अंशुल अग्रवाल

द्रवीय एवं वायवीय इंजीनियरी

HYDRAULICS AND PNEUMATICS

एशियन पब्लिशर्स, मुज़फ़्फ़रनगर®

SYLLABUS

HYDRAULICS AND PNEUMATICS

L	T	P
5	1	2

Rationale: Diploma holders in this course are required to deal with problems of fluid and use of hydraulics and pneumatics in power generation. For this purpose, knowledge and skills about fluid mechanics and machinery, hydraulics and pneumatics systems are required to be imparted for enabling them to perform above functions.

Learning Outcomes

After undergoing the subject, the students will be able to:

- Explain fluid properties, their units and conversion.
- Measure different types of pressures.
- Maintain different types of pressure gauges.
- Calculate flow and discharge of various liquids.
- Apply Bernoulli's theorem for calculating pipe diameter and height of pipe from ground.
- Calculate pipe friction and losses in pipelines.
- Specify hydraulic machines for different applications.
- Apply Pascal's law in practical applications.
- Explain the functions of various components used in hydraulic and pneumatic system.
- Maintain hydraulic and pneumatic system.

SUGGESTED DISTRIBUTION OF MARKS

S. No.	Topics	Time Allotted (Periods)	Marks Allotted (%)
1.	Introduction	06	08
2.	Pressure and its Measurement	07	10
3.	Flow of Fluids	09	12
4.	Flow through Pipes	10	15
5.	Hydraulic System	05	08
6.	Water Turbines and Pumps	14	20
7.	Introduction to Oil Power Hydraulics and Pneumatics	05	07
8.	Components of Hydraulic Systems	06	08
9.	Components of Pneumatic Systems	08	12
	Total	70	100

DETAILED CONTENTS

1. Introduction (06 Periods)

Fluid, types of fluid; properties of fluid viz mass density, weight density (specific weight), specific volume, capillarity, specific gravity, viscosity, compressibility, surface tension, kinematic viscosity and dynamic viscosity and their units.

2. Pressure and its Measurement (07 Periods)

2.1 Concept of pressure (Atmospheric Pressure, gauge pressure, absolute pressure).

2.2 Pressure measuring devices: piezometer tube manometers—simple U-tube, differential single column, inverted U-tube, micromanometer including simple problems.

2.3 Bourdon pressure gauge, Diaphragm pressure gauge, dead weight pressure gauge.

3. Flow of Fluids (09 Periods)

Types of fluid flow—steady and unsteady, uniform and non-uniform, laminar and turbulent; rate of flow and their units; continuity equation of flow; potential energy of a flowing fluid; total head; Bernoulli's theorem (statement and proof) and its applications. Discharge measurement with the help of venturi-meter, orifice meter, pitot-tube, limitations of Bernoulli's theorem simple problems.

4. Flow through Pipes (10 Periods)

4.1 Definition of pipe flow, wetted perimeter, hydraulic mean depth, hydraulic gradient; loss of head due to friction; Chezy's equation and Darcy's equation of head loss (without proof), Reynold's number and its effect on pipe friction; siphon, power developed. Water hammer, anchor block, syphon, surge tank (concept only).

4.2 Loss of head in pipes due to sudden enlargement, sudden contraction, obstruction on flow path, change of direction and pipe fittings (without proof).

5. Hydraulic System (05 Periods)

Description, operation and application of hydraulic systems—hydraulic ram, hydraulic jack, hydraulic brake, hydraulic accumulator, hydraulic door closer, hydraulic press.

6. Water Turbines and Pumps (14 Periods)

6.1 Concept of a turbine, types of turbines—impulse and reaction type (concept only), difference between thom. Construction and working of pelton wheel, Francis turbine, Propeller and Kaplan turbines. Unit speed, unit power, unit discharge, specific speed of turbines, Cavitations.

6.2 Concept of hydraulic pump, single acting reciprocating pump (construction and operation only), vane, screw and gear pumps.

6.3 Construction, working and operation of centrifugal pump. Performance, efficiencies and specifications of a centrifugal pump, pitting, cavitation, priming.

7. Introduction to Oil Power Hydraulics and Pneumatics (05 Periods)

7.1 Introduction to oil power hydraulic and pneumatic system

7.2 Statement of Pascal law and its applications

7.3 Industrial applications of oil power hydraulic and pneumatic system

8. Components of Hydraulic Systems (06 Periods)

8.1 Basic components of hydraulic system, function of each component in a hydraulic circuit.

8.2 Oil reservoirs, couplings, motors and pumps—definition and functions of the parts,

8.3 Filters—definition and purpose, classification

8.4 Seals and packing- classification of seals, sealing materials.

(08 Periods)

9. Components of Pneumatic Systems

9.1 Basic components—function of each component.

9.2 Air compressors—Introduction.

9.3 Air cylinder—types, function, single acting, double acting, rotating, non-rotating, piston type, diaphragm type, tanden cylinder, double ended cylinder, duplex cylinder.

9.4 Air filter, regulator and lubricator—their necessity in pneumatic circuit.

9.5 Installation, maintenance and application of air cylinders.

LIST OF PRACTICALS

1. Measurement of pressure head by employing.
   (i) Piezometer tube
   (ii) Single and double column manometer
2. To find out the value of coefficient of discharge for a venturimeter.
3. Measurement of flow by using venturimeter.
4. Verification of Bernoulli's theorem.
5. To find coefficient of friction for a pipe (Darcy's friction).
6. To study hydraulic circuit of an automobile brake and hydraulic ram.
7. Study the working of a Pelton wheel and Francis turbine.
8. To study a single stage centrifugal pump for constructional details and its operation to find out its normal head and discharge.
9. Direct operation of single and double acting cylinder.
10. Automatic operation of double acting cylinder in single cycle using limit switch.
11. Operation of double acting cylinder with quick exhaust wall.

विषय-सूची

1.	परिचय (Introduction)	1–27
2.	दाब तथा उसका मापन (Pressure and its Measurement)	28–66
3.	तरलों का प्रवाह (Flow of Fluids)	67–123
4.	पाइपों से प्रवाह (Flow Through Pipes)	124–169
5.	द्रवीय निकाय (Hydraulic System)	170–183
6.	जल टरबाइन तथा पम्प (Water Turbines and Pumps)	184–223
7.	तेल शक्तियुक्त द्रविक तथा वायवीय प्रणालियों का परिचय (Introduction to Oil Power Hydraulic and Pneumatic Systems)	224–235
8.	द्रविक प्रणाली के अवयव (Components of Hydraulic System)	236–253
9.	वायवीय प्रणाली के अवयव (Components of Pneumatic Systems)	254–269
•	प्रयोगात्मक-कार्य (Practicals)	270–304
•	प्रश्न-पत्र (Paper)	

1 Chapter

परिचय
(Introduction)

§ 1.1. द्रव इन्जीनियरी (Hydraulics) :

द्रव इन्जीनियरी को अंग्रेजी भाषा में हाइड्रोलिक्स (Hydraulics) कहते हैं जो ग्रीक शब्द "Hudour" से बना है। Hudour का अर्थ है—पानी। इस प्रकार द्रव इन्जीनियरी को निम्न प्रकार परिभाषित किया जा सकता है—

"यह अभियांत्रिकी-विज्ञान की वह शाखा है जिसके अन्तर्गत पानी की स्थिर अथवा गति अवस्था में व्यवहार का अध्ययन किया जाता है।"

अथवा

"द्रव इन्जीनियरी ऐसा विषय है जिसके अन्तर्गत हम तरल यान्त्रिकी के सिद्धान्तों के आधार पर द्रवों के व्यवहार का अध्ययन, द्रव से सम्बन्धित इन्जीनियरी कार्यों में उपयोग व समस्याओं के समाधान हेतु करते हैं।"

"It is the Branch of Engineering Science, which deals with water (at rest or in motion). The subject Hydraulic machines may be defined as the branch of Engineering Science which deals with the machines run by water undersome head or raising the water to higher levels."

§ 1.2. पदार्थ एवं इसके विभिन्न रूप :

पदार्थ उस चीज को कहते हैं जिसको छूने पर वह हमारी ज्ञानेन्द्रियों पर प्रभाव डालता है, जिसका कुछ आयतन होता है तथा जो कुछ न कुछ स्थान घेरता है।

पदार्थ के अणुओं के बीच परस्पर दूरी तथा उनके बीच अन्तर आणविक आकर्षण बल (Intermolecular force of attraction) के आधार पर पदार्थ को निम्न रूपों में विभक्त किया जा सकता है—

(1) ठोस (Solid), (2) द्रव (Liquid), तथा (3) गैस तथा वाष्प (Gas and Vapours)

ठोस (Solid) पदार्थ के अणु, आपस में बहुत अधिक आकर्षण बल के कारण एक-दूसरे के बहुत पास-पास होते हैं और मजबूती से जुड़े रहते हैं जिससे इनमें दृढ़ता (Rigidity) का गुण उत्पन्न होता है। ठोस पदार्थ अपना आकार बदलने में काफी प्रतिरोध (Resistance) प्रस्तुत करते हैं अत: इनका आकार बदलने के लिये बहुत अधिक बल की आवश्यकता पड़ती है। अर्थात् ठोस पदार्थ तनन (Tensile), सम्पीडन (Compression), और कर्तन अथवा अपरूपण (Shear) बलों को अधिक सहन कर सकते हैं।

द्रव (Liquid) पदार्थ के अणुओं के मध्य ठोस पदार्थों के मुकाबले अन्तर आणविक आकर्षण बल कम होता है। अत: ये टोस पदार्थ की अपेक्षा अपने आकार को बदलने में कम प्रतिरोध प्रस्तुत करते हैं। यही कारण है कि द्रव पदार्थ जिस बर्तन में भरे जाते हैं उसी का आकार ग्रहण कर लेते हैं व इनमें बहने की क्षमता होती है। द्रव तनन-बल सहन नहीं कर पाते। किसी बर्तन में भरे होने पर ये उस दशा में संपीडन बल सहन कर पाते हैं। कर्तन बल के अधीन द्रव विरूपित (Deform) होते हैं परन्तु उनकी तहों (Layers) में परस्पर कर्तन बल का प्रतिरोध करने की प्रवृत्ति होती है।

गैसीय (Gaseous) पदार्थों के अणुओं में परस्पर, ठोस व द्रव पदार्थों की तुलना में, बहुत कम अन्तर-आणविक आकर्षण बल होता है, तथा ये समस्त दिशाओं में तेजी से घूमते रहते हैं एवं आपस में टकराते रहते हैं। यदि गैस को किसी बर्तन में भरा जाये तो उसके अणु बर्तन (पात्र) में पूरी तरह फैल जाते हैं क्योंकि इनमें बहने की क्षमता बहुत अधिक होती है। गैसों में तनन बल व कर्तन बल का प्रतिरोध करने की क्षमता नहीं होती। परन्तु ये किसी पात्र में भरी होने पर सम्पीडन बल द्वारा बहुत अधिक सम्पीडित की जा सकती हैं।

निष्कर्ष यह है कि द्रव व गैस पदार्थों के गुणों में एक समानता यह है कि ये जिस पात्र में भरे जाते हैं उसी का आकार ले लेते हैं और उनमें बहने की प्रवृत्ति होती है।

§ 1.3. बहने की क्षमता के आधार पर पदार्थ के रूप :

बहने की क्षमता या प्रवृत्ति के आधार पर सभी पदार्थों को निम्न दो रूपों में विभक्त किया जा सकता है—

1. ठोस (Solids), तथा
2. तरल (Fluids)

ठोस पदार्थ बहने की क्षमता नहीं रखते, इस आधार पर इन्हे न बह सकने वाले पदार्थ कहते हैं।

तरल पदार्थ वे हैं जो बहने की क्षमता रखते हैं। तरल पदार्थों के अन्तर्गत द्रव, वाष्प तथा गैस आते हैं।

§ 1.4. तरल पदार्थ (Fluids) :

एक ''तरल पदार्थ'' को निम्न प्रकार परिभाषित किया जा सकता है—

''तरल वे पदार्थ हैं जो बहने की क्षमता रखते हों तथा जिस बर्तन में उसे रखा जाये उसी का आकार धारण कर लेते हैं।''

अथवा

''तरल वे पदार्थ हैं जो बाह्य कर्तन बलों (Shearing force) के प्रभाव में लगातार विरूपित होते रहते हैं।''

"A fluid is a substance which is capable of flowing, confirms to the shape of the containing vessel and deforms continuously when subjected to external shearing force."

§ 1.5. तरलों का वर्गीकरण (Classification of Fluids) :

प्रमुख आधारों पर तरलों को निम्न प्रकार वर्गीकृत किया जा सकता है—

(.) सम्पीड्यता (Compressibility) के आधार पर

 (a) द्रव (Liquid)

 (b) गैसें तथा वाष्प (Gases and Vapours)

(2) सैद्धान्तिक तथा व्यावहारिक आधार पर

 (a) आदर्श तरल (Ideal Fluids)

 (b) व्यावहारिक तरल (Practical Fluids)

(3) कर्तन प्रतिबल के कारण उत्पन्न विरुपण की दर (Rate of Shear Strain) के आधार पर

 (a) न्यूटोनियन तरल (Newtonian Fluids)

 (b) नान न्यूटोनियन तरल (Non-Newtonian Fluids)

(c) प्लास्टिक तरल (Plastic Fluids)

(d) आदर्श तरल (Ideal Fluids)

(e) विस्तारीय (Dilatent Fluids)

1. **सम्पीड्यता के आधार** पर सभी तरल दो प्रकार के होते हैं—

(a) **द्रव**—ये प्राय: असम्पीड्य तरल होते हैं। इसको आसानी से नहीं दबाया जा सकता है तथा इन पर तापमान परिवर्तन का कम प्रभाव पड़ता है।

(b) **गैसें तथा वाष्प**—ये सम्पीड्य तरल कहलाते हैं। इन्हें आसानी से दबाया जा सकता है तथा इन पर तापमान परिवर्तन का अधिक प्रभाव पड़ता है।

2. **सैद्धान्तिक तथा व्यावहारिक आधार पर** सभी तरल दो प्रकार के होते हैं—

(a) **आदर्श तरल (Ideal fluid)**—उन तरल पदार्थों को कहते हैं जो अपने किसी भी कण के विस्थापन में कोई प्रतिरोध प्रस्तुत नहीं करते।

इनको दबाया नहीं जा सकता है और ये अश्यान (Non-viscos) होते हैं।

(b) **व्यावहारिक तरल (Real Fluid)**—वे तरल हैं जो अपने किसी भी कण के विस्थापन में कुछ न कुछ प्रतिरोध अवश्य प्रस्तुत करते हैं। इन्हें दबाया जा सकता है तथा इनमें पृष्ठ तनाव और श्यानता के गुण भी होते हैं।

3. **कर्तन प्रतिबल के कारण उत्पन्न विरूपण की दर (Rate of Deformation) के आधार पर** तरलों को निम्न प्रकार वर्गीकृत किया जाता है—

(a) **न्यूटोनियन तरल (Newtonian Fluids)**—ये वे तरल हैं जो न्यूटन के श्यानता समीकरण (Viscosity equation) $\left[\tau = \mu \frac{dv}{dy}\right]$ का पूर्ण रूप से पालन करते हैं। इस प्रकार के तरलों के लिए श्यानता (Viscosity) 'μ' का मान विरुपण की दर के साथ अपरिवर्तनीय रहता है। उदाहरणतया—पानी, कैरोसिन, वायु आदि।

(b) **नान-न्यूटोनियन तरल (Non-Newtonian Fluids)**—ये वे तरल हैं जो न्यूटन के श्यानता समीकरण का पूर्णत: पालन नहीं करते हैं अर्थात् $\tau \neq \mu \frac{dv}{dy}$

इन तरलों के लिए μ का मान विरूपण की दर के साथ बदलता है। उदाहरणतया: विभिन्न प्रकार के विलयन, पोलीमर विलयन, रक्त आदि।

(c) **प्लास्टिक तरल (Plastic Fluids)**—प्लास्टिक तरल नान न्यूटोनियन तरल होते हैं तथा इनमें लगातार विरूपण के लिए प्रारम्भिक पराभव प्रतिबल आवश्यक होता है।

एक आदर्श प्लास्टिक तरल (An Ideal Plastic Fluid)—निश्चित पराभव प्रतिबल रखता है तथा उसके बाद कर्तन प्रतिबल और विरूपण की दर के मध्य एक नियत रेखीय सम्बन्ध रखता है। आदर्श प्लास्टिक तरल के लिए

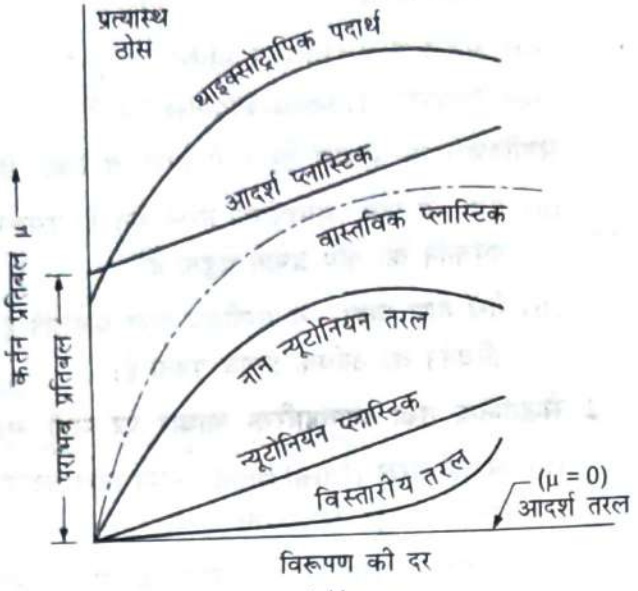
$$\tau = \tau_0 + \mu \left(\frac{dv}{dy}\right)^n$$

उदाहरणतया—राख तथा मिट्टी का पानी में घोल।

एक **थाइक्सोट्रापिक पदार्थ** (Thyxo-tropic Substance) वे तरल है जो एक निश्चित पराभव प्रतिबल के पश्चात् कर्तन प्रतिबल और विरूपण की दर के मध्य एक रेखीय सम्बन्ध नहीं रखते। उदाहरणतया—खनिज तेल, प्रिंटर की इंक आदि।

(d) आदर्श तरल—ये तरल असंपीडीय तथा अश्यान होते हैं। आदर्श तरल के लिए कर्तन प्रतिबल शून्य होता है।

उपरोक्त सभी तरलों को चित्र 1.1 में कर्तन प्रतिबल-विरूपण की दर आरेख पर प्रदर्शित किया गया है। आदर्श तरलो ($\mu = 0$) को क्षैतिज अक्ष पर तथा पूर्णतया प्रत्यास्थ ठोस को उर्ध्वाधर अक्ष पर दिखाया गया है।



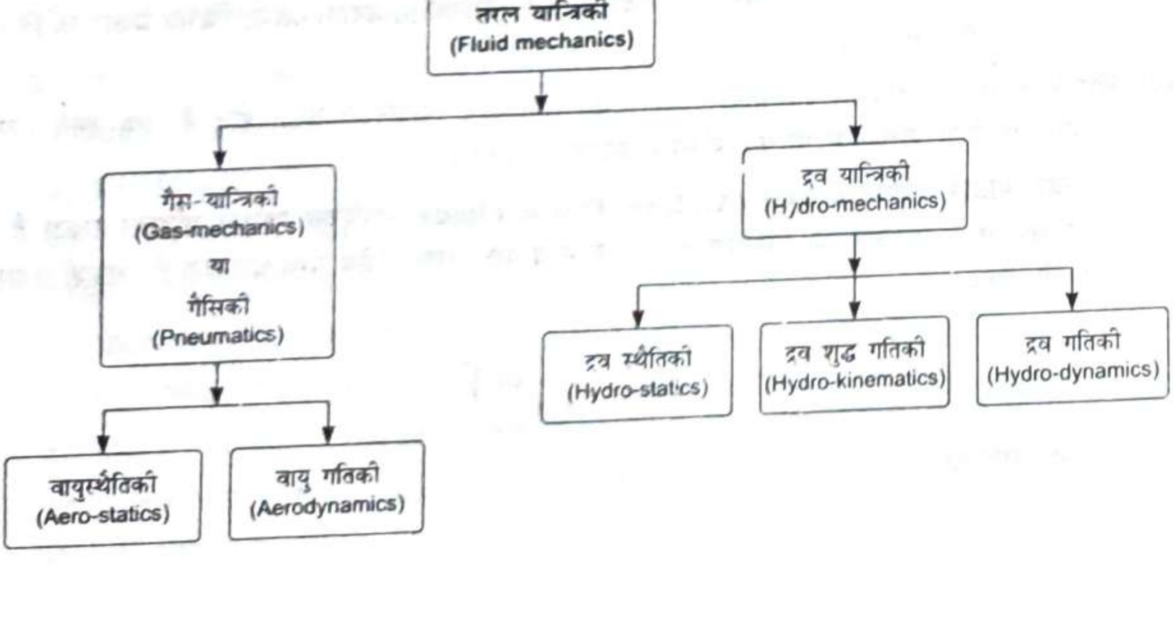
चित्र 1.1

§ 1.6. तरल यान्त्रिकी की शाखायें (Branches of Fluid Mechanics) :

तरल पदार्थों का अध्ययन तरल यान्त्रिकी (Fluid Mechanics) तथा इसकी विभिन्न शाखाओं में किया जाता है। "तरल यान्त्रिकी इन्जीनियरी-विज्ञान की वह शाखा है जिसके अन्तर्गत-तरल की स्थिर अथवा गतिमान अवस्थाओं में उसके व्यवहार का अध्ययन किया जाता है।"

"Fluid Mechanics is the branch of engineering science which deals with the behavior of fluid under the condition of rest and motion."

सैद्धान्तिक रूप में हम तरल यान्त्रिकी मे असम्पीडय (Incompressible) तरलों का ही अध्ययन करते हैं जबकि सम्पीडय तरलों अर्थात् गैसों या वायु आदि का अध्ययन गैसिकी (Pneumatics) या गैस-यान्त्रिकी (Gas Mechanics) के अन्तर्गत करते हैं। तरल यान्त्रिकी की विभिन्न शाखायें निम्न प्रकार वर्गीकृत की जाती है—



विस्तृत अध्ययन हेतु तरल-यान्त्रिकी को दो वर्गों में बाँटा गया है—

1. **गैसिकी** (Pneumatics) या गैस यान्त्रिकी के अन्तर्गत गैसों या वाष्पों के व्यवहार का अध्ययन किया जाता है। इसकी प्रमुख शाखायें वायु स्थैतिकी (Aerostatics), वायु गतिकी (Aerodynamics) या गैस गतिकी (Gas Dynamics) आदि हैं।

2. **द्रव यान्त्रिकी** की तीन शाखायें (यान्त्रिकी की शाखाओं के आधार पर ही) की गई हैं—
   (a) **द्रव स्थैतिकी** (Hydrostatics) के अन्तर्गत हम तरल यान्त्रिकी के सिद्धान्तों के आधार पर द्रव के व्यवहार का, इसके सापेक्ष (Relative) या निरपेक्ष (Absolute) स्थिर अवस्थाओं में इन्जीनियरी कार्यों में उपयोग हेतु अध्ययन करते हैं।
   (b) **द्रव शुद्ध गतिकी** (Hydro Kinematics) के अन्तर्गत हम बह रहे द्रव के वेग व प्रवाह के रूप आदि के व्यवहार का अध्ययन तरल यान्त्रिकी के सिद्धान्तों के आधार पर करते हैं परन्तु द्रव पर लगने वाले बलों के व्यवहार का अध्ययन नहीं करते हैं।
   (c) **द्रव गतिकी** (Hydrodynamics) के अन्तर्गत हम बह रहे द्रव के प्रवाह, वेग, उस पर लगने वाले बल, त्वरण (Acceleration) आदि का तरल यान्त्रिकी के सिद्धान्तों के आधार पर इन्जीनियरी कार्यों में उपयोग हेतु अध्ययन करते हैं।

§ 1.7. तरलों के गुण (Properties of Fluid) :

वैसे तो तरल पदार्थों के अनेक गुण हैं परन्तु विषय ''द्रव इन्जीनियरी'' मुख्यतः पानी से सम्बन्धित है। किसी तरल के कुछ प्रमुख गुण निम्नलिखित हैं—

1. **घनत्व** (Density, Mass Density or Specific Mass)
2. **आपेक्षिक (विशिष्ट) भार या भार घनत्व** (Specific Weight or Weight density)
3. **आपेक्षिक (विशिष्ट) घनत्व या आपेक्षिक गुरुत्व** (Specific Density or Specific Gravity)
4. **ससंजन** (Cohesion)
5. **आसंजन** (Adhesion)
6. **श्यानता** (Viscosity) **तथा गतिमितीय श्यानता** (Kinematic Viscosity)
7. **तल तनाव या पृष्ठ तनाव** (Surface Tension)
8. **केशिका क्रिया एवं केशिकत्व** (Capillary Action or Capillarity)
9. **दाब एवं वाष्प दाब** (Pressure and Vapour Pressure)
10. **संपीड्यता** (Compressibility) **तथा आयतन गुणांक** (Bulk Modulus)
11. **आपेक्षिक (विशिष्ट) आयतन** (Specific Volume)
12. **तापमान तथा दाब का प्रभाव** (Effect of Temperature and Pressure)

1.7.1. घनत्व या आपेक्षिक संहति (Density, Mass Density or Specific Mass)

किसी तरल के इकाई आयतन की मात्रा (Mass) को उसका घनत्व कहते हैं।

"The density of a liquid is the mass per unit volume at standard temperature and pressure."

इसे ρ द्वारा प्रदर्शित करते हैं। इस प्रकार, यदि किसी तरल की M मात्रा का आयतन V हो तो,

$$\text{तरल का घनत्व} = \frac{\text{तरल की मात्रा}}{\text{तरल का आयतन}}$$

या $$\rho = \frac{M}{V} \quad \text{...(i)}$$

(MKS मात्रक में) घनत्व ρ की इकाई (Unit) = $\frac{kg_m}{m^3}$ या $\frac{kg_f sec^2}{m^4}$

(SI मात्रक में) घनत्व ρ की इकाई (Unit) = $\frac{kg}{m^3}$ या $\frac{N \cdot sec^2}{m^4}$

नोट—तरल का घनत्व, उसके तापमान व दाब के परिवर्तनों के अनुसार बदलता है।

कुछ प्रमुख द्रवों के घनत्व सारणी 1.1 में दिये गये हैं।

सारणी 1.1

द्रव	तापमान °C	घनत्व ρ kg/m^3
शुद्ध जल	15	999
शुद्ध जल	4	1,000
समुद्री जल	15	1,020
पारा	15	13,558
मिट्टी का तेल	15	790 से 820
पैट्रोल	15	630 से 780
एल्कोहल	15	790
पेट्रोलियम	20	790 से 1,000
ग्लिसरीन (जल रहित)	0	1,200

1.7.2. आपेक्षिक भार या भार घनत्व (Specific Weight or Weight Density)

किसी तरल के इकाई आयतन के भार को आपेक्षिक (विशिष्ट) भार या भार घनत्व कहते हैं।

"The weight density is defined as the weight per unit volume at the standard temperature and pressure."

यह इकाई आयतन के तरल पर लगा हुआ गुरुत्वाकर्षण बल प्रदर्शित करता है। अतः इसकी इकाई बल प्रति इकाई आयतन होगी। इसे सामान्यतः w से प्रदर्शित करते हैं।

यदि तरल के V घन मीटर आयतन का भार W kg_f या W न्यूटन हो तो,

आपेक्षिक भार (विशिष्ट भार), $w = \frac{W}{V}$ **Unit:** kg_f/m^3 या N/m^3 ...(ii)

760 mm पारा दाब तथा 4°C तापमान पर जल का आपेक्षिक भार

$$w = 1000\ kg_f/m^3 = 9.81 \times 1000\ N/m^3 = 9.81\ kN/m^3$$

घनत्व तथा आपेक्षिक भार में सम्बन्ध—

हम जानते हैं कि

$$W = mg$$

या

$$wV = \rho V \times g \qquad \left(\because w = \frac{W}{V} \text{ तथा } \rho = \frac{M}{V} \text{ से}\right)$$

या

$$w = \rho \times g \qquad ...(iii)$$

साधारण तापमान परिवर्तनों के लिए द्रव का आपेक्षिक भार स्थिर मान लिया जाता है क्योंकि **ताप परिवर्तन का द्रव के घनत्व पर बहुत कम प्रभाव पड़ता है जबकि गैस के घनत्व पर यह बहुत अधिक प्रभाव डालता है।**

1.7.3. आपेक्षिक (विशिष्ट) घनत्व या आपेक्षिक गुरुत्व (Specific Density or Specific Gravity)

तरल के घनत्व तथा मानक पदार्थ (Standard Substance) के घनत्व के अनुपात (Ratio) को तरल का आपेक्षिक घनत्व कहते हैं। दूसरे शब्दों में, तरल के आपेक्षिक भार और मानक पदार्थ के आपेक्षिक भार के अनुपात को भी उस तरल का आपेक्षिक घनत्व कहते हैं।

"Specific gravity is the ratio of the specific weight of the liquid to the specific weight of the standard fluid."

द्रवों के लिए मानक पदार्थ 4°C पर शुद्ध जल तथा गैसों के लिए 0°C पर कार्बन-डाइ-आक्साइड रहित वायु या हाइड्रोजन को मानक पदार्थ के रूप में लिया जाता है। चूँकि यह एक अनुपात है अत: इसकी कोई इकाई नहीं होती। इसे प्राय: '*S*' से प्रदर्शित करते हैं। इस प्रकार,

$$\text{तरल का आपेक्षिक घनत्व} = \frac{\text{तरल (द्रव) का घनत्व}}{4°\text{C पर शुद्ध जल का घनत्व}} = \frac{\rho_{\text{द्रव}}}{\rho_{\text{जल}}} \qquad ...(iv)$$

साथ ही,

$$\text{तरल का आपेक्षिक गुरुत्व} = \frac{\text{तरल (द्रव) का आपेक्षिक भार}}{4°\text{C पर शुद्ध जल का आपेक्षिक भार}} = \frac{w_{\text{द्रव}}}{w_{\text{जल}}} \qquad ...(v)$$

शुद्ध जल का आपेक्षिक घनत्व = 1.0

पारे का आपेक्षिक घनत्व = 13.6

एक द्रव या तरल का आपेक्षिक घनत्व या आपेक्षिक गुरुत्व का मान समान ही होगा।

उदाहरण 1.1. 4 m³ की टंकी में कोई द्रव लबालब भरा है। द्रव का कुल भार 31392 N है। द्रव का आपेक्षिक भार, घनत्व और आपेक्षिक घनत्व ज्ञात कीजिये।

हल—दिया है, द्रव का कुल भार, $W = 31392$ N

इस द्रव का कुल आयतन, $V = 4 \text{ m}^3$

(i) द्रव का आपेक्षिक भार, $w = \dfrac{W}{V} = \dfrac{31392 \text{ N}}{4} = \mathbf{7848 \text{ N/m}^3}$ **उत्तर**

(ii) द्रव का घनत्व, $\rho = \dfrac{w}{g} = \dfrac{7848}{9.81} = \mathbf{800 \text{ N sec}^2/\text{m}^4}$ **उत्तर**

(iii) द्रव का आपेक्षिक घनत्व $= \dfrac{\text{द्रव का आपेक्षिक भार}}{\text{शुद्ध जल का आपेक्षिक भार}} = \dfrac{7848}{9810} = \mathbf{0.8}$ **उत्तर**

उदाहरण 1.2. एक बेलनाकार बर्तन (Cylindrical Vessel) में 16 cm ऊँचाई तक पारा भरा है। पारे का भार ज्ञात कीजिये यदि बेलन का व्यास 7 cm हो। पारे का आपेक्षिक घनत्व 13.6 मानिये।

हल—दिया है,

बेलन का व्यास = 7 cm

बेलन में पारे की ऊँचाई = 16 cm

बेलन में पारे का आयतन = $\frac{\pi}{4}(7)^2 \times 16 = 616 \text{ cm}^3$

या $616 \times 10^{-6} \text{ m}^3$

सूत्र $w = \frac{W}{V}$ से—

अतः, पारे का भार = पारे का आपेक्षिक भार × आयतन

अर्थात्, $W = w \times V$

या W = (पारे का आपेक्षिक घनत्व × पानी का आपेक्षिक भार) × V

मान रखने पर,

∵ पारे का भार, $W = 13.6 \times 1000 \times 616 \times 10^{-6}$

$= \mathbf{8.377\ kg_f}$ या 8.377×9.81 N

$= \mathbf{82.184\ N}$ उत्तर

उदाहरण 1.3. उस द्रव का आपेक्षिक भार तथा आपेक्षिक घनत्व ज्ञात कीजिए जिसका घनत्व (Specific mass) 1112 N sec²/m⁴ है।

हल—दिया है, द्रव का घनत्व, $\rho = 1112 \text{ N sec}^2/\text{m}^4$

∴ द्रव का आपेक्षिक भार, $w = \rho \times g = 1112 \times 9.81 = 10908.7 \text{ N/m}^3$

द्रव का आपेक्षिक घनत्व = $\frac{\text{द्रव का आपेक्षिक भार}}{\text{शुद्ध जल का आपेक्षिक भार}}$

$= \frac{10908.7}{9.81 \times 1000} = \mathbf{1.112}$ उत्तर

उदाहरण 1.4. 0.4 m × 0.4 m काट वाली एक टंकी में 1 m ऊँचाई तक कोई तेल भरा है। तेल का आ० गु० 0.8 मानते हुए टंकी में भरे तेल का भार ज्ञात करिये।

हल—दिया है— टंकी की काट 'A' = 0.4 m × 0.4 m

तेल की ऊँचाई = 1 m

तेल का आ० गु० = 0.8

टंकी में भरे तेल का भार = तेल का आ० भार × तेल का आयतन ($W = w \cdot V$ से)

टंकी में भरे तेल का भार = $(0.8 \times 1000 \times g) \times (0.4 \times 0.4 \times 1)$

$= \mathbf{1255.68\ N}$ उत्तर

उदाहरण 1.5. 0.9 आपेक्षिक घनत्व (आपेक्षिक गुरुत्व) वाले तेल के 20 litre की संहति ज्ञात कीजिये। पानी का घनत्व 1000 kg/m^3 मानिये।

हल—दिया है— तेल का आयतन, $V = 20$ litre

आ० गुरुत्व, $w = 0.9$

$$\text{तेल का आपेक्षिक घनत्व} = \frac{\text{तेल का घनत्व}}{\text{पानी का घनत्व}}$$

$\therefore$ तेल का घनत्व = तेल का आपेक्षिक घनत्व × पानी के घनत्व

$$= 0.9 \times 1000 = 900 \text{ kg/m}^3$$

$\because$ $1 \text{ litre} = 1000 \text{ cm}^3$

$\therefore$ $20 \text{ litre} = 20 \times 1000 \text{ cm}^3 = \frac{1}{50} \text{ m}^3$

$\therefore$ दिया है, तेल की प्रति m^3 की संहति = 900 kg

$\therefore$ $\frac{1}{50}$ m^3 की संहति = $\frac{1}{50} \times 900 = $ **18 kg** उत्तर

1.7.4. ससंजन (Cohesion)

यह तरल का वह गुण है जिसके कारण एक ही तरल के दो कण एक-दूसरे को आकर्षित करते हैं। इसी गुण के कारण तरल कुछ तनाव प्रतिबल सह सकते हैं। **अर्थात् द्रव का वह गुण जिससे तरल (द्रव) के कण में परस्पर आणविक आकर्षण** (Molecular Attraction) **बना रहता है, ससंजन कहलाता है और वह आणविक आकर्षण बल जिससे कि तरल के कण आपस में एक-दूसरे को आकर्षित करते हैं ससंजक** (Cohesive) **बल कहलाता है।**

"Cohesion means intermolecular attraction between molecules of the same liquid. The molecular attraction force by which the particles attract each other is called cohesive force."

1.7.5. आसंजन (Adhesion)

यह तरल का वह गुण है जिसके कारण दो असमान तरल के कण, अथवा एक तरल तथा एक किसी ठोस के कण आपस में चिपके रह सकते हैं या आकर्षित होते हैं।

"Adhesion means attraction between the molecules of two dissimilar fluid or molecules of a solid and a fluid."

दो विभिन्न पदार्थ अर्थात् तरल व ठोस, या दो तरलों के कणों के मध्य वह आणविक आकर्षण बल जिससे वे कण आपस में आकर्षित होते हैं आसंजक (Adhessive) बल कहलाता है। उदाहरण के लिए जल शीशे की प्लेट को भिगो देता है किन्तु पारा नहीं चिपकता। इसका कारण यह है कि जल व शीशे के कणों में आसंजन बल अधिक है जबकि पारे तथा शीशे के कणों में आसंजन बल कम है और पारे के स्वयं के कणों में ससंजन बल अधिक होता है।

1.7.6. श्यानता तथा गतिमितीय श्यानता (Viscosity and Kinematic Viscosity)

श्यानता तरल का वह गुण है जिसके कारण तरल की एक सतह (Layer) **का दूसरी सतह पर फिसलने में विरोध होता है अर्थात् तरल की श्यानता उस तरल के कणों को विकृत** (Deform) **करने की आपेक्षिक**

सरलता या कठिनता की माप होती है। कम श्यानता वाले तरल (Less Viscous Fluids) **अधिक सरलता से बहते हैं।**

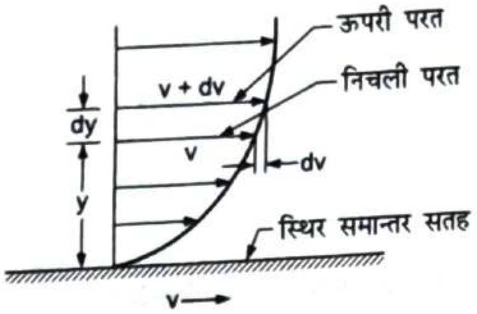
"Viscosity is the property of a liquid which resists the flow of one layer of liquid over another layer. It may be defined as the property of a liquid which determines its resistance to shearing stresses."

यही कारण है कि कम श्यानता (Viscosity) वाला जल या एल्कोहल, अधिक श्यानता वाले शहद अथवा टार (Tar) की तुलना में आसानी से बहते हैं।

श्यानता का यह गुण प्रमुखतया ससंजन (Cohesion) तथा द्रव की विभिन्न परतों के मध्य आणविक संवेग में परिवर्तन के कारण होता है। जब द्रव बहता है तो यह प्रभाव कर्तन प्रतिबलों के रूप में गतिशील द्रव परतों के मध्य दिखाई पड़ता है।

आदर्श तरल में श्यानता का गुण नहीं होता। कोई भी तरल पूर्ण रूप से आदर्श तरल नहीं होता फिर भी बहुत कम श्यानता वाले तरलों को हम आदर्श तरल मान लेते हैं।

माना कोई द्रव चित्र 1.2 के अनुसार एक समतल पर प्रवाहित हो रहा है। चित्रानुसार जब 'dy' दूरी पर स्थित दो परतें एक दूसरे पर विभिन्न वेगों, माना v तथा $(v + dv)$, से बहती है तो सापेक्ष वेग 'dv' के कारण द्रव परतों के मध्य एक कर्तन प्रतिबल कार्य करता है। ऊपरी परत अपने से नीचे वाली संलग्न परत पर दायीं ओर कर्तन प्रतिबल लगाती है तथा निचली परत संलग्न ऊपरी परत पर बायीं ओर कर्तन प्रतिबल लगाती है। **यह कर्तन प्रतिबल, स्थिर समतल सतह से दूरी 'y' के सापेक्ष, वेग परिवर्तन की दर के समानुपाती होता है।** इस कर्तन प्रतिबल को 'τ' (Tau, टाऊ) से प्रदर्शित करते हैं। अत:



चित्र 1.2

$$\tau \propto \frac{dv}{dy}$$

या
$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \quad ...(vi)$$

(हस्तलिखित: $= \frac{f}{A}$ where f = प्रतिरोधी बल)

जहाँ μ (म्यू, Mu) = एक समानुपातिक नियतांक है तथा **गतिक श्यानता गुणांक (Coefficient of Dynamic Viscosity) या श्यानता (Viscosity) कहलाता है।**

तथा, $\frac{dv}{dy}$ = कर्तन प्रतिबलों की दर अथवा गतिक ढाल (Velocity Gradient) है।

उपरोक्त सम्बन्ध (vi) ही **"न्यूटन का श्यानता समीकरण"** **(Newton's Viscosity Equation)** कहलाता है।

पुन: सम्बन्ध (vi) से,

$$\mu = \frac{\tau}{[dv/dy]} \quad ...(vii)$$

इस प्रकार श्यानता को **"कर्तन विकृति की एकांक दर उत्पन्न करने के लिए आवश्यक कर्तन प्रतिबल"** द्वारा भी व्यक्त किया जा सकता है। श्यानता (Viscosity) की इकाईयाँ (Units)—**SI प्रणाली में**

सम्बन्ध (vii) से
$$\mu = \frac{\tau}{[dv/dy]} = \frac{\text{बल/क्षेत्रफल}}{\frac{(\text{दूरी/समय})}{\text{दूरी}}} = \frac{\text{बल/दूरी}^2}{1/\text{समय}}$$

$$= \frac{\text{बल} \times \text{समय}}{(\text{दूरी})^2} = \frac{\text{न्यूटन} \times \text{से०}}{(\text{मी})^2} = \frac{\text{N-s}}{\text{m}^2}$$

M.K.S. प्रणाली में

$$= \frac{\text{किग्रा} \times \text{से०}}{(\text{मी})^2} = \frac{kg_f \times sec}{m^2}$$

C.G.S. प्रणाली में—C.G.S. प्रणाली में श्यानता की इकाई को एक पॉइस (Poise) भी कहते हैं।

अतः

$$1 \text{ पॉइस (Poise)} = 1 \ \frac{\text{डाइन} \times \text{से०}}{(\text{सेमी})^2}$$

या

$$1 \text{ पॉइस} = \frac{1}{10} \frac{\text{N.sec}}{\text{m}^2} = \frac{1}{10} \frac{kg_f\text{-sec}}{m^2} \text{ (MKS में)}$$

20°C पर पानी की श्यानता लगभग $\frac{1}{100}$ पॉइस या 1 सेन्टीपॉइस होती है।

श्यानता सम्बन्धी प्रमुख तथ्य—द्रव इन्जीनियरी में 'श्यानता' एक प्रमुख गुण होता है। अतः इससे सम्बन्धित निम्नलिखित तथ्य उल्लेखनीय हैं—

(i) श्यानता का विचार व गणना तभी की जाती है जबकि द्रव बह रहा हो, स्थिर द्रव में श्यानता का कोई महत्व नहीं होता है।

(ii) श्यानता पर दाब का नगण्य प्रभाव पड़ता है। द्रव के लिए तापमान घटने पर श्यानता बढ़ती है व तापमान बढ़ने पर कम हो जाती है। गैस की श्यानता तापमान बढ़ने पर बढ़ती जाती है। इसका कारण यह है कि द्रवों में कर्तन प्रतिबल अन्तर-आणविक ससंजन बल (Intermolecular Cohesive Force) होते हैं जो तापमान के बढ़ने पर कम हो जाते हैं। गैसों में अन्तर-आणविक ससंजन बल नगण्य होते हैं तथा कर्तन प्रतिबल, अणुओं के संवेग में परिवर्तन के कारण होते हैं तथा गति के दिशा के लम्बवत् होती है। तापमान में वृद्धि से आणविक गतिविधियाँ बढ़ जाती हैं जिससे गैसों की श्यानता बढ़ जाती है।

द्रव के लिए—
$$\mu_T = A.e^{\beta/T}$$

गैसों के लिए—
$$\mu_T = \frac{b\sqrt{T}}{1 + a/T}$$

जहाँ μ_T = परम तापमान T पर गतिक श्यानता (Dynamic Viscosity)

A तथा β = द्रव के लिए नियतांक, तथा a, b = गैस के लिए नियतांक।

(iii) यदि कोई द्रव पाइप या दो प्लेटों के बीच में बहता है, तो दीवार से लगे कणों का वेग लगभग शून्य होगा तथा दीवार से दूर होने पर कणों का वेग बढ़ता जायेगा।

(iv) द्रव की विभिन्न परतें श्यानता के कारण एक-दूसरे पर फिसलने का प्रतिरोध करती हैं तो ऊष्मा ऊर्जा के रूप में द्रव में फैल जाती है। अतः इस प्रकार ऊर्जा की हानि होती है जिसे घर्षण हानि (Friction Loss) या त्वचा घर्षण हानि (Skin Friction Loss) कहते हैं।

गतिमितीय श्यानता या निरपेक्ष गतिज श्यानता (Kinematic Viscosity)

तरल की श्यानता तथा उसकी मात्रा घनत्व के अनुपात को गतिमितीय श्यानता कहते हैं।

"Kinematic viscosity is defined as the ratio between the dynamic viscosity and density of fluid."

इसे ν, (न्यू Nu) से प्रदर्शित करते हैं। इस प्रकार,

$$\text{गतिमितीय (शुद्ध गति) श्यानता (Kinematic viscosity)} = \frac{\text{तरल की श्यानता (dynamic viscosity of fluid)}}{\text{तरल का मात्रा घनत्व (density of fluid)}}$$

या

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

ν की इकाई C.G.S. प्रणाली में 'स्टोक' (Stoke) कहलाती है इस प्रकार,

$$1 \text{ स्टोक} = 1\ \frac{\text{cm}^2}{\text{sec}} \text{ (CGS प्रणाली में)}$$

$$= 10^{-4}\ \frac{\text{m}^2}{\text{sec}} \text{ (MKS प्रणाली में)}$$

ν की इकाई की गणना करना, $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ से,

$$\nu = \frac{\dfrac{\text{न्यूटन} \times \text{से०}}{\text{मी}^2}}{\dfrac{\text{किग्रा}_{(\text{संहति})}}{(\text{मी})^3}} = \text{किग्रा}_{(\text{संहति})} \times \frac{\text{मी}}{\text{से०}^2} \times \frac{\text{से०}}{\text{मी}^2} \times \frac{\text{मी}^3}{\text{किग्रा}_{(\text{संहति})}} = \frac{\text{मी}^2}{\text{से०}} \text{ या } \text{m}^2/\text{sec}$$

SI तथा MKS प्रणाली में—ν की इकाई मी²/से०, जहाँ $1\ \text{m}^2/\text{sec} = 10^4\ \text{st} = 10^6\ \text{cst}$.

श्यानता का मापन—द्रवों की श्यानता के मापन के लिए विभिन्न प्रकार के विस्कोमीटर (Viscometer) का प्रयोग किया जाता है। इनमें सेबोल्ट (Saybolt) विस्कोमीटर, एंगलर (Englar) विस्कोमीटर आदि प्रमुख हैं। कुछ द्रवों की निरपेक्ष गतिक श्यानता (Kinematic Viscosity), ν निम्न प्रकार हैं—

पैट्रोल—$0.85 \times 10^{-6}\ \text{m}^2/\text{s}$

पानी—$1 \times 10^{-6}\ \text{m}^2/\text{s}$

ग्लिसरीन—$1200 \times 10^{-6}\ \text{m}^2/\text{s}$

उदाहरण 1.6. दो एक सी बोतलों में क्रमशः जल व पेट्रोल भरा है जिनकी श्यानता क्रमशः 0.011 तथा 0.021 और घनत्व क्रमशः 1 व 0.84 है। यदि बोतलों को खाली करने में बहुत पतली नलियों को प्रयोग में लाया गया हो तो उनके खाली होने के समय की तुलना करिये।

हल—हम जानते हैं कि द्रव प्रवाह की दर गतिमितीय (शुद्ध गति) श्यानता के अनुपात में होती है। अतः खाली होने के समय की तुलना

$$= \frac{\text{जल खाली होने में लगा समय}}{\text{पैट्रोल खाली होने में लगा समय}} = \frac{\text{जल की गतिमितीय श्यानता}}{\text{पैट्रोल की गतिमितीय श्यानता}}$$

$$= \frac{\text{जल की श्यानता/जल का घनत्व}}{\text{पैट्रोल की श्यानता/पैट्रोल का घनत्व}} = \frac{0.011/1}{0.021/0.84} = 0.44$$

अतः जल के खाली होने में पैट्रोल की अपेक्षा **केवल 0.44** गुना समय लगेगा। **उत्तर**

उदाहरण 1.7. एक पेंटर 10 cm × 2.5 cm के एक ब्रुश से 10 पाइस (Poise) श्यानता वाले पेंट की 4 mm मोटी परत एक धातु की चादर पर चढ़ाता है। यदि वह ब्रुश 0.6 m/sec की गति से चलाता है तो ब्रुश चलाने में कितना प्रतिरोध होगा?

हल—सूत्र $\tau = \mu \frac{dv}{dy} = \frac{F}{A}$ से,

$$\therefore \quad F = \mu \frac{dv}{dy} \times A$$

सभी मान SI पद्धति में रखने पर,

$$\text{प्रतिरोध बल, } F = \frac{10}{10} \times \frac{0.6}{0.004} \times (0.10 \times 0.025)$$

$$\therefore \quad F = \mathbf{0.375\ N}$$

उत्तर

उदाहरण 1.8. एक द्रव का आपेक्षिक घनत्व 20°C पर 0.80 तथा शुद्ध श्यानता 2.3 सेन्टीस्टोक है। इसका इकाई आयतन का भार और श्यानता *Pa.s* में ज्ञात कीजिए। **(UP 2004)**

हल—

$$\text{द्रव का आपेक्षिक घनत्व} = \frac{\text{द्रव का घनत्व}}{4^\circ C \text{ पर शुद्ध जल का घनत्व}}$$

$$\therefore \quad 0.8 = \frac{\text{द्रव का घनत्व}}{1000}$$

$$\therefore \quad \text{द्रव का घनत्व} = 0.8 \times 1000 = 800\ kg/m^3$$

$$\text{द्रव के एकाँक आयतन का भार} = 9.81 \times \text{द्रव का घनत्व} = 9.81 \times 800$$

$$= 7848\ kg/m^3 = 78480\ N/m^3$$

और

$$\text{द्रव की श्यानता} = \text{गतिक श्यानता} \times \text{द्रव का घनत्व}$$

जबकि

$$\text{गतिक श्यानता} = 2.3 \text{ सेन्टी स्टोक} = 2.3 \times 10^{-6}\ m^2/sec$$

$$\therefore \quad \text{द्रव की श्यानता} = 2.3 \times 10^{-6} \times 800\ \frac{m^2}{sec} \times \frac{kg}{m^3}$$

$$= 1.84 \times 10^{-3}\ \frac{kg\text{-}m}{sec^2} \times \frac{sec}{m^2}$$

$$= 1.84 \times 10^{-3}\ \frac{N\ sec}{m^2} = \mathbf{1.84 \times 10^{-3}\ Pa.sec}$$

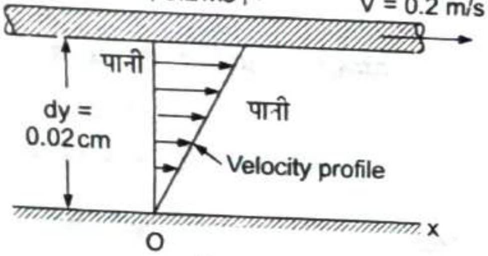
उत्तर

उदाहरण 1.9. एक 0.1 m² क्षेत्र की चपटी प्लेट, दूसरी 0.02 cm की दूरी पर स्थित स्थिर प्लेट के सापेक्ष 0.2 m/sec की गति से खींची जाती है। दोनों प्लेटों के मध्य पानी भरा है, जिसकी श्यानता 0.001 N-S/m² है। वेग को बनाये रखने के लिए आवश्यक बल एवं शक्ति ज्ञात करिये।

हल—देखें चित्र 1.3

दिया है—$\mu = 0.001$, $dv = 0.2$ m, $dy = 0.02$ cm $= 0.0002$, $A = 0.1\ m^2$

हम जानते हैं कि $\tau = \mu \frac{dv}{dy} = \frac{F}{A}$ से,



चित्र 1.3

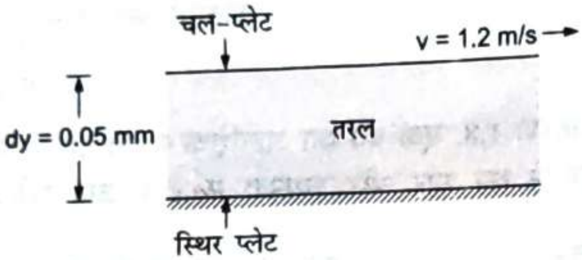
आवश्यक बल, $F = \mu \frac{dv}{dy} \cdot A$ में मान रखने पर, (समस्त मान S.I. में रखने पर)

$$F = 0.0001 \times \frac{0.2}{0.0002} \times 0.1 = \mathbf{0.1\ N}$$

आवश्यक शक्ति (Power) $= F \cdot dv = 0.1 \times 0.2$

$= \mathbf{0.02\ Nm/sec}$ या **वाट** उत्तर

उदाहरण 1.10. एक स्थिर प्लेट से 0.05 mm की दूरी पर एक प्लेट 1.2 m/sec के वेग से सरक रही है तथा इस वेग को बनाये रखने के लिए 2.2 N/m² के बल की आवश्यकता होती है। प्लेटों के मध्य तरल की श्यानता ज्ञात कीजिए।



चित्र 1.4

हल—दिया है—

चल-प्लेट का वेग, $v = 1.2$ m/sec

प्लेटों के मध्य दूरी, $dy = 0.05$ mm

$= 0.05 \times 10^{-3}$ m

चल प्लेट पर बल, $F = 2.2\ N/m^2 = \tau$

हम जानते हैं कि

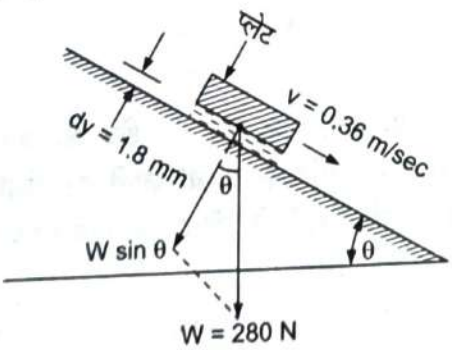
कर्तन प्रतिबल, $\tau = \mu \cdot \frac{dv}{dy}$

यहाँ, वेग में परिवर्तन, $dv = v - 0 = 1.2 - 0 = 1.2$ m/sec

$\therefore \quad 2.2 = \mu \times \frac{1.2}{0.05 \times 10^{-3}}$

$\therefore \quad \mu = 9.16 \times 10^{-5}\ N.s/m^2 = \mathbf{9.16 \times 10^{-4}\ poise}$ उत्तर

उदाहरण 1.11. 0.6 m² क्षेत्रफल वाली एक प्लेट, क्षैतिज से 30° के कोण पर झुके एक नत समतल पर नीचे की ओर 0.36 m/sec के वेग से सरक रही है। समतल तथा प्लेट के मध्य 1.8 mm मोटी, तरल की एक कुशन गद्दी बनी है। तरल की श्यानता ज्ञात कीजिए यदि प्लेट का भार 280 N है।



चित्र 1.5

हल—दिया है— प्लेट का क्षेत्रफल, $A = 0.6\ m^2$

प्लेट का भार, $W = 280$ N

प्लेट का वेग, $v = 0.36$ m/sec

फिल्म की मोटाई, $t = dy = 1.8$ mm

$= 1.8 \times 10^{-3}$ m

समतल के अनुदिश भार W का घटक $= W \sin\theta$

$= 280 \sin 30° = 140$ Newton

प्लेट की तली पर कर्तन बल, $F = 140$ N

तथा कर्तन प्रतिबल, $\tau = \frac{F}{A} = \frac{140}{0.6} = 233.33\ N/m^2$

हम जानते हैं, $$\tau = \mu \cdot \frac{dv}{dy}$$

जहाँ dv = वेग में परिवर्तन $= v - 0 = 0.36$ m/sec

$dy = t = 1.8 \times 10^{-3}$ m

$$\therefore \quad 233.33 = \mu \times \frac{0.36}{1.8 \times 10^{-3}}$$

$$\therefore \quad \mu = \frac{233.33 \times 1.8 \times 10^{-3}}{0.36} = 1.166 \text{ N-s/m}^2$$

$$= \mathbf{11.66 \text{ poise}}$$

उत्तर

उदाहरण 1.12. एक पाइप में बह रहे द्रव के लिए वेगों में परिवर्तन $\frac{v}{V} = 1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2$ द्वारा निर्धारित होता है, जहाँ V, प्रवाह की केन्द्रीय अक्ष पर गति है और r व R उस बिन्दु व दीवार से क्रमशः त्रिज्य दूरियाँ (Radial Distances) हैं। देखिये चित्र 1.7। यदि $V = 10$ m/sec, श्यानता 2 सेंटी पाइस व पाइप का व्यास एक मीटर हो तो r/R के अनुपातों 0.2, 0.5 तथा 0.8 के लिए कर्तन प्रतिबल के मान ज्ञात करिये।

हल—दिया है, $$\frac{v}{V} = 1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2$$

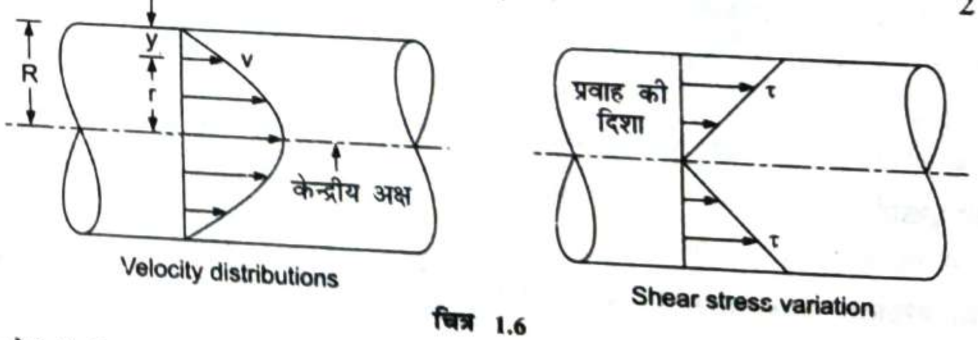
या $$v = V\left[1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2\right]$$

तब r के सापेक्ष अवकलन करने पर,

$$\frac{dv}{dr} = -V \times 2\frac{r}{R^2} \text{ से}$$

$$\frac{dv}{dr} = -10 \times 2\left(\frac{r}{R}\right) \cdot \frac{1}{R} \qquad (\because V = 10 \text{ m/sec दिया है।})$$

$$= -40\left(\frac{r}{R}\right) \qquad (\text{व्यास} = 1 \text{ m} \therefore R = \frac{1}{2} \text{ m रखने पर})$$



चित्र 1.6

प्रश्नानुसार [देखिये चित्र 1.6] $y = R - r$ और तब $dy = -dr$

अतः $\tau = \mu \frac{dv}{dy}$ में $dy = -dr$ रखने पर $\tau = -\mu \frac{dv}{dr}$ सूत्र बना,

तब मान रखने पर,

$$\tau = -2 \times 0.001 \times (-40)\frac{r}{R} \text{ प्राप्त हुआ।}$$

$\frac{r}{R}$ के मान क्रमशः इस सूत्र में रखने पर

$\frac{r}{R}$ के क्रमशः 0.2, 0.5, 0.8 मान रखने पर,

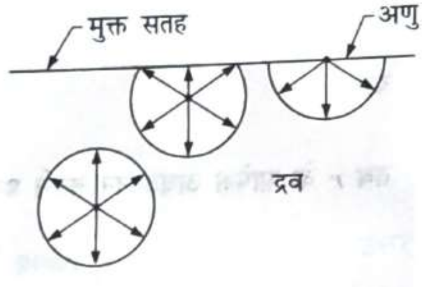
कर्तन प्रतिबल τ के मान भी क्रमशः 0.016, 0.040, 0.064 प्राप्त होंगे जो उत्तर हैं।

1.7.7. तल तनाव या पृष्ठ तनाव (Surface Tension)

किसी द्रव तथा गैस या एक द्रव और दूसरे द्रव (आपस में न घुलने वाले द्रव) की सम्पर्क सतह (Contact Surface) खिंचाव या तनाव में होती है तथा ये सम्पर्क सतह एक प्रत्यास्थ झिल्ली (Elastic-membrane) की तरह कार्य करती है जो थोड़ा तनाव प्रतिबल सह सकती है। पृष्ठ के इसी तनाव को "पृष्ठ-तनाव" (Surface Tension) कहते हैं।

"The surface tension of a liquid is its property, which enables it to resist tensile stresses. It is due to the cohesion between the molecules at the surface of the liquid."

"पृष्ठ तनाव" किसी द्रव का गुण है जो इसे तनाव प्रतिवलरोधी बनाता है। यह द्रव की सतह पर अणुओं के मध्य ससंजन के गुण के कारण होता है। एक द्रव अणु जो द्रव के बीच में है, अपने चारों ओर से अन्य द्रव अणुओं से घिरा रहता है तथा सन्तुलन में होता है। द्रव की मुक्त सतह पर सतह से ऊपर कोई अणु नहीं होगा जो किसी द्रव सतह के अणु पर नीचे से लगने वाले ससंजन बल को सन्तुलित कर सके। इस प्रकार, जैसा कि चित्र 1.7 में दिखाया गया है। अणु पर अन्दर की ओर एक शुद्ध बल लगता है। यह बल द्रव सतह के लम्बवत् होगा। मुक्त सतह पर अणुओं की एक प्रत्यास्थ झिल्ली बन जाती है। यह इस झिल्ली के कारण ही होता है कि कोई सुई द्रव की मुक्त सतह पर तैर जाती है।



चित्र 1.7—पृष्ठ तनाव

पृष्ठ तनाव के कुछ प्रमुख उदाहरण निम्न प्रकार हैं—

(i) बारिश में पानी की गिरती हुयी बूंद, ससंजन तथा तल तनाव के कारण ही गोलाकार होती है।

(ii) किसी वृक्ष में द्रव (Sap) का चढ़ना।

(iii) कैपीलरी क्रिया

(iv) तल या पृष्ठ तनाव के कारण ही पानी की सतह पर धूल (Dust) आदि के कण रुके रहते हैं।

तल-तनाव की इकाई—तल-तनाव, "बल प्रति एकांक लम्बाई (Force per Unit Length)" में व्यक्त किया जाता है। अतः इसकी इकाई न्यूटन/मी (N/m) होती है।

तल-तनाव को प्रभावित करने वाले कारक—तल-तनाव के मान को प्रभावित करने वाले कारक निम्न हैं—

(i) द्रव की प्रकृति

(ii) परिस्थान के द्रव (Matter) की प्रकृति तथा

(iii) गतिज ऊर्जा (अर्थात् द्रव अणुओं का तापमान)

निम्नलिखित तालिका 1.2 में 20°C (अर्थात् सामान्य तापमान) पर महत्वपूर्ण द्रवों के विशिष्ट भार तथा तनाव के मान दिये गये हैं—

तालिका 1.2

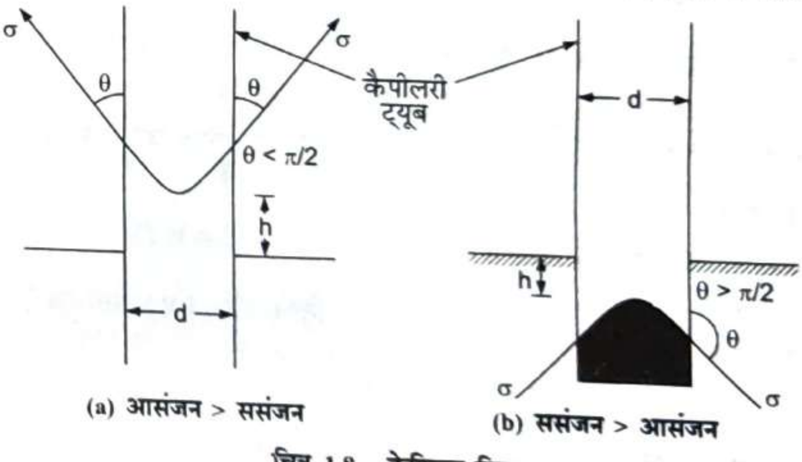
द्रव	विशिष्ट भार kg/m³ में	तल तनाव kg/m में
पानी (Water)	991	0.0075
गिल्सरीन (Glycerine)	1,260	0.0065
कैरोसिन (Kerosene)	800	0.0024
अरण्डी का तेल (Castor Oil)	960	0.0040
एथाइल एल्कोहल (Ethyl Alcohol)	789	0.0022
पारा (Mercury)	13,550	0.0520

1.7.8. केशिका क्रिया या केशिकत्व (Capillary Action or Capillarity)

केशिका क्रिया या केशिकत्व, एक क्रिया है जिसमें एक द्रव, अपने विशिष्ट गुरुत्व के अनुसार, एक कम व्यास की काँच की नलिका में अपने सामान्य स्तर से ऊपर या नीचे चला जाता है। यह द्रव कणों के आसंजन (Adhesion) तथा ससंजन (cohesion) के संयुक्त प्रभाव के कारण होता है।

हम जानते हैं कि **द्रव और ठोस के अणुओं (Molecules) के बीच आकर्षण बल ''आसंजन'' तथा किसी द्रव के ही अणुओं में आपस में आकर्षण बल ''ससंजन'' कहलाता है।**

चित्र 1.8(a) में कम व्यास की काँच की एक ट्यूब पानी में उर्ध्वाधर स्थिति में खड़ी की गई है। पानी की दशा में पानी एवं काँच के मध्य आसंजन बल, पानी के अणुओं के मध्य ससंजन बल से अधिक होता है अतः पानी काँच की नली को गीला कर देता है और नली के अन्दर पानी का तल बर्तन में पानी के तल से ऊँचा हो जाता है। इसके विपरीत, चित्र 1.8(b) के अनुसार, पारे की दशा में पारे के अणुओं के मध्य ससंजन बल, पारे व काँच की नली में आकर्षण बल से अधिक होता



चित्र 1.8—केशिका क्रिया

चित्र 1.8(a) में, माना

d = कैपीलरी ट्यूब का व्यास (Dia. of Capillary Tube)

θ = द्रव तल का सम्पर्क कोण (Angle of Contact)

h = केशिका-चढ़ाई की ऊँचाई (Height of Capillary Rise)

σ = तल तनाव बल (Surface Tension Force) (प्रति एकाँक लम्बाई में), तथा

w = भार घनत्व ($\rho \cdot g$)

है इसलिये पारा, काँच की सतह को गीला नहीं करता और नली के अन्दर पारे का तल बर्तन में पारे के तल से नीचा हो जाता है। द्रव की उपरोक्त प्रक्रिया को ही "**केशिका क्रिया**" या "**केशिकत्व**" कहते हैं।

"Capillarity is a phenomenon by which a liquid (depending upon its specific gravity) rises into a thin glass tube above or below its general level. This phenomenon is due to the combined effect of cohesion and adhesion of liquid particles."

