॉयलर ड्रम से प्राप्त होने वाली संतृप्त भाप का तापमान बढ़ाकर उसे अतितप्त भाप में परिवर्तित करना होता है। अतितापक नलियों की आकृति का बना होता है तथा एक ऊष्मा विनियमित्र (Heat exchanger) की तरह कार्य करता है। अतितापक में संतृप्त भाप नलियों में प्रवाहित होती है तथा गर्म गैस नलियों के ऊपर से प्रवाहित कराई जाती है। भाप गर्म गैसों की ऊष्मा प्राप्त कर अतितप्त हो जाता है तथा इसे प्राथमिक चालक को भेज दिया जाता है।



चित्र 6.10

अतितापक के प्रकार (Types of Superheater)—अतितापक को निम्न आधार पर वर्गीकृत किया गया है—

(i) **ऊष्मा अंतरण के आधार पर—**

संवहन अतितापक (Convection Superheater)—यह अतितापक गर्म गैसों के प्रवाह के बीच में लगा होता है तथा इनमें ऊष्मा का अंतरण संवहन प्रक्रिया के कारण होता है।

विकिरण अतितापक (Radiation Superheater)—यह अतितापक भट्टी की दीवारों पर लगे होते हैं तथा ऊष्मा का अंतरण विकिरण प्रक्रिया द्वारा होता है।

(ii) **नलियों की स्थिति के आधार पर—**

ऊपरी डेक (Upper Deck) **अतितापक**—इसमें अतितापक नलियाँ जल नलियों के ऊपर तथा भाप ड्रम के नीचे स्थित होती हैं।

मध्य डेक (Inter Deck) **अतितापक**—बॉयलर भट्टी के पास वाली जल नलियों के मध्य स्थापित होती हैं।

अन्तःनली (Inner Tube) **अतितापक**—यह अतितपक दो जल नलियों के भीतर लगा होता है।

मध्य ट्यूब (Inter Tube) **अतितापक**—यह अतितापक जल नलियों की सीमाओं पर अथवा नलियों की कतारों के नीचे स्थित होती है।

Study PowerPoint

(iii) उपयोगिता के आधार—

प्राथमिक (Primary) अतितापक—यह बॉयलर से सीधी उपजी संतृप्त भाप को अतितप्त करता है।

माध्यमिक या पुनः (Intermediate) अतितापक—यह टरबाइन में कार्य कर चुके भाप को पुनः अति
है।

(iv) ऊष्मा स्रोत के आधार पर—

अभिन्न (Integral) अतितापक—इस प्रकार के अतितापक बॉयलर के अन्दर स्थापित होते हैं।

स्वतन्त्र (Independent) अतितापक—यह अतितापक बड़े आकार के होते हैं तथा स्थिर बॉयलर के बाह
है। इन्हें ऊष्मा पृथक भट्टी द्वारा दी जाती है।

(v) दहन गैसों तथा भाप की परस्पर दिशा के अनुसार—

समान्तर प्रवाह अतितापक (Parallel Flow)—इस अतितापक में दहन गैसें तथा भाप का प्रवाह एक ह
होता है।

प्रतिप्रवाह अतितापक (Counter Flow)—इस अतितापक में दहन गैसें तथा भाप का प्रवाह एक-दूसरे व
होती है।

संयुक्त प्रवाह अतितापक (Combined Flow)—यह समान्तर प्रवाह तथा प्रति प्रवाह अतितापक का स
होता है।

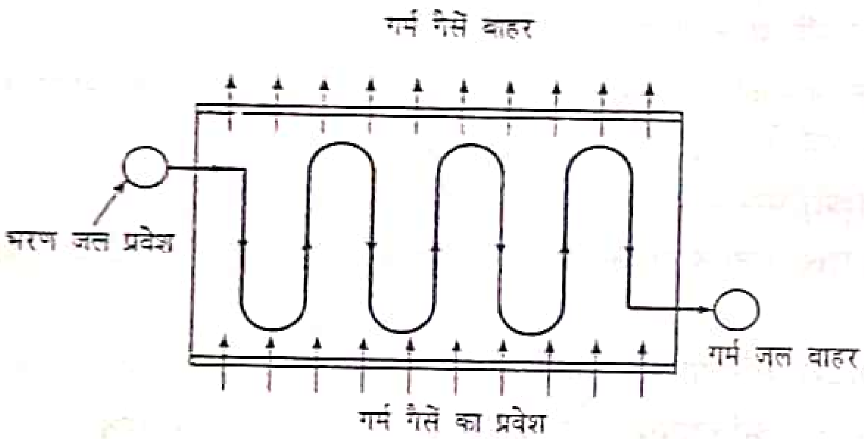
■ (b) मितोपयोजक (Economiser)

मितोपयोजक को भरण जल पूर्व तापक (Feed Water Pre-heater) भी कहते हैं। यह एक ऊष्मा विनियमि
जिसमें गर्म गैसों की ऊष्मा को संवनित्र जल या भरण जल को अंतरित की जाती है। बॉयलर में भरण जल को भेज
मितोपयोजक में गर्म किया जाता है। इसमें सामान्यतः जल नलियों में भेजा जाता है तथा गर्म गैसें इन नलियों के ऊपर से
होती हैं।

मितोपयोजक का वर्गीकरण—निम्न मापदण्डों पर मितोपयोजक को वर्गीकृत किया गया है—

(i) नलियों की व्यवस्था के आधार पर—

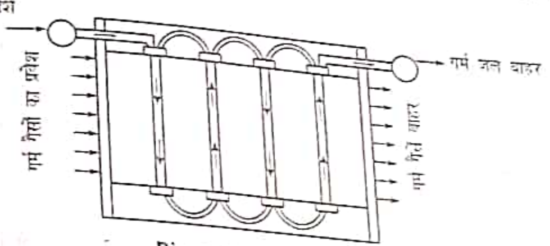
सतत लूप (Continuous Loop) मितोपयोजक—इस मितोपयोजक में नलियों को बिना जोड़ के लगातार
में व्यवस्थित किया जाता है।



Continuous Loop
चित्र 6.11

Study PowerPoint

मुड़ी जोड़ वाली मितोपयोजक—इस मितोपयोजक में क्षैतिज नलियों को सिराओं पर गैस्केट लगी बैण्ड से दी जाती है। यह बैण्ड गैस के प्रवाह मार्ग से बाहर होती है।



Discontinuous Loop

चित्र 6.12

(ii) **भरण जल की गर्म होने की अवस्था के आधार पर—**

वाष्पन मितोपयोजक (Steaming Economiser)—भरण जल को क्वथनांक तक गर्म किया जाता है।

अवाष्पन मितोपयोजक (Non-steaming Economiser)—भरण जल को इतना गर्म किया जाता है कि उसका तापमान क्वथनांक से 20-30°C कम ही हो।

(iii) **बॉयलर में स्थिति के आधार पर—**

अभिन्न मितोपयोजक (Integral Economiser)—बॉयलर के अंदर बॉयलर के एक अभिन्न भाग की तरह लगाए जाते हैं।

स्वतन्त्र मितोपयोजक (Independent Economiser)—बॉयलर खोल के बाहर अलग से लगाए जाते हैं।

(iv) **मितोपयोजक नली के सामग्री के आधार पर—**

लौह नलियाँ मितोपयोजक

इस्पात नलियाँ मितोपयोजक

(v) **जल और गर्म गैसों के सापेक्षिक प्रवाह की दिशा के आधार पर—**

समान्तर प्रवाह (Parallel Flow) मितोपयोजक—जल एवं गर्म गैसों की दिशा एक समान होती है।

प्रति-प्रवाह (Counter Flow) मितोपयोजक—जल एवं गर्म गैसों की दिशा विपरीत होती है।

मितोपयोजक के लाभ—

- दग्ध गैसों में व्यर्थ ऊष्मा का उपयोग हो जाता है।
- दक्षता 10% से 15% तक बढ़ जाती है।
- ईंधन की खपत 5% से 15% तक बचती है।
- बॉयलर की क्षमता में वृद्धि हो जाती है।
- तापीय प्रतिबल की मात्रा कम हो जाती है।

(c) वायु पूर्व तापक (Air Pre-heater)

यह मूलतः एक ऊष्मा विनियमित्र होता है जिसमें वायु को बॉयलर भट्टी में भेजने के पूर्व दहन गैसों की सहायता से पूर्व तप्त कर देते हैं। वायु को पूर्व तप्त करने से दहन दर तथा दहन की गुणवत्ता में वृद्धि हो जाती है।

Study PowerPoint

वायु पूर्व तापक के लाभ—

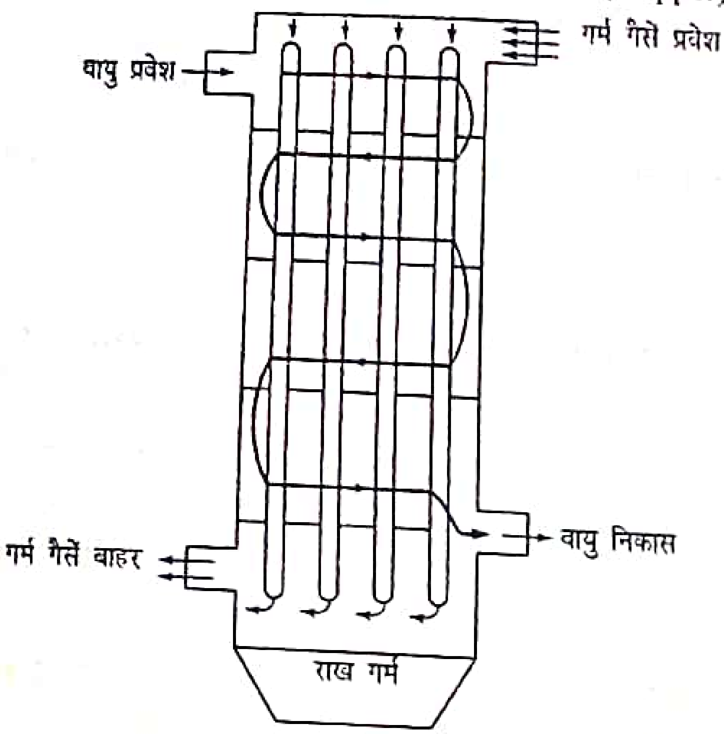
- निम्न श्रेणी का ईंधन भी उपयोग किया जा सकता है।
- तापीय दक्षता बढ़ती है।
- ईंधन खपत कम होती है।
- बॉयलर की वाष्पन क्षमता में वृद्धि हो जाती है।
- दहन क्रिया में कम धुआँ निकलता है।

वायु पूर्वतापक का वर्गीकरण—

मुख्यत: दो आधार पर वायु पूर्वतापक को वर्गीकृत किया जाता है—

(i) बनावट के आधार पर—मुख्य रूप से तीन प्रकार के होते हैं—

नलिकाकार वायु पूर्वतापक (Tubular Air Pre-heater)—इसमें गर्म गैसें नलियों में प्रवाहित की जाती है त इन नलिकाओं के ऊपर एवं गर्म गैसों के प्रवाह के विपरीत दिशा में प्रवाहित की जाती हैं। ऊष्मा अंतरण दर बढ़ाने वैफलस (Baffeles) का प्रयोग किया जाता है। हॉपर (Hopper) में बची कालिख संग्रहित की जाती है।



Tubular Air Preheater

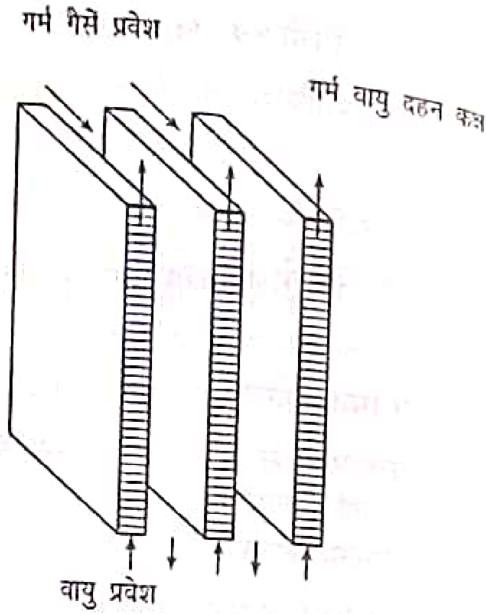


Plate Type Air Preheater

चित्र 6.13

प्लेट आकार वायु पूर्वतापक (Plater Type Air Pre-heater)—इसमें आयताकार सपाट प्लेटों का प्रयोग जाता है। दो समान्तर प्लेटों के बीच की दूरी 2 cm तक होती है। प्लेटों के बीच समान्तर मार्गों के एक तरफ वायु तथा तरफ गर्म गैसें प्रवाहित की जाती हैं। दोनों के प्रवाह की दिशा विपरीत होती है।

स्टोरेज वायु पूर्वतापक (Storge Type Air Pre-heater)—

(ii) वायु और गर्म गैसों के बीच सम्पर्क अथवा ऊष्मा अंतरण समय के आधार पर—

रिक्यूपरेटिव (Recuperative) प्रकार का—इस तरह के पूर्वतापकों में ऊष्मा सतत रूप से गर्म गैस से ठण्डी में अंतरित होती रहती हैं उदाहरण—Tubular and Plate Type Air Pre-heater.

Study PowerPoint

पुनर्योजी (Regenerative) प्रकार का—इस प्रकार के वायु पूर्वतापक में ऊष्मा अंतरण रुक-रुक कर होता है। मुख्यत: दो प्रकार की होती हैं—

(a) स्थिर वायु पूर्वतापक
(b) घूमने वाला वायु पूर्वतापक

6.8. बॉयलर

1. निम्न दाब बॉयलर

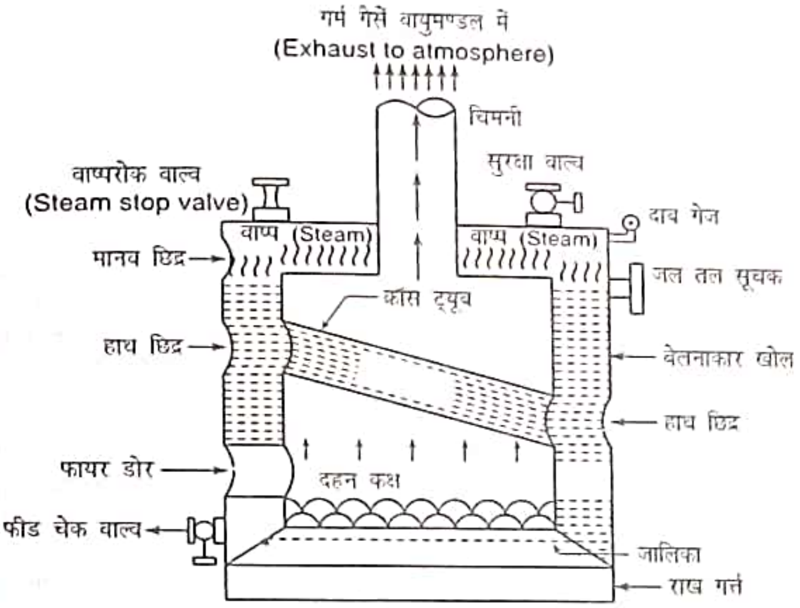
(i) धूम्र नली बॉयलर
(a) सरल खड़ा बॉयलर (Simple Vertical Boiler)
(b) कॉकरान बॉयलर (Cocron Boiler)
(c) लंकाशायर बॉयलर (Lancashire Boiler)
(d) रेल इंजन बॉयलर (Locomotive Boiler)

(ii) जल नली बॉयलर
(a) बैबकॉक-विलकॉक बॉयलर (Babcock-Wilcock Boiler)
(b) स्टर्लिंग बॉयलर (Sterling Boiler)

2. उच्च दाब बॉयलर

(a) ला-माउन्ट बॉयलर (La-mont Boiler)
(b) लो-एफलर बॉयलर (Loeffler Boiler)
(c) बेन्सन बॉयलर (Benson Boiler)
(d) विलाक्स बॉयलर (Velox Boiler)
(e) स्कडमिक-हर्टमैन बॉयलर (Schmidt-Hartman Boiler)

(i) (a) सरल खड़ा बॉयलर (Simple Vertical Boiler)—यह एक निम्न दाब धूम्र नली बॉयलर है। बॉयलर का व्यवस्थित आरेख चित्र 6.14 में दिखाया गया है।



चित्र 6.14

Study PowerPoint

सरल खड़े बॉयलर में एक बेलनाकार खोल होता है जिसमें आधे से अधिक भरण जल भरा होता है। उत्पन्न गर्म गैसों के द्वारा भरण जल वाष्प में परिवर्तित हो जाता है। बेलनाकार खोल के ऊपरी भाग को वाष्प के लि हैं। खोल के निचले सिरे में फायर-बॉक्स मे दो तिरछे ट्यूब भी लगे होते हैं जिससे दहन दर तथा वाष्पन दर दोनों है। बॉयलर के अन्दर सभी चढ़नार लगे होते है; जैसे—प्रवेश छिद्र, चिमनी, फीड चेक वाल्व, दाब गेज, सुरक्षा वाल सूचक, भाप रोक वाल्व, निकास टोंटी, गलनीय प्लग आदि।

प्रमुख आँकड़े

क्षमता = 2500 kg/hr

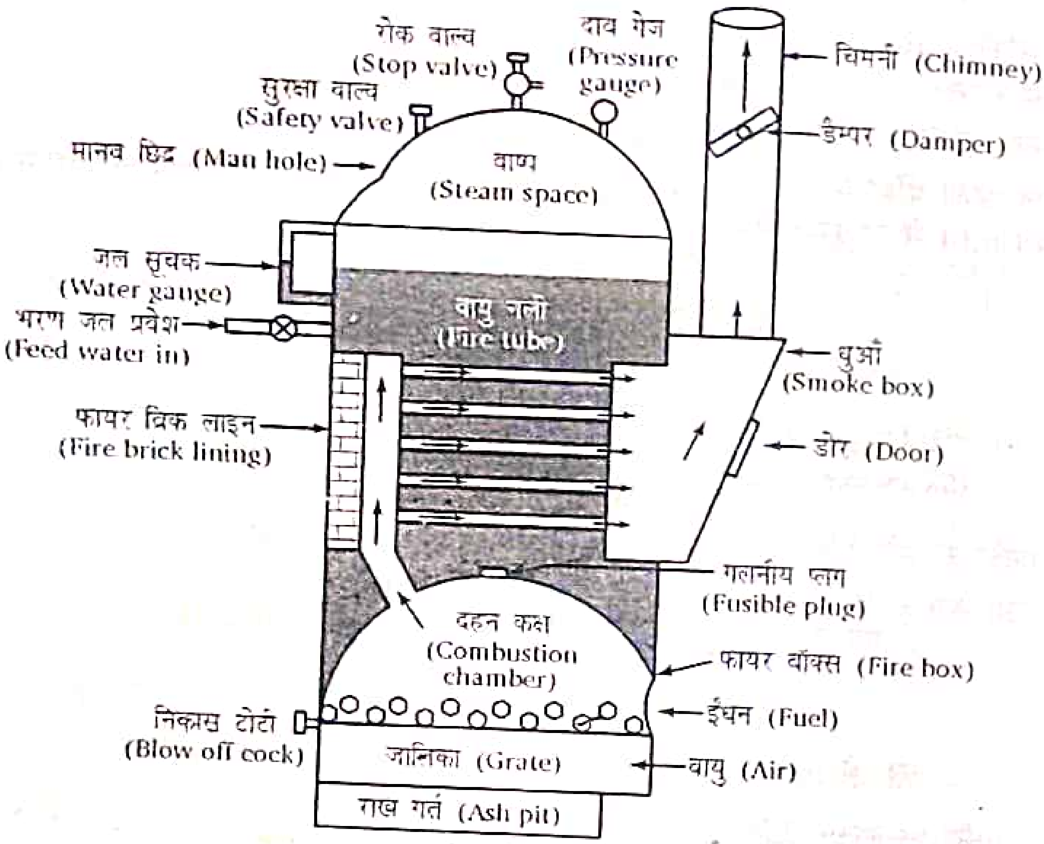
दाब = 7.5 bar – 10 bar

लाभ

- डिजाइन सरल होती है।
- रखरखाव की आवश्यकता कम होती है।
- स्थानान्तरण आसानी से संभव है।

(i)-(b) कॉकरान बॉयलर (Cochron Boiler)—कॉकरान बॉयलर ऊर्ध्वाधर धूम्रनली बॉयलर है। वाष्प कम रहता है तथा वाष्प उत्पादन क्षमता भी कम होती है।

बॉयलर के दो भाग होते हैं, पहला भाग बेलनाकार होता है तथा दूसरा भाग अर्द्ध गोलाकार होता है। निचले भाग में दहन भट्टी लगी होती हैं। भट्टी से उत्पन्न गर्म गैसें धूम्रनली में प्रवाहित होती हैं तथा भरण जल इन नलियों प्रवाहित होता है। भट्टी से उत्पन्न गर्म गैसों की ऊष्मा प्राप्त कर भरण जल वाष्प में परिवर्तित हो जाता है तथा यह गोलाकार भाग में एकत्र होता है। वाष्प रोक वाल्व के माध्यम से यह वाष्प प्राथमिक चालक को भेज दिया जाता



चित्र 6.15

Study PowerPoint

सभी चढ़नार यथावत् स्थान पर लगे होते हैं; जैसे—

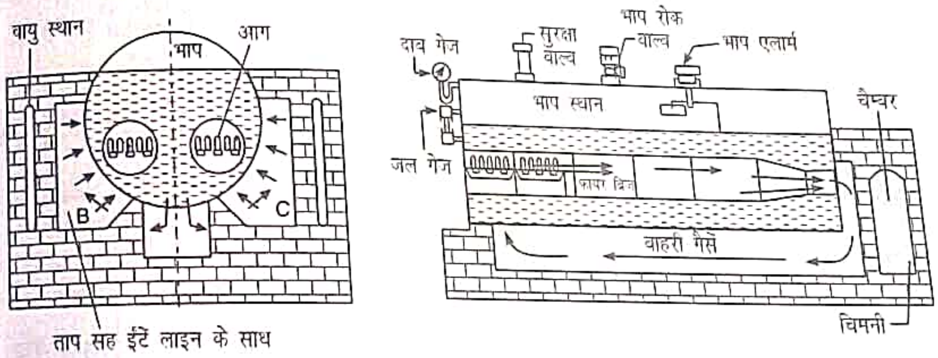
क्र०सं०	चढ़नार	बॉयलर में स्थान	क्र०सं०	चढ़नार	बॉयलर में स्थान
1.	जल तल सूचक	बॉयलर खोल के सिरे पर।	5.	फीड चेक वाल्व	बॉयलर खोल के उस भाग से जहाँ से जल का संभरण किया जाता है।
2.	दाब गेज	बॉयलर खोल के टॉप सिरे पर।	6.	निकास-टोंटी	बॉयलर खोल की तली पर जहाँ से बॉयलर खोल का जल बाहर निकाला जाता है।
3.	सुरक्षा वाल्व	बॉयलर खोल के उस भाग पर जहाँ अधिकतम दाब प्राप्त होता है।	7.	ग्लन प्लग	बॉयलर भट्टी के टॉप पर।
4.	रोक वाल्व	बॉयलर खोल के उस भाग पर जहाँ से भाप का निकास होता है।	8.	प्रवेश छिद्र	बॉयलर खोल का टॉप जहाँ से बॉयलर के अन्दर सफाई की जाती है।

प्रचालन आँकड़े

$$\text{वाष्प क्षमता} = 3500 - 4000\,\text{kg/hr}$$
$$\text{वाष्प का दाब} = 6.5 - 15\,\text{bar}$$
$$\text{दक्षता} = 70 - 75\%$$
$$\text{तापक सतह} = 130\,\text{m}^3$$
$$\text{बॉयलर की ऊँचाई} = 5.79\,\text{m}$$
$$\text{बॉयलर की चौड़ाई} = 2.75\,\text{m}$$

बॉयलर की दक्षता ईंधन, ईंधन दहन दर पर भी निर्भर करती है।

(i)-c लंकाशायर बॉयलर (Lancashire Boiler)—यह एक धूम्रनली निम्न दाब बॉयलर है। बॉयलर का व्यवस्थित आरेख निम्न है—



चित्र 6.16

लंकाशायर बॉयलर बेलनाकार आकृति का बना होता है। बेलनाकार खोल के अन्दर दो बड़े साइज की धूम्र नली प्रयोग की जाती हैं। ईंटों की सहायता से दग्ध गैसों को रास्ता प्रदान किया जाता है, जो बॉयलर खोल को दृढ़ता भी प्रदान करता है जैसा कि चित्र में दिखाया गया है। दहन भट्टी इन धूम्र नली के प्रारम्भ सिरों के सामने व्यवस्थित होता है। दहन भट्टी में ईंधन के रूप में कोयले का प्रयोग किया जाता है जिसे जालिका पर जलाया जाता है। दहन के फलस्वरूप उत्पन्न दग्ध गैसें सर्वप्रथम धूम्र नलियों

Study PowerPoint

में प्रवेश करती हैं उसके पश्चात् यह वापस ईंटों द्वारा बने रास्ते में प्रवेश करती है जिससे इसकी ऊष्मा जल को स्थानान्तरित जाती है। बची हुई ऊष्मा चिमनी की सहायता से वायुमण्डल में छोड़ दी जाती है। बॉयलर एक्ट के अनुसार सभी यथावत् स्थान पर लगे होते हैं।

बॉयलर की विशिष्टियाँ

(i) भाप का दाब = 16 bar

(ii) वाष्पन क्षमता = 9000 kg/hr

(iii) दक्षता 50 से 70% तक

(iv) बॉयलर खोल का व्यास = 2 – 3 मी

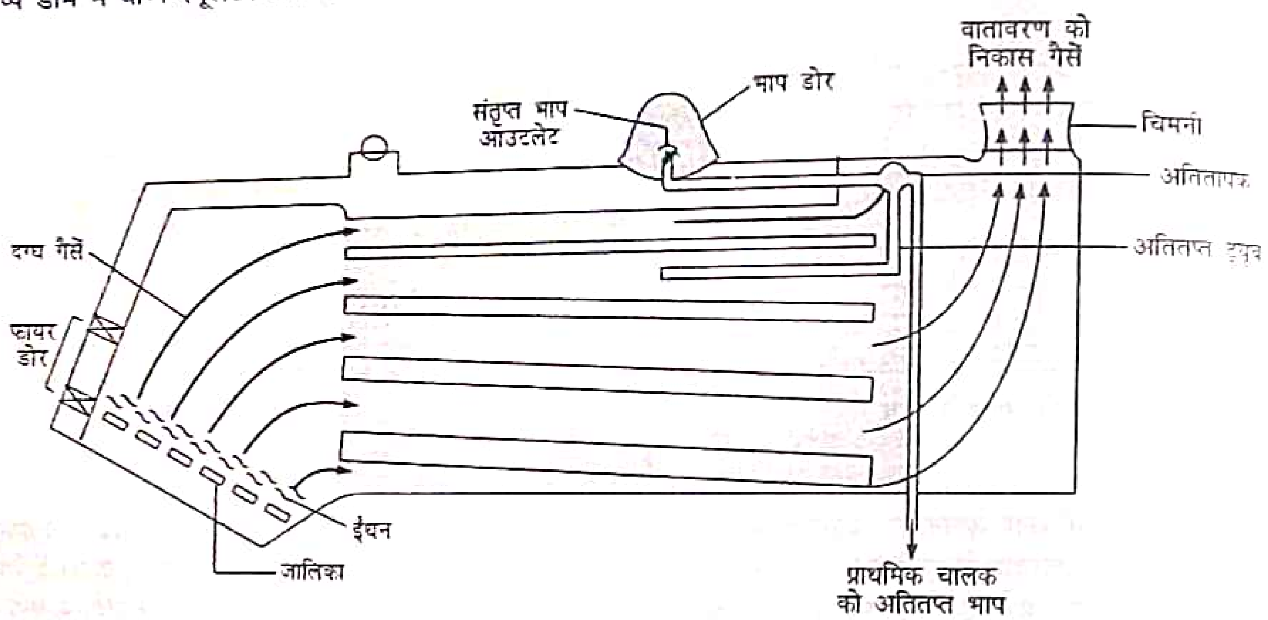
(v) बॉयलर खोल की लम्बाई = 7 – 9 मी

बॉयलर के लाभ—

- बॉयलर की विश्वसनीयता।
- बॉयलर का डिजाइन सरल होता है।
- प्रचालन सुगम होता है।
- प्रचालन एवं रख-रखाव लागत कम होती है।

(i) (d) रेल इंजन बॉयलर (Locomotive Boiler)—रेल इंजन बॉयलर एक चलित (mobile) धूम्र नली बॉयलर है जिसमें अनेक धूम्र नलियाँ होती हैं। यह एक अंत:ज्वलित बॉयलर (Internally fired Boiler) है। बॉयलर बेलनाकार आकृति का बना होता है जिसके एक सिरे पर आयताकार दहन कक्ष बना होता है तथा दूसरे सिरे पर धुआँ कक्ष लगा होता है। दहन कक्ष में ईंधन के दहन से गर्म गैसे उत्पन्न होती हैं। दहन कक्ष के चारों ओर बेलनाकार, लम्बा जल जैकेट लगा होता है, जिसमें जल भरा होता है। दहन कक्ष में दहन से उत्पन्न दग्ध गैसें इस जल को आर्द्रभाप एवं शुष्क व संतृप्त भाप में परिवर्तित करती है।

यह शुष्क व संतृप्त भाप, बॉयलर के ऊपरी सिरे, जिसे वाष्प डोम (steam dome) कहते हैं, में इकट्ठा होता है। इस वाष्प डोम में वाष्प रेगूलेटर लगा होता है जो भाप के प्रवाह को नियन्त्रित करता है।



चित्र 6.17

Study PowerPoint

वाष्प डोम से शुष्क एवं संतृप्त भाप अतितापक में प्रवेश करता है जहाँ यह अतितप्त भाप में परिवर्तित होकर प्राथमिक चालक को भेज दिया जाता है, जिससे यांत्रिक कार्य प्राप्त होता है।

दहन कक्ष में बची गैसें चिमनी की सहायता से वायुमण्डल में निकाल दी जाती हैं या फिर भरण जल को पूर्व गर्म करने में प्रयोग की जाती है। यथावत् स्थान पर बॉयलर चढ़नार लगे होते है। बॉयलर की दक्षता वृद्धि के लिए प्रमुख उपसाधन जैसे—अतितापक, मितोपयोजक, वायु पूर्वतापक का भी प्रयोग किया जाता है।

बॉयलर की विशिष्टियाँ—

भाप का दाब = 14 bar

वाष्पन क्षमता = 9×10^3 kg/hr

नलिका का व्यास एवं लम्बाई = 2.095 m एवं 5.206 m

अतितप्त नलियों का साइज एवं संख्या = 14 cm व 38

दग्ध नलियों का साइज एवं संख्या = 5.72 m व 112

दक्षता = 70%

जालिका क्षेत्रफल = 4.27 m^2

तापक सतह = 271 m^2

ईंधन दहन/घण्टा = 1600 kg/hr

बॉयलर के लाभ

- सुगठित एवं सुगम बॉयलर है।
- उच्च भाप उत्पादन क्षमता होती है।
- प्रारम्भिक लागत कम होती है।
- चल बॉयलर है।

बॉयलर की हानियाँ

- क्षरण समस्या।
- सफाई में दिक्कत होती है।

(ii) (a) जल नली बॉयलर : बैबकॉक एवं विलकॉक बॉयलर

बैबकॉक-विलकॉक बॉयलर एक जल नली बॉयलर है जिसमें जल नली की स्थिति या तो तिरछी होती है या तो अनुदैर्ध्य होती है। इस बॉयलर में ईंधन के रूप में कोयला इस्तेमाल किया जाता है। फायर डोर के रास्ते कोयले को दहन भट्टी की नलिका में प्रवेश कराते हैं। दहन के पश्चात् उत्पन्न ऊष्मा जल नलियों के ऊपर से प्रवाहित कराते हैं जिससे नलियों का जल वाष्प में परिवर्तित हो जाता है। यह शुष्क वाष्प अतितापक से गुजरते हुए प्राथमिक चालक (Prime mover) को भेज दिया जाता है। दहन भट्टी से उत्पन्न गर्म गैसों को जल नलियों के ऊपर से, अतितापक से मितोपयोजक से, वायु पूर्वतापक से गुजारते हुए चिमनी के माध्यम से वायुमण्डल में छोड़ दिया जाता है।

इस बॉयलर में दो निरीक्षण डोर लगे होते हैं जिससे बॉयलर का समय-समय पर रख-रखाव किया जा सके। जल नलियों में से जल तथा वाष्प को पृथक करने के लिए जल तथा वाष्प पृथक्कारी लगे होते हैं। एंटी प्राइमिंग पम्प की सहायता से आर्द्र भाप में से जल के कणों को पृथक किया जाता है।

प्रचालन आँकड़े

वाष्प का दाब = 40 bar अधिकतम

वाष्पन क्षमता = 4000 kg/hr

Study PowerPoint

दक्षता = 60 – 80%

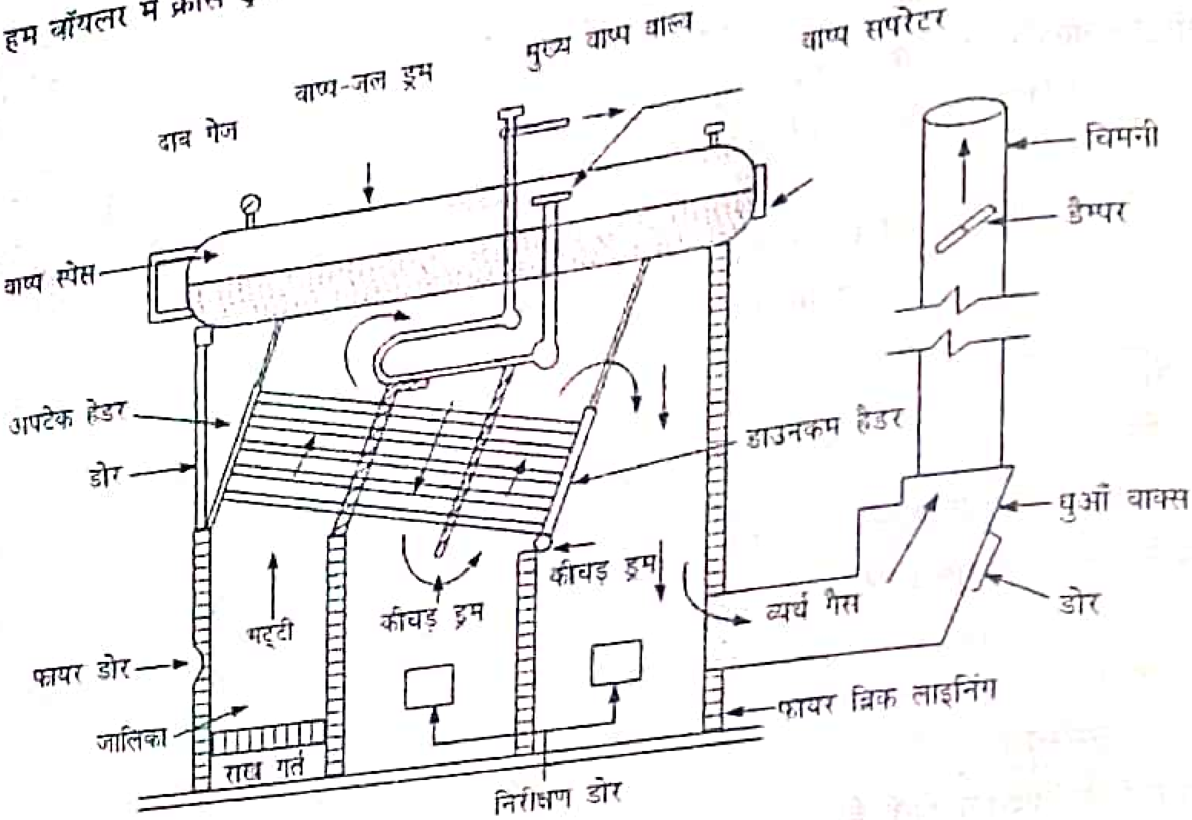
ड्रम की चौड़ाई = 1.22 – 1.83 m

ड्रम की लम्बाई = 0.096 – 9.14 m

जल नली का व्यास = 7.62 – 10.16 cm

अतितापक नली का व्यास = 3.84 – 5.71 m

जब हम बॉयलर में क्रॉस ड्रम का इस्तेमाल करते हैं तो वाष्प का दाब बढ़कर 100 bar तथा क्षमता 27000 kJ/h हो जाता है।



चित्र 6.15

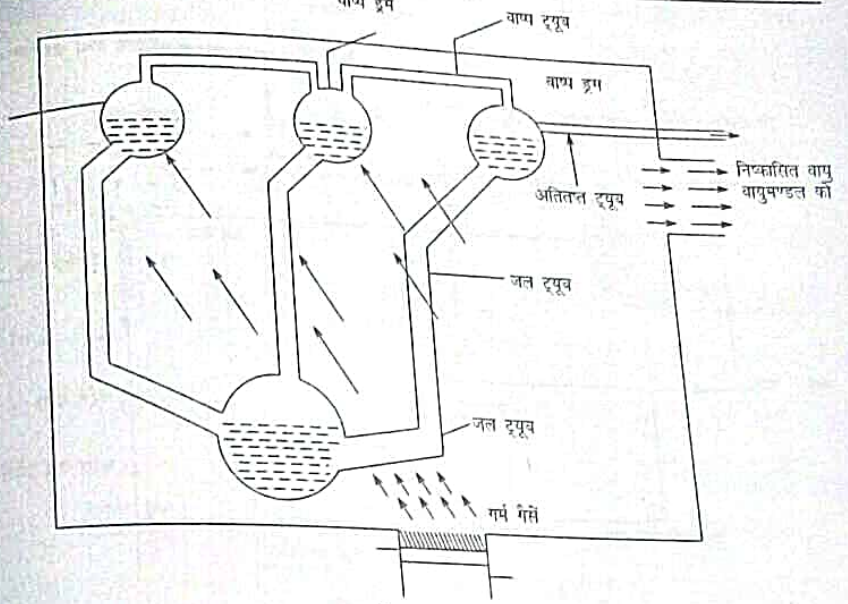
(ii) (b) स्टर्लिंग बॉयलर

स्टर्लिंग बॉयलर में मुख्यत: चार ड्रम होते हैं जिनमें तीन ड्रम भाप ड्रम होते हैं तथा एक ड्रम तलछट ड्रम होता है। चारों ड्रम आपस में मुड़ी हुई नलियों के सहारे जुड़े होते हैं। बॉयलर के निचले सिरे में दहन भट्ठी होती है जिसमें ऊष्मा का दहन होता है। बॉयलर खोल की दीवारें फायर ब्रिक्स अर्थात् तापसह ईंटों की बनाई जाती हैं।

भरण जल, भरण पम्प की सहायता से सर्वप्रथम ड्रम । में प्रवेश करता है। जल में विद्यमान निलम्बित पदार्थ तलछट ड्रम में प्रवेश करता है। इसके पश्चात् जल नलियों में गर्म होते हुए ऊपरी ड्रम-2 एवं ड्रम-3 में प्रवेश करता है।

भट्ठी में उत्पन्न गर्म गैसें बफलों के सहारे निश्चित मार्ग से होते हुए ऊष्मा जल को अंतरित करती हैं। अंत में चिमनी के माध्यम से वायुमण्डल में विसर्जित हो जाती हैं।

बॉयलर में आवश्यक चढ़नार एवं उपसाधन लगे होते हैं। अतितापक से प्राप्त अतितप्त भाप, वाष्प रोक वाल्व के माध्यम से पाइप द्वारा प्राथमिक चालक को उपयोग के लिए भेज दी जाती है।



चित्र 6.16

प्रचालन आँकड़े

वाष्पन क्षमता = 50 ton/hr

वाष्प का दाब = 55 bar

वाष्प का तापमान = 400° C

2. उच्च दाब बॉयलर

उच्च दाब बॉयलर सामान्यत: जल नली बॉयलर है, जिसका दाब 80 bar से अधिक होता है। उच्च दाब बॉयलर सामान्यत: आधुनिक शक्ति संयंत्रों में प्रयोग किया जाता है।

2a. ला-माउन्ट बॉयलर

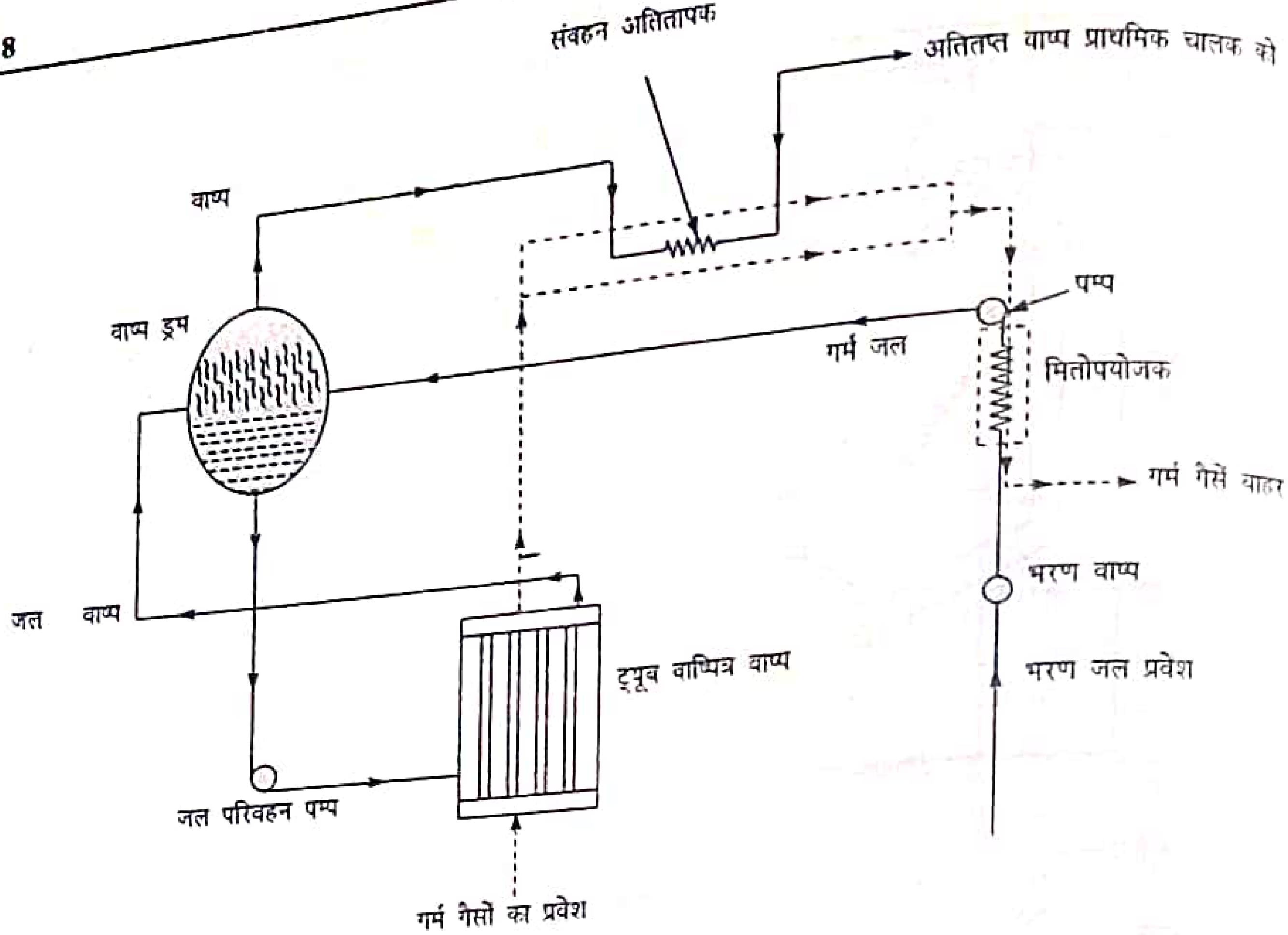
ला-माउन्ट बॉयलर उच्च दाब, जल नली, प्रणोदित संचरण (Force circulation) बॉयलर है। बॉयलर की दक्षता वृद्धि के लिए उपसाधन का प्रयोग किया जाता है। प्रमुख उपसाधन हैं—संभरण पम्प, मितोपयोजक, वायु पूर्व तापक, अतितापक। तापित मुख्यत: संवहन अतितापक का प्रयोग किया जाता है।

जल स्रोतों से भरण पम्प की सहायता से जल सर्वप्रथम मितोपयोजक से गुजरता है जिससे भरण जल पूर्व तापित हो जाता है। यह पूर्व तापित भरण जल नलियों में प्रवाहित होता है। नलियों के ऊपर दहन कक्ष की दग्ध गैसें प्रवाहित होती हैं जिससे भरण जल संतृप्त भाप में परिवर्तित हो जाता है। यह शुष्क एवं संतृप्त भाप अतितापक से अतिरिक्त ऊष्मा प्राप्त कर अतितप्त भाप में परिवर्तित हो जाता है।

दहन के लिए वायु को वायुपूर्वतापक की सहायता से पहले थोड़ा गरम कर लेते हैं जिससे ईंधन का दहन तीव्र गति से तथा सम्पूर्ण होता है।

Study PowerPoint

Study PowerPoint



चित्र 6.17

वायु पूर्वतापक, मितोपयोजक तथा अतितापक की अतिरिक्त ऊष्मा दहन कक्ष की बची गैसों द्वारा प्रदान किया जाता है।

प्रचालन आँकड़े

वाष्पन क्षमता = 45 – 50 ton/bar

वाष्प का दाब = 120 – 130 bar

वाष्प का तापमान = 500° C

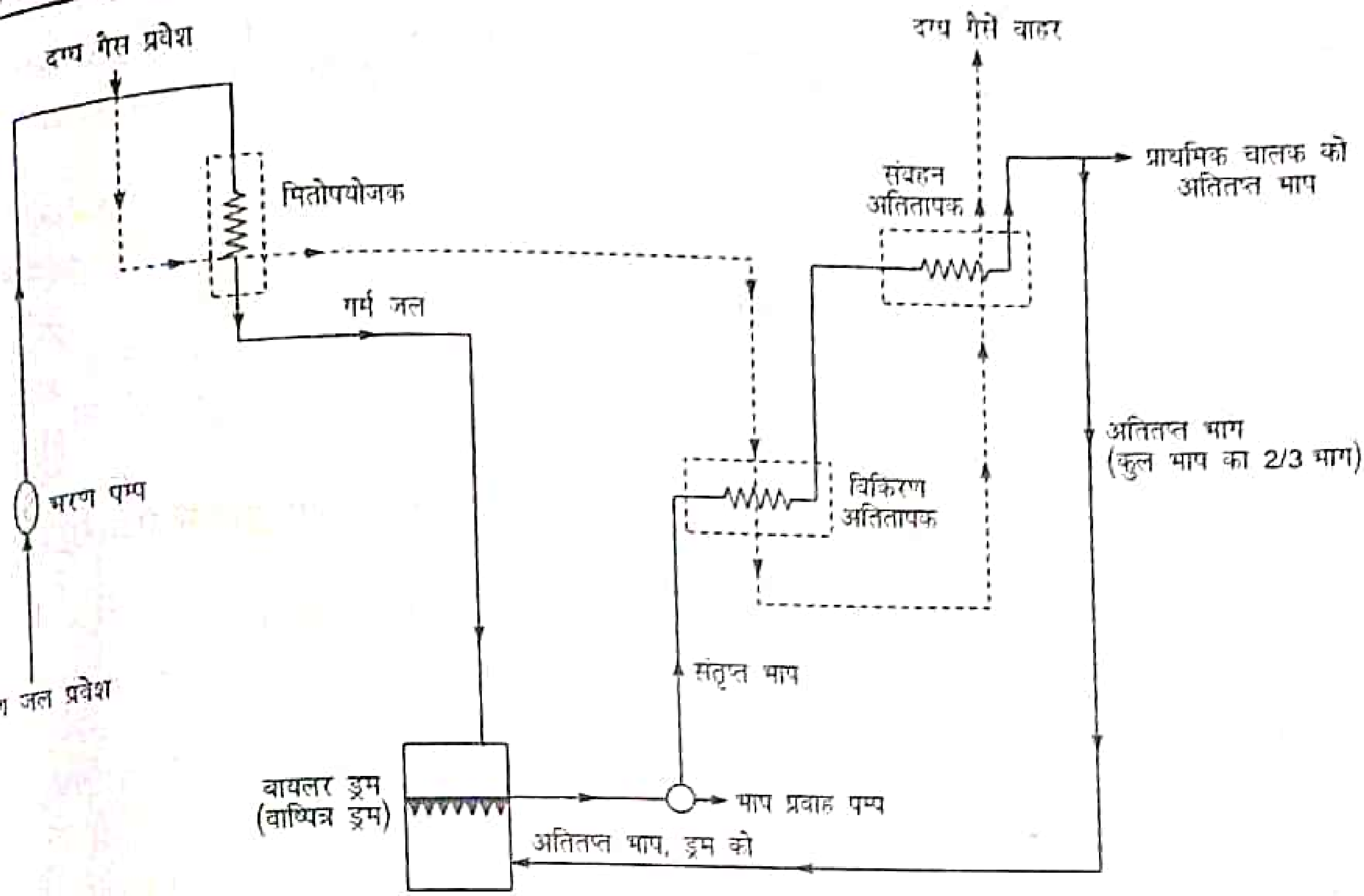
2 b. लो-एफलर बॉयलर

यह एक जल नली प्रणोदित संचरण बॉयलर है। बॉयलर का व्यवस्थित आरेख चित्र 6.18 में है—

क्रियाविधि—

भरण पम्प की सहायता से भरण जल मितोपयोजक में प्रवेश करता है जहाँ से यह गर्म जल बॉयलर वाष्पित्र में प्रवेश करता है। संतृप्त भाप बॉयलर वाष्पित्र ड्रम में अतितापक के दो चरणों में प्रवेश करता है। प्रथम चरण विकिरण सुपरहीटर (Radiant superheater) तथा द्वितीय चरण संवहन सुपरहीटर (Convective superheater) होता है। इन दोनों चरणों से अतितप्त भाप, भाप प्रवाह पम्प (Steam circulating pump) द्वारा प्राथमिक चालक में प्रवेश करता है। कुल उपजी अतितप्त भाप का लगभग एक-तिहाई भाग प्राथमिक चालक को भेजा जाता है तथा बचे दो-तिहाई भाग को वापस वाष्पित्र ड्रम में भेज दिया जाता है, जल के वाष्पन के लिए। दग्ध गैसों का पथ चित्र 6.18 में दर्शाया गया है।

Study PowerPoint



चित्र 6.18

न—

- जल एवं स्थल दोनों के लिए लाभदायक होता है।
- भाप का तापमान अपने तल पर बना रहता है।
- अवसाद जमा नहीं होता है।
- भार का बदलाव वाष्प निर्माण को प्रभावित नहीं करता है।
- बॉयलर का साइज सुगठित होता है।

2-c बेनसन बॉयलर

यह एक उच्च दाब बॉयलर, उच्च क्षमता बॉयलर है। इसे 1922 से 1927 ई० के बीच बेनसन द्वारा पश्चिमी जर्मनी में फलतापूर्वक चलाया गया था।

बेनसन बॉयलर का सिद्धान्त निम्नलिखित है—

"जब बॉयलर का दाब क्रान्तिक दाब तक बढ़ा दिया जाता है तब जल एवं भाप के घनत्व समान हो जाते हैं जिससे लबुले का निर्माण नगण्य के बराबर हो जाता है। जब बुलबुले का निर्माण शून्य हो जाता है तब तापीय प्रतिरोध भी खत्म हो ाता है जिससे ऊष्मा प्रवाह दर बढ़ जाती है।"

बॉयलर में सर्वप्रथम भरण जल की गुप्त ऊष्मा को 235 bar तक सम्पीडित करके दूर किया जाता है। इस प्रकार भरण ल का दाब क्रान्तिक दाब से अधिक होता है तथा जल की गुप्त ऊष्मा शून्य होती है।

भरण पम्प से भरण जल मितोपयोजक से होते हुए समान्तर विकिरण ट्यूबों से गुजरता है, जहाँ पर यह आंशिक रूप से वाष्पित्र होता है। यह आंशिक रूप से वाष्पित्र हुआ जल एवं वाष्प मध्य भाग में जाता है जहाँ यह भाप में परिवर्तित हो जाता

Study PowerPoint

है। यह संतृप्त भाप पुनः संवहन अतितापक (Convective superheater) में प्रवेश करता है, जिससे यह अतितप्त परिवर्तित हो जाता है। यह अतितप्त भाप प्राथमिक चालक को प्रवाहित किया जाता है।

दग्ध गैसों का प्रवाह पथ, आरेख में प्रदर्शित किया गया है।

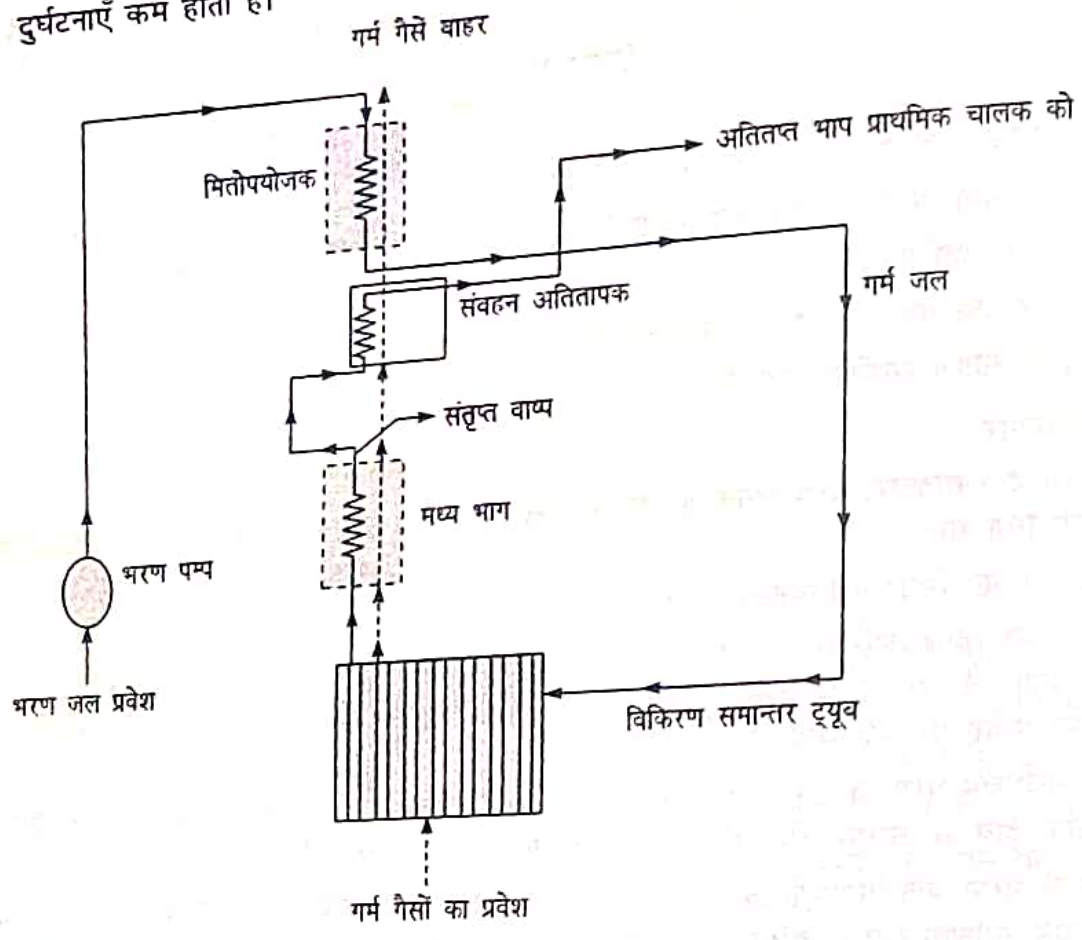
यह इकहरा, प्रणोदित जल संचरण प्रकार का बॉयलर है।

बॉयलर की विशिष्टियाँ

- ईंधन के रूप में द्रव ईंधन (जैसे पेट्रोलियम) का प्रयोग किया जाता है।
- तापमान = 650° C
- भाप का दाब = 500 bar
- भाप उत्पादन दर = 150 ton/hr
- बॉयलर ड्रम की आवश्यकता नहीं होती है, क्योंकि जल का प्रवाह सीधे वाष्पित्र भाग में होता है।

बॉयलर के लाभ

- बॉयलर सुगठित (Compact) होता है, जिससे कम क्षेत्रफल की आवश्यकता होती है।
- बॉयलर का भार कम होता है, चूँकि कोई बॉयलर ड्रम उपस्थित नहीं होता है।
- बॉयलर की लागत कम होती है।
- बॉयलर के अंगों तको आसानी से बदला जा सकता है।
- दुर्घटनाएँ कम होती हैं।



चित्र 6.19

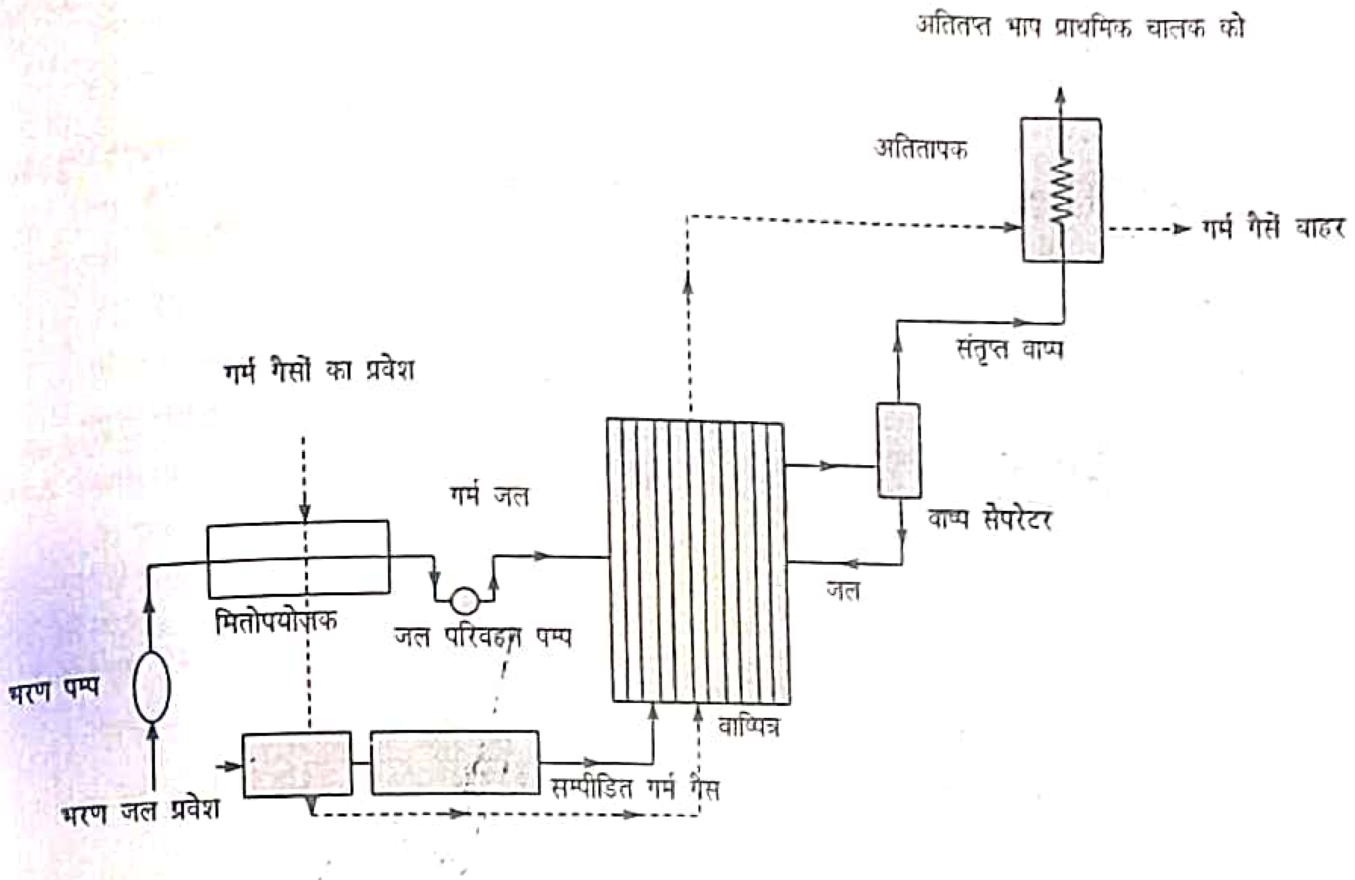
Study PowerPoint

लर की हानियाँ

- चूँकि जल सीधे वाष्पित्र नलियों में जाता है, इसलिए अवसाद का जमाव अधिक होता है, जिसे बार-बार साफ करना पड़ता है।
- इस कमी को दूर करने के लिए अति शुद्ध जल का प्रयोग किया जाता है।

विलाक्स बॉयलर (Velox Boiler)

- यह बॉयलर निम्न सिद्धान्त पर आधारित है—
- "यदि ऊष्मा अंतरण करने वाली गैसों की गति बढ़ाकर ध्वनि गति से अधिक कर दी जाए तो ऊष्मा अंतरण की दर भी बढ़ जाती है।"



चित्र 6.20

क्रियाविधि—

भरण जल, मितोपयोजक से होते हुए पम्प की सहायता से ट्यूब वाष्पित्र भाग में आता है। इस भाग से वाष्प को वाष्प पृथक्ककारी (Steam separator) की सहायता से अलग कर लेते हैं जिसे अतितापक में भेजकर अतितप्त भाप में परिवर्तित कर देते हैं। यह अतितप्त भाप पुन: प्राथमिक चालक को प्रवाहित कर दी जाती है।

इस बॉयलर में एक गैस टरबाइन को प्रयोग किया जाता है जिसे गर्म गैसें दहन भट्टी से प्राप्त होती हैं। यह गैस टरबाइन एक अक्षीय संपीडक को चलाता है जो वायु का दाब वातावरणीय दाब से बढ़कर दहन कक्ष दाब तक पहुँचा देता है। दहन गैसें वाष्पित्र, अतितापक, गैस टरबाइन से होते हुए वायुण्डल में निकाल दी जाती हैं। इस बॉयलर की भाप उत्पादन दर 100 ton/hr होती है।

Study PowerPoint

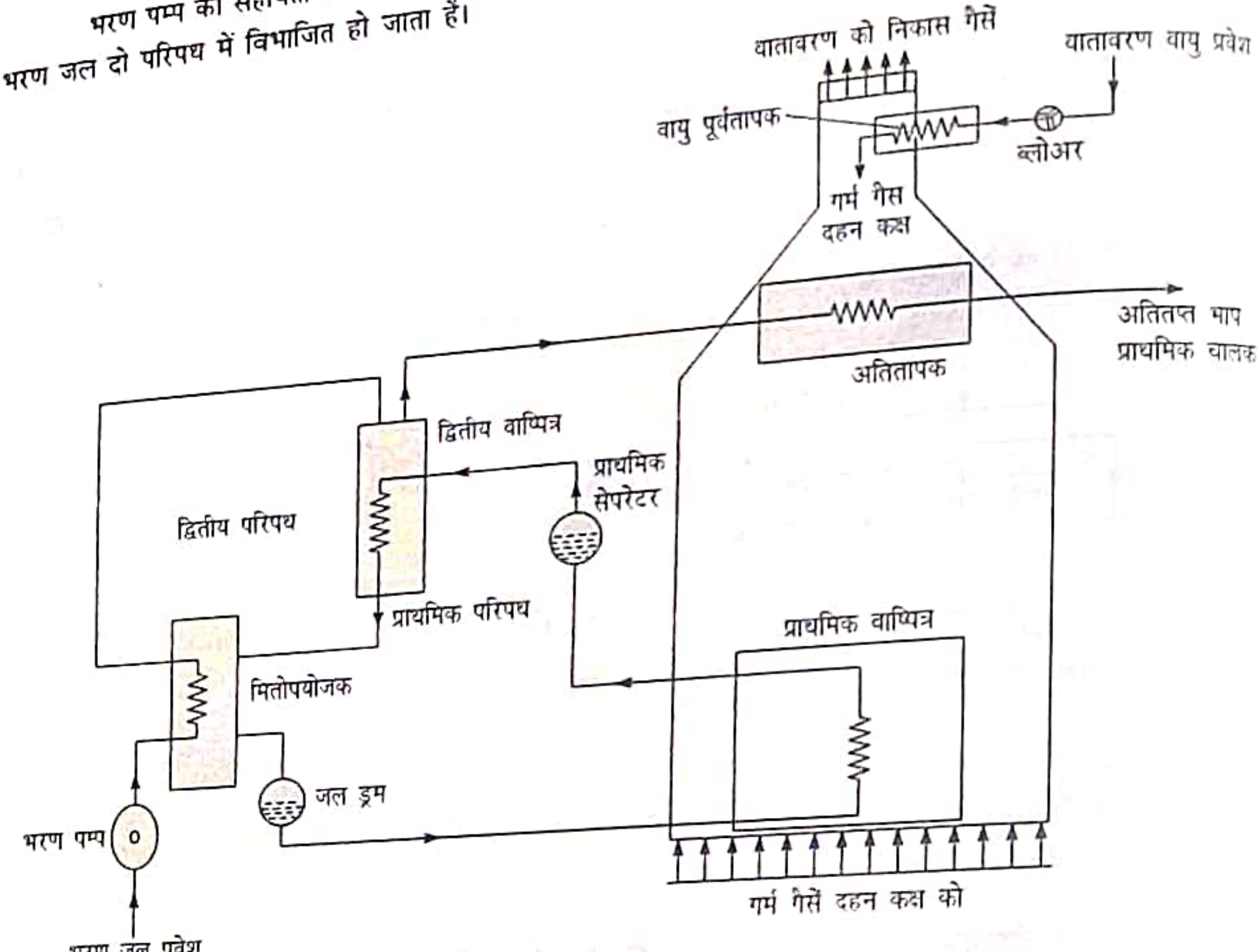
बॉयलर के लाभ

- सुगठित एवं नम्य होता है।
- उच्च दहन दर होती है।
- आसानी से शुरू हो जाता है।
- बाहरी प्रवात उपकरण की आवश्यकता नहीं होती है।

2 e. स्कमिड् हार्टमैन बॉयलर (Schmidt-Hartman Boiler)

यह एक उच्च दाब, जल नली एवं दो भाप निर्माण परिपथ वाला बॉयलर होता है।

भरण पम्प की सहायता से भरण जल सर्वप्रथम जल तापक (Feed water heater) में प्रवेश करता है, जहां यह गर्म भरण जल दो परिपथ में विभाजित हो जाता है।



चित्र 6.21

यह दो परिपथ क्रमशः प्राथमिक परिपथ तथा द्वितीयक परिपथ होते हैं। प्राथमिक परिपथ में क्रमशः जल ड्रम, प्राथमिक वाष्पित्र, प्राथमिक सेपरेटर तथा द्वितीयक परिपथ में द्वितीयक वाष्पित्र लगा होता है।

भरण जल मितोपयोजक से होते हुए दोनों परिपथों में प्रवाहित होता है जैसा कि चित्र में दिखाया गया है। प्राथमिक परिपथ से जल, जल ड्रम से होते हुए प्राथमिक वाष्पित्र में तथा प्राथमिक सेपरेटर (पृथक्कारी) में जाती है जहाँ यह द्वितीयक वाष्पित्र में प्रवेश करती है।

Study PowerPoint

द्वितीयक परिपथ में मितोपयोजक से गर्म जल द्वितीयक वाष्पित्र में प्रवेश करता है। द्वितीयक वाष्पित्र में बने संतृप्त भाप अतितापक में प्रवेश करते हैं। अतितापक से अतितप्त भाप प्राथमिक चालक को प्रवाहित किया जाता है। भाप का दाब 35-130 bar के बीच में होता है।

ब्लोअर की सहायता से ठण्डी वायु, वायु पूर्व तापक को भेजी जाती है जहाँ यह दहन कक्ष में प्रवेश करती है।

6.9. बॉयलर निष्पादन

बॉयलर का निष्पादन हम उन घटकों (Parameter or factor) के आधार पर करते हैं जो भाप के उत्पादन को प्रत्यक्ष या अप्रत्यक्ष रूप से प्रभावित करता है। बॉयलर का निष्पादन हम ऊष्मा हानि के आधार पर भी करते हैं।

बॉयलर का निष्पादन निम्न पदों के रूप में किया जाता है—

(i) वाष्पीकरण क्षमता (kg/hr या ton/hr)

(ii) तापीय दक्षता

(iii) दहन भट्टी द्वारा मुक्त ऊष्मा/आयतन

(iv) ऊष्मा अंतरण क्षेत्र kJ/m^3-hr

(v) दहन दर प्रति ग्रेट क्षेत्रफल

बॉयलर के ट्रायल या प्रचालन के लिए निम्न आँकड़ों की आवश्यकता होती है—

(i) समतुल्य वाष्पन (Equivalent Evaporation)

(ii) बॉयलर दक्षता (Boiler Efficiency)

(i) समतुल्य वाष्पन (Equivalent Evaporation)—हम जानते हैं कि सभी बॉयलरों की प्रचालन परिस्थितियाँ भिन्न-भिन्न होती हैं। अतः बॉयलरों द्वारा उत्पन्न वाष्प या वाष्पन क्षमता के आधार पर हम बॉयलरों की तुलना नहीं कर सकते हैं। कुछ ऐसे मानक आँकड़े होते हैं जिनके आधार पर हम बॉयलर की तुलना करते हैं। यह मानक आँकड़े भरण जल की मात्रा, उत्पादित भाप की मात्रा, कार्यकारी दाब, तापमान के रूप में होता है।

सामान्य मानक आँकड़े

भरण जल का तापमान = 100° C

कार्यकारी दाब = 1.013 bar

शुष्क एवं संतृप्त उत्पादित भाप का तापमान = 100° C

गुप्त ऊष्मा का मान = 22.57 kJ/kg

100°C से 100° C पर समतुल्य वाष्पन, "प्रति किलोग्राम ईंधन के दहन से उत्पादित भाप की मात्रा (kg में), बॉयलर का समतुल्य वाष्पन कहलाता है।" इसे 'E' द्वारा प्रदर्शित किया जाता है। गणितीय रूप से—

$$E = \frac{\text{भरण जल को वाष्पीकृत करने हेतु आवश्यक कुल ऊष्मा की मात्रा}}{22.57}$$

$$\boxed{E = \frac{m_a(h - h_f)}{h_{fg}} = \frac{m_a(h - h_f)}{2257}, \text{kg}}$$

जहाँ m_a = प्रति घण्टे उत्पादित भाप की मात्रा P दाब पर

h = कुल ऊष्मा या एन्थालपी

Study PowerPoint

h_f = जल की ज्ञेय ऊष्मा

h_{fg} = जल की गुप्त ऊष्मा = 22.57 kJ/kg

वाष्पन गुणांक (Evaporation factor)—वास्तविक कार्यकारी परिस्थितियों में 1 kg जल द्वारा ली गई ऊष्मा की मात्रा तथा 1 kg जल के वाष्पन के लिए आवश्यक ऊष्मा की मात्रा के अनुपात को वाष्पन गुणांक कहते हैं।

इसे 'F_e' द्वारा प्रदर्शित करते हैं।

$$F_e = \frac{h - h_f}{2257}$$

F_e का मान सदैव 1 से अधिक होता है।

वास्तविक वाष्पन (Actual Evaporation)—यह वाष्पित जल या उत्पादित भाप की मात्रा तथा प्रयोग की गई ईंधन की मात्रा का अनुपात होता है। इसे 'm_a' द्वारा प्रदर्शित किया जाता है।

$$m_a = \frac{m_s}{m_f} \text{ kJ/kg fuel}$$

जहाँ m_s = उत्पादित भाप की मात्रा

m_f = प्रयोग की गई ईंधन की मात्रा

(ii) बॉयलर दक्षता (Boiler Efficiency)—यह ऊष्मा उत्पादन के लिए प्रयोग की गई वास्तविक ऊष्मा की मात्रा तथा दहन कक्ष में प्रयुक्त ईंधन की मात्रा का अनुपात होता है। गणितीय रूप से—

$$\eta_B = \frac{m_a(h - h_f)}{C}$$

$$\eta_B = \frac{m_s(h - h_f)}{m_f C} \qquad m_a = \frac{m_s}{m_f}$$

जहाँ m_a = वास्तविक वाष्पन

m_s = वाष्पन की मात्रा kg में

m_f = ईंधन की मात्रा kg में

h = कुल ऊष्मा (एन्थालपी)

h_f = वाष्प की ज्ञेय ऊष्मा

C = ईंधन का ऊष्मीय मान

बॉयलर की दक्षता निम्न घटकों पर निर्भर करती है—

(a) अचल या स्थिर घटक (b) चल घटक

(a) अचल घटक—इसमें निम्न घटक सम्मिलित हैं—

(i) बॉयलर का डिजाइन (जैसे—आकार, आकृति, व्यास आदि)

(ii) ऊष्मा वापसी उपकरण (Heat recovery equipment) जैसे—मितोपयोजक

(iii) बॉयलर का पदार्थ आदि।

Study PowerPoint

(b) चल घटक—

- वायु प्रवाह स्थिति
- वास्तविक दहन दर
- प्रवात उपकरण
- आर्द्रता एवं तापमान
- ऊष्मा अंतरण क्षेत्र आदि।

Table 1 : जल नली बॉयलर एवं धूम्र नली बॉयलर में अन्तर

क्र०सं०	विवरण	धूम्र-नली बॉयलर	जल नली बॉयलर
1.	जल एवं दग्ध गैस पथ	दग्ध गैसें नलियों में तथा जल इन नलियों के चारों ओर प्रवाहित होता है।	जल नलियों में तथा दग्ध गैसें इन नलियों के चारों ओर प्रवाहित होती हैं।
2.	दहन भट्टी की स्थिति	अंत:दहित	वाह्य दहित
3.	बॉयलर डिजाइन	कठिन	सरल
4.	दक्षता	कम	ज्यादा
5.	प्रचालन दाब	16 बार तक	उच्च दाब (लगभग 100 bar तक)
6.	क्षमता	20 ton/hr	उच्च क्षमता बॉयलर
7.	क्षेत्रफल	अधिक क्षेत्रफल की आवश्यकता होती है।	कम क्षेत्रफल की आवश्यकता होती है।
8.	रिस्क	विस्फोटन की संभावनाएँ कम होती हैं, चूँकि निम्न दाब बॉयलर है।	विस्फोटन की संभावनाएँ अधिक होती है, चूँकि उच्च दाब बॉयलर है।
9.	जल उपचार	आवश्यकता नहीं होती है।	आवश्यक होता है।
10.	अनुरक्षण	अधिक अनुरक्षण की आवश्यकता होती है।	कम अनुरक्षण की आवश्यकता होती है।

6.10. नेस्लर बॉयलर

नेस्लर बॉयलर एक क्षैतिज अक्ष बॉयलर है और आग ट्यूब के प्रकार के बॉयलर से सम्बन्धित है। बॉयलर के खोल में दो मोटे हल्के स्टील प्लेट होते हैं। स्टील प्लेटों के बीच में बड़ी संख्या में फायर ट्यूब लगे होते हैं। बर्नर अंत से दूसरे छोर तक फैली एक बड़ी व्यास की भट्टी ट्यूब का उपयोग एक धुएँ के डिब्बे से दूसरे धुएँ के बक्से तक गर्म गैसों को ले जाने के लिए किया जाता है। निकास गैसों की अस्वीकृति के लिए रियर एण्ड स्मोक बाक्स चिमनी प्रदान की जाती है। ईंधन को जलने के लिए उपयोग किया जाता है। वह एक चिपचिपा तरल पदार्थ होता है जिसे पहले 80° C तक गर्म किया जाता है और फिर जलने के उद्देश्य से आपूर्ति की जाती है। नेस्लर बॉयलर 10-11 बार दाब तक भाप पहुँचा सकता है।

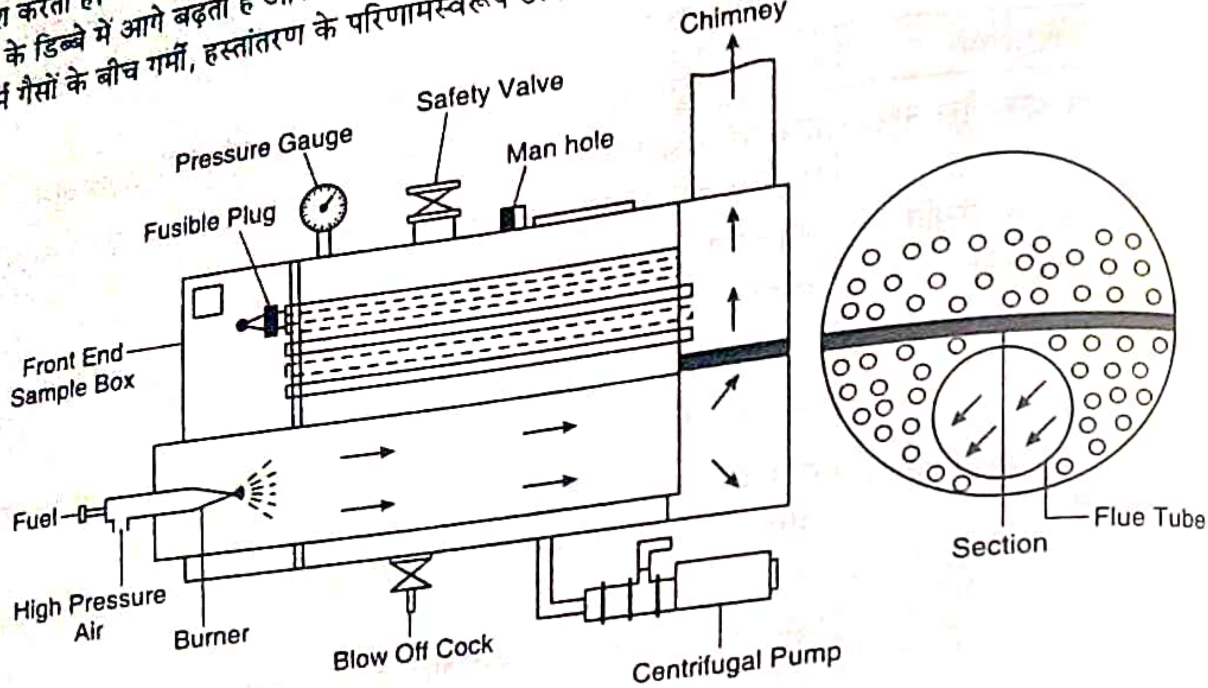
नेस्लर बॉयलर के अंग—

1. दाब गेज
2. रोक वाल्व
3. सुरक्षा वाल्व
4. मेन होल
5. चिमनी
6. Rear and Smoke Box
7. Centrifugal पम्प (अपकेन्द्रीय पम्प)
8. निकास टोंटी
9. दग्ध गैस ट्यूब
10. बर्नर
11. Front and Smoke Box
12. गलनीय प्लग

Study PowerPoint

■ **क्रियाविधि**

नेस्लर बॉयलर ईंधन और उच्च दबाव हवा का कार्य वायु ईंधन मिश्रण का उत्पादन करने के लिए मिलाया जाता है जिसमें जलने वाली गर्म गैसों का उत्पादन में जलने वाली गर्म गैसों का उत्पादन करता है। गर्म गैसें भट्टी ट्यूब के माध्यम से चलती हैं और नेस्लर बॉयलर के रियर एण्ड स्मोक बॉक्स में प्रवेश करती हैं। पीछे के धुएँ के डिब्बे से गर्म गैसें आग की ट्यूब में प्रवेश करती है। जो तरल से घिरी होती हैं। गर्म गैसें अपनी ऊष्मा को तरल में स्थानान्तरित करती हैं और आगे के अंतिम छोर के धुएँ के डिब्बे में आगे बढ़ती हैं और अंत में गर्म गैसें चिमनी की ओर बढ़ती हैं, जहाँ से वे वायुमण्डल में समाप्त हो जाती हैं। भाप गर्म गैसों के बीच गर्मी, हस्तांतरण के परिणामस्वरूप उत्पन्न होती है और पानी ऊपर के भाग कक्ष में एकत्र किया जाता।



चित्र 6.22

सारांश

- बॉयलर–एक ऐसा बंद पात्र जिसकी क्षमता 10 गैलर से अधिक होती है तथा स्वच्छतापूर्वक वाष्प उत्पादन के लिए प्रयोग किया जाता है, बॉयलर कहलाता है।

  बॉयलर के मुख्य भाग निम्नलिखित हैं–
  - बॉयलर खोल
  - दहन कक्ष
  - जालिका
  - दहन भटटी
  - तापक सतह
  - चढ़नार
  - उपसाधन
  - भरण पम्प
  - चिमनी एवं पंखे
  - ट्यूब एवं हेडर आदि।
- बॉयलर चढ़नार–यह बॉयलर के सुरक्षित परिचालन में सहायक होते हैं।

Study PowerPoint

- **दाब गेज**–यह भाप के दाब का मापन करता है। मुख्यत: दो प्रकार का होता है–
  - डायफ्राम दाब गेज
  - बर्डन दाब गेज
- **सुरक्षा वाल्व**–यह बॉयलर में उपजे अत्यधिक दाव को कम करने के लिए प्रयोग किया जाता है। सुरक्षा वाल्व मुख्यत: तीन प्रकार का प्रयोग किया जाता है–

(i) स्थिर या अचल सुरक्षा वाल्व

(ii) लीवर सुरक्षा वाल्व

(iii) स्प्रिंग चलित सुरक्षा वाल्व

  - **जल तल सूचक**–यह बॉयलर ड्रम में जल के तल के मापन के लिए प्रयोग किया जाता है।
  - **भाप रोक वाल्व**–यह भाप के प्रवाह को नियन्त्रित करता है।
  - **संभरण चेक वाल्व**–बॉयलर ड्रम में जल के प्रवाह को नियन्त्रित करता है।
  - **निकास टोंटी**–आवश्यकतानुसार बॉयलर ड्रम में जल के विसर्जन के लिए प्रयोग किया जाता है।
  - **गलनीय प्लग**–अतितापन से दहन भट्टी को सुरक्षित करने के लिए प्रयोग किया जाता है।
- **बॉयलर उपसाधन**–बॉयलर की दक्षता के लिए प्रयुक्त उपकरण बॉयलर उपसाधन कहलाते हैं। प्रमुख उपसाधन निम्नलिखित हैं–
  - **मितोपयोजक**–यह भरण जल को पूर्व गर्म करने के लिए प्रयोग किया जाता है।
  - **अतितापक**–यह शुष्क एवं संतृप्त भाप को अतितप्त भाप में परिवर्तित करने के लिए प्रयोग किया जाता है।
  - **वायु पूर्वतापक**–यह दहन के लिए प्रयुक्त वातावरणीय वायु को पूर्व गर्म करने के लिए प्रयोग किया जाता है।
- **सरल खड़ा बॉयलर**
  - निम्न दाब बॉयलर
  - धूम्र नली बॉयलर
  - क्षमता = 2500 kJ/hr
  - दाब = 7.5 – 10 bar
- **कॉकरान बॉयलर**
  - निम्न दाब, ऊर्ध्वाधर एवं धूम्रनली बॉयलर
  - क्षमता = 3500 – 4000 kg/hr
  - दाब = 6.5 bar – 15 bar
- **लंकाशायर बॉयलर**
  - निम्न दाब, धूम्र नली बॉयलर
  - क्षमता = 9000 kg/hr
  - दाब = 16 bar
- **रेल इंजन बॉयलर**
  - धूम्र नली, चल बॉयलर
  - 9000 kg/hr
  - दाब = 14 bar
- **बैबकॉक एवं विलकॉक बॉयलर**
  - जल नली निम्न दाब बॉयलर
  - दाब = 40 bar

Study PowerPoint

- क्षमता = 400 kg/hr
- स्टर्लिंग बॉयलर
  - जल नली बॉयलर
  - दाब = 55 bar
  - क्षमता = 50 ton/hr
- लॉमान्ट बॉयलर
  - उच्च दाब, जल नली बॉयलर
  - दाब = 120 – 130 bar
  - क्षमता = 45 – 50 ton/hr
- लो-एफलर बॉयलर
  - उच्च दाब, जल नली बॉयलर
  - स्थलों एवं समुद्रों दोनों में प्रयोग किया जाता है।
  - बॉयलर सुगठित होता है।
- बेनसन बॉयलर
  - उच्च दाब, उच्च क्षमता बॉयलर
  - ईंधन = तेल
  - दाब = 500 atm
  - क्षमता 150 ton/hr
- विलाक्स बॉयलर
  - उच्च दाब, पम्प प्रणोदित बॉयलर
  - क्षमता = 100 ton/hr
  - डिजाइन सुगठित एवं लचीला होता है।
- स्कमिड्-हार्टमैन बॉयलर
  - उच्च दाब, जल नली बॉयलर
  - दाब = 30 – 130 bar
- समतुल्य वाष्पन
  - $E = \dfrac{m_a (h - h_f)}{h_{fg}}$
- बॉयलर दक्षता
  - $\eta = \dfrac{m_s (h - h_f)}{m_f \times C}$

Study PowerPoint

हल— दिया है—

बॉयलर का दाब $P = 10\,bar$

बॉयलर का तापमान $= 50^\circ C (T_{sup})$

भाप का द्रव्यमान $= 10\,ton$

ईंधन का द्रव्यमान $= 1250\,kg$

ईंधन का ऊष्मीय मान $= 3000\,kJ$

भरण जल का तापमान $= 40^\circ C$

अतितप्त भाप के लिए $C_p = 0.21\ kJ/kg\ K$

जल के लिए $C_p = 0.418\ kJ/kg\ K$

(i) वाष्पन गुणांक $F_e = \dfrac{H - h_w}{2257}$

अतितप्त भाप के लिए

$$H = h + l + C_p (T_{sup} - T_{sat})$$

10 bar दाब पर भाप भारणी से

$$h = 7630\ kJ/kg$$

$$l = 20150\ kJ/kg$$

$$T_{sup} - T_{sat} = 10$$

$$H = 7630 + 20150 + 0.21 \times 10$$

$$H = 27801\ kJ/kg$$

$$h_w = 40 \times 0.418\,kJ/kg$$

$$h_w = 16748\,kJ/kg$$

$$F_e = \frac{27801 - 16748}{2257}$$

$$F_e = 12.31$$

(ii) समतुल्य वाष्पन

$$E = m_a \times F_e \quad \Rightarrow \quad \frac{m_s}{m_f} \times F_e$$

$$E = \frac{10000}{1250} \times 12.31$$

$$E = 98.48\ kg$$

(iii) बॉयलर दक्षता

$$\eta_B = \frac{m_a \times (H - h_w)}{C_v}$$

$$\eta_B = \frac{\frac{10000}{1250} \times (27801 - 16748)}{3000}$$

$$\boxed{\eta_B = 0.74 \text{ or } 74\%}$$ Ans.

Study PowerPoint

उदाहरण 2. एक बॉयलर 5400 kg/hr की दर से 750 kN/m^2 दाब पर वाष्प का उत्पादन करता है। भरण का तापमान 41.5°C तथा शुष्कता भिन्नता 0.98 है। यदि ईंधन दहन दर 670 kg/hr हो एवं ईंधन का ऊष्मीय मान 3 kJ/kg हो तो निम्न की गणना कीजिए—

(a) बॉयलर दक्षता (b) समतुल्य वाष्पन (2003

हल— दिया है,

$$\text{भाप का दाब} = 750 \text{ kN/m}^2 = 7.5 \text{ bar}$$

$$\text{भरण जल तापमान} = 41.5°C$$

$$\text{शुष्कता भिन्नता } x = 0.98$$

$$\text{भाप/hr} = 5400 \text{ kg/hr}$$

$$\text{ईंधन/hr} = 670 \text{ kg/hr}$$

$$\text{ईंधन का ऊष्मीय मान} = 31000 \text{ kJ/kg}$$

भाप सारणी से 7.5 bar दाब पर—

$$h = 709.2 \text{ kJ/kg}$$

$$l = 2055.4 \text{ kJ/kg}$$

$$H = h + xl$$

$$H = 709.2 + 0.98 \times 2055.4$$

$$H = 2723.492 \text{ kJ/kg}$$

$$h_w = 4.2 \times 41.5$$

$$h_w = 174.3 \text{ kJ/kg}$$

$$M_a = \frac{m_s/\text{hr}}{m_f/\text{hr}}$$

$$M_a = \frac{5400}{670}$$

$$M_a = 8.06 \text{ kg}$$

(i) समतुल्य वाष्पन

$$= \frac{M_a(H - h_w)}{2257}$$

$$E = \frac{8.06(2723.492 - 174.3)}{2257}$$

$$\boxed{E = 9.1034 \text{ kg}}$$

(ii) बॉयलर दक्षता

$$\eta_B = \frac{M_a(H - h_w)}{C}$$

$$\eta_B = \frac{8.06(2723.492 - 174.3)}{31000}$$

$$\eta_B = 0.6628$$

$$\boxed{\eta_B = 66.28\%}$$

Study PowerPoint

उदाहरण 3. एक बॉयलर द्वारा निम्न आँकड़े प्राप्त होते हैं—

भाप का दाब = 10 bar, भाप का तापमान = 250° C, प्रदत्त भरण जल = 10 kg/kg_{fuel}

भरण जल तापमान = 35° C, C_p = 2.1 kJ/kg K (भाप के लिए)

निम्न की गणना कीजिए—

(i) वाष्पन गुणांक (ii) समतुल्य वाष्पन

हल : $P = 10\,\text{bar}$

$$T_{sup} = 250^\circ C$$
$$m = 10\,mg/k_{fuel}$$
$$T_{water} = 35^\circ C$$
$$C_p = 2.1\,kJ/kg\,K$$

10 bar दाब पर भाप सारणी से

$$h = 763\,kJ/kg$$
$$l = 2015\,kJ/kg$$
$$t_{sat} = 179.9^\circ C$$
$$h_w = 147.0\,kJ/kg \qquad [35^\circ C \text{ तापमान}]$$

हम जानते हैं कि

(i) समतुल्य वाष्पन

$$= \frac{M_a \times (H - h_w)}{2257} \qquad H = h + l + C_p (T_{sup} - T_{sat})$$

$$= \frac{10 \times (2925.21 - 147.0)}{2257} \qquad H = 763 + 2015 + 2.1(250 - 179)$$

$$H = 2925.21\,kJ/kg$$

$$\boxed{E = 12.309\,kg}$$

(ii) वाष्पन गुणांक

$$F_e = \frac{H - h_w}{2257}$$

$$F_e = \frac{2925.21 - 147.0}{2257}$$

$$\boxed{F_e = 1.2309}$$

उदाहरण 4. 1 kg कोयले के दहन से 32000 kJ ऊष्मा उत्पन्न होती है। वह दूरी ज्ञात कीजिए जो एक रेल इंजन लर 1000 kg कोयले के दहन से चलेगी यदि 10% कोयला यान्त्रिक कार्य में परिवर्तित हो रहा है। यदि रेल इंजन लर का भार 2500000 N हो तथा रेल इजन का ट्रैफिक प्रयास 0.05 W हो।

हल : प्रश्नानुसार,

1 kg ईंधन के दहन से प्राप्त ऊष्मा = 32000 kJ

1000 kg ईंधन के दहन से प्राप्त ऊष्मा = 32×10^6 kJ

W = 1000 kg ईंधन का 10%

Study PowerPoint

$$W = \frac{10}{100} \times 32 \times 10^6 \text{ kJ}$$

$$W = 32 \times 10^5 \text{ kJ}$$

$$\text{ट्रैक्टिक प्रयास} = 0.05 \times 2500000$$

$$\text{रेल इंजन का भार} = 2500000 \text{ N}$$

हम जानते हैं कि

$$F = m \times a$$

$$(25 \times 10^5 - 0.05 \times 25 \times 10^5) = \frac{25 \times 10^5}{10} \times a$$

$$a = 95 \text{ m/sec}^2$$

$$W = \frac{1}{2} m v^2$$

$$32 \times 10^5 = \frac{1}{2} \times \frac{25 \times 10^5}{10} \times v^2$$

$$v^2 = 256 \text{ m/sec}$$

$$v = 16 \text{ m/sec}$$

हम जानते हैं कि

$$v^2 = u^2 + 2as \qquad \because u = 0$$

$$16^2 = 0^2 + 2 \times 95 \times s$$

$$\boxed{s = 1.35 \text{ m}}$$

उदाहरण 5. बॉयलर ट्रायल के दौरान निम्न आँकड़े प्राप्त होते हैं—

$P = 10$ bar **$t_1 = 50°C$** **$x = 0.95$,** $m_s = 4000$ kg/h

$m_f = 500$ kg/hr **$C = 30500$ kJ/kg**

वाष्पन गुणांक, समतुल्य वाष्पन, बॉयलर दक्षता की गणना कीजिए।

हल : दिया है,

$$P = 10 \text{ bar}$$

$$x = 0.95$$

$$m_f = 500 \text{ kg/hr}$$

$$c = 30500 \text{ kJ/kg}$$

$$t_1 = 50° \text{ C}$$

$$m_s = 4000 \text{ kg/hr}$$

(i) वाष्पन गुणांक

$$F_e = \frac{H - h_w}{2257} = \frac{h + xl - h_w}{2257}$$

भाप सारणी से 10 बार भाप पर

$$h = 762.6 \text{ kJ/kg}$$

Study PowerPoint

$$l = 2013.6 \text{ kJ/kg}$$

50°C पर

$$h_w = 209.3 \text{ kJ/kg}$$

$$F_e = \frac{762.6 + 0.95 \times 2013.6 - 209.3}{2257}$$

$$\boxed{F_e = 1.093}$$

Ans.

(ii) समतुल्य वाष्पन

$$E = \frac{M_a \times (H - h_w)}{2257} \qquad \because \quad M_a = \frac{4000}{500} = 5 \text{ kg}$$

$$E = M_a \times F_e$$

$$E = 8 \times 1.093$$

$$\boxed{E = 8.742 \text{ kg}}$$

(iii) बॉयलर दक्षता

$$\eta_B = \frac{M_a \times (H - h_w)}{C}$$

$$\eta_B = \frac{8 \times (2675.52 - 209.3)}{30500}$$

$$\eta_B = 0.6469$$

$$\boxed{\eta_B = 64.69\%}$$

Ans.

उदाहरण 6. **बॉयलर 100 bar दाब तथा 500°C पर 150 ton/hr से वाष्प उत्पादन करता है। यदि भरण जल तापमान 160°C है तथा ईंधन का ऊष्मीय मान 22000 kJ/kg हो तो ईंधन दर ज्ञात कीजिए। यदि दक्षता 86% है।**

हल : दिया है—

$$P = 100 \text{ bar}$$

$$t = 500°\text{C}$$

$$m_s = 100 \times 10^3 \text{ kg/hr}$$

$$\eta = 86\% = 0.86$$

$$t_{sat} = 160° \text{ C}$$

$$C = 22000 \text{ kJ/kg}$$

$t_1 = 160°$ C पर भाप सारणी से

$$h_w = 675.6 \text{ kJ/kg}$$

100 bar दाब पर

$$t_{sat} = 311° \text{ C}$$

हम देख रहे हैं कि भाप का उत्पादन का तापमान संतृप्त तापमान से अधिक है, अतः भाप अतितप्त भाप है।

$H = 3374.6$ kJ/kg (भाप सारणी से 100 bar दाब एवं 500°C तापमान पर)

$$\eta_B = \frac{m_s \times H - h_w}{m_f \times C}$$

Study PowerPoint

$$\Rightarrow \quad m_f = \frac{m_s(H-h_w)}{\eta_B \times C}$$

$$m_f = \frac{100\times10^3\,(3374.6-675.6)}{0.86\times 22000}$$

$$\boxed{m_f = 14265.33 \text{ kg}}$$

उदाहरण 7. बॉयलर में ट्रायल के दौरान एक दिन में 1250 kg/day कोयला प्रयोग किया जाता है। उत्पादन 13000 kg/day तथा दाब 7 bar है। भरण जल तापमान 40°C है। ईंधन का ऊष्मीय मान 3000 kJ/kg कुल ऊष्मा का मान 2570.7 kJ हो तो E एवं η_B की गणना कीजिए।

हल :

$$m_f = 1250 \text{ kg/day}$$

$$m_s = 13000 \text{ kg/day}$$

$$P = 7 \text{ bar}$$

$$t = 40^\circ \text{C}$$

$$H = 2570.7 \text{ kJ/kg}$$

$$C = 30000 \text{ kJ/kg}$$

(i)

$$E = \frac{M_a(H-h_w)}{2257}$$

$$E = \frac{m_s}{m_f} \times \frac{(H-h_w)}{2257}$$

$$E = \frac{13000}{1250} \times \frac{(2570.7-167.2)}{2257}$$

$$h_w = mC_p dT$$

$$h_w = 1\times 4.18\times(40-0)$$

$$h_w = 167.2$$

$$E = \frac{10.4\times(2570.7-167.2)}{2257}$$

$$\boxed{E = 11.075 \text{ kg}}$$

(ii)

$$\eta_B = \frac{M_a(H-h_w)}{C}$$

$$\eta_B = \frac{10.4\times(2570.7-167.2)}{30000}$$

$$\eta_B = 0.833$$

$$\boxed{\eta_B = 83.3\%}$$

Study PowerPoint

अभ्यास

महत्वपूर्ण प्रश्न

1. रेल इंजन बॉयलर का सचित्र वर्णन कीजिए। (2002)
2. एक बॉयलर का दाब 10 bar तथा तापमान 50°C है। बॉयलर द्वारा 10 टन अतितप्त भाप का उत्पादन किया जा रहा है तथा 1250 kg कोयला ईंधन के रूप में प्रयोग किया जा रहा है। यदि भरण जल का तापमान 40°C तथा ईंधन का ऊष्मीय मान 3000 kJ है, निम्न की गणना कीजिए—
   (a) वाष्पन गुणांक (b) समतुल्य वाष्पन (c) बॉयलर (2002)
3. बॉयलर उपसाधन एवं चढ़नार को वर्गीकृत कीजिए। किन्हीं दो बॉयलरों को समझाइए। (2003)
4. एक बॉयलर 5400 kg/hr की दर से 750 kN/m^2 दाब पर वाष्प का उत्पादन करता है। भरण जल का तापमान 41.5°C तथा शुष्कता भिन्नता 0.98 है। यदि ईंधन दहन दर 670 kg/hr हो एवं ईंधन का ऊष्मीय मान 31000 kJ/kg हो तो निम्न की गणना कीजिए—
   (a) बॉयलर दक्षता (b) समतुल्य वाष्पन (2003, 09)
5. एक अच्छे बॉयलर के लिए क्या आवश्यक होता है? (2004)
6. ला-मान्ट बॉयलर का वर्णन कीजिए। (2004)
7. स्टर्लिंग बॉयलर की संरचना एवं क्रियाविधि लिखिए। (2005, 10)
8. एक बॉयलर के ट्रायल द्वारा निम्न आँकड़े प्राप्त होते हैं—

   भाप का दाब = 10 bar

   भाप का तापमान = $10\ kg/kg_{fuel}$

   भरण जल तापमान = 35° C

   $C_p = 2.1$ kg/kg K (भाप के लिए)

   निम्न की गणना कीजिए—
   (i) वाष्पन गुणांक (ii) समतुल्य वाष्पन (2006)
9. कॉकरान बॉयलर का वर्णन कीजिए। (2007)
10. निम्न दाब बॉयलर एवं उच्च दाब बॉयलर के लाभ एवं हानियों की विवेचना कीजिए। (2008)
11. वाष्प शक्ति संयंत्रों में प्रयुक्त विभिन्न बॉयलरों के नाम लिखिए। उच्च दाब बॉयलर में प्रयुक्त विभिन्न चढ़नार एवं उपसाधनों के कार्यों का वर्णन कीजिए। (2009)
12. निम्न को समझाइए—
    (a) मितोपयोजक का चुनाव (b) विभिन्न बॉयलरों का वर्गीकरण (2010)
13. आरेख द्वारा ला-मान्ट बॉयलर की क्रियाविधि का वर्णन कीजिए। (2011)
14. 1 kg कोयले के दहन से 32000 kJ ऊष्मा उत्पन्न होती है। वह दूरी ज्ञात कीजिए जो एक रेल इंजन बॉयलर 1000 kg कोयले के दहन से चलेगी यदि 10% कोयला यान्त्रिक कार्य में परिवर्तित हो रहा हो। यदि रेल इंजन बॉयलर का भार 2500000 N हो तथा रेल इंजन का ट्रैक्टिक प्रयास 0.05 W हो। (2011)
15. बॉयलर में निम्न के कार्यों का वर्णन कीजिए—
    (a) भरण चेक वाल्व (b) गलनीय प्लग (c) मितोपयोजक (d) जल तल सूचक (2011)
16. उच्च दाब बॉयलर एवं निम्न दाब बॉयलर की विवेचना कीजिए। स्टर्लिंग बॉयलर का वर्णन कीजिए। (2012)
17. ला-माउन्ट बॉयलर का सचित्र वर्णन कीजिए। (2013)
18. निम्न पर संक्षिप्त टिप्पणी लिखिए—
    (i) मितोपयाजक (ii) भाप जनित्र के प्रकार (2013)

Study PowerPoint

✦ अन्य महत्त्वपूर्ण प्रश्न

1. बॉयलर के 6 घण्टे ट्रायल के बाद निम्न आँकड़े प्राप्त होते हैं— भाप का दाब = 12 bar, $m_s = 4000$ kg, $x = 0.85$, $t_1 = 30°$ C, $m_f = 4000$ kg, $C = 33400$ kJ/kg
निम्न की गणना कीजिए—
(i) वाष्पन गुणांक (ii) समतुल्य वाष्पन (iii) बॉयलर दक्षता
उत्तर— (i) 1.045, (ii) 10.45 kg, (iii) 70.65%
2. बॉयल के ट्रायल के दौरान निम्न आँकड़े प्रप्त होते हैं— ईंधन की मात्रा = 250 kg, ईंधन का ऊष्मीय मान = 30000 kJ/kg, भाप की मात्रा = 2000 kg, भाप का दाब शुष्कता भिन्नता = 0.90, भरण जल का तापमान = 30° C, E & η का मान ज्ञात कीजिए।
उत्तर— (i) 2178.52 kg, (ii) 65.4%
3. बॉयलर के प्रचालन के दौरान ईंधन खपत दर 300 kg/hr है। भरण जल का तापमान 45° C है। भाप का ता दाब 265° C, 12 bar है। यदि ईंधन का ऊष्मीय मान 32000 kJ/kg हो तो ज्ञात कीजिए—
(i) M_a (ii) E (iii) η_B
उत्तर— (i) 10 kg (ii) 12.21 kg, (iii) 86.13%
4. एक बॉयलर द्वारा उत्पादित भाप की दर 18000 kg/hr तथा दाब 12.5 bar है। यदि शुष्कता भिन्नता का मान तथा भरण जल का तापमान 105°C है तो निम्न की गणना कीजिए—
(a) ऊष्मा दर kJ/hr में
(b) समतुल्य वाष्पन
(c) तापीय दक्षता
जहाँ $m_f = 2040$ kg/hr तथा $C = 27400$ kJ/hr
उत्तर— (a) 4.1146×10^7 kJ/hr, (b) 8.936 kg, (c) 73.61%
5. निम्न आँकड़ों से बॉयलर की दक्षता ज्ञात कीजिए—
(a) $m_f = 1000$ kg, (b) $m_s = 9000$ kg, (c) $P = 10$ bar, (d) $t_1 = 15°$ C, (e) $x = 0.9$, (f) $C = 32000$ k
उत्तर— 70.68%
6. एक भाप जनित्र द्वारा 7.5 $kg_{भाप}/kg_{ईंधन}$ द्वारा 11 bar पर भरण जल से प्राप्त किया जाता है। भरण जल का 70° C हो एवं दक्षता तथा वाष्पन गुणांक का मान 0.75 तथा 1.5 क्रमशः हो तो ज्ञात कीजिए—
(i) अतितप्त तापमान, (ii) अतितप्त कोटि, (iii) ईंधन का ऊष्मीय मान, (iv) समतुल्य वाष्पन $C_p = 2.3$ kJ/k के लिए)
उत्तर— (i) 504.3 K, (ii) 47.3 K, (iii) 25955 kJ/kg, (iv) 83625 kg
7. एक बॉयलर 10 kg भाप/kg कोयले के दहन से प्राप्त होता है। शुष्कता भिन्नता तथा दाब क्रमशः 0.9 तथा 10 यदि भरण जल का तापमान 30°C तथा ईंधन का ऊष्मीय मान 35500 kJ/kg हो तो तापीय दक्षता ज्ञात
उत्तर— 68.99%
8. 10 bar पर बॉयलर द्वारा 10 $kg/kg_{ईंधन}$ भाप 200°C पर उपजाया जाता है। यदि ईंधन का ऊष्मीय मान 40,00 हो तथा भरण जल का तापमान 37° C हो तो समतुल्य वाष्पन तथा दक्षता ज्ञात कीजिए।
उत्तर— (i) 11.81 kg, (ii) 0.355

Study PowerPoint

✦ अन्य महत्वपूर्ण प्रश्न

1. भाप जनित्र को परिभाषित कीजिए। एक अच्छे बॉयलर के गुणों को लिखिए।
2. बॉयलर एक्ट के अनुसार विभिन्न चढ़नारों का उल्लेख कीजिए।
3. धूम्र नली एवं जल नली बॉयलर में अन्तर स्पष्ट कीजिए।
4. बॉयलर यूनिट के मुख्य अंगों को लिखिए।
5. निम्न के कार्यों का उल्लेख कीजिए—
   (a) सुरक्षा वाल्व (b) जल तल सूचक (c) दाब गेज (d) भाप रोक वाल्व
   (e) भरण चेक वाल्व
6. बॉयलर उपसाधन को परिभाषित कीजिए।
7. गलनीय प्लग की क्रियाविधि समझाइए।
8. बेनसन बॉयलर का सचित्र वर्णन कीजिए।
9. भाप का अतितापन क्या है? किस उपकरण द्वारा अतितापन किया जाता है?
10. वायु पूर्वतापक को वर्गीकृत कीजिए।
11. विभिन्न निम्न दाब बॉयलरों का वर्गीकरण कीजिए।
12. बॉयलर निष्पादन को परिभाषित कीजिए।
13. तापीय दक्षता को परिभाषित कीजिए।
14. निम्न पदों को परिभाषित कीजिए—
    (a) समतुल्य वाष्पन (b) वाष्पन गुणांक
15. बॉयलर दक्षता को प्रभावित करने वाले विभिन्न घटकों का उल्लेख कीजिए।
16. निम्न दाब तथा उच्च दाब बॉयलरों के लाभ एवं हानियों को लिखिए।

✦ बहुविकल्पीय प्रश्न

1. जब वाष्पन की गुप्त ऊष्मा शून्य हो तो क्रान्तिक दाब होगा—
   (a) 225.65 kg_f/cm^2 (b) 100 kg/cm^2 (c) –1 kg_f/cm (d) 1 kg_f/cm^2
2. समतुल्य वाष्पन, वाष्पित्र जल की मात्रा होती है जब तापमान होता है—
   (a) संतृप्त तापमान (b) क्रान्तिक तापमान (c) 0°C (d) 100°C
3. कॉकरान बॉयलर है—
   (a) क्षैतिज धूम्र नली बॉयलर (b) क्षैतिज जल नली बॉयलर
   (c) ऊर्ध्वाधर धूम्र नली बॉयलर (d) ऊर्ध्वाधर धूम्र नली बॉयलर
4. लंकाशायर बॉयलर है—
   (a) स्थिर धूम्र नली बॉयलर (b) स्थिर जल नली बॉयलर
   (c) चल धूम्र नली बॉयलर (d) जल नली, प्रणोदित संचरण बॉयलर
5. लंकाशायर बॉयलर में धूम्र नली की संख्या है—
   (a) 01 (b) 02 (c) 03 (d) 00
6. बॉयलर में ड्रम का उद्देश्य होता है—
   (a) भाप को संचित करना
   (b) भाप एवं जल को पृथक करना
   (c) भरण जल के लिए भण्डारण के रूप में कार्य करना
   (d) जल में से लवण पृथक करना

Study PowerPoint

7. गलनीय प्लग स्थित होता है—
(a) भाप डोम के ऊपर (b) ड्रम के अंदर (c) धूम्र नली में (d) दहन कक्ष [illegible]

8. गलनीय प्लग बना होता है—टिन, लेड एवं .... —
(a) बिस्मथ (b) आयरन (c) कॉपर (d) एलुमीनियम

9. कृत्रिम निर्वात उत्पन्न किया जाता है—
(a) पंखों द्वारा (b) भाप जेट द्वारा
(c) पंखों व भाप जेट दोनों द्वारा (d) सभी के द्वारा

10. चिमनी की दक्षता होती है—
(a) 90% (b) 80% (c) 0.25% (d) 10%

उत्तरमाला

1. (a) 2. (d) 3. (c) 4. (a) 5. (b) 6. (c) 7. (d) 8. (a) 9. (d) 1[illegible]

□□□

Study PowerPoint

7 वायु मानक चक्र

(Air Standard Cycle)

7.1. वायु मानक चक्र (Air Standard Cycle)

यह एक बंद चक्र होता है जिसमें कार्यकारी पदार्थ के रूप में वायु का प्रयोग करते हैं।

यह किसी इंजन की चक्रीय दक्षता के निष्पादन की तुलना करने के लिए आवश्यक होता है।

वायु मानक चक्र की प्रमुख अवधारणाएँ

- कार्यकारी पदार्थ के रूप में केवल वायु का प्रयोग किया जाता है।
- वायु एक आदर्श गैस की तरह व्यवहार करती है अर्थात् यह गैस के नियम का अनुसरण करती है।
- वायु का द्रव्यमान पूरे चक्र के दौरान स्थिर रहता है।
- सभी प्रक्रम प्रतिक्रम्य प्रक्रम होते हैं।
- घर्षण एवं ऊष्मा में हानि नगण्य होती है।
- चक्र के दौरान ऊष्मा स्रोत द्वारा प्रदत्त ऊष्मा, सिंक द्वारा निष्कासित ऊष्मा के बराबर होती है।

यान्त्रिक दक्षता (Mechanical Efficiency)—यह ब्रेक शक्ति तथा सूचित शक्ति का अनुपात होता है।

"It is the ratio of Brake Power to the Indicated Power."

$$\boxed{\eta_{mech} = \frac{B.P.}{I.P.}} = \frac{\dfrac{2\pi NT}{60\times 1000}}{\dfrac{nPLANk}{60}}$$

$$\eta_{mech} = \frac{2\pi NT}{60\times 1000}\times\frac{60}{nPLANk}$$

$$\boxed{\eta_{mech} = \frac{0.00628T}{nPLAk}}$$

सापेक्ष दक्षता (Relative Efficiency)—यह सूचित तापीय दक्षता (Indicated thermal efficiency) तथा वायु मानक दक्षता (Air standard efficiency) का अनुपात होता है।

Ratio of Indicated thermal efficiency to the thermal efficiency or air standard efficiency is known as Relative Efficiency.

$$\boxed{\eta_R = \frac{\text{Indicated thermal efficiency}}{\text{Air standard efficiency}}}$$

Study PowerPoint

तापीय दक्षता (Thermal Efficiency)—"यह सूचित कार्य तथा प्रदत्त ऊर्जा की मात्राओं का अनुपात होता है।"

"It is the ratio of Indicated work done to energy supplied by the fuel."

इसे वायु मानक दक्षता (Air standard efficiency) भी कहते हैं।

सूचित तापीय दक्षता (Indicated Thermal Efficiency)—

$$(\eta_{th})_I = \frac{I.P.}{m_f \times C}$$

अत: सूचित तापीय दक्षता सूचित शक्ति एवं प्रदत्त ऊर्जा का अनुपात होता है।

ब्रेक तापीय दक्षता (Brake Thermal Efficiency)—

$$(\eta_{th})_B = \frac{B.P.}{m_f \times C}$$

अत: ब्रेक तापीय दक्षता ब्रेक शक्ति एवं प्रदत्त ऊर्जा का अनुपात होता है।

जहाँ I.P. = सूचित शक्ति (Indicated Power)

B.P. = ब्रेक शक्ति (Brake Power)

m_f = ईंधन का द्रव्यमान प्रति सेकण्ड (Mass of fuel/sec)

C = ऊष्मीय मान (Calorific Value)

आयतनिक दक्षता (Volumetric Efficiency)—यह चूषण स्ट्रोक के दौरान के लिए गए वास्तविक आयत
स्वेप्ट आयतन का अनुपात होता है।

"It is defined as the ratio of actual volume of the charge drawn in during suction stroke to the vo
of the piston."

कार्य अनुपात—यह चक्र के दौरान नेट कार्य स्थानान्तरित तथा चक्र में धनात्मक कार्य का अनुपात होता है। इस
से निरूपित करते हैं।

$$r_w = \frac{\text{नेट कार्य स्थानान्तरित}}{\text{धनात्मक कार्य स्थानान्तरित}}$$

$$r_w = \frac{\text{धनात्मक कार्य स्थानान्तरित} - \text{ऋणात्मक कार्य स्थानान्तरित}}{\text{धनात्मक कार्य स्थानान्तरित}}$$

मध्य प्रभावी दाब (Mean Effective Pressure)—यह चक्र के दौरान कुल कार्य तथा पिस्टन के स्वेप्ट आयत
अनुपात है।

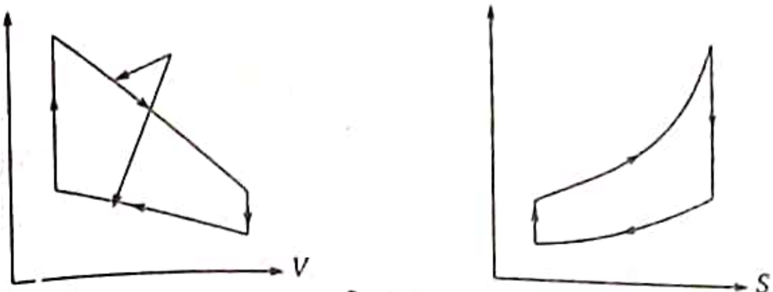
इसे P_m द्वारा प्रदर्शित करते हैं।

$$P_m = \frac{\text{कार्य } (w)}{\text{स्वेप्ट आयतन } (v_s)}$$

❑ 7.2. ऑटो चक्र (Otto Cycle)

Spark Ignition Engine या Petrol Engine ऑटो चक्र पर कार्य करता है। ऑटो चक्र का $P-V$ तथा
diagram अग्रलिखित हैं—

Study PowerPoint



चित्र 7.1

ऑटो चक्र में दो प्रतिवर्त्य रूद्धोष्म प्रक्रम (Reversible Adiabatic Process) तथा दो स्थिर आयतन प्रक्रम
nstant Volume Process) होते हैं।

माना m kg द्रव्यमान का गैस जो अपनी प्रारम्भिक अवस्था (P_1, V_1, T_1) पर है। चक्र के दौरान होने वाले परिवर्तन
लिखित हैं—

प्रक्रिया 1-2 प्रतिवर्त्य रूद्धोष्म संपीडन प्रक्रम (Reversible Adiabatic Compression Process)

$$PV^{\gamma} = \text{constant}$$

प्रक्रिया 2-3 स्थिर आयतन पर प्रदत्त ऊष्मा (Heat Supplied at Constant Volume)

$$Q_{2-3} = mC_V(T_3 - T_2)$$

प्रक्रिया 3-4 प्रतिवर्त्य रूद्धोष्म प्रसारण प्रक्रम (Reversible Adiabatic Expansion Process)

$$PV^{\gamma} = \text{constant}$$

प्रक्रिया 4-1 स्थिर आयतन पर निर्गत ऊष्मा (Heat rejected at Constant Volume)

$$Q_{4-1} = mC_V(T_4 - T_1)$$

ऑटो चक्र की दक्षता (Efficiency of Otto Cycle)

हम जानते हैं कि—

$$\eta_{\text{Otto}} = \frac{\text{नेट कार्य}}{\text{प्रदत्त ऊष्मा}} = \frac{\text{Net work done}}{\text{Heat supplied}}$$

$$\text{सम्पूर्ण कार्य} = \text{प्रदत्त ऊष्मा} - \text{निष्कासित ऊष्मा}$$

$$\text{प्रदत्त ऊष्मा} = mC_V(T_3 - T_2)$$

$$\text{निर्गत ऊष्मा} = mC_V(T_4 - T_1)$$

$$\eta_{\text{Otto}} = \frac{mC_V(T_3 - T_2) - mC_V(T_4 - T_1)}{mC_V(T_3 - T_2)}$$

$$\eta_{\text{Otto}} = \frac{(T_3 - T_2) - (T_4 - T_1)}{(T_3 - T_2)}$$

$$\eta_{\text{Otto}} = 1 - \frac{(T_4 - T_1)}{(T_3 - T_2)} \quad ...(1)$$

हम जानते हैं कि संपीडन अनुपात $r = \frac{V_1}{V_2}$, प्रसारण अनुपात $V_C = r = \frac{V_4}{V_3}$

Study PowerPoint

$\because$ $$\frac{V_4}{V_3} = \frac{V_1}{V_2}$$

रूद्धोष्म प्रक्रम 1-2 से—

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}$$

इसी प्रकार 1-2 से—

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}$$

इसी प्रकार $$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{\gamma-1}$$

एवं $V_2 = V_3$ तथा $V_1 = V_4$

तब $$\frac{T_2}{T_1} = \frac{T_4}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}$$

समीकरण (1) व (2) से—

$$\eta_{Otto} = 1 - \frac{\frac{T_3}{(r)^{\gamma-1}} - \frac{T_4}{(r)^{\gamma-1}}}{T_3 - T_4}$$

हल करने पर—

$$\boxed{\eta_{Otto} = 1 - \frac{1}{(r)^{\gamma-1}}}$$ Required Efficiency relation

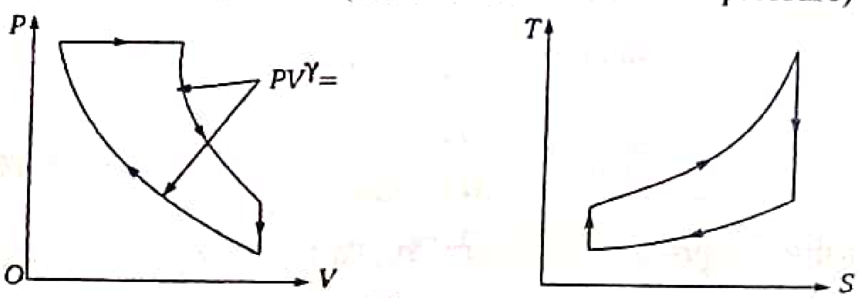
जहाँ $$r = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_4}{V_3}$$

7.3. डीजल चक्र (Diesel Cycle)

डीजल चक्र संपीडन ज्वलन इंजन के लिए उपयोग किया जाता है। यह स्थिर दाब प्रक्रम पर आधारि
डीजल चक्र का $P-V$ तथा $T-S$ आरेख निम्नलिखित है—

Process 1-2—रूद्धोष्म संपीडन प्रक्रम (Adiabatic compression)

Process 2-3—स्थिर दाब पर प्रदत्त ऊष्मा (Heat addition at constant pressure)



चित्र 7.2

Study PowerPoint

Process 3-4—रूद्धोष्म प्रसारण प्रक्रम (Adiabatic expansion)

Process 4-1—स्थिर आयतन पर निर्गत ऊष्मा (Heat rejected at constant volume)

Heat supplied at constant pressure $= C_p (T_3 - T_2) =$ प्रदत्त ऊष्मा स्थिर दाब पर

Heat rejected at constant volume $= C_V (T_4 - T_1) =$ निर्गत ऊष्मा स्थिर आयतन पर

$$\text{Work done} = C_p (T_3 - T_2) - C_V (T_4 - T_1) = \text{कार्य}$$

Air standard efficiency

$$\eta = \frac{\text{सम्पूर्ण कार्य (Work done)}}{\text{प्रदत्त ऊष्मा (Heat supplied)}}$$

$$\eta = \frac{C_p (T_3 - T_2) - C_V (T_4 - T_1)}{C_p (T_3 - T_2)}$$

$$= 1 - \frac{(T_4 - T_1)}{\gamma (T_3 - T_2)} \qquad \left[\because \frac{C_p}{C_v} = \gamma\right] \qquad \text{...(i)}$$

we have, $r = \dfrac{V_1}{V_2}$ = compression ratio (संपीडन अनुपात)

$$\rho = \frac{V_2}{V_1} = \text{cut off ratio} = \left(\frac{\text{Volume at cut off}}{\text{Clearance Volume}}\right)$$

$$\text{कट ऑफ अनुपात} = \frac{\text{कटऑफ आयतन}}{\text{क्लीयरेन्स आयतन}}$$

also $$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} \quad \text{or} \quad \frac{T_2}{T_1} = (r)^{\gamma-1}$$

$$T_2 = T_1 (r)^{\gamma-1}$$

and $$\frac{T_3}{T_2} = \frac{V_3}{V_2} = \rho$$

also $$T_3 = \rho . T_2 = \rho T_1 (r)^{\gamma-1}$$

From adiabatic expansion (3–4)

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{V_4}{V_3}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{r}{\rho}\right)^{\gamma-1}$$

$\Rightarrow$ $$\left[\frac{V_4}{V_3} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_1}{V_2} \times \frac{V_2}{V_3} = \frac{r}{\rho}\right]$$

$$T_4 = \frac{T_3}{\left(\frac{r}{\rho}\right)^{\gamma-1}}$$

$$T_4 = \frac{\rho T_1 (r)^{\gamma-1}}{\left(\frac{r}{\rho}\right)^{\gamma-1}}$$

Study PowerPoint

Putting values of T_2, T_3 and T_4, we have

$$\eta_{diesel} = 1 - \frac{(T_1\rho^\gamma - T_1)}{\gamma[\rho T_1 (r)^{\gamma-1} - T_1 (r)^{\gamma-1}]}$$

$$\eta = 1 = -\frac{(\rho^\gamma - 1)}{[\gamma (r)^{\gamma-1}(\rho - 1)]}$$

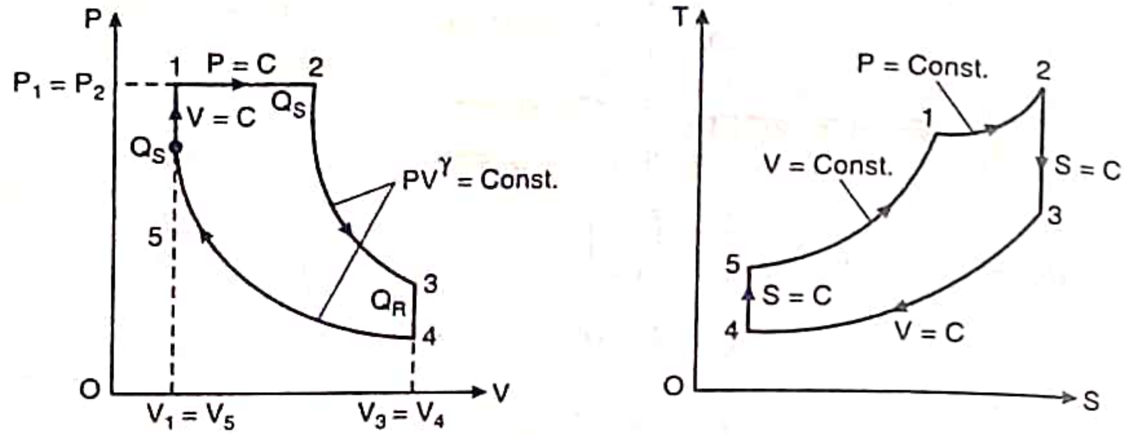
$$\boxed{\eta_{diesel} = 1 - \frac{1}{\gamma (r)^{\gamma-1}}\left[\frac{\rho^\gamma - 1}{\rho - 1}\right]}$$

The required efficiency equatio

❑ 7.4. ड्यूअल चक्र (Dual Cycle)

इस चक्र को हम सीमित दाब चक्र (Limited pressure cycle) भी कहते हैं। इस चक्र में ऊष्मा को प्रदत्त आंशि स्थिर दाब एवं आंशिक स्थिर आयतन पर करते हैं। इसलिए इसे ऑटो एवं डीजल चक्रों का संयुक्त चक्र (Combined Ot and Diesel Cycle) अथवा मिश्रित चक्र (Mixed Cycle) भी कहते हैं।

Dual Cycle का $P-V$ तथा $T-S$ चक्र निम्नलिखित है—



चित्र 7.3

Dual Cycle में पाँच प्रक्रम निम्नलिखित हैं—

प्रक्रम 1-2 : स्थिर दाब तापन (Constant Pressure Heating)—प्रक्रम के दौरान वायु स्थिर दाब पर गर्म किया जाता है जिससे उसका तापमान T_1 से बढ़कर T_2 हो जाता है। प्रक्रम के दौरान ऊष्मा प्रदान की जाती है।

प्रक्रम 2-3 : प्रतिवर्त्य रूद्धोष्म प्रसारण प्रक्रम (Reversible Adiabatic Expansion Process)—प्रक्रम के दौरान स्थिर एण्ट्रापी पर वायु का प्रसारण होता है। प्रसारण के फलस्वरूप कार्य की प्राप्ति होती है। दाब P_2 से घटकर P_3 हो जाता है तथा तापमान T_2 से घटकर T_3 हो जाता है।

प्रक्रम 3-4 : स्थिर आयतन पर निर्गत ऊष्मा (Constant Volume Heat Rejection Process)—प्रक्रम के दौरान वायु से ऊष्मा निर्गत होती है जिससे तापमान T_3 से घटकर T_4 हो जाता है।

प्रक्रम 4-5 : प्रतिवर्त्य रूद्धोष्म संपीडन प्रक्रम (Reversible Adiabatic Compression Process)—प्रक्रम के दौरान स्थिर एण्ट्रापी पर वायु का संपीडन होता है जिससे दाब P_4 से बढ़कर P_5 तथा तापमान T_4 से बढ़कर T_5 हो जाता है।

ऊष्मा अंतरण (Heat Transfer) इस प्रक्रम के दौरान शून्य होता है।

Study PowerPoint

प्रक्रम 5-1 : स्थिर आयतन तापन (Constant Volume Heating)—प्रक्रम के दौरान कार्यकारी पदार्थ को स्थिर आयतन पर गर्म किया जाता है जिससे तापमान बढ़कर T_5 से T_1 हो जाता है।

डयूअल चक्र की दक्षता (Efficiency of Dual Cycle)

$$\eta_{Dual} = \frac{\text{चक्र द्वारा किया गया कार्य}}{\text{चक्र को प्रदान की गई ऊष्मा}} = \frac{\text{Work done by the cycle}}{\text{Heat supplied to the cycle}}$$

$$\eta_{Dual} = \frac{\text{चक्र को प्रदान की गई ऊष्मा} - \text{चक्र द्वारा निष्कासित ऊष्मा}}{\text{चक्र को प्रदान की गई ऊष्मा}}$$

$$= \frac{Q_S - Q_R}{Q_S}$$

$$Q_S = Q_{1-2} + Q_{5-1}$$

$$Q_S = mC_P(T_2 - T_1) + mC_V(T_1 - T_5)$$

$$Q_R = Q_{3-4}$$

$$Q_R = mC_V(T_3 - T_4)$$

$$\eta = \frac{mC_P(T_2 - T_1) + mC_V(T_1 - T_5) - mC_V(T_3 - T_4)}{mC_V(T_3 - T_4)}$$

$$= 1 - \frac{T_3 - T_4}{\gamma(T_2 - T_1) + (T_1 - T_5)} \quad \text{...(1)}$$

Let Compression Ratio $r = \frac{V_4}{V_5} = \frac{V_3}{V_1}$ संपीडित अनुपात

Cut off Ratio $\rho = \frac{V_2}{V_1} = \frac{V_2}{V_5}$ विच्छेद अनुपात

Pressure Ratio $\alpha = \frac{P_1}{P_5}$ दाव अनुपात

स्थिर दाब तापन प्रक्रम 1-2 में,

$$\frac{V_1}{T_2} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\Rightarrow \quad T_2 = T_1 \times \frac{V_2}{V_1}$$

$$T_1 = T_1 \times \rho \quad \text{...(2)}$$

रूद्धोष्म प्रसारण प्रक्रम 2-3 में

$$\frac{T_3}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_3}\right)^{\gamma-1} = \left[\frac{V_2}{V_1} \times \frac{V_1}{V_3}\right] = \left(\frac{\rho}{r}\right)^{\gamma-1}$$

$$T_3 = T_2 \times \left(\frac{\rho}{r}\right)^{\gamma-1}$$

$$T_3 = T_1\rho\left(\frac{\rho}{\rho}\right)^{\gamma-1} \quad \text{...(3)}$$

Study PowerPoint

रूद्धोष्म सम्पीडन प्रक्रम 4-5 में—

$$\frac{T_5}{T_4} = \left(\frac{V_4}{V_5}\right)^{\gamma-1} = (r)^{\gamma-1}$$

$$T_5 = T_4 (r)^{\gamma-1}$$

स्थिर आयतन तापन प्रक्रम 5-1 में—

$$\frac{P_5}{T_5} = \frac{P_1}{T_1}$$

$$T_1 = T_5 \times \left(\frac{P_1}{P_5}\right)$$

$$T_1 = T_5 \times \alpha$$

$$T_1 = T_4 (r)^{\gamma-1} \times \alpha$$

T_1 का मान समीकरण (5) से समीकरण (2) एवं (3) में रखने पर,

$$T_2 = T_5 (r)^{\gamma-1} \times \alpha \times \rho$$

$$T_3 = T_4 (r)^{\gamma-1} \times \alpha \times \rho \left(\frac{\rho}{\rho}\right)^{\gamma-1} = T_4 \alpha \rho^{\gamma}$$

T_1, T_2, T_3 एवं T_5 का मान समीकरण (1) में रखने पर,

$$\eta_{Dual} = 1 - \frac{T_4 \alpha \rho^{\gamma} - T_4}{\gamma [T_4 (r)^{\gamma-1} \alpha\rho - T_4 (r)^{\gamma-1} \alpha] + [T_4 (r)^{\gamma-1} \alpha - T_4 (r)^{\gamma-1}]}$$

$$\eta_{Dual} = 1 - \frac{T_4 (\alpha\rho^{\gamma} - 1)}{T_4 (r)^{\gamma-1} [\gamma\alpha (\rho - 1) + (\alpha - 1)]}$$

$$\boxed{\eta_{Dual} = 1 - \frac{1}{(r)^{\gamma-1}} \left[\frac{\alpha\rho^{\gamma} - 1}{(\alpha - 1) + \gamma\alpha (\rho - 1)}\right]}$$

Required Eq

❑ 7.5. कॉरनाट इंजन : प्रतिक्रम्य चक्र इंजन

1824 ई० में फ्रांस के वैज्ञानिक निकोलस कॉरनाट द्वारा एक इंजन बनाया गया जो चार प्रतिक्रम्य प्रक्रमों पर आ था। इस इंजन को कारनॉट इंजन कहा गया।

चार प्रतिक्रम्य निम्नलिखित हैं—

दो प्रतिक्रम्य समतापीय प्रक्रम

दो प्रतिक्रम्य रूद्धोष्म प्रक्रम

चूँकि चारों प्रक्रम प्रतिक्रम्य चक्र पर आधारित हैं, इसलिए इसे प्रतिक्रम्य चक्र इंजन भी कहते हैं।

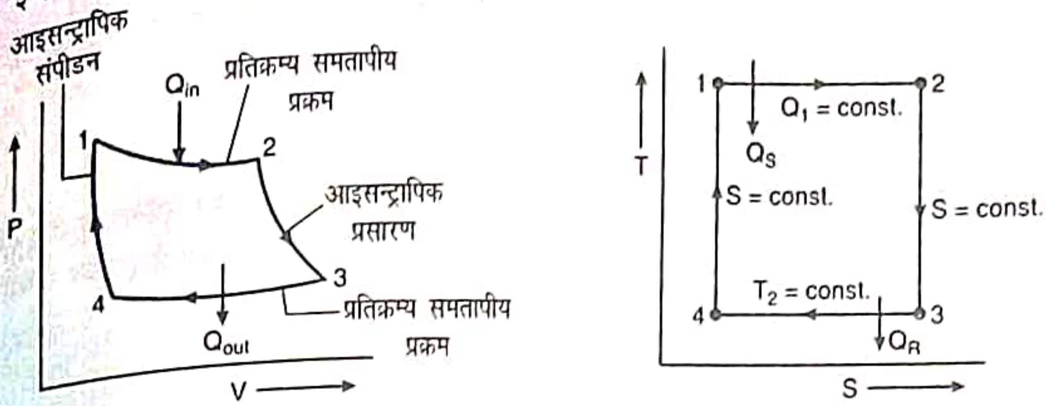
कॉरनाट इंजन के लिए प्रकल्पनाएँ (Assumptions)

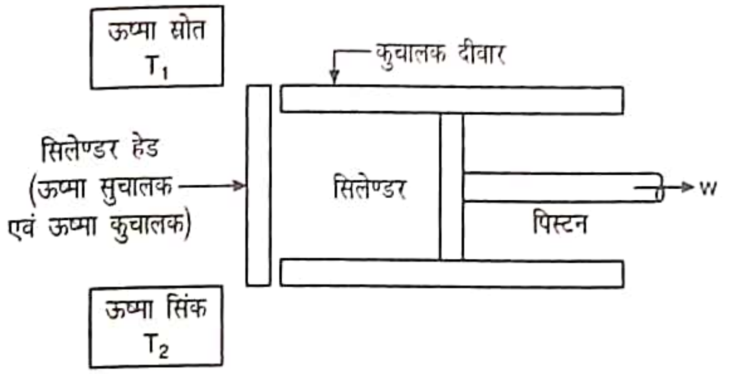
कारनॉट इंजन के निर्माण के लिए प्रमुख प्रकल्पनाएँ निम्नलिखित हैं—

(i) सिलिण्डर के अंदर पिस्टन की गति घर्षणरहित होती है।

Study PowerPoint

(ii) सिलिण्डर एवं पिस्टन की दीवारें पूर्णतः ऊष्मारोधी होती हैं।
(iii) सिलिण्डर हेड इस प्रकार बनाया जाए कि वह एक बार सुचालक की भाँति कार्य करें तथा एक बार कुचालक की भाँति कार्य करे।
(iv) इंजन में ऊष्मा स्रोत एवं ऊष्मा सिंक दोनों उपलब्ध हों।





चित्र 7.4-कारनॉट इंजन की व्यवस्था

कारनॉट इंजन की क्रियाविधि

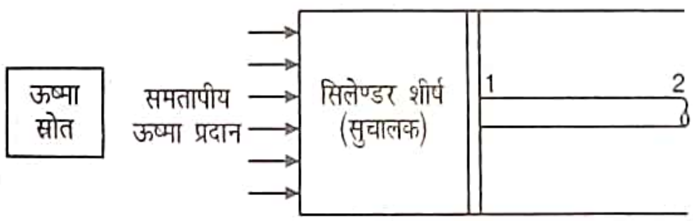
इंजन सिलेण्डर में कार्यकारी माध्यम के रूप में द्रव या गैस का प्रयोग किया जाता है तथा पिस्टन इंजन सिलिण्डर के अन्दर पश्चाग्र गति करता है।

चार चक्रीय प्रक्रम निम्नलिखित है—

(i) प्रक्रम 1-2 : प्रतिक्रम्य समतापीय प्रदत्त ऊष्मा प्रक्रम—इस प्रक्रम में इंजन सिलिण्डर के सम्पर्क में ऊष्मा स्रोत को लाया जाता है तथा इस समय सिलिण्डर हेड सुचालक की भाँति कार्य करता है। सिलिण्डर के अंदर पिस्टन पश्चाग्र गति करता है।

प्रक्रम 1-2 के दौरान कार्य $W_{1-2} = \int_{V_1}^{V_2} P.dV$

गैस का प्रसारण $PV = C$ के नियम से होता है।



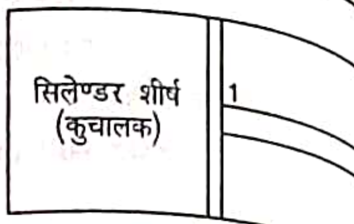
सिलेण्डर-पिस्टन व्यवस्था

चित्र 7.5

Study PowerPoint

(ii) प्रक्रम 2-3 : आइसन्ट्रापिक प्रसारण प्रक्रम

इस प्रक्रम के दौरान सिलिण्डर हेड एक कुचालक की भाँति कार्य करता है तथा गैसों का प्रसारण रूद्धोष्म प्रक्रम की भाँति होता है। गैसों के प्रसारण के कारण पिस्टन पश्चाग्र गति करता है।



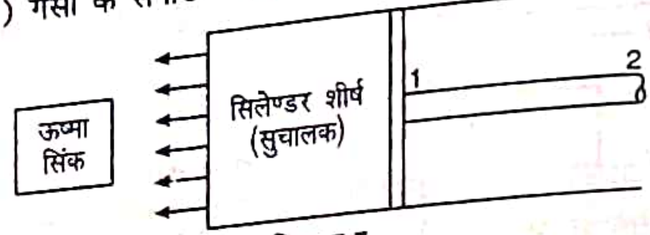
चित्र 7.6

$$\text{प्रक्रम 2-3 के दौरान कार्य } W_{2-3} = P\int_{V_2}^{V_3} dV$$

गैस का प्रसारण $PV^{\gamma} = C$ नियम से होता है।

प्रक्रम 3-4 : समतापीय ऊष्मा निष्कासन प्रक्रम

इस प्रक्रम के दौरान इंजन सिलिण्डर हेड एक सुचालक की भाँति कार्य करता है। इंजन सिलिण्डर हेड (शीर्ष) में ऊष्मा सिंक को लाया जाता है, जिस कारण से इंजन सिलिण्डर से ऊष्मा का निष्कासन होता है (उच्च ऊष्मा भण्डा... निम्न तापमान भण्डारण की तरफ) गैसों के संपीडन से पिस्टन पश्चाग्र गति करता है।



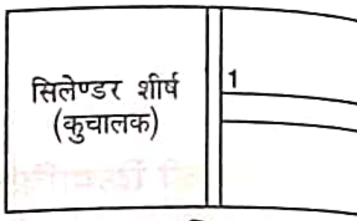
चित्र 7.7

$$\text{प्रक्रम के दौरान कार्य } W_{3-4} = -P\int_{V_3}^{V_4} dV$$

गैसों का संपीडन $PV = C$ के नियम से होता है।

प्रक्रम 4-1 : आइसन्ट्रापिक संपीडन प्रक्रम

इस प्रक्रम के दौरान सिलिण्डर हेड एक कुचालक की भाँति कार्य करता है। कार्यकारी माध्यम के सम्पीडन से पिस्टन पश्चाग्र गति कर अपनी प्रारम्भिक अवस्था में पहुँचता है तथा चक्र पूरा करता है।



चित्र 7.8

$$\text{प्रक्रम के दौरान कार्य } W_{4-1} = -P\int_{V_4}^{V_1} dV$$

गैसों का संपीडन $PV^{\gamma} = C$ के नियम से होता है।

कारनॉट चक्र की दक्षता—

हम जानते हैं कि

$$\eta_c = \frac{\text{नेट कार्य प्रति चक्र } (W_{net})}{\text{नेट प्रदत्त ऊष्मा प्रति चक्र } (Q_S)}$$

प्रक्रम 1-2 : $PV = C, dU = 0$

$$q_{2-1} = W_{2-1} = \int_1^2 PdV = RT_1 \log_e \frac{P_1}{P_2}$$

प्रक्रम 2-3 : $PV^{\gamma} = C, q_{2-3} = 0$

$$W_{2-3} = (U_2 - U_3) = C_v(T_2 - T_3)$$

Study PowerPoint

प्रक्रम 3-4 : $PV = C, dU = 0$

$$q_{3-4} = W_{3-4} = -RT_3 \log_e \frac{P_4}{P_3}$$

प्रक्रम 4-1 : $PV^\gamma = C, q_{4-1} = 0$

$$W_{4-1} = -(U_1 - U_4) = C_v(T_1 - T_4)$$

नेट कार्य

⇒ प्रक्रम 1-2 के दौरान प्रदत्त ऊष्मा – प्रक्रम 3-4 के दौरान निष्कासित ऊष्मा

$$= RT_1 \log_e \frac{P_1}{P_2} - RT_3 \log_e \frac{P_4}{P_3}$$

चूँकि प्रक्रम 2-3 एवं प्रक्रम 3-4 रूद्धोष्म प्रक्रम हैं

तब
$$\frac{P_2}{P_3} = \left(\frac{T_2}{T_3}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

$$\frac{P_1}{P_4} = \left(\frac{T_1}{T_4}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

और
$$T_2 = T_1 \text{ या } T_3 = T_4$$

इस प्रकार
$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1}{P_4} \Rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \frac{P_4}{P_3}$$

नेट कार्य
$$W_{net} = RT_1 \log_e \frac{P_1}{P_2} - RT_3 \log_e \frac{P_4}{P_3}$$

$$W_{net} = R(T_1 - T_3)\log_e \frac{P_1}{P_2}$$

$$\eta_{carnot} = \frac{\text{नेट कार्य}}{\text{प्रदत्त ऊष्मा}} = \frac{R(T_1 - T_3)\log_e \frac{P_1}{P_2}}{RT_1 \log_e \frac{P_1}{P_2}}$$

$$\boxed{\eta_{carnot} = \frac{T_1 - T_3}{T_1}}$$

■ कारनॉट इंजन की सीमाएँ

इंजन में पिस्टन की गति घर्षणरहित होती है, जो प्रायोगिक रूप से संभव नहीं होता है।

तापमान नियत बना रहता है जो संभव नहीं है।

❑ 7.6. कारनॉट प्रमेय (Carnot Theorem)

इस प्रमेय के अनुसार—सभी ऊष्मीय इंजन जो एक निश्चित ताप पर कार्य करती है किसी इंजन की दक्षता Reversible Engine से अधिक नहीं हो सकती, कॉरनाट प्रमेय के अनुसार Reversible Engine की दक्षता 100% होती है।

इस प्रमेय के अनुसार प्रक्रिया चार चरणों में पूर्ण होती है—

(a) दो समतापीय प्रक्रम (Isothermal Process)

Study PowerPoint

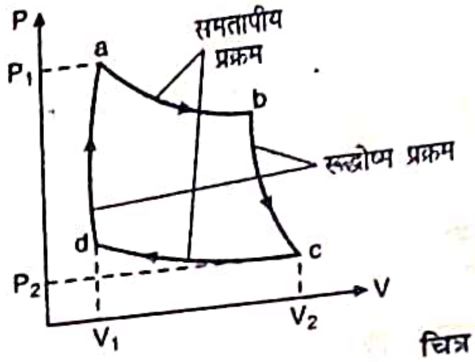
(b) दो रूद्धोष्म प्रक्रम (Adiabatic Process)

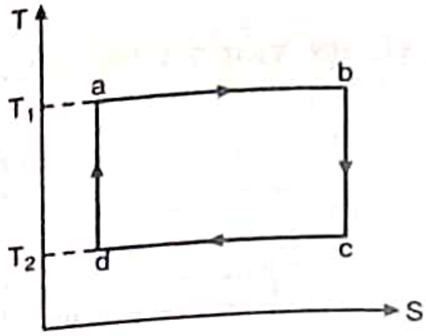
$P-V$ तथा $T-S$ डायग्राम—

$$\text{कॉरनाट प्रमेय की दक्षता } (\eta) = \frac{\text{किया गया कार्य}}{\text{दी गई ऊष्मा}}$$

हम जानते हैं समतापीय प्रक्रम के दौरान किया गया कार्य

$$W = PV \log r$$





चित्र 7.9

$$PV = mRT$$

$\therefore$ $$W = mRT \log r$$

$\therefore$ किया गया कार्य = दी गयी ऊष्मा − ऊष्मा हानि

$$PV - mRT = P_1V_1 \log r - P_2V_2 \log r$$

$\because$ $$m = 1\text{kg}, RT_1 \log r - RT_2 \log r$$

तथा $$= R(T_1 - T_2) \log r$$

$$\text{दक्षता } (\eta) = \frac{\frac{R}{(T_1 - T_2)} \log r}{\frac{R}{T_1 \log r}}$$

$$\text{दक्षता } \boxed{\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}}$$

जहाँ T_1 = अधिकतम ताप

T_2 = न्यूनतम ताप

उपरोक्त समीकरण (A) से स्पष्ट है कि इंजन की दक्षता ताप परिसर पर पूर्ण रूप से निर्भर है।

उपरोक्त समीकरण में T_2 = शून्य रखने पर

अधिकतम दक्षता 100 प्रतिशत प्राप्त की जा सकती है।

$$\text{दक्षता } \eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \times 100$$

$$T_2 = 0$$

Study PowerPoint

$$= \frac{T_1 - 0}{T_1} \times 100$$

$$\text{दक्षता } \eta = 1 \times 100 = 100\%$$

चूँकि T_2 वायुमण्डलीय ताप के बराबर होने के कारण शून्य होना संभव नहीं है। यह ताप सिर्फ नियत रह सकता है। [इस]लिए दक्षता बढ़ाने के लिए T_1 के मान परिवर्तन किया जा सकता है। चूँकि T_2 नियत है इसलिए T_1 का मान बढ़ाने से दक्षता [ब]ढ़ायी जा सकती है।

$$\text{दक्षता } \eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \times 100 \qquad T_2 = \text{नियत रहने पर}$$

$$\text{दक्षता } \eta = \frac{T_1 - \text{constant}}{T_1} \times 100$$

जब T_1 का मान बढ़ेगा तब दक्षता बढ़ेगी।

$$\text{दक्षता } \eta = \frac{T_1 - T_2 \text{ (constant)}}{T_1}$$

कारनाट प्रमेय की सीमाएँ

1. कारनाट प्रमेय के अनुसार सभी प्रक्रम Reversible हैं, जो प्रयोगात्मक रूप से संभव नहीं है।
2. समतापीय प्रक्रम प्राप्त करने के लिए प्रक्रम बहुत धीमा होना चाहिए तथा रूद्धोष्म के प्रक्रम बहुत तेज गति से होना चाहिए जो एक चक्र के अन्तर्गत संभव नहीं है।
3. किया गया कार्य समतापीय प्रक्रम के दौरान रूद्धोष्म प्रक्रम से कम होता है इसलिए प्रक्रम का संतुलन संभव नहीं है।

|| सारांश ||

- **वायु मानक चक्र**–एक बंद चक्र जिसमें कार्यकारी पदार्थ के रूप में वायु का प्रयोग करते हैं।
- **यांत्रिक दक्षता**

$$\eta_{mech} = \frac{\text{B.P.}}{\text{I.P.}} = \frac{0.00628T}{nPLAk}$$

- **तापीय दक्षता**

$$\eta_{th} = \frac{\text{सूचित दक्षता}}{\text{प्रदत्त ऊर्जा की मात्रा}}$$

$$(\eta_{th})_{\text{Indicated}} = \frac{\text{I.P.}}{m_f \times C}$$

$$(\eta_{th})_{\text{B.P.}} = \frac{\text{B.P.}}{m_f \times C}$$

$$\text{मध्य प्रभावी दाब} = \frac{W \text{ (कार्य)}}{V_S \text{ (स्वेप्ट आयतन)}}$$

- **आटो चक्र**

  Petrol Engine आटो चक्र पर कार्य करता है।

Study PowerPoint

$$\eta_{Otto} = 1 - \frac{1}{(r)^{\gamma-1}}$$

$$r = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_4}{V_3}$$

- **डीजल चक्र**
  डीजल इंजन डीजल चक्र पर आधारित होता है।

$$\eta_{Diesel} = 1 - \frac{1}{\gamma (r)^{\gamma-1}} \left[\frac{e^{\gamma} - 1}{e - 1} \right]$$

- **डअूल चक्र**
  इसे सीमित दाब चक्र भी कहते हैं।

$$\eta_{Dual} = 1 - \frac{1}{(r)^{\gamma-1}} \left[\frac{\alpha e^{\gamma} - 1}{(\alpha - 1) + \gamma\alpha(\rho - 1)} \right]$$

- **कारनॉट चक्र**
  इसमें–
  - **दो प्रतिक्रम्य समतापीय प्रक्रम होते हैं।**
  - **दो प्रतिक्रम्य रूद्धोष्म प्रक्रम होते हैं।**

$$\eta_{carnot} = \frac{T_1 - T_3}{T_1}$$

|| अभ्यास ||

1. वायु मानक चक्र को परिभाषित कीजिए।
2. निम्न को समझाइए—
   (a) यांत्रिक दक्षता
   (b) सापेक्ष दक्षता
   (c) तापीय दक्षता
   (d) सूचित तापीय दक्षता
   (e) ब्रेक तापीय दक्षता
   (f) आयतनिक दक्षता
   (g) कार्य अनुपात
3. आटो चक्र की दक्षता को ज्ञात कीजिए।
4. डीजल चक्र क्या है? दक्षता के सूत्र को प्रतिपादित कीजिए।
5. ड्यूल चक्र की दक्षता ज्ञात कीजिए।
6. कारनॉट इंजन से आप क्या समझते हैं?
7. कारनॉट इंजन की दक्षता ज्ञात कीजिए।

Study PowerPoint

❖ वस्तुनिष्ठ प्रश्नावली

1. $\eta_{mech} =$

(a) $\frac{B.P.}{I.P.}$ (b) $\frac{0.00628T}{nPLAk}$ (c) (b) and (b) (d) None

2. $(\eta_{th})_I =$

(a) $\frac{I.P.}{m_f}$ (b) $\frac{I.P. \times C}{m_f}$ (c) $\frac{I.P.}{m_f C}$ (d) 1

3. $P_m =$

(a) $a > \frac{W}{V_s}$ (b) $W \times V_s$ (c) $\frac{V_s}{w}$ (d) $V_s = w$

4. निम्न में कौन-सा कथन सत्य है?

(a) $1 - \frac{1}{(r)^{\gamma-1}}$ (b) $r = \frac{V_1}{V_2}$ (c) $r = \frac{V_4}{V_3}$ (d) $4 = d$

5. η_{diesel} —

(a) $1 - \frac{1}{\gamma (r)^{\gamma-1}}$ (b) $1 - \frac{1}{\gamma (r)^{\gamma-1}} \left[\frac{\rho^{\gamma} - 1}{\rho - 1}\right]$

(c) 1 (d) 0

उत्तरमाला

1. (c) 2. (c) 3. (a) 4. (d) 5. (b)

□□□

Study PowerPoint

8 वायु सम्पीडक (Air Compressor)

8.1. परिचय

वायु सम्पीडक एक ऐसी युक्ति है जिसकी सहायता से हम वायु की स्थितिज ऊर्जा को गतिज ऊर्जा में परिवर्तित करते हैं। कार्यकारी माध्यम के रूप में वायु को प्रयोग किया जाता है जिसे सम्पीडित करके उसके दाब में बढ़ोत्तरी कर गतिज ऊर्जा को बढ़ाते हैं।

या

एक ऐसा उपकरण जिसकी साहयता से गैस या वायु पर कार्य किया जाता है। गैस का दाब तथा घनत्व में वृद्धि की जाती है। वायु सम्पीडक का प्रयोग सामान्यत: गैस टरबाइन में किया जाता है।

8.2. वायु सम्पीडक का वर्गीकरण

वायु सम्पीडक को निम्न आधार पर वर्गीकृत किया गया है—

(i) चल अंगों की प्रकृति के आधार पर—

(a) पश्चाग्र संपीडक

(b) घुमाऊ सम्पीडक

(ii) संपीडक के चरण के आधार पर—

(a) एकल चरण संपीडक

(b) बहु चरण सम्पीडक

(iii) सम्पीडक क्रिया के आधार पर—

(a) एकल क्रिया सम्पीडक

(b) द्वि-क्रिया सम्पीडक

(iv) दाब के आधार पर—

(a) निम्न दाब संपीडक

(b) मध्यम दाब सम्पीडक

(c) उच्च दाब सम्पीडक

(v) संपीडन क्षमता के आधार पर—

(a) निम्न क्षमता संपीडक

(b) मध्यम क्षमता संपीडक

(c) उच्च क्षमता संपीडक

Study PowerPoint

(vi) इंजन चालन प्रणाली के आधार पर—

(a) विद्युत मोटर चालन प्रणाली

(b) भाप इंजन चालन प्रणाली

(c) अंतर्दहन इंजन चालन प्रणाली

8.3. वायु सम्पीडक में प्रयुक्त प्रमुख पद

(i) प्रवेश दाब—निरपेक्ष दाब जिस पर वायु सम्पीडक में प्रवेश करता है, प्रवेश दाब कहलाता है।

(ii) निकास दाब—निरपेक्ष दाब जिस पर वायु सम्पीडक से बाहर निकलता है, निकास दाब कहलाता है।

(iii) सम्पीडन अनुपात या दाब अनुपात—यह निरपेक्ष निकास दाब एवं निरपेक्ष प्रवेश दाब का अनुपात होता है। इसका मान सदैव एक से अधिक होता है।

(iv) सम्पीडक का स्वेप्ट आयतन—सम्पीडक के चूषण स्ट्रोक के दौरान स्वेप्ट आयतन को सम्पीडक का स्वेप्ट आयतन कहते हैं।

या

पिस्टन के एक स्ट्रोक में वायु के विस्थापन को सम्पीडक का स्वेप्ट आयतन कहते हैं।

गणितीय रूप से—

$$V_s = \frac{\pi}{4} D^2 L$$

जहाँ V_s = स्वेप्ट आयतन

D = पिस्टन का बोर

L = पिस्टन की लम्बाई

(v) संपीडक की क्षमता—संपीडक द्वारा प्रति यूनिट समय में वायु को सम्पीडित करना संपीडक की क्षमता कहलाती है।

इसे m^3/min या m^3/sec द्वारा प्रदर्शित करते हैं।

(vi) मध्य प्रभावी दाब—यह पिस्टन द्वारा संपीडन स्ट्रोक के दौरान औसत दाब होता है।

गणितीय रूप से—

$$P_m = \frac{\text{संपीडक द्वारा प्रति चक्र कार्य}}{\text{स्वेप्ट आयतन}}$$

8.4. घुमाऊ सम्पीडक

इस सम्पीडक का प्रयोग अधिक मात्रा में वायु के सम्पीडन के लिए किया जाता है तथा जहाँ सम्पीडन दाब कम होता है।

घुमाऊ सम्पीडक को दो वर्गों में विभाजित किया गया है—

(a) धनात्मक विस्थापन सम्पीडक

(b) अधनात्मक विस्थापन सम्पीडक

(a) धनात्मक विस्थापन सम्पीडक (Positive Displacement Compressor)—इस सम्पीडक में वायु का सम्पीडन वायु को कम स्थान में दो घटते सतहों के बीच (reducing surfaces) रखने से होता है।

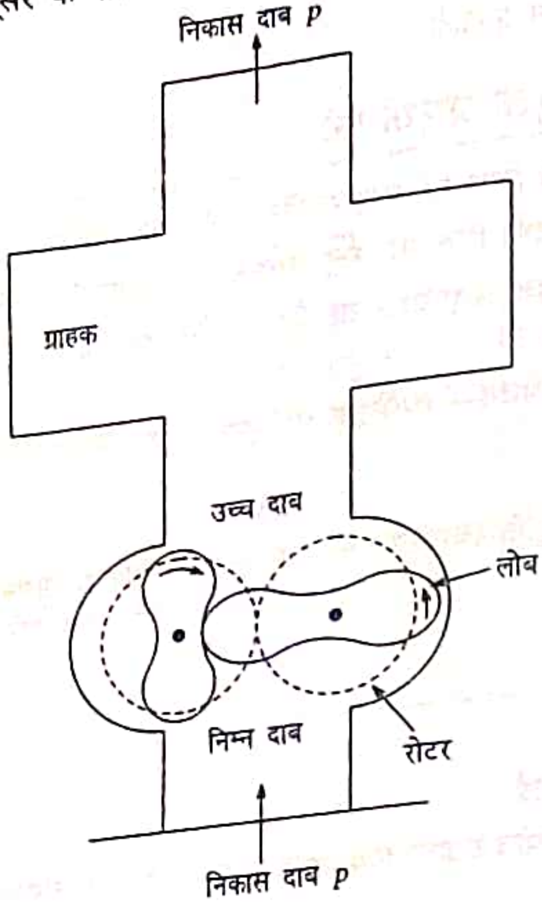
दो प्रकार के धनात्मक विस्थापन सम्पीडक प्रयोग किए जाते हैं—

(i) रूट ब्लोअर सम्पीडक (Root blower compressor)

(ii) वेन ब्लोअर सम्पीडक (Vane blower compressor)

Study PowerPoint

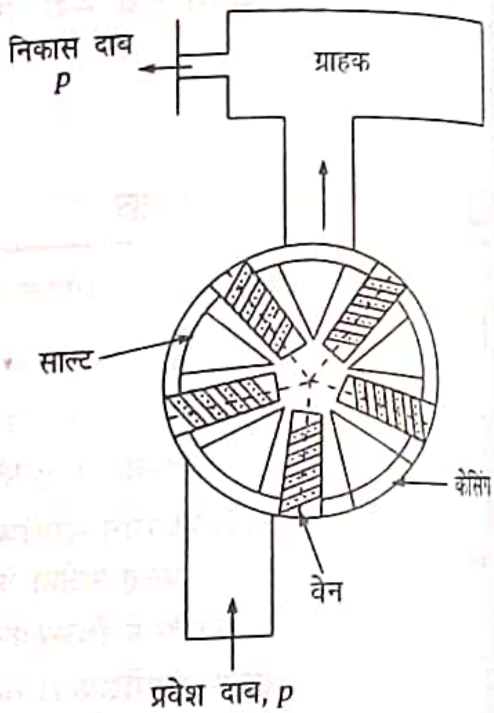
(i) रूट ब्लोअर सम्पीडक (Root Blower Compressor)—इस संपीडक में दो रोटर लगे होते हैं जिसमें दो लोब (lobe) जुड़े होते हैं। यह रोटर एक-दूसरे के साथ समान्तर अक्ष पर जुड़े होते हैं जैसा कि चित्र में दिखाया गया है।



चित्र 8.1

संपीडक का एक रोटर बाह्य स्रोत द्वारा यांत्रिक ऊर्जा प्राप्त करता है तथा दूसरा रोटर पहले रोटर के साथ विपरीत दिशा में गियर व्यवस्था के साथ जुड़ा होता है। यह दोनों रोटर केसिंग में व्यवस्थित होते हैं। जब रोटर बाह्य स्रोत के माध्यम से घूमता है तब प्रवेश पोर्ट की सहायता से वायु अंदर प्रवेश करती है। रोटर के घूमने के कारण लोब का भी घुमाव होता है जिससे वायु का सम्पीडन होता है। यह सम्पीडित वायु ग्राहक (Receiver) से होते हुए निकास पोर्ट से बाहर टरबाइन को प्रदान की जाती है।

(ii) वेन ब्लोअर संपीडक (Vane Blower Type Compressor)—इस संपीडक में एक शंक्वाकार ढलवाँ लोहे की केसिंग होती है जिसमें दो पोर्ट क्रमशः प्रवेश पोर्ट एवं निकास पोर्ट लगे होते हैं। इस वायु बंद (Airtight) केसिंग में एक घूमता डिस्क लगा होता है। घूमते डिस्क की परिधि पर साल्ट बने होते हैं। इस साल्ट पर अधातु पदार्थों का बना हुआ वेन व्यवस्थित होता है। सामान्यतः 4-8 वेन लगे होते हैं। अधातु पदार्थों के रूप में फाइबर या कार्बन का प्रयोग किया जाता है।



चित्र 8.2

जब रोटर घूमता है तब वेन पर अपकेन्द्रीय बल कार्य करता है। वायु प्रवेश पोर्ट से होते हुए इस वेन से टकराती है जिससे वायु का सम्पीडन होता है। यह सम्पीडित वायु ग्राहक से होते हुए संपीडक के निकास पोर्ट पर प्रवेश करती

Study PowerPoint

...व के घटाव के लिए छल्लों का प्रयोग किया जाता है। इस सम्पीडक का प्रयोग जल वाष्प रेफ्रीजरेटर तथा सुपर चार्जर में ...जाता है।

8.5. अपकेन्द्रीय एवं अक्षीय संपीडक में अंतर

विवरण	अपकेन्द्रीय सम्पीडक	अक्षीय सम्पीडक
वायु प्रवाह	सम्पीडक के लम्बवत् अक्ष पर।	सम्पीडक के समान्तर अक्ष पर।
विनिर्माण एवं प्रचालन लागत	अपेक्षाकृत कम।	अपेक्षाकृत उच्च।
शुरु करने की स्थिति	आसानी से चालू हो जाता है तथा कम आघूर्ण की आवश्यकता होती है।	चालू होने में समस्या होती है तथा अधिक आघूर्ण की आवश्यकता होती है।
उपयोगिता	एक चरण सम्पीडन के लिए उपयोगी होता है।	बहुचरण सम्पीडन के लिए उपयोगी होता है।
वायु प्रवाह का क्षेत्रफल	अधिक क्षेत्रफल की आवश्यकता होती है।	कम क्षेत्रफल की आवश्यकता होती हैं।
अनुप्रयोग	गैस टरबाइन तथा उद्योगों में प्रयोग किया जाता है।	हवाई जहाजों तथा उच्च दाब उपकरणों में प्रयोग किया जाता है।

8.6. एकल चरण पश्चाग्र वायु संपीडक

एकल चरण वायु सम्पीडक में वायु का सम्पीडन प्रारम्भिक दाब से अन्तिम दाब तक एक ही सिलेण्डर में होता है।

एकल चरण पश्चाग्र वायु संपीडक में निम्न अवयव लगे होते हैं—

(i) सिलेण्डर (जैकेट के साथ)

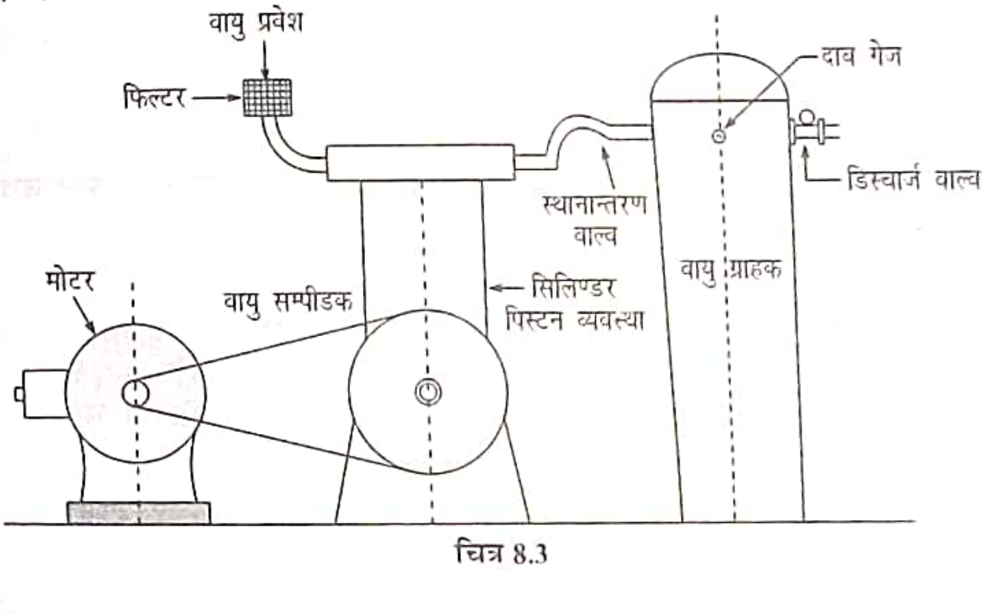
(ii) पिस्टन

(iii) प्रवेश वाल्व

(iv) स्थानान्तरण वाल्व

(v) निकास वाल्व

इस संपीडक की संरचना पश्चाग्र इंजन की संरचना के समान होती है जिसमें सिलेण्डर पिस्टन व्यवस्थित होती है। ...पीडक का व्यवस्थित आरेख निम्न है—

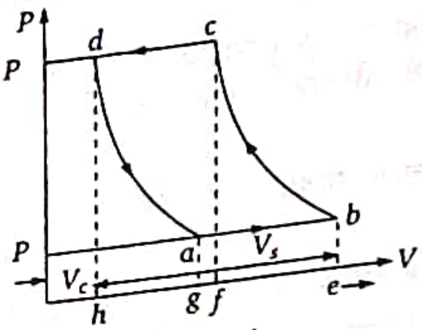


चित्र 8.3

Study PowerPoint

संपीडक को प्राथमिक चालक की सहायता से प्रारम्भ किया जाता है। संपीडक में पिस्टन, क्रैंक, क्रैंक श कनेक्टिंग राड प्राथमिक चालक के माध्यम से घूमता है। स्वच्छ वायु प्रवेश वाल्व से सिलिण्डर में प्रवेश करती है जिस आगे बढ़ने लगता है। इस स्ट्रोक को पिस्टन का चूषण स्ट्रोक कहते हैं। स्ट्रोक के अंत में प्रवेश वाल्व बंद हो जाता है। ऊपरी गति के कारण वायु का सम्पीडन होता है जिसे हम सम्पीडन स्ट्रोक कहते हैं। यह सम्पीडित वायु स्थानान्तरण सहायता से ग्राहक में प्रवेश करता है। ग्राहक में दाब गेज लगा होता है जिसकी सहायता से आवश्यक दाब का मापन ग्राहक से निकास वाल्व के रास्ते सम्पीडित वायु को बाहर निकालते हैं।

सम्पीडक दो स्ट्रोक पर कार्य करता है। इसका $P-V$ आरेख निम्न है—



चित्र 8.4

8.7. एकल चरण पश्चाग्र वायु सम्पीडक में कार्य

सूचक आरेख ($P-V$ आरेख) द्वारा चिन्हित क्षेत्रफल से सम्पीडक पर वायु द्वारा किया गया कार्य प्राप्त करते

वायु का सम्पीडन तथा प्रसारण $PV^n = C$ का अनुसरण करते हैं।

चक्र के दौरान कार्य $= abcd$ का क्षेत्रफल

$abcd$ का क्षेत्रफल $= dcfh$ का क्षेत्रफल $+ cbef$ का क्षेत्रफल $- hgad$ का क्षेत्रफल $- geba$ का क्षेत्रफल

$$W = P(V_c - V_d) + \left(\frac{P_2V_c - P_1V_b}{n-1}\right) - \left(\frac{P_2V_d - P_1V_a}{n-1}\right) - P_1(V$$

$$W = \frac{n}{n-1}[(P_2V_c - P_2V_b) - (P_2V_d - P_1V_a)]$$

हम जानते हैं कि—

$$P_2V_c = m_cRT_2$$
$$P_1V_b = m_bRT_2$$
$$P_2V_d = m_dRT_2$$
$$P_1V_a = m_aRT_1$$

जहाँ $(m_c - m_b) =$ सम्पीडक के दौरान वायु का द्रव्यमान

$(m_a - m_d) =$ प्रदायगी के पश्चात् क्लीयरेन्स आयतन में बचा वायु का द्रव

उपरोक्त सभी मान रखने पर

$$W = \frac{n}{n-1}[(m_cRT_2 - m_bRT_1) - (m_dRT_2 - m_aRT_1)]$$

$$W = \frac{n}{n-1}R[m_b(T_2 - T_1) - m_d(T_2 - T_1)]$$

$$W = \frac{n}{n-1}R[(m_b - m_d)(T_2 - T_1)]$$

Study PowerPoint

$$W = \frac{n}{n-1} \times R \times (m_b - m_d) \times T_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

जहाँ $m_b - m_d$ = चूषण स्ट्रोक के दौरान वायु तथा प्रदायगी के दौरान वायु के द्रव्यमान का अंतर।

8.8. एकल चरण सम्पीडक के लिए आवश्यक शक्ति

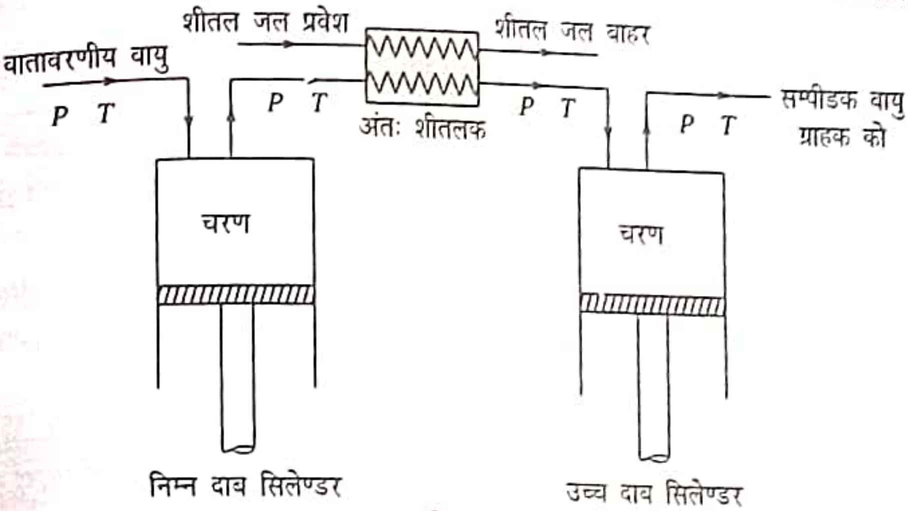
$$P = \frac{W \times N_m}{60} \text{ watt}$$

N = कार्य/चक्र

N_m = स्ट्रोक/चक्र

8.9. द्विचरण पश्चाग्र वायु समपीडक (Two-stage Reciprocating Air Compressor)

इस सम्पीडक में दो सिलिण्डरों का प्रयोग किया जाता है। वातावरणीय वायु का सम्पीडन सर्वप्रथम निम्न दाब लिण्डर में किया जाता है। उसके पश्चात् इस सम्पीडित वायु को उच्च दाब सिलेण्डर में प्रवेश कराया जाता है। निम्न दाब लिण्डर एवं उच्च दाब सिलिण्डर के बीच एक अंत:शीतलक (Intercooler) का प्रयोग किया जाता है।



चित्र 8.5

द्विचरण पश्चाग्र संपीडक का कार्य

W = निम्न दाब सिलिण्डर में कार्य + उच्च दाब सिलिण्डर में कार्य

$$W = \left(\frac{n}{n-1} \right) P_1 V_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] + \left(\frac{n}{n-1} \right) (P_2 V_2) \left[\left(\frac{P_3}{P_2} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

8.10. बहुचरण सम्पीडन (Multistage Compression)

जब सम्पीडित वायु को उच्च दाब की आवश्यकता होती है तब दो विधियाँ प्रयोग की जाती हैं—

(i) एकल सिलेण्डर का प्रयोग करके सिलिण्डर का दाबानुपात उच्च बनाए रखें।

(ii) एक से अधिक सिलिण्डर का प्रयोग करके सम्पीडित वायु का उच्च दाब प्राप्त कर सकते हैं।

 Study PowerPoint

प्रथम विधि के प्रयोग से निम्न समस्याएँ होती हैं—

(a) उच्च आयतनिक सिलिण्डर की आवश्यकता होती है।

(b) सिलिण्डर की आयतनिक दक्षता कम हो जाती है।

(c) क्रैंक शाफ्ट की गति में परिवर्तन होता रहता है।

(d) शीतलन प्रभावशाली नहीं होता है तथा अधिक स्नेहक की आवश्यकता होती है।

द्वितीय विधि में उपरोक्त समस्याएँ दूर हो जाती हैं। बहुचरण सम्पीडन में आवश्यकतानुसार सिलिण्डरों का प्रयोग कि जाता है। दो सिलिण्डरों के बीच एक अंत:शीतलक का प्रयोग किया जाता है जिससे स्नेहक का प्रयोग भी कम होता है

बहु चरण सम्पीडन के लाभ—

(a) कुल आयतनिक दक्षता में वृद्धि होती है।

(b) सम्पीडक पर प्रति चक्र कार्य की कमी होती है जिससे सम्पीडक को चलाने के लिए आवश्यक शक्ति में क आती है।

(c) सिलिण्डर की साइज एवं क्षमता में कमी होती है।

(d) समान आघूर्ण प्राप्त होता है।

(e) क्रैंक शाफ्ट का घूर्णन समान होता है।

(f) कम स्नेहक की आवश्यकता होती है।

(g) दुर्घटना की सम्भावनाएँ कम हो जाती हैं।

(h) लीकेज में हानि कम होती है।

8.11. एकल क्रिया एवं द्वि-क्रिया सम्पीडक

एकल क्रिया सम्पीडक में वायु का चूषण, सम्पीडन एवं सम्पीडित वायु का प्रदायगी पिस्टन के एक तरफ होता है सम्पीडक का कार्यकारी चक्र क्रैंक-शाफ्ट के एक चक्कर में प्राप्त होता है तथा सम्पीडित वायु की प्रदायगी भी इसी चक्र प्राप्त हो जाती है।

द्विक्रिया सम्पीडक में चूषण, सम्पीडक तथा सम्पीडित वायु की प्रदायगी पिस्टन के दोनों तरफ होती है। इसमें क्रैं शाफ्ट के एक चक्कर में पिस्टन का दो स्ट्रोक तथा प्रदायगी भी दो स्ट्रोक में प्राप्त होती है।

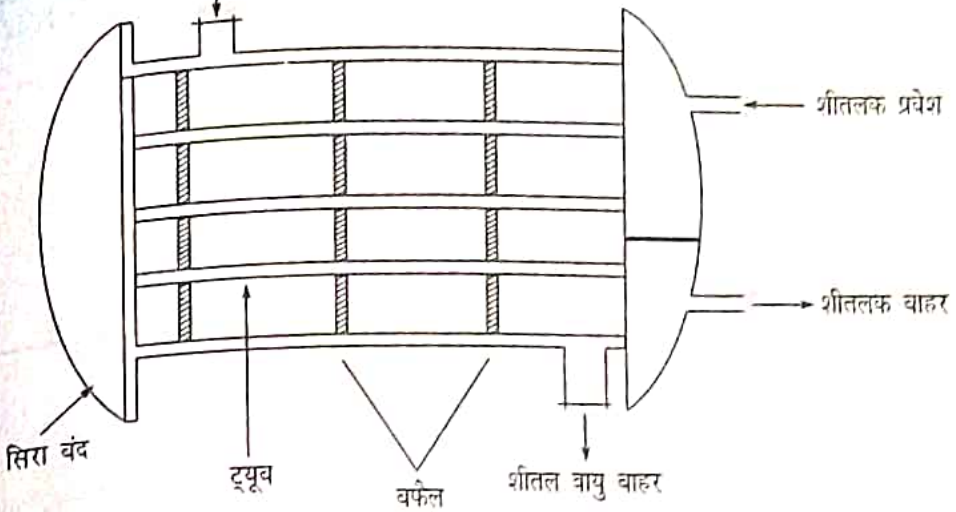
8.12. घुमाऊ एवं पश्चाग्र सम्पीडक में अन्तर

क्र०सं०	विवरण	पश्चाग्र वायु सम्पीडक	घुमाऊ वायु सम्पीडक
1.	दाब	अधिकतम दाब 1000 bar है।	अधिकतम दाब बहुत कम होती है लगभग 10 bar तक होती है।
2.	क्षमता	अधिकतम क्षमता 300 m^3/min होती है।	अधिकतम क्षमता 3000 m^3/min होती है।
3.	वेग	कम वेग होता है।	उच्च वेग होता है।
4.	साइज	सामान्यत: बड़े साइज का होता है।	छोटे साइज के होते हैं।
5.	स्नेहक	जटिल स्नेहक प्रणाली प्रयोग की जाती है।	आसान स्नेहक प्रणाली प्रयोग की जाती है।
6.	यान्त्रिक स्थिरता	प्रति चक्र संभव नहीं है।	प्रति चक्र आसानी से स्थिर बना रहता है।
7.	वायु प्रदायगी	असमान एवं रुक-रुक कर होती है।	समान एवं लगातार होती है।
8.	दक्षता की गणना	समतापीय दक्षता की गणना होती है।	आइसन्ट्रापिक दक्षता की गणना होती है।
9.	उपयुक्त	निम्न क्षमता एवं उच्च दाब के लिए होता है।	उच्च क्षमता एवं निम्न दाब के लिए उपयुक्त होता है।

Study PowerPoint

8.13. सम्पीडक में अन्तःशीतलक

अंतः शीतलक एक युक्ति है जिसकी सहायता से सम्पीडक द्वारा निष्कासित वायु से ऊष्मा को बाहर निकाला जाता है जिससे वायु ठण्डी हो सके।



चित्र 8.6

अंतःशीतलक का प्रयोग बहुचरण सम्पीडक में किया जाता है।

अंतः शीतलक में नलियों का प्रयोग किया जाता है जिसमें कूलेन्ट या अन्य द्रव भरे होते हैं। सम्पीडक सिलिण्डर में गर्म वायु अंतः शीतलक में प्रवेश करता है, जिससे सम्पीडित वायु की ऊष्मा ट्यूब में बहते हुए शीतलक (coolant) को स्थानान्तरित हो जाती है तथा शीतल वायु निकास द्वार से बाहर निकल जाती है।

अतः हम कह सकते हैं कि अंतःशीतलक एक ऊष्माविनियमित्र की तरह कार्य करता है।

ऊष्मा स्थानान्तरण दर की वृद्धि के लिए बफैल (Baffel) का प्रयोग किया जाता है।

8.14. पश्चाग्र सम्पीडक में ऊष्मा का निष्कासन

माना सम्पीडक द्वारा वायु के एकांक द्रव्यमान से ऊष्मा का निष्कासन होना है जो निम्न दो निष्कासित ऊष्मा का बीजगणितीय योग है—

(i) प्रति किग्रा वायु से ऊष्मा का निष्कासन बहु सम्पीडक में (q_1)

(ii) प्रति किग्रा वायु से ऊष्मा का निष्कासन अंतःशीतलक से (q_2)

हम जानते हैं

$$q_1 = \frac{\gamma - n}{\gamma - 1} \times \text{रूद्धोष्म कार्य}$$

$$= \frac{\gamma - n}{\gamma - 1} \times \frac{R(T_2 - T_1)}{n - 1}$$

$\therefore$ $$m = 1, R = C_V(\gamma - 1)$$

$$= \frac{\gamma - n}{\gamma - 1} \times \frac{C_V(T_2 - T_1) \times (\gamma - 1)}{n - 1}$$

Study PowerPoint

$$q_1 = \frac{\gamma - n}{n-1} \times C_V \times (T_2 - T_1)$$

$$q_2 = C_P (T_2 - T_3)$$

$$\therefore \quad q = q_1 + q_2$$

$$q = C_V \times \left(\frac{\gamma - n}{\gamma - 1}\right) \times (T_2 - T_1) + C_p (T_2 - T_3)$$

$$\because \quad T_3 = T_2$$

$$\boxed{q = (T_2 - T_1)\left[C_V\left(\frac{\gamma - n}{n-1}\right) + C_p\right]}$$

8.15. सम्पीडक की दक्षता

सम्पीडक दक्षताएँ निम्नलिखित हैं—

(i) आयतनिक दक्षता (Volumetric Efficiency)

(ii) यांत्रिक दक्षता (Mechanical Efficiency)

(iii) समतापीय दक्षता (Isothermal Eficiency)

(iv) रूद्धोष्म दक्षता (Adiabatic Efficiency)

(i) आयतनिक दक्षता—यह सम्पीडक के चूषण स्ट्रोक के दौरान वायु के वास्तविक आयतन त पिस्टन विस्थापन का अनुपात होता है।

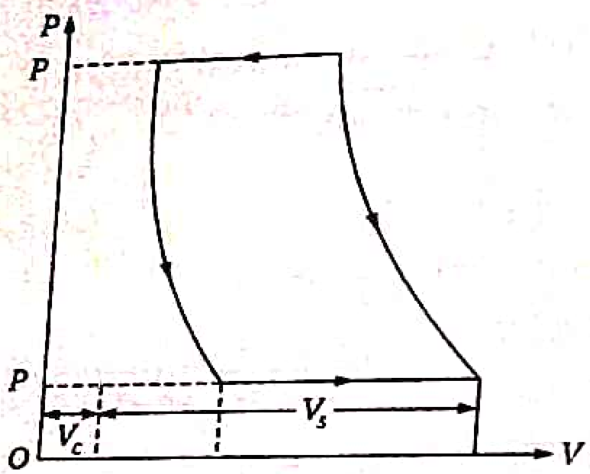
$$\eta_{vol} = \frac{mV_1}{V_s}$$

जहाँ $m =$ द्रव्यमान प्रवाह

$V_1 =$ प्रवेश पर वायु का आयतन

$V_s =$ स्वेप्ट आयतन

$P-V$ आरेख से



चित्र 8.7

Study PowerPoint

$$\eta_{vol} = \frac{V_2 - V_1}{V_s}$$

$$= \frac{V_c + V_s - V_1}{V_s}$$

$$= 1 + \frac{V_c}{V_s} - \frac{V_1}{V_s} \qquad ...(1)$$

माना

$$C = \text{क्लीयरेन्स} = \frac{\text{क्लीयरेन्स आयतन}}{\text{स्वेप्ट आयतन}} = \frac{V_c}{V_s}$$

और

$$P_1 V_1^n = P_1 V_4^n$$

$$V_1 = V_4 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1}{n}}$$

$$V_1 = V_C \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1}{n}} \qquad [\because V_4 = V_C]$$

उपरोक्त मान को समीकरण (1) में रखने पर,

$$\eta_{vol} = 1 + C - \frac{V_c}{V_s}\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1}{n}}$$

$$\boxed{\eta_{vol} = 1 + C - C\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1}{n}}}$$

आयतनिक दक्षता को प्रभावित करने वाले कारक—

(i) क्लीयरेन्स $C\left(\frac{V_c}{V_s}\right)$

यदि $C = 0$, तब $\eta_{vol} = 100\%$

(ii) दाब अनुपात $\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$

यदि $P_2 = P_1$ तब $\eta_{vol} = 100\%$

यदि $\frac{P_2}{P_1}$ घटता है तब η_{vol} बढ़ता है।

यदि $\frac{P_2}{P_1}$ बढ़ता है तब η_{vol} घटता है।

(iii) पाइप में वायु लीकेज

(iv) सम्पीडक अवयवों में घर्षण

(v) जड़त्व

(vi) सम्पीडक की उच्च गति

(ii) यान्त्रिक दक्षता (Mechanical Efficiency)—यह सम्पीडक की सूचित शक्ति तथा ब्रेक शक्ति का अनुपात है।

$$\eta_{mech} = \frac{\text{सम्पीडक की सूचित शक्ति IP}}{\text{सम्पीडक की ब्रेक शक्ति BP}}$$

$$IP = \frac{W \times N_w}{60} \text{ watt}$$

$$BP = \frac{2\pi NT}{60} \text{ watt}$$

$$\boxed{\eta_{mech} = \frac{WN_w}{2\pi N_p T}}$$

जहाँ W = सम्पीडक का कार्य (Joule में)

N_w = सम्पीडक की गति (rpm)

N_p = इंजन की गति (rpm)

T = आघूर्ण

(iii) समतापीय दक्षता (Isothermal Efficiency)—यह समतापीय सम्पीडन कार्य तथा वास्तविक सम्पीडन का अनुपात होता है।

$$\eta_{isothermal} = \frac{\text{समतापीय सम्पीडन कार्य}}{\text{वास्तविक सम्पीडन कार्य}}$$

$$\text{समतापीय सम्पीडन कार्य} = P_1V_1 \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

$$\text{वास्तविक सम्पीडन कार्य} = \frac{n}{n-1} \times P_1V_1\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} - 1\right]$$

समीकरण (1) में समीकरण (2) समीकरण (3) का मान रखने पर,

$$P_1V_1 \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

$$\eta_{isothermal} = \frac{P_1V_1 \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)}{\frac{n}{n-1} P_1V_1\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} - 1\right]}$$

$$\boxed{\eta_{isothermal} = \frac{\ln \frac{P_2}{P_1}}{\frac{n}{n-1}\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} - 1\right]}}$$

Study PowerPoint

(iv) रूद्धोष्म दक्षता (Adiabatic Efficiency)

यह प्रतिक्रम्य रूद्धोष्म संपीडन कार्य तथा अप्रतिक्रम्य रूद्धोष्म संपीडन कार्य का अनुपात होता है।

$$\eta_{Adiabatic} = \frac{\text{प्रतिक्रम्य रूद्धोष्म संपीडन कार्य}}{\text{अप्रतिक्रम्य रूद्धोष्म संपीडन कार्य}}$$

$$W_{reversible\ adiabatic} = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \times P_1V_1\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1\right]$$

$$W_{irreversible\ adiabatic} = \frac{n}{n-1} \times P_1V_1\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} - 1\right]$$

$$\text{Now, } \eta_{adiabatic} = \frac{\frac{\gamma}{\gamma - 1} \times P_1V_1\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1\right]}{\frac{n}{n-1} \times P_1V_1\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} - 1\right]}$$

$$\boxed{\eta_{adiabatic} = \frac{\frac{\gamma}{\gamma - 1}\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1\right]}{\frac{n}{n-1} \times \left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} - 1\right]}}$$

8.16. सम्पीडक स्नेहन (Compressor Lubrication)

सम्पीडक के शीतलन के लिए स्नेहक प्रणाली प्रयोग की जाती है। हम जानते है कि सम्पीडक चल अंगों के समन्वय से बना होता है जिसमें घर्षण होता है। घर्षण के कारण ऊष्मा उत्पन्न होती है जिसके लिए स्नेहक प्रणाली आवश्यक होती है। स्नेहन के लिए स्नेहक तेल का प्रयोग किया जाता है।

सम्पीडक के निम्न अवयवो को स्नेहन की आवश्यकता होती है—

- क्रैंक केस
- सिलिण्डर
- सिलिण्डर की दीवार
- पिस्टन पिन
- क्रैंक
- बियरिंग आदि।

Study PowerPoint

स्पैलश स्नेहन प्रणाली प्रयोग की जाती है जो जटिल होती है। शीतल जल भी स्नेहक के रूप में प्रयोग किया जाता है।

8.17. सम्पीडक के अनुप्रयोग

(i) सम्पीडक का प्रयोग सुपर चार्जिंग एवं अंतर्दहन इंजन के स्केवेन्जिंग (Scavenging) के लिए किया जाता है।

(ii) ईंधन के क्षेपण (injection) के लिए डीजल इंजन में प्रयोग किया जाता है।

(iii) वायु इंजन में प्रयोग किया जाता है।

(iv) वायुवीय इंजन जैसे ड्रिल, हैमर, लोकोमोटिव में प्रयोग किया जाता है।

(v) ब्लास्ट भट्टी में प्रयोग किया जाता है।

(vi) जटिल संरचनाओं की सफाई के लिए प्रयोग किया जाता है।

(vii) बड़े भवन के शीतलन के लिए प्रयोग किया जाता है।

|| सारांश ||

- **वायु सम्पीडक**–यह एक ऐसा उपकरण है जिसकी सहायता से वायु की स्थितिज ऊर्जा को गतिज ऊर्जा में परिवर्तित करते हैं।
  विभिन्न प्रकार के वायु सम्पीडक निम्नलिखित हैं–
  - पश्चाग्र सम्पीडक
  - घुमाऊ सम्पीडक
  - एकल चरण सम्पीडक
  - बहुचरण सम्पीडक
  - एकल क्रिया सम्पीडक
  - द्विक्रिया सम्पीडक
- **घुमाऊ सम्पीडक**–निम्न दाब वायु के लिए प्रयोग किया जाता है।
- **वर्गीकरण**
  (i) धनात्मक विस्थापन सम्पीडक
  (ii) अधनात्मक विस्थापन सर्म्पीडक
- **एकल चरण पश्चाग्र सम्पीडक**
  इससे केवल एक सिलिण्डर में ही वायु का सम्पीडन होता है।

$$W = \frac{n}{n-1} \times R \times (m_b - m_d) \times T_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

- **बहु चरण सम्पीडन**
  इसमें सम्पीडन के लिए दो से अधिक सिलिण्डरों का प्रयोग किया जाता है।
- **सम्पीडक में प्रयुक्त अंतःशीतलक**
  सम्पीडित वायु की ऊष्मा को निकालकर उसे ठण्डा करने के लिए प्रयुक्त युक्ति को अंतःशीतलक कहते हैं।
- **पश्चाग्र सम्पीडक से निष्कासित ऊष्मा**

$$q = (T_2 - T_1) \left[\frac{C_v (\gamma - n)}{(n-1)} + C_p \right]$$

Study PowerPoint

- **आयतनिक दक्षता**

$$\eta_{vol} = 1 + C - C\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1}{n}}$$

$$C = \frac{V_c}{V_s} = \text{क्लीयरेन्स अनुपात}$$

- **यान्त्रिक दक्षता**

$$\eta_{mech} = \frac{WN_w}{2\pi N_p T}$$

- **समतापीय दक्षता**

$$\eta_{isothermal} = \frac{\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)}{\frac{n}{n-1}\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} - 1\right]}$$

- **रूद्धोष्म दक्षता**

$$\eta_{adiabatic} = \frac{\frac{\gamma}{\gamma-1}\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1\right]}{\frac{n}{n-1}\times\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} - 1\right]}$$

- **सम्पीडक स्नेहन**
सम्पीडक के चल अंगों से घर्षण एवं ऊष्मा को कम करने के लिए स्नेहन प्रणाली का प्रयोग किया जाता है। स्पैलश स्नेहन प्रणाली प्रयोग की जाती है।

हल सहित उदाहरण

उदाहरण 1. एक द्विक्रिया पश्चाग्र सम्पीडक में सिलिण्डर का बोर 30 cm तथा स्ट्रोक की लम्बाई 38 cm है। भाप का दाब सिलिण्डर में प्रवेश के समय 700 kN/m^3 है तथा 9 cm पिस्टन के पहले कट ऑफ हो जाता है। सूचित शक्ति की गणना कीजिए यदि ईंधन की गति 300 rpm, पश्च दाब 110 kN/m^2 तथा K का मान 0.7 हो। **(2002)**

हल : दिया है—

$$\text{सिलिण्डर बोर} = 30\,\text{cm}$$

$$\text{स्ट्रोक लम्बाई} = 38\,\text{cm} = V_3$$

$$\text{भाप का दाब } P_1 = 700\,\text{kN/m}^2$$

$$\text{इंजन की गति } (N) = 300\,\text{rpm}$$

$$P_b = 110\,\text{kN/m}^2$$

$$V_2 = 9\,\text{cm}$$

Study PowerPoint

प्रश्नानुसार, $r = \frac{V_3}{V_2} = \frac{38}{9} = 4.22$

हम जानते हैं कि $P_m = k\left[\frac{P_1}{r}(\log_e r+1) - P_b\right]$

$$= 0.7\left[\frac{700}{4.22}(\log_e 4.22+1) - 110\right]$$

$$= 206.4 \text{ kN/m}^2$$

पिस्टन का क्षेत्रफल $A = \frac{\pi}{4}d^2$

$$A = \frac{\pi}{4} \times (0.30)^2$$

$$A = 0.0707 \text{ m}^2$$

हम जानते हैं कि सूचित शक्ति

$$\text{IB} = \frac{2P_m LAN}{60} \text{ kW}$$

$$\text{IP} = \frac{2 \times 206.4 \times 0.38 \times 0.0707 \times 300}{60} \text{ kW}$$

$$\text{IP} = 55.45 \text{ kW}$$

उदाहरण 2. एकल सिलिण्डर इंजन जो चतुर्थ चक्र पर कार्य कर रहा है के परीक्षण के दौरान निम्न आँकड़े होते हैं—

मध्य प्रभावी दाब = 755 kN/m^2

सिलिण्डर बोर = 10 cm

पिस्टन लम्बाई = 15 cm

इंजन स्पीड = 8 rps

ब्रेक पहिए का व्यास = 62.5 cm

ब्रेक पहिए का भार = 180 N

उपरोक्त आँकड़ों से निम्न की गणना कीजिए–

(a) सूचित शक्ति (b) ब्रेक शक्ति (c) यान्त्रिक दक्षता

हल : दिया है, $P_m = 755 \text{ kN/m}^2 = 755 \times 10^3 \text{ N/m}^2$

बोर $(d) = 10 \text{ cm} = 0.10 \text{ m}$

स्ट्रोक $(L) = 15 \text{ cm} = 0.15 \text{ m}$

इंजन गति = 8 rps

$$N = 8 \times 60 \text{ rpm}$$

$$N = 480 \text{ rpm}$$

ब्रेक व्हील व्यास = 62.5 cm

= 0.625 m

ब्रेक व्हील त्रिज्या, $r = 0.3125$ m

Study PowerPoint

$$\text{कुल भार} = 180\ \text{N} = 0.18\ \text{kN}$$

$$z = 1$$

(i) चार स्ट्रोक के लिए सूचित शक्ति

$$\text{IP} = \frac{P_m LANZ}{60 \times 2}$$

$$A = \frac{\pi}{4} d^2$$

$$= \frac{\pi}{4} \times (0.10)^2$$

$$\text{IP} = \frac{755 \times 0.15 \times \pi \times (0.10)^2 \times 480 \times 1}{60 \times 2 \times 4}$$

$$\boxed{\text{IP} = 3.56\ \text{kW}}$$ **Ans.**

(ii) $$\text{BHP} = \frac{2\pi DWN}{60} = \frac{2 \times \pi \times 0.18 \times 0.625 \times 480}{60}$$

$$\boxed{\text{HBP} = 2.83\ \text{kW}}$$ **Ans.**

(iii) $$\eta_{mechanical} = \frac{\text{BHP}}{\text{IHP}} \times 100$$ **Ans.**

$$\eta_{mech} = \frac{2.83}{3.56} \times 100 = 79.4\%$$ **Ans.**

उदाहरण 3. एक एकल क्रिया पश्चाग्र सम्पीडक के सिलिण्डर का बोर 24 cm है तथा रेखीय पिस्टन वेग 200 m/min है। प्रवेश दाब तथा निकास दाब 100 kN/m^2 तथा 1000 kN/m^2 क्रमश: हैं। सूचित शक्ति की गणना यदि वायु $PV^{1.25} = C$ का अनुसरण करें। वायु का प्रवेश तापमान 15° C तथा क्लीयरेन्स नगण्य है। (2002)

हल : प्रश्नानुसार,

$$d = 0.24\ \text{m}$$

$$V = 2000\ \text{m/min}$$

$$P_1 = 100\ \text{kN/m}^2$$

$$P_2 = 1000\ \text{kN/m}^2$$

$$n = 1.25$$

प्रति सेकेण्ड संपीडित वायु का आयतन

$$V_1 = \frac{\pi}{4} d^2 \times V$$

$$= \frac{\pi}{4} \times (0.24)^2 \times \frac{200}{60}\ \text{m}^3/\text{sec}$$

$$V_1 = 0.151\ \text{m}^3/\text{sec}$$

संपीडक की सूचित शक्ति

$$P = \frac{n}{n-1} \times P_1 V_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \text{kW}$$

Study PowerPoint

$$P = \frac{1.25}{0.25} \times 15.1 \left[(10)^{\frac{0.25}{1.25}} - 1 \right]$$

$$P = 44.16 \text{ kW}$$

उदाहरण 4. एकल किया द्वि चरण पश्चाग्र वायु सम्पीडक में अन्तःशीतलक का दाब 15 bar है तथा सम्पीडन दर 5 kg/min है। प्रवेश तापमान तथा दाब 15°C एवं 1 bar है। वायु $PV^{1.3} = C$ का अनुसरण कर रही है। सम्पीडक की गति 420 rpm हो तो तापीय दक्षता की गणना कीजिए। यदि निम्न दाब एवं उच्च दाब सिलिण्डर क्लीयरेन्स 5% एवं 6% स्वेप्ट आयतन का हो तो दोनों सिलिण्डरों का क्लीयरेन्स आयतन तथा स्वेप्ट आयतन गणना कीजिए। (20..)

हल : दिया है,

$$P_1 = P_4 = 1 \text{ bar}$$

$$P_2 = P_3 = P_5 = P_8 = \sqrt{1 \times 15} = 3.873 \text{ bar}$$

$$P_6 = P_7 = 15 \text{ bar}$$

$$m = 5 \text{ kg/min}$$

$$T_1 = 288° \text{ K}$$

$$n = 1.3$$

$$N = 420 \text{ rpm}$$

निम्न दाब सिलिण्डर का % = 05% = x

उच्च दाब सिलिण्डर का % = 06% = y

हम जानते हैं कि

$$\frac{T_2}{t_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}}$$

$$T_2 = 288 \times (3.873)^{\frac{1.3-1}{1.3}}$$

$$\boxed{T_2 = 393.6° \text{ K}}$$

निम्न दाब सिलिण्डर की आयतनिक दक्षता,

$$\eta_V = \left[1 - \left(x \times \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{n}} \right) - 1 \right]$$

$$\eta_V = 1 - \left[0.05 \times (3.873)^{\frac{1}{1.3}} - 1 \right]$$

$$\eta_V = 0.91$$

$$\boxed{\eta_{\text{volumetic low pressure}} = 91\%}$$

उच्च दाब सिलिण्डर की आयतनिक दक्षता $= \left[1 - \left\{y \times \left(\frac{P_6}{P_5}\right)^{\frac{1}{n}} - 1\right\}\right]$

$$= \left[1 - \left\{0.06 \times \left(\frac{15}{3.873}\right)^{\frac{1}{1.3}} - 1\right\}\right] = 0.89$$

$$\eta_{\text{volumetric high pressure}} = 89\%$$ Ans.

निम्न दाब सिलिण्डर का प्रभावी दाब $(V_1 - V_4)$

$$= \frac{mRT_1}{P_1}$$

$$= \frac{5 \times 298.7 \times 288}{1 \times 10^5}$$

$$= 4.22 \text{ m}^3/\text{min.}$$ Ans.

निम्न दाब सिलिण्डर का क्लीयरेन्स आयतन

$$V_1 - V_3 = \frac{V_1 - V_4}{\eta_{V_L}}$$

$$V_1 - V_3 = \frac{4.22}{0.91}$$

$$V_1 - V_3 = 4.637 \text{ m}^3/\text{min}$$ Ans.

उच्च दाब सिलिण्डर का क्लीयरेन्स आयतन

$$V_5 - V_7 = \frac{V_5 - V_6}{\eta V_H}$$

$$= \frac{mRT_2}{P_2 \times \eta_{V_L}}$$

$$V_5 - V_7 = \frac{5 \times 298.7 \times 393.6}{3.873 \times 10^5 \times 0.89}$$

$$V_5 - V_7 = 1.673 \text{ m}^2/\text{min}$$ Ans.

उदाहरण 5. 2 kg वायु का सम्पीडन समतापीय 15 bar तथा 500°C पर होता है जिसके कारण सम्पीडित वायु वास्तविक वायु की पाँच गुना हो जाती है। (2005)

निम्न की गणना कीजिए—

(a) वास्तविक आयतन **(b) अंतिम दाब**

हल : प्रश्नानुसार

$$P_1 = 15 \text{ bar}$$
$$= 15 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

Study PowerPoint

Study PowerPoint

$$T_1 = 500 + 273$$
$$= 773° K$$
$$m = 2 \text{ kg for air}$$

माना $V_2 = 5V_1$

गैस समीकरण से $R = 287.84$ Nm/kg K

$$P_1V_1 = mRT_1$$
$$15 \times 10 \; V_1 = 2 \times 287.84 \times 773$$
$$\boxed{V_1 = 2.983 \text{ m}^3 = \text{Actual volume}}$$ Ans.

और

$$P_1V_1 = P_2V_2$$
$$15 \times 10^5 \times 2983 = P_2 \times 5 \times 2.0983$$
$$\boxed{P_2 = 3 \text{ bar}}$$ Ans.

उदाहरण 6. वायु का प्रवेश दाब एवं तापमान क्रमशः 1 bar तथा 20° C है। वायु $PV^{1.2} = C$ का अनुसरण करती है तथा अंतिम दाब 10 bar है। (2006)

निम्न की गणना कीजिए—

(i) सम्पीडित वायु का अंतिम तापमान

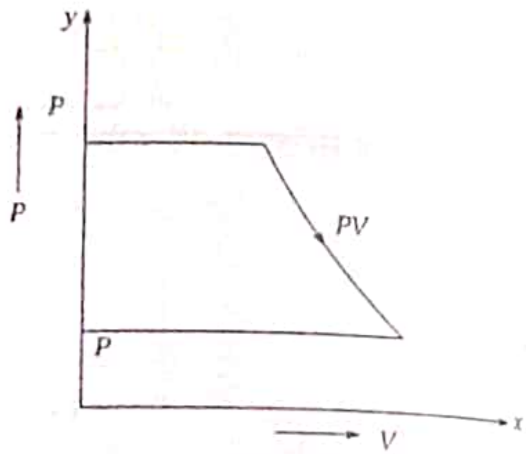
(ii) सम्पीडित वायु द्वारा निष्कासित तापमान

(iii) सम्पीडक का कुल कार्य

मानिए $R = 287$ J/kg K, $\gamma = 1.4$

हल : दिया है, $P_1 = 1 \text{ bar} = P_2$

$$T_2 = 20° C = 293 \text{ K}$$
$$n = 1.2$$
$$P_3 = 10 \text{ bar}$$
$$R = 287 \text{ J/kg K}$$
$$\gamma = 1.4$$



चित्र 8.8

(i) सम्पीडित वायु का अंतिम तापमान (T_3)

$$\left(\frac{T_3}{T_2}\right) = \left(\frac{P_3}{P_2}\right)^{\frac{n-1}{n}}$$

$$T_3 = \left(\frac{10}{1}\right)^{\frac{1.2-1}{1.2}} \times 293$$

$$\boxed{T_3 = 430 \text{ K}}$$ Ans.

(ii) सम्पीडन कार्य

$$W_{2-3} = \frac{mR\,(T_3 - T_2)}{n-1}$$

Study PowerPoint

$$= \frac{1 \times 287 \times (430 - 293)}{1.2 - 1}$$

$$\boxed{W'_{2-3} = 196595 \text{ joule}}$$ Ans.

(iii) निष्कासित तापमान T_4 = सम्पीडन के अंत में तापमान

$$T_4 = 430 \text{ K}$$

(iv) प्रक्रम के दौरान कुल कार्य $W_{1-2-3-4-0} = 1.2 \times 196595$

$$\boxed{\text{कुल कार्य} = 235914 \text{ kJ}}$$ Ans.

उदाहरण 7. एकल क्रिया पश्चाग्र वायु सम्पीडक में वायु प्रवाह दर 9 kg/m है तथा दाब 6 bar है। वायु का प्रवेश एवं तापमान 1 bar तथा 15.5°C क्रमशः है। वायु $PV^{1.25}$ का अनुसरण करती है। सम्पीडक की शक्ति की गणना कीजिए यदि यान्त्रिक दक्षता 80% हो।

हल : दिया है—

$$P_1 = 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$T_1 = 15.5 + 273 = 283.3 \text{ K}$$

$$P_2 = 6 \text{ bar} = 6 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$m = 9 \text{ kg/min}$$

$$R = 292.07 \text{ J/kg K}$$

$$\eta_{mechanical} = 0.80$$

$$PV^{1.25} = \text{constant}$$

$$\Rightarrow \quad n = 1.25$$

हम जानते हैं कि

$$W = \frac{n}{n-1} \times mRT_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

$$W = \frac{1.25}{1.25-1} \times 9 \times 292.07 \times 283.3 \left[\left(\frac{6}{1} \right)^{\frac{1.25-1}{1.25}} - 1 \right]$$

$$W = 26821.50 \text{ J}$$

एवं

$$\eta = \frac{\text{कार्य}}{\text{शक्ति}}$$

$$\therefore \quad \text{शक्ति} = \frac{\text{कार्य}}{\eta} = \frac{2682.50}{0.80}$$

$$\boxed{P = 33.53 \text{ kW}}$$ Ans.

उदाहरण 8. एकल चरण पश्चाग्र वायु सम्पीडक के परीक्षण के दौरान निम्न आँकड़े प्राप्त हुए हैं—

स्वेप्ट आयतन = 2000 cm^2

गति = 800 rpm

दाब अनुपात = 8

Study PowerPoint

क्लीयरेन्स = 5% स्वेप्ट आयतन का

प्रवेश दाब $P = 101.3$ KPa

प्रवेश तापमान $t = 15°$ C

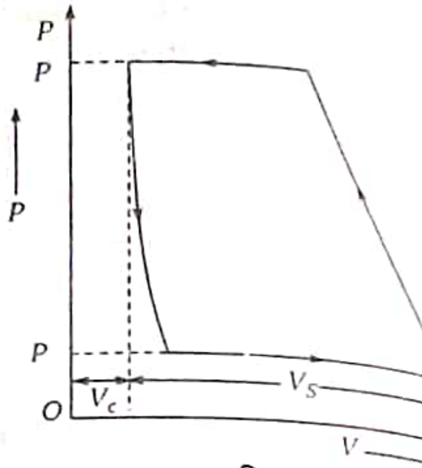
$n = 1.25$

यान्त्रिक दक्षता = 0.85

निम्न की गणना कीजिए–

(a) सूचित शक्ति (b) आयतनिक दक्षता (c) द्रव्यमान प्रवाह दर (d) मुक्त वायु प्रदा...
(e) समतापीय दक्षता (f) सम्पीडक को चलाने के लिए वास्तविक शक्ति

हल : प्रश्नानुसार,



चित्र 8.9

$$P_1 = 101.3 \text{ kPa}$$
$$P_2 = 810.4 \text{ kPa}$$
$$T_1 = 288 \text{ K}$$
$$V_s = 2000 \text{ cm}^3$$
$$V_3 = V_C = 0.05$$
$$V_s = 100 \text{ cm}^3$$
$$V_1 = V_C + V_S = 2100 \text{ cm}^3$$
$$P_3 V_3^n = P_4 V_4^n$$
$$\therefore \quad V_4 = V_3 \left(\frac{P_3}{P_4}\right)^{\frac{1}{n}}$$
$$V_4 = 100 \times (8)^{\frac{1}{1.25}}$$
$$V_4 = 528 \text{ cm}^3$$
$$V_1 - V_4 = 2100 - 528$$
$$= 1572 \text{ cm}^3$$
$$W = \frac{n}{n-1} P_1 (V_1 - V_4) \left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} - 1\right]$$
$$= \frac{1.25}{0.25} \times 101.3 \times 10^3 \times 1572 \times 10^{-6} \left[(8)^{\frac{0.25}{1.25}} - 1\right]$$
$$W = 411 \text{ J}$$

(i) सूचित शक्ति $= \dfrac{411 \times 800 \times 10^{-3}}{60}$

$$IP = 5.47 \text{ kW}$$

(ii) आयतनिक दक्षता $= \dfrac{1572}{2000} \times 100$

$$\eta_{volumetric} = 78.6\%$$

Study PowerPoint

(iii) द्रव्यमान प्रवाह दर

$$m = \frac{PV}{RT}$$

$$m = \frac{101.3 \times 10^3 \times 1572 \times 10^{-6}}{287 \times 288}$$

$$m = 1.93 \times 10^{-3} \text{ kg}$$ Ans.

(iv) मुक्त वायु प्रदायगी (FAD) $= 1572 \times 10^{-6} \times 800$

$$= 1.26 \text{ m}^3/\text{min}$$ Ans.

(v) समतापीय दक्षता

$$W_t = P_1 (V_1 - V_4) \ln \frac{P_2}{P_1}$$

$$= 101.3 \times 10^3 \times 1572 \times 10^{-6} \ln 8$$

$$W_t = 331 \text{ J}$$

$$\eta_{\text{isothermal efficiency}} = \frac{0.331 \times 800}{5.47 \times 60}$$

$$= 80.7\%$$ Ans.

(vi) वास्तविक शक्ति $= \dfrac{5.47}{0.85} = 6.44$ kW Ans.