चित्रानुसार, पानी के स्तम्भ के अधोमुखी (Downward) भार बल का सन्तुलन, तल तनाव बल के उर्ध्वाधर घटक द्वारा होता है। सन्तुलन की स्थिति में,

पानी के स्तम्भ का भार = तल तनाव बल का उर्ध्व घटक

$$\frac{\pi}{4}d^2 \times h \times w = \pi d \times \sigma \cos\theta$$

$$\therefore \quad h = \frac{4 \cdot \sigma \cos\theta}{w.d}$$

यदि कोई द्रव ट्यूब की दीवार को गीला कर देता है जैसे कि काँच तथा पानी की दशा में होता है, तब $\theta = 0$

अत: काँच की ट्यूब में पानी की ऊँचाई $h = \frac{4\sigma}{wd}$

पारे की दशा में, चित्र 1.8(b) के अनुसार, पारे का तल नीचे जायेगा तथा सम्पर्क कोण $\theta = 140°$ होता है।

क्योंकि $\cos 140° = -\cos 40°$ अत: h का मान (–) ive होगा।

अर्थात् पारे का तल, बर्तन के तल से नीचे चला जायेगा।

केशिकत्व (Capillarity) को प्रभावित करने वाले कारक—

(i) कैपीलरी ट्यूब का व्यास जितना कम होगा, ट्यूब में द्रव तल उतना ही ऊपर अथवा नीचे जायेगा प्रयोगात्मक कार्यों के लिए यह व्यास 8 mm से कम तथा 12 mm से अधिक नहीं होना चाहिए।

(ii) तल त व के मान को अधिकतर प्रवाह सम्बन्धी प्रश्नों में नगण्य मान लिया जाता है परन्तु कैपीलरी-चढ़ाई (Capillary Rise), बूंदों अथवा बुलबुलों का बनना, द्रव-जेट का ब्रेकअप अथवा द्रवीय मॉडल (Hydraulic-model) के अध्ययन जिसमें प्रवाह की गहराई कम हो, के लिए तल-तनाव का मान भी गणनाओं में लिया जाता है।

(iii) पानी के सम्पर्क कोण का मान $\theta < \pi/2$ होता है—
शुद्ध पानी एवं स्वच्छ काँच सतह के लिए $\theta = 0°$
अशुद्ध पानी के लिए $\theta = 25°$
पारे के लिए सम्पर्क कोण का मान $\theta > \pi/2$ होता है
पारे तथा काँच सतह के लिए $\theta = 130°$ से $150°$ तक

उदाहरण 1.13. 6 m² क्षेत्रफल वाली एक केन्द्रीय प्लेट को 160 N का बल लगाकर खींचा जाता है जैसा कि चित्र 1.9 में दिखाया गया है। यदि दोनों तेलों की गतिक श्यानताएँ (dynamic viscosities) 1 : 3 के अनुपात में हो तथा ऊपरी तेल की श्यानता 0.12 N-s/m² हो तो केन्द्रीय प्लेट का वेग ज्ञात कीजिये।

चित्र 1.9

हल—दिया है—प्लेट का क्षेत्रफल, $A = 6 \text{ m}^2$,

प्लेट पर लगा बल, $F = 160$ N, ऊपरी तेल की श्यानता, $\mu = 0.12$ N-s/m²

माना F_1 = प्लेट के ऊपरी साइड में कर्तन बल,

F_2 = प्लेट के निचली साइड में कर्तन बल, तथा

$F = F_1 + F_2$ = प्लेट को खींचने में लगाया गया बल

अब $F = F_1 + F_2 = \tau_1 \times A + \tau_2 \times A$ (जहाँ τ_1 तथा τ_2 प्लेट के दोनों तरफ कर्तन प्रतिबल है।)

$$\therefore \quad F = \mu\left(\frac{dv}{dy}\right)_1 \times A + 3\mu\left(\frac{dv}{dy}\right)_2 \times A$$

$$\therefore \quad 160 = 0.12 \times \frac{v}{6 \times 10^{-3}} \times 6 + 3 \times 0.12 \times \frac{v}{6 \times 10^{-3}} \times 6$$

$$\therefore \quad 160 = 120v + 360v = 480v$$

$$\therefore \quad v = \frac{160}{480} = \mathbf{0.333\ m/sec}$$

उत्तर

उदाहरण 1.14. किसी द्रव की श्यानता 4.8×10^{-3} N sec/m² है और उसकी शुद्ध गतिज श्यानता का मान 4×10^{-2} स्टोक है। बताइये कि द्रव का आ० गु० कितना है?

हल—प्रश्नानुसार, दिया है—$\mu = 4.8 \times 10^{-3}$ N sec/m², $\nu = 4 \times 10^{-2}$ स्टोक $= 4 \times 10^{-2} \times 10^{-4}$ m²/sec

अब सूत्र $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ से $\rho = \frac{\mu}{\nu}$ में मान रखने पर,

$$\rho = \frac{4.8 \times 10^{-3}}{4 \times 10^{-2} \times 10^{-4}} = 1200 \text{ N-sec/m}^2$$

$$\therefore \quad \text{द्रव का आपेक्षिक घनत्व} = \frac{w_{\text{द्रव}}}{w_{\text{जल}}} = \frac{\rho_{\text{द्रव}}\, g}{W_{\text{जल}}} = \frac{1200 \times 9.81}{1000 \times 9.81} = \mathbf{1.2}$$

उत्तर

उदाहरण 1.15. 2 mm व्यास की काँच की केशिका नली में पानी कितना ऊपर चढ़ेगा, यदि उस तापमान पर पानी का तल तनाव बल 0.075 N/m हो। सम्पर्क कोण शून्य डिग्री मान लीजिये।

हल—प्रश्नानुसार, दिया है—$\theta = 0°$, $d = 2$ mm = 0.002 m, $\sigma = 0.075$ N/m

सूत्र $h = \frac{4\sigma \cos\theta}{wd}$ के मान (S.I. में) रखने पर,

$$h = \frac{4 \times 0.075 \times \cos 0°}{(g \times 1000) \times 0.002} = 0.015 \text{ m} = \mathbf{1.5\ cm}$$

उत्तर

उदाहरण 1.16. जल-तल मापने के लिए प्रयोग की जाने वाली एक काँच की नलिका का न्यूनतम साइज ज्ञात कीजिए जबकि नली में जल अधिकतम 0.3 mm चढ़ सकता हो। वायु के साथ पानी का तल तनाव बल 0.0735 N/m मानिये।

हल—दिया है—नली में जल की चढ़ाई $h = 0.3$ mm $= 0.3 \times 10^{-3}$ m; तल तनाव, $\sigma = 0.735$ N/m, पानी का विशिष्ट भार, $w = 9810$ N/m³

सूत्र $h = \frac{4\sigma \cos\theta}{wd}$ से,

पानी के लिए $\theta = 0°$ मानने पर, $h = \frac{4\sigma}{wd}$

$\therefore$ $d = \frac{4 \times 0.0735}{0.3 \times 10^{-3} \times 9810} = 0.1 \text{ m} = \mathbf{100 \text{ mm}}$ उत्तर

उदाहरण 1.17. एक 4 mm की काँच की नलिका में कैपीलरी प्रभाव ज्ञात कीजिये जबकि वह (i) पानी में तथा (ii) पारे में डुबोई गई हो। द्रवों का तापमान 20°C है जिस पर पानी तथा पारे का वायु के साथ तल तनाव बल क्रमश: 0.0735 N/m तथा 0.51 N/m है। पानी के लिए सम्पर्क कोण $\theta = 0°$ तथा पारे के लिए $\theta = 130°$ है। 20°C तापमान पर पानी का विशिष्ट भार 9790 N/m^3 मानिए।

हल—दिया है—

काँच नली का व्यास $d = 4$ mm $= 0.004$ m, $w = 9790$ N/m^3 (20°C पर),

तल तनाव (20°C पर) $\sigma_{water} = 0.0735$ N/m, $\sigma_{mercury} = 0.051$ N/m

सूत्र $h = \frac{4\sigma.\cos\theta}{wd}$ से—

(i) पानी के लिए कैपीलरी प्रभाव, $h = \frac{4 \times 0.0735 \times \cos 0°}{9790 \times 0.004}$

$= 7.51 \times 10^{-3}$ m $=$ **7.51 mm (चढ़ाव)** उत्तर

(ii) पारे के लिए कैपीलरी प्रभाव, $h = \frac{4 \times 0.051 \times \cos 130°}{(13.6 \times 9790) \times 0.004}$ (जहाँ $\theta_{\text{पारा}} = 130°$ दिया है)

$\therefore$ $h = -2.46 \times 10^{-3}$ m $= -2.46$ m

या $h =$ **2.46 mm (उतार)** उत्तर

1.7.9. दाब एवं वाष्प दाब (Pressure and Vapour Pressure)

तरल पदार्थों को रखने के लिए बर्तन की आवश्यकता होती है और बर्तन की दीवारों पर जो तरल के सम्पर्क में हैं, प्रत्येक बिन्दु पर तरल द्वारा बल लगता है जो कि हमेशा सतह के लम्बवत कार्य करता है। अत: **तरल द्वारा सतह के इकाई क्षेत्रफल (Unit Area) पर लगने वाले बल को दाब या इकाई दाब या दाब तीव्रता (Pressure Intensity) कहते हैं।**

"The force exerted by fluid per unit area of the surface is called pressure intensity."

यदि किसी तरल द्वारा किसी सतह के A क्षेत्रफल पर पड़ने वाला कुल दाब (Total Pressure) P हो तो,

$$\text{दाब}, p = \frac{P}{A}$$

वाष्प-दाब (Vapour Pressure)—सभी द्रव वाष्पित होकर गैस बनाते हैं। इस प्रकार साधारण तापमान पर सभी द्रवों की अपनी सतह के ऊपर अपने अणुओं (Molecules) को मुक्त (Free) करके वाष्पीकृत (Vaporise) होने की प्रवृत्ति होती है। बन्द बर्तन में रखे द्रव के ऊपर के खाली स्थान में उस द्रव की वाष्प भरी रहती है। द्रव सतह के ऊपर एकत्रित वाष्प द्रव पर दाब डालती है जिसे वाष्प-दाब कहते हैं।

अत: $$\text{वाष्प दाब}, p = \frac{\text{वाष्प का कुल भार}}{\text{प्रभावी सतह का क्षेत्रफल}} = \frac{P}{A}$$

प्रत्येक द्रव का वाष्प-दाब विभिन्न तापमानों पर अलग-अलग होता है। जब द्रव तल पर दाब, द्रव के वाष्प-दाब के बराबर या कम हो जाये तो कमरे के तापमान पर ही द्रव उबलने लगता है। तापमान बढ़ने के साथ द्रव का वाष्प-दाब भी बढ़ जाता है। पारे का वाष्प-दाब बहुत कम होता है। जबकि बैन्जीन आदि का वाष्प-दाब बहुत अधिक होता है। पानी का वाष्प-दाब कमरे के तापमान पर $0.0235\ kg_f/cm^2$ या $0.2 \times 10^4\ N/m^2$ या $2\ kN/m^2$ होता है।

वाष्प-दाब तापमान-वृद्धि के साथ बढ़ता है क्योंकि तापमान बढ़ने से द्रव का वाष्पीकरण अधिक होता है। तापमान बढ़ने पर वाष्प-दाब लगातार बढ़ता जाता है जब तक कि वह द्रव के **उबलनांक दाब** (Boiling Pressure) तक नहीं आ जाता है।

पर्वतों पर द्रव का वाष्पीकरण कम दाब पर होने लगता है इसलिये ऊँचाई पर द्रवों का उबलनांक दाब कम होता है। ऊँचाई पर पानी 100°C से कम तापमान पर ही उबलने लगता है। $4.66\ N/cm^2$ वाष्प-दाब पर पानी 80°C पर उबलने लगता है। तालिका 1.3 में पानी के उबलनाँक-तापमान तथा वाष्प-दाब दिये गये हैं।

तालिका 1.3

तापमान, °C	0	10	20	40	60	80	100
वाष्प दाब, N/cm^2	0.0608	0.1226	0.2334	0.7603	1.994	4.66	10.15

तालिका से स्पष्ट है कि 100°C पर पानी का वाष्प-दाब, वायु-मण्डलीय दाब के बराबर है। इसलिये मैदानी क्षेत्र में पानी 100°C तापमान पर उबलने लगता है।

1.7.10. सम्पीड्यता (Compressibility) तथा आयतन गुणांक (Bulk Modulus)

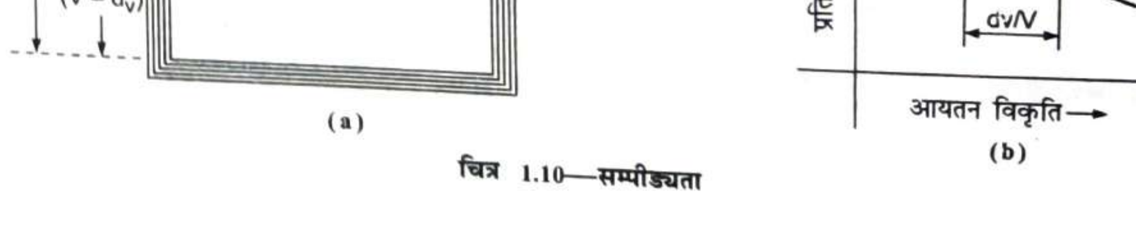
सम्पीड्यता तरल का वह गुण है जिसके कारण तरल पर बाह्य बल लगने पर उसके आयतन में कमी आ जाती है।

"The property by virtue of which fluids undergo a change in volume under the action of external pressure is known as compressibility."

यह कमी वाष्पों तथा गैसों में अत्याधिक होती है परन्तु द्रवों में नगण्य होती है। गणितीय रूप से, सम्पीड्यता को आयतन-प्रत्यास्थता गुणांक के रूप में व्यक्त करते हैं। **सम्पीड्यता-गुणांक के लिये विलोम को प्रत्यास्थता का आयतन गुणांक (Bulk Modulus of Elasticity) कहते हैं।**

"Bulk Modulus of Elasticity 'K' is defined as the ratio of compressive stress to volumetric strain."

इस प्रकार यदि किसी तरल पर दाब में परिवर्तन dp, तथा इस दाब परिवर्तन के लिए आयतन में परिवर्तन dv हो जबकि तरल का प्रारम्भिक आयतन V हो [देखें चित्र 1.10(a), (b)] तो,



चित्र 1.10—सम्पीड्यता

प्रत्यास्थता का आयतन गुणांक, $K = \dfrac{\text{प्रतिबल}}{\text{विकृति}} = \dfrac{-dp}{dv/V}$ N/m^2

K की इकाई $= kg_f/m^2$ (MKS प्रणाली में)

तथा, $= N/m^2$ (SI प्रणाली में)

साधारण दाब 1 kg_f/cm^2 तथा तापमान 10°C पर एक घन मीटर जल का आयतन केवल 0.005% बदलता है अर्थात् K का मान 20000 kg_f/cm^2 होता है। अत: जल असम्पीड्य माना जाता है। K का मान SI प्रणाली में लगभग 1960 N/mm^2 होता है।

समीकरण में (–) चिन्ह दाब में वृद्धि होने पर आयतन में कमी को दर्शाता है।

उदाहरण 1.18. सामान्य ताप व दाब (N.T.P.) पर जल के किसी आयतन को 0.5% सम्पीडित करने के लिए कितने अतिरिक्त दाब की आवश्यकता पड़ेगी? जल के लिए K = 1960 N/mm^2 मानिए।

हल—दिया है—$\dfrac{dv}{V} = 0.5\%$, आयतन गुणांक, $K = 1960$ N/mm^2

सूत्र $K = -\dfrac{dp}{dv/V}$ द्वारा, [(–) चिन्ह आयतन की कमी को प्रदर्शित करता है।]

मान रखने पर,

$$\text{अतिरिक्त दाब, } dp = K \times \frac{dv}{V} = 1960 \times \frac{0.5}{100}$$

$$= \mathbf{980\ N/mm^2}$$ उत्तर

उदाहरण 1.19. 0.9 N/mm^2 दाब लगाने पर एक तरल का आयतन 0.06% कम हो तो उसका आयतन मापांक (Bulk Modulus) ज्ञात कीजिए।

हल—सूत्र $K = -\dfrac{dp}{dv/V}$ में मान रखने पर

$$\text{आयतन मापांक, } K = \frac{0.9}{0.06/100} = \mathbf{1500\ N/mm^2}$$ उत्तर

उदाहरण 1.20. जब एक द्रव का दाब 3.5 MN/m^2 से 6.5 MN/m^2 बढ़ाया जाता है तो उसका आयतन 0.08 प्रतिशत कम पाया जाता है। द्रव का आयतन मापांक (Bulk Modulus) ज्ञात कीजिये।

हल—प्रारम्भिक दाब = 3.5 MN/m^2, अन्तिम दाब = 6.5 MN/m^2

अत: दाब में वृद्धि, $dp = 6.5 - 3.5 = 3.0$ MN/m^2

अत: आयतन में कमी 0.08%

$$\therefore \quad -\frac{dv}{V} = \frac{0.08}{100}$$

हम जानते हैं कि

$$K = \frac{dp}{-\dfrac{dv}{V}} = \frac{3 \times 10^6}{\dfrac{0.08}{100}} = 3.75 \times 10^9 \text{ N/m}^2$$

$$\therefore \quad K = \mathbf{3.75\ GN/m^2}$$ उत्तर

उदाहरण 1.21. 100 litre आयतन वाले एक द्रव पर जब 20.7 MN/m² का दाब लगाया जाता है तो उसका आयतन 1 litre घट जाता है। द्रव का आयतन मापाँक (Bulk Modulus) ज्ञात कीजिये तथा पहचानिये कि यह द्रव कौन-सा है?

हल—लगाया गया कुल दाब, $dp = 20.7 \text{ MN/m}^2$

आयतन में कमी, $dv = 1$ litre, प्रारम्भिक आयतन, $V = 100$ litre

$$\therefore \qquad -\frac{dv}{V} = \frac{1}{100}$$

$$\therefore \text{ आयतन मापाँक (Bulk modulus)}, \quad K = \frac{dp}{-\left(\frac{dv}{V}\right)} = \frac{20.7 \times 10^6}{\frac{1}{100}}$$

$$\therefore \qquad K = 20.7 \times 10^8 \text{ N/m}^2 = \mathbf{2.07 \text{ GN/m}^2}$$ **उत्तर**

K का मान जल के आयतन मापाँक के लगभग बराबर आता है। अत: यह द्रव जल होगा।

1.7.11. आपेक्षिक आयतन या विशिष्ट आयतन (Specific Volume)

तरल के इकाई भार के आयतन को आपेक्षिक (विशिष्ट) आयतन कहते हैं। यह आपेक्षिक भार का विलोम (Reverse) होता है। इसे V_s से प्रदर्शित करते हैं। यदि V आयतन वाले किसी तरल का भार W हो तो,

$$\text{आपेक्षिक आयतन}, \; V_s = \frac{V}{W}$$

$$\text{आपेक्षिक आयतन की इकाई} = \text{m}^3/\text{kg}_\text{f}$$ (MKS मात्रक में)

तथा $$= \text{m}^3/N$$ (SI मात्रक में)

अत: $$\text{जल का आपेक्षिक आयतन} = \frac{1}{1000} \text{ या } 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}_\text{f}$$

$$\text{या } 0.102 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{N}.$$

उदाहरण 1.22. 13.5 आपेक्षिक घनत्व वाले द्रव का आपेक्षिक आयतन ज्ञात कीजिये।

हल—दिया है, द्रव का आपेक्षिक घनत्व = 13.5

$$\text{द्रव का आपेक्षिक आयतन} = \frac{1}{\text{उसी द्रव का आपेक्षिक भार}}$$

$$= \frac{1}{\text{द्रव का आपेक्षिक घनत्व} \times \text{पानी का आपेक्षिक भार}}$$

$$= \frac{1}{13.5 \times 1000 \times g} = \frac{1}{13.5 \times 1000 \times 9.81}$$

$$= 7.55 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{N} = \mathbf{7.55 \times 10^3 \text{ mm}^3/\text{N}}$$ **उत्तर**

1.7.12. तरलों पर तापमान तथा दाब का प्रभाव (Effect of Temperature and Pressure on Fluids)

गैसों या सम्पीड्य तरलों के लिए, तापमान बढ़ाने से इनका आयतन बढ़ता है और घटाने पर आयतन कम होता है। दाब बढ़ाने पर आयतन कम होता है (अर्थात् सम्पीडन होता है) और दाब घटाने पर आयतन बढ़ता है (अर्थात् विस्तार होता है)।

द्रवों या असम्पीड्य तरलों के लिए, दाब के अधीन इनके आयतन में बहुत कम परिवर्तन होता है। अत: यह परिवर्तन नगण्य (Negligible) माना जाता है। तापमान के घटने या बढ़ने का प्रभाव भी द्रवों के आयतन पर नगण्य होता है। अत: तापमान परिवर्तन का भी द्रवों पर कोई प्रभाव नहीं माना जाता है।

तापमान वृद्धि से द्रव बहुत कम मात्रा में फैलते हैं। हाइड्रॉलिक्स में द्रवों के तापमान परिवर्तन के निम्न परास (small ranges) होते हैं इसलिए तापमान के प्रभाव को नगण्य माना जाता है।

कोई भी द्रव परम-निर्वात (Absolute Vacuum) के शून्य दाब पर नहीं रह सकता। सभी द्रव कुछ मात्रा में शून्य दाब से ऊपर (तापमान के अनुसार) वाष्पीकृत (Vaporize) होते हैं। पानी का वाष्पीकरण 20°C तापमान तथा 0.24 किग्रा बल/(सेमी)^2 दाब (2.4 मीटर पानी का शीर्ष) पर होता है। इस दाब पर पानी में घुली सभी गैसें भी निकल जाती हैं। इस प्रक्रिया को **पृथक्कीकरण** (Separation) कहते हैं। पाइपों में प्रवाहित पानी के विषय में यह देखा जाता है कि उसका दाब 2.4 मीटर पानी के कुल शीर्ष (Total Head) से किसी भी दशा में कम न होने पाये अन्यथा पानी का वाष्पीकरण आरम्भ हो सकता है।

§ 1.8. पानी के भौतिक गुण (Physical Properties of Water) :

पानी के मुख्य भौतिक गुण निम्नलिखित हैं—

1. शुद्ध जल गन्धहीन, रंगहीन तथा पारदर्शी होता है।
2. जल का घनत्व 4°C पर अधिकतम होता है अर्थात् उस समय वह सबसे अधिक भारी होता है।
3. वायुमण्डलीय दाब पर शुद्ध जल 0°C पर जमता है तथा 100°C पर उबलता है।
4. शुद्ध पानी का आपेक्षिक भार, $w = 1000\ kg_f/m^3$ या $1000g\ N/m^3$
5. जल का प्रत्यास्थता का आयतन गुणांक, $K = 20000\ kg_f/cm^2$ लगभग।
6. पानी के लिए 20°C पर तल तनाव लगभग $0.0075\ kg_f/m$ या 0.07357 N/m होता है।
7. 20°C तथा 0.2334 N/cm^2 दाब पर जल वाष्पित होने लगता है।
8. पानी की श्यानता 20°C पर 0.01008 पाइस होती है तथा निरपेक्ष गतिज श्यानता एक सैन्टी स्टोक होती है।
9. पानी में भी ससंजन, आसंजन, केशिकत्व आदि गुण अन्य द्रवों की तरह होते हैं।
10. पानी का आपेक्षिक आयतन $10^{-3}\ m^3/kg_f$ होता है।
11. जल को बहुत ही कम दबाया जा सकता है अत: इसे असम्पीड्य माना जाता है।
12. पानी एक अच्छा विलायक है। कम दाब पर या गर्म करने पर पानी में से घुली हुई वायु बाहर आ जाती है।
13. पानी का प्रसार गुणांक (Coefficient of Expansion) तापमान परिवर्तन के लिए नगण्य (बहुत कम) होता है।

प्रश्नावली

1. तरल क्या होता है? आदर्श तरल को परिभाषित कीजिये।
2. निम्न को परिभाषित कीजिये—
   - (i) आदर्श तरल (Ideal Fluid) (UP 2010, 2017)
   - (ii) वास्तविक तरल (Real Fluid) (UP 2017)
   - (iii) तरल यान्त्रिकी (Fluid Mechanics) (UP 2017)
   - (iv) द्रव स्थैतिकी (Hydrostatics) (UP 2011)
   - (v) द्रव गतिकी (Hydrodynamics) (UP 2011)
   - (vi) द्रव शुद्ध-गतिकी (Hydro Kinematics)
   - (vii) हाइड्रोलिक्स
3. आदर्श तथा वास्तविक तरल में अन्तर स्पष्ट करें। (UP 2011, 17)
4. निम्न में अन्तर स्पष्ट करें—
   - (i) द्रव (Liquid) तथा गैस (Gas)
   - (ii) ठोस (Solid) तथा तरल (Fluid)
   - (iii) न्यूटोनियन तथा नॉन न्युटोनियन तरल
   - (iv) प्लास्टिक तरल तथा विस्तारीय तरल
5. तरल के गुणों का वर्णन करिये। (UP 2018)
6. शुद्ध जल के विशिष्ट भार से समुद्री जल का विशिष्ट भार क्यों अधिक होता है? दोनों का संख्यात्मक मान भी बतायें।
7. पानी के मुख्य भौतिक गुणों का वर्णन करें।
8. निम्नलिखित की इकाईयाँ बताइये—
   - (a) तल-तनाव (Surface Tension)
   - (b) ससंजन (Cohesion)
   - (c) आपेक्षिक भार (Specific Weight)
   - (d) शुद्ध गति श्यानता (Kinematic Viscosity)
   - (e) घनत्व (Density)
   - (f) विशिष्ट घनत्व (Specific Density)
   - (g) विशिष्ट आयतन (Specific Volume)
   - (h) आसंजन (Cohesion)
   - (i) आयतन मापांक (Bulk Modulus)
   - (j) श्यानता (Viscosity)
9. तरलों की तल-तनाव (Surface Tension) की परिभाषा दीजिये? उसका प्रभाव दर्शाने के लिये उदाहरण का प्रयोग करें।
10. तरलों की श्यानता (Viscosity) की परिभाषा तथा M.K.S. प्रणाली में इसकी इकाई बताइये।
11. निम्नलिखित के कारण स्पष्ट कीजिये—
    - (a) पानी और वायु आदर्श तरल मान लिये जाते हैं।
    - (b) आपेक्षिक घनत्व की कोई इकाई नहीं होती।
    - (c) जल असम्पीड्य माना जाता है।
    - (d) कम श्यान तरल अधिक सरलता से बहते हैं।
    - (e) नली में पारे के तल का आकार उत्तल (Convex) होता है।
    - (f) द्रव की बूँद का आकार गोल होता है।
    - (g) पानी अपने तल पर धूलि-कण जैसे छोटे पदार्थों को सम्भाल लेता है।

2 Chapter

दाब तथा उसका मापन
(Pressure and its Measurement)

§ 2.1. दाब की संकल्पना (Concept) :

इस अध्याय में हम दाब (Pressure) क्या है, बिन्दु पर दाब या एक ही द्रव के किन्हीं दो बिन्दुओं के बीच दाबान्तर (Pressure difference) कैसे ज्ञात करते हैं, का अध्ययन करेंगे।

द्रव स्थैतिक दाब, द्रव की स्थिर अवस्था में द्रव द्वारा किसी सम्पर्क सतह पर डाला गया दाब होता है, जो सदैव सतह के लम्बवत् कार्य करता है।

2.1.1. कुल दाब या सम्पूर्ण दाब (Total Pressure)

किसी तरल के द्वारा किसी सतह पर लगाया गया कुल बल उस तरल का उस सतह पर कुल दाब या सम्पूर्ण दाब कहलाता है।

"The total force exerted by any fluid at any surface is called the total pressure of the fluid at the surface."

यह बल सदैव संपीडन (Compressive) प्रकार का होता है और उस सतह के लम्बवत् कार्य करता है। कुल दाब को सामान्यत: P द्वारा प्रदर्शित करते हैं।

कुल दाब, P की इकाई M.K.S. मात्रक में kg_f या किग्रा बल तथा SI प्रणाली में N या न्यूटन होती है।

2.1.2. दाब या दाब तीव्रता या इकाई दाब (Pressure or Pressure Intensity or Unit Pressure)

सतह के इकाई क्षेत्रफल (Unit Area) पर तरल द्वारा लगाये गये बल को इकाई दाब या दाब तीव्रता या दाब कहते हैं।

"The force exerted by fluid per unit area of the surface is called pressure or intensity of pressure."

इसे सामान्यत: p से प्रदर्शित करते हैं। यदि किसी सतह के A क्षेत्रफल पर कुल दाब P हो तो,

$$\text{उस सतह पर दाब, } p = \frac{P}{A}$$

दाब तीव्रता, p की इकाई M.K.S. प्रणाली में kg_f/m^2 तथा SI प्रणाली में N/m^2 होती है। सामान्यत: दाब को kg_f/cm^2 में व्यक्त करते हैं।

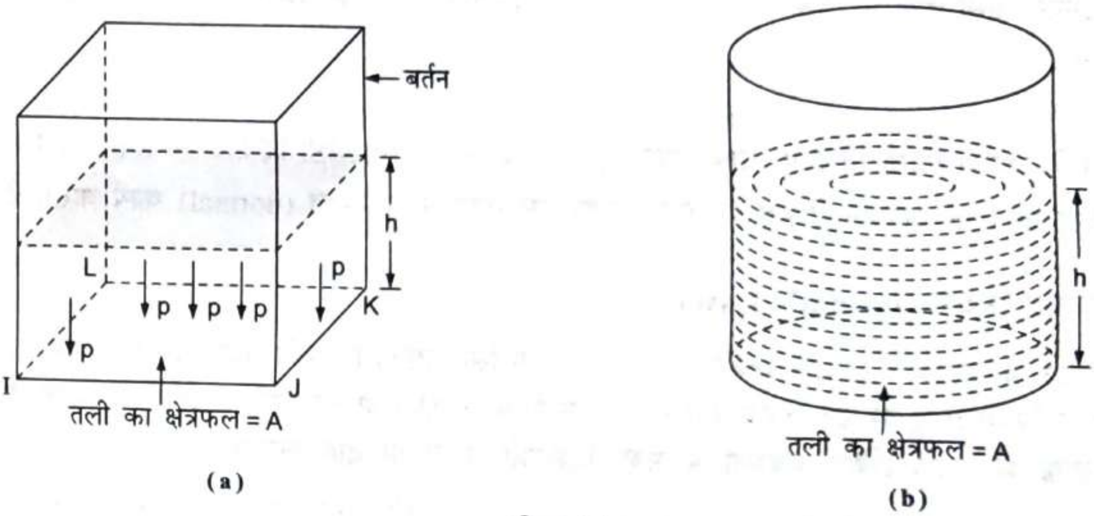
नोट— $1\ kg_f/cm^2 = 10^{-4}\ kg_f/m^2 \approx 10^5\ N/m^2 = 1$ बार

$= 1$ वायुमण्डल

2.1.3. द्रव के अन्दर दाब (Pressure within a Liquid)

सभी तरल अथवा द्रव अपने भार के कारण दाब डालते हैं। द्रव के अन्दर किसी बिन्दु पर दाब उस बिन्दु के ऊपर के द्रव के भार के कारण होता है। भार की तीव्रता (Intensity) द्रव की गहराई पर निर्भर करती है।

इसे समझने के लिये एक सीधा समान अनुप्रस्थ काट वाला बर्तन लेते हैं। जिसमें w आपेक्षिक भार वाला एक द्रव h ऊँचाई तक भरा है। बर्तन की तली का क्षेत्रफल A है जो ऊपर तक एक समान है। चित्र 2.1(a) देखिये।



चित्र 2.1

बर्तन में भरे द्रव का कुल भार, $W =$ द्रव का आपेक्षिक भार $\times$ द्रव का आयतन

$$= w \times (A \times h)$$

या,

$$W = w\,Ah$$

चूँकि द्रव की ऊँचाई तली के सभी बिन्दुओं पर समान है, इस कारण द्रव का कुल भार W ही तली पर कुल दाब डालेगा, अत:

$$\text{कुल दाब, } P = W$$

साथ ही, बर्तन की तली पर दाब तीव्रता, $p = \dfrac{\text{कुल दाब}}{\text{सतह (तली) का क्षे०}}$

या,

$$p = \frac{P}{A} = \frac{W}{A} = \frac{wAh}{A} = wh \qquad \text{...(i)}$$

समीकरण (i) के अनुसार, दाब या दाब तीव्रता की परिभाषा अग्र प्रकार भी की जा सकती है—

''द्रव के अन्दर किसी बिन्दु पर दाब तीव्रता (Pressure-Intensity), द्रव के आपेक्षिक भार तथा उस बिन्दु पर द्रव की ऊँचाई के गुणनफल के बराबर होती है।'' दूसरे शब्दों में, **''द्रव में किसी बिन्दु पर दाब तीव्रता, उस बिन्दु पर द्रव की ऊँचाई के समानुपाती (Proportional) होती है।''**

"Pressure intensity at any point in a liquid is direct proportional to the height of the liquid at that point."

अर्थात्

$$p \propto h$$

($\because$ किसी भी द्रव के लिये आपेक्षिक भार w का मान स्थिर होता है।)

दाब तीव्रता, दाब शीर्ष के मान पर निर्भर करती है। यदि $h = 0$ तो $p = 0$ होगा। यदि h अधिक होगा दाब तीव्रता अधिक होगी। तली पर दाब तीव्रता अधिकतम होगी।

§ 2.2. द्रव स्थैतिकी के मूल सिद्धान्त (Fundamental Laws of Hydrostatics) :

द्रव स्थैतिकी के मूल सिद्धान्त निम्नलिखित हैं—

1. द्रव के अन्दर किसी बिन्दु पर दाब तीव्रता, उस बिन्दु पर द्रव की ऊँचाई के समानुपाती होती है अर्थात् किसी द्रव के लिये—

$$p \propto h$$

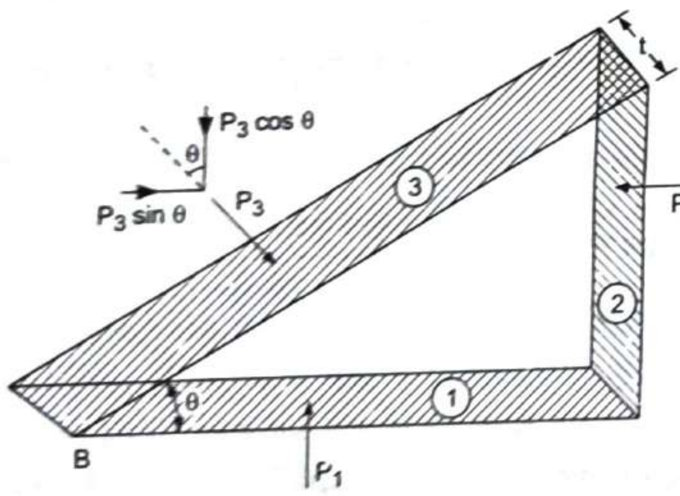
2. स्थिर द्रव के कारण किसी बिन्दु पर दाब तीव्रता (pressure intensity) सभी दिशाओं में समान होती है।
3. किसी सतह पर स्थिर अवस्था में द्रव का दाब हमेशा उस सतह पर लम्बवत् (normal) कार्य करता है।

§ 2.3. पास्कल का नियम (Pascal's Law) :

फ्रांसिसी गणितज्ञ बी० पॉस्कल (1623-1662) ने 1653 ई० में सिद्ध किया कि यदि कोई भी तरल स्थिर अवस्था में हो तो द्रव के अन्दर किसी बिन्दु पर द्रव का दाब प्रत्येक दिशा में समान होगा अर्थात् दूसरे शब्दों में, **पास्कल के नियम के अनुसार, "कोई भी तरल स्थिर अवस्था में सभी दिशाओं में समान दाब लगाता है।"**

"The intensity of pressure at any point in a liquid at rest is the same in all the directions."

चित्र 2.2 द्वारा इसे समझ सकते हैं। मान लो कि द्रव के अन्दर किसी आयतन का एक अत्यन्त छोटी मोटाई t का त्रिभुजाकार प्रिज्म (Prism) $A\ B\ C$ है जिसकी फलकों (Faces) 1, 2 व 3 पर दाब तीव्रतायें क्रमशः p_1, p_2 तथा p_3 हैं जो फलकों के लम्बवत् कार्य करती हैं। (देखिये चित्र 2.2)



चित्र 2.2—पास्कल का नियम

चूँकि द्रव स्थिर है अतः प्रिज्म भी संतुलन में होगा और प्रिज्म का भार अत्यन्त कम होने के कारण (क्योंकि प्रिज्म अत्यन्त छोटा है) छोड़ा जा सकता है। साथ ही सन्तुलन होने के कारण क्षैतिज व ऊर्ध्वाधर दिशाओं में अलग-अलग सभी बलों का योग शून्य के बराबर होगा। अतः क्षैतिज संतुलन में,

$$(p_3 \sin \theta) \times AB \times t = p_2 \times AC \times t \qquad (\because p_3 \text{ का क्षैतिज अवयव } p_3 \sin \theta)$$

$\Sigma X = 0$ से ,

चूँकि, $$AC = AB \sin\theta$$

अत: $$p_3 \times AC \times t = p_2 \times AC \times t$$

अत: $$p_3 = p_2 \quad ...(i)$$

अब, ऊर्ध्वाधर संतुलन हेतु

$\Sigma Y = 0$ से, $$(p_3 \cos\theta) \times AB \times t = p_1 \times BC \times t$$

चूँकि $$BC = AB \cos\theta,$$

अत: $$p_3 \times BC \times t = p_1 \times BC \times t$$

या $$p_3 = p_1 \quad ...(ii)$$

इसलिये समीकरणों (i) तथा (ii) से

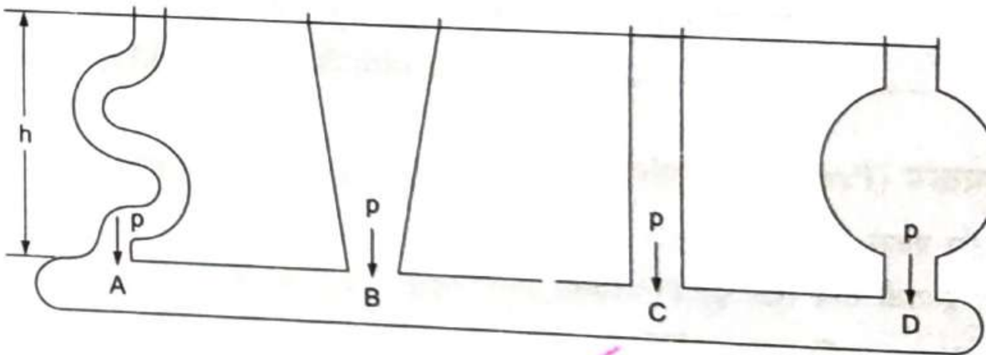
$$p_1 = p_2 = p_3$$

अर्थात् इससे सिद्ध हुआ कि **''स्थिर अवस्था में कोई भी तरल सभी दिशाओं में समान दाब लगाता है।''**

2.3.1. द्रव-दाब पर बर्तन के आकार का प्रभाव (Effect of Shape of Vessel on Liquid Pressure)

हमें ज्ञात है कि, द्रव के किसी बिन्दु पर द्रव का दाब, उस बिन्दु की द्रव के स्वतन्त्र तल से गहराई h तथा आपेक्षिक भार w पर निर्भर करता है।

द्रव का दाब बर्तन के आकार तथा साइज के प्रभाव से मुक्त होता है। इसे चित्र 2.3 में पास्कल बर्तन (Pascal's vessel) द्वारा दिखाया गया है। इसके अनुसार विभिन्न आकार तथा साइज के बर्तन एक क्षैतिज नली से जुड़े हैं और उनमें द्रव भरा है। इन बर्तनों में क्षैतिज तल (Horizontal level) $ABCD$ तथा समान गहराई h पर द्रव का दाब समान होगा जबकि बर्तनों में द्रव का कुल भार अलग-अलग है।



चित्र 2.3

2.3.2. पॉस्कल नियम के अनुप्रयोग (Applications)

इस नियम को हम § 2.3 में पढ़ चुके हैं। पॉस्कल के सिद्धान्त के आधार पर ही हम द्रव स्थैतिकी में आने वाली सभी समस्याओं का हल ज्ञात कर लेते हैं। इस नियम के आधार पर अनेक हाइड्रोलिक मशीनें बनाई गई हैं जैसे हाइड्रोलिक प्रेस, हाइड्रोलिक जैक, हाइड्रोलिक क्रेन, हाइड्रोलिक लिफ्ट्स आदि जो द्रव स्थैतिकी के मूलभूत सिद्धान्त अर्थात् पॉस्कल के नियम के आधार पर कार्य करती हैं। इस अध्याय के अन्तर्गत दिये गये सभी उदाहरण इस सिद्धान्त का पालन करते हैं।

§ 2.4. दाब शीर्ष (Pressure Head) :

जैसा कि हम अनुच्छेद § 2.1.3 में समीकरण (i) द्वारा पढ़ चुके हैं कि द्रव में h गहराई पर किसी बिन्दु पर दाब तीव्रता,

$$p = wh$$

या

$$h = \frac{p}{w}$$

साथ ही हम जानते हैं कि एक द्रव के लिये आपेक्षिक भार w का मान निश्चित रहता है अत: दाब तीव्रता, द्रव की ऊँचाई h में भी व्यक्त की जा सकती है। अत: p/w का मान द्रव में स्थैतिक शीर्ष (static head) के मान के बराबर है। इसी स्थैतिक शीर्ष को ही दाब शीर्ष (pressure head) कहते हैं क्योंकि इसी शीर्ष h पर ही दाब तीव्रता p निर्भर करती है। गणितीय रूप से दाब शीर्ष द्रव की दाब तीव्रता को द्रव के आपेक्षिक भार से भाग देकर प्राप्त किया जा सकता है। प्रत्येक द्रव का दाब एक ही द्रव में दाब शीर्ष या द्रव स्तम्भ की ऊँचाई के द्वारा व्यक्त किया जाता है। अधिकतर पानी के मीटर में या पारे की cm में ऊँचाई से दाब शीर्ष दर्शाया जाता है। जब एक द्रव में दाब शीर्ष को दूसरे द्रव के दाब शीर्ष में परिवर्तित करना हो तो निम्न सूत्र प्रयोग करें—**एक ही दाब P के लिये,**

पहले द्रव का आ० गु० × इसी द्रव का दाब शीर्ष = दूसरे द्रव का आ० गु० × इसी द्रव का दाब शीर्ष

क्योंकि दोनों दशाओं में दाब तीव्रता तो समान ही होगी अर्थात् $p = p_1 = p_2$ अत: $w_1h_1 = w_2h_2$ जहाँ Suffix 1, 2 पहले तथा दूसरे द्रव को व्यक्त करते हैं। आपेक्षिक भार के स्थान पर आ० गु० (specific gravity) भी रखा जा सकता है।

§ 2.5. वायुमण्डलीय दाब (Atmospheric Pressure) :

अन्य तरलों की ही तरह वायु भी अपने भार के कारण सब वस्तुओं पर दाब डालती है और वायु पृथ्वी की सतह के इकाई क्षेत्रफल (Unit Area) पर जितना दाब डालती है, उसे वायुमण्डलीय दाब (Atmospheric Pressure) कहते हैं। ज्यों-ज्यों धरातल के ऊपर उठते जाते हैं त्यों-त्यों वायुमण्डलीय दाब का मान कम होता जाता है।

वायुमण्डलीय दाब = $1.0332\ kg_f/cm^2$ = 76 cm पारा स्तम्भ

= 10.33 m पानी स्तम्भ के पद में = $10.135\ N/cm^2$

§ 2.6. दाब के मापक्रम (Pressure Scales) :

ये निम्नलिखित तीन प्रकार के होते हैं—

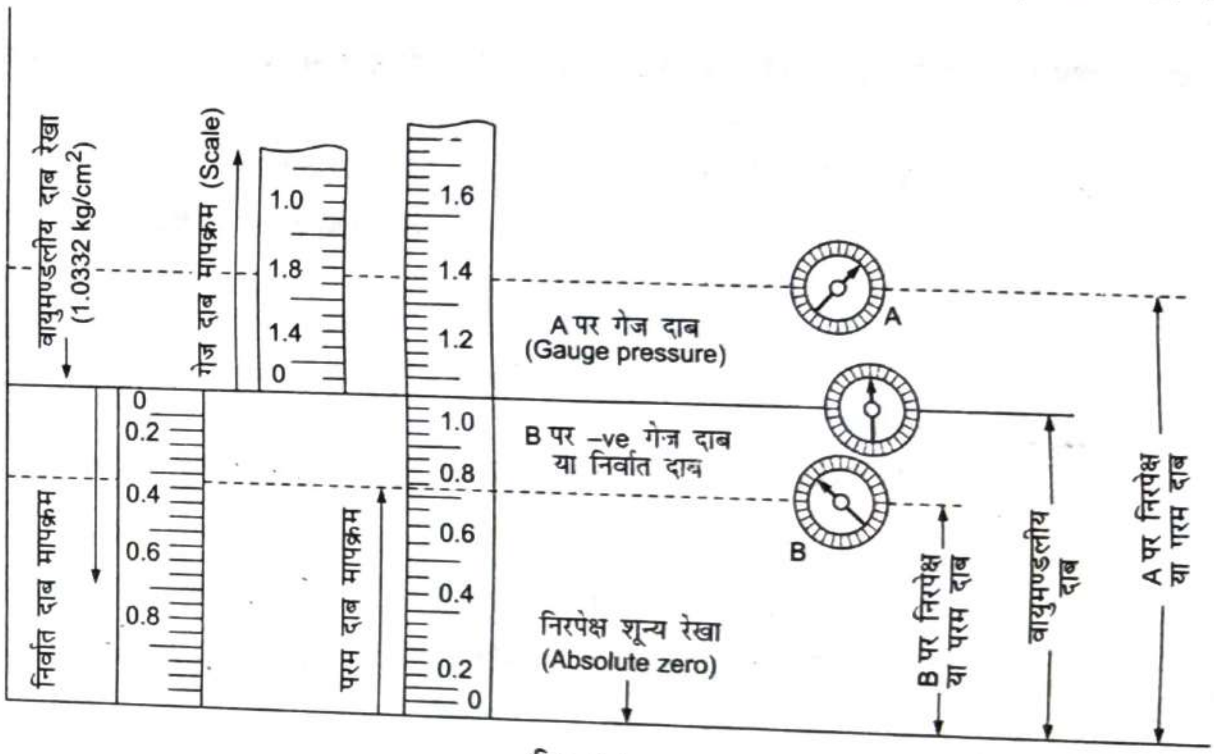
1. **गेज दाब या प्रभावी दाब** (Gauge Pressure)
2. **निर्वात दाब** (Vacuum Pressure) तथा,
3. **परम (निरपेक्ष) दाब** (Absolute Pressure) **चूषण दाब** (Suction Pressure)

1. गेज दाब या प्रभावी दाब (Gauge Pressure)—वायुमण्डलीय दाब को आधार मान कर उसके ऊपर मापा गया दाब, **गेज दाब** या **प्रभावी दाब** कहलाता है। अर्थात् गेज दाब पैमाने का शून्य, वायुमण्डलीय दाब होता है और जब दाब वायुमण्डलीय दाब से कम या ज्यादा होता है तभी गेज दाबमापी पाठ्यांक देता है। यदि गेज दाबमापी, वायुमण्डलीय दाब से अधिक को प्रदर्शित करे तो +ve (धनात्मक) प्रकार का और यदि कम दाब को प्रदर्शित करे तो –ve (ऋणात्मक) प्रकार का होता है। –ve प्रकार का गेज दाब, निर्वात दाब (चूषण दाब) कहलाता है और इस दाब को मापने वाला दाबमापी निर्वात-दाबमापी कहलाता है।

2. निर्वात दाब (Vacuum Pressure) या चूषण दाब (Suction Pressure)—वायुमण्डलीय दाब से नीचे की ओर मापा जाने वाला दाब, निर्वात दाब कहलाता है। इस प्रकार निर्वात-दाब-पैमाने का शून्य भी वायुमण्डलीय दाब होता है।

3. परम (या निरपेक्ष) दाब (Absolute Pressure)—परम शून्य (Absolute Zero) को आधार मानकर इसके ऊपर मापा गया दाब परम-दाब (Absolute Pressure) कहलाता है। इस प्रकार परम या निरपेक्ष दाब, गेज दाब व वायुमण्डलीय दाब का कुल बीजीय योग (Algebraic Sum) होगा। [क्योंकि पूर्ण निर्वात (Vacuum) वाले अभीप्सित आधार (Arbitrary Datum) पर मापा गया दाब बिल्कुल शून्य होता है जिसे परम शून्य या निरपेक्ष शून्य (Absolute Zero) कहते हैं।]

गेज दाब, निर्वात दाब व परम दाब (निरपेक्ष) दाब में सम्बन्ध—देखिये चित्र 2.4 और इस पर विचार कीजिये।



चित्र 2.4

$$\text{परम या निरपेक्ष दाब} = \text{वायुमण्डलीय दाब} \pm \text{गेज दाब}$$

$$\text{निरपेक्ष दाब} = \text{वायुमण्डलीय दाब} + \text{गेज दाब} \quad ...(I)$$

या

$$\text{निरपेक्ष दाब} = \text{वायुमण्डलीय दाब} - \text{निर्वात दाब} \quad ...(II)$$

साथ ही 1.0332 kg_f/cm^2 या 10.135 N/cm^2 निर्वात दाब = शून्य निरपेक्ष (परम) दाब

और 1.0332 kg_f/cm^2 या 10.135 N/cm^2 निरपेक्ष दाब = शून्य गेज दाब = शून्य निर्वात दाब

उदाहरण 2.1. पारे की 76.0 cm स्तम्भ ऊँचाई को kg_f/cm^2 तथा N/cm^2 में बदलो। पारे का आपेक्षिक घनत्व 13.6 मानिये।

हल—हम जानते हैं, कि

$$\text{दाब शीर्ष, } h = \frac{p}{w}$$

अतः,

$$76 \text{ cm पारा स्तम्भ की ऊँचाई} = \frac{p}{\text{पारे का आपेक्षिक भार}}$$

$$= \frac{p}{\text{पारे का आ० घ०} \times \text{पानी का आ० भार}}$$

$$p = 76 \times 13.6 \times 1$$

($\because$ पानी का आ० भार CGS मात्रक में 1 gm_f/cm^3 होता है)

$$= 1033.6 \text{ ग्राम बल/सेमी}^2$$

$$= 1.0336 \text{ kg}_f/\text{cm}^2 = 9.81 \times 1.0336 \text{ N/cm}^2$$

$$= \mathbf{10.139 \text{ N/cm}^2}$$ उत्तर

उदाहरण 2.2. नीचे दिये हुए दाबों को परम (निरपेक्ष) दाब में परिवर्तित करिये यदि वायुमण्डलीय दाब 76 cm पारा है।

(a) प्रमापी दाब 12 m पानी, (b) निर्वात दाब 5 m पानी, (c) प्रमापी दाब 80 N/cm^2, तथा (d) निर्वात दाब 5 N/cm^2।

हल—(a) वायुमण्डलीय दाब = 76 cm पारा = 76 × 13.6 cm पानी

$\left\{ \because \text{एक दाब तीव्रता के लिये, } w_1 h_1 = w_2 h_2 \text{ या } s_1 h_1 = s_2 h_2; s_1 \text{ तथा } s_2 = \text{आ० घ० हैं} \right\}$

$$= \frac{76 \times 13.6}{100} \text{ m पानी} = 10.34 \text{ m पानी}$$

$\therefore$ निरपेक्ष दाब = वायुमण्डलीय दाब + प्रमापी दाब

$$= (10.34 + 12) \text{ m पानी}$$

$$= \mathbf{22.34 \text{ m पानी}}$$ उत्तर

(b) निरपेक्ष दाब = वायुमण्डलीय दाब − निर्वात दाब

$$= (10.34 - 5) \text{ m पानी}$$

$$= \mathbf{5.34 \text{ m पानी}}$$ उत्तर

(c) वायुमण्डलीय दाब = 76 cm पारा = 10.34 m पानी (उपरोक्त गणना से)

$$= 10.34 \times 9.81 \times 1000 \text{ N/m}^2$$

$$= \frac{10.34 \times 9.81 \times 1000}{10000} \text{ N/cm}^2$$

$$= \mathbf{10.1435 \text{ N/cm}^2}$$ उत्तर

$\therefore$ निरपेक्ष दाब = वायुमण्डलीय दाब + प्रमापी दाब

$$= 10.1435 + 80 = \mathbf{90.1435 \text{ N/cm}^2}$$

(d) निरपेक्ष दाब = वायुमण्डलीय दाब − निर्वात दाब

$$= 10.1435 - 5 = \mathbf{5.143 \text{ N/cm}^2}$$ उत्तर

उदाहरण 2.3. एक बंद टंकी में 0.5 m पारा, 1 m पानी, 2 m तेल (आ० घ० = 0.8) भरा हुआ है और ऊपर कुछ खाली जगह है। यदि टंकी में लगा एक दाबमापी, प्रमापी दाब 25 N/cm² बताये तो खाली जगह में दाब ज्ञात कीजिये।

हल—माना खाली जगह में दाब $= p$ N/cm² में

तब $$p \text{ N/cm}^2 = p \times 10^4 \text{ N/m}^2$$

$$= \frac{p \times 10^4}{9.81 \times 1000} \text{ m पानी} = 1.019\, p \text{ m पानी}$$

प्रश्नानुसार, $$\text{प्रमापी दाब} = 25 \text{ N/cm}^2 = 25 \times 10^4 \text{ N/m}^2$$

$$= \frac{25 \times 10^4}{1000 \times 9.81} \text{ m (पानी)}$$

$$\because 25.48 \text{ m (पानी)}$$

$$\text{प्रमापी दाब} = 25.48 \text{ m पानी}$$

$$= 0.5 \text{ m पारा} + 1 \text{ m पानी} + 2 \text{ m तेल} + 1.019\, p \text{ m पानी}$$

अर्थात् अब हम, सबको पानी के स्तम्भ में बदलकर, एक ही मात्रक में बनाकर p का मान ज्ञात करेंगे।

$\therefore$ $$25.48 = 0.5 \times 13.6 + 1 + 2 \times 0.8 + 1.019\, p$$

या $$p = 15.775 \text{ m पानी}$$

$$= \frac{15.775 \times 9.81 \times 1000}{10^4} \text{ N/cm}^2 = 15.47 \text{ N/cm}^2$$

टंकी के ऊपर खाली जगह का दाब = **15.475 N/m²** **उत्तर**

उदाहरण 2.4. यदि वायुमण्डलीय दाब 10 N/cm² है तो निम्न दाबों को परम दाब में बदलिये—

(a) 12 m पानी का प्रमापी दाब, तथा (b) 5 m पानी का निर्वात दाब

हल—इस प्रश्न को दो विधियों से हल किया जा सकता है। पहली विधि में वायुमण्डलीय दाब को N/cm² में बदलकर मीटर पानी के स्तम्भ में बदलकर परम दाब ज्ञात करें। दूसरी विधि में मीटर पानी के स्तम्भ को ही N/cm² में बदलें और फिर परम दाब की गणना करें।

प्रथम विधि—(a) $$\text{परम दाब} = \text{वायुमण्डलीय दाब} + \text{प्रमापी दाब}$$

$$= 10 \text{ N/cm}^2 + 12 \text{ m पानी स्तम्भ}$$

(सुविधा की दृष्टि से वायुमण्डलीय दाब का मान 10.135 N/cm² के स्थान पर 10 N/cm² लिया गया है)

$$= 10 \text{ N/cm}^2 + \frac{12 \times 9.81 \times 1000}{10000} \text{ N/cm}^2$$

$$= \mathbf{21.77 \text{ N/cm}^2}$$ **उत्तर**

(b) $$\text{परम दाब} = \text{वायुमण्डलीय दाब} - \text{निर्वात दाब}$$

$$= 10 \text{ N/cm}^2 - 5 \text{ m पानी स्तम्भ}$$

$$= \left(10 - \frac{5 \times 1000 \times 9.81}{10^4}\right) \text{ N/cm}^2$$

$$= \mathbf{5.09 \text{ N/cm}^2}$$ **उत्तर**

दूसरी विधि—(a) परम दाब = वायुमण्डलीय दाब + प्रमापी दाब

$= 10\ N/cm^2 + 12\ m$ पानी स्तम्भ

$= \left(\frac{10 \times 10^4}{9.81 \times 1000} + 12\right)$ m पानी

$= \mathbf{21.19\ m}$ उत्तर

(b) परम दाब = वायुमण्डलीय दाब – निर्वात दाब

$= 10\ N/cm^2 - 5\ m$ पानी स्तम्भ

$= \frac{10 \times 10^4}{9.81 \times 1000} - 5$

$= \mathbf{5.19\ m}$ **पानी स्तम्भ** उत्तर

उदाहरण 2.5. दाब तीव्रता 13.3416 N/cm² (a) m पानी, (b) m पारे (c) m तेल (आ० गु० = 1.36), तथा (d) m ग्लिसरीन (आ० घ० = 1.3) के शीर्षों में बदलिये।

हल—दिया है—दाब तीव्रता, $p = 13.3416\ N/cm^2 = 13.3416 \times 10^4\ N/m^2$

(a) पानी का शीर्ष, $h = \frac{p}{w} = \frac{13.3416 \times 10^4}{1000 \times 9.81}$

$= \mathbf{13.6\ m}$ **(पानी)** उत्तर

पारे का शीर्ष, $h = \frac{p}{w} = \frac{13.3416 \times 10^4}{\text{पारे का आ० भार}}$

$= \frac{13.3416 \times 10^4}{13.6 \times 1000 \times 9.81} = \mathbf{1\ m}$ **(पारा)** उत्तर

(c) तेल का शीर्ष, $h = \frac{p}{w} = \frac{13.3416 \times 10^4}{\text{तेल का आ० भार}}$

$= \frac{13.3416 \times 10^4}{1.36 \times 1000 \times 9.81} = \mathbf{10\ m}$ **(तेल)** उत्तर

(d) ग्लिसरीन का शीर्ष, $h = \frac{p}{w} = \frac{13.3416 \times 10^4}{\text{ग्लिसरीन का आ० भार}}$

$= \frac{13.3416 \times 10^4}{1.3 \times 1000 \times 9.81}$

$= \mathbf{10.46\ m}$ **(ग्लिसरीन)** उत्तर

उदाहरण 2.6. समुद्र में जल सतह से 2500 m नीचे स्थित एक पनडुब्बी की सतह पर कार्यरत दाब kg_f/cm^2 तथा N/m^2 में ज्ञात कीजिये। समुद्री पानी का आपेक्षिक गुरुत्व 1.03 मानिये।

हल—दिया है— गहराई, $h = 2500$ m

समुद्री पानी का आ० गु० = 1.03

∴ समुद्री पानी का आ० भार, $w = 1.03 \times 1000\ kg_f/m^3$

$= 1030\ kg_f/m^3$

कार्यरत दाब, $p = w.h = 1030 \times 2500$

$= 257.5 \times 10^4\ kg_f/m^2$

हम $1\ kg_f \approx 10\ N$ मानकर गणना कर रहे हैं।

SI प्रणाली में दाब, $p \approx 257.5 \times 10 \times 10^4\ N/m^2$

$\approx \mathbf{25.75 \times 10^6\ N/m^2}$ उत्तर

उदाहरण 2.7. एक तेल के स्वतंत्र तल (Free Surface) के 6 m नीचे के दाब को N/cm^2 में ज्ञात कीजिये, तेल की Specific gravity 0.8 है।

हल—तेल के 6 m नीचे दाब तीव्रता, $p = wh$ सूत्र से

p = तेल का आपेक्षिक भार × गहराई

= (तेल का आ० गु० × पानी का आ० भार) × गहराई

$= 0.8 \times (1000 \times g) \times 6 = 47088\ N/m^2$

$= \mathbf{4.70\ N/cm^2}$ उत्तर

उदाहरण 2.8. स्वीमिंग पूल (Swimming Pool) 30 m लम्बा, 20 m चौड़ा तथा 10 m गहरा है। इसकी तली पर कुछ दाब व दाब तीव्रता कार्यरत होगी (a) यदि तालाब जल से पूरा भरा हो (b) यदि आधा भरा हो। दाब की गणना kg_f/N तथा N/m^2 में करें।

हल—

गहराई, $h = 10\ m$

तली का क्षेत्रफल, $A = 30 \times 20 = 600\ m^2$

(a) जबकि तालाब जल से पूरा भरा है, $h = 10\ m$ होगा

अत: तली पर दाब तीव्रता, $p = wh = 1000 \times 10 = 10\ kg_f/m^2$

$= \mathbf{10^5\ N/m^2}$ (गणना में $1\ kg_f \approx 10\ N$ मान रहे हैं।)

कुल दार्ब, $P = p \times A = 10^5 \times 600\ N = 6 \times 10^7\ N$, या $\mathbf{6 \times 10^6\ kg_f}$ उत्तर

(b) जब तालाब जल से आधा भरा हो तो $h = \frac{10}{2} = 5\ m$ होगा

अत: तली पर दाब तीव्रर्ता, $p = wh = 1000 \times 5$

$= \mathbf{5 \times 10^3\ kg_f/m^2 = 5 \times 10^4\ N/m^2}$

कुल दार्ब, $P = p \times A = 5 \times 10^4 \times 600$

$= \mathbf{3 \times 10^7\ N}$ या $\mathbf{3 \times 10^6\ kg_f}$ उत्तर

उदाहरण 2.9. एक पात्र में पानी 1.4 m गहराई तक भरा है और उसके ऊपर 0.75 आपेक्षिक गुरुत्व का तेल 0.6 m ऊँचाई तक है। पात्र की तली पर (i) N/m^2 (ii) पारे के cm (iii) पानी के m में दाब ज्ञात कीजिये।

हल—पानी के तल पर, तेल के दाब शीर्ष के कारण दाब तीव्रता,

p_1 = तेल का आपेक्षिक भार × तेल का दाब शीर्ष

= तेल का आ० गुरुत्व × पानी का आ० भार × तेल का दाब शीर्ष

$= 0.75 \times 9.81 \times 1000 \times 0.6 = 4414.5 \text{ N/m}^2$

$= \frac{4414}{10^4} = 0.4414 \text{ N/cm}^2$

अब पात्र में पानी के दाब शीर्ष के कारण दाब तीव्रता,

$p_2 =$ पानी का आ० भा० × पानी का दाब शीर्ष

$= 9.81 \times 1000 \times 1.4$

$= 13734 \text{ N/cm}^2 = \frac{13734}{10^4} = 1.373 \text{ N/cm}^2$

(i) पात्र के तल पर दाब तीव्रता,

$$p = p_1 + p_2 = 0.4414 + 1.373 = 1.81 \text{ N/cm}^2$$

(ii) हमें ज्ञात है कि

$$\rho_{(\text{पारा})} \times H_{(\text{पारा})} = \rho_{(\text{पानी})} \times H_{(\text{पानी})}$$

$$13.6 \times H_{(\text{पारा})} = 1 \times 140 \qquad (H_{\text{पानी}} = 1.4 \text{ m} = 140 \text{ cm})$$

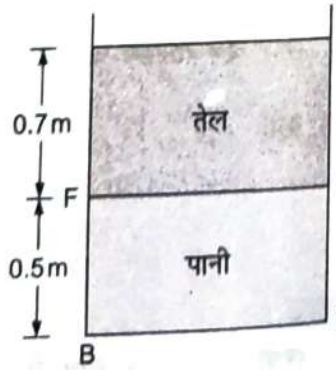
$$\therefore \quad H_{(\text{पारा})} = \frac{140}{13.6} = \mathbf{10.294 \text{ cm}}$$

(iii) $$H_{(\text{पानी})} = \frac{p}{w}$$

जहाँ $p =$ पात्र में तली पर दाब तीव्रता $= 1.81 \text{ N/cm}^2 = 1.81 \times 10^4 \text{ N/m}^2$

$$\therefore \quad H_{(\text{पानी})} = \frac{1.81 \times 10^4}{9.81 \times 1000} = \mathbf{1.85 \text{ m}}$$ उत्तर

उदाहरण 2.10. एक टंकी में दो द्रव पानी व तेल (जो आपस में अघुलनशील हैं) क्रमशः 0.5 m तथा 0.7 m गहराई तक भरे हैं। यदि तेल का आपेक्षिक घनत्व 0.8 हो तो (a) पानी के तल पर, तथा (b) टंकी की तली पर दाब तीव्रता ज्ञात कीजिये। (देखें चित्र 2.5) (c) यदि टंकी 2 m लंबी तथा 1 m चौड़ी हो तो टंकी की तली पर कुल दाब भी ज्ञात कीजिये।



चित्र 2.5

हल—(a) पानी के तल FE पर केवल तेल के कारण दाब होगा अत: FE तल पर दाब तीव्रता,

$p_1 =$ तेल का आ० भार × तेल का शीर्ष

$= 0.8 \times 9.81 \times 1000 \times 0.7$

$= \mathbf{5493.6 \text{ N/m}^2}$

(b) टंकी की तली BD पर दाब तीव्रता

= तेल के कारण दाब × पानी के कारण दाब

= 5493.6 + पानी का आपेक्षिक भार × पानी का शीर्ष

$= 5493.6 + 9.81 \times 1000 \times 0.5 = \mathbf{10398.6 \text{ N/m}^2}$ उत्तर

(c) टंकी की तली पर कुल दाब (Total Pressure)

$$P = \text{टंकी की तली पर दाब तीव्रता} \times \text{तली का क्षेत्रफल}$$

$$= 10398.6 \times 2 \times 1 = \mathbf{20797.2\ N}$$ उत्तर

Imp.