अभ्यास

✦ महत्वपूर्ण प्रश्न

1. एक द्विक्रिया पश्चाग्र सम्पीडक में सिलेण्डर का बोर 30 cm तथा स्ट्रोक की लम्बाई 38 cm है। भाप का दाब सिलिण्डर में प्रवेश के समय 700 kN/m^2 है तथा 9 cm पिस्टन के पहले कट आफ हो जाता है। सूचित शक्ति की गणना कीजिए यदि इंजन की गति 300 rpm, पश्च दाब 110 kN/m^2 तथा K का मान 0.7 हो। (2002)
2. एकल सिलिण्डर इंजन जो चतुर्थ चक्र पर कार्य कर रहा है परीक्षण के दौरान निम्न आँकड़े प्राप्त होते हैं— (2002)

   मध्य प्रभावी दाब = 755 kN/m^2

   सिलिण्डर बोर = 10 cm

   पिस्टन लम्बाई = 15 cm

   इंजन स्पीड = 8 rps

   ब्रेक पहिए का व्यास = 62.5 cm

   ब्रेक पहिए का भार = 180 N

   उपरोक्त आँकड़ों से निम्न की गणना कीजिए—

   (a) सूचित शक्ति

   (b) ब्रेक शक्ति

   (c) यान्त्रिक दक्षता
3. एक एकल क्रिया पश्चाग्र सम्पीडक के सिलिण्डर का बोर = 24 cm है तथा रेखीय पिस्टन वेग 200 m/min है। प्रवेश दाब तथा निकास दाब 100 kN/m^2 तथा 1000 kN/m^2 क्रमशः है। सूचित शक्ति की गणना कीजिए यदि वायु $PV^{1.25} = C$ का अनुसरण करें। वायु का प्रवेश तापमान 15°C है तथा क्लीयरेन्स नगण्य है। (2002)

Study PowerPoint

4. एकल क्रिया द्विचरण पश्चाग्र वायु सम्पीडक में अंत:शीतलक का दाब 15 bar है तथा वायु सम्पीडन दर 5 kg/min है। प्रवेश तापमान तथा दाब 15° C तथा 1 bar है। वायु $PV^{1.3} = C$ का अनुसरण कर रही है। यदि सम्पीडक की गति 420 rpm हो तो तापीय दक्षता की गणना कीजिए।
यदि निम्न दाब एवं उच्च दाब सिलिण्डर का क्लीयरेन्स 5% एवं 6% स्वेप्ट आयतन का हो तो दोनों सिलिण्डरों का क्लीयरेन्स आयतन तथा स्वेप्ट आयतन की गणना कीजिए। (2003)
5. पश्चाग्र एवं घुमाऊ सम्पीडक की तुलना कीजिए। (2004, 07, 09, 11)
6. एक आदर्श एकल चरण पश्चाग्र सम्पीडक के कार्य की गणना कीजिए। (2004)
7. 2 kg वायु का सम्पीडन समतापीय 15 bar तथा 500°C पर होता है जिसके कारण सम्पीडित वायु वास्तविक वायु को पाँच गुना हो जाती है।
निम्न की गणना कीजिए—
(a) वास्तविक आयतन (b) अंतिम दाब (2005)
8. वायु का प्रवेश दाब एवं तापमान क्रमश: 1 bar तथा 20°C है। वायु $PV^{1.2} = C$ का अनुसरण करती है तथा अंतिम दाब 10 bar है।
निम्न की गणना कीजिए—
(i) सम्पीडित वायु का अंतिम तापमान
(ii) सम्पीडन कार्य
(iii) सम्पीडित वायु द्वारा निष्कासित तापमान
(iv) सम्पीडक का कुल कार्य
मानिए $R = 287$ J/kgK, $\gamma = 1.4$ (2006)
9. निम्न को परिभाषित कीजिए—
(a) सम्पीडक में प्रयुक्त ऊष्मागतिकी चक्र
(b) द्विचरण संपीडक में अंत:शीतलक (2006)
10. निम्न को परिभाषित कीजिए—
(a) समतापीय दक्षता (b) यान्त्रिक दक्षता (c) आयतनिक दक्षता
(d) रूद्धोष्म दक्षता (2007)
11. संपीडन के स्नेहन प्रणाली को समझाइए। (2007)
12. एकल क्रिया पश्चाग्र वायु संपीडक में वायु प्रवाह दर 9 kg/m है तथा दाब 6 bar है। वायु का प्रवेश दाब एवं तापमान 1 bar तथा 15.5°C क्रमश: है। वायु $PV^{1.25}$ का अनुसरण करती है। सम्पीडक की शक्ति की गणना कीजिए यदि यान्त्रिक दक्षता 80% हो। (2008)
13. वायु सम्पीडक के लाभ एवं हानियों को लिखिए। पश्चाग्र वायु सम्पीडक को आरेख द्वारा समझाइए। (2008)
14. $PV^n = C$ को मानते हुए एकल क्रिया द्विचरण पश्चाग्र वायु सम्पीडक के लिए आवश्यक शक्ति की गणना कीजिए। (2009)
15. एकल चरण पश्चाग्र वायु सम्पीडक की क्रियाविधि आरेख द्वारा समझाइए। (2010)
16. घुमाऊ सम्पीडक को परिभाषित कीजिए। इसका वर्गीकरण कीजिए। रूट ब्लोअर की क्रियाविधि आरेख द्वारा समझाइए। (2012)
17. एक प्रत्यागामी संपीडक की कार्यशैली समझाइये। (2014)

Study PowerPoint

18. $0.2\ m^3$ वायु को 20° C तथा 100 kPa पर सम्पीडित किया जा रहा है। वायु $PV^{1.3} = C$ का अनुसरण कर रही है। सम्पीडन अनुपात 6 है। सम्पीडित वायु को तब तक ऊष्मा प्रदान की जाती है जब तक कि पिस्टन अपनी पुनः प्रारम्भिक स्थिति में न पहुँच जाए। इस दौरान दाब समान रहता है।

निम्न की गणना कीजिए—

(a) वायु का द्रव्यमान (b) सम्पीडन के अंत में दाब

(c) अंतिम तापमान (d) प्रक्रम के दौरान स्थानान्तरित ऊष्मा

उत्तर—0.238 kg, 1.027 MP_a, 2736°C, 123.7 kJ

19. एकल सिलिण्डर एकल क्रिया वायु सम्पीडक में सिलिण्डर का व्यास 200 mm तथा स्ट्रोक 300 mm है। वायु का सम्पीडक में प्रवेश पर दाब एवं तापमान 1 bar तथा 15° C है। निकास दाब 6 bar है। सम्पीडन $PV^{1.2} = C$ का अनुसरण करती है तथा सम्पीडक की गति 100 rpm है।

निम्न की गणना कीजिए—

(a) वायु का द्रव्यामन (b) अंतिम तापमान (c) सूचित शक्ति

उत्तर— 1.137, 388.2 K, 3.271 kW

20. एकल चरण एकल क्रिया सम्पीडक को 30 m^3/hr से शुद्ध वायु प्रदान की जाती है। प्रवेश दाब एवं निकास दाब क्रमशः 1.0 bar तथा 6.0 bar हैं। सम्पीडक की आयतनिक दक्षता 0.8, समतापीय दक्षता 0.75 तथा यान्त्रिक दक्षता 0.80 है। मध्य प्रभावी दाब तथा सम्पीडक के लिए आवश्यक शक्ति की गणना कीजिए।

उत्तर— 1.914 bar, 2.49 kW

21. निम्न की गणना कीजिए—

(i) स्ट्रोक की लम्बाई (ii) पिस्टन का व्यास (iii) सूचित शक्ति

यदि एकल क्रिया वायु सम्पीडक के परीक्षण से निम्न आँकड़े प्राप्त होते हैं—

(a) प्रवेश दाब = 101.325 kPa

(b) प्रवेश तापमान = 15°C

(c) मुक्त वायु प्रदायगी = 105 m^3/min

(d) निकास दाब = 98 kP_a

(e) निकास तापमान = 30° C

(f) निकास दाब = 40 kP_a

(g) गति = 220 rpm

(h) $n = 1.25$

(i) स्ट्रोक लम्बाई = बोर व्यास

(j) स्वेप्ट आयतन = 6% क्लीयरेन्स आयतन का

22. एकल सिलिण्डर पश्चाग्र सम्पीडक का बोर एवं स्ट्रोक क्रमशः 120 m तथा 150 mm है। सम्पीडक की गति 1200 rpm है। सम्पीडक का प्रारम्भिक दाब तथा तापमान 120 kP_a एवं 20°C है। सम्पीडक का अंतिम तापमान 215°C है। क्लीयरेन्स तथा आयतनिक दक्षता = 100% एवं $n = 1.3$ है।

निम्न की गणना कीजिए—

(i) दाब अनुपात (ii) सूचित शक्ति

(iii) शाफ्ट शक्ति यदि $\eta_{mech} = 0.80$ (iv) द्रव्यमान प्रवाह दर

उत्तर— 8.48, 11.27 kW, 14.1 kW, 0.0725 kg/sec

Study PowerPoint

23. एकल क्रिया वायु सम्पीडक के कार्य की गणना कीजिए यदि प्रवेश दाब एवं तापमान 1 bar तथा 27°C एवं निकास दाब 5 bar है। वायु का द्रव्यमान 1 kg है तथा वायु $PV^{1.3}$ का अनुसरण करती है।

उत्तर— 164.92 kJ

24. सम्पीडक में वायु का सम्पीडन 0.98 bar, 20°C से 9.8 bar तक होता है तथा वायु $PV^{1.2} = C$ का अनुसरण करती है। सम्पीडित वायु का तापमान तथा कार्य 1 kg ज्ञात कीजिए।

उत्तर— 157°C, 236 kJ

25. एक एकल क्रिया द्विचरण पश्चाग्र वायु सम्पीडक जिसमें अंतःशीतलक प्रयोग किया गया है, 6 kg/min की दर से सम्पीडित वायु 15 bar पर प्रदान करता है। सम्पीडक की प्रारम्भिक स्थिति 1 bar तथा 15°C है तथा सम्पीडन $PV^{1.3} = C$ का अनुसरण करती है।
शक्ति तथा समतापीय दक्षता की गणना कीजिए।

उत्तर— 26.15 kW, 0.856

◆ अन्य महत्वपूर्ण प्रश्न

1. वायु संपीडक को परिभाषित कीजिए।
2. वायु सम्पीडक के अनुप्रयोगों को लिखिए।
3. वायु सम्पीडक का वर्गीकरण कीजिए।
4. सम्पीडक की विभिन्न दक्षताओं को समझाइए।
5. आयतनिक दक्षता को प्रभावित करने वाले कारकों को लिखिए।
6. निम्न में अंतर स्पष्ट कीजिए—
   (i) पश्चाग्र एवं घूर्णक वायु संपीडक
   (ii) अपकेन्द्रीय एवं अक्षीय सम्पीडक
   (iii) एकल क्रिया एवं द्विक्रिया वायु सम्पीडक
7. निम्न को परिभाषित कीजिए—
   (a) रूट ब्लोअर संपीडक (b) वेन ब्लोअर संपीडक
8. एकल क्रिया पश्चाग्र वायु सम्पीडक में कार्य की गणना कीजिए।
9. निम्न को परिभाषित कीजिए—
   (a) प्रवेश एवं निकास दाब (b) दाब अनुपात
   (c) स्वेप्ट आयतन (d) मध्य प्रभावी दाब
   (e) वायु सम्पीडक की क्षमता
10. बहुचरण सम्पीडन को परिभाषित कीजिए।
11. अंतःशीतलक को परिभाषित कीजिए।
12. सम्पीडक स्पंदन को परिभाषित कीजिए।

◆ बहुविकल्पीय प्रश्न

1. रुद्धोष्म संपीडन है—
   (a) सम्पीडन के दौरान तापमान नियत रहता है (b) कार्य अधिकतम होता है
   (c) एन्ट्रॉपी घटती है
   (d) संपीडक सिलिण्डर में संपीडन के दौरान न तो ऊष्मा बाहर जाती है और न ही अंदर आती है।

[illegible] कार्य सम्पीडन के प्रकार में होती है—

(a) [illegible] प्रकार में (b) बहुविधि प्रकार में

(c) [illegible] प्रकार में (d) सभी में

[illegible] में कौन-सा सम्पीडक [illegible] होता है?

(a) [illegible] प्रवाह सम्पीडक (b) अक्षीय प्रवाह सम्पीडक

(c) अपकेन्द्रीय सम्पीडक (d) सभी

[illegible] शक्ति तथा ब्रेक शक्ति का अनुपात होता है—

(a) यांत्रिक दक्षता (b) आयतनिक दक्षता (c) सापेक्ष दक्षता (d) समतापीय दक्षता

[illegible] अनुपात होता है—

(a) [illegible] निकास दाब तथा [illegible] प्रवेश दाब का अनुपात होता है।

(b) निरपेक्ष निकास दाब तथा निरपेक्ष प्रवेश का अनुपात होता है।

(c) स्ट्रोक आयतन तथा क्लीयरेन्स आयतन दाब का अनुपात होता है।

(d) निकास एवं चूषण दाब का अनुपात होता है।

[illegible] शक्ति एवं शाफ्ट शक्ति का अनुपात होता है—

(a) सम्पीडक दक्षता (b) यांत्रिक दक्षता (c) समतापीय दक्षता (d) रूद्धोष्म दक्षता

[illegible] कार्य सम्पीडक का होता है—

(a) $\frac{n}{n-1}RT_1\left(\frac{T_2}{T_1}-1\right)$ (b) $\frac{n}{n-1}(P_1V_1-P_2V_2)$

(c) $\frac{n}{n-1}RT_1\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}-1\right]$ (d) इनमें से कोई नहीं

अपकेन्द्रीय सम्पीडक कार्य करता है—

(a) दाब ऊर्जा का गतिज ऊर्जा में रूपान्तरण पर (b) गतिज ऊर्जा का दाब ऊर्जा में रूपान्तरण पर

(c) (a) एवं (b) दोनों (d) इनमें से कोई नहीं

अक्षीय प्रवाह सम्पीडक होता है—

(a) अपकेन्द्रीय पम्प की तरह (b) पश्चाग्र पम्प

(c) टरबाइन (d) वेन सम्पीडक

सम्पीडक की आयतनिक दक्षता होती है—

(a) 20-30% (b) 60-70% (c) 70-90% (d) 90-100%

उत्तरमाला

1. (d) 2. (c) 3. (b) 4. (a) 5. (b) 6. (b) 7. (b) 8. (b) 9. (c) 10. (c)

❑❑❑

Study PowerPoint

Study PowerPoint

9 ऊष्मा अंतरण-परि

(Introduction to Heat Tran

9.1. परिचय (Introduction)

तापीय विज्ञान के अंतर्गत ऊष्मागतिकी एवं ऊष्मा अंतरण आता है। ऊष्मा अंतरण विज्ञान के अंतर्गत हम ऊष्म की दर का विश्लेषण करते हैं जो किसी निकास के अंदर या निकाय के बाहर किसी भौतिक माध्यम में होता है। यह है कि ऊष्मा का स्थानान्तरण उच्च तापमान के क्षेत्र से निचले तापमान के क्षेत्र में होता है। तापमान वितरण अ हस्तान्तरण दर का ज्ञान विज्ञान और प्रौद्योगिकी के विभिन्न क्षेत्रों में आवश्यक है। उदाहरण के लिए, हीट एक्सचेंजर्स (कंडेन्सर, कूलिंग टावर्स) में हीट ट्रांसफर का विश्लेषण इन उपकरणों को आकार देने के लिए महत्वपूर्ण है। इ ऐरो-अंतरिक्ष प्रौद्योगिकी में तापमान वितरण और ऊष्मा हस्तान्तरण सुरक्षा सावधानियों के कारण आवश्यक होता

इसी प्रकार ऊष्मा के नुकसान को कम करने के लिए इमारतों के डिजाइन में ऊष्मा हस्तान्तरण के आवश्यकता होती है।

ऊष्मा हस्तान्तरण की विधियाँ—मुख्यत: चालन, संवहन और विकिरण का अध्ययन किया जाता है।

9.2. ऊष्मा अंतरण की विधि (Modes of Heat Transfer)

सामान्यत: ऊष्मा अंतरण की तीन विधियाँ होती हैं—

1. चालन (Conduction)
2. संवहन (Convection)
3. विकिरण (Radiation)

1. चालन (Conduction)—चालन ऊष्मा अंतरण का वह तंत्र है जिसमें ऊष्मा का स्थानान्तरण उच्च ता क्षेत्र से निम्न तापमान के क्षेत्र तक होता है। यह अणुओं के अनियमित टक्कर से या अणुओं के कम्पन द्वारा या यदि वे तो मुक्त इलेक्ट्रॉनों द्वारा होता है।

उदाहरण के लिए, जब छड़ एक छोर से धातु को गर्म करते हैं तो छड़ का दूसरा सिरा भी गर्म हो जाता

ऊष्मा चालन का मूलभूत नियम—इसे "Fourier Law of heat conduction" भी कहते हैं जिसे फ्रेन्च J.B.J. Fourier ने प्रतिपादित किया था।

इस नियम के अनुसार, किसी दिशा में ऊष्मा चालन की दर सामान्य रूप से ऊष्मा के प्रवाह की दिशा और उ में तापमान प्रवणता के समानुपाती होती है।

गणितीय रूप से x दिशा में ऊष्मा चालन की दर—

Study PowerPoint

$$q_x \propto A_x \frac{dt}{dx}$$

$$\boxed{q_x = -KA_x \frac{dt}{dx}}$$

जहाँ q_x = ऊष्मा चालन की दर (x दिशा में) [W]

A_x = x-दिशा के सापेक्ष क्षेत्रफल (m^2)

$\frac{dt}{dx}$ = तापमान ढाल x दिशा में [°C/m]

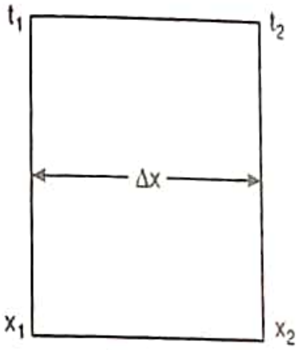
$= \frac{t_2 - t_1}{4x}$

K = ऊष्मीय चालकता

उपरोक्त समीकरण को निम्न प्रकार से लिखा जा सकता है—

$$q_x = -KA_x \frac{(t_2 - t_1)}{(x_2 - x_1)}$$

$$q_x = KA_x \frac{(t_1 - t_2)}{(x_2 - x_1)}$$



चित्र 9.1

$$q_x = KA_x \left(\frac{Dt}{\Delta x}\right)$$

जहाँ $\Delta t = t_2 - t_1$

$\Delta x = x_2 - x_1$

तापीय चालकता

Fourier समीकरण से हमें ज्ञात है कि

$$q = KA\left(\frac{\Delta t}{\Delta x}\right)$$

यदि $A = 1\,m^2$ और $\frac{\Delta t}{\Delta x} = 1°C/m$

तब $$k = q$$

चालकता ऊष्मा प्रवाह पथ की दिशा के लिए एक इकाई क्षेत्र के माध्यम से ऊष्मा प्रवाह दर को इंगित करता है यदि तापमान ढाल (temperature gradient) एकांक हो।

Study PowerPoint

अधिकांश सामग्री के लिए तापीय चालकता ऊष्मा प्रवाह, तापमान ढाल और क्षेत्रफल की दर को मापकर प्रयोगात्मक रूप से निर्धारित किया जा सकता है।

क्र०सं०	पदार्थ	तापीय चालकता (W/mK)
1.	**धातु**	
	चाँदी	427
	कॉपर	403
	एल्यूमीनियम	235
	कार्बन स्टील	61
	लोहा	82
	स्टेनलेस स्टील	16
2.	**कुचालक पदार्थ**	
	एस्बेस्टस	0.079
	कार्क	0.038
	लकड़ी	0.16
	ग्लास	1.4
3.	**द्रव एवं गैसें**	
	बर्फ	0.186
	वायु	0.027
	जल	0.0198

2. संवहन—ऊष्मा अंतरण की इस विधि में ऊष्मा का स्थानान्तरण चलित द्रवों के माध्यम से किया जाता है।

संवहन सामान्यत: दो प्रकार का होता है—

- मुक्त संवहन (Free convection)
- बलपूर्वक संवहन (Forced convection)

मुक्त संवहन (Free convection)

इस प्रक्रिया मे तापमान परिवर्तन के कारण धनात्मक अंतर के परिणामस्वरूप उत्प्लावित बलों द्वारा मुक्त संवहन द्रवगतिकी की स्थापना की जाती है। जब द्रव गर्म सतह के सम्पर्क में आता है तो सतह से सारे द्रव के कण गर्म हो जाते हैं और उसका घनत्व कम हो जाता है। जबकि सतह से तरल पदार्थ का घनत्व अधिक हो जाता है और नीचे का तरल पदार्थ कम घनत्व वाला होता है और ऊपर की ओर जाता है। इस तरह से एक संवहन करंट आता है जिसको स्थापित किया जाता है और द्रव को गर्म किया जाता है।

उदाहरण के लिए हीटर द्वारा कमरे की हवा को गर्म या पाट के जल को गर्म करना।

बलपूर्वक संवहन (Forced Convection)

इस विधि का सर्वोत्तम उदाहरण है पंखा। यदि द्रव की गति एक पंखे, पम्प या ब्लोअर से प्रेरित होती है जो द्रव को सतह पर प्रवाहित करता है तो ऊष्मा हस्तान्तरण को Forced convection के रूप में जाना जाता है।

Study PowerPoint

...के मूलभूत नियम (Basic Law of Convection)

...का कूलिंग नियम (Newton's Law of Cooling)—इस नियम के अनुसार, ऊष्मा अंतरण की दर सतह क्षेत्र ... जो इस ऊष्मा अंतरण में भागीदारी करता है और यह सतह तथा द्रव के बीच के तापमान के भी सीधे अनुपाती होता है ... है।

...रूप से

$$q \propto A$$

$$\theta \propto (t_s - t_f)$$

$$\boxed{q = hA\,(t_s - t_f)}$$

A = ऊष्मा अंतरण में प्रयुक्त क्षेत्र

t_s = सतह तापमान (°C)

t_f = द्रव तापमान

h = नियतांक (औसत ऊष्मा अंतरण गुणांक)

विकिरण

विकिरण विद्युत चुम्बकीय तरंगों द्वारा ऊर्जा का संचरण है। विद्युत चुम्बकीय तरंगों के रूप में निकाय द्वारा उत्सर्जित ... को विकिरण ऊर्जा के रूप में कहा जाता है।

ऊष्मा विकिरण के इस विधि में ऊष्मा हस्तांतरण करने के लिए किसी माध्यम की आवश्यकता नहीं होती है। निरपेक्ष ... से ऊपर के तापमान पर सभी निकाय सभी तरंग लम्बाई के विद्युत चुम्बकीय तरंगो के रूप मे उत्सर्जित करते है जिसे ... विकिरण कहते है। क्योंकि उनके ऊष्मीय विकिरण की वजह से अंतरिक्ष में सभी दिशाओ मे ऊष्मा विकरित होती है। ... इसे तापीय/ऊष्मीय विकिरण कहा जाता है।

विकिरण उनके तापमान के कारण शरीर द्वारा उत्सर्जित ऊर्जा का संचरण है। पूर्ण शून्य से ऊपर के तापमान पर सम्पूर्ण ... तापीय विकिरण उत्सर्जित करते है। चालन और संवहन के विपरीत ऊष्मा हस्तांतरण के विकिरण विधि द्वारा ऊर्जा के ... के लिए किसी माध्यम की आवश्यकता नहीं होती है। निर्वात मे विकिरण और भी अधिक प्रभावी ढंग से होता है। ... के लिए, यदि एक गर्म पिण्ड को निर्वात मे रखा जाएगा, तो विकिरण ताप हस्तांतरण के कारण इसका तापमान नीचे ... जाएगा क्योंकि निर्वात मे ऊष्मा स्थानान्तरण का कोई अन्य साधन संभव नहीं है।

मूल रूप से दो सिद्धान्तों को विकिरण ऊष्मा हस्तान्तरण के वास्तविक तंत्र की व्याख्या करने के लिए प्रस्तावित किया ... है। भले ही विकिरण का वास्तविक तंत्र पूरी तरह से समझा नहीं गया है।

(अ) मैक्सवेल के विद्युत चुम्बकीय सिद्धान्त—इस सिद्धान्त के अनुसार शरीर से ऊष्मा हस्तांतरण पूर्ण शून्य से ... के तापमान पर होता है क्योंकि विद्युत चुम्बकीय तरंगे इस तरंग अवधारणा का उपयोग सामग्रियों के विकिरण गुणों की ... करने के लिए किया जाता है।

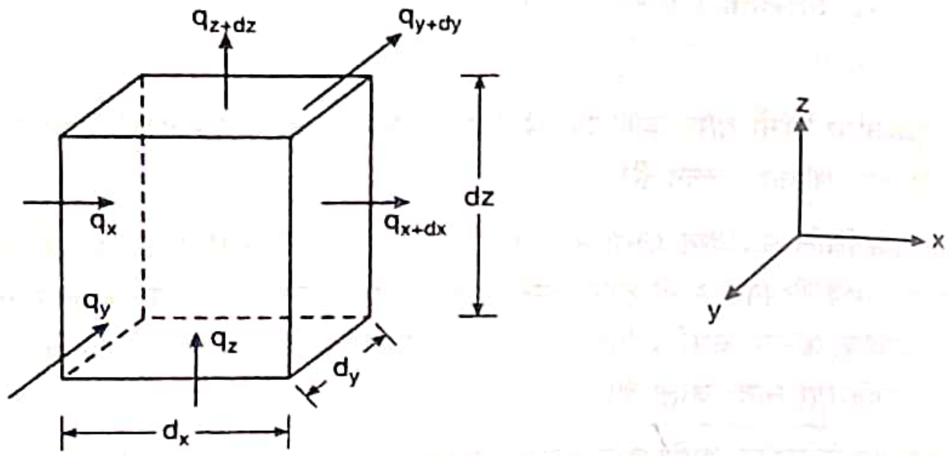
(ब) मैक्स-प्लैंक की अवधारणा—इस अवधारणा के अनुसार विकिरण द्वारा ऊष्मा हस्तान्तरण ऊर्जा के फोटॉन या ... के रूप मे होता है। प्रत्येक फोटॉन मे $h\nu$ के बराबर ऊर्जा होती है, जहाँ h प्लांक को स्थिरांक है और ν फोटॉनो की ... है। एक निश्चित तापमान पर शरीर द्वारा उत्सर्जित विकिरण ऊर्जा की भयावहता का अनुमान लगाने के लिए इस ... को नियोजित किया गया है।

Study PowerPoint

विकिरण के प्रकार	तरंग-दैर्घ्य रेंज
(Gamma rays) गामा किरण	4×10^{-7} से 1.4×10^{-4} μm
(X-rays) एक्स किरण	1×10^{-5} से 2×10^{-2} μm
(Ultraviolet rays) पराबैंगनी किरण	0.02 से 0.4 μm
(Visible radiaton) दर्शनीय विकिरण	0.38 से 0.76 μm
(Thermal radiation) तापीय विकिरण	0.1 से 100 μm
(Solar radiation) सोलर विकिरण	0.1 से 4 μm
(Radio waves) रेडियो किरण	92 से 2×10^{10} μm

9.3. स्थिर अवस्था चालन (Steady State Conduction)

माना एक अवयव को सबसे सूक्ष्मतम भाग लेते हैं जो चित्र में प्रदर्शित किया गया है—



चित्र 9.2

उपरोक्त चित्र के आधार पर—

निकाय के लिए कुल ऊर्जा

अवयव में ऊष्मा चालन की नेट दर + अवयव में आंतरिक ऊर्जा जनन की दर = अवयव आंतरिक ऊर्जा में प... की दर

i.e., $$\{[q_x + q_y + q_z] - [q_{x+dx} + q_{y+dy} + q_{z+dz}]\} + q_g \times dx.dy.dz = \frac{dE}{d\tau}$$

जहाँ $$dE = mcdt = (\rho \times dx.dy.dz)\,cdt$$

$$(q_x - q_{x+dx}) + (q_y - q_{y+dy}) + (q_z - q_{z+dz}) + q_g\, dx.dy.dz.$$
$$= (\rho.dx.dy.dz.)\,c\frac{dt}{d\tau}$$

जब ऊष्मा अंतरण x-दिशा में होता है

$$q_x = -k\,(dy.dz)\frac{dt}{dx}$$

Study PowerPoint

$$q_{x+dx} = q_x + \frac{dq_x}{dx}(dx)$$

और

$$q_x - q_{x+dx} = -\frac{dq_x}{dx}.dx$$

या

q_x का मान समीकरण (2) में रखने पर

$$q_x - q_{x+dx} = -\frac{d}{dx}\left\{(-k dy.dz)\frac{dt}{dx}\right\}dx$$

$$q_x - q_{x+dx} = \frac{d}{dx}\left(k\frac{dt}{dx}\right)dx.dy.dz \quad ...(3)$$

या

y एवं z दिशा में,

$$q_y - q_{y+dy} = \frac{d}{dy}\left(k\frac{dy}{dy}\right)dx.dy.dz \quad ...(4)$$

$$q_z - q_{z+dz} = \frac{d}{dz}\left(k\frac{dt}{dz}\right)dx.dy.dz \quad ...(5)$$

और

उपरोक्त मान (2, 3, 4, 5) को समीकरण (1) में रखने पर,

$$\frac{d}{dx}\left(k\frac{dt}{dx}\right)dV + \frac{d}{dy}\left(k\frac{dt}{dy}\right)dV + \frac{d}{dz}\left(k\frac{dt}{dz}\right)dV$$

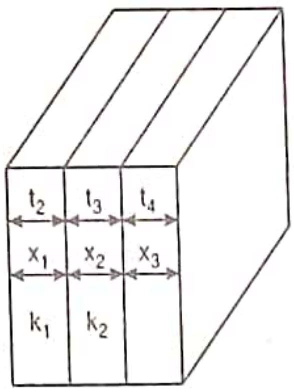
$$+q_g dV = \rho dV_c \frac{dt}{d\tau}$$

$$\frac{d}{dx}\left(k\frac{dt}{dx}\right) + \frac{d}{dy}\left(k\frac{dt}{dy}\right) + \frac{d}{dz}\left(k\frac{dt}{dz}\right) + q_g = \frac{\rho c dt}{d\tau}$$

9.4. सम्मिलित संरचना (Composite Structure)

सम्मिलित वाल (Composite Wall)

सम्मिलित वाल को चित्र में प्रदर्शित किया गया है—

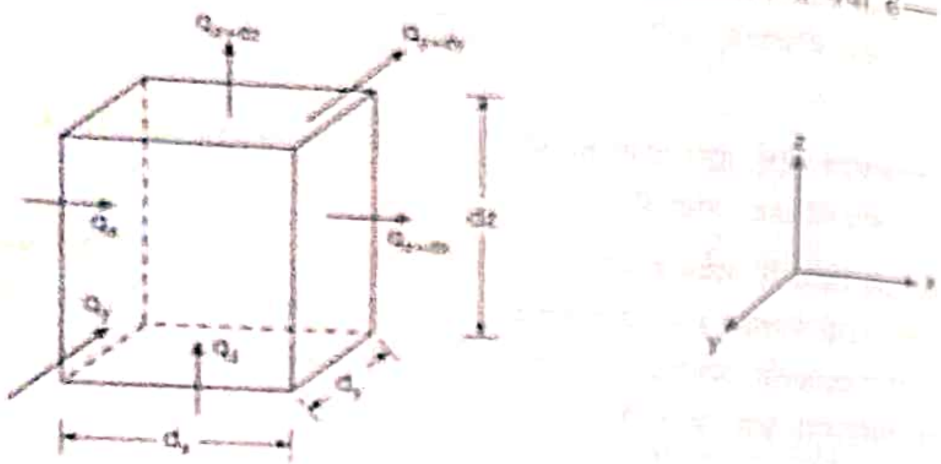


चित्र 9.3

विकिरण के प्रकार	तरंग-दैर्ध्य रेंज
(Gamma rays) गामा किरण	4×10^{-7} से 1.4×10^{-4} μm
(X-rays) एक्स किरण	1×10^{-5} से 2×10^{-2} μm
(Ultraviolet rays) पराबैंगनी किरण	0.02 से 0.4 μm
(Visible radiation) दर्शनीय विकिरण	0.38 से 0.76 μm
(Thermal radiation) तापीय विकिरण	0.1 से 100 μm
(Solar radiation) सोलर विकिरण	0.1 से 4 μm
(Radio waves) रेडियो किरण	92 से 2×10^{10} μm

9.3. स्थिर अवस्था चालन (Steady State Conduction)

माना एक अवयव को सबसे सूक्ष्मतम भाग लेते हैं जो चित्र में प्रदर्शित किया गया है—



चित्र 9.2

उपरोक्त चित्र के आधार पर—

निकाय के लिए कुल ऊर्जा

अवयव में ऊष्मा चालन की नेट दर + अवयव में आंतरिक ऊर्जा जनन की दर = अवयव आंतरिक ऊर्जा में वृद्धि की दर

i.e., $$\{[q_x + q_y + q_z] - [q_{x+dx} + q_{y+dy} + q_{z+dz}]\} + q_g \times dx.dy.dz = \frac{dE}{d\tau}$$

जहाँ $$dE = mcdt = (\rho \times dx.dy.dz)\,cdt$$

$$(q_x - q_{x+dx}) + (q_y - q_{y+dy}) + (q_z - q_{z+dz}) + q_g\,dx.dy.dz$$
$$= (\rho.dx.dy.dz.)\,c\frac{dt}{d\tau}$$

जब ऊष्मा अंतरण x-दिशा में होता है

$$q_x = -k\,(dy.dz)\frac{dt}{dx}$$

Study PowerPoint

$$q_{x+dx} = q_x + \frac{dq_x}{dx}(dx)$$

और

$$q_x - q_{x+dx} = -\frac{dq_x}{dx}\,dx$$

q_x का मान समीकरण (2) में रखने पर

$$q_x - q_{x+dx} = -\frac{d}{dx}\left\{(-k\,dy\,dz)\frac{dt}{dx}\right\}dx$$

$$q_x - q_{x+dx} = \frac{d}{dx}\left(k\frac{dt}{dx}\right)dx\,dy\,dz \qquad ...(3)$$

इसी प्रकार y एवं z दिशा में,

$$q_y - q_{y+dy} = \frac{d}{dy}\left(k\frac{dt}{dy}\right)dx\,dy\,dz \qquad ...(4)$$

और

$$q_z - q_{z+dz} = \frac{d}{dz}\left(k\frac{dt}{dz}\right)dx\,dy\,dz \qquad ...(5)$$

उपरोक्त मान (2, 3, 4, 5) को समीकरण (1) में रखने पर,

$$\frac{d}{dx}\left(k\frac{dt}{dx}\right)dV + \frac{d}{dy}\left(k\frac{dt}{dy}\right)dV + \frac{d}{dz}\left(k\frac{dt}{dz}\right)dV$$

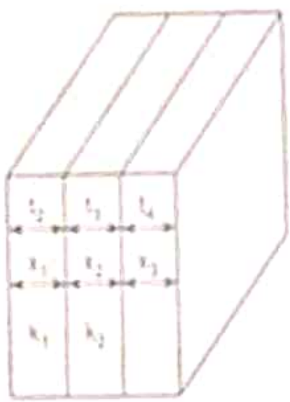
$$+q_g\,dV = \rho\,dV\,c\,\frac{dt}{d\tau}$$

$$\frac{d}{dx}\left(k\frac{dt}{dx}\right) + \frac{d}{dy}\left(k\frac{dt}{dy}\right) + \frac{d}{dz}\left(k\frac{dt}{dz}\right) + q_g = \frac{\rho c\,dt}{d\tau}$$

9.4. सम्मिलित संरचना (Composite Structure)

सम्मिलित वाल (Composite Wall)

सम्मिलित वाल को चित्र में प्रदर्शित किया गया है—



चित्र 9.3

Study PowerPoint

चित्र के अनुसार—

माना एक सम्मिलित वाल जिसकी मोटाई x_1, x_2 एवं x_3 है जो चित्र में प्रदर्शित है।

इसका मुख्य उद्देश्य—

- ऊष्मा अंतरण दर को ज्ञात करना
- अंतराफलक (Interface) तापमान t_2, t_3 एवं सतह तापमान t_1 एवं t_4 ज्ञात करना।
- Overall heat transfer coefficient को ज्ञात करना।

विश्लेषण (Analysis)—

ऊष्मा अंतरण की दर

$$q = h_i A (t_i - t_o)$$

Also,
$$q = h_i A(t_i - t_o) = \frac{k_1 A}{x_1}(t_1 - t_2) = \frac{k_2 A}{x_2}(t_2 - t_3) = \frac{k_3 A}{x_3}(t_3 - t_4)$$
$$= h_o A(t_4 - t_o)$$

हम इसे इस प्रकार से भी लिख सकते हैं—

$$t_i - t_1 = qR_1$$
$$t_1 - t_2 = qR_2$$
$$t_2 - t_3 = qR_3$$
$$t_3 - t_4 = qR_4$$
$$t_4 - t_o = qR_5$$

जोड़ने पर

$$t_i - t_o = q[R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5]$$

या
$$t_i - t_o = q\Sigma R$$

$$\boxed{q = \frac{t_i - t_o}{\Sigma R}}$$

उपरोक्त से हम t_1, t_2, t_3 एवं t_4 ज्ञात कर सकते हैं।

‖ सारांश ‖

- ऊष्मा अंतरण की विधि सामान्यतः तीन प्रकार की होती है–
  1. चालन
  2. संवहन
  3. विकिरण
- **1. चालन**–यह ठोस पदार्थ के लिए प्रयुक्त होता है। इसमें उच्च तापमान से निम्न तापमान की ओर ऊष्मा का अंतरण होता है।

  इसमें
  $$q_x = -kA_x \frac{dt}{dx}$$
- **तापीय चालकता**–इसमें ऊष्मा प्रवाह पथ की दिशा के लिए एक इकाई क्षेत्र के माध्यम से ऊष्मा प्रवाह दर को इंगित करता है यदि तापमान ढाल एकांक हो।

Study PowerPoint

- **संवहन**–इसमें ऊष्मा का स्थानान्तरण चलित द्रवों के माध्यम से किया जाता है।

  यह दो प्रकार का होता है–

  मुक्त संवहन

  बलपूर्वक संवहन

- **न्यूटन का कूलिंग नियम**–

$$q = hA(t_s - t_f)$$

- **विकिरण**

  विकिरण चुम्बकीय तरंगों द्वारा ऊर्जा का संचरण है।

  विद्युत चुम्बकीय तरंगों के रूप में निकाय द्वारा उत्सर्जित ऊर्जा को विकिरण ऊर्जा के रूप में कहा जाता है।

  इसमें दो नियम प्रतिपदित किए गए हैं–

  (i) मैक्सवेल के विद्युत चुम्बकीय सिद्धान्त

  (ii) मैक्स-प्लैंक की अवधारणा

- **स्थिर अवस्था चालन**

$$\frac{d}{dx}\left(k\frac{dt}{dx}\right)dV + \frac{d}{dy}\left(k\frac{dt}{dx}\right)dV + \frac{d}{dz}\left(k\frac{dt}{dz}\right)dV + q_g\,dv = \rho dV_c \frac{dt}{d\tau}$$

- **सम्मिलित संरचना**

$$q = \frac{t_1 - t_o}{\Sigma R}$$

अभ्यास

1. ऊष्मा अंतरण से आप क्या समझते है?
2. ऊष्मा अंतरण की विभिन्न विधियों को लिखिए।
3. निम्न को समझाइए—

   (a) चालन (b) संवहन (c) विकिरण
4. Fourier समीकरण को लिखिए।
5. तापीय चालकता से आप क्या समझते हैं?
6. संवहन क्या है? संवहन के प्रकार लिखिए।
7. न्यूटन के कूलिंग नियम को समझाइए।
8. विकिरण को परिभाषित कीजिए।
9. निम्न को समझाइए—

   (a) मैक्सवेल के विद्युत चुम्बकीय सिद्धान्त

   (b) मैक्स-प्लैंक की अवधारणा
10. निम्न का समीकरण लिखिए—

    (a) स्थिर अवस्था चालन समीकरण

    (b) सम्मिलित वाल समीकरण

Study PowerPoint

✦ वस्तुनिष्ठ प्रश्नावली

1. निम्न में से कौन-सा कथन सही है?
(a) $q_x = -KA_x \frac{dt}{dx}$
(b) $q_x = -\frac{KA_x(t_2 - t_1)}{(x_2 - x_1)}$
(c) $q_x = \frac{KA_x(t_1 - t_2)}{(x_2 - x_1)}$
(d) All

2. चाँदी की तापीय चालकता होती है—
(a) 403 (b) 235 (c) 61 (d) 427

3. यदि $k = q$ तब—
(a) $A = 1\,m^2$ (b) $\frac{\Delta t}{\Delta x} = 1°\,C/m$ (c) (a) and (b) (d) इनमें से कोई नहीं

4. बर्फ की तापीय चालकता होती है—
(a) 0.186 (b) 0.0018 (c) 0.086 (d) 186

5. कौन-सा कथन सही है?
(a) $q = -h_A\,(t_s - t_f)$ (b) $q = \frac{h(t_s - t_f)}{A}$ (c) $q = h\,(t_s - t_f)$ (d) $q = hA(t_s - t_f)$

उत्तरमाला

1. (d) 2. (d) 3. (c) 4. (a) 5. (d)

❑❑❑

Study PowerPoint

10

अंतर्दहन इंजन
(Internal Combustion Engine)

10.1. अंतर्दहन इंजन : परिचय (Introduction of IC Engine)

शब्द IC Engine का अर्थ है Internal Combustion Engine अर्थात् अंतर्दहन इंजन। अंतर्दहन इंजन वह इंजन है जिसमें ईंधन का दहन सिलेण्डर के अंदर होता है।

"In Internal Combustion engine fuel combustion takes place inside the engine cylinder."

उदाहरण के लिए—

(i) गैस इंजन जिसमें ईंधन के रूप में गैस का इस्तेमाल किया जाता है।

(ii) पेट्रोल इंजन जिसमें ईंधन के रूप में हल्के द्रव जैसे पेट्रोल का इस्तेमाल किया जाता है।

(iii) डीजल इंजन जिसमें ईंधन के रूप में भारी द्रव जैसे डीजल का इस्तेमाल किया जाता है।

अंतर्दहन इंजन के प्रमुख गुण–

(i) इसकी सम्पूर्ण दक्षता (overall efficiency) उच्च होती है।

(ii) इसकी यंत्रावली (mechanism) सरल होती है।

(iii) इसमें निम्न भार एवं शक्ति अनुपात (low weight and power ratio) होता है।

(iv) इसका मूल्य अपेक्षाकृत कम होता है।

(v) यह आसानी से चालू हो जाता है।

(vi) यह compact होता है तथा कम स्थान घेरता है।

10.2. IC इंजन का विकास (Development of IC Engine)

- अंतर्दहन इंजनों का प्रारम्भ 1629-1695 ई० में हुआ जब प्रसिद्ध डच भौतिक-विज्ञानी ह्यूगन्स (Dutch physicist Hygens) ने पहला गन पाउडर इंजन (Gun Powdered Engine) बनाया था।
- निकोलस कूगनाट (Nicholas Cugnot) ने 1770 में पहला vehicle बनाया जो स्वयं उत्पादित शक्ति पर प्रचालित था।
- इसके पश्चात् लिनयर (Lenoir) द्वारा 1860 में पहला कोल गैस (Coal gas) पर आधारित इंजन बनाया गया जिसे लिन्यर इंजन (Lenoir Engine) कहा गया।
- जर्मनी में 1866 में एक ऐसे इंजन का निर्माण हुआ जिसमें Piston and Crank Shaft में कोई connection नहीं था। शक्ति का संचरण flywheel के माध्यम से Rack and pinion arrangement द्वारा किया गया।
- इस इंजन का नाम OTTO-LANGEN FREE PISTON ENGINE रखा गया।
- 1862-1866 में जर्मन इंजीनियर निकोलस अगस्त आटो (Nikolas August Otto) द्वारा पहला 4-stroke engine बनाया गया। यह इंजन 4-stroke engine के क्षेत्र का स्तम्भ सावित हुआ। आज यह इंजन 4-stroke spark ignition engine के नाम से प्रसिद्ध है।

Study PowerPoint

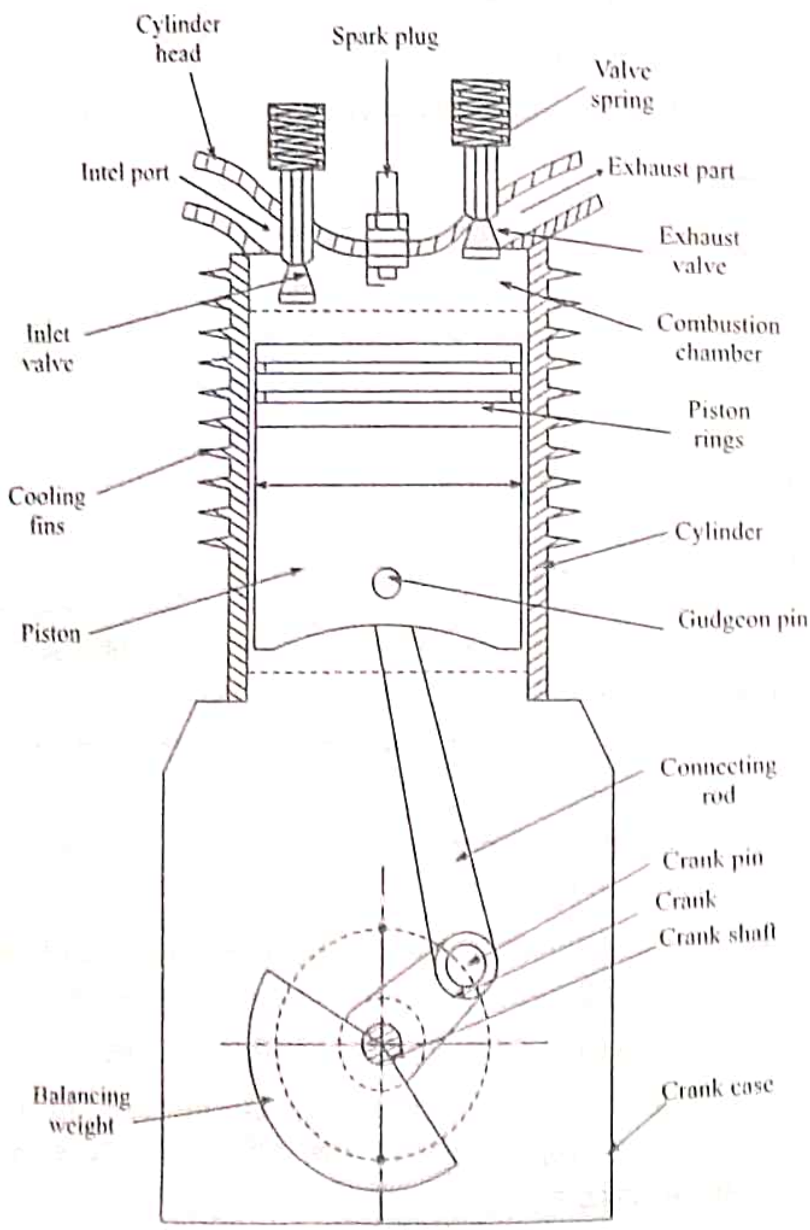
- 1892 में जर्मन इंजीनियर रूडोल्फ डीजल (Rudolf Diesel) द्वारा एक ऐसे इंजन का निर्माण किया गया airless injection system पर आधारित था। आज यह इंजन 4-stroke compression ignition engine के से प्रसिद्ध है।

अन्य प्रमुख इंजन

- अमेरिका द्वारा 1873 में एक ऐसा इंजन बनाया गया जो स्थिर दाब दहन तथा ईंधन का सम्पूर्ण वातावरणीय दाब तक (Constant pressure combustion and complete expansion upto atmospheric pressure) पर आधारित था जिसे BARY TON ENGINE नाम दिया गया।
- ब्रिटिश इंजीनियर द्वारा 1885 में एक ऐसा इंजन बनाया गया जो Single cylinder with shorton suction stroke पर आधारित था, इसे Atkinson Engine कहा गया।

❑ 10.3. अंतर्दहन इंजन के विभिन्न अंग, उनके कार्य तथा पदार्थ जिससे निर्मित हैं (Location and Function of Various Parts of IC Engine and Material Used for them)

अंतर्दहन इंजन का व्यवस्थित आरेख निम्नलिखित है—



चित्र 10.1

Study PowerPoint

अंतर्दहन इंजन के प्रमुख अंग (Parts) निम्नलिखित हैं—

(i) सिलिण्डर (Cylinder)
(ii) सिलिण्डर हैड (Cylinder Head)
(iii) पिस्टन (Piston)
(iv) पिस्टन रिंग (Pistion Ring)
(v) पिस्टन पिन (Piston pin or Gudgeon Pin)
(vi) कनेक्टिंग रॉड (Connecting Rod)
(vii) क्रैंक शॉफ्ट (Crank Shaft)
(viii) क्रैंक (Crank)
(ix) इंजन बियरिंग (Engine Bearing)
(x) क्रैंक केस (Crank Case)
(xi) वाल्व एवं वाल्व स्प्रिंग (Valve and Valve Spring)
(xii) फ्लाई व्हील (Fly Wheel)
(xiii) गवर्नर (Governor)

पेट्रोल इंजन में प्रयोग होने वाले अन्य प्रमुख अंग–

(a) स्पार्क प्लग (Spark plug)
(b) कारबुरेटर (Carburettor)
(c) फ्यूल पम्प (Fuel Pump)

डीजल इंजन में प्रयुक्त होने वाले अन्य प्रमुख अंग–

(a) इंजेक्टर (Injector)
(b) फ्यूल पम्प (Fuel Pump)

(i) सिलिण्डर (Cylinder)—यह सामान्यत: उच्च ग्रेड ढलवां लोहे (High grade cast iron) का बना होता है तथा इसे one piece ही cast करते हैं।

अन्य पदार्थ जिससे सिलिण्डर बनाया जा सकता है—Steel alloy, Aluminium alloys

सिलेण्डर के मुख्य कार्य निम्नलिखित हैं—

- सिलेण्डर में गैस उच्च दाब पर भरा रहता है।
- सिलिण्डर के अंदर पिस्टन को guide करता है।

सिलिण्डर के अंदर का दाब एवं ताप क्रमश: 70 bar एवं 250°C होता है।

(ii) सिलिण्डर हेड (Cylinder Head)—यह ढलवाँ लोहे एवं ऐल्यूमिनियम (Cast iron and aluminium) का बना होता है। इसमें दो वाल्व लगे होते है—

- पहला प्रवेश वाल्व (Inlet valve)
- दूसरा निकास वाल्व (Exhaust valve)

हेड में स्पार्क प्लग एवं इंजेक्टर को Drill एवं Thread करके लगाया जाता है।

सिलिण्डर हेड के मुख्य कार्य—

- इसका मुख्य कार्य सिलिण्डर के कार्यकारी भाग को ढकना होता है।
- गैसों के प्रवाह को वाल्व के माध्यम से नियंत्रित करना होता है।

(iii) पिस्टन (Piston)—Piston, Cast Steel or Aluminium का बना होता है। पिस्टन प्रत्येक सिलिण्डर के साथ जुड़ा होता है जो सिलिण्डर के गैसीय दाब को Connecting Rod तथा Crank पर स्थानान्तरित करता है।

- पिस्टन सिलिण्डर के साथ पश्चाग्र गति (Reciprocating Motion) करता है।
- पिस्टन उच्च सामर्थ्य (High strength material) का बना होता है।

(iv) पिस्टन रिंग (Piston Ring)—सिलिण्डर के अन्दर पिस्टन को Loose Fit बनाए रखने के लिए पिस्टन रिंग का इस्तेमाल किया जाता है। चूँकि यदि यह सिलिण्डर के अन्दर Tight fit होगा तो घर्षण के कारण टूट-फूट अत्यधिक होती है।

Study PowerPoint

पिस्टन रिंग Fine Grain Cast Iron का बना होता है जिसे कार्यकारी ऊष्मा को सहन करने के लिए उच्च प्रत्यास्थ (High Elastic) बनाया जाता है।

पिस्टन रिंग दो प्रकार का होता है—

- ऊपरी रिंग को संपीडन रिंग (Compression Ring) कहते हैं।
- निचली रिंग को ऑयल रिंग (Oil Ring) कहते हैं।

पिस्टन रंग में Oil groove बने होते हैं जिसमें छिद्रों की सहायता से स्नेहक तेल (Lubricating oil) को प्रवाहित एवं नियंत्रित करते हैं।

(v) पिस्टन पिन (Piston pin)—इसे Gudgeon Pin या Wrist Pin कहते हैं। यह स्पिंडल (Spindle) के आकार का Hardened Steel का बना होता है। यह पिस्टन को Connecting Rod के छोटे अंत (Small End) से जोड़ने का कार्य करता है।

यह खोखला बनाया जाता है चूँकि यह पश्चाग्र भाग होता है और इसे हल्का बनाना होता है।

(vi) कनेक्टिंग रॉड (Connecting Rod)—यह मुख्यत: Nickel, Chromium, Vanadium Steel or Aluminium का बना होता है।

Connecting Rod का एक छोर पिस्टन पिन द्वारा पिस्टन से जुड़ा होता है तथा दूसरा छोर क्रैंक पिन द्वारा क्रैंक से जुड़ा होता है।

Connecting Rod पिस्टन की पश्चाग्र गति को क्रैंक की घूर्णन गति (Rotary Motion) में परिवर्तित करने में सहायता करता है।

(vii) क्रैंक (Crank)—पिस्टन की पश्चाग्र गति को घूर्णन गति में परिवर्तित करने के लिए क्रैंक का इस्तेमाल किया जाता है। यह क्रैंक शॉफ्ट का अभिन्न अंग (Integral Part) होता है।

(viii) क्रैंक शॉफ्ट (Crank Shaft)—यह सामान्यत: Steel Forging विधि द्वारा बनाया जाता है।

Special type of Cast Iron का इस्तेमाल किया जाता है जैसे Spheroidal graphite nickel alloy.

क्रैंक शॉफ्ट मेन बियरिंग से जुड़ा होता है। क्रैंक शॉफ्ट को शक्ति इंजन सिलिण्डर के गैस द्वारा (वाया connecting rod, crank) प्राप्त होता है।

(ix) इंजन बियरिंग (Engine Bearing)—क्रैंक शॉफ्ट को सहारने (Support) के लिए इंजन बियरिंग का इस्तेमाल किया जाता है। बियरिंग को तेल द्वारा स्नेहन (Lubrication) प्रदान किया जाता है जिससे गति सुगमता से होती है।

यह White Metal, Alloy Metal तथा Leaded Bronze द्वारा Casting करके बनाया जाता है।

यह दो प्रकार का होता है—

- Sliding
- Rolling

(x) क्रैंक केस (Crank Case)—इंजन का मुख्य भाग जिससे सिलिण्डर, पिस्टन होता है तथा इसके अंदर क्रैंक, शॉफ्ट, क्रैंक शॉफ्ट बियरिंग बँधा होता है। यह इन अंगों को धूल से बचाता है तथा स्नेहित करता है।

(xi) फ्लाई-व्हील (Flywheel)—यह Steel एवं Cast Iron Disc का बना होता है जिसे क्रैंक शॉफ्ट पर स्क्रू द्वारा बाँधा जाता है।

इसके प्रमुख कार्य निम्नलिखित हैं—

- ऊर्जा को प्रति चक्र संचित (Store) करता है।

Study PowerPoint

- क्रैंक शॉफ्ट को समान गति प्रदान (Store) करता है।
- इंजन की स्टार्टिंग में मदद करता है।

(xii) गवर्नर (Governor)—गवर्नर का उपयोग मुख्यत: fluctuation of engine speed का बदलते भार के अनुरूप व्यवस्थित करना होता है।

(xiii) वाल्व एवं वाल्व स्प्रिंग (Valve and valve spring)—मुख्यत: दो प्रकार के वाल्व लगे होते हैं—

- प्रवेश वाल्व (Inlet valve)
- निकास वाल्व (Outlet valve)

यह वाल्व पोपेट (Poppet) वाल्व द्वारा नियंत्रित किए जाते हैं। वाल्व के खुलने एवं बन्द होने में स्प्रिंग (spring) या वाल्व स्प्रिंग (valve spring) मदद करता है।

वाल्व का कार्य ईंधन को सिलिण्डर में प्रवेश कराना तथा बची हुई गैसों को इंजन सिलिण्डर से बाहर निकालना होता है।

(xiv) स्पार्क प्लग (Spark Plug)—यह पेट्रोल इंजन में प्रयोग किया जाता है। इसका प्रमुख दहन कक्ष में आवश्यक चिंगारी (spark) उत्पन्न करना होता है जिससे ईंधन का दहन हो सके।

स्पार्क प्लग सम्पीडन स्ट्रोक (Compresion Stroke) के अंत में चिंगारी (Spark) उत्पन्न करता है। इसमें धातु कक्ष बना होता है जिसमें दो इलेक्ट्रोड लगे होते हैं तथा जिन्हें एक-दूसरे से वायु गैप (Air Gap) की सहायता से Insulate किया जाता है। सप्लाई इलेक्ट्रोड से उच्च तनन विद्युत (high tension current) उत्पन्न होता है, जिसमें आवश्यक चिंगारी प्राप्त होती है।

(xv) कारबुरेटर (Carburettor)—Carburettor का मुख्य कार्य ईंधन को कणीकृत (atomize) करके उसे उपयुक्त मात्रा में वायु के साथ मिश्रण बनाकर इंजन सिलिण्डर में प्रवेश कराना होता है।

वायु तथा ईंधन का उपयुक्त मात्रा में मिश्रण बनाने की प्रक्रिया को कार्बुरीकरण (carburation) कहते हैं।

पेट्रोल इंजन में ईंधन एवं वायु के मिश्रण का अनुपात 15.1 (द्रव्यमान) होता है।

कारबुरेटर बरनौली के प्रमेय पर आधारित होता है—

$$\boxed{C^2 = 2gh}$$

जहाँ C = Velocity (m/sec)

h = Head Causing the flow (m में)

Mass flow rate इस समीकरण द्वारा प्राप्त किया है—

$$\boxed{m = \rho A\sqrt{2gh}}$$

ρ = Density of fuel (ईंधन का घनत्व)

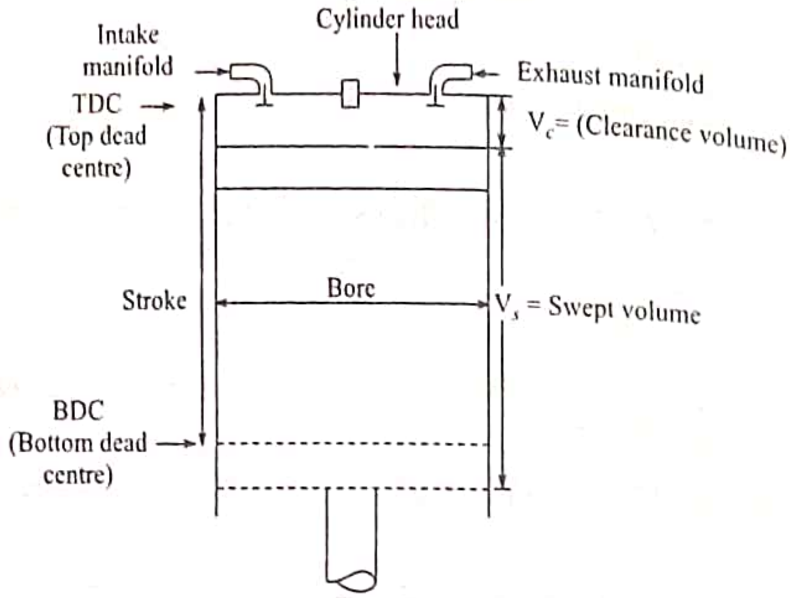
A = Cross-sectional area of fluid stream (द्रव धारा का क्षेत्रफल)

(xvi) इंजेक्टर (Injector)—इसे Fuel atomizer भी कहा जाता है। यह डीजल इंजन में प्रयोग किया जाता है। इसका प्रमुख कार्य ईंधन को स्प्रे (फुहार) के रूप में इंजन सिलिण्डर में प्रवेश कराना होता है, जिससे ईंधन उच्च सपीडित हो सके।

10.4. अंतर्दहन इंजन में प्रयुक्त प्रमुख पद (Terms used in IC Engine)

अंतर्दहन इंजनों में प्रयुक्त प्रमुख पद निम्नलिखित हैं—

(i) बोर (Bore)—सिलिण्डर के आंतरिक व्यास को बोर कहते हैं।



चित्र 10.2

Internal diameter of cylinder is known as Bore.

(ii) स्ट्रोक (Stroke)—दोनों डेड सेन्टरों के बीच की रेखीय दूरी को स्ट्रोक कहते हैं।

या

पिस्टन की लम्बाई को स्ट्रोक कहते हैं। "Length of piston is known as stroke."

(iii) डेड सेन्टर (Dead centre)—मुख्यत: इंजन सिलिण्डर में दो डेड सेन्टर होते हैं।

(a) ऊपरी डेड सेन्टर (Top Dead Centre, TDC)

(b) निचली डेड सेन्टर (Bottom Dead Centre, BDC)

(a) **ऊपरी डेड सेन्टर** (Top Dead Centre, TDC)—पिस्टन की सिलिण्डर छोर से सबसे ऊपरी स्थिति Top Dead Centre कहलाती है। इसे क्षैतिज इंजन में आंतरिक डेड सेन्टर (Inner Dead Centre) IDC कहते हैं।

(b) **निचली डेड सेन्टर** (Bottom Dead Centre, BDC)—पिस्टन की क्रैंक की तरफ से निचली स्थिति को Bottom Dead Centre कहते हैं।

क्षैतिज इंजन में इसे बाहरी डेड सेन्टर (Outer Dead Centre, ODC) कहते हैं।

(iv) क्लीयरेन्स आयतन (Clearance Volume)—पिस्टन की ऊपरी सतह (Top Dead Centre) से ऊपर के आयतन को Clearance Volume कहते हैं। इसे "V_c" द्वारा प्रदर्शित करते हैं।

(v) स्वेप्ट आयतन या पिस्टन विस्थापन (Swept volume or piston displacement)—जब Piston TDC से BDC की ओर जाता है तो पिस्टन द्वारा घेरे गये आयतन को Swept Volume कहते हैं। इसे "V_s" द्वारा प्रदर्शित करते हैं।

(vi) कुल आयतन (Total Volume)—सिलिण्डर का कुल आयतन, क्लीयरेन्स आयतन (V_c) तथा स्वेप्ट आयतन का योग होता है। इसे V द्वारा प्रदर्शित करते हैं।

$$V = V_c + V_s$$

(vii) संपीडन अनुपात (Compression ratio)—यह सिलिण्डर के कुल आयतन तथा क्लीयरेन्स आयतन का अनुपात होता है।

Ratio of total volume to the clearance volume is known as compression ratio.

इसे "r" द्वारा प्रदर्शित किया जाता है।

Study PowerPoint

$$r = \frac{V}{V_C} = \frac{V_C + V_S}{V_C} = 1 + \frac{V_S}{V_C}$$

(viii) **पिस्टन गति** (Piston speed)—पिस्टन की औसत गति को पिस्टन गति (piston speed) कहते हैं।

$$\text{Piston speed} = 2LN$$

L = Length of piston (m)

N = Speed of Engine (in rpm)

10.5. अन्तर्दहन इंजन का वर्गीकरण (Classification of IC Engine)

अंतर्दहन इंजनों का वर्गीकरण निम्न आधार पर किया गया है—

(i) **स्ट्रोक प्रति चक्र (Stroke per cycle) के आधार पर—**

(a) दो-स्ट्रोक इंजन (Two-Stroke Engine)

(b) चार-स्ट्रोक इंजन (Four-Stroke Engine)

(ii) **प्रयोग किये गये ऊष्मागतिकी चक्र (Thermodynamic Cycle) के आधार पर—**

(a) स्थिर दाब दहन चक्र या डीजल चक्र इंजन

(Constant pressure combustion cycle or Diesel cycle engine)

(b) स्थिर आयतन दहन चक्र या आटो चक्र इंजन

(Constant volume combustion cycle or OTTO cycle engine)

(iii) **सिलिण्डर-व्यवस्था (Cylinder Arrangement) के आधार पर—**

(a) क्षैतिज इंजन (Horizontal engine)

(b) ऊर्ध्वाधर इंजन (Vertical engine)

(c) V-टाइप इंजन (V-type engine)

(d) त्रिज्यीय इंजन (Radial engine)

(iv) **ज्वलन पद्धति (Ignition system) के आधार पर—**

(a) स्पार्क ज्वलन इंजन (SI, Spark ignition engine)

(b) संपीडन ज्वलन इंजन (CI, Compression ignition engine)

(v) **शीतलन (Cooling engine) के आधार पर—**

(a) वायु-शीतलन इंजन (Air cooled engine)

(b) जल शीतलन इंजन (Water cooled engine)

(vi) **ईंधन इस्तेमाल (Fuel used) के आधार पर—**

(a) पेट्रोल इंजन (Petrol engine)

(b) डीजल इंजन (Diesel engine)

(c) गैस इंजन (Gas engine)

Study PowerPoint

(vii) स्नेहन तंत्र के आधार पर (Lubrication system)—

(a) शुष्क हौदी स्नेहन (Dry sump lubrication) इंजन

(b) गीली हौदी स्नेहन (Wet sump lubrication) इंजन

(c) दाब स्नेहन (Pressure lubrication) इंजन

(d) चार्ज स्नेहन (Mist or charge lubrication) इंजन

(viii) सिलिण्डरों की संख्या (Number of Cylinders) के आधार पर—

(a) एकल सिलिण्डर इंजन (Single cylinder engine)

(b) बहु-सिलिण्डर इंजन (Multi-cylinder engine)

(ix) ईंधन सप्लाई तंत्र (Fuel supply system) के आधार पर—

(a) कार्बुरेटर इंजन (Carburettor engine)

(b) इंजेक्टर इंजन (Injector engine)

(x) इंजन स्पीड (Engine Speed) के आधार पर—

(a) निम्न स्पीड इंजन (Low speed engine)

(b) मध्यम स्पीड इंजन (Medium speed engine)

(c) उच्च स्पीड इंजन (High speed engine)

❑ 10.6. चार स्ट्रोक इंजन (4-Stroke engine)

चार स्ट्रोक इंजन में पिस्टन की गति चार बार होती है तथा क्रैंक कुल 720° का चक्कर लगाता है। पिस्टन इस प्रक्रिया में 2 बार टी० डी० सी० पर पहुँचता है तथा 2 बार बी०डी०सी० पर पहुँचता है।

चार स्ट्रोक इंजन में पिस्टन द्वारा चार स्ट्रोक निम्नलिखित हैं—

(i) **चूषण स्ट्रोक (Suction Stroke)**—पिस्टन (Piston) TDC से BDC पर पहुँचता है तथा क्रैंक 0°–180° घूमता है।

इस स्ट्रोक के दौरान प्रवेश वाल्व (Inlet Valve) खुला रहता है तथा निकास वाल्व (Exhaust Valve) बन्द रहता है।

(ii) **सम्पीडन स्ट्रोक (Compression stroke)**—पिस्टन BDC से TDC पर पहुँचता है तथा क्रैंक 180°–360° पर घूमता है।

इस स्ट्रोक के दौरान दोनों वाल्व (प्रवेश एवं निकास) बन्द रहते हैं।

(iii) **शक्ति या कार्यकारी स्ट्रोक (Power Stroke or Working Stroke)**—इस स्ट्रोक के दौरान पिस्टन TDC से BDC पर पहुँचता है तथा क्रैंक 360°–540° पर घूमता है।

इस स्ट्रोक के दौरान दोनों वाल्व (प्रवेश एवं निकास) बन्द होते हैं।

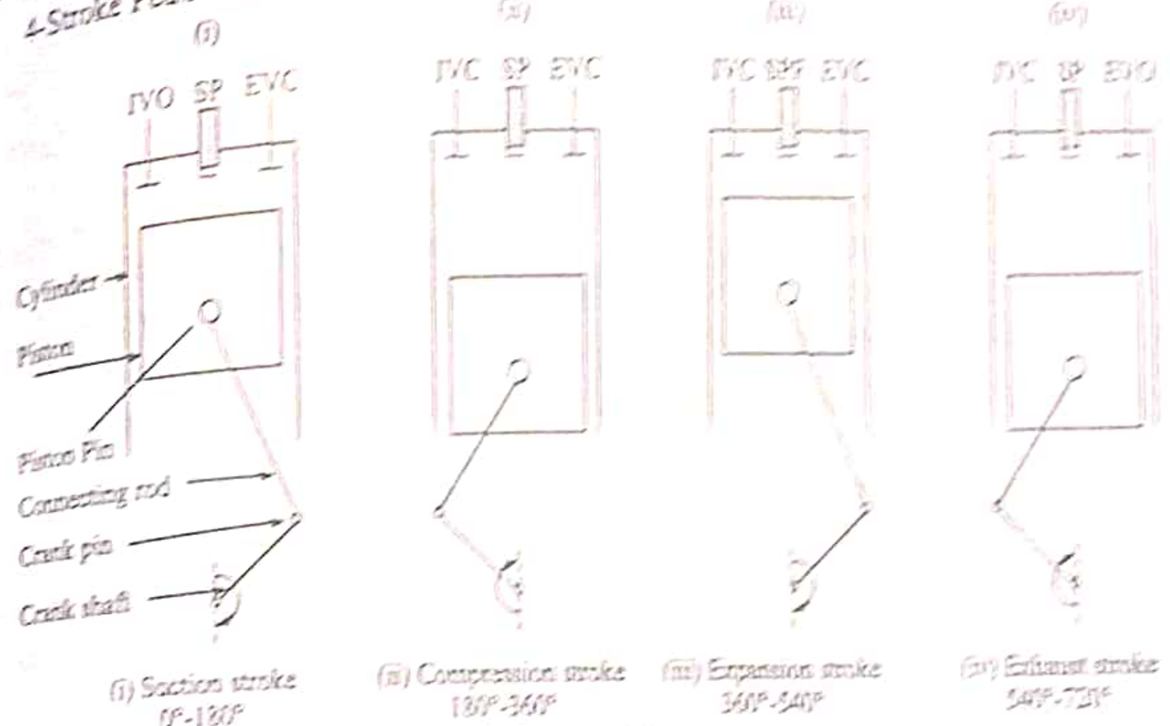
(iv) **निकास स्ट्रोक (Exhaust stroke)**—इस स्ट्रोक के दौरान पिस्टन BDC से TDC पर पहुँचता है तथा क्रैंक 540°–720° पर घूमता है।

इस स्ट्रोक के दौरान प्रवेश वाल्व बंद रहता है तथा निकास वाल्व खुला रहता है।

तथा इंजन का एक चक्र पूर्ण हो जाता है।

10.7. चार स्ट्रोक पेट्रोल इंजन (Four Stroke Petrol Engine)

4-Stroke Petrol Engine की क्रियाविधि का संक्षिप्त वर्णन निम्नलिखित है—



चित्र 10.3

IVO = प्रवेश वाल्व खुला (Inlet valve open)

SP = स्पार्क प्लग (Spark plug)

EVC = निकास वाल्व बन्द (Exhaust valve close)

IVC = प्रवेश वाल्व बन्द (Inlet valve close)

EVO = निकास वाल्व खुला (Exhaust valve open)

SPF = स्पार्क प्लग कार्यरत (Spark plug functioning)

4-Stroke पेट्रोल इंजन को हम स्पार्क ज्वलन इंजन (Spark Ignition Engine) भी कहते हैं। 4-स्ट्रोक पेट्रोल इंजन स्थिर आयतन प्रक्रम पर आधारित है। पेट्रोल इंजन का विकास जर्मन इंजीनियर ऑटो द्वारा 1862 में किया गया। यह इंजन ऑटो चक्र (Otto cycle) पर आधारित होता है। ईंधन के रूप में पेट्रोल का प्रयोग किया जाता है जिसका संपीडन अनुपात (Compression Ratio) 5-10 के बीच होता है।

पेट्रोल इंजन के चार प्रक्रम निम्नलिखित हैं—

(I) चूषण स्ट्रोक (Suction Stroke)—इस स्ट्रोक के दौरान प्रवेश वाल्व खुला रहता है तथा निकास वाल्व बन्द रहता है। पेट्रोल तथा वायु का मिश्रण इंजन सिलिण्डर में प्रवेश करता है। इसलिए इसे इंडक्शन स्ट्रोक (Induction Stroke) भी कहते हैं। पिस्टन TDC से BDC पर पहुँच जाता है तथा क्रैंक 0°–180° तक घूमता है। पिस्टन अपना एक स्ट्रोक पूरा करता है।

(II) संपीडन स्ट्रोक (Compression Stroke)—इस स्ट्रोक के दौरान दोनों वाल्व (प्रवेश एवं निकास) बन्द रहते हैं तथा पिस्टन BDC से TDC की ओर बढ़ने लगता है। पिस्टन की गति के कारण ईंधन का संपीडन होने लगता है जिसके कारण मिश्रण (ईंधन) का दाब एवं तापमान बढ़ने लगता है।

स्ट्रोक के अन्त में जब क्रैंक 360° पूरा करने वाला होता है वह पिस्टन TDC पर पहुँचने वाला होता है, उसी समय स्पार्क प्लग से चिंगारी (spark) उत्पन्न होती है तथा मिश्रण (ईंधन) का दहन प्रारम्भ हो जाता है।

ईंधन का दूसरा स्ट्रोक पूर्ण हो जाता है।

(iii) शक्ति या कार्यकारी स्ट्रोक (Power or working stroke)—ईंधन के दहन के फलस्वरूप गैसों का प्रसार प्रारम्भ हो जाता है, इसलिए इसे प्रसारण स्ट्रोक (Expansion stroke) भी कहते हैं।

गैसों के प्रसारण के फलस्वरूप पिस्टन TDC से BDC की ओर बढ़ने लगता है तथा क्रैंक 360°–540° की ओर घूमने लगता है। मिश्रण के दहन के कारण उत्पन्न ऊर्जा फ्लाई व्हील (flywheel) में संचित हो जाती है।

इस स्ट्रोक के दौरान दोनों वाल्व बन्द रहते हैं। स्ट्रोक के अन्त में क्रैंक के कुछ डिग्री (degree) (540° से कम) पहले पर निकास वाल्व खुल जाता है जिससे निकास गैसें पूर्णतया इंजन सिलिण्डर से बाहर निकल सकें।

(iv) निकास स्ट्रोक (Exhaust Stroke)—पिस्टन इस स्ट्रोक के दौरान BDC से TDC की ओर बढ़ने लगता है तथा क्रैंक 540°–720° की ओर घूमने लगता है। स्ट्रोक के दौरान प्रवेश वाल्व बन्द रहता है तथा निकास वाल्व खुला रहता है। सिलिण्डर में बची हुई गैसें निकास वाल्व से बाहर वायुमण्डल के लिए निकाल दी जाती हैं। क्रैंक 720° पर तथा Piston TDC पर पहुंच जाता है तथा निकास वाल्व बन्द हो जाता है।

इंजन का एक चक्र पूरा हो जाता है तथा इंजन नये चक्र (Suction Stroke) के लिए तैयार हो जाता है।

❑ 10.8. चार स्ट्रोक डीजल इंजन (Four Stroke Diesel Engine)

इसे संपीडन ज्वलन इंजन (Compression ignition engine) भी कहते हैं जिसे रूडोल्फ डीजल, जर्मन इंजीनियर (Rudolf diesel German engineer) ने 1892 में ईंधन के उच्च सम्पीडन अनुपात (High compression ratio) का प्रयोग करके बनाया था।

इस इंजन में चूषण स्ट्रोक (suction stroke) के दौरान इंजन सिलिण्डर में केवल वायु प्रवेश करती है तथा प्रसारण स्ट्रोक के दौरान ईंधन इंजेक्टर (Fuel injector) की सहायता से उच्च संपीडन अनुपात वाला ईंधन (जैसे—डीजल) फुहार (Spray) के रूप में इंजन सिलिण्डर में प्रवेश करता है। उच्च सम्पीडन अनुपात होने के कारण ईंधन स्वत: जलने लगता है। इसलिए इसे स्वत: ज्वलन इंजन (Auto-ignition engine) भी कहते हैं।

इंजन में होने वाले प्रक्रम निम्नलिखित हैं—

(i) चूषण स्ट्रोक (Suction Stroke)—इस स्ट्रोक के दौरान प्रवेश वाल्व (inlet valve) खुला रहता है तथा निकास वाल्व (Exhaust valve) बंद रहता है। प्रवेश वाल्व के द्वारा इंजन सिलिण्डर में केवल वायु प्रवेश करती है तथा Piston TDC से BDC की ओर बढ़ने लगता है तथा क्रैंक 0°-180° की ओर घूमने लगता है। पिस्टन अपना एक स्ट्रोक पूरा करता है।

(ii) संपीडन स्ट्रोक (Compression stroke)—इस स्ट्रोक के दौरान दोनों वाल्व (प्रवेश एवं निकास) बन्द रहते हैं। Piston BDC से TDC की ओर बढ़ने लगता है जिससे सिलिण्डर में वायु संपीडित (compressed) होने लगता है, जिससे उसका दाब एवं तापमान बढ़ने लगता है। क्रैंक 180°-360° तक घूमता है। पिस्टन अपना दूसरा स्ट्रोक पूरा करता है।

(iii) प्रसारण स्ट्रोक या शक्ति स्ट्रोक या कार्यकारी स्ट्रोक (Expansion or power stroke or working stroke)—इस स्ट्रोक के दौरान दोनों वाल्व बन्द रहते हैं। ईंधन की नापी हुई मात्रा (metered quantity of fuel), ईंधन पम्प की सहायता से फ्यूल इंजेक्टर (fuel injector) में प्रवेश करती है। डीजल स्प्रे के रूप में injector की सहायता से सिलिण्डर में प्रवेश करता है। उच्च सम्पीडन अनुपात होने के कारण ईंधन तथा सम्पीडित वायु (compressed air) स्वत: जलने लगते हैं।

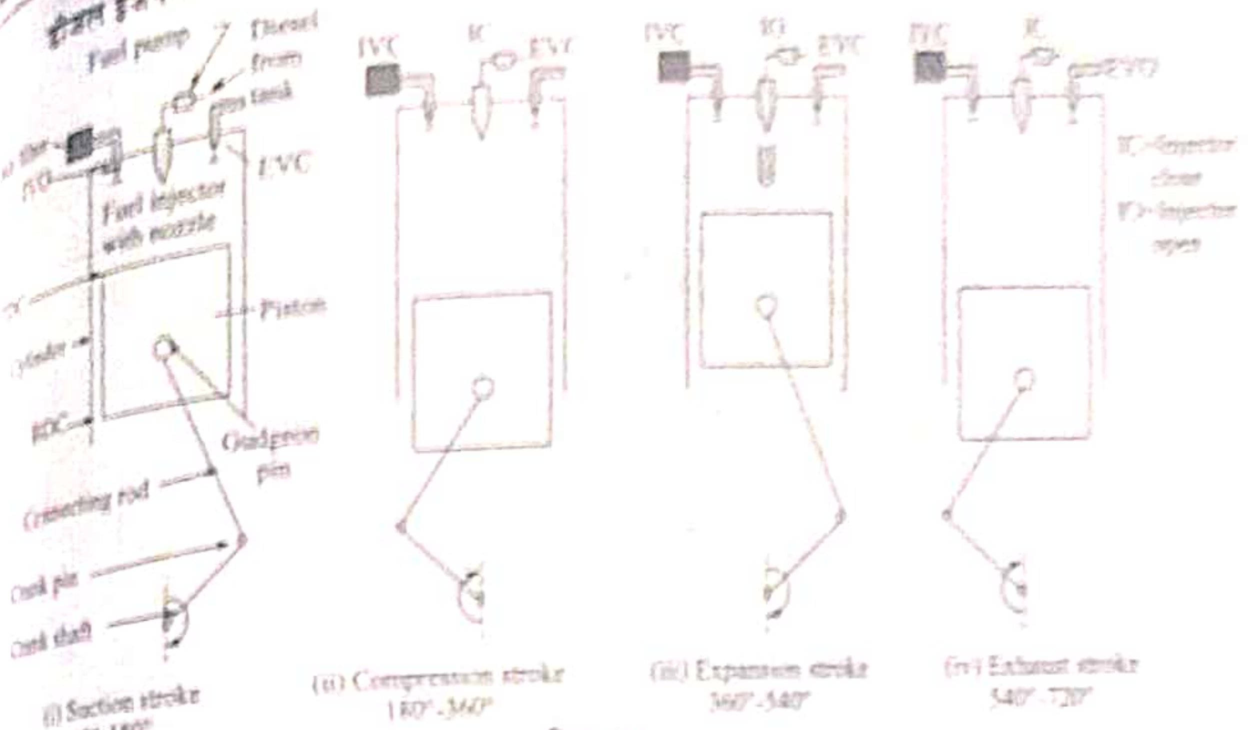
पिस्टन TDC से BDC की ओर बढ़ता है तथा क्रैंक 360°–540° तक घूमता है। सिलिण्डर के अन्दर गैसों का प्रसार रूद्धोष्म प्रक्रम के आधार पर होता है।

पिस्टन अपना तीसरा स्ट्रोक पूरा करता है।

(iv) निकास स्ट्रोक (Exhaust Stroke)—स्ट्रोक के दौरान पिस्टन BDC से TDC की ओर बढ़ने लगता है। प्रवेश वाल्व बन्द रहता है तथा निकास वाल्व खुल जाता है। पिस्टन की गति के कारण सिलिण्डर के अन्दर की बची गैसें निकास वाल्व के रास्ते बाहर निकल जाती हैं। क्रैंक 540°–720° तक घूमता है। पिस्टन चार स्ट्रोक पूरा करता है तथा इंजन का एक चक्र पूर्ण हो जाता है। इंजन नये चक्र के लिए तैयार हो जाता है।

Study PowerPoint

डीजल इंजन का व्यवस्थित आरेख निम्नलिखित है—



चित्र 10.4

- IVO : प्रवेश वाल्व खुला (Inlet valve open)
- IVC : प्रवेश वाल्व बन्द (Inlet valve close)
- EVO : निकास वाल्व खुला (Exhaust valve open)
- EVC : निकास वाल्व बन्द (Exhaust valve close)
- IC : इंजेक्टर बन्द (Injector close)
- IO : इंजेक्टर खुला (Injector open)

10.9. दो-स्ट्रोक (Two-stroke Engine)

दो स्ट्रोक इंजन का कार्यकारी चक्र (working cycle) पिस्टन के दो स्ट्रोक या क्रैंक के एक चक्कर (0°-360°) में पूरा होता है।

इसमें चूषण एवं सपीडन स्ट्रोक (suction and compression stroke) पिस्टन के एक स्ट्रोक या क्रैंक के 0°-180° घूमने पर पूरा होता है तथा प्रसारण एवं निकास स्ट्रोक (expansion and exhaust stroke) पिस्टन के दूसरे स्ट्रोक या क्रैंक के 180°-360° पर घूमने पर पूरा होता है।

दो स्ट्रोक इंजन में वाल्व एवं वाल्व स्प्रिंग का इस्तेमाल नहीं किया जाता है। वाल्व के स्थान पर द्वार (Ports) का इस्तेमाल किया जाता है।

दो स्ट्रोक के सम्बन्ध में डूगल्ड क्लार्क, ब्रिटिश इंजीनियर (Dugald clark) का नाम प्रमुख है।

10.10. दो स्ट्रोक पेट्रोल इंजन (Two-stroke Petrol Engine)

Two stroke petrol engine में वाल्व के स्थान ports का इस्तेमाल किया जाता है।

मुख्यत: तीन प्रकार के Ports इस्तेमाल किए जाते है—

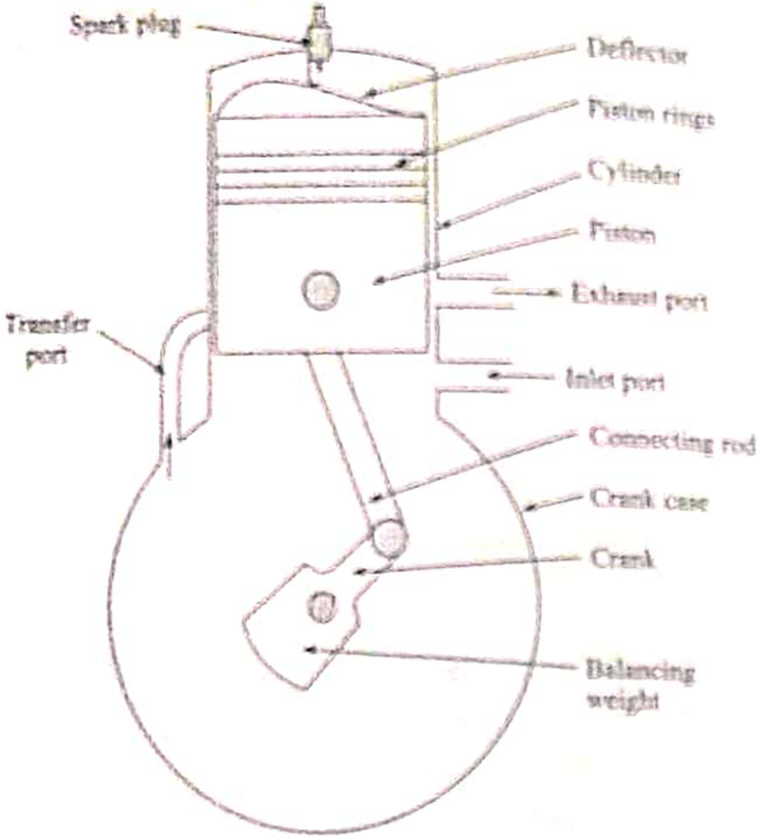
(i) प्रवेश द्वार (Inlet Port)

Study PowerPoint

(ii) निकास द्वार (Exhaust Port)

(iii) अन्तरण द्वार (Transfer Port)

2-Stroke Petrol इंजन का आरेख निम्न है—



चित्र 10.5

इंजन के चार प्रक्रम निम्नलिखित है—

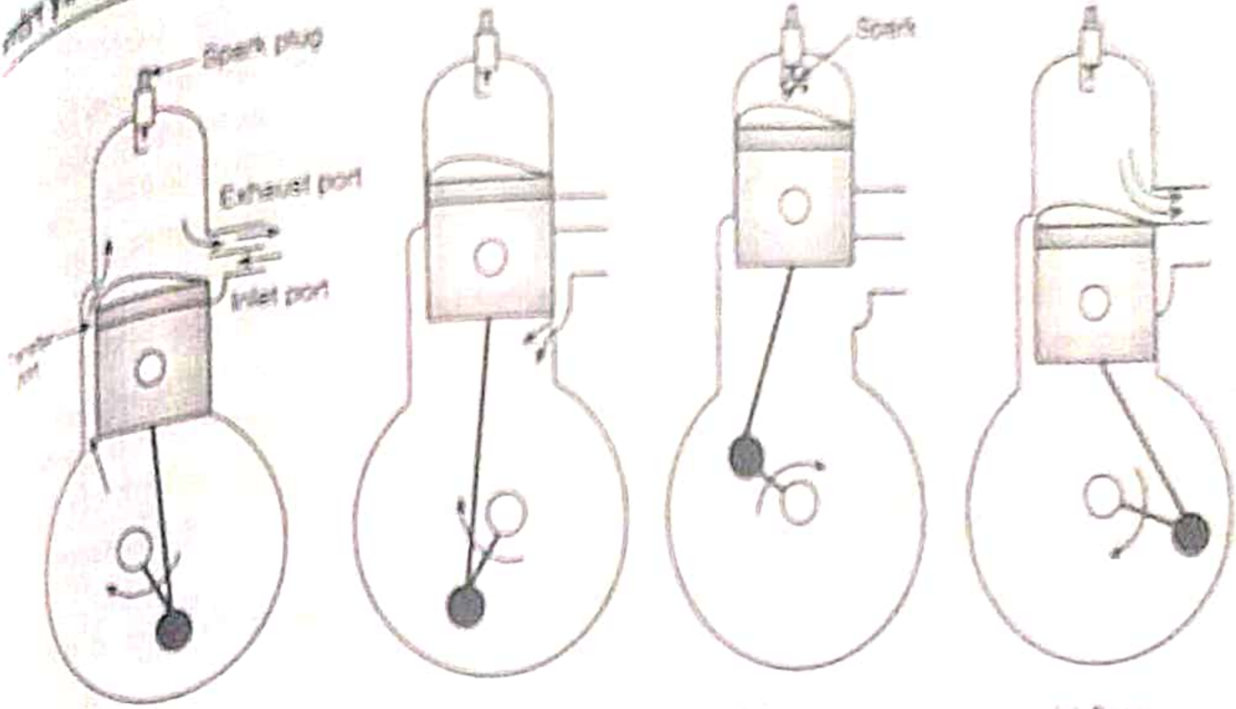
पहला स्ट्रोक—चूषण एवं संपीडन स्ट्रोक (Suction and compression stroke)—पिस्टन के पहले स्ट्रोक में जब पिस्टन BDC से TDC की ओर चलते हुए इस स्थिति में पहुँचता है कि अंतरण द्वार (transfer port) एवं प्रवेश द्वार खोलता है तब क्रैंक केस (crank case) में से ईंधन (पेट्रोल एवं वायु का मिश्रण) प्रवेश द्वार से अन्तरण द्वार होते हुए इंजन सिलिण्डर में प्रवेश करता है। जैसे ही पिस्टन ऊपर की ओर बढ़ता है अंतरण द्वार, प्रवेश द्वार एवं निकास द्वार बन्द हो जाते है। पिस्टन की ऊपरी गति के कारण ईंधन का संपीडन होता है।

दूसरा स्ट्रोक—प्रसारण एवं निकास स्ट्रोक (Expansion stroke and Exhaust stroke)—सम्पीडन स्ट्रोक के अंत में जब पिस्टन TDC पर पहुँचता है तब स्पार्क प्लग (spark plug) से एक चिंगारी उत्पन्न होती है, जिससे ईंधन का दहन होता है। दहन से गैस का दाब एवं तापमान अचानक बढ़ता है। उच्च दाब के कारण पिस्टन नीचे की ओर चलने लगता है जिससे गैस का प्रसारण होता है।

जब पिस्टन नीचे की ओर चलते हुए इस स्थिति में पहुँचता है कि निकास द्वार खुलने लगता है तब इंजन सिलिण्डर के अंदर की दहन गैसें (exhaust gases), निकास द्वार से बाहर निकलने लगती है।

इस प्रकार एक कार्य चक्र पूर्ण होता है तथा इंजन सिलिण्डर पुनः चार्ज के चूषण (suction) के लिए तैयार हो जाता है।

Study PowerPoint

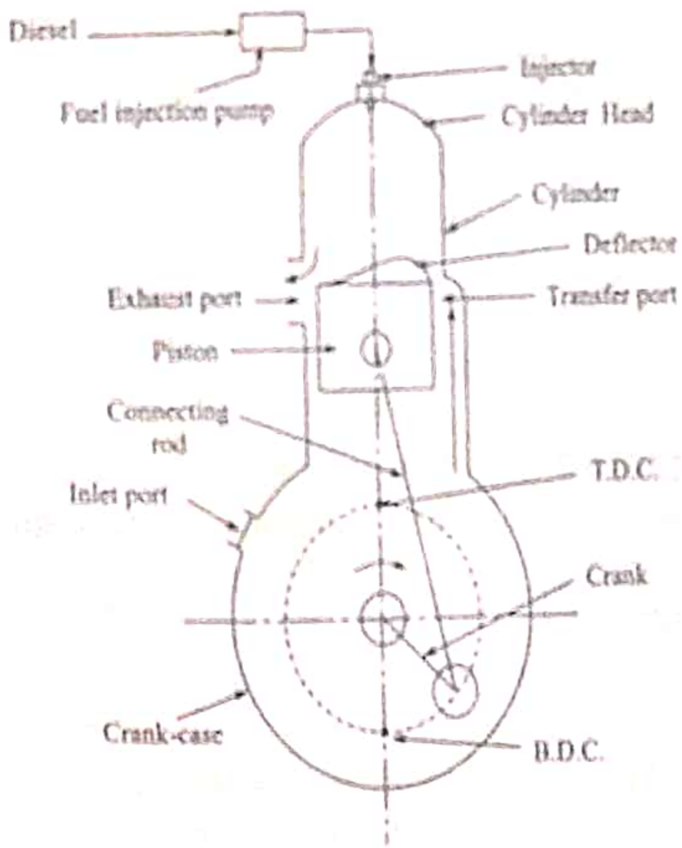


(अ) चूषण (ब) सम्पीडन (स) प्रसारण (द) निष्कासन

चित्र 10.6

10.11. दो स्ट्रोक डीजल इंजन (Two-stroke Diesel Engine)

दो स्ट्रोक डीजल इंजन का आरेख निम्नलिखित है—



चित्र 10.7

Study PowerPoint

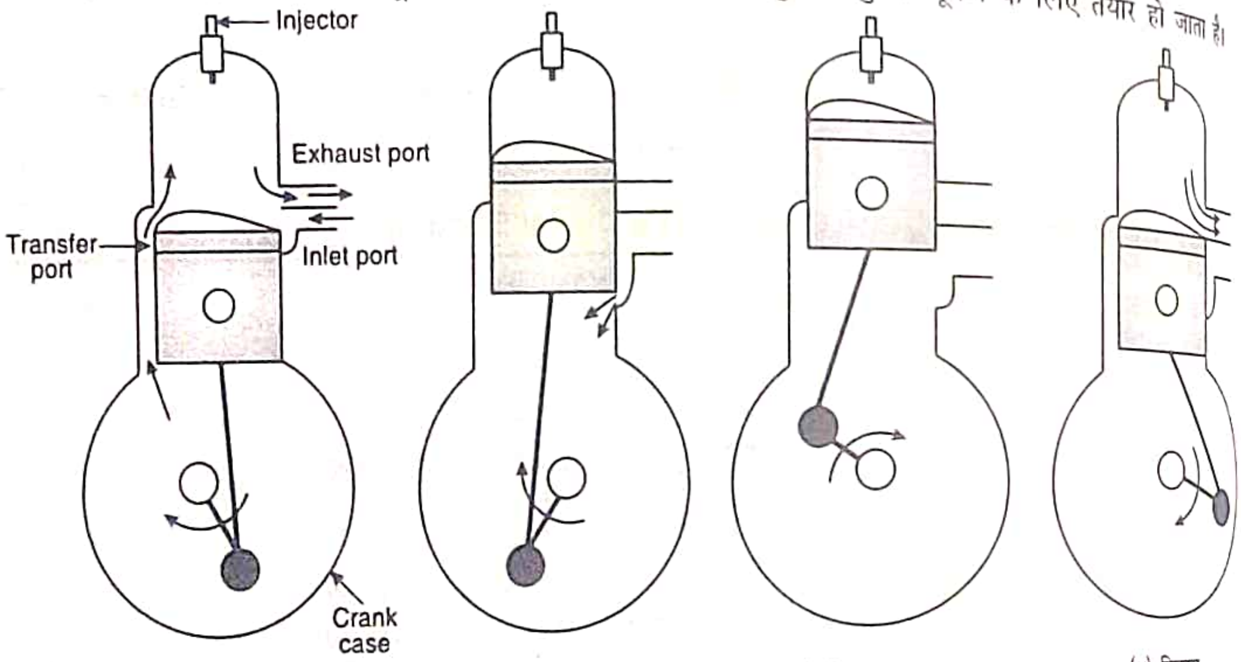
दो स्ट्रोक डीजल इंजन की क्रियाविधि निम्नलिखित है—

पहला स्ट्रोक—चूषण एवं संपीडन स्ट्रोक (Suction and compression strokes)—इस चरण में जब पिस्टन BDC से TDC की ओर चलते हुए इस स्थिति में पहुँचता है कि अंतरण एवं प्रवेश द्वार (Transfer and Inlet Ports) दोनों खुल जाते तब क्रैंक केस (Crank Case) से ताजी हवा (Fresh Air) अंतरण द्वार के रास्ते इंजन सिलिण्डर में प्रवेश करता है।

जब पिस्टन ऊपर की ओर बढ़ता है तब अंतरण द्वार एवं प्रवेश द्वार दोनों बन्द हो जाते हैं, पिस्टन की गति के कारण वायु का संपीडन होता है।

दूसरा स्ट्रोक—प्रसारण एवं निकास स्ट्रोक (Expansion and exhaust strokes)—इस स्ट्रोक के दौरान इंजेक्टर की सहायता से डीजल को फुहार के रूप में इंजन सिलिण्डर में प्रवेश कराते हैं। उच्च सम्पीडन अनुपात के कारण डीजल एवं वायु का मिश्रण स्वत: जलने लगता है, जिसे हम स्वत: ज्वलन प्रक्रम (Auto ignition process) कहते हैं। ईंधन के दहन के कारण सिलिण्डर के अन्दर का तापमान एवं दाब बढ़ जाता है, जिससे पिस्टन TDC से BDC की ओर बढ़ने लगता है। पिस्टन की गति के कारण BDC की ओर पहुँचते ही निकास द्वार खुल जाता है और सिलिण्डर में बची हुई गैसें (Exhaust gases) निकास द्वार के रास्ते बाहर निकाल दी जाती हैं।

इस प्रकार एक कार्य चक्र पूर्ण होता है और इंजन सिलिण्डर पुन: वायु के चूषण के लिए तैयार हो जाता है।



(अ) चूषण (ब) सम्पीडन (स) प्रसारण (द) निकास

चित्र 10.8

❑ 10.12. दो स्ट्रोक इंजन एवं चार स्ट्रोक इंजन में अन्तर (Difference Between two Stroke Engine and Four Stroke Engine)

S. No.	विवरण (Description)	2-Stroke Engine	4-Stroke Engine
1.	चक्र पूर्ण	पिस्टन के दो स्ट्रोक तथा क्रैंक के एक चक्कर घूमने पर।	पिस्टन के चार स्ट्रोक तथा क्रैंक के दो चक्कर घूमने पर।
2.	पिस्टन एवं क्रैंक स्थिति	पिस्टन एक बार TDC पर तथा एक बार BDC पर, क्रैंक 360° घूमता है।	पिस्टन दो बार TDC पर तथा दो बार BDC पर, क्रैंक 720° घूमता है।
3.	शक्ति स्ट्रोक	क्रैंक के एक चक्कर लगाने पर प्राप्त होता है।	क्रैंक के दो चक्कर लगाने पर प्राप्त होती है।

Study PowerPoint

4.	फ्लाई व्हील	हल्के फ्लाई व्हील की आवश्यकता होती है।	भारी फ्लाई व्हील की आवश्यकता होती है।
5.	शक्ति उत्पादन	समान साइज के लिए उच्च।	समान साइज के लिए कम।
6.	शीतलन एवं स्नेहन	अधिक शीतलन एवं स्नेहन की आवश्यकता होती है।	कम शीतलन एवं स्नेहन की आवश्यकता होती है।
7.	वाल्व एवं पोर्ट	तीन पोर्ट लगे होते हैं— • प्रवेश पोर्ट • निकास पोर्ट • अंतरण पोर्ट	दो वाल्व लगे होते हैं— • प्रवेश वाल्व • निकास वाल्व
8.	प्रारम्भिक लागत	कम प्रारम्भिक लागत होती है।	अधिक प्रारम्भिक लागत होती है।
9.	आयतनिक दक्षता (Volumetric efficiency)	कम आयतनिक दक्षता	उच्च आयतनिक दक्षता
10.	तापीय दक्षता (Thermal efficiency)	निम्न तापीय दक्षता	उच्च तापीय दक्षता
11.	सकल दक्षता (Overall efficiency)	अपेक्षाकृत कम होती है।	अपेक्षाकृत उच्च होती है।
12.	शोर (Noise)	Exhaust Gases अधिक शोर करती हैं।	Ehaust Gases कम शोर करती हैं।
13.	अनुप्रयोग (Application)	स्कूटर, मोटर साइकिल, मोपेड	कार, ट्रक, बस, वायुयान आदि।

❑ 10.13. पेट्रोल एवं डीजल इंजन में अन्तर (Difference between Petrol and Diesel Engines)

S. No.	पेट्रोल इंजन (Petrol Engine)	डीजल इंजन (Diesel Engine)
1.	चूषण स्ट्रोक के दौरान पेट्रोल एवं वायु का मिश्रण सिलिण्डर के अन्दर प्रवेश करता है।	चूषण स्ट्रोक के दौरान केवल वायु सिलिण्डर के अन्दर प्रवेश करता है।
2.	स्पार्क ज्वलन प्रयोग किया जाता है।	संपीडन ज्वलन प्रयोग किया जाता है।
3.	स्पार्क प्लग इस्तेमाल किया जाता है।	इंजेक्टर इस्तेमाल किया जाता है।
4.	निम्न तापीय दक्षता।	उच्च तापीय दक्षता।
5.	कम स्थान घेरता है।	अधिक स्थान घेरता है।
6.	उच्च प्रचालन लागत।	निम्न प्रचालन लागत।
7.	ऑटो चक्र पर कार्य करता है।	डीजल चक्र पर कार्य करता है।
8.	हल्का वजन होता है।	भारी वजन होता है।
9.	महँगे ईंधन प्रयोग किए जाते हैं।	सस्ते ईंधन प्रयोग किए जाते हैं।
10.	ईंधन खतरनाक (Dangerous) होता है।	ईंधन खतरनाक नहीं होता है।
11.	सम्पीडन अनुपात 6-10 होता है।	सम्पीडन अनुपात 14-20 होता है।
12.	अधिक विश्वसनीय होते हैं।	कम विश्वसनीय होता हैं।

Study PowerPoint

10.14. स्पार्क ज्वलन इन्जन एवं संपीडन ज्वलन इन्जन में अन्तर (Difference between Spark Ignition (S.I.) Engine and Compression Ignition (CI) Engine)

विवरण	S.I. Engine	C.I. Engine
प्रचालन चक्र	ऑटो चक्र	डीजल चक्र
ईंधन	पेट्रोल	डीजल
सम्पीडन अनुपात	6 – 10	14 – 20
वायु-ईंधन मिश्रण अनुपात	10:1 – 20:1	18:1 – 100:1
ज्वलन	स्पार्क ज्वलन	संपीडन ज्वलन
ईंधन सप्लाई	कारबुरेटर द्वारा	इंजेक्टर द्वारा
प्रचालन लागत	उच्च	निम्न
रख-रखाव लागत	कम	उच्च
गति	2000 – 6000 rpm	1200 – 3500 rpm
तापीय दक्षता	कम (26%)	अधिक (40%)
चालू करना	आसान होता है।	अपेक्षाकृत कठिन होता है।
शक्ति	कम	उच्च

10.15. वाल्व समय आरेख (Valve Timing Diagram)

यह प्रवेश तथा निकास वाल्व के खुलने तथा बंद होने का पिस्टन की गति के सापेक्ष निरूपण होता है।

यह दो वर्गों में वर्गीकृत है—

(i) सैद्धान्तिक वाल्व समय आरेख

(ii) वास्तविक वाल्व समय आरेख

(i) सैद्धान्तिक वाल्व समय आरेख—पेट्रोल इंजन एवं डीजल इंजन का सैद्धान्तिक वाल्व समय आरेख नीचे वर्णित है जो स्वत: समझा जा सकता है।

(ii) वास्तविक वाल्व समय आरेख—यह सैद्धान्तिक वाल्व समय आरेख से भिन्न होता है। इसमें वाल्व पिस्टन की स्थिति (TDC तथा BDC) से पूर्व एवं बाद में खुलता व बंद होता है।

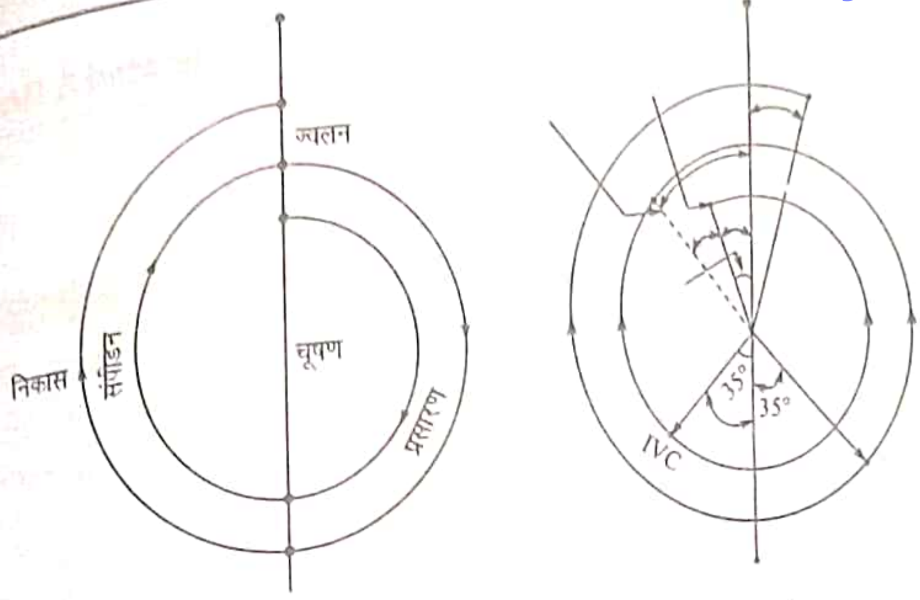
पेट्रोल इंजन का वाल्व समय आरेख

प्रवेश वाल्व खुला (IVO)—पिस्टन की TDC स्थिति में 10°-20° पूर्व खुलती है जिससे पर्याप्त मात्रा में ईंधन का मिश्रण सिलेण्डर में प्रवेश कर सके। यह चूषण स्ट्रोक के दौरान होता है।

प्रवेश वाल्व बंद (IVC)—पिस्टन की BDC स्थिति से 30°-40° या 60° बाद बंद होता है जिससे अधिक से अधिक ईंधन का मिश्रण सिलेण्डर में प्रवेश कर सके। यह चूषण स्ट्रोक के दौरान होता है।

निकास वाल्व खुला (EVO)—पिस्टन की BDC स्थिति से 30°-60° पूर्व खुल जाता है जिससे अधिक से अधिक निकास गैस वायुमण्डल से बाहर निकल सकें। यह निकास स्ट्रोक के दौरान होता है।

Study PowerPoint



सैद्धान्तिक आरेख वास्तविक आरेख

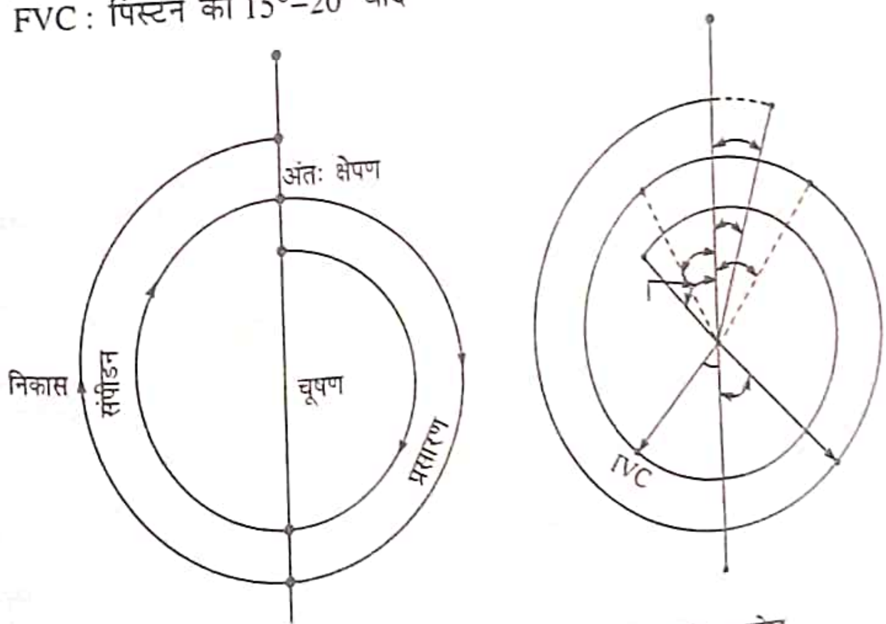
चित्र 10.9

निकास वाल्व बंद (EVC)—पिस्टन की TDC स्थिति से 10° बाद बंद होता है जिससे सम्पूर्ण निकास वायुमण्डल ...निकाला जा सके। यह निकास स्ट्रोक के दौरान होता है।

ज्वलन—स्पार्क प्लग से चिंगारी 30°-40° TDC स्थिति से पूर्व निकलती है जिससे ईंधन का दहन सम्पूर्ण हो जाता है। यह शक्ति स्ट्रोक के दौरान होता है।

डीजल इंजन का वाल्व समय आरेख

IVO : पिस्टन की TDC स्थिति से 10°–25° पूर्व IVC : पिस्टन की TDC स्थिति से 25°–50° बाद	चूषण स्ट्रोक के दौरान
EVO : पिस्टन की TDC स्थिति से 30°–50° पूर्व EVC : पिस्टन की TDC स्थिति से 5°–10° बाद तक	निकास स्ट्रोक के दौरान
FVO : पिस्टन की 5°–10° पूर्व FVC : पिस्टन की 15°–20° बाद	शक्ति स्ट्रोक के दौरान



सैद्धान्तिक आरेख वास्तविक आरेख

चित्र 10.10

10.16. इंजन शक्ति-सूचित एवं ब्रेक शक्ति (Engine Power-Indicated & Brake Power)

सूचित शक्ति (Indicated Power)

"यह दहन कक्ष में ईंधन के दहन से उत्पन्न होने वाली कुल शक्ति की मात्रा होती हैं।"

"It is the total power developed by the combustion of fuel in the combustion chamber."

$$IP = \frac{nPLANk}{60} \text{ kW}$$

जहाँ n = सिलेण्डरों की संख्या (No. of cylinders)

P = मध्य प्रभावी दाब (Mean effective pressure)

L = स्ट्रोक (Stroke)

A = पिस्टन का क्षेत्रफल (Area of piston) $= \frac{\pi}{4} d^2$

$k = \frac{1}{2}$ Four Stroke के लिए $= 1$ Two Stroke kesâ efueS

N = rpm

ब्रेक शक्ति (Brake power)—"यह इंजन के आउटपुट शॉफ्ट पर उपलब्ध कुल शक्ति होती है।"

"It is the power developed by an engine at the output shaft."

$$BP = \frac{2\pi NT}{60 \times 1000} \text{ kW}$$

जहाँ N = rpm, T = Torque

घर्षण शक्ति (Frictional power)—"यह सूचित शक्ति तथा ब्रेक शक्ति का अंतर होता है।"

"It is the difference between indicated power & brake power."

$$\text{Frictional power} = IP - BP$$

$$\text{Frictional Power} = \frac{nPLANk}{60} - \frac{2\pi NT}{60 \times 1000}$$

$$= \frac{N}{60}\left[nPLANk - \frac{2\pi T}{1000}\right]$$

$$\text{Frictional power} = \frac{N}{60}[nPLAk - 0.00628\ T] \text{ kW}$$

10.17. दक्षता : यांत्रिक, सापेक्ष, तापीय, आयतनिक (Efficiency : Mechanical, Relative, Thermal, Volumetric)

यांत्रिक दक्षता (Mechanical efficiency)—यह ब्रेक शक्ति तथा सूचित शक्ति का अनुपात होता है।

"It is the ratio of brake power to the indicated power."

$$\eta_{mech} = \frac{B.P.}{I.P.} = \frac{\frac{2\pi NT}{60 \times 1000}}{\frac{nPLANk}{60}}$$

Study PowerPoint

$$\eta_{mech} = \frac{2\pi NT}{60\times1000}\times\frac{60}{nPLANk}$$

$$\eta_{mech} = \frac{0.00628\,T}{n\,PLAk}$$

सापेक्ष दक्षता (Relative efficiency)—यह सूचित तापीय दक्षता (Indicated thermal efficiency) तथा वायु मानक दक्षता (Air standard efficiency) का अनुपात होता है।

Ratio of indicated thermal efficiency to the thermal efficiency or air standard efficiency is known as Relative Efficiency.

$$\eta_R = \frac{\text{Indicated thermal Efficiency}}{\text{Air standard Efficiency}}$$

तापीय दक्षता (Thermal efficiency)—"यह सूचित कार्य तथा प्रदत्त ऊर्जा की मात्राओं का अनुपात होता है।"

"It is the ratio of indicated work done to energy supplied by the fuel."