§ 2.7. दाब का मापन (Measurement of Pressure) :

एक द्रव के दाब का मापन निम्नलिखित यन्त्रों से किया जा सकता है—

(1) मैनोमीटर (Monometers)–यह वह युक्ति है जिसके द्वारा हमें जिस द्रव का दाब नापना हो, उस द्रव के दाब को उसी द्रव या फिर किसी दूसरे उपयुक्त (Suitable) द्रव के स्तम्भ से सन्तुलन (Equilibrium) में रखकर दाब मापते हैं। इनको निम्न प्रकार वर्गीकृत कर सकते हैं—

(a) साधारण मैनोमीटर—(i) पीजोमीटर (Piezometer) (ii) U-नली मैनोमीटर (U-tube manometer) (iii) एक स्तम्भ द्रव-दाबमापी (Single column manometer)

(b) भेदसूचक द्रव दाबमापी (Differential manometers)

(2) यांत्रिक गेज (Mechanical gauge)—यह वह युक्ति है जिसके द्वारा हमें जिस द्रव का दाब नापना हो, उस द्रव के दाब को स्प्रिंग या अचल भारों (spring or dead weights) द्वारा सन्तुलन में रखकर दाब मापते हैं—

ये गेज प्रायः उच्च दाब मापने के काम आते हैं। ये अधिक परिशुद्ध (Precise) नहीं होते। कुछ प्रमुख यांत्रिक गेज निम्न प्रकार हैं—

(i) बोर्डन नली दाब गेज (Bourdon tube pressure gauge)

(ii) डायाफ्राम दाब गेज (Diaphragm pressure gauge)

(iii) अचल भार दाब गेज (Dead weight pressure gauge)

2.7.1. द्रव दाबमापी या मेनोमीटर (Manometer)

ये ऐसी दाबमापक युक्तियाँ हैं जिनसे एक द्रव (जिसके दाब को मापना है) के स्तम्भ को उसी द्रव या किसी दूसरे द्रव के स्तम्भ द्वारा संतुलित कर द्रव का दाब मापा जाता है।

"Manometers are pressure measuring devices used for measuring the pressure at a point in a fluid by balancing the column of fluid by the same or another column of liquid."

जैसे पीजोमीटर नली द्रव-दाबमापी, U-नली द्रव-दाबमापी आदि। ये दो प्रकार के होते हैं—

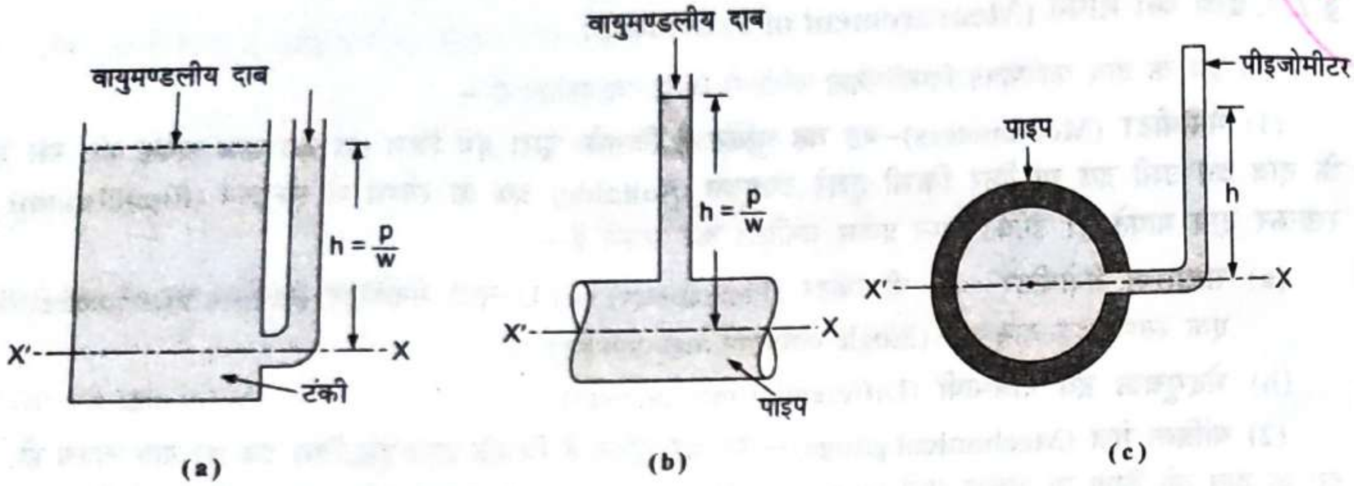
1. **साधारण द्रव दाबमापी (Simple Manometers)**—ये किसी पाइप या बर्तन में भरे द्रव का दाब किसी बिन्दु पर मापते हैं जैसे पीजोमीटर नली, U-नली द्रव-दाबमापी, बैरोमीटर तथा साधारण सुग्राही द्रव-दाबमापी आदि।
2. **भेद सूचक द्रव दाबमापी (Differential Manometers)**—ये किसी पाइप या बर्तन में दो खण्डों, अथवा दो अलग पाइपों या बर्तनों के बीच क्रमशः एक ही द्रव या द्रवों के बीच दाबान्तर मापने के काम आने वाली युक्तियाँ हैं। जैसे-दो पीजोमीटर नली द्रव-दाबमापी, U-नली भेद सूचक द्रव दाबमापी आदि।

2.7.2. पीजोमीटर नली या द्रव दाबमापी नली (Piezometer Tube)

पीजोमीटर नली, एक मैनोमीटर का सरलतम रूप है, जिसे द्रवों के मध्यम दाबों के मापन के लिए प्रयोग किया जाता है।

"A piezometer is the simplest form of manometer which can be used for measuring moderate pressures of liquids."

ये साधारण काँच की नली (कम से कम व्यास 1.3 cm की, ताकि केशिका नली की तरह क्रिया न करें) होती है। नली का एक सिरा उस द्रव से भरे बर्तन, पाइप या टैंक की दीवार में छेद करके लगा देते हैं, जिसका दाब मापना होता है तथा दूसरा सिरा वायुमण्डल में खुला रहता है। नली की ऊँचाई इतनी पर्याप्त रखी जाती है ताकि इसमें से द्रव बिना ऊपर से निकले या छलके काफी ऊँचाई तक उठ या चढ़ सके। देखिये चित्र 2.6(a), (b) तथा (c)।



चित्र 2.6—पीजोमीटर नली

किसी बिन्दु पर दाब = द्रव स्तम्भ की नली में चढ़ी उस बिन्दु से ऊँचाई

$$h = \frac{p}{w}$$

ध्यान रहे कि जिस छेद में पीजोमीटर नली लगायी जाये उसमें खरोंच या धार आदि न हों और नली में मोड़ आदि अधिक न हों। पीजोमीटर नली से गैस दाब नहीं मापे जाते क्योंकि गैसें अपनी सतह नहीं बनाये रख सकतीं। पीजोमीटर नली से उच्च दाब भी नहीं नापा जा सकता। क्योंकि तब नली की लम्बाई बहुत अधिक हो जाती है जो असुविधाजनक होती है। साथ ही इससे अति निम्न दाब (Low Pressure) भी ठीक से नहीं माप पाते हैं।

2.7.3. साधारण U-नली द्रव दाबमापी (U-tube Simple Manometers)

यह द्रव-दाबमापी, साधारण काँच की नली को 'U' अक्षर के आकार में मोड़कर बनाया जाता है। इसमें नली का एक सिरा पाइप या बर्तन के छेद से जुड़ा होता है (जहाँ दाब मापना होता है) तथा दूसरा सिरा वायुमण्डल में खुला रहता है तथा U-नली में अधिक आ० घ० वाला उपयुक्त द्रव भरा होता है जो पहले द्रव के साथ घुलनशील तथा क्रियाशील नहीं होता।

"A U-tube manometer consists of a glass tube bent in U-shape, one end of which is connected to a point at which pressure is to be measured and other end remains open to this atmosphere U-tube filled by a liquid of high specific gravity."

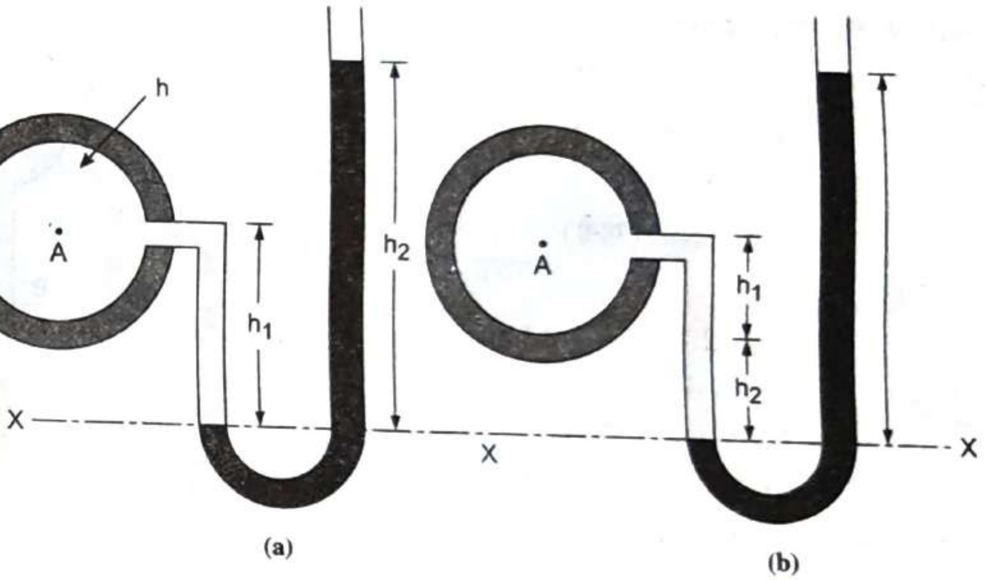
U-नली द्रव-दाबमापी से दाब मापते समय निम्न बातों का ध्यान रखकर ही समीकरण बनाते हैं—

1. एक ही क्षैतिज में सभी बिन्दुओं पर दाब समान होता है।
2. सभी दाब, पानी की सेमी में ऊँचाई के पदों में, व्यक्त किये जाने चाहियें (सरलता के लिये)।
3. केवल ऊर्ध्वाधर ऊँचाईयाँ ही समीकरण में प्रयोग की जायें।
4. U-नली में, जहाँ पर दाब ज्ञात हो उसी सिरे से समीकरण बनाना शुरू करना चाहिये।

5. यदि ज्ञात बिन्दु (जहाँ पर दाब ज्ञात हो) से नीचे के बिन्दु पर दाब ज्ञात करना हो तो उससे सम्बन्धित द्रव स्तम्भ की ऊँचाई को +ve (धनात्मक) लिखना चाहिये, और यदि ज्ञात बिन्दु से ऊपर के बिन्दु पर दाब ज्ञात करना हो तो उससे सम्बन्धित द्रव की ऊँचाई को –ve (ऋणात्मक) लिखना चाहिये।

इस प्रकार एक सिरे से शुरू करके बारी-बारी से सभी इच्छित बिन्दुओं पर दाब ज्ञात करके सम्बन्धित द्रव ऊँचाइयों का बीजीय योग (Algebraic Sum) ही अन्त में अज्ञात दाब की समीकरण के रूप में प्राप्त होगा जिससे अज्ञात दाब की गणना की जा सकती है।

(i) धनात्मक दाब के लिए—देखें चित्र 2.7(a)। माना एक बन्द पाइप के बिन्दु A पर दाब ज्ञात करना है। X-X एक आधार रेखा है जैसा कि चित्र में दिखाया गया है।



चित्र 2.7—साधारण U-नली द्रव दाबमापी

माना, h_1 = U-नली की बायीं भुजा में द्रव तल की आधार रेखा से ऊँचाई

h_2 = U-नली की दायीं भुजा में द्रव तल को आधार रेखा से ऊँचाई

h = पाइप में द्रव का दाब, (पानी के शीर्ष के पदों में)

S_1 = हल्के द्रव (सामान्यतया पानी) का आपेक्षिक गुरुत्व, और

S_2 = भारी द्रव (सामान्यतया पारा) का आपेक्षिक गुरुत्व

U-नली की बायीं तथा दायीं भुजा में आधार रेखा X-X से ऊपर दाब बराबर होगा क्योंकि एक समांग द्रव के एक ही तल में दो बिन्दुओं पर समान दाब होता है। अत: U-नली में आधार रेखा X-X से ऊपर बायीं भुजा में दाब $= h + h_1S_1$

आधार रेखा X-X से ऊपर दायीं भुजा में दाब $= h_2S_2$

दोनों तरफ दाब बराबर रखने पर,

$$h + h_1S_1 = h_2S_2$$

$$\therefore \quad h = h_2S_2 - h_1S_1 \quad \ldots(i)$$

(ii) ऋणात्मक दाब के लिए—देखें चित्र 2.7(b)

U-नली में आधार रेखा X-X से ऊपर बायीं भुजा में दाब $= h + h_1S_1 + h_2S_2$

आधार रेखा X-X से ऊपर दायीं भुजा में दाब $= 0$

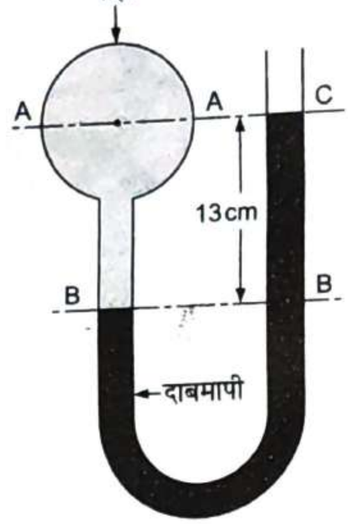
दोनों तरफ दाब बराबर रखने पर,

$$h + h_1S_1 + h_2S_2 = 0 \quad \text{...(ii)}$$

या
$$h = -(h_1S_1 + h_2S_2)$$

उदाहरण 2.11. एक पाइप लाइन में बहते हुए पानी का दाब (Pressure) मापने के लिये एक Simple manometer प्रयोग किया गया। Manometer की दाहिनी भुजा वायु में खुली हुई है, और बाईं भुजा Pipe से जुड़ी (Connected) है। दाहिनी भुजा में पारे के स्तम्भ (Column) का ऊपरी स्तर पाइप के मध्य बिन्दु के ठीक level में है, और दोनों भुजाओं में पारे के स्तरों में 13 cm का अन्तर है। Pipe में दाब जल शीर्ष की ऊँचाई ज्ञात कीजिये।

दाब N/cm^2 में भी ज्ञात कीजिए।



चित्र 2.8

हल— बिन्दु C पर दाब = वायुमण्डलीय दाब
= शून्य (गेज दाब के लिए)

बिन्दु B पर दाब = 13×13.6
= 176.8 cm (पानी)

बिन्दु A पर दाब,

h = बिन्दु B पर दाब $- 13 \times 1$
$= 176.8 - 13$
$= 163.8$ cm (पानी)
= **1.638 m** पानी का स्तम्भ   उत्तर

∴ दाब तीव्रता = $1.638 \times 1000 \times 9.81$ N/cm² ($\therefore p = wh$)
= **1.6 N/cm² (गेज दाब)** उत्तर

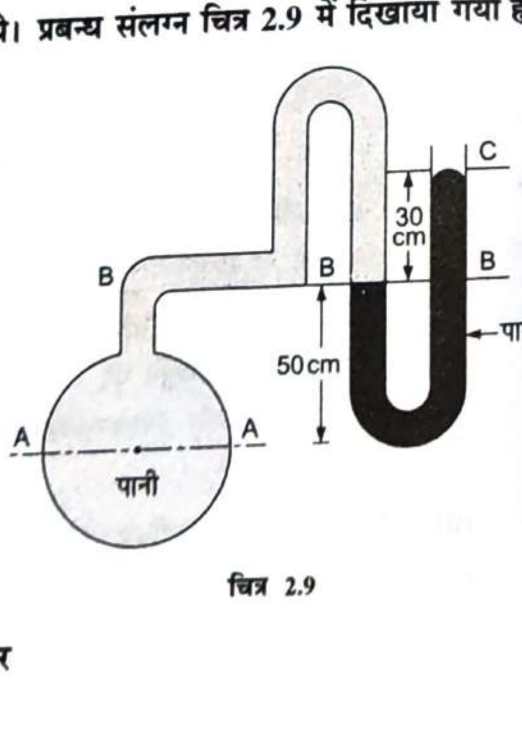
उदाहरण 2.12. एक साधारण पारा दाबमापी (Mercury Manometer) एक पानी के पाइप से जुड़ा है। यदि पारे के तलों में अन्तर 30 cm, पाइप के केन्द्र के ऊपर ही बनता हो तो पाइप के केन्द्र पर दाब ज्ञात कीजिये। यदि वायुमण्डलीय दाब 10 N/cm² हो तो परम दाब भी ज्ञात कीजिये। प्रबन्ध संलग्न चित्र 2.9 में दिखाया गया है।

हल—माना A पर दाब h है तथा पानी का आ० घ० $s_2 = 1$ (CGS मात्रक में), और पारे का आ० घ०, $s_1 = 13.6$ है। साथ ही $h_1 = 30$ cm पारे के तल का अन्तर और बिन्दु B की बिन्दु A से ऊँचाई $h_2 =$ 50 cm है तो,

बिन्दु A पर दाब, $h = h_1s_1 + h_2s_2$ पानी की ऊँचाई के पदों में

या, $h = 30 \times 13.6 + 50 \times 1$
= 458 cm (पानी) = 4.58 m (पानी)

या, बिन्दु A पर गेज दाब = $\dfrac{4.58 \times 1000 \times 9.81}{10^4}$ N/cm²
= **4.49 N/cm²**



चित्र 2.9

∴ परम दाब = वायुमण्डलीय दाब + गेज दाब
= **10 + 4.49 = 14.49 N/cm²** उत्तर

उदाहरण 2.13. एक 15 cm व्यास वाले पाइप लाइन में बहते हुए पानी का दाब नापने के लिए पारे का साधारण नली का प्रयोग किया गया। दाहिनी खुली नली में पारे का तल बाईं भुजा की नली में पारे के तल से 12.0 cm ऊँचा है। मैनोमीटर की बाईं भुजा पाइप लाइन से जुड़ी है और इस भुजा में पारे के तल के ऊपर पानी की ऊँचाई पाइप लाइन के केन्द्र तक नापे जाने पर 6 cm है। पाइप लाइन में दाब cm of water की इकाई में ज्ञात करिये। इस दाब को N/cm² की इकाई में भी व्यक्त कीजिये।

हल—चित्र 2.10 पर विचार करते हुए,

बिन्दु C पर दाब = वायुमण्डलीय दाब

= 0 (शून्य) (गेज दाब के लिये)

बिन्दु B पर दाब = बिन्दु C पर दाब $+ 12 \times 13.6$

$= 0 + 12 \times 13.6$ cm (पानी)

$= 163.2$ cm (पानी)

बिन्दु A पर दाब h = बिन्दु B पर दाब $- 6 \times 1$

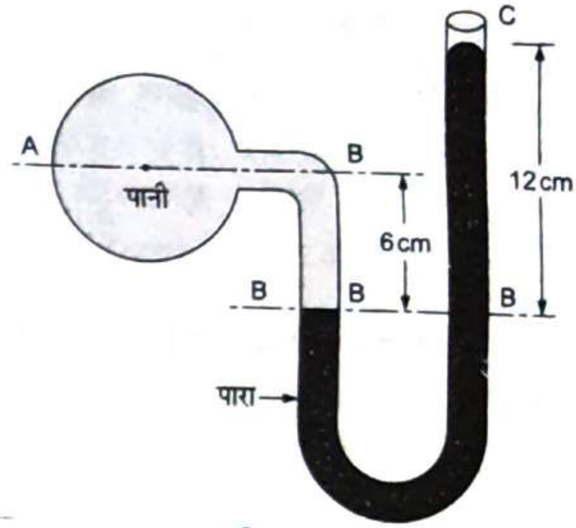
$= 163.2 - 6$

= 157.2 cm (पानी) **उत्तर**

दाब तीव्रता $= \dfrac{157.2}{100} \times 1000 \times 9.81$ N/m² ($\because p = wh$ से)

$= 0.1542\ kg_f/cm^2$

= 1.54 N/cm² (गेज दाब) **उत्तर**



चित्र 2.10

उदाहरण 2.14. एक पाइप, जिसमें पानी बह रहा है, के ऋणात्मक (Negative) दाब को मापने के लिए एक पारा-युक्त U-ट्यूब मैनोमीटर का प्रयोग किया गया है। दाहिनी भुजा वायुमण्डल में खुली है। देखें चित्र 2.11। पाइप में निर्वात् दाब ज्ञात कीजिये यदि दोनों भुजाओं में पारे के तल का अन्तर 100 mm है तथा बायीं भुजा में पारे का तल पाइप के केन्द्र से 40 mm नीचे है।

हल—पानी का विशिष्ट गुरुत्व $S_1 = 1$, पारे का विशिष्ट गुरुत्व $S_2 = 13.6$

चित्र 2.11 के अनुसार, बायीं भुजा में पानी की ऊँचाई

$$h_1 = 40 \text{ mm} = 0.04 \text{ m}$$

बायीं भुजा में पारे की ऊँचाई,

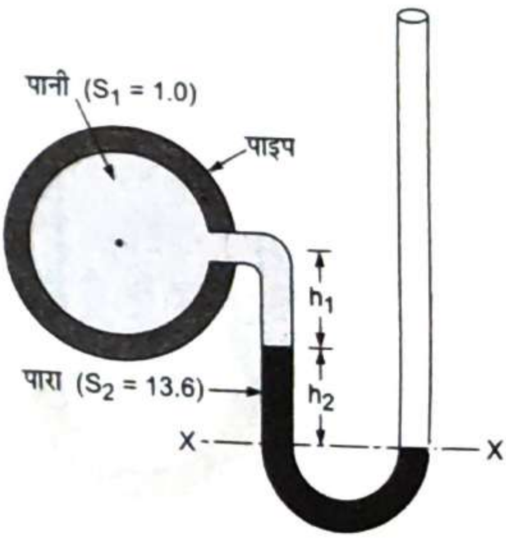
$$h_2 = 100 \text{ mm} = 0.1 \text{ m}$$

माना h = पाइप में दाब (पानी के शीर्ष के पदों में)

आधार रेखा X-X (माना) से ऊपर U नली में दोनों तरफ दाब शीर्षों की तुलना करने पर,

$$h + h_1S_1 + h_2S_2 = 0$$

या
$$h = -(h_1S_1 + h_2S_2)$$
$$= -(0.04 \times 1 + 0.1 \times 13.6)$$
$$= -1.4 \text{ m of water}$$



चित्र 2.11

अतः दाब तीव्रता, $p = wh = 9.81 \times (-1.4)\ \text{kN/m}^2 = -13.73\ \text{kPa}$

$= 13.73\ \text{kPa}$ **(निर्वात्)** **उत्तर**

उदाहरण 2.15. चित्र 2.12 में एक तिकोना पात्र प्रदर्शित है जिसके निकास *L* पर एक U-ट्यूब मैनोमीटर लगा है। जब पात्र खाली है तब मैनोमीटर की रिडिंग चित्र में प्रदर्शित है। जब पात्र पानी से भरा हो तो मैनोमीटर की रिडिंग ज्ञात करो।

हल—(i) जब पात्र खाली है—माना h_1 = काट *X-X* से ऊपर पानी की ऊँचाई, S_1 = पानी का विशिष्ट गुरुत्व = 1.0, S_2 = पारे का विशिष्ट गुरुत्व = 13.6

दोनों तरफ, काट *X-X* से ऊपर, दाब शीर्षों को समान रखने पर,

$$h_1 S_1 = h_2 S_2$$

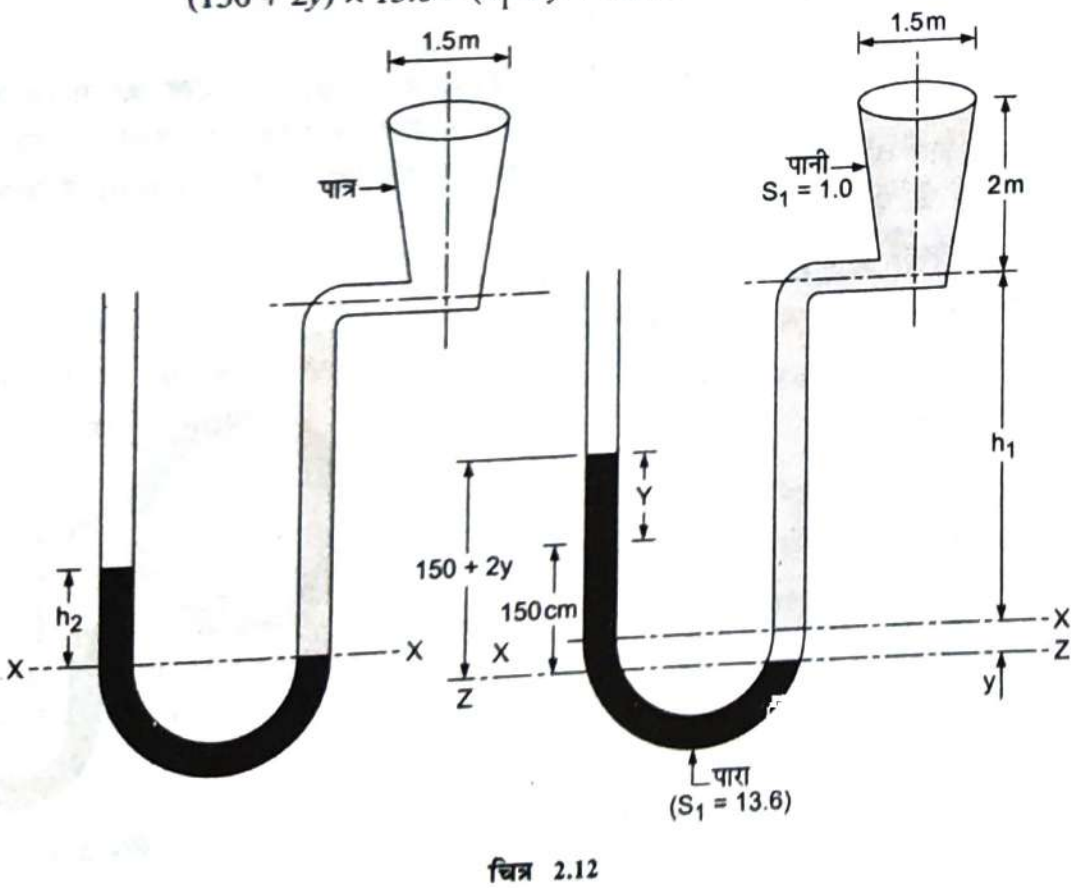
या
$$h_1 \times 1.0 = 150 \times 13.6$$

∴
$$h_1 = \mathbf{2040\ mm}$$
उत्तर

(ii) जब पात्र पानी से भरा है—(देखें चित्र 2.12) जब पात्र पानी से भरा हो तो पानी के दाब के कारण मैनोमीटर की दायीं भुजा में पारे का तल *y* mm नीचे चला जाता है तथा बायीं भुजा में *y* mm ऊपर उठ जाता है। माना नयी स्थिति में आधार रेखा *Z-Z* है।

आधार रेखा *Z-Z* से ऊपर, दोनों तरफ दाब शीर्षों को समान रखने पर

$$(150 + 2y) \times 13.6 = (h_1 + y + 2000) \times 1$$



चित्र 2.12

$h_1 = 2040$ mm रखने पर,

$$2040 + 27.2y = 2040 + y + 2000$$

हल करने पर

$$y = 76.3 \text{ mm}$$

इस प्रकार, नयी स्थिति में मैनोमीटर का पाठ्यॉंक = $(150 + 2y)$

$$= 150 + 2 \times 76.3 = 302.6 \text{ mm}$$

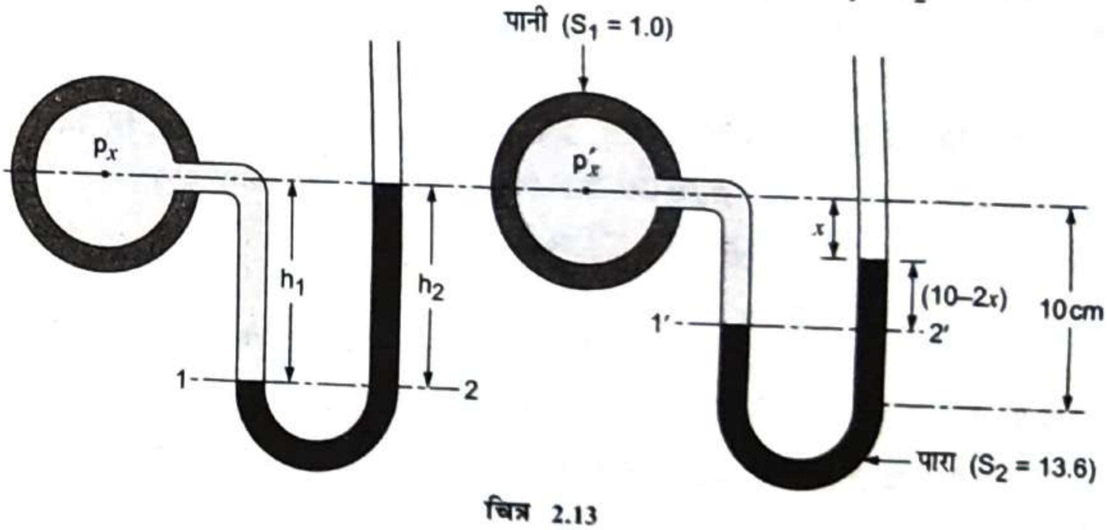
∴ अतः: मैनो-मीटर का पाठयाँक = 302.6 mm or **0.3026 m** उत्तर

उदाहरण 2.16. चित्र 2.13 में एक U-ट्यूब मैनोमीटर प्रदर्शित है जो एक पाइप-लाइन में पानी के दाब का मापन करने के लिए लगाया गया है। पाइप लाइन में पानी का दाब ज्ञात करें यदि U-ट्यूब की दोनों भुजाओं में पारे के तलों का अन्तर 10 cm है। पारे की स्वतंत्र सतह ट्यूब के केन्द्र के तल में है। यदि पाइप लाइन में पानी का दाब 1000 kg_f/m^2 तक कम हो जाये तो पारे के तलों में अन्तर कितना रह जायेगा?

हल—देखें चित्र 2.13। माना मेन लाइन में पानी का गेज दाब p_x है। आधार रेखा (Datum line) पर दोनों तरफ दाब शीर्षों को समान रखने पर,

$$p_x + h_1 S_1 = h_2 S_2$$

(जहाँ S_1 तथा S_2 क्रमशः पानी तथा पारे के विशिष्ट गुरुत्व हैं तथा चित्रानुसार $h_1 = h_2 = h$ है)।



चित्र 2.13

$$\therefore \quad p_x = (S_2 - S_1)h = (13.6 - 1) \times \frac{10}{100} = 1.26 \text{ m}$$

$$\therefore \quad p_x = wh = 9.81 \times 1.26 \text{ kN/m} = \mathbf{12.36 \text{ kPa}}$$

उत्तर

जब पाइप लाइन में पानी का दाब कम हो जाता है तो U-ट्यूब की बायीं भुजा में पारे का तल x cm उठ जाता है तथा दायीं भुजा में x cm नीचे गिर जाता है।

नयी स्थिति 1′–2′ में दोनों तरफ दाब शीर्षों को समान रखने पर,

$$p_x + w_w\left(\frac{10-x}{100}\right) = w_m\left(\frac{10-2x}{100}\right)$$

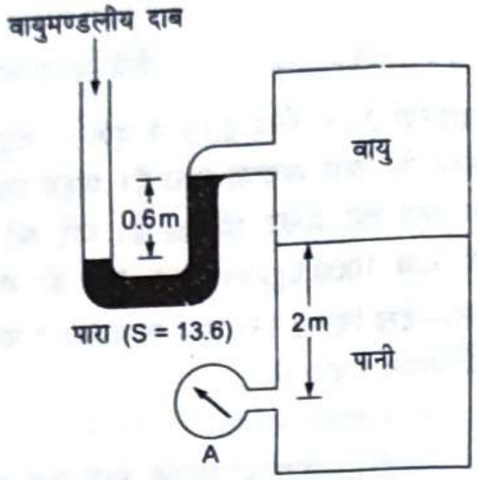
$$1000 + 1000\left(\frac{10-x}{100}\right) = 13.6 \times \left(\frac{10-2x}{100}\right) \times 1000 \qquad (\text{जहाँ } w_w = 1000 \text{ kg/m}^3)$$

हल करने पर, $x = 0.99$ cm

पारे के तल में नया अन्तर $= 10 - 2x$

$= 10 - 2 \times 0.99 = 8.02$ cm उत्तर

उदाहरण 2.17. चित्र 2.14 में यदि वायुमण्डलीय दाब 755 mm (पारे) के बराबर हो तो, ज्ञात कीजिये-(i) टंकी में वायु का परम दाब (ii) बिन्दु A पर दाब गेज का पाठ्यांक।



चित्र 2.14

हल—(i) वायु का परम दाब, $(p_{abs})_{air}$—

खुले सिरे से, $0 - (13.6 \times w) \times 0.6 = p_{air}$

$\therefore$ $p_{air} = -13.6 \times 9.81 \times 0.6$

$= -80 \text{ kN/m}^2$

वायुमण्डलीय दाब, $p_{atm} = \dfrac{755}{1000} \times 13.6 \times 9.81$

$= 100.73 \text{ kN/m}^2$

$(p_{abs})_{air} = p_{air} = -80 + 100.73$

$= 20.73 \text{ kN/m}^2$

$\therefore$ टंकी में वायु का परम दाब $(p_{abs})_{air} = \mathbf{20.73 \text{ kN/m}^2}$

उत्तर

(ii) बिन्दु A पर दाब गेज का पाठ्यांक—A पर दाब $= (p_{abs})_{air} + wh$

$\therefore$ $p_A = 20.73 + 9.81 \times 2 = 40.35 \text{ kN/m}^2$ abs

हम जानते हैं कि कुल दाब $= p_{gauge} + p_{atm}$

$\therefore$ $p_{gauge\,(A)} = 40.35 - p_{atm}$

$\therefore$ $p_{gauge\,(A)} = 40.35 - 100.73 = -60.38 \text{ kN/m}^2$ (निर्वात् दाब) उत्तर

अत: बिन्दु A पर दाब गेज का पाठ्यांक $= \mathbf{60.38 \text{ kN/m}^2}$ **(निर्वात्)**

उदाहरण 2.18. दिये गये चित्र 2.15 के बिन्दु L तथा M पर गेज-दाब ज्ञात करो यदि वायुमण्डलीय दाब 755 mm (पारे) हैं।

हल—माना पारे की वाष्प का दाब तथा वायु के लघु कॉलम में दाब लगभग नगण्य है—

(i) बिन्दु L पर गेज दाब ($\because$ दाब E पर = दाब D पर = दाब A पर)

E तथा D पर दाब शीर्ष बराबर रखने पर

$\therefore$ $0 + 0.5 \times 13.6 = P_{abs\,(A)} = 6.8$ m (पानी के) (A पर) दाब

$\because$ $p_{abs\,(A)} = p_{gauge} + p_{atm}$

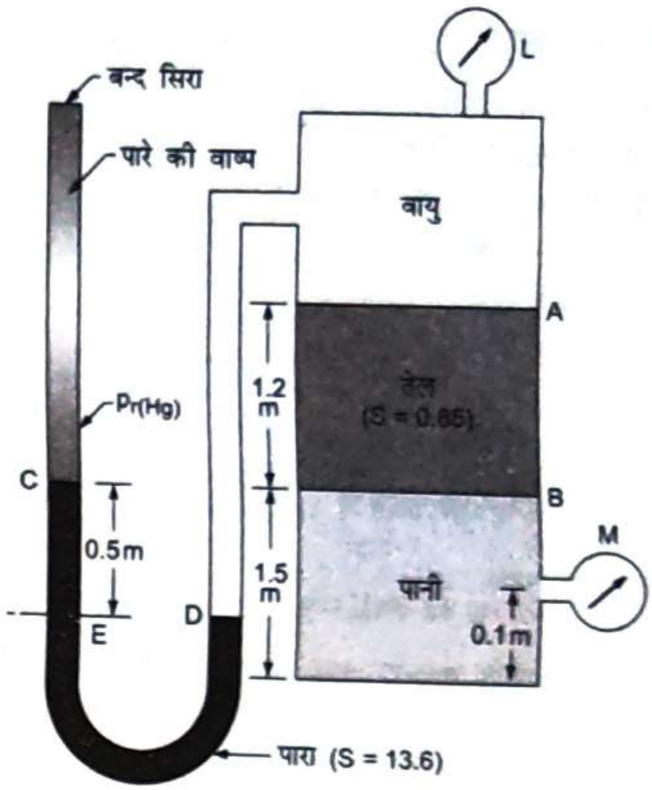
परन्तु $p_{atm} = \dfrac{755}{1000} \times 13.6 = 10.27$ (पानी के)

$\therefore$ $6.8 = p_{gauge} + 10.27$

या $p_{gauge} = -3.47$ (पानी के)

$= -3.47 \times 9.81 = -34 \text{ kN/m}^2$ उत्तर

अत: L पर गेज का पाठ्यॉक $= \mathbf{34 \text{ kN/m}^2}$ **(निर्वात्)**



चित्र 2.15

(ii) बिन्दु M पर गेज दाब—बिन्दु M पर गेज दाब = A पर दाब + B पर दाब + M पर दाब

$$= 6.8 + 1.2 \times 0.85 + (1.5 - 0.1) \times 1$$

$$= 9.22 \text{ m (पानी के)}_{abs}$$

∴ $$p_{gauge} + p_{atm} = p_{abs}$$

∴ $$p_{gauge} + 10.27 = 9.22$$

या $$p_{gauge} = 9.22 - 10.27 = -1.05 \text{ m (पानी के)}$$

$$= -1.05 \times 9.81 = -10.3 \text{ kN/m}^2$$

अत: बिन्दु M पर गेज दाब = **10.3 kN/m² (निर्वात्)** **उत्तर**

2.7.4. एक स्तम्भ द्रव-दाब मापी (सूक्ष्मग्राही द्रव दाबमापी) [Single Column Manometer (Micromanometer)]

किसी द्रव के किसी बिन्दु पर अतिसूक्ष्म दाब मापने के लिए काम आने वाली युक्ति (device) सुग्राही या सूक्ष्मग्राही साधारण द्रव-दाबमापी कहलाती है।

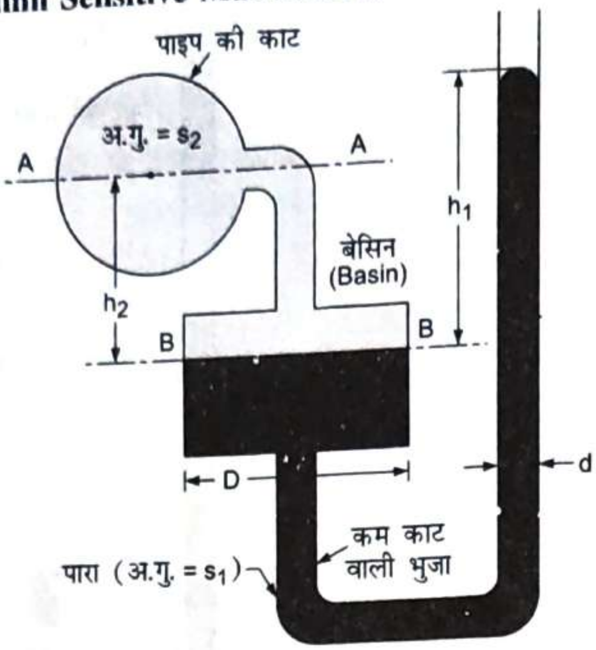
"The device used to measure very small amount of pressure at any point of a liquid is called sensitive or micromanometer."

अर्थात् इनके कार्य सिद्धान्त के अनुसार, ये थोड़े से दाब को द्रव की काफी ऊँचाई में प्रदर्शित कर देते हैं। ये निम्न दो प्रकार के होते हैं—

1. साधारण एकल स्तम्भी सुग्राही द्रव-दाबमापी (Single Column Sensitive Manometer)
2. साधारण नत नलिका सुग्राही द्रव-दाबमापी (Inclined Tube Sensitive Manometer)

2.7.4.(1) एक स्तम्भी सुग्राही द्रव-दाबमापी (Single Column Sensitive Manometer)

इसे चित्र 2.16 में दिखाया गया है। इस दाबमापी को U-नली द्रव-दाबमापी को सुधार कर बनाया गया था। इसकी एक भुजा (Limb) की काट का क्षेत्रफल दूसरी भुजा की काट के क्षेत्रफल का लगभग 100 गुना रखा जाता है। इसी कारण अधिक काट क्षेत्रफल वाली भुजा में बहुत अधिक ऊँचाई में प्रदर्शित हो जाता है। अर्थात्, यदि बेसिन व कम काट वाली भुजा के काट का व्यास क्रमशः D तथा d हो तो,



चित्र 2.16—एक स्तम्भी सुग्राही द्रव दाबमापी

बेसिन के आयतन में परिवर्तन

= कम काट वाली भुजा के आयतन में परिवर्तन

या $\frac{\pi}{4}D^2 \times$ बेसिन के तल में परिवर्तन

$= \frac{\pi}{4}d^2 \times$ कम काट वाली भुजा के तलों में अन्तर

या
$$\frac{\pi}{4}D^2 \times L = \frac{\pi}{4}d^2 \times l$$

या
$$L = \left(\frac{d}{D}\right)^2 \times l$$

यदि $d = 1$ cm तथा

$D = 10$ cm रखा जाये तो,

$$L = \frac{l}{100}$$

इस प्रकार L का मान अर्थात् बेसिन में द्रव तलों का अन्तर अपेक्षाकृत इतना कम है कि मापने की जरूरत नहीं पड़ती। इसलिए बेसिन किसी भी धातु की बनायी जा सकती है।

संक्षेप में, पहले की ही तरह प्रबन्ध मानकर गणना करने पर,

पाइप में A पर दाब = बेसिन में द्रव तल B पर दाब $-h_2S_2$

$= h_1S_1 - h_2S_2$ (पानी की ऊँचाई के पदों में)

2.7.4.(2) नत नलिका सुग्राही द्रव-दाबमापी (Inclined-tube Sensitive Manometer)

देखिए चित्र 2.17 इसमें भी पहले जैसी सुग्राही द्रव-दाबमापी जैसी बनावट होती है परन्तु इसमें कम काट वाली भुजा किसी कोण θ पर झुकी होती है। इसका कार्य-सिद्धान्त वही है। परन्तु θ का मान कम से कम 4° रखना चाहिये वरना (क्योंकि) इससे कम कोण रखने पर तनाव बलों को भी गणना में शामिल करना पड़ेगा।

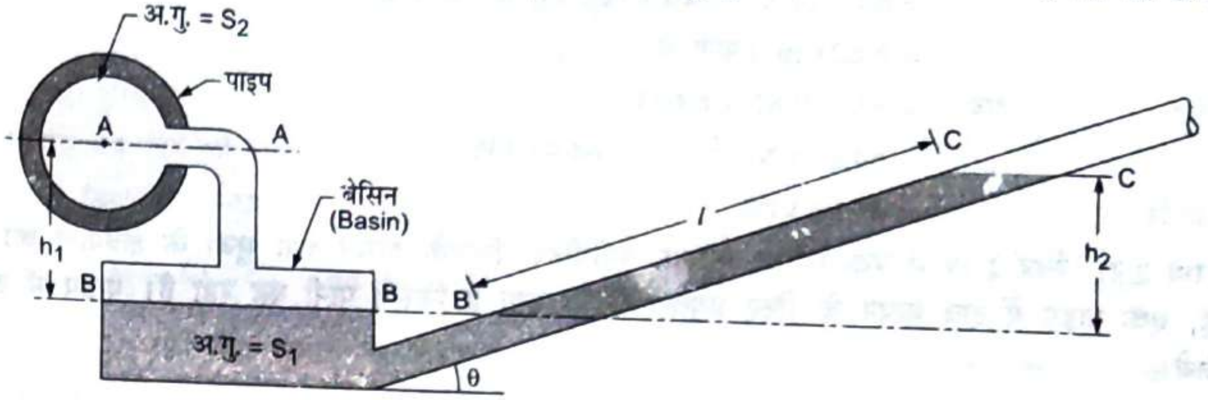
संक्षेप में जैसा कि चित्र से स्पष्ट है,

बिन्दु A पर दाब = बेसिन में द्रव तल पर दाब $- h_2S_2$

$= h_1S_1 - h_2S_2$

परन्तु, $\frac{h_1}{l} = \sin\theta$ या $h_1 = l \sin\theta$

∴ बिन्दु A पर दाब, $h = S_1 \, l \sin\theta - h_2 S_2$ (पानी की ऊँचाई में)



चित्र 2.17—नत नलिका सुग्राही द्रव दाबमापी

उदाहरण 2.19. किसी नत नलिका द्रव दाबमापी की नत नली का क्षैतिज से झुकाव 12° है और उसमें पारा भरा है तो उस पाइप में पानी का दाब ज्ञात कीजिए जहाँ इसे लगाया गया है यदि नत नली में पारे की लम्बाई 5 cm हो जाती है। बेसिन में तल से पाइप के केन्द्र की ऊँचाई 6 cm है।

हल—देखिए चित्र 2.17 में जहाँ प्रश्नानुसार, $S_2 = 1$, $S_1 = 13.6$, $l = 5$ cm तथा $\theta = 12°$ है। अत:

$$\text{पाइप में दाब, } h = 13.6 \times 5 \times \sin 12° - 6 \times 1$$

$$= 13.6 \times 5 \times 0.2079 - 6$$

$$= 8.137 \text{ cm (पानी)}$$

$$\text{पाइप में दाब तीव्रता} = \frac{8.137 \times 1000 \times 9.81}{100 \times 10000} \text{ N/cm}^2$$

$$= \mathbf{0.08 \ N/cm^2} \text{ (गेज दाब)}$$

उत्तर

उदाहरण 2.20. चित्र 2.18 में एक सिंगल कॉलम मैनोमीटर एक पाइप में लगा हुआ दिखाया गया है। पाइप में 0.8 विशिष्ट गुरुत्व वाला द्रव बह रहा है। बेसिन (Basin) तथा भुजा (limb) के क्षेत्रफलों का अनुपात 100 है। पाइप में दाब ज्ञात कीजिये। पारे का विशिष्ट गुरुत्व 13.6 है।

हल—दिया है— पाइप में द्रव का विशिष्ट गुरुत्व, $S_1 = 0.8$

पारे का विशिष्ट गुरुत्व, $S_2 = 13.6$

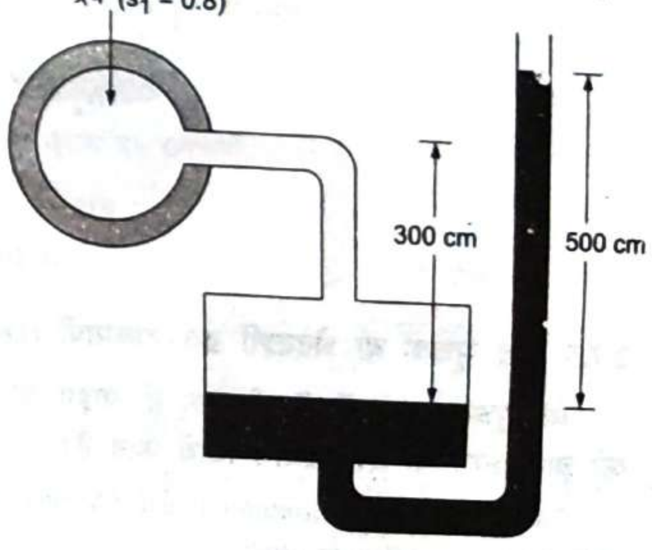
$$\frac{\text{बेसिन का क्षेत्रफल}}{\text{दायीं भुजा का क्षेत्रफल}} = \frac{A}{a} = 100$$

बायीं भुजा में द्रव की ऊँचाई, $h_1 = 300$ mm

दायीं भुजा में पारे की ऊँचाई, $h_2 = 500$ mm

माना h = पाइप में दाब शीर्ष

सम्बन्ध $h = \frac{a}{A} . h_2 . (S_2 - S_1) + h_2 S_2 - h_1 S_1$



चित्र 2.18

$$h = \frac{1}{100} \times 500(13.6 - 0.8) + 500 \times 13.6 - 300 \times 0.8 \text{ mm}$$ (पानी के)

$$= 64 - 6800 - 240 = 6624 \text{ mm}$$ (पानी के)

$$= 6.624 \text{ m}$$ (पानी के)

अत: दाब, $p = wh = 9.81 \times 6.624$

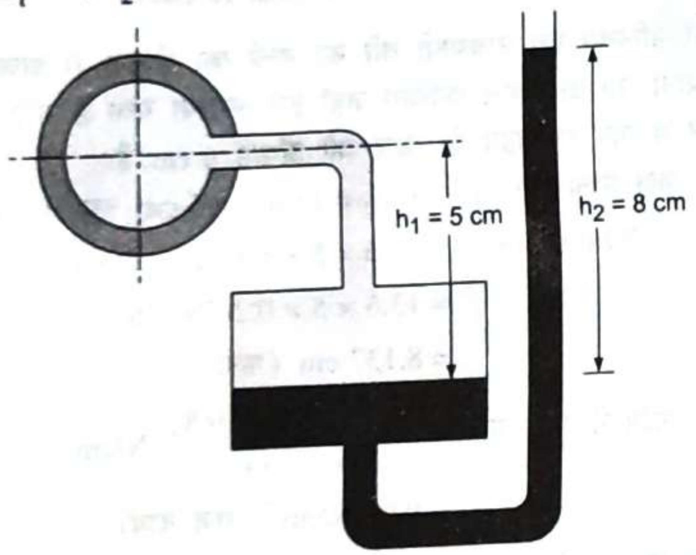
$= 64.98 \text{ kN/m}^2$ या 64.98 kPa

उत्तर

अर्थात् $\mathbf{p = 64.98 \text{ kPa}}$

उदाहरण 2.21. चित्र 2.19 में एक सिंगल कॉलम मैनोमीटर, जिसके बेसिन तथा भुजा के क्षेत्रफल का अनुपात 40 है, एक पाइप में दाब मापन के लिए प्रयुक्त किया गया है जिसमें पानी बह रहा है। पाइप में दाब ज्ञात कीजिये।

हल—दिया है—$\frac{A}{a} = 40, S_1 = 1, S_2 = 13.6$



चित्र 2.19

सम्बन्ध $h_A + S_1 h_1 = S_2 h_2 + \frac{a}{A}(S_2 - S_1) h_2$

$$\therefore \quad h_A = S_2 h_2 - S_1 h_1 + \frac{a}{A}(S_2 - S_1) \times h_2$$

$$= 13.6 \times 8 - 1 \times 5 + \frac{1}{40}(13.6 - 1) \times 8$$

$$= \mathbf{106.32 \text{ cm}}$$ **(पानी के)**

उत्त

2.7.5. भेद सूचक या भेददर्शी द्रव-दाबमापी (Differential Manometer)

भेद सूचक दाबमापी किसी एक ही पाइप के दो स्थानों अथवा दो विभिन्न पाइपों के बीच दाब के अन्त को ज्ञात करने के लिए प्रयोग किये जाते हैं।

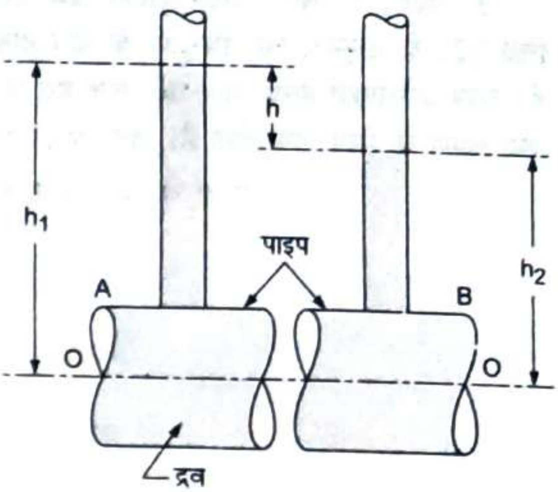
"A differential manometer is used to measure the difference in pressures between two points in pipe or in two different pipes."