इसे वायु मानक दक्षता (Air standard efficiency) भी कहते हैं।

■ सूचित तापीय दक्षता (Indicated thermal efficiency)

सूचित तापीय दक्षता सूचित शक्ति एवं प्रदत्त ऊर्जा का अनुपात होता है।

$$(\eta_{th})_I = \frac{\text{I.P.}}{m_f \times C}$$

■ ब्रेक तापीय दक्षता (Brake thermal efficiency)

ब्रेक तापीय दक्षता ब्रेक शक्ति एवं प्रदत्त ऊर्जा का अनुपात होता है।

$$(\eta_{th})_B = \frac{\text{B.P.}}{m_f \times C}$$

जहाँ I.P. = सूचित शक्ति (Indicated power)

B.P. = ब्रेक शक्ति (Brake power)

m_f = ईंधन का द्रव्यमान प्रति सेकण्ड (Mass of fuel/see)

C = ऊष्मीय मान (Calorific value)

आयतनिक दक्षता (Volumetric efficiency)—यह चूषण स्ट्रोक के दौरान लिए गए वास्तविक आयतन एवं स्वेप्ट आयतन का अनुपात होता है।

"It is defined as the ratio of actual volume of the charge drawn in during suction stroke to the volume of the piston."

❑ 10.18. सूचित शक्ति ज्ञात करने की विधि (Method of Finding Indicated Power)

सूचित शक्ति को ज्ञात करने के लिए हम सूचक (Indicator) का इस्तेमाल करते हैं। सूचक पर $P-V$ आरेख द्वारा सूचित शक्ति ज्ञात की जाती है।

चूँकि हम जानते हैं कि

Study PowerPoint

सूचित शक्ति = ब्रेक शक्ति + इंजन हानियाँ
Indicated Power = Brake Power + Engine Losses

यदि हम सूचित शक्ति को सीधे रूप में नहीं ज्ञात कर सकते हैं तो ब्रेक शक्ति एवं इंजन हानियों को ज्ञात कर उपरोक्त समीकरण द्वारा मान प्राप्त किया जाता है।

यदि सूचक आरेख (Indicator Diagram) उपलब्ध हो तो हम सूचित शक्ति को आरेख के क्षेत्रफल द्वारा निम्न विधियों से ज्ञात कर सकते हैं—

(i) पलेनीमीटर (Planimeter)

(ii) अक्षीय विधि (Co-ordinate Method)

(iii) माध्य प्रभावी दाब विधि (Mean Effective Pressure Method)

(i) माध्य प्रभावी दाब $(P_{me}) = \dfrac{\text{आरेख का कुल क्षेत्रफल (mm)}^2}{\text{आरेख की लम्बाई (mm)}} \times$ स्प्रिंग नियतांक

$$(P_{me}) = \frac{\text{Net area of diagram in mm}^2}{\text{Length of diagram in mm}} \times \text{Spring constant}$$

P_{me} बार में—

Spring constant = bar/mm [Vertical movement of the indicator stylus]

मुख्यत: निम्न प्रकार के इंजन सूचक (Engine Indicator) इस्तेमाल किए जाते हैं—

(i) पिस्टन सूचक (Piston Indicator)

(ii) समतुल्य डाइफ्राम सूचक (Balanced diaphragm type indicator)

(a) फारबोरफ समतुल्य इंजन सूचक (The Faraborough balanced engine indicator)

(b) डिकनसन न्यूवेल सूचक (Dickinson-Neuwell Indicator)

(c) एम आई टी समतुल्य दाब सूचक (MIT balanced pressure indicator)

(d) कैपेसिटेन्स समतुल्य दाब सूचक (Capacitance type balance pressure indicator)

(iii) विद्युत सूचक (Electrical Indicator)

(iv) प्रकाश सूचक (Optical Indicator)

■ सूचित शक्ति की गणना (Calculation of indicated power)

माना

P_{me} = मध्य प्रभावी दाब, बार में

A = पिस्टन का क्षेत्रफल, m^2 में

L = स्ट्रोक की लम्बाई, m में

N = इंजन की चाल, rpm में

$k = \frac{1}{2} \Rightarrow 4-$Stroke के लिए

$= 1 = 2-$Stroke के लिए

पिस्टन पर बल $= P_{me} \times A \times 10^5$, (न्यूटन में०)

कार्य/स्ट्रोक = बल × क्षेत्रफल, स्ट्रोक की लम्बाई

Study PowerPoint

$$= P_{me} \times A \times 10^5 \times L \text{ (न्यूटन-मी०)}$$

कार्य/sec = कार्य/स्ट्रोक × कार्य/sec की संख्या

$$= P_{me} \times A \times 10^5 \times L \times \frac{N}{60} \times k \text{ (N-m-sec या J/sec)}$$

$$= \frac{P_{me} \times A \times L \times N \times k \times 10^5}{60 \times 1000} \text{ kW}$$

$$\text{कार्य/sec} = \frac{P_{me} \times A \times L \times N \times k \times 10}{6} \text{ kW}$$

$$\boxed{\text{सूचित शक्ति} = \text{कार्य/sec} = \frac{P_{me} \times A \times L \times N \times k \times 10}{6} \text{ kW}}$$

10.19. ब्रेक शक्ति प्राप्त करने की विधि (Method of Finding Brake Power)

ब्रेक शक्ति को ज्ञात करने के लिए हम जिस उपकरण का प्रयोग करते हैं उसे डायनमोमीटर (Dynamometer) कहते हैं। इसके अंतर्गत हम इंजन के ब्रेक पुली (Brake pulley) पर एक विशेष प्रकार का ब्रेक लगाते हैं।

डायनमोमीटर को दो भागों में विभाजित किया गया है।

(a) शोषित डायनमोमीटर (Absorption Dynamometer)

(b) संचरण डायनमोमीटर (Transmission Dynamometer)

(a) शोषित डायनमोमीटर (Absorption Dynamometer)—इस प्रकार के डायनमोमीटर में शक्ति का मापन शोषित घर्षण के द्वारा किया जाता है। शोषित घर्षण को ऊष्मीय ऊर्जा के रूप में परिवर्तित कर लेते हैं।

शोषित डायनामोमीटर के कुछ प्रमुख रूप निम्नलिखित हैं—

- पट्टा ब्रेक डायनमोमीटर (Rope Brake Dynamometer)
- प्रॉनी ब्रेक डायनमोमीटर (Prony Brake Dynamometer)
- पंखा ब्रेक डायनमोमीटर (Fan Brake Dynamometer)
- द्रवीय डायनमोमीटर (Hydraulic Dynamometer)
- विद्युत ब्रेक डायनमोमीटर (Electrical Brake Dynamometer)

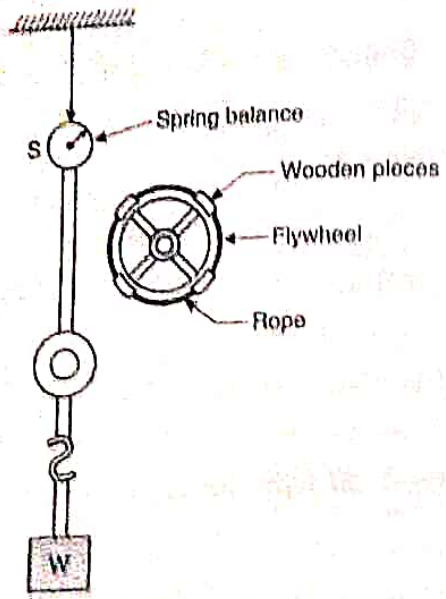
(b) संचरण डायनमोमीटर (Transmission Dynamometer)—इसे आघूर्ण मीटर (torque meter) भी कहते हैं। यह ऑटोमैटिक एवं परिशुद्ध (Automatic & accurate) होता है। इसके लिए सतत् भार का संचरण आवश्यक होता है।

10.20. ब्रेक शक्ति की गणना (Determinaton of Brake Power)

ब्रेक शक्ति की गणना के लिए हम रस्सी ब्रेक डायनमोमीटर का प्रयोग करते हैं। इस Dynamometer में ब्रेक पहिए (Brake wheel) की परिधि (circumference) पर एक रस्सी बांध देते हैं। रस्सी को फिसलने से बचाने के लिए हम लकड़ी के गट्ठे (Wooden block) का प्रयोग करते हैं। इस (Wooden block) को चित्र 10.14 में दिखाया गया है। चित्र के अनुसार इसमें रस्सी की सहायता से एक सिरे पर भार (W) तथा दूसरे सिरे पर स्प्रिंग नियंत्रक (Spring controlled Blance) लगा होता है।

इंजन की गति का मापने के लिए टैकोमीटर (Tachometer) का इस्तेमाल करते हैं।

व्यवस्थित आरेख निम्न है—



चित्र 10.11—Rope brake friction dynamometer

यदि

W = रस्सी के अंत में लगा भार (N)

S = स्प्रिंग का मान (N)

N = इंजन की चाल (rpm)

D_b = ब्रेक पहिए का व्यास (m)

d = रस्से का व्यास (m)

D_{b+d} = पहिए पर प्रभावी व्यास

$$\text{Work/Revolution} = \text{आघूर्ण} \times \text{प्रति चक्कर कोण}$$

$$= (W - S) \times \left(\frac{D_b + d}{2}\right) \times 2\pi$$

$$= (W - S) \times (D_b + d) \times \pi$$

$$\text{Work/min} = (W - S)\pi(D_b + d) \times N$$

$$\text{Work/sec} = \frac{(W - S)\pi(D_b + d) \times N}{60}$$

$$\boxed{\text{Brake Power} = \frac{(W - S)\pi(D_b + d) \times N}{60}}$$

यदि हम d को छोड़ देते हैं, तो

$$\boxed{\text{Brake power} = \frac{(W - S)\pi D_b N}{60}}$$

या,

$$B.P = \frac{2\pi NT}{60 \times 1000} \text{ kW}$$

Note—रस्सी ब्रेक डायनमोमीटर सस्ता होता है और उसे बनाना भी आसान होता है। परन्तु इसकी प्रमुख कमी यह है कि इसमें घर्षण गुणांक (frictional co-efficient) तापमान के साथ परिवर्तित होता रहता है।

Study PowerPoint

10.21. मोर्स टेस्ट स्पार्क ज्वलन इंजन के लिए (Morse Test for SI Engine)

इस टेस्ट का प्रयोग हम मुख्यत: बहुसिलिण्डर इंजन (multi-cylinder engine) के लिए करते हैं।

माना 4-सिलिण्डर इंजन के लिए हम यह टेस्ट करते हैं।

हम जानते हैं कि जब इंजन अपनी निर्धारित चाल पर चलता है तो इसका आघूर्ण ज्ञात करना आसान होता है।

जब हम किसी एक इंजन में शक्ति को प्लग की सहायता से हटा देते हैं तब इंजन की चाल कम हो जाती है। इसको नियंत्रित करने के लिए भार को कम कर देते हैं।

जब इंजन की चाल अपने वास्तविक मान पर पुन: आ जाती है। तो हम फिर आघूर्ण (Torque) को पुन: मापते हैं।

माना I_1, I_2, I_3, I_4 = सूचित शक्ति क्रमश: चारों सिलिण्डरों में

L_1, L_2, L_3, L_4 = इंजन सिलिण्डरों में क्रमश: हानियाँ

यदि ब्रेक शक्ति सभी सिलिण्डरों में 'B' द्वारा प्रदर्शित किया गया है, तो

$$B = (I_1 - L_1) + (I_2 - L_2) + (I_3 - L_3) + (I_4 - L_4) \quad ...(i)$$

जब Cylinder-1 बन्द होगा तब $\Rightarrow I_1 = 0$

$$B = (0 - L_1) + (I_2 - L_2) + (I_3 - L_3) + (I_4 - L_4) \quad ...(ii)$$

समीकरण (i) और (ii) से,

$$B - B_1 = I_1$$

इसी प्रकार

$$B - B_2 = I_2$$

$$B - B_3 = I_3$$

$$B - B_4 = I_4$$

Then for an Engine

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$$

10.22. ऊष्मा संतुलन पत्रक (Heat Balance Sheet)

किसी इंजन का निष्पादन सामान्यत: हम ऊष्मा संतुलन पत्रक (Heat balance sheet) द्वारा ज्ञात करते हैं।

ऊष्मा संतुलन पत्रक (Heat balance sheet) बनाने के लिए निम्न तथ्यों का ज्ञात होना आवश्यक है—

(i) इंजन सतत् भार (Constant load) पर कार्य करना चाहिए।

(ii) सूचक द्वारा सूचक आरेख ज्ञात होना चाहिए।

(iii) दिए गए समय में ईंधन की मात्रा एवं उसका ऊष्मीय मान (Calorific value) ज्ञात होना चाहिए।

(iv) ठण्डे जल का प्रवेश एवं निकास तापमान (Inlet & outlet temperature of cooling water)

(v) निकास गैस का भार (Weight of exhaust gas)

सूचक शक्ति और ब्रेक शक्ति ज्ञात करने के पश्चात् निम्न ऊष्माओं की गणना की जाती है।

ईंधन द्वारा प्रदत्त ऊष्मा

पेट्रोल एवं डीजल इंजन के लिए—

प्रदत्त ऊष्मा $= m_f \times C$ $\quad$ m_f = mass of fuel (kg)

C = Calorific value of fuel (kJ or kcal)

Study PowerPoint

गैस इंजन के लिए–

प्रदत्त ऊष्मा $= V \times C$

V = volume at NTP (m^3/min)

C = Calorific value of fuel (kJ or kcal)

(a) सूचक शक्ति द्वारा शोषित ऊष्मा (Heat absorbed by I.P.)

समतुल्य ऊष्मा/मिनट = I.P. × 60 (kJ)

(b) शीतलक जल द्वारा शोषित ऊष्मा (Heat taken away by cooling water)

$$m_w \times C_w \times (t_2 - t_1)$$

जहाँ m_w = प्रति मिनट शीतलक जल का द्रव्यमान

C_w = जल की विशिष्ट ऊष्मा

t_2 = अंतिम तापमान

t_1 = प्रारम्भिक तापमान

(c) निकास गैसों द्वारा अवशोषित ऊष्मा (Heat taken away by Exhaust Gases)

$$= m_e \times C_{pg}(t_e - t_r)$$

जहाँ m_e = निकास गैसों का द्रव्यमान (kg/min)

C_{pg} = माध्य विशिष्ट ऊष्मा स्थिर दाब

t_e = निकास गैसों का तापमान

t_r = कमरे का तापमान

Heat Balance Sheet

S. No.	Item	KJ	Percent
	Heat Supplied by Fuel	—	—
1.	Heat absorbed in IP		
2.	Heat taken away by cooling water	—	—
3.	Heat carried away by exhaust gas	—	—
4.	Heat Unaccounted for (by difference)	—	—
	Total	—	—

⇒ Exhaust Gases का द्रव्यमान हम प्रदत्त ऊष्मा के द्रव्यमान तथा प्रदत्त वायु के द्रव्यमान को जोड़कर ज्ञात कर सकते हैं।

❑ 10.23. प्रदूषण : सम्पर्क ज्वलन इंजन एवं संपीडन ज्वलन इंजन में (Concept of Pollutants in SI & CI Engines)

अंतर्दहन इंजन से प्रदूषण का मुख्य कारण ईंधन के दहन, दहन कक्ष में ईंधन के वाष्पन तथा अन्य वातावरणीय कारणों से होता है। प्रमुख प्रदूषक निम्नलिखित हैं—

(i) कार्बन मोनो ऑक्साइड (Carbon Mono Oxide (CO))

(ii) हाइड्रोकार्बन (Hydrocarbon (HC))

Study PowerPoint

(iii) नाइट्रोजन के ऑक्साइड (Oxides of nitrogen (NO_x))

(iv) सूट या धूल (Soot)

(v) एल्डिहाइड (Aldehydes)

(vi) SO_2, H_2S & Lead

(vii) SPM (Suspended Particulate Matter)

■ **स्पार्क ज्वलन इंजन द्वारा उत्सर्जित प्रदूषक (Emission from spark Igintion Engine)**

मुख्यतः दो प्रकार से वायु प्रदूषक उत्सर्जित होते हैं—

(i) निकास द्वारा उत्सर्जित प्रदूषक (Emission of pollutants from exhaust)

(ii) गैसों के वाष्पन द्वारा उत्सर्जित प्रदूषक (Emission of pollutants from Evaporation of gasoline)

(i) निकास द्वारा उत्सर्जित प्रदूषक (Emission of pollutants from exhaust)—जब इंजन सिलिण्डर में ईंधन का दहन होता है तो कार्बन डाई ऑक्साइड एवं जल के कणों का निर्माण इस reaction द्वारा होता है—

$$2C_8H_{18} + 25O_2 \longrightarrow 16CO_2 + 18H_2O$$

परन्तु इस तरह की reaction प्रायोगिक रूप से संभव नहीं है क्योंकि इंजन सिलिण्डर में ईंधन का दहन सम्पूर्ण नहीं हो पाता है जिस कारण से कुछ बाई-प्रोडक्ट (By-product) बनते हैं, जिनमे प्रमुख हैं—

- कार्बन मोनो ऑक्साइड (Carbon Mono Oxide (CO)
- हाइड्रोकार्बन (Hydrocarbon) (HC)
- नाइट्रोजन के ऑक्साइड (NO_x)

(ii) गैसों के वाष्पन द्वारा उत्सर्जित प्रदूषक (Emission of pollutants from Evaporation of Gasoline)—इंजन सिलिण्डर से गैसों का वाष्पन भी वातावरण को प्रदूषित करता है।

स्पार्क ज्वलन इंजन के प्रमुख अंग जहाँ से गैसों का वाष्पन होता है निम्नलिखित हैं—

(i) ईंधन टंकी (Fuel Tank)

(ii) कार्बुरेटर (Carburettor)

(iii) क्रैंक केस (Crank Case)

कुल हाइड्रोकार्बन उत्सर्जन का लगभग 15% से 25% भाग ईंधन टंकी का तथा कार्बुरेटर से उत्सर्जित होता है तथा 25%-35% हाइड्रोकार्बन का उत्सर्जन क्रैंक केस द्वारा होता है।

■ **संपीडन ज्वलन इंजन द्वारा उत्सर्जित प्रदूषक (Emission from Compression Ignition Engine)**

कुछ प्रमुख प्रदूषक निम्नलिखित हैं—

(i) कार्बन मोनो ऑक्साइड (Carbon mono oxide)—डीजल इंजन में इसकी सान्द्रता (Concentration) निम्न होती है। CO का उत्सर्जन लगभग 2% होता है।

(ii) हाइड्रोकार्बन (Hydrocarbon)

(iii) नाइट्रोजन के ऑक्साइड (Oxides of Nitrogen)

(iv) एल्डिहाइड (Aldehydes)

(v) धुआँ एवं धूल कण (Smoke & Dust Particles)

Study PowerPoint

■ अंतर्दहन इंजन में प्रदूषण नियंत्रण (Pollution Control in IC Engine)

अंतर्दहन इंजन में प्रदूषण को नियंत्रित करने के लिए मुख्यत: दो विधियाँ उपयोग में लाई जाती हैं जो निम्नलिखित हैं—

(i) इंजन के डिजाइन में बदलाव (Change/Modification in engine design)

(ii) निकास गैसों का उपचार (Treatment of exhaust gases)

❑ 10.24. प्रदूषण नियंत्रक उपकरण (Pollution Control Device)

कुछ प्रमुख प्रदूषण नियंत्रक उपकरण निम्नलिखित हैं—

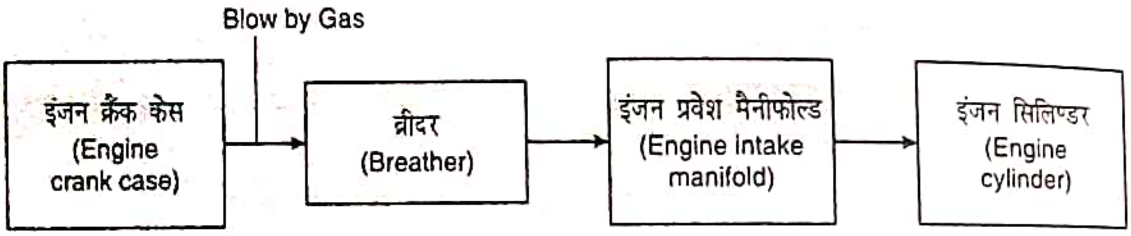
(i) धनात्मक क्रैंक केस वेन्टीलेशन सिस्टम (Positive Crank Case Ventilation (PCV) System)

(ii) उत्प्रेरक परिवर्तक (Catalysis Convertor)

(iii) निकास गैस पुन: प्रवाह सिस्टम (Exhaust Gas Rercirculation (EGR) System)

(iv) ईंधन वाष्पन उत्सर्जन नियंत्रण सिस्टम (Fuel Evaporation Emission Control (FEEC) System)

(i) धनात्मक क्रैंक केस वेन्टीलेशन सिस्टम (Positive crank case ventilation (PCV) system)—घर्षण से उत्पन्न हुए टूट-फूट के कारण पिस्टन रिंग एवं सिलिण्डर में गैप उत्पन्न होता है जिसके कारण हम दहन कक्ष से बिना जले हुए (unburnt) गैसों को ब्लो प्रक्रिया (Blow action) द्वारा बाहर निकाल लेते हैं। यह बिना जले हुए गैस हाइड्रोकार्बन (Hydrocarbon) होते हैं। इन हाइड्रोकार्बन को वातावरण को ब्रीदर (Breather) द्वारा निकाल कर गैसों को पुन: इंजन प्रवेश मैनीफोल्ड में भेज दिया जाता है।



चित्र 10.12

(ii) उत्प्रेरक परिवर्तक (Catalysis Convertor)—इसका मुख्य उद्देश्य प्रदूषक का रासायनिक रूप से उपचार करना होता है। उत्प्रेरक प्रदूषक गैसों जैसे—CO को CO_2 में, HC को H_2O में, NO को N_2 और O_2 में परिवर्तित कर देता है।

उत्प्रेरक को निम्न प्रकार से परिभाषित किया जाता है, "**यह एक प्रकार का पदार्थ होता है जो रासायनिक परिवर्तन को बिना रासायनिक अभिक्रिया में भाग लिए बढ़ाता है या बढ़ावा देता है।**"

प्रमुख उत्प्रेरक पदार्थ निम्नलिखित हैं—प्लेटिनम (Platinum), प्लाडियम (Palladium), Rhodium, Irridium etc.

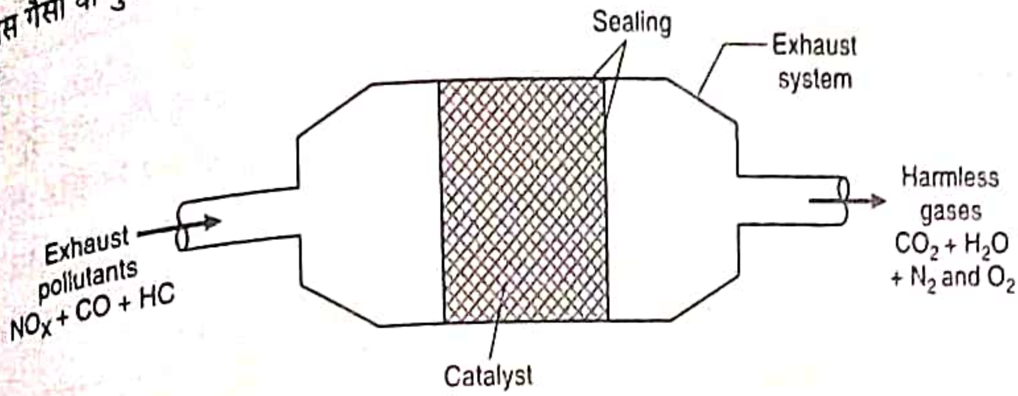
(iii) निकास गैस पुन: प्रवाह सिस्टम (Exhaust Gas Recirculation (EGR) system)—इसका उपयोग मुख्यत: नाइट्रोजन के ऑक्साइड को कम करने के लिए किया जाता है। नाइट्रोजन के ऑक्साइड का निर्माण दहन कक्ष में उच्च तापमान (लगभग 1100°C) पर N_2 एवं O_2 के जुड़ने के कारण होता है।

नाइट्रोजन के ऑक्साइड को कम करने या रोकने का सबसे उपयुक्त माध्यम यह है कि दहन कक्ष का अधिकतम तापमान (1100°C) से कम बनाए रखें।

EGR System निकास गैसों को दहन कक्ष में प्रवेश मैनोफोल्ड की सहायता से पुन: प्रवाह करवाता है जिससे दहन कक्ष का तापमान निम्न बना रहता है।

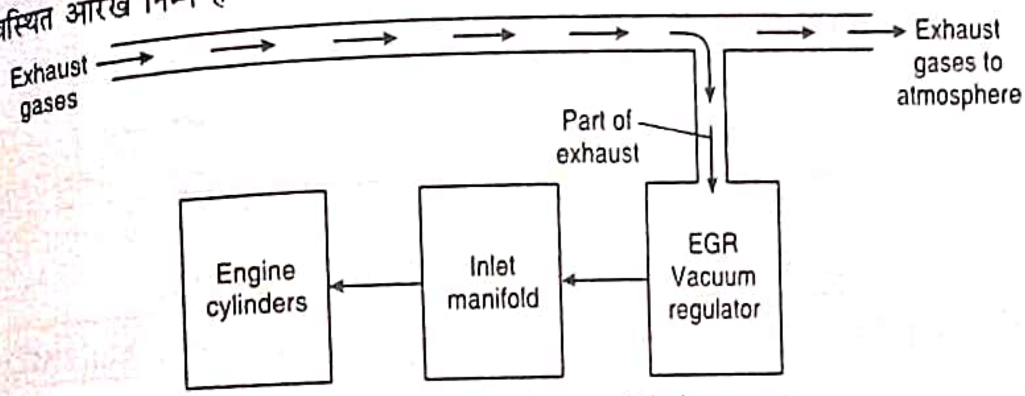
Study PowerPoint

निकास गैसों के पुन: प्रवाह की मात्रा को नियंत्रित करने के लिए EGR निर्वात रेगुलेटर (EGR Vacuum Regulator) होता है।



चित्र 10.13—Representation of catalytic converter

व्यवस्थित आरेख निम्न है—

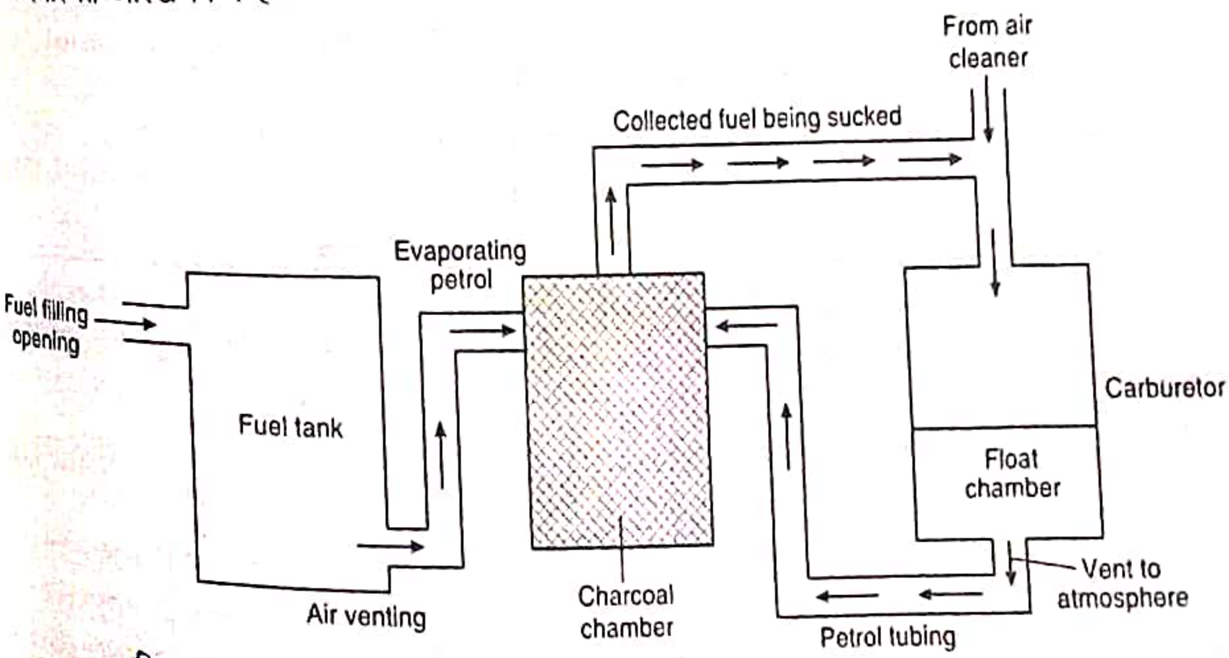


चित्र 10.14—Representation of catalytic converter

(iv) ईंधन वाष्पन उत्सर्जन नियंत्रण सिस्टम (Fuel evaporation emission control (FEEC) system)— पिछले अनुच्छेदों में वर्णित है कि ईंधन का वाष्पन सामान्यत: ईंधन टंकी, कार्बुरेटर, क्रैंक कैस आदि से होता है।

इसका रोकने के लिए ट्यूबों में सामान्यत: चारकोल (charcoal) भरा होता है जो वाष्पित ईंधन को शोषित कर लेता है। जब इंजन चालू अवस्था में होता है तब अवशोषित ईंधन कार्बुरेटर की सहायता से वापस दहन कक्ष में भेजा जाता है।

व्यवस्थित आरेख निम्न है—



चित्र 10.15—Schematic diagram fuel evaporative emission control (EVAP) system

Study PowerPoint

10.25. उत्सर्जन मानक (Emission Norms)

यह सरकार द्वारा निर्धारित मानक होता है जिस पर इंजन चलते समय अधिकतम CO, HC & NO_x का उत्सर्जन हो। उत्पादक कंपनी इसी निर्धारित मानक के अनुरूप ही अपने इंजन, इंजन पार्ट का निर्माण करते हैं।

Euro Norms—यूरोपीय देशों द्वारा यह मानक पेट्रोल एवं डीजल इंजन दोनों के लिए निर्धारित किया गया है। इसका निर्धारण 1922 में किया गया तथा पाँच मानक (EURO I to EURO V) 2008 तक बनाए गए।

Table I : EURO I

Eurpoean Petrol Vehicles Emission Norms (EURO I)

Regulation	Effective from	CO (gm/k Wh)	HC (gm/k Wh)	HC + NO_x (gm/k Wh)	NO_x (gm/k Wh)
EURO I	1-7-92	2.72	—	0.97	—
EURO II	1-10-1995	2.2	—	0.5	—
EURO II	1-1-2000	1.3	0.2	—	0.15
EURO IV	1-1-2005	1.0	0.1	—	0.08

Table II : EURO II

European Diesel Engine Emission Norms (EURO II)

Regulation	Effective from	CO (gm/k Wh)	HC (gm/k Wh)	NO_x (gm/k Wh)	PM (gm/KWh)
EURO I	1-7-92	4.5	1.1	8.0	0.36/0.61
EURO II	1-10-95	4.0	1.1	7.0	0.1
EURO II	1-1-2000	2.1	0.66	5.0	0.1
EURO IV	1-1-2005	1.5	0.46	3.5	0.02
EURO V	2008	1.5	0.46	2.0	0.02

भारतीय मानक [Indian (Bharat) Norms]

सुप्रीम कोर्ट के आदेशानुसार 1 June 1999 को EURO I को भारत में Motor Vehicles Regulation (MVR) के रूप में माना गया जिसे India 2000 (Bharat-I) के रूप में जानते हैं।

2002 में EURO II को Bharat II norms के रूप में माना गया है।

Table : III

Indian Gasoline Vehicle Emission Norms

Effective From	CO (gm/km)	HC + NO_x (gm/km)	Evaporative Emission	Crankcase Emission
0.1-4-91 (Based on Ref. mass)	14.3–27.1	2.0–2.9	No regulation	No regulation
01-4-96 (Based on Engine c.c.)	8.68–12.4	3.0–4.36	2.0	Not allowed
1998	4.34–6.20	1.5–2.18	—	—
01-4-2000 (Bharat I)	2.72	0.97	2.0	Not allowed
2002 (Bharat II)	2.2	0.5	2.0	Not allowed

Study PowerPoint

Table IV

Indian Two Wheeler Emission Norms

Effective From	CO (gm/km)	HC (gm/km)	HC + NO_x (gm/km)
01-4-91	12.0-30.0	8.0-12.0	—
(Based on Ref. mass) 01-4-96	4.5	—	3.6
01-4-00	2.0	—	2.0
01-4-05	1.5	—	1.5

Table V

Indian Three Wheeler Emission Norms

Effective from	CO (gm/km)	HC (gm/km)	HC + NO_x (gm/km)	Idling CO (%)
01-3-90	—	—	—	4.5%
01-4-91	12.0-30.0	8.0-12.0	—	4.5%
01-4-96	6.75	—	5.4	4.5%
01-4-00	4.0	—	2.0	4.5%
01-4-05	2.25	—	2.0	—

Table : VI

Indian Diesel Engine Emission Norms

Effective From	CO (gm/km)	HC (gm/km)	NO_x (gm/km)	PM (gm/km)
1992	14	3.5	18	—
1996	11.2	2.4	14.4	—
2000 (Bharat I)	4.5	1.1	8.0	0.36/0.61
2002 (Bharat II)	4.0	1.1	7.0	0.15

10.26. Alternating Fuels : LPG & CNG

आज विश्व ऊर्जा-संकट से जूझ रहा है। चूंकि पेट्रोलियम परम्परागत ऊर्जा स्रोत (Conventional Energy Source) है। अत: यह सीमित मात्रा में उपलब्ध है। अंतर्दहन इंजन में प्रयोग होने वाले पेट्रोलियम के रूप में पेट्रोल, डीजल प्रमुख हैं। अत: ईंधन के इन स्रोतों से निर्भरता कम करने के लिए हम ईंधन के अन्य स्रोतों का प्रयोग करते हैं।

अन्य स्रोत निम्नलिखित हैं—

(i) द्रवीय पेट्रोलियम गैस (Liquified Petroleum Gas)
(ii) संपीडित प्राकृतिक गैस (Compressed Natural Gas)

(iii) बायो-गैस (Bio gas)
(iv) प्रोड्यूसर गैस (Producer gas)
(v) एल्कोहल (मेथेनॉल एवं एथेनॉल) [Alcohol (Methonol & Ethanol)]
(vi) वनस्पति तेल (Vegetable oil)
(vii) हाइड्रोजन गैस (Hydrogen oil)

❑ 10.27. L.P.G. पेट्रोल इंजन के लिए

पेट्रोलियम की रिफाइनरी प्रक्रिया (Refining process) के दौरान विभिन्न प्रकार के हाइड्रोकार्बन जैसे—मीथेन, एथेन, प्रोपेन, ब्यूटेन उत्पन्न होते हैं। इन गैसों में से मीथेन को आसानी से द्रवीकृत (Liquified) किया जा सकता है।

LPG मुख्यत: निम्न संघटकों से मिलकर बना होता है—

प्रोपेन (35-93%)

प्रोपेलिन (62-2.8%)

ब्यूटेन (2.1-2.9%)

इन्हें सिलिण्डर में दाब में भरा जाता है तथा इंजन में भेजने से पूर्व इसे वाष्पित्र द्वारा वाष्प में बदल लेते हैं।

LPG के लाभ (Merits of LPG)

- यह सस्ता ईंधन होता है।
- पूर्व-ज्वलन की सम्भावना कम हो जाती है।
- क्रैंक-केस विक्षेप (Crank Case dilution) कम हो जाता है, जिससे ईंधन की आयु बढ़ जाती है।
- यह कम मात्रा में उत्सर्जन करता है।
- वहु-सिलिण्डर इंजन में वायु एवं LPG के मिश्रण में कठिनाई कम हो जाती है।

LPG की हानियाँ (Disadvantages of LPG)

(i) चूँकि इसकी वाष्पन की गुप्त ऊष्मा (Latent heat of vaporization) अधिक होती है। इसलिए आयतनिक दक्षता (Volumetric efficiency) कम होती है।
(ii) इसको उच्च दाब (लगभग 18 bar) पर संचित करना पड़ता है।
(iii) ब्लेंडिंग (Blending) की समस्या उत्पन्न होती है।
(iv) LPG के लीकेज को आसानी से नहीं पकड़ा जा सकता है।

❑ 10.28. संपीडित प्राकृतिक गैस (CNG, Compressed Natural Gas)

CNG में मुख्यत: मीथेन (लगभग 80-98%) पाया जाता है तथा साथ ही थोड़ी मात्रा में एथेन, ब्यूटेन, प्रोपेन पाया जाता है। यह हल्के गैसीय ईंधन का रूप होता है। इसका घनत्व (Density) बहुत कम होता है इसलिए इसे उच्च संपीडित (लगभग 160-200 bar तक) करना पड़ता है।

यह स्वच्छ दहन ईंधन होता है तथा इसें फ्लेम पतला उत्पन्न होता है जिससे इसे सुरक्षा की दृष्टि से अच्छा माना जाता है।

Study PowerPoint

CNG का स्वत: ज्वलन तापमान (Self Ignition Temperature) उच्च होता है इसलिए उच्च ज्वलन ऊर्जा की आवश्यकता होती है।

यह कम प्रदूषण उत्सर्जित करता है। इसलिए इसे एक अच्छे वैकल्पिक ईंधन के रूप में इस्तेमाल किया जाता है।

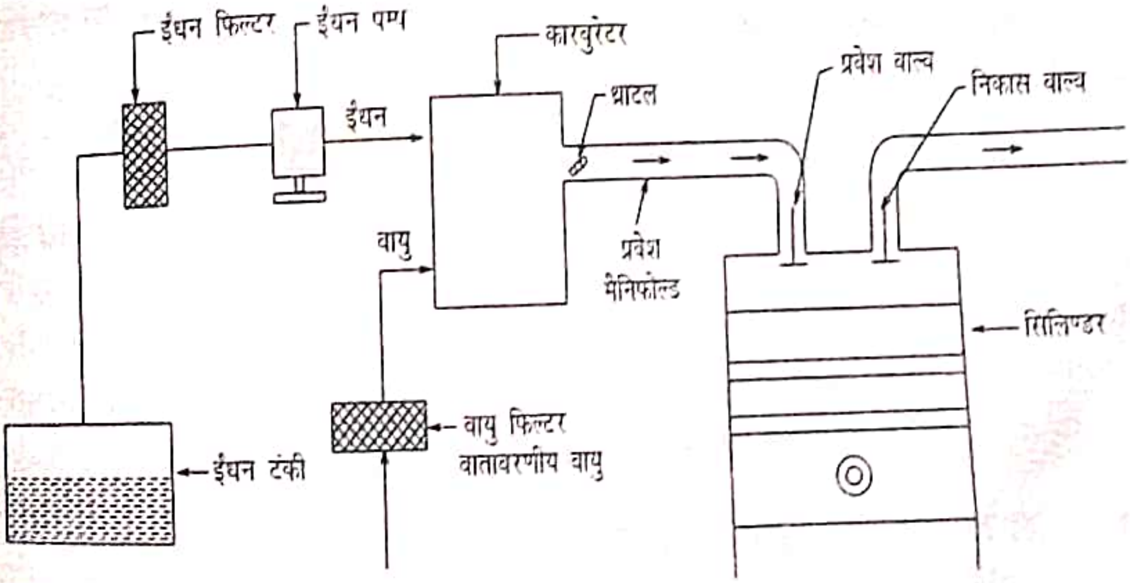
10.29. अंतर्दहन इंजन का ईंधन तंत्र (Fuel Supply System for IC Engine)

पेट्रोल इंजन का ईंधन तंत्र डीजल इंजन के ईंधन तंत्र से अलग होता है क्योंकि पेट्रोल इंजन में चूषण स्ट्रोक के दौरान वायु तथा ईंधन का मिश्रण इंजन सिलेण्डर में प्रवेश करता है जबकि डीजल इंजन में चूषण स्ट्रोक के दौरान केवल वायु इंजन सिलेण्डर में प्रवेश करता है।

पेट्रोल इंजन में ईंधन तंत्र

स्पार्क ज्वलन इंजन या पेट्रोल इंजन वोलाटाइल ईंधन जैसे पेट्रोल प्रयोग करते हैं। पेट्रोल तथा वायु के मिश्रण को इंजन में प्रवेश कराते हैं। वह प्रक्रिया जिसमें हम ईंधन को कणीकृत करके वायु के साथ मिश्रण तैयार करते है, कार्बुरीकरण (carburetion process) प्रक्रिया कहलाती है। प्रक्रिया के लिए प्रयुक्त उपकरण को कारबुरेटर कहते हैं।

पेट्रोल इंजन में ईंधन के प्रवाह का आरेख निम्न है—



चित्र 10.16

कार्बुरीकरण को प्रभावित करने वाले कारक—

(i) इंजन गति

(ii) प्रवेश वायु का तापमान

(iii) प्रवेश मैनिफोल्ड का डिजाइन

वायु एवं ईंधन मिश्रण

- 15 : 1 द्रव्यमान के अनुसार chemically correct mixture है।
- Rich mixture : 11 : 1
- Lean mixture : 20 : 1

Study PowerPoint

❑ 10.30. कारबुरेटर : क्रियाविधि एवं प्रकार (Carburettor : Working & Types)

हम जानते हैं कि पेट्रोल इंजन में ईंधन के रूप में पेट्रोल एवं वायु का इस्तेमाल किया जाता है। ईंधन को सिलिण्डर में प्रवेश एक नापी हुई अनुपात (Metered Quantity) में करानी होती हैं। ईंधन को सही मात्रा में मिश्रण इंजन सिलिण्डर में बनाया जाता है। मिश्रण को तैयार करने की प्रक्रिया को कार्बुरीकरण (Carburation) कहते हैं।

वह युक्ति जो उचित मात्रा में पेट्रोल लेकर उसे वाष्पीकृत (Vaporize) करके वायु की सही मात्रा के साथ मिलाकर उपयुक्त मिश्रण या चार्ज तैयार करता है, कारबुरेटर (Carburettor) कहलाता है।

Carburettor पेटोल इंजन का एक महत्वपूर्ण भाग है।

■ कारबुरेटर के गुण (Property of Carburettor)

एक अच्छे कारबुरेटर में निम्न गुण विद्यमान होने चाहिए—

(i) पेट्रोल एवं वायु का मिश्रण तैयार करना।

(ii) सही मात्रा में सही समय पर ईंधन को कर्णीकृत (Atomize) करके वाष्पीकृत (Vaporize) करना।

(iii) इंजन की Running condition (जैसे—भार, गति) आदि के अनुसार पेट्रोल एवं वायु के अनुपात को बदलकर उचित मिश्रण तैयार करना।

(iv) इंजन की Idling अवस्था के दौरान अधिक मात्रा में पेट्रोल प्रदान करना क्योंकि इंजन को इस अवस्था में rich mixture की आवश्यकता होती है।

(v) ईंधन के अनुपात को स्वत: ठीक करना होता है।

(vi) Idling condition के दौरान इंजन में Racing को नियंत्रित करना।

(vii) विभिन्न परिस्थितियों (जैसे—मौसम, भार, ऊँचाई) में इंजन को सुगमता से चालू करने में कारबुरेटर सक्षम होना चाहिए।

(viii) रचना सरल एवं सुगठित (Simple and compact) होनी चाहिए।

(ix) परिचालन मितव्ययी होना चाहिए।

(x) रख-रखाव कम खर्चीला होना चाहिए।

❑ 10.31. सरल कारबुरेटर : क्रियाविधि एवं रचना (Simple Carburetter : Working Principle and Construction)

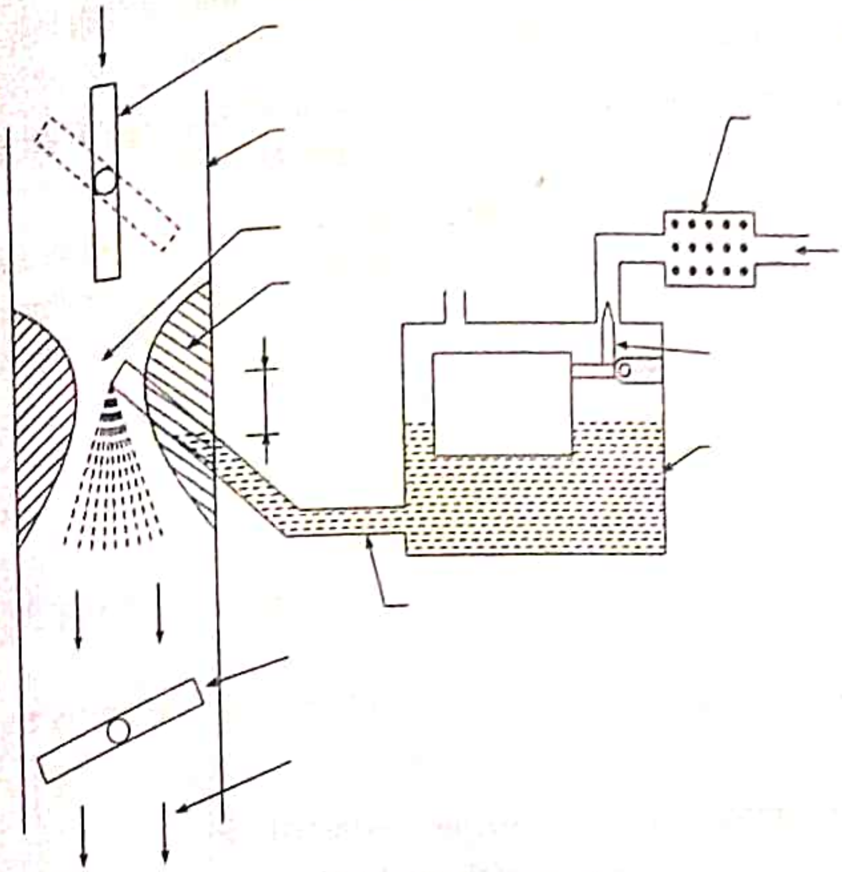
सरल कारबुरेटर का सचित्र विवरण चित्र 10.20 में दिया गया है—

सरल कारबुरेटर वह होता है जिसमें carburetion प्रक्रिया सुचारु रूप से सम्पन्न हो सके। कारबुरेटर से इंजन को एक निश्चित गति सीमा (speed range) एवं इंजन पर एक निश्चित भार सीमा (load range) के लिए उपयुक्त मिश्रण प्रदान किया जा सकता है।

सरल कारबुरेटर के मुख्य भाग निम्नलिखित हैं—

1. आप्लव कक्ष (Float chamber)
2. स्ट्रेनर (Strainer)
3. फ्लोट य आप्लव (Float)
4. सुई वाल्व (Needle valve)

Study PowerPoint



चित्र 10.17—Simple Carburettor

5. ईंधन-नॉजल (Fuel-Nozzle)
6. वेन्चूरी (Venturi)
7. थ्रॉटल वाल्व (Throttle valve)
8. छिद्र या सुराख (Vent)

1. आप्लव कक्ष (Float chamber)—यह एक छोटे भण्डारण (Reserve) के रूप में कार्य करता है जिसमें एक यत दाव शीर्ष (Constant pressure head) पर नॉजल को ईंधन की आपूर्ति करता है।

Strainer, float and needle valve इसी के भाग होते हैं।

2. स्ट्रेनर (Strainer)—इसका मुख्य कार्य ईंधन में उपस्थित धूल एवं अन्य कणों को छानना होता है। यह सूक्ष्म तारों द्वारा बनी एक शंकुनुमा (Cone shaped) या बेलनाकार (Cylindrical) छन्नक युक्ति होती है।

चूँकि ईंधन को एक सूक्ष्म नॉजल छिद्र से गुजरना होता है, अत: उसमें किसी प्रकार के धूल कण (Dust) आदि होने से नॉजल के बन्द हो-जाने की आशंका रहती है। अत: उसे दूर करने की आवश्यकता होती है।

3. आप्लव (Float)—इसका मुख्य कार्य ईंधन का स्तर, Float chamber में पूर्व निर्धारित मान तक बनाए रखना होता है।

यह एक धातु की पतली चादर का बना होता है तथा वजन में बहुत हल्का होता है। Float chamber में जब भी ईंधन का स्तर नीचे गिरता है तो float भी नीचे चला जाता है, जिससे ईंधन के आगे का रास्ता खुल जाता है।

4. सुई वाल्व (Needle valve)—सुई वाल्व, float chamber में आने वाले ईंधन को नियंत्रित करता है। सुई वाल्व आप्लव की गति के अनुसार गति करता है।

Study PowerPoint

5. ईंधन-नॉजल (Fuel-Nozzle)—इसका मुख्य कार्य ईंधन की गति को बढ़ाना होता है। ईंधन की गति बढ़ने के कारण उसका दाब कम होता है और ईंधन आसानी से वाष्पित (vaporize) हो जाता है।

6. वेन्चूरी (Venturi)—यह एक नली के आकार की संरचना होती है जो घटते अनुप्रस्थ काट वाली होती है। इस अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल जहाँ पर न्यूनतम होता है उसे कंठ (throat) कहते हैं।

इसका मुख्य कार्य प्रवाहित हो रही वायु की गति बढ़ाकर उसका दाब कम करना होता है। Float chamber में वातावरणीय दाब (Atmospheric Pressure) होता है। चूंकि कण्ठ पर दाब सबसे न्यूनतम होता है अतः Venturi throat पर दाब वातावरणीय दाब (Atmoshperic pressure) से कम होता है जिसके कारण से Venturi में एक दाबान्तर (Pressure difference) उत्पन्न होता है और ईंधन सरलता से float chamber से आकार नॉजल में विसर्जित (discharge) हो जाता है।

7. थ्रॉटल वाल्व (Throttle valve)—इसका प्रमुख कार्य—"पेट्रोल एवं वायु के मिश्रण को नियंत्रित करना होता है। हम जानते हैं कि पेट्रोल इंजन Quantity governed (मात्रा अधिनियंत्रित) होती है जिसका तात्पर्य है कि इंजन द्वारा उत्पादित शक्ति, सिलिण्डर द्वारा प्रदान किए गए ईंधन (पेट्रोल एवं वायु का मिश्रण) के समानुपाती होता है।

Throttle Valve, Venturi के बाद लगा होता है। यह कड़ियों (Links) की सहायता से त्वरक पैडल (accelerator padel) से जुड़ा होता है। पैडल को दबाने पर यह खुल जाता है।

8. छिद्र या सुराख (Vent)—Float chamber में बना होता है जिससे chamber में वातावरणीय दाब (atmospheric pressure) बना रहता है।

■ सरल कारबुरेटर की क्रियाविधि (Working of Simple Carburettor)

इंजन के चूषण स्ट्रोक (suction stroke) के दौरान सिलिण्डर में निर्वात (vacuum) उत्पन्न होता है जिसके कारण carburettor में भी निर्वात (vacuum) उत्पन्न होता है और वायुमण्डलीय वायु (atmospheric air) कारबुरेटर (carburettor) के अन्दर प्रवेश करती है। Venturi throat से गुजरने के पश्चात् float chamber और Venturi में एक दाबान्तर उत्पन्न होता है जिससे ईंधन, पाइप या नली की सहायता से नॉजल में प्रवेश करता है और नॉजल में उपस्थित पेट्रोल की कुछ मात्रा नॉजल से निकलकर वायु के साथ मिल जाती है। इस प्रकार वायु का मिश्रण, Throttle valve के रास्ते इंजन सिलेण्डर तक पहुंचता है। मिश्रण की मात्रा का नियंत्रण, Throttle Valve के खुलने एवं बन्द होने पर निर्भर करता है।

नॉजल-कण्ठ (Nozzle-throat) का दाब वायुमण्डलीय दाब से 40-50 mm पारा कम होता है।

Carburettor में चोक (Choke) एक महत्त्वपूर्ण अंग होता है।

चोक का इस्तेमाल आवश्यकतानुसार मिश्रण की गुणवत्ता एवं सान्द्रता प्राप्त करने के लिए किया जाता है।

उदाहरण—ठण्ड के दिनों में पेट्रोल आसानी से वाष्पित (vapourize) नहीं हो पाता है जिससे कम सान्द्र मिश्रण (Lean mixture) तैयार होता है और इंजन चालू नहीं होता है।

ऐसी स्थिति में चोक की सहायता से float chamber में से अधिक पेट्रोल लेकर अपेक्षाकृत अधिक सान्द्र मिश्रण (rich mixture) तैयार किया जाता है, जो अधिक ज्वलनशील हो जाता है। इस प्रकार इन्जन चालू हो जाता है।

❑ 10.32. कारबुरेटर के प्रकार (Types of Carburettor)

मिश्रण की दिशा के आधार पर कारबुरेटर को निम्न तीन वर्गों में विभाजित किया गया है।

(i) ऊर्ध्व-प्रवाह कारबुरेटर (Up-draught carburettor)

(ii) प्राकृतिक या क्षैतिज प्रवाह (Natural Draught or Horizontal flow carburettor)

(iii) अधो-प्रवाह कारबुरेटर (Down-draught carburettor)

(i) ऊर्ध्व-प्रवाह कारबुरेटर (Up-draught carburettor)—इसमें वायु की दिशा नीचे से ऊपर की ओर होती है अतः मिश्रण (पेट्रोल एवं वायु) की दिशा भी ऊपर की ओर होती है।

Study PowerPoint

इस Carburettor में Intake manifold नीचे होता है।

सामान्यत: यह औद्योगिक इंजन (Industrial engine) में प्रयोग किया जाता है।

(ii) प्राकृतिक या क्षैतिज प्रवाह कारबुरेटर (Natural Draught or Horizontal flow carburettor)—इसमें वायु ...तिज दिशा में प्रवेश कर सीधे निकल जाता है, इसलिए मिश्रण भी क्षैतिज दिशा में प्रवाहित होता है।

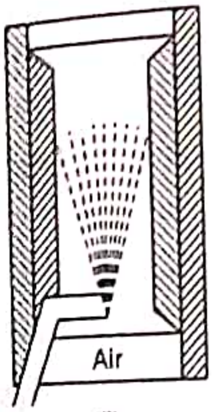
इस Carburettor में Intake Manifold सीधी लाइन में लगा होता है।

इस प्रकार के Carburettor वहाँ इस्तेमाल किए जाते हैं जहाँ बोनट के नीचे कम स्थान होता है। यह Carburettor ...टे इंजन के लिए प्रयोग किया जाता है।

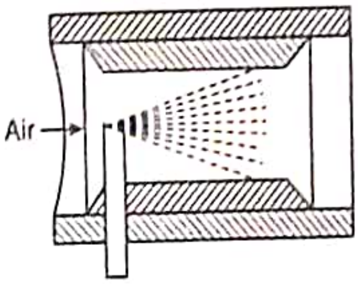
(iii) अधो-प्रवाह कारबुरेटर (Down-draught carburettor)—इसमें वायु की दिशा ऊपर से नीचे की ओर होती है, ...अत: मिश्रण भी ऊपर से नीचे की ओर प्रवाहित होता है।

इस प्रकार के Carburettor में Intake manifold ऊपर की ओर लगाए जाते हैं।

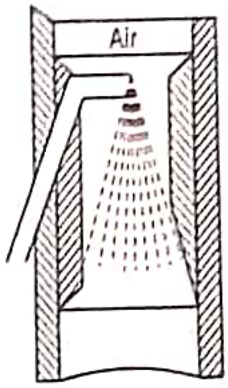
Carburettor उच्च गति इंजन के लिए प्रयोग किए जाते हैं। इस Carburettor के प्रयोग से इंजन की आयतनिक दक्षता (Volumetric Efficiency) भी बढ़ जाती है।



(i)
ऊर्ध्व-प्रवाह कारबुरेटर
(Updraught Carburattor)



(ii)
प्राकृतिक या क्षैतिज प्रवाह कारबुरेटर
(Horizontal Draught Carburattor)



(iii)
अधो-प्रवाह कारबुरेटर
(Down-draught Carburattor)

चित्र 10.18

10.33. इंजन ईंधन तंत्र (Engine Fuel System)

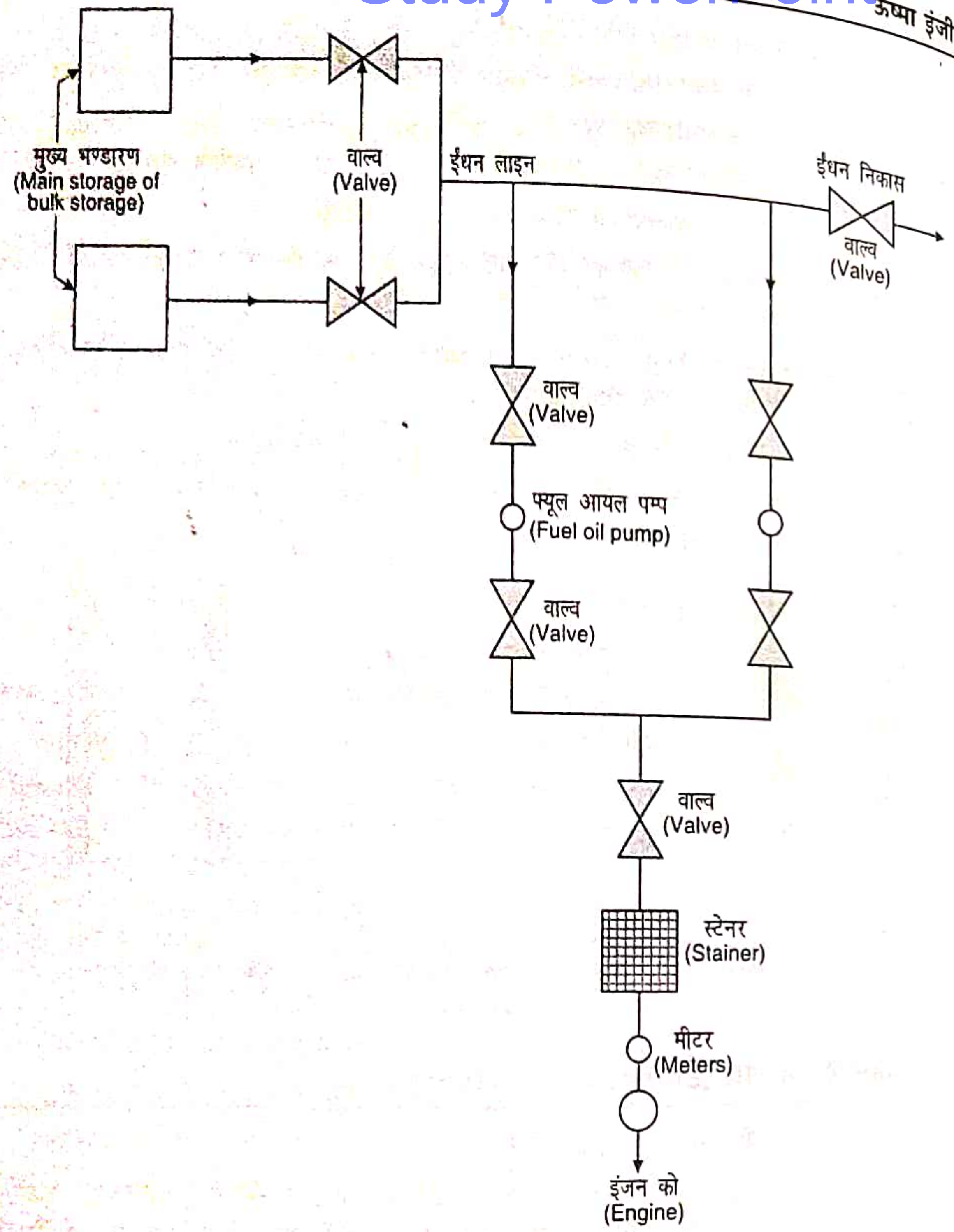
इंजन ईंधन तंत्र का रेखीय आरेख चित्र 10.22 में है—

चित्र में शक्ति संयन्त्र के ईंधन तंत्र के मुख्य भण्डारण में ईंधन (डीजल) को टैंकरों की सहायता से ले आते हैं। मुख्य भण्डारण से वाल्वों की सहायता से डीजल को इंजन में प्रवेश कराते हैं। इंजन सिलेण्डर से पूर्व इसे एक छोटे टैंक में फिल्टर (स्टेनर) तथा मीटर की सहायता से प्रवेश कराते हैं। मुख्य भण्डारण से ईंधन पाइपों में डीजल लाने के लिए फ्यूल पम्प (Fuel pump) का इस्तेमाल किया जाता है।

ईंधन तंत्र के सुचारु रूप में कार्य करने के लिए निम्न बातें विचारणीय होती हैं—

1. पाइप लाइनों को सुचारु रूप से चलाने के लिए समय-समय पर सफाई होनी चाहिए।
2. पाइपों का जोड़ मजबूत होना चाहिए।
3. पाइपों के अंदर का दाब अनुपातिक होना चाहिए।
4. फिल्टरों का प्रयोग उचित स्थान पर होना चाहिए।
5. अशुद्धियों को स्टेनर (stainer) की सहायता से पृथक् करना चाहिए।

Study PowerPoint



चित्र 10.19—इंजन ईंधन तंत्र

❑ 10.34. डीजल इंजन में प्रयुक्त ईंधन तंत्र

सम्पीडन ज्वलन इंजन या डीजल इंजन में पिस्टन के चूषण स्ट्रोक के दौरान केवल वायु इंजन सिलेण्डर में प्रवेश करती है। इंजन में ईंधन अंत: क्षेपण तंत्र (Fuel injection system) की सहायता से ईंधन को कणींकृत करके इंजन सिलेण्डर में प्रवेश कराते हैं।

■ ईंधन अंत:क्षेपण की आवश्यकता

(i) यह ईंधन को कणीकृत कर वाष्पित करता है।

(ii) यह ईंधन की मापी हुई मात्रा को इंजन सिलेण्डर में प्रवेश कराता है।

(iii) यह ईंधन अंत:क्षेपण के सही समय को निर्धारित करता है।

Study PowerPoint

(iv) यह ईंधन को सूक्ष्मतल कणों में विभाजित करता है।
(v) दहन कक्ष में ईंधन के समान प्रवाह के लिए आवश्यक होता है।
(vi) इसकी सहायता से ईंधन मिश्रण त्वरित होता है।

अंत:क्षेपण निकाय का वर्गीकरण

अंत:क्षेपण को दो वर्गों में विभाजित किया गया है—

(i) वायु अंत:क्षेपण निकाय (Air injection system)
(ii) वायुरहित या ठोस अंत:क्षेपण निकाय (Airless or solid injection system)

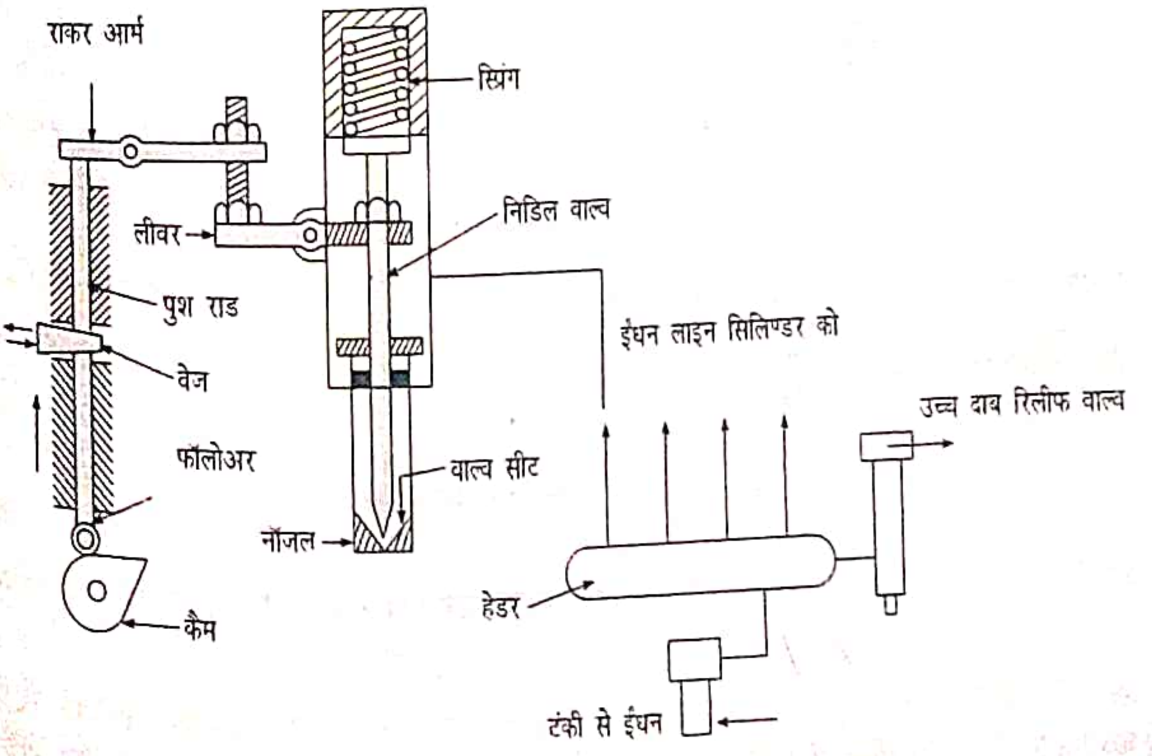
(i) वायु अंत:क्षेपण निकाय (Air injection system)—इस निकाय में ईंधन को दहन कक्ष में वायु के उच्च दाब (लगभग 70 bar दाब तक) की सहायता से प्रवाहित किया जाता है। इसमें सम्पीडित वायु प्रवाहित करने के लिए सम्पीडक का प्रयोग किया जाता है तथा ईंधन को ईंधन टंकी से इंजेक्टर तक ईंधन पम्प की सहायता से पहुँचाया जाता है।

(ii) वायुरहित या ठोस अंत:क्षेपण निकाय (Airless or solid injection system)—इस निकाय में ईंधन को बिना सम्पीडित वायु की सहायता से दहन कक्ष में प्रवेश कराया जाता है। इस कारण से इसे वायुरहित अंत:क्षेपण निकाय कहते हैं। इस निकाय में सर्वप्रथम वायु को सिलेण्डर में सम्पीडित किया जाता है जिससे ईंधन के प्रवाह से यह ईंधन को तुरन्त वाष्पित कर सके। ईंधन को उच्च अंत:क्षेपण दाब पर (70 bar) प्रवाहित किया जाता है। इसमें ईंधन पम्प एवं एक नाजल लगा होता है।

वायुरहित अंत:निकाय के प्रकार—

(a) कामन रेल निकाय (Common rail system)
(b) एकल पम्प निकाय (Individual pump system)
(c) वितरक निकाय (Distributor system)

(i) कामन रेल निकाय (Common rail system)—इस निकाय में ईंधन को इंजेक्टर से यांत्रिक संतुलक वाल्व (mechanical control valve) की सहायता से प्रवाहित किया जाता है। ईंधन टंकी से ईंधन सर्वप्रथम एक कामन हेडर जिसे हम एक्युमीलेटर (Accumulator) कहते हैं में उच्च दाब पम्प की सहायता से प्रवाहित किया जाता हैं। एक्युमीलेटर से ईंधन ट्यूब की सहायता से इंजन सिलेण्डर में प्रवेश करता है।



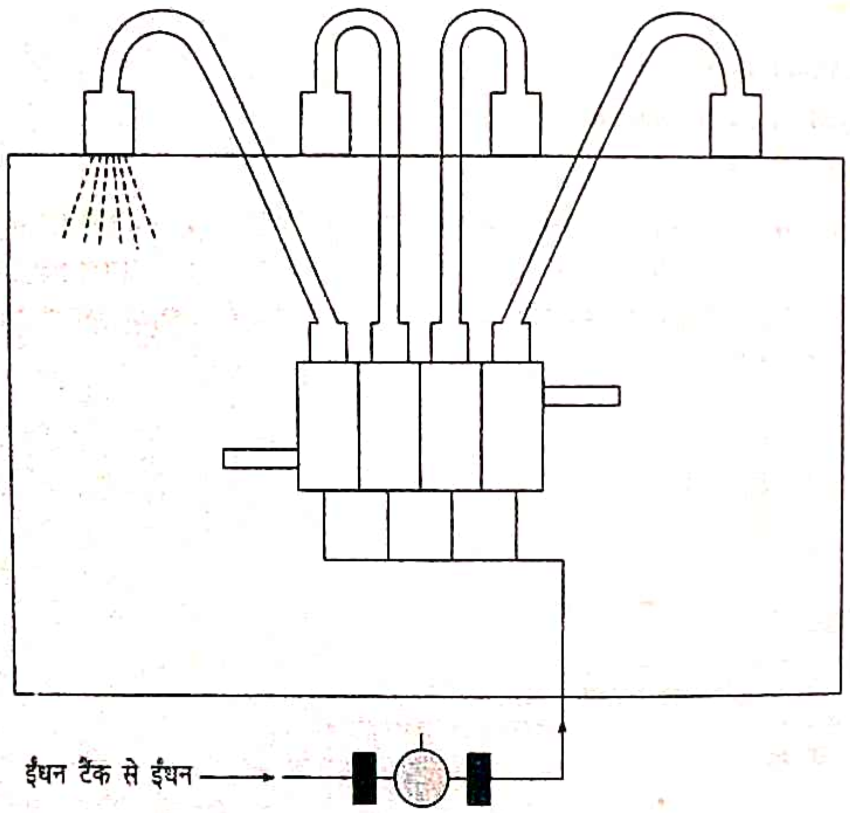
चित्र 10.20—Common Rail System

Study PowerPoint

निकाय में दाब को नियत बनाए रखने के लिए स्प्रिंग भारित सुरक्षा वाल्व का प्रयोग किया जाता है। यह हेडर में अधिक ईंधन को टंकी में वापस भेजता है।

इंजन सिलेण्डर में ईंधन की फुहार नाजल की सहायता से की जाती है। नाजल के खुलने एवं बंद होने को निडिल वाल्व की सहायता से नियंत्रित किया जाता है। निडिल वाल्व की ऊपरी एवं निचली गति को कैम की गति द्वारा नियंत्रित किया जाता है। जब कैम अपनी निचली स्थिति (dwell position) में होता है तब स्प्रिंग निडिल वाल्व को नाजल के रास्ते में ला देता है जिससे ईंधन का प्रवेश सिलेण्डर में अवरुद्ध हो जाता हैं। जब कैम ऊपर की ओर गति करता है तब यह गति निडिल वाल्व को राकर आर्म एवं लीवर की सहायता से प्राप्त होता है जिससे वाल्व अपनी सीट से ऊपर उठ जाता है तथा बने स्थान से नाजल से ईंधन सिलेण्डर में प्रवेश करता है।

(ii) एकल पम्प निकाय—इस निकाय में ईंधन टंकी से ईंधन फिल्टर (f_1) की सहायता से निम्न दाब पम्प में प्रवाहित होता है। यह पम्प ईंधन का दाब 2.5 bar तक बढ़ाकर फिल्टर (f_2) से अलग पम्प (P_1, P_2, P_3, P_4) में प्रवाहित होता है। यह पम्प ईंधन के सम्पीडन को नियंत्रित करता है। पम्प कैम शॉफ्ट से जुड़ा होता है जो ईंधन प्रवाह के समय को नियंत्रित करता है। L एक नियतांक उपकरण है जिसकी सहायता से भार के अनुसार ईंधन का प्रवाह होता हैं। ईंधन पम्प (P_1, P_2, P_3, P_4) से ईंधन सिलेण्डर में नाजल ($N_1, N_2\ N_3, N_4$) की सहायता से क्रमश: प्रवाहित होता है। फिल्टर की सहायता से अशुद्धियों को छानकर बाहर निकाला जाता है।

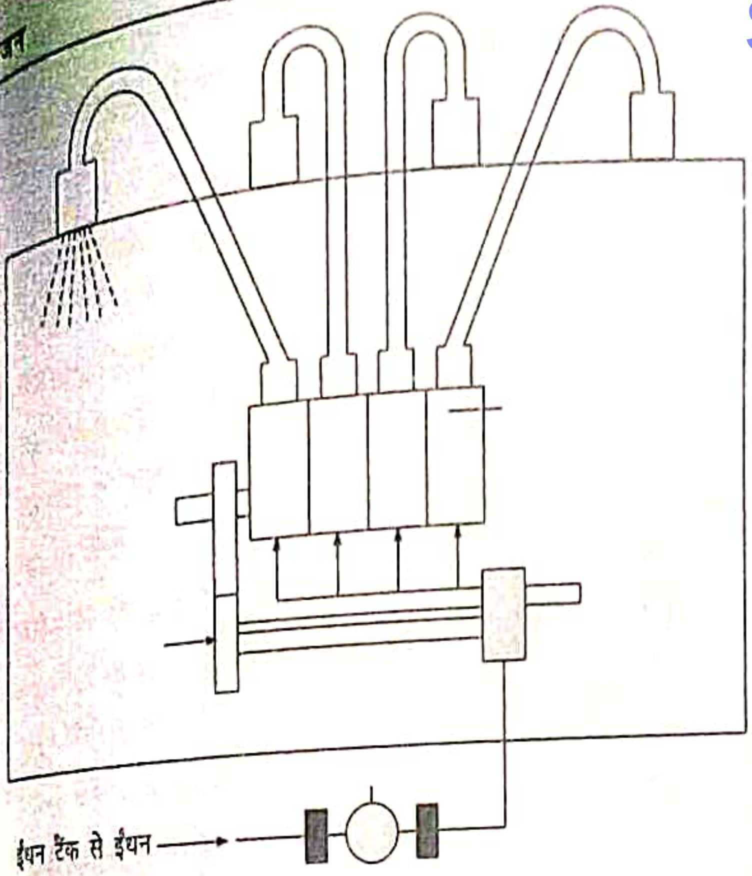


चित्र 10.21—Individual Pump System

इस निकाय में प्रत्येक सिलेण्डर के लिए अलग-अलग पम्प का प्रयोग किया जाता है, इसलिए इसे एकल पम्प निकाय कहते हैं।

(iii) वितरक निकाय—इस निकाय में केवल एक पम्प का प्रयोग किया जाता है जिसकी सहायता से ईंधन को सम्पीडित एवं मापित कर प्रत्येक नॉजल में प्रवाहित किया जाता है। इसकी क्रियाविधि एकल पम्प निकाय के समान होती है।

Study PowerPoint



चित्र 10.22—Distribution System

10.35. ईंधन अंतःक्षेपण पम्प (Fuel Injection Pump)

प्रमुख कार्य

- यह ईंधन को उचित मात्रा में मापित करता है।
- यह ईंधन को उच्च दाब पर ईंधन सिलेण्डर में प्रवेश कराता है।
- यह ईंधन को कणीकृत करके अंत:क्षेपित करता है।

प्रकार

- जेट प्रकार ईंधन अंत:क्षेपण पम्प (Jet type fuel injection pump)
- वितरक प्रकार ईंधन अंत:क्षेपण पम्प (Distributor type fuel injection pump)

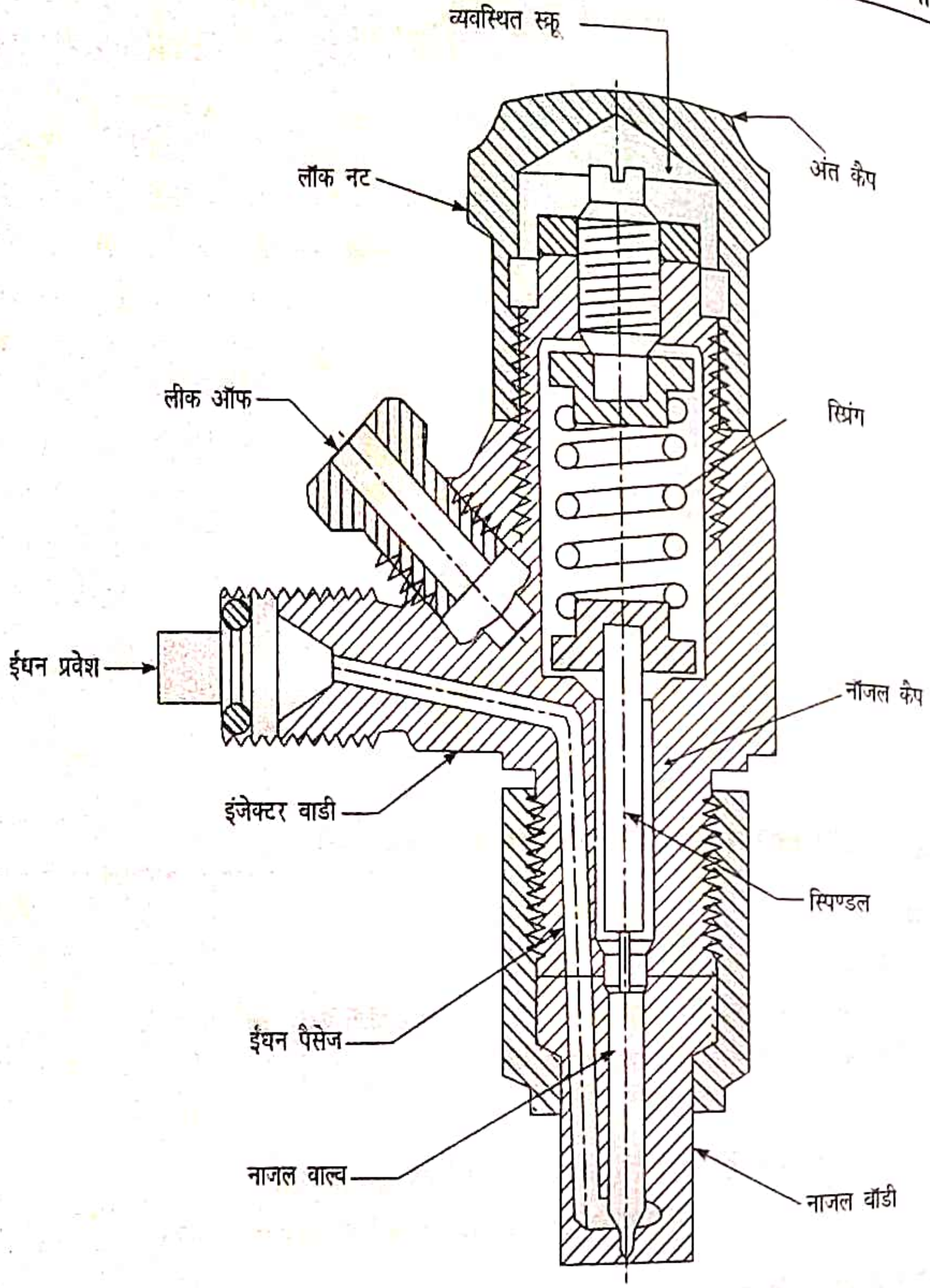
10.36. ईंधन अंतःक्षेपक (Fuel Injector)

इसका प्रमुख कार्य ईंधन को कणीकृत (Atomise) करके अत्यन्त छोटे कणों में दहन कक्ष में प्रवेश कराना होता है। इसके अलावा शीघ्र तथा सम्पूर्ण दहन सुनिश्चित करना होता है। ईंधन को कणीकृत करने के लिए छोटी-सी मुखिका (Orifice) से उच्च दाब पर गुजारा जाता है।

मुख्य अवयव

1. एक सुई वाल्व (Needle valve)
2. संपीडन कमानी (Compression spring)
3. नॉजल (Nozzle)
4. अंत: क्षेपक हाउसिंग (Injector housing or Body)

Study PowerPoint



चित्र 10.23—ईंधन अंत:क्षेपक

■ क्रियाविधि सिद्धान्त (Working Principle)

फ्यूल इंजेक्टर (fuel injector) से उच्च दाब पर आने वाले ईंधन को दाब चैम्बर (Pressure chamber) में प्रवेश कराते हैं। जब कमानी (spring) बल के विरुद्ध पर्याप्त दाब डालती है तो नॉजल वाल्व ऊपर की ओर उठाता है तो डीजल सिलेण्डर में सूक्ष्म फुहारित कणों के रूप में अंत:क्षेपित (inject) होता है।

प्रदाय पम्प (delivery pump) से आने वाला ईंधन के समाप्त होते ही स्प्रिंग का दाब, नॉजल वाल्व को पुन: अपनी सीट (seat) पर ले आता है।

स्प्रिंग का दबाव वाल्व पर समायोजक पेंच (Adjusting screw) को समायोजित कर निर्धारित किया जाता है।

Study PowerPoint

10.37. स्पार्क ज्वलन इंजन में प्रयुक्त ज्वलन तंत्र

हम जानते हैं कि ज्वलन ईंधन में ईंधन का ज्वलन स्पार्क प्लग से उत्पन्न चिंगारी के कारण होता है। स्पार्क ज्वलन इंजन में ज्वलन तंत्र का मुख्य उद्देश्य स्पार्क प्लग को आवश्यक न्यूनतम ऊर्जा प्रदान करना होता है जिससे दहन कक्ष में फ्लेम का निर्माण हो सके, सभी कार्यकारी परिस्थितियों में।

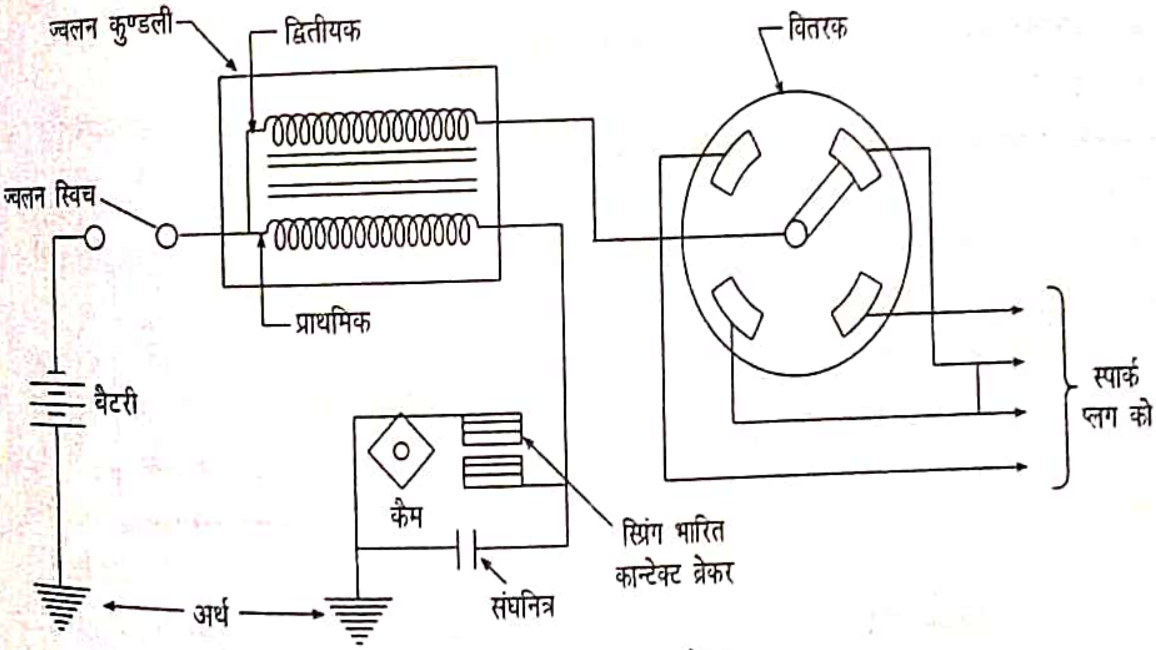
ज्वलन तंत्र के लिए आवश्यक अवयव

- विद्युत ऊर्जा स्रोत
- स्पार्क प्लग इलेक्ट्रोड जिसकी क्षमता उच्च वोल्टेज उत्पन्न करने की हो।
- वितरक

ज्वलन तंत्र के प्रकार

(i) बैट्री कुंडली ज्वलन तंत्र (Battery coil ignition system)
(ii) मैग्नेटो ज्वलन तंत्र (Magneto ignition system)
(iii) इलेक्ट्रोनिक ज्वलन तंत्र (Electronic ignition system)

(i) बैट्री कुंडली ज्वलन तंत्र (Battery coil ignition system)—व्यवस्थित आरेख निम्न है—



चित्र 10.24—ईंधन अंत:क्षेपक

तंत्र के मुख्य अवयव निम्नलिखित हैं—
(i) बैट्री
(ii) ज्वलन कुंडली ब्लास्टर प्रतिरोध के साथ
(iii) ज्वलन स्विच
(iv) कान्टेक्ट ब्रेकर
(v) संघनित्र
(vi) वितरक
(vii) स्पार्क प्लग

Study PowerPoint

■ क्रियाविधि

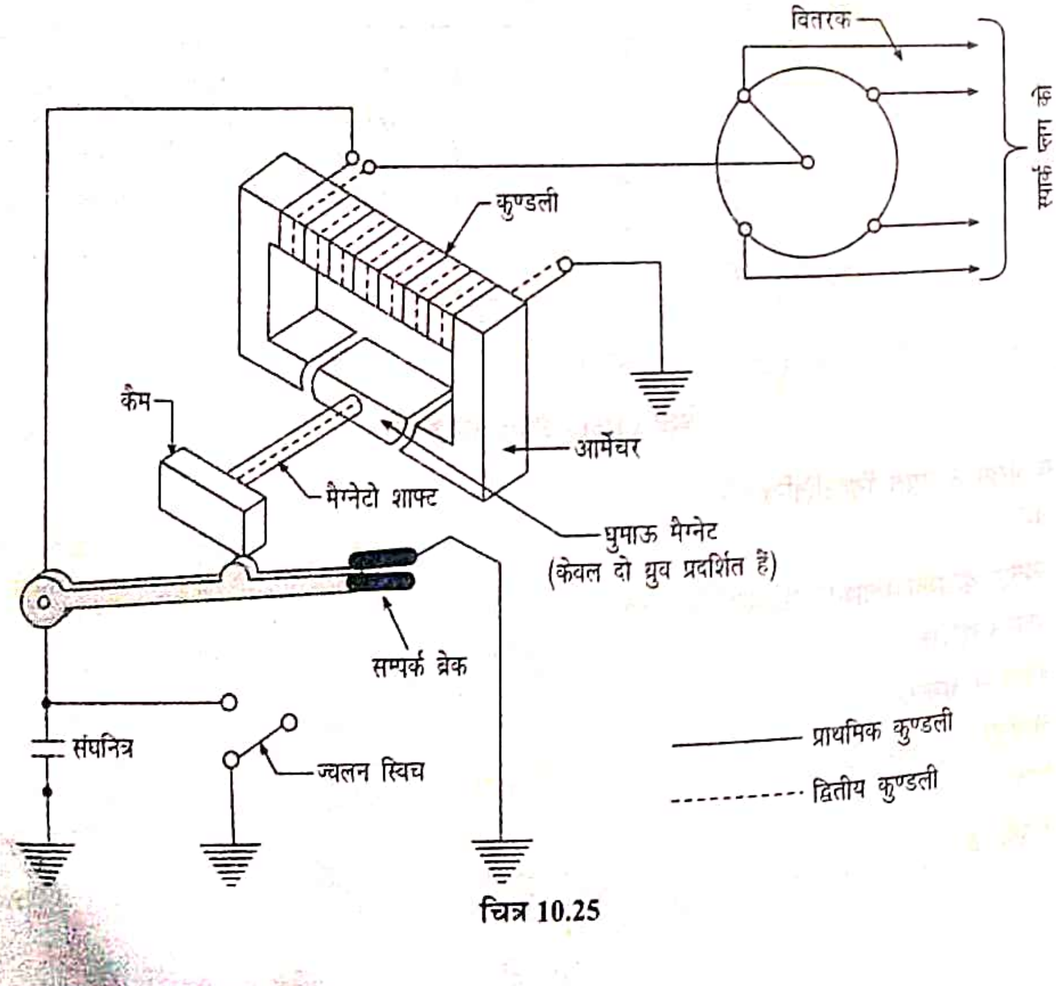
बैट्री को इंजन से जोड़ने के लिए ज्वलन स्विच (ignition switch) का प्रयोग किया जाता है जिसकी सहायता से हम इंजन को आवश्यकतानुसार चालू एवं बंद कर सकते हैं। जब ज्वलन स्विच ऑन होता है तब कान्टेक्ट ब्रेकर बंद हो जाता है जिस कारण से बैट्री से विद्युत ज्वलन कुंडली के प्राथमिक कुंडली में प्रवाहित होता है तथा वापस भूमिगत हो जाता है। इस कारण से प्राथमिक कुंडली में एक चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न होता है जिस कारण से emf उत्पन्न होता है। जब इंजन को स्पार्क की आवश्यकता होती है तब ब्रेकर बिन्दु कैम की सहायता से distributor arm (वितरक आर्म) के कारण खुल जाता है यह प्राथमिक सर्किट को खोल देता है जिससे चुम्बकीय क्षेत्र प्राथमिक कुंडली में मिल जाती है। परिणामी विद्युत उसी दिशा में प्रवाह करता है, जिस दिशा में बैट्री की विद्युत धारा संघनित्र में डिस्चार्ज होती है। यह त्वरित परिवर्तन प्राथमिक वाइंडिंग में (चुम्बकीय क्षेत्र में) उच्च वोल्टेज विद्युत धारा उत्पन्न करता हैं जब प्राथमिक वाइंडिंग में कान्टेक्ट ब्रेकर खुला होता है तो वितरक रोटर की सहायता से स्पार्क प्लग जुड़ जाता है तो उत्पन्न वोल्टेज स्पार्क प्लग से स्पार्क उत्पन्न करता है। यह उत्पन्न वोल्टेज 8kV से 20 kV का होता है।

(ii) मैग्नेटो ज्वलन तंत्र (Magneto Ignition system)—इस तंत्र में मैग्नेटो बैट्री कुंडली तंत्र के सभी अवयव को हटा देता है केवल स्पार्क प्लग छोड़कर। मैग्नेटो एक विद्युत जनित्र होता है जो इंजन की सहायता से चलता है।

तंत्र के प्रमुख अवयव निम्नलिखित हैं—

- एक विद्युत जनित्र जिसमें स्थायी चुम्बकीय क्षेत्र तथा घुमाऊ आर्मेचर जिससे AC विद्युत उत्पन्न होती है।
- एक इन्डक्शन कुंडली जिसमें आर्मेचर के चारों ओर प्राथमिक एवं द्वितीयक वाइंडिंग लगी हो।
- कान्टेक्ट ब्रेकर
- वितरक

उच्च तनाव विद्युत स्पार्क प्लग को वितरित करने के लिए तंत्र का व्यवस्थित आरेख निम्न है—



चित्र 10.25

Study PowerPoint

क्रियाविधि

इस निकाय में चुम्बक के घुमाव के कारण चुम्बकीय फ्लक्स में निरन्तर परिवर्तन होता रहता है। चुम्बकीय फ्लक्स ...धिकतम धनात्मक से अधिकतम ऋणात्मक तक बदलती है तथा पुनः वापस हो जाती है। इस निरन्तर बदलाव के कारण ...मिक वाइन्डिग में विद्युत होती है। जब प्राथमिक वाइन्डिग में विद्युत पीक (Peak) मान पर होती है तो सम्पर्क ब्रेकर बिन्दु ...म के कारण जो मैग्नेटो शॉफ्ट पर होता है) खुल जाता है तथा यह सर्किट अब बैट्री ज्वलन तंत्र निकाय की तरह कार्य करने ...ता है।

प्रकार

- घुमाऊ मैग्नेटो प्रकार
- घुमाऊ आर्मेचर मैग्नेटो प्रकार
- ध्रुवीय मैग्नेटो प्रकार

(iii) इलेक्ट्रोनिक ज्वलन तंत्र (Electronic ignition system)—ब्रेकर बिन्दु के त्वरित अनुरक्षण, शक्ति में ह्रास, ...क्षमता, चालू करने में समस्या को दूर करने के लिए आधुनिक इंजनों में ठोस अवस्था उपकरणों का प्रयोग किया जा रहा है। इसे ...लेक्ट्रानिक्स ज्वलन तंत्र कहते हैं।

यह दो प्रकार का होता है—

(a) TAC System (Transistorised Assisted Contact System)

(b) CDI System (Capacitor Discharge Ignition System)

10.38. शीतलन प्रक्रम (Cooling Process)

हम जानते हैं कि अंतर्दहन इंजनों में ईंधन का दहन इंजन सिलिण्डर के अन्दर होता है। ईंधन के दहन के फलस्वरूप ऊर्जा के रूप में ऊष्मा उत्पन्न होती है जिससे हमें यांत्रिक कार्य प्राप्त होती है। व्यावहारिक रूप से कुल उत्पन्न ऊष्मीय ऊर्जा का कुछ भाग ही (25-40%) यांत्रिक कार्य में परिवर्तित हो पाता है। बची हुई ऊष्मा में से कुछ भाग निकास गैसों (exhaust gases) के रूप में वायुमण्डल में निकाल दी जाती हैं। यह ऊष्मा लगभग कुल ऊष्मा का 30-35% भाग होता है। कुल लगभग 70-75% ऊष्मा प्रयोग की जाती है। बची हुई ऊष्मा अंतर्दहन इंजन से अंतरित (transfer) हो जाती है।

ऊष्मा के इस अंतरण से अंतर्दहन इंजनों पर होने वाले प्रभाव निम्नलिखित हैं—

(i) पिस्टन के अधिक गर्म होने से इसका प्रसारण होने लगता है जिससे पिस्टन एवं इंजन सीज होने की संभावना बढ़ जाती है।

(ii) ऊष्मा के अंतरण से इंजन के पुर्जों (Parts) की सामर्थ्य (Strength) भी कम होने लगती है।

(iii) इंजन में ऊष्मा के अंतरण के कारण तापीय प्रतिबल (Thermal Stress) उत्पन्न होता है, जिसके कारण इंजन के पुर्जों (parts) में विकृति (strain) उत्पन्न होती है।

(iv) पूर्व ज्वलन एवं अधिविस्फोटन (Preignition and Detonation) की सम्भावनाएँ बढ़ जाती हैं।

(v) ऊपरी तापन (Overheating) के कारण आयतनिक दक्षता (Volumetric efficeincy) भी कम हो जाती है।

उपरोक्त वर्णित दुष्प्रभावों से अंतर्दहन इंजन को बचाने के लिए हमें ऊष्मा का अंतर्दहन इंजन से बाहर निकालना आवश्यक होता है।

"अतः एक ऐसा प्रक्रम जो अंतर्दहन इंजन में उपजे ऊष्मा को ठंडा कर सके, शीतलन प्रक्रम (cooling process) कहलाता है।"

अंतर्दहन इंजनों में प्रयोग किए जाने वाला शीतलन प्रक्रम इस प्रकार होना चाहिए कि उससे इंजन सिलिण्डर से वांछित मात्रा में एवं शीघ्रतता से निष्कासन की क्षमता हो।

Study PowerPoint

इंजन शीतलन विधि मुख्यत: दो प्रकार की होती है—

(i) वायु शीतलन (Air Cooling)

(ii) जल शीतलन (Water Cooling)

1. वायु शीतलन (Air Cooling)—इसे हम प्रत्यक्ष शीतलन प्रक्रम (Direct cooling process) भी कहते हैं। शीतलन के इस प्रक्रम में ऊष्मा का अंतरण वायु तथा इंजन पुर्जों (engine parts) के प्रत्यक्ष सम्पर्क में आने से होता है। शीतलन के इस प्रक्रम में वायु को अंतर्दहन इंजन के विभिन्न पुर्जों जैसे—सिलिण्डर, सिलिण्डर हैड आदि पर मुख्यत: दो विधियों द्वारा प्रवाहित किया जाता है—

(a) प्राकृतिक विधि (Natural Method)

(b) कृत्रिम विधि (Artificial Method)

प्राकृतिक विधि में वायु को सीधे वायुमण्डल से इंजन पुर्जों पर प्रवाहित करते है।

कृत्रिम विधि में वायु को कृत्रिम उपकरणों जैसे—पंखें, Exhauster आदि का प्रयोग करके ऊष्मा का अंतरण करते हैं।

ऊष्मा अंतरण की दर में वृद्धि के लिए हम सामान्यत: इंजन पुर्जों पर निम्न उपकरणों का इस्तेमाल करते है—

- फिन्स (Fins)
- बफेल (Baffels)

वायु शीतलन प्रक्रम सामान्यत: छोटे इंजन जैसे—स्कूटर, मोटर साइकिल के लिए प्रयोग करते है।

■ वायु शीतलन के लाभ (Advantages of air Cooling)

(i) इंजन का डिजाइन सरल होता है।

(ii) जल जैकेट (Water jacket) की आवश्यकता नहीं होती है।

(iii) कूलेन्ट के लीकेज की समस्या नहीं होती है।

(iv) वायु शीतलन इंजन अपेक्षाकृत हल्के होते हैं, भार प्रति ब्रेक अश्व शक्ति (Horse power) पावर के सापेक्ष।

(v) वायु शीतलन इंजन को समायोजित (Assembled) करना आसान नहीं होता है।

(vi) अन्य उपकरण जैसे—शीतलन पाइप, रेडियेटर की आवश्यकता नहीं होती है।

(vii) वायु शीतलन निकाय (Air cooled system) सस्ता होता है।

■ वायु शीतलन की हानियाँ (Disadvantages of air Cooling)

(i) शीतलन असमान (Non-uniform) होता है।

(ii) इंजन में आवाज ज्यादा उत्पन्न (Noisy) होती है।

(iii) रख-रखाव आसान नहीं होता है।

(iv) वायु शीतलन का प्रभाव (Effect of output) अपेक्षाकृत कम होता है।

2. जल शीतलन (Water Cooling)—इस शीतलन निकाय में इंजन के अन्दर एक जल जैकेट (water jacket) होता है। यह जल जैकेट ऊष्मा विनियमित्र (heat exchanger) से या तो रेडियेटर (radiator) से जुड़ा होता है।

रेडियेटर से जल, जल जैकेट में प्रवेश करता है तथा यह इंजन के विभिन्न पुर्जों से होते हुए वापस रेडियेटर में प्रवेश करता है। जिसके कारण इंजन सिलिण्डर में उपजी ऊष्मा जल को अंतरित हो जाती है। रेडियेटर में गर्म जल की ऊष्मा वातावरणीय वायु द्वारा निष्कासित कर ली जाती है। रेडियेटर में बचे ठण्डे जल को पुन: जल जैकेट में भेज दिया जाता है।

Study PowerPoint

जल को सिलिण्डर, सिलिण्डर हेड में भेजने के लिए विभिन्न विधियाँ प्रयोग की जाती हैं। प्रमुख विधियाँ निम्नलिखित हैं—

(a) थर्मो-साइफन शीतलन निकाय (Thermo-syphon cooling system)

(b) पम्प या प्रणोदित शीतलन निकाय (Forced or pumped cooling system)

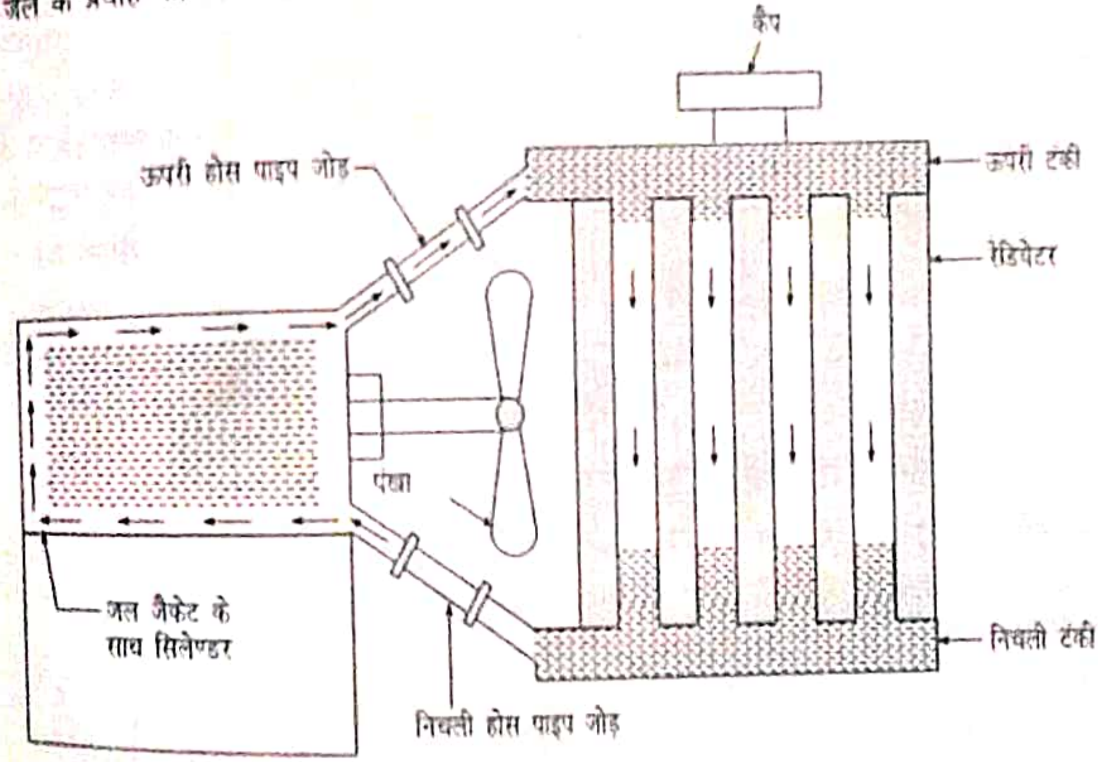
(c) थर्मोस्टैटिक रेगुलेटर शीतलन निकाय (Cooling with thermostiatic regulator)

(d) दाबयुक्त शीतलन निकाय (Pressurized water cooling system)

(e) वाष्पित्र शीतलन निकाय (Evaporative cooling system)

(a) थर्मो-साइफन शीतलन निकाय (Thermo-syphon cooling system)—हम जानते हैं कि जब पानी गर्म होता है तो इसे बाहर निकालना आसान होता है। यह निकाय इसी सिद्धान्त पर आधारित है। इस निकाय में रेडियेटर का ऊपरी हिस्सा जल जैकेट के ऊपरी हिस्से से पाइप द्वारा जोड़ा जाता है तथा रेडियेटर का निचला हिस्सा, जल जैकेट के निचले हिस्से से जोड़ा जाता है।

जल के प्रवाह की दिशा एवं जोड़ों आरेख द्वारा दिखाई गई है—



चित्र 10.26—Thermo-Syphom Cooling

लाभ

- निकाय सरल एवं ऑटोमैटिक होता है।
- जल पम्प की आवश्यकता नहीं होती है।

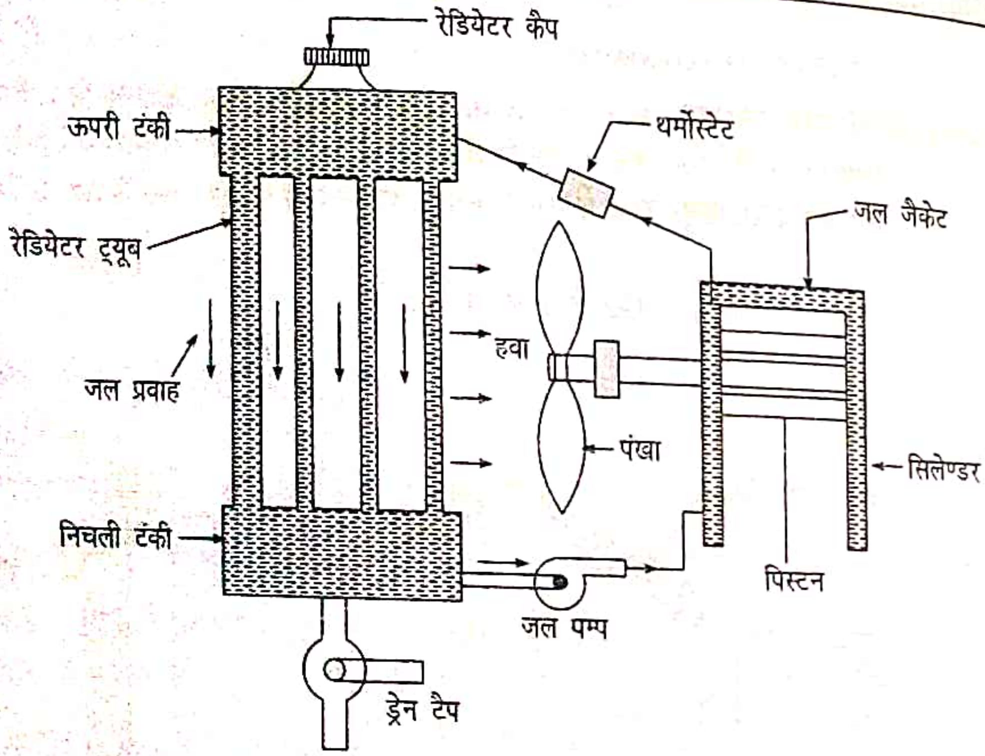
हानि

- यह निकाय तापमान पर निर्भर करता है, न कि इंजन की गति पर। इसलिए ऊष्मा अंतरण की दर कम एवं धीमी होती है।

Study PowerPoint

(b) प्रणोदित या पम्प शीतलन निकाय (Forced or pumped cooling system)—इस निकाय में जल के प्रवाह के लिए (जल जैकेट से रेडियेटर तथा रेडियेटर से जल जैकेट) पम्प का इस्तेमाल करते हैं। पम्प को बेल्ट की सहायता से चलाया जाता है। बेल्ट इंजन द्वारा संचालित होता है।

> **नोट**—चूँकि इस निकाय में ऊष्मा अंतरण की दर तापान्तर (गर्म एवं ठण्डे जल के तापमान में अन्तर) पर निर्भर नहीं करती है, इसलिए कभी-कभी अधिक शीतलन (Over cooling) की समस्या उत्पन्न हो जाती है जिससे इंजन की तापीय दक्षता (thermal efficiency) कम हो जाती है।



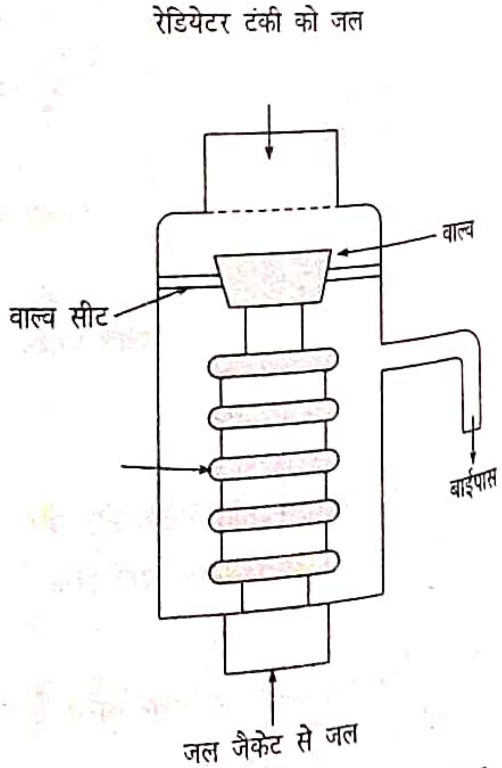
चित्र 10.27—Thermo-Syphom system with pump and thermostat

(c) थर्मोस्टैट रेगूलेटर शीतलन निकाय (Thermostatic Cooling system)—पम्प शीतलन निकाय में, पम्प का नियंत्रण इंजन के खुलने व बन्द होने पर निर्भर करता है। इस समस्या को दूर करने के लिए थर्मोस्टैट का प्रयोग किया जाता है। Thermostat को रेडियेटर एवं जल जैकेट के बीच पाइपों में जोड़ दिया जाता है।

थर्मोस्टैट में कॉपर या ताँबे का बना Bellows होता है जो दोनों सिरों पर सील होता है।

Bellows में निम्न उबालक बिन्दु वाला वोलेटाइल द्रव जैसे ईथर अर्धरूप में भरा होता है।

इस शीतलन निकाय में ठण्डा जल रेडियेटर के निचले हिस्से से पम्प द्वारा जल जैकेट में प्रवेश कराया जाता है, जहाँ से यह सिलिण्डर के अन्दर जाता है। सिलिण्डर की ऊष्मा जल को अंतरित हो जाती है। सिलिण्डर से गर्म जल रेडियेटर के ऊपरी टैंक में प्रवेश करता है, जैसा कि चित्र 10.28 में दिखाया गया है।



चित्र 10.28—Thermostate-regulator

Study PowerPoint

यह गर्म जल थर्मोस्टैट (Thermostat) से होते हुए प्रवाहित होता है। Thermostat जल के तापमान को नियंत्रित करता है। गर्म जल गुरुत्व के कारण रेडियेटर में गिरने लगता है जहाँ से इसकी ऊष्मा को पंखों द्वारा बाहर खींचकर वायुमण्डल में निकाल दिया जाता है। यह पंखे इंजन द्वारा बेल्टों से संचालित होते हैं।

रेडियेटर ट्यूब उच्च तापीय सुचालकता (High thermal conductivity) का होना चाहिए। इसलिए इसे Copper Bronze का बनाया जाता है।

(d) दाबयुक्त शीतलन निकाय (Pressurized water cooling system)—हम जानते हैं कि जल का तापमान बढ़ने से उसका दाब भी बढ़ता है। यही सिद्धान्त बड़े एवं भारी इंजनों के लिए प्रयोग किए जाते हैं तथा इस विधि को दाबीय शीतलन विधि (Pressurize cooling system) कहते हैं। यह विधि उच्च दर से ऊष्मा अंतरण करने में सक्षम होती है। इस विधि में जल का दाब 1.5 bar – 2.0 bar के बीच बनाए रखना होता है।

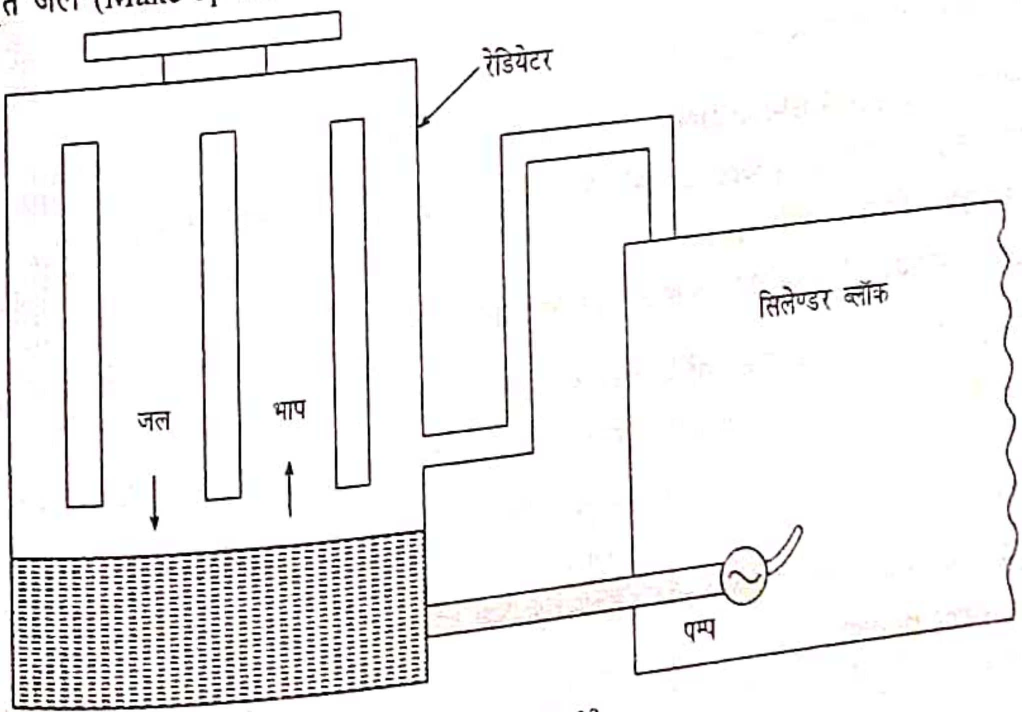
इस निकाय में एक अतिरिक्त वाल्व, निर्वात वाल्व (vacuum valve) की आवश्यकता पड़ती है जिससे निर्वात की स्थिति न उत्पन्न हो।

सुरक्षा की दृष्टि से, सुरक्षा वाल्व जिसे हम दाबयुक्त वाल्व (Pressure relief valve) कहते हैं, लगाना पड़ता है। आवश्यकतानुसार उसके दाब को नियंत्रित करने में मदद मिलती है।

(e) वाष्पित्र शीतलन निकाय (Evaporative cooling system)—इस निकाय को वाष्प या भाप (Vapour or steam) शीतलन निकाय भी कहते हैं। इस निकाय में शीतलन जल का अधिकतम तापमान 100°C होता है। इसमें ऊष्मा अंतरण के लिए वाष्पन की गुप्त ऊष्मा (Latent heat of vaporization) का प्रयोग किया जाता है।

इस शीतलन तंत्र में शीतलक हमेशा द्रव होता है तथा ऊष्मा, वाष्प के रूप में अलग पात्र में एकत्र हो जाती है।

प्रतिपूर्ति जल (Make up Water) शीतलन के लिए प्रयोग किया जाता है।



चित्र 10.29

10.39. इंजन स्नेहन (Engine Lubrication)

इंजन स्नेहन वह प्रक्रिया है जिसके अंतर्गत हम इंजन के बीच के अंगों का घर्षण कम करते हैं। घर्षण कम करने के लिए हम जिस पदार्थ का इस्तेमाल करते हैं उसे स्नेहक (Lubricant) कहते हैं।

Study PowerPoint

स्नेहन के मुख्य उद्देश्य

मुख्य उद्देश्य निम्नलिखित हैं—

- धातु तथा धातु के बीच का सम्पर्क कम करता है।
- टूट-फूट को कम करता है।
- इंजन पार्ट के शीतलन के लिए।
- क्षरण से रोकने के लिए।
- सफाई (इंजन पार्ट) के लिए।
- कम्पन को कम करने के लिए।
- गैसों के लीकेज को रोकने के लिए।

स्नेहक के प्रमुख गुण (Properties of Lubricant)

प्रमुख गुण निम्नलिखित हैं—

(i) श्यानता (Viscosity)
(ii) फ्लैश विन्दु (Flash point)
(iii) फायर बिन्दु (Fire point)
(iv) क्लाउड बिन्दु (Cloud point)
(v) पोर बिन्दु (Pour point)
(vi) चिकनाई (Oilness)
(vii) संक्षारण (Corrosion)
(viii) इमल्सीफिकेशन (Emulsification)
(ix) रासायनिक एवं भौतिक स्थिरता (Chemical and physical stabilities)
(x) न्यूट्रीलाइजेशन संख्या (Neutralization number)
(xi) आसंजन (Adhesivenes)
(xii) परत सामर्थ्य (Film strength)
(xiii) आपेक्षिक गुरूत्व (Specific gravity)

स्नेहक के प्रकार (Types of Lubrication)

(i) ठोस स्नेहक : ग्रेफाइट (Graphite), मॉलिब्डेनम (Molybdenum), माइका (Mica)

(ii) अर्ध-ठोस स्नेहक : ग्रीस (Grease)

(iii) द्रवीय स्नेहक : मिनरल तेल, वनस्पति एवं जन्तु तेल

स्नेहन का वर्गीकरण (Classification of Lubrication)

मुख्यत: तीन प्रकार की स्नेहन प्रणाली का इस्तेमाल किया जाता है—

(a) मिश्र स्नेहन प्रणाली (Mist or charge lubrication)
(b) गीली हौदी स्नेहन प्रणाली (Wet sump lubrication)
(c) सूखी हौदी स्नेहन प्रणाली (Dry sump lubrication)

(a) मिश्र स्नेहन प्रणाली (Mist or charge lubrication)—इस प्रकार का स्नेहन दो स्ट्रोक पेट्रोल इंजन में इस्तेमाल किया जाता है। इस प्रणाली में पेट्रोल एवं स्नेहक को उपयुक्त मात्रा में मिलाकर टंकी में मिलाते हैं। ईंधन (पेट्रोल एवं स्नेहक) इंजन के सभी पार्ट से गुरजता है तथा स्नेहक अपना कार्य कर निकास गैसों के रूप में बाहर निकल जाता है।

यह प्रणाली मुख्यत: छोटे इंजन के लिए उपयुक्त होती है।

मिश्र प्रणाली के लाभ

- यह मितव्ययी एवं सस्ता होती है।
- निकाय आसान होता है।

Study PowerPoint

...प्रणाली से हानियाँ

- कार्बन की परत इंजन पार्ट पर चिपकती है।
- स्पार्क प्लग फेल हो सकता है।
- तेल खपत अधिक होती है।

(b) गीली हौदी स्नेहन प्रणाली (Wet sump lubrication)—इस प्रणाली में क्रैंक केस के नीचे एक तेल पैन लगा है, जिसे हौदी (sump) कहते हैं। हौदी एक भण्डारक (reservoir) की तरह कार्य करती है जिसमें स्नेहक या स्नेहक तेल ...ricant or lubricating oil) भरा होता है जो तेल पम्प (oil pump) की सहायता से इंजन के विभिन्न पुर्जों में जाता है। ...के कारण इंजन के विभिन्न पुर्जों से तेल वापस हौदी में आ जाता है तथा पुन: स्नेहन के लिए प्रवाहित होने लगता है। ...स्नेहक की अवधि के पश्चात् इसे निकालकर दूसरा स्नेहक प्रवेश मैनिफोल्ड (Intake manifold) के रास्ते भेजा जाता ...