ये दाबमापी केवल दाब में अन्तर को ही बताते हैं। ये दाबमापी निम्न प्रकार के होते हैं—

1. दो पीजोमीटर नली दाबमापी (Two Piezometer Tube Manometer)—देखिए चित्र 2.20। इस दाबमापी में दो दाब नलियों को उन दो बिन्दुओं पर जोड़ा जाता है जहाँ पर दाबान्तर ज्ञात करना होता है। इनके दूसरे सिरे वायुमण्डल में खुले रहते हैं। इसमें नलियों में चढ़े द्रव शीर्ष को मापा जाता है।

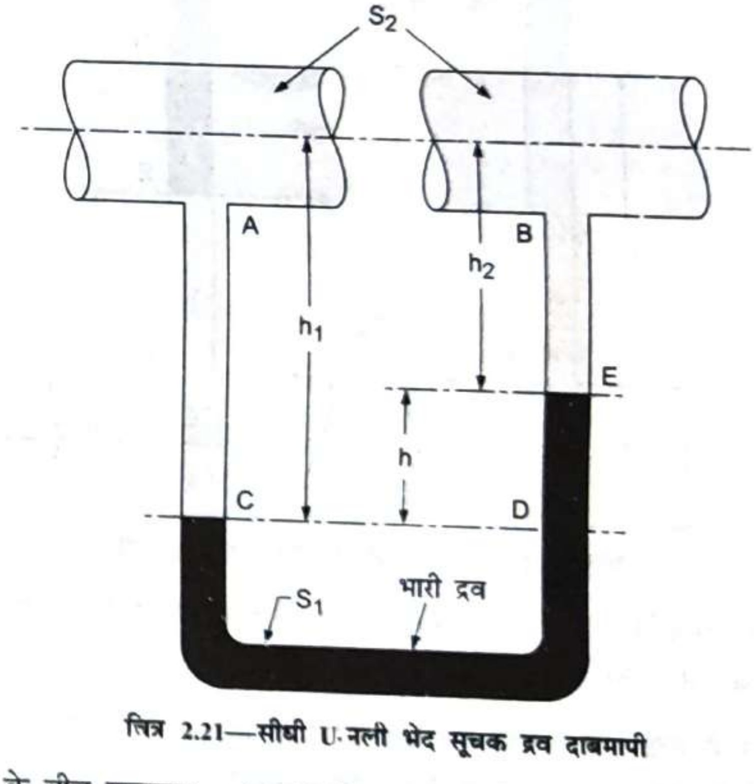
A व *B* बिन्दुओं पर **दाबान्तर**,

$h_1 = h_1 - h_2 = \frac{p_1}{w} - \frac{p_2}{w}$ (द्रव की ऊँचाई के पदों में)



चित्र 2.20—दो पीजोमीटर नली दाबमापी

2. सीधी U-नली भेद-सूचक या भेदसूची द्रव-दाबमापी (Differential Manometer)—इसमें चित्र 2.21 के अनुसार जिन बिन्दुओं के बीच दाबान्तर ज्ञात करना होता है वहीं पर U-नली के सिरों को जोड़ देते हैं। U-नली में कोई भारी आ० घ० वाला द्रव भरा होता है जिसके तलों का अन्तर नोट किया जाता है। तब,



चित्र 2.21—सीधी U-नली भेद सूचक द्रव दाबमापी

A व *B* के बीच दाबान्तर = *A* पर दाब − *B* पर दाब

$= (-h_1 S_2 - C$ पर दाब$) - (-h_2 S_2 - hS_1 - D$ पर दाब$)$

$= -h_1 S_2 + h_2 S_2 + hS_1$ ($\because C$ पर दाब $= D$ पर दाब)

$= hS_1 - S_2(h_1 - h_2) = hS_1 - S_2 h$

$= h(S_1 - S_2)$ **पानी की ऊँचाई के पदों में**

यदि बिन्दु *A* व *B* एक ही क्षैतिज तल में हों और इनमें एक ही द्रव बह रहा हो तो, **दाबान्तर = भारी द्रव के तलों में अन्तर × द्रवों के अ० घनत्वों में अन्तर**

(पानी की ऊँचाई के पदों में)

3. उल्टी U-नली भेद-सूचक द्रव-दाबमापी (Inverted U-tube Differential Manometer)—इसमें चित्र 2.22 के अनुसार जिन बिन्दुओं के बीच दाबान्तर ज्ञात करना होता है वहीं पर उल्टी U-नली के सिरों को जोड़ा जाता है जिसमें अपेक्षाकृत हल्के आ० घ० वाला द्रव भरा होता है तथा पाइप व नली में से हवा निकालने के लिए ऊपर एक वाल्व वायु चूषण के लिए लगा होता है। यदि सूक्ष्म दाबान्तर मापना हो तो भरे जाने वाले द्रव का आ० घ० बहुत कम रखते हैं।

A व B के बीच दाबान्तर $= A$ पर दाब $- B$ पर दाब

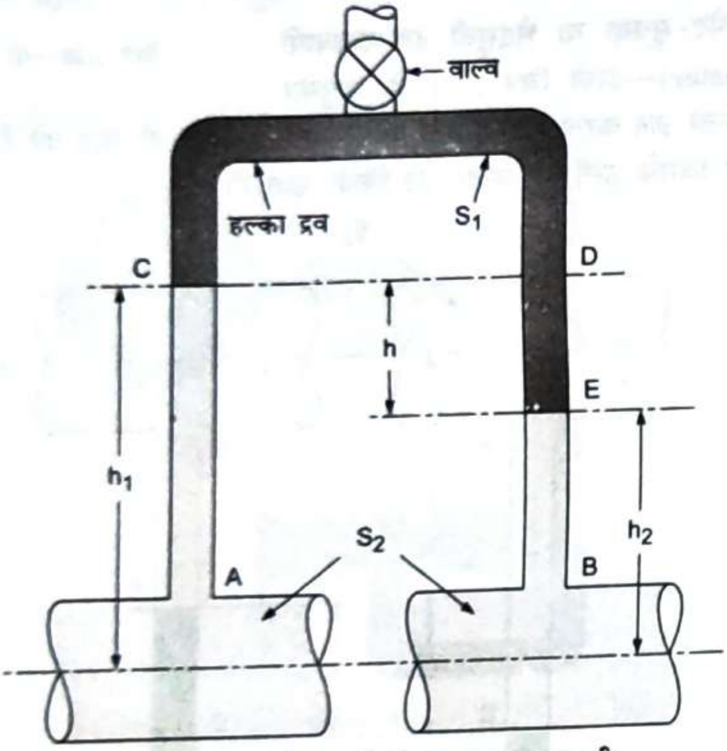
$= (h_1S_2 + C$ पर दाब$) - (h_2S_2 + hS_1 + D$ पर दाब$)$

$= h_1S_2 - h_2S_2 + hS_1$ ($\because$ C पर दाब $= D$ पर दाब)

$= (h_1 - h_2)\, S_2 + hS_1$

$= hS_2 + hS_1$ (पानी की ऊँचाई के पदों में)

$= h(S_2 - S_1)$



चित्र 2.22—उल्टी U-नली भेदसूचक द्रव दाबमापी

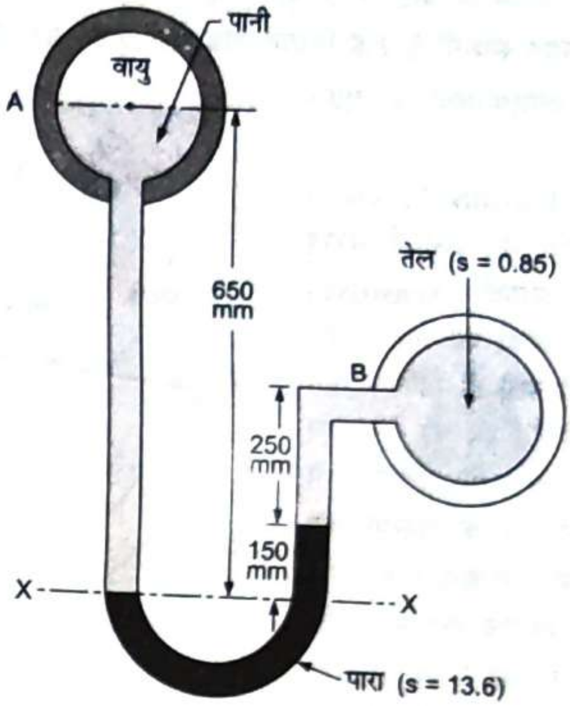
यदि A व B बिन्दु एक ही क्षैतिज तल में हो और इनमें एक ही द्रव बह रहा हो तो, दाबान्तर = हल्के द्रव के तलों में अन्तर × द्रवों के आ० घ० में अन्तर

उदाहरण 2.22. चित्र 2.23 में एक भेद-सूचक द्रव दाब मापी दो बिन्दुओं A और B पर जोड़ा गया है। बिन्दु A पर वायुदाब 100 kN/m² है। बिन्दु B पर परम दाब ज्ञात कीजिये।

हल—दिया है, A पर दाब, $p_A = 100$ kN/m²,

अत: A पर दाब शीर्ष, $h_A = \dfrac{100}{9.81} = 10.2$ m

माना B पर दाब p_B है। अत: B पर दाब शीर्ष $= \dfrac{p_B}{w}$ आधार रेखा X-X से ऊपर दाब शीर्ष पर विचार करने पर बायीं भुजा में दाब शीर्ष



चित्र 2.23

$$= \frac{650}{1000} + h_A = 0.65 + 10.2 = 10.85 \text{ m}$$

दांयी भुजा में दाब शीर्ष $= h_B + \frac{250}{1000} \times 0.85 + \frac{150}{1000} \times 13.6$

$$= h_B + 0.212 + 2.04 = h_B + 2.25$$

दोनों तरफ के दाब शीर्षों को बराबर रखने पर,

$$10.85 = h_B + 2.25$$

या $\quad h_B = 8.6 \text{ m}$

परन्तु $\quad h_B = \frac{p_B}{w}$

$\therefore \quad p_B = wh_B$

$\therefore \quad p_B = 9.81 \times 8.6 = 84.36 \text{ kN/m}^2$

तथा $\quad p_B = \mathbf{84.36 \text{ kPa}}$ **उत्तर**

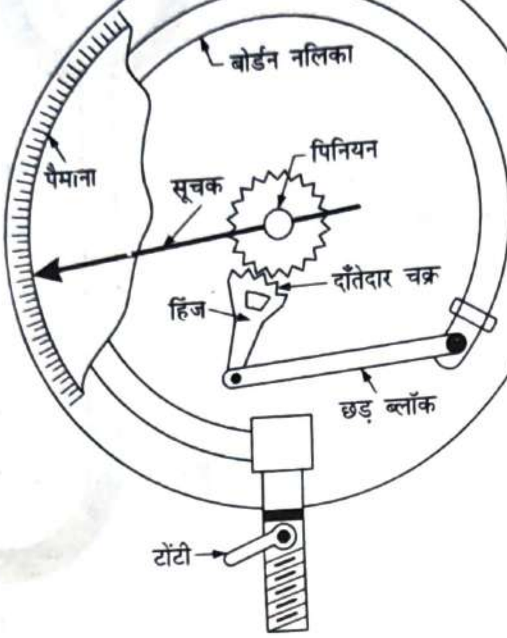
.7.6. यांत्रिक गेज (Mechanical Gauge)

अभी तक हमने जितने भी दाबमापी का अध्ययन किया है वे 2 kg_f/cm^2 से अधिक के दाब को नहीं माप सकते थे। रन्तु यांत्रिक गेज अत्यधिक दाब मापने में समर्थ होते हैं। इस प्रकार के दावमापी में स्प्रिंग या अचल भारों के सन्तुलन के ाधार पर तरलों का दाब मापा जाता है। ये निम्न प्रकार के होते हैं—

अचल भारों के सन्तुलन के आधार पर तरलों का दाब मापा जाता है। ये निम्न प्रकार के होते हैं—

1. बोर्डन नली दाब गेज (Bourdon-tube Pressure Gauge)
2. डायाफ्राम दाब गेज (Diaphragm Pressure Gauge)
3. अचल भार दाब गेज (Dead Weight Pressure Gauge)

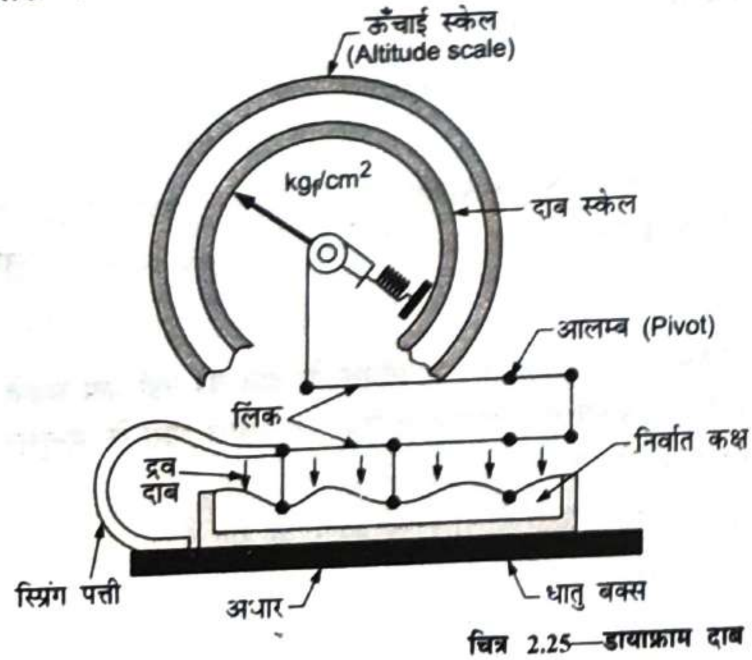
इन सभी गेजों के डॉयल पर, द्रव स्तम्भ की मीटर में ऊँचाई के हिसाब से, या kg_f/cm^2 में दाब मापने के लिये पैमाना बना होता है। **जो गेज, निर्वात दाब माप सकती है उन्हें निर्वात दाब गेज कहते हैं। जो गेजें निर्वात व +ve गेज दाब माप सकें उन्हें यौगिक गेज (Compound Gauge) कहते हैं।**

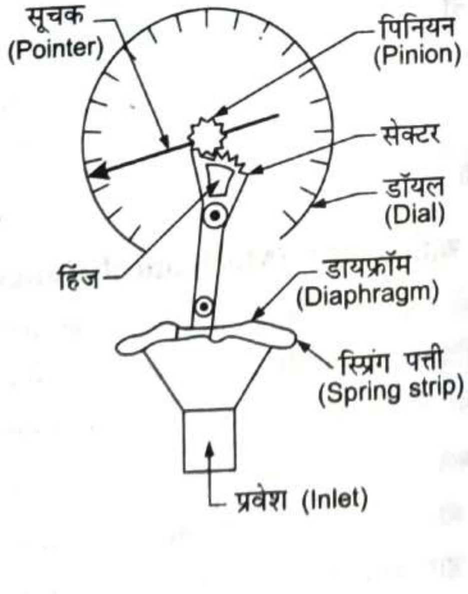


चित्र 2.24—बोर्डन नली दाब गेज

1. बोर्डन नली दाब गेज (Bourdon-tube Pressure Gauge)—यह दाबमापी बहुत प्रयोग में आता है **परन्तु अचल-भार दाबमापी से अधिक सुग्राही (Sensitive) नहीं होता है।** इसमें एक काँसा या लोहा की बनी अर्थात् लचीली धातु की अण्डाकार काट की नली ही मौलिक अंग होता है। ये ही दाब का प्रभाव बताती है। जब यह गेज दाब मापन बिन्दु से जोड़ा जाता है तो दाब के अधीन द्रव नली में बहने लगता है। नली में आने वाले द्रव के कारण बना आन्तरिक दाब नली को (इसके अपने अण्डाकार रूप से) वृत्ताकार बनाने का प्रयास करता है। और तब नली सीधी होने लगती है जिसके कारण नली में पैदा हुआ प्रत्यक्ष विरूपण (Elastic Deformation) वृत्तीय अंशांकित चक्री पर लगी नुकीली सुई को घुमाता है जो कि पिनयन तथा सैक्टर यन्त्रावली (Pinion and Sector Arrangement) द्वारा जुड़ी होती है। अंशांकित चक्री पर लगी सुई (सूचक) द्वारा दाब का माप पढ़ लिया जाता है।

2. डायाफ्राम दाब गेज (Diaphragm Pressure Gauge)—**इस दाबमापी से दाब को मापा जाता है।** इसमें एक लहरियादार (Corrugated) डायाफ्राम होता है जो एक धातु के बॉक्स में लगा होता है (जबकि बोर्डन नली दाब गेज में लगी होती है)। बॉक्स के अन्दर निर्वात रहता है। डायाफ्राम पर दाब आने पर वह विक्षेपित (Deflected) होता है। यह विक्षेपन लिंक और आलम्ब (Link and Pivot) प्रणाली के द्वारा एक सूची तक पहुँच जाता है। सूची डॉयल पट के पैमाने पर लिखे अंकों को बतलाती है। **जिससे दाब भी पता चलता है और स्थान की ऊँचाई भी पता चलती है।**

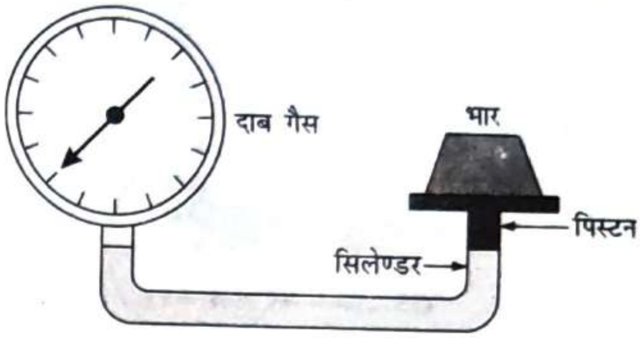




चित्र 2.25—डायाफ्राम दाब गेज

3. अचल भार दाब गेज (Dead Weight Pressure Gauge)—सभी गेजों की तुलना में **इस गेज से मापा गया दाब शुद्धतम होता है।** यही कारण है कि **इसकी मदद से दूसरी गेज अंशांकित (Calibrate) की जाती है।** इसका मुख्य भाग एक सिलेण्डर होता है जिसमें दाब के अधीन तरल प्रवेश करता है जो पिस्टन पर दाब के कारण बल लगाता है और इस लगे बल को पिस्टन पर अचल भार रखकर संतुलित करते हैं। इस प्रकार,

$$\therefore \quad \text{तरल का दाब "}p\text{"} = \frac{\text{पिस्टन पर रखा गया अचल भार (N में)}}{\text{पिस्टन की काट का क्षेत्रफल (cm}^2\text{) में}} = \frac{W}{A} \text{ N/cm}^2$$



चित्र 2.26—अचल भार दाब गेज

उदाहरण 2.23. दिये गये चित्र 2.27 में अगर पाइप में पानी चलना बन्द हो जाये तो पारे वाले दाबमापी में क्या reading होगी?

हल—हम जानते हैं कि पाइप में पानी चलना बन्द होने पर पानी ठहर जायेगा और तब बिन्दुओं (1) तथा (2) पर चित्रानुसार 30 cm की ऊर्ध्वाधर ऊँचाई के कारण हो दाबान्तर होगा (अर्थात् केवल इनकी अपनी ऊर्ध्व-स्थिति के कारण ही दाबान्तर होगी)। अत: हमें दाब 30 cm पानी की ऊँचाई को पारे की ऊँचाई के पद (term) में बदलना है। तब,

$$\text{बिन्दु (1) व (2) में दाबान्तर} = x\,(S_1 - S_2) \qquad \text{...(i)}$$

जहाँ, x = पारे के तलों में अन्तर

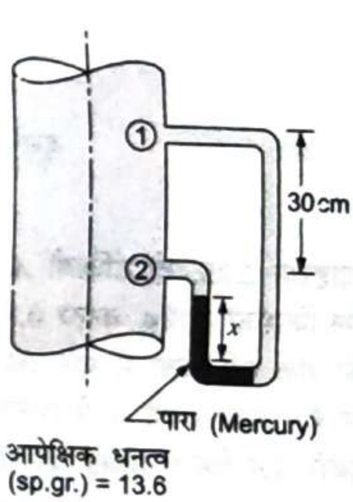
S_1 तथा S_2 क्रमश: पारे तथा पानी के आ० गु० (sp. gravity) हैं।

तब समीकरण (i) में मान रखने पर,

$$30 = x\,(13.6 - 1)$$

या
$$x = \frac{30}{12.6} = \mathbf{2.38\ cm\ (पारा)}$$

उत्तर



चित्र 2.27

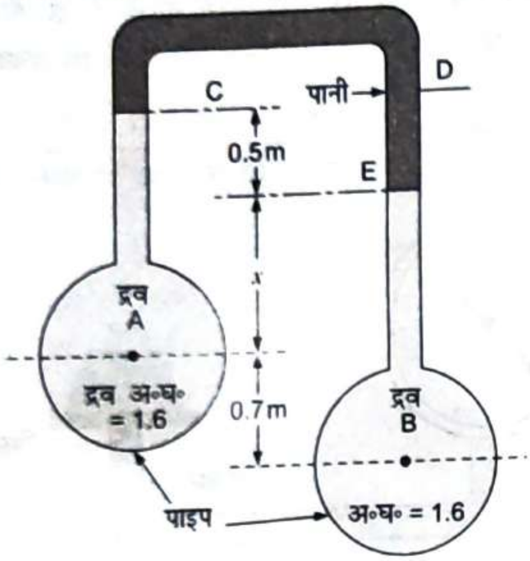
उदाहरण 2.24. एक U-नली Inverted द्रव दाबमापी द्वारा दाब तीव्रता एक पाइप पर निकालें, जिसकी ऊँचाई दूसरे पाइप में 0.7 m ऊपर हो। इन पाइपों में से 1.6 आपेक्षिक घनत्व का द्रव बह रहा है। पानी को मैनोमीटर-द्रव के रूप में प्रयोग किया गया है। प्रथम पाइप में दाब 3 N/cm² सेमी है। मैनोमीटर 0.5 m पानी का दाबान्तर दर्शाता है।

हल—प्रश्नानुसार प्रबन्ध चित्र 2.28 के अनुसार बनेगा।

अत:
$$\text{दाबान्तर} = A \text{ पर दाब} - B \text{ पर दाब}$$
$$= [(x + 0.5)\,1.6 + C \text{ पर दाब}] - [(x + 0.7)\,1.6 + 0.5 \times 1 + D \text{ पर दाब}]$$
$$= 1.6x + 0.8 + C \text{ पर दाब} - 1.6x - 1.12 - 0.5 - D \text{ पर दाब}$$

परन्तु $\qquad C$ पर दाब $= D$ पर दाब

$\therefore$ $\qquad$ दाबान्तर $= 0.8 - 1.62 = -0.82$ m (पानी)



चित्र 2.28

(–ve) चिन्ह का अर्थ है कि B पाइप में A पाइप से दाब अधिक है। अर्थात् दूसरे पाइप में दाब अधिक है।

दाबान्तर $= -0.82$ m (पानी) $= -0.82 \times 1000 \times 9.81$ N/m^2 हुआ

$$= \frac{8044.2}{10^4} \text{ N/cm}^2 = -0.8 \text{ N/cm}^2$$

अतः $\qquad$ दूसरे पाइप B में दाब = प्रथम पाइप (A) में दाब $+ 0.8$ N/cm^2

$= 3 + 0.8 =$ **3.8 N/cm²** $\qquad$ उत्तर

उदाहरण 2.25. दो टंकियों A और B के तली के काट पर विभेदी पारा दाब गेज लगा है और उनमें क्रमशः तेल जिसकी आपे॰ घनत्व 0.8 है और ग्लिसरीन जिसकी आपे॰ घनत्व 1.25 है, भरा हुआ है। टंकी A की ओर की गेज की भुजा में पारे का तल 3.50 m ऊँचाई पर है तथा टंकी B की ओर भुजा में तल 3.00 m ऊँचाई पर है। अगर टंकी B में ग्लिसरीन का ऊपरी तल 20 m ऊँचाई पर है तो ज्ञात कीजिये कि टंकी A में तेल का ऊपरी तल किस ऊँचाई पर है।

हल—चित्र 2.29 प्रश्नानुसार बनाकर इस पर विचार करें कि M तथा N पर वायुमण्डलीय दाब कार्यरत है और A में तल की ऊँचाई h है और टंकी B से शुरू करने पर,

D पर दाब $= (20 - 3) \times 1.25$

C पर दाब $= D$ पर दाब $- 0.5 \times 1.36 = (20 - 3) \times 1.25 - 0.5 \times 13.6$

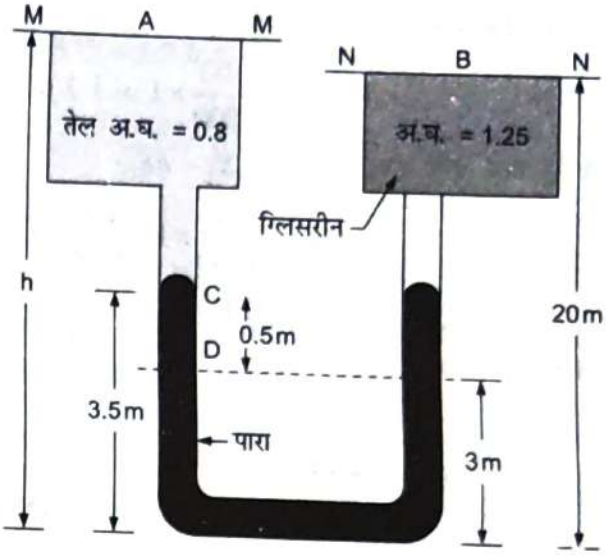
M पर दाब $= C$ पर दाब $- (h - 3.5) \times 0.8$

$= (20 - 3) \times 1.25 - 0.5 \times 13.6 - (h - 3.5) \times 0.8$

$= 17 \times 1.25 - 6.8 - 0.8h + 2.8 = 0$

$\because$ $\qquad M$ पर दाब = वायुमण्डलीय दाब $= 0$ (शून्य) (गेज दाब के लिये)

$\therefore$ $\qquad h = \dfrac{17 \times 1.25 - 6.8 + 2.8}{0.8} =$ **21.55 m** $\qquad$ उत्तर

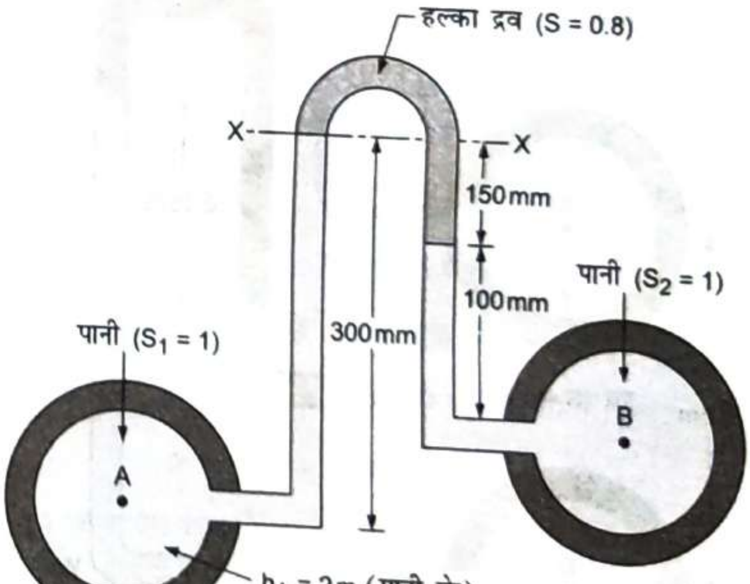


चित्र 2.29

उदाहरण 2.26. चित्र 2.30 में एक U-नली Inverted differential manometer, जिसमें 0.8 आपेक्षिक गुरुत्व वाला तेल भरा है, दो अलग-अलग पाइप को जोड़ता है जिसमें पानी अधिक दाब पर बह रहा है। पाइप *B* में दाब ज्ञात कीजिये, पाइप-*A* में दाब 2 m (पानी के) है।

हल— बायीं भुजा में पानी की ऊँचाई, $h_1 = 300$ mm

दायीं भुजा में पानी की ऊँचाई, $h_2 = 100$ mm



चित्र 2.30

दायीं भुजा में हल्के द्रव ($S = 0.8$) की ऊँचाई, $h = 150$ mm

पाइप A में दाब, $h_A = 2$ m (पानी के)

माना

$S_1, S_2 = 1$ (पानी का विशिष्ट गुरुत्व)

बायीं भुजा में आधार रेखा X-X से नीचे दाब शीर्ष $= h_A - h_1S_1$

$$= 2.0 - \frac{300}{1000} \times 1 = 1.7 \text{ m}$$

दायीं भुजा में आधार रेखा X-X से नीचे दाब शीर्ष $= h_B - h_2S_2 - hS$

$$= h_B - \frac{100}{1000} \times 1 - \frac{150}{1000} \times 0.8$$

$$= h_B - 0.1 - 0.12 = h_B - 0.22$$

(X-X) के नीचे दोनों तरफ दाब बराबर रखने पर,

$$1.7 = h_B - 0.22$$

या $h_B = \mathbf{1.92\ m}$ उत्तर

पुन: $p_B = wh_B = 9.81 \times 1.92 = 18.8 \text{ kN/m}^2$

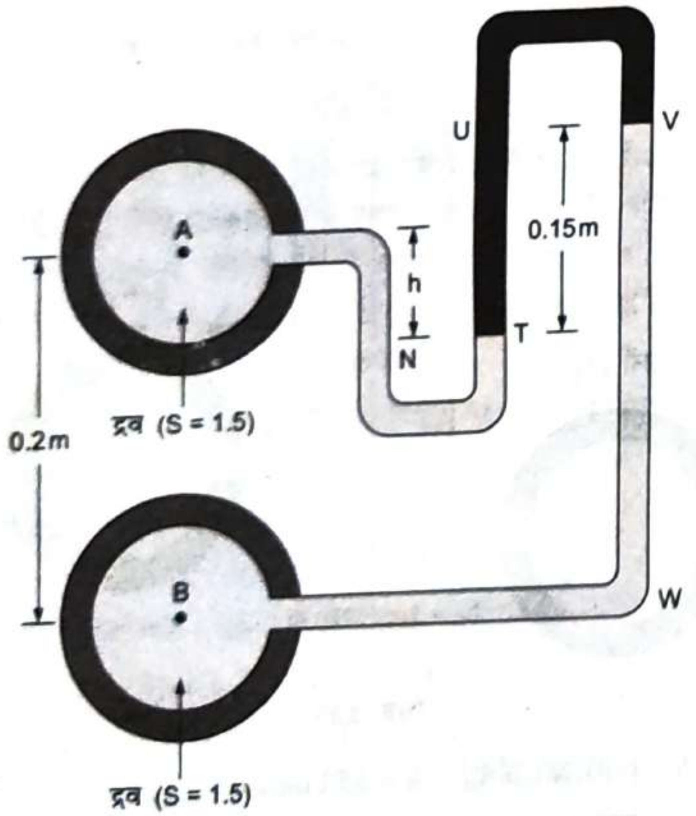
$= \mathbf{18.8\ kPa}$ उत्तर

उदाहरण 2.27. चित्र 2.31 में दिखाये गये द्रव दाब मापी के बिन्दु A तथा B के दाबान्तर ज्ञात कीजिये।

हल—$(p_A - p_B)$: दोनों तरफ दाब बराबर रखने पर,

A पर दाब + N पर दाब − (U अथवा V पर दाब) + (W पर दाब) = B पर दाब

$$\frac{p_A}{w} + 1.5 \times h - 0.15 \times 0.8 + (0.15 + 0.2 - h) \times 1.5 = \frac{p_B}{w}$$



चित्र 2.31

$$\frac{p_A}{w} + 1.5h - 0.12 + 0.525 - 1.5\,h = \frac{p_B}{w}$$

या $$\frac{p_A - p_B}{w} = -\,0.405 \text{ m}$$

(–) चिन्ह यह दर्शाता है कि $p_B > p_A$,

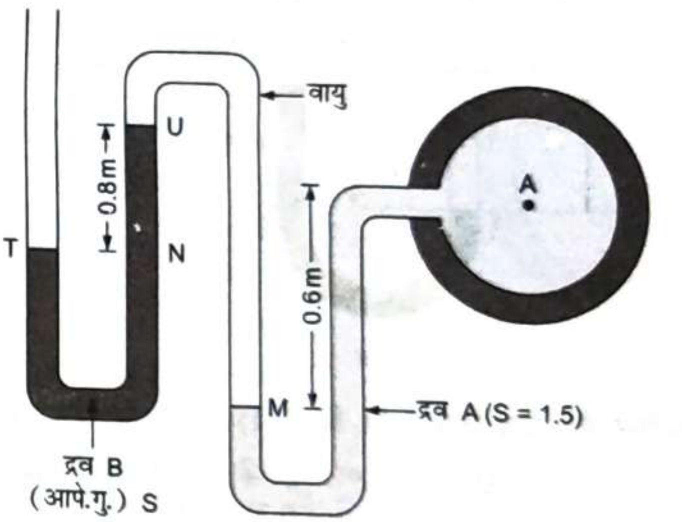
अतः $$p_B - p_A = 0.405 \times 9.81 = \mathbf{3.97\ kN/m^2}$$ उत्तर

उदाहरण 2.28. चित्र 2.32 में दिखाये गये दाब-गेज के द्रव *B* का आपेक्षिक गुरुत्व ज्ञात कीजिये यदि द्रव *A* का बिन्दु *x* पर दाब – 18 kN/m² है।

हल—द्रव *B* का वि० गु० (*S*)—चित्रानुसार *L* पर दाब = *M* पर दाब

$$-18 + (1.5 \times 9.81 \times 0.6) = p_M$$

या $$p_M = -9.17 \text{ kN/m}^2$$



चित्र 2.32

बिन्दु *M* तथा *U* के मध्य वायु स्तम्भ है जिसे नगण्य माना जा सकता है, अतः

$$p_M = p_U = -9.17 \text{ kN/m}^2$$

अब *N* पर दाब = *T* पर दाब

परन्तु बिन्दु *T* पर वायु मण्डलीय दाब है

$$p_T = 0 = p_N$$

तथा $$p_N = p_U + S \times 9.81 \times 0.8 = 0$$

या $$0 = -9.17 + 7.848\,S$$

∴ $$S = \mathbf{1.17}$$ उत्तर

उदाहरण 2.29. एक U-ट्यूब पारा विभेदी मैनोमीटर (U-tube mercury differential manometer) एक वेन्चुरीमीटर के प्रवेश तथा कंठ के मध्य दाबान्तर को नापने के लिए लगाया गया है। दाबान्तर ज्ञात कीजिये यदि (i) वेन्चुरीमीटर क्षैतिज है तथा मैनोमीटर का पाठ्यांक 25 cm है (ii) वेन्चुरीमीटर उर्ध्वाधर है तथा प्रवेश, कंठ से 20 cm ऊपर है तथा मैनोमीटर का पाठ्यांक 10 cm है।

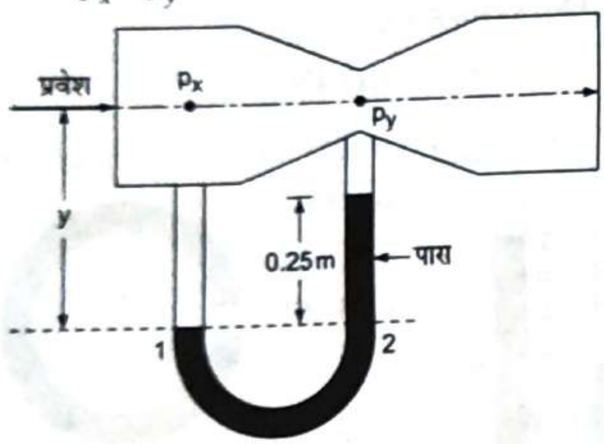
हल—(i) जब वेन्चूरीमीटर क्षैतिज है—देखें चित्र 2.23 बिन्दु (1) व (2) पर दाब समान रखने पर,

$$p_x + wy = p_y + w(y - 0.25) + 0.25\, w_m$$

या

$$\frac{p_x - p_y}{w} = 0.25\left(\frac{w_m}{w} - 1\right) = 0.25(13.6 - 1) = 3.15 \text{ m of water}$$

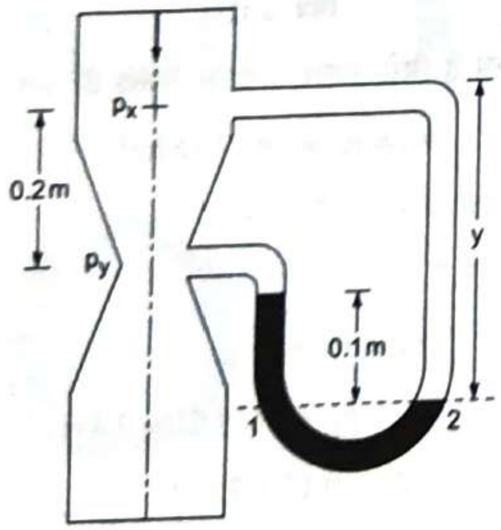
दाबान्तर $(p_x - p_y) = 3.15 \times 9.81 = \mathbf{30.9\ kN/m^2}$ उत्तर



चित्र 2.33

(ii) जब वेन्चुरीमीटर उर्ध्वाधर है—देखें चित्र 2.34 बिन्दु (1) व (2) पर दाब समान रखने पर,

$$p_x + wy = p_y + w(y - 0.2 - 0.1) + 0.1\, w_m$$
$$= p_y + wy - 0.3w + 0.1\, w_m$$



चित्र 2.34

$\therefore$
$$p_z - p_y = 0.1\ w_m - 0.3\ w$$

$\therefore$
$$\frac{p_x - p_y}{w} = 0.1\frac{w_m}{w} - 0.3 = 0.1 \times 13.6 - 0.3$$

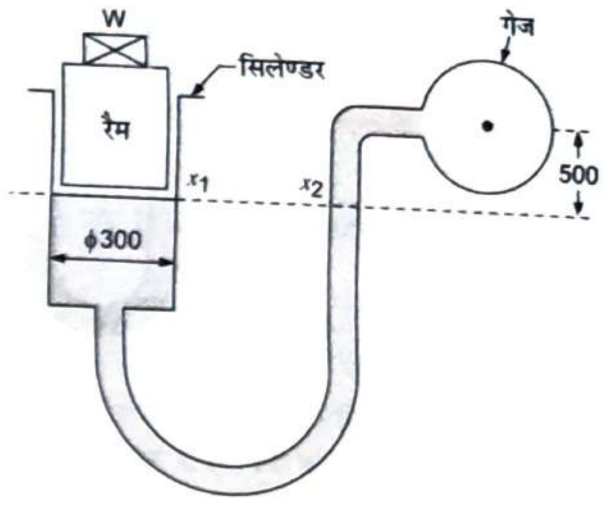
$\therefore$
$$\frac{p_x - p_y}{w} = 1.06 \text{ m of water}$$

या

दाबान्तर $(p_x - p_y) = \mathbf{10.39\ kN/m^2}$ उत्तर

उदाहरण 2.30. चित्र 2.35 के अनुसार एक सिलेण्डर को एक धातु की नली द्वारा एक गेज से जोड़ा गया है। सिलेण्डर का व्यास 300 mm है। सिलेण्डर तथा नली में 0.75 वि० गुरुत्व वाला द्रव भरा है। यदि गेज का पाठ्यांक 20 kN/m² हो, तो रैम पर कितना भार रखा होना चाहिए। रैम का भार 300 N है।

हल—माना रैम पर रखा गया भार W नयूटन है।



चित्र 2.35

काट x_1 पर दाब तीव्रता $= \dfrac{(W+300)}{A \times 1000}$ kN/m²

$$= \frac{(W+300)}{\frac{\pi}{4} \times (0.3)^2 \times 1000}$$

$$= \frac{W+3000}{70.69}$$

काट x_2 पर दाब तीव्रता $= 20 - \dfrac{9.81 \times 1000 \times 0.75 \times 0.5}{1000}$

$$= 20 - 3.68 - 16.32 \text{ kN/m}^2$$

क्योंकि x_1 तथा x_2 पर दाब समान है।

$$\frac{W+300}{79.69} = 16.32$$

$\therefore$
$$W + 300 = 16.32 \times 70.69 = 1153.66$$

$\therefore$
$$W = \mathbf{853.66\ Newton}$$ उत्तर

उदाहरण 2.31. चित्र 2.36 के अनुसार एक पात्र में निर्वात गेज, पीजोमीटर तथा मैनोमीटर लगा है। जब गेज का पाठ्यांक (A पर) –0.3 kg/cm² हो, तो कॉलम E तथा F में द्रव की ऊँचाई ज्ञात करो तथा U-ट्यूब में पारे का विक्षेप ज्ञात करो।

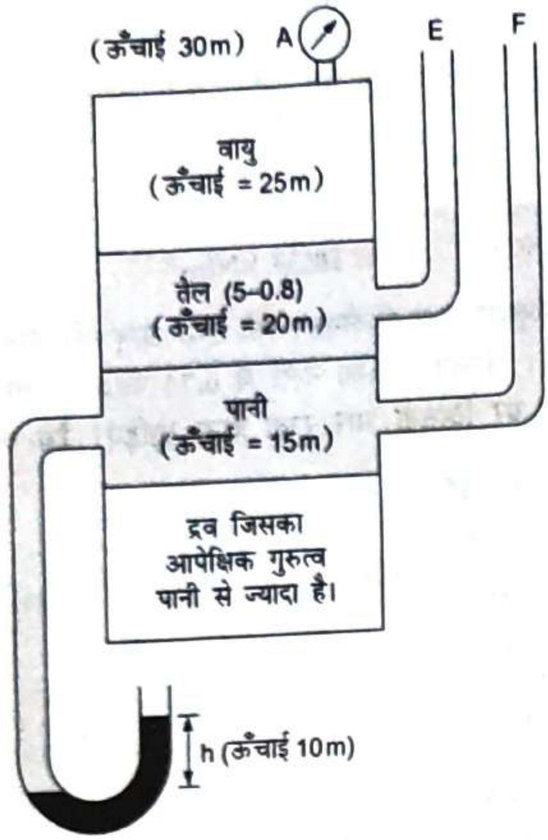
हल—देखें चित्र 2.36। निर्वात गेज में दाब $= -0.3$ kg/cm²

$$= \frac{-0.3 \times 100 \times 100}{1000} = -3 \text{ m (पानी के)}$$

$$= 3 \text{ m (पानी के) (निर्वात)}$$

कॉलम E में दाब, 20 m ऊँचाई पर तेल की तली में दाब के बराबर होगा। 20 m ऊँचाई पर दाब

$$= -3 + (25 - 20) \times 0.8$$



चित्र 2.36

$$= 1 \text{ m (पानी के)} = \frac{1}{0.8} = 1.25 \text{ (तेल के)}$$

अत: कॉलम E में तेल की ऊँचाई = 20 + 1.25 = **21.25 m**

$$15 \text{ m ऊँचाई पर दाब} = -3 + (25 - 20) \times 0.8 + (20 - 15) \times 1$$

$$= 6 \text{ m (पानी के)}$$

अत: कॉलम F में पानी के तल की ऊँचाई = 15 + 6 = **21 m**

माना U-ट्यूब में पारे के तलों का दिक्षेप h है। (देखें चित्र 2.36)। हम जानते हैं कि,

बायीं भुजा में दाब = दायीं भुजा में दाब

$$15 \text{ m + पानी का दाब} = h \times 13.6$$

$$\therefore \quad 6 + (15 - 10) \times 1 = h \times 13.6$$

$$\therefore \quad h = \frac{11}{13.6} = 0.809 \text{ m} = \mathbf{80.9 \text{ cm}}$$

प्रश्नावली

1. कुल दाब या सम्पूर्ण दाब को परिभाषित कीजिए तथा समझाइये। **(UP 2018)**
2. दाब तीव्रता को परिभाषित कीजिए तथा सिद्ध कीजिए द्रव में किसी बिन्दु पर दाब तीव्रता, उस बिन्दु पर द्रव की ऊँचाई के समानुपाती होती है।
3. द्रव स्थैतिक दाब से आप क्या समझते हैं?
4. दाब शीर्ष से क्या अभिप्राय है? दाब तीव्रता और दाब शीर्ष में सम्बन्ध व्युत्पन्न कीजिये।
5. एक द्रव के दाब-शीर्ष को दूसरे द्रव के दाब-शीर्ष में किस प्रकार बदला जा सकता है?
6. पास्कल का नियम समझाइये। **(UP 2005, 07, 08, 09, 10, 11, 17)**
7. पास्कल नियम के इन्जीनियरी अनुप्रयोग (applications) बताइये।
8. (a) गेज दाब, निर्वात दाब तथा परम दाब की परिभाषा लिखिये व इनमें सम्बन्ध बताइये और बताइये कि निर्वात दाब पैमाने का शून्य क्या दर्शाता है?

   (b) निम्न को समझाइये— **(UP 2019(S))**

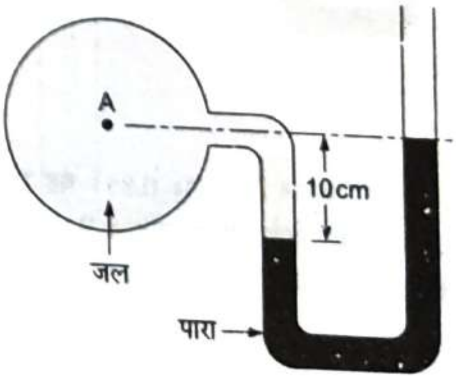
   (i) दाब तीव्रता (Pressure intensity) (ii) दाब शीर्ष (Pressure head)

   (iii) गेज दाब (Gauge pressure) (iv) निर्वात दाब (Vacuum pressure)

   (v) निरपेक्ष दाब (Absolute pressure)
9. दाब मापन के मौलिक सिद्धान्त लिखिये। प्रमुख दाब मापक युक्तियों का वर्गीकरण कीजिये।
10. दाबमापी में पारा प्रयोग करने के क्या लाभ हैं?
11. मैनोमीटर किसे कहते है? किसी एक द्रव दाबमापी का चित्र बनाकर उससे दाब मापने की विधि लिखिये।
12. साधारण दाबमापी और भेदसूचक दाबमापी में क्या अन्तर है? विभिन्न भेद-सूचक दाबमापियों का वर्णन करिये।
13. स्थिर तथा गतिशील दबाव हम कैसे मापेंगे। उपकरणों के नाम दीजिए तथा उनके अनुप्रयोगों का वर्णन कीजिए। **(UP 2008)**
14. निम्नलिखित में विभेद कीजिए— **(UP 2012)**

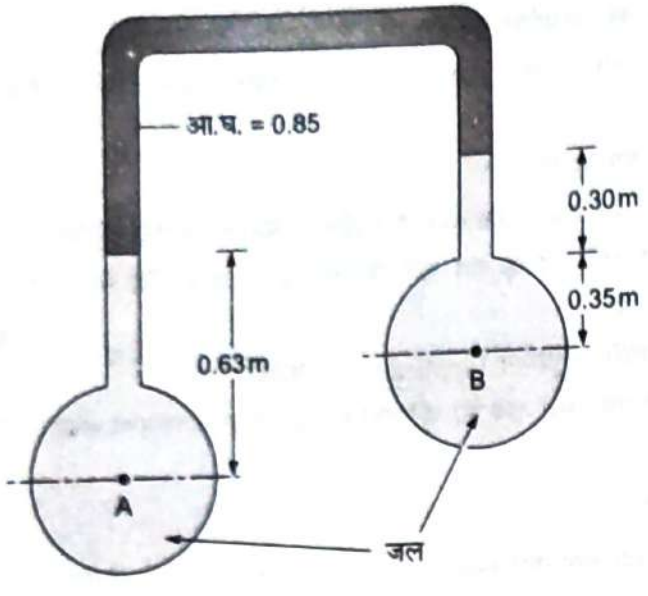
    (i) परम दाब तथा गेज दाब। (ii) सरल तथा विभेदी मैनोमीटर।

    (iii) पीजोमीटर तथा दाब गेज।
15. विभिन्न प्रकार के यांत्रिक गेजों का संक्षिप्त वर्णन कीजिए।
16. एक बोर्डन नली दाब गेज (Bourdon-tube pressure gauge) का सचित्र वर्णन कीजिए।
17. एक बैरोमीटर का पाठ्यांक 75 cm पारा है। इसे N/cm^2 में बदलो और पानी की समतुल्य ऊँचाई में भी व्यक्त करो। (**उत्तर**—10 N/cm^2; 10.2 m)
18. सलंग्न चित्र 2.37 में बने प्रबन्ध में A पर दाब ज्ञात कीजिये। (**उत्तर**—1.236 N/cm^2)



चित्र 2.37

19. सलंग्न चित्र 2.38 में बने प्रबन्ध में A तथा B मे दाब-अन्तर ज्ञात कीजिये। (उत्तर—8.226 N/cm^2, 17 N/cm^2)

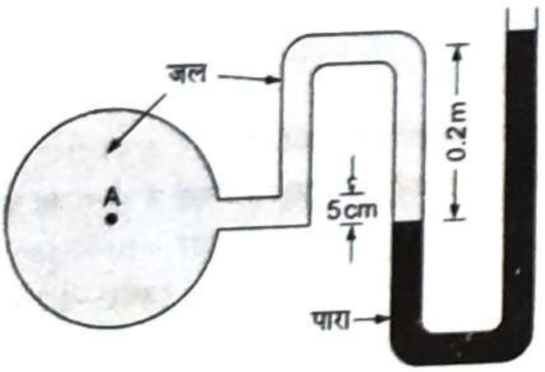


चित्र 2.38

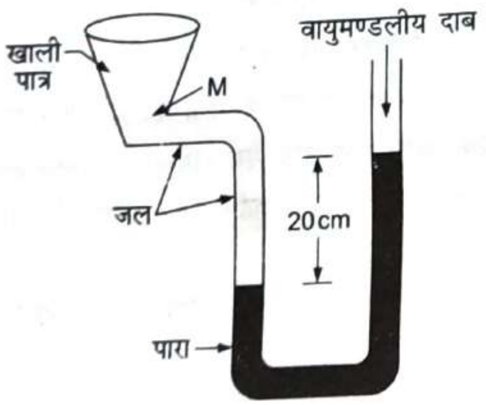
20. एक पाइप में पानी का दाब ज्ञात करने के लिये साधारण दाबमापी का प्रयोग किया गया। यदि दाबमापी की दोनों भुजाओं में पारे की ऊँचाई का अन्तर 0.3 m हो तो पाइप केन्द्र पर गेज दाब ज्ञात करो। यदि वायुमण्डलीय दाब 1 बार हो तो परम दाब ज्ञात करो। (उत्तर—4.5 N/cm^2 तथा 14.3 N/cm^2)

21. चित्र 2.39 में दिखाये गये प्रबन्ध में बिन्दु A पर दाब ज्ञात करो। (उत्तर—-2.63 N/cm^2)

22. चिरा 2.40 में एक 2 m व्यास तथा 3 m ऊँचा शंक्वाकार पात्र बिन्दु M तक खाली है और प्रबन्ध चित्र में पाठ्यांक दिए गए है? जब पात्र जल से भर दिया जायेगा तो दाबमापी का पाठ्यांक क्या होगा? (उत्तर—4.21 cm)



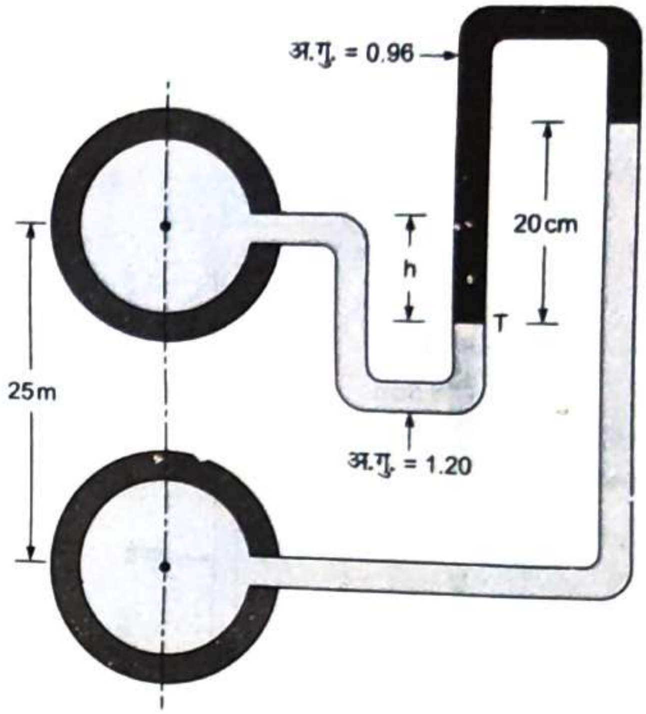
चित्र 2.39



चित्र 2.40

23. एक ऊर्ध्वाधर पाइप में नीचे से ऊपर की ओर पेट्रोल (अ० गु० 0.85) बह रहा है। एक पारा U-नली भेददर्शी दाबमापी के दोनों सिरे पाइप की 40 cm दूरी पर A व B पर जोड़े गये हैं। यदि A व B पर दाबान्तर 2.5114 N/cm^2 हो तो बताइये कि मैनोमीटर द्वारा क्या पाठ्यांक (Reading) प्राप्त होगा? (उत्तर—17.5 cm)

24. चित्र 2.41 में दिखाये गये प्रबन्ध में बिन्दुओं A व B के बीच दाबान्तर ज्ञात करिये। (उत्तर—0.28 N/cm^2)



चित्र 2.41

25. 60 cm पारे के दाब शीर्ष को निम्न के अनुसार बदलिये—
(a) मीटर तेल (आ० घ० = 0.8) में, (b) मीटर पानी में, (c) मीटर ग्लिसरीन (आ० घ० = 1.3) में।

(उत्तर—10.2 m तेल, 8.16 m पानी, 6.27 m ग्लिसरीन)

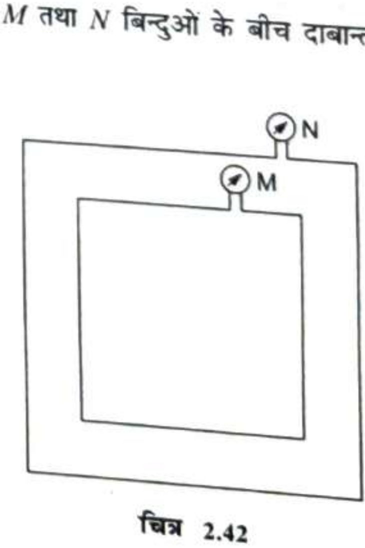
26. 0.8 आपेक्षिक गुरुत्व (specific gravity) वाले तेल की गहराई ज्ञात कीजिए, जो कि 24.525 N/cm^2 की दाब तीव्रता उत्पन्न करता है। पानी का मीटर ऊँचाई में दाब-शीर्ष (pressure head) भी ज्ञात करिये।

(उत्तर—31.25 m (तेल), 25 m (पानी))

27. चित्र 2.42 में दिखाये गये दाबमापी में M तथा N बिन्दुओं के बीच दाबान्तर निकालिये।

(UP 2007)

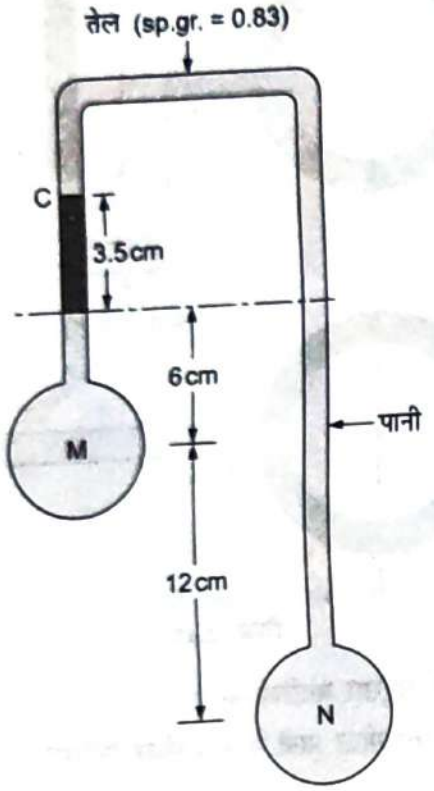
(उत्तर—1.1405 N/m^2)



चित्र 2.42

28. चित्र 2.43 में दिखाये गये दो दाबमापी टैंकों को इस प्रकार बनाया गया है कि वे एक दूसरे के अन्दर है। अन्दर वाले टैंक से जुड़ा बोर्डन दाबमापी '*M*' 20 kPa दाब बताता है और बाहर वाले टैंक से जुड़ा बोर्डन दाबमापी '*N*' 35 kPa दाब बताता है। एनीरायड़ बैरोमीटर 750 mm पारा पढ़ता है। '*M*' और '*N*' पर अंकित परम दाब (mm पारे में) निकालिये। **(UP 2004)**

(**उत्तर**—1162.24 mm of Hg, 1012.34 mm of Hg)



चित्र 2.43

3
Chapter

तरलों का प्रवाह
(Flow of Fluids)

§ 3.1. परिचय (Introduction) :

पूर्व अध्यायों में हमने द्रवों की स्थिर या विराम अवस्था में उन पर दाब-बलों के प्रभाव का द्रव-स्थैतिकी (Hydrostatics) के अन्तर्गत अध्ययन किया। इस अध्याय में हम द्रवों की गतिमान अवस्था में उनके व्यवहार का अध्ययन करेंगे।

गतिमान द्रवों के व्यवहार का अध्ययन हम **द्रव-गतिकी** (Hydrodynamics) के अन्तर्गत करते हैं।

§ 3.2. द्रव-गतिकी (Hydro-dynamics) :

प्रथम अध्याय में हमने पढ़ा है कि द्रव-गतिकी, द्रव-यांत्रिकी (Hydromechanics) वह शाखा है जिसके अन्तर्गत हम द्रव की गतिमान अवस्था में तरल यांत्रिकी के सिद्धान्त के आधार पर इन्जीनियरिंग कार्यों में उपयोग हेतु द्रवों के व्यवहार का अध्ययन करते हैं। इस अध्ययन में द्रवों की किसी मात्रा का बहाव (flow) सम्मिलित है, जो कि एक स्थान से दूसरे स्थान तक, गुरुत्व या अन्य बाह्य बलों के कारण होता है।

द्रव-गतिकी के अध्ययन की उपयोगिता—पानी का इस्तेमाल हम विभिन्न परियोजनाओं में करते हैं जैसे विद्युत शक्ति उपजाना, सिंचाई करना तथा अन्य निर्माण तथा व्यावहारिक कार्य। इनके अन्तर्गत एक स्थान से दूसरे स्थान तक पानी का स्थानान्तरण करना पड़ता है जो सामान्यतया पाइपों, नलियों, चैनलों आदि के माध्यम से किया जाता है।

§ 3.3. गतिमान द्रवों का व्यवहार (Behaviour of Fluid in Motion) :

गतिमान द्रवों में प्रत्येक कण (particle) की गति (velocity), मान (magnitude) तथा दिशा (direction) में भिन्न होती है। यह सम्भव नहीं है कि प्रत्येक कण की गति पर विचार किया जाये। इसीलिए गतिमान अवस्था में द्रवों का अध्ययन कुछ जटिल होता है।

सामान्यतया द्रवों के प्रवाह के लिये उत्तरदायी घटक (components), **द्रव की श्यानता** (viscosity), **दाब अन्तर** (pressure difference) **तथा प्रवाह मार्ग का अनुप्रस्थ काट** (cross-section of flow passage) होते हैं।

जब कोई द्रव किसी नाली या पाइप आदि में बहता है तो उसके प्रवाह पर निम्नलिखित दो प्रकार के घर्षण द्रव की गति कम करने की कोशिश करते हैं—

1. तरल या द्रव की **श्यानता** (viscosity) के कारण उसके कणों में आपसी घर्षण।
2. तरल व इसकी सम्पर्क सतह (नाली या पाइप की दीवार आदि) के मध्य घर्षण।

सामान्यतः किसी द्रव का प्रवाह द्रव की श्यानता, प्रवाह-मार्ग की अनुप्रस्थ काट तथा दाबान्तर पर निर्भर करता है। अतः इस कारण द्रव गति के नियमों को जानना अत्यन्त आवश्यक है ताकि द्रव प्रवाह में सम्बन्धित समस्याओं का समाधान करने में कठिनाई न रहे।

§ 3.4. द्रव गतिकी (Hydrodynamics) के सिद्धान्त :

ये निम्नलिखित हैं—

1. द्रव के प्रवाह में, **'मात्रा की अविनाशिता का सिद्धान्त'** (Principle of Conservation of Mass), इसके आधार पर सांतत्य समीकरण (Continuity Equation) बनायी गई।
2. **ऊर्जा की अविनाशिता का सिद्धान्त** (Principle of Conservation of Energy) मुख्यत: इसके आधार पर बरनौली प्रमेय बना।
3. **संवेग-अविनाशिता का सिद्धान्त** (Principle of Conserveation of Momentum); इसके आधार पर दाब संवेग सम्बन्धी नियम बनाये गये।

इन उपरोक्त सिद्धान्तों का उपयोग करके ही द्रव की गति के प्रश्नों को हल किया जाता है। द्रव के प्रवाह को समझने के लिये कुछ तकनीकी पदों (terms) की परिभाषा समझना जरूरी है।

§ 3.5. प्रवाह रेखायें (Lines of Flow) :

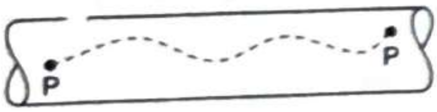
द्रव के प्रवाह से सम्बन्धित निम्नलिखित मुख्य पद (terms) हैं जो वास्तव में मुख्य प्रवाह रेखायें हैं—

1. पथ रेखा (Path line)—किसी द्रव धारा में द्रव का एक कण किसी समय में बहते हुए जिस पथ पर चलता है, वह किसी कण की पथ रेखा कहलाता है।

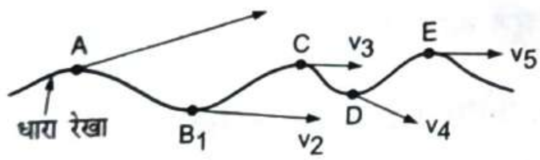
"A path line is the path followed by a fluid particle in motion."

अत: किसी कण की पथरेखा किसी निश्चित समय में उसी कण की गति की दिशा बतलाती है। (देखें चित्र 3.1)

2. धारा रेखा (Stream line)—किसी द्रव धारा में, धारा रेखा एक ऐसी काल्पनिक रेखा है जिसमें प्रत्येक बिन्दु पर खींची गई स्पर्श रेखा (Tangent) उस क्षण में उस बिन्दु पर द्रव कण की गति की दिशा बतलाती है देखिये चित्र 3.2 में।



चित्र 3.1—पथ रेखा



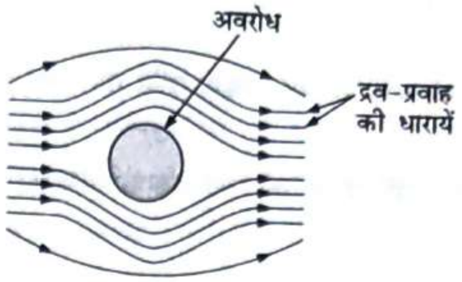
चित्र 3.2—धारा रेखा

"A stream line may be defined as an imaginary line within the flow so that the tangent at any point on it, indicates the velocity at that point."

यह विचारणीय होगा, कि द्रव कणों की गति हमेशा धारा रेखा पर स्पर्शी की दिशा में होती है। इसलिये स्पर्शी के लम्बवत् रूप कणों की गति का घटक (componen') शून्य होगा और इस प्रकार धारा रेखा के लम्बरूप द्रव प्रवाह नहीं हो सकेगा। अत: कभी भी दो धारायें एक-दूसरे को नहीं काटतीं।

अनेक धारा रेखायें मिलकर द्रव के प्रवाह का प्रतिरूप (pattern) प्रदर्शित करती हैं। ऐसे दो प्रतिरूप चित्र 3.3(a) तथा (b) में दिखाये गये हैं।

द्रव के प्रवाह में उसकी धारा रेखायें एक-दूसरे पर इस प्रकार आश्रित (interdependent) होती हैं कि जब एक धारा अपनी दिशा बदलती है तो उससे मिली हुई धारायें भी उसी के अनुरूप अपनी दिशा बदल लेती हैं। धाराओं की दिशा में यह परिवर्तन किसी अवरोध के कारण अथवा प्रवाह मार्ग के अनुप्रस्थ काट में बदलाव के कारण हो सकता है जैसा कि चित्र 3.3 से स्पष्ट होता है।



(a)

(b)

चित्र 3.3

तालिका 3.1 में पथ रेखा तथा धारा-रेखा के अन्तर को स्पष्ट किया गया है—

तालिका 3.1—पथ रेखा तथा धारा रेखा में अन्तर

पथ रेखा (Path-line)	धारा रेखा (Stream line)
1. द्रव के एक कण की वास्तविक गति को प्रदर्शित करती है।	1. अनेक कणों की गति को प्रदर्शित करने की काल्पनिक रेखा है।
2. निश्चित समयमान में किसी एक कण के प्रवाह-मार्ग को प्रदर्शित करती है।	2. यह एक ही समय में कई कणों के प्रवाह को प्रदर्शित करती है।
3. किन्हीं दो कणों की पथ रेखायें एक-दूसरे को काट सकती हैं।	3. दो धारा रेखायें कभी एक दूसरे को नहीं काटतीं।
4. रेखा के किसी भी बिन्दु पर खींचा गया स्पर्शी उसी द्रव-कण की गति की दिशा को प्रदर्शित करता है।	4. रेखा का प्रत्येक बिन्दु द्रव कण को प्रदर्शित करता है और अमुक बिन्दु पर खींचा गया स्पर्शी उसी कण की गति की दिशा बताता है।

3. तन्तु रेखी नली (Streak Line or Filament Line)—द्रव प्रवाह में किसी समय में एक ही बिन्दु से गुजरने वाले सभी कणों की स्थिति बतलाने वाली रेखा तन्तु रेखा होती है।

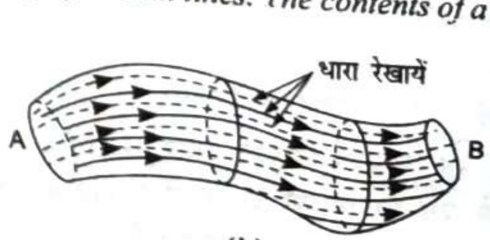
"The streak line is a curve which gives an instantaneous picture of the location of the fluid particles, which have passed through a given point."

अगर किसी द्रव प्रवाह में किसी बिन्दु पर कोई रंग डाल दिया जाये तो बिन्दु से गुजरने वाले उस समय के सभी कण उस रंग से रंगकर स्तरीय प्रवाह (Laminar Flow) की दशा में, एक रंगीन रेखीय पट्टी या स्तर (layer) बनाते हैं जो तन्तु रेखा कहलाती है। (देखें चित्र 3.4 (a))

4. धारा रेखीय नली (Stream Line Tube)—(देखिये चित्र 3.4 (b)) **किसी द्रव प्रवाह में कई धारा रेखाओं से घिरे द्रव के नलिकाकार (Tubular) काल्पनिक आयतन को धारा रेखीय नली कहते हैं।**

"The stream line tube is a fluid mass bounded by a group of stream lines. The contents of a stream tube are known as current filament."

(a)



(b)

चित्र 3.4

धारा रेखीय नली की विशेषतायें निम्नलिखित हैं—

(i) धारा रेखीय नली की दीवार को पार करते हुए द्रव का कोई भी कण नहीं बह सकता चूंकि धारा रेखा के लम्बवत् किसी कण की गति शून्य होती है।

(ii) मात्रा अविनाशिता के सिद्धान्त के अनुसार धारा नलिका के एक सिरे में द्रव की जितनी मात्रा प्रवेश करती है, ठीक उतनी ही मात्रा दूसरे सिरे से आर-पार निकल जाती है।

§ 3.6. द्रव-प्रवाह के प्रकार (Types of Fluid-Flow) :

द्रवों के प्रवाह का मात्रक (measure) उसकी गति (velocity) होती है। परन्तु द्रवों के प्रवाह में उसके कणों की गति अलग-अलग बिन्दुओं पर भिन्न होती है। इसलिये द्रवों का प्रवाह भी अलग-अलग बिन्दुओं पर भिन्न होता है। इस प्रकार द्रव के प्रवाह की गति परिमाण (magnitude) तथा दिशा (direction) में बदलती रहती है।

क्योंकि द्रव, गति के इस बदलाव (variation) के साथ बहते हैं, इसलिये उनके बहाव कई प्रकार के हो सकते हैं। विभिन्न आधारों पर द्रव प्रवाह को अग्र प्रकार वर्गीकृत करते हैं—

1. समय के साथ किसी बिन्दु पर गुजर रहे द्रव कणों की गति के आधार पर—

(a) अपरिवर्ती (Steady), तथा (b) परिवर्ती प्रवाह (Unsteady Flow)

2. द्रव की पतली पट्टियों में बहने के आधार पर—

(a) स्तरीय (Laminar), तथा (b) विक्षुब्ध प्रवाह (Turbulent Flow)

3. द्रव प्रवाह में अनुप्रस्थ काटों पर द्रव कणों के वेग (गति एवं दिशा) के आधार पर—

(a) समान (Uniform), तथा (b) असमान प्रवाह (Non Uniform Flow)

4. प्रवाह के किसी बिन्दु पर द्रव कण कोणीय गति (Angular Velocity) के आधार पर—

(a) घूर्णी (Rotational) प्रवाह, तथा (b) अघूर्णी प्रवाह (Irrotational Flow)

5. प्रवाह में द्रव के आयतन तथा घनत्व के आधार पर—

(a) संपीड्य (Compressible) प्रवाह, तथा (b) असंपीड्य प्रवाह (Incompressible Flow)

1. अपरिवर्ती तथा परिवर्ती प्रवाह (Steady and Unsteady Flow)—किसी द्रव प्रवाह में किसी परिच्छे (अनुप्रस्थ काट) पर द्रव के वेग, घनत्व तथा दाब आदि निश्चित (constant) रहते हैं अर्थात् किसी बिन्दु गुजरने वाले सभी द्रव कणों की गति समान रहती है और समय के साथ नहीं बदलती तो ऐसे प्रवाह व अपरिवर्ती प्रवाह कहते हैं और यदि द्रव प्रवाह के किसी बिन्दु पर गुजर रहे द्रव कणों की गति समय के सा बदलती रहती है तो प्रवाह परिवर्ती प्रवाह (Unsteady Flow) कहलाता है।

"This type of flow in which the fluid characteristics like velocity, pressure, density etc. at a point not change with time is called steady flow. If these characteristics changes w.r.t. time than that type flow is called unsteady flow."

अपरिवर्ती प्रवाह में किसी कण की पथ रेखा पर ही उसकी धारा रेखा होती है जबकि परिवर्ती प्रवाह में हर समय इस रूप बदलता रहेगा। जल को निश्चित दर से किसी पाइप में पम्प करने पर प्राप्त प्रवाह अपरिवर्ती होता है।

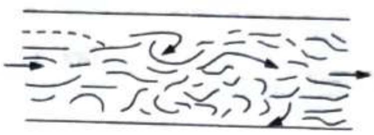
2. स्तरीय तथा विक्षुब्ध प्रवाह (Laminar and Turbulent Flow)—द्रव प्रवाह में द्रव के कण सीधे समान्तर पथ पर पट्टियों या परतों (Laminar या Layers) में बहते हैं तो प्रवाह स्तरीय (Laminar) या श्यान प्रवाह (Viscous Flow) कहलाता है।

"A laminar flow is one in which paths taken by the individual particles do not cross one another and move along well defined paths. This type of flow is also called stream-line flow or viscous flow."

इस प्रवाह को **धारा रेखीय प्रवाह** (Stream Line Flow) भी कहते हैं क्योंकि इसमें धारा के प्रत्येक बिन्दु पर गति समान रहती है और द्रव की गति बहुत कम होती है।

यदि द्रव प्रवाह के कण तिरछे-मिरछे (Haphazard) तरीके से बहते हैं तो प्रवाह अश्यान या विक्षुब्ध प्रवाह (Non-Viscous or Turbulent Flow) कहलाता है। देखिये चित्र 3.5।

"A turbulent flow is that flow in which fluid particle moves in a zig zag manner."