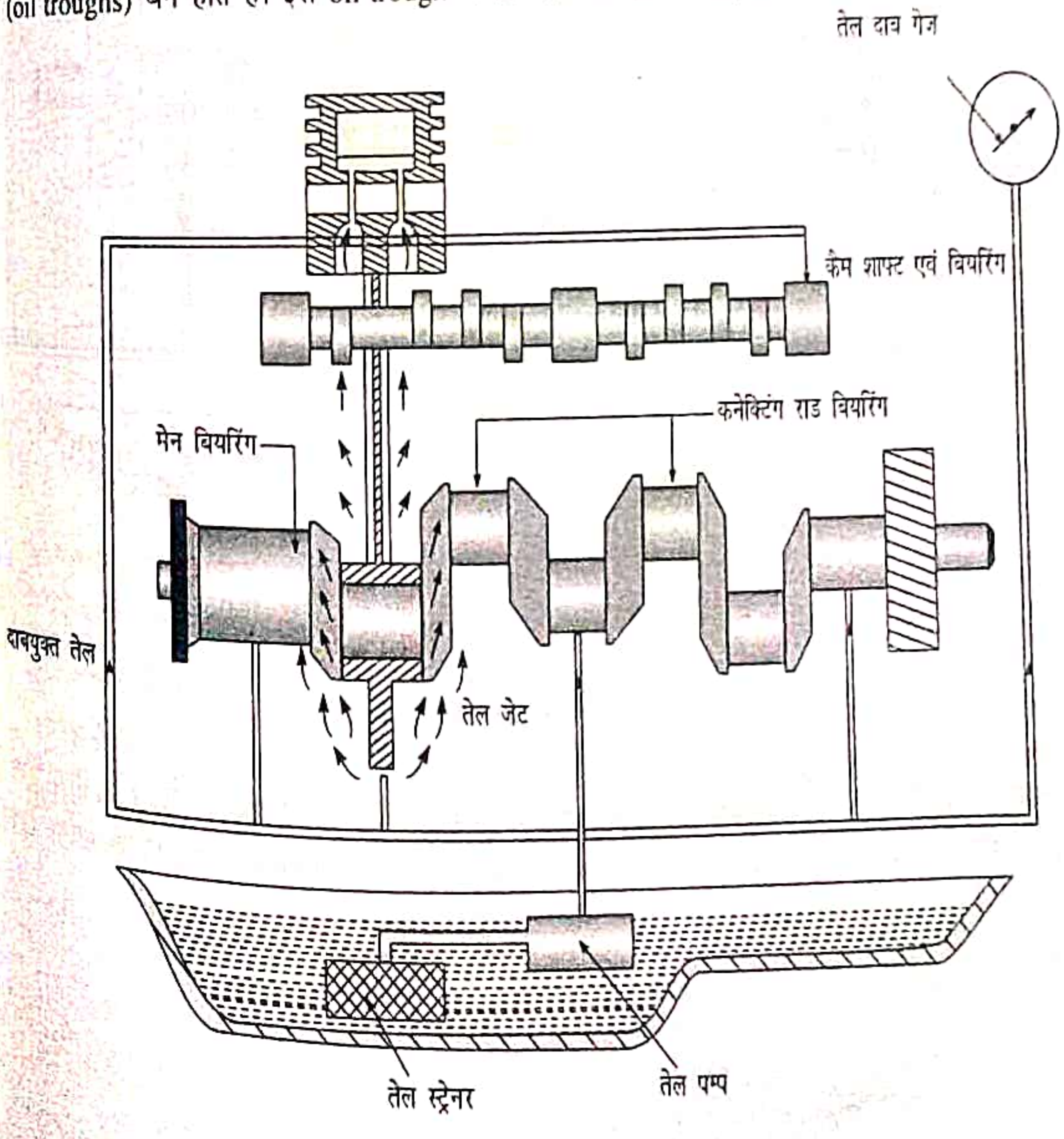
इस प्रणाली को तीन वर्गों में विभाजित किया गया है—

(i) स्प्लैश स्नेहन प्रणाली (Splash lubrication system)

(ii) स्पलैश एवं दाब स्नेहन प्रणाली (Splash and pressure lubrication system)

(iii) पूर्णत: दाब स्नेहन प्रणाली (Fully pressure lubrication system)

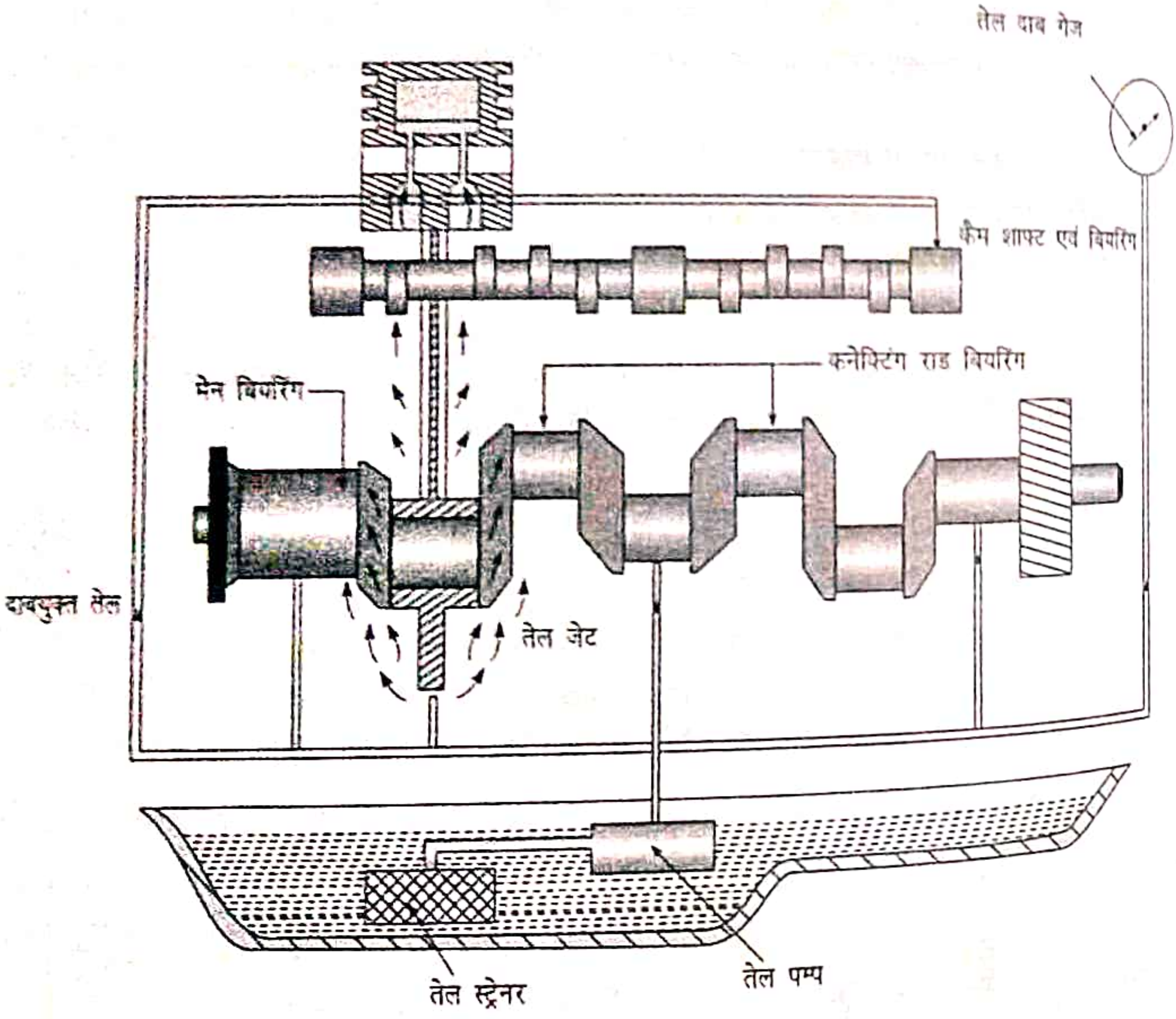
स्पलैश तंत्र (Splash system)—यह प्रणाली छोटे इंजनों के लिए उपयुक्त होती है। इसमें क्रैंक के निचले हिस्से में ...ट्रफ (oil troughs) बने होते हैं। इस oil trough में तेल का स्तर इतना बनाए रखना पड़ता है जिससे संयोजक दण्ड



Study PowerPoint

(connecting rod) का ऊपरी सिरा (big-end) अपनी निम्नतम अवस्था में हो तो तब उसमें लगा ड्रिपर (Dripper oil) troughs के ऊपरी सिरों को छू सके। जब ड्रिपर तल को छूते हुए तेजी से घूमता है तो अपने साथ कुछ तेल उसका छिड़काव इंजन के विभिन्न पुर्जों पर करता है और स्नेहन करता है। पम्प की सहायता से हौदी से तेल oil troughs में जाता है।

संशोधित स्प्लैश प्रणाली (Modified splash system)—यह बड़े इंजनों में प्रयोग किया जाता है। इसमें कैम शाफ्ट बियरिंग (cam shaft bearing) एवं मुख्य बियरिंग (main bearing) को एक पम्प की सहायता से अधिक दाब पर स्नेहक तेल (Lubricant oil) प्रदान किया जाता है, जबकि अन्य पुर्जों पर स्प्लैश प्रणाली का प्रयोग किया जाता है। इसे दाब भरण स्प्लैश स्नेहन तंत्र भी कहते हैं।

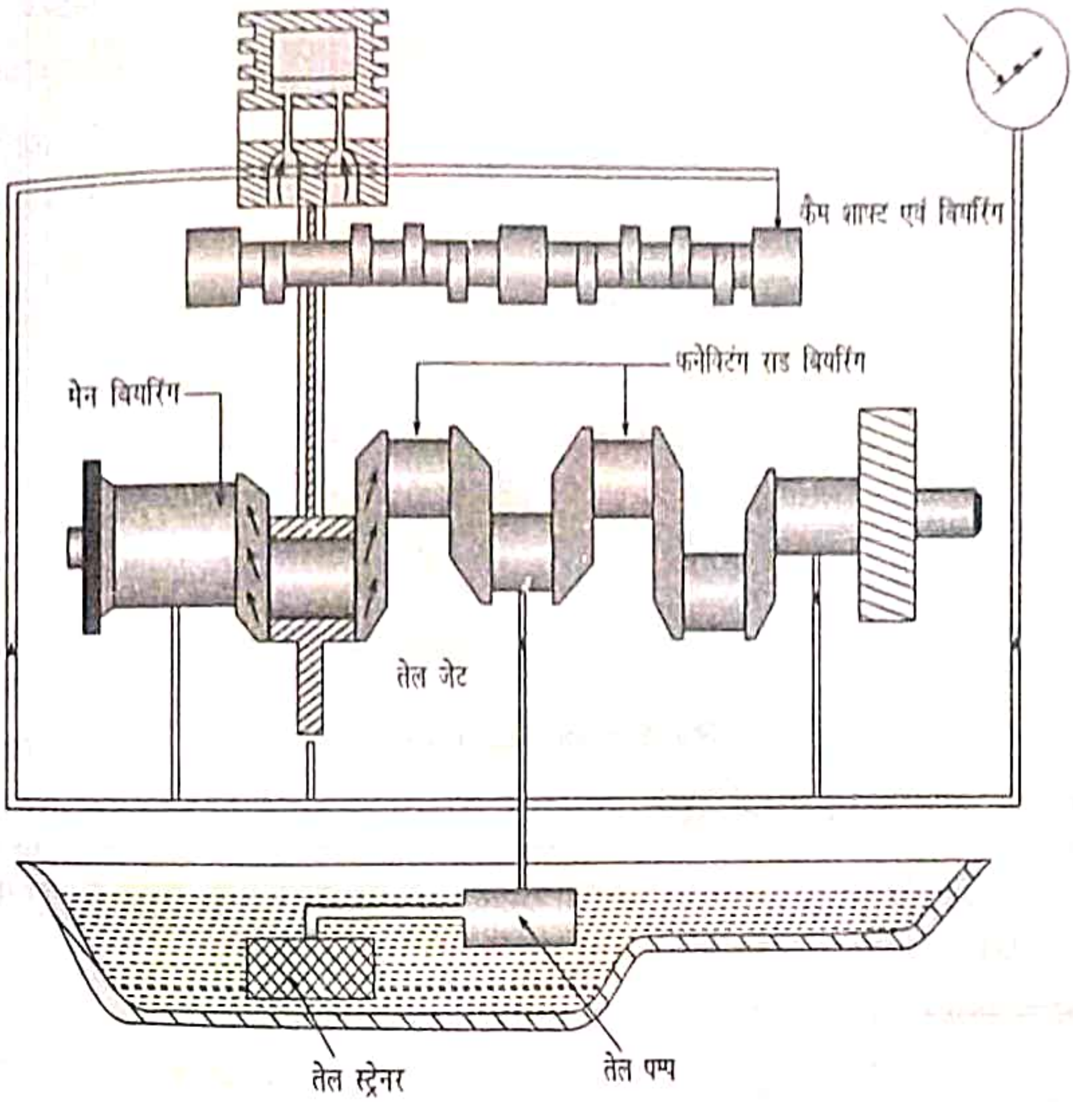


चित्र 10.31—Modified Splash System

सम्पूर्ण दाब तंत्र (Total pressure system)—इसमें इंजन के सभी पुर्जों/अवयवों के स्नेहन के लिए एक तेल पम्प का उपयोग किया जाता है। स्ट्रेनर (strainer) के प्रयोग से अवांछित पदार्थ को छानकर बाहर निकाल लिया जाता है।

Study PowerPoint

व्यवस्थित आरेख निम्न है—



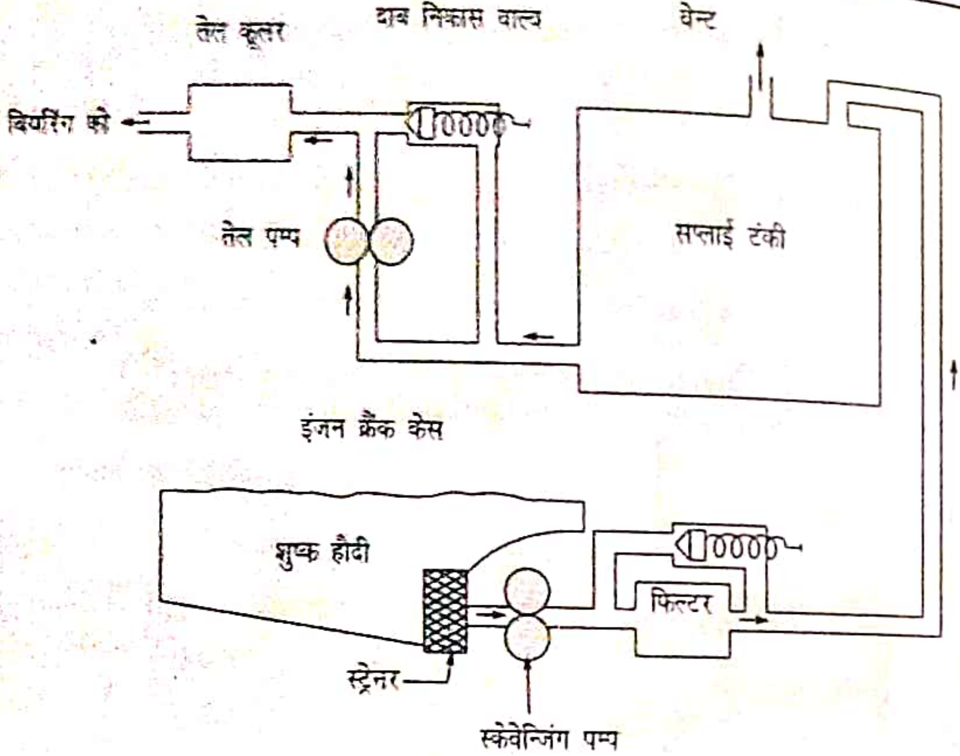
चित्र 10.32

(c) सूखी हौदी स्नेहन प्रणाली (Dry sump lubrication)—इस निकाय में हौदी जिसमें तेल भरा होता है, पम्प की सहायता से स्ट्रेन (Strainer) से होते हुए टंकी जो सिलिण्डर से बाहर बनी होती है, में प्रवेश कराते हैं।

स्टोरेज टंकी से ईंधन तेल कूलर (Oil cooler) से होते हुए सिलिण्डर तथा बियरिंग में जाता है। इस प्रणाली में अधिक दाब को निकालने के लिए दाब रिलीफ वाल्व (pressure relief valve) का इस्तेमाल किया जाता है।

फिल्टर का प्रयोग धूल तथा अपघर्षक कणों (Abrasive particles) को बाहर निकालने के लिए किया जाता है।

Study PowerPoint



चित्र 10.33—Dry sump lubrication system

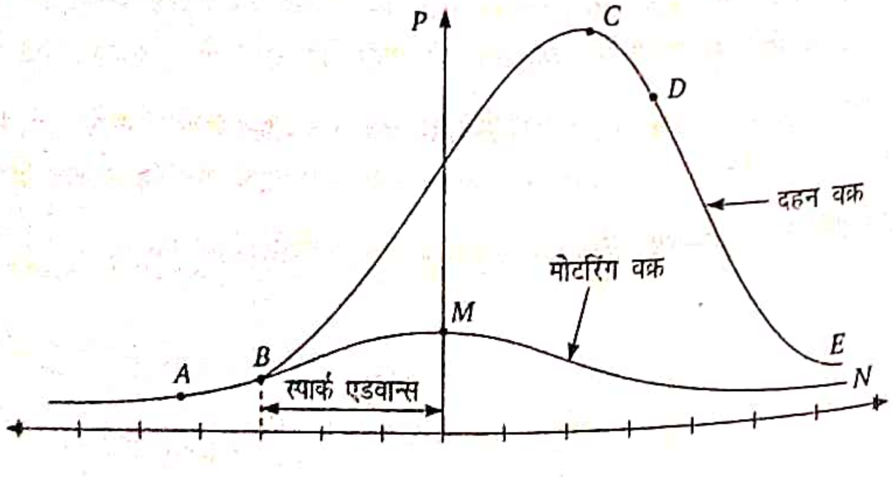
❑ 10.40. अंतर्दहन इंजन में दहन

अंतर्दहन इंजन में ऊर्जा, ऊष्मा के रूप में होती है। यह ऊष्मा ईंधन तथा वायु के समान मिश्रण के दहन से प्राप्त होता है।

स्पार्क ज्वलन इंजन में दहन संपीडन ज्वलन इंजन में दहन से भिन्न होता है।

■ स्पार्क ज्वलन इंजन में दहन

स्पार्क ज्वलन इंजन में वायु तथा ईंधन का मिश्रण, कारबुरेटर की सहायता से प्रवाहित किया जाता है। दहन को स्पार्क प्लग की सहायता से प्रारम्भ किया जाता है। संपीडन स्ट्रोक के अंत में स्पार्क प्लग से एक चिंगारी (spark) उत्पन्न होती है। यह चिंगारी मिश्रण के कुछ भाग को जलाती है तथा उत्पन्न ऊष्मा से सम्पूर्ण मिश्रण जलने लगता है, जिससे फ्लेम का निर्माण होता है तथा यह फ्लेम सम्पूर्ण मिश्रण में प्रवाहित होने लगता है। दहन का अध्ययन करने के लिए हम रिकार्डो (Recardo) का प्रयोग करते हैं जिसमें क्वार्ट्ज सिलिण्डर (quartz cylinder) लगा है तथा उच्च गति फोटोग्राफी (high speed photography) होती है।



चित्र 10.34

Study PowerPoint

उपरोक्त आरेख स्पार्क ज्वलन इंजन का दहन आरेख है। आरेख से

ABMN = मोटरिंग आरेख

ABCD = वास्तविक दहन आरेख

TDC के पहले क्रैंक कोण को स्पार्क एडवान्स कोण कहते हैं।

दहन के प्रमुख चरण

दहन के मुख्यत: तीन चरण होते हैं—

(i) ज्वलन से पूर्व या तैयारी चरण (Period of ignition log or preparation phase)

(ii) फ्लेम वितरण चरण (Flame propagation phase)

(iii) फ्लेम अलगाव चरण (Flame termination phase)

(i) ज्वलन से पूर्व या तैयारी चरण (Period of ignition log or preparation phase)—आरेख AB इस चरण को प्रदर्शित करता है। यह चरण फ्लेम निमाण के पूर्व की प्रतिक्रिया को दर्शाता है। बिन्दु *A* एवं बिन्दु *B* के बीच के कोण को ज्वलन देरी कोण (ignition delay angle) कहते हैं।

यह चरण निम्न पर निर्भर करता है—

(i) ईंधन की आणविक संरचना पर

(ii) तापमान

(iii) दाब

(iv) घनत्व

(v) वायु ईंधन अनुपात

(vi) अतिरिक्त गैसें

(ii) फ्लेम वितरण चरण (Flame propagation phase)—बिन्दु *B* पर फ्लेम ईंधन को सतहों में दहन करना प्रारम्भ कर देता है। प्रारम्भिक दहन दर निम्न होती है तथा दाब में बढ़ोत्तरी भी कम होती है। जैसे-जैसे दहन दर बढ़ती है तापमान तथा दाब में बढ़ोत्तरी भी उच्च हो जाती है तथा फ्लेम तीव्रता बढ़ती जाती है।

चरण में दहन निम्न पर निर्भर करता है—

(a) विक्षुब्ध प्रवाह की तीव्रता

(b) वायु ईंधन मिश्रण

वक्र BC का स्लोप (Slope) दाब के बढ़ाव को प्रदर्शित करता है।

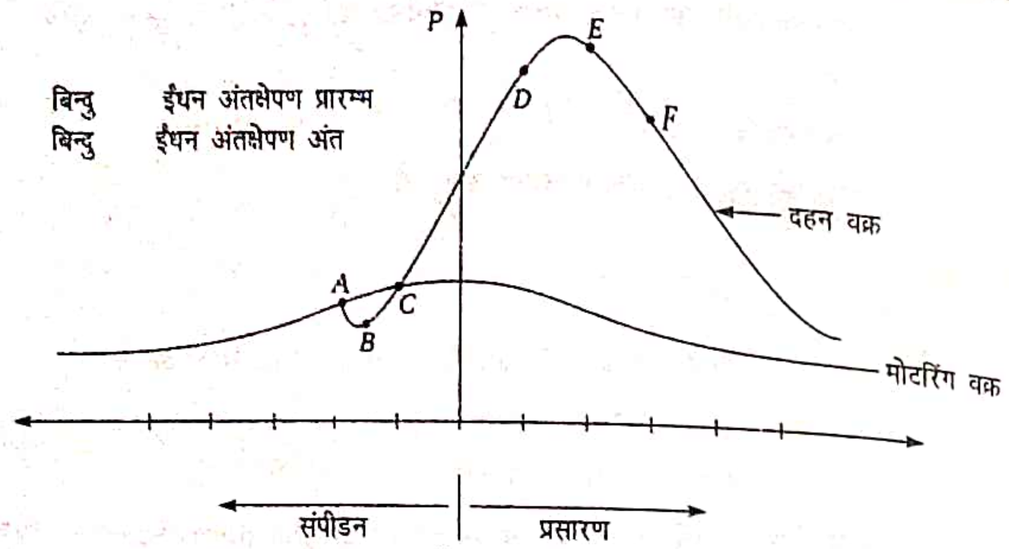
(iii) फ्लेम अलगाव चरण (Flame termination phase)—इस चरण को दहन के पश्चात् का चरण (After burning phase) कहते हैं। बिन्दु *C* पर दहन पूर्ण नहीं होता है। बची हुई गैसें बिन्दु *C* के पश्चात् बिन्दु *D* तक जलती हैं। इस चरण में फ्लेम का वेग कम हो जाता है।

संपीडन ज्वलन इंजन में दहन

संपीडन ज्वलन इंजन में केवल वायु सम्पीडित होतीं है तथा तापमान एवं दाब में बढ़ोत्तरी होती है सम्पीडन स्ट्रोक के दौरान। सम्पीडन अनुपात 12-20 के बीच होता है।

दहन चार चरणों में पूरा होता है। दहन आरेख निम्न है—

Study PowerPoint



चित्र 10.35

चरण (1) ज्वलन देरी चरण (Ignition Delay phase)—आरेख AB इस चरण को प्रदर्शित करता है। ईंधन नाजल जेट के रूप में निकलता है। जिस कारण से कर्णीकृत हो जाता है। जब यह गर्म सम्पीडित वायु से मिलता है तब ईंधन वाष्पि होना प्रारम्भ कर देता है जिससे दाब में कमी होती है। जब वाष्पन पूर्ण हो जाता है तो फ्लेम प्रतिक्रिया प्रारम्भ हो जाती है। फ्ले पहले धीरे-धीरे बनता है फिर तेजी से चालू हो जाता है। यह बिन्दु C तक होता है। इस चरण को ज्वलन देरी चरण (Igniti Delay Phase) कहते हैं।

चरण (2) अनियंत्रित दहन चरण (Uncontrolled combustion phase)—चरण (1) के पश्चात् वायु तथा ईंधन क मिश्रण स्वत; जलने लगता है क्योंकि मिश्रण का तापमान स्वत: जलन तापमान से उच्च हो जाता है। दहन के समय दहन कक्ष मिश्रण असमान (Hetrogeneous) हो जाता है। चरण के दौरान दाब ईंधन अंत:क्षेपण पर निर्भर करता है। इस चरण के दौर ईंजन को नियंत्रित करना संभव नहीं होता है। इसलिए इस चरण को अनियंत्रित दहन चरण कहते हैं।

वक्र CD इस चरण को नियंत्रित करता है।

चरण (3) नियंत्रित दहन चरण (Controlled combustion phase)—चरण (2) के पश्चात् सिलेण्डर का ताप ए दाब अति उच्च हो जाता है। अत: नाजल से प्रवाहित ईंधन तुरन्त जलने लगता है। दहन इस समय ईंधन अंत:क्षेपण पर निर्भ करता है। अत: इस चरण को नियंत्रित दहन चरण कहते हैं।

वक्र DE इस चरण को निरूपित करता है।

चरण (4) दहन के पश्चात् का चरण (After burning phase)—बची हुई गैसों के कारण ईंधन का दहन प्रसार स्ट्रोक के बाद भी होता है। अत: इस चरण को दहन के पश्चात् का चरण कहते हैं। वक्र EF इसको प्रदर्शित करता है।

☐ 10.41. अंतर्दहन इंजन का स्टार्टिंग तंत्र

निम्न विधियों द्वारा अंतर्दहन इंजन को स्टार्ट किया जाता है—

(i) विद्युत मोटर या सेल्फ स्टार्टर द्वारा

(ii) अन्य छोटे इंजन द्वारा

(iii) सम्पीडित वायु द्वारा

Study PowerPoint

(i) विद्युत मोटर या सेल्फ स्टार्टर द्वारा : यह छोटे पेट्रोल एवं डीजल इंजन के लिए प्रयोग किया जाता है। इसमें एक भण्डारित बैट्री (Storage type Battery) लगी होती है। बैट्री का वोल्टेज 12V-36V होता है। इस विधि द्वारा विद्युत मोटर से इंजन को चालू किया जाता है। विद्युत मोटर को बैट्री द्वारा शक्ति प्रदान किया जाता है।

(ii) अन्य छोटे इंजन द्वारा : इस विधि में मुख्य इंजन के साथ एक छोटे इंजन को स्थापित कर दिया जाता है। मुख्य इंजन के साथ क्लच एवं गियर की सहायता से चालू किया जाता है। छोटा इंजन गियर के साथ बड़े इंजन से जुड़ा होता है।

(iii) सम्पीडित वायु द्वारा : यह बड़े डीजल इंजन में प्रयोग किया जाता है।

इसके मुख्य अवयव निम्न हैं—

(a) स्टोरेज टैंक पात्र

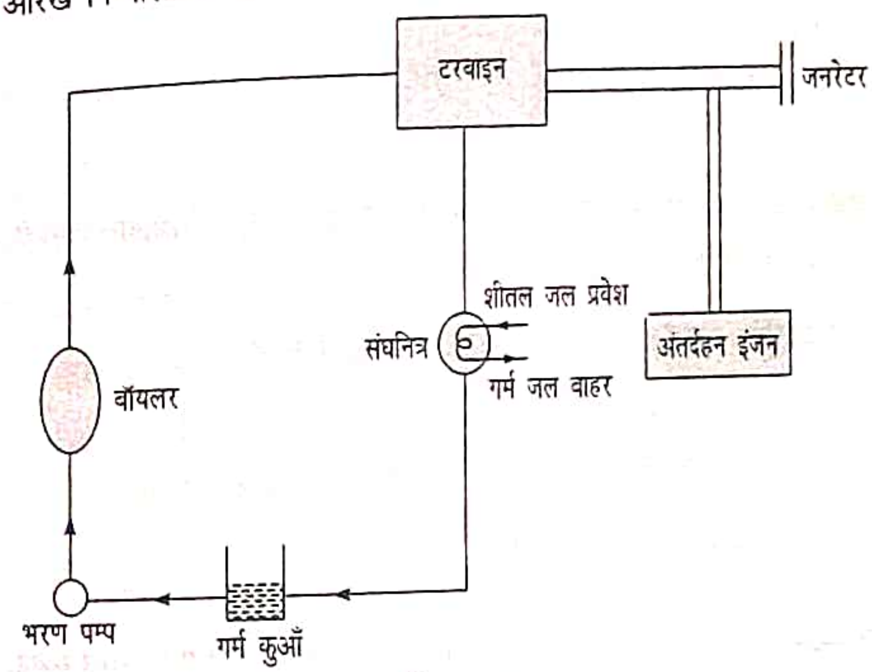
(b) सैफ्टी वाल्व

(c) पाइप लाइन

स्थिर इंजन क लिए प्रयोग किया है।

10.42. अंतर्दहन इंजन का भाप शक्ति संयंत्र में प्रयोग

व्यवस्थित आरेख निम्नलिखित है—



चित्र 10.36

मुख्य अवयव निम्नलिखित हैं—

(i) डीजल इंजन

(ii) वायु प्रवेश तंत्र

(iii) निकास गैस डिस्चा ् तंत्र

(iv) ईंधन तंत्र

(v) शीतलन निकाय

(vi) स्नेहन निकाय

(vii) इंजन स्टार्टिंग निकाय

(viii) गवर्नर निकाय

Study PowerPoint

अंतर्दहन इंजन का भाप शक्ति संयंत्र में उद्देश्य—

(i) शीर्ष भार को सहन करना।

(ii) ओवर लोडिंग के समय प्रयोग किया जाता है।

(iii) शक्ति संयंत्र को शीघ्र चालू करने में।

(iv) संयंत्र की प्रारम्भिक लागत कम करने में।

10.43. अंतर्दहन इंजन का निष्पादन

किसी इंजन का निष्पादन उसकी सफलता कोटि (degree of success) का मापन होता है जिसके द्वारा वह किसी कार्य को करने में सक्षम होता है।

निष्पादन के प्रमुख गुण निम्नलिखित हैं—

(i) शक्ति एवं यांत्रिक दक्षता

(ii) मध्य प्रभावी दाब

(iii) विशिष्ट आउटपुट

(iv) आयतनिक दक्षता

(v) ईंधन-वायु अनुपात

(vi) विशिष्ट ईंधन खपत

(vii) तापीय दक्षता

(ii) मध्य प्रभावी दाब—इसे सूचित मध्य प्रभावी दाब भी कहते हैं। यह एक सैद्धान्तिक दाब है जो पिस्टन के शक्ति स्ट्रोक के दौरान उस पर कार्य करता है।

(iii) विशिष्ट आउटपुट—यह ब्रेक शक्ति प्रति पिस्टन विस्थापन होता है।

$$\text{पिस्टन विस्थापन} = \text{पिस्टन का क्षेत्रफल} \times \text{उसकी लम्बाई}$$

$$\text{विशिष्ट आउटपुट} = \text{पिस्टन का क्षेत्रफल} \times \text{उसकी लम्बाई}$$

$$\text{विशिष्ट आउटपुट} = \frac{B.P.}{A \times L}$$

(iv) आयतनिक दक्षता—यह चूषण स्ट्रोक के दौरान मिश्रण के वास्तविक आयतन तथा स्वेप्ट आयतन का अनुपात होता है।

$$\eta_{vol} = \frac{\text{वास्तविक आयतन}}{\text{स्वेप्ट आयतन}}$$

(v) ईंधन-वायु अनुपात—यह ईंधन के द्रव्यमान तथा वायु के द्रव्यमान का अनुपात होता है।

(vi) विशिष्ट ईंधन खपत—यह ईंधन खपत प्रति kW प्रति घण्टा होती है।

$$SFC = \frac{m_f}{BP} \text{ kg/kwh}$$

(vii) ब्रेक शक्ति डायनमोमीटर

$$BP = \frac{(W - S)\pi(d_b + d)N}{60 \times 1000} \text{ kW}$$

Study PowerPoint

W = रस्सी के अंत में भार

S = स्प्रिंग नियंत्रक पाठ्यांक

d_b = ब्रेक पहिए का व्यास

d = रस्सी का व्यास

N = rpm

अंतर्दहन इंजन के विभिन्न अंग, पदार्थ तथा विनिर्माण विधि

क्र० सं०	इंजन का पार्ट	पदार्थ	विनिर्माण विधि
1.	सिलिण्डर	कठोर ग्रेड ढलवाँ लोहा	कास्टिंग
2.	सिलिण्डर हेड	ढलवाँ लोहा या ऐल्युमिनियम	कास्टिंग, फोर्जिंग
3.	पिस्टन	ढलवाँ लोहा या ऐल्युमिनियम	कास्टिंग, फोर्जिंग
4.	पिस्टन पिन	कठोर स्टील	फोर्जिंग
5.	पिस्टन रिंग	ढलवाँ लोहा	कास्टिंग
6.	कनेक्टिंग रॉड	स्टील के मिश्रण एवं ऐल्युमिनियम	फोर्जिंग
7.	क्रैंक शॉफ्ट	उच्च तनाव धातु एवं विशेष ढलवाँ लोहा	फोर्जिंग
8.	मेन बियरिंग	स्टील या ब्रॉन्ज	कास्टिंग
9.	फ्लाई व्हील	स्टील या ढलवाँ लोहा	कास्टिंग
10.	प्रवेश वाल्व	सिलिकॉन क्रोम स्टील 3% कार्बन के साथ	फोर्जिंग
11.	निकास वाल्व	एथेनसाइट स्टील	फोर्जिंग

बैट्री ज्वलन निकाय तथा मैग्नेटो ज्वलन निकाय में अंतर

क्र० सं०	विवरण	बैट्री ज्वलन निकाय	मैग्नेटो ज्वलन निकाय
1.	ऊर्जा स्रोत	बैट्री	चुम्बक
2.	अनुप्रयोग	कार, बस आदि	दो पहिए, वाहन, रेसिंग कार आदि
3.	चालू करने की सुविधा	आसान	कठिन
4.	लागत	कम	ज्यादा
5.	विश्वनीय	कम	अधिक
6.	सर्किट वायर	जटिल	सरल
7.	रख-रखाव	अत्यधिक मंहगा	कम मंहगा
8.	स्थान घेरना	अधिक	कम

Study PowerPoint

|| सारांश ||

- **अंतर्दहन इंजन**
  वह इंजन जिसमें ईंधन का दहन इंजन सिलिण्डर के अन्दर होता है, अंतर्दहन इंजन कहलाता है।
  विभिन्न प्रकार के अंतर्दहन इंजन निम्नलिखित हैं–
  - दो-स्ट्रोक इंजन
  - चार-स्ट्रोक इंजन
  - स्थिर दाब दहन चक्र या डीजल चक्र इंजन
  - स्थिर आयतन दहन चक्र या ऑटो चक्र इंजन
  - क्षैतिज इंजन
  - ऊर्ध्वाधर इंजन
  - V-टाइप इंजन
  - त्रिज्यीय इंजन
  - स्पार्क ज्वलन इंजन
  - संपीडन ज्वलन इंजन
  - वायु शीतलन इंजन
  - जल-शीतलन इंजन
  - पेट्रोल इंजन
  - डीजल इंजन
  - गैस इंजन
  - शुष्क हौदी स्नेहन इंजन
  - गीली हौदी स्नेहन इंजन
  - दाब स्नेहन इंजन
  - चार्ज स्नेहन इंजन
  - एकल सिलिण्डर इंजन
  - बहु-सिलिण्डर इंजन
  - कारबुरेटर इंजन
  - इंजेक्टर इंजन
  - निम्न स्पीड इंजन
  - मध्यम स्पीड इंजन
  - उच्च स्पीड इंजन
- **अंतर्दहन इंजन में प्रयोग होने वाले प्रमुख अवयव–**
  (i) **सिलिण्डर**—ढलवाँ लोहे का बना होता है तथा इसमें गैस उच्च दर पर होती है।
  (ii) **सिलिण्डर हैड**–ढलवाँ लोहे तथा ऐल्यूमिनियम का बना होता है तथा यह सिलिण्डर के कार्यकारी भाग को ढकता है एवं गैसों के प्रवाह को नियंत्रित करता है।
  (iii) **पिस्टन**–ढलवाँ स्टील या ऐल्यूमिनियम का बना होता है तथा पश्चाग्र गति करता है। यह गैसीय दाब को Connecting Rod तथा Crank पर स्थानान्तरित करता है।
  (iv) **पिस्टन**–सिलिण्डर के अन्दर पिस्टन को लूज फिट बनाए रखने में मदद करता है। पिस्टन रिंग दो प्रकार का होता है–
  - संपीडन रिंग
  - ऑयल रिंग

Study PowerPoint

(v) **पिस्टन पिन**–यह पिस्टन को कनेक्टिंग रोड से जोड़ता है।

(vi) **कनेक्टिंग रॉड**—यह पिस्टन की पश्चाग्र गति को क्रैंक की घूर्णन गति में परिवर्तित करता है।

(vii) **क्रैंक**–इस पर घूर्णन गति प्राप्त होती है।

(viii) **क्रैंक शॉफ्ट**–यह बियरिंग से बँधा होता है तथा विशेष प्रकार के ढलवाँ लोहे का बना होता है।

(ix) **इंजन बियरिंग**–शॉफ्ट को सहारने के लिए इंजन बियरिंग का इस्तेमाल किया जाता है।

(x) **क्रैंक केस**–इंजन के विभिन्न अंग क्रैंक में व्यवस्थित होते हैं।

(xi) **फ्लाई व्हील**–ढलवाँ लोहे का बना होता है तथा यह क्रैंक शॉफ्ट को समान गति प्रदान करता है।

(xii) **गवर्नर**—Fluctuation of engine speed को बदलते भार के अनुरूप व्यवस्थित करता है।

(xiii) **वाल्व एवं वाल्व स्प्रिंग**—दो प्रकार के वाल्व होते हैं–

- प्रवेश वाल्व
- निकास वाल्व

वाल्व के खुलने एवं बन्द करने के लिए वाल्व रिंग का प्रयोग किया जाता है।

(xiv) **स्पार्क प्लग**–पेट्रोल इंजन में प्रयोग किया जाता है। ईंधन के दहन के लिए आवश्यक चिंगारी उत्पन्न करता है।

(xv) **कारबुरेटर**–इसका मुख्य कार्य ईंधन को कणीकृत करके उसे उपयुक्त मात्रा में वायु के साथ मिश्रण बनाकर इंजन सिलिण्डर में प्रवेश कराना होता है।

(xvi) **इंजेक्टर**–डीजल इंजन में प्रयोग किया जाता है। यह ईंधन को फुहार के रूप में सिलिण्डर में प्रवेश कराता है।

- **अंतर्दहन इंजन में प्रयुक्त प्रमुख पद**

(i) **बोर**–सिलिण्डर के आंतरिक व्यास को बोर कहते हैं।

(ii) **स्ट्रोक**—पिस्टन की लम्बाई को स्ट्रोक कहते हैं।

(iii) **डेड सेन्टर**—दो डेड सेन्टर होते हैं–

- TDC : पिस्टन की ऊपरी स्थिति को TDC कहते हैं।
- BDC : पिस्टन की निचली स्थिति को BDC कहते हैं।

(iv) **क्लीयरेन्स आयतन**–सिलिण्डर में TDC के ऊपरी आयतन को क्लीयरेन्स आयतन कहते हैं।

(v) **स्वेप्ट आयतन**–पिस्टन द्वारा TDC से BDC के बीच के आयतन को स्वेप्ट आयतन कहते हैं।

(vi) **कुल आयतन**–क्लीयरेन्स आयतन तथा स्वेप्ट आयतन के योग को कुल आयतन कहते हैं।

(vii) **संपीडन अनुपात**–कुल आयतन तथा क्लीयरेन्स आयतन के अनुपात को संपीडन अनुपात कहते हैं।

(viii) **पिस्टन गति**–इसे 2LN द्वारा ज्ञात किया जाता है।

- **चार स्ट्रोक पेट्रोल इंजन**

चार स्ट्रोक निम्नलिखित हैं–

(i) **चूषण स्ट्रोक**–प्रवेश वाल्व खुला रहता है, पेट्रोल तथा वायु का मिश्रण इंजन सिलिण्डर में प्रवेश करता है। निकास वाल्व बन्द रहता है।

- **पिस्टन** : TDC से BDC पर पहुँचता है
- **क्रैंक** : 0°–180°

(ii) **सम्पीडन स्ट्रोक**–दोनों वाल्व बन्द रहते हैं। ईंधन का सम्पीडन होता है।

- **पिस्टन** BDC से TDC पर पहुँचता है।
- **क्रैंक** : 180°–360°

(iii) **शक्ति स्ट्रोक**–स्पार्क प्लग से उत्पन्न चिंगारी के फलस्वरूप ईंधन का दहन होता है।

- **पिस्टन** : TDC से BDC पर पहुँचता है तथा दोनों वाल्व बन्द होते हैं।
- **क्रैंक** : 360°–540°

Study PowerPoint

(iv) **निकास स्ट्रोक**—निकास वाल्व खुल जाता है। पिस्टन BDC से TDC पर पहुँचता है तथा क्रैंक 540°–720° घूमता है।

- **ऑटो चक्र (Otto Cycle)**
  - पेट्रोल इंजन, Otto Cycle पर कार्य करता है।

$$\eta_{Otto} = 1 - \frac{1}{(r)^{\gamma-1}}, \qquad \text{जहाँ } r = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_4}{V_3}$$

- **चार स्ट्रोक डीजल इंजन**

चार स्ट्रोक निम्नलिखित हैं—

(i) **चूषण स्ट्रोक**–प्रवेश वाल्व खुला रहता है तथा निकास वाल्व बंद रहता है। वायु प्रवेश वाल्व के रास्ते इंजन सिलिण्डर में प्रवेश करता है।
  - पिस्टन : TDC से BDC पर पहुँचता है।
  - क्रैंक : 0°–180° पर घूमता है।

(ii) **संपीडन स्ट्रोक** (Compression stroke)—दोनों वाल्व बन्द रहते हैं। पिस्टन BDC से TDC पर पहुँचता है तथा वायु का संपीडन होता है।
  - क्रैंक : 180°–360° पर घूमता है।

(iii) **कार्यकारी स्ट्रोक**–इंजेक्टर की सहायता से डीजल फुहार के रूप में इंजन सिलिण्डर में प्रवेश करता है जिसके कारण डीजल एवं सम्पीडित वायु स्वत: जलने लगती है।

पिस्टन TDC से BDC पर पहुँचता है तथा क्रैंक 360°–540° पर घूमता है। दोनों वाल्व बन्द रहते हैं।

(iv) **निकास स्ट्रोक**–निकास वाल्व खुल जाता है, निकास गैसें बाहर निकल जाती हैं तथा पिस्टन BDC से TDC पर पहुँचता है। क्रैंक 540° से 720° तक घूमता है।

- **डीजल चक्र (Diesel Cycle)**

डीजल इंजन डीजल चक्र पर कार्य करता है।

$$\eta_{diesel} = 1 - \frac{1}{\gamma (r)^{\gamma-1}} \left[\frac{\rho^{\gamma} - 1}{\rho - 1}\right]$$

$$r = \frac{V_1}{V_2}$$

$$\rho = \frac{V_2}{V_1}$$

तथा

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

- **ड्युअल चक्र (Dual Cycle)**

इसे हम सीमित दाब चक्र भी कहते हैं। इसमें ऊष्मा को प्रदत्त आंशिक स्थिर दाब एवं आंशिक स्थिर आयतन पर करते हैं।

$$\eta_{Dual} = 1 - \frac{1}{(r)^{\gamma-1}} \left[\frac{\alpha\rho^{\gamma} - 1}{(\alpha - 1) + \gamma\alpha(\rho - 1)}\right]$$

$$r = \frac{V_4}{V_5} = \frac{V_3}{V_1}$$

$$\rho = \frac{V_2}{V_1} = \frac{V_2}{V_5}$$

Study PowerPoint

$$\alpha = \frac{P_1}{P_5}$$

तथा

- दो-स्ट्रोक इंजन

इसमें पिस्टन सिर्फ दो बार गति करता है तथा क्रैंक 0°–360° पर घूमता है। वाल्व के स्थान पर पोर्ट का इस्तेमाल किया जाता है।

- प्रवेश पोर्ट
- निकास पोर्ट
- अंतरण पोर्ट

मुख्यत: दो प्रकार के दो स्ट्रोक इंजन होते हैं–

(i) दो स्ट्रोक पेट्रोल इंजन

(ii) दो स्ट्रोक डीजल इंजन

...बुरेटर

यह पेट्रोल इंजन में प्रयोग किया जाता है।

इसका मुख्य कार्य इंजन सिलिण्डर में ईंधन की नापी हुई मात्रा को वायु के साथ मिश्रण करके सही अनुपात में भेजना होता है।

पेट्रोल तथा वायु के मिश्रण बनाने की विधि को कार्बुरीकण कहते हैं।

इसके मुख्य अंग निम्नलिखित हैं–

- आप्लव कक्ष
- स्ट्रेनर
- वेन्चूरी
- सुई वाल्व
- ईंधन नॉजल
- थ्राटल वाल्व
- छिद्र या सुराख
- फ्लोट या आप्लव

...रबुरेटर के प्रकार

- ऊर्ध्व-प्रवाह कारबुरेटर
- प्राकृतिक या क्षैतिज प्रवाह कारबुरेटर
- अधो-प्रवाह कारबुरेटर

विभिन्न प्रकार के कारबुरेटर निम्नलिखित हैं—

- Solex Carburettor
- S.U. Carburettor
- Zenith Carburettor

- **वाल्व समयांकन आरेख** (Valve Timing Diagram)

इस आरेख में इंजन के विभिन्न स्ट्रोक के दौरान प्रवेश तथा निकास एवं ईंधन वाल्वों की TDC तथा BDC के सापेक्ष खुलने तथा बंद होने का समय/स्थिति दिखायी जाती है।

- **डीजल इंजन शक्ति संयन्त्र के मुख्य अवयव–निम्नलिखित हैं–**

1. इंजन (Engine)
2. वायु प्रवेश तंत्र (Air Intake system)
3. इंजन निकास तंत्र (Engine exhaust system)
4. ईंधन तंत्र (Fuel system)
5. शीतल तंत्र (Cooling system)
6. स्नेहन तंत्र (Lubrication system)
7. इंजन स्टार्टिंग तंत्र (Engine starting system)

1. **इंजन**—वह युक्ति होती है जिस पर यांत्रिक कार्य प्राप्त करते हैं।
2. **वायु प्रवेश तंत्र**—डीजल इंजन में वायु की अधिक आवश्यकता होती है, अत: तंत्र के माध्यम से इंजन प्रवेश मैनीफोल्ड में वायु प्रवेश कराते हैं।
3. **इंजन निकास तंत्र**—दहन के फलस्वरूप इंजन के निकास स्ट्रोक के दौरान इंजन मैनीफोल्ड से बची हुई गैसों को बाहर निकालना इस तंत्र का कार्य होता है।
4. **ईंधन तंत्र**–ईंधन तंत्र का मुख्य कार्य कार्यकारी स्ट्रोक के दौरान इंजन को ईंधन की सप्लाई करना होता है। हम जानते हैं कि डीजल इंजन में ईंधन इंजेक्टर की सहायता से प्रवेश कराते हैं। अत: हमें ईंधन इंजेक्शन तंत्र की आवश्यकता होती है।

- **ईंधन अंत:क्षेपण निकाय (Fuel Injection System)**

  ईंधन तंत्र का यांत्रिक भाग अंत:क्षेपण निकाय कहलाता है। यह तंत्र (system) ईंधन का मापन (meter), छनन (filter) करके उसे संपीडन स्ट्रोक के अंत में इंजन में प्रवेश कराता है।

  ईंधन अंत:क्षेपण निकाय को निम्न रूप में वर्गीकृत किया गया है—

  (a) वायु अंत:क्षेपण निकाय

  (b) वायुहीन या यांत्रिक या ठोक अंत:क्षेपण निकाय

  मुख्यत: तीन प्रकार के होते हैं—

  कॉमन रेल अंत:क्षेपण निकाय (Common rail injection system)

  व्यष्टि पम्प अंत:क्षेपण निकाय (Individual pump injection system)

  वितरक अंत:क्षेपण निकाय (Distributor injection system)

ईंधन पम्प

इसका मुख्य कार्य ईंधन को मापी मात्रा (metered quantity) को ठीक समय पर उच्च दाब पर सिलेण्डर में अंत:क्षेपण तक पहुँचाना होता है।

ईंधन इंजेक्टर

इसके प्रमुख अवयव हैं—

- **सुई वाल्व** (Needle valve)
- **सम्पीडन कमानी** (Compression spring)
- **नॉजल** (Nozzle)
- **अंत:क्षेपक हाउसिंग** (Injector housing)

5. **इंजन कूलिंग तंत्र (Engine cooling system)**—अंतर्दहन इंजनों में उत्पन्न ऊष्मा के दुष्प्रभावों को रोकने के लिए हमें इंजन शीतलक तंत्र (engine cooling system) की आवश्यकता पड़ती है।

मुख्यत: दो प्रकार का इंजन कूलिंग इस्तेमाल किया जाता है—

- वायु शीतलन (Air cooling)
- जल शीतलन (Water cooling)—यह मुख्यत: निम्न उपवर्गों में विभाजित है–
- थर्मो साइफन तन्त्र (Thermo syphon system)
- पम्प या प्रणोदित तंत्र (Pump or forced system)
- थर्मो स्टौटिक तंत्र (Thermo-static system)
- प्रैशराइज तंत्र (Pressuriser cooling system)
- वाष्पित्र तंत्र (Evaporative system)

Study PowerPoint

6. इंजन स्नेहन तंत्र (Engine lubrication system)—इंजन के अंदर गतिशील पदार्थों के बीच घर्षण कम करने तथा अत्याधिक ऊष्मा को अवशोषित करने के लिए इंजन स्नेहन तंत्र का इस्तेमाल किया जाता है। इसमें ल्यूब्रीकेन्ट आयल का प्रयोग किया जाता है। यह निम्न प्रकार का होता है—

- मिश्र या चार्ज तंत्र (Mist or charge lubrication)
- गीली हौदी स्नेहन तंत्र (Wet sump lubrication system)
- स्प्लैश तंत्र (Splash system)
- संशोधित स्प्लैश तंत्र (Modified splash system)
- सम्पूर्ण दाब तंत्र (Total pressure system)
- शुष्क हौदी स्नेहन तंत्र (Dry sump lubrication system)

7. इंजन स्टार्टिंग तंत्र (Engine starting system)—मुख्यत: तीन प्रकार के इंजन स्टार्टिंग तंत्र प्रयोग किए जाते हैं—

- छोटे इंजन द्वारा
- विद्युत मोटर द्वारा
- सम्पीडित वायु द्वारा

महत्त्वपूर्ण प्रश्न

1. निम्न को परिभाषित कीजिए—
   (a) पिस्टन विस्थापन (2002)
   (b) क्रैंक थ्रो (2002)
2. वायु मानक आटो चक्र की दक्षता का सूत्र ज्ञात कीजिए।
3. निम्न में अंतर स्पष्ट कीजिए—
   (a) दो स्ट्रोक एवं चार स्ट्रोक (2002, 2003)
   (b) पेट्रोल इंजन एवं डीजल इंजन (2002)
4. दो स्ट्रोक डीज़ल की क्रियाविधि का सचित्र वर्णनन कीजिए।
5. समान सम्पीडन अनुपात तथा आउटपुट दक्षता के आधार पर आटो चक्र एवं डीजल चक्र की तुलना कीजिए। (2003) (2004)
6. पेट्रोल एवं डीजल इंजन में अंतर स्पष्ट कीजिए। (2004)
7. स्नेहन अंतर्दहन इंजन में क्यों आवश्यक है? विभिन्न स्नेहन प्रणाली को लिखिए। (2005, 2008)
8. इंजन शीतलन की आवश्यकता क्यों पड़ती है? द्रवीय इंजन शीतलन क्या है? (2006)
9. सम्पीडन ज्वलन इंजन का दहन प्रक्रम समझाइए। (2007)
10. पेट्रोल इंजन का स्टार्टिंग तंत्र समझाइए। (2007)
11. डीजल इंजन में प्रयुक्त स्नेहन प्रणाली को समझाइए। शुष्क हौदी स्नेहन प्रणाली क्या है? (2008)
12. स्नेहक क्या है? स्नेहक को वर्गीकृत कीजिए। गीली हौदी स्नेहन प्रणाली क्या है? (2010, 12)
13. अंतर्दहन इंजन का भाप शक्ति संयंत्र में विशिष्टयाँ लिखिए। (2011)
14. SI एवं CI इंजन में अन्तर स्पष्ट कीजिए।
15. निम्न को समझाइए—
   (a) अंतर्दहन इंजन में प्रयुक्त चक्र (2012)
   (b) शीतलन प्रक्रम

Study PowerPoint

16. इंजन स्नेहन को परिभाषित कीजिए। (2012, 13)

17. C.I. व S.I. इंजनों में विभेद कीजिए। (2014)

18. एक I.C. इंजन की स्नेहन पद्धति को समझाइये। (2014)

हल सहित उदाहरण

उदाहरण 1. दिए गए ऑटो चक्र की दक्षता 60% है तथा γ का मान 1.4 है। संपीडन अनुपात का मान ज्ञात कीजिए।

हल : दिया है—

$$\eta_{Otto} = 0.60$$

$$\gamma = 1.4$$

हम जानते हैं कि

$$\eta_{Otto} = 1 - \frac{1}{(r)^{\gamma-1}}$$

$$0.60 = 1 - \frac{1}{r^{1.4} - 1}$$

$$r = 6.25$$

उत्तर

उदाहरण 2. एक इंजन ऑटो चक्र पर कार्य करता है। निम्न विशिष्टियाँ हमें ज्ञात हैं—

बोर = 250 mm

स्ट्रोक = 375 mm

क्लीयरेन्स आयतन = $0.00263\ m^3$

रूद्धोष्म गुणांक $\gamma = 1.4$

वायु मानक दक्षता ज्ञात कीजिए।

हल : $D = 250\ mm = 0.25\ m$

$$L = 375\ mm = 0.375\ m$$

$$V_c = 0.00263\ m^3$$

हम जानते हैं कि

$$V_S = \frac{\pi}{4} D^2 L$$

$$V_S = \frac{\pi}{4}(0.25)^2 \times 0.375$$

$$V_S = 0.0184\ m^3$$

$$r = \frac{V_S + V_C}{V_C} = \frac{0.0184 + 0.00263}{0.00263}$$

$$r = 8$$

$$\eta_{Otto} = 1 - \frac{1}{(r)^{\gamma-1}}$$

$$\eta_{Otto} = - \frac{1}{(8)^{1.4-1}}$$

Study PowerPoint

$$\boxed{\eta_{Otto} = 56.5\%}$$ Ans.

उदाहरण 3. एक 6-सिलिण्डर डीजल इंजन में कार्य के दौरान निम्न आँकड़े प्राप्त होते हैं-

(i) संपीडन एवं प्रसारण के दौरान कार्य = 820 kW

(ii) प्रवेश एवं निकास के दौरान कार्य = 5 kW

(iii) घर्षण के दौरान कार्य = 150 kW

(iv) टरबाइन द्वारा कार्य = 40 kW

यदि स्ट्रोक एवं बोर का अनुपात 1 हो तो स्ट्रोक एवं बोर की गणना कीजिए। यदि मध्य प्रभावी दाब = 0.6 MPa एवं इंजन की स्पीड = 1000 rpm हो।

हल : $P_m = 0.6\,\text{MPa} = 6\,\text{bar}$

$$N = 1000\,\text{rpm}$$

$$\frac{D}{L} = 1 \Rightarrow D = L$$

$$n = 6$$

$$k = \frac{1}{2} \text{(6 cylinder के लिए)}$$

हम जानते हैं कि

$$\text{B.P.} = \frac{nP_m LANk}{60}$$

और B.P. = कुल उपलब्ध कार्य

$$= [850 - (50 + 150 + 40)]$$

$$= 610\,\text{kW}$$

$$610 = \frac{6 \times 6 \times D \times \frac{\pi}{4} D^2 \times 1000 \times 0.5}{60}$$

$$D^3 = \frac{610 \times 60}{14137.16694}$$

$$\boxed{D = 13.73\,\text{mm} = L}$$ Ans.

उदाहरण 4. एक चार स्ट्रोक इंजन की स्पीड 2000 rpm है। इंजन का विस्थापन 25 litre है। मध्य प्रभावी दाब = 0.6 MN/m² यदि $m_f = 0.01$ kg/sec, Calorific value = 42000 kJ/kg.

ज्ञात कीजिए-

(a) ब्रेक शक्ति

(b) ब्रेक तापीय शक्ति

हल : $N = 2000$ rpm

$$k = \frac{1}{2}$$

Study PowerPoint

$$L \times \text{Area} = 25 \times 10^{-3} = 0.025 \text{ m}^3$$

$$P_m = 600 \text{ bar}$$

$$m_f = 0.01 \text{ kg/sec}$$

$$C = 42000 \text{ kJ/kg}$$

हम जानते हैं कि

$$BP = \frac{P_m LANk}{60}$$

$$= \frac{600 \times 0.025 \times 2000 \times \frac{1}{2}}{60}$$

$$BP = 250 \text{ kW}$$ Ans.

$$\eta_{\text{thermal}} = \frac{BP}{m_f \times C} = \frac{250}{0.01 \times 4200} \times 100$$

$$\boxed{\eta_{\text{thermal}} = 59.42\%}$$ Ans.

उदाहरण 5. एक चार स्ट्रोक इंजन रस्सी ब्रेक के साथ व्यवस्थित है। रस्सी एवं ब्रेक पहिए का व्यास 26 mm तथा 600 mm क्रमश: है। यदि ब्रेक पर भार 200 N है तथा स्प्रिंग का मान 30 N है। ब्रेक शक्ति की गणना कीजिए यदि इंजन 450 rpm पर घूमती है।

हल : दिया है $D_b = 600 \text{ mm} = 0.6 \text{ m}$

$$d = 26 \text{ mm} = 0.026 \text{ m}$$

$$W = 200 \text{ N}$$

$$S = 30 \text{ N}$$

$$N = 450 \text{ rpm}$$

हम जानते हैं कि—

$$\text{B.P.} = \frac{(W - S)\pi(D_d + d)N}{60 \times 100} \text{ kW}$$

$$\text{B.P.} = \frac{(200 - 30)\pi(0.600 + 0.026) \times 450}{60 \times 1000}$$

$$\boxed{\text{B.P.} = 2.5 \text{ kW}}$$ Ans.

उदाहरण 6. एक दो स्ट्रोक इंजन की सूचित शक्ति की गणना कीजिए यदि मध्य प्रभावी दाब 6 bar हो तथा इंजन की स्पीड 1000 rpm हो। इंजन में सिलिण्डर का बोर तथा स्ट्रोक क्रमश: 110 mm तथा 140 mm है।

हल : दिया है : $P_m = 6 \text{ bar}$

$$N = 1000 \text{ rpm}$$

$$L = 140 \text{ mm} = 0.140 \text{ m}$$

$$D = 110 \text{ mm} = 0.110 \text{ m}$$

$$\text{I.P.} = \frac{P_m LAN}{60} \text{ kW}$$

$$I.P. = \frac{6 \times 0.140 \times \frac{\pi}{4} \times (0.110)^2 \times 1000}{60}$$

Study PowerPoint

$$\boxed{I.P. = 13.3\ kW}$$ **Ans.**

उदाहरण 7. एक आदर्श डीजल चक्र, जिसका प्रारम्भिक दाब एवं तापमान क्रमशः 1 bar तथा 27°C है। चक्र का अधिकतम दाब 47 bar तथा चक्र के दौरान ऊष्मा 5455 kJ/kg है।

ज्ञात कीजिए–

(i) संपीडन अनुपात

(ii) संपीडन के अंत में तापमान

(iii) दक्षता।

हल : दिया है—

$$P_1 = 1\ \text{bar}$$

$$T_1 = 27°C = 27 + 2273\ K = 300\ K$$

$$P_2 = P_3 = 47\ \text{bar}$$

$$Q_{2-3} = 545\ \text{kJ/kg}$$

$$\gamma = 1.4$$

$$C_P = 1.005$$

(i) संपीडन अनुपात

$$r = \frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{1/\gamma}$$

$$r = \left(\frac{47}{1}\right)^{1/1.4}$$

$$\boxed{r = 15.644}$$ **Ans.**

(ii) संपीडन के अंत में तापमान

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

$$T_2 = 300\left(\frac{47}{1}\right)^{\frac{1.4-1}{1.4}}$$

$$\boxed{T_2 = 901.3\ K}$$ **Ans.**

(iii) दक्षता

$$Q_{2-3} = mC_p(T_3 - T_2)$$

$$545 = 1 \times 1.005(T_3 - 901.3)$$

$$T_3 = 1443.6\ K$$

$$\rho = \frac{V_3}{V_2} = \frac{T_3}{T_2} = \frac{1443.6}{901.3}$$

$$\rho = 1.6$$

$$\eta = 1 - \frac{1}{\gamma . r^{\gamma-1}}\left[\frac{\rho^{\gamma}-1}{\gamma-1}\right]$$

$$\eta = 1 - \frac{1}{1.4\times(15.644)^{1.4-1}}\left[\frac{(1.6)^{1.4}-1}{1.6-1}\right]$$

$$\boxed{\eta_{Diesel} = 63.11\%}$$

Ans.

उदाहरण 8. एक डीजल चक्र इंजन जिसका स्ट्रोक तथा सिलिण्डर का व्यास क्रमश: 0.25 m तथा 0.15 m है। यदि क्लीयरेन्स आयतन 0.004 m^3 है और ईंधन का सिलिण्डर में प्रवेश का आयतन 5% है स्ट्रोक के आयतन का। इंजन की दक्षता ज्ञात कीजिए।

हल : दिया है—

$$L = 0.25 \text{ m}$$

$$D = 0.15 \text{ m}$$

क्लीयरेन्स अनुपात $V_C = 0.0004 \text{ m}^3$

स्वेप्ट आयतन $V_S = \frac{\pi}{4} d^2 L$

$$V_S = \frac{\pi}{4}\times(0.15)^2\times 0.25$$

$$V_S = 0.004418 \text{ m}^3$$

∴ सिलिण्डर का कुल आयतन $= V_S + V_C$

$$= (0.0004 + 0.004418) \text{ m}^3$$

$$= 0.004818 \text{ m}^3$$

तथा $V_3 = V_C + 5\% \text{ of } V_S$

$$= V_C + \frac{5}{100} V_S$$

$$V_3 = 0.0004 + \frac{5}{100}\times 0.004418$$

$$V_3 = 0.00621 \text{ m}^3$$

पुन: $\rho = \frac{V_3}{V_2} = \frac{0.00621}{0.0004}$ $(\because V_2 = V_C)$

$$\rho = 1.55$$

तथा $r = \frac{V}{V_C} = \frac{V_C + V_S}{V_C}$

$$r = \frac{0.004418 + 0.0004}{0.0004}$$

$$r = 12.04$$

Study PowerPoint

$$\eta_{diesel} = 1 - \frac{1}{\gamma(r)^{\gamma-1}}\left[\frac{\rho^{\gamma}-1}{\rho-1}\right]$$ माना $\gamma = 1.4$

∴

$$\eta_{diesel} = 1 - \frac{1}{1.4(12.04)^{1.4-1}}\cdot\left[\frac{(1.55)^{1.4}-1}{1.55-1}\right]$$

$$\boxed{\eta_{diesel} = 59.3\%}$$ **Ans.**

उदाहरण 9. एकल सिलिण्डर चार-स्ट्रोक इंजन के परीक्षण के दौरान निम्न आँकड़े प्राप्त किए गए-

(a) बोर = 300 mm
(b) स्ट्रोक = 450 mm
(c) स्पीड = 300 rpm
(d) $P_m = 0.6$ bar
(e) कुल ब्रेक शक्ति $(W-S) = 1500$ W = 1.5 kW
(f) $D_b = 1.8$ m (g) $d = 2$ cm = 0.02 m

ज्ञात कीजिए-

(i) सूचित शक्ति,
(ii) ब्रेक शक्ति,
(iii) यांत्रिक दक्षता

हल : हम जानते हैं कि

(i) $\text{I.P.} = \dfrac{nP_m LANk}{60}$

∵

$$n = 1,\quad k = \frac{1}{2}$$

$$\text{I.P.} = \frac{1\times 0.6\times(0.450)\times\frac{\pi}{4}(0.300)^2\times 300\times\frac{1}{2}}{60}$$

$$\text{I.P.} = 0.0477 \text{ watt}$$

$$\boxed{\text{I.P.} = 47.712 \text{ kW}}$$ **Ans.**

(ii)

$$\text{B.P.} = \frac{(W-S)\,\pi(D_b+d)N}{60}$$

$$\text{B.P.} = \frac{1.5\times\pi(1.8+0.02)\times 300}{60}$$

$$\boxed{\text{B.P.} = 42.88 \text{ kW}}$$ **Ans.**

(iii)

$$\eta_{mech} = \frac{\text{B.P.}}{\text{I.P.}} = \frac{42.88}{47.71} = 0.8987$$

$$\boxed{= 89.87\%}$$ **Ans.**

Study PowerPoint

उदाहरण 10. एक चार स्ट्रोक इंजन रस्सी ब्रेक के साथ व्यवस्थित है। रस्सी एवं ब्रेक पहिए का व्यास 26 mm तथा 600 mm क्रमश: है। यदि ब्रेक पर भार 200 N है तथा स्प्रिंग का मान 30 N है। ब्रेक शक्ति की गणना कीजिए यदि इंजन 450 rpm पर घूमती है।

हल : दिया है
$D_b = 600\text{ mm} = 0.6\text{ m}$

$d = 26\text{ mm} = 0.026\text{ m}$

$W = 200\text{ N}$

$S = 30\text{ N}$

$N = 450\text{ rpm}$

हम जानते हैं कि—

$$\text{B.P.} = \frac{(W-S)\,\pi\,(D_b + d)\,N}{60\times1000}\text{ kW}$$

$$\text{B.P.} = \frac{(200-30)\,\pi\,(0.600+0.026)\times450}{60\times1000}$$

$$\boxed{\text{B.P.} = 2.5\text{ kW}}$$

Ans.

उदाहरण 11. एक दो स्ट्रोक इंजन की सूचित शक्ति की गणना कीजिए यदि मध्य प्रभावी दाब 6 bar हो तथा इंजन की स्पीड 1000 rpm हो। इंजन में सिलिण्डर का बोर तथा स्ट्रोक क्रमश: 110 mm तथा 140 mm हैं।

हल—दिया है

$P_m = 6\text{ bar}$

$N = 1000\text{ rpm}$

$L = 140\text{ mm} = 0.140\text{ m}$

$D = 110\text{ mm} = 0.110\text{ m}$

$$\text{I.P.} = \frac{P_m LAN}{60}\text{ KW}$$

$$\text{I.P.} = \frac{6\times0.140\times\frac{\pi}{4}\times(0.110)^2\times1000}{60}$$

$$\boxed{\text{I.P.} = 13.3\text{ kW}}$$

उत्तर

उदाहरण 12. एक 6-सिलिण्डर डीजल इंजन में कार्य के दौरान निम्न कार्य प्राप्त होता है—

(i) संपीडन एवं प्रसारण के दौरान कार्य = 820 kW

(ii) प्रवेश एवं निकास के दौरान कार्य = 50 kW

(iii) घर्षण के दौरान कार्य = 150 kW

(iv) टरबाइन द्वारा कार्य = 40 kW

यदि स्ट्रोक एवं बोर का अनुपात 1 हो तो स्ट्रोक एवं बोर की गणना कीजिए। यदि मध्य प्रभावी दाब = 0.6 MPa एवं इंजन की स्पीड = 1000 rpm हो।

हल : $P_m = 0.6\text{ MPa} = 6\text{ bar}$

$N = 1000\text{ rpm}$

Study PowerPoint

$$\frac{D}{L} = 1 \quad \Rightarrow \quad D = L$$

$$n = 60$$

$$k = \frac{1}{2}\text{(6 cylinder के लिए)}$$

हम जानते हैं कि

$$\text{B.P.} = \frac{nP_m LANk}{60}$$

और

$$\text{B.P.} = \text{कुल उपलब्ध कार्य}$$

$$= [850 - (50 + 150 + 40)]$$

$$= 610\ \text{kW}$$

$$610 = \frac{6 \times 6 \times D \times \frac{\pi}{4} D^2 \times 1000 \times 0.5}{60}$$

$$D^3 = \frac{610 \times 60}{14137.16694}$$

$$\boxed{D = 13.73\ \text{mm} = L}$$ उत्तर

उदाहरण 13. एक चार स्ट्रोक डीजल इंजन की स्पीड 2000 rpm है। इंजन का विस्थापन 25 litre है। माध्य प्रभावी दाब 0.6 MN/m^2

यदि $m_f = 0.01$ Kg/sec, Calorific value = 42000 kJ/kg.

ज्ञात कीजिए–(a) ब्रेक शक्ति (b) ब्रेक तापीय शक्ति

हल—

$$N = 2000\ \text{rpm}$$

$$k = \frac{1}{2}$$

$$L \times \text{Area} = 25 \times 10^{-3} = 0.025\ \text{m}^3$$

$$P_m = 600\ \text{bar}$$

$$m_f = 0.01\ \text{kg/sec}$$

$$C = 42000\ \text{kJ/kg}$$

हम जानते हैं कि—

$$\text{B.P.} = \frac{P_m LANk}{60}$$

$$\text{B.P.} = \frac{600 \times 0.025 \times 2000 \times \frac{1}{2}}{60}$$

$$\boxed{\text{B.P.} = 250\ \text{kW}}$$ उत्तर

$$\eta_{thermal} = \frac{\text{B.P.}}{m_f \times C} = \frac{2}{0.01 \times 42000}$$

$$\eta_{thermal} = 0.5952$$

$$\boxed{\eta_{thermal} = 59.52\%}$$ उत्तर

Study PowerPoint

ज्ञात कीजिए—

(i) η_{IP} (ii) η_{BP} (iii) η_{mech}

Ans. : (i) 27.03%, (ii) 23.4%, (iii) 86.6%

Hint : $m_f = 0.35 \times 26\ \text{kg/hr} = \frac{91}{3600}\ \text{kg/sec}$

3. एक चार सिलिण्डर पेट्रोल इंजन में मध्य प्रभावी दाब 5 bar है तथा इंजन की स्पीड 1250 rpm है। पिस्टन का बोर एवं स्ट्रोक क्रमशः 100 mm एवं 150 mm है। सूचित शक्ति ज्ञात कीजिए।

Ans. 6.11 kW

4. ब्रेक डायनोमीटर द्वारा इंजन पर निम्न आँकड़ों की गणना की गई—

(a) $N = 650\text{rpm}$ (b) $D_b = 600\ \text{mm}$

(c) $d = 50\ \text{m}$ (d) Dead weight on the brake drum = 32kg

(e) Spring balance reading = 4.75 kW

ब्रेक शक्ति की गणना कीजिए।

Ans. 5.9 kW

5. 2-स्ट्रोक इंजन के टेस्ट के दौरान निम्न आँकड़े प्राप्त किए गए हैं—

$N = 1500$ rpm

ब्रेक का भार = 120 kg

ब्रेक की लम्बाई = 875 mm

ज्ञात कीजिए—ब्रेक आघूर्ण एवं ब्रेक शक्ति।

Ans. 1030 N-m and 161.8 kW

6. एव इंजन ऑटो चक्र पर आधारित है जिसमें वायु कार्यकारी माध्यम के रूप में प्रयोग की जाती है जिसका प्रारम्भिक दाब 1 bar तथा तापमान 27°C है। वायु को रूद्धोष्म प्रक्रम के आधार पर संपीडित किया जाता है तथा संपीडन अनुपात 7 है। स्थिर आयतन पर प्रदत्त ऊष्मा के कारण तापमान में वृद्धि 2000 K है।

ज्ञात कीजिए—

(a) दक्षता (b) संपीडन के अन्त में दाब

(c) प्रदत्त ऊष्मा के अन्त में दाब

($C_V = 0.718$ kJ/kgK, $\gamma = 1.4$, $R = 287$ J/kgk)

Ans. (a) = 54.08%, (b) = 15.245 bar, (c) 46.666 bar

7. एक इंजन ऑटो चक्र पर आधारित है, जिसका बोर 0.2 m तथा स्ट्रोक 0.3 m है। इंजन का क्लीयरेन्स आयतन 0.0016 m^3 है। प्रारम्भिक दाब एवं तापमान क्रमशः 1 bar तथा 60°C हैं। इंजन की दक्षता ज्ञात कीजिए।

उत्तर— 54.08%

8. एक ऑटो इंजन की दक्षता 0.50 है तथा $\gamma = 1.4$ है। सम्पीडन अनुपात ज्ञात कीजिए।

उत्तर—4

9. एक डीजल चक्र इंजन का सम्पीडन अनुपात 18 है। इंजन को प्रदत्त ऊष्मा का मान 800 kJ/kg है। सम्पीडन के प्रारम्भ में दाब तथा तापमान क्रमशः 1 bar तथा 300 K हैं। इंजन की दक्षता ज्ञात कीजिए।

उत्तर— 61%

Study PowerPoint

10. एक डीजल चक्र में प्रमुख तापमान निम्नलिखित है—

(a) सम्पीडन के प्रारम्भ में तापमान = 97°C

(b) सम्पीडन के अन्त में तापमान = 789°C

(c) प्रदत्त ऊष्मा के अन्त में तापमान = 1839°C. दक्षता ज्ञात कीजिए।

Ans. 59.6%

11. एक पट्टे ब्रेक द्वारा एक एकल सिलिण्डर चार स्ट्रोक की ब्रेक शक्ति की गणना कीजिए यदि पट्टे ब्रेक द्वारा आघूर्ण 175 N-m आता है तथा इंजन का स्पीड 500 rpm आता है।

[उत्तर : 9.16 kW]

12. एक पेट्रोल इंजन के टेस्ट के दौरान निम्न आँकड़े प्राप्त होते हैं—

I.P. = 30 kW

B.P. = 26 kW

N = 200 rpm

Fuel/Brake/Power/hour = 0.35 kg

$C = 43900$ kJ/kg

ज्ञात कीजिए—

(i) η_{IP} (ii) η_{BP} (iii) η_{mech}

[उत्तर : (i) 27.03%, (ii) 23.4%, (iii) 86.6%]

Hint : $m_f = 0.35 \times 26 \text{ kg/hr} = \frac{9.1}{3600}$ kg/sec

13. एक चार सिलिण्डर पेट्रोल इंजन में मध्य प्रभावी दाब 5 bar है तथा इंजन की स्पीड 1250 rpm है। पिस्टन का बोर एवं स्ट्रोक क्रमशः 100 mm एवं 150 mm हैं। सूचित शक्ति ज्ञात कीजिए।

[उत्तर : 6.11 kW]

14. ब्रेक डायनमोमीटर द्वारा इंजन पर निम्न आकड़ों की गणना की गई—

(a) $N = 650$ rpm

(b) $D_b = 600$ mm

(c) $d = 50$ m

(d) Dead weight on the brake drum = 32 kg

(e) Spring balance reading = 4.75 kW

ब्रेक शक्ति की गणना कीजिए।

[उत्तर : 5.9 KW]

14. 2-Stroke इंजन के टेस्ट के दौरान निम्न आँकड़े प्राप्त किए गए हैं—

$N = 1500$ rpm

ब्रेक का भार = 120 kg

ब्रेक की लम्बाई = 875 mm

ज्ञात कीजिए—ब्रेक आघूर्ण एवं ब्रेक शक्ति।

[उत्तर : 1030 N-m & 161.8kW]

Study PowerPoint

सैद्धान्तिक प्रश्नावली

1. अंतर्दहन इंजन क्या है? अंतर्दहन इंजनों के प्रमुख गुण लिखिए।
2. अंतर्दहन इंजनों का वर्गीकरण कीजिए।
3. अंतर्दहन इंजनों में प्रयुक्त अंगों के कार्यों तथा पदार्थों की विवेचना कीजिए।
4. निम्न को समझाइए—
   (i) बोर
   (ii) स्ट्रोक
   (iii) डेड सेन्टर
   (iv) क्लीयरेन्स आयतन
   (v) स्वेप्ट
   (vi) कुल आयतन
   (vii) संपीडन अनुपात
   (viii) पिस्टन गति
5. निम्न का विस्तृत वर्णन कीजिए—
   (i) चार-स्ट्रोक पेट्रोल इंजन
   (ii) चार-स्ट्रोक डीजल इंजन
   (iii) दो-स्ट्रोक पेट्रोल इंजन
   (iv) दो-स्ट्रोक डीजल इंजन
6. ऑटो चक्र का *P-V* तथा *T-S* आरेख खींचिए तथा दक्षता ज्ञात कीजिए।
7. डीजल चक्र का *P-V* तथा *T-S* आरेख खींचिए तथा दक्षता ज्ञात कीजिए।
8. निम्न में अन्तर स्पष्ट कीजिए—
   (a) 2-Stroke and 4-Stroke इंजन में
   (b) पेट्रोल एवं डीजल इंजन में
   (c) S.I. and C.I. Engine में
9. काबुरेटर क्या है? एक अच्छे कारबुरेटर के विभिन्न गुण लिखिए।
10. सरल कारबुरेटर के विभिन्न अंगों तथा क्रियाविधि को समझाइए।
11. कारबुरेटर का वर्गीकरण कीजिए।
12. ड्यूअल चक्र की दक्षता ज्ञात कीजिए।
13. निम्न को परिभाषित कीजिए—
    (a) सूचित शक्ति
    (b) ब्रेक शक्ति
    (c) घर्षण शक्ति
14. इंजन की यांत्रिक दक्षता से आप क्या समझते हैं?
15. तापीय दक्षता क्या है?

Study PowerPoint

16. सापेक्ष दक्षता को परिभाषित कीजिए।
17. आयतनिक दक्षता से आप क्या समझते हैं?
18. शीतलन प्रक्रम की आवश्यकता क्यों होती है?
19. शीतलन प्रक्रम क्या है?
20. शीतलन के विभिन्न प्रकार को लिखिए।
21. जल एवं वायु शीतलन विधियों को लिखिए।
22. निम्न को समझाइये—
    (a) थर्मोसाइफन शीतलन
    (b) पम्प या प्रणोदित शीतलन निकाय
    (c) थर्मोस्टैटिक रेगूलेटर शीतलन निकाय
    (d) वाष्पित्र शीतलन निकाय।
23. इंजन स्नेहन क्या है? इसके मुख्य उद्देश्य लिखिए।
24. स्नेहक क्या है? स्नेहक के प्रकार लिखिए।
25. स्नेहक के प्रमुख गुणों को लिखिए।
26. स्नेहन प्रणाली का वर्गीकरण कीजिए।
27. निम्न का विस्तृत वर्णन कीजिए—
    (a) मिश्र स्नेहन प्रणाली (b) गीली हौदी स्नेहन प्रणाली
    (c) सूखी हौदी स्नेहन प्रणाली।
28. निम्न को परिभाषित कीजिए—
    (a) सूचित शक्ति (b) ब्रेक शक्ति (c) घर्षण शक्ति
29. इंजन की यांत्रिक दक्षता से आप क्या समझते हैं?
30. तापीय दक्षता क्या है?
31. सापेक्ष दक्षता को परिभाषित कीजिए।
32. आयतनिक दक्षता से आप क्या समझते हैं?
33. सूचित शक्ति ज्ञात करने के लिए विभिन्न विधियों का वर्णन कीजिए।
34. ब्रेक शक्ति ज्ञात करने के लिए विभिन्न डायनमोमीटर को समझाइए।
35. रस्सी ब्रेक डायनमोमीटर की क्रियाविधि का वर्णन कीजिए।
36. पेट्रोल इंजन के लिए मोर्स टेस्ट समझाइए।
37. ऊष्मा संतुलन पत्रक क्या है?
38. अंतर्दहन इंजनों में प्रदूषण तथा प्रदूषक कारकों को समझाइए।
39. प्रदूषण नियंत्रण के लिए प्रयोग की जाने वाली विधियों का वर्णन कीजिए।
40. उत्सर्जन मानक क्या है?
41. निम्न का वर्णन कीजिए—
    EURO NORMS
    INDIAN NORMS
42. एल० पी० जी० तथा सी० एन० जी० को समझाइए।

Study PowerPoint

वस्तुनिष्ठ प्रश्नावली

1. चार-स्ट्रोक डीजल इंजन में पिस्टन घूमता है—
(a) 1 स्ट्रोक (b) 4 स्ट्रोक (c) 8 स्ट्रोक (d) 2 स्ट्रोक

2. दो स्ट्रोक इंजन में क्रैंक का चक्कर लगाता है—
(a) 2 चक्कर (b) 4 चक्कर (c) 8 चक्कर (d) 1 चक्कर

3. संपीडन अनुपात होता है—
(a) $\frac{V_C}{V_S}$ (b) $\frac{V_S}{V_C}$ (c) $\frac{1}{V_C + V_S}$ (d) $\frac{V_C + V_S}{V_S}$

4. 4 स्ट्रोक इंजन की सूचित अश्व शक्ति होती है—
(a) PLAN (b) 2 PLAN (c) 4 PLAN (d) $\frac{\text{PLAN}}{2}$

5. संपीडन ज्वलन इंजन में दहन होता है—
(a) समान मिश्रण के कारण (b) असमान मिश्रण के कारण
(c) लेमिनार के कारण (d) (a) और (b)

6. ईंधन को छोटे-छोटे फुहार के रूप में तोड़ने की प्रक्रिया कहलाती है—
(a) वाष्पीकरण (Vapourisation) (b) आयनीकरण (Ionisation)
(c) कार्बेरेशन (Carburation) (d) कणीकरण (Atomisation)

7. उच्च गति संपीडन इंजन कार्य करता है—
(a) डीजल चक्र (b) ऑटो चक्र (c) ड्यूल चक्र (d) कॉरनाट चक्र

8. डीजल इंजन को आवश्यकता होती है—
(a) रासायनिक सही मिश्रण (Chemically Correct Mixture)
(b) लीन मिश्रण (Lean Mixture)
(c) धनी मिश्रण (Rich Mixture)
(d) (b) और (c)

9. डीजल इंजन में—
(a) फ्लाईव्हील की आवश्यकता नहीं होती है। (b) हल्के फ्लाईव्हील लगे होते हैं।
(c) मध्यम फ्लाईव्हील लगे होते हैं (d) भारी फ्लाईव्हील लगे होते हैं

10. पिस्टन स्पीड होती है—
(a) स्ट्रोक × rpm (b) स्ट्रोक + rpm
(c) 4 (Stroke × rpm) (d) 2 (Stroke × rpm)

उत्तरमाला

1. (b) 2. (d) 3. (d) 4. (d) 5. (b) 6. (d) 7. (c) 8. (c) 9. (d) 10. (d)

❑❑❑

Study PowerPoint

11 भाप टरबाइन एवं भाप संघनित्र
(Steam Turbine and Steam Condenser)

A भाप टरबाइन

❑ 11.1. परिचय

पिछले अध्यायों में हमने भाप उपजाने के लिए प्रयुक्त उपकरण अर्थात् भाप जनित्र या बॉयलर का अध्ययन किया। भाप जनित्र में जल की अवस्था परिवर्तन कर उसे वाष्प में परिवर्तित किया जाता है। यह वाष्प पुन: भाप टरबाइन को भेजी जाती है जिससे हमे कार्य प्राप्त होता है।

अत: "भाप टरबाइन एक ऐसी युक्ति है जिसकी सहायता से हम दाबयुक्त भाप की ऊष्मीय ऊर्जा निकालकर, शाफ्ट पर यान्त्रिक कार्य में परिवर्तित करते हैं।"

अथवा

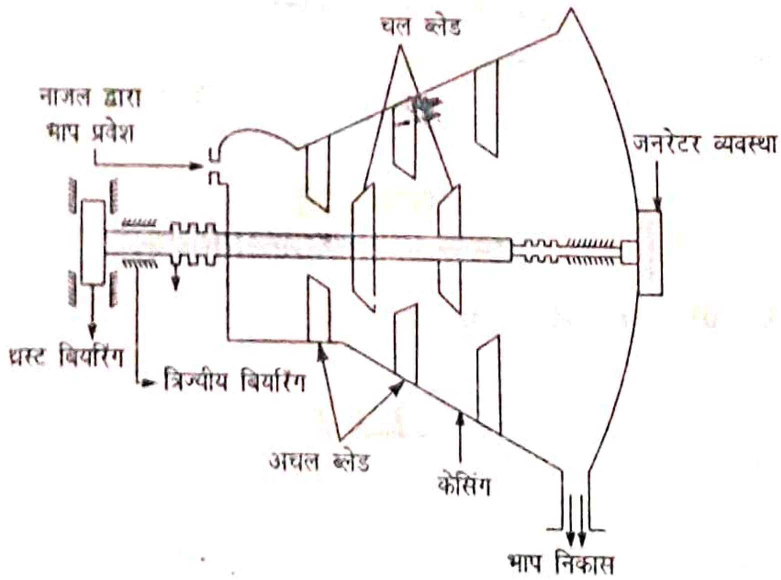
"भाप टरबाइन एक ऐसी यान्त्रिक युक्ति है जिसकी सहायता से हम भाप की ऊष्मीय ऊर्जा को यान्त्रिक कार्य में परिवर्तित करते है।"

अथवा

"भाप टरबाइन एक प्राथमिक चालक होता है जो बॉयलर से उत्पन्न उच्च दाब भाप की ऊष्मीय ऊर्जा का रूपान्तरण यान्त्रिक कार्य में करता है।"

❑ 11.2. भाप टरबाइन के मुख्य अवयव

भाप टरबाइन का व्यवस्थित आरेख निम्नलिखित है—



चित्र 11.1

Study PowerPoint

भाप टरबाइन के मुख्य अवयव निम्न है—

(i) केसिंग या कन्टेनर (ii) शाफ्ट (iii) ब्लेड (स्थिर एवं चल)
(iv) भाप प्रवेश एवं निकास द्वार (v) भाप नॉजल (vi) रोटर
(vii) नियंत्रक वाल्व या गर्वनर वाल्व (viii) बियरिंग (रेडियल व थ्रस्ट)
(ix) ग्लैण्ड (x) जनरेटर

भाप टरबाइन में सामान्यत: एक पात्र लगा होता है जिसे हम केसिंग कहते है। इस केसिंग में प्रवेश एवं निकास दो द्वार लगे होते है। स्थिर ब्लेड इसी केसिंग के आंतरिक भाग मे व्यवस्थित होते है। केसिंग के अंदर एक रोटर लगा होता है तथा इस पर चल ब्लेड लगे होते हैं। केसिंग के अंदर तथा टरबाइन पर ब्लेड (स्थिर तथा चल) इसी प्रकार श्रेणी में आवश्यकतानुसार व्यवस्थित होते हैं।

भाप जब टरबाइन में प्रवेश करता है तब यह स्थिर तथा चल ब्लेडो से गुजरता है। स्थिर ब्लेड सिर्फ भाप को दिशा प्रदान करता है (चल ब्लेड के सीधे कोण मे) तथा चल ब्लेड रोटर को गति प्रदान करता है। रोटर से जुड़े शाफ्ट का आखिरी सिरा सील होता है। सामान्यत: लैब्रीनीथ (Labrinth type) प्रकार की सील इस्तेमाल की जाती है।

शाफ्ट को बियरिंग की सहायता से दृढ़ता प्रदान की जाती है। यह शाफ्ट विद्युत जनरेटर से जुड़ी होती है। रोटर की यान्त्रिक ऊर्जा जनरेटर की सहायता से विद्युत ऊर्जा में परिवर्तित हो जाती है। आवश्यकतानुसार बियरिंग को स्नेहन (Lubrication) प्रदान की जाती है।

❑ 11.3. क्रियाविधि का सिद्धान्त

एक आदर्श भाप टरबाइन आइसन्ट्रापिक प्रक्रम या स्थिर एण्ट्रापी प्रक्रम पर आधारित होता है। स्थिर एण्ट्रापी प्रक्रम से तात्पर्य है भाप टरबाइन में जिस ऊष्मीय ऊर्जा के साथ प्रवेश करे, उसी ऊष्मीय ऊर्जा के साथ बाहर निकलती है। टरबाइन के आंतरिक भाग में चल तथा अचल ब्लेडें क्रमागत श्रेणी में लगी होती हैं। अचल ब्लेड केसिंग के साथ जुड़ी होती हैं तथा चल ब्लेड रोटर के साथ जुड़ी होती हैं। बॉयलर से प्राप्त उच्च दाब तथा उच्च तापमान भाप टरबाइन में नॉजल की सहायता से प्रवेश करता है। नॉजल की सहायता से हम भाप की दाबीय ऊर्जा को गतिज ऊर्जा में परिवर्तित करते हैं। इस कारण से भाप उच्च वेग जेट में परिवर्तित हो जाता है। यह उच्च वेग जेट टरबाइन की स्थिर ब्लेडों पर प्रवाहित होता है। यह स्थिर ब्लेडे भाप की दिशा को परिवर्तित करते हैं जिससे भाप का संवेग परिवर्तित हो जाता है जिसके कारण चल ब्लेड घूमने लगता है। चल ब्लेडों के घूमने के कारण शाफ्ट भी घूमने लगता है। शाफ्ट के घुमाव के कारण हमें यांत्रिक ऊर्जा प्राप्त होती है जिससे कार्य प्राप्त होता है। टरबाइन के सुचारु रूप से कार्य करने के लिए ब्लेडों में क्लीयरेन्स प्रदान किया जाता है। टरबाइन की दक्षता वृद्धि के लिए हम भाप को अनेक चरणों में प्रसारित करते हैं जिससे हमें प्राप्त कार्य में वृद्धि होती है।

■ भाप टरबाइन का वर्गीकरण

भाप को वर्गीकृत करने के लिए विभिन्न मानक माने गए हैं। कुछ प्रमुख मानक आधार निम्नलिखित है—

(i) भाप प्रवाह की दिशा के आधार पर—
- (a) अक्षीय टरबाइन
- (b) त्रिज्यीय टरबाइन
- (c) स्पर्शीय टरबाइन

(ii) क्रियाविधि सिद्धान्त के आधार पर—
- (a) आवेश टरबाइन
- (b) प्रतिक्रिया टरबाइन

Study PowerPoint

(iii) दाब चरणों की संख्या के आधार पर—
(a) एकल चरण टरबाइन
(b) बहुचरण टरबाइन

(iv) प्रवेश पर भाप के दाब के आधार पर—
(a) निम्न दाब टरबाइन (1.2 से 2 atm तक)
(b) मध्य दाब टरबाइन (40 atm तक)
(c) उच्च दाब टरबाइन (40 atm से ऊपर तक)

(v) निकास पर भाप के दाब के आधार पर—
(a) संघनन टरबाइन
(b) गैर संघनन टरबाइन
(c) एक्सट्रेक्शन या पास आउट टरबाइन
(d) पश्च दाब या टापिंग टरबाइन

(vi) गवर्नर विधि के आधार पर—
(a) थ्राटल विधि
(b) नाजल विधि
(c) बाई-पास विधि

(vii) सिलिण्डर की संख्या के आधार पर—
(a) एकल सिलिण्डर टरबाइन
(b) द्विसिलिण्डर टरबाइन
(c) बहु-सिलिण्डर टरबाइन

(viii) शाफ्ट की व्यवस्था के आधार पर—
(a) टैन्डम कम्पाउण्ड शाफ्ट
(b) क्रास कम्पाउण्ड शाफ्ट

(ix) उद्योगों में उपयोग के आधार पर—
(a) स्थिर टरबाइन नियत घूर्णन गति टरबाइन
(b) स्थिर टरबाइन परिवर्तनशील घूर्णन गति टरबाइन
(c) परिवर्तनशील टरबाइन परिवर्तनशील घूर्णन गति के साथ।

❑ 11.4. टरबाइन के प्रकार

सामान्यत: दो प्रकार के टरबाइन प्रयोग किए जाते हैं—

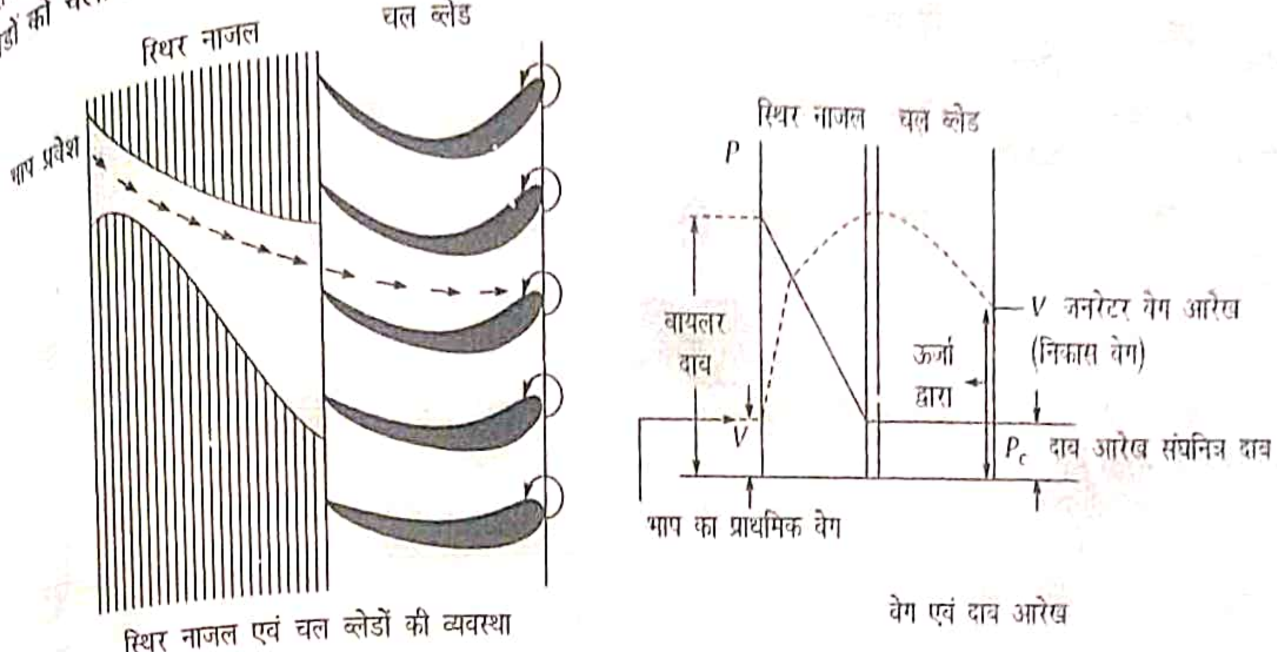
(i) आवेगी टरबाइन

(ii) प्रतिक्रिया टरबाइन

(i) आवेगी टरबाइन—यह निम्न सिद्धान्त पर कार्य करता है—

Study PowerPoint

"जब टरबाइन को भाप प्रवाहित की जाती है तो यह टरबाइन ब्लेडों को निर्देशित करता है जिसके प्रभाव से हमें घूर्णन प्राप्त होती है।" इस टरबाइन में सम्पूर्ण दाब का गिराव स्थिर ब्लेडों (नाजल) में होता है तथा प्राप्त उच्च वेग जेटों से चल ब्लेडों को चलाया जाता है।"



चित्र 11.2

इस टरबाइन में स्थिर ब्लेड या नाजल केसिंग में व्यवस्थित होते हैं जो भाप को उच्च वेग जेट में परिवर्तित कर दिशा प्रदान करते हैं। यह भाप जेट, उच्च गति ऊर्जा में परिवर्तित हो जाता है जो शाफ्ट की घूर्णन गति के लिए उत्तरदायी होता है। शाफ्ट पर टोकरी की आकृति की चल ब्लेडें लगी होती हैं जो उच्च वेग जेट से घूमती हैं जिससे भाप की ऊष्मीय ऊर्जा शाफ्ट की यान्त्रिक ऊर्जा में परिवर्तित हो जाती है।

स्थिर नाजल में भाप का दाब गिरता है तथा वेग में बढ़ोत्तरी होती है। स्थिर नाजल में भाप के दाब की गिरावट वातावरणीय दाब या संघनित्र दाब तक होती है।

भाप के प्रसारण के उच्च अनुपात के कारण जब भाप नाजल से निकलती है तो वेग उच्च हो जाता है तथा जब यह चल ब्लेडों से गुजरती है तब वेग में गिरावट होती है। वेग में इस हानि को निकास वेग हानि कहते हैं।

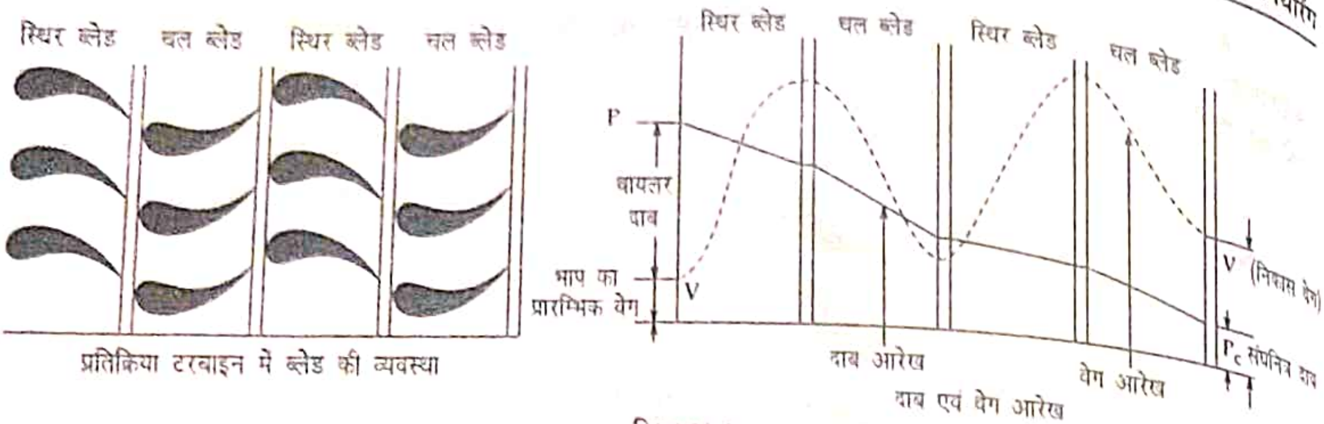
आवेगी टरबाइन का उदाहरण है—"डी-लावल टरबाइन, पेल्टन टरबाइन"।

(ii) प्रतिक्रिया टरबाइन—टरबाइन में लगे ब्लेड भाप की दिशा को परिवर्तित कर देते हैं जिससे भाप गतिज ऊर्जा में परिवर्तित हो जाती है। यह परिवर्तन जब प्रतिक्रिया बल के कारण उत्पन्न होता है तो टरबाइन को प्रतिक्रिया टरबाइन कहते हैं। इस टरबाइन में भाप के दाब में गिरावट को दो चरणों में बाँटा गया है। पहले स्थिर ब्लेडों में भाप का दाब गिरता है फिर चल ब्लेडों में भाप का दाब गिरता है।

प्रतिक्रिया टरबाइन में रोटर पर ब्लेड इस प्रकार व्यवस्थित होते हैं कि वह एक अभिसारी नाजल की भाँति कार्य करते हैं। रोटर में लगे नाजल से उत्पन्न प्रतिक्रिया बल के कारण टरबाइन के शाफ्ट को गति प्राप्त होती है। केसिंग पर लगे स्थिर ब्लेड भाप को दिशा प्रदान करते हैं जिससे भाप चल ब्लेडों की ओर प्रवाहित होती है। चल ब्लेडों से गुजरते हुए भाप जेट में परिवर्तित हो जाती है जो रोटर की परिधि पर कार्य करती है।

Study PowerPoint

टरबाइन का व्यवस्थित आरेख निम्न है—



चित्र 11.3

"पार्सन (Parson's turbine) टरबाइन प्रतिक्रिया टरबाइन का उदाहरण है।"

❑ 11.5. आवेगी एवं प्रतिक्रिया टरबाइन की तुलना

क्र०सं०	विवरण	आवेगी टरबाइन	प्रतिक्रिया टरबाइन
1.	दाब गिराव	स्थिर नाजल में	स्थिर ब्लेड एवं चल ब्लेड दोनों में
2.	ब्लेड काट का क्षेत्रफल	स्थिर	परिवर्तनशील
3.	ब्लेड का प्रकार	प्रोफाइल प्रकार	ऐरो फाइल प्रकार
4.	शक्ति	कम	अधिक
5.	दक्षता	कम	ज्यादा
6.	उपयुक्ता	कम शक्ति के लिए	अधिक शक्ति के लिए
7.	स्थान घेराव	कम स्थान घेरता है	अधिक स्थान घेरता है
8.	ब्लेड का उत्पादन	आसान होता है	कठिन होता है

❑ 11.6. आवेग टरबाइन का बहुपदन (Compounding Method of Impulse Turbine)

बहुपदन का तात्पर्य है, "रोटर की गति को कम करना"।

बहुपदन को निम्न प्रकार से परिभाषित किया जाता है—

"यह भाप को टरबाइन में विभिन्न चरणों में प्रसारित करने की विधि है।"

या "चल ब्लेडों पर भाप के प्रवाह को विभिन्न चरणों में प्रवाहित करने की विधि है।"

या "यह उपरोक्त वर्णित दोनों विधियों का संयुक्त रूप है।"

इन तीनों विधियों से रोटर की गति में कमी होती है जिससे ऊर्जा की हानि कम होती है।

❑ 11.7. बहुपदन क्यों?