(a) विक्षुब्ध प्रवाह (Turbulent flow)

(b) स्तरीय प्रवाह (Laminar flow)

चित्र 3.5

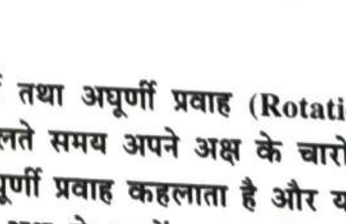
रेनॉल्ड संख्या द्वारा ज्ञात किया जाता है कि प्रवाह स्तरीय है या विक्षुब्ध। निम्न सूत्र से R_n का मान 2000 से कम है तो प्रवाह स्तरीय, यदि 2000 से 4000 के बीच है, तो प्रवाह निश्चित नहीं कहा जा सकता और यदि 4000 से अधिक होता है तो निश्चित रूप से विक्षुब्ध होता है।

3. समान तथा असमान प्रवाह (Uniform and Non-Uniform Flow)—इस प्रवाह में किसी एक समय में किसी लम्बाई में प्रत्येक्र अनुप्रस्थ काट पर द्रव का वेग समान रहता है तो ऐसा प्रवाह समान-प्रवाह कहलाता है और बहने वाले द्रव की गति एवं दिशा अनुप्रस्थ काट अलग-अलग होती है या विभिन्न स्थानों पर बदलती रहती है अर्थात् प्रवाह की दर असमान होती है तो प्रवाह असमान प्रवाह कहलाता है।

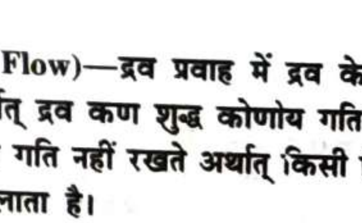
"The type of flow, in which the velocity at any given time does not change w.r.t. section is called uniform flow.

If velocity changes, then it is called non-uniform flow."

एक सीधे बराबर अनुप्रस्थ काट वाले पाइप से या खुली हुई नाली में जल की स्थिर मात्रा प्रवाहित करने पर प्रवाह समान होगा देखिये चित्र 3.6।



(a) समान (Uniform)



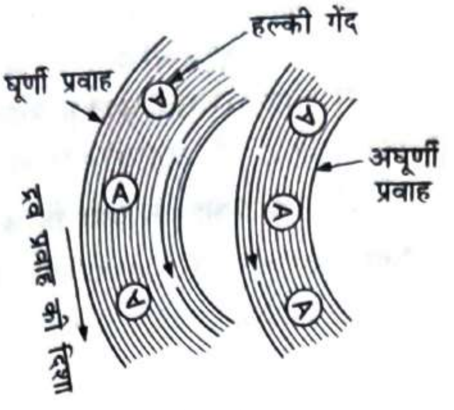
(b) असमान (Non-uniform)

चित्र 3.6

4. घूर्णी तथा अघूर्णी प्रवाह (Rotational and Irrotational Flow)—द्रव प्रवाह में द्रव के कण किसी दिशा में बदलते समय अपने अक्ष के चारों तरफ घूमते रहते हैं अर्थात् द्रव कण शुद्ध कोणोय गति रखता है तो ऐसा प्रवाह घूर्णी प्रवाह कहलाता है और यदि द्रव कण शुद्ध कोणीय गति नहीं रखते अर्थात् किसी दिशा में बहते समय अपने अक्ष के चारों तरफ नहीं घूमते तो प्रवाह अघूर्णी कहलाता है।

"A flow is said to be rotational if the fluid particles, while moving in the direction of flow, rotates about their mass centre and a flow is said to be irrotational if the fluid particles do not rotate about their mass centres."

केवल वक्र पथ पर बह रहे द्रव के प्रवाह को **वक्रीय** (Curvilinear) **प्रवाह** कहते हैं। यदि द्रव में डूबे किसी पहिये को द्रव के बाहर से घुमाया जाये तो भंवर युक्त प्रवाह होता है और द्रव में डूबा पहिया बगैर किसी बाहर के बल के द्रव में घूमता है तो इसके साथ बहने वाले द्रव की गति अघूर्णी होती है। इसी प्रकार यदि एक गेंद के व्यास पर तीर का निशान लगाकर बहते द्रव के ऐसे प्रवाह में छोड़ा जाये जैसा चित्र 3.7 में दिखाया गया है तो A जैसे तीर की स्थिति घूर्णी प्रवाह में एक बिन्दु से दूसरे बिन्दु तक बहने में बदलती जाती है।



चित्र 3.7

5. सम्पीड्य तथा असम्पीड्य प्रवाह (Compressible and Incompressible Flow)—यदि द्रव प्रवाह में द्रव में आयतन और उसके घनत्व में परिवर्तन हो जाता है तो प्रवाह सम्पीड्य कहलाता है और यदि परिवर्तन नहीं होता या बहुत ही कम होता है तो प्रवाह असम्पीड्य कहलाता है।

"If the density and the volume of the fluid, changes point to point in their path flow, it is called compressible. If the remains constant then it is called incompressible flow."

गैस टरबाईनों तथा सम्पीडकों में गैसों में प्रवाह सम्पीड्य होता है। सामान्यत: द्रवों का प्रवाह असम्पीड्य माना जाता है।

चूँकि सभी प्रवाह एक दूसरे पर निर्भर नहीं हैं इस कारण किसी द्रव का प्रवाह कई प्रकार का हो सकता है जैसे किसी द्रव का प्रवाह समान, अपरिवर्ती तथा स्तरीय प्रवाह हो सकता है।

§ 3.7. प्रवाह की दर या विसर्जन (Rate of Flow or Discharge) :

किसी छेद, पाइप या नली की काट में से प्रति इकाई समय में गुजरने वाले द्रव के आयतन को प्रवाह की दर या विर्जसन कहते हैं।

"The quantity of a liquid, flowing per second through a section of a pipe or a channel, is known as the rate of discharge or simply discharge."

इसे Q द्वारा प्रदर्शित करते हैं।

अत:
$$\text{विसर्जन } (Q) = \frac{\text{आयतन } (V)}{\text{समय } (t)} \qquad \ldots(i)$$

इसकी इकाई, MKS या SI प्रणाली में m^3/sec होती है जिसे क्यूमेस (Cumec) भी कहते हैं। CGS प्रणाली में cm^3/sec होती है। कभी-कभी इसे लीटर प्रति सेकण्ड में व्यक्त करते हैं।

यदि t sec में, w आपेक्षिक भार वाले द्रव का किसी बर्तन या टंकी में एकत्र किया गया भार W न्यूटन है तो विसर्जन,

$$Q = \frac{W}{w \times t} = \frac{W}{\rho.g.t} \qquad \ldots(ii)$$

जहाँ $w = \rho.g.\ \frac{N}{m^3}$ है।

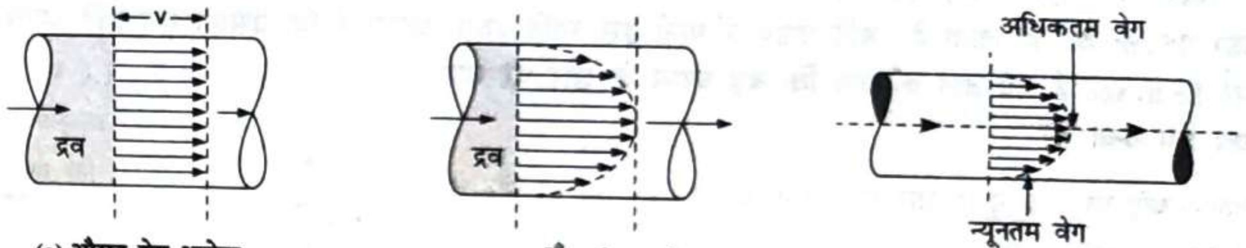
यदि a m³ अनुप्रस्थ काट वाले पाइप में बहने वाले द्रव का औसत वेग (या वेग) $v \frac{m}{sec}$ है तो विसर्जन,

$$Q = a \times v = \text{काट क्षेत्रफल} \times \text{द्रव का औसत वेग} \quad ...(iii)$$

§ 3.8. औसत या मध्यमान गति (Average or Mean Velocity) :

अनुच्छेद 3.3 में बताये अनुसार द्रव की गति कम करने में दो प्रकार के घर्षण कार्य करते हैं जिस कारण किसी अनुप्रस्थ काट पर द्रव के सभी कणों की गति एक समान होती है। इसके विपरीत यदि द्रव की श्यानता शून्य हो और पाइप की दीवार घर्षण हीन हो तो किसी भी काट पर सभी कणों की गति समान होगी, परन्तु ये असम्भव है। अत: गणना हेतु,

$$\text{औसत गति, } v = \frac{Q}{a} = \frac{\text{विसर्जन}}{\text{अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल}} \quad ...(iv)$$



(a) औसत वेग आरेख (b) वास्तविक वेग आरेख (c) न्यूनतम वेग आरेख

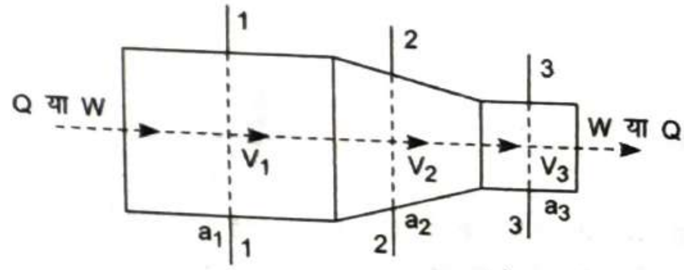
चित्र 3.8

§ 3.9 सांतत्य समीकरण (Continuity Equation) :

सांतत्य समीकरण द्रव के प्रवाह में **''मात्रा की अविनाशिता के सिद्धान्त''** पर आधारित है। इसके अनुसार, **''अपरिवर्तित (Steady) प्रवाह के लिये किसी नल या नाली से इकाई समय में प्रवाहित होने वाले द्रव का भार प्रत्येक काट खण्ड पर समान रहेगा जबकि विचारणीय काट खण्डों के बीच न तो बाहर से द्रव प्रवेश करे और न निकाला ही जाये।''**

"If an incompressible liquid is continuously flowing through a pipe or a channel and no fluid is added or removed from the pipe, the quantity of liquid passing per second is the same at sections."

आइये चित्र 3.9 में एक बदलते व्यास वाले इस पाइप में पूरा भरकर बहने वाले w आपेक्षिक भार वाले द्रव के प्रवाह पर विचार करें। पाइप की काट 1-1, 2-2 तथा 3-3 पर काट-क्षेत्रफल क्रमश: a_1, a_2 तथा a_3 है और प्रवाह वेग v_1, v_2, v_3 हैं, तो सेकण्ड में इन प्रत्येक काटों से बहने वाले द्रव का भार एक समान होगा, अर्थात्



चित्र 3.9

एक सेकण्ड में बहने वाला भार,

$$W = wa_1v_1 = wa_2v_2 = wa_3v_3 = \text{स्थिर}$$

या

$$a_1v_1 = a_2v_2 = a_3v_3 = \text{स्थिर} = Q \quad ...(v)$$

यही सांतत्य समीकरण है

जहाँ wa_1v_1, wa_2v_2 तथा wa_3v_3 क्रमश: काट 1–1, 2–2 तथा 3–3 पर एक सेकण्ड में बहने वाले द्रव का भार है।

3.9.1. सांतत्य समीकरण के लिए प्रतिबन्ध (Conditions)

सांतत्य समीकरण तभी लागू करते हैं जबकि द्रव का प्रवाह निम्न बातों के अनुसार हो—

(i) द्रव प्रवाह अपरिवर्ती और असम्पीड्य होना चाहिए।

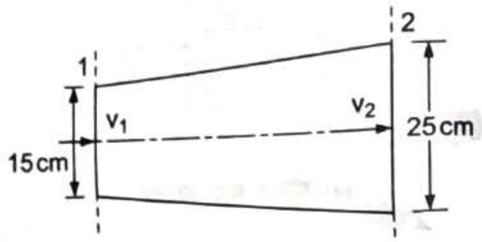
(ii) प्रत्येक काट-खण्ड पर गणना हेतु द्रव की औसत गति ली जाये।

(iii) विचाराधीन काट-खण्डों के मध्य कोई द्रव न तो प्रवेश कराया जाये और न ही बाहर निकाला जाये।

3.9.2. सांतत्य समीकरण के अनुप्रयोग (Applications)

पाइपों, नालियों आदि में बहते द्रव की औसत गति किसी सेक्शन पर ज्ञात की जा सकती है तथा इकाई समय में बहते द्रव का विसर्जन ज्ञात कर सकते हैं।

उदाहरण 3.1. एक लम्बी पाइप के एक छोर पर 15 cm का व्यास है तथा दूसरे छोर पर व्यास लगातार बदल कर 25 cm का हो जाता है। यदि पाइप में पानी इस भाँति प्रवाह करता है कि उसका वेग छोटे व्यास के छोर पर 15 m/sec है, तो ज्ञात कीजिये कि बड़े व्यास के छोर पर पानी का वेग क्या है?



चित्र 3.10

हल—यदि पहले व दूसरे छोर पर व्यास क्रमशः d_1 तथा d_2 और वेग क्रमशः v_1 तथा v_2 है।

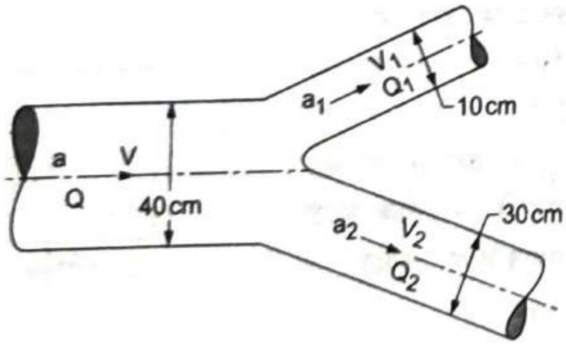
तब, सांतत्य समीकरण $a_1v_1 = a_2v_2$ में मान रखने पर—

$$\frac{\pi}{4}(d_1)^2 \times v_1 = \frac{\pi}{4}(d_2)^2 \times v_2$$

या $$\frac{\pi}{4}(15)^2 \times 1500 = \frac{\pi}{4}(25)^2 \times v_2$$ (सभी मान CGS मात्रक में रखे हैं।)

या $$v_2 = 540 \text{ cm/sec} = 5.4 \text{ m/sec}$$ **उत्तर**

उदाहरण 3.2. चित्र 3.11 के अनुसार दिखाये गये पाइप में पानी 5 m/sec के वेग से प्रवेश करता है। यदि दोनों शाखाओं में प्रवाह वेग समान रहे तो शाखाओं में विसर्जन ज्ञात कीजिये।



चित्र 3.11

हल—माना पाइप (1) तथा (2) में विसर्जन क्रमशः Q_1 तथा Q_2 m^3/sec है तो, मुख्य पाइप से विसर्जन,

$$Q = Q_1 + Q_2$$

या $$av = a_1v_1 + a_2v_2$$ $(\because Q = av$

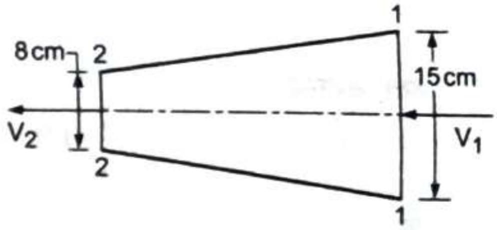
या $$\frac{\pi}{4}(0.40)^2 \times 5 = \frac{\pi}{4}(0.10)^2 \times v_1 + \frac{\pi}{4}(0.30)^2 \times v_1 \qquad (\text{दिया है } \because v_1 = v_2)$$

या $$v_1 = 8 \text{ m/sec}$$

या $$Q_1 = a_1 v_1 = \frac{\pi}{4}(0.10)^2 \times 8 = \mathbf{0.0628 \text{ m}^3/\text{sec}}$$ **उत्तर**

तथा $$Q_2 = a_2 v_2 = \frac{\pi}{4}(0.30)^2 \times 8 = \mathbf{0.5652 \text{ m}^3/\text{sec}}$$ **उत्तर**

उदाहरण 3.3. पानी से पूरा भरे एक असमान काट के टेपरित (tapering) पाइप का व्यास एक सिरे पर 15 cm तथा दूसरे सिरे पर 8 cm है। यदि 15 cm व्यास वाले सिरे पर पानी का औसत वेग 1.5 m/sec हो तो lit/sec में विसर्जन ज्ञात कीजिये। पाइप के 8 cm व्यास वाले सिरे पर पानी की गति भी ज्ञात करिये।



चित्र 3.12

हल—चित्र 3.12 में पाइप की व्यवस्था दिखायी गई है।

प्रश्नानुसार,

पाइप की काट 1–1 पर क्षेत्रफल

$$a_1 = \frac{\pi}{4} \times 15^2 \text{ (cm)}^2 = \frac{\pi}{4} \times 15^2 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

पाइप की काट 2–2 पर क्षेत्रफल $$a_2 = \frac{\pi}{4} \times 8^2 \text{ (cm)}^2 = \frac{\pi}{4} \times 8^2 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

पाइप की काट 1–1 पर पानी का औसत वेग, $v_1 = 1.5$ m/sec

पाइप का विसर्जन, $Q = a_1 v_1$

$\therefore$ $$Q = \frac{\pi}{4} \times (15)^2 \times 1.5 \times 10^{-4} = 0.0265 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$= \mathbf{26.5 \text{ lit/sec}}$$ **उत्तर**

अब सांतत्य समीकरण के अनुसार,

$$a_1 v_1 = a_2 v_2$$

$\therefore$ $$\frac{\pi}{4} \times (15)^2 \times 1.5 = \frac{\pi}{4} \times (8)^2 \times v_2$$

या $$v_2 = \frac{(15)^2}{(8)^2} \times 1.5 = \mathbf{5.273 \text{ m/sec}}$$ **उत्तर**

उदाहरण 3.4. असमान काट के टेपरित पाइप का व्यास एक सिरे पर 15 cm है। पाइप के दूसरे सिरे से पानी का विसर्जन 150 lit/sec की दर से हो रहा है। पानी का प्रवेश 15 cm व्यास वाले सिरे से होता है। यदि निकास वाले सिरे पर वेग 25 m/sec रखना हो तो इस सिरे पर पाइप का आवश्यक व्यास ज्ञात कीजिये। प्रवेश के स्थान पर पानी का औसत वेग भी ज्ञात करिये।

हल—माना कि,

a_1 = प्रवेश पर पाइप की काट का क्षेत्रफल

v_1 = प्रवेश पर पानी का वेग

a_2 = निकास पर पाइप की काट का क्षेत्रफल

v_2 = निकास पर पानी का वेग

Q = निकास पर पानी का विसर्जन

प्रश्न के अनुसार,

$$a_1 = \frac{\pi}{4} \times 15^2 \text{ cm}^2 = 176.73 \text{ cm}^2 = 176.73 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$Q = 150 \text{ lit/sec} = \frac{150}{10^3} = 150 \times 10^{-3} \text{ m}^3\text{/sec}$$

$$v_2 = 25 \text{ m/sec}$$

अब सम्बन्ध, $Q = a_2 v_2$ से,

$$150 \times 10^{-3} = a_2 \times 25$$

या

$$a_2 = \frac{150 \times 10^{-3}}{25} \text{ m}^2$$

यदि निकास पर पानी का व्यास d_2 cm है तो,

$$\frac{\pi}{4}(d_2)^2 \times 25 = 150 \times 10^{-3}$$

$$d_2^2 = \frac{150 \times 10^{-3} \times 4}{25 \times \pi}$$

या $\mathbf{d_2 = 8.74 \text{ cm}}$ **उत्तर**

अब प्रवेश के स्थान पर पानी का औसत वेग निकालने के लिये,

$$Q = a_1 v_1$$

$$v_1 = \frac{Q}{a_1} = \frac{150 \times 10^{-3}}{176.73 \times 10^{-4}} = \mathbf{8.487 \text{ m/sec}}$$ **उत्तर**

उदाहरण 3.5. एक पाइप का व्यास काट क्रमांक 1–1 तथा 2–2 पर क्रमशः 200 mm और 300 mm है। यदि काट क्रमांक 1–1 पर पाइप में जल प्रवाह का वेग 4 m/sec है, तो

(i) पाइप के द्वारा विसर्जन, तथा (ii) काट क्रमांक 2–2 पर जल का वेग ज्ञात करो।

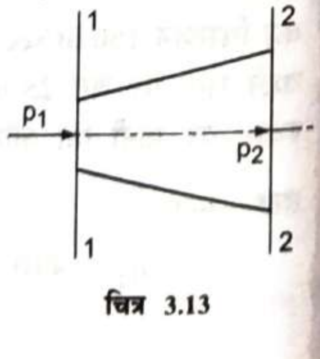
हल—(i) पाइप का काट 1–1 पर क्षेत्रफल

$$a_1 = \frac{\pi}{4}(0.2)^2 = 0.0314 \text{ m}^2$$

विसर्जन $Q = av$ से,

$$Q = 0.0314 \times 4 = 0.1256 \text{ m}^3\text{/sec}$$

∴ $Q = 125.6$ litre/sec **उत्तर**



चित्र 3.13

(ii) पाइप का काट क्रमांक 2–2 पर क्षेत्रफल

$$a_2 = \frac{\pi}{4} \times (0.3)^2 = 0.0707 \text{ m}^2$$

काट 2–2 पर वेग $v_2 = \frac{Q}{a_2} = \frac{0.1256}{0.0707} = \mathbf{1.78 \text{ m/sec}}$ **उत्तर**

§ 3.10. द्रव की ऊर्जायें (Energies of Liquid) :

हम जानते हैं कि कार्य करने की क्षमता को ऊर्जा कहते हैं। ऊर्जा प्रत्येक पदार्थ में होती है। जिस प्रकार ठोस पदार्थों में स्थैतिक (static) तथा गतिज (dynamic) ऊर्जायें होती हैं, ठीक उसी प्रकार द्रवों (liquids) में भी ऊर्जायें होती हैं। किसी बहते हुए द्रव में निम्न प्रकार की ऊर्जायें होती हैं—

1. स्थैतिक ऊर्जा या आधार ऊर्जा (Static energy or Datum Energy)
2. वेग ऊर्जा या गतिज ऊर्जा (Kinetic-Energy)
3. दाब ऊर्जा (Press Energy)

1. स्थैतिक ऊर्जा या आधार ऊर्जा (Static Energy or Datum Energy)

ये ऊर्जा किसी क्षैतिज माने हुए तल या आधार तल से द्रव की ऊँचाई पर निर्भर करती है। इस आधार जल पर द्रव की स्थैतिक ऊर्जा शून्य होगी।

"It is the energy possessed by a liquid particle by virtue of its position."

माना किसी आधार तल से W न्यूटन भार का द्रव Z मीटर ऊँचाई पर रखा है तो,

W न्यूटन भार के द्रव की स्थैतिक ऊर्जा $= Z \times W$ N.m.

या 1 न्यूटन भार के द्रव की स्थैतिक ऊर्जा $= \frac{Z \times W}{W} = Z$ N.m.

इस प्रकार, किसी माने हुए क्षैतिज तल से द्रव की ऊँचाई ही उस द्रव के इकाई भार की स्थैतिक ऊर्जा प्रदर्शित करती है अर्थात् द्रवों के किसी कण में उसकी किसी मानक क्षैतिज तल से स्थिति (Position) के कारण जो ऊर्जा रहती है उसे **स्थैतिक ऊर्जा** कहते हैं। अत: द्रव की स्थैतिक ऊर्जा Z मीटर स्थैतिक द्रव शीर्ष (Static Liquid Head) है। इस प्रकार, स्थैतिक ऊर्जा को यदि स्थिर द्रव स्तम्भ की ऊँचाई के रूप में व्यक्त किया जाए अर्थात् द्रव की स्थैतिक ऊर्जा Z N.m./N को **स्थैतिक शीर्ष** $= Z$ **मीटर ऊँचाई के पदों में** व्यक्त कर सकते हैं। अत: द्रव के इकाई भार की स्थैतिक ऊर्जा, द्रव का स्थैतिक शीर्ष होगी।

2. वेग ऊर्जा या गतिज ऊर्जा (Kinetic-Energy)

प्रवाह में द्रव की अपनी गति के कारण जो ऊर्जा द्रव में होती है वह द्रव की गतिज या वेग ऊर्जा कहलाती है।

"It is the energy possessed by a liquid particle by virtue of its motion or velocity."

यदि W न्यूटन भार का द्रव v m/sec की गति से बहता है, तो W न्यूटन द्रव के लिये वेग या गतिज ऊर्जा,

$$= \frac{1}{2} m v^2 \text{ kgm}^2/\text{sec}^2 = \frac{1}{2} \frac{W}{g} v^2 \text{ N.m}$$

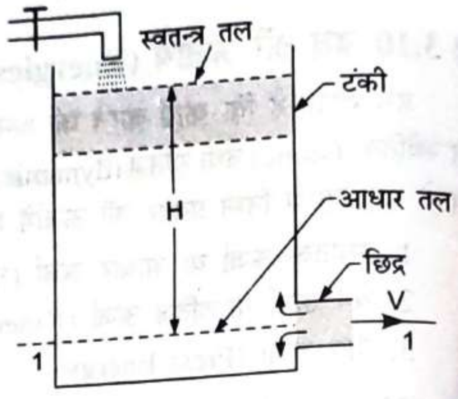
जहाँ, $m =$ द्रव की संहति kg में, तथा $g =$ गुरुत्व जनित त्वरण (Acceleration due to gravity) है।

अत: द्रव के इकाई भार के लिए गतिज ऊर्जा $= \frac{1}{2} \frac{W}{g} v^2 \times \frac{1}{W} = \frac{v^2}{2g} \frac{\text{N.m}}{\text{N}}$ होगी

इस प्रकार **द्रव के इकाई भार की गतिज ऊर्जा** $= \frac{v^2}{2g} \frac{N.m}{N}$ या $\frac{v^2}{2g}$ **(मीटर में)**

गतिज शीर्ष या वेग शीर्ष कहलायेगा। अब हम इसे एक उदाहरण द्वारा समझेंगे।

देखिये चित्र 3.14 में, किसी टंकी में एक छेद के 1–1 क्षैतिज तल से द्रव की स्वतन्त्र सतह (Free Surface) की ऊँचाई H मीटर है तथा टंकी के छेद से द्रव v m/sec के वेग से निकल रहा है। परन्तु टंकी में हमेशा H मीटर शीर्ष बनाये रखा गया है (इसके लिये द्रव में एक टोंटी की सहायता से उसी दर से डाला जाता है जिस दर से वह छेद से बाहर निकल रहा है) माना कि द्रव के स्वतन्त्र तल पर स्थित एक छोटा-सा द्रव का भार W न्यूटन है। अत:, क्षैतिज आधार तल 1–1 पर मानते हुए,



चित्र 3.14

W N भार के द्रव की स्थैतिक ऊर्जा $= WH$ N.m

W N भार वाला द्रव ही छेद से बाहर निकलता है अर्थात् W न्यूटन द्रव का भार H ऊँचाई से गिरा और छेद से बाहर निकला या द्रव की स्थैतिक ऊर्जा ही गतिज ऊर्जा में बदली यदि प्रवाह में घर्षण हानि को नगण्य माना जाये।

इस प्रकार, W न्यूटन भार के द्रव की स्थैतिक ऊर्जा

= W न्यूटन भार के द्रव की गतिज ऊर्जा

या $$W \times H = \frac{1}{2}\frac{W}{g}v^2$$

या $$H = \frac{v^2}{2g} \text{ द्रव की मीटर में ऊँचाई}$$

यदि, $W = 1$ न्यूटन हो तो $$\text{गतिज ऊर्जा} = \frac{v^2}{2g}\frac{N.m}{N}$$

या, $$\textbf{गतिज शीर्ष, } H = \frac{v^2}{2g}$$ **(द्रव की मीटर में ऊँचाई)**

3. दाब ऊर्जा (Pressure Energy)

द्रव में दाब ऊर्जा द्रव के दबाव के कारण होती है।

"It is the energy, possessed by a liquid particle, by virtue of its existing pressure."

यदि W N भार के द्रव की दाब तीव्रता $p \frac{N}{m^2}$ हो तो, W न्यूटन भार के द्रव की दाब ऊर्जा

$$= \frac{W \times p}{w} \text{ N.m}$$

यदि, $W = 1$ न्यूटन हो तो $$\text{दाब ऊर्जा} = \frac{p}{w}\frac{N.m}{N}$$

या $$\textbf{दाब शीर्ष} = \frac{p}{w} \textbf{ (द्रव की ऊँचाई के पदों में)}$$

अत: इकाई भार के द्रव की दाब ऊर्जा ही शीर्ष को व्यक्त करती है।

अब हम इसे एक उदाहरण द्वारा समझेंगे। चित्र 3.15 में, एक सिलिण्डर में माना p N/m^2 दाब तीव्रता पर कोई w N/m^3 आ० भार का द्रव भरा है जो पिस्टन व इस पर रखे कुल भार W न्यूटन को संभालता है। माना पिस्टन का काट क्षेत्रफल A m^2 है। अत:, $W = A \times p$

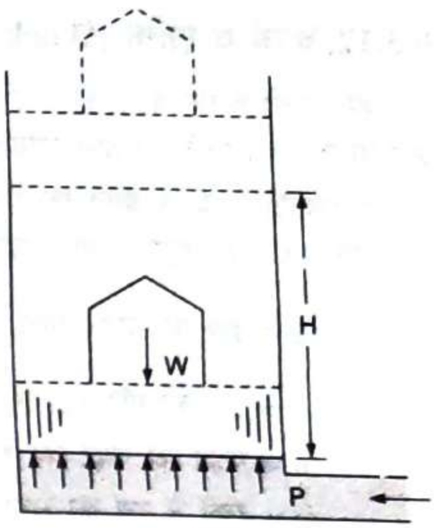
अब सिलिण्डर में बाहर से और द्रव भरकर पिस्टन को H मीटर ऊँचाई तक ऊपर उठा देते हैं। इस प्रकार,

पिस्टन को उठाने में किया गया कार्य $= W \times H = A \times p \times H$ N.m

द्रव में यह कार्य ही दाब ऊर्जा के रूप में इकट्ठा हो जाता है। सिलिण्डर में भेजे गये द्रव का भार $= w \times A \times H$ न्यूटन

∴ प्रति न्यूटन भार के द्रव द्वारा ग्रहण की गई दाब ऊर्जा

$$= \frac{A.p.H}{w.A.H} = \frac{p}{w} \text{ (दाब शीर्ष)}$$



चित्र 3.15

§ 3.11. सम्पूर्ण ऊर्जा एवं सम्पूर्ण शीर्ष (Total Energy and Total Head) :

खण्ड 3.10 में बतायी गई द्रव की तीनों ऊर्जाओं का योग ही द्रव की सम्पूर्ण ऊर्जा कहलाता है।

"Total energy of the liquid, in motion, is the sum of all three energies."

इस प्रकार

सम्पूर्ण ऊर्जा = आधार ऊर्जा + दाब ऊर्जा + गतिज ऊर्जा

हम यह भी जान चुके हैं कि प्रत्येक ऊर्जा को द्रव के शीर्ष में प्रयुक्त कर सकते हैं, अत:

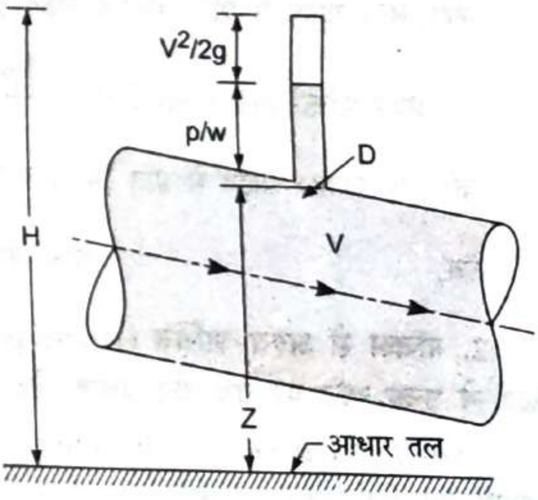
सम्पूर्ण शीर्ष = आधार शीर्ष + दाब शीर्ष + गतिज शीर्ष

आइये, अब इन्हें एक उदाहरण लेकर समझें। चित्र 3.16 में दिखाये गये एक पाइप में माना N/m^3 आपेक्षिक भार का कोई द्रव $v \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ के वेग से बह रहा है और पाइप के किसी बिन्दु D पर लगी दाबमापी नली में द्रव की ऊँचाई h मीटर है। माने हुए आधार तल से बिन्दु D की ऊँचाई Z मीटर तथा द्रव की दाब तीव्रता $p \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ है तो $h = \frac{p}{w}$, और तब

बिन्दु D पर सम्पूर्ण ऊर्जा = आधार ऊर्जा + दाब ऊर्जा + गतिज ऊर्जा

1 न्यूटन भार के द्रव की सम्पूर्ण ऊर्जा

$$= \left(Z + \frac{p}{w} + \frac{v^2}{2g}\right) \text{ N.m/N} \qquad ...(vi)$$



चित्र 3.16

तथा

सम्पूर्ण शीर्ष H = आधार शीर्ष + दाब शीर्ष + गतिज शीर्ष

$$= Z + \frac{p}{w} + \frac{v^2}{2g} \text{ (m में)} \qquad ...(vii)$$

§ 3.12. कार्य व शक्ति (Work and Power) :

हम जानते हैं कि कार्य करने की क्षमता को ऊर्जा कहते हैं और यदि कार्य करने की दर (Rate of doing work) ज्ञात हो तो बहने वाले द्रव द्वारा संचारित शक्ति की गणना की जा सकती है।

1. प्रवाहित द्रव से प्राप्त कार्य तथा शक्ति—किसी द्रव से भरी एक बड़ी टंकी पर विचार करिये जिसकी तली पर, चित्र 3.17 के अनुसार, छोटे व्यास की एक पाइप लगी है और पाइप से द्रव प्रवाहित हो रहा है। माना कि,

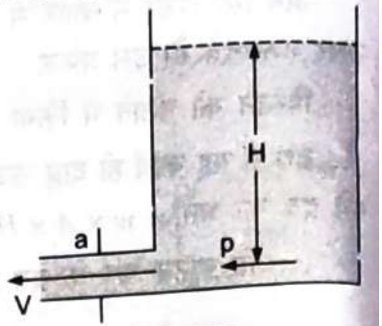
p = द्रव की दाब-तीव्रता (intensity ofs pressure) $\frac{N}{m^2}$ में,

v = द्रव की गति m/s में,

a = पाइप की काट का क्षेत्रफल m^2 में,

H = टंकी में द्रव का सम्पूर्ण-शीर्ष (total head) m में,

w = द्रव का आपेक्षिक भार $\frac{N}{m^3}$ में,



चित्र 3.17

टंकी में द्रव के सम्पूर्ण शीर्ष के कारण पाइप से होकर बहते द्रव द्वारा किया गया कार्य

= बल × प्रति सेकण्ड चली गई दूरी = $p \times a \times v$

परन्तु, $a \times v$ = पाइप से प्रति सेकण्ड बहते द्रव का आयतन

∴ **प्रति सेकण्ड बहते द्रव द्वारा किया गया कार्य**

= p × पाइप से प्रति सेकण्ड बहते द्रव का आयतन

= wH × आयतन $\qquad \left[\because \frac{p}{w} = H\right]$

= WH N.m $\qquad$ ($\because W = w \times$ आयतन) ...(viii)

जहाँ, W = पाइप में प्रति सेकण्ड बहते द्रव का भार

∴ अश्व शक्ति (horse power) = $\frac{\text{किग्रा–मी॰ में प्रति सेकण्ड किया गया कार्य}}{75} = \frac{WH}{75}$

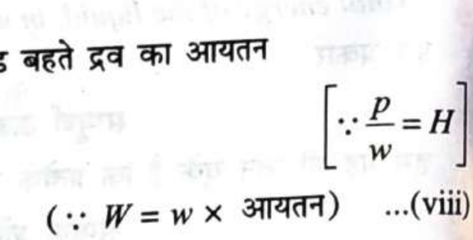
यदि, W किग्रा॰ पाइप में प्रति मिनट बहते द्रव का भार हो

तब, $\qquad$ अश्व शक्ति = $\frac{WH}{4500}$ ...(ix)

2. नॉजल से अश्व-शक्ति (Horse power from a nozzle)—नॉजल ऐसी युक्ति है जिसमें छोटे व्यास के छिद्र से उच्च गति पर द्रव का प्रवाह जेट (jet) के रूप में होता है।

"Nozzle is a device in which flow of liquid come out from the small dia. hole at very high speed in the form of jet."

नॉजल का मुख्य कार्य द्रव की दाब-ऊर्जा को गतिज ऊर्जा में परिवर्तित करना है।



चित्र 3.18

चित्र 3.18 के अनुसार माना कि एक नॉजल से 'a' m^2 क्षेत्रफल की काट का द्रव-जेट $v \frac{m}{sec}$ के वेग से निकलता है।

अत: **जेट की अश्व शक्ति** (h.p.) $= \dfrac{\text{नॉजल में बहते द्रव का भार किग्रा बल/से० × सम्पूर्ण शीर्ष}}{75}$

$$= \frac{(wav) \times v^2/2g}{75} = \frac{wav^3}{2g \times 75} \quad ...(x)$$

अश्व शक्ति का यह सम्बन्ध निम्न प्रकार भी ज्ञात किया जा सकता है—

अश्व शक्ति $= \dfrac{\text{प्रति से० नॉजल से बहते द्रव की गतिज ऊर्जा}}{75}$

$$= \frac{1}{2} \times \left(\frac{W}{g}\right) \frac{v^2 \times 1}{75} = \frac{wav^3}{2g \times 75}$$

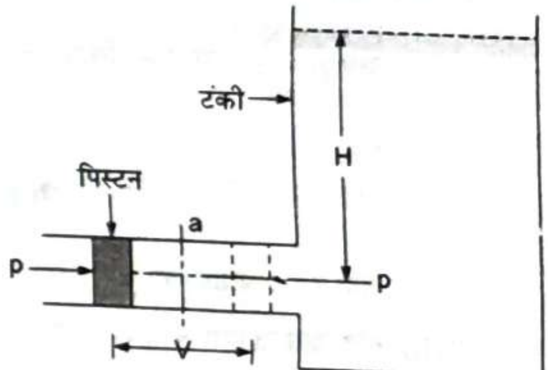
जहाँ

w = द्रव का आपेक्षिक भार

3. दाब के विपरीत पम्प द्वारा किया गया कार्य तथा अश्व शक्ति—कभी-कभी द्रव को पहले से स्थापित स्थैतिक-दाब (static pressure) के विपरीत पम्प के बल द्वारा प्रवाहित होता है जैसे बॉयलर में भरण-जल (feed water) का भेजा जाना है। इस स्थिति में पम्प के पिस्टन पर द्रव का पश्च-दाब (back-pressure) क्रिया करता है और पिस्टन को द्रव के स्थैतिक दाब के विपरीत कार्य करना होता है।

पम्प द्वारा, पहले से स्थापित द्रव के स्थैतिक-दाब के विरुद्ध किया गया कार्य तथा पम्प की अश्व-शक्ति निम्न प्रकार ज्ञात की जा सकती है—

द्रव से भरी एक बड़ी टंकी पर विचार कीजिये तली पर एक कम व्यास की पाइप से होकर द्रव को, पहले से स्थापित स्थैतिक-दाब के विपरीत, पम्प द्वारा भेजा जाता है। (देखिये चित्र 3.19)।



चित्र 3.19

माना कि,

H = पाइप के ऊपर द्रव का स्थैतिक शीर्ष, m में

v = द्रव की गति जिस पर टंकी में उसका प्रवेश होता है, m/sec में

p = पाइप में द्रव की दाब-तीव्रता, N/m^2 में

पाइप से होकर द्रव को टंकी में भेजने के लिये किया गया कार्य

= बल × प्रति सेकण्ड चली गई दूरी

$= pa \times v$

परन्तु, $a \times v$ = टंकी प्रति सेकण्ड पम्प किये गये द्रव का आयतन

∴ किया गया कार्य $= p \times$ टंकी में प्रति सेकण्ड पम्प किये गये द्रव का आयतन

$= WH \times$ आयतन

$= WH$ $\quad [\because p = WH]$

जहाँ,

W = प्रति सेकण्ड, टंकी में पम्प किये गये द्रव का भार

अश्व शक्ति $= \dfrac{\text{प्रति सेकण्ड किया गया कार्य, N.m में}}{75.g}$

$$= \frac{WH}{75.g} \text{ जहाँ } g = 9.81 \text{ m/sec}^2 \text{ है} \quad ...(xi)$$

जब W = प्रति मिनट टंकी में पम्प किया गया द्रव का भार, हो

तब, $$\text{अश्व शक्ति} = \frac{WH}{4500\,g} \quad ...(xii)$$

इस प्रकार, संक्षेप में,

(a) किसी द्रव का आपेक्षिक भार $w \frac{N}{m^3}$ तथा विसर्जन $Q \frac{m^3}{sec}$ और द्रव की ऊर्जा E मीटर (द्रव की ऊँचाई के पदों में) हो, तो

$$\text{प्रति सेकण्ड करने की दर (Rate)} = Q \times w \times E$$

या, **अश्व शक्ति (Horse Poweer), h.p.** $= \dfrac{Q \times w \times E}{75\,g}$ ...(xiii)

(b) यदि किसी टंकी में W N भार का द्रव प्रति सेकण्ड की दर से

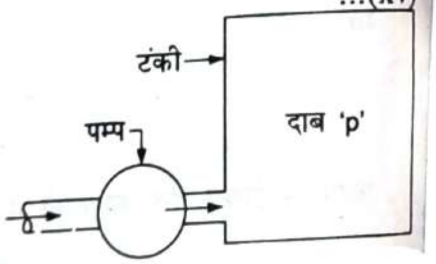
(i) दाब $p \frac{N}{m^2}$ पर पम्प किया जाता है देखिये चित्र 3.20 तो पम्प के लिये आवश्यक अश्व शक्ति,

$$\text{h.p.} = \frac{W \times \frac{p}{w}}{75g} = \frac{W \times p}{w \times 75g} = \frac{Q \times p}{75g} \quad ...(xiv)$$

जहाँ C = प्रवाह की दर जिसे पम्प किया जाता है।

(ii) यदि दाब तीव्रता न देकर शीर्ष H मीटर दिया हो तो

$$\text{आवश्यक अश्व शक्ति, h.p.} = \frac{W \times H}{75g} \quad ...(xv)$$



चित्र 3.20

(c) यदि गतिज ऊर्जा दी हो या फिर उदाहरणार्थ द्रव के किसी प्रकार (jet) की अश्व शक्ति ज्ञात करनी हो जबकि a वर्ग मीटर काट-क्षेत्र वाले जेट का वेग $v \frac{m}{sec}$ हो तो, देखिये चित्र 3.20 में।

$$\text{आवश्यक अश्व शक्ति, h.p.} = \frac{\text{जेट की गतिज ऊर्जा}}{75}$$

$$= \frac{\frac{1}{2}mv^2}{75} = \frac{\frac{1}{2}\frac{W}{g}v^2}{75} = \frac{(w.a.v.) \times \frac{v^2}{2g}}{75}$$

जहाँ W = प्रति सेकण्ड बहने वाले द्रव का भार $= w \times a \times v$ N/sec

अतः **जेट की अश्व शक्ति, h.p.** $= \dfrac{w \times a \times v^3}{2g \times 75}$ ...(xv

§ 3.13. बरनॉली का प्रमेय (Bernoulli's Theorem) :

सन् 1738 में स्विस गणितज्ञ डेनियल बरनॉली (Daniel Bernoulli) ने द्रवों के प्रवाह से सम्बन्धित समस्याओं को हल करने के लिये एक प्रमेय बनाई एवं सिद्ध की थी। बरनॉली की यह प्रमेय वास्तव में द्रव के लिये ऊर्जा की अविनाशिता पर ही आधारित है।

बरनॉली प्रमेय के अनुसार, **"किसी आदर्श एवं असम्पीड्य द्रव के अपरिवर्ती प्रवाह में किसी सतत (Continuous) धारा के प्रत्येक परिच्छेद में, द्रव की किसी निश्चित मात्रा के लिये, द्रव के सभी बिन्दुओं की सम्पूर्ण ऊर्जा या सम्पूर्ण शीर्ष का मान समान रहता है जबकि घर्षण या अन्य कारणों से किसी भी प्रकार की ऊर्जा की हानि न हो रही हो।"**

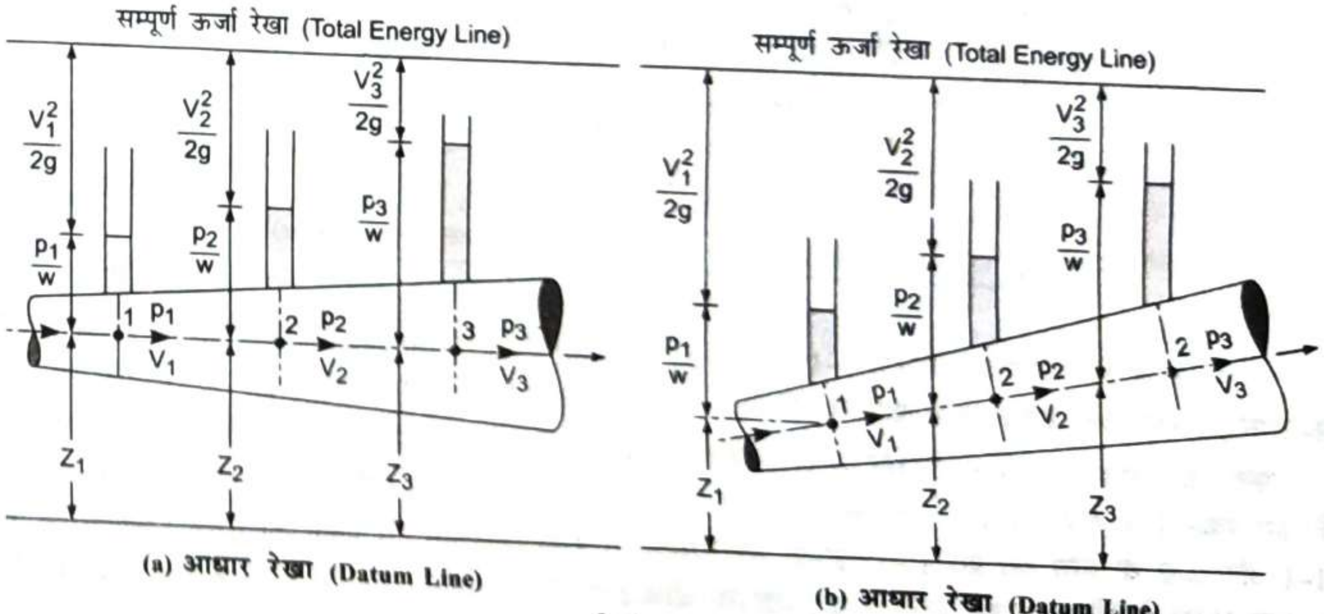
"For a perfect incompressible liquid, flowing in a continuous stream, the total energy of a particle remains the same, while the particle moves from point to another."

गणितीय रूप से इसे निम्न प्रकार से लिखा जा सकता है—

सभी बिन्दुओं पर,
$$H = Z + \frac{p}{w} + \frac{v^2}{2g} = \text{स्थिर (Constant)}$$

इसे **बरनॉली समीकरण** कहते हैं। जहाँ Z, $\frac{p}{w}$ तथा $\frac{v^2}{2g}$ क्रमशः आधार, दाब व गतिज के लिये ये सभी ऊर्जायें या फिर सभी शीर्ष हैं। आइये, इस प्रमेय को उदाहरण लेकर समझें।

चित्र 3.21(a) व (b) में क्रमशः क्षैतिज व नत (Inclined) पाइपों में द्रव पूरा भरकर बह रहा है। इनमें बिन्दुओं 1, 2 या 3 पर द्रव की ऊर्जायें दिखायी गई हैं। यदि **इन बिन्दुओं के मध्य कोई ऊर्जा हानि या लाभ नहीं होता तो बरनॉली प्रमेय के अनुसार, क्षैतिज पाइप में**



चित्र 3.21

$$H = Z_1 + \frac{p_1}{w} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{w} + \frac{v_2^2}{2g} = Z_3 + \frac{p_3}{w} + \frac{v_3^2}{2g} = \text{स्थिर (Constant)}$$

या
$$H = \frac{p_1}{w} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{w} + \frac{v_2^2}{2g} = \frac{p_3}{w} + \frac{v_3^2}{2g} = \text{स्थिर (Constant)} \quad (\because Z_1 = Z_2 = Z_3)$$

नत पाइप में,

$$H = Z_1 + \frac{p_1}{w} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{w} + \frac{v_2^2}{2g} = Z_3 + \frac{p_3}{w} + \frac{v_3^2}{2g} = \text{स्थिर}$$

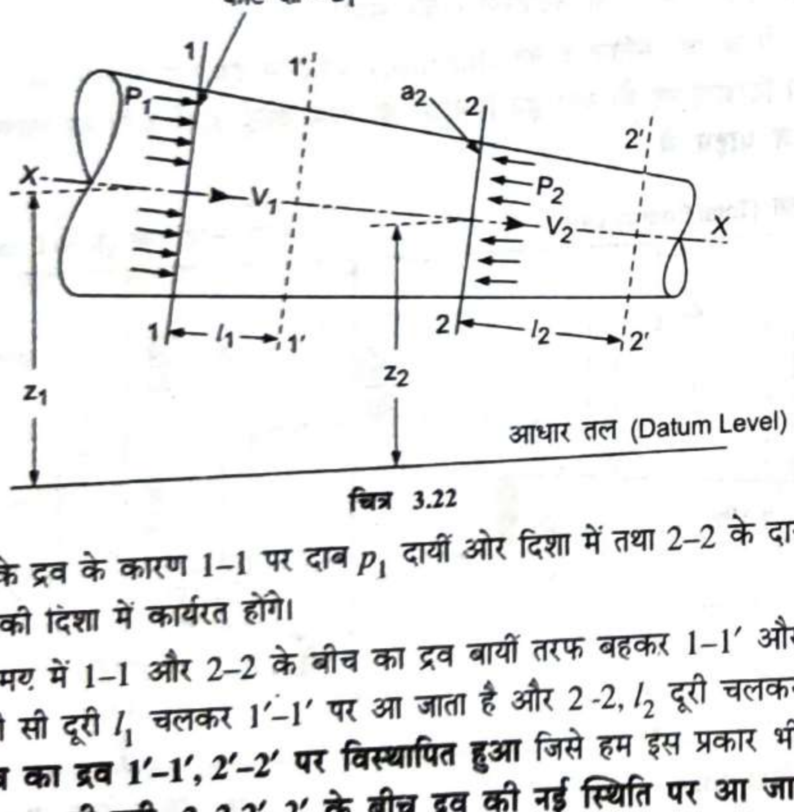
ध्यान रहे कि, पाइप की चौड़ी काट पर द्रव की गति कम हो जाती है क्योंकि $Q = a_1 v_1 = a_2 v_2$ (सांतत्य समीकरण से) के अनुसार भी काट क्षेत्रफल बढ़ने पर वेग कम हो जायेगा।

यदि किन्हीं दो बिन्दुओं 1 तथा 2 के मध्य ऊर्जा हानि h_f हो तो बरनॉली समीकरण

$Z_1 + \frac{p_1}{w} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{2g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_f$ होगी, (प्रवाह बिन्दु, 1 बिन्दु से बिन्दु 2 की ओर हो रहा है।)

3.13.1. बरनॉली प्रमेय की उत्पत्ति (Proof)

चित्र 3.22 के अनुसार एक नत टेपरदार (Inclined Tapered) पाइप में w में आपेक्षिक भार वाला कोई द्रव पूरा भरकर बहता है। द्रव के काट खण्ड 1–1 तथा 2–2 के बीच भरे आयतन के प्रवाह पर विचार करें। माना कि काट खण्ड 1–1 तथा 2–2 पर दाब तीव्रता, वेग, आधार तल से ऊँचाई एवं काट क्षेत्रफल क्रमशः p_1, v_1, z_1, a_1 और p_2, v_2, z_2, a_2 हैं।



चित्र 3.22

1–1 में बायीं ओर के द्रव के कारण 1–1 पर दाब p_1 दायीं ओर दिशा में तथा 2–2 के दायीं ओर के द्रव के कारण 2–2 पर p_2 बायीं ओर की दिशा में कार्यरत होंगे।

माना किसी थोड़े समय में 1–1 और 2–2 के बीच का द्रव बायीं तरफ बहकर 1–1′ और 2–2 के बीच आ जाता है। इस प्रकार 1–1 थोड़ी सी दूरी l_1 चलकर 1′–1′ पर आ जाता है और 2-2, l_2 दूरी चलकर 2′–2′ पर आ जाता है। इस प्रकार 1–1 थोड़ी सी दूरी l_1 चलकर 1′–1′ पर आ जाता है और 2-2, l_2 दूरी चलकर 2′–2′ पर आ जाता है जिसे हम इस प्रकार भी समझ सकते हैं कि **1-1 और 2–2 के बीच का द्रव 1′–1′, 2′–2′ पर विस्थापित हुआ** जिसे हम इस प्रकार भी समझ सकते हैं कि **1 तथा 1′–1′ के बीच द्रव की पट्टी, 2–2 2′–2′ के बीच द्रव की नई स्थिति पर आ जाती है** जबकि 1′–1′ तथा 2–2 के बीच का द्रव अपनी ही जगह पर बना रहता है।

माना 1–1 तथा 1′–1′ के बीच द्रव का भार W है, द्रव का सही भार 2–2 तथा 2′–2′ के बीच होगा। तब,

$$W = wa_1 \, l_1 = wa_2 \, l_2 \qquad \text{...(i)}$$

या

$$a_1 l_1 = a_2 l_2 = \frac{W}{w}$$

काट खण्ड 1–1 पर दाब द्वारा किया गया कार्य $= (p_1a_1) \times l_1$ $\quad$ ($\because$ बल $= p_1a_1$)

काटखण्ड 2–2 पर दाब द्वारा किया गया कार्य $= -(p_2a_2) \times l_2$

(–ve) चिन्ह दाब की विपरीत दिशा होने के कारण लगाया गया।

अत: $\quad$ द्रव पर कुल किया गया कार्य $= p_1a_1l_1 - p_2a_2l_2$

$$= p_1 \times \frac{W}{w} - p_2 \times \frac{W}{w} = \frac{W}{w}(p_1 - p_2) \qquad ...(ii)$$

क्योंकि यह उपरोक्त कार्य द्रव द्वारा ही किया गया है अत: द्रव की ऊर्जा में हानि होगी क्योंकि बिन्दु *B*, *A* से नीचे है, अत: *W* भार के द्रव की स्थैतिक ऊर्जा में हानि, $= WZ_1 - WZ_2 = W(Z_1 - Z_2)$

क्योंकि 2–2 पर काट क्षेत्रफल, 1–1 पर के काट क्षेत्रफल से कम है अत: 2–2 पर वेग अधिक होगा, अत:

$$W \text{ भार के द्रव की गतिज ऊर्जा में लाभ} = W \times \frac{v_2^2}{2g} - W \times \frac{v_1^2}{2g}$$

$$= W\left(\frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g}\right) \qquad ...(iii)$$

अब, $\quad$ द्रव की ऊर्जा में कुल हानि = द्रव की ऊर्जा में कुल लाभ

$\therefore$ $\quad$ स्थैतिज ऊर्जा में हानि + किया गया कार्य = गतिज ऊर्जा में लाभ

या

$$W(Z_1 - Z_2) + \frac{W}{w}(p_1 - p_2) = W\left(\frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g}\right)$$

या

$$Z_1 - Z_2 + \frac{p_1}{w} - \frac{p_2}{w} = \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g}$$

या

$$Z_1 + \frac{p_1}{w} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{w} + \frac{v_2^2}{2g} \qquad ...(iv)$$

$$Z + \frac{p}{w} + \frac{v^2}{2g} = \text{नियत (constant)}$$ **(यही बरनॉली का प्रमेय है)**

3.13.2. बरनॉली प्रमेय की सीमायें (Limitations)

अनुच्छेद 3.13.1 में बरनॉली समीकरण को सिद्ध करने में कुछ परिकल्पनायें (assumptions) की गयी हैं जो कि द्रव के वास्तविक प्रवाह की दशाओं (conditions) पर लागू नहीं होती। इसलिए बरनॉली समीकरण को द्रवों के प्रवाह की दशाओं पर लागू करने की कुछ सीमायें (Limitations) हैं। अत: बरनॉली समीकरण का प्रयोग निम्नलिखित बातों के सन्तुष्ट होने पर किया जा सकता है—

1. **द्रव असम्पीड्य हो और प्रवाह के अन्तर्गत द्रव का घनत्व तथा तापमान बदलना नहीं चाहिये।**
2. **द्रव प्रवाह में किसी भी अनुप्रस्थ काट पर सभी द्रव कणों की गति समान होनी चाहिये।** अत: हम समीकरण बनाते समय द्रव के प्रवाह में किसी अनुप्रस्थ काट पर **औसत वेग** का प्रयोग करते हैं।
3. द्रव-प्रवाह अपरिवर्ती होना चाहिये अर्थात् प्रवाह स्थिर हो हालांकि सभी व्यावहारिक प्रवाह स्थिर नहीं होते। अत: प्रत्येक क्षण प्रवाह की गति बदलती रहती है। इस कारण बरनॉली समीकरण में अतिरिक्त वेग ऊर्जा के लिये एक पद (term) और जोड़ा जाता है।

4. द्रव का प्रवाह अश्यान (Non-viscous) होना चाहिये। यदि प्रवाह श्यान प्रकार का है तो बरनॉली समीकरण में शीर्ष-हानि (Head Loss) का पद भी रखना चाहिये।
5. यदि द्रव पर गुरुत्व के अलावा कोई अन्य बाह्य बल कार्यरत हो तो उसका ध्यान गणना करते समय किया जाना चाहिये।
6. किसी भी प्रकार की ऊर्जा हानि या अतिरिक्त ऊर्जा लाभ हो रहा हो तो उसके मान को क्रमशः घटाना या जोड़ना चाहिये।
7. विक्षुब्ध प्रवाह होने पर ऊर्जा हानि (कुछ ऊर्जा के ऊष्मा ऊर्जा में बदल जाने के कारण) का पद भी सम्मिलित किया जाता है।

उदाहरण 3.6. एक अग्निशामक पाइप (Fire Hose) के सिरे पर लगी नॉजल (Nozzle) से 30 m/sec की गति से एक प्रधार (Jet) निकल रही है जिसका व्यास 5 cm है। जेट की अश्वशक्ति (h.p) ज्ञात कीजिये।

हल—हम जानते हैं—

$$\text{जेट की अश्व शक्ति, h.p.} = \frac{w \cdot a \cdot v^3}{2g \times 75} \quad ...(i)$$

दिया है,

जेट की गति, $v = 30$ m/sec

जेट का व्यास, $d = 5$ cm

$\therefore$ जेट का काट क्षेत्रफल, $a = \frac{\pi}{4}(5)^2 \text{ cm}^2 = 0.001963 \text{ m}^2$

तथा पानी का अ० भार, $w = 1000 \text{ kg}_f/\text{m}^3$

अतः समीकरण (i) में मान रखने पर,

$$\text{h.p.} = \frac{1000 \times 0.001963 \times (30)^3}{2 \times 9.81 \times 75} = 36 \text{ HP}$$ उत्तर

उदाहरण 3.7. एक पाइप द्वारा 545 lit/sec की दर से 4 वायुमण्डल दाब पर पानी चढ़ाने के लिये आवश्यक अश्व शक्ति ज्ञात कीजिये।

हल—हम जानते हैं कि, 1 वायुमण्डल दाब $= 10 \text{ N/cm}^2$ लगभग

अतः 4 वायुमण्डल दाब $= 40 \text{ N/cm}^2 = 4 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

दिया है, विसर्जन, $Q = 545$ lit/sec या $0.545 \text{ m}^3/\text{sec}$

$$\text{अश्व शक्ति, h.p.} = \frac{pQ}{75g} = \frac{4 \times 10^5 \times 0.545}{75 \times 9.81}$$

$$= 296.29 \text{ HP} = 218.07 \text{ kW}$$

उदाहरण 3.8. एक द्रविक टरबाइन पर लगी नॉजल से 20 $\frac{\text{m}}{\text{sec}}$ के वेग से पानी का जेट निकल रहा है। जेट का व्यास 4 cm सेमी है तो जेट की अश्व शक्ति ज्ञात कीजिये।

हल—प्रश्नानुसार,

जेट की काट का क्षेत्रफल, $a = \frac{\pi}{4} \times 4^2 = 4\pi \text{ (cm)}^2 = 4\pi \times 10^{-4} \text{ m}^2$

पानी का आपेक्षिक भार, $w = 1000 \text{ kg}_f/\text{m}^3$

जेट का वेग, $v = 20$ m/sec

अब, जेट की अश्व शक्ति $= \frac{wav^3}{2g \times 75}$

$$= \frac{1000 \times 4\pi \times 10^{-4} \times (20)^3}{2 \times 9.81 \times 75} = \mathbf{6.832 \text{ H.P.}}$$

$= \mathbf{5.028}$ **kW** **उत्तर**

उदाहरण 3.9. एक बॉयलर में 147.15 N/cm² दाब पर पानी भरा हुआ है। यदि बॉयलर में पम्प द्वारा 250 litre पानी 4 min में भरा जाता है तो पम्प की अश्व शक्ति ज्ञात करिये। पम्प द्वारा प्रति मिनट किया गया कार्य भी ज्ञात करिये।

हल—प्रश्नानुसार, 4 मिनट में भरा गया पानी = 250 litre

∴ प्रति मिनट भरे गये पानी का भार, $W = \frac{250}{4} = 62.5$ litre $= 62.5 \times 9.81$ Newton

∵ 1 litre = 1000 (cm)³ = 1000 gm weight

= 1 kg = 9.81 Newton

पानी का दाब-शीर्ष (pressure head),

$$H = \frac{p}{w} = \frac{147.15 \times 10^4}{10^3 \times 9.81} = 150 \text{ m}$$

अब, पम्प की अश्व शक्ति $= \frac{WH}{4500g} = \frac{62.5 \times 9.81 \times 150}{4500 \times 9.81}$

= 2.083 अश्व शक्ति = 1.533 kW **उत्तर**

पम्प द्वारा प्रति मिनट किया गया कार्य (work done)

$= WH = 62.5 \times 9.81 \times 150 =$ **91.97 kN.m** **उत्तर**

उदाहरण 3.10. 4 cm व्यास के पाइप की काट किसी आधार रेखा से 6 m ऊँचाई पर है। पाइप के इस काट पर गेज दाब 34.335 N/cm² है और इसमें 2N/m² की औसत गति से पानी बह रहा है। सभी प्रकार की हानियाँ को नगण्य मानते हुए ज्ञात कीजिए (1) सम्पूर्ण शीर्ष कितना है? (2) आधार रेखा पर कितनी शक्ति हो सकती है?

हल—प्रश्नानुसार,

(1)

$$p = 34.335 \text{ N/cm}^2 = 34.335 \times 10^4 \text{ N/m}^2$$

∴ दाब शीर्ष $= \frac{p}{w} = \frac{34.335 \times 10^4}{10^3 \times 9.81} = 35 \text{ m}$

गतिज शीर्ष $= \frac{v^2}{2g} = \frac{(2)^2}{2 \times 9.81} = 0.203 \text{ m}$

आधार शीर्ष, $Z = 6$ m

$\therefore$ पानी का सम्पूर्ण शीर्ष, $H = Z + \frac{p}{w} + \frac{v^2}{2g}$

$= 6 + 35 + 0.203 = $ **41.203 m** उत्तर

(2) पाइप की काट से प्रति से० बहने वाले पानी का भार,

$$W = w \times a \times v$$

$$= 9.81 \times 1000 \times \frac{\pi}{4} \times (0.04)^2 \times 2$$

$$= 2.513 \text{ Newton}$$

$\therefore$ आधार रेखा पर प्राप्त कार्य $= WH$

तथा आधार रेखा पर प्राप्त शक्ति $= \frac{WH}{75g}$

$$= \frac{24.653 \times 41.203}{75 \times 9.81}$$

$=$ **1.38 अश्व शक्ति = 1.0157 kW** उत्तर

उदाहरण 3.11. एक क्षैतिज पाइप की सहायता से पानी एक सप्लाई टैंक (Supply tank) से एक चेम्बर में 9 m के स्थिर शीर्ष पर भेजा जाता है। चेम्बर में प्रवेश करने वाले पानी का वेग ज्ञात कीजिये, जब चेम्बर में दाब (i) 5.886 N/cm² गेज, (ii) 5.886 N/cm² निर्वात हो।

हल—प्रश्नानुसार,

(i) पानी का कुल शीर्ष (total head), $H = 9$ m

पानी की दाब तीव्रता (intensity of pressure), $p = 5.886 \text{ N/cm}^2$

$$= 5.886 \times 10^4 \text{ N/m}^2$$

यदि, $v =$ पाइप में पानी की गति, m/s में तब सम्पूर्ण-शीर्ष समीकरण, $H = Z + \frac{p}{w} + \frac{v^2}{2g}$ के अनुसार,

$$9 = 0 + \frac{5.886 \times 10^4}{10^3 \times 9.81} + \frac{v^2}{2 \times 9.81}$$

या $v^2 = 3 \times 2 \times 9.81$

या $v =$ **7.672 m/s** उत्तर

(पाइप की केन्द्रीय रेखा की यदि आधार-रेखा लें तो पानी के प्रवाह का स्थैतिक-शीर्ष शून्य होगा।)

(ii) चैम्बर में निर्वात तीव्रता, अर्थात् $p = -$ ve होगा।

पानी का कुल शीर्ष $= 9$ m

यदि पाइप में पानी v_1 m/s के वेग से बहता है तब सम्पूर्ण शीर्ष समीकरण,

$$H = Z + \frac{p_1}{w} + \frac{v_1^2}{2g} \text{ से,}$$

या
$$9 = 0 + \frac{-5.886 \times 10^4}{9.81 \times 10^3} + \frac{v_1^2}{2g}$$ [निर्वात तीव्रता को ऋण मानते हुए]

∴
$$v_1 = 17.155 \ \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$ **उत्तर**

उदाहरण 3.12. 7 cm व्यास के नल का एक काट खण्ड तल (Datum Level) से 7 m ऊँचाई पर है एवं 34.335 N/cm² के दबाव पर तथा 1.5 m/sec के वेग से उसमें जल प्रवाहित हो रहा है। हानियों की उपेक्षा करते हुए (i) सम्पूर्ण शीर्ष, (ii) दत्त (मानक) तल पर प्राप्य शक्ति की गणना करो।

हल—दिया है, $Z = 7$ m; $v = 1.5$ m/sec; $d = 7$ cm $= 0.07$ m

$p = 34.335 \text{ N/cm}^2 = 34.335 \times 10^4 \text{ N/m}^2$

∴
$$\text{सम्पूर्ण शीर्ष, } H = Z + \frac{p}{w} + \frac{v^2}{2g} = 7 + \frac{34.335 \times 10^4}{1000 \times 9.81} + \frac{(1.5)^2}{2 \times 9.81}$$
$$= \mathbf{42.1148 \ m}$$ **उत्तर**

दत्त तल पर प्राप्त शक्ति,

$$\text{h.p.} = \frac{W \times H}{75g} = \frac{w \times a \times v \times H}{75 \times 9.81}$$
$$= \frac{9.81 \times 1000 \times \frac{\pi}{4}(0.07)^2 \times 1.5 \times 42.1148}{75 \times 9.81}$$
$$= 3.24 \text{ H.P.} = \mathbf{2.384 \ kW}$$ **उत्तर**

उदाहरण 2.13. एक 75 m लम्बे क्षैतिज शुण्डाकार पाइप से 150 lit/sec की दर से पानी का विसर्जन होता है। पाइप का बड़ा सिरा 40 cm तथा छोटा सिरा 30 cm व्यास का है। बड़े सिरे पर पानी का दाब 14.715 N/cm² हो तो छोटे सिरे पर दाब ज्ञात कीजिये। शीर्ष हानियों को नगण्य मानिये।

हल—माना कि पानी का प्रवाह बड़े व्यास से छोटे व्यास की तरफ होता है। बड़े व्यास तथा छोटे व्यास पर मानिये कि आधार रेखा से पानी की ऊँचाई, दाब, गति तथा पाइप की काट का क्षेत्रफल क्रमश: Z_1, p_1, v_1, a_1 तथा Z_2, p_2, v_2, a_2 है—

अब,
$$a_1 = \frac{\pi}{4} \times (0.4)^2 = 0.12568 \text{ m}^2$$

$$\text{विसर्जन, } Q = 150 \text{ litre/s}$$
$$= 0.15 \text{ m}^3\text{/s}$$ [1000 litre = 1 m³]

$$v_1 = \frac{Q}{a_1} = \frac{0.15}{0.12568} = 1.1935 \ \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

अब
$$\text{पानी का दाब-शीर्ष, } \frac{p_1}{w} = \frac{14.715 \times 10^4}{10^3 \times 9.81} = 15 \text{ m}$$

सांतत्य समीकरण के अनुसार,

$$a_1 v_1 = a_2 v_2$$

या $$v_2 = \frac{a_1}{a_2} \times v_1$$

या $$v_2 = \left(\frac{40}{30}\right)^2 \times 1.1935 = 2.1217 \text{ m/sec}$$

अब पाइप के दोनों सिरों पर बरनॉली समीकरण का प्रयोग करने पर,

$$Z_1 + \frac{p_1}{w} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{w} + \frac{v_2^2}{2g}$$

क्योंकि पाइप क्षैतिज में है, इसलिये आधार रेखा से दोनों सिरों की ऊँचाई बराबर होगी। अत: $Z_1 = Z_2$

$$\therefore \quad \frac{p_1}{w} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{w} + \frac{v_2^2}{2g}$$

$$\frac{p_2}{w} = \frac{p_1}{w} + \frac{1}{2g}(v_1^2 - v_2^2)$$

$$= 15 + \frac{1}{19.62}[(1.1935)^2 - (2.1217)^2]$$

$$= 14.843 \text{ m (पानी का शीर्ष)}$$

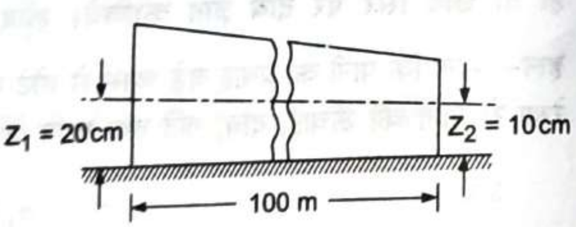
अब पानी का दाब, $p_2 = 14.843 \times 1000 \times 9.81 \text{ N/m}^2$

$= 145609.83 \text{ N/m}^2 = \mathbf{14.56 \text{ N/cm}^2}$ **उत्तर**

उदाहरण 3.14. 100 m लम्बी एक पाइप लाइन समतल भूमि पर बिछायी गई है। पाइप टेपरित है और उसका बड़ा सिरा 40 cm व्यास तथा छोटा सिरा 20 cm व्यास का है। पाइप में यदि 200 liter/s की दर से पानी बहता है तो दोनों सिरों पर दाब में अन्तर ज्ञात कीजिए।

हल—चित्र 3.20 में समतल भूमि पर पाइप लाइन दिखायी गई है।

समतल भूमि को आधार मानिये। तब बड़े सिरे पर आधार रेखा से पाइप की केन्द्रीय रेखा की ऊँचाई, $Z_1 = 20 \text{ cm} = 0.2 \text{ m}$



चित्र 3.23

इसी प्रकार, छोटे सिरे पर आधार रेखा से पाइप की केन्द्रीय रेखा की ऊँचाई

$$Z_2 = 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ m}$$

माना कि बड़े सिरे पर पानी का दाब, गति तथा काट का क्षेत्रफल क्रमश: p_1, v_1, a_1 और छोटे सिरे पर p_2, v_2, a_2 है।

तब विसर्जन, $Q = 200 \text{ litre/s} = 0.2 \text{ m/s}$

$$a_1 = \frac{\pi}{4} \times (0.4)^2 = 0.12568 \text{ m}^2$$

$$v_1 = \frac{Q}{a_1} = \frac{0.2}{0.12568} = 1.591 \text{ m/s}$$

सांतत्य समीकरण के अनुसार,

$$a_1 v_1 = a_2 v_2$$

$$v_2 = v_1\left(\frac{40}{20}\right)^2 = 1.591\left(\frac{40}{20}\right)^2 = 6.364 \text{ m/s}$$

पाइप के दोनों सिरों पर बरनॉली समीकरण का प्रयोग करने पर,

$$Z_1 + \frac{p_1}{w} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{w} + \frac{v_2^2}{2g}$$

या, दाब में अन्तर $\frac{p_1}{w} - \frac{p_2}{w} = (Z_2 - Z_1) + \frac{1}{2g}(v_2^2 - v_1^2)$

$$= (0.1 - 0.2) + \frac{(6.364)^2 - (1.591)^2}{2 \times 9.81}$$

$= \mathbf{1.835\ m}$ **(पानी का शीर्ष)** **उत्तर**

या, दाब में अन्तर $(p_1 - p_2) = \frac{1.835 \times 10^3 \times 9.81}{10^4} = \mathbf{1.8\ N/cm^2}$ **उत्तर**

उदाहरण 3.15. एक पाइप में 0.8 आ० गुरुत्व का द्रव प्रवाहित होता है। पाइप का एक व्यास काट X–X पर 20 cm है जो समान रूप से बढ़ते हुये काट Y–Y पर 30 cm हो जाता है। पाइप को नत स्थिति में इस प्रकार बिछाया गया है कि उसका निचला सिरा ऊपरी सिरे से 4 m नीचे है और इन सिरों पर पानी का दाब क्रमशः 8.829 N/cm² और 5.886 N/cm² है। यदि विसर्जन 150 litre/s हो तो सिरों के बीच शीर्ष हानि (loss of head) और प्रवाह की दिशा ज्ञात कीजिये।

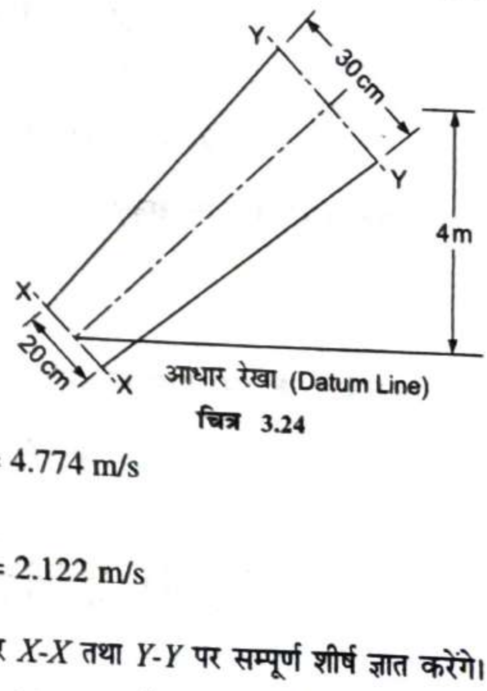
हल—चित्र 3.24 के अनुसार माना कि पाइप की काट X–X तथा Y–Y पर द्रव का दाब, गति, काट का क्षेत्रफल क्रमशः p_1, v_1, a_1 तथा p_2, v_2, a_2 है।

$$p_1 = 8.829 \times 10^4 \text{ N/m}^2$$

$$p_2 = 5.886 \times 10^4 \text{ N/m}^2$$

द्रव का आपेक्षिक भार, $w = 0.8 \times 1000 \times 9.81$

$$= 7848 \text{ N/m}^3$$



चित्र 3.24

सांतत्य समीकरण के अनुसार, $Q = a_1 v_1 = a_2 v_2$

$\therefore$
$$v_1 = \frac{Q}{a_1} = \frac{150 \times 10^{-3}}{0.03142} = 4.774 \text{ m/s}$$

तथा
$$v_2 = \frac{Q}{a_2} = \frac{150 \times 10^{-3}}{0.07069} = 2.122 \text{ m/s}$$

अब काट X-X के केन्द्र से गुजरती क्षैतिज रेखा को आधार रेखा मानकर X-X तथा Y-Y पर सम्पूर्ण शीर्ष ज्ञात करेंगे।

$$H_1 = Z_1 + \frac{p_1}{w} + \frac{v_1^2}{2g} = 0 + \frac{8.829 \times 10^4}{7848} + \frac{(4.774)^2}{2 \times 9.81}$$

$$= 12.41 \text{ m}$$

[आधार रेखा पर $Z_1 = 0$]

$$H_2 = Z_2 + \frac{p_2}{w} + \frac{v_2^2}{2g} = 4 + \frac{5.886 \times 10^4}{7848} + \frac{(2.122)^2}{2 \times 9.81}$$

$$= 11.73 \text{ mm}$$

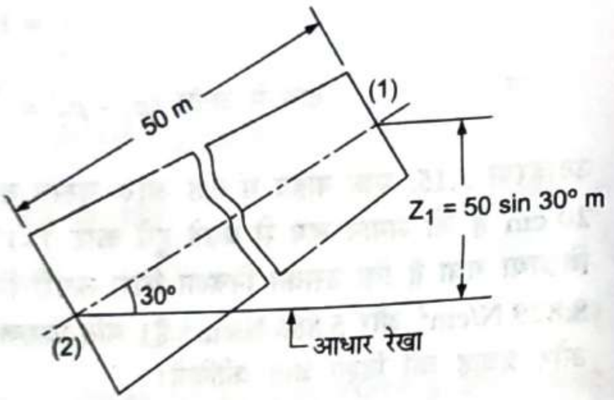
अब X-X तथा Y-Y के बीच शीर्ष हानि,

$$H = H_1 - H_2 = 12.41 - 11.73 = \mathbf{0.68\ m}$$ **उत्तर**

X-X पर सम्पूर्ण शीर्ष, H_1, Y-Y पर सम्पूर्ण शीर्ष H_2 से अधिक है, इसलिये द्रव नीचे से ऊपर की तरफ प्रवाहित होगा।

उदाहरण 3.16. 50 m लम्बा एक पाइप क्षैतिज से 30° के कोण पर झुकाकर बिछाया गया है। पाइप टेपरित है और इसके निचले सिरे का व्यास 30 cm से धीरे-धीरे घटते हुए ऊपरी सिरे पर 20 cm हो जाता है। निचले सिरे पर पानी का दाब 2.25 N/cm² है। यदि 150 lit/sec की दर से पाइप में पानी प्रवाहित किया जाना है, तो ऊपरी सिरे पर दाब ज्ञात कीजिये। सभी हानियों को नगण्य मानिये।

हल—चित्र 3.25 का सन्दर्भ लीजिये। मानाकि आधार रेखा से पानी की ऊँचाई, दाब, गति तथा काट का क्षेत्रफल, ऊपरी सिरे (1) तथा निचले सिरे (2) पर क्रमश: z_1, p_1, v_1, a_1 तथा z_2, p_2, v_2, a_2 है।



चित्र 3.25

विसर्जन, $Q = 150$ litre/s $= 0.15$ m³/sec

$$a_1 = \frac{\pi}{4} \times (0.2)^2 = 0.03142 \text{ m}^2;$$

$$v_1 = \frac{Q}{a_1} = \frac{0.15}{0.03142} = 4.77 \text{ m/s}$$

$$Z_1 = 50 \sin 30° = 50 \times \frac{1}{2} = 25 \text{ m}$$

सांतत्य समीकरण के अनुसार, $a_1 v_1 = a_2 v_2$

$$v_2 = v_1 \times \frac{(\pi/4)\, d_1^2}{(\pi/4)\, d_2^2} = 4.77 \times \left(\frac{20}{30}\right)^2 = 2.12 \text{ m/s}$$

अब पाइप के दोनों सिरों पर बरनॉली समीकरण का प्रयोग करने पर,

$$Z_1 + \frac{p_1}{w} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{w} + \frac{v_2^2}{2g}$$

$$25 + \frac{p_1}{w} + \frac{(4.77)^2}{2 \times 9.81} = 0 + \frac{25.5 \times 10^4}{10^3 \times 9.81} + \frac{(2.12)^2}{2 \times 9.81}$$

$$\frac{p_1}{w} = 0.07 \text{ m}$$

$$\therefore \quad p_1 = \frac{0.07 \times 1000 \times 9.81}{10^4} = \mathbf{0.0686\ N/cm^2}$$ **उत्तर**

उदाहरण 3.17. 0.75 आपेक्षिक घनत्व का तेल 15 cm व्यास के पाइप में से 10 $\frac{N}{cm^2}$ दाब पर बहता है। पाइप के केन्द्र से यदि डेटम (datum) 3 m नीचे हो एवं डेटम के सन्दर्भ में सम्पूर्ण ऊर्जा या शीर्ष 20 m हो तो विसर्जन निकालिये।

हल—प्रश्न के अनुसार,

$$p = 10 \times 10^4 \ \frac{N}{m^2}, Z = 3 \text{ m}$$

आ० भार, $W = 0.75 \times 1000 \times 9.81 = 7357.5$ N

(∵ द्रव की सम्पूर्ण ऊर्जा = द्रव का सम्पूर्ण शीर्ष)

अब सम्पूर्ण शीर्ष, $H = Z + \frac{p}{w} + \frac{v^2}{2g}$

या
$$20 = 3 + \frac{10 \times 10^4}{7357.5} + \frac{v^2}{2 \times 9.81}$$

∴
$$v = 8.17 \text{ m/sec}$$

∴ विसर्जन, $Q = a \times v = \frac{\pi}{4} \times (0.15)^2 \times 8.17$

$$= \mathbf{0.144 \ m^3/s}$$

उत्तर

उदाहरण 3.18. एक क्षैतिज शुण्डाकार (Tapering) पाइप में से 60 lit/sec की दर से विसर्जन (discharge) होता है। पाइप का प्रवेश पर व्यास 25 cm तथा निकास पर व्यास 15 cm है। यदि जल 10 N/s² के दाब पर नल में प्रवेश करता है तो ज्ञात कीजिये कि किस दाब पर पानी नल से निकलता है?

हल— $p_1 = 10 \text{ N/cm}^2 = 10 \times 10^4 \text{ N/m}^2$,

$Q = 60$ lit/sec $= 0.06$ m³/sec, $d_1 = 25$ cm $= 0.25$ m; $d = 15$ cm $= 0.15$ m

∴
$$v_1 = \frac{Q}{a_1} = \frac{0.06}{\frac{\pi}{4}(0.25)^2} = 1.22 \text{ m/sec}$$

$$v_2 = \frac{Q}{a_2} = \frac{0.06}{\frac{\pi}{4}(0.15)^2} = 3.398 \text{ m/sec}$$

पाइप की केन्द्रीय अक्ष को मानक या आधार तल (Datum Level) मानने पर अर्थात् $Z_1 = Z_2 = 0$, और प्रवेश (1) तथा निकास (2) पर बरनॉली समीकरण से,

$$Z_1 + \frac{p_1}{w} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{w} + \frac{v_2^2}{2g}$$ में मान रखने पर

या
$$0 + \frac{10 \times 10^4}{1000 \times 9.81} + \frac{(1.22)^2}{2 \times 9.81} = 0 + \frac{p_2}{1000 \times 9.81} + \frac{(3.398)^2}{2 \times 9.81}$$

या
$$p_2 = 93.05 \text{ kN/m}^2 = \mathbf{9.3 \ N/cm^2}$$

उत्तर

उदाहरण 3.19. एक क्षैतिज नल के दो खण्डों पर व्यास 7.5 cm और 15 cm है और दाब तीव्रता क्रमशः 3.4335 N/cm² और 4.9 N/cm² है। यदि विसर्जन 60 litre/min हो तो प्रवाह की दिशा ज्ञात करो।

हल— $d_1 = 7.5 \text{ cm} = 0.075 \text{ m}, \quad \therefore a_1 = \frac{\pi}{4}(0.075)^2 = 0.0044 \text{ m}^2$

$d_2 = 15 \text{ cm} = 0.15 \text{ m}, \quad \therefore a_2 = \frac{\pi}{4}(0.15)^2 = 0.0176 \text{ m}^2$

विसर्जन, $Q = 60 \text{ lit/min} = \frac{60 \times 10^{-3}}{60} \text{ m}^3/\text{sec} = 0.001 \text{ m}^3/\text{sec}$

तथा $p_1 = 3.4335 \text{ N/cm}^2 = 3.4335 \times 10^4 \text{ N/m}^2$

$p_2 = 4.9 \text{ N/cm}^2 = 4.9 \times 10^4 \text{ N/m}^2$

क्षैतिज पाइप के केन्द्रीय अक्ष को आधार तल मानने पर, $Z_1 = Z_2 = 0$

खण्ड (1) पर सम्पूर्ण शीर्ष, $H_1 = Z_1 + \frac{p_1}{w} + \frac{v_1^2}{2g}$ से,

$$H_1 = 0 + \frac{3.4335 \times 10^4}{1000 \times 9.81} + \frac{(Q/a_1)^2}{2g} = 3.5026 \text{ m}$$

खण्ड (2) पर सम्पूर्ण शीर्ष, $H_2 = Z_2 + \frac{p_2}{w} + \frac{v_2^2}{2g}$ से,

$$H_2 = 0 + \frac{4.9 \times 10^4}{9.81 \times 1000} + \frac{(Q/a_2)^2}{2g}$$

$$= 5.00016 \text{ m}$$ उत्तर

हम देखते हैं कि H_2 का मान H_1 से बड़ा है अतः **प्रवाह दूसरे खण्ड से पहले खण्ड की दिशा में होगा।**

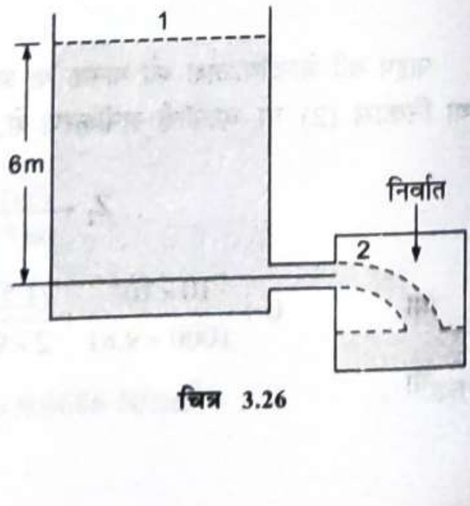
उदाहरण 3.20. किसी कक्ष में दाब 6.867 N/cm² निर्वात (Vaccum) है उसमें एक सम्भरण टंकी (supply tank) से पानी प्रवाहित हो रहा है। यदि सम्भरण टंकी के जल का तल निर्वात कक्ष से 6 m ऊँचाई पर हो तो कक्ष में प्रवेश के समय पानी का वेग ज्ञात कीजिए।

हल—दिया है, कक्ष के दाब, $p = 6.867 \text{ N/cm}^2$ निर्वात

$\therefore$ परम दाब, p_2 = वायुमण्डल का दाब − निर्वात दाब, p

$= 10.135 - 6.867 = 3.268 \text{ N/cm}^2$

$= 3.268 \times 10^4 \text{ N/m}^2$



चित्र 3.26

जल के निर्वात कक्ष में, प्रवेश बिन्दु (2) को आधार तल माना तथा इस बिन्दु पर वेग v_2 माना। सम्भरण टंकी के स्वतन्त्र तल पर बिन्दु (1) लिया जिस पर जल की गति v_1 = शून्य होगी तथा दाब (वायुमण्डलीय) $= 10.135 \text{ N/cm}^2 = 10.135 \times 10^4 \text{ N/m}^2$ होगा।

बिन्दु (1) तथा (2) पर बरनॉली प्रमेय से,

$$Z_1 + \frac{p_1}{w} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{w} + \frac{v_2^2}{2g}$$

मान रखने पर,

$$6 + \frac{10.135 \times 10^4}{1000 \times 9.81} + 0 = 0 + \frac{3.268 \times 10^4}{1000 \times 9.81} + \frac{v_2^2}{2 \times 9.81}$$

$$v_2^2 = 255.06$$

या

$$v_2 = \mathbf{15.97\ m/sec}$$ उत्तर

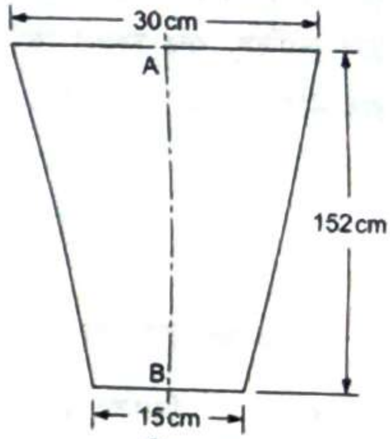
उदाहरण 3.21. एक शुण्डाकार ऊर्ध्वाधर तल एक पाइप लाइन का भाग है। नल के एक बिन्दु A पर नल का व्यास 30 cm तथा दबाव तीव्रता 2.8 N/cm² है। बिन्दु A से 152 cm नीचे एक दूसरे बिन्दु B पर व्यास 15 cm है। पाइप लाइन से प्रवाह की दर 112 litre/sec है। ऊर्जा की सभी हानियों की उपेक्षा करते हुए बिन्दु B पर दबाव ज्ञात करो।

हल—दिया है, बिन्दु A के लिये $d = 30$ cm $= 0.30$ m,

$$p_1 = 2.8\ \text{N/cm}^2 = 2.8 \times 10^4\ \text{N/m}^2$$

तथा बिन्दु B के लिये, $d = 15$ cm $= 0.15$ m, p_2 ज्ञात करना है। (देखें चित्र 3.27)

विसर्जन, $Q = 112$ lit/sec $= 0.112$ m³/sec बिन्दु B की क्षैतिज अक्ष को आधार तल मानते हुए, $Z_1 = 152$ cm $= 1.52$ m तथा $Z_2 = 0$, अतः बिन्दु A तथा B पर बरनॉली प्रमेय के अनुसार,



चित्र 3.27

$$Z_1 + \frac{p_1}{w} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{w} + \frac{v_2^2}{2g}$$ में मान रखने पर,

$$1.52 + \frac{2.8 \times 10^4}{9.81 \times 1000} + \frac{\left(\frac{Q}{a_1}\right)^2}{2 \times 9.81} = 0 + \frac{p_2}{1000 \times 9.81} + \frac{\left(\frac{Q}{a_2}\right)^2}{2 \times 9.81}$$

मान रखकर हल करने पर,

$$p_2 = 2447\ \text{kg}_f/\text{m}^2$$

या

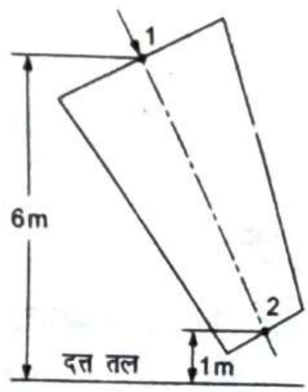
$$= \mathbf{0.2447\ kg_f/cm^2}$$

∴

$$p_2 = \mathbf{2.4\ N/cm^2}$$ उत्तर

उदाहरण 3.22. किसी आनत तल (Inclined Pipe) के दोनों सिरों पर दाब शीर्ष 9 m है। एक आधार रेखा (Datum Line) से तल के ऊपरी सिरे की ऊँचाई 6 m तथा निचले सिरे की ऊँचाई 1 m है और इन सिरों के अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल क्रमशः 0.6 m² तथा 0.4 m² है। यदि नल से विसर्जन की दर 1000 litre/sec हो तो प्रति इकाई भार बहते हुये जल में ऊर्जा की हानि ज्ञात कीजिये।

हल—दिया है, प्रश्न तथा चित्र 3.28 के अनुसार,



चित्र 3.28

$$Z_1 = 6\ \text{m}; \quad Z_2 = 1\ \text{m}$$

$$a_1 = 0.6\ \text{m}^2; \quad a_2 = 0.4\ \text{m}^2$$

$$\frac{p_1}{w} = \frac{p_2}{w} = 9\ \text{m}$$

तथ.
$$Q = 10000 \text{ lit/sec} = 1 \text{ m}^3\text{/sec}$$

$$\therefore \quad v_1 = \frac{Q}{a_1} = \frac{1}{0.6} = 0.166 \text{ m/sec}$$

तथा
$$v_2 = \frac{Q}{a_2} = \frac{1}{0.4} = 0.25 \text{ m/sec}$$

अत: बहते जल की ऊर्जा हानि = बिन्दु (1) तथा (2) के सम्पूर्ण ऊर्जा में अन्तर

$$\therefore \quad \text{ऊर्जा हानि} = \left(Z_1 + \frac{p_1}{w} + \frac{v_1^2}{2g}\right) - \left(Z_2 + \frac{p_2}{w} + \frac{v_2^2}{2g}\right)$$

$$= \left[6 + 9 + \frac{(1.66)^2}{2 \times 9.81}\right] - \left[1 + 9 + \frac{(2.5)^2}{2 \times 9.81}\right]$$

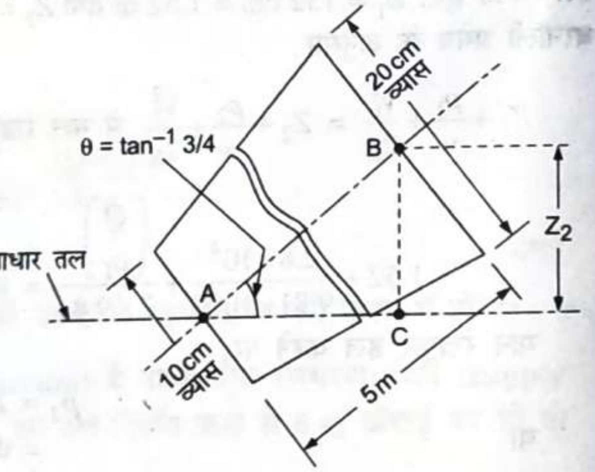
$$= 4.823 \text{ m}$$ **उत्तर**

उदाहरण 3.23. एक टेपर युक्त पाइप (Tapered Pipe) का व्यास निचले सिरे पर 10 cm तथा दूसरे सिरे पर 20 cm है। पाइप 5 m लम्बा है। यदि पाइप क्षैतिज से $\tan^{-1}\left[\frac{3}{4}\right]$ कोण पर झुका है तो दोनों सिरों पर दाबान्तर ज्ञात कीजिए, यदि निचले सिरे पर पानी का वेग 1 m/sec है।

हल—बिन्दु A पर, $Z_1 = 0$

$d_1 = 19 \text{ cm} = 0.19 \text{ m}$

$\therefore \quad a_1 = \frac{\pi}{4}(0.19)^2 = 0.0283 \text{ m}^2$



चित्र 3.29

$\frac{p_1}{w}$ = दाब शीर्ष तथा $v_1 = 1$ m/sec (प्रश्नानुसार)

अत: विसर्जन, $Q = a_1 v_1 = 0.0283 \times 1$

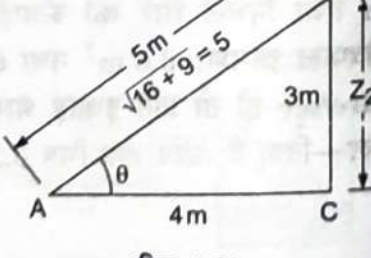
$= 0.0283 \text{ m}^3\text{/sec}$

बिन्दु B पर, $d_2 = 20 \text{ cm} = 0.20 \text{ m},$

$\therefore \quad a_2 = \frac{\pi}{4}(0.2)^2 = 0.0314 \text{ m}^2$

$\frac{p_2}{w}$ = दाब शीर्ष,

तथा $v_2 = \frac{Q}{a_2} = \frac{0.0283}{0.0314} = 0.90 \text{ m/sec}$



चित्र 3.30

और चित्र 3.30 द्वारा चूँकि $AB = 5$ m

दिया है अत:, $Z_2 = 5 \sin\theta = 5 \times \frac{3}{5} = 3 \text{ m}$

बिन्दु A तथा B पर बरनॉली प्रमेय लगाने पर,

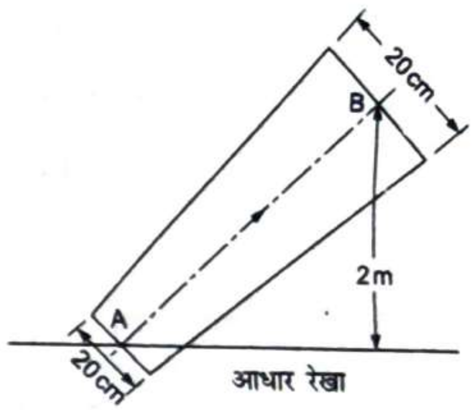
$$Z_1 + \frac{p_1}{w} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{w} + \frac{v_2^2}{2g}$$

$$0 + \frac{p_1}{w} + \frac{(1)^2}{2 \times 9.81} = 3 + \frac{p_2}{w} + \frac{(0.90)^2}{2 \times 9.81}$$

या

$$\frac{p_1}{w} - \frac{p_2}{w} = 3 + \frac{0.81}{19.62} - \frac{1}{19.62} = \mathbf{2.99\ m}$$ उत्तर

उदाहरण 3.24. एक पाइप लाइन का व्यास धीरे-धीरे A से B तक 10 cm से 20 cm बढ़ जाता है। B, A से 2 m की ऊँचाई पर है। पाइप में 0.85 विशिष्ट गुरुत्व वाले तेल का विसर्जन 150 litre/sec है और इस विसर्जन पर A का दाब 6.86 N/cm^2 है। हानियों को ऩगण्य मानकर B पर दाब ज्ञात कीजिये।



चित्र 3.31

हल—बिन्दु A पर,

$$d_1 = 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ m}$$

$$\therefore \quad a_1 = \frac{\pi}{4}(0.1)^2 = 0.00785 \text{ m}^2$$

$$Z_1 = 0, \ p_1 = 6.86 \text{ N/cm}^2 = 6.86 \times 10^4 \text{ N/m}^2$$

विसर्जन, $Q = 1.50$ lit/sec $= 0.15$ m^3/sec

$$\therefore \quad v_1 = \frac{Q}{a_1} = \frac{0.15}{0.00785} = 19.1 \text{ m/sec}$$

तेल का आपेक्षिक भार $= 0.8 \times 1000 \times 9.81 = 7848$ N/m^3

बिन्दु B पर, $d_2 = 20$ cm $= 0.2$ m

$$\therefore \quad a_2 = \frac{\pi}{4}(0.2)^2 = 0.0314 \text{ m}^2$$

$$\therefore \quad v_2 = \frac{Q}{a_2} = \frac{0.15}{0.0314} = 4.77 \text{ m/sec}$$

$Z_2 = 2$ m तथा दाब-तीव्रता, $p_2 =$ N/m^2 में मानते हुए,

$$Z_1 + \frac{p_1}{w} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{w} + \frac{v_2^2}{2g} \text{ से,}$$

$$0 + \frac{6.86 \times 10^4}{7848} + \frac{(19.1)^2}{2 \times 9.81} = 2 + \frac{p_2}{7848} + \frac{(4.77)^2}{2 \times 9.81}$$

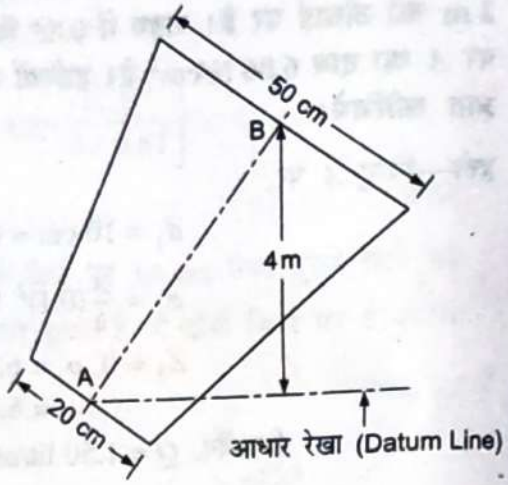
$$\therefore \quad p_2 = 66529 \text{ N/m}^2 = \mathbf{6.65\ N/cm^2}$$ उत्तर

उदाहरण 3.25. एक पाइप लाइन, जिसमें 0.87 आपेक्षिक घनत्व का तेल बहता है, का मान एक स्थान जहाँ पर 20 cm व्यास है, से दूसरे स्थान जिसका व्यास 50 cm है, में परिवर्तित होता है। बाद वाला स्थान पहले वाले से 4 m ऊँचा है। इन स्थानों पर दाब क्रमशः 9.8 N/cm^2 एवं 5.886 N/cm^2 है एवं विसर्जन 200 litre/sec है, शीर्ष हानि एवं बहाव दिशा ज्ञात करिये।

हल—बिन्दु A पर,
$$d_1 = 20 \text{ cm} = 0.2 \text{ m}$$

$$\therefore \quad a_1 = \frac{\pi}{4}(0.2)^2 = 0.031415 \text{ m}^2$$
$$Q = 200 \text{ lit/sec} = 0.2 \text{ m}^3\text{/sec}$$
$$\therefore \quad v_1 = \frac{Q}{a_1} = \frac{0.2}{0.031415} = 6.36 \text{ m/sec, तथा } Z_1 = 0 \text{ m}$$
$$\frac{p_1}{w} = \frac{9.8 \times 10^4}{0.87 \times 1000 \times 9.81} = 11.49 \text{ m}$$

बिन्दु B पर, $d_2 = 50$ cm $= 0.5$ m,
$$a_2 = \frac{\pi}{4}(0.5)^2 = 0.19635 \text{ m}^2$$
$$\therefore \quad v_2 = \frac{Q}{a_2} = \frac{0.2}{0.19635}$$
$$= 1.01 \text{ m/sec}; Z_2 = 4 \text{ m}$$
$$\frac{p_2}{w} = \frac{5.886 \times 10^4}{0.87 \times 1000 \times 9.81} = 6.89 \text{ m},$$



चित्र 3.32

बिन्दु A पर सम्पूर्ण शीर्ष,
$$H_1 = Z_1 + \frac{p_1}{w} + \frac{v_1^2}{2g} \text{ से}$$
$$= 0 + 11.49 + \frac{(6.36)^2}{2 \times 9.81} = 13.55 \text{ m}$$

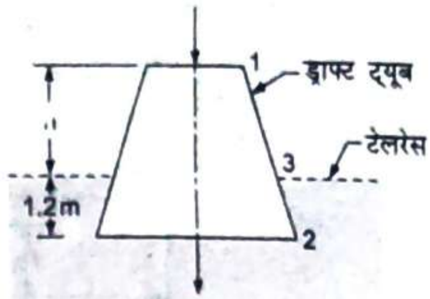
बिन्दु B पर सम्पूर्ण शीर्ष,
$$H_2 = Z_2 + \frac{p_2}{w} + \frac{v_2^2}{2g} \text{ से}$$
$$= 4 + 6.89 + \frac{(1.01)^2}{2 \times 9.81} = 10.942 \text{ m}$$

$\because H_1$ का मान H_2 से अधिक है अत: प्रवाह की दिशा A से B की तरफ होगी अर्थात् 20 cm व्यास वाले सिरे से 50 cm. व्यास वाले सिरे की ओर होगी तथा शीर्ष हानि
$$H_2 - H_2 = 13.55 - 10.942 = \mathbf{2.608 \text{ m}}$$ उत्तर

उदाहरण 3.26. एक कपलान टरबाइन की ऊर्ध्वाधर शंक्वाकार ड्राफ्ट ट्यूब से पानी के प्रवाह की दर 17.5 m²/sec है। ड्राफ्ट ट्यूब की टरबाइन रनर के पास वाले सिरे का व्यास 2.5 m तथा निकास पर औसत वेग 1.5 m/s है। यदि ट्यूब प्रवेश पर दाब – 6.867 N/cm² से कम न हो तो टेल-रेस से ऊपर ट्यूब की ऊँचाई क्या होगी। घर्षण के प्रभाव को नगण्य मानें तथा यह भी मानें कि ड्राफ्ट ट्यूब का निकास से टेल-रेस के तल से 1.2 m नीचे है।

हल—(देखें चित्र 3.33) ड्राफ्ट ट्यूब के प्रवेश तथा निकास पर बरनौली समीकरण लगाने पर,

$$\frac{v_1^2}{2g}+\frac{p_1}{w}+Z_1=\frac{v_2^2}{2g}+\frac{p_2}{w}+Z_2$$



चित्र 3.33

जहाँ $v_1=\frac{17.5}{\frac{\pi}{4}(2.5)^2}=3.57$ m/s,

$v_2=1.5$ m/s,

$$\frac{p_1}{w}=\frac{-6.867\times10^4}{1000\times9.81}=-7.0 \text{ m}$$

तथा $\frac{p_2}{w}=1.2$ m

माना टेल रेस तल स ऊपर ट्यूब की ऊचाई h मीटर है। ट्यूब के निकास को आधार रेखा मानने पर $Z_1=(h+1.2)$ मी०, $Z_2=0$

$$\therefore \quad \frac{(3.57)^2}{2\times9.81}-7.0+(h+1.2)=\frac{(1.5)^2}{2\times9.81}+1.2+0$$

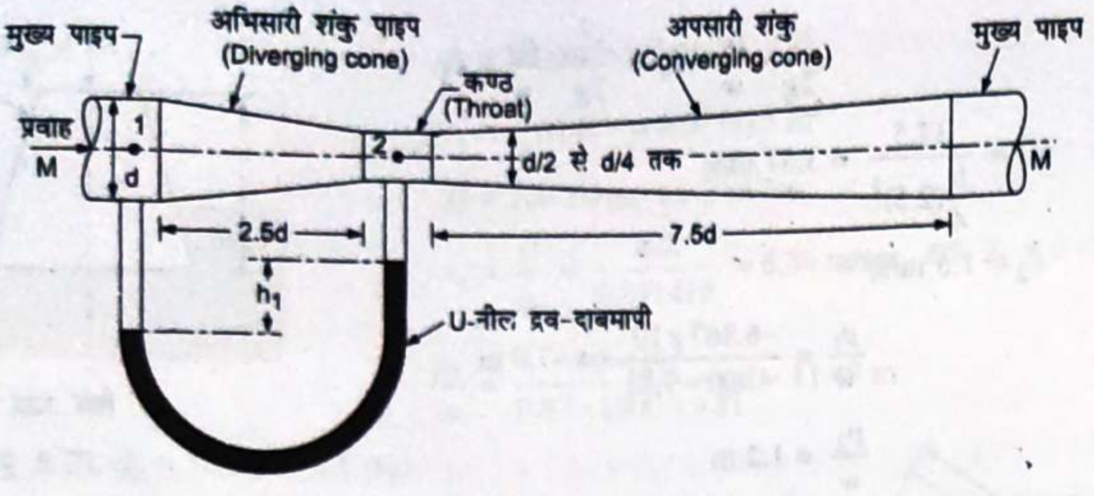
हल करने पर $h=\mathbf{6.465}$ **m** उत्तर

§ 3.14. बरनॉली प्रमेय के व्यावहारिक उपयोग (Practical Applications of Bernaulli's Theorem):

बरनॉली प्रमेय की मदद से द्रव प्रवाह के अनेक प्रश्नों जैसे पाइप, खुली नाली, द्रव की स्वतन्त्र जेट आदि से सम्बन्धित प्रश्नों को हल किया जाता है। बरनॉली प्रमेय का अधिकतम उपयोग द्रव विसर्जन मापने वाले उपकरणों को बनाने में किया जाता है। ये उपकरण निम्नलिखित हैं—(i) वेन्चुरीमापी (Venturimeter) (ii) पिटॉट नली (Pitot tube) (iii) प्रेन्डटल ट्यूब (Prandtl tube), (4) ऑरिफिस प्लेट (Orifice plate) (5) प्रवाह नॉजल (Flow nozzle)

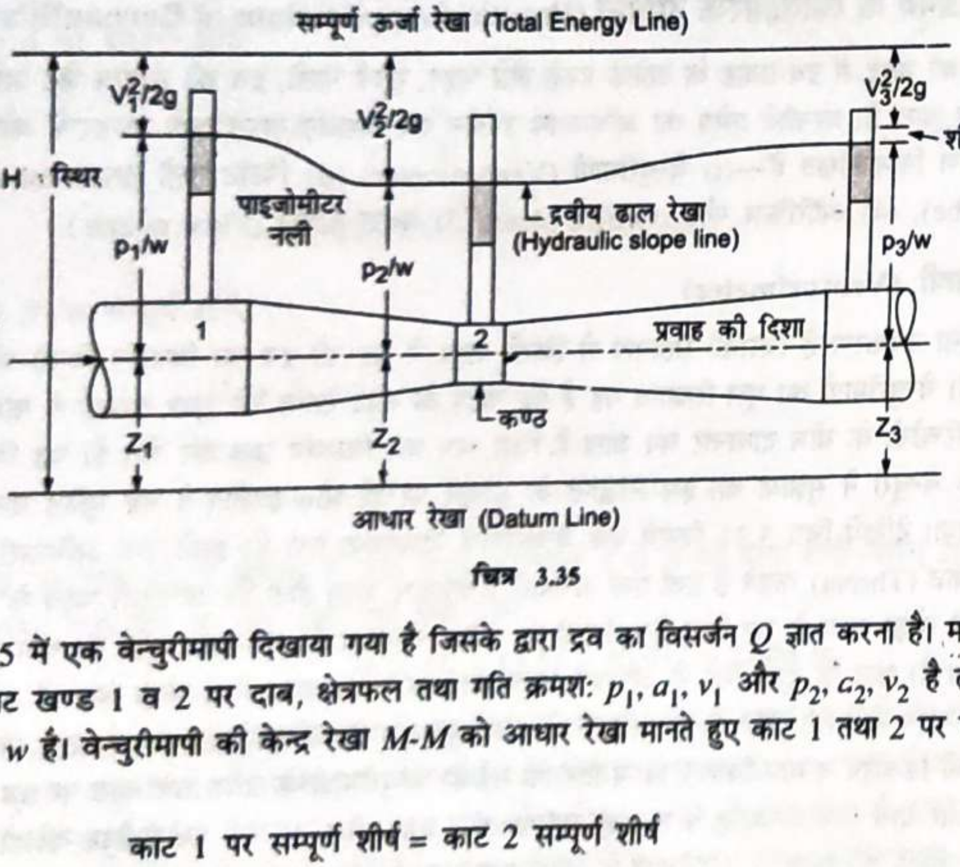
3.14.1. वेन्चुरीमापी (Venturimeter)

वेन्चुरीमापी ऐसा उपकरण है जिसकी सहायता से किसी पाइप में बह रहे द्रव का विसर्जन किसी भी बिन्दु पर ज्ञात किया जा सकता है। वेन्चुरीमापी का मूल सिद्धान्त यह है कि पाइप के काट खण्ड को कुछ लम्बाई में कम कर दें तो वेग बढ़ने के कारण परिच्छेदों के बीच दाबान्तर बन जाता है जिसे माप कर विसर्जन ज्ञात कर लेते हैं। यह सिद्धान्त इटली के वैज्ञानिक जी० बी० वेन्चुरी ने सुझाया था। इस सिद्धान्त के आधार पर ही सी० हरशैल ने यह युक्ति बनाई जिसका नाम वेन्चुरीमापी रखा गया। देखिये चित्र 3.34 जिसमें एक वेन्चुरीमापी दिखलाया गया है। इसमें एक अभिसारी शंक्वाकार एक सीधा पाइप जिसे कंठ (Throat) कहते हैं तथा एक अपसारी शंक्वाकार पाइप होता है। अभिसारी पाइप के बड़े व्यास वाला सिरा मुख्य पाइप से जोड़ा जाता है, यह सिरा वेन्चुरीमापी का प्रवेश कहलाता है। अभिसारी पाइप का कम व्यास वाला सिरा कण्ठ से जुड़ा होता है। कंठ के दूसरे सिरे से अपसारी पाइप का कम व्यास वाला सिरा जोड़ा जाता है और अधिक व्यास वाला सिरा मुख्य पाइप से जोड़ा जाता है। वेन्चुरीमापी के तीनों मुख्य भागों अभिसारी शंक्वाकार पाइप, कंठ तथा अपसारी शंक्वाकार पाइप की डिजाइन व माप चित्र 3.34 में दिखायी गई है। वेन्चुरीमापी के प्रवेश तथा कंठ पर द्रव की गति क्रमशः कम तथा ज्यादा और दाब क्रमशः ज्यादा व कम हो जायेगा। कंठ तथा प्रवेश पर लगी पाइजोमीटर नलियों की मदद से या भेद सूचक द्रव दाबमापी की मदद से वेन्दुरीमापी के प्रवेश तथा कंठ के बीच दाबान्तर ज्ञात किया जाता है। भारतीय मानक संस्थान, (I.S.I.) के कोड "IS : 4477 (भाग 1)-1967 वेन्चुरीमीटर" में इस युक्ति की **रचना, स्थापन और अंशांकन** (Calibration) का वर्णन किया गया है।



चित्र 3.34

वेन्चुरीमापी में कंठ तथा प्रवेश के व्यास के माप चित्र 3.34 में दिखाये गये हैं। वेन्चुरीमापी के प्रवेश पर अभिसारी शंकु का कोण (angle) लगभग 20 से 30° तक तथा निकास शंकु (अपसारी शंकु) का कोण 5° से 14° तक रखा जाता है और तब क्रमश: आकस्मिक संकुचन व वर्धन न होने से शीर्ष हानि कम होती है। वेन्चुरीमापी का माप (size) या तो जिस पाइप में इसे लगाना होता है, के व्यास द्वारा दी जाती है, या फिर प्रवेश और कंठ के व्यास के मानों के द्वारा जैसे 20 cm × 10 cm अर्थात् प्रवेश व कण्ठ के व्यास क्रमश: 20 cm तथा 10 cm हैं।



चित्र 3.35

चित्र 3.35 में एक वेन्चुरीमापी दिखाया गया है जिसके द्वारा द्रव का विसर्जन Q ज्ञात करना है। माना प्रवेश तथा कण्ठ पर क्रमश: काट खण्ड 1 व 2 पर दाब, क्षेत्रफल तथा गति क्रमश: p_1, a_1, v_1 और p_2, a_2, v_2 है तथा बह रहे द्रव का आपेक्षिक भार w है। वेन्चुरीमापी की केन्द्र रेखा M-M को आधार रेखा मानते हुए काट 1 तथा 2 पर बरनॉली प्रमेय लगाने पर,

काट 1 पर सम्पूर्ण शीर्ष = काट 2 सम्पूर्ण शीर्ष

$$\frac{p_1}{w}+\frac{v_1^2}{2g}=\frac{p_2}{w}+\frac{v_2^2}{2g} \qquad (\because Z_1 = Z_2 = 0)$$

या
$$\frac{p_1}{w} - \frac{p_2}{w} = \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} = \frac{1}{2g}(v_2^2 - v_1^2)$$

परन्तु $\frac{p_1}{w} - \frac{p_2}{w} = H$ तथा सांतत्य समीकरण, $Q = a_1 v_1 = a_2 v_2$ से,

$$v_1 = \frac{Q}{a_1}$$

तथा
$$v_2 = \frac{Q}{a_2}$$

अत:
$$\frac{p_1}{w} - \frac{p_2}{w} = H = \frac{1}{2g}[v_2^2 - v_1^2] = \frac{1}{2}\left[\left(\frac{Q}{a^2}\right)^2 - \left(\frac{Q}{a_1}\right)^2\right]$$

या
$$H = \frac{Q^2}{2g}\left[\frac{a_1^2 - a_2^2}{a_1^2 a_2^2}\right]$$

या
$$Q = \frac{a_1 a_2}{\sqrt{(a_1^2 - a_2^2)}} \times \sqrt{(2gH)}$$

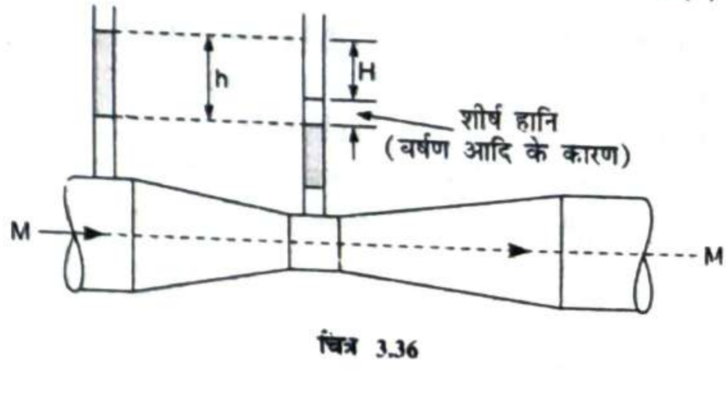
या
$$Q = K\sqrt{H}$$

जहाँ, K = **वेन्चुरीमापी स्थिरांक** $= \frac{a_1 a_2 \sqrt{(2g)}}{\sqrt{(a_1^2 - a_2^2)}}$

क्योंकि **K का मान वेन्चुरीमापी के आकार तथा स्थान पर निर्भर करता है** अत: किसी स्थान पर उस वेन्चुरीमापी का K का मान हमेशा स्थिर रहेगा। अत: विसर्जन Q का मान निम्न समीकरण द्वारा ज्ञात कर सकते हैं यदि वेन्चुरीमापी में घर्षण आदि हानियों को नगण्य माना जाये तो

$$Q = K\sqrt{H} \quad ...(1)$$

परन्तु वास्तव में दाबान्तर H का मान वेन्चुरीमापी में घर्षण आदि के कारण अधिक ही होगा। देखिये चित्र 3.36। अत: विसर्जन Q का मान भी अधिक ही प्राप्त होगा। इस त्रुटि को दूर करने के लिये गुणांक C का (या Cd का) प्रयोग करते हैं जिसे **विसर्जन गुणांक** (Coefficient of Discharge) या मीटर गुणांक कहते हैं। C का मान 0.96 से 0.978 के बीच अधिकतम रहता है। अत: समीकरण (i) का रूप निम्न प्रकार होगा—



चित्र 3.36

$$Q = CK\sqrt{h}$$ = वेन्चुरी शीर्ष (Venturi Head)
= वास्तविक मापा गया शीर्षान्तर

यदि भेदसूचक द्रव मापी का प्रयोग किया जाये तो

$$h = x\,(S - 1)$$

जहाँ x = दाबमापी द्रव के तलों में अन्तर

तथा $$S = \frac{\text{दाबमापी में भरे द्रव का आपेक्षिक भार } (S_2)}{\text{वेन्चुरीमापी में बहे रहे द्रव का आ० भार } (S_1)}$$

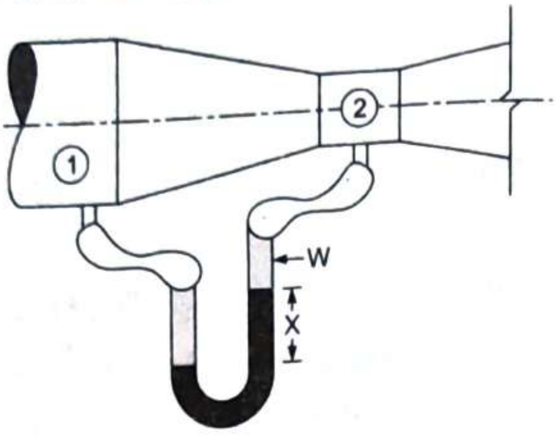
निष्कर्ष—वेन्चुरीमापी से बह रहे द्रव का विसर्जन

$$Q = CK\sqrt{(h)}$$

या $$Q = \frac{Ca_1 a_2 \sqrt{(2g)}}{\sqrt{a_1^2 - a_2^2}} \times \sqrt{h}$$

$$Q = \frac{C \times a_1 \times \sqrt{(2gh)}}{\sqrt{(a_1/a_2)^2 - 1}}$$

$$Q = \frac{C(\pi/4)(d_1)^2 \sqrt{2gh}}{\sqrt{(d_1/d_2)^4 - 1}}$$



चित्र 3.37

जहाँ d_1 = प्रवेश पर पाइप का व्यास तथा d_2 = कंठ पर व्यास है

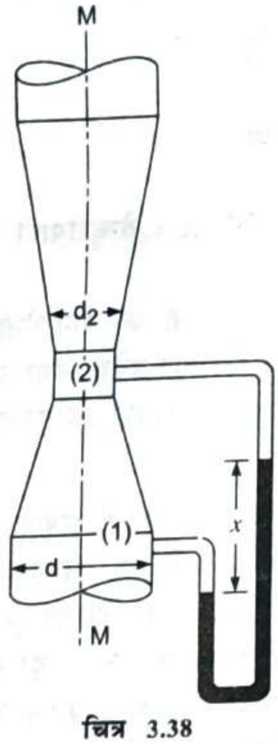
जहाँ $h = \frac{p_1}{w} - \frac{p_2}{w}$ (पाइजोमीटर नालियों के प्रयोग में)

या $h = x\left(\frac{S_2}{S_1} - 1\right)$,

वेन्चुरीमापी द्वारा विसर्जन मापते समय ली गई मान्यतायें—

1. वेन्चुरीमापी में द्रव पूरा भरकर बहता है तथा द्रव का प्रवाह असम्पीड्य है।

2. कंठ पर दाब, द्रव के वाष्प दाब से अधिक रहता है। कंठ पर दाब कम हुआ तो कंठ में द्रव का वाष्पीकरण हो जायेगा या पृथक्कीकरण हो जायेगा। पानी के वाष्प का दाब 2.5 मीटर (परम) होता है।



चित्र 3.38

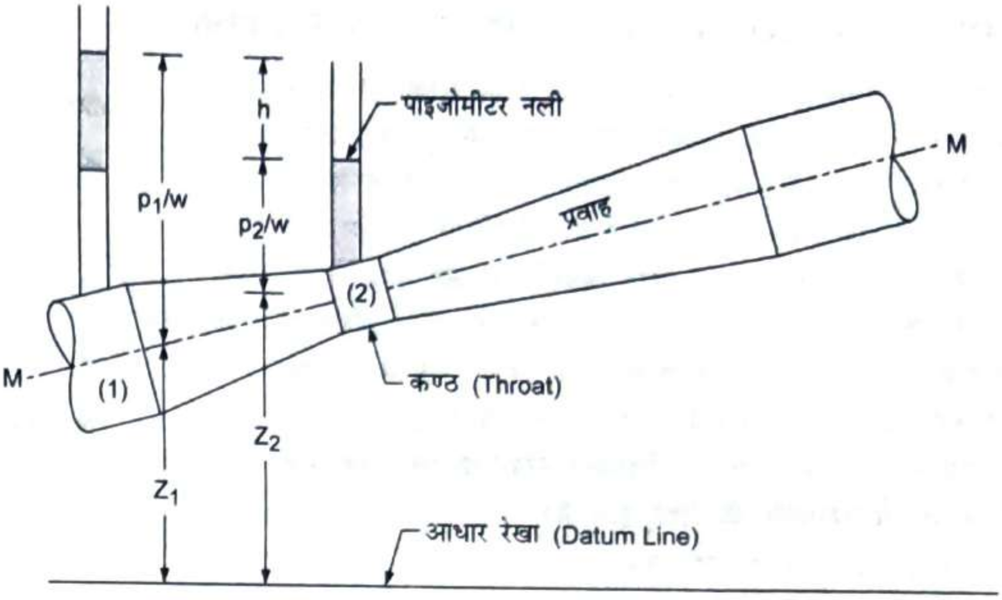
आनत वेन्चुरीमापी (Inclined Venturimeter) द्वारा विसर्जन मापना--यदि वेन्चुरीमापी को झुके हुए या आनत पाइप में जोड़ा जाता है तो वेन्चुरीमापी अपने प्रायोगिक स्थिति के आधार पर आनत वेन्चुरीमापी कहलाता है। अत: चित्र 3.39 के अनुसार काट 1 तथा 2 पर यदि आधार रेखा से स्थैतिक शीर्ष क्रमशः Z_1 तथा Z_2 तथा शेष वही माप हैं जो क्षैतिज वेन्चुरीमापी की स्थिति में थी तो काट 1 तथा 2 पर बरनॉली प्रमेय लगाने पर,

$$Z_1 + \frac{p_1}{w} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_1 + \frac{p_2}{w} + \frac{v_2^2}{2g}$$

या $$h = \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} = \left(Z_1 + \frac{p_1}{w}\right) - \left(Z_2 - \frac{p_2}{w}\right)$$ (देखिये चित्र 3.39 में)

= सभी झुकाव कोणों के लिए स्थिर

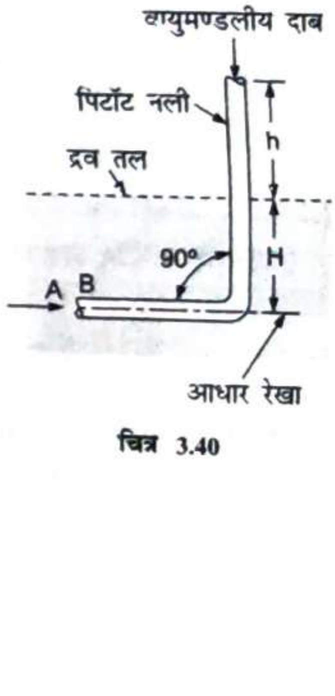
अत: $Q = CK\sqrt{h}$ **द्वारा वही मान प्राप्त होगा जो वेन्चुरीमापी को किसी भी स्थिति में रखने पर प्राप्त होता।**



चित्र 3.39

3.14.2. पिटॉट नली (Pitot Tube)

पिटॉट नली खुली नाली में बह रहे द्रव का गतिज शीर्ष मापने के लिये प्रयोग की जाती है। यह काँच की 90° पर मुड़ी (L के आकार में) दोनों सिरों पर मुड़ी साधारण नली होती है। जैसा चित्र 3.40 में दिखाया गया है। **द्रव का वेग मापने के लिये इसे द्रव में इस प्रकार रखते हैं** कि नली की छोटी भुजा द्रव के प्रवाह की दिशा के विपरीत और समान्तर रहे। तब नली में एक ऊँचाई तक द्रव चढ़ता जाता है जब तक के सारी गतिज ऊर्जा स्थैतिज ऊर्जा में नहीं बदल जाती। नली में नाली के द्रव के स्वतन्त्र तल से ऊपर द्रव की ऊँचाई गतिज शीर्ष होती है।



चित्र 3.40

यदि नली में द्रव की गति v, नली के निचले सिरे की द्रव के स्वतन्त्र तल से गहराई H, तथा द्रव के स्वतन्त्र तल से नली में चढ़ी द्रव की ऊँचाई h हो तो पिटॉट नली की निचली क्षैतिज भुजा की केन्द्र रेखा को आधार रेखा मानते हुये बिन्दु A तथा B पर (ये बिन्दु आधार रेखा पर ही स्थित हैं और नली के मुख के पास ही क्रमशः बाहर तथा अन्दर हैं) **बरनॉली प्रमेय के अनुसार**,

$$A \text{ पर सम्पूर्ण शीर्ष} = B \text{ पर सम्पूर्ण शीर्ष}$$

या
$$H + \frac{v^2}{2g} = H + h$$

या
$$v = \sqrt{2gh}$$

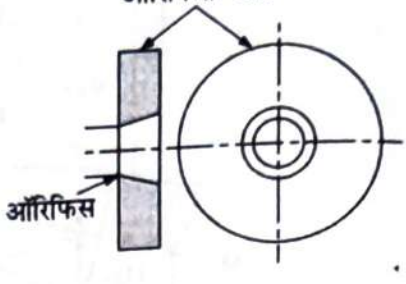
बहुधा इस समीकरण के साथ एक वेग गुणांक (Coefficient of Velocity) C प्रयोग किया जाता है और तब h का मान ज्ञात होने पर द्रव प्रवाह की गति v का मान ज्ञात हो जाता है। इस प्रकार,

$$v = C\sqrt{2gh}$$

पिटॉट नली के लिए गुणांक C का मान एकांक (1) से कम होता है।

3.14.3. ऑरिफिसमीटर (Orificemeter) या ऑरिफिस प्लेट (Orifice Plate)

इसका सिद्धान्त भी वेन्चुरीमापी के सिद्धान्त के समान ही है इसका प्रयोग उन स्थानों पर करते हैं जहाँ जगह कम होती है क्योंकि वेन्चुरीमापी के मुकाबले इसकी लम्बाई कम होती है चित्र 3.41। इसका मूल्य भी अपेक्षाकृत कम होता है। दो फ्लैंजों के बीच में एक धातु की एक गोल पतली प्लेट लगायी जाती है जिसमें एक छेद होता है। इस क्षेत्र को ऑरिफिस कहते हैं और यह प्लेट **ऑरिफिस प्लेट** कहलाती है। छेद का व्यास पाइप के व्यास का 0.4 से 0.85 तक हो सकता है। परन्तु अधिकतर इसे $0.5d$ रखते हैं तथा आरोफिस प्लेट से प्रवेश की ओर लगभग 1.5 से $2d$ तक की दूरी पर और निकास की ओर $0.5d$ दूरी पर दाब गेज चित्र 3.42 के अनुसार लगा देते हैं जिनसे दाबान्तर ज्ञात किया जाता है। **विसर्जन मापने के लिए वही सूत्र प्रयोग किए जाते हैं जो वेन्चुरीमापी के लिए होते हैं।**