बहुपदन निम्न कारणों से आवश्यक होता है—

(i) शाफ्ट की घूर्णन गति 30,000 rpm/min होती है जिससे शाफ्ट को हानि होती है तथा आउटपुट भी प्रभावित होती है।

(ii) उच्च वेग जेट से टरबाइन ब्लेड को सुरक्षित करने के लिए।

(iii) ऊर्जा की हानि को कम करने के लिए।

(iv) टरबाइन के डिजाइन को सरल बनाने के लिए।

Study PowerPoint

11.8. बहुपदन की विधियाँ

सामान्य चार विधियाँ प्रयोग की जाती हैं—

(i) दाब बहुपदन विधि (Pressure Compounding method)

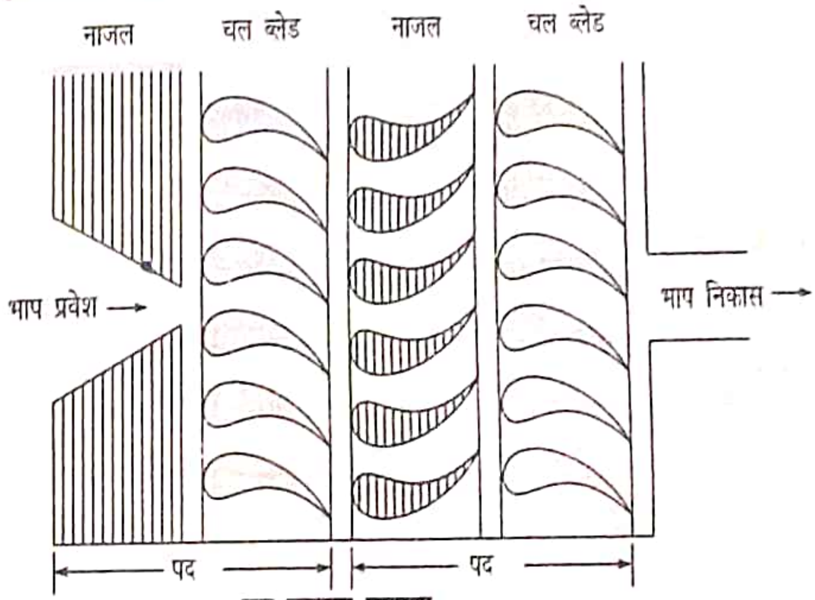
(ii) वेग बहुपदन विधि (Velocity Compounding method)

(iii) संयुक्त दाब एवं वेग बहुपदन विधि (Combined pressure and velocity method)

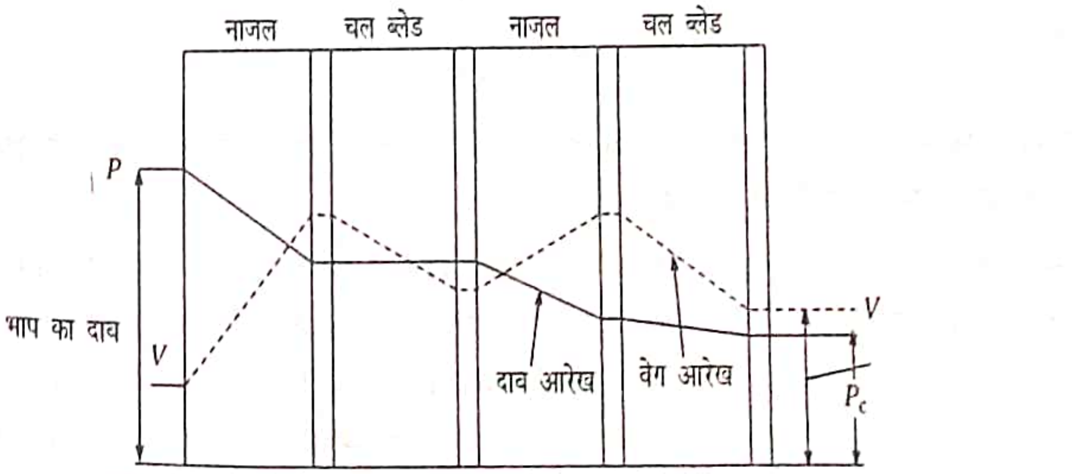
(iv) प्रतिक्रिया टरबाइन (Reaction turbine)

(i) दाब बहुपदन विधि—बहुपदन की इस विधि में भाप के दाब को विभिन्न चरणों में गिराया या घटाया जाता है। हम जानते हैं कि भाप प्रवाह स्थिर ब्लेडों से होता है जिससे उसकी गतिज ऊर्जा में वृद्धि होती है। यह सम्पूर्ण गतिज ऊर्जा इस्तेमाल नहीं हो पाती है। इसलिए हम प्रत्येक चल ब्लेड के आगे एक स्थिर नाजल लगा देते हैं। इस व्यवस्था को हम दाब बहुपदन विधि कहते हैं।

बहुपदन की इस विधि में हम नॉजल की एक कतार में भाप को आंशिक रूप से प्रसारित कर चल ब्लेडों की कतार से प्रवाहित किया जाता है। चल ब्लेडों से निष्कासित भाप को नॉजल की अगली कतार से प्रवाहित कर पुनः प्रसारित किया जाता है। इस प्रकार यह प्रक्रिया शृंखलाबद्ध होती है।



दाब बहुपदन व्यवस्था



V प्रारम्भिक भाप वेग P_c संघनित्र दाब P बॉयलर भाप का दाब V निकास दाव

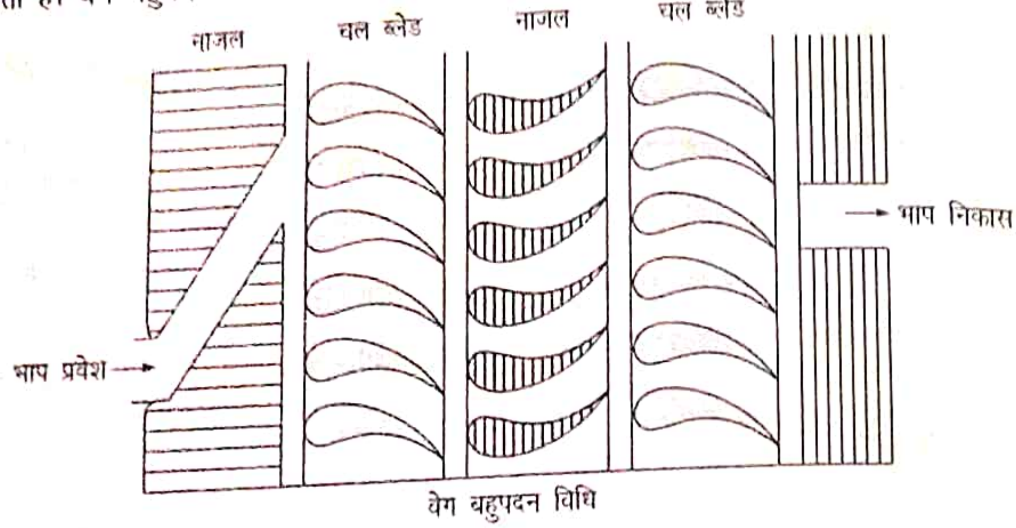
दाब एवं वेग आरेख

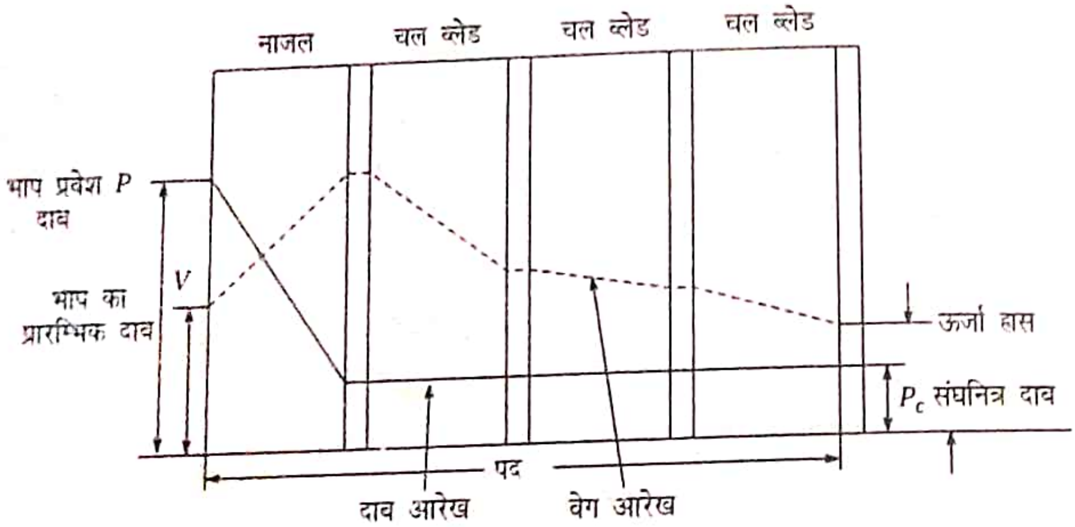
चित्र 11.4

Study PowerPoint

रेट्यू एवं जॉली (Rateua and Zolley) टरबाइन इस विधि का प्रयोग करते हैं। दाब बहुपदन विधि का व्यवस्थित आरेख चित्र 11.4 में दिया गया है।—

(ii) वेग बहुपदन विधि (Velocity Compounding Method)—वेग बहुपदन विधि में भाप की सम्पूर्ण गतिज ऊर्जा का प्रयोग हो जाता हैं। वेग बहुपद विधि का व्यवस्थित आरेख निम्न है—





चित्र 11.5

इस विधि में वेग को विभिन्न चरणों में घटाया जाता है। हम जानते हैं कि वेग चल ब्लेडों में घटता है। इस विधि में चल ब्लेडों को शृंखलाबद्ध व्यवस्थित किया जाता है।

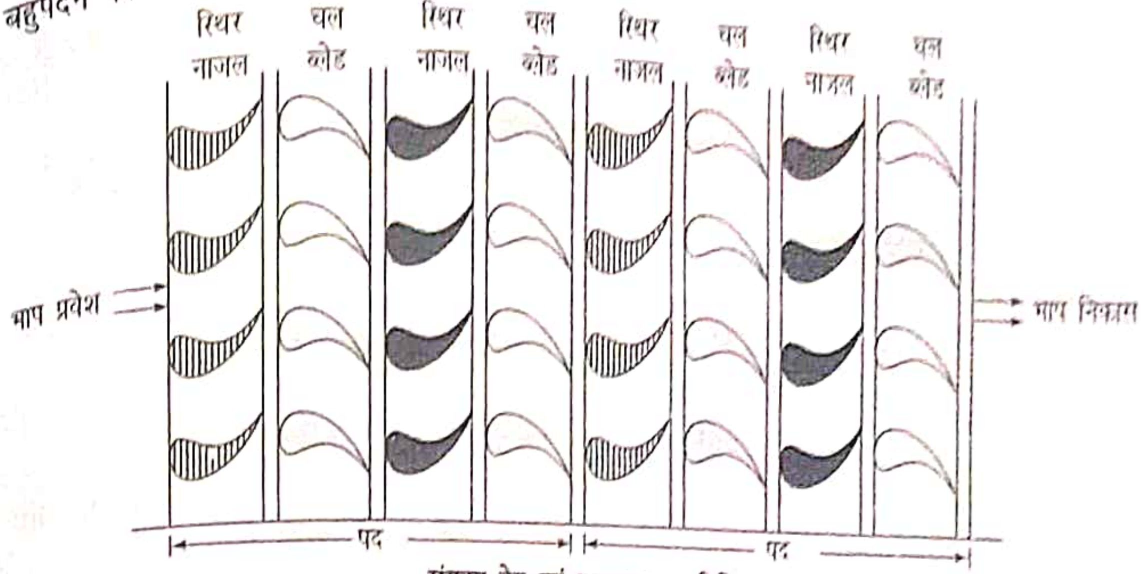
इस व्यवस्था में भाप बॉयलर से सर्वप्रथम नॉजल में प्रवेश करता है जहाँ इसका दाब घटता है तथा गतिज ऊर्जा बढ़ जाती है। यह उच्च वेग जेट चल ब्लेड़ों से प्रवाहित कराते हैं जिससे उसकी गतिज ऊर्जा भी कम होने लगती हैं। चल ब्लेड के आगे ब्लेड लगे होते हैं जो गाइड ब्लेड की तरह कार्य करते हैं। यह भाप को सिर्फ दिशा प्रदान करते हैं बिना वेग परिवर्तन किए हुए। यह जेट चल ब्लेड में प्रवाहित होते हैं जिससे कार्य प्राप्त होता है। वेग में कमी के साथ इस प्रक्रम की पुनरावृत्ति होती है तथा हमें कार्य प्राप्त होता है।

कर्टिस टरबाइन वेग बहुपदन का उदाहरण है। इसकी कम लागत इसकी विशेषता है।

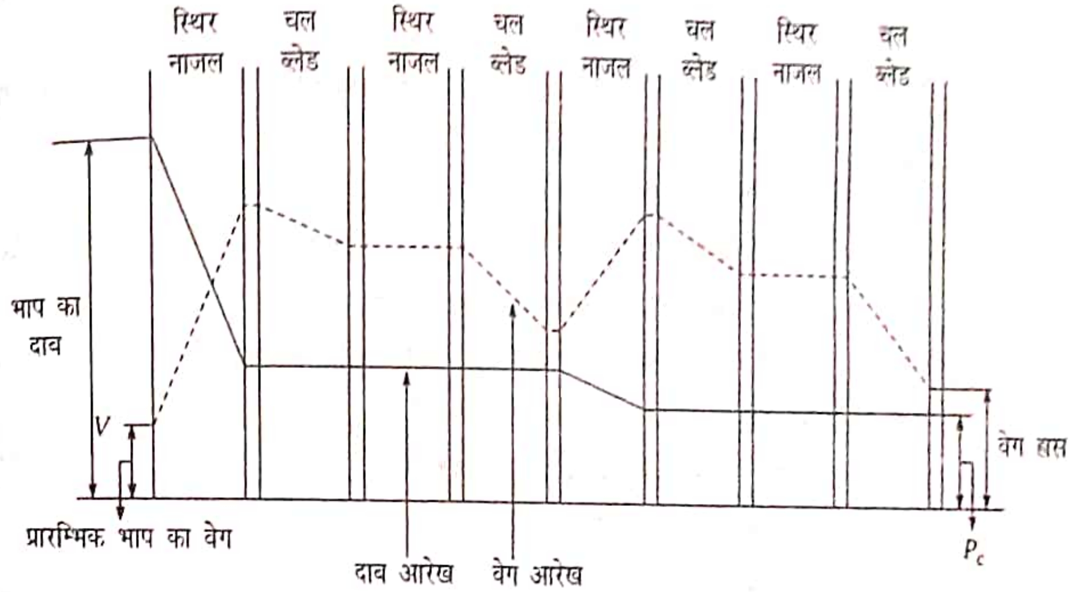
Study PowerPoint

(iii) संयुक्त दाब एवं वेग बहुपदन (Combined Pressure and Velocity Compounding Method)—इस विधि में भाप का दाब एवं वेग दोनों को विभिन्न चरणों से घटाया जाता है, जिससे अधिक से अधिक कार्य प्राप्त हो सके। इस व्यवस्था में रोटर की संख्या शृंखला में प्रयोग किया जाता है।

बहुपदन का व्यवस्थित आरेख निम्न है—



संयुक्त वेग एवं दाब बहुपदन विधि



दाब एवं वेग आरेख

चित्र 11.6

बहुपदन की इस विधि में प्रत्येक पद में नॉजल, चल ब्लेड एवं एक चल ब्लेड लगी होती है। दाब एवं वेग की प्रत्येक चरण में गिरावट होती है।

कर्टिस एवं मोरे (Curties and Morre) संयुक्त दाब एवं वेग बहुपदन विधि का उदाहरण है।

11.9. टरबाइन का वेग आरेख (प्रवेश एवं निकास त्रिभुज आरेख) (Velocity Triangle Turbine)

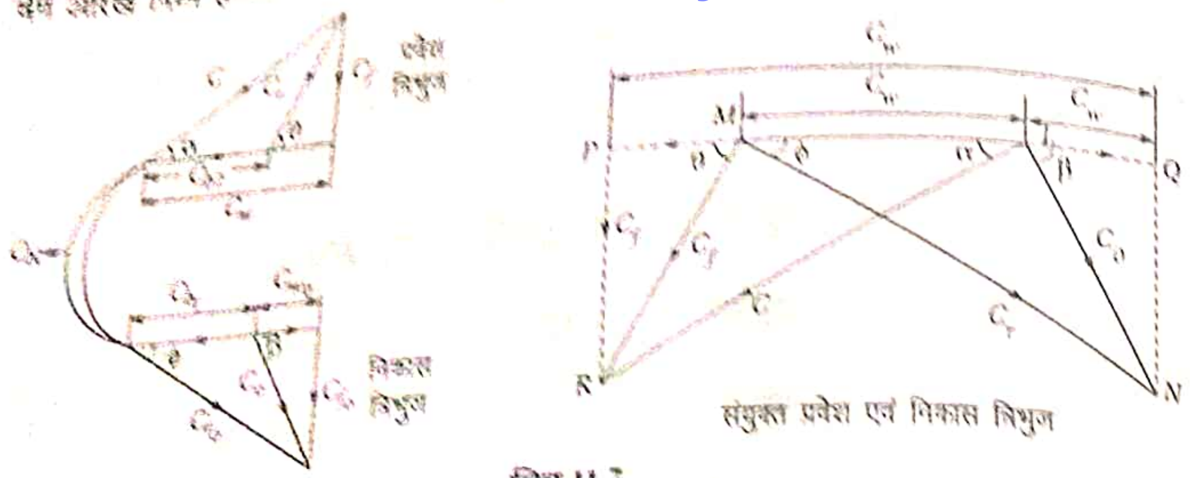
हम जानतें हैं कि वेग एक सदिश राशि है, इसलिए इसे पेपर पर दर्शाया जा सकता है।

वेग त्रिभुज को निम्न प्रकार से परिभाषित किया गया है—

"यह वेग में परिवर्तन तथा दिशा में परिवर्तन का व्यवस्थित क्रमबद्ध आरेख है जो टरबाइन को पूर्ण रूप से परिभाषित करता है।"

Study PowerPoint

वेग आरेख चित्र है—



चित्र 11.7

C_{bl} = चल ब्लेड का रेखीय वेग (m/sec)

C_i = भाप का निरपेक्ष वेग चल ब्लेड पर प्रवेशित होते समय

C_o = भाप का निरपेक्ष वेग चल ब्लेड से निष्कासित होते समय

C_{wi} = घूर्णन वेग चल ब्लेडों के प्रवेश पर

= C_i का स्पर्शीय अवयव (Tangential component)

C_{wo} = घूर्णन वेग चल ब्लेडों के निकास पर

= C_o प्रवेश पर प्रवाह वेग

C_{fi} = प्रवेश पर प्रवाह वेग

= C_i का अक्षीय अवयव (Axial component)

C_{fo} = निकास पर भाप का प्रवाह वेग (C_o का अक्षीय अवयव)

C_{ri} = प्रवेश पर भाप का सापेक्ष चल ब्लेडों पर

C_{ro} = निकास पर भाप सापेक्ष वेग चल ब्लेडों पर

α = पहिए की स्पर्श पर कोण जिस पर भाप C_i वेग से प्रवेश करती है, इसे नाजल कोण कहते हैं।

β = पहिए की स्पर्श पर कोण जिस पर भाप C_o वेग से निष्कासित होती है।

θ = चल ब्लेडों का प्रवेश कोण

ϕ = चल ब्लेडों का निकास कोण

प्रमुख पद—

(i) पहिए पर स्पर्शीय बल—भाप का द्रव्यमान × त्वरण = भाप का द्रव्यमान/सेकण्ड × वेग में परिवर्तन

$$= m_s(C_{wi} - C_{wo})$$

(ii) पहिए पर अक्षीय बल = भाप का द्रव्यमान × अक्षीय त्वरण

$$= m_s(C_{fi} - C_{fo})$$

(iii) ब्लेड पर कार्य/सेकण्ड = बल × तय की दूरी /sec

$$= m_s(C_{wi} - C_{wo}) \times C_{bl}$$

Study PowerPoint

(iv) पहिए पर शक्ति

$$= \frac{m_s . C_w . C_{bi}}{1000} \text{ kW}$$

$$C_w = C_{wi} + C_{wo}$$

∴

(v) आरेख पर ब्लेड दक्षता

$$\eta_B = \frac{\text{ब्लेड द्वारा किया गया कार्य}}{\text{ब्लेड को प्रदत्त ऊर्जा}}$$

$$= \frac{m_s (C_{wi} + C_{wo}) C_{bi}}{m \frac{C_i}{2}}$$

$$\eta_B = \frac{2 m_s (C_{wi} + C_{wo}) . C_{bi}}{m C_i}$$

(vi) प्रदत्त दक्षता $= \dfrac{\text{प्रति किग्रा भाप द्वारा ब्लेड पर कार्य}}{\text{प्रति किग्रा भाप के लिए प्रदत्त ऊर्जा}}$

$$\eta_{stage} = \frac{C_{bi} . (C_{wi} + C_{wo})}{h_1 - h_2}$$

(vii) नाजल दक्षता

$$= \frac{C_i^2}{2(h_1 - h_2)} \qquad \therefore \eta_{stage} = \eta_{blade} \times \eta_{nozzle} = \frac{C_{bi}(C_{wi} + C_{wo})}{h_1 - h_2}$$

(viii) ब्लेड वेग गुणांक

$$C_{ro} = K C_{ri}$$

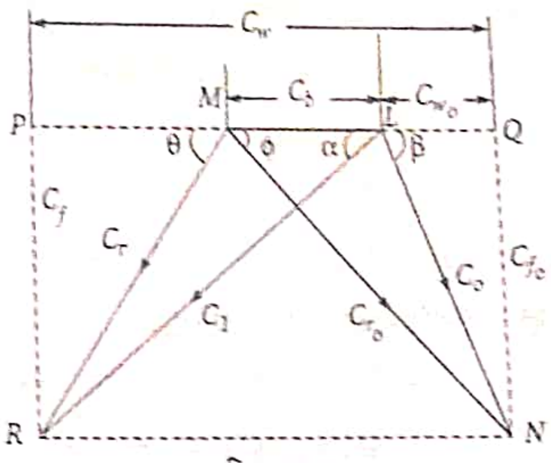
K = ब्लेड वेग गुणांक

11.10. प्रतिक्रिया टरबाइन का वेग आरेख

प्रतिक्रिया टरबाइन का वेग आरेख निम्न है चित्र 11.8—

प्रतिक्रिया टरबाइन में सापेक्ष वेग या तो नियत रहती है या तो घर्षण के कारण घटती रहती है।

प्रतिक्रिया कोटि—यह चल ब्लेडों में ऊष्मा की गिरावट तथा पद में कुल ऊष्मा की गिरावट का अनुपात होता है। इसे R_d द्वारा प्रदर्शित करते हैं।



चित्र 11.8

$$R_d = \frac{\Delta h_m}{\Delta h_f + \Delta h_m}$$

$$\Delta h_m = \frac{C_{ro}^2 - C_{ri}^2}{2}$$

$$\Delta h_f + \Delta h_m = C_{bi} . (C_{wi} + C_{wo})$$

$$R_d = \frac{C_{ro}^2 - C_{ri}^2}{2 C_{bi} (C_{wi} + C_{wo})}$$

Study PowerPoint

11.11. टरबाइन की दक्षता

(i) ब्लेड या आरेख दक्षता (Blade or Diagram Efficiency)—यह ब्लेड पर कार्य प्रति सेकण्ड तथा ब्लेड पर प्रवेशित ऊर्जा प्रति सेकण्ड का अनुपात होता है।

(ii) पद दक्षता (Stage Efficiency)—यह किसी एक पद के साथ होने वाली नाजल में हानि या ब्लेड डायफ्राम में हानियाँ तथा डिस्क में हानियों से सम्बन्धित है।

$$\eta_{stage} = \frac{\text{ब्लेड पर नेट कार्य} - \text{डिस्क पर हानि}}{\text{रूद्धोष्म ऊष्मा प्रति पद}}$$

(iii) आंतरिक दक्षता (Internal Efficiency)

$$\eta_{internal\ efficiency} = \eta_{stage}$$

$$\eta_{IE} = \frac{\text{ऊष्मा कार्य में परिवर्तन}}{\text{कुल रूद्धोष्म ऊष्मा}}$$

(iv) सकल या टरबाइन दक्षता (Overall or turbine efficiency)

$$\eta_{overall} = \frac{\text{ऊष्मा के रूप में टरबाइन के अंत में कार्य प्रति किग्रा भाप}}{\text{कुल रूद्धोष्म ऊष्मा}}$$

11.12. ब्लीडिंग प्रक्रम (Bleeding Process)

यह भाप के निष्कासन की प्रक्रिया है जिसके अंतर्गत हम भाप प्रवाह के दौरान कुछ मात्रा में भाप को निकालकर भरण जल को पूर्व गरम करने में प्रयोग करते हैं। इस प्रक्रम से संयंत्र की दक्षता में वृद्धि होती है, परन्तु उत्पादित शक्ति में ह्रास होता है।

पूर्व गर्म भरण जल बॉयलर ड्रम में प्रवेश कराया जाता है।

11.13. भाप टरबाइनों का अधिनियंत्रण (Governing of Steam Turbine)

यह टरबाइन में प्रदान की जाने वाली भाप की मात्रा को इस प्रकार नियन्त्रित करने की विधि है, जिससे बदलते हुए भार के साथ भी टरबाइन की घूर्णन गति एक सीमा के भीतर स्थित रहे।

अधिनियंत्रण की आवश्यकता—अधिनियंत्रण निम्न कारणों से महत्वपूर्ण होता है—

(i) अधिकतम आउटपुट प्राप्त करने के लिए।

(ii) विद्युत शक्ति की नियत आवृत्ति प्राप्त करने के लिए।

(iii) रोटर को अधिक गति से टरबाइन की सुरक्षा के लिए।

अधिनियंत्रण की विधियाँ

मुख्यत: तीन विधियाँ प्रयोग की जाती हैं—

(i) थ्राटल अधिनियंत्रण (Throttle Governing)

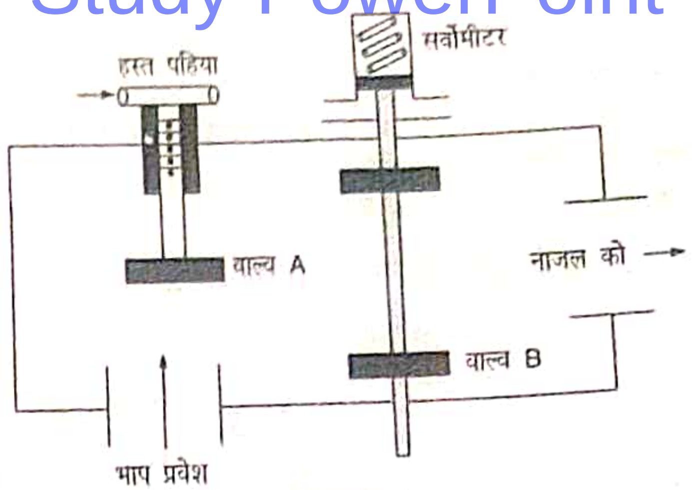
(ii) बाई-पास अधिनियंत्रण (Bypass Governing)

(iii) नाजल अधिनियंत्रण (Nozzle Governing)

Study PowerPoint

(i) **थ्राटल अधिनियंत्रण** (Throttle Governing)—इस अधिनियंत्रण का सिद्धान्त है कि जब भार में कमी होती है तब भाप के प्रवाह को टरबाइन के डिजाइन के अनुसार व्यवस्थित करना जिससे रोटर की गति अपनी निर्धारित सीमा में बनी रहे। इस विधि में भाप के प्रवाह को या भाप की मात्रा को दोहरे बीट वाल्व (Double Beat Valve) की सहायता से नियन्त्रित करते हैं।

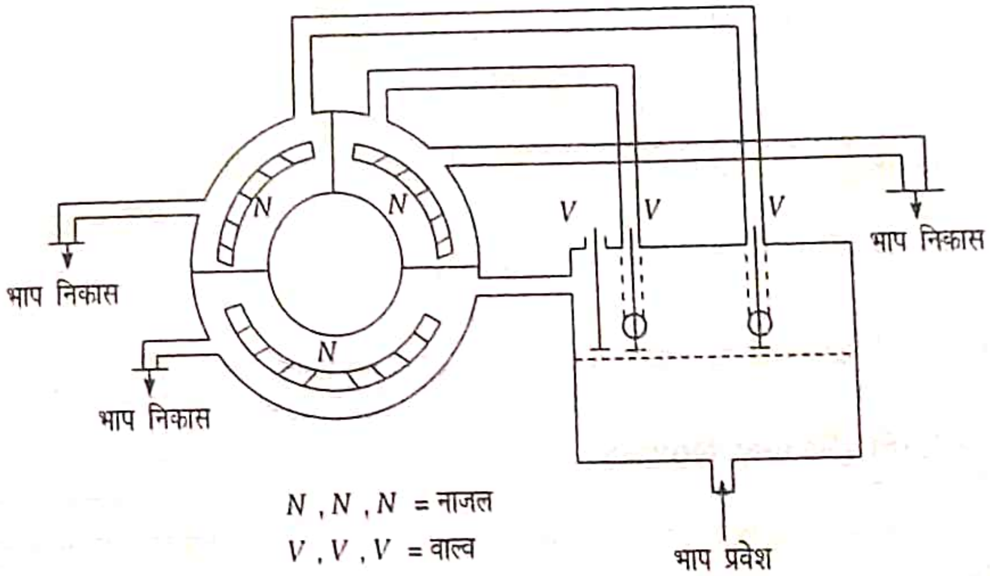
जब टरबाइन अधिकतम भार पर होता है तो वाल्व *A* खुला होता है। जब टरबाइन का रोटर अपनी अधिकतम गति पर होता है तब दोहरे बीट वाल्व *B* भाप के प्रवाह को नियन्त्रित करता है। यह दोहरे बीट वाल्व तेल सर्वोमीटर द्वारा अभिकेन्द्रीय गवर्नर की सहायता से नियन्त्रित किया जाता है।



चित्र 11.9

(ii) नाजल अभिनियंत्रण (Nozzle Governing)—अभिनियंत्रण की इस विधि में हम नाजल की सहायता से भाप के प्रवाह को नियन्त्रित करते हैं। नाजल की क्रियाविधि को रेगूलेटिंग वाल्व (Regulating valve) की सहायता से नियन्त्रित करते हैं।

व्यवस्था का व्यवस्थित आरेख निम्न है—



चित्र 11.10

जब टरबाइन अधिकतम भार पर कार्य करता है तो सभी वाल्व खुले होते हैं। जब भार में परिवर्तन होता है तो नॉजल की सहायता के लिए वाल्व का खुलना एवं बंद होना संचालित होता है।

नाजल अभिनियंत्रण के लाभ–

निम्न दाब पर अधिक दक्ष होता है थ्राटल अभिनियंत्रण की तुलना में।

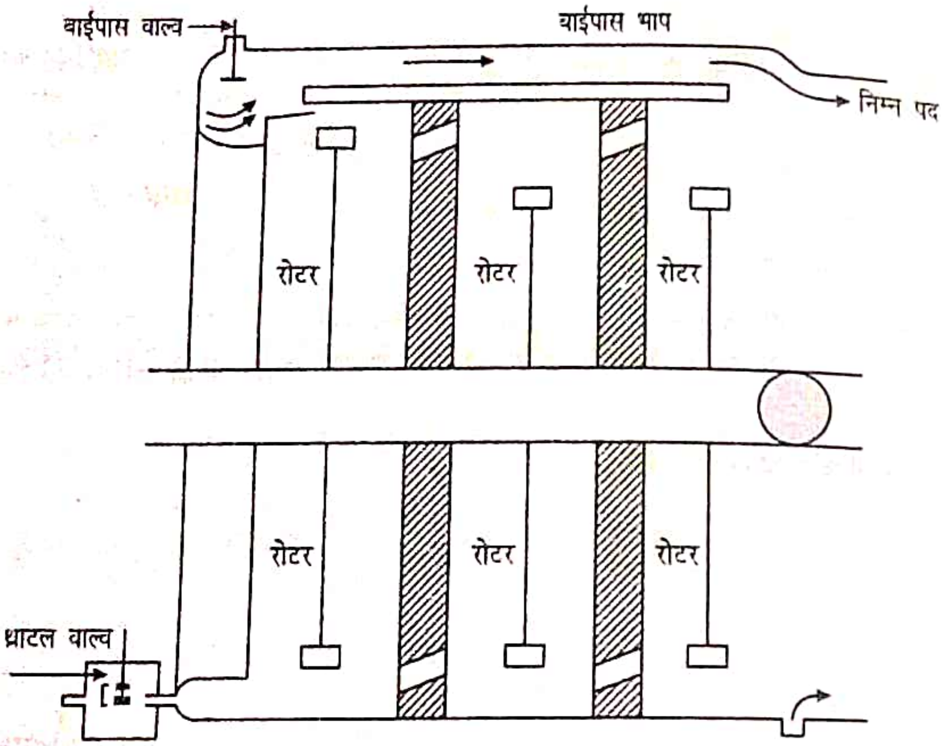
प्रथम चरण टरबाइन में भी प्रयोग किया जाता है।

आवेगी एवं आवेगी-प्रतिक्रिया टरबाइन में प्रयोग किया जाता है।

Study PowerPoint

(iii) बाई-पास अधिनियंत्रण विधि (Bypass Governing Method)—टरबाइन को डिजाइन करते समय यह आवश्यक होता है कि जब वह कार्य करे तो भार मितव्ययी हो। उच्च दाब टरबाइन में यह आवश्यक होता है कि भाप का प्रवाह सतत होता रहे। जब भार अधिकतम होता है तो अतिरिक्त भाप की आवश्यकता होती है। इस अतिरिक्त भाप की आपूर्ति के लिए बाई-पास विधि का प्रयोग किया जाता है। इस विधि में अतिरिक्त भाप की पूर्ति के लिए बाई-पास वाल्व का प्रयोग करते हैं तथा नियमित भाप की पूर्ति के लिए थ्राटल वाल्व का प्रयोग करते हैं।

बाई-पास अधिनियंत्रण का व्यवस्थित आरेख निम्न है—



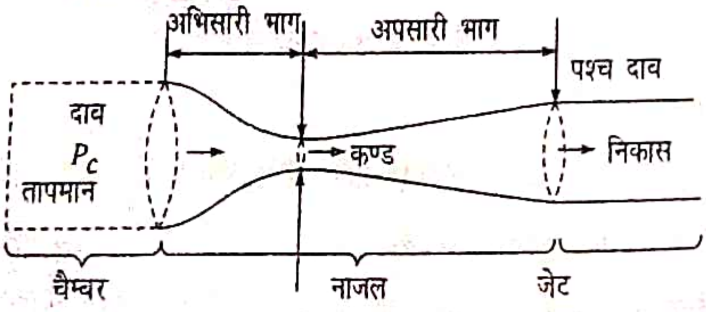
चित्र 11.11

प्रतिक्रिया टरबाइन में थ्राटल वाल्व तथा बाई-पास विधि दोनों का प्रयोग करते हैं।

11.14. भाप नॉजल (Steam Nozzle)

नॉजल एक डक्ट की संरचना होती है जिसकी सहायता से किसी द्रव प्रवाह का वेग बढ़ता है तथा दाब घटता है। डक्ट का वह रूप जिसमें दाब बढ़ता है तथा वेग घटता है उसे डिफ्यूजर कहते हैं।

यह एक रास्तेनुमा परिवर्तनशील काट होती है जिसमें भाप की ऊष्मीय ऊर्जा गतिज ऊर्जा में परिवर्तित होती है।

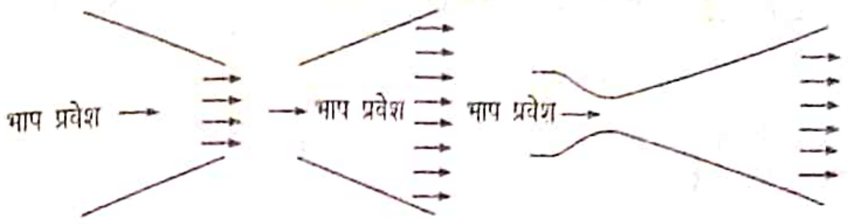


चित्र 11.12

Study PowerPoint

■ **भाप नाजल के प्रकार**

(i) अभिसारी नाजल (Convergent Nozzle)
(ii) अपसारी नाजल (Divergent Nozzle)
(iii) अभिसारी-अपसारी नाजल (Convergent-Divergent Nozzle)



चित्र 11.13

❑ 11.15. भाप टरबाइन में हानियाँ

प्रमुख हानियाँ निम्नलिखित हैं—

- विभिन्न प्रकार के वाल्व में हानियाँ।
- गाइड ब्लेडों या स्थिर ब्लेडों में हानियाँ।
- चल ब्लेडों में हानियाँ।
- निकास वेग हानि।
- डिस्क एवं गाइड ब्लेड में घर्षण में हानि।
- रोटर एवं गाइड ब्लेड में हानि।
- आर्द्र भाप में हानि।
- निकास पाइपों में हानि।
- यान्त्रिक हानियाँ।
- लीकेज में हानियाँ, आदि।

B. भाप संघनित्र

❑ 11.16. परिचय

परिचय—संघनित्र एक ऐसी युक्ति है जो वाष्प को ठण्डा करके उसे संघनित करती है। वाष्प में उपस्थित ऊष्मा को जल द्वारा अवशोषित कर लिया जाता है। यह टरबाइन के निकास बिन्दु पर लगा होता है। टरबाइन में बची गीली भाप (दो अवस्था भाप) को संघनित्र में संघनित्र चूषक पम्प (Condensate Extracted Pump) द्वारा प्रवेश कराया जाता है। शीतलक जल की सहायता से वाष्प की ऊष्मा को अवशोषित करके उसे एक अवस्था वाली द्रव में परिवर्तित किया जाता है। यह द्रव पुन: भरण जल के रूप में बॉयलर को प्रदान किया जाता है।

❑ 11.17. संघनित्र की महत्ता (Importance of Condenser)

हम जानते हैं कि प्रायोगिक रूप से ऐसा पम्प बनाना सम्भव नही है जो द्विअवस्था वाले कार्यकारी तरल को बॉयलर दाब तक पम्प कर सके। टरबाइन द्वारा हमें गीली भाप (द्विअवस्था, भाप एवं जल के कण दोनों साथ में) प्राप्त होती है। अत: हमें एक ऐसी युक्ति की आवश्यकता होती है जो इस द्विअवस्था तरल को एक अवस्था में परिवर्तित कर वसके। संघनित्र के प्रयोग द्वारा यह सम्भव होता है।

Study PowerPoint

संघनित्र की उपयोगिता निम्न कारणों द्वारा महत्वपूर्ण हो जाती है—

संघनित्र के अभाव में टरबाइन को भाप अपेक्षाकृत अधिक दाब या बॉयलर दाब से अधिक पर निष्कासित करना होता है। भाप का प्रसारण अपेक्षाकृत पहले ही रोकना पड़ता है जिससे टरबाइन का कार्य प्रभावित होता है। जल को प्रत्येक चक्र में उपचारित (Treatment) करना होता है जिससे जल उपचार लागत भी बढ़ जाती है।

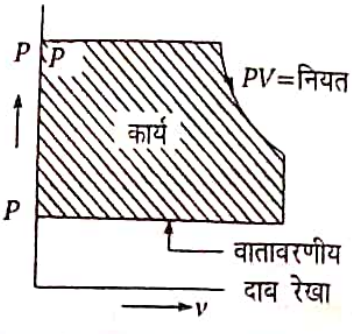
❑ 11.18. संघनित्र शक्ति संयन्त्र तथा असंघनित्र शक्ति संयन्त्र द्वारा कार्य

हम जानते हैं कि शक्ति संयन्त्र में कार्य दाब आयतन आरेख द्वारा ज्ञात किया जाता है यदि अन्य परिचालन आँकड़ों को नियत मान लें तो।

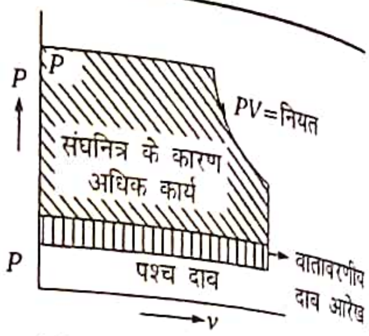
चित्र द्वारा यह स्पष्ट है कि—

संघनित्र शक्ति संयत्र की तापीय दक्षता, असंघनित्र शक्ति संयन्त्र की तापीय क्षमता से अधिक हैं।

अत: किसी शक्ति संयन्त्र के लिए संघनित्र महत्वपूर्ण एवं आवश्यक होता है।



असंघनित्र शक्ति संयंत्र द्वारा कार्य



संघनित्र शक्ति संयंत्र द्वारा कार्य

चित्र 11.14

❑ 11.19. संघनित्र के मुख्य अवयव

संघनित्र में मुख्यत: निम्न अवयव समायोजित होते हैं—

(a) संघनित्र (Condenser)

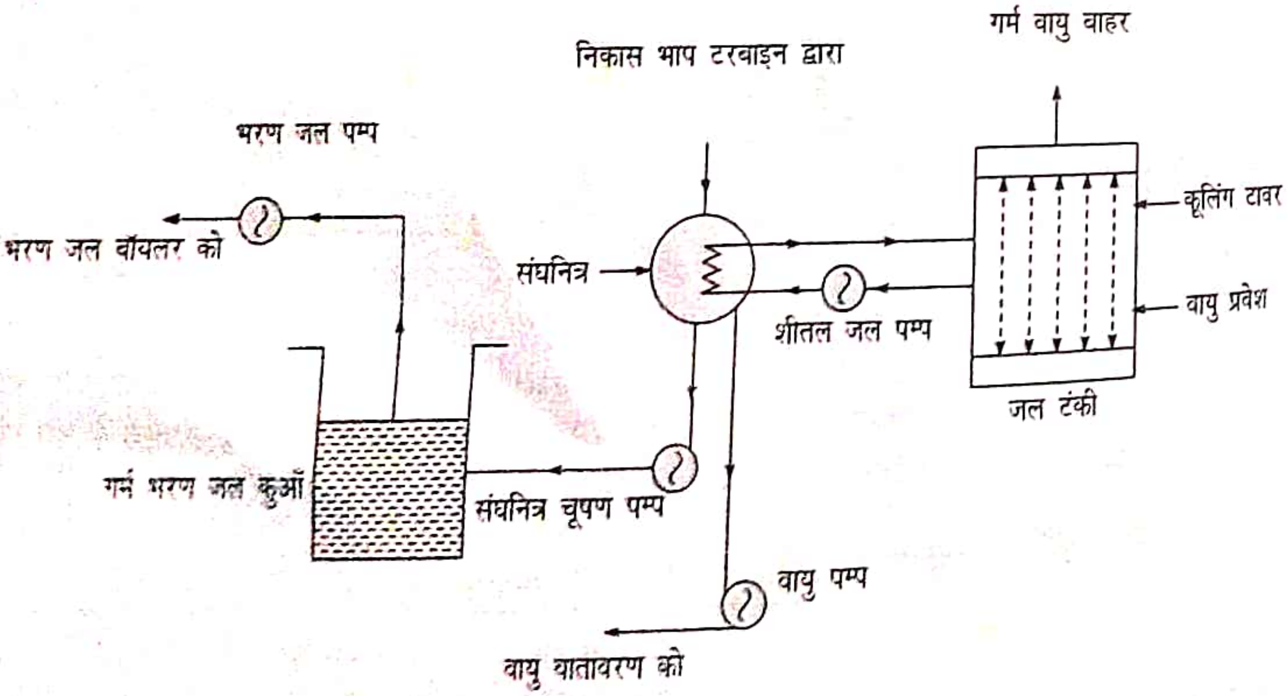
(b) शीतलक मीनार (Cooling Tower)

(c) ऊष्ण कूप (Hot Well)

(d) पम्प (Pump)

(e) ट्यूब एवं हेडर (Tubes and Header)

संघनित्र एवं उसके अवयव का व्यवस्थित आरेख निम्न हैं।



चित्र 11.15

Study PowerPoint

11.20. संघनित्र का वर्गीकरण

संघनित्रों का वर्गीकरण भाप तथा जल के मिश्रित करने के आधार पर किया गया है—मुख्यत: दो वर्गों में विभाजित किया गया है—

(a) प्रत्यक्ष या मिक्सिंग या प्रधार प्रकार के संघनित्र
(Direct or Mixing or Jet Type Condenser)

(b) अप्रत्यक्ष या नान मिक्सिंग या पृष्ठीय संघनित्र
(Indirect Contact or Non-mixing or Surface Condenser)

(a) अप्रत्यक्ष या मिक्सिंग या प्रधार प्रकार के संघनित्र (Direct or Mixing or Jet Type Condenser)—प्रत्यक्ष संघनित्र में टरबाइन द्वारा निष्कासित भाप तथा शीतलक जल एक-दूसरे से प्रत्यक्ष रूप से मिलते हैं। शीतलक जल को मुख्यत: फुहार (स्प्रे) के रूप में प्रयोग करते हैं। निष्कासित भाप का तापमान फुहार के साथ मिलकर कम हो जाता है। जल को फुहार के रूप में प्रयोग करने में कम मात्रा में जल न्ती आवश्यकता पड़ती है तो ऊष्मा अंतरण दर भी बढ़ती है।

प्रधार संघनित्र मुख्यत: तीन वर्गों में विभाजित किया गया है—

(i) समान्तर प्रवाह प्रधार संघनित्र (Parallel flow type jet condenser)

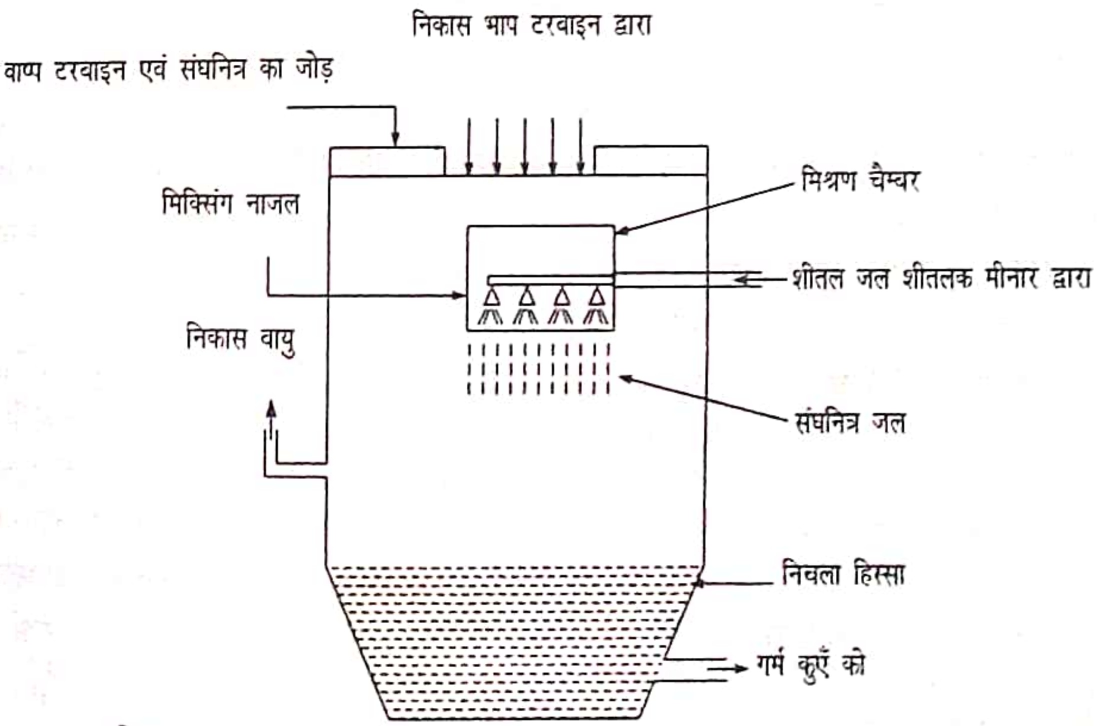
(ii) विपरीत प्रवाह प्रधार संघनित्र (Counter flow type jet condenser)

(iii) निष्कासक संघनित्र (Ejector type jet condensor)

(i) समान्तर प्रवाह प्रधार संघनित्र (Parallel Flow Type Jet Condenser)—इस संघनित्र में वाष्प तथा शीतलक जल दोनों संघनित्र के ऊपरी सिरे से प्रवेश करते हैं तथा नीचे की ओर प्रवाहित होते हैं। संघनित्र जल संघनित्र के निचले हिस्से में एकत्र किये जाते हैं तथा पाइपों के माध्यम से उष्ण कूप (Hot well) को प्रदान किए जाते हैं।

मुख्य अवयव

- वाष्प स्रोत (Steam inlet)
- शीतलक जल स्रोत (Cooling water inlet)
- नॉजल या वितरक (Nozzle or distributor)



चित्र 11.16–समान्तर प्रवाह प्रधार संघनित्र (Parallel Flow type Jet condensor)

Study PowerPoint

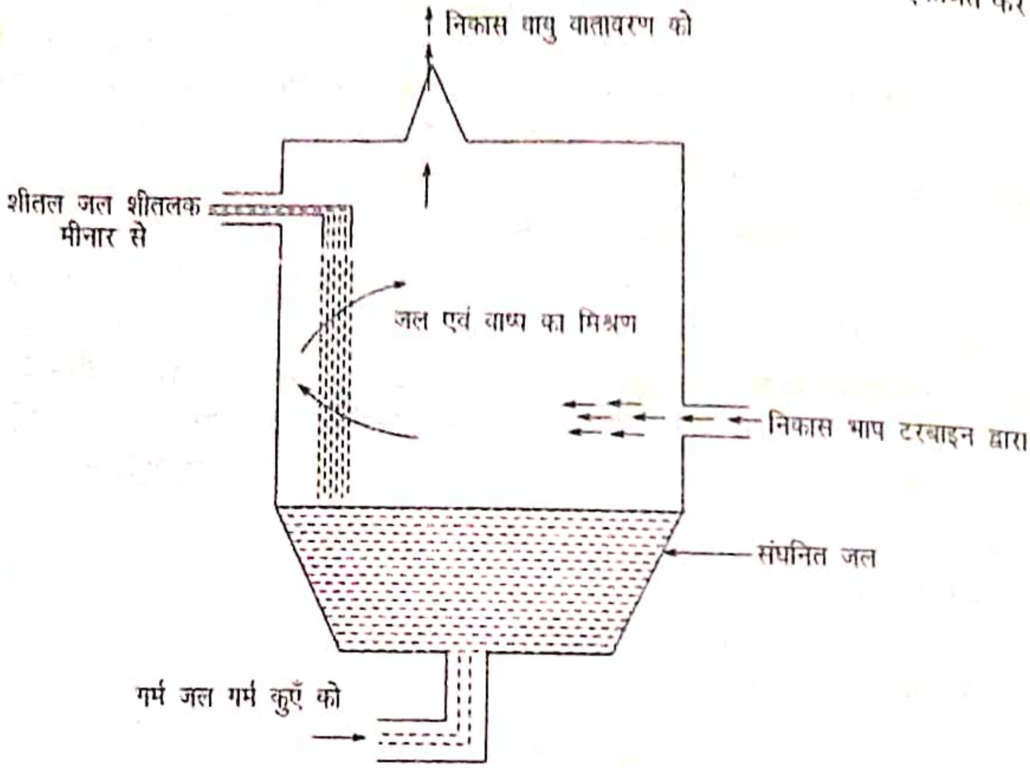
- मिक्सिंग चैम्बर (Mixing chamber)
- ऊष्ण कूप (Hot well)

यह मुख्यत: दो प्रकार की होती है—

(a) निम्न स्तर समान्तर प्रवाह प्रधार संघनित्र

(b) उच्च स्तर समान्तर प्रवाह प्रधार संघनित्र

(ii) विपरीत प्रवाह प्रधार संघनित्र (Counter Flow Jet Condenser)—विपरीत प्रवाह प्रधार संघनित्र में निष्कासित वाष्प तथा शीतलक जल की दिशा दोनों विपरीत होती हैं। वाष्प नीचे से ऊपर की ओर प्रवाहित होती है तथा शीतलक जल ऊपर से नीचे की ओर प्रवाहित होता है। संघनित्र के बीच में वाष्प तथा जल का मिश्रण होता है तथा इसे नीचे एकत्रित कर लिया जाता है।



चित्र 11.17–विपरीत प्रवाह प्रधार संघनित्र (Counter Flow type Jet Condensor)

वाष्प तथा जल के विपरीत दिशा के कारण इसे विपरीत प्रवाह प्रधार संघनित्र कहा गया।

यह मुख्यत: दो प्रकार का होता है—

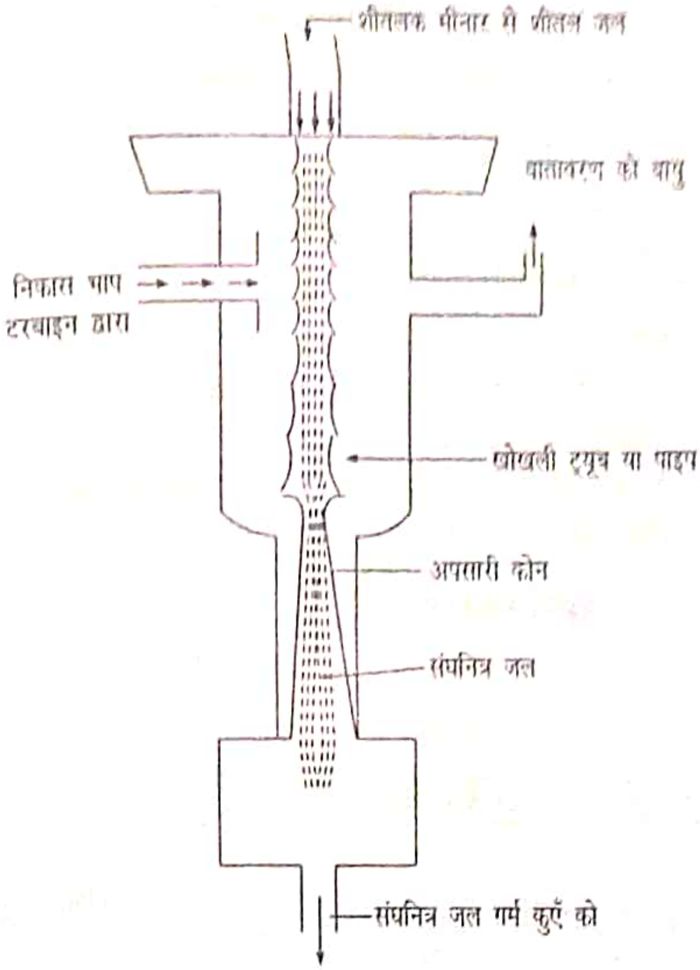
(i) निम्न स्तर विपरीत प्रवाह प्रधार संघनित्र।

(ii) उच्च स्तर विपरीत प्रवाह प्रधार संघनित्र।

(iii) निष्कासक संघनित्र (Ejector Type)—टरबाइन में बची आर्द्र भाप तथा शीतलक जल स्रोत से (शीतलक तालाब या मीनार) शीतल जल को एक खोखली ट्यूब में मिक्स करते हैं। शीतल जल को 5-6 m ऊँचाई से शृंखलाब अभिसारी नॉजल (Convergent nozzle) द्वारा प्रवाहित किया जाता है। प्रत्येक नॉजल से निकलने पर जल की गति बढ़ती जात है तथा दाब कम होता जाता है। नीचे की ओर घटते दाब के कारण जल स्वत: नीचे की ओर खींचने लगता है।

एकतरफा वाल्व (Non-return valve) के माध्यम से वायु इस शीतल जल में प्रवेश करती है तथा संघनन होती है मिश्रण नीचे की ओर बढ़ते हुए एक अपसारी नॉजल (Divergent) में प्रवेश करता है जिससे इसकी गतिज ऊर्जा दाब ऊर्जा बदल जाती है तथा दाब वायुमण्डलीय दाब से कुछ ज्यादा हो जाता है जिससे संघनित्र भाप एवं जल का मिश्रण आसानी से ह जाता है तथा गर्म जल ऊष्ण कूप में निष्कासित हो जाता है।

Study PowerPoint



चित्र 11.18–निष्कासन संघनित्र (Electror type condensor)

(b) अप्रत्यक्ष या नान-मिक्सिंग या पृष्ठ संघनित्र (Indirect or Non-mixing or Surface Condenser)—पृष्ठ संघनित्र में वाष्प तथा शीतल जल दोनों एक-दूसरे के सम्पर्क में नहीं आते हैं। ऊष्मा का अंतरण संवहन के द्वारा होता है। शीतलक जल को नलियों में प्रवाहित करते हैं तथा निष्कासित भाप को इन नलियों के ऊपर प्रवाहित करते हैं। संवहन के कारण वाष्प का तापमान कम होता है और शीतल जल का तापमान बढ़ जाता है।

संघनित्र के मुख्य भाग

- खोल (Shell)
- चादरें (Covered plates)
- जल नलिकाएँ (Water tubes)
- ट्यूब प्लेट (Tube plate)
- जल कक्ष (Water box)
- बैफल प्लेट (Baffle plate)
- ऊष्ण कूप (Hot well)

संघनित्र को वाष्प प्रवाह की दिशा, जल नलियों की व्यवस्था तथा संघनित्र चूषण पम्प की स्थिति के आधार पर निम्न तीन वर्गों में वर्गीकृत किया गया है—

Study PowerPoint

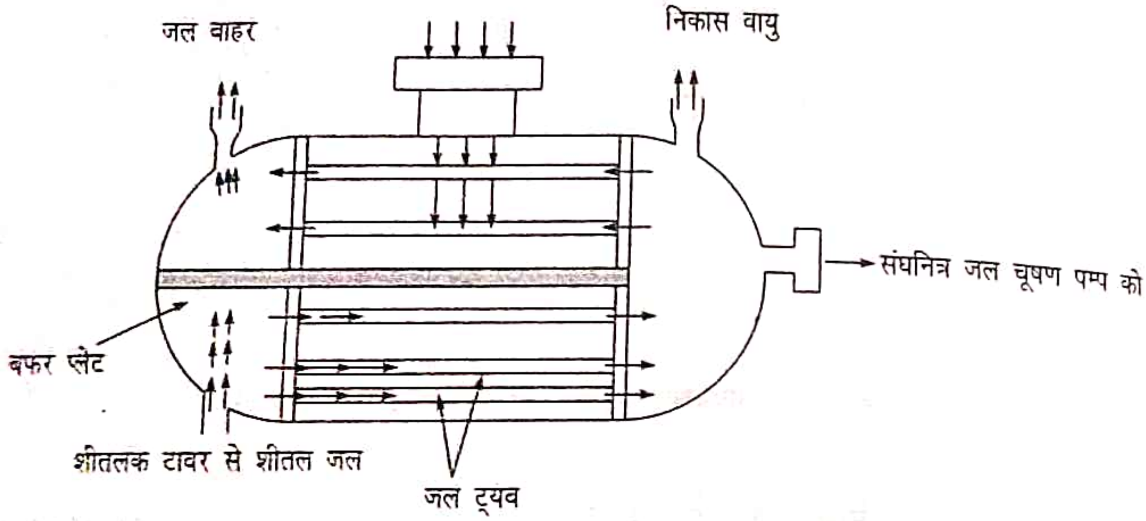
(i) अधोप्रवाह पृष्ठ संघनित्र (Down flow surface condenser)

(ii) केन्द्रीय प्रवाह या पुनर्योजी संघनित्र (Central flow or regenerative surface condenser)

(iii) वाष्पक संघनित्र (Evaporative condenser)

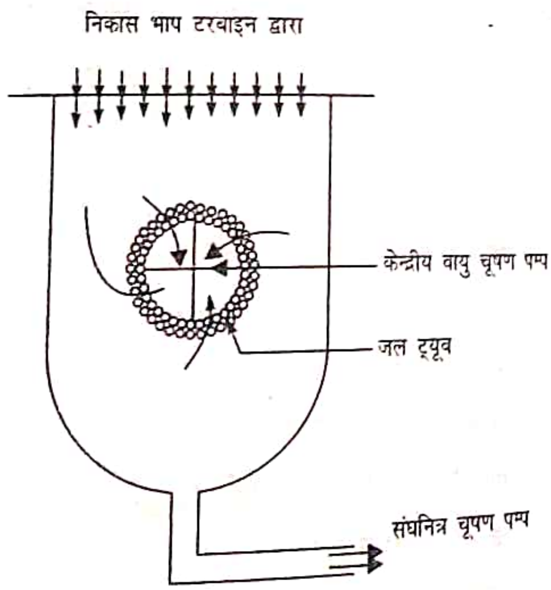
(i) अधो प्रवाह पृष्ठ संघनित्र (Down Flow Surface Condenser)—इस संघनित्र में भाप ऊपर से नीचे की ओर बहती है। जल संघनित्र के निचले अर्द्ध भाग की नलिकाओं में एक ही दिशा में प्रवाहित होते हुए ऊपर अर्द्ध भाग में इसकी प्रवाह की दिशा विपरीत हो जाती है तथा बाहर आ जाती है।

(ii) केन्द्रीय प्रवाह या पुनर्योजी संघनित्र (Central Flow or Regenerative Condenser)—इसमें भाप खोल की परिधि के चारों तरफ सभी दिशाओं में एक साथ प्रवेश करती है। पम्प के द्वारा वायु संघनित्र के केन्द्र से बाहर निकाली जाती है। भाप बाह्य परिधि में प्रवेश कर नलिकाओं के जाल के ऊपर से बहते हुए संघनित्र होकर त्रिज्यीय दिशा में जाल के केन्द्र की ओर प्रवाहित होती है। कुछ भाप आगे बहते हुए तल के जल में मिलती है जिससे संघनित्र जल पूर्वतापित हो जाता है तथा भरण पम्प की सहायता से बॉयलर खोल में प्रवेश करता है। संघनित्र केन्द्र से वायु पम्प की सहायता से बाहर निकाली जाती है।



चित्र 11.19–अधो प्रवाह पृष्ठ संघनित्र (Down flow Surface Condenser)

(iii) वाष्पक संघनित्र (Evaporative Condenser)—इस संघनित्र में मुड़ी नलियों का प्रयोग किया जाता है। वाष्प को इन मुड़ी नलियों में प्रवाहित किया जाता है तथा शीतल जल पम्प की सहायता से इन नलियों पर फुहार के रूप में गिराया जाता है। साथ ही इन नलियों के ऊपर से वायु भी प्रवाहित की जाती है जिससे संघनन दर भी बढ़ जाती है। अतिरिक्त ऊष्मा अंतरण के लिए पंखों का भी प्रयोग किया जाता है।



चित्र 11.20–केन्द्रीय प्रवाह पृष्ठ संघनित्र (Central Flow Condenser)

Study PowerPoint

11.21. प्रधार तथा पृष्ठ संघनित्रों में अंतर

क्र०सं०	प्रधार संघनित्र	पृष्ठ संघनित्र
1.	वाष्प तथा शीतल जल एक साथ मिलाए जाते हैं।	वाष्प तथा शीतल जल एक साथ मिलाए नहीं जाते हैं।
2.	कम क्षेत्रफल की आवश्यकता होती है।	अधिक क्षेत्रफल की आवश्यकता होती है।
3.	कम शीतल जल की आवश्यकता होती है।	अधिक शीतल जल की आवश्यकता होती है।
4.	वायु पम्प को अधिक शक्ति दी जाती है।	वायु पम्प को कम शक्ति दी जाती है।
5.	जल को पम्प करने के लिए कम शक्ति की आवश्यकता पड़ती है।	जल को पम्प करने के लिए अधिक शक्ति की आवश्यकता पड़ती है।
6.	संयन्त्र का डिजाइन सरल होता है।	संयन्त्र का डिजाइन कठिन होता है।
7.	निम्न क्षमता वाले संयन्त्र के लिए उपयुक्त है।	उच्च क्षमता वाले संयन्त्र के लिए उपयुक्त है।
8.	उत्पादन लागत कम होती है।	उत्पादन लागत अधिक होती है।
9.	संयन्त्र की दक्षता कम होती है।	संयन्त्र की दक्षता अधिक होती है।
10.	दो पम्प की आवश्यकता होती है।	तीन पम्प की आवश्यकता होती है।
11.	उच्च शीतलन दर होती है।	निम्न शीतलन दर होती है।

11.22. संघनित्र में वायु स्रोत (Air Source in Condenser)

मुख्य स्रोत निम्नलिखित हैं—

- वातावरण द्वारा (वातावरण द्वारा वायु संघनित्र खोल से प्रवाहित की जाती है।)
- बॉयलर द्वारा भाप के साथ वायु प्रवाहित की जाती है।

जल संचरण के साथ भी वायु प्रवाहित की जाती है।

संघनित्र में वायु लीकेज के प्रभाव–

वायु लीकेज के मुख्य प्रभाव निम्नलिखित हैं—

(i) तापीय दक्षता को कम करता है।

(ii) शीतल जल की आवश्यकता बढ़ जाती है।

(iii) ऊष्मा स्थानान्तरण दर घट जाती है।

(iv) क्षरण बढ़ जाता है।

11.23. संघनित्र में प्रयुक्त प्रमुख पद

(i) निर्वात (Vacuum)—इसे सब-वातावरणीय दाब भी कहते हैं। यदि किसी बिन्दु पर दाब, वायुमण्डलीय से कम हो तथा गेज द्वारा मापा गया दाब शून्य से कम अर्थात् ऋणात्मक हो तो इस दाब को निर्वात् या निर्वात् दाब कहते हैं।

अधिकतम निर्वात प्राप्त करने की विधि—

वायु पम्प की सहायता से।

वाष्प वायु इंजेक्टर की सहायता से।

वायुरोधी जोड़ों द्वारा।

Study PowerPoint

(i) निर्वात दक्षता (η_{vacuum})—यह वास्तविक निर्वात तथा आदर्श निर्वात का अनुपात है।

$$\eta_{vacuum} = \frac{\text{वास्तविक निर्वात}}{\text{आदर्श निर्वात}}$$

$$\boxed{\eta_{vacuum} = \frac{P_b - P_t}{P_b - P_s}}$$

P_b = वातावरणीय दाब (Atmospheric Pressure)
P_t = संघनित्र का कुल दाब
$= P_a + P_s$
P_s = संघनित्र में भाप का सतही दाब
P_a = संघनित्र में वाष्प का आंशिक दाब

(ii) संघनित्र दक्षता ($\eta_{condenser}$) —इसे निम्न प्रकार से परिभाषित किया गया है—

$$\eta_c = \frac{\text{शीतलक जल के निकास एवं प्रवेश पर तापमानों मे अन्तर}}{\text{संघनित्र में प्रवेशित भाप तथा प्रवेशित जल के तापमानों में अन्तर}}$$

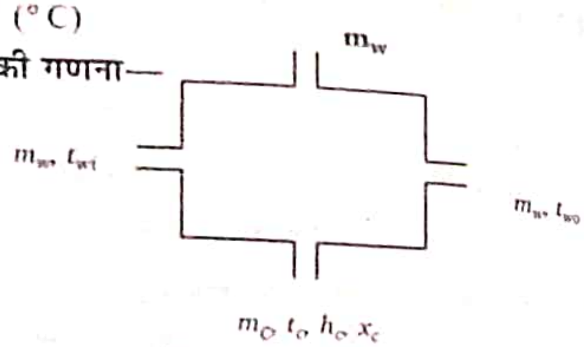
$$\eta_c = \frac{t_{wo} - t_{wi}}{t_s - t_{wi}}$$

t_{wo} = जल का निकास पर तापमान (°C)
t_{wi} = जल का प्रवेश पर तापमान (°C)
t_s = प्रवेशित भाप का तापमान (°C)

(iii) संघनित्र के लिए आवश्यक शीतल जल की मात्रा की गणना—

पृष्ठ संघनित्र के लिए

$$\boxed{m_w = \frac{m_s\left(h_f + \dfrac{xh_{fg}}{C_{pw}} - t_c\right)}{t_{wo} - t_{wi}}}$$

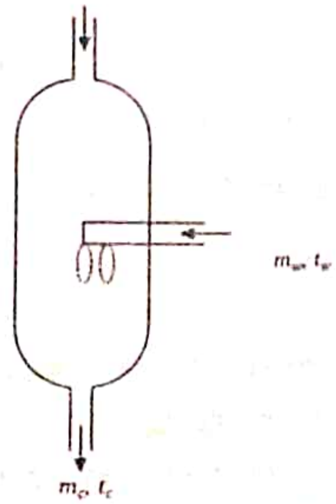


चित्र 11.21–पृष्ठ संघनित्र

जहाँ m_w = शीतल जल की आवश्यकता मात्रा (kg में)
h_f = ज्ञेय ऊष्मा (kJ/kg)
x = शुष्कता भिन्नता
h_{fg} = गुप्त ऊष्मा (kJ/kg)
t_c = संघनित्र तरल का तापमान (°C)
C_{pw} = शीतलन जल की विशिष्ट ऊष्मा (kJ/kg K)
t_{wo} = निर्गमित शीतलन जल का तापमान (°C)
t_{wi} = प्रवेशित शीतलन जल का तापमान (°C)
m_s = प्रवेशित भाप की मात्रा (kg में)

प्रधार संघनित्र के लिए

$$\boxed{m_w = \frac{m_s(h_f + xh_{fg} - C_{pw}t_{wo})}{C_{pw}(t_{wo} - t_{wi})}}$$



चित्र 11.22–प्रधार संघनित्र

Study PowerPoint

(iv) शीतलक सतह क्षेत्र

पृष्ठ संघनित्र के शीतलक सतह क्षेत्र की गणना निम्न समीकरण से की जाती है—

$$A = \pi d l n$$

जहाँ

d = ट्यूब की व्यास

l = ट्यूब की लम्बाई

n = संघनित्र ट्यूबों की संख्या

❑ 11.24. वायु पम्प (Air Pump)

वायु पम्प एक ऐसा उपकरण है जो संघनित्र खोल के अंदर निर्वात बनाए रखता है। यह संघनित्र का प्रमुख अवयव माना जाता है।

वायु पम्प को दो वर्गों में वर्गीकृत किया गया है—

(i) **शुष्क वायु पम्प**—यह पम्प संघनित्र से केवल वायु को हटाता है।

(ii) **आर्द्र वायु पम्प**—यह पम्प संघनित्र से वायु एवं वाष्प दोनों को हटाता है।

वायु पम्प का कार्य–

संघनित्र से वायु को हटाता है तथा आवश्यक निर्वात बनाए रखता है।

संघनित्र से चूषण वातावरणीय दाब (Suction atmospheric pressure) तक बनाए रखता है।

संघनित्र से वाष्प को हटाता है।

वायु पम्प के प्रकार–

- इडवर्ड पम्प या पश्चाग्र पिस्टन या बकेट पम्प
- घुमाऊ पम्प
- वाष्प जेट वायु पम्प या इंजेक्टर वायु पम्प
- आर्द्र जेट पम्प

❑ 11.25. शीतलक मीनार (Cooling Tower)

उन संघनित्रों जहाँ पर वाष्प के शीतलन के लिए आवश्यक शीतलक जल की उपलब्धता नहीं होती है वहाँ बन्द परिपथ का निर्माण किया जाता है। शीतलक जल को पुन: ठण्डा करने के उद्देश्य से लकड़ी या सीमेन्ट या मिट्टी के बने मीनार का उपयोग किया जाता है जिसे हम शीतलक मीनार कहते हैं।

क्रियाविधि—संघनित्र से बाहर आने वाले गर्म शीतलन जल को मीनार के ऊपरी भाग से फुहार के रूप में छिड़का जाता है। जल को ठण्डा करने के लिए वायु मीनार के आधार पर ऊपर की ओर (जल प्रवाह की दिशा के ठीक विपरीत दिशा में) अथवा एक दीवार से दूसरी दीवार की ओर (जल प्रवाह की दिशा के लम्बवत् दिशा में) प्रवाहित की जाती है। वायु जल से ऊष्मा लेकर उसे ठण्डा करते हुए मीनार के बाहर वायुमण्डल में चली जाती है तथा ठण्डे जल को मीनार के निचले भाग पर एकत्रित करके शीतलन जल पम्प के माध्यम से पुन: संचारित किया जाता है।

Study PowerPoint

शीतलक मीनार के प्रकार

शीतलक मीनार को मुख्यतः निम्न आधार पर वर्गीकृत किया गया है—

(a) पदार्थ के उपयोग के आधार पर—

- लकड़ी के बने शीतलक मीनार
- कंक्रीट के बने शीतलक मीनार
- स्टील के बने शीतलक मीनार

(b) वायु प्रवात के आधार पर—

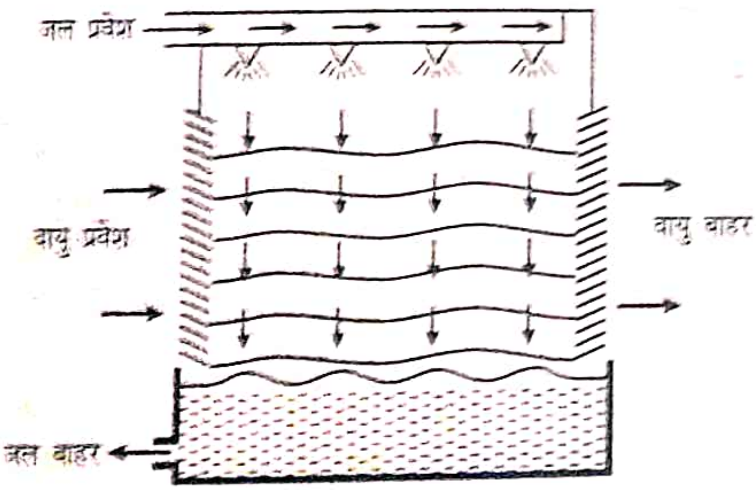
- प्राकृतिक प्रवात (Natural Draught) शीतलक मीनार तंत्र—यह मुख्यतः तीन प्रकार का होता है।
- फुहार मीनारें (Spray Tower)
- पैक्ड बेड मीनारें (Packed Bed Tower)
- अति परवलयिक मीनारें (Hyperbolic Tower)
- यान्त्रिक या कृत्रिम प्रवात (Mechanical or Artificial Draught)
- प्रणोदित प्रवात (Forced Draught)
- प्रेरित प्रवात (Induced Draught)

यह दो उपवर्गों में विभाजित है—

- प्रति प्रवाह (Counter Flow)
- तिरछा प्रवाह (Cross Flow)

प्राकृतिक प्रवात स्प्रे मीनार

इन मीनारों की दक्षता अत्यन्त कम होती है, इसलिए इन्हें आधुनिक संयन्त्रों में इस्तेमाल नहीं किया जाता है। इन मीनारों में वायु का प्रवाह प्राकृतिक तरीके से होता है।

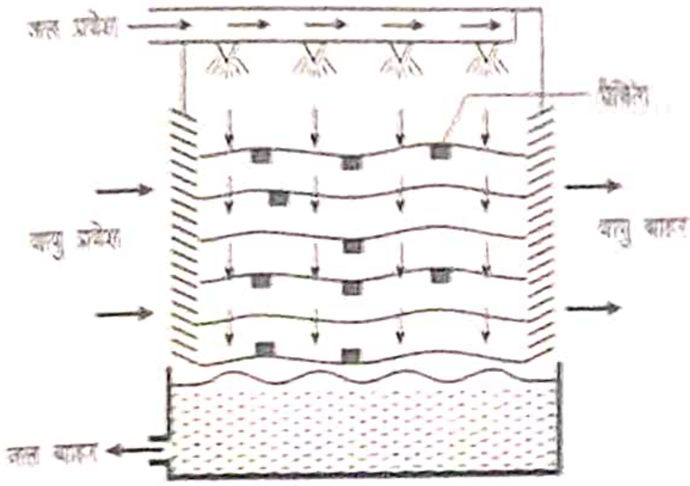


चित्र 11.23–प्राकृतिक प्रवात फुहार मीनार

प्राकृतिक प्रवात पैक्ड बेड मीनारें

इसकी क्रियाविधि फुहार मीनारें (Spray tower) की तरह ही होती है। पैकिंग की सहायता से जल को छोटे-छोटे कणों में विभाजित किया जाता है जिससे ऊष्मा अंतरण दर बढ़ जाती है।

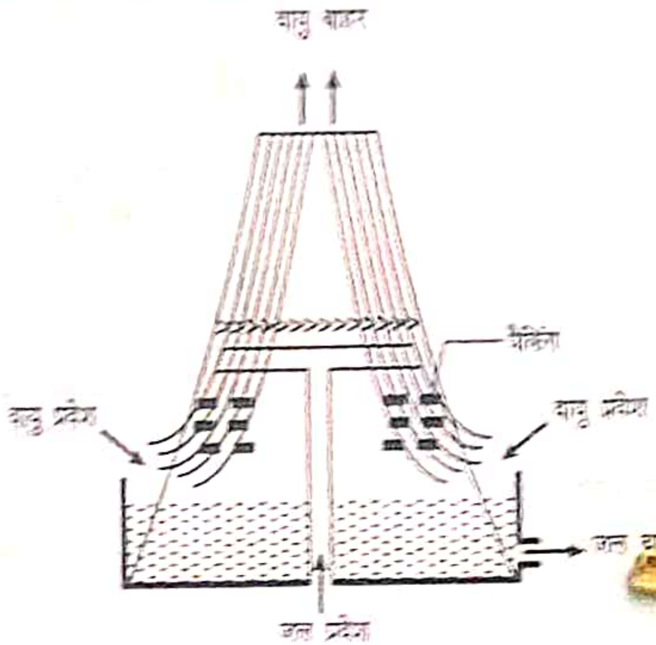
Study PowerPoint



चित्र 11.24–प्राकृतिक प्रवात पैक्ड बैड मीनार

अतिपरवलयिक प्राकृतिक प्रवात मीनारें

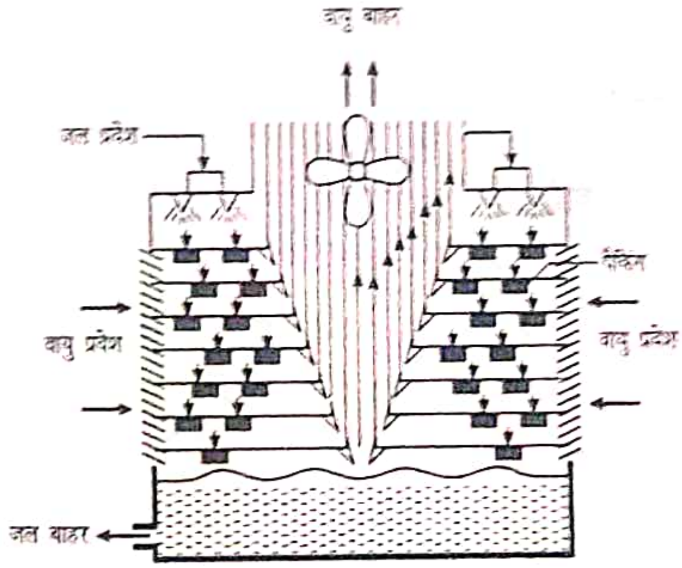
इसकी संरचना अति परवलयिक आकार की होती है तथा इस्पात और कंक्रीट पदार्थों से मिलकर बना होता है। आधार से ऊपर की ओर अनुप्रस्थ क्षेत्र वृत्ताकार होता है जिससे प्राकृतिक प्रवात प्राप्त होता है। मीनार के अंदर रोधक या पैकिंग लगी होती है।



चित्र 11.25–अतिपरवलयिक प्राकृतिक प्रवात मीनार

प्रेरित प्रवात तिरछा प्रवाह मीनार

इसमें वायु पहले क्षैतिज दिशा में प्रवाहित होती है तथा फिर छत पर लगे पंखों द्वारा ऊपर की ओर खींची जाती है।

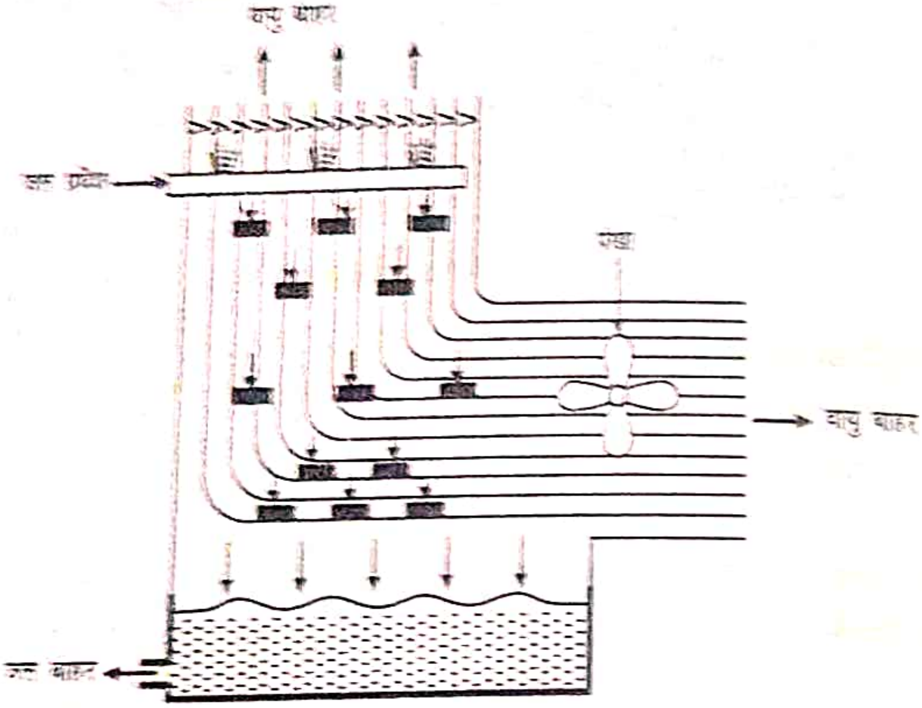


चित्र 11.26–प्रेरित प्रवात तिरछा प्रवाह मीनार

Study PowerPoint

प्रणोदित प्रवात मीनार (Forced Draught Tower)

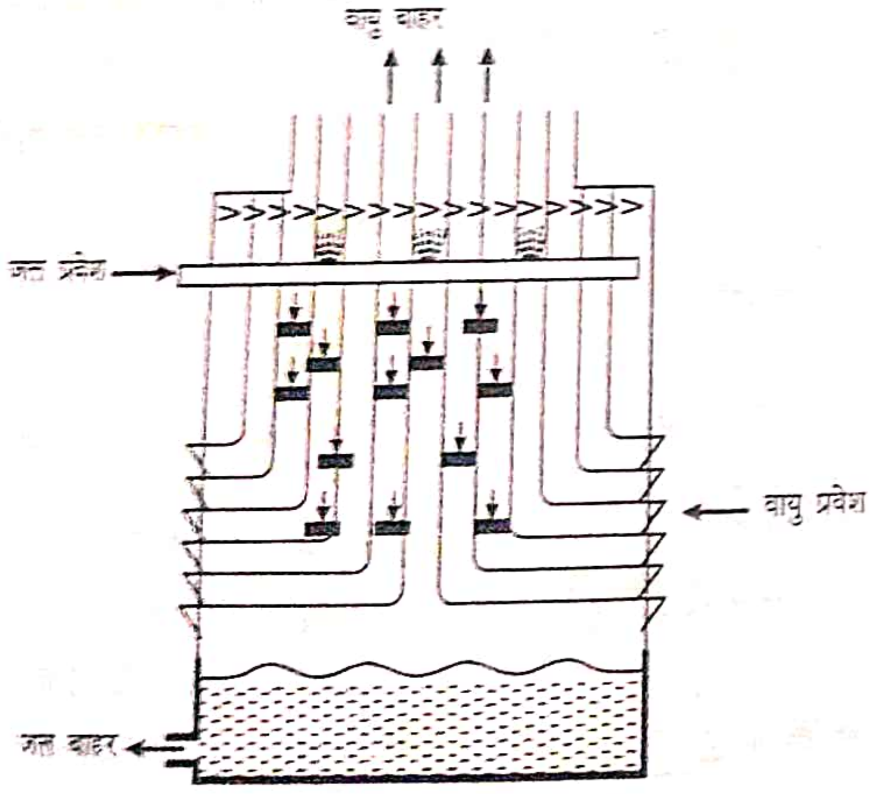
इन मीनारों में यान्त्रिक युक्तियों का प्रयोग किया जाता है, जिससे प्रवात बढ़ जाता है। प्रमुख यान्त्रिक युक्तियाँ हैं—पंखे तथा ब्लोअर। इसमें पंखा मीनार के आधार पर लगा होता है जो वायु को आधार से ऊपर की ओर गिरते हुए जल के विपरीत दिशा में प्रवाहित करता है।



चित्र 11.27–प्रणोदित प्रवात मीनार

प्रेरित प्रवात प्रति प्रवाह मीनार (Induced Draught Counter Flow Tower)

इसमें पंखा मीनार की छत पर लगा होता है जो वायु को पानी के गिरने की विपरीत दिशा में खींचता है।



चित्र 11.28–प्रेरित प्रवात प्रति प्रवाह मीनार

Study PowerPoint

शीतलक मीनार को प्रभावित करने वाले घटक

- वायु का तापमान
- वायु की आर्द्रता
- गर्म वायु का तापमान
- मीनार की साइज एवं ऊँचाई
- मीनार में प्लेट एवं ट्यूब की व्यवस्था
- वायु प्रवेश का वेग
- शीतलक मीनार में प्रयुक्त उपसाधन।

|| सारांश ||

- भाप संघनित्र–वह उपकरण जो भाप को संघनित्र कर उसकी ऊष्मा को बाहर निकालकर उसे जल में परिवर्तित करता है।
- भाप संघनित्र के अवयव
  - संघनित्र
  - शीतलक मीनार
  - गर्म कुआँ
  - पम्प
  - ट्यूब एवं हेडर
- समान्तर प्रवाह प्रधार संघनित्र

  इस संघनित्र में वाष्प एवं शीतलक जल दोनों एक-दूसरे के समान्तर दिशा में प्रवाहित होते हैं।
- विपरीत प्रवाह प्रधार संघनित्र

  इस संघनित्र में वाष्प एवं शीतलक जल दोनों एक-दूसरे के विपरीत दिशा में प्रवाहित होते हैं।
- निष्कासक संघनित्र

  इस संघनित्र में टरबाइन में बची आर्द्र भाप तथा शीतलक जल स्रोत से शीतल जल को एक ट्यूब में मिक्स करते हैं। शीतलक जल को शृंखलाबद्ध अभिसारी नॉजल द्वारा प्रवाहित किया जाता है।
- अधोप्रवाह पृष्ठ संघनित्र

  इस संघनित्र में जल नलियों के केन्द्र में एक वायु चूषण पम्प लगा होता है जिसकी सहायता से वाष्प को शीतल किया जाता है।
- वाष्पक संघनित्र

  इस संघनित्र में मुड़ी नलियों का प्रयोग किया जाता है। वाष्प को इन नलियों में प्रवाहित किया जाता है तथा शीतल जल को फुहार के रूप में पम्प की सहायता से इन नलियों पर प्रवाहित किया जाता है।
- **निर्वात दक्षता–**

$$\eta_V = \frac{P_b - P_t}{P_b - P_s}$$

संघनित्र दक्षता

$$\eta_c = \frac{T_{wo} - T_{wi}}{T_s - T_{wi}}$$

Study PowerPoint

- **वायु पम्प–**

  यह संघनित्र खोल में निर्वात उत्पन्न करने के लिए प्रयोग किया जाता है।

  इसे दो वर्गों में वर्गीकृत किया गया है—

  - आर्द्र वायु पम्प
  - शुष्क वायु पम्प
  - शीतलक मीनार

  इसका प्रयोग शीतल जल को प्रदत्त करने के लिए प्रयोग किया जाता है।

  - **भाप टरबाइन**–यह एक प्राथमिक चालक है जो बॉयलर से प्राप्त भाप की उच्च दाब ऊष्मीय ऊर्जा को यान्त्रिक ऊर्जा में परिवर्तित करता है।

भाप टरबाइन के मुख्य अवयव

- केसिंग या कन्टेनर
- शाफ्ट
- ब्लेड (चल एवं अचल)
- भाप प्रवेश एवं निकास द्वार
- भाप नाजल
- रोटर
- गवर्नर वाल्व या नियन्त्रक वाल्व
- बियरिंग
- ग्लैण्ड
- जनरेटर

आवेगी टरबाइन

- इस टरबाइन में सम्पूर्ण दाब में गिरावट अचल ब्लेडों में होती है तथा बने जेट को चल ब्लेडों पर प्रवाहित करते हैं जिससे घूर्णन प्राप्त होता है।

प्रतिक्रिया टरबाइन

- टरबाइन में लगे ब्लेड भाप की दिशा परिवर्तन करते हैं जिससे भाप की गतिज ऊर्जा भी परिवर्तित हो जाती है। जब यह परिवर्तन प्रतिक्रिया बल के कारण होता है, तब यह प्रतिक्रिया टरबाइन कहलाते हैं।

बहुपदन की विधियाँ

- दाब बहुपदन विधि
- वेग बहुपदन विधि
- संयुक्त दाब एवं वेग वहुपदन विधि

वेग त्रिभुज आरेख–यह टरबाइन में गति में परिवर्तन तथा दिशा में परिवर्तन को प्रदर्शित करता है।

ब्लीडिंग प्रक्रम–टरबाइन द्वारा भाप की थोड़ी मात्रा को बाहर निकालने के लिए प्रयोग किया जाता है जिसका उपयोग भरण जल को पूर्व गर्म करने में किया जाता है।

भाप नाजल–यह एक रास्तेनुमा काट होती है जिससे भाप की ऊष्मीय ऊर्जा गतिज ऊर्जा में परिवर्तित हो जाती है।

भाप नाजल के प्रकार

(i) अभिसारी नाजल

(ii) अपसारी नाजल

(iii) अभिसारी-अपसारी नाजल

Study PowerPoint

भाप टरबाइन का अभिनियन्त्रण

यह भाप टरबाइन के घूर्णन को नियन्त्रित करने के लिए प्रयोग किया जाता है। तीन प्रकार के अभिनियन्त्रण प्रयोग किए जाते हैं–

- थ्राटल अभिनियन्त्रण
- बाई-पास अभिनियन्त्रण
- नाजल-अभिनियन्त्रण

हल सहित उदाहरण

उदाहरण 1. एक प्रधार संघनित्र में आवश्यक शीतल जल की मात्रा की गणना कीजिए यदि 2400 kg/hr शुष्क भाप का संघनन करना हो। शीतल जल का प्रवेश तापमान 16°C है तथा संघनित्र के अंदर निर्वात 71 cm Hg है। वातावरणीय दाब 76 cm Hg तथा वाष्प की गुप्त ऊष्मा 2400 kJ/kg दिया है।

हल : प्रश्नानुसार,

$$m_s = 2400\,\text{kg/hr}$$

$$m_s = \frac{2400}{3600}\,\text{kg/hr}$$

$$m_s = 0.6667\text{ kg/sec}$$

$$t_{wi} = 16^\circ\text{ C}$$

संघनित्र में निरपेक्ष दाब $= P_b - P_t$

$= 76 - 71$

$= 5\,\text{cm}$

$\because$ $1\text{ cm पारा} = \dfrac{1.01325}{76}$ बार

$$5\,\text{cm पारा} = \frac{1.01325}{76} \times 5$$

$= 0.067$ बार

भाप सारणी से 0.067 बार दाब पर—

$$t_{sat} = 38^\circ\text{ C} = t_{wo} = t_c$$

हम जानते हैं कि—

$$m_w = \frac{m_s\left(t_f + \dfrac{xh_{fg}}{c_{pw}} - t_c\right)}{t_{wo} - t_{wi}}$$

$$m_w = \frac{0.6667\left(38 + \dfrac{1 \times 2400}{4.18} - 38\right)}{38 - 16}$$

$$m_w = 17.4\text{ kg/hr}$$

$$m_w = 17.4 \times 60\,\text{kg/min}$$

$$\boxed{m_w = 1044\text{ kg/min}}$$ **Ans.**

Study PowerPoint

उदाहरण 2. एक वाष्प शक्ति संयन्त्र में आवश्यक शीतल जल की गणना कीजिए यदि दक्षता 200 kW है तथा 10 kW/hr प्रयोग किया जाता है। संघनित्र भाप का तापमान 37° C तथा दाब 0.1 bar है। यदि शीतल जल का प्रवेश तापमान 20° C तथा निकास तापमान 35° C क्रमशः है। भाप को शुष्क एवं संतृप्त मानिए।

हल : दिया है—

$$x = 1 \; t_{wo} = 35^\circ C$$

$$t_{wi} = 20^\circ C$$

$$t_c = 37^\circ C$$

संयन्त्र दक्षता = 200 kW

भाप दर = 10 kW/hr

0.1 bar दाब पर भाप सारणी से—

$$h_f = 1918 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{fg} = 2392.9 \text{ kJ/kg}$$

$$h_g = 2584.8 \text{ kJ/kg}$$

हम जानते हैं कि—

$$m_w = \frac{h_f + xh_g - C_{pw} t_c}{C_{pw}(t_{wo} - t_{wi})}$$

$$m_w = \frac{(1918 + 1 \times 23929 - 4.18 \times 37)}{4.18\,(35 - 20)}$$

हमें ज्ञात है—

कुल भाप दर = संयन्त्र क्षमता × भाप दर/घण्टा

$$= 200 \times 10$$

$$= 2000 \text{ kg/hr}$$

कुल शीतल जल प्रति घण्टा $= 38.76 \times 2000$ kg/hr

$$\boxed{= 77520 \text{ kg/hr}}$$

Ans.

उदाहरण 3. भाप संघनित्र में भाप का तापमान 36° C तथा बैरोमीटर 760 mm दर्शाता है। यदि निर्वात 695 mm हो तो निर्वात दक्षता ज्ञात कीजिए।

हल : 36° C तापमान पर भाप सारणी से—

$P_s = 0.0595$ bar,

$$P_s = \frac{0.0595}{0.001333} \text{ mm Hg}$$

$$P_s = 44.64 \text{ mm Hg}$$

अधिकतम निर्वात $= 760 - 44.64 = 715.36$ mm Hg

$$\text{निर्वात दक्षता} = \frac{\text{वास्तविक निर्वात}}{\text{अधिकतम निर्वात}}$$

$$= \frac{695}{715.30} \times 100$$

$$\boxed{\eta_v = 97.15\%}$$

Ans.