चित्र 3.41

ऑरिफिस मीटर से द्रव का विसर्जन ज्ञात करना—

माना कि, h = दाबमापी की रीडिंग, p_1 = प्रवेश पर द्रव का दाब,

v_1 = प्रवेश पर द्रव की गति, a_2 = प्रवेश पर पाइप का क्षेत्रफल

p_2, v_2, a_2 = कंठ (throat) अर्थात् ऑरिफिस पर समतुल्य मान (corresponding values)

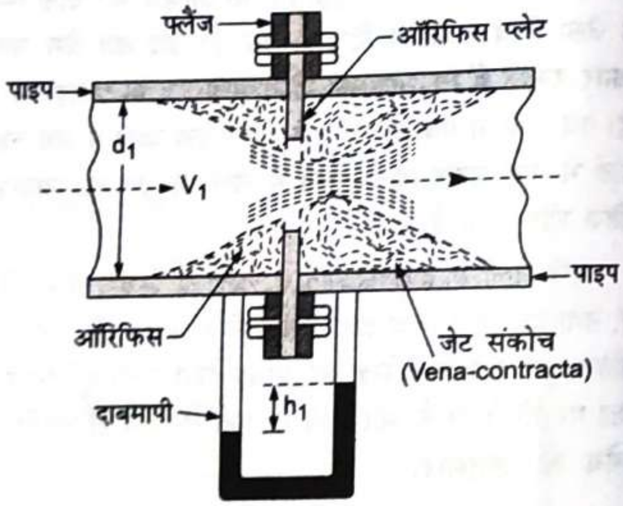
अब पाइप के प्रवेश मार्ग तथा कंठ पर बरनॉली समीकरण का प्रयोग करने पर,

$$Z_1 + \frac{p_1}{w} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_1 + \frac{p_2}{w} + \frac{v_2^2}{2g} \quad ...(i)$$

$$\frac{p_1}{w} - \frac{p_2}{w} = \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g}$$

(पाइप के केन्द्रीय अक्ष को आधार मानते हुये, $Z_1 = Z_2$)

$$\therefore \quad h = \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} \quad ...(ii)$$



चित्र 3.42

सांतत्य समीकरण के अनुसार हमें ज्ञात है कि,

$$a_1 v_1 = a_2 v_2$$

या $$v_1 = \frac{a_2}{a_1} \times v_2$$

$$\therefore \quad v_1^2 = \frac{a_2^2}{a_1^2} \times v_2^2$$

v_1^2 के इस मान को सम्बन्ध (ii) में रखने पर,

$$h = \frac{v_2^2}{2g} - \frac{a_2^2}{a_1^2} \times \frac{v_2^2}{2g} = \frac{v_2^2}{2g}\left(1 - \frac{a_2^2}{a_1^2}\right)$$

$$\therefore \quad h = \frac{v_2^2}{2g}\left[\frac{a_1^2 - a_2^2}{a_1^2}\right]$$

वेन्चुरीमीटर के समान अब ऑरिफिस मीटर का विसर्जन (discharge),

$$Q = \text{ऑरिफिस मीटर का गुणांक} \times a_2 v_2$$

$$Q = \frac{C a_1 a_2}{\sqrt{(a_1^2 - a_2^2)}} \times \sqrt{(2gh)} \quad \text{...(iii)}$$

यह सूत्र वेन्चुरीमापी के सूत्र के समान ही है।

सम्बन्ध (iii) को पाइप तथा कंठ के व्यासों d_1 तथा d_2 के सन्दर्भ में अग्र प्रकार भी व्यक्त किया जा सकता है—

$$Q = \frac{C a_2 \sqrt{(2gh)}}{\sqrt{[1-(a_2/a_1)^2]}} \quad \text{...(iv)}$$

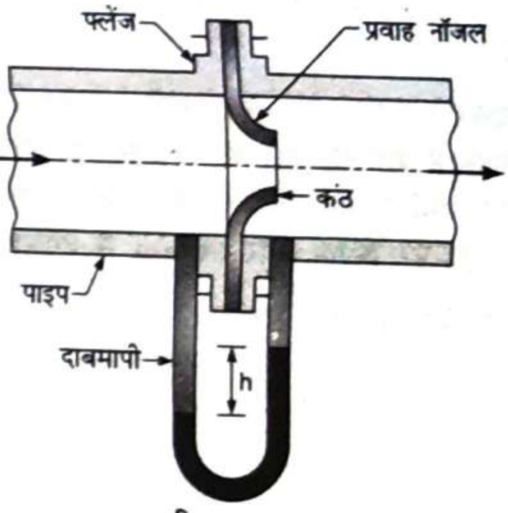
$$Q = \frac{Ca\sqrt{(2gh)}}{\sqrt{[1-(d_2/d_1)^4]}}$$

या

$$Q = C \times \frac{\frac{\pi}{4}(d_1^2)\sqrt{(2gh)}}{\sqrt{[(d_1/d_2)^4 - 1]}}$$

3.14.4. प्रवाह नॉजल (Flow Nozzle)

प्रवाह नॉजल की व्यवस्था चित्र 3.43 में दिखायी गई है। इसका उपयोग भी पाइप में बह रहे द्रव का प्रवाह या विसर्जन मापने के लिए किया जाता है। ये भी स्थायी रूप से पाइप लाइन में लगा दी जाती है। इसका उपकरण वेन्चुरीमापी अभिसारी शंकु (Convergent cone) के समान होता है तथा ऑरिफिस प्लेट के छिद्र पर एक नॉजल के आकार से जुड़ा होने के कारण ही प्रवाह नॉजल कहलाता है। इससे विसर्जन मापने के लिए भी वेन्चुरीमापी या ऑरिफिसमीटर के सूत्र प्रयोग होते हैं।



चित्र 3.43

$$\text{विसर्जन, } Q = \frac{Ca\sqrt{(2gh)}}{\sqrt{[1-(d_2/d_1)^4]}}$$

जहाँ, C = प्रवाह नॉजल का गुणांक, d_1 = पाइप का व्यास

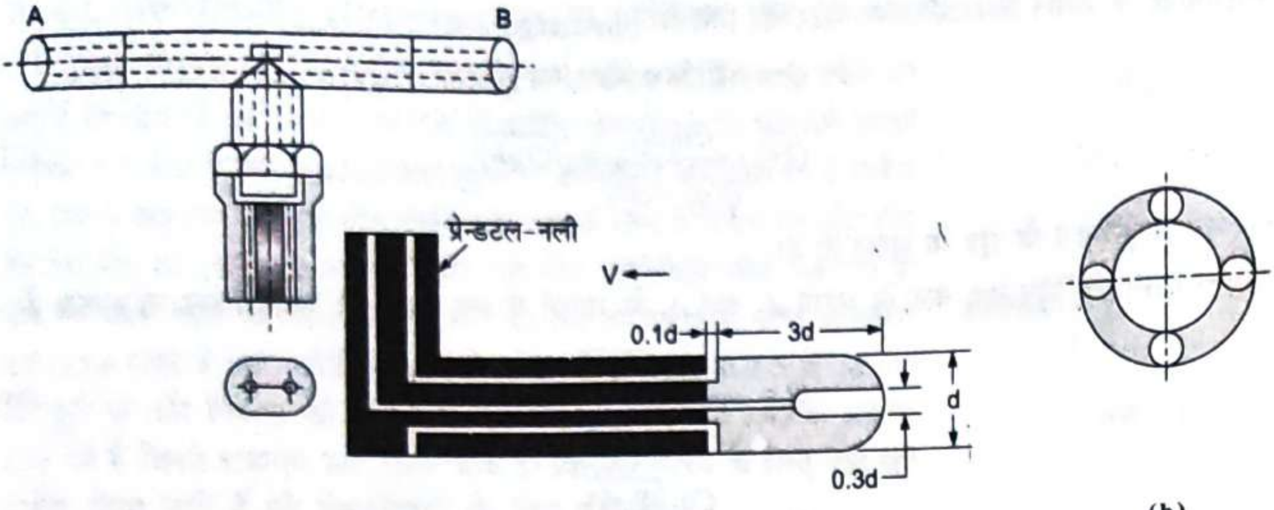
d_2 = कंठ का व्यास, a_2 = कंठ का क्षेत्रफल, h = दाबान्तर

3.14.5. प्रेन्डटल-नली (Prandtl Tube)

प्रेन्डटल-नली, पिटॉट नली का विकसित रूप है। इसके विभिन्न अंगों को माप सहित चित्र 3.44(a) में प्रदर्शित किया गया है।

प्रेन्डटल-नली के ऊपरी सिरों A तथा B को द्रव-दाबमापी की भुजाओं से जोड़ दिया जाता है। भुजाओं में पारे के तलों का अन्तर द्रव की गति-शीर्ष को प्रदर्शित करता है।

प्रेन्डटल-नली के मुख से होकर पूर्ण वेग से द्रव अन्दर प्रवेश करता है और ऊपरी सिरा A से होकर दाबमापी की भुजा में पहुँचता है। इस प्रकार द्रव का गति-शीर्ष (velocity head) सिरा A से जुड़े दाबमापी की भुजा से प्रदर्शित होगा।



(a) (b)

चित्र 3.44

प्रेन्डटल-नली की काट पर परिधीय-छिद्र (circumferential holes) बने होते हैं [देखिये चित्र 3.44(b)] जिनसे होकर स्थैतिक दाब के कारण द्रव अन्दर प्रवेश करता है और सिरा B से होकर दाबमापी भुजा में जाता है। इस प्रकार दाबमापी की भुजाओं में पारे के स्तम्भ में अन्तर द्रव के शुद्ध गतिशीर्ष को प्रदर्शित करता है।

माना कि द्रव की गति V तथा पारे के स्तम्भ में अन्तर h है, तब सम्बन्ध $V = \sqrt{(2gh)}$ से गति का मान प्राप्त हो जाता है।

उदाहरण 3.27. एक वेन्चुरीमापी जिसका कि प्रवेश पर व्यास 8 cm है और कंठ पर व्यास 2 cm है, एक पाइप लाइन में प्रवाहित जल के विसर्जन को नापने में उपयोग किया गया है। अगर वेन्चुरी शीर्ष 42 cm (पानी के) नापा गया है और विसर्जन या मीटर गुणांक 0.92 है तो ज्ञात कीजिये कि कितना विसर्जन पाइप में प्रवाहित हो रहा है? अपना उत्तर litre/m में दीजिए।

हल—दिया है, मीटर गुणांक $C = 0.92$; क्रमशः प्रवेश तथा कंठ पर व्यास $d_1 = 8\text{cm} = 0.08$ m; $d_2 = 2$ cm $= 0.02$ m

वेन्चुरी शीर्ष, $h = 42$ cm $= 0.42$ m (पानी); Q ज्ञात करना है

$$\therefore \quad Q = C\frac{a_1 a_2\sqrt{(2gh)}}{\sqrt{(a_1^2 - a_2)^2}} = C \times \frac{a_1\sqrt{(2gh)}}{\sqrt{[(a_1/a_2)^2 - 1]}} = C \times \frac{\frac{\pi}{4}(d_1)^2\sqrt{(2gh)}}{\sqrt{[(d_1/d_2)^4 - 1]}}$$

$$\therefore \quad Q = \frac{0.92 \times \frac{\pi}{4}(0.08)^2\sqrt{(2 \times 9.81 \times 0.42)}}{\sqrt{[(0.08/0.02)^4 - 1]}} = 8.296 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$= 8.296 \times 10^{-4} \times 60 \text{ m}^3/\text{min} = \mathbf{49.776 \text{ lit/min}}$$

उत्तर

उदाहरण 3.28. एक ऊर्ध्वाधर वेन्चुरीमापी के प्रवेश व कंठ पर व्यास क्रमशः 20 cm तथा 10 cm है। एक भेद सूचक पारा दाबमापी प्रवेश तथा कंठ पर जुड़ा है और दाबान्तर 25 cm (पारा) दर्शाता है। यदि $C_d = 0.98$ हो तो प्रवाह की दर ज्ञात कीजिए।

हल—(देखें चित्र 3.45) प्रवेश तथा कंठ पर व्यास क्रमशः

$$d_1 = 20 \text{ cm} = 0.2 \text{ m}$$

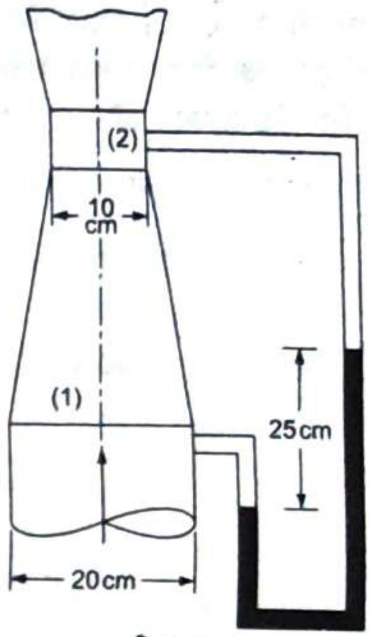
तथा $$d_2 = 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ m}$$

दाबान्तर, $h = 25$ cm (पारा)

$= 25\,(13.6 - 1)$ cm पानी

$= 3.14$ m (पानी)

$C_d = 0.98$ तथा Q ज्ञात करना है।



चित्र 3.45

$$\therefore \quad Q = C_d \times \frac{\pi/4\,(d_1^2)\sqrt{(2gh)}}{\sqrt{[(d_1/d_2)^4 - 1]}}$$

$$= \frac{0.98 \times \pi/4\,(0.2)^2\sqrt{(2 \times 9.81 \times 3.14)}}{\sqrt{[(0.2/0.1)^4 - 1]}}$$

$= 0.0628\ m^3/sec$ या **62.8 litre/sec** उत्तर

उदाहरण 3.29. एक वेन्चुरीमापी के प्रवेश मार्ग तथा कंठ के बीच पानी के प्रवाह का दाब अन्तर 1.75 m पानी के शीर्ष के बराबर है। पाइप का व्यास 15 m तथा वेन्चुरीमापी के कंठ का व्यास 5 m है। मीटर का विसर्जन ज्ञात करिये तथा $C = 0.98$ मानिये।

हल—हमें ज्ञात है कि वेन्चुरीमापी से द्रव का विसर्जन,

$$Q = CK\sqrt{h}$$

जहाँ, $K = \dfrac{a_1 a_2}{(a_1^2 - a_2^2)}\sqrt{(2g)}$

गणना में सुविधा के लिए इसे निम्न प्रकार लिखिये—

$$K = \frac{a_2\sqrt{(2g)}}{\sqrt{[1-(a_2/a_1)^2]}}$$

अब, $$a_1 = \frac{\pi}{4} \times (0.15)^2 = \frac{\pi}{4} \times 0.0225\ m^2$$

तथा $$a_2 = \frac{\pi}{4}(0.05)^2 = \frac{\pi}{4} \times 0.0025\ m^2$$

$$\therefore \quad K = \frac{\frac{\pi}{4} \times 0.0025 \times \sqrt{(2 \times 9.81)}}{\sqrt{[1 - (0.0025/0.0225)^2]}} = 8.784 \times 10^{-3}$$

प्रश्नानुसार, $$Q = CK\sqrt{h} = 0.98 \times 8.784 \times 10^{-3}\sqrt{(1.75)}$$

$= 11.387 \times 10^{-3}\ m^3/sec =$ **11.387 litre/sec** उत्तर

उदाहरण 3.30. 1 cm कंठ के व्यास वाला वेन्चुरीमापी 3 cm व्यास वाले मुख्य पाइप में पानी के प्रवाह की दर मापने के लिए लगाया गया है। यदि मुख्य पाइप तथा कंठ में दाब अन्तर एक गेज द्वार 0.005 kg/cm² प्रदर्शित किया जाये और $C = 1$ हो तो कितने m³ पानी प्रति सेकण्ड प्रवाहित हो रहा है:

हल—प्रश्नानुसार, दाबान्तर $= 0.005\ kg_f/cm^2 = 50\ kg_f/m^2$

अत: दाब शीर्ष, $h = \dfrac{p}{w} = \dfrac{50}{1000} = 0.05$ m

अब विसर्जन, $Q = \dfrac{Ca\sqrt{(2gh)}}{\sqrt{[1-(a_2/a_1)^2]}}$

$$a_1 = \frac{\pi}{4}\times(0.03)^2\ m^2 = \frac{\pi}{4}\times 0.0009\ m^2$$

$$a_2 = \frac{\pi}{4}\times(0.01)^2\ m^2 = \frac{\pi}{4}\times 0.0001\ m^2$$

$$\therefore \quad Q = \frac{1\times\pi/4\times(0.01)^2\sqrt{(2\times 9.81\times 0.05)}}{\sqrt{[1-(0.0001/0.0009)^2}}$$

$= \mathbf{0.0783 \times 10^{-3}\ m^3/sec = 0.0783\ litre/sec}$ **उत्तर**

उदाहरण 3.31. 30 cm प्रवेश व्यास एवं 15 cm कंठ व्यास वाला क्षैतिज वेन्चुरीमीटर जल का विसर्जन मापने के लिए प्रयोग किया जाता है। प्रवेश तथा कंठ पर जुड़े एक भेददर्शी दाबान्तरमापी का पाठ्यांक 20 cm (पारे का) है। यदि $C_d = 0.98$ हो तो विसर्जन ज्ञात करिये।

हल—प्रश्नानुसार, वेन्चुरीमापी के प्रवेश मार्ग का क्षेत्रफल,

$$a_1 = \frac{\pi}{4}\times(0.3)^2 = \frac{\pi}{4}\times 0.09\ m^2$$

वेन्चुरीमापी के कंठ का क्षेत्रफल, $a_2 = \dfrac{\pi}{4}\times(0.15)^2 = \dfrac{\pi}{4}\times 0.0225\ m^2$

∴ वेन्चुरी स्थिरांक (Venturi constant), $K = \dfrac{a_2\sqrt{(2g)}}{\sqrt{[1-(a_2/a_1)^2]}} = \dfrac{\frac{\pi}{4}\times 0.0225\times\sqrt{(2\times 9.81)}}{\sqrt{[1-(0.0225/0.09)^2]}}$

$= 80.86 \times 10^{-3}$

अब दाबान्तरमापी का पाठ्यांक = 20 cm = 0.2 m (पारा)

हमें ज्ञात है कि, दाबान्तर को पारे के शीर्ष से पानी के शीर्ष 'h' में बदलने के लिए, $h = (13.6 - 1) \times$ पारे का शीर्ष $= 12.6 \times 0.2 = 2.52$ m

प्रश्नानुसार विसर्जन गुणांक, $C_d = 0.98$

अब विसर्जन (discharge), $Q = CK\sqrt{h} = 0.98 \times 80.86 \times 10^{-3} \times \sqrt{(2.52)}\ \dfrac{m}{sec}$

$= \mathbf{125.79\ litre/sec}$ **उत्तर**

उदाहरण 3.32. एक 30 cm प्रवेश व्यास तथा 20 cm कंठ व्यास के वेन्चुरीमीटर में 0.7 आपेक्षिक घनत्व का पैट्रोल प्रवाहित हो रहा है। डिफरेन्शियल दाबमापी में पारे के स्तम्भों का अन्तर 10 cm है। यदि वेन्चुरीमीटर गुणांक 0.97 है तो वेन्चुरीमीटर में से पैट्रोल की प्रवाह दर ज्ञात कीजिये।

हल—प्रश्नानुसार वेन्चुरीमीटर के प्रवेश पर काट का क्षेत्रफल,

$$a = \frac{\pi}{4} \times (0.3)^2 = \frac{\pi}{4} \times 0.09 \text{ m}^2$$

कंठ पर काट का क्षेत्रफल, $a_2 = \frac{\pi}{4} \times (0.2)^2$

∴ वेन्चुरी स्थिरांक (venturi constant), $k = \frac{a_2\sqrt{(2g)}}{\sqrt{[1-(a_2/a_1)^2]}} = \frac{\pi/4 \times 0.04 \times \sqrt{(2 \times 9.81)}}{\sqrt{[1-(0.04/0.09)^2]}}$

$$= 155.31 \times 10^{-3}$$

हमें ज्ञात है कि दाबान्तर (pressure difference) को पारे के स्तम्भ से अन्य द्रव के स्तम्भ (यहाँ वह द्रव पैट्रोल है) में बदलने के लिये निम्न सूत्र का प्रयोग किया जाता है—

$$h = \frac{(13.6-\rho)}{\rho} \times \text{पारे का स्तम्भ} = \frac{(13.6-0.7)}{0.7} \times 10$$

$$= 184.258 \text{ cm} = 1.84285 \text{ m}$$

अब विसर्जन या प्रवाह की दर, $Q = Ck\sqrt{h}$

$$= 0.97 \times (155.31 \times 10^{-3}) \times \sqrt{(1.84285)} \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$= 0.20452 \text{ m}^3/\text{sec} = \mathbf{204.51 \text{ lit/sec}}$$

उत्तर

उदाहरण 3.33. 16 cm × 8 cm क्षैतिज वेन्चुरीमापी का उपयोग एक पाइप लाइन में 0.8 आपेक्षिक घनत्व वाले तेल का विसर्जन ज्ञात करने के लिए किया जाता है। यदि किसी समय तेल का विसर्जन 40 lit/sec हो तो वेन्चुरी मीटर का गेज पारे के स्तम्भ के पदों (column of mercury) में कितना दाब-शीर्ष अन्तर दर्शायेगा। $C = 1$ मानिये।

हल— वेन्चुरीमापी के प्रवेश पर काट का क्षेत्रफल, $a_1 = \frac{\pi}{4} \times (0.16)^2 = \frac{\pi}{4} \times 0.0256 \text{ m}^2$

कंठ पर काट का क्षेत्रफल, $a_2 = \frac{\pi}{4} \times (0.08)^2 = \frac{\pi}{4} \times 0.0064 \text{ m}^2$

वेन्चुरी स्थिरांक (venturimeter constant), $k = \frac{a_2\sqrt{(2g)}}{\sqrt{[1-(a_2/a_1)^2]}}$

$$= \frac{\pi/4 \times 0.0064\sqrt{(2 \times 9.81)}}{\sqrt{[1-(0.0064/0.0256)^2]}} = 0.023$$

अब तेल का विसर्जन, $Q = 40 \text{ lit/sec} = 0.04 \text{ m}^3/\text{sec}$

हमें ज्ञात है कि विसर्जन, $Q = CK\sqrt{h}$ (जहाँ, h = दाबान्तर) ...(i)

∴ सम्बन्ध (i) से,

$$0.04 = 1 \times 0.023\sqrt{h} \qquad (\because C = 1)$$

या
$$h = \left(\frac{0.04}{0.023}\right)^2 = 3.024 \text{ m}$$

माना कि h के समतुल्य पारे का स्तम्भ x m है। हमें ज्ञात है कि,

$$h = \frac{(13.6 - \rho)}{\rho} \times x$$

∴
$$3.024 = \frac{(13.6 - 0.8)}{0.8} \times x$$

या
$$x = \frac{3.024 \times 0.8}{12.8} = 0.189 \text{ m} = \mathbf{18.9 \text{ cm}}$$
उत्तर

उदाहरण 3.34. एक वेन्चुरीमीटर 25 cm व्यास के पाइप में लगा है। पाइप में पानी का अधिकतम प्रवाह 7200 lit/min होता है। इस प्रवाह पर वेन्चुरीमीटर गेज में दाबान्तर 6 m का शीर्ष है। वेन्चुरीमीटर के कंठ का व्यास ज्ञात करिये। मीटर का गुणांक $C = 1$ मानिये।

हल— प्रवेश पर क्षेत्रफल, $a_1 = \frac{\pi}{4} \times (25)^2 = 490.93 \text{ cm}^2$

विसर्जन, $Q = 7200$ lit/min $= 120$ lit/sec $= 120 \times 10^3$ cm^3/sec

पानी के शीर्ष में दाबान्तर, $h = 6$ m $= 600$ cm

माना कि कंठ का क्षेत्रफल $= a_2$ cm^2, गुणांक $C = 1$

∴
$$Q = \frac{Ca_1a_2}{\sqrt{(a_1^2 - a_2^2)}}\sqrt{(2gh)}$$
को हल करने पर

$$Q = \frac{Ca_1}{\sqrt{[(a_1/a_2)^2 - 1]}} \times \sqrt{(2gh)}$$

∴
$$120 \times 10^3 = \frac{1 \times 490.93}{\sqrt{[a_1/a_2)^2 - 1]}} \times \sqrt{(2 \times 981 \times 600)}$$

∴
$$\sqrt{\left[\left(\frac{a_1}{a_2}\right)^2 - 1\right]} = \frac{490.93}{120 \times 10^3} \times \sqrt{(2 \times 981 \times 600)} = 4.438$$

दोनों पक्षों का वर्ग करने पर,

$$\left(\frac{a_1}{a_2}\right)^2 - 1 = 4.438^2$$

या
$$\left(\frac{a_1}{a_2}\right)^2 = 20.7$$

या
$$\frac{a_1}{a_2} = \sqrt{(20.7)} = 4.55$$

या
$$a_2 = \frac{a_1}{4.55} = \frac{490.93}{4.55} = 107.89 \text{ cm}^2$$

कंठ का व्यास, $d_2 = \sqrt{\left(\frac{4 \times 107.89}{\pi}\right)} = \mathbf{11.72 \text{ cm}}$ उत्तर

उदाहरण 3.35. 20 cm × 10 cm माप का वेन्चुरीमीटर एक ऊर्ध्व पाइप में लगा है, जिसमें पानी का प्रवाह नीचे से ऊपर की ओर होता है। वेन्चुरीमीटर के कंठ की काट, प्रवेश की काट से 20 cm ऊपर स्थित है। किसी एक बहाव के समय प्रवेश तथा कंठ के बीच भेददर्शी-दाबमापी (differential manometer) 25 cm विस्थापन (deflection) दर्शाती है। वेन्चुरी गुणांक 0.98 मानकर विसर्जन ज्ञात करिये।

हल—प्रश्नानुसार,
$$a_1 = \frac{\pi}{4} \times (20)^2 = 314.16 \text{ cm}^2,$$
$$a_2 = \frac{\pi}{4}(10)^2 = 78.54 \text{ cm}^2$$

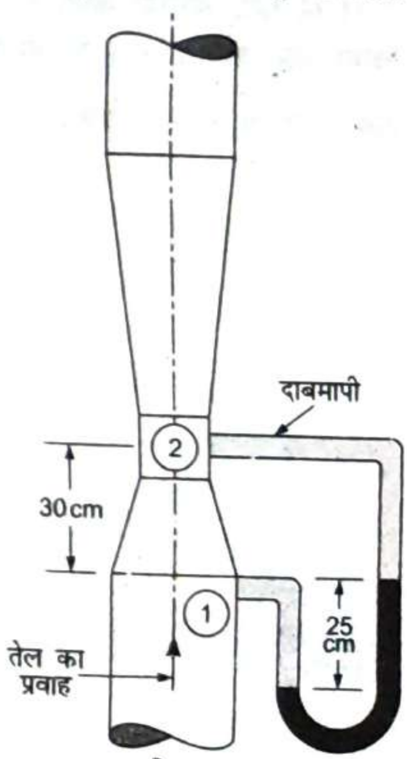
अब
$$\text{विसर्जन, } Q = \frac{Ca_1a_2}{\sqrt{(a_1^2 - a_2^2)}} \times \sqrt{(2gh)}$$
$$= \frac{0.98 \times 314.16 \times 78.54}{\sqrt{(314.16^2 - 78.54^2)}} \times \sqrt{2 \times 981 \times 25\,(13.6 - 1)}$$
$$= 62493.61 \text{ cm}^3\text{/sec} = \mathbf{62.49 \text{ lit/sec}}$$
उत्तर

उदाहरण 3.36. एक उदग्र (vertical) पाइप-लाइन में 30 cm × 15 cm माप के वेन्चुरीमीटर से 0.9 आपेक्षिक गुरुत्व का तेल नीचे से ऊपर की तरफ बहता है। वेन्दुरीमीटर में एक तेल-पारा भेददर्शी दाबमापी (oil-mercury differential manometer) प्रवेश तथा कंठ के बीच दाबान्तर ज्ञात करने के लिए लगाया जाता है जो किसी एक प्रवाह पर पारे का 25 cm विस्थापन दर्शाता है। मैनोमीटर टैपिंग (manometer tappings) के बीच 30 cm की दूरी है। ज्ञात कीजिये—

(i) तेल का विसर्जन, तथा

(ii) प्रवेश और कंठ के बीच दाबान्तर (pressure difference)। मीटर का गुणांक 0.98 मानिये।

हल—चित्र 3.46 में उदग्र वेन्चुरीमीटर दिखाया गया है। प्रश्न के अनुसार,



चित्र 3.46

$$a_1 = \frac{\pi}{4}(30)^2 = 706.86 \text{ cm}^2$$
$$a_2 = \frac{\pi}{4}(15)^2 = 176.71 \text{ cm}^2$$
$$h = 25\left(\frac{13.6}{0.9} - 1\right) = 352.8 \text{ cm}$$

(i) प्रश्नानुसार तेल का विसर्जन,
$$Q = \frac{Ca_1a_2}{\sqrt{a_1^2 - a_2^2}} \times \sqrt{2gh}$$

$$= \frac{0.98 \times 706.86 \times 176.71}{\sqrt{(706.86^2 - 176.71^2)}} \times \sqrt{(2 \times 981 \times 352.8)}$$

$$= 148800 \frac{cm^3}{sec} = \mathbf{148.8\ lit/sec}$$ उत्तर

(ii) प्रवेश तथा कंठ के बीच दाबान्तर = प्रवेश पर दाब – कंठ पर दाब

$$= p_1 - p_2$$

प्रवेश पर द्रव की गति, $v_1 = \frac{Q}{a_1} = \frac{148800}{706.86} = 210.5$ cm/sec

इसी प्रकार, कंठ पर द्रव की गति, $v_2 = \frac{Q}{a_2} = \frac{148800}{176.71} = 842$ cm/sec

प्रवेश तथा कंठ पर बरनौली समीकरण का प्रयोग करने पर,

$$Z_1 + \frac{p_1}{w} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{w} + \frac{v_2^2}{2g}$$

$$0 + \frac{p_1}{w} + \frac{210.5^2}{2 \times 981} = 30 + \frac{p_2}{w} + \frac{842^2}{2 \times 981}$$

∴ $$\frac{p_1}{w} - \frac{p_2}{w} = 391.3 - 22.6 = 368.7 \text{ cm (तेल)}$$

$$= \mathbf{3.687\ m\ (तेल)}$$ उत्तर

उदाहरण 3.37. 0.5 cm कंठ के व्यास वाला वेन्चुरीमापी 1 cm व्यास वाले मुख्य पाइप में पानी प्रवाह की दर मापने के लिए लगाया जाता है। यदि मुख्य पाइप तथा कण्ठ में दाब अन्तर एक गेज द्वारा 40 N/cm² प्रदर्शित किया जाये और $C = 1$ हो तो कितने घन मीटर जल प्रति सेकण्ड प्रवाहित हो रहा है?

हल—दिया है, $C = 1$; प्रवेश तथा कंठ पर व्यास क्रमशः,

$$d_1 = 1 \text{ cm} = 0.01 \text{ m}; d_2 = 0.5 \text{ cm} = 0.005 \text{ m}$$

∵ दाबान्तर $h = 40 \text{ N/cm}^2 = 40 \times 10^4 \text{ N/m}^2 = \frac{40 \times 10^4}{1000 \times 9.81}$ m

या $$= \frac{4 \times 10^4}{1000} \times \frac{1}{100} \text{ m (पानी)} = 0.04 \text{ m (पानी)}$$

∴ $$Q = \frac{C \times \frac{\pi}{4}(d_1)^2 \sqrt{(2gh)}}{\sqrt{[(d_1/d_2)^4 - 1]}}$$

$$= \frac{1 \times (\pi/4)(0.01)^2 \times \sqrt{(2 \times 9.81 \times 0.04)}}{\sqrt{[(0.01/0.005)^4 - 1]}}$$

$$= \mathbf{17.96 \times 10^{-6}\ m^3/sec}$$ उत्तर

उदाहरण 3.38. एक 15 cm व्यास वाली पाइप लाइन में से 60 lit/sec की दर से पानी प्रवाहित हो रहा है। इस पाइप लाइन में एक वेन्चुरीमापी लगा है जिसके कंठ का व्यास 8 cm है। ज्ञात कीजिये कि वेन्चुरीमापी के गेज में पारे के स्तम्भ के पद (terms) में कितना दाबान्तर नपेगा यदि मापी का गुणांक इकाई मान लिया जाये।

हल—दिया है, प्रवेश तथा कंठ पर व्यास क्रमश:

$d_1 = 15$ cm $= 0.15$ m; $d_2 = 8$ cm $= 0.08$ m

$Q = 60$ lit/sec $= 0.06$ m^3/sec; तथा $C = 1$ और h ज्ञात करना है।

∴ $$Q = \frac{C \times (\pi/4)\,(d_1)^2\,\sqrt{(2gh)}}{\sqrt{[(d_1/d_2)^4]-1}}$$ में मान रखने पर,

$$0.06 = \frac{1 \times (\pi/4)\,(0.15)^2 \times \sqrt{(2 \times 9.81 \times h)}}{\sqrt{[(0.15/0.08)^4]-1}}$$

या $$\sqrt{h} = \frac{0.06 \times \sqrt{[15/8]^4 - 1}}{(\pi/4)\,(0.15)^2 \times \sqrt{(2 \times 9.81)}}$$

या $$h = 6.69 \text{ m पानी} = x\,(13.6 - 1)$$

या $$x = \frac{6.69}{12.6} = \mathbf{0.53\ m\ पारा}$$

उत्तर

उदाहरण 3.39. 25 cm व्यास के क्षैतिज पाइप में एक वेन्चुरीमापी लगाया जाता है। पाइप में 0.9 आ० गुरुत्व का एक द्रव प्रवाहित हो रहा है। नल में अधिकतम प्रवाह 150 lit/cm एवं दाब शीर्ष 6 m द्रव है। वेन्चुरीमापी के कंठ का न्यूनतम व्यास ज्ञात करो जिससे वहाँ पर ऋणात्मक शीर्ष (Negative head) न हो।

हल—चूकि कंठ पर दाब p_2 प्रश्नानुसार शून्य होगा अत: वेन्चुरीमापी दाब शीर्ष,

$$h = \frac{p_1}{w} - \frac{p_2}{w} = 6 \text{ m} \quad (\text{दिया है})$$

∵ $\frac{p_2}{w} = 0$ और $C = 1$; तथा प्रवेश पर व्यास, $d_1 = 25$ cm $= 0.25$ m;

और $$Q = 150 \text{ lit/sec} \quad \text{या} \quad 0.15 \text{ m}^3\text{/sec}$$

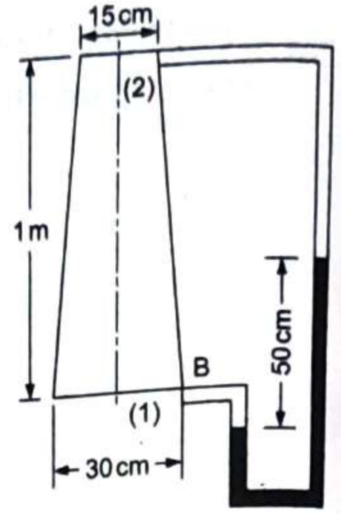
अत: $$Q = \frac{C \times (\pi/4)\,(d_1)^2\,\sqrt{(2gh)}}{\sqrt{[(d_1/d_2)^4 - 1]}}$$ में मान रखने पर,

$$0.15 = \frac{1 \times (\pi/4)\,(0.25)^2 \times \sqrt{(2 \times 9.81 \times 6)}}{\sqrt{[0.25/d_2)^4 - 1]}}$$

या $$d_2 = \left(\frac{0.0039}{13.55}\right)^{1/4} = 0.13 \text{ m या } \mathbf{13\ cm}$$

उत्तर

उदाहरण 3.40. एक उदग्र (Vertical) पाइप लाइन में, जो 30 cm से 15 cm टेपर करती है, 0.8 आपेक्षिक घनत्व वाली गैसोलीन ऊपर की तरफ बह रही है। एक गैसोलीन-पारा भेददर्शी दाबमापी (Gasolene Mercury Differential Manometer) 30 cm तथा 15 cm पाइप सेक्शन से बहाव की दर जानने के लिए जोड़ा जाता है। मेनोमीटर टैपिंग (Manometer Tapping) के बीच में 1 m की दूरी है तथा गेज की रीडिंग पारे के 50 cm दर्शाती है। घर्षण तथा अन्य हानियों को न मानते हुए बहाव की दर ज्ञात करें।



चित्र 3.47

हल—देखें चित्र 3.47। दिया है, $d_1 = 30$ cm = 0.3 m; $d_2 = 15$ cm = 0.15 m

$$\text{वेन्चुरी शीर्ष, } h = 50\left(\frac{13.6}{0.8} - 1\right) \text{ cm}$$

$$= 800 \text{ cm} = 8 \text{ m (गैसोलीन)}$$

क्योंकि घर्षण तथा अन्य हानियाँ नगण्य हैं और साथ ही पाइप टेपरदार है। अतः प्रश्नानुसार पाइप को वेन्चुरीमापी मानकर तथा $C = 1$ लेकर गणना कर रहे हैं।

$$Q = \frac{C \times \pi/4\,(d_1)^2\sqrt{(2gh)}}{\sqrt{[(d_1/d_2)^4 - 1]}}$$

$$= \frac{1 \times \pi/4\,(0.3)^2 \times \sqrt{(2 \times 9.81 \times 8)}}{\sqrt{[(0.3/0.15)^4 - 1]}}$$

$$= \mathbf{0.2286\ m^3/sec} \text{ या } \mathbf{228.6\ lit/sec}$$ **उत्तर**

उदाहरण 3.41. एक पनडुब्बी समुद्र में जिसकी अक्ष समुद्र के स्वतन्त्र तल से 15 m नीचे तथा क्षैतिज है। पनडुब्बी के मुख पर पिटॉट नली लगी है जिसकी अक्ष पनडुब्बी की अक्ष पर है। जब इस पिटॉट नली को U-नली पारा दाबमापी की दो भुजाओं से जोड़ा जाता है तब पारे के तलों में अन्तर 17 cm होता है। पनडुब्बी की गति ज्ञात कीजिए यदि समुद्र पानी तथा पारे का आ० घ० क्रमशः 1.026 तथा 13.6 है।

हल—पिटॉट नली में चढ़े समुद्री पानी की ऊँचाई,

$$h = x\left(\frac{S_2}{S_1} - 1\right) = 17\left[\left(\frac{13.6}{1.026}\right) - 1\right]$$

$$= 208.3 \text{ cm} = 2.083 \text{ m (समुद्री जल)}$$

$$\text{पनडुब्बी की गति, } v = \sqrt{(2gh)} = \sqrt{(2 \times 9.81 \times 2.083)} = 6.39 \text{ m/sec}$$

$$= \frac{6.39 \times 60 \times 60}{1000} \text{ km/hr. या } 23\ \frac{\mathbf{km}}{\mathbf{hr}}$$ **उत्तर**

उदाहरण 3.42. 15 cm व्यास की तीक्ष्ण धार (Sharp Edged) की मुख प्लेट (Orifice Plate) एक 30 cm व्यास के क्षैतिज पाइप में विसर्जन मापने के लिये लगायी गई है। यदि प्लेट के दोनों ओर की दाब तीव्रता क्रमशः 17.5 N/cm² तथा 8.75 N/cm² है तो विसर्जन व मुख मापी (Orifice Meter) की शीर्ष क्षति ज्ञात कीजिये। $Cd = 0.62$ मानिये।

हल—प्रश्नानुसार, $$h = \frac{p_1}{w} - \frac{p_2}{w}$$

$$= \frac{17.5 \times 10^4}{1000 \times 9.81} - \frac{8.75 \times 10^4}{1000 \times 9.81} = 8.91 \text{ m}$$

$$Q = \frac{C \times (\pi/4)(d_1)^2 \times \sqrt{(2gh)}}{\sqrt{[(d_1/d_2)^4 - 1]}}$$

$$= \frac{0.62 \times (\pi/4)(0.30)^2 \times \sqrt{(2 \times 9.81 \times 8.91)}}{\sqrt{[0.30/0.15)^4 - 1]}}$$

$$= \mathbf{0.1495\ m^3/sec}$$ **उत्तर**

$$\text{कुल शीर्ष क्षति} = \left(\frac{p_1}{w} + \frac{v_1^2}{2g}\right) - \left(\frac{p_2}{w} + \frac{v_2^2}{w}\right) = \left(\frac{p_1}{w} - \frac{p_2}{w}\right) + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g}$$

क्योंकि पाइप क्षैतिज है अतः $Z_1 = Z_2$ रखा गया। यहाँ $\frac{p_1}{w} - \frac{p_2}{w} = h = 8.91$ m है।

अब $$v_1 = \frac{Q}{a_1}$$

तथा $$v_2 = \frac{Q}{a_2}$$ रखने पर,

$\therefore$

$$\text{कुल ऊर्जा क्षति} = 8.91 - \frac{\left[\frac{0.1495}{(\pi/4)(0.30)^2}\right]^2 - \left[\frac{0.1495}{(\pi/4)(0.15)^2}\right]^2}{2 \times 9.81}$$

$$= 8.91 - \frac{352.67}{19.62} = \mathbf{-9.065}$$ **उत्तर**

(–) ive sign ऊर्जा में कमी को दर्शाता है।

उदाहरण 3.43. एक आनत वेन्चुरीमीटर (Inclined Venturimeter) से सम्बन्धित डाटा निम्न है—

(i) पाइप लाइन का व्यास, $D_1 = 400$ mm,

(ii) कँठ व्यास, $D_2 = 200$ mm

(iii) पाइप लाइन का क्षैतिज से झुकाव = 30°

(iv) वेन्दुरीमीटर में प्रवेश से कँठ तक की दूरी = 600 mm

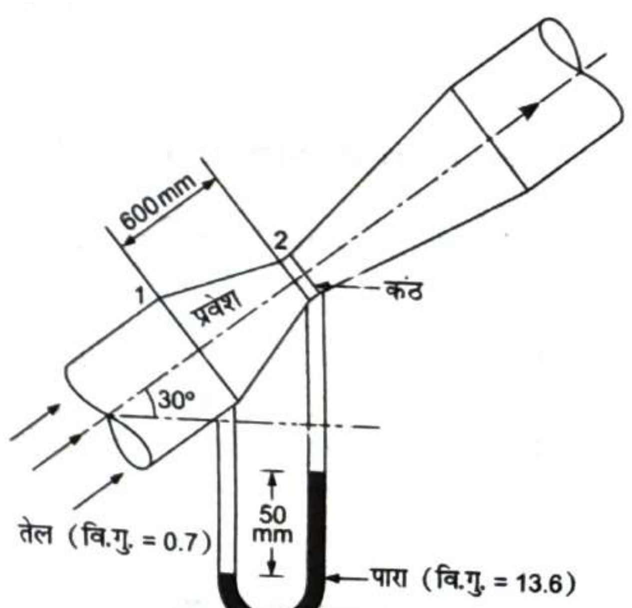
(v) पाइपलाइन से गुजरने वाले तेल का विशिष्ट गुरुत्व 'S' = 0.7

(vi) पारे का विशिष्ट गुरुत्व 'S_2' = 13.6

(vii) विभेदी मैनोमीटर का पाठ्यौंक = 50 mm

(viii) मीटर गुणांक = 0.98

पाइप लाइन में प्रवाह की दर ज्ञात करो।



चित्र 3.48

हल— प्रवेश पर व्यास, $D_1 = 400 \text{ mm} = 0.4 \text{ m}$

अत: प्रवेश पर क्षेत्रफल, $A_1 = \frac{\pi}{4}(0.4)^2 = 0.1257 \text{ m}^2$

इसी प्रकार कँठ का क्षेत्रफल, $A_2 = \frac{\pi}{4}(0.02)^2 = 0.0314 \text{ m}^2$

विभेदी मैनोमीटर का पाठ्यांक, $x = 50 \text{ mm} = 0.05 \text{ m}$

सम्बन्ध, $h = x\left(\frac{S_2}{S_1} - 1\right)$ से

$$h = 0.05\left(\frac{13.6}{0.7} - 1\right) = 0.92 \text{ m (तेल के स्तम्भ के)}$$

काट '1' तथा '2' पर बरनॉली प्रमेय लगाने पर,

$$\frac{p_1}{w} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{w} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

$$\therefore \quad \left\{\frac{p_1}{w} + Z_1\right\} - \left\{\frac{p_2}{w} + Z_2\right\} + \left\{\frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g}\right\} = 0$$

परन्तु

$$\left\{\frac{p_1}{w} + Z_1\right\} - \left\{\frac{p_2}{w} + Z_2\right\} = h$$

अत:

$$h + \left\{\frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g}\right\} = 0 \quad \text{...(ii)}$$

काट '1' व '2' पर सांतत्य समीकरण (continuity equation) लगाने पर,

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

या

$$v_1 = \frac{A_2 v_2}{A_1} = \frac{0.0314}{0.1257} \times v_2 = \frac{v_2}{4}$$

h तथा v_1 का मान समीकरण (ii) में रखने पर,

$$0.92 + \frac{v_2^2}{16 \times 2g} - \frac{v_2^2}{2g} = 0$$

या

$$\frac{v_2^2}{2g}\left[1 - \frac{1}{16}\right] = 0.92$$

या

$$v_2^2 \times \frac{15}{16} = 0.92 \times 2 \times 9.81$$

$$\therefore \quad v_2 = \sqrt{0.92 \times \frac{16}{15} \times 2 \times 9.81} = 4.38 \text{ m/sec.}$$

$\therefore$ पाइप लाइन में तेल प्रवाह की दर $= Q = a_2 v_2$

$= 0.0314 \times 4.38 =$ **$0.1375 \text{ m}^3\text{/sec}$** उत्तर

उदाहरण 3.44. चित्र 3.49 में एक पंप प्रदर्शित है जो एक टैंक से पानी को उठाने के लिए प्रयोग किया गया है। यदि टैंक में से 0.1 m व्यास के पाइप द्वारा 60 litre/sec पानी, जल तल से 10 m ऊपर उठाना हो तो पंप की शक्ति ज्ञात कीजिये। बिन्दु *L* तथा *M* पर दाब तीव्रतायें भी ज्ञात कीजिये।

पंप का कुल दक्षता (over all efficiency) 70% मानिये।

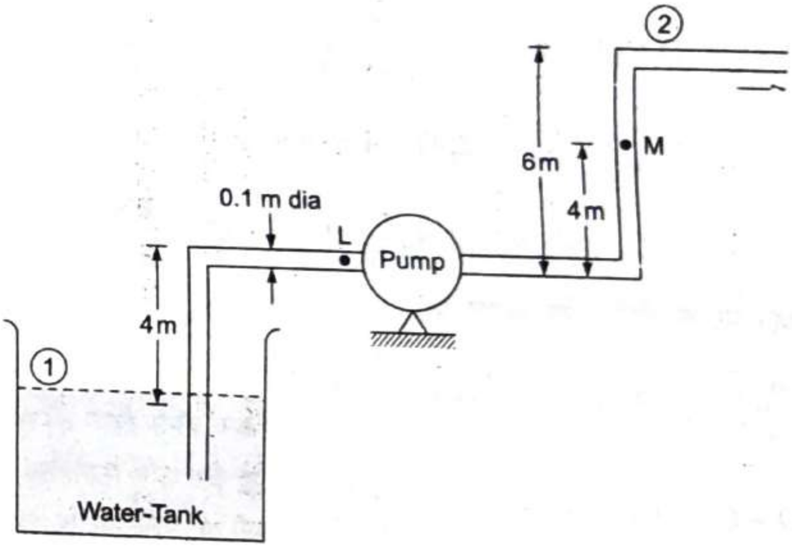
हल— पंप द्वारा भेजे जाने वाले पानी की मात्रा, $Q = 60 \text{ litre/sec} = \dfrac{60}{1000} = 0.06 \text{ m}^3\text{/sec}$

पाइप का व्यास, $d = 0.01$ m

पाइप का क्षेत्रफल, $A = \dfrac{\pi}{4} d^2$

$\therefore$ पाइप का क्षेत्रफल, $A = \dfrac{\pi}{4} \times (0.1)^2 = 0.00785 \text{ m}^2$

ओवर आल दक्षता, % = 70%



चित्र 3.49

आवश्यक शक्ति—सांतत्य समीकरण से,

$$Q = Av$$

$\therefore$

$$0.06 = 0.00785\, v$$

और

$$v = \frac{0.06}{0.00785} = 7.64 \text{ m/sec}$$

बिन्दु (1) बिन्दु (2) पर बरनॉली प्रमेय लगाने पर,

$$\frac{p_1}{w} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 + H_p = \frac{p_2}{w} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2$$

जहाँ H_p = पंप द्वारा प्रदान की गयी शक्ति (m द्रव की ऊँचाई में)

$$\therefore \quad O + O + O + H_p = O + \frac{(7.64)^2}{2 \times 9.81} + 10 \qquad (\because v = v_2 = 7.64 \text{ m/s})$$

$$\therefore \quad H_p = 12.97 \text{ (पानी के)}$$

अत: पंप को चलाने के लिए आवश्यक शक्ति,

$$P = \frac{wQH_e}{\eta_o}$$

$$P = \frac{9.81 \times 0.06 \times 12.97}{0.7} \text{ kW} = 10.9 \text{ kW}$$ उत्तर

(जहाँ $w = 9.81 \text{ kN/m}^3$)

***L* तथा *M* पर दाब तीव्रता है**—बिन्दु (1) तथा (*L*) पर बरनौली प्रमेय लगाने पर,

$$\frac{p_1}{w} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{p_L}{w} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2$$

$$O + O + O = \frac{p_L}{w} + \frac{7.64^2}{2 \times 9.81} + 4$$

$$\therefore \quad \frac{p_L}{w} = -2.97 - 4 = 6.97 \text{ m}$$

$$\text{तथा} \quad P_L = 9.81 \times (-6.97) = -68.4 \ \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$ उत्तर

अब बिन्दु (1) तथा (M) पर बरनॉली प्रमेय लगाने पर,

$$\frac{p_1}{w} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 + H_p = \frac{p_m}{w} + \frac{v_m^2}{2g} + Z_m$$

$$O + O + O + 12.97 = \frac{p_m}{w} + \frac{7.64^2}{2 \times 9.81} + 8$$

$$\therefore \quad \frac{p_m}{w} = 12.97 - \frac{7.64^2}{2 \times 9.81} - 8 = 12.97 - 2.97 - 8 = 2 \text{ m}$$

$$p_m = 2 \times 9.81 = \mathbf{19.62 \ kN/m^2}$$ उत्तर

प्रश्नावली

1. द्रव गतिकी (Hydrodynamics) के सिद्धान्त लिखिए।
2. गतिमान द्रवों को प्रभावित करने वाले घटक कौन-कौन से हैं?
3. द्रव बहाव विश्लेषण के तीन मूल सिद्धान्त बताइये।
4. द्रवों की प्रवाह रेखायें कितने प्रकार की होती हैं? संक्षेप में समझाइए।
5. पथ रेखा तथा धारा रेखा में अन्तर स्पष्ट करिये।
6. धारा रेखीय नली से आप क्या समझते हैं?

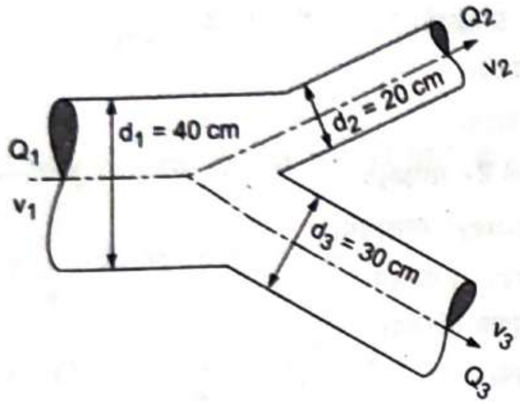
7. परिभाषा लिखिए तथा समझाइये— (UP 2017)
 (अ) अपरिवर्ती तथा परिवर्ती प्रवाह,
 (ब) स्तरीय तथा विक्षुब्ध प्रवाह, (UP 2019(s))
 (स) समान तथा असमान प्रवाह।
8. प्रवाह की दर से आप क्या समझते हैं?
9. द्रवों के औसत वेग से क्या तात्पर्य है? स्पष्ट कीजिये।
10. क्रांतिक-वेग (critical velocity) क्या प्रदर्शित करता है?
11. द्रव के प्रवाह की सांतत्य समीकरण समझाइये। (UP 2019(s))
12. सांतत्य समीकरण के प्रतिबन्ध समझाइये। (UP 2017)
13. सांतत्य समीकरण के अनुप्रयोग समझाइये। (UP 2017)
14. द्रवों में कितने प्रकार की ऊर्जायें होती हैं? समझाइये।
15. गतिशील द्रव की ऊर्जा (kinetic energy) समझाइये।
16. द्रव की स्थैतिक ऊर्जा (static energy) समझाइये।
17. द्रव की सम्पूर्ण ऊर्जा का व्यंजक व्युत्पन्न कीजिये।
18. ऊर्जा समीकरण के अनुप्रयोग लिखिये।
19. द्रव जेट की अश्व-शक्ति का व्यंजक व्युत्पन्न कीजिये।
20. किसी टंकी में दाब p N/m^2 रहे जबकि उसमें किसी पम्प द्वारा पानी Q m^3/sec प्रवाहित किया जा रहा हो तो पम्प की अश्व-शक्ति ज्ञात कीजिये।
21. असम्पीड्य द्रवों के Steady flow के लिये बरनॉली प्रमेय का उल्लेख कीजिये तथा समझाइये। इसकी परिसीमायें भी बताइये।
22. बरनॉली के प्रमेय को स्पष्ट समझाइये। बरनॉली प्रमेय के व्यावहारिक उपयोग में आने वाले उपकरणों के नाम लिखिये। (UP 2018, 2019(S))
23. वेन्चुरीमापी का चित्र बनाइये और विसर्जन ज्ञात करने हेतु व्यजंक व्युत्पन्न कीजिये अथवा इसकी कार्यविधि समझाइए।
24. (a) वेन्चुरीमापी से विसर्जन मापते समय क्या मान्यतायें होती हैं?
 (b) वेन्चुरीमीटर तथा ऑरिफिस मीटर की तुलना करें। (UP 2018)
25. स्वच्छ चित्र की सहायता से समझाइये कि पिटॉट नली से प्रवाह किस प्रकार मापा जाता है? (UP 2017)
26. निम्नलिखित को समझाइये व बताइये कि इनसे पाइप में से विसर्जन कैसे ज्ञात करते हैं—
 (a) ऑरिफिस मीटर
 (b) प्रवाह नॉजल (UP 2019(S))
 (c) प्रेन्डटल ट्यूब। (UP 2018)
27. 10 cm व्यास के एक पाइप में पानी के प्रवाह की दर 0.124 m/sec है। पानी के वेग का औसत मान ज्ञात करिये।
[उत्तर—15.788 m/sec]
28. एक लम्बी पाइप लाइन के एक सिरे पर 15 cm का व्यास है तथा दूसरे सिरे पर व्यास लगातार बदलकर 25 cm का हो जाता है। यदि पाइप में पानी इस भाँति प्रवाह करे कि उसका वेग छोटे व्यास के सिरे पर 15 m/sec हो तो ज्ञात कीजिये कि बड़े व्यास पर पानी का वेग कितना है?
[उत्तर—5.4 m/sec]
29. एक 12 cm व्यास वाले पाइप से पानी का प्रवाह 8 m/sec के वेग से होता है। प्रवाह की दर ज्ञात कीजिये। यदि पाइप का व्यास धीरे-धीरे बढ़ते हुए दूसरे सिरे पर 20 cm हो जाता है तो इस सिरे पर पानी का वेग ज्ञात कीजिये।
[उत्तर—0.0905 m^3/sec, 2.88 m/sec]

30. एक 30 cm व्यास वाले पाइप से 0.8 विशिष्ट घनत्व का तेल 2 m/sec के वेग से प्रवाहित हो रहा है। पाइप के दूसरे सिरे पर व्यास 20 cm है। इस काट पर तेल का वेग तथा तेल के प्रवाह की संहति दर भी ज्ञात कीजिए। **(UP 2006)**

[उत्तर—4.5 m/sec, 113 kg/sec]

31. एक 40 cm व्यास का पाइप, जिसमें पानी है, क्रमश: 30 cm का 20 cm व्यास के दो पाइपों में विभक्त है। यदि 40 cm व्यास वाले पाइप का औसत वेग 3 m/sec है तो इस पाइप में विसर्जन ज्ञात कीजिए। 20 cm व्यास वाले पाइप में वेग भी ज्ञात कीजिए यदि 30 cm व्यास वाले पाइप में औसत वेग 2 m/sec है। **(UP 2012, 14)**

[उत्तर—0.375 m^3/sec, 7.54 m/sec]



चित्र 3.50

32. एक टंकी में 50 lit/sec की दर से एक पम्प द्वारा पानी भेजना है। यदि टंकी में दाब 14.71 N/cm^2 रहे तो पम्प के लिये आवश्यक शक्ति ज्ञात कीजिये।

[उत्तर—7.36 kW]

33. एक 100 m लम्बा क्षैतिज शुण्डाकार पाइप 500 lit/sec की दर से जल विसर्जित करता है। इसके सिरों के व्यास 20 cm तथा 15 cm है। यदि 20 cm व्यास वाले सिरे पर दाब 1.96 N/cm^2 हो तो दूसरे सिरे पर दाब (मीटर जल में) ज्ञात कीजिये।

[उत्तर—25.89 m]

34. एक पाइप से 600 m/min. की गति से पानी बहता है। पानी की गतिज ऊर्जा व गतिज शीर्ष ज्ञात कीजिये।

[उत्तर—5.097 Nm/N; 5.097 m]

35. एक 7 cm व्यास के पाइप की काट आधार रेखा से 7 m ऊँचाई पर है। इस काट पर गेज दाब 54 N/cm^2 है। इसमें से 1.5 m/sec की औसत गति से पानी बहे तो सभी हानियों को नगण्य मानते हुए बताइये कि कुल शीर्ष कितना है तथा आधार पर कितनी अश्व-शक्ति प्राप्त होगी?