Study PowerPoint

उदाहरण 4. एक भाप टर्बोजेट जनरेटर 100 kW शक्ति 13.6 kg भाप/kwh का प्रयोग करके उत्पन्न करती है। यदि भाप का निकास दाब 0.14 bar है तथा 680.4 kg शीतल जल/मिनट संघनित्र में प्रयोग की जाती है तो शुष्क भिन्नता ज्ञात कीजिए यदि गर्म कुएँ का तापमान 35°C हो तथा शीतल जल का प्रवेश एवं निकास तापमान 15.6°C तथा 32.2°C हो।

हल : हम जानते हैं कि

भाप द्वारा ऊष्मा में हानि = शीतल जल द्वारा ऊष्मा की प्राप्ति

$$100 \times m_s [x h_{fg} + C_{pw}(t_s - t_h)] = m_w \times C_{pw} \times (t_{wo} - t_{wi}) \quad \text{...(A)}$$

0.14 bar पर भाप सारणी से—

$t_s = 52.6°C$

$h_{fg} = 2376.6$ kJ/kg

$m_s = 13.6$ kg/kwh

$t_{wi} = 15.6°C$

$t_{wo} = 32.2°C$

$m_w = 680.4$ kg/min $\Rightarrow 680.4 \times 60$ kg/hr

$t_h = 35°C$

उपरोक्त मानों को समीकरण (A) में रखने पर—

$$100 \times 13.6 [x \times 2376.6 + 4.184 \times (52.6 - 35.0)]$$

$$= 680.4 \times 60 \times 4.184 \times (32.2 - 15.6)$$

$$\boxed{x = 0.846} \quad \textbf{Ans.}$$

उदाहरण 5. डी-लावल टरबाइन में भाप को नाजल से गुजारा जाता है जिसका वेग 1200 m/sec है। टरबाइन में नाजल कोण 20° है। मध्य ब्लेड वेग 400 m/sec है तथा ब्लेड का प्रवेश एवं निकास कोण बराबर है। यदि m_s/घण्टा = 1000 kg हो तो निम्न की गणना कीजिए—

(i) ब्लेड कोण

(ii) ब्लेड पर भाप प्रवेश का सापेक्ष वेग

(iii) ब्लेड पर स्पर्शीय बल

(iv) शक्ति

(v) ब्लेड दक्षता

मान लीजिए $k = 0.8$

हल— दिया है,

$C_i = 1200$ m/sec

$\alpha = 20°$

$C_{bi} = 400$ m/sec

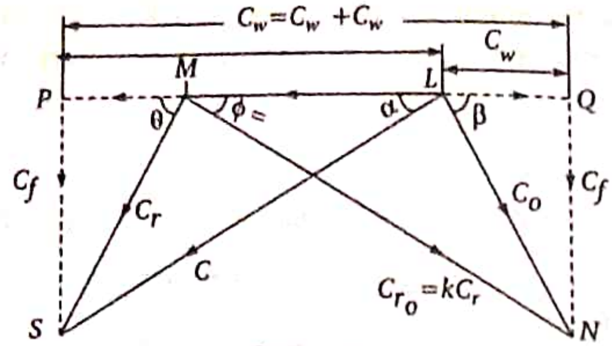
$Q = \phi$ (प्रश्नानुसार)

$k = 0.8$

$m_s = 1000$ kg/hr

Study PowerPoint

प्रवेश एवं निकास वेग आरेख (ΔLMN एवं ΔLMS)



चित्र 11.29

आरेख से,

$$LM = C_{bi} = 400\,\text{m/sec}$$
$$LS = c_i = 1200\,\text{m/sec}$$
$$\alpha = 20^\circ$$

आरेख में मापन द्वारा

$$\theta = 30^\circ$$
$$MS = 830\,\text{m/sec} = C_{ri}$$
$$C_{r_2} = kC_{r_1} = 0.8 \times 830$$
$$C_{r_2} = 664\,\text{m/sec}$$

निकास त्रिभुज से,

- M से $\phi = 30^\circ$ बनाएँ
- LN को जोड़े — $MN = C_{ro} = 664$ m/sec
- $L \perp QN$
- Δ पूरा हो गया है।

(i) ब्लेड कोड θ, ϕ

$$\boxed{\theta = \phi = 30^\circ}$$ (सममित त्रिभुज से)

(ii) $C_{r_1} = MS$

$$\boxed{C_{r1} = 830\,\text{m/sec}}$$

(iii) स्पर्शीय बल

$$= m_s(C_{wi} + C_{wo})$$
$$= \frac{1000}{60 \times 60} \times (1310)$$
$$\boxed{= 363.8\ \text{N}}$$

$\therefore \quad C_{wi} + C_{wo} = 1310$

(iv) शक्ति

$$P = m_s(C_{wi} + C_{wo})C_{bi}$$

Study PowerPoint

$$= \frac{1000}{60 \times 60} \times \frac{1310 \times 400}{1000} \text{ kW}$$

$$\boxed{P = 145.52 \text{ kW}}$$

(v) ब्लेड दक्षता $\eta_{bl} = \dfrac{2C_{bl} \cdot (C_{wi} + C_{wo})}{C_i^2}$

$$\eta = \frac{2 \times 400 \times 130}{(1200)^2}$$

$$\boxed{\eta = 72.8\%}$$

उदाहरण 2. एक एकल चरण आवेगी टरबाइन नाजल द्वारा जुड़ा है जिसका कोण 18°, नाजल द्वारा भाप का प्रवेश वेग 300 m/sec तथा ब्लेड का मध्य वेग 144 m/sec है। यह ज्ञात है कि ब्लेड पर प्रवेश कोण 3° ज्यादा है निकास कोण से तथा ब्लेड पर सापेक्ष वेग 0.84 गुना ज्यादा है प्रवेश सापेक्ष वेग से। को आरेख बनाइए। यदि उत्पादित शक्ति 500 kW है तो भाप का द्रव्यमान/सेकण्ड ज्ञात कीजिए। घर्षण में हानि को नगण्य मानिए।

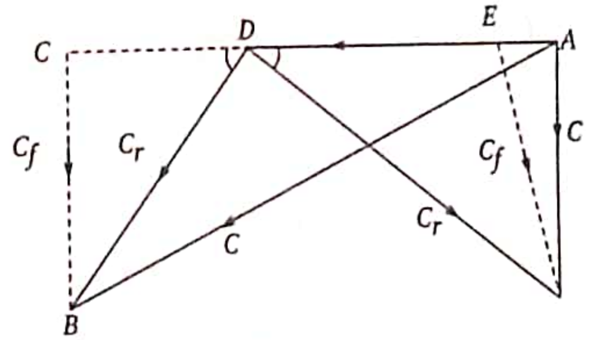
हल— दिया है, $C_i = 300\text{/sec}, \beta_2 = \beta_1 - 3$

$$P = 500 \text{ kW}$$

$$u = 144 \text{ m/sec}, K = 0.81$$

$$\alpha_1 = 18°, \quad C_{r_o} = KC_{r_i}$$

माना 1 cm = 50 m/sec, तब वेग आरेख—



चित्र 11.30

आरेख से,

$$\beta_1 = 32°, \beta_2 = \beta_1 - 3$$

$$\beta_2 = 32° - 3°$$

$$\beta_2 = 29°$$

निकास वेग आरेख से,

$$CE = 4.33 \text{ cm}$$

$$C_w = 4.33 \times 60 \text{ m/sec}$$

$$C_w = 260 \text{ m/sec}$$

हम जानते हैं कि

$$P = \frac{m_s u C_w}{1000},$$

Study PowerPoint

$$m_s = \frac{1000 \times P}{u \times C_w}$$

$$m_s = \frac{1000 \times 580}{144 \times 260}$$

$$\boxed{m_s = 13.35 \text{ kg/sec}}$$

उदाहरण 3. आवेगी टरबाइन के परीक्षण के दौरान आँकड़े प्राप्त होते हैं—

(a) ब्लेड का वेग = 250 m/sec

(b) नाजल में हानि = 600 kW = ΔH

(c) k = 0.85

(d) नाजल कोण = 20°

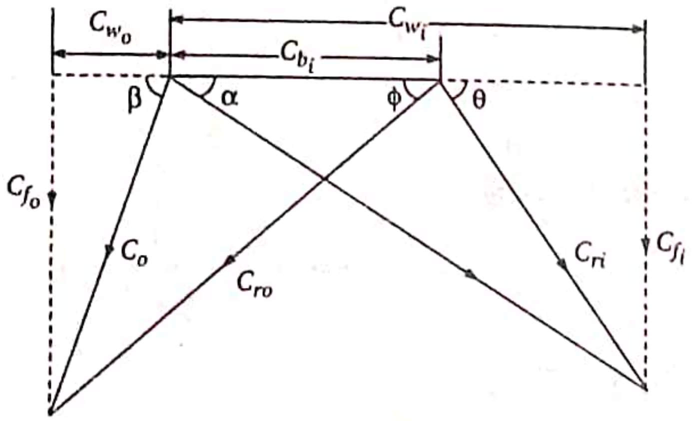
(e) m_s = 3.75 kg/sec

(f) ϕ = 30°

वेग आरेख द्वारा निम्न की गणना कीजिए—

(i) प्रवेश ब्लेड कोण, (ii) शक्ति, (iii) आरेख दक्षता

हल— वेग आरेख से,



चित्र 11.31

$$C_{bi} = 250 \text{ m/sec}$$

$$C_{wi} = 44.72 \times \sqrt{k \times \Delta H}$$

$$C_{wi} = 44.72\sqrt{0.85 \times 600}$$

$$C_{wi} = 1010 \text{ m/sec}$$

$$C_{wi} + C_{wo} = 1010 + 250$$

$\therefore$ $$C_{bi} = C_{wo}$$

$$C_w = 1260$$

(i) आरेख से, $$\theta = 26°$$

(ii) $$P = \frac{m_s (C_{wi} + C_{wo}) \times C_{bi}}{1000} \text{ kW}$$

$$P = \frac{3.75\,(1010 + 250) \times 250}{1000} \text{ kW}$$

$$P = 1181.25 \text{ kW}$$

Study PowerPoint

(iii)

$$\eta_{diagram} = \frac{2(C_{wi}+C_{wo})\times C_{bi}}{C_i^2}$$

$$= \frac{2\times1260\times250}{(1110)^2}$$

$$\boxed{\eta = 51.13\%}$$ **Ans.**

उदाहरण 4. एक एकल चरण आवेगी टरबाइन से निम्न आँकड़े प्राप्त होते हैं—

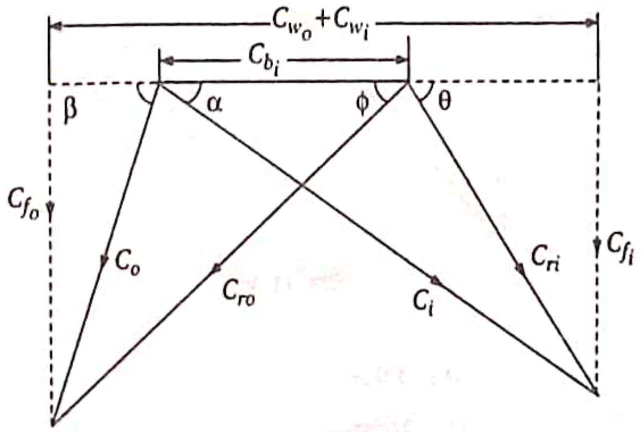
$C_i = 1200$ m/sec, $\alpha = 20°$

$C_{bi} = 300$ m/sec, $\beta = 40°$

$m_s = 4.0$ kg/sec, $\phi = 25°$

उपरोक्त आँकड़ो से k' तथा '$\eta_{diagram}$' का मान ज्ञात कीजिए।

हल— उपरोक्त आँकड़ों से वेग आरेख—



चित्र 11.32

$$C_{wi} = C_{wo} = 1500 \text{ m/sec}$$

$$C_{ri} = 930 \text{ m/sec}$$

$$C_{ro} = 740 \text{ m/sec}$$

(i) $K = \frac{C_{ro}}{C_{ri}} = \frac{740}{930}$

$$\boxed{K = 0.975}$$ **Ans.**

(ii) $\eta_{diagram} = \frac{2(C_{wi}+C_{wo})\times C_{bi}}{C_i^2}$

$$= \frac{2\times1500\times300}{1200^2}$$

$$\boxed{\eta_{diagram} = 62.5\%}$$ **Ans.**

उदाहरण 5. एकल चरण प्रतिक्रिया टरबाइन से निम्न आँकड़े प्राप्त होते हैं—

(i) ब्लेड का व्यास = 0.9 m

(ii) टरबाइन की गति = 3000 rpm

Study PowerPoint

(iii) भाप प्रवेश पर निरपेक्ष वेग = 300 m/sec

(iv) निकास ब्लेड कोण = 20° C

(v) भाप का द्रव्यमान/सेकण्ड = 10 kg/sec

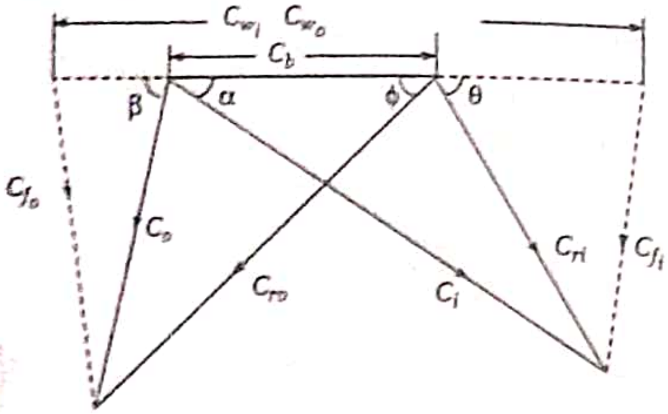
निम्न की गणना कीजिए—

(a) प्रवेश ब्लेड कोण

(b) स्पर्शीय बल

(c) उत्पादित शक्ति

हल— प्रतिक्रिया टरबाइन का वेग आरेख—



चित्र 11.33

दिया है,

$$d = 0.9 \text{ m}$$
$$N = 3000 \text{ rpm}$$
$$C_i = 300 \text{ m/sec} = C_{ro}$$
$$\alpha = \phi = 20^\circ$$
$$m_s = 10 \text{ kg/sec}$$

हम जानते हैं कि

$$C_b = \frac{\pi DN}{60}$$
$$C_b = \frac{\pi \times 0.9 \times 3000}{60}$$
$$C_b = 141.37 \text{ m/sec}$$

आरेख से, $C_{wi} + C_{wo} = 420 \text{ m/sec}$

(i) $\boxed{\theta = 39^\circ}$

(ii) स्पर्शीय बल

$$= m_s(C_{wi} + C_{wo})$$
$$= 10 \times 420$$
$$\boxed{= 4200 \text{ N}}$$

(iii) $P = \dfrac{m_s(C_{wi} + C_{wo}) \times C_{bi}}{1000}$ kW

Study PowerPoint

$$= \frac{10 \times 420 \times 141.37}{1000} \text{ kW}$$

$$\boxed{P = 593.76 \text{ kW}}$$ Ans.

अभ्यास

आंकिक प्रश्न

1. एक पृष्ठ संघनित्र की क्षमता 100 kg/hr भाप है। भाप का प्रवेशित दाब 0.08 बार तथा शुष्कता भिन्नता 0.9 है तथा संघनन संतृप्त तापमान पर हो रहा है। संघनित्र में दाब नियत हो तो आवश्यक शीतल जल की गणना 1 घण्टे के लिए कीजिए यदि शीतल जल का प्रवेशित तापमान 10°C है।

   Ans. 5.16919 kg/hr

2. यदि संघनित्र में शीतल जल का प्रवेश एवं निकास तापमान 30°C तथा 37.5°C हो तो संघनित्र में निर्वात 706 mm Hg हो तथा बैरोमीटर पर 760 mm Hg हो तो संघनित्र दक्षता ज्ञात कीजिए।

   Ans. 75%

3. एक सतह संघनित्र से निम्न आँकड़े प्राप्त होते हैं—
   (a) संघनित्र का मध्य तापमान = 34°C
   (b) संघनित्र में निर्वात = 700 mm Hg
   (c) बैरोमीटर पाठ्यांक = 760 mm Hg
   (d) शीतल जल का तापमान (प्रवेश एवं निकास पर) = 18°C तथा 127°C संघनित्र दक्षता तथा निर्वात दक्षता ज्ञात कीजिए।

   Ans. 97%, 56%

4. यदि पृष्ठ संघनित्र में दाब 11.56 kN/m^2 हो तथा बैरोमीटर का पाठ्यांक 100 kN/m^2 यदि संघनित्र का तापमान 40°C है तो निम्न की गणना कीजिए—
   (i) संघनित्र में वायु का आंशिक दाब
   (ii) वायु लीकेज/m^3 संघनित्र का आयतन
   (iii) निर्वात दक्षता
   (iv) वायु लीकेज/kg भाप का द्रव्यमान

   Ans. : 4186 N/cm^2, 0.0818 kg/m^3, 95.6%, 1.61 kg वायु लीकेज/kg भाप

5. निम्न आँकड़ों से निर्वात दक्षता ज्ञात कीजिए—
   (i) संघनित्र में निर्वात = 725 mm Hg
   (ii) बैरोमीटर पाठ्यांक (Barometer Reading) = 760 mm Hg
   (iii) गर्म कुएँ का तापमान = 26.4°C

   Ans. 98.25%

6. यदि संघनित्र का आयतन 4.05 m^3 है तथा 0.455 kg वायु भाप के साथ संघनित्र में है। यदि संघनित्र का तापमान 40°C हो तथा संघनित्र में कुछ जल विद्यमान है। संघनित्र दाब की गणना कीजिए।

   Ans. 0.01057 bar

1. आवेगी टरबाइन की शक्ति ज्ञात कीजिए यदि भाप का प्रवेश वेग 370 m/sec तथा नाजल कोण 20° है। यदि ब्लेड का मध्य वेग 160 m/sec है। भाप का द्रव्यमान प्रवाह दर 4.0 kg/sec। घर्षण में हानि नगण्य मानते हुए निम्न की गणना कीजिए—

Study PowerPoint

(a) प्रवेश एवं निकास कोण

(b) आरेख दक्षता

उत्तर— $P = 208$ kW, $\theta = 45°$, $\eta = 76\%$

2. एकल चरण आवेगी टरबाइन में नाजल से निकास पर भाप का वेग 400 m/sec तथा टरबाइन में अधिकतम ब्लेड दक्षता है। नाजल कोण 20° है। प्रवेश एवं निकास कोण समान मानते तथा घर्षण में हानि नगण्य मानते हुए आरेख शक्ति एवं आरेख दक्षता की गणना कीजिए, यदि $m_s = 0.6$ kg/sec हो।

उत्तर—$P = 42.9$ kW, $\eta = 88.4\%$

3. एकल चरण आवेगी टरबाइन के परीक्षण के दौरान निम्न आँकड़े प्राप्त होते हैं—

(a) भाप का वेग = 600 m/sec

(b) ब्लेड की गति = 250 m/sec

(c) ब्लेड का निकास कोण = 25°

(d) नाजल कोण = 20°

(e) द्रव्यमान प्रवाह दर = 20 kg/sec

निम्न की गणना कीजिए—

(i) टरबाइन द्वारा किया गया कार्य

(ii) अक्षीय बल

उत्तर— (i) 32.75×10^5 N-m, (ii) 8×10^2 N

4. आवेगी टरबाइन में भाप नाजल से 550 m/sec वेग से प्रवेश करती है तथा नाजल कोण 20° है। निकास एवं प्रवेश पर ब्लेड कोण 30° है। निम्न की गणना कीजिए—

(i) ब्लेड वेग (ii) पहिए का वेग (iii) निकास पर भाप का निरपेक्ष वेग

उत्तर— (i) 200 m/sec, (ii) 635 m/sec, (iii) 220 m/sec

5. आवेगी टरबाइन द्वारा उत्पादित शक्ति 400 kW है। भाप नाजल से 600 m/sec से 20° कोण पर प्रवाहित होती है। प्रवेश एवं निकास ब्लेड को 35° एवं 30° है। यदि $K = 0.8$ हो तो निकास पर ब्लेड का वेग तथा भाप की खपत प्रति मिनट ज्ञात कीजिए।

उत्तर— (i) 180 m/sec, (ii) 122 kg/sec

6. डी-लावल टरबाइन में भाप नाजल से 500 m/sec वेग से प्रवेश करती है। नाजल कोण 20° है। चल ब्लेडों का निकास कोण 25° तथा ब्लेड वेग 200 m/sec हो तो—

(a) चल ब्लेडों का प्रवेश कोण

(b) भाप का निकास वेग एवं दिशा

(c) कार्य/kg भाप

उत्तर— (a) 32°, (b) 165 m/sec, 59°, (c) 560 N-m

7. एक आवेगी टरबाइन 132.4 kW शक्ति उत्पादित करता है तथा ब्लेड का वेग 175 m/sec है एवं द्रव्यमान प्रवाह दर 2 kg/sec। नाजल द्वारा निष्कासित भाप का वेग 400 m/sec है।

यदि K का मान $= 0.9$ हो तथा भाप टरबाइन से अक्षीय रूप से बाहर निकलती है तो निम्न की गणना कीजिए—

(i) नाजल कोण (ii) ब्लेड कोण प्रवेश एवं निकास पर।

उत्तर— (i) 21°, (ii) 36°, 32°

Study PowerPoint

अन्य महत्वपूर्ण प्रश्न

1. टरबाइन किस प्रकार कार्य करता है?
2. निम्न को परिभाषित कीजिए—
   (a) टरबाइन की दक्षता
   (b) प्रतिक्रिया कोटि
   (c) वेग आरेख
3. टरबाइन में हानि को समझाइए।
4. विभिन्न प्रकार के बहुपदन का दाब एवं वेग आरेख बनाइए।
5. भाप टरबाइन के सम्बन्ध में निम्न को समझाइए—
   (a) कार्य (b) अक्षीय एवं स्पर्शीय बल (c) आरेख दक्षता
   (d) ब्लेड दक्षता (e) चरण दक्षता
6. आवेगी टरबाइन की हानियों का वर्णन कीजिए। हानियों को दूर करने की विधियाँ लिखिए।
7. नाजल को परिभाषित कीजिए। विभिन्न प्रकार के नाजल का वर्णन कीजिए।
8. टरबाइन रोटर की गति कम करने की विधियाँ लिखिए।
9. भाप टरबाइन के लाभों की विवेचना कीजिए।
10. संघनित्र में वायु लीकेज के प्रमुख स्रोत का वर्णन कीजिए। वायु लीकेज के प्रभावों का भी उल्लेख कीजिए। (2002)
11. भाप संघनित्र को किस प्रकार वर्गीकृत किया जाता है? सतह संघनित्र का आरेख द्वारा वर्णन कीजिए। (2003, 07, 09, 10)
12. किसी एक सतह या पृष्ठ संघनित्र का वर्णन कीजिए। (2004)
13. किसी शक्ति संयन्त्र में संघनित्र की क्रिया विधि का वर्णन कीजिए। (2008)
14. भाप संघनित्र को परिभाषित कीजिए। विभिन्न प्रकार के संघनित्र को वर्गीकृत कीजिए। किसी शक्ति संयन्त्र में संघनित्र की महत्ता को समझाइए। (2012)
15. भाप संघनित्र की क्रियाविधि का सिद्धान्त लिखिए। किसी एक प्रधार संघनित्र का आरेख द्वारा वर्णन कीजिए। (2013)
16. एक सामान्य आरेख की सहायता से भाप संघनित्र की कार्यविधि समझाइये। (2014)
17. निर्वात को किस प्रकार परिभाषित करेंगे? इसका मापन बताइए।
18. प्रधार एवं पृष्ट संघनित्र में अंतर स्पष्ट कीजिए।
19. अग्र को परिभाषित कीजिए—
    (a) निर्वात दक्षता
    (b) संघनित्र दक्षता
    (c) वायु लीकेज
20. विभिन्न प्रकार की पृष्ठ एवं प्रधार संघनित्रों का वर्णन कीजिए।
21. संघनित्र शक्ति संयंत्र तथा असंघनित्र शक्ति सयंत्रों के लिए दाब आयतन आरेख खींचिए।
22. संघनित्र यूनिट के प्रमुख अवयवों को लिखिए।
23. निम्न के लिए आवश्यक शीतल जल की गणना कीजिए—
    - प्रधार संघनित्र
    - सतह संघनित्र

Study PowerPoint

24. विभिन्न प्रकार के वायु पम्प तथा उनके कार्यों का वर्णन कीजिए।
25. शीतलक मीनार को समझाइए।
26. भाप इंजन की तुलना में भाप टरबाइन के लाभ एवं हानियों को लिखिए।
27. प्रतिक्रिया टरबाइन की क्रियाविधि का सचित्र वर्णन कीजिए। (2002)
28. टरबाइन क्या है? वर्गीकृत कीजिए। (2002)
29. टरबाइन ब्लीडिंग प्रक्रम से आप क्या समझते हैं? (2004, 07)
30. भाप टरबाइन के अभिनियन्त्रण से आप क्या समझते हैं? (2005)
31. आवेगी टरबाइन की रचना एवं क्रियाविधि का वर्णन कीजिए। (2005)
32. विभिन्न प्रकार की बहुपदन विधि को लिखिए। (2006)
33. दाब बहुपदन विधि को समझाइए। (2006, 11)
34. टरबाइन में बहुपदन क्यों आवश्यक है? (2007)
35. आवेगी टरबाइन में वेग बहुपदन को समझाइए। (2007)
36. निम्न को समझाइए— (2008)
    (i) भाप नाजल (ii) ब्लीडिंग प्रक्रम
37. भाप टरबाइन की क्रियाविधि का वर्णन कीजिए। (2008)
38. प्रतिक्रिया टरबाइन एवं आवेगी टरबाइन में अन्तर स्पष्ट कीजिए। (2009)
39. टरबाइन के अभिनियन्त्रण से आप क्या समझते हैं? किसी एक विधि को समझाइए। (2009) (2009, 10, 12)
40. निम्न पर संक्षिप्त टिप्पणी लिखिए—
    (a) प्रतिक्रिया टरबाइन (b) आवेगी टरबाइन (2011)
41. आवेगी टरबाइन की क्रियाविधि का सचित्र वर्णन कीजिए। (2013)

✦ बहु विकल्पीय प्रश्न

1. डी-लावल टरबाइन है—
   (a) दाब बहुपदन आवेगी टरबाइन (b) वेग बहुपदन आवेगी टरबाइन
   (c) सरल एकल चरण आवेगी टरबाइन (d) सरल एकल चरण प्रतिक्रिया टरबाइन
2. कर्टिस टरबाइन है—
   (a) प्रतिक्रिया टरबाइन (b) वेग बहुपदन भाप टरबाइन
   (c) दाब बहुपदन भाप टरबाइन (d) वेग एवं दाब बहुपदन भाप टरबाइन
3. रेटायु टरबाइन—
   (a) प्रतिक्रिया टरबाइन (b) वेग बहुपदन भाप टरबाइन
   (c) दाब बहुपदन भाप टरबाइन (d) वेग एवं दाब बहुपदन भाप टरबाइन
4. पार्सन टरबाइन—
   (a) दाब बहुपदन भाप टरबाइन (b) सरल एकल पहिया आवेगी भाप टरबाइन
   (c) सरल एकल पहिया प्रतिक्रिया भाप टरबाइन (d) बहु पहिया प्रतिक्रिया टरबाइन
5. प्रतिक्रिया टरबाइन में चरण प्रदर्शित किया जाता है—
   (a) प्रत्येक पंक्ति में ब्लेड के आधार पर (b) भाप प्रवेश के आधार पर
   (c) केसिंग की संख्या के आधार पर (d) भाप निकास के आधार पर

Study PowerPoint

6. पर्सन प्रतिक्रिया टरबाइन में—
(a) अचल ब्लेड नहीं होते हैं
(b) चल ब्लेड नहीं होते हैं
(c) चल एवं अचल ब्लेड समान होते हैं
(d) चल ब्लेड, अचल ब्लेड से बड़े होते हैं

7. चरण दक्षता होती है—
(a) $\eta_{blade} \times \eta_{nozzle}$
(b) $\eta_{blade} / \eta_{nozzle}$
(c) $\eta_{nozzlee} / \eta_{blade}$
(d) सभी

8. प्रतिक्रिया कोटि होती है—
(a) $\frac{\Delta h_m}{\Delta h_f}$
(b) $\frac{\Delta h_f}{\Delta h_m}$
(c) $\frac{\Delta h_m}{\Delta h_m + \Delta h_f}$
(d) $\frac{\Delta h_f}{\Delta h_f + \Delta h_m}$

9. आरेख दक्षता होती है—
(a) $\frac{(C_{wi} + C_{wo})C_{bi}}{C_i}$
(b) $\frac{C_i^2 - C_o^2}{C_i^2}$
(c) $\frac{C_{bi}^2}{C_i^2}$
(d) $\frac{2C_{bi}(C_{wi} + C_{wo})}{C_i^2}$

10. भाप टरबाइन नियन्त्रित होता है—
(a) थ्राटल विधि द्वारा
(b) नाजल विधि द्वारा
(c) बाई-पास विधि द्वारा
(d) सभी विधियों द्वारा

11. संघनित्र में वायु पम्प का कार्य है—
(a) निर्वात उत्पन्न करना
(b) वातावरणीय दाब बनाए रखना
(c) संघनित्र से जल को हटाना
(d) सभी

12. निर्वात दक्षता है—
(a) $\frac{P_s + P_a}{P_s}$
(b) $\frac{P_s}{P_s + P_a}$
(c) $\frac{P_b - P_t}{P_b - P_s}$
(d) $\frac{P_b - P_s}{P_b - P_t}$

13. संघनित्र में संघनित्र दक्षता होती है—
(a) $\frac{t_{wo} - t_{wi}}{t_{wo} + t_{wi}}$
(b) $\frac{t_{wo} - t_{wi}}{t_s - t_c}$
(c) $\frac{t_{wo} - t_{wi}}{t_s - t_{wi}}$
(d) $\frac{t_s - t_c}{t_{wo} - t_{wi}}$

14. सतह संघनित्र में जब वायु को हटाया जाता है, तब—
(a) निरपेक्ष दाब बढ़ता है
(b) निरपेक्ष दाब घटता है
(c) कोई परिवर्तन नहीं होता है
(d) इनमें से कोई नहीं

15. संघनित्र नलियाँ बनी होती हैं—
(a) ढलवाँ लोहा
(b) एल्युमीनियम
(c) स्टील
(d) ब्रान्ज

Study PowerPoint

16. किस संघनित्र में शीतल जल एवं वाष्प मिलाया नहीं जाता है?
   (a) प्रधार संघनित्र
   (b) इंजेक्टर संघनित्र
   (c) सतह या पृष्ठ संघनित्र
   (d) बैरोमीटर संघनित्र
17. वाष्पित्र संघनित्र में—
   (a) पाइप मे वाष्प तथा जल पाइप के चारों ओर होता है।
   (b) जल पाइप में तथा भाप पाइप के चारों ओर होती है।
   (c) (a) एवं (b)
   (d) कोई नही
18. आर्द्र वायु पम्प द्वारा संघनित्र से—
   (a) वायु हटाई जाती है
   (b) वाष्प हटाई जाती है
   (c) वायु तथा वाष्प दोनों को हटाया जाता है
   (d) सभी

उत्तरमाला

1.	(a)	2.	(d)	3.	(c)	4.	(d)	5.	(a)	6.	(c)	7.	(a)	8.	(c)	9.	(d)	10.	(d)
11.	(a)	12.	(d)	13.	(c)	14.	(b)	15.	(b)	16.	(c)	17.	(d)	18.	(a).				

❑❑❑

Study PowerPoint

12 गैस टरबाइन एवं जेट प्रपल्शन (Gas Turbine and Jet Propulsion)

12.1. परिचय (Introduction)

हम जानते हैं कि टरबाइन एक प्राथमिक चालक के रूप में कार्य करता है, जिसमें ऊर्जा का रूपान्तरण यान्त्रिक कार्य मे होता है। गैस टरबाइन भी एक प्रकार का प्राथमिक चालक होता है जिसे हम ऊष्मा इंजन भी कहते हैं। गैस टरबाइन में वातावरणीय वायु को दहन भट्टी से उत्पन्न गर्म गैसों की सहायता से संपीडित किया जाता है। यह संपीडित गर्म गैसें जिनका तापमान एवं दाब उच्च होता है गैस टरबाइन को प्रवाहित की जाती हैं जिससे हमें यान्त्रिक कार्य प्राप्त होता है और विद्युत शक्ति उपलब्ध होती है। बची हुई गैसों को वातावरण में छोड़ दिया जाता है।

गैस टरबाइन का उपयोग मुख्यत: निम्न क्षेत्रों में होता है

- ऊर्जा उत्पादन में (Power Generation में)
- तेल एवं गैस उद्योगों में (Oil and Gas Industry)
- वैमानिकी (Avitation)
- समुद्रीय उपयोग (Marine Application)

गैस टरबाइन के महत्त्वपूर्ण लक्षण

- यह self contained होता है।
- संयन्त्र में टरबाइन का भार बहुत कम होता है।
- शीतल जल की आवश्यकता नहीं होती है।
- यह सामान्यत: किसी भी संरचना में व्यवस्थित हो सकता है।
- यह अत्यन्त सरल होता है।
- इसकी प्रारम्भिक लागत कम होती है।
- सस्ते ईंधन का प्रयोग करता है।

12.2. गैस टरबाइन के मुख्य अवयव

गैस टरबाइन के सरलतम रूप में मुख्यत: एक घूर्णी वायु संपीडक के साथ गैस टरबाइन लगा होता है। दग्ध गैसों के लिए दहन भट्टी की व्यवस्था होती है। कुछ अन्य सहायक उपकरण भी लगे होते हैं; जैसे—पंखा, जल पम्प, जनरेटर, स्टार्टिंग उपकरण, स्नेहन तंत्र, डक्ट तंत्र आदि।

उच्च क्षमता के शक्ति संयन्त्र में मध्य शीतक (Inter cooler), ऊष्मा विनियमित्र (Heat exchanger), पुन: तापक (Reheater) भी लगे होते हैं।

अत: संयन्त्र के मुख्य अवयव हैं—

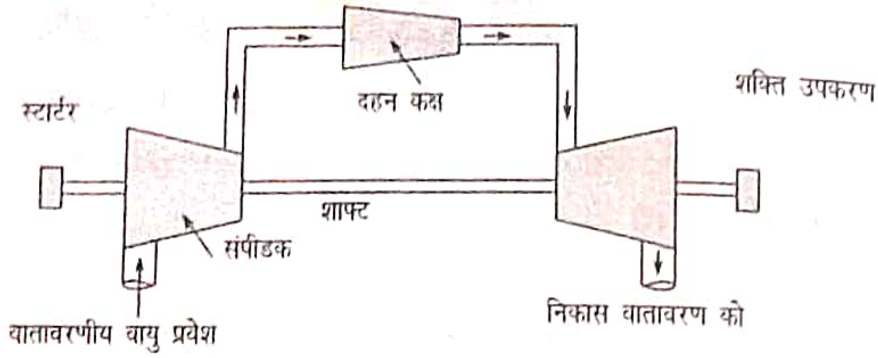
1. वायु संपीडक (Air compressor)
2. दहन भट्टी (Combustion chamber)

Study PowerPoint

3. टरबाइन (Turbine)

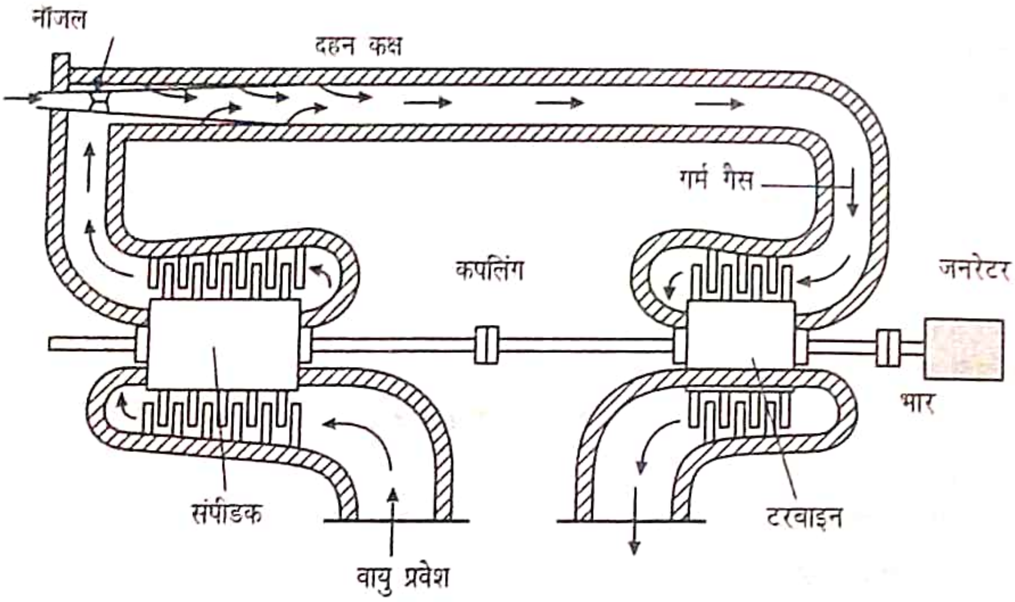
4. जनरेटर (Generator)

व्यवस्थित आरेख नीचे दिया गया है—



चित्र 12.1–गैस टरबाइन के अवयव (Components of Gas Turbine)

1. वायु संपीडक—वायु संपीडक वह युक्ति होती है जिसकी सहायता से हम वायु को संपीडित करके दहन कक्ष में भेजते हैं या वह युक्ति जो वायु को उच्च दाव पर दहन कक्ष में प्रवाहित करे वायु सम्पीडक कहलाता है।



चित्र 12.2–गैस टरबाइन के मुख्य अवयव

वायु संपीडक मुख्यत: दो वर्गों में वर्गीकृत किया गया है—

(a) धनात्मक विस्थापन संपीडक

(b) घूर्णन गति संपीडक

(a) धनात्मक विस्थापन संपीडक—यह मुख्यत: दो प्रकार के होते हैं—

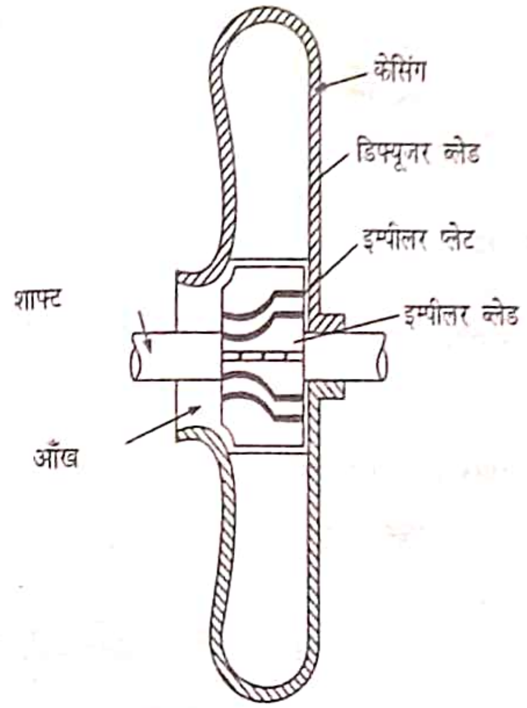
- पश्चाग्र गति वायु संपीडक
- घूमती वायु संपीडक

Study PowerPoint

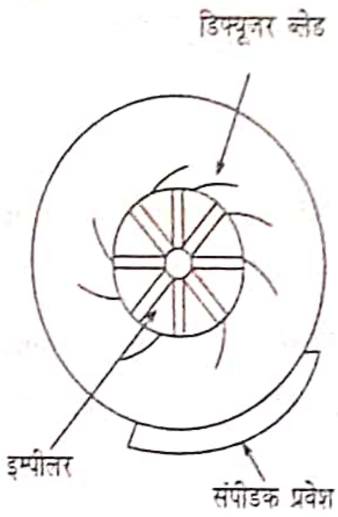
(b) घूर्णन गति संपीडक
- अभिकेन्द्रीय प्रवाह संपीडक (Centrifugal compressor)
- अक्षीय प्रवाह संपीडक (Axial flow compressor)
- मिश्रित प्रवाह संपीडक (Mixed flow compressor)

अभिकेन्द्रीय प्रवाह संपीडक (Centrifugal Compressor)

इस संपीडक में एक रोटर लगा होता है जिसे हम इम्पीलर (Impeller) कहते हैं। इस रोटर पर वेन या ब्लेड लगे होते हैं जो केसिंग के अन्दर घूमते रहते हैं। इम्पीलर पर प्रवेश भाग जिसे हम इन्ड्यूसर (Inducer) कहते हैं, वक्राकार होता है जिससे ऊर्जा की हानि कम होती है। यह वेन के साथ इस प्रकार व्यवस्थित होती है कि वायु रोटर की आँखों (Eye of Rotor) की सहायता से वायु इम्पीलर में प्रवेश करें। यह वायु एक घुमाऊ गति उच्च वेग पर प्रदान करती है, जिससे इम्पीलर घूमने लगता है तथा अभिकेन्द्रीय बल के कारण बाहर की ओर आता है।



अभिकेन्द्रीय संपीडक की व्यवस्था



अभिकेन्द्रीय संपीडक की काट

चित्र 12.3

जब वायु रोटर की आँखों से प्रवेश करती है तो उसका स्थैतिक दाब बढ़ जाता है। एक स्थिर रास्ता (stationary passage) जो इम्पीलर के चारों ओर लगता होता है वायु के वेग शीर्ष को दाब शीर्ष (pressure head) में परिवर्तित करता है। जिससे वायु का दाब बढ़ जाता है तथा यह उच्च दाब युक्त वायु इम्पीलर से बाहर निकलती है।

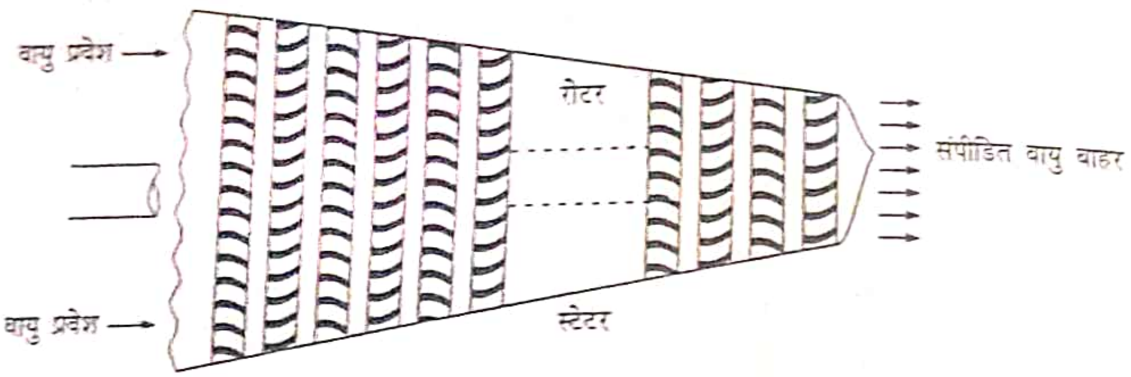
इम्पीलर ब्लेड या वेन दो प्रकार की होती हैं—
- त्रिज्यीय ब्लेड (Radial Blade)
- पिछला वक्र ब्लेड (Back Curved Blade)

Study PowerPoint

■ अक्षीय प्रवाह संपीडक (Axial Flow Compressor)

इस प्रकार के सम्पीडक सामान्यतः गैस टरबाइन शक्ति संयंत्रों में प्रयोग किये जाते हैं। इस संपीडक में वायु Convergent section से होते हुए स्थिर ब्लेडों एवं चल ब्लेडों की शृंखलाबद्ध श्रेणी से गुजरता है जिससे उसका वेग शीर्ष (velocity head) दाब शीर्ष (pressure head) में बदल जाता है तथा निकास छोर (exhaust end) से वायु बाहर निकल जाती है।

संपीडक का व्यवस्थित आरेख निम्न है—



चित्र 12.4

■ मिश्रित प्रवाह संपीडक (Mixed Flow Compressor)

यह उपरोक्त वर्णित संपीडक का संयुक्त रूप है।

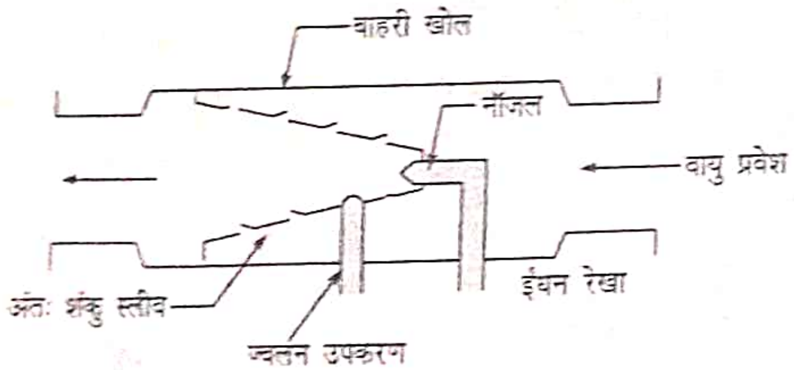
2. दहन भट्टी या कम्बस्टर (Combustion Chamber or Combuster)

वह युक्ति जिसमें ईंधन का दहन होता है, दहन कक्ष या कम्बस्टर कहलाता है।

ईंधन का दहन मुख्य निम्न घटकों पर निर्भर करता है—

- तापमान (Temperature)
- समय (Time)
- विक्षुब्ध प्रवाह (Turbulance)

दहन भट्टी का व्यवस्थित आरेख निम्न है—



चित्र 12.5

Study PowerPoint

इसमें एक बाहरी बेलनाकार खोल भीतरी शंक्वाकार सिरे के साथ व्यवस्थित होता है जिसमें लम्बाई के समान्तर छिद्र लगे होते हैं। शंक्वाकार सिरे पर एक नॉजल लगा होता है जिसकी सहायता से ईंधन को फुहार के रूप में प्रवेशित किया जाता है जिसमें एक ज्वलन उपकरण (स्पार्क प्लग) लगा होता है जिसकी सहायता से ईंधन का ज्वलन होता है। नॉजल में ईंधन, ईंधन लाइनों द्वारा भेजा जाता है। आवश्यकतानुसार छिद्रों की व्यवस्था होती है। कम्बस्टर या दहन भट्टी संपीडक के निकास द्वार पर तथा टरबाइन के प्रवेश द्वार पर लगा होता है, जिसका आकार बेलनाकार होता है।

3. टरबाइन (Turbine)—यह कम्बस्टर के निकास पर लगा होता है। यह एक प्राथमिक चालक के रूप में कार्य करता है जिसमें दहन कक्ष की ऊष्मीय यान्त्रिक ऊर्जा में परिवर्तित होती है।

4. जनरेटर (Generator)—**यह टरबाइन के** निकास पर लगा होता है। यह उसी शाफ्ट से जुड़ा होता है जिस शाफ्ट से टरबाइन जुड़ा होता है। टरबाइन की **शाफ्ट पर उपलब्ध** यान्त्रिक ऊर्जा **को** विद्युत ऊर्जा में परिवर्तित करता है।

जनरेटर की क्षमता संयन्त्र के **निर्माण पर निर्भर** करती है। जनरेटर के प्रकार का निर्धारण, विद्युत ऊर्जा के उत्पादन पर निर्भर करता है।

■ अन्य अतिरिक्त एवं सहायक उपकरण

(a) स्टार्टिंग युक्ति (Starting device)
(b) ल्यूब्रिकेशन (स्नेहन) तंत्र (Lubricating system)
(c) ईंधन नियन्त्रण तंत्र (Fuel control system)
(d) तेल शीतलक (Oil cooler)
(e) फिल्टर (Filter)
(f) मफलर (प्रवेश एवं निकास के लिए) (Muffler for inlet and outlet)
(g) वायु एवं गैस नली (Air and gas duct)
(h) संयन्त्र नियन्त्रण पैनल (Plant control pannel)
(i) स्वचालित उपकरण एलार्म एवं बंद करने के लिए (Automatic device for alarm and shut down)

❑ 12.3. क्रियाविधि सिद्धान्त (Principle of Operation)

गैस टरबाइन में गैस टरबाइन से गुजरते हुए मुख्यत: तीन ऊष्मागतिकी प्रक्रम से गुजरता है—

1. आइसन्ट्रॉपिक संपीडन प्रक्रिया (Isentropic Compression Process)
2. स्थिर दाब प्रक्रम या आइसोबारिक प्रक्रम (Isobaric Process)
3. आइसन्ट्रापिक प्रसारण प्रक्रम (Isentropic Expansion Process)

गैस टरबाइन में गैस (वायु) के दाब में अत्यधिक वृद्धि की जाती है। यह वृद्धि संपीडक के माध्यम से की जाती है। संपीडक के बाद इन गैसों को डाइवर्जन नॉजल (Divergent nozzle), जिसे डिफ्यूजर (Diffuser) कहते हैं, से गुजारा जाता है। इस कारण से गैसों के दाब **तथा तापमान** में वृद्धि हो जाती है। आदर्श रूप में इस प्रक्रिया को आइसन्ट्रॉपिक प्रक्रम कहते हैं। डिफ्यूजर से प्राप्त गैसों को **दहन कक्ष से गुजारा जाता है जिससे** उसका तापमान बढ़ जाता है। यह प्रक्रिया स्थिर दाब पर सम्पन्न होती है। इसलिए इसे isobaric heat addition **कहते हैं। चूँकि गैस** का दाब स्थिर होता है, इसलिए गैस का विशिष्ट आयतन बढ़ जाता है। आयतन में वृद्धि के कारण गैसों का विस्तार होता है जिसे नॉजल की सहायता से टरबाइन में प्रवेशित करते हैं। टरबाइन ब्लेडों के कारण यह ऊष्मीय ऊर्जा, यान्त्रिक ऊर्जा में परिवर्तित हो जाती है जिसे जनरेटर की सहायता से विद्युत शक्ति में परिवर्तित किया जाता है। यह विद्युत औद्योगिक इकाइयों में उपयोग किया जाता है।

Study PowerPoint

12.4. गैस टरबाइन में प्रयुक्त ईंधन

गैस टरबाइन में आदर्श रूप से प्राकृतिक गैस का इस्तेमाल किया जाता है, परन्तु कम उपलब्धता के कारण ईंधन अन्य विकल्पों का भी प्रयोग किया जाता है। ईंधन को मुख्यत: तीन वर्गों में विभाजित किया गया है—

(a) ठोस ईंधन (b) द्रवीय ईंधन (c) गैसीय ईंधन

(a) ठोस ईंधन—ठोस ईंधन में मुख्यत: कोयले का प्रयोग किया जाता है। कोयला को चूर्ण (Pulveriser) के रूप प्रयोग किया जाता है। चूर्णित कोयले को दहन कक्ष में उच्च दाब से प्रवेश करते हैं। कोयले का दहन राख तथा धूल अव द्वारा प्रभावित होता है।

(b) द्रवीय ईंधन—द्रवीय ईंधन के रूप में पेट्रोलियम ईंधन का प्रयोग किया जाता है। इसमें मुख्यत: पेट्रोल, डी आदि हैं।

द्रवीय ईंधन के प्रमुख गुण हैं—

- श्यानता (Viscosity)
- वाष्पशील (Volatile)
- ऊष्मीयमान (Calorific value)

द्रवीय ईंधन के प्रयोग से प्रमुख समस्याएँ

कुछ प्रमुख खनिज जैसे सोडियम, वेनेडियम, कैल्शियम जिनका प्रभाव हानिकारक होता है टरवाइन ब्लेडों पर जमा जाते हैं जिससे ब्लेडों का क्षरण होता है तथा दक्षता भी प्रभावित होती है।

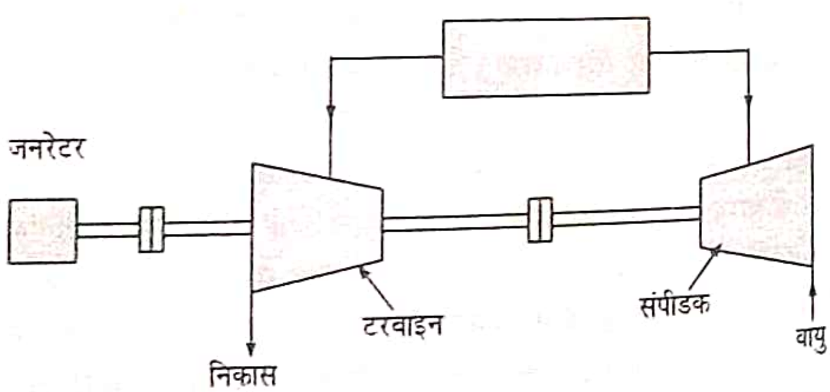
(c) गैसीय ईंधन—प्राकृतिक गैसों के साथ-साथ ब्लास्ट फरनेस (Blast furnace) तथा प्रोडयूसर गैसों (Produ gases) का भी प्रयोग किया जाता है।

12.5. गैस टरबाइन शक्ति संयन्त्र का वर्गीकरण

गैस टरबाइन को मुख्यत: दो वर्गों में विभाजित किया गया है—

1. **स्थिर दाब दहन गैस टरबाइन शक्ति संयन्त्र**—
   (a) खुला चक्र स्थिर दाब दहन गैस टरबाइन शक्ति संयन्त्र
   (b) बंद चक्र स्थिर दाब दहन गैस टरबाइन शक्ति संयन्त्र
2. **स्थिर आयतन दहन गैस टरबाइन शक्ति संयन्त्र**

1. (a) खुला चक्र स्थिर दाब दहन गैस टरबाइन शक्ति संयन्त्र—इस शक्ति संयन्त्र में वातावरणीय वायु को दहन भट्टी की दग्ध गैसों द्वारा किया जाता है। संपीडक की सहायता से संपीडित गर्म वायु का टरबाइन में भेजा जाता है जिससे हमें यांत्रिक ऊर्जा टरबाइन की रोटर शाफ्ट पर प्राप्त होती है। यह यान्त्रिक ऊर्जा रोटर पर लगे जनरेटर की सहायता से विद्युत शक्ति में परिवर्तित की जाती है। टरबाइन में बची गर्म गैसों को वातावरण में छोड़ दिया जाता है। वायु तथा ईंधन की सतत आपूर्ति की व्यवस्था होती है।



चित्र 12.6–Open Cycle Gas Turbine

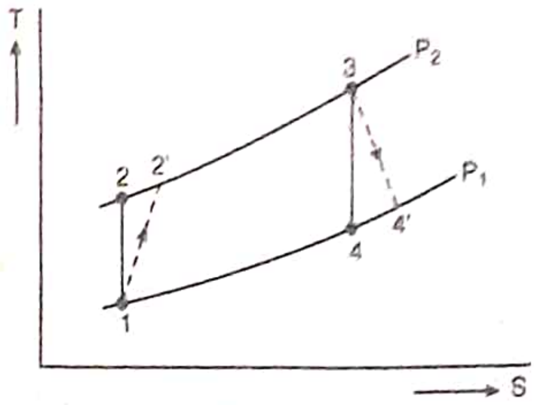
Study PowerPoint

सचित्र विवरण चित्र 12.6 दिया गया है—

इस तंत्र के मुख्य अवयव निम्न हैं—

- वायु संपीडक
- दहन कक्ष
- टरबाइन
- जनरेटर

खुला तंत्र का $T-S$ आरेख है—



चित्र 12.7

उपरोक्त चित्र में प्रमुख प्रक्रम नीचे वर्णित हैं—

प्रक्रम 1-2'—अप्रतिक्रम्य रूद्धोष्म संपीडन प्रक्रम (Irreversible Adiabatic Compression Process)

प्रक्रम 2'-3—समदावी तापन प्रक्रम (Isobaric Heat Addition Process)

प्रक्रम 3-4'—अप्रतिक्रम्य रूद्धोष्म प्रसारण प्रक्रम (Irreversible Adiabatic Expansion Process)

प्रक्रम 1-2—आदर्श आइसन्ट्रॉपिक संपीडन प्रक्रम (Ideal Isentropic Compression Process)

प्रक्रम 3-4—आदर्श आइसन्ट्रापिक प्रसारण प्रक्रम (Ideal Isentropic Expansion Process)

महत्त्वपूर्ण निष्कर्ष

प्रदत्त कार्य संपीडन को $= C_P(T_2' - T_1)$

ऊष्मा प्रदाय दहन कक्ष को $= C_P(T_3 - T_2')$

उपलब्ध कार्य टरबाइन पर $= C_P(T_3 - T_4')$

दक्षता

$$\text{तापीय दक्षता } \eta_{th} = \frac{C_P(T_3 - T_4') - C_P(T_2' - T_1)}{C_P(T_2 - T_1')} = \frac{\text{नेट कार्य}}{\text{प्रदत्त कार्य}}$$

$$\text{आइसन्ट्रापिक दक्षता (संपीडक)} = \frac{C_P(T_2 - T_1)}{C_P(T_2' - T_4)} = \frac{\text{संपीडक के आदर्श कार्य}}{\text{संपीडक के वास्तविक कार्य}}$$

$$\text{आइसन्ट्रापिक दक्षता (टरबाइन)} = \frac{C_P(T_3 - T_4')}{C_P(T_3 - T_4)} = \frac{\text{वास्तविक कार्य}}{\text{आदर्श कार्य}}$$

1. (b) बंद चक्र स्थिर दाब दहन गैस टरबाइन शक्ति संयन्त्र—बंद चक्र स्थिर दाब दहन गैस टरबाइन शक्ति संयन्त्र में वायु की मात्रा स्थिर या नियत होती है। इस शक्ति संयन्त्र में वायु के स्थान पर किन्हीं अन्य गैसों का भी प्रयोग किया जा सकता है। चूँकि गैस की मात्रा स्थिर होती है इसलिए यह संयन्त्र में कई बार प्रवाहित की जाती है। दहन के बाद का गैस, वास्तविक प्रदत्त गैस के बीच एक बंद परिपथ तैयार होता है। इसलिए इसे बंद चक्र स्थिर दाब दहन गैस टरबाइन शक्ति संयन्त्र कहते हैं।

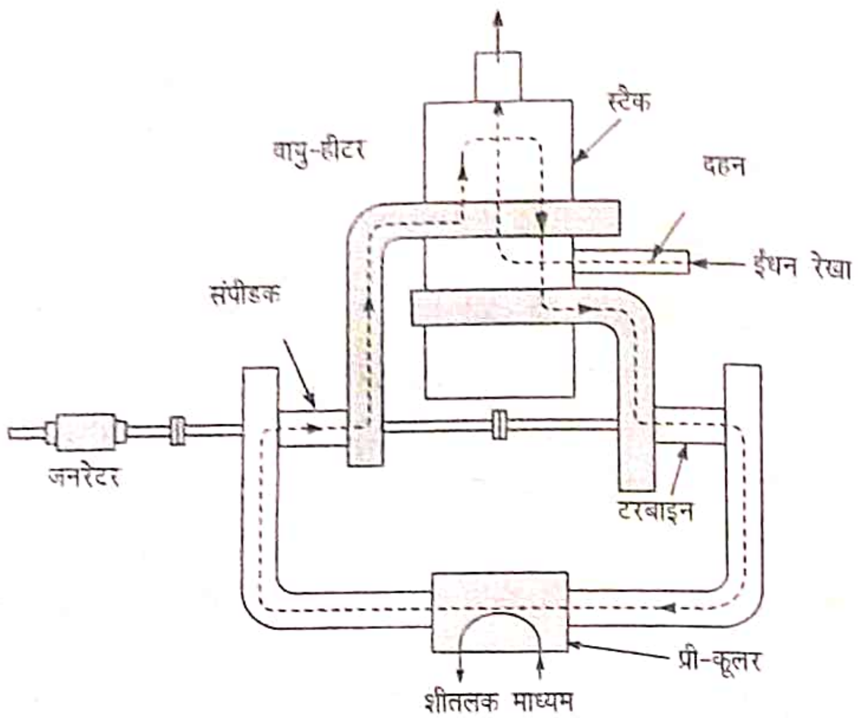
संयन्त्र की दक्षता वृद्धि के लिए वायु के स्थान पर किसी अन्य गैस जिसकी तापीय दक्षता अधिक हो, इस्तेमाल की जाती है।

सचित्र विवरण चित्र 12.8 में है।

क्रियाविधि

बंद चक्र स्थिर दाब दहन शक्ति संयन्त्र जूल चक्र पर आधारित है। जूल चक्र (Joule cycle) को हम ब्रेटन (Baryton cycle) चक्र भी कहते हैं।

Study PowerPoint



चित्र 12.8–बन्द गैस टरबाइन चक्र

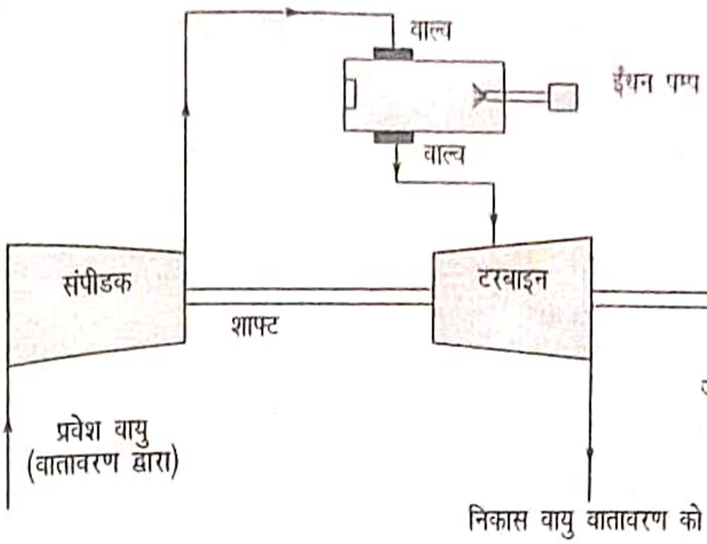
इसमें कार्यकारी गैस को रोटरी संपीडक की सहायता से संपीडित करके उसके दाब में परिवर्तन कर दहन कक्ष या हीटर में प्रवेश कराते हैं जिससे संपीडित गैस के तापमान में वृद्धि हो जाती है। इस गर्म गैस को टरबाइन में भेजते हैं। टरबाइन में इन गैसों का प्रसारण होता है जिससे हमें टरबाइन की शाफ्ट पर यान्त्रिक कार्य प्राप्त होता है। टरबाइन में बचे गैसों को कूलर की सहायता से ठण्डा कर लिया तथा पुनः संपीडक को भेज दिया जाता है। अतः हमें एक बंद परिपथ प्राप्त होता है।

बंद चक्र स्थिर दाब दहन शक्ति संयन्त्र के लाभ—

1. हीटर का चुनाव आसानी से हो जाता है।
2. दहन कक्ष सरल एवं सस्ता होता है तथा सस्ता ईंधन भी प्रयोग किया जा सकता है।
3. दाब परास (Pressure range) में सुविधा होती है।
4. संयन्त्र की संरचना में लचीलापन होता है।

2. स्थिर आयतन दहन शक्ति संयन्त्र—इस शक्ति संयन्त्र में, संपीडक द्वारा, वायु को संपीडित करके दहन कक्ष में वाल्व *A* के माध्यम से भेजा जाता है। वातावरणीय वायु को दहन कक्ष से गुजारने के पश्चात् उसके तापमान में वृद्धि हो जाती है। ईंधन पम्प द्वारा ईंधन तथा संपीडित वायु को चैम्बर में प्रवेश कराते हैं। स्पार्क प्लग (Spark Plug) की सहायता से मिश्रण को जलाते हैं तथा उत्पन्न गर्म गैसों को वाल्व *B* के द्वारा टरबाइन के प्रवेश वाल्व में भेजते हैं। यह गर्म गैसें टरबाइन ब्लेडों से टकराकर यान्त्रिक ऊर्जा (शाफ्ट पर) में परिवर्तित हो जाती हैं। टरबाइन निकास पर इस यान्त्रिक ऊर्जा को जनरेटर की सहायता से विद्युत शक्ति में परिवर्तित कर लेते हैं। इस शक्ति संयन्त्र की प्रमुख कमी गैसों का दाबान्तर (Pressure difference) तथा वेग में परिवर्तन स्थिर नहीं होता है जिससे टरबाइन की गति भी स्थिर नहीं होती है जिससे दक्षता प्रभावित होती है।

Study PowerPoint



चित्र 12.9–स्थिर आयतन दहन शक्ति संयन्त्र

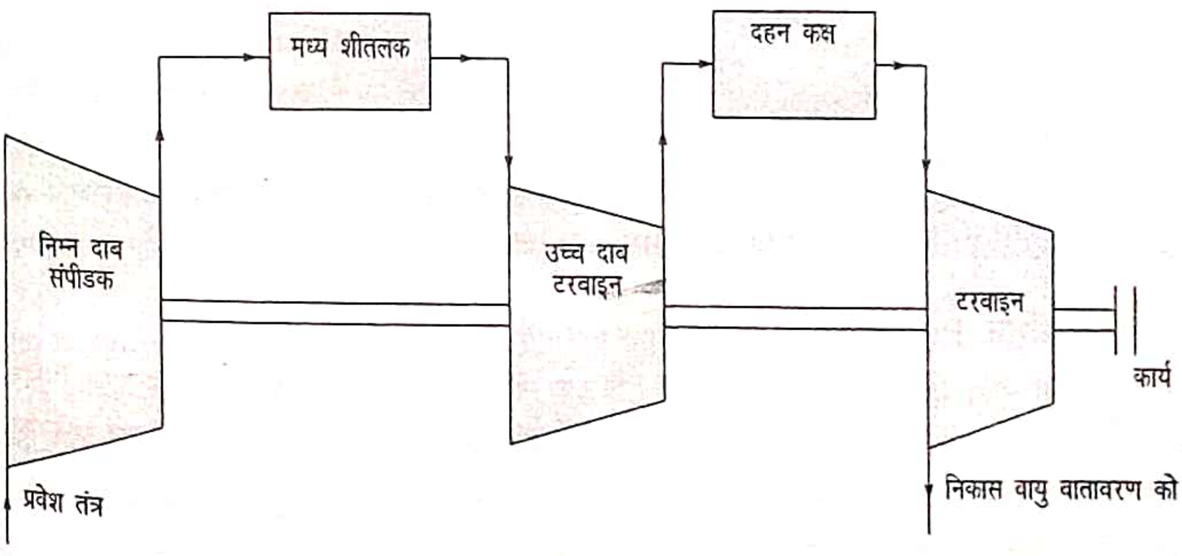
12.6. तापीय दक्षता में सुधार के लिए प्रयुक्त उपसाधन

कुछ विधियों द्वारा गैस टरबाइन शक्ति संयन्त्र की तापीय दक्षता तथा विशिष्ट कार्य में वृद्धि की जा सकती है। ये प्रमुख विधियाँ हैं—

1. मध्य शीतलक (Inter cooler) के उपयोग से।
2. पुन: तापक (Reheater) के उपयोग से।
3. ऊष्मा विनियमित्र (Heat exchanger or regenerator) के उपयोग से।

1. मध्य शीतलक (Inter Cooler) शक्ति संयन्त्र

इस शक्ति संयन्त्र में दो संपीडकों के बीच में एक मध्य शीतलक का प्रयोग करते हैं। दो संपीडकों में पहला संपीडक निम्न दाब पर होता है तथा वातावरण द्वारा वायु इसी संपीडक में प्रवेश करती है। शीतलक से होते हुए संपीडित वायु उच्च दाब संपीडक में प्रवेश कराते हैं। चूँकि हम जानते हैं कि संपीडित वायु का उच्च अनुपात अवांछनीय है इसलिए वायु के संपीडन को दो खण्डों में विभक्त कर देते हैं जिससे हमें संपीडक द्वारा वांछित मात्रा में कार्य प्राप्त हो।



चित्र 12.10–Intercooler

Study PowerPoint

मध्य शीतलक के प्रयोग से गैस टरबाइन के प्रक्रमों में परिवर्तन निम्नलिखित है—

प्रक्रम 1-2—निम्न दाब संपीडन प्रक्रम

प्रक्रम 2-3—शीतलन प्रक्रम

प्रक्रम 3-4—उच्च दाब संपीडन प्रक्रम

प्रक्रम 4-5—तापन प्रक्रम (दहन भट्टी द्वारा)

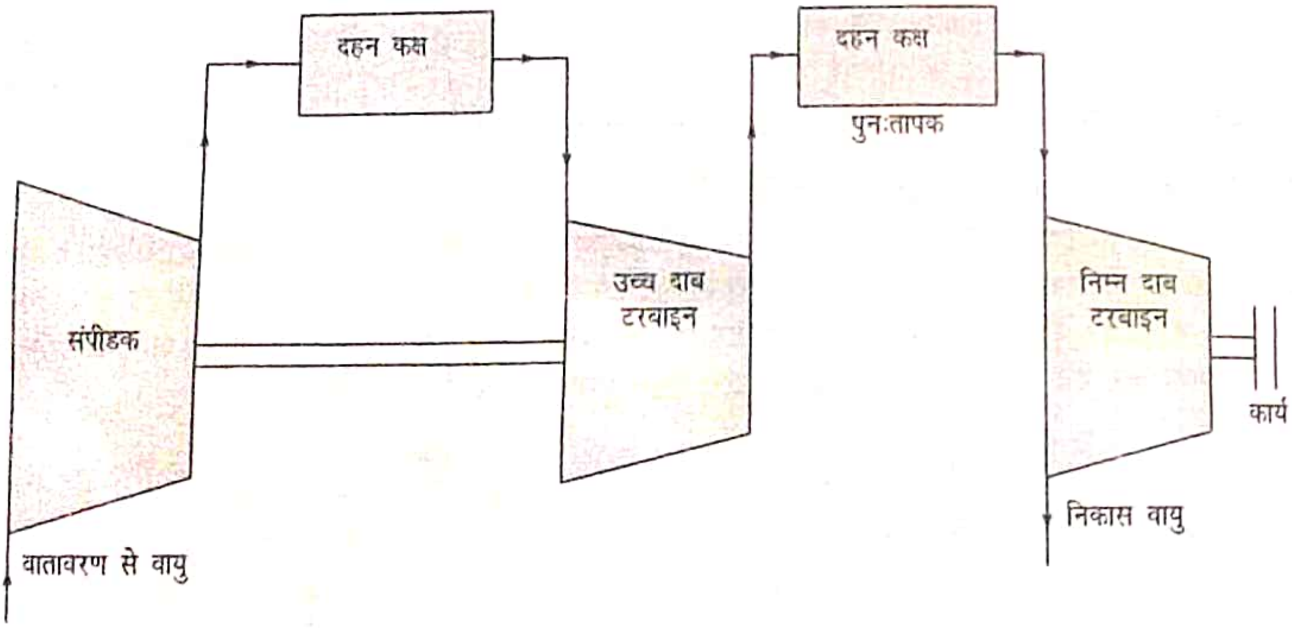
प्रक्रम 5-6—प्रसारण प्रक्रम (टरबाइन में)

मध्य शीतलक की सहायता से संपीडक तथा टरबाइन के आकार भी छोटे हो जाते हैं तथा आवश्यकता पड़ने पर शीतल जल की उपलब्धता भी हो जाती है।

2. पुनस्तापक (Reheating Method)

शक्ति संयन्त्र की दक्षता वृद्धि के लिए हीटर का भी प्रयोग किया जाता है। हीटर को दो टरबाइनों के बीच में व्यवस्थित किया जाता है। इसमें दो टरबाइनों (उच्च दाब तथा निम्न दाब) में ह्रास ऊर्जा को हीटर की सहायता से पूरा किया जाता है।

सर्वप्रथम उच्च तापमान एवं उच्च दाब गर्म गैसों को उच्च दाब टरबाइन में प्रसारित कराते हैं। फिर हीटर की सहायता से गर्म करके उसे निम्न दाब टरबाइन में भेजते हैं तथा शाफ्ट पर कार्य करते हैं। हीटर की सहायता से हम ज्यादा कार्य शाफ्ट पर प्राप्त करते हैं जिससे तापीय दक्षता में वृद्धि होती है।



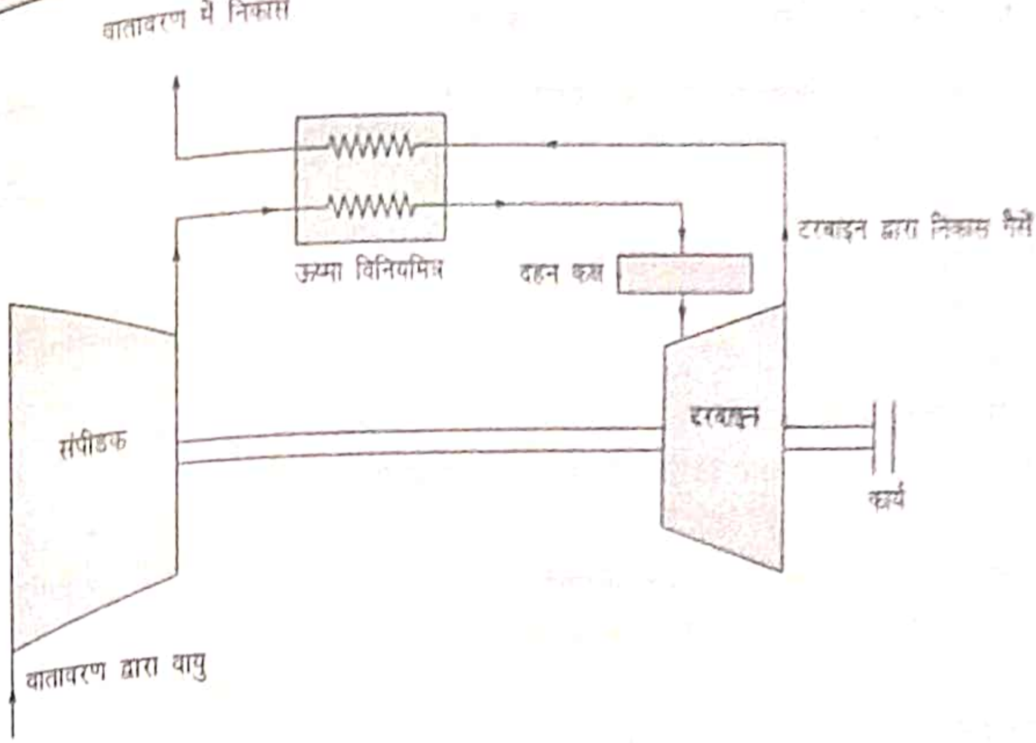
चित्र 12.11–Reheating Method

3. ऊष्मा विनियमित्र (Heat Exchanger or Regenerator)

इस विधि में संपीडित वायु को टरबाइन की निकास गैसों द्वारा गर्म किया जाता है। गर्म करने के लिए ऊष्मा विनियमित्र का इस्तेमाल किया जाता है। हम जानते हैं कि टरबाइन में बची गैसों में तापमान होता है तथा इस तापमान का इस्तेमाल हम संपीडित वायु को गर्म करने में प्रयोग करते हैं। संपीडित वायु का तापमान, टरबाइन के निकास के तापमान पर निर्भर करता है।

यह विधि मुख्यतः बड़े शक्ति संयन्त्रों में प्रयोग की जाती है।

Study PowerPoint



चित्र 12.12–Heat Exchanger or Regenerator

12.7. गैस टरबाइन की तापीय दक्षता को प्रभावित करने वाले कारक

गैस टरबाइन की तापीय दक्षता को प्रभावित करने वाले विभिन्न कारक निम्नलिखित हैं—

(i) दाब अनुपात (Pressure Ratio)

(ii) टरबाइन का प्रवेश तापमान (Inlet temperature of turbine)

(iii) संपीडक का प्रवेश तापमान (Inlet temperature of compressor)

(iv) संपीडक दक्षता ($\eta_{comp.}$) (Compressor efficiency)

(v) टरबाइन दक्षता ($\eta_{turbine}$) (Turbine efficiency)

(i) दाब अनुपात (Pressure Ratio)—

चरम विन्दु पर दाब अनुपात बढ़ने पर गैस टरबाइन की तापीय दक्षता बढ़ती है। चरम विन्दु पर पहुँचने के पश्चात् दाब में बढ़ोत्तरी पर तापीय दक्षता घटती है।

(ii) टरबाइन का प्रवेश तापमान (Inlet temperature of turbine)

अन्य घटकों को नियत मानते हुए यदि टरबाइन के प्रवेश तापमान में बढ़ोत्तरी होती है तो टरबाइन की तापीय दक्षता में वृद्धि होती है।

(iii) संपीडक का प्रवेश तापमान (Inlet temperature of compressor)

संपीडक का प्रवेश तापमान बढ़ने पर टरबाइन की तापीय दक्षता में कमी होती है तथा तापमान घटने पर तापीय दक्षता में वृद्धि होती है।

(iv) टरबाइन एवं संपीडक दक्षता (Turbine and compressor efficiency)

दोनों में बढ़ोतरी या घटोत्तरी से गैस टरबाइन की तापीय दक्षता सदैव परिवर्तनशील रहती है।

❑ 12.8. गैस टरबाइन शक्ति संयन्त्र का परीक्षण

सामान्यत: गैस टरबाइन शक्ति संयन्त्र में दो परीक्षण होते हैं—

(i) दहन भट्टी में ईंधन की खपत की गणना करना (Calculation of fuel consumption in combustor)

(ii) ऊर्जा संतुलन परीक्षण (Energy balance test)

(i) दहन भट्टी में ईंधन की खपत की गणना करना—

दहन भट्टी मे ईंधन की खपत की गणना kg/kWh में की जाती है। विशिष्ट ईंधन की खपत की गणना संयन्त्र की दक्षता पर निर्भर करता है।

(ii) ऊर्जा संतुलन परीक्षण

इस परीक्षण से ईंधन खपत तथा द्रव्यमान प्रवाह दर की गणना की जाती है।

निम्न घटक की गणना भी की जाती है—

- प्रत्येक अवयव का प्रवेश एवं निकास तापमान।
- प्रत्येक अवयव का प्रवेश एवं निकास दाब।
- संपीडक के लिए आवश्यक ऊर्जा।
- एन्थाल्पी में परिवर्तन प्रवेश एवं निकास।
- स्नेहन तेल की गणना।
- ऊर्जा हानि आदि।

उपरोक्त की गणना के पश्चात् ऊर्जा संतुलन पत्रक (Heat balance sheet) तैयार किया जाता है।

❑ 12.9. गैस टरबाइन में प्रयुक्त प्रमुख ऊष्मागतिकी चक्र

गैस टरबाइन में दो प्रकार के ऊष्मागतिकी चक्र प्रयोग किए जाते हैं—

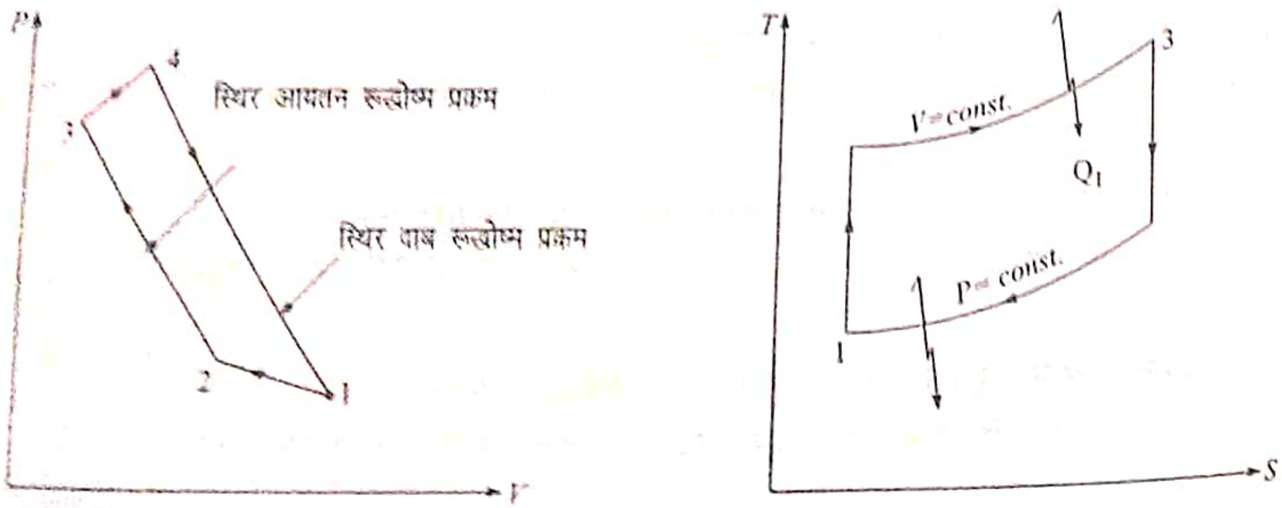
(i) एटकिन्सन चक्र (Atkinson cycle)

(ii) ब्रेटन चक्र या जूल चक्र (Brayton cycle or Joule cycle)

(i) एटकिन्सन चक्र (Atkinson cycle)

इस चक्र को डा० जे० एटकिन्सन द्वारा प्रतिपादित किया गया था, इसलिए इसे एटकिन्सन चक्र कहते हैं। इस चक्र में दो रूद्धोष्म प्रक्रम (Adiabatic process) होते है तथा एक स्थिर आयतन दूसरा स्थिर दाब प्रक्रम होता है।

आरेख का $P-V$ एवं $T-S$ आरेख निम्न है—



चित्र 12.13

Study PowerPoint

चार प्रक्रम निम्नलिखित हैं—

प्रक्रम 1-2—स्थिर दाब पर ऊष्मा निष्कासन

प्रक्रम 2-3—रूद्धोष्म संपीडन प्रक्रम

प्रक्रम 3-4—स्थिर आयतन पर प्रदत्त ऊष्मा

प्रक्रम 4-1—रूद्धोष्म प्रसारण प्रक्रम

वायु का द्रव्यमान एकांक मानते हुए—

$$\text{संपीडन अनुपात } \alpha = \frac{V_2}{V_3}$$

$$\text{प्रसारण अनुपात } r = \frac{V_1}{V_4}$$

आरेख से,

$$\text{स्थिर आयतन पर प्रदत्त ऊष्मा} = C_V (T_4 - T_3)$$

$$\text{स्थिर दाब पर निष्कासित ऊष्मा} = C_P (T_1 - T_2)$$

$$\text{कार्य} = \text{प्रदत्त ऊष्मा} - \text{निष्कासित ऊष्मा}$$

$$C_V (T_4 - T_1) - C_P (T_1 - T_2)$$

$$\text{चक्र की तापीय दक्षता} = \frac{\text{कार्य}}{\text{प्रदत्त ऊष्मा}}$$

$$= \frac{C_V (T_4 - T_3) - C_P (T_1 - T_2)}{C_V (T_4 - T_1)}$$

$$\eta_{\text{तापीय}} = (1 - \gamma)\frac{(T_1 - T_2)}{(T_4 - T_1)} \quad \ldots$$

$$\left[\because \frac{C_P}{C_V} = \gamma\right]$$

स्थिर दाब प्रक्रम 1-2 के दौरान

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{T_2}{T_1} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{\alpha}{r} \quad \ldots(i)$$

$$\left[\because \frac{V_2}{V_1} = \frac{V_2}{V_3} \times \frac{V_3}{V_1} = \frac{V_2}{V_3} \times \frac{V_4}{V_1}\right] (V_4 = V_3)$$

रूद्धोष्म सम्पीडन प्रक्रम 2-3 के दौरान

$$\frac{T_3}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_3}\right)^{\gamma - 1}$$

$$\frac{T_3}{T_2} = (\alpha)^{\gamma - 1}$$

Study PowerPoint

$$T_3 = T_2 (\alpha)^{\gamma-1} \quad \dots(ii)$$

प्रक्रम 4-1 के दौरान

$$\frac{T_4}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_4}\right)^{\gamma-1} = (r)^{\gamma-1} \quad \dots(iii)$$

$$T_1 = \frac{T_4}{(r)^{\gamma-1}}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{\alpha}{r}$$

$$T_2 = T_1 \times \left(\frac{\alpha}{r}\right)$$

T_1 का मान समीकरण (iii) में रखने पर,

$$T_2 = \frac{T_4}{(r)^{\gamma-1}} \times \frac{\alpha}{r}$$

$$T_2 = \frac{\alpha T_4}{r^{\gamma}} \quad \dots(iv)$$

T_2 का मान समीकरण (iii) में रखने पर,

$$T_3 = \frac{\alpha T_4}{r^{\gamma}} \cdot (\alpha)^{\gamma-1}$$

$$= \left(\frac{\alpha}{r}\right)^{\gamma} \cdot T_4$$

T_1, T_2, T_3 का मान समीकरण (A) में रखने पर,

$$\eta_{thermal} = (1-\gamma) \times \left[\frac{\frac{T_4}{r^{\gamma-1}} - \alpha T_4}{T_4 - \left(\frac{\alpha}{r}\right)^{\gamma} \cdot T_4}\right]$$

$$\boxed{\eta_{thermal} = (1-\gamma)\left(\frac{r-\alpha}{r^{\gamma} - \alpha^{\gamma}}\right)}$$

(ii) ब्रेटन चक्र या जूल चक्र

यह एक सैद्धान्तिक चक्र है जो आदर्श गैस पर स्थिर दाब पर प्राप्त होता है। इसे जूल चक्र भी कहा जाता है।

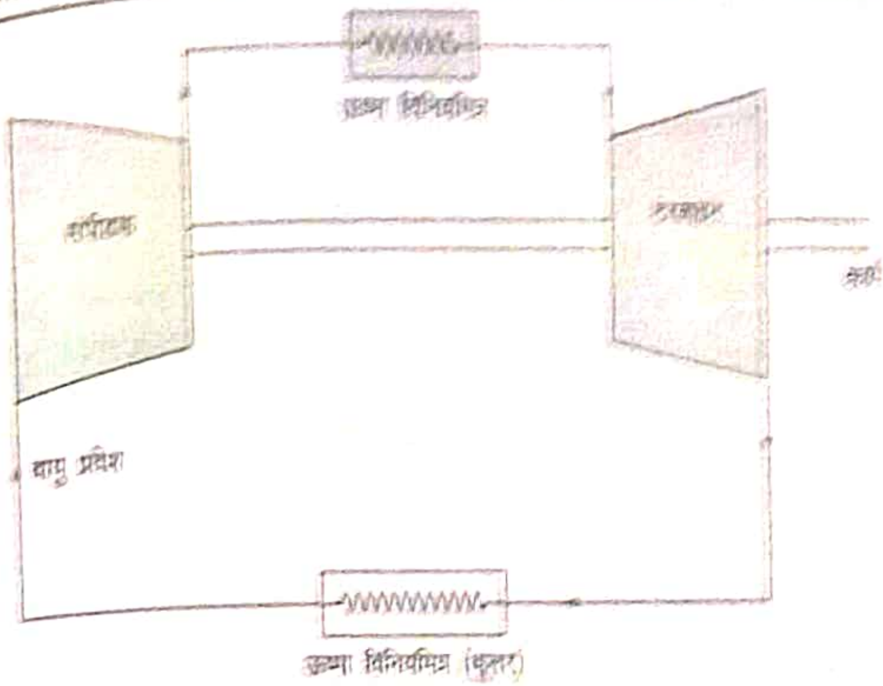
प्रक्रम 1-2—वायु का संपीडन आइसन्ट्रापिक प्रक्रम पर संपीडक में होता है। इस प्रक्रम के दौरान ऊष्मा का प्रवाह नहीं होता है।

प्रक्रम 2-3—इस प्रक्रम के दौरान दहन कक्ष से ऊष्मा का प्रवाह होता है जिसके कारण वायु (गैसों) के तापमान तथा आयतन में वृद्धि होती है। प्रक्रम के दौरान दाब स्थिर होता है।

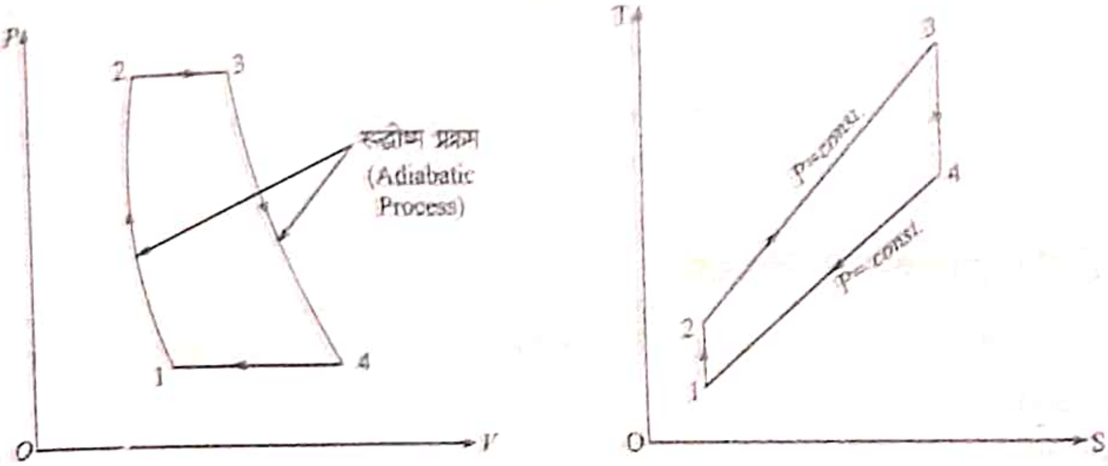
प्रक्रम 3-4—इस प्रक्रम में गैसों का विस्तारण टरबाइन में होता है तथा ऊष्मा का प्रवाह नहीं होता है।

प्रक्रम 4-1—इस प्रक्रम के दौरान ऊष्मा को कूलर की सहायता से ठण्डा किया जाता है तथा आयतन एवं तापमान दोनों में कमी होती है। चरण के दौरान दाब में कमी होती है।

Study PowerPoint



चित्र 12.14–जूल चक्र के प्रमुख अवयव



चित्र 12.15

$$\text{चक्र की ऊष्मीय दक्षता} = \frac{\text{किया गया कार्य}}{\text{ऊष्मा प्रदत्त}}$$

$$\eta_{th} = \frac{mc_p(T_3 - T_2) - mc_p(T_4 - T_1)}{mc_p(T_3 - T_2)}$$

$$\eta_{thermal} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} \quad \text{...(i)}$$

आइसन्ट्रापिक प्रसारण प्रक्रम से

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

Study PowerPoint

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

$$\frac{P_2}{P_1} = r_p = \text{दाब अनुपात}$$

$$T_2 = T_1 \cdot (r_p)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad \text{...(ii)}$$

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$T_3 = T_4 \cdot (r_p)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

समीकरण (ii) एवं समीकरण (iii) का मान समीकरण (i) में रखने पर

$$\eta_{thermal} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_4 \cdot (r_p)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - T_1 \cdot (r_p)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}$$

$$\boxed{\eta_{thermal} = \frac{1}{(r_p)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}}$$

12.10. गैस टरबाइन के अनुप्रयोग

गैस टरबाइन मुख्यत: निम्न क्षेत्रों में प्रयोग किया जाता है—

- टर्बोजेट इंजन
- रेलवे
- औद्योगिक अनुप्रयोगों में
- विद्युत शक्ति उत्पादन में
- समुद्री क्षेत्रों में आदि।

12.11. गैस टरबाइन के लाभ

(i) अन्य टरबाइनों की तुलना में यान्त्रिक दक्षता अधिक होती है।

(ii) फ्लाई व्हील की आवश्यकता नहीं होती है।

(iii) सस्ते ईंधन जैसे पैराफिन का प्रयोग किया जा सकता है।

(iv) टरबाइन का भार कम होता है।

(v) टरबाइन का डिजाइन सरल होता है।

Study PowerPoint

12.12. गैस टरबाइन की हानियाँ

(i) तापीय दक्षता कम होती है।

(ii) विशेष शीतलन प्रक्रम की आवश्यकता होती है।

(iii) शुरू करने में दिक्कत होती है।

(iv) अधिक निकास गैस उत्पन्न करती है।

(v) ईंधन नियन्त्रण कठिन होता है।

12.13. ऊष्मा विनियमित्र (Heat Exchanger)

ऊष्मा विनियमित्र एक ऐसा उपकरण है जिसकी सहायता से ऊष्मा का स्थानान्तरण एक द्रव से दूसरे द्रव में किया जाता है जो भिन्न-भिन्न तापमान पर होते हैं।

ऊष्मा विनियमित्र का मुख्य उद्देश्य आवश्यकतानुसार द्रव को ठण्डा एवं गर्म करना होता है।

उदाहरण—बॉयलर, संघनित्र, शीतलक मीनार, मितोपयोजक, रेडियेटर, पूर्व-तापक आदि।

गर्म द्रव से ठण्डे द्रव की ओर ऊष्मा का स्थानान्तरण निम्न प्रक्रमों द्वारा होता है—

(a) द्रव एवं दीवार के बीच संवहन

(b) संचरण द्वारा (दीवारों के बीच)

(c) दीवार तथा द्वितीय द्रव के बीच संवहन

12.14. ऊष्मा विनियमित्र का वर्गीकरण

विभिन्न मानक है जिसके आधार पर ऊष्मा विनियमित्र का वर्गीकरण किया जाता है। जैसे—ऊष्मा स्थानान्तरण प्रक्रम की प्रकृति, द्रव प्रवाह की सापेक्ष दिशा, ऊष्मा विनियमित्र का डिजाइन एवं रचनात्मक विवरण तथा द्रव की भौतिक अवस्था आदि।

(i) ऊष्माविनियमित्र की प्रकृति के आधार पर वर्गीकरण

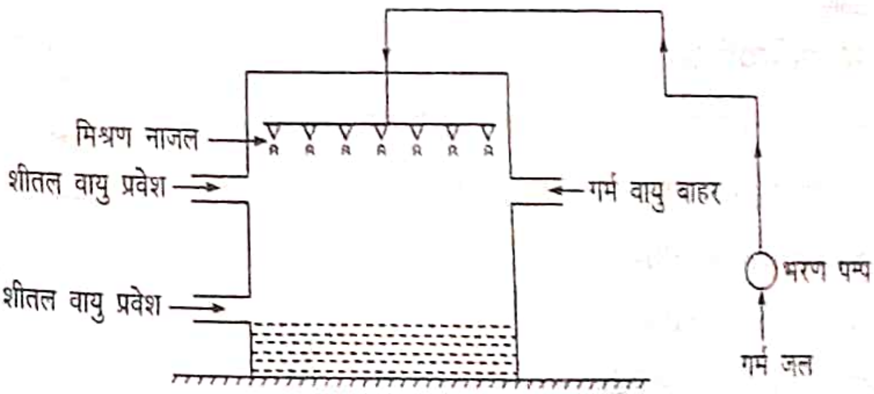
दो वर्गों में विभाजित किया गया है—

(a) खुला या प्रत्यक्ष सम्पर्क ऊष्मा विनियमित्र

(b) अप्रत्यक्ष सम्पर्क ऊष्मा विनियमित्र

(a) खुला या प्रत्यक्ष सम्पर्क ऊष्मा विनियमित्र—इस प्रकार के ऊष्मा विनियमित्र में दोनों द्रव एक-दूसरे के प्रत्यक्ष सम्पर्क में आते हैं तथा अपनी ऊर्जा का स्थानान्तरण करते हैं।

उदाहरण—शीतल मीनार, प्रधार संघनित्र, भरण तापक।



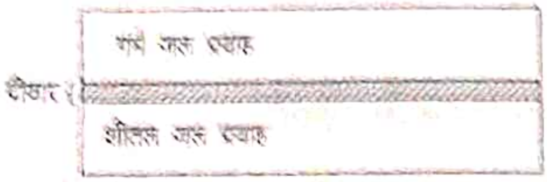
चित्र 12.16

Study PowerPoint

(b) अप्रत्यक्ष सम्पर्क ऊष्मा विनिमयित्र—इस विनिमयित्र में गर्म एवं ठण्डा द्रव एक-दूसरे के सम्पर्क में नहीं आते हैं।

उदाहरण—खोल एवं ट्यूब ऊष्मा विनिमयित्र, दोहरे पाइप ऊष्मा विनिमयित्र। यह दो वर्गों में विभाजित है—

- रिजनरेटर ऊष्मा विनिमयित्र
- रिक्यूपरेटर ऊष्मा विनिमयित्र

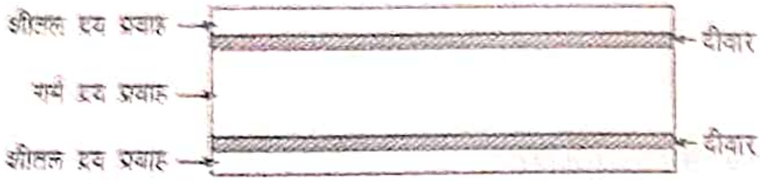


चित्र 12.17

(ii) द्रव प्रवाह की सापेक्ष दिशा के आधार पर

समान्तर प्रवाह ऊष्मा विनिमयित्र

इसमें गर्म एवं ठण्डे द्रव एक ही दिशा में प्रवाहित होते हैं।

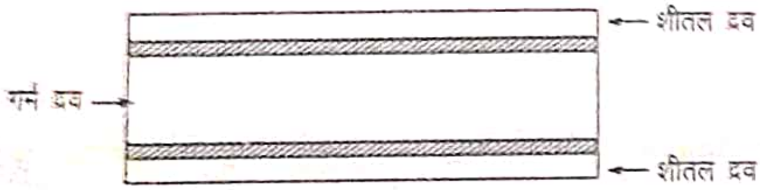


चित्र 12.18

विपरीत प्रवाह ऊष्मा विनिमयित्र

इसमें गर्म एवं ठण्डे द्रव एक-दूसरे के विपरीत दिशा में प्रवाहित होते हैं।

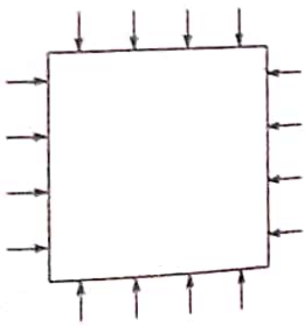
इस ऊष्मा विनिमयित्र से अधिकतम ऊष्मा का स्थानान्तरण होता है।



चित्र 12.19

क्रॉस प्रवाह ऊष्मा विनिमयित्र

इसमें गर्म एवं ठण्डे द्रव एक-दूसरे से समकोण पर मिलते हैं।



चित्र 12.20

(iii) ऊष्मा विनिमयित्र की संरचना के आधार पर—

(a) ट्यूब आकार ऊष्मा विनिमयित्र

(b) प्लेट आकार ऊष्मा विनिमयित्र

(c) प्लेट फिन आकार ऊष्मा विनिमयित्र

Study PowerPoint

(ii) द्रव की अवस्था के आधार पर—

(a) वाष्पित्र ऊष्मा विनिमयित्र

(b) संघनित्र ऊष्मा विनिमयित्र

12.15. कुल ऊष्मा स्थानान्तरण गुणांक (Overall Heat Transfer Coefficient)

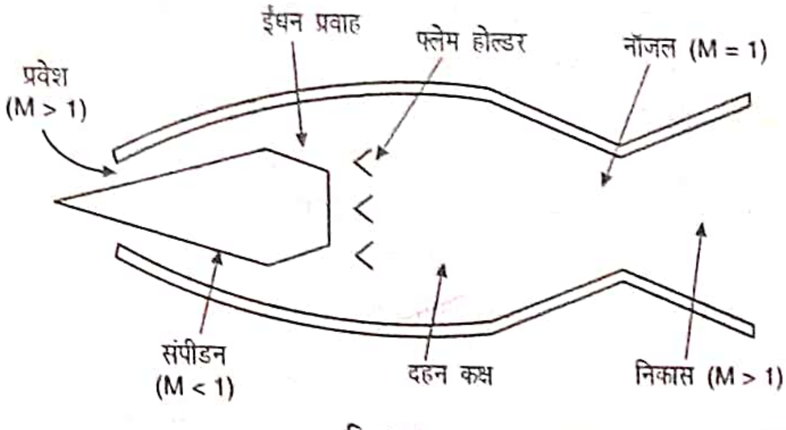
ऊष्मा विनिमयित्र के विश्लेषण के लिए विभिन्न प्रचालन आँकड़ों की आवश्यकता होती है। कुल ऊष्मा स्थानान्तरण ...क ऊष्मा विनिमयित्र के विश्लेषण के लिए प्रयोग किया जाता है।

यह विभिन्न तापीय प्रतिरोध के योग से मिलकर बना होता है जो ऊष्मा प्रवाह के पथ में पाया जाता है।

12.16. रैमजेट इंजन : परिचय एवं क्रियाविधि

एक रैमजेट, जिसे कभी-कभी एक फ्लाइंग स्टोव पाइप या एक Acrothermdynamic duct के रूप में संदर्भित किया ...ता है। एक एयरब्रेकिंग जेट इंजन का एक रूप है, जो एक अक्षीय कम्प्रेसर या एक केन्द्र प्रसारक कम्प्रेसर के बिना आने ...ली हवा को संपीडित करने के लिए इंजन के आगे गति का उपयोग करता है। क्योंकि रैमजेट शून्य एयरस्पीड पर जोर नहीं ...दा कर सकते हैं, वे एक विमान को एक ठहराव से स्थानान्तरित नहीं कर सकते। इसलिए एक रैमजेट-संचालित वाहन को ...क रॉकेट की तरह एक सहायक टेक-ऑफ की आवश्यकता होती है, जो इसे गति प्रदान करने के लिए सहायता करता है, ...हाँ से यह जोर लगाने लगता है। रैमजेटस मच 3 (2,300 मील प्रति घण्टे, 3,700 किमी/घण्टा) के आस-पास सुपरसोनिक ...ति पर सबसे कुशलता से काम करते हैं। इस तरह का इंजन मच 6 (4,600 मी प्रति घण्टे, 7,400 किमी/घण्टा) की गति तक ...ाम कर सकता है।

रामजेट ऐसे अनुप्रयोगों में विशेष रूप से उपयोगी हो सकते हैं, जिन्हें उच्च गति के उपयोग के लिए एक छोटे और ...रल तंत्र की आवश्यकता होती है। जैसे कि मिसाइल/हथियार डिजाइनर देख रहे हैं कि जोड़ा रेंज ही रेंज देने के लिए आर्टिलरी ...ेल में रैमजेट तकनीक का उपयोग किया जाता है। 120 मिमी मोर्टार शेल, यदि रैमजेट द्वारा सहायता प्रदान की जाती है तो ...ाना जाता है कि यह 35 किमी (22 मील) की सीमा प्राप्त करने में सक्षम है। उनका उपयोग सफलतापूर्वक भी किया गया है, ...हालांकि कुशलतापूर्वक नहीं, हेलिकॉप्टर रोटर्स के अंत में टिप जेट के रूप में 2 रैमजेट पल्जेट्स से भिन्न होते हैं जो एक ...आन्तरायिक दहन का उपयोग करते हैं। रैमजेट्स एक निरंतर दहन प्रक्रिया को रोजगार देते हैं। जैसे-जैसे गति बढ़ती है, एक ...रैमजेट की दक्षता कम होने लगती है, क्योंकि संपीडन के कारण इनलेट में हवा का तापमान बढ़ जाता है, जैसे कि इनलेट ...तापमान निकास तापमान के करीब पहुँच जाता है। जेट के रूप में कम ऊर्जा निकाली जा सकती है। अभी तक उच्च गति पर ...उपयोग करने योग्य थ्रस्ट का उत्पादन करने के लिए रैमजेट को संशोधित किया जाना चाहिए ताकि आने वाली हवा संकुचित न ...हो (इसलिए गर्म हो) लगभग उतना ही।

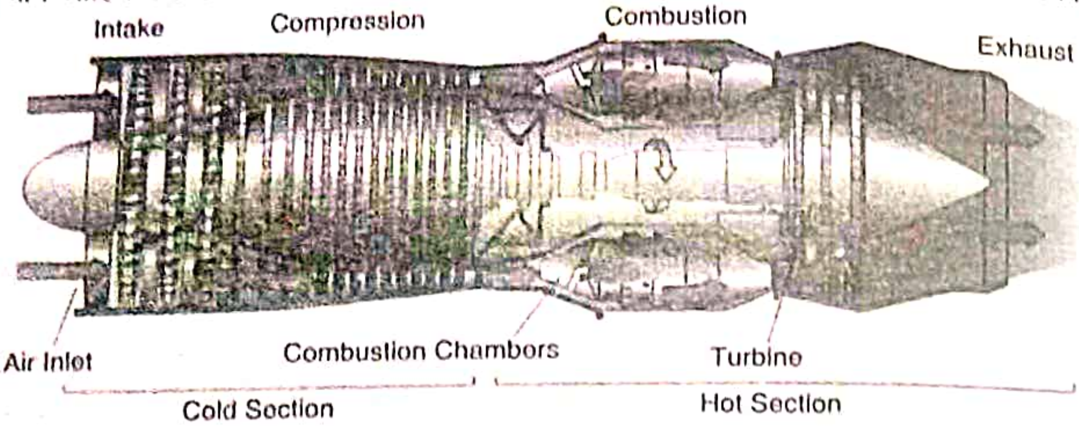


चित्र 12.21

Study PowerPoint

12.17. टर्बोजेट इंजन

टर्बोजेट एक एयरब्रेकिंग जेट इंजन है, जिसका इस्तेमाल आमतौर पर विमान में किया जाता है। इसमें एक प्रोपेलिंग नॉजल के साथ एक गैस टरबाइन होता है। गैस टरबाइन में एक एयर इनलेट, एक कम्प्रेशर, एक दहन कक्ष और एक टरबाइन होता है, (जो कम्प्रेशर को चलाता है)। कम्प्रेशर से संपीडित हवा को दहन कक्ष में ईंधन से गर्म किया जाता है और फिर टरबाइन के माध्यम से विस्तार करने की अनुमति दी जाती है। टरबाइन निकास का विस्तार प्रोपेलिंग नॉजल में किया जाता है। जहाँ यह थ्रस्ट प्रदान करने के लिए उच्च गति के लिए त्वरित होता है। दो इंजीनियरों, यूनाइटेड किंगडम में फ्रैंक व्हिटेल और जर्मनी में हंस वॉन ओहिन ने 1930 के दशक के अंत में अवधारणा को स्वतन्त्र रूप व्यवहारिक इंजन में विकसित किया।



चित्र 12.22

जबकि टर्बोजेट एविएशन के लिए गैस टरबाइन पॉवर प्लांट का पहला रूप था, इसे मूल अवधारणा के अन्य विकासों द्वारा बड़े पैमाने पर उपयोग में लाया गया है। ऑपरेशन में, टर्बोजेट आमतौर पर हवा की अपेक्षाकृत कम मात्रा में बहुत अधिक सुपरसोनिक गति को तेज करके उत्पन्न करते हैं, जबकि टर्बोफैन हवा की एक बड़ी मात्रा को कम ट्रासोनिक गति में तेजी लाते है। टर्बोजेट्स को टर्बोप्राप्स द्वारा धीमे विमान में बदल दिया गया है, क्योंकि उनके पास बेहतर विशिष्ट ईंधन की खपत है। मध्यम गति पर, जहाँ प्रोपेलर अब कुशल नहीं है, टर्बोप्रॉप को टर्बोफैन द्वारा प्रतिस्थापित किया गया है। टर्बोफैन शांत है, और इसमें टर्बोजेट की तुलना में बेहतर रेंज की विशिष्ट ईंधन खपत है। सुपरसोनिक विमान के लिए टर्बोजेट अत्यधिक कुशल हो सकता है।

टर्बोजेट में कम वाहन गति पर खराब दक्षता होती है, जोकि एयरक्राफ्ट के अलावा अन्य वाहनों में उनकी उपयोगिता को सीमित करती है। टर्बोजेट इंजन का उपयोग विमानों के अलावा अन्य वाहनों के अलग-अलग मामलों में किया जाता है, आमतौर पर भूमि गति रिकॉर्ड पर प्रयासों के लिए, जहाँ वाहन 'Turbine Powered' होते हैं, यह आमतौर पर टर्बोजेट इंजन के उपयोग से अधिक होता है, गैस टरबाइन इंजन का उपयोग घूर्णन आउटपुट शाफ्ट को चलाने के लिए किया जाता है। ये हेलीकॉप्टर और ओवरक्राफ्ट में आम है। कॉनकार्ड पर टर्बोजेट्स का उपयोग किया गया था और TU-144 के लम्बी दूरी के संस्करणों को सुपरसोनिक रूप से यात्रा करने के लिए लम्बी अवधि बिताने की आवश्यकता थी। अपनी उच्च निकास गति, छोटे ललाट क्षेत्र और सापेक्ष सादगी के कारण मध्यम दूरी की क्रूज मिसाइलों में टर्बोजेट अभी भी आम है। वे अभी भी मिग-25 जैसे कुछ सुपरसोनिक सेनानियों पर उपयोग किए जाते हैं। लेकिन अधिकांश सुपरसोनिक रूप से यात्रा करने में बहुत कम समय खर्च करते हैं और सुपरबर्नर को सुपरसोनिक स्प्रिंट के लिए निकास गति बढ़ाने के लिए उपयोग करते हैं।

Study PowerPoint

12.18. जेट इंजन के अनुप्रयोग

जेट इंजन एक प्रकार का रिएक्शन इंजन है, जो एक तेज गति वाले जेट को डिस्चार्ज करता है, जो प्रोपल्शन द्वारा थ्रस्ट उत्पन्न करता है। इस व्यापक परिभाषा में एयरब्रेकिंग जेट इंजन (टर्बोजेट, टर्बोफैन, रैमजेट और पल्स जेट) शामिल हैं। सामान्य तौर पर जेट इंजन दहन इंजन होते हैं। आम बोलचाल में 'जेट-इंजन' शब्द का प्रयोग केवल एयरब्रेकिंग जेट इंजन के लिए किया जाता है। ये आमतौर पर एक टरबाइन द्वारा संचालित एक घूर्णन हवा कंप्रेशर की सुविधा देते हैं, बचे हुए शक्ति के साथ एक प्रोपेलिंग नॉजल के माध्यम से जोर प्रदान करते हैं। इस प्रक्रिया को ब्रेटन थर्मोडायनामिक चक्र के रूप में जाना जाता है। जेट एयरक्राफ्ट लम्बी दूरी की यात्रा के लिए ऐसे इंजन का उपयोग करते हैं। प्रारम्भिक जेट विमानों ने टर्बोजेट का इस्तेमाल किया जो उप-उड़ान के लिए अपेक्षाकृत अक्षम थे। अधिकांश आधुनिक सबसोनिक जेट विमान अधिक जटिल उच्च बाइपास टर्बोफैन इंजन का उपयोग करते हैं। वे लम्बी दूरी पर पिस्टन और प्रोपेलर एयरोइन्जन की तुलना में उच्च गति और अधिक ईंधन दक्षता देते हैं। उच्च गति अनुप्रयोगों (रैमजेट और स्क्रैमजेट) के लिए बनाए गए कुछ वायु दाब इंजन की गति के प्रभाव का उपयोग करते हैं।

विभिन्न तापीय प्रतिरोध

(a) *संवहन प्रतिरोध* $= \dfrac{1}{h_i A_i}$ *(आंतरिक प्रवाह)*

(b) *संचरण प्रतिरोध* $= \left[\dfrac{\ln \frac{r_o}{r_i}}{2\pi k l}\right]$

(c) *अशुद्धि के कारण अवसाद प्रतिरोध* $= \dfrac{F_i}{A_i}$ या $\dfrac{F_o}{A_o}$

(d) *संचरण प्रवाह* $= \dfrac{1}{h_o A_o}$ *[बाह्य प्रवाह]*

कुल प्रतिरोध $\Sigma R = \dfrac{1}{h_i A_i} + \dfrac{\ln \frac{r_o}{r_i}}{2\pi k l} + \dfrac{1}{h_o A_o} + \dfrac{F_i}{A_i} + \dfrac{F_o}{A_o}$

कुल ऊष्मा स्थानान्तरण गुणांक को U_o द्वारा प्रदर्शित किया जाता है—

$$U_o = \frac{1}{A_o \Sigma R}$$

$$\boxed{U_o = \frac{1}{A_o\left[\dfrac{1}{h_i A_i} + \dfrac{\ln \frac{r_o}{r_i}}{2\pi k l} + \dfrac{1}{h_o A_o} + \dfrac{F_i}{A_i} + \dfrac{F_o}{A_o}\right]}}$$

जहाँ

A_o = ट्यूब का बाहरी क्षेत्रफल ($\pi d_o L, \text{m}^2$)

A_i = ट्यूब का भीतरी क्षेत्रफल ($\pi d_i L, \text{m}^2$)

h_i = ऊष्मा स्थानान्तरण का परत गुणांक (Film coefficient of heat transfer) ($\text{W/m}^2\,°\text{C}$)

Study PowerPoint

r_i = ट्यूब की भीतरी सतह की आंतरिक त्रिज्या

r_o = ट्यूब की बाहरी त्रिज्या

k = तापीय चालकता (W/m°C)

l = ऊष्मा विनियमित्र की लम्बाई

h_o = ऊष्मा स्थानान्तरण का परत गुणांक बाहरी सतह का

F_i = फाउलिंग गुणांक भीतरी ट्यूब का

F_o = फाउलिंग गुणांक बाहरी ट्यूब का।

|| सारांश ||

- **गैस टरबाइन**–यह एक प्राथमिक चालक है जिसमें किसी प्रकार की ऊर्जा यान्त्रिक ऊर्जा में परिवर्तित हो जाती है।
- **मुख्य अवयव**

  (i) वायु संपीडक (ii) दहन भट्टी (iii) टरबाइन (iv) जनरेटर

  वायु संपीडक–यह वायु को संपीडित करने के लिए प्रयोग किया जाता है।

  यह दो वर्गों में विभाजित किया गया है–

  - धनात्मक विस्थापन संपीडक
  - घुमाऊ गति संपीडक

  दहन कक्ष–ईंधन के दहन के लिए प्रयोग किया जाता है।

  टरबाइन–प्राथमिक चालक होता है जो रोटर पर यान्त्रिक ऊर्जा उत्पन्न करता है।

  जनरेटर–रोटर की यान्त्रिक ऊर्जा को विद्युत ऊर्जा में स्थानान्तरित करता है।

  ईंधन–तीन प्रकार के ईंधन प्रयोग किए जाते हैं।

  - ठोस ईंधन–कोयला
  - द्रव ईंधन–पेट्रोलियम
  - गैस ईंधन–प्राकृतिक एवं अन्य गैसें।
- **गैस टरबाइन का वर्गीकरण**

  दो वर्गों में विभाजित किया गया है–

  (i) स्थिर दाब दहन गैस टरबाइन

  (a) खुला चक्र स्थिर दाब दहन गैस टरबाइन

  (b) बंद चक्र स्थिर दाब दहन गैस टरबाइन

  (ii) स्थिर आयतन दहन गैस टरबाइन
- **गैस टरबाइन की दक्षता वृद्धि के लिए प्रयुक्त विधियाँ–**

  (i) मध्य शीतलक विधि द्वारा

  (ii) पुन:तापक विधि द्वारा

  (iii) ऊष्मा विनियमित्र विधि द्वारा
- **गैस टरबाइन का परीक्षण विधि–**

  ईंधन खपत की गणना करना।

  ऊर्जा संतुलन की गणना।
- **एटकिन्सन चक्र**

  इसमें दो रूद्धोष्म प्रक्रम तथा एक स्थिर आयतन एवं एक स्थिर दाब प्रक्रम होता है।

Study PowerPoint

$$\eta_{Atkinsion} = (1-\gamma)\left(\frac{r-\alpha}{r^{\gamma}-\alpha^{\gamma}}\right)$$

$$r = \frac{V_1}{V_4}, \alpha = \frac{V_2}{V_3}$$

- **ब्रेटन चक्र**
इसे जूल चक्र भी कहते हैं। यह एक सैद्धान्तिक चक्र है।

$$\eta_{Brayton} = 1 - \frac{1}{(r_p)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}$$

$$r_p = \frac{P_2}{P_1}$$

- **ऊष्मा विनियमित्र**
ऊष्मा स्थानान्तरण के लिए प्रयुक्त उपकरण को ऊष्मा विनियमित्र कहते हैं।
ऊष्मा विनियमित्र के प्रकार–
(i) प्रत्यक्ष ऊष्मा विनियमित्र
(ii) अप्रत्यक्ष ऊष्मा विनियमित्र
(iii) समान्तर प्रवाह विनियमित्र
(iv) विपरीत प्रवाह विनियमित्र
(v) क्रॉस प्रवाह विनियमित्र
(vi) ट्यूब आकार ऊष्मा विनियमित्र
(vii) प्लेट आकार ऊष्मा विनियमित्र
(viii) प्लेट फिन ऊष्मा विनियमित्र
(ix) वाष्पित्र ऊष्मा विनियमित्र
(x) संघनित्र ऊष्मा विनियमित्र
- **कुल ऊष्मा स्थानान्तरण गुणांक**

$$U_o = \frac{1}{A_o\left[\frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln\frac{r_o}{r_i}}{2\pi k l} + \frac{1}{h_o A_o} + \frac{F_i}{A_i} + \frac{F_o}{A_o}\right]}$$

महत्वपूर्ण प्रश्न

1. बंद चक्र गैस टरबाइन का आरेख द्वारा वर्णन कीजिए। **(2003, 04, 07, 10)**
2. गैस टरबाइन तथा अंतर्दहन इंजन में अन्तर स्पष्ट कीजिए। **(2004)**
3. गैस टरबाइन में प्रयुक्त ऊष्मा विनियमित्र तथा अन्तः शीतलक का वर्णन कीजिए। **(2004)**
4. गैस टरबाइन को वर्गीकृत कीजिए। **(2005)**
5. ऊष्मा विनियमित्र को परिभाषित कीजिए। विभिन्न प्रकार के ऊष्मा विनियमित्र का वर्गीकरण कीजिए। **(2005)**
6. किसी गैस टरबाइन की तापीय दक्षता वृद्धि के लिए अंतः शीतलक एवं पुनः तापक को समझाइए। **(2005)**

Study PowerPoint

7. निम्न को परिभाषित कीजिए—
   (a) दाब अनुपात
   (b) टरबाइन का प्रवेश तापमान
   (c) संपीडक का प्रवेश तापमान
8. खुला चक्र एवं बंद चक्र में अन्तर स्पष्ट कीजिए। (2009)
9. गैस टरबाइन में प्रयुक्त ऊष्मागतिकी चक्र का वर्णन कीजिए। चक्रों का दाब-आयतन एवं तापमान-एन्थाल्पी आरेख बनाइए तथा तापीय दक्षता के लिए समीकरण प्रतिपादित कीजिए। (2009)
10. तापीय दक्षता के लिए प्रयुक्त विधि का वर्णन कीजिए। (2009)
11. निम्न को परिभाषित कीजिए—
   (a) अन्तःशीतलक
   (b) पुनःतापक (2009)
12. गैस टरबाइन के लिए प्रयुक्त अवयवों को लिखिए। गैस टरबाइन के सिद्धान्त को लिखिए। (2011)
13. गैस टरबाइन के लिए प्रयुक्त परीक्षण को लिखिए। (2011)
14. गैस टरबाइन को वर्गीकृत कीजिए। स्थिर दाब गैस टरबाइन का सिद्धान्त एवं क्रियाविधि लिखिए। (2012)
15. खुला चक्र गैस टरबाइन की क्रियाविधि को समझाइए। (2013)
16. गैस टरबाइन पर संक्षिप्त टिप्पणी लिखिए। (2014)

हल सहित उदाहरण

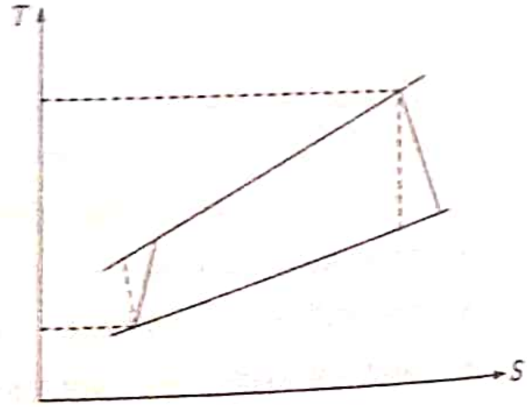
उदाहरण 1. एक सरल गैस टरबाइन में संपीडक एवं टरबाइन लगे हैं जिसकी आइसन्ट्रॉपिक दक्षता 85% है। संपीडक का प्रवेश तापमान 15°C है तथा चक्र के दौरान अधिकतम तापमान 700°C है। दाब अनुपात 4 है। यदि $C_p = 1.1$ kJ/kg K तथा $C_V = 0.786$ kJ/kg हो तो हानियों को नगण्य मानते हुए विशिष्ट आउटपुट एवं सकल दक्षता ज्ञात कीजिए।

हल : दिया है,

$$T_1 = 15°C$$
$$T_1 = 15 + 273 \text{ K}$$
$$T_1 = 288 \text{ K}$$
$$T_3 = 700°C$$
$$= 700 + 273 \text{ K}$$
$$= 973 \text{ K}$$
$$R_P = 4, r = 1.4$$
$$\eta_c = \eta_t = 0.85$$
$$C_P = 1.1 \text{ kJ/kg K} \quad \text{एवं} \quad C_V = 0.876 \text{ kJ/kg K}$$

(i) हम जानते हैं कि $= W_t - W_C = W_s$

$$W_T = C_P(T_3 - T_4)$$
$$W_C = C_P(T_2 - T_1)$$
$$\text{दाब अनुपात} = \frac{T_2}{T_1} = (R_P)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$
$$T_2 = 288 \times (4)^{\frac{1.4-1}{1.4}}$$



चित्र 12.23

Study PowerPoint

एवं

$$\eta_c = \frac{T_2' - T_1}{T_2 - T_1}$$

$$0.85 = \frac{427.9 - 288}{T_2 - 288}$$

$$T_2 = 452.6 \text{ K}$$

एव

$$\frac{T_3}{T_4'} = (R_P)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$T_4' = \frac{T_3}{(R_P)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}$$

$$T_4' = \frac{973}{(4)^{\frac{1.4-1}{1.4}}} = 645.8 \text{ K}$$

$$\eta_T = \frac{T_3 - T_4}{T_3 - T_4}$$

$$0.85 = \frac{973 - T_4}{973 - 654.8}$$

$$T_4 = 702.5 \text{ K}$$

विशिष्ट आउटपुट

$$W_s = C_p(T_3 - T_4) - C_p(T_2 - T_1)$$

$$= 1.1\,(973 - 702.5) - 1.1(452.6 - 288)$$

$$\boxed{W_s = 116.5 \text{ kJ/kg}}$$ **Ans.**

(ii) सकल दक्षता,

$$\eta_0 = \frac{W_s}{Q_{2-3}}$$

$$\eta_0 = \frac{W_s}{C_P(T_3 - T_2)} = \frac{116.49}{1.1(973 - 452.6)}$$

$$\eta_0 = 0.2035$$

$$\eta_0 = 20.35\%$$ **Ans.**

उदाहरण 2. एक गैस टरबाइन 1500 kW शक्ति उत्पन्न करता है। वायु सम्पीडक में 1 bar तथा 20°C पर 6 बार दाबानुपात से प्रवेश करता है। टरबाइन का अधिकतम प्रवेश तापमान 800°C , संपीडक दक्षता एवं सकल या कुल दक्षता क्रमश: 0.85 तथा 0.2 है। टरबाइन की दक्षता तथा वायु प्रवाह दर ज्ञात कीजिए। मानिए $\gamma = 1.4$

हल : दिया है, $P_1 = 1 \text{ bar}$

$$T_1 = 20°\text{C} = 293 \text{ K}$$

$$T_P = 6, \eta_C = 0.85, \eta_0 = 0.2$$

$$T_3 = 800°\text{C} = 1073 \text{ K}$$

दाब अनुपात

$$\frac{T_2'}{T_1} = (R_P)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

Study PowerPoint

$$T_2' = 293 \times (6)^{\frac{1.4-1}{1.4}}$$

$$T_2' = 489.2 \text{ K}$$

एवं

$$\eta_C = \frac{T_2' - T_1}{T_2 - T_1}$$

$$0.85 = \frac{489.2 - 293}{T_2 - 293}$$

$$T_2 = 523.8 \text{ K}$$

हम जानते हैं कि

$$\eta_{overall} = \frac{W_T - W_C}{Q_{2-3}}$$

$$\eta_0 = \frac{(T_3 - T_4) - (T_2 - T_1)}{T_3 - T_2}$$

$$0.2 = \frac{(1073 - T_4) - (523.8 - 293)}{1073 - 523.8}$$

$$T_4 = 732 \text{ K}$$

एवं

$$\frac{T_3}{T_4'} = (R_P)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$T_4' = \frac{T_3}{(R_P)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} = \frac{1073}{6^{\frac{1.4-1}{1.4}}}$$

$$T_4' = 642.9 \text{ K}$$

(i) टरबाइन की आइसन्ट्रापिक दक्षता (η_T)

$$\eta_T = \frac{T_3 - T_4}{T_3 - T_4'} = \frac{1073 - 732.4}{1073 - 642.9}$$

$$\eta_T = 0.79$$

$$\boxed{\eta_T = 79\%}$$ Ans.

विशिष्ट कार्य $W_S = W_T - W_C$

$$= C_P (T_3 - T_4) - C_P (T_2 - T_1)$$

$$= 1.005\,(1073 - 732.4) = 1.005\,(523.7 - 293)$$

$$= 110.4 \text{ kJ/kg}$$

द्रव्यमान प्रवाह दर $M_a = \dfrac{\text{शक्ति उत्पादित}}{\text{विशिष्ट कार्य}}$

$$= \frac{1500}{110.4}$$

$$\boxed{M_a = 13.58 \text{ kg/sec}}$$ Ans.

Study PowerPoint

उदाहरण 3. गैस टरबाइन यूनिट में संपीडक में वायु 1 bar तथा 10°C पर प्रवेश करती है। संपीडक का स्थैतिक दाब 0.9 बार तथा कुल दाब एवं तापमान 6 bar तथा 230°C है। वायु टरबाइन में 1 bar तथा 460°C पर प्रसारित होती है। यदि टरबाइन द्वारा कुल कार्य 1930 kW हो तथा वायु प्रवेश का वेग 132.8 m/sec हो तो निम्न की गणना कीजिए–

(a) आइसन्ट्रापिक दक्षता

(b) द्रव्यमान प्रवाह दर यदि क्षेत्रफल 0.1 m^2 हो

(c) टरबाइन का प्रवेश तापमान।

हल : दिया है—

$$T_1 = 10°C = 10 + 273\,K = 283\,K$$
$$T_2 = 230°C = 230 + 273\,K = 503\,K$$
$$T_4 = 460°C = 460 + 273\,K = 733\,K$$
$$P_1 = 1\text{ bar},\ P_2 = 6\text{ bar}$$
$$A = 0.1\text{ m}^2$$
$$P = 0.9\text{ bar} = 0.9 \times 10^5\text{ N/mm}^2$$

माना $C_P = 1.05$ kJ/kg K (टरबाइन के लिए)

$C_P = 1.13$ kJ/kg K (संपीडक के लिए)

$$\gamma = 1.4$$

हम जानते हैं कि—

(i) $\eta_C = \dfrac{T_2' - T_1}{T_2 - T_1}$ एवं $\dfrac{T_2'}{T_1} = (R_P)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$

$$T_2' = T_1 \times (R_P)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$
$$= 283 \times (6)^{\frac{1.4-1}{1.4}}$$
$$= 372.2\text{ K}$$

एवं
$$\eta_C = \frac{472.2 - 283}{503 - 283} = 0.86$$

$$\boxed{\eta_C = 86\%}$$ **Ans.**

(ii) द्रव्यमान प्रवाह दर

गैस समीकरण से,

$$P_1 V_1 = RT$$
$$V_1 = \frac{RT_1}{P_1}$$

माना $R = 300$ N-m/kg K (वायु के लिए)

$$V_1 = \frac{300 \times 274.6}{0.9 \times 10^5}$$
$$V_1 = 0.9153\text{ m}^3\text{/kg}$$

एवं
$$m = \frac{A_1 C_1}{V_1} = \frac{0.1 \times 132.8}{0.9153} = 14.51 \text{ kg/sec}$$

$$\boxed{m = 14.51 \text{ kg/sec}}$$ Ans.

(iii) टरबाइन का प्रवेश तापमान

$$W_S = 1930 \text{ kW}$$
$$W_S = W_T - W_C$$
$$W_S = m[C_P(T_3 - T_4) - C_P(T_2 - T_1)]$$
$$1930 = 14.51\,[1.05\,(T_3 - 733) - 1.13\,(503 - 283)]$$
$$\boxed{T_3 = 1055.1 \text{K}}$$ Ans.

उदाहरण 4. निम्न की गणना कीजिए–

(i) दाब अनुपात अधिकतम शक्ति आउटपुट के लिए

(ii) टरबाइन कार्य एवं संपीडक कार्य

(iii) शाफ्ट कार्य

(iv) कार्य अनुपात

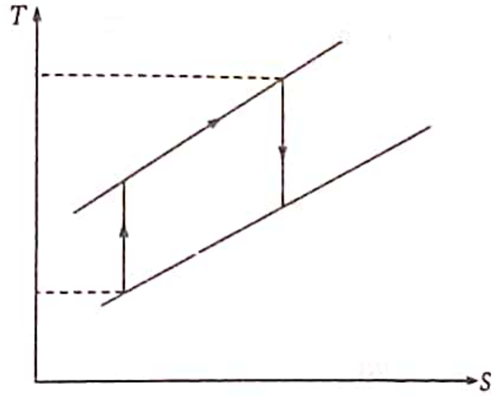
(v) शक्ति आउटपुट

यदि टरबाइन 295 K तथा 1085 K के बीच कार्य कर रहा हो तथा द्रव्यमान प्रवाह दर 22 kg/sec, $\gamma = 1.4$, C_P = 1.005 kJ/kg K हो।

हल : दिया है, $T_1 = 295$ K, $T_3 = 1085$ K, $m = 22$ kg/sec

(i) दाब अनुपात अधिकतम शक्ति आउटपुट के लिए

$$R_P = \left(\frac{T_3}{T_1}\right)^{\frac{\gamma}{2(\gamma-1)}}$$
$$R_P = \left(\frac{1085}{295}\right)^{\frac{1.4}{2(1.4-1)}}$$
$$\boxed{R_P = 9.77}$$ Ans.



चित्र 12.24

(ii) संपीडक कार्य $W_C = C_P(T_2 - T_1)$

$$\frac{T_2}{T_1} = R_P^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$
$$\frac{T_2}{295} = (9.77)^{\frac{1.4-1}{1.4}}$$
$$T_2 = 565.8 \text{ K}$$
$$W_C = 1.005\,(565.8 - 295)$$
$$\boxed{W_C = 272.15 \text{ kJ/kg}}$$ Ans.

टरबाइन कार्य
$$W_T = C_P(T_3 - T_4)$$
$$\frac{T_3}{T_4} = (R_P)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

Study PowerPoint

$$T_4 = \frac{1085}{(9.77)^{\frac{1.4-1}{1.4}}}$$

$$T_4 = 565.7 \text{ K}$$

$$W_T = 1.006\,(1085-565.7)$$

$$\boxed{W_T = 521.9 \text{ kJ/kg}}$$ **Ans.**

(iii) शॉफ्ट कार्य

$$W_S = W_T - W_C$$

$$= (521.9 - 272.15) \text{ kJ/kg}$$

$$W_S = 249.75 \text{ kJ/kg}$$ **Ans.**

(iv) कार्य अनुपात $= \frac{W_S}{W_T}$

$$R_W = \frac{249.75}{521.9} = 0.479$$ **Ans.**

(v) शक्ति आउट $= m \times W_S$

$$= 22 \times 249.75$$

$$\boxed{P = 549.5 \text{ kW}}$$ **Ans.**

उदाहरण 5. गैस टरबाइन शक्ति संयन्त्र में वायु संपीडक में 1 bar तथा 293 K पर प्रवेश करता है। संपीडन के बाद दाब में परिवर्तन 6 bar है। यदि संपीडक की आइसन्ट्रापिक दक्षता 0.84 हो तो संपीडक का निकास तापमान ज्ञात कीजिए।

हल : दिया है—$P_1 = 1$ bar, $P_2 = 6$ bar

माना $\gamma = 1.4$

$$\eta_c = 0.84, T_1 = 293 \text{ K}$$

$$(R_P)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = \frac{T_2^1}{T_1}$$

या

$$T_2' - \left(\frac{6}{1}\right)^{\frac{1.4-1}{1.4}} \times 293$$

$$= 489.12 \text{ K}$$

हम जानते हैं कि

$$\eta_C = \frac{T_2' - T_1}{T_2 - T_1}$$

$$0.84 = \frac{489.12 - 293}{T_2 - 293}$$

$$\boxed{T_2 = 526.48 \text{ K}}$$ **Ans.**

|| अभ्यास ||

Study PowerPoint

1. एक गैस टरबाइन में वायु 27°C तथा 0.98 bar पर संपीडक में प्रवेश करती है। सम्पीडित वायु का दाब 6 bar है तथा जब यह वायु कम्बस्टर से गुजरती है तो इसका तापमान 750°C है। सम्पीडक तथा टरबाइन की आइसन्ट्रॉपिक दक्षता 0.8 तथा 0.85 क्रमशः हैं। संयन्त्र की कुल दक्षता ज्ञात कीजिए।

   उत्तर—20.72%

2. किसी गैस टरबाइन शक्ति संयन्त्र का दाब अनुपात 4 है तथा सम्पीडक में वायु प्रवेश का तापमान 15°C है। यदि सम्पीडक तथा टरबाइन की आइसन्ट्रॉपिक दक्षता 0.85 हो तो संयन्त्र की दक्षता एवं कार्य की गणना कीजिए। चक्र के दौरान अधिकतम तापमान 800°C है।

   उत्तर—18.32%, 113.6 kJ/kg

3. एक खुला चक्र स्थिर दाब गैस टरबाइन में वायु सम्पीडक में 1 bar तथा 20°C पर प्रवेश करता है। सम्पीडन के पश्चात दाब 4.0 bar है। यदि टरबाइन एवं सम्पीडक दक्षता क्रमशः 0.85 एवं 0.80 हो एवं वायु ईंधन अनुपात 90:1 तथा द्रव्यमान प्रवाह दर 3kg/sec हो तो, शक्ति उत्पादित एवं चक्र की तापीय दक्षता ज्ञात कीजिए।

   उत्तर—$P = 252.84$ kW, $\eta_{th} = 18.16\%$

4. एक बंद चक्र गैस टरबाइन शक्ति संयन्त्र में वायु संपीडक में 1 bar तथा 27°C पर प्रवेश करती है तथा 6.0 bar पर बाहर निकलती है। चक्र का अधिकतम तापमान 890°C है। सम्पीडक एवं टरबाइन की आइसन्ट्रापिक दक्षता 82% एवं 85% हो तो संयन्त्र की कुल दक्षता ज्ञात कीजिए।

   उत्तर—21.16%

5. गैस टरबाइन के सम्पीडक में वायु 1 bar तथा 19°C पर प्रवेश करती है तथा 4 bar पर निकलती है एवं आइसन्ट्रापिक दक्षता 0.80 है। वायु का अधिकतम तापमान 800°C है एवं दाब में गिराव 0.1 bar है। वायु टरबाइन में 1 bar तक प्रसारित होती है तथा जिसकी दक्षता 0.84 है। संयन्त्र की तापीय दक्षता ज्ञात कीजिए।

   उत्तर—18.82%

6. एक गैस टरबाइन चक्र ब्रेटन चक्र पर आधारित है जिसमें संपीडक का दाब अनुपात 6 है तथा प्रवेश स्थिति 1 bar एवं 15°C है। चक्र के दौरान अधिकतम तापमान 870°C है। द्रव्यमान प्रवाह दर 25 kg/sec हो तो तापीय दक्षता एवं शक्ति आउट ज्ञात कीजिए।

   $C_p = 1.00$ kJ/kg K, $\gamma = 1.4$

   उत्तर—40.07%, 6669 kW

7. एक गैस टरबाइन में वायु 1 bar तथा 15°C पर प्रवेश करता है। अधिकतम तापमान यदि 800°C हो तो तापीय दक्षता एवं कार्य अनुपात स्थिर दाब चक्र के लिए ज्ञात कीजिए।

   $C_p = 1005$ kJ/kg K, $\gamma = 1.4$

   उत्तर—40%, 0.552

अन्य महत्त्वपूर्ण प्रश्न

1. गैस टरबाइन को आरेख द्वारा परिभाषित कीजिए।
2. गैस टरबाइन शक्ति संयन्त्र के प्रमुख अवयवों को लिखिए।
3. गैस टरबाइन में प्रयुक्त निम्न अवयवों के कार्यों की विवेचना कीजिए—
   (a) वायु संपीडक (b) दहन भट्टी (c) टरबाइन
4. गैस टरबाइन में प्रयुक्त अन्य अवयवों को लिखिए।

Study PowerPoint

5. विभिन्न प्रकार के संपीडक को वर्गीकृत कीजिए।
6. गैस शक्ति संयन्त्र में प्रयुक्त ईंधन को समझाइए।
7. विभिन्न प्रकार की दक्षताओं को समझाइए।
8. तापीय दक्षता को प्रभावित करने वाले विभिन्न घटकों को लिखिए।
9. निम्न का $T-S$ आरेख खीचिए—
   (a) टकिन्सन चक्र (b) ब्रेटन चक्र
10. गैस टरबाइन के लाभ एवं हानियों को लिखिए। गैस टरबाइन के अनुप्रयोगों की विवेचना कीजिए।
11. निम्न को समझाइए—
   (i) दाब अनुपात (ii) कार्य अनुपात (iii) संपीडन कार्य (iv) टरबाइन कार्य
   (v) शॉफ्ट कार्य
12. ऊष्मा विनियमित्र को परिभाषित कीजिए।
13. ऊष्मा विनियमित्र को वर्गीकृत कीजिए।
14. कुल ऊष्मा स्थानान्तरण गुणांक को परिभाषित कीजिए।

♦ बहुविकल्पीय प्रश्न

1. गैस टरबाइन कार्य करता है—
   (a) जूल चक्र (b) कॉरनाट चक्र
   (c) रैंकिन चक्र (d) ब्रेटन या एटकिन्सन चक्र
2. खुला चक्र गैस टरबाइन कार्य करता है—
   (a) ब्रेटन चक्र या एटकिन्सन चक्र (b) जूल चक्र
   (c) रैंकिन चक्र (d) कॉरनाट चक्र
3. कार्य अनुपात होता है—
   (a) कुल कार्य तथा प्रदत्त ऊष्मा का अनुपात होता है
   (b) कुल कार्य तथा टरबाइन कार्य का अनुपात होता है
   (c) वास्तविक ऊष्मा तथा आइसन्ट्रापिक ऊष्मा का अनुपात है
   (d) कुल कार्य तथा आइसन्ट्रापिक ऊष्मा का अनुपात होता है
4. कार्य अनुपात निर्भर करता है—
   (a) दाब अनुपात (b) चक्र के अधिकतम तापमान पर
   (c) चक्र के न्यूनतम तापमान पर (d) सभी पर
5. गैस टरबाइन का वायु ईंधन मिश्रण होता है—
   (a) 50 : 1 (b) 7 : 1 (c) 40 : 1 (d) 100 : 1
6. गैस टरबाइन में निम्न संपीडक प्रयोग किया जाता है—
   (a) अक्षीय प्रवाह संपीडक (b) अपकेन्द्री संपीडक
   (c) लोब प्रकार संपीडक (d) पश्चाग्र टरबाइन
7. गैस टरबाइन की दक्षता में वृद्धि होती है—
   (a) पुनः तापक द्वारा (b) अन्तःशीतलक द्वारा
   (c) (a) एवं (b) द्वारा (d) इनमें से कोई नहीं

उत्तरमाला

1. (d) 2. (a) 3. (b) 4. (d) 5. (d) 6. (a) 7. (c)

□□□

Study PowerPoint

13 प्रयोगात्मक कार्य (Experimental Works)

प्रयोग संख्या 1

उद्देश्य—विभिन्न प्रकार के बॉयलर चढ़नार एवं उपसाधन का अध्ययन करना।

उपकरण—प्रयोगशाला में विभिन्न प्रकार के चढ़नार एवं उपसाधन।

विभिन्न प्रकार के चढ़नार—

(i) सुरक्षा वाल्व

(ii) जल-तल सूचक

(iii) दाब गेज

(iv) भापरोक वाल्व

(v) निकास टोंटी

(vi) संभरण वाल्व

(vii) ग्लनीय प्लग

विभिन्न प्रकार के उपसाधन—

(i) मितोपयोजक

(ii) अतितापक

(iii) वायु पूर्व तापक

विभिन्न प्रकार के चढ़नार एवं उपसाधन की क्रियाविधि, सिद्धान्त एवं रचनात्मक अध्ययन अध्याय 3 में किया गया है।

अध्ययन चरण

(i) सर्वप्रथम विभिन्न प्रकार के चढ़नारों एवं उपसाधन के सिद्धान्त का अध्ययन करना।

(ii) यदि संभव हो तो चढ़नार एवं उपसाधन अवयवों को खोल कर उनका अध्ययन करना।

(iii) बॉयलर में चढ़नार एवं उपसाधन के स्थानों का अध्ययन करना।

सावधानियाँ

(i) अवयवों को सावधानीपूर्वक खोलें।

(ii) अवयवों को खोलते समय उनका क्रम अवश्य नोट करें।

(iii) विशिष्टियों का अध्ययन सावधानीपूर्वक करें।

❑❑❑

Study PowerPoint

प्रयोग संख्या 2

उद्देश्य—वायु सम्पीडक की क्रियाविधि का अध्ययन करना।

उपकरण—प्रयोगशाला में रखे वायु सम्पीडक।

सिद्धान्त—अध्याय 8 में देखें।

सावधानियाँ—

(i) अवयवों को सावधानीपूर्वक खोलें।

(ii) अवयवों को खोलते समय उनका क्रम अवश्य नोट करें।

(iii) विशिष्टियों का अध्ययन सावधानीपूर्वक करें।

❑❑❑

प्रयोग संख्या 3

उद्देश्य—प्रयोग विधि द्वारा भाप की शुष्कता भिन्नता ज्ञात करना।

उपकरण—भाप जनित्र या बॉयलर, संयुक्त सपरेटिंग एवं थ्राटलिंग कैलोरीमीटर बीकर, थर्मामीटर, मैनोमीटर आदि।

सिद्धान्त—यह भाप की गुणवत्ता को माप होती है। इसे 'x' द्वारा मापा जाता है।

$$x = \frac{m_g}{m_g + m_f}$$

m_g = गैस का द्रव्यमान

m_f = जल वाष्प का द्रव्यमान

शुष्कता भिन्नता का मापन निम्न तीन विधियों द्वारा किया जाता है—

(i) टैंक या बकेट कैलोरीमीटर

(ii) थ्राटलिंग कैलोरीमीटर

(iii) सपरेटिंग या थ्राटलिंग कैलोरीमीटर

निष्कर्ष—परीक्षण के पश्चात् शुष्कता भिन्नता का मान $x =$ .... प्राप्त हुआ।

सावधानियाँ—

(i) बॉयलर दाब को उसके डिजाइन दाब पर नियत बनाए रखें।

(ii) जल एवं वाष्प की मात्रा का मापन सावधानीपूर्वक करें।

(iii) भाप से जल कणों को दूर कर लें।

(iv) गणना सावधानीपूर्वक करें।

❑❑❑

Study PowerPoint

प्रयोग संख्या 4

उद्देश्य—उच्च दाब बॉयलर की संरचना एवं विशिष्टियों का अध्ययन करना।

उपकरण—यदि प्रयोगशाला में कार्यकारी उच्च दाब बॉयलर हो तो उसी क्रियाविधि का अध्ययन करना। यदि कार्यकारी बॉयलर न हो तो मॉडल की सहायता से संरचनात्मक विशिष्टियों का अध्ययन करना।

विभिन्न प्रकार के उच्च दाब बॉयलर निम्नलिखित हैं—

(i) ला-मान्ट बॉयलर

(ii) लो एफलर बॉयलर

(iii) बेनसन बॉयलर

(iv) वेलाक्स बॉयलर

(v) स्कमिड-हार्टमैन बॉयलर

सिद्धान्त एवं रचना—

क्रियाविधि का सिद्धान्त एवं रचना का वर्णन अध्याय 3 में किया गया है।

सामग्री—(i) प्रयोगात्मक फाइल।

(ii) पेन, पेंसिल इत्यादि।

अध्ययन चरण—

(i) प्रयोगशाला में उच्च दाब बॉयलर का नाम नोट करें।

(ii) सप्लायर का नाम नोट करें।

(iii) बॉयलर के विभिन्न संरचनात्मक अवयवों का नाम नोटकर उनका अध्ययन करना।

(iv) बॉयलर के तापक सतह का अध्ययन करना।

(v) बॉयलर के कार्यकारी दाब का अध्ययन करना।

(vi) बॉयलर की क्षमता का अध्ययन करना।

(vii) भाप ड्रम जल ड्रम एवं भाप एवं जल ट्यूबों का अध्ययन करना।

(viii) विभिन्न प्रकार के चढ़नार एवं उपसाधन का अध्ययन करना।

(ix) प्रवेश एवं निकास स्थितियों का अध्ययन करना।

(x) जल भाप एवं दहन गैसों के प्रवाह आरेख को खींचिए।

(xi) बॉयलर में प्रयुक्त दहन भट्टी का अध्ययन करना।

(xii) प्रयुक्त निर्वात उपकरणों का अध्ययन करना।

सावधानियाँ—

(i) विशिष्टियों का अध्ययन सावधानी से करना चाहिए।

(ii) प्रवाह आरेख सावधानी से खींचना चाहिए।

(iii) यदि बॉयलर कार्यकारी हो तो सुरक्षा उपकरणों को पहनकर अध्ययन करें।

❑❑❑

Study PowerPoint

प्रयोग संख्या 5

उद्देश्य—लंकाशायर एवं नेस्टला बॉयलर की क्रियाविधि का अध्ययन करें।

उपकरण—प्रयोगशाला में रखे लंकाशायर एवं नेस्टला बॉयलर।

सिद्धान्त—अध्याय 6 में देखें।

सावधानियाँ—

(i) अवयवों को सावधानीपूर्वक खोलें।

(ii) अवयवों को खोलते समय उनका क्रम अवश्य नोट करें।

(iii) विशिष्टियों का अध्ययन सावधानीपूर्वक करें।

□□□

प्रयोग संख्या 6

उद्देश्य—प्रयोग विधि द्वारा पेट्रोल या डीजल इंजन की ब्रेक शक्ति की गणना करना।

उपकरण—(i) डीजल या पेट्रोल इंजन का लैब में स्थापित कार्यकारी मॉडल।

(ii) रस्सी ब्रेक या पानी ब्रेक डायनमोमीटर।

(iii) इंजन की गति मापने के लिए टैकोमीटर।

(iv) जल शीतलन व्यवस्था रस्सी ब्रेक डायनमोमीटर के शीतलन के लिए।

आवश्यक सामग्री—

(i) इंजन को चलाने के लिए ईंधन

(ii) स्नेहक तेल

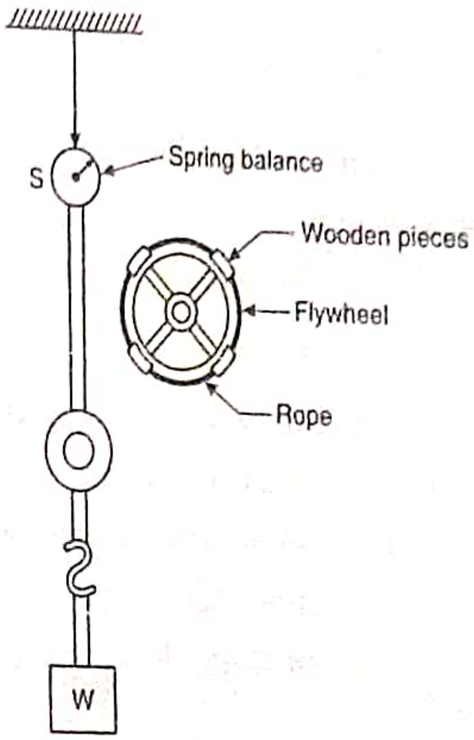
(iii) शीतल जल

(iv) आँकड़ों को नोट करने के लिए नोट बुक, पेन, पेंसिल, रबर आदि।

क्रियाविधि का सिद्धान्त—

ब्रेक शक्ति की गणना (Determination of Brake Power)—ब्रेक शक्ति की गणना के लिए हम रस्सी ब्रेक डायनमोमीटर का प्रयोग करते हैं। इस Dynamometer में ब्रेक पहिया (Brake wheel) की परिधि (Circumference) पर एक रस्सी बाँध देते हैं। रस्सी को फिसलने से बचाने के लिए हम लकड़ी के गट्ठे (Wooden block) का प्रयोग करते हैं। इस Wooden block को चित्र में दिखाया गया है। चित्र के अनुसार रस्सी की सहायता से एक सिरे पर भार (*W*) तथा दूसरे सिरे पर स्प्रिंग नियंत्रक (Spring controlled balance) लगा होता है।

इंजन की गति को मापने के लिए टैकोमीटर (Tachometer) का इस्तेमाल करते हैं।



चित्र 1–Rope brake friction dynamometer

Study PowerPoint

व्यवस्थित आरेख निम्न है—

यदि W = रस्सी के अंत में लगा भार (N)

S = स्प्रिंग का मान (N)

N = इंजन की चाल (rpm)

D_b = ब्रेक पहिए का व्यास (m)

d = रस्से का व्यास (m)

D_{b+d} = पहिए पर प्रभावी व्यास

Work/revolution = आघूर्ण × प्रति चक्कर कोण

$$= (W - S) \times \left(\frac{D_b + d}{2}\right) \times 2\pi$$

$$= (W - S) \times (D_b + d) \times \pi$$

$$\text{Work/min} = (W - S)\pi\,(D_b + d) \times N$$

$$\text{Work/sec} = \frac{(W - S)\pi\,(D_b + d) \times N}{60}$$

$$\boxed{\text{Brake power} = \frac{(W - S)\pi\,(D_b + d) \times N}{60}}$$

यदि हम 'd' को छोड़ देते हैं, तो

$$\boxed{\text{Brake Power} = \frac{(W - S)\pi D_b N}{60}}$$

या

$$\text{B.P.} = \frac{2\pi NT}{60 \times 1000}\ \text{kW}$$

नोट—रस्सी ब्रेक डायनमोमीटर सस्ता होता है और उसे बनाना भी आसान होता है। परन्तु इसकी प्रमुख कमी यह है कि घर्षण गुणांक (frictional coefficient) तापमान के साथ परिवर्तित होता रहता है।

ब्रेक शक्ति ज्ञात करने की प्रायोगिक विधि—

(i) सर्वप्रथम इंजन को बिना भार के चालू करें।

(ii) ब्रेक ड्रम में शीतल जल के प्रवाह को नियन्त्रित करें।

(iii) ब्रेक ड्रम को स्प्रिंग संतुलक के साथ व्यवस्थित कर शून्य स्थिति पर रखें।

(iv) इंजन पर भार W को लगाएँ तथा चालू करें। स्प्रिंग नियन्त्रक की सहायता से ब्रेक शक्ति का मान नोट करें।

(v) उपरोक्त प्रक्रिया को दोहराएँ।

(vi) कम-से-कम पाँच मान नोट करें।

Study PowerPoint

निरीक्षण टेबल

S.No.	Load Applied W (N)	Reading of Spring balance S (N)	Engine speed (N) rpm	Brake Power (kW) $\frac{\pi(D+d)(W-S)N}{60\times1000}$ kW	Average B.P. (kW)
1.	W_1	S_1	N_1	B_1	
2.	W_2	S_2	N_2	B_2	
3.	W_3	S_3	N_3	B_3	$\frac{B_1+B_2+B_3+B_4+B_5}{5}$
4.	W_4	S_4	N_4	B_4	
5.	W_5	S_5	N_5	B_5	

$$\text{ब्रेक शक्ति} = \frac{2\pi N\left(\frac{D+d}{2}\right)(W-S)}{60\times1000}\ \text{kW}$$

निष्कर्ष—इंजन की औसत ब्रेक शक्ति

$$B = \frac{B_1+B_2+B_3+B_4+B_5}{5}\ \text{kW}$$

सावधानियाँ—

(i) इंजन को चालू करने से पूर्व, तेल, स्नेहक, शीतल जल अवश्य चेक कर लें।

(ii) इंजन की गति कम रखें।

(iii) ब्रेक ड्रम का व्यास सावधानी से नोट करें।

❑❑❑

प्रयोग संख्या 7

उद्देश्य—प्रयोगात्मक विधि द्वारा बहु सिलिण्डर इंजन का ब्रेक शक्ति तथा सूचित शक्ति मोर्स टेस्ट विधि द्वारा ज्ञात करना।

उपकरण—(i) 4 सिलिण्डर पेट्रोल इंजन लैब में स्थापित।

(ii) 12 V बैट्री पूरी चार्ज अवस्था।

(iii) ईंधन, स्नेहक तेल, शीतल जल आदि।

(iv) डायनामोमीटर के लिए शीतल जल।

(v) स्पैनर, स्क्रू ड्राइवर एवं अन्य टूल।

आवश्यक सामग्री—नोट बुक, पेन, पेंसिल, रबर, स्केल आदि।

मोर्स टेस्ट स्पार्क ज्वलन इंजन के लिए (Morse Test for SI Engine)

इस टेस्ट का प्रयोग हम मुख्यत: बहु सिलिण्डर इंजन (Multi-cylinder engine) के लिए करते हैं। माना 4 सिलिण्डर इंजन के लिए हम यह टेस्ट करते हैं।

Study PowerPoint

हम जानते हैं कि जब इंजन अपने निर्धारित चाल पर चलता है तो इसका आघूर्ण ज्ञात करना आसान होता है।

जब हम किसी एक इंजन में शक्ति को प्लग की सहायता से हटा देते हैं तब इंजन की चाल कम हो जाती है। इसको व्यवस्थित करने के लिए भार को कम कर देते हैं।

जब इंजन की चाल अपने वास्तविक मान पर पुनः आ जाती है तो हम फिर आघूर्ण (Torque) को पुनः मापते हैं।

माना I_1, I_2, I_3, I_4 = सूचित शक्ति क्रमशः चारों सिलिण्डरों में

L_1, L_2, L_3, L_4 = इंजन सिलिण्डरों में क्रमशः हानियाँ

यदि ब्रेक शक्ति सभी सिलिण्डरों में 'B' द्वारा प्रदर्शित की गई है, तो

$$B = (I_1 - L_1) + (I_2 - L_2) + (I_3 - L_3) + (I_4 - L_4) \quad ...(1)$$

जब Cylinder-1 बन्द होगा तब $\Rightarrow I_1 = 0$

$$B = (0 - L_1) + (I_2 - L_2) + (I_3 - L_3) + (I_4 - L_4) \quad ...(2)$$

समीकरण (1) व (2) से,

$$B - B_1 = I_1$$

इसी प्रकार

$$B - B_2 = I_2$$

$$B - B_3 = I_3$$

$$B - B_4 = I_4$$

Then for an Engine

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$$

$$\eta_{mech} = \left(\frac{B}{I}\right) \times 100\%$$

सावधानियाँ—

(i) सभी भारों पर इंजन की गति समान होनी चाहिए।

(ii) भार तथा गति में अनियमितता कम होनी चाहिए।

(iii) गणना सावधानीपूर्वक करना चाहिए।

□□□

प्रयोग संख्या 8

उद्देश्य—2 stroke एवं 4 stroke इंजन का अध्ययन करना।

उपकरण—प्रयोगशाला में रखे 2 stroke एवं 4 स्ट्रोक इंजन का कट सेक्शन।

सिद्धान्त—अध्याय 10 में देखें।

सावधानियाँ—

(i) अवयवों को सावधानीपूर्वक खोलें।

(ii) अवयवों को खोलते समय उनका क्रम अवश्य नोट करें।

(iii) विशिष्टियों का अध्ययन सावधानीपूर्वक करें।

□□□

Study PowerPoint

भाप सारणी

संतृप्त वाष्प तापमान सारणी

तापमान (°C)	दाब (Bar)	विशिष्ट आयतन (m^3/kg)		विशिष्ट एन्थाल्पी (kJ/kg)			विशिष्ट एन्ट्रॉपी (kJ/kg K)		
t	p	v_f	v_g	h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_{fg}	s_g
0	0.0061	0.0010002	206.3	-0.02	2501.4	2501.4	-0.0001	9.1566	9.1565
0.01	0.0061	0.0010002	206.3	0.01	2501.3	2501.3	0.0000	9.156	9.156
1	0.0065	0.001000	2192.6	4.2	2499.0	2502.2	0.015	9.115	9.130
2	0.0070	0.0010001	179.9	8.4	2496.7	2505.0	0.031	9.073	9.104
3	0.0076	0.0010001	168.1	12.6	2494.3	2506.9	0.046	9.032	9.077
4	0.0081	0.0010001	157.2	16.8	2491.9	2508.7	0.061	8.990	9.051
5	0.0087	0.0010001	147.1	21.0	2489.6	2510.6	0.076	8.950	9.026
6	0.0093	0.0010001	137.7	25.2	2487.2	2512.4	0.091	8.909	9.000
7	0.0100	0.0010002	129.0	29.4	2484.8	2514.2	0.106	8.869	8.975
8	0.0107	0.0010002	120.9	33.6	2482.5	2516.1	0.121	8.829	8.950
9	0.0115	0.0010003	113.4	37.8	2480.1	2517.9	0.136	8.789	8.925
10	0.0123	0.0010004	106.4	42.0	2477.7	2519.7	0.151	8.750	8.901
11	0.0131	0.0010004	99.86	46.2	2475.4	2521.6	0.166	8.711	8.877
12	0.0140	0.0010005	93.78	50.4	2473.0	2523.4	0.181	8.672	8.852
13	0.0150	0.0010007	88.12	54.6	2470.7	2525.3	0.195	8.632	8.828
14	0.0160	0.0010008	82.85	58.8	2468.3	2527.1	0.210	8.595	8.805
15	0.0170	0.0010009	77.93	63.0	2465.9	2528.9	0.224	8.557	8.781
16	0.0182	0.0010001	73.33	67.2	2463.6	2530.8	0.239	8.519	8.758
17	0.0194	0.0010001	69.04	71.4	2461.2	2532.6	0.253	8.482	8.735
18	0.0206	0.0010001	65.04	75.6	2458.8	2534.4	0.268	8.444	8.712
19	0.0220	0.0010002	61.29	79.8	2456.5	2536.3	0.282	8.407	8.690
20	0.0234	0.0010002	57.79	84.0	2454.1	2538.1	0.297	8.371	8.667
21	0.0249	0.0010002	54.51	88.1	2451.8	2539.9	0.311	8.334	8.645
22	0.0264	0.0010002	51.45	92.3	2449.4	2541.7	0.325	8.298	8.623
23	0.0281	0.0010002	48.57	96.5	2447.0	2543.5	0.339	8.262	8.601
24	0.0298	0.0010003	45.88	100.7	2447.7	2545.4	0.353	8.226	8.579
25	0.0317	0.0010003	43.36	104.9	2442.3	2547.2	0.367	8.191	8.558
26	0.0336	0.0010003	40.99	109.1	2439.9	2549.0	0.382	8.155	8.537
27	0.0257	0.0010004	38.77	113.2	2437.6	2550.8	0.396	8.120	8.516
28	0.0378	0.0010004	36.69	117.4	2435.2	2552.6	0.409	8.086	8.495
29	0.0401	0.0010004	34.73	121.6	2432.8	2554.5	0.423	8.051	8.474
30	0.0425	0.0010004	32.89	125.8	2430.5	2556.3	0.437	8.016	8.453
31	0.0450	0.0010005	31.17	130.0	2428.1	2558.1	0.451	7.982	8.433
32	0.0476	0.0010005	29.54	134.2	2425.7	2559.9	0.464	7.948	8.413
33	0.0503	0.0010005	28.01	138.3	2423.4	2561.7	0.478	7.915	8.393
34	0.0532	0.0010005	26.57	142.5	2421.0	2563.5	0.492	7.881	8.373
35	0.0563	0.0010006	25.22	146.7	2418.6	2565.3	0.505	7.848	8.353

Study PowerPoint

तापमान (°C)	दाब (Bar)	विशिष्ट आयतन (m^3/kg)		विशिष्ट एन्थालपी (kJ/kg)			विशिष्ट एन्ट्रापी (kJ/kg K)		
t	p	v_f	v_g	h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_{fg}	s_g
36	0.0595	0.0010006	23.94	150.9	2416.2	2567.1	0.519	7.815	8.334
37	0.0628	0.0010007	22.74	155.0	2413.9	2568.9	0.532	7.782	8.314
38	0.0663	0.0010007	21.60	159.2	2411.5	2570.7	0.546	7.749	8.295
39	0.0700	0.0010007	20.53	163.4	2409.1	2572.5	0.559	7.717	8.276
40	0.0738	0.0010008	19.52	167.6	2406.7	2574.3	0.573	7.685	8.257
41	0.0779	0.0010008	18.57	171.7	2404.3	2576.0	0.586	7.652	8.238
42	0.0821	0.0010009	17.67	175.9	2401.9	2577.8	0.599	7.621	8.220
43	0.0865	0.0010009	16.82	180.1	2399.5	2579.6	0.612	7.589	8.201
44	0.0911	0.0010010	16.02	184.3	2397.2	2581.5	0.626	7.557	8.183
45	0.0959	0.0010010	15.26	188.4	2294.8	2583.2	0.639	7.526	8.165
46	0.1010	0.0010010	14.54	192.6	2392.4	2585.0	0.652	7.495	8.147
47	0.1062	0.0010011	13.86	196.6	2390.0	2586.8	0.665	7.464	8.129
48	0.1118	0.0010011	13.22	201.0	2387.6	2588.6	0.678	7.433	8.111
49	0.1175	0.0010012	12.61	205.1	2385.2	2590.3	0.691	7.403	8.094
50	0.1235	0.0010012	12.03	209.3	2382.7	2592.1	0.704	7.372	8.076
52	0.1363	0.0010013	10.97	217.7	2377.9	2595.6	0.730	7.312	8.042
54	0.1502	0.0010014	10.01	226.0	2373.1	2599.1	0.755	7.253	8.008
56	0.1653	0.0010015	9.149	234.4	2268.2	2602.6	0.781	7.194	7.975
58	0.1817	0.0010016	8.372	242.8	2363.4	2606.2	0.806	7.136	7.942
60	0.1994	0.0010017	7.671	251.1	2385.5	2609.6	0.831	7.078	7.909
62	0.2186	0.0010018	7.037	259.5	2353.6	2613.1	0.856	7.022	7.878
64	0.2393	0.0010019	6.463	267.9	2348.7	2616.5	0.881	6.965	7.846
66	0.2617	0.0010020	5.943	276.2	2343.7	2619.9	0.906	6.910	7.816
68	0.2859	0.0010022	5.471	284.6	2338.8	2623.4	0.930	6.855	7.785
70	0.3119	0.0010023	5.042	293.0	2333.8	2626.8	0.955	6.800	7.755
75	0.3858	0.0010026	4.131	313.9	2321.4	2653.3	1.015	6.667	7.682
80	0.4739	0.0010029	3.407	334.9	2308.8	2643.7	1.075	6.537	7.612
85	0.5783	0.0010033	2.828	355.9	2296.0	2651.9	1.134	6.410	7.544
90	0.7014	0.0010036	2.361	376.9	2283.2	2660.1	1.192	6.287	7.479
95	0.8455	0.0010040	1.982	397.9	2270.5	2668.1	1.250	6.166	7.416
100	1.0135	0.001044	1.673	419.0	2257.0	2676.0	1.307	6.048	7.355

Study PowerPoint

दाब (Bar)	तापमान (°C)	विशिष्ट आयतन (m^3/kg)		विशिष्ट एन्थाल्पी (kJ/kg)			विशिष्ट एन्ट्रापी (kJ/kg K)		
p	t	v_f	v_g	h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_{fg}	s_g
0.006113	0.01	0.0010002	206.14	0.01	2501.3	2501.4	0.000	9.156	9.156
0.010	7.0	0.0010000	129.21	29.3	2484.9	2514.2	0.106	8.870	8.976
0.105	13.0	0.0010007	87.98	54.7	2470.6	2525.3	0.196	8.632	8.828
0.020	17.0	0.001001	67.00	73.5	2460.0	2533.5	0.261	8.463	8.724
0.025	21.1	0.001002	54.25	88.5	2451.6	2540.1	0.312	8.331	8.643
0.030	24.1	0.001003	45.67	101.0	2444.5	2545.5	0.355	8.223	8.578
0.035	26.7	0.0010003	39.50	111.9	2438.4	2550.3	0.391	8.132	8.523
0.040	29.0	0.0010004	34.80	121.5	2432.9	2554.4	0.423	8.052	8.475
0.045	31.0	0.0010005	31.13	130.0	2428.2	2558.2	0.451	7.982	8.433
0.050	32.9	0.0010005	28.19	137.8	2423.7	2561.5	0.476	7.929	8.395
0.055	34.6	0.0010006	25.77	144.9	2419.6	2565.5	0.500	7.861	8.361
0.060	36.2	0.0010006	23.74	151.5	2415.9	2567.4	0.521	7.809	8.330
0.065	37.6	0.0010007	22.01	157.7	2412.4	2570.1	0.541	7.761	8.302
0.070	39.0	0.0010007	20.53	163.4	2409.1	2572.5	0.559	7.717	8.276
0.075	40.3	0.0010008	19.24	168.8	2406.0	2574.8	0.576	7.675	8.251
0.080	41.5	0.0010008	18.10	173.9	2403.1	2577.0	0.593	7.636	8.229
0.085	42.7	0.001009	17.10	178.7	2400.3	2579.0	0.608	7.599	8.207
0.090	43.8	0.001009	16.20	183.3	2397.7	2581.0	0.622	7.565	8.187
0.095	44.8	0.001010	15.40	187.7	2395.2	2582.9	0.636	7.532	8.168
0.10	45.8	0.001010	14.67	191.8	2392.8	2584.7	0.640	7.501	8.150
0.11	47.7	0.001011	13.48	199.7	2388.3	2588.0	0.674	7.453	8.117
0.12	49.4	0.001012	12.3	206.9	2384.2	2591.1	0.696	7.390	8.086
0.13	51.0	0.001013	11.4	213.7	2280.2	2593.9	0.717	7.341	8.058
0.14	52.6	0.001013	10.69	220.0	2376.6	2596.6	0.737	7.296	8.033
0.15	54.0	0.001014	10.022	226.0	2373.2	2599.2	0.7549	7.2544	8.0093
0.16	55.3	0.001015	9.433	231.6	2370.0	2601.6	0.7721	7.2148	7.9869
0.17	56.6	0.001015	8.911	236.9	2366.9	2603.8	0.7883	7.1775	7.9658
0.18	57.8	0.001016	8.445	242.0	2363.9	2605.9	0.8036	7.1424	7.9459
0.19	59.0	0.001017	8.027	246.8	2361.1	2607.9	0.8182	7.1090	7.9272
0.20	60.1	0.001017	7.650	251.5	2358.4	2609.9	1.8321	7.0773	7.9094
0.21	61.1	0.001018	7.307	255.9	2355.8	2611.7	1.8453	7.0472	7.8925
0.22	62.2	0.001018	6.995	260.1	2353.3	2613.5	1.8581	7.0184	7.9874
0.23	63.1	0.001019	6.709	264.2	2350.9	2615.2	1.8702	6.9908	7.8611
0.24	64.1	0.001019	6.447	268.2	2348.6	2616.8	1.8820	6.9644	7.8464
0.25	65.0	0.001020	6.205	272.0	2346.4	2618.3	0.8932	6.9391	7.8323
0.26	65.9	0.001020	5.980	275.7	2344.2	2619.9	0.9041	6.9147	7.8188
0.27	66.7	0.001021	5.772	279.2	2342.1	2621.3	0.9146	6.8912	7.8058
0.28	67.5	0.001021	5.579	282.7	2340.0	2622.7	0.9248	6.8685	7.7933
0.29	68.3	0.001022	5.398	286.0	2388.1	2624.1	0.9346	6.8466	7.7812

Study PowerPoint

तापमान (°C)	दाब (Bar)	विशिष्ट आयतन (m^3/kg)		विशिष्ट एन्थाल्पी (kJ/kg)			विशिष्ट एन्ट्रापी (kJ/kg K)		
t	p	v_f	v_g	h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_{fg}	s_g
0.30	69.1	0.001022	5.229	289.3	2336.1	2625.4	0.9441	6.8254	7.7695
0.32	70.6	0.001023	4.922	295.5	2332.4	2628.0	0.9623	6.7850	7.7474
0.34	72.0	0.001024	4.650	301.5	2328.9	2630.4	0.9795	6.7470	7.7265
0.36	73.4	0.001025	4.408	307.1	2325.5	2632.6	0.9958	6.7111	7.7070
0.38	74.7	0.001026	4.190	312.5	2322.3	2634.8	1.0113	6.6771	7.6884
0.40	75.9	0.001026	3.993	317.7	2319.2	2636.9	1.0261	6.6448	7.6709
0.42	77.1	0.001027	3.815	322.6	2316.3	2638.9	1.0402	6.6140	7.6542
0.44	78.2	0.001028	3.652	327.3	2313.4	2640.7	1.0537	6.5846	7.6383
0.46	79.3	0.001029	3.503	331.9	2310.7	2642.6	1.0667	6.5564	7.6231
0.48	80.3	0.001029	3.367	336.3	2308.0	2644.3	1.0792	6.5294	7.6086
0.50	81.3	0.001030	3.240	340.6	2305.4	2646.0	1.0912	6.5035	7.5947
0.55	83.7	0.001032	2.964	350.6	2299.3	2649.9	1.1194	6.4428	7.5623
0.60	86.0	0.001033	2.732	359.9	2293.6	2653.6	1.1454	6.3873	7.5327
0.65	88.0	0.001035	2.535	368.6	2288.3	2656.9	1.1696	6.3360	7.5055
0.70	90.0	0.001036	2.369	376.8	2283.3	2660.1	1.1921	6.2883	7.4804
0.75	92.0	0.001037	2.215	384.5	2278.6	2663.0	1.2131	6.2439	7.4570
0.80	93.5	0.001039	2.087	391.7	2274.0	2665.8	1.2330	6.2022	7.4352
0.85	95.1	0.001040	1.972	398.6	2269.8	2668.4	1.2518	6.1629	7.4147
0.90	96.7	0.001041	1.869	405.2	2265.6	2670.9	1.2696	6.1253	7.3954
0.95	98.2	0.001042	1.777	411.5	2261.7	2673.2	1.2865	6.0906	7.3771
1.0	99.6	0.001043	1.694	417.5	2257.9	2675.4	1.3027	6.0571	7.3598
1.1	102.3	0.001046	1.549	428.8	2250.8	2679.6	1.3330	6.9947	7.3277
1.2	104.8	0.001048	1.428	439.4	2244.1	2683.4	1.3609	6.9375	7.2984
1.3	10718	0.001050	1.325	449.2	2237.8	2687.0	1.3869	6.8847	7.2715
1.4	109.3	0.001051	1.236	458.4	2231.9	2690.3	1.4109	6.8356	7.2465
1.5	111.3	0.001053	1.159	467.1	2226.2	2693.4	1.4336	5.7898	7.2334
1.6	113.3	0.001055	1.091	475.4	2220.9	2696.2	1.4550	5.7467	7.2017
1.7	115.2	0.001056	1.031	483.2	2215.7	2699.0	1.4752	5.7061	7.1813
1.8	116.9	0.001058	1.977	490.7	2210.8	2701.5	1.4944	5.6678	7.1622
1.9	118.6	0.001060	0.929	497.8	2206.1	2704.0	1.5127	5.6314	7.1440
2.0	12052	0.001061	0.885	504.7	2201.6	2706.3	1.5301	5.5967	7.1268
2.1	121.8	0.001062	0.846	511.3	2197.2	2708.5	1.5468	5.5637	7.1105
2.2	123.3	0.001064	0.810	517.6	2193.0	2710.6	1.5627	5.5321	7.0949
2.3	124.7	0.001065	0.777	523.7	2188.9	2712.6	1.5781	5.5019	7.0800
2.4	126.1	0.001066	0.746	529.6	2184.9	2714.5	1.5929	5.4728	7.0657
2.5	127.4	0.001068	0.718	535.3	2181.0	2716.4	1.6071	5.4449	7.0520
2.6	128.7	0.001069	0.693	540.9	2177.3	2718.2	1.6209	5.4180	7.0389
2.7	129.9	0.001070	0.668	546.5	2173.6	2719.9	1.6342	5.3920	7.0262
2.8	131.2	0.001071	0.646	551.4	2170.1	2721.5	1.6471	5.3670	7.0140
2.9	132.4	0.001072	0.625	555.5	2166.6	2723.1	1.6595	5.3427	7.0028

Study PowerPoint

दाब (Bar)	तापमान (°C)	विशिष्ट आयतन (m^3/kg)		विशिष्ट एन्थालपी (kJ/kg)			विशिष्ट एन्ट्रॉपी (kJ/kg K)		
p	t	v_f	v_g	h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_{fg}	s_g
3.0	133.5	0.001074	0.606	561.4	2163.2	2724.7	1.6716	5.3193	6.9909
3.1	134.6	0.001075	0.587	566.2	2159.9	2726.1	1.6834	5.2965	6.9799
3.2	135.7	0.001076	0.570	570.9	2156.7	2727.6	1.6948	5.2744	6.9692
3.3	136.8	0.001077	0.554	575.5	2153.5	2729.9	1.7059	5.2530	6.9589
3.4	137.8	0.001078	0.538	579.9	2150.4	2730.3	1.7168	5.2322	6.9489
3.5	138.8	0.001079	0.524	584.3	2147.4	2731.6	1.7273	5.2119	6.9392
3.6	139.8	0.001080	0.510	588.5	2144.4	2732.9	1.7376	5.1921	6.9297
3.7	140.8	0.001081	0.497	592.7	2141.4	2734.1	1.7476	5.1729	6.9205
3.8	141.8	0.001082	0.486	596.8	2138.6	2735.3	1.7574	5.1541	6.9116
3.9	142.7	0.001083	0.473	600.8	2137.7	2736.5	1.7670	5.1358	6.9028
4.0	143.6	0.001084	0.462	604.7	2133.0	2737.6	1.7764	5.1179	6.8943
4.2	145.4	0.001086	0.441	612.3	2127.5	2739.8	1.7945	5.0834	6.8779
4.4	147.1	0.001088	0.423	619.6	2122.3	2741.9	1.8120	5.0503	6.8623
4.6	148.7	0.001089	0.405	626.7	2117.2	2743.9	1.8287	5.0186	6.8473
4.8	150.3	0.001091	0.390	633.5	2112.2	2745.7	1.8448	4.9881	6.8329
5.0	151.8	0.001093	0.375	640.1	2107.4	2747.5	1.8604	4.9588	6.8192
5.2	153.3	0.001094	0.361	646.5	2102.7	2749.3	1.8754	4.9306	6.8059
5.4	154.5	0.001096	0.348	652.8	2098.1	2750.9	1.8899	4.9033	6.7932
5.6	156.2	0.001098	0.337	658.8	2093.7	2752.5	1.9040	4.8769	6.7809
5.8	157.5	0.001099	0.326	664.7	2089.3	2754.0	1.9176	4.8514	6.7690
6.0	158.8	0.001101	0.315	670.4	2085.0	2755.5	1.9308	4.8267	6.7575
6.2	160.1	0.001102	0.306	676.0	2080.9	2756.9	1.9437	4.8027	6.7464
6.4	161.4	0.001104	0.297	681.5	2076.8	2758.2	1.9562	4.7794	6.7356
6.6	162.6	0.001105	0.288	686.8	2072.7	2759.5	1.9684	4.7568	6.7252
6.8	163.8	0.001107	0.280	692.0	2068.8	2760.8	1.9802	4.7348	6.7150
7.0	165.0	0.001108	0.273	691.1	2064.9	2762.0	1.9918	4.7134	6.7052
7.2	166.1	0.001110	0.265	702.0	2061.1	2763.2	2.0031	4.6925	6.6956
7.4	167.2	0.001111	0.258	706.9	2057.4	2764.3	2.0141	4.6721	6.6862
7.6	168.3	0.001112	0.252	711.7	2053.7	2765.4	2.0249	4.6522	6.6771
7.8	169.4	0.001114	0.246	716.3	2050.1	2766.4	2.0354	4.6328	6.6863
8.0	170.4	0.001115	0.240	720.9	2046.5	2767.5	2.0457	4.6139	6.6596
8.2	171.4	0.001116	0.235	725.4	2043.0	2768.5	2.0558	4.5953	6.6511
8.4	172.4	0.001118	0.229	729.9	2039.6	2769.4	2.0657	4.5772	6.6429
8.6	173.4	0.001119	0.224	73424	2036.2	2770.4	2.0753	4.5594	6.6348
8.8	174.4	0.001120	0.219	738.5	2032.8	2771.3	2.0848	4.5421	6.6269
9.0	175.4	0.001121	0.215	742.6	2029.5	2772.1	2.0941	4.5250	6.6192
9.2	176.3	0.001123	0.210	746.8	2026.2	2773.0	2.1033	4.5083	6.6116
9.4	177.2	0.001124	0.206	750.8	2023.0	2773.8	2.1122	4.4920	6.6042
9.6	178.1	0.001125	0.202	754.8	2019.8	2774.6	2.1210	4.4759	6.5969
9.8	179.0	0.001126	0.198	758.7	2016.7	2775.4	2.1297	4.4601	6.5898

Study PowerPoint

दाब (Bar)	तापमान (°C)	विशिष्ट आयतन (m^3/kg)		विशिष्ट एन्थालपी (kJ/kg)			विशिष्ट एन्ट्रापी (kJ/kg K)		
p	t	v_f	v_g	h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_{fg}	s_g
10.0	179.9	0.001127	0.194	762.6	2013.6	2776.2	2.1382	4.4446	6.5828
10.5	182.0	0.001130	0.185	772.0	2005.9	2778.0	2.1588	4.4071	6.5659
11.0	184.1	0.001133	0.177	781.1	1998.5	2779.7	2.1786	4.3711	6.5497
11.5	186.0	0.001136	0.170	789.9	1991.3	2781.3	2.1977	4.3366	6.5342
12.0	188.0	0.001139	0.163	798.4	1984.3	2782.7	2.2161	4.3033	6.5194
12.5	189.8	0.001141	0.157	806.7	1977.4	2784.1	2.2338	4.2712	6.5050
13.0	191.6	0.001144	0.151	814.7	1970.7	2785.4	2.2510	4.2403	6.4913
13.5	193.3	0.001146	0.146	822.5	1964.2	2786.6	2.2676	4.2104	6.4779
14.0	195.0	0.001149	0.141	830.1	1987.7	2787.8	2.2837	4.1814	6.4651
14.5	196.7	0.001151	0.136	837.5	1951.4	2788.9	2.2993	4.1533	6.4526
15.0	198.3	0.001154	0.132	844.7	1945.2	2789.9	2.3145	4.1261	6.3853
15.5	199.8	0.001156	0.128	851.7	1939.2	2790.8	2.3292	4.0996	6.3751
16.0	201.4	0.001159	0.124	858.6	1933.2	2791.7	2.3436	4.0739	6.3651
16.5	202.8	0.001161	0.120	865.3	1927.3	2792.6	2.3576	4.0489	6.3554
17.0	204.3	0.001163	0.117	871.8	1921.5	2793.4	2.3713	4.0245	6.3459
17.5	205.7	0.001166	0.113	878.3	1915.9	2794.1	2.3846	4.0007	6.7575
18.0	207.1	0.001168	0.110	884.6	1910.3	2794.8	2.3976	3.9775	6.7464
18.5	208.4	0.001170	0.107	890.7	1904.7	2795.5	2.4103	3.9548	6.7356
19.0	209.8	0.001172	0.105	896.8	1899.3	2796.1	2.4228	3.9326	6.7252
19.5	211.1	0.001174	0.102	902.8	1893.9	2796.7	2.4349	3.9110	6.7150
20.0	212.4	0.001177	0.0995	908.6	1888.6	2797.2	2.4469	3.8898	6.3366
20.5	213.6	0.001179	0.0971	814.3	1883.4	2797.7	2.4585	3.8690	6.3276
21.0	214.8	0.001181	0.0949	920.0	1878.2	2798.2	2.4700	3.8487	6.3187
21.5	216.1	0.001183	0.0927	925.5	1873.1	2798.6	2.4812	3.8288	6.3100
22.0	217.2	0.001185	0.0907	931.0	1868.1	2799.1	2.4922	3.8093	6.3015
22.5	218.4	0.001187	0.0887	936.3	1863.1	2799.4	2.5030	3.7901	6.2931
23.0	219.5	0.001189	0.0868	941.6	1858.2	2799.8	2.5136	3.7713	6.2849
23.5	220.7	0.001191	0.0849	946.8	1853.3	2800.1	2.5241	3.7528	6.2769
24.0	221.8	0.001193	0.0832	951.9	1848.5	2800.4	2.5343	3.7347	6.2690
24.5	222.9	0.001195	0.0815	957.0	1843.7	2801.7	2.5444	3.7168	6.2612
25.0	223.9	0.001197	0.0799	962.0	1839.0	2800.9	2.5543	3.6993	6.2536
25.5	225.0	0.001199	0.0783	966.9	1834.3	2801.2	2.5640	3.6821	6.2461
26.0	226.0	0.001201	0.0769	971.7	1829.6	2801.4	2.5736	3.6651	6.2387
26.5	227.1	0.001203	0.0754	976.5	1825.1	2801.6	2.5831	3.6484	6.2315
27.0	228.1	0.001205	0.0740	981.2	1820.5	2801.7	2.5924	3.6320	6.2244
27.5	229.1	0.001207	0.0727	985.9	1816.0	2801.9	2.6016	3.6158	6.2173
28.0	230.0	0.001209	0.0714	990.5	1811.5	2802.0	2.6106	3.5998	6.2104
28.5	231.0	0.001211	0.0701	995.0	1807.1	2802.1	2.6195	3.5841	6.2036
29.0	232.0	0.001213	0.0689	999.5	1802.6	2802.2	2.6283	3.5686	6.1969
29.5	233.0	0.001214	0.0677	1004.0	1798.3	2802.2	2.6370	3.5533	6.1902

Study PowerPoint

दाब (Bar)	तापमान (°C)	विशिष्ट आयतन (m^3/kg)		विशिष्ट एन्थाल्पी (kJ/kg)			विशिष्ट एन्ट्रॉपी (kJ/kg K)		
p	t	v_f	v_g	h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_{fg}	s_g
30.0	233.8	0.001216	0.0666	1008.4	1793.9	2802.3	2.6455	3.5382	6.1837
30.5	234.7	0.001218	0.0655	1012.7	1789.6	2802.3	2.6539	3.5233	6.1772
31.0	235.6	0.001220	0.0645	1017.0	1795.4	2802.3	2.6623	3.5087	6.1709
31.5	236.5	0.001222	0.0634	1021.2	1781.1	2802.3	2.6705	3.4942	6.1647
32.0	237.4	0.001224	0.0624	1025.4	1776.9	2802.3	2.6786	3.4799	6.1585
32.5	238.3	0.001225	0.0615	1029.6	1772.7	2802.3	2.6866	3.4657	6.1523
33.0	239.2	0.001227	0.0615	1033.7	1768.6	2802.3	2.6945	3.4518	6.1463
33.5	240.0	0.001229	0.0596	1037.8	1764.4	2802.2	2.7023	3.4380	6.1403
34.0	240.9	0.001231	0.0587	1041.8	1760.3	2802.1	2.7101	3.4244	6.1344
34.5	241.7	0.001233	0.0579	1045.8	1756.3	2802.1	2.7177	3.4109	6.1286
35.0	242.5	0.001234	0.0570	1049.8	1752.2	2802.0	2.7253	3.3976	6.1228
35.5	243.3	0.001236	0.0562	1053.7	1748.2	2801.8	2.7327	3.3844	6.1171
36.0	244.2	0.001238	0.0554	1057.6	1744.2	2801.7	2.7401	3.3714	6.1115
36.5	245.0	0.001239	0.0546	1061.4	1740.2	2801.6	2.7474	3.3585	6.1059
37.0	245.7	0.001242	0.0539	1065.2	1736.2	2801.4	2.7547	3.3458	6.1004
37.5	246.5	0.001243	0.0531	1069.0	1732.3	2801.3	2.7618	3.3332	6.0950
38.0	247.3	0.001245	0.0524	1072.7	1728.4	2801.1	2.7689	3.3207	6.0896
38.5	248.1	0.001247	0.0517	1076.7	1724.5	1800.9	2.7759	3.3083	6.0842
39.0	248.8	0.001249	0.0511	1080.1	1720.6	2800.8	2.7829	3.2961	6.0789
39.5	249.6	0.001250	0.0504	1083.8	1716.8	2800.5	2.7897	3.2840	6.0737
40.0	250.3	0.001252	0.0497	1087.4	1712.9	2800.3	2.7965	3.2720	6.0885
41.0	251.8	0.001255	0.0485	1094.6	1705.3	2799.9	2.8099	3.2483	6.0582
42.0	253.2	0.001259	0.0473	1101.6	1697.8	2799.4	2.8231	3.2251	6.0482
43.0	254.6	0.001262	0.0461	1108.5	1690.3	2798.8	2.8360	3.2023	6.0383
44.0	256.0	0.001266	0.0451	1115.4	1682.9	2798.3	2.8487	3.1799	6.0286
45.0	257.4	0.001269	0.0440	1122.1	1675.6	2797.7	2.8612	3.1579	6.0191
46.0	258.7	0.001272	0.0430	1128.8	1668.3	2797.0	2.8735	3.1362	6.0097
47.0	260.1	0.001276	0.0421	1135.3	1661.1	2796.4	2.8855	3.1149	6.0004
48.0	261.4	0.001279	0.0412	1141.8	1653.9	2795.7	2.874	3.0939	5.9913
49.0	262.6	0.001282	0.0403	1148.2	1646.8	2794.9	2.9091	3.0733	5.9823
50.0	263.9	0.001286	0.0394	1154.5	1639.7	2794.2	2.9206	3.0529	5.9735
51.0	265.1	0.001289	0.0386	1160.7	1632.7	2793.4	2.9319	3.0328	5.9648
52.0	266.4	0.001292	0.0378	1166.8	1625.7	2792.6	2.9431	3.0130	5.9561
53.0	267.6	0.001296	0.0371	1172.9	1618.8	2791.7	2.8541	2.9935	5.9476
54.0	268.7	0.001299	0.0363	1178.9	1611.9	2790.8	2.9650	2.9742	5.9392
55.0	269.9	0.001302	0.0256	1184.9	1605.0	2789.9	2.9757	2.9552	5.9309
56.0	271.1	0.001306	0.0349	1190.8	1598.2	2789.0	2.9863	2.9364	5.9227
57.0	272.2	0.001309	0.0343	1196.6	1591.4	2788.0	2.9967	2.9179	5.9146
58.0	273.3	0.001312	0.0336	1202.3	1584.7	2781.8	3.0071	2.8995	5.9066
59.0	274.4	0.001315	0.0330	1208.0	1578.0	2780.6	3.0172	2.8814	5.8986

Study PowerPoint

दाब (Bar)	तापमान (°C)	विशिष्ट आयतन (m³/kg)		विशिष्ट एन्थालपी (kJ/kg)			विशिष्ट एन्ट्रापी (kJ/kg K)		
p	t	v_f	v_g	h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_{fg}	s_g
60.0	275.5	0.001318	0.0324	1213.7	1571.3	2785.0	3.0273	2.8635	5.8908
61.0	276.6	0.001322	0.0319	1219.3	1564.7	2784.0	3.0372	2.8458	5.8830
62.0	277.7	0.001325	0.0313	1224.8	1558.0	2782.9	3.0471	2.8283	5.8753
63.0	278.7	0.001328	0.0308	1230.3	1551.5	2781.8	3.0568	2.8109	5.8677
64.0	279.8	0.001332	0.0302	1235.7	1544.9	2780.6	3.0664	2.7938	5.8601
65.0	280.8	0.001335	0.0297	1241.1	1538.4	2779.5	3.0759	2.7768	5.8527
66.0	281.8	0.001338	0.0292	1246.5	1531.9	2778.3	3.0853	2.7600	5.8452
67.0	282.8	0.001341	0.0287	1251.8	1525.4	2777.1	3.0946	2.7433	5.8379
68.0	283.3	0.001345	0.0283	1257.0	1518.9	2775.9	3.1038	2.7268	5.8306
69.0	284.8	0.001348	0.0278	1262.2	1512.5	2774.7	3.1129	2.7105	5.8233
70.0	285.8	0.001351	0.0274	1267.4	1506.0	2773.5	3.1219	2.6943	5.8162
71.0	286.7	0.001355	0.0269	1272.5	1499.6	2772.2	3.1308	2.6782	5.8090
72.0	287.7	0.001358	0.0265	1277.6	1493.3	2770.9	3.1397	2.6623	5.8020
73.0	288.6	0.001361	0.0261	1282.7	1486.9	2769.6	3.1484	2.6465	5.7949
74.0	289.6	0.001364	0.0257	1287.7	1480.5	2768.3	3.1571	2.6309	5.7880
75.0	290.5	0.001368	0.0253	1292.7	1474.2	2766.9	3.1657	2.6153	5.7810
76.0	291.4	0.001371	0.0249	1297.6	1467.9	2765.5	3.1742	2.5999	5.7742
77.0	292.3	0.001374	0.0246	1302.5	1461.6	2764.2	3.1827	2.5846	5.7673
78.0	293.2	0.001378	0.0242	1307.4	1455.3	2762.8	3.1911	2.5695	5.7605
79.0	294.1	0.001381	0.0239	1312.3	1449.1	2761.3	3.1994	2.5544	5.7538
80.0	294.9	0.001384	0.0235	1317.1	1442.8	2759.9	3.2076	2.5395	5.7471
81.0	295.8	0.001387	0.0232	1321.9	1436.6	2758.4	3.2158	2.5246	5.7404
82.0	296.7	0.001391	0.0229	1326.6	14303	2757.0	3.2239	2.5099	5.7338
83.0	297.5	0.001394	0.0225	1331.4	1424.1	2755.5	3.2320	2.4952	5.7272
84.0	298.4	0.001397	0.0222	1336.1	1417.9	2754.0	3.2399	2.4807	5.7206
85.0	299.2	0.001401	0.0219	1340.7	1411.7	2752.5	3.2479	2.4663	5.7141
86.0	300.1	0.001404	0.0216	1345.4	1405.5	2750.9	3.2557	2.4519	5.7076
87.0	300.9	0.001408	0.0213	1350.0	1399.3	2749.4	3.2636	2.4376	5.7012
88.0	301.7	0.001411	0.0211	1354.6	1393.2	2747.8	3.2713	2.4235	5.6948
89.0	302.5	0.001414	0.0208	1359.2	1387.0	2746.2	3.2790	2.4094	5.6884
90.0	303.3	0.001418	0.0205	1363.7	1380.9	2744.6	3.2867	2.3953	5.6820
91.0	304.1	0.001421	0.0202	1368.3	1374.7	2743.0	3.2943	2.3814	5.6757
92.0	304.9	0.001425	0.0199	1372.8	1368.6	2441.4	3.3018	2.3676	5.6694
93.0	305.7	0.001428	0.0197	1377.2	1362.5	2739.7	3.3093	2.3538	5.6631
94.0	306.4	0.001432	0.0194	1381.7	1356.3	2738.0	3.3168	2.3401	5.6568
95.0	307.2	0.001435	0.0192	1386.1	1350.2	2736.4	3.3242	2.3264	5.6506
96.0	308.0	0.001438	0.0189	1390.6	1344.1	2734.7	3.3315	2.3129	5.6444
97.0	308.7	0.001442	0.0187	1395.0	1338.0	2733.0	3.3388	2.2994	5.6382
98.0	309.4	0.001445	0.0185	1399.3	1331.9	2731.2	3.3461	2.2859	5.6321
99.0	310.2	0.001449	0.0183	1403.7	1325.8	2729.5	3.3534	2.2726	5.6259

Study PowerPoint

दाब (Bar)	तापमान (°C)	विशिष्ट आयतन (m³/kg)		विशिष्ट एन्थाल्पी (kJ/kg)			विशिष्ट एन्ट्रापी (kJ/kg K)		
p	t	v_f	v_g	h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_{fg}	s_g
100.0	311.1	0.001452	0.0181	1408.0	1319.7	2727.7	3.3605	2.2593	5.6198
102.0	312.4	0.001459	0.0176	1416.7	1307.5	2724.2	3.3748	2.2328	5.6076
104.0	313.8	0.001467	0.0172	1425.2	1295.3	2720.2	3.3889	2.2066	5.5955
106.0	315.3	0.001474	0.0168	1433.7	1283.1	2716.8	3.4029	2.1806	5.5835
108.0	316.6	0.001481	0.0164	1442.2	1270.9	2713.1	3.4167	2.1548	5.5715
110.0	318.0	0.001488	0.0160	1450.6	1258.7	2709.3	3.4304	2.1291	5.5595
112.0	319.4	0.001496	0.0157	1458.9	1246.5	2705.4	3.4440	2.1036	5.5476
114.0	320.7	0.001504	0.0153	1467.2	1234.3	2701.5	3.4574	2.0783	5.5357
116.0	322.1	0.001511	0.0149	1475.4	1222.0	2697.4	3.4708	2.0531	5.5239
118.0	323.4	0.001519	0.0146	1483.6	1209.7	2693.3	3.4840	2.0280	5.5121
120.0	324.6	0.001527	0.0143	1491.8	1197.4	2689.2	3.4972	2.0030	5.5002
122.0	325.9	0.001535	0.0139	1499.9	1185.0	2684.9	3.5102	1.9782	5.4884
124.0	327.1	0.001543	0.0137	1508.0	1172.6	2680.6	3.5232	1.9533	5.4765
126.0	328.4	0.001551	0.0134	1516.0	1160.1	2676.1	3.5360	1.9286	5.4646
128.0	329.6	0.001559	0.0131	1524.0	1147.6	2671.6	3.5488	1.9039	5.4527
130.0	330.0	0.001567	0.0128	1532.0	1135.0	2667.0	3.5616	1.8792	5.4408
132.0	332.0	0.001576	0.0125	1540.0	1122.3	2662.3	3.5742	1.8546	5.4288
134.0	333.2	0.001584	0.0123	1547.9	1109.5	2657.4	3.5868	1.8300	5.4168
136.0	334.3	0.001593	0.0120	1555.8	1096.7	2652.5	3.5993	1.8053	5.4047
138.0	335.5	0.001602	0.0117	1563.7	1083.8	2647.5	3.6118	1.78.7	5.3925
140.0	336.6	0.001611	0.0115	1571.6	1070.7	2642.4	3.6242	1.7560	5.3803
142.0	337.7	0.001619	0.0112	1579.5	1057.6	2637.1	3.6366	1.7313	5.3679
144.0	338.8	0.001629	0.0110	1587.4	1044.4	2631.8	3.6490	1.7066	5.3555
146.0	339.9	0.001638	0.0108	1595.3	1031.0	2626.3	3.6613	1.6818	5.3431
148.0	341.1	0.001648	0.0106	1603.1	1017.6	2620.7	3.6736	1.6569	5.3305
150.0	342.1	0.001658	0.0103	1611.0	1004.0	2615.0	3.6859	1.6320	5.3179
152.0	343.2	0.001668	0.0101	1618.9	990.3	2609.2	3.6981	1.6070	5.3051
154.0	344.2	0.001678	0.00991	1626.8	976.5	2603.3	3.7103	1.5819	5.2922
156.0	345.3	0.001689	0.00971	1634.7	962.6	2597.3	3.7226	1.5567	5.2793
158.0	346.3	0.001699	0.00951	1642.6	948.5	2591.1	3.7348	1.5314	5.2663
160.0	347.3	0.001710	0.00931	1650.5	934.3	258.9	3.7471	1.5060	5.2531
162.0	348.3	0.001721	0.00911	1658.5	920.0	2578.5	3.7594	1.4806	5.2399
164.0	349.3	0.001733	0.00893	1666.5	905.6	2572.1	3.7717	1.4550	5.2267
166.0	350.3	0.001745	0.00874	1674.5	891.0	2565.5	3.7842	1.4290	5.2132
168.0	351.3	0.001757	0.00855	1683.0	875.6	2558.6	3.7974	1.4021	5.1994
170.0	352.0	0.001769	0.00837	1691.7	859.0	2551.6	3.8107	1.3748	5.1855
172.0	353.2	0.001783	0.00819	1700.4	844.0	2544.4	3.8240	1.3473	5.1713
174.0	354.2	0.001796	0.00801	1709.0	825.1	2537.1	3.8372	1.3198	5.1570
176.0	355.1	0.001810	0.00784	17.17.6	811.9	2529.5	3.8504	1.2922	5.1425
178.0	356.0	0.001825	0.00767	1726.2	795.6	2521.8	3.8635	1.2643	5.1278

Study PowerPoint

दाब (Bar)	तापमान (°C)	विशिष्ट आयतन (m^3/kg)		विशिष्ट एन्थालपी (kJ/kg)			विशिष्ट एन्ट्रापी (kJ/kg K)		
p	t	v_f	v_g	h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_{fg}	s_g
180.0	356.9	0.001840	0.00750	1734.8	779.1	2513.9	3.8765	1.2362	5.1128
182.0	357.8	0.001856	0.00733	1743.4	762.3	2505.8	3.8896	1.2079	5.0975
184.0	358.7	0.001872	0.00717	1752.1	745.3	2497.4	3.9028	1.1792	5.0820
186.0	359.6	0.001889	0.00701	1760.9	727.9	2488.8	3.9160	1.1501	5.0661
188.0	360.5	0.001907	0.00684	1769.7	710.1	2479.8	3.9294	1.1205	5.0498
190.0	361.4	0.001926	0.00668	1778.7	692.0	2470.6	3.9429	1.0903	5.0332
192.0	362.3	0.001946	0.00652	1787.8	673.3	2461.1	3.9566	1.0594	5.0160
194.0	363.2	0.001967	0.00636	1797.0	654.1	2451.1	3.9706	1.0278	4.9983
196.0	364.0	0.001989	0.00620	1806.6	634.2	2440.7	3.9849	0.9951	4.9800
198.0	364.8	0.002012	0.00604	1816.3	613.5	2429.8	3.9996	0.9614	4.9611
200.0	365.7	0.002037	0.00588	1826.5	591.9	2418.4	4.0149	0.9263	4.9412
202.0	366.5	0.002064	0.00571	1837.0	569.2	2406.2	4.0308	0.8897	4.92.4
204.0	367.3	0.002093	0.00555	1848.1	545.1	2393.3	4.0474	0.8510	4.8984
206.0	368.2	0.002125	0.00538	1859.9	519.5	2379.4	4.0651	0.8099	4.8750
208.0	368.9	0.002161	0.00521	1872.5	491.7	2364.2	4.0841	0.7657	4.8498
210.0	369.8	0.002201	0.00502	1886.3	461.3	2347.6	4.1048	0.7175	4.8223
212.0	370.6	0.002249	0.00483	1901.5	427.4	2328.9	4.1279	0.6639	4.7917
214.0	371.3	0.002306	0.00462	1919.0	388.4	2307.4	4.1543	0.6026	4.7569
216.0	372.1	0.002379	0.00439	1939.9	341.6	2281.6	4.1861	0.5293	4.7917
218.0	372.9	0.002483	0.00412	1967.2	280.8	2248.0	4.2276	0.4346	4.7569
220.0	373.7	0.002671	0.00373	2011.1	184.5	2195.6	4.2947	0.2852	4.6622
221.2	374.1	0.003170	0.00317	2107.4	0.0	2107.4	4.4429	0.0	4.4429

Study PowerPoint

अतितप्त भार के गुण विभिन्न तापमान एवं दाब पर

P (bar) t (°C)	Property	50	100	150	200	250	300	400	500
0.01 (7.0)	v	149.1	172.2	195.3	218.4	241.5	264.5	310.7	356.8
	u	2445.4	2588.4	2588.4	2661.6	2736.9	2812.2	2969.0	3132.4
	h	2594.5	2783.6	2783.6	2880.0	2978.4	3076.8	3279.7	3489.2
	s	9.242	9.752	9.752	9.967	10.163	10.344	10.671	10.960
0.05 (32.9)	v	29.78	39.04	39.04	48.66	48.28	52.9	62.13	71.36
	u	2444.8	2588.4	2588.4	2661.9	2736.6	2812.6	2969.6	3133.0
	h	259.7	2783.4	2783.4	2879.9	2977.6	3076.7	3279.7	3489.2
	s	8.498	9.009	9.009	9.225	9.421	9.602	9.928	10.218
0.1 (45.8)	v	14.57	19.51	19.51	21.82	24.14	26.44	31.06	35.68
	u	2443.9	2587.9	2587.9	2661.3	2736.0	2812.1	2968.9	3132.3
	h	2592.6	2783.0	2783.0	2879.5	2977.3	376.5	3279.6	3489.1
	s	8.175	8.448	8.688	8.904	9.100	9.281	9.608	9.898
0.5 (81.3)	v		34.18	3.889	43.56	4.821	5.284	6.209	7.134
	u		2511.6	2585.6	2659.9	2735.0	2811.3	2968.5	3132.0
	h		2682.5	2780.1	2877.7	2976.0	3075.5	3278.9	3488.7
	s		7.695	2.587	8.158	8.356	8.537	8.864	9.155
0.75 (92.6)	v		2.27	2584.2	2.900	3.211	3.520	4.138	4.755
	u		2509.2	2778.2	2659.0	2734.4	2810.9	2968.2	3131.8
	h		2679.4	7.749	2876.5	2975.2	3074.9	3278.5	3488.4
	s		7.501	1.936	7.969	8.167	8.349	8.677	8.967
1.0 (99.6)	v		1.696	2582.8	2.172	2.406	2.639	3.103	3.565
	u		2506.2	2776.4	2658.1	2733.7	2810.4	2967.9	3131.6
	h		2676.2	7.613	2875.3	2974.3	3074.3	3278.2	3488.1
	s		7.361	1.912	7.834	8.033	8.216	8.544	8.834
1.01325 (100)	v			2582.6	2.146	2.375	2.603	3.062	3.519
	u			2776.3	2875.2	2733.6	2810.3	2967.8	3131.5
	h			7.828	7.827	2974.2	3074.2	3278.1	3488.0
	s			1.285	1.143	8.027	8.209	8.538	8.828
1.5 (111.4)	v			1.285	1.143	1.601	1.757	2.067	2.376
	u			2579.8	2656.2	2732.5	2809.5	2967.3	3131.2
	h			2772.6	2872.9	2972.7	3073.1	3277.4	3487.6
	s			7.419	7.643	7.844	8.027	8.356	8.647
2.0 (120.2)	v			0.960	1.080	1.199	1.316	1.549	1.781
	u			2576.9	2564.4	2731.2	2808.6	2966.7	3130.8
	h			2768.8	2870.5	2971.0	3071.8	3276.6	3487.1
	s			7.279	7.507	7.709	7.893	8.222	8.513

Study PowerPoint

↓P (bar) t (°C)	Property	50	100	150	200	250	300	400	500
2.5 (127.4)				0.764 2574.7 2764.5 7.169	0.862 2655.7 2868.0 7.401	0.957 2734.9 2969.6 7.604	1.052 2813.8 3070.9 7.789	1.238 2973.9 3275.9 8.119	1.424 3139.6 3486.5 8.410
3.0 (133.5)				0.634 570.8 2761.0 7.078	0.716 2650.7 2865.6 7.311	0.796 2728.7 2967.6 7.517	0.875 2806.7 3069.3 7.702	1.031 2965.6 3275.0 8.003	1.187 3130.0 3486.1 8.325
4.0 (143.6)				0.471 2564.5 2752.8 6.930	0.534 2646.8 2860.5 7.171	0.595 2726.1 2964.2 7.379	0.655 2804.8 3066.8 7.566	0.773 2964.4 3273.4 7.899	0.889 3129.2 3484.9 8.191

↓P (bar) t (°C)	Property	50	100	150	200	150	300	400	500
5.0 (151.8)	v u h s	0.425 2642.9 2855.4 7.059	0.474 2723.5 2960.7 7.271	0.523 2602.9 3064.2 7.460	0.570 2882.6 3167.7 7.633	0.617 2963.2 3271.9 7.794	0.664 3045.3 3377.2 7.945	0.711 3128.4 3483.9 8.087	0.804 3299.6 3701.7 8.353
6.0 (158.8)	v u h s	0.352 2638.9 2850.1 6.967	0.394 2720.9 2957.2 7.182	0.434 2801.0 3061.6 7.372	0.474 2881.2 3165.7 7.546	0.514 2962.1 3270.3 7.708	0.553 3044.2 3376.0 7.859	0.592 3127.6 3482.8 8.002	0.670 3299.1 3700.9 8.267
7.0 (165.0)	v u h s	0.300 2634.8 2844.8 6.886	0.336 2718.2 2953.6 7.105	0.371 2799.1 3059.1 7.298	0.406 2879.7 3163.7 7.473	0.440 2960.9 3268.7 7.635	0.473 3043.2 3374.7 7.787	0.507 3126.8 3481.7 7.930	0.574 3298.5 3700.2 8.196
8.0 (170.4)	v u h s	0.261 2630.6 2839.3 6.816	0.293 2715.5 2950.1 7.038	0.324 2797.2 3056.5 7.233	0.354 2878.2 3161.7 7.409	0.384 2959.7 3267.1 7.572	0.414 3042.3 3373.4 7.724	0.443 3126.0 3480.6 7.867	0.502 3297.8 3699.4 8.133
9.0 (175.4)	v u h s	0.230 2626.3 2833.6 6.752	0.260 2712.7 2946.3 6.979	0.287 2795.2 30.53.8 7.175	0.314 2876.7 3159.7 7.352	0.341 2958.5 3265.5 7.516	0.367 3041.3 3372.1 7.668	0.394 3125.3 3479.6 7.812	0.446 3297.3 3698.6 8.078
10.0 (179.9)	v u h s	0.206 2621.9 2827.9 6.694	0.233 2709.9 2942.6 6.925	0.258 2793.2 3051.2 7.123	0.282 2875.2 3157.8 7.301	0.307 2957.3 3263.9 7.465	0.330 3040.3 3370.7 7.618	0.354 3124.4 3478.5 7.762	0.401 3296.8 3697.9 8.029

P (bar) t (°C)	Property	50	100	150	200	250	300	400	500
15.0 (198.3)	v	0.132	0.152	0.169	0.187	0.203	0.219	0.235	0.267
	u	2598.8	2695.3	2783.1	2867.6	2951.3	3035.3	3120.3	3293.9
	h	2796.8	2923.3	3037.6	3147.5	3255.8	3364.2	3473.1	3694.0
	s	6.455	6.709	6.918	7.102	7.269	7.424	7.570	7.839
20.0 (212.4)	v		0.11	0.125	0.139	0.151	0.163	0.176	0.200
	u		2679.6	2772.6	2859.8	2945.2	3030.5	3116.2	3290.9
	h		2902.5	3023.5	3137.0	3247.6	3357.5	3467.6	3690.1
	s		6.545	6.766	6.956	7.127	7.285	7.432	7.702
25 (223.9)	v		0.0870	0.0989	0.109	0.120	0.130	0.140	0.159
	u		2662.6	2761.6	2851.9	2939.1	3025.5	3112.1	3288.0
	h		2880.1	3008.8	3126.3	3239.3	3350.8	3462.1	3686.3
	s		6.408	6.644	6.840	7.015	7.175	7.323	7.596
30 (233.8)	v		0.0706	0.0811	0.0905	0.0994	0.108	0.116	0.132
	u		2644.0	2750.1	2843.7	2932.8	3020.4	3108.0	3285.0
	h		2855.8	2993.5	3115.3	3230.9	3344.0	3456.5	3682.3
	s		6.257	6.539	6.743	6.921	7.083	7.234	7.509
40 (250.4)	v			0.0588	0.0664	0.0734	0.080	0.0864	0.0989
	u			2725.3	2826.7	2919.9	3010.2	3099.5	3279.1
	h			2960.7	3092.5	3213.6	3330.3	3445.3	3674.4
	s			6.362	6.582	6.769	6.936	7.090	7.369
50 (263.9)	v			0.453	0.0519	0.0578	0.0633	0.0686	0.0[illegible]
	u			2698.0	2808.7	2906.6	2999.7	3091.0	3273.0
	h			2924.5	3068.4	3195.7	3316.2	3433.8	3666.5
	s			6.208	6.646	6.449	6.819	6.976	7.259
60 (275.5)	v			0.0362	0.0422	0.0474	0.0521	0.0567	0.0653
	u			2667.2	2789.6	2892.9	2988.9	3082.2	3266.9
	h			2884.2	3043.0	3177.2	3301.8	3422.2	3658.4
	s			6.067	6.333	6.541	6.719	6.880	7.168
70 (285.8)	v			0.0295	0.0352	0.0399	0.0442	0.0481	0.0557
	u			2632.2	2769.4	2878.6	2978.0	3073.4	3260.7
	h			2838.4	3016.0	3158.1	3287.1	3410.3	3650.3
	s			5.931	6.228	6.448	6.633	6.798	7.089

Study PowerPoint

↓P (bar) t (°C)	Property	50	100	150	200	250	300	400	500
80	u	0.02995	0.03222	0.03817	0.03817	0.04175	0.04516	0.04845	0.05481
(294.9)	h	2987.3	3066.1	3398.3	3272.0	3398.3	3521.0	3642.0	3882.4
	s	6.130	6.254	6.878	6.555	6.724	6.878	7.021	7.281
90	u	0.0258	0.02796	0.03677	0.03350	0.03677	0.03987	0.04285	0.04857
(303.3)	h	2956.6	3041.3	3256.6	3256.6	3386.1	3511.0	3633.7	3876.5
	s	6.036	6.169	6.285	6.484	6.658	6.14	6.959	7.169
100	u	0.02242	0.02453	0.02641	0.02975	0.03279	0.03564	0.03837	0.04358
(311.0)	h	2923.4	3015.4	3096.5	3240.9	3373.7	3500.9	3625.3	3870.5
	s	5.944	6.089	6.212	6.419	6.597	6.756	6.9.3	7.169
110	u	0.01961	0.02169	0.02351	0.02668	0.02952	0.03217	0.03470	0.03950
(318.0)	h	2887.3	2988.2	3074.7	3224.7	3361.0	3490.7	3616.9	3864.5
	s	5.853	6.011	6.142	6.358	6.540	6.703	6.851	7.120
120	u	0.01721	0.01931	0.02108	0.02412	0.02680	0.02929	0.03164	0.06310
(324.6)	h	2847.7	2958.9	3051.3	3208.2	3348.2	3480.4	3608.3	3858.4
	s	5.760	5.935	6.075	6.300	6.487	6.653	6.804	7.075
130	u	0.01511	0.01725	0.01900	0.02194	0.2252	0.02474	0.02683	0.03075
(330.8)	h	2803.3	2927.9	3027.2	3191.3	3322.0	3459.3	3591.1	3484.2
	s	5.663	5.859	6.009	6.245	6.390	6.562	6.712	6.994
150	u	0.01145	0.01388	0.01565	0.01845	0.02080	0.02293	0.02491	0.02861
(342.1)	h	2692.4	2858.4	2975.5	31.56.2	3308.6	3448.6	3582.3	3840.1
	s	5.442	5.703	5.881	6.140	6.334	6.520	6.679	6.957
160	u	0.00975	0.01426	0.01426	0.01701	0.01930	0.02134	0.02323	0.02674
(294.9)	h	2615.7	2818.9	2947.6	3138.0	3294.9	3437.8	3573.5	3833.9
	s	5.302	5.622	5.188	6.091	6.301	6.480	6.640	6.922
170	u		0.01117	0.01302	0.01575	0.01797	0.01993	0.02174	0.02509
(352.3)	h		2776.8	2918.2	3119.3	3281.1	3426.9	3564.6	3827.7
	s		5.539	5.754	6.042	6.259	6.442	6.604	6.889
180	u		0.00996	0.01190	0.01462	0.01678	0.01868	0.02042	0.02362
(356.9)	h		2727.9	2887.0	3100.1	3267.0	3415.9	3555.6	3821.5
	s		5.448	5.689	5.995	6.218	6.405	6.570	6.858
190	u		0.00881	0.01088	0.01361	0.01572	0.01756	0.01924	0.02231
(361.4)	h		2671.3	2853.8	3080.4	3252.7	3404.7	3546.6	3815.3
	s		5.346	5.622	5.948	6.179	6.369	6.537	6.828
200	u		0.00767	0.00994	0.01269	0.9477	0.01655	0.01818	0.02113
(365.7)	h		2602.5	2818.1	3060.1	3238.2	3393.5	3537.6	3809.0
	s		5.227	5.554	5.902	6.140	6.335	6.505	6.772
220	u		0.00482	0.00825	0.01110	0.01312	0.01481	0.01634	0.01909
(373.7)	h		2345.1	2737.6	3017.9	3208.6	3370.6	3519.2	3796.5
	s		4.810	5.407	5.811	6.066	6.269	6.444	6.745

जहाँ, v = आयतन

u = आंतरिक ऊर्जा

h = एन्थालपी

s = एन्ट्रापी

□□□

Study PowerPoint

ODD SEMESTER EXAMINATION (U.P.), DECEMBER-2019

ऊष्मा इंजीनियरिंग
(Thermal Engineering)

Code : 2185

Third Semester

Time : 2.30 Hours] [Maximum Marks : 50

Notes :

(i) Attempt all questions. Answer any two parts from each question.

(ii) Students are advised to specially check the Numerical Data of question paper in both versions. If there is any difference in Hindi translation of any question, the students should answer the question according to the English version.

(iii) Use of Pager and Mobile Phone by the students is not allowed.

नोट—सभी प्रश्नों के उत्तर दीजिए। प्रत्येक प्रश्न के किन्हीं दो भागों के उत्तर दीजिए।

1. (क) एक "परफैक्ट" तथा आदर्श गैस की परिभाषा कीजिए।
   (ख) थर्मोडायनेमिक्स के शून्य नियम को बताइये और विवेचना कीजिए।
   (ग) रिवर्सीबल तथा अरिसर्वीबल क्रियाओं की विवेचना प्रत्येक के एक-एक उदाहरण के साथ कीजिए।
   [5 + 5 = 10]

2. (क) आदर्श गैस के चार्ल्स के नियम को बताइये। इसे आरेख पर प्रस्तुत कीजिए।
   (ख) एक आयसोथर्मल क्रिया में गैस का आयतन 2400 मिमी^{3} से कम होकर 1360 मिमी^{3} हो जाता है। यदि प्रारम्भिक प्रैशर 0.6 kgf/cm^2 है तो इसका प्रैशर क्रिया के बाद ज्ञात कीजिए तथा प्रैशर गेज पर रीडिंग भी बताइये।
   (ग) यूनिवर्सल गैस कोनस्टैन्ट पर संक्षिप्त टिप्पणी लिखिए।
   [5 + 5 = 10]

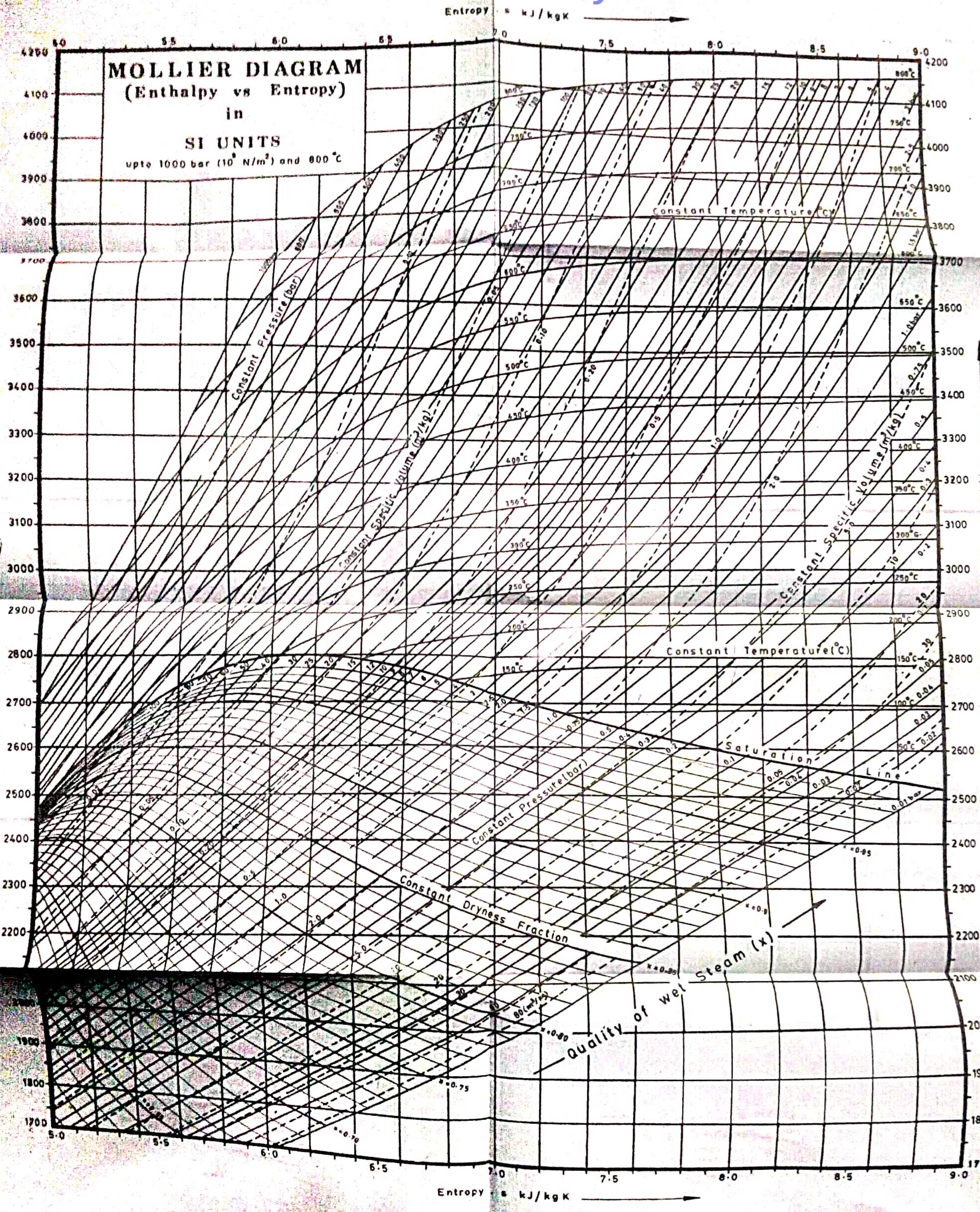
3. (क) थर्मोडायनेमिक्स के प्रथम नियम को बताइये।
   (ख) एडियाबैटिक क्रिया की विवेचना कीजिए।
   (ग) गैसों में दो प्रकार की विशिष्ट ऊष्मा होती है। ये क्या हैं? तथा इनमें आपस में क्या सम्बन्ध है?
   [5 + 5 = 10]

4. (क) थर्मोडायनेमिक्स के दूसरे नियम पर दो वक्तव्य दीजिए।
   (ख) एक आटो चक्र की दक्षता 50% है। एडियाबैटिक इन्डैक्स (अर्थात् r) का मान 1.5 है। सिद्ध कीजिए कि कम्प्रैशन रेशो 4 है।
   (ग) किसी एक प्रकार के बॉयलर का विवरण प्रस्तुत कीजिए।
   [5 + 5 = 10]

5. (क) मोलियर चार्ट क्या है? इसके उपयोग क्या हैं?
   (ख) ऊष्मा का ट्रांस्फर निम्नलिखित पद्धतियों से होता है—
   (i) रेडियेशन (ii) कंडक्शन (iii) कनवैक्शन
   प्रत्येक के लिए एक-एक इंजीनियरिंग उदाहरण के सन्दर्भ में किन्हीं दो पद्धतियों की मैकनिज्म की विवेचना कीजिए।
   (ग) कम्प्रैस्ड (सम्पीडित) हवा के कुछ उपयोग लिखिये।
   [5 + 5 = 10]

O

Study PowerPoint



Study PowerPoint

सार्थक

ऊष्मा इंजीनियरिंग

Thermal Engineering

Jai Prakash Nath Publications
Gandhi Ashram Crossing, Nauchandi Road, Meerut City (U.P.)
Tel.: (O)2762403, 4056123, (R) 4022395 Fax: 0121-2600606
web : www.jpnpbooks.com E-mail : jpnpmrt@hotmail.com

Like us on facebook
www.facebook.com/jpnpmrt