[उत्तर—42.1146 m, 2.38 kW]

36. समुद्र तल से 100 m की ऊँचाई पर पानी का वेग 15 m/sec और दाब 41.2 N/cm^2 हो तो पानी के 49 N भार चढ़ाने पर कुल ऊर्जा तथा कुल शीर्ष कीजिये।

[उत्तर—7.6 kNm; 153.4 m]

37. एक नल में जल 5 m/s के वेग से 19.62 N/cm^2 के दबाव पर प्रवाहित हो रहा है। नल की केन्द्र रेखा से 5 m नीचे की दत्त रेखा के सापेक्ष एक न्यूटन जल के लिये सम्पूर्ण ऊर्जा तथा सम्पूर्ण शीर्ष (Total Head) ज्ञात करो।

[उत्तर—257 Nm; 26.275 m]

38. किसी नॉजल से जेट के आकार की '*V*' m/sec के वेग से '*w*' N/m^3 आपेक्षित घनत्व वाला पानी बहता है। यदि जेट की काट का क्षेत्रफल '*a*' m^2 हो तो जेट की अश्व-शक्ति (h.p.) के लिए सूत्र ज्ञात कीजिए।

39. 12 m/sec के वेग से बह रही 3 cm व्यास की एक जेट की अश्व-शक्ति ज्ञात कीजिये। यदि 1 लीटर पानी का भार 9.8 N है।

[उत्तर—0.8229 H.P. या 0.6056 kW]

40. एक पाइप के काट खण्ड नं० 1 पर पाइप का व्यास 30 cm, वेग 3 m/sec तथा दाब 18 N/cm^2 गेज है और नं० 2 पर व्यास 15 cm, ऊँचाई 3 m है तो नं० 2 पर दाब और वेग ज्ञात कीजिये। यदि पाइप की केन्द्रित अक्ष मानक तल से 1.52 m ऊपर है। [उत्तर—9.75 N/cm^2; 12 m/sec]

41. एक जलाशय की एक दीवार में एक छिद्र हो जाने से जल बड़े वेग से छिद्र द्वारा बाहर निकल रहा है। यदि छिद्र से ऊपर जल तल की ऊँचाई 10 m हो तो ज्ञात करो कि जल किस वेग से छिद्र द्वारा निकल रहा है? [उत्तर—14.01 m/sec]

42. एक पाइप, जो 0.84 आपेक्षिक घनत्व का कच्चा तेल ले जाता है, के काट A पर व्यास 25 cm तथा काट B पर व्यास 50 cm है। प्रवाह दर 450 litre/sec है। काट A, काट B से 25 m ऊँचाई पर स्थित है। यदि दोनों काटों A तथा B पर तरल का दाब क्रमशः 55 kPa तथा 320 kPa है तो प्रवाह की दिशा और दोनों काटों के बीच शीर्ष हानि ज्ञात कीजिए। **(UP 2010)**

[उत्तर—शीर्ष हानि = 3.15 m B से A की ओर प्रवाह होगा]

43. एक समान व्यास का आनत नल 1 m में 10 cm की दर से क्षैतिज से झुका हुआ है। इसमें द्रव का प्रवाह उच्च सिरे से निम्न सिरे की ओर ही है। नल की 5 m लम्बाई में द्रव के दबाव शीर्ष में वृद्धि ज्ञात करो। [उत्तर—0.5m]

44. 11.77 N/cm^2 दाब के अधीन 15 cm व्यास के पाइप से बहने वाले एक न्यूटन पानी के लिए कुल ऊर्जा 200 N.m है। यदि पाइप के केन्द्र से मानक तल 3 m नीचे है तो पानी का विसर्जन ज्ञात कीजिये। पानी की जगह अगर 0.8 आपेक्षिक वाला तेल बहता तो विसर्जन कितना होता? [उत्तर—0.12 m^3/sec]

45. 10 cm व्यास के निकलने वाले फव्वारे की ऊँचाई कितनी होगी यदि पाइप में प्रति सेकण्ड 0.12 m^3 पानी बह रहा हो? [उत्तर—11.93 m]

46. गुरुत्व के अधीन स्वतन्त्र रूप से गिरने वाले जेट का वेग किसी बिन्दु पर 2.5 m/sec है। उस बिन्दु से 5 m नीचे के बिन्दु पर सभी हानियों को नगण्य मानते हुए वेग ज्ञात कीजिए। [उत्तर—10.2 m/sec]

47. एक अग्निशामक पाइप (fire hose) के सिरे पर लगी नॉजल से 30 m/s के वेग से एक प्रधार (जेट) निकल रही है जिसका व्यास 5 cm है। जेट की अश्व-शक्ति ज्ञात कीजिये। [उत्तर—36.032 H.P. = 26.52 kW]

48. चार वायुमण्डल दाब पर एक पाइप द्वारा 545.0 लीटर प्रति से० के हिसाब से पानी चढ़ाने के लिए पम्प की आवश्यक अश्व-शक्ति ज्ञात कीजिये। [उत्तर—290.67 H.P. या 231.93 kW]

49. एक सम्भरण टंकी से पानी का प्रवाह किसी चेम्बर में होता है जिसमें 8.83 N/cm^2 निर्वात है। यदि टंकी में पानी का तल चेम्बर से 10 m ऊँचा है तो चेम्बर में प्रविष्ट पानी का वेग ज्ञात कीजिये। [उत्तर—19.307 m/s]

50. एक 150 m लम्बी क्षैतिज टेपरित पाइप 100 lit/s की दर से जल विसर्जित करती है। पाइप की केन्द्र रेखा आधार रेखा से 2.5 m की ऊँचाई पर है। पाइप के सिरों के व्यास 25 cm तथा 15 cm हैं। यदि 25 cm व्यास वाले सिरे पर दाब 13.73 N/cm^2 हो तो दूसरे सिरे पर दाब ज्ञात करिये। [उत्तर—12.34 N/cm^2 (निर्वात)]

51. 300 m लम्बी एक पाइप लाइन का झुकाव 1 : 100 के अनुपात में है। पाइप के ऊपरी सिरे का व्यास 1 m तथा निचले सिरे का व्यास 0.5 m है। प्रवाह की दर 5400 lit/min है। ऊपरी सिरे पर दाब 6.87 N/cm^2 हो तो निचले सिरे पर दाब ज्ञात करिये। [उत्तर—9.8 N/cm^2]

52. एक शुण्डाकार (Tapering) नल जिसकी लम्बाई 5 m है, 90° के कोण पर आनत है। इसके उच्च सिरे पर नल का व्यास 20 cm तथा निचले सिरे पर 10 cm है यदि नल के द्वारा जल का प्रवाह 55 lit/sec की दर से हो रहा हो तो नल के उच्च तथा निम्न सिरे में दबाव का अन्तर ज्ञात करो। [उत्तर—0.157 N/cm^2]

53. 15 cm व्यास वाली नलिका का साइफन एक टैंक से मिट्टी का तेल, जिसका आपेक्षिक घनत्व (0.8) है, निकालने के लिए प्रयुक्त होता है। साइफन 1 m ऊँचाई पर वायुमण्डल में निस्तारण करता है। टैंक में तेल की सतह 4 m ऊँचाई पर है। साइफन नलिका की अक्ष रेखा का उच्चतम बिन्दु 'C', 5.5 m की ऊँचाई पर है। ज्ञात कीजिए—

(i) नलिका से निस्सरण मात्रा,

(ii) 'C' पर दाब।

नलिका में बिन्दु 'C' पर शीर्ष हानि 0.5 m तथा बिन्दु 'C' से निर्गत् बिन्दु तक शीर्ष हानि 1.2 m मानी जा सकती है।
(UP 2007)

[उत्तर—88.36 litre/sec, (ii) 25694 N/m^2 निर्वात]

54. पानी एक धीरे-धीरे टेपर (Taper) हुए क्षैतिज पाइप से बहता है। पाइप के व्यास 20 cm से 15 cm क्रमशः बिन्दु A तथा B पर है। बिन्दुओं A तथा B पर जुड़ा पारा दाबमापी 2 cm का अन्तर पढ़ता है। यदि पारे का आ० घ० 13.6 हो तो पाइप से हुआ विसर्जन ज्ञात कीजिये। $C_d = 0.97$ मानिये।
[उत्तर—46.23 lit/s]

55. एक वेन्चुरीमीटर प्रयोग के दौरान पारा दाबमापी 12 cm का तलान्तर बताता है। यदि वेन्चुरी की प्रवेश तथा कंठ पर व्यास की माप 9.5 cm व 3 cm हो तो बहने वाले 0.9 आ० घ० के तल का इससे विसर्जन ज्ञात कीजिये। $C_d = 0.98$ मानिये।
[उत्तर—0.021 m^3]

56. किसी वेन्चुरीमापी का बढ़े हुए सिरे पर व्यास 30 cm तथा कंठ का व्यास 10 cm है। मापी में से जल का प्रवाह lit/sec में ज्ञात कीजिये। यदि बढ़े हुए सिरे तथा कंठ के बीच भेददर्शी U-नली पारा दाबमापी द्वारा दिखाया गया अन्तर 8 cm हो। वेन्चुरीमापी का गुणांक 0.98 मानिये।
[उत्तर—34.3 lit/sec]

57. एक वेन्चुरीमीटर जिसके कंठ का व्यास 2.5 cm है, 7.5 cm व्यास वाले क्षैतिज पाइप का विसर्जन ज्ञात करने के लिये लगाया जाता है। वेन्चुरी शीर्ष 41.2 cm (पानी) के लिए पाइप का विसर्जन lit/min में ज्ञात करिये। मीटर का गुणांक 0.97 मानिये।
[उत्तर—81.72 lit/min]

58. 15 cm कंठ के व्यास वाला वेन्चुरीमापी 45 cm व्यास के पानी के क्षैतिज मेन (main) में लगा है। यदि प्रवेश और कंठ के बीच लगे विभेदी मैनोमीटर की एक भुजा में पारे का तल दूसरी भुजा के तल से 30 cm ऊँचा हो तो मीटर से होने वाला विसर्जन lit/sec में ज्ञात कीजिये। मीटर गुणांक 0.97 मानिये।
[उत्तर—148.557 lit/sec]

59. 16 cm × 8 cm क्षैतिज वेन्चुरीमीटर का उपयोग तेल पाइप लाइन में 0.8 आपेक्षिक घनत्व वाले तेल का विसर्जन ज्ञात करने के लिये किया जाता है। यदि किसी समय तेल का विसर्जन 50 lit/sec हो तो वेन्चुरीमीटर का गेज पारे के स्तम्भ के पदों में कितना शीर्ष अन्तर दर्शायेगा। $C = 1$ मानिये।
[उत्तर—29.6 cm]

60. एक वेन्चुरीमीटर 30 cm व्यास के पाइप में लगा है। प्रवेश तथा कंठ पर दाबान्तर पारा-मैनोमीटर के अनुसार 5 cm है, जबकि पानी का प्रवाह 50 lit/sec है। यदि विसर्जन गुणांक 0.96 हो तो कंठ पर वेन्चुरीमीटर का व्यास ज्ञात करिये।
[उत्तर—13.6 cm]

61. 30 cm × 15 cm माप का वेन्चुरीमीटर एक ऊर्ध्व पाइप में लगा है, जिसमें पानी का प्रवाह नीचे से ऊपर की तरफ हो रहा है। वेन्टुरीमीटर में प्रवेश के स्थान तथा कंठ के बीच दूरी 75 cm है। यदि भेददर्शी दाबमापी की दोनों भुजाओं में पारे के तलों का अन्तर 22 cm हो तो पाइप से बहते पानी का विसर्जन ज्ञात करिये। वेन्चुरी गुणांक 0.97 मानिये। [उत्तर—146.44 lit/sec]

62. 10 cm व्यास के छिद्र वाले ऑरिफिस मीटर का गुणांक (Coefficient) 0.65 है। ऑरिफिस मीटर, 25 cm व्यास की पाइप लाइन में लगाया गया है, जिसमें 0.8 आपेक्षिक घनत्व वाला तेल प्रवाहित होता है। ऑरिफिस मीटर के दोनों तरफ का दाबान्तर, भेददर्शी दाबमापी के अनुसार 80 cm पारे के शीर्ष के बराबर है। पाइप लाइन में द्रव का प्रवाह lit/sec में ज्ञात करिये।
[उत्तर—81.97 lit/sec]

63. 20 cm व्यास के पाइप में, एक 10 cm व्यास वाला ऑरिफिस मीटर लगाया गया है। प्रति प्रवाह (Upstream) तथा अनुप्रवाह (downstream) में लगे हुए ऑरिफिस मीटर के दाब गेजों में रीडिंग क्रमशः 19.62 N/cm^2 तथा 9.81 N/cm^2 है। मीटर का विसर्जन गुणांक 0.6 है। पाइप द्वारा पानी का विसर्जन ज्ञात कीजिए।
(UP 2012)

$$\left[\text{उत्तर} — 0.068216 \frac{m^3}{sec}\right]$$

64. 1.6 आपेक्षिक घनत्व (sp. gr.) वाले द्रव के प्रवाह की गति ज्ञात करिये, जबकि गति को मापने के लिए प्रयोग की गयी पिटॉट-नली में द्रव का दाबान्तर भेददर्शी-दाबमापी की भुजाओं 8 cm पारे के विस्थापन से प्रदर्शित होता है। $C = 1$ मानिये।
[उत्तर—3.43 m/sec]

65. एक पाइप लाइन में प्रवाह मापने के लिये एक क्षैतिज वेन्चुरीमापी का प्रयोग किया जाता है। एक U-नली पारा दाबमापी द्वारा कंठ तथा बड़े सिरे में दाबान्तर 20 cm (पारा) मापा जाता है। मापी का गुणांक इकाई मानते हुए प्रति सेकण्ड में विसर्जन ज्ञात कीजिये। वेन्चुरीमापी का माप 15 cm × 7.5 cm है।

[**उत्तर**—32.2 lit/sec]

66. एक वेन्चुरीमापी की माप 1.2 m × 0.6 m है यदि प्रवेश व कंठ पर दाबान्तर पारा (भेददर्शी) दाबमापी द्वारा 5.1 cm बताया गया हो तो मापी के बहने वाले पानी का विसर्जन ज्ञात कीजिये तथा कंठ पर वेग भी बताइये। $C_d = 0.98$ मानिये।

[**उत्तर**—1.038 m^3/sec; 3.66 m/sec]

67. 0.85 आ० घ० वाले तेल का प्रवाह मापने के लिए 30 cm व्यास के पाइप में ऐसे वेन्चुरीमापी का प्रयोग किया जाता है जिसके प्रवेश तथा कंठ के क्षेत्रफलों का अनुपात 4 : 1 हो और पारा दाबमापी द्वारा दाबान्तर 6 cm रहे। तेल का प्रवाह ज्ञात कीजिये।

[**उत्तर**—4.6 m^3/sec]

68. एक वेन्चुरीमीटर से पानी के अधिकतम सम्भव विसर्जन की गणना कीजिए जिसका कंठ व्यास 6 cm है तथा वह एक 10 cm व्यास की पाइपलाइन से जुड़ा है। $C_d = 0.97$ मान लीजिए। दाबमापी में पारे के तलों में अन्तर 76 cm है। **(UP 2008)**

[**उत्तर**—40 litre/sec]

69. एक क्षैतिज वेन्चुरीमीटर जिसका आन्तरिक व्यास तथा कंठ व्यास क्रमशः 30 cm तथा 15 cm है, को पानी के प्रवाह मापन के लिए प्रयोग किया जाता है विभेदी मैनोमीटर में पारे का पाठयांक 20 cm है। प्रवाह की दर ज्ञात कीजिए। $C_d = 0.98$ मान लीजिए।

(UP 2010)

[**उत्तर**—125.7 litre/sec]

4 Chapter

पाइपों से प्रवाह (Flow Through Pipes)

§ 4.1. परिचय (Introduction) :

उद्योगों में द्रवों का प्रवाह सामान्यतः जिस माध्यम से किया जाता है उसे नल नली, नलिका या पाइप आदि नामों से जाना जाता है। इस अध्याय के अन्तर्गत हम किसी दाब के अन्तर्गत पाइप में से द्रव के प्रवाह में उनके व्यवहार का अध्ययन करेंगे। **पाइपों के व्यवहार हेतु अध्ययन करते समय द्रव गति के सिद्धान्तों का अनुसरण करते हुए प्रवाहित तरलों के शीर्ष हानि** (Head Loss of Flowing Fluid) **को भी ध्यान में रखेंगे।**

§ 4.2. पाइप की उपयोगिता (Utility of a Pipe) :

आज के युग में किसी भी तरल पदार्थ को चाहे वह द्रव हो या गैस हो इन्हें एक स्थान से दूसरे स्थान को लाने, ले जाने अर्थात् स्थानान्तरण के लिए **नलों या पाइपों** (Pipes) **का प्रयोग** पाइप लाइनें (Pipe-Lines) बनाकर करते हैं। जहाँ तक **पाइप की उपयोगिता** का प्रश्न है तो हम देखते हैं कि नगरों में जल की सप्लाई, ईंधन गैस की सप्लाई, तेल, गैस, भाप आदि के तेल शोधक व अन्य कारखानों में सप्लाई; मल आदि को घरों, या कारखान्नों से स्थानान्तरित करने के लिये, टरबाइनों में पानी व भाप की सप्लाई पाइप आदि के लिये पाइपों की आवश्यकता पड़ती है।

§ 4.3. पाइप (Pipe) :

तकनीकी रूप से **पाइप या नल** (Pipe), **किसी भी अनुप्रस्थ काट** (Cross-section) **वाली ऐसी बन्द वाहिका** (Closed-Conduit) **को पाइप कहते हैं जिसमें से कोई द्रव (या तरल), किसी दाब के अधीन** (Under Pressure) **पूरा भरकर बहता है।**

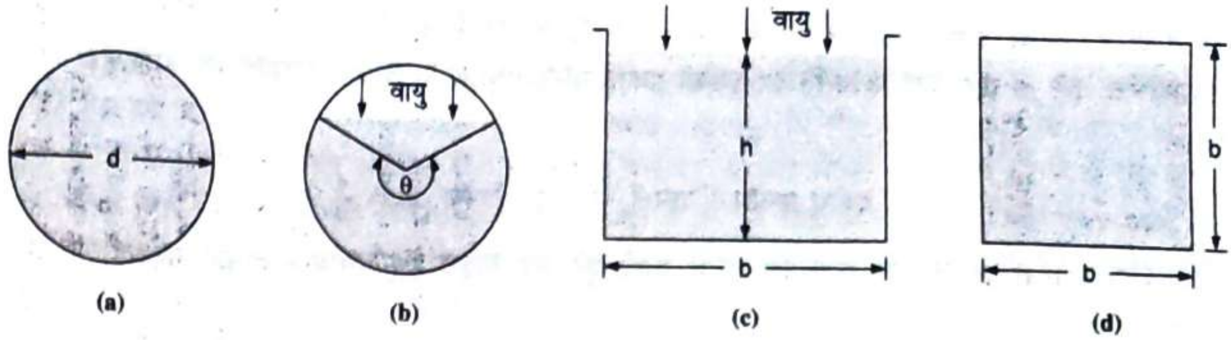
"A pipe is a closed conduit (generally of circular section) which is used for carrying fluids under pressure. The flow in a pipe is termed as pipe flow only when the fluid completely fills the cross section and there is no free surface of fluid. The pipe running partially behaves like an open channel."

ध्यान रहे कि यदि पाइप की अनुप्रस्थ काट पर द्रव पूरा भरकर नहीं बहता अर्थात् द्रव की ऊपरी सतह वायुमण्डल के सम्पर्क में हो तो वह वाहिका पाइप या नल नहीं कहलायेगी बल्कि उसे हम खुली चैनल या नाली (Open Channel) कहते हैं। देखिए चित्र 4.1 में।

चित्र 4.1(a) तथा (d) क्रमशः वृत्ताकार व आयताकार काट वाले पाइप हैं तथा चित्र 4.1(b) और (c) क्रमशः अधूरा भरकर बहने वाला पाइप वृत्ताकार चैनल व आयताकार चैनल है।

§ 4.4. विभिन्न प्रकार के पाइप (Types) :

(1) **अनुप्रस्थ काट** (Cross Section) **के आधार** पर पाइप दो प्रकार के प्रयोग में लाये जाते हैं—



चित्र 4.1

(a) वृत्ताकार काट वाले पाइप—ये ही अधिकतर प्रयोग में लाये जाते हैं।

(b) आयताकार काट वाले।

(2) **अपनी लम्बाई के आधार पर** पाइप दो प्रकार के होते हैं—

(a) छोटे पाइप—यदि नल की लम्बाई अपने व्यास के 500 गुने से कम होती है तो ऐसे पाइप, छोटे पाइप (Short Pipe) कहलाते हैं।

(b) लम्बे पाइप—यदि नल की लम्बाई अपने व्यास के 500 गुने से अधिक होती है तो ऐसे पाइप, लम्बे पाइप (Long Pipe) कहलाते हैं।

(3) धातु या पदार्थ जिनसे पाइप बनाया गया होता है उस आधार पर ये उसी पदार्थ का प्रयोग की गई **धातु के नाम** से जाने जाते हैं जैसे रबर-पाइप, तांबे, एल्यूमीनियम, पीतल, पिटवाँ या ढ़लवाँ लोहा (C.I.), प्रबलित कंक्रीट (R.C.C.) इस्पात, पॉलिथिन या P.V.C. (Poly vinyl chloride) आदि के पाइप। वर्गीकरण के इन आधारों के अलावा पाइपों का नामकरण उनके द्वारा किये जाने वाले कार्य (जैसे सप्लाई पाइप, सीवरेज पाइप, या निकास पाइप) या उसकी स्थिति (जैसे ऊर्ध्व पाइप, Under ground pipe आदि) के आधार पर भी किया जाता है।

§ 4.5. पाइपों की माप-विशिष्टियाँ (Size Specifications) :

पाइपों की माप-विशिष्टियों हेतु मुख्यतया पाइप की (i) धातु का नाम, (ii) लम्बाई तथा (iii) आन्तरिक व्यास बताया जाता है। ध्यान रहे कि तांबे आदि (कम व्यास के पाइपों हेतु) पाइपों के साइज उनके बाह्य व्यास द्वारा भी प्रदर्शित किये जाते हैं। इसके अतिरिक्त पाइप के निर्माण की विधि (ढलाई अथवा कर्षण), सीवन अथवा सीवन रहित तथा उसका उपयोग किस प्रयोजन हेतू किया जाना है, का भी वर्णन किया जाना आवश्यक है।

§ 4.6. कुछ उपयोगी परिभाषायें (Definitions) :

(i) भीगी परिमाप (Wetted Perimeter)—पाइप या चैनल की अनुप्रस्थ काट की वह लम्बाई जो प्रवाहित द्रव के सम्पर्क (Contact) में रहती है, भीगी परिमाप कहलाती है।

"It is the length of the channel boundary in contact with the flowing water at any section."

इसकी इकाई, लम्बाई की इकाई अर्थात् मीटर (M.K.S. या S.I. पद्धति में) होती है तथा इसे सामान्यत: P द्वारा प्रदर्शित करते हैं। उदाहरणार्थ यदि d मीटर व्यास के पाइप में से द्रव पूरा भरकर बह रहा है तो भीगी परिमाप πd मीटर होगी।

(ii) द्रवीय त्रिज्या (Hydraulic Radius) या द्रवीय मध्यमान गहराई (Hydraulic Mean Depth)—पाइप में बह रहे द्रव की अनुप्रस्थ काट के क्षेत्रफल A तथा इसकी भीगी परिमाप P के अनुपात को द्रवीय मध्यमान गहराई या द्रवीय त्रिज्या कहते हैं।

"It is the ratio of the C.S. 'A' of flow to wetted perimeter 'P'."

सामान्यतः इसे *m* द्वारा प्रदर्शित करते हैं। इसकी इकाई मीटर (M.K.S. या S.I. पद्धति में) होती है।

अतः

$$\text{द्रवीय मध्यमान गहराई या द्रवीय त्रिज्या, } m = \frac{A}{P} \qquad \text{...(i)}$$

(a) चित्र 4.1(a) के अनुसार वृत्ताकार काट वाले पूरे भरे पाइप हेतु द्रवीय मध्यमान गहराई,

$$m = \frac{\text{द्रव की काट का क्षे०}}{\text{भीगी परिमाप}} = \frac{A}{P} = \frac{\left(\frac{\pi}{4}d^2\right)}{\pi d} = \frac{d}{4} \qquad \text{...(ii)}$$

(b) चित्र 4.1(b) के अनुसार अधूरे (अंशतः) भरे पाइप हेतु द्रवीय मध्यमान गहराई

$$m = \frac{\text{द्रव की काट का क्षेत्रफल}}{\text{भीगी परिमाप}} = \frac{A}{P} = \frac{(r^2/2)(\theta - \sin\theta)}{r.\theta}$$

$$= \frac{r}{2}\left(1 - \frac{\sin\theta}{\theta}\right) \qquad \text{...(iii)}$$

(c) चित्र 4.1(c) के अनुसार, आयताकार खुली चैनल हेतु द्रवीय मध्यमान गहराई,

$$m = \frac{\text{द्रव की काट का क्षे०}}{\text{भीगी परिमाप}} = \frac{A}{P} = \frac{b \times h}{b + 2h} \qquad \text{...(iv)}$$

(d) चित्र 4.1(d) के अनुसार, वर्गाकार पूरे भरे पाइप हेतु द्रवीय मध्यमान गहराई,

$$m = \frac{\text{द्रव की काट क्षे०}}{\text{भीगी परिमाप}} = \frac{A}{P} = \frac{b \times b}{b+b+b+b} = \frac{b}{4} \qquad \text{...(v)}$$

(iii) द्रवीय ढाल (Hydraulic Gradient या Hydraulic Slope)—घर्षण के कारण शीर्ष हानि h_f तथा पाइप की लम्बाई *l* के अनुपात को द्रवीय ढाल कहते हैं।

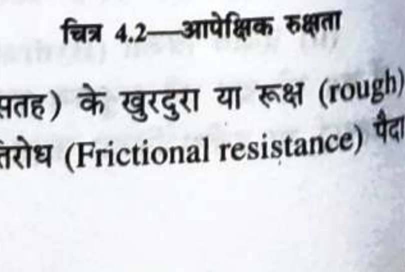
"The ratio of head loss due to friction (h_f) to the length (l) of the pipe is called hydraulic gradient or hydraulic slope."

सामान्यतः इसे *i* द्वारा प्रदर्शित करते हैं। अतः

$$\text{द्रवीय ढाल, } i = \frac{\text{घर्षण के कारण शीर्ष हानि}}{\text{पाइप की लम्बाई}} = \frac{h_f}{l} \qquad \text{...(vi)}$$

(iv) आपेक्षिक रूक्षता (Relative Roughness)—इसे सामान्यतः δ द्वारा प्रदर्शित करते है। यदि पाइप का व्यास *d* इसकी सतह की मोटाई *s*, (देखिए चित्र 4.2) है तो,

$$\text{आपेक्षिक रूक्षता, } \delta = \frac{2s}{d} \qquad \text{...(vii)}$$



चित्र 4.2—आपेक्षिक रूक्षता

§ 4.7. पाइपों में घर्षण प्रवाह (Frictional Flow of Pipes) ;

जब किसी पाइप में कोई द्रव बहता है तो पाइप की आन्तरिक सतह (सम्पर्क सतह) के खुरदुरा या रूक्ष (rough) होने के कारण (वास्तव में कोई सतह पूरी तरह चिकनी नहीं होती) प्रवाह में घर्षण प्रतिरोध (Frictional resistance) पैदा

होता है जिसके कारण द्रव की कुछ ऊर्जा की हानि होगी। इस ऊर्जा हानि को शीर्ष हानि (Head loss) में व्यक्त करते हैं और तब ये शीर्ष हानि **घर्षण शीर्ष हानि** (Frictional head loss) कहलाती है। इसे सामान्यत: h_f द्वारा प्रदर्शित करते हैं। ध्यान रहे कि वह शीर्ष वास्तव में बह रहे द्रव की विभिन्न परतों (layers) के बीच आपसी घर्षण के कारण अधिक होती है चूंकि उन विभिन्न परतों की गति असमान होती है। अर्थात् हम यह भी कह सकते हैं कि द्रव की ऊर्जा (या शीर्ष) हानि उसकी विभिन्न परतों में श्यान प्रतिरोध (Viscous Resistance) के कारण होती है। घर्षण शीर्ष हानि पाइप-प्रवाह की मुख्य या सर्वाधिक हानि (Major loss) होती है। **द्रव के प्रवाह में श्यान प्रतिरोध के विषय में महत्वपूर्ण प्रयोग-कार्य विलियम फ्रूड** (William Froude), **रेनॉल्ड** (Reynold), **डारसी** (Darcy) **तथा व्हिसबेक** (Weisbach), **चेजी** (Chezy) **आदि ने किये।**

(a) विलियम फ्रूड का प्रयोग (Froude's Experiment)—विलियम फ्रूड ने विभिन्न प्रयोगों द्वारा पाइप में द्रव-प्रवाह के घर्षण प्रतिरोध के सम्बन्ध में निम्नलिखित तथ्य (Results) प्राप्त किये—

(i) **घर्षण प्रतिरोध, V^n के समानुपाती होता है** जहाँ V वस्तु का वेग है तथा n घातांक (index) है। फ्रूड ने h का मान 2 रखा।

अत:
$$R_f \propto V^2$$

(ii) घर्षण सम्पर्क के खुरदरेपन या रूक्षता (Roughness) पर निर्भर करता है। चिकनी सतह घातांक n का मान 1.85, तथा खुरदरी सतह हेतु 2 तक होता है।

(iii) कुल प्रतिरोध, लम्बाई बढ़ने के साथ-साथ बढ़ता जाता है परन्तु औसत प्रतिरोध, प्रति वर्ग मीटर, कम होता जाता है।

इस प्रकार दूसरे शब्दों में फ्रूड ने पाया कि द्रव-प्रवाह में कुल घर्षण प्रतिरोध

$$R_f = AV^2; \quad \text{या} \quad R_f = f' AV^2 \qquad \text{...(viii)}$$

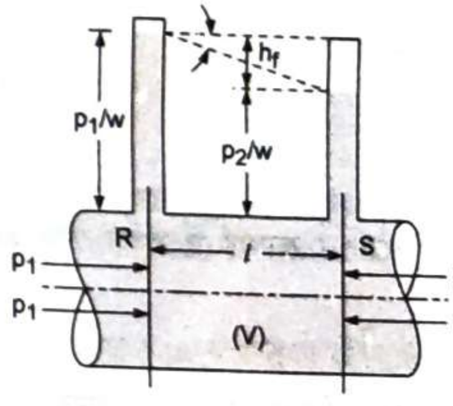
जहाँ A = भीगी सतह का क्षेत्रफल; तथा V = द्रव-प्रवाह का वेग;

और f' = स्थिरांक (Constant) = इकाई वेग पर इकाई क्षेत्रफल के लिए घर्षण प्रतिरोध या औसत प्रतिरोध N/m^2 में।

ध्यान रहे कि f' **फ्रूड का घर्षण गुणांक** (Froude's frictional co-efficient) भी कहलाता है।

नोट—फ्रूड के प्रयोग में स्थिति इस प्रकार थी—टैंक का जल स्थिर था और उस पर पटरे चल रहे थे। (जबकि पाइप प्रवाह में जल बहता रहता है और पाइप स्थिर रहता है। अत: दोनों दशाओं में स्थिति समान हुई।)

(b) घर्षण शीर्ष हानि के लिये डारसी का समीकरण (Darcy-equation for Head loss due to friction)—चित्र 4.3 में d व्यास का एक क्षैतिज पाइप है जिसमें w आपेक्षिक भार का कोई द्रव V वेग से बह रहा है। पाइप की सतह खुरदरी होने के कारण घर्षण प्रतिरोध होगा जिसके कारण द्रव की कुछ शीर्ष हानि अवश्य होगी। पाइप की l लम्बाई में काट R से काट S तक घर्षण शीर्ष हानि माना h_f होती है अत: चित्रानुसार घर्षण के कारण शीर्ष हानि,



चित्र 4.3

$$h_f = \frac{p_1}{w} - \frac{p_2}{w} \qquad \text{...(ix)}$$

साथ ही, पाइप की भीगी सतह के इकाई क्षेत्रफल पर घर्षण प्रतिरोध बल R_f द्रव की गतिज ऊर्जा (Kinetic Energy) के समानुपाती होगा। (फ्रूड ने प्रयोगों से ज्ञात किया है) अर्थात्

$$R_f \propto \text{द्रव की गतिज ऊर्जा; या } R_f \propto \frac{1}{2}mV^2$$

या
$$R_f = f \times \frac{1}{2}mV^2 = f \times \frac{1}{2}\frac{w}{g}V^2$$

जहाँ f = घर्षण गुणांक = स्थिरांक

m = द्रव की मात्रा (mass) = $\frac{w}{g}$

∴ पाइप की l लम्बाई में कुल घर्षण बल = $R_f \times$ पाइप की भीगी सतह का क्षेत्रफल = $R_f \times \pi dl$

$$= f \times \frac{1}{2} \times \frac{w}{g}V^2 \times \pi dl \quad \text{...(x)}$$

और यदि पाइप में द्रव की काट का क्षेत्रफल A है तब, R तथा S काटों के बीच दाब के कारण द्रव पर कुल दाब बल,

= काट R पर दाब बल − काट S पर दाब बल = $p_1 \times A - p_2 \times A$

$$= (p_1 - p_2)A = (p_1 - p_2)\frac{\pi d^2}{4} \quad \text{...(xi)}$$

∴ पाइप क्षैतिज और प्रवाह वेग V समान है तब काट R तथा S के बीच सन्तुलन की स्थिति में,

द्रव्य पर कुल दाब बल = कुल घर्षण बल

$$(p_1 - p_2)\frac{\pi d^2}{4} = f \times \frac{1}{2}\frac{w}{g} \times \pi d\, l$$ [समीकरण (x) व (xi) से]

$$\frac{(p_1 - p_2)}{w} = \frac{2fV^2 l}{gd}$$

या
$$\frac{p_1}{w} - \frac{p_2}{w} = \frac{4flV^2}{2gd}$$

$$h_f = \frac{4flV^2}{2gd}$$ समीकरण (ix) से

अर्थात् l लम्बाई में घर्षण शीर्ष हानि,

$$h_f = \frac{4flV^2}{2gd} \quad \text{...(xii)}$$

इस समीकरण को **डारसी समीकरण** (Darcy Equation) कहते हैं तथा घर्षण गुणांक f को डारसी का घर्षण गुणांक कहते हैं। यही समीकरण **व्हिसबेक** (Weisbach) समीकरण भी कहलाता है क्योंकि इन दोनों ने इसे साथ ही साथ ज्ञात किया था।

नोट—वेग V के स्थान पर विसर्जन Q रखना हो तो

$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi}{4}d^2}$ से मान रखने पर $h_f = \frac{flQ^2}{3d^5}$ होगा।

(c) चेजी सूत्र (Chacy's Formula)—समीकरण (xii) को चेजी सूत्र के रूप में बदला जा सकता है। **अर्थात्**

$$h_f = \frac{4flV^2}{2gd} \text{ से }, V^2 = \frac{h_f}{l} \times \frac{d}{4} \times \frac{2g}{l} \quad ...(xiii)$$

इस समीकरण (xiii) को ध्यान से देखिये तो पायेंगे कि,

$\frac{h_f}{l} = i =$ द्रवीय ढाल (Hydraulic Gradient)।

$\frac{d}{4} =$ वृत्ताकार पूरे भरे पाइप का द्रवीय मध्यमान गहराई m है। $\left(\because m = \frac{A}{P} = \frac{\frac{\pi}{4}d^2}{\pi d} = \frac{d}{4} \text{ से}\right)$

$\therefore$ समीकरण (i) से,

$$V^2 = m.i.\frac{2g}{f}$$

या

$$V = \sqrt{\left(m.i.\frac{2g}{f}\right)}$$

जहाँ $\sqrt{\left(\frac{2g}{f}\right)} = C =$ **चेजी स्थिरांक** (Chezy's Constant)

इसी प्रकार,

$$V = C\sqrt{(mi)} \quad ...(xiv)$$

यह **चेजी सूत्र** है तथा इसमें C का मान f के मान पर निर्भर करता है। f का मान चेजी सूत्र तथा डारसी समीकरण के लिए निम्न प्रकार प्राप्त किया जाता है—

नये पाइप के लिये,

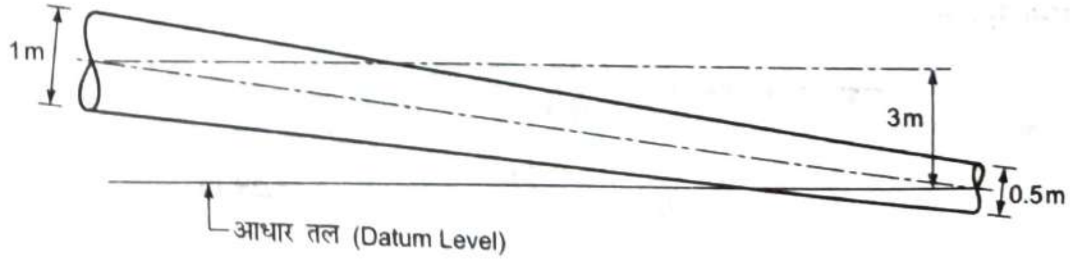
$$f = 0.005\left(1 + \frac{1}{35d}\right) \quad ...(xv)$$

पुराने पाइप के लिये,

$$f = 0.01\left(1 + \frac{1}{35d}\right) \quad ...(xvi)$$

उदाहरण 4.1. एक 300 m लम्बा पाइप 1 : 100 के ढाल पर है। उसका ऊपरी सिरा 1 मी० व्यास का तथा नीचे का सिरा taper होकर 0.5 m व्यास का है। उसमें बहने वाले द्रव की मात्रा 5400 litre/min. है। यदि ऊपरी सिरे का दाब 4.9 N/cm² हो तो निचले सिरे का दाब निकालें।

हल—1 : 100 के ढाल के हिसाब से 300 m लम्बाई का पाइप क्षैतिज से दूसरे सिरे पर 3 m नीचे झुका होगा। देखिये चित्र 4.4।



चित्र 4.4

अत: A व B बरनौंली समीकरण लगाने पर,

$$Z_1+\frac{p_1}{w}+\frac{V_1^2}{2g}=Z_2+\frac{p_2}{w}+\frac{V_2^2}{2g} \text{ में}$$

$$V_1=\frac{Q}{a_1}=\frac{5400\times10^{-3}}{60\times\left[\frac{\pi}{4}(1)^2\right]}=0.1148 \text{ m/sec}$$

$$V_2=\frac{Q}{a_2}=\frac{5400\times10^{-3}}{60\times\left[\frac{\pi}{4}(0.5)^2\right]}=0.4585 \text{ m/sec}$$

अत: $$3+\frac{4.9\times10^4}{9.8\times1000}+\frac{(0.1148)^2}{2\times9.81}=0+\frac{p^2}{9.81\times1000}+\frac{(0.4585)^2}{2\times9.81}$$

या $$p_2=78381 \text{ N/m}^2=\mathbf{7.84\ N/cm^2}$$ उत्तर

उदाहरण 4.2. एक समुद्री जहाज 15 नोट (knots) की गति से जा रहा है। यदि $f = 0.005$ तथा $n = 1.83$ हो और जहाज की सतह का 2500 m^2 क्षेत्रफल पानी में डूबा हुआ हो तो बताइये कि जहाज को पानी के घर्षण प्रतिरोध के विरुद्ध इसी गति से चलने के लिये कितनी अश्व शक्ति चाहिये। (1 नोट = 0.6 m/sec)

हल—फ्रूड के प्रयोग के अनुसार कुल घर्षण प्रतिरोध,

$$R=f.A.V^n=0.005\times2500\times(15\times0.6)^{1.83}$$

$\therefore$ अश्व शक्ति, $$hp=\frac{R\times15\times0.6}{75}$$

$$=\frac{0.005\times2500\times(15\times0.6)^{1.83}\times15\times0.6}{75}=\mathbf{83.625}$$ उत्तर

उदाहरण 4.3. 1 m व्यास तथा 15 km लम्बे पाइप से पानी का प्रवाह 1 m/sec की दर से होता है। यदि घर्षण गुणांक $f = 0.005$ हो तो घर्षण शीर्ष हानि ज्ञात कीजिये।

हल—दिया है, पाइप का व्यास, $d = 1$ m

पाइप की लम्बाई, $l = 15$ km = 15,000 m

पानी की गति, $V = 1$ m/sec

घर्षण गुणांक, $f = 0.005$

अब डारसी सूत्र से,

घर्षण शीर्ष हानि, $$h_f=\frac{4flV^2}{2gd}$$ में मान रखने पर

$$h_f=\frac{4\times0.005\times1500\times1^2}{2\times9.81\times1}=\mathbf{15.29\ m}$$ उत्तर

उदाहरण 4.4. पानी बहते हुए एक पाइप के दो सिरों के बीच घर्षण शीर्ष हानि 1.5 m है। पाइप का व्यास 30 cm तथा लम्बाई 250 m है। डारसी गुणांक 0.01 मानकर, पाइप में पानी की प्रवाह दर (Rate of flow) ज्ञात कीजिये।

हल—दिया है,

पाइप की लम्बाई, $l = 250$ m, पाइप का व्यास, $d = 30$ cm $= 0.3$ m, घर्षण शीर्ष हानि, $h_f = 1.5$ m, $f = 0.01$,

अत: डारसी सूत्र, $h_f = \dfrac{flQ^2}{3d^5}$ में मान रखने पर,

$$1.5 = \frac{0.01 \times 250 \times Q^2}{3 \times (0.3)^5} = 342.9\ Q^2$$

या

$$Q = \sqrt{\left(\frac{1.5}{342.9}\right)} = 0.0661\ \text{m}^3/\text{sec} = \mathbf{66.1\ lit/sec.}$$ उत्तर

उदाहरण 4.5. 30 cm व्यास के एक नल की लम्बाई 400 m है। इनमें से 150 lit/sec की दर से पानी का विसर्जन हो रहा है। डारसी घर्षण गुणांक $f = 0.01$ मानकर क्षैतिज नल के दोनों सिरों के बीच दाब अन्तर ज्ञात कीजिये। यदि नल का एक सिरा दूसरे से 4 m ऊँचा है। तो दाब अन्तर क्या होगा?

हल—प्रश्नानुसार, पाइप का व्यास, $d = 30$ cm $= 0.3$ m

विसर्जन, $Q = 150$ lit/sec $= 150 \times 10^{-3}$ m/sec

प्रश्नानुसार,

$$h_f = \frac{flQ^2}{3d^5} \text{ में मान रखने पर.}$$

$$= \frac{0.01 \times 400 \times (150 \times 10^{-3})^2}{3 \times (0.3)^5} = 12.35 \text{ m}$$

माना कि, p = क्षैतिज नल के दोनों सिरों के बीच दाब अन्तर

हमें ज्ञात है कि नलों में दाब शीर्ष अन्तर,

$$\frac{p_1}{w} - \frac{p_2}{w} = \text{घर्षण शीर्ष हानि} = \frac{p}{w} = h_f$$

$\therefore$

$$\frac{p}{w} = 12.35 \text{ m या } p = 12.35 \times 1000 \times 9.81$$

या

$$p = \mathbf{12.11\ N/m^2}$$ उत्तर

जब नल का एक सिरा दूसरे सिरे से 4 m की ऊँचाई पर है तो दाब शीर्ष में कुल अन्तर, $h = h_f + 4$ $= 12.35 + 4 = 16.35$ m

$\therefore$ नल के दोनों सिरों पर दाब में अन्तर, $p = wh = 9.81 \times 1000 \times 16.35 = \mathbf{16\ N/m^2}$ उत्तर

उदाहरण 4.6. 20 cm व्यास तथा 60 m लम्बाई की पाइप से पानी का प्रवाह 2.5 m/sec की गति से होता है। घर्षण के कारण शीर्ष हानि ज्ञात कीजिये।

(अ) डारसी सूत्र, $h_f = \dfrac{4flV^2}{2gd}$ का प्रयोग करके, जिनमें $f = 0.005$ मानिये।

(ब) चेजी सूत्र, $V = C\sqrt{(mi)}$ का प्रयोग करके, जिसमें चेजी स्थिरांक $C = 55$ मानिये।

हल—(अ) डारसी सूत्र से घर्षण शीर्ष हानि

प्रश्नानुसार $h_f = \frac{4flV^2}{2gd}$ में मान रखने पर

$$h_f = \frac{4 \times 0.005 \times 60 \times 2.5^2}{2 \times 2.91 \times 0.2} = \mathbf{1.91\ m}$$ उत्तर

(ब) चेजी सूत्र से घर्षण हानि—यहाँ $C = 55$ दिया है।

हमें ज्ञात है कि वृत्ताकार काट के पाइप की द्रवीय मध्यमान गहराई,

$$m = \frac{d}{4} = \frac{0.2}{4} = 0.05\ \text{m}$$

शीर्ष हानि प्रति इकाई लम्बाई,

$$i = \frac{h_f}{l} = \frac{h_f}{60}$$

अब सम्बन्ध, $V = C\sqrt{(mi)}$ के प्रयोग से,

$$2.5 = 55\sqrt{\left(0.05 \times \frac{h_f}{60}\right)}$$

दोनों पक्षों का वर्ग करने पर,

$$6.25 = 3025 \times 0.05 \times \frac{h_f}{60} = 2.521\ h_f$$

$\therefore$ $$h_f = \frac{6.25}{2.521} = \mathbf{2.48\ m}$$ उत्तर

उदाहरण 4.7. एक वृत्ताकार काट वाले पाइप से घर्षण में होने वाली शक्ति की हानि ज्ञात करो जबकि नल की लम्बाई 300 m तथा व्यास 15 cm एवं प्रवाह की दर 28 lit/sec हो। f का मान सूत्र $h_f = \frac{4flV^2}{2gd}$ में 0.01 है।

हल—

$$h_f = \frac{4flV^2}{2gd} = \frac{flQ^2}{3d^5}$$ ($\because Q = aV$ से)

मान रखने पर,

$$h_f = \frac{0.01 \times 300 \times (28 \times 10^{-3})^2}{3(0.15)^5} = 10.23\ \text{m}$$

माना पाइप में पानी बह रहा है।

अत: घर्षण में शक्ति की हानि, $h_p = \frac{\text{प्रति सेकण्ड घर्षण के विरुद्ध किया गया कार्य}}{75}$

$= \frac{\text{प्रति सेकण्ड प्रवाहित पानी का भार} \times h_f}{75}$

($\because$ 1 litre पानी का भार = 1 kgf)

$$= \frac{28 \times 10.23}{75} = \mathbf{3.82}$$ उत्तर

उदाहरण 4.8. एक जलाशय से पानी एक पाइप लाइन की मदद से 40,0000 जनसंख्या वाले एक नगर को पहुँचाया जाता है। जलाशय शहर से 6.44 km दूर है। पाइप लाइन में शीर्ष हानि 15 m होती है। जल का व्यय 225 lit प्रति व्यक्ति प्रतिदिन है। पाइप के लिये $f = 0.0075$ है। पाइप के आवश्यक व्यास की गणना कीजिए। जल प्रतिदिन 16 घण्टे वितरित किया जाता है।

हल—पूरे नगर का प्रतिदिन का जल व्यय = $40{,}0000 \times 0.225\ m^3$

यह जल व्यय 16 घण्टे में होता है। अत: प्रति सेकण्ड जल का व्यय या आवश्यक प्रवाह की दर,

$$Q = \frac{40{,}0000 \times 0.225}{16 \times 60 \times 60} = \frac{25}{16} = m^3/sec$$

यदि पाइप का व्यास d हो और यह मानते हुये कि कुल शीर्ष हानि केवल घर्षण के कारण होती है। अत:

$h_f = \frac{flQ^2}{3(d)^5}$ में प्रश्नानुसार मान रखने पर,

$$15 = \frac{0.0075 \times (6.44 \times 10^3) \times \left(\frac{25}{16}\right)^2}{3 \times d^5}$$

या

$$d^5 = \frac{0.0075 \times 6440 \times 625}{3 \times 15 \times 16 \times 16}$$

या

$$d = \mathbf{1.22\ m}$$

उत्तर

उदाहरण 4.9. किसी शहर की जनसंख्या 1,00,000 है उसको 5000 m दूरी से किसी जलाशथ से 12 m शीर्ष पर पानी सप्लाई किया जाता है। यदि प्रति व्यक्ति 150 lit/day के हिसाब से पानी सप्लाई किया जाता हो और इस सप्लाई का आधा भाग केवल 8 घण्टों में ही पूरा किया जाता हो तो नल का व्यास ज्ञात करो। चेजी का $C = 45$.

हल—कुल पानी की सप्लाई = 100000×150 lit = $15000\ m^3$

∵ इस सप्लाई का आधा भाग 8 घण्टों में ही दिया जायेगा।

∴ प्रति सेकण्ड विसर्जन, $Q = \frac{15000}{8 \times 60 \times 60} \times \frac{1}{2} = \mathbf{0.26\ m^3/sec}$

माना नल का व्यास $= d$, तब चेजी सूत्र से $V = C\sqrt{mi}$

परन्तु,

$$Q = aV = \frac{\pi}{4}(d)^2 \times C\sqrt{mi}$$

या

$$0.26 = \frac{\pi}{4}(d)^2 \times 45 \times \sqrt{\frac{A}{P} \times \frac{h_f}{l}} = \frac{\pi}{4}d^2 \times 45\sqrt{\frac{\frac{\pi}{4}(d)^2}{\pi d} \times \frac{12}{5000}}$$

या

$$d^5 = \frac{(0.26)^2 \times 64 \times 5000}{(45)^2 \times (\pi)^2 \times 12}$$

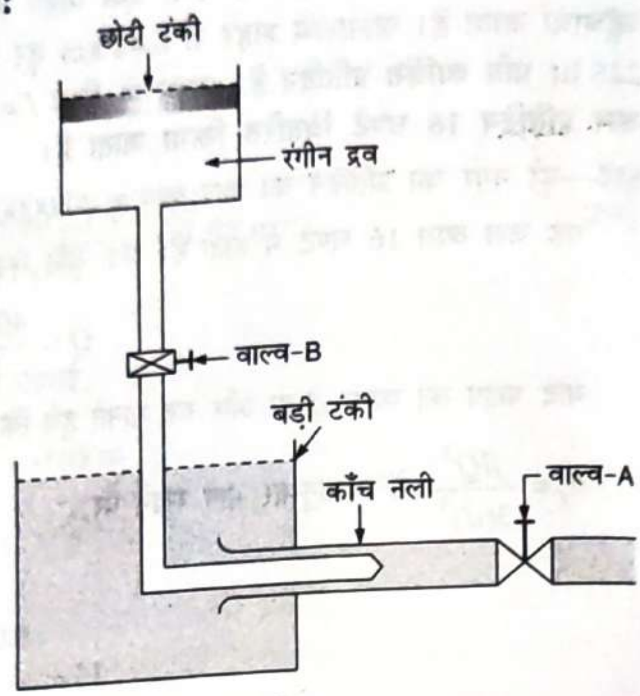
या

$$d = 0.6182\ m \quad \text{या} \quad \mathbf{61.82\ cm}$$

उत्तर

§ 4.8. रेनाल्ड के प्रयोग (Reynold's Experiments) :

हमें ज्ञात है कि अमुक द्रव का स्तरीय प्रवाह (laminar flow) जिस वेग (velocity) पर विक्षुब्ध प्रवाह (turbulent flow) में बदलता है, उसे क्रांतिक-वेग (velocity) पर विक्षुब्ध प्रवाह (turbulent flow) में बदलता है, उसे क्रांतिक-वेग (critical velocity) कहते हैं। रेनाल्ड के प्रयोगों से क्रांतिक वेग का मान ज्ञात किया जाता है तथा स्तरीय और विक्षुब्ध प्रवाह की जानकारी प्राप्त की जाती है। रेनाल्ड के प्रयोग दो प्रकार के हैं जिनका विवरण निम्न प्रकार है—



चित्र 4.5

1. रेनाल्ड का रंगीन धारा प्रयोग (Reynold's colour band experiment)—इस प्रयोग के लिए आवश्यक उपकरण चित्र 4.5 में दिखाया गया है। इसमें पानी से भरी एक बड़ी टंकी में क्षैतिज काँच की नली (glass-tube) लगी रहती है जिसमें पानी का प्रवाह होता है। काँच-नली का व्यास 5 cm तथा लम्बाई लगभग 1.5 m होती है। इस नली में लगे वाल्व-*A* की सहायता से पानी का वेग बदला जा सकता है।

रंगीन द्रव को छोटी टंकी में रखा जाता है, जहाँ से रंगीन द्रव काँच की नली के केन्द्र पर अत्यन्त निम्न गति से भेजा जाता है। रंगीन द्रव के वेग का नियन्त्रण वाल्व-*B* द्वारा किया जाता है।

प्रयोग के आरम्भ में वाल्व-*A* तथा *B* को थोड़ा खोलकर बहुत कम वेग पर टंकी से नली में पानी प्रवाहित किया जाता है, जिसके फलस्वरूप, काँच की नली के केन्द्र पर सरल रेखीय धारा बनाते हुये रंगीन द्रव प्रवाहित होता है।

अब नली में पानी के वेग को धीरे-धीरे बढ़ाते हैं। जब तक पानी का प्रवाह क्रांतिक-वेग से अधिक नहीं होता, रंगीन पानी की सरल रेखीय धारा बनी रहती है। इस स्थिति में पानी का प्रवाह स्तरीय (laminar) होता है। पानी का वेग जब क्रांतिक वेग से अधिक हो जाता है तो रंगीन पानी की धारा टूट कर पानी में मिल जाती है। इस स्थिति में प्रवाह **विक्षुब्ध** (turbulent) हो जाता है।

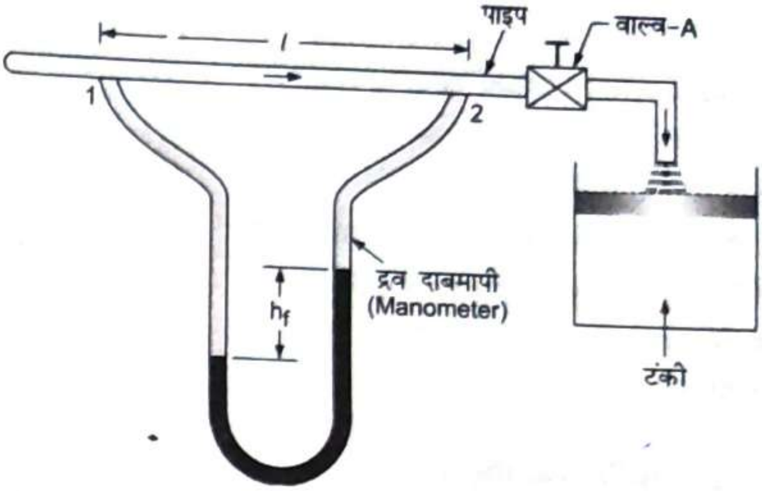
क्रांतिक-वेग का माप उस स्थिति में किया जाता है जब रंगीन धारा, लहरदार होने लगती है।

2. ऊर्जा-हानि प्रयोग (Energy loss experiment)—इस प्रयोग में क्रान्तिक-वेग (critical velocity) का मान, धारा रेखा (stream line) तथा विक्षुब्ध प्रवाह के लिये पाइप की भीतरी सतह पर प्रतिरोध के अन्तर (difference resistance) के आधार पर ज्ञात किया जाता है।

ऊर्जा हानि प्रयोग के लिये आवश्यक उपकरण चित्र 4.6 में दिखाया गया है। उपकरण में एक समान व्यास का पाइप है जिसकी लम्बाई l के दो बिन्दुओं 1 तथा 2 पर द्रव दाबमापी (manometer) लगा है। इस पाइप के एक सिरे से पानी प्रवेश करता है तथा दूसरी ओर एक टंकी में एकत्र होता है। पाइप में पानी के प्रवाह की दर (rate of flow) का नियन्त्रण वाल्व-*A* के द्वारा किया जाता है।

प्रयोग के अन्तर्गत जब पानी पाइप में किसी एक समान दर पर प्रवाहित किया जाता है तो निश्चित लम्बाई 1 के बीच घर्षण के कारण पानी की शीर्ष-हानि (loss of head) h_f का मान द्रव-दाबमापी (manometer) की दोनों नलियों में पारे की ऊँचाई के अन्तर से ज्ञात किया जाता है। इस प्रकार,

h = बिन्दु 1 तथा 2 के बीच l लम्बाई में घर्षण के कारण शीर्ष-हानि,

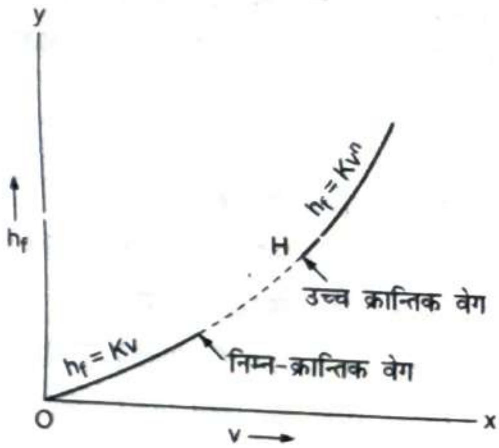


चित्र 4.6

पाइप में पानी के वेग (velocity) 'v' का मान, एक निश्चित समय में टंकी में एकत्र हुये विसर्जन (discharge) से निम्न प्रकार ज्ञात किया जाता है—

$$v = \frac{\text{पानी सेकिण्ड पानी का विसर्जन}}{\text{पानी के अनुपप्रस्थ-काट का क्षेत्रफल}}$$

इस प्रयोग को पानी के वेग के विभिन्न मानों के लिये दोहराया जाता है, पहले कम वेग पर तथा बाद में वेग को बढ़ाकर। प्रयोग के परिणामों को फिर **ग्राफ पर अंकित करके वक्र** (curve) **प्राप्त किया जाता है** जैसा कि चित्र 4.7(a) में दिखाया गया है। ग्राफ के x-अक्ष पर वेग v के मान तथा y-अक्ष पर h_f के मान लिये जाते हैं। यह ग्राफ वेग के एक निश्चित मान तक सीधी रेखा के रूप में होता है परन्तु उससे अधिक वेग पर वक्र रूप में हो जाता है।



चित्र 4.7(a)

$$h_f = K.v^n$$

जहाँ K तथा n स्थिरांक (constants) हैं।

ग्राफ के सीधे भाग के लिए $n = 1$ तथा वक्र भाग के लिए $n = 2$ माना जाता है।

ग्राफ के सीधे भाग तथा वक्र भाग के बीच में परिवर्ती (transitional) भाग होता है, जिसमें शीर्ष-हानि अनिश्चित रूप से होती है और पानी में भंवर (eddies) बनती हैं।

उपरोक्त विवरण के अनुसार ग्राफ के अग्र भाग होते हैं—

(i) भाग OL में $n = 1$ तथा नियम $h_f = K.v^1$ लागू होता है तथा पानी का प्रवाह स्तरीय (laminar) बना रहता है।

(ii) भाग LH में $n = 2$ तथा नियम $h_f = K.v^2$ लागू होता है तथा पानी में भंवर (eddies) बनती है। इस भाग के बिन्दु L पर पानी का निम्न क्रान्तिक वेग (lower critical velocity) तथा H पर उच्च क्रान्तिक वेग (upper critcal velocity) होता है।

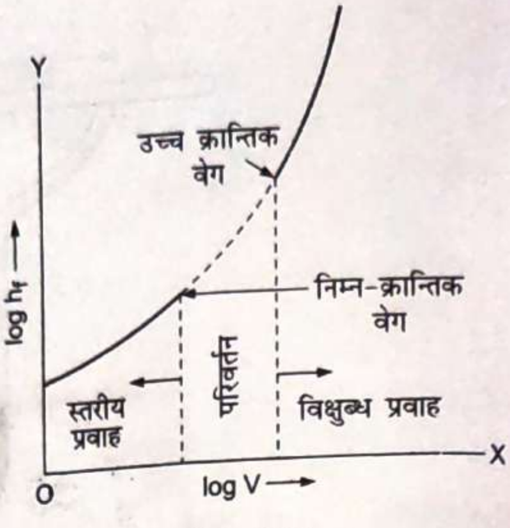
(iii) H से आगे नियम $h_f = K.v^n$ लागू होता है जिसमें $n = 1.75$ से 2 तक होता है। इस भाग में पानी का विक्षुब्ध प्रवाह (turbulent flow) कहते हैं।

सुविधा के लिये उपरोक्त तीनों सम्बन्धों को लघुगुणक (logarithmic scale) के अनुसार ग्राफ पर चित्र 4.7(b) के अनुसार खींचा जा सकता है।

रेनॉल्ड के ये प्रयोग जब विभिन्न व्यास के पाइपों तथा भिन्न तापमानों पर किये गये तो निम्नलिखित निष्कर्ष भी निकाले गये—

(i) **पाइप के व्यास के आधार पर**—क्रांतिक वेग के मान पाइप के व्यास के विलोमानुपाती (inversely proportional) होते हैं।

(ii) **पानी के तापमान के आधार पर**—क्रांतिक वेग के मान पानी के तापमान में विलोमानुपाती हैं।



चित्र 4.7(b)

§ 4.9. रेनॉल्ड संख्या (Reynold's Number) :

प्रवाह स्तरीय है या विक्षुब्ध इसका निर्धारण रेनॉल्ड-संख्या पर निर्भर करता है। रेनॉल्ड ने अपने प्रयोगों से यह पाया कि बन्द पाइप या नाली से बहते पानी का प्रवाह न केवल उसके वेग (velocity) पर निर्भर करता है वरन् कुछ अन्य बातों पर भी निर्भर करता है जैसे पाइप के व्यास, द्रव का घनत्व (density) तथा श्यानता (viscosity) आदि। इन सभी घटकों को जोड़ते हुए रेनॉल्ड ने एक इकाई रहित सूत्र का व्युत्पन्न किया जो कि एक संख्या को व्यक्त करता है। इस संख्या को **रेनॉल्ड संख्या** कहते हैं। इस प्रकार रेनॉल्ड संख्या (Reynold's number),

$$R_N = \frac{\rho v d}{\mu}$$

जहाँ ρ = द्रव का घनत्व,

v = पाइप में द्रव का औसत वेग

d = पाइप का व्यास,

μ = द्रव का श्यानता गुणांक (co-efficient of viscosity) या परम-श्यानता (absolute viscosity)

रेनॉल्ड संख्या को निम्न प्रकार लिखा जा सकता है—

$$R_N = \frac{vd}{\nu}$$

जहाँ $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ निरपेक्ष गति श्यानता (Kinematic viscosity)

रेनॉल्ड संख्या से हम किसी द्रव के प्रवाह के बारे में यह बता सकते हैं कि यह स्तरीय (laminar) है अथवा विक्षुब्ध (turbulent) है।

यदि रेनॉल्ड संख्या,

$R_N > 2000$ है, तो **प्रवाह स्तरीय** (laminar) होगा।

$R_N > 4000$ है, तो **प्रवाह विक्षुब्ध** (turbulent) होगा।

R_N, यदि 2000 से 4000 के बीच है तो प्रवाह की **प्रकृति अनिश्चित** (Transition) है।

उपरोक्त रेनॉल्ड संख्याओं को देखकर यह कहा जा सकता है कि $R_N = 2000$ पर प्रवाह निम्न क्रांतिक वेग (lower critical velocity) तथा $R_N = 4000$ पर उच्च क्रांतिक वेग (upper critical velocity) के बराबर होगा।

उदाहरण 4.10. 1.5 cm व्यास के पाइप में 2 m/sec के वेग से पानी प्रवाहित होता है। यदि पानी की निरपेक्ष गतिक श्यानता 1×10^{-6} m/sec हो तो रेनॉल्ड संख्या के आधार पर बताइये कि पानी का प्रवाह स्तरीय है अथवा विक्षुब्ध।

हल—प्रश्नानुसार, पानी का वेग, $v = 2$ m/sec

पाइप का व्यास, $d = 1.5 \text{ cm} = 0.015 \text{ m}$

निरपेक्ष गतिक श्यानता, $\nu = 1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$

अब रेनॉल्ड संख्या, $R_N = \frac{vd}{\nu} = \frac{2 \times 0.015}{1 \times 10^{-6}} = 30{,}000$

R_N क्योंकि 4000 से अधिक है, इसलिये पानी का प्रवाह विक्षुब्ध होगा। उत्तर

उदाहरण 4.11. रेनॉल्ड संख्या 2150 पर किसी द्रव का प्रवाह स्तरीय से विक्षुब्ध में बदल जाता है, तो 15 cm व्यास के पाइप में प्रवाहित कराने पर द्रव का क्रांतिक वेग ज्ञात कीजिए। द्रव की निरपेक्ष गतिक श्यानता 18×10^{-7} m²/sec है।

हल—प्रश्नानुसार—पाइप का पाइप, $d = 15 \text{ cm} = 15 \times 10^{-2}$ m, रेनॉल्ड सँख्या $R_N = 2150$

यदि v_c = क्रान्तिक वेग है, तो रेनॉल्ड सूत्र के अनुसार,

$R_N = \frac{v_c.d}{\nu}$ से,

$$v_c = \frac{2150 \times 18 \times 10^{-7} \times 10^2}{15} = \mathbf{2.58 \text{ cm/sec}}$$

या $$= \mathbf{0.0258 \text{ m/sec}}$$

उत्तर

उदाहरण 4.12. तेल, जिसकी गतिक श्यानता 0.00015 m²/sec है, 0.075 m व्यास के पाइप में प्रवाह कर रहा है। विसर्जन 0.007/m³/sec है। बताइए कि प्रवाह स्तरीय (laminar) है अथवा विक्षुब्ध (turbulent)।

हल—हम जानते हैं कि रेनॉल्ड सँख्या

$$R_N = \frac{vd}{\nu} = \frac{(Q/a).d}{\nu}$$

जहाँ $Q = 0.007 \text{ m}^3/\text{sec}$, $d = 0.075$ m, $\nu = 0.00015 \text{ m}^2/\text{sec}$ है।

$$\therefore \quad v = \frac{Q}{a} = \frac{0.007}{\frac{\pi}{4} \times [0.075]^2} = 1.585 \text{ m/sec}$$

$$\therefore \quad R_N = \frac{1.585 \times 0.075}{0.00015} = \mathbf{793}$$

अत: **प्रवाह स्तरीय (laminar) है।**

उत्तर

उदाहरण 4.13. पाइप लाइन में प्रवाह का रोनॉल्ड न० 1750 है। पाइप का व्यास 5 cm है। तरल की गतिक श्यानता 0.0002 m²/sec है। विसर्जन लीटर/सेकण्ड में ज्ञात कीजिये।

हल—हम जानते हैं कि रेनॉल्ड सँख्या

$$R_N = \frac{vd}{\nu} = \frac{(Q/a).d}{\nu}$$

$$\therefore \quad Q = \frac{R_N \times \nu \times a}{d} = \frac{1750 \times 0.0002 \times \frac{\pi}{4}(0.05)^2}{0.05}$$

$$\therefore \quad Q = 0.01375 \text{ m}^3\text{/sec}$$

या $= 13.75$ **litre/sec** **उत्तर**

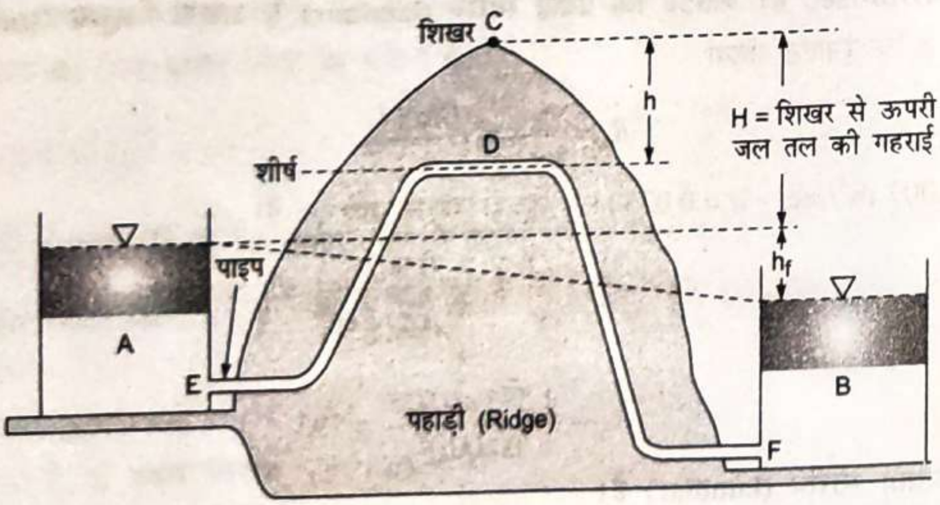
§ 4.10. साइफन (Syphon) :

एक ऐसे मुड़े हुए पाइप को साइफन कहते हैं जिसकी सहायता से वायुमण्डलीय दाब-बल का ही उपयोग करके किसी द्रव को कुछ ऊँचाई तक चढ़ा कर फिर निचले तल पर प्रवाहित कर सकते हैं।

"A syphon is a long bent pipe employed for carrying water from a reservoir at a higher elevation to another reservoir at a lower elevation when two reservoir are separated by a hill or high level ground in between."

चित्र 4.8 में *EDF* एक साइफन है। उल्लेखनीय है कि द्रवीय ढाल रेखा से ऊपर के साइफन के भाग में (पाइप में) दाब वायुमण्डल से कम होगा और सबसे कम दाब बिन्दु *D* पर (द्रवीय ढाल रेखा से अधिकतम ऊंचाई पर) होगा। साथ ही पानी का पृथक्कीकरण (Separation) नहीं होने पाये इसके लिए आवश्यक है कि बिन्दु *D* पर दाब 2.4 m पानी की ऊंचाई (परम) से कम नहीं होना चाहिये अन्यथा पानी का प्रवाह रुक जायेगा अर्थात् साइफन-पाइप में प्रवेश द्वार से साइफन के शिखर की अधिकतम ऊँचाई 10 m जल शीर्ष के बराबर होनी चाहिये जबकि पाइप समान व्यास का हो, परन्तु व्यावहारिक रूप से निम्न दाब पर जल में से वायु तथा वाष्प के पृथक्कीकरण के कारण यह ऊंचाई 7.5 मीटर तक ही सीमित है। **साइफन को चालू करने के लिये** साइफन में से वायु को निकालकर उसमें निर्वात पैदा कर या उसी द्रव से पूरे साइफन को पूर्ण रूप से भरकर प्रारम्भ (Start) किया जाता है। **साइफन का उपयोग** निम्नलिखित स्थितियों में किया जाता है—

(i) किसी पहाड़ी द्वारा अलग किये गये विभिन्न ऊंचाइयों पर स्थित दो जलाशयों को जोड़ने के लिये। देखिये—चित्र 4.8



चित्र 4.8

(ii) जल के ऐसे टैंक या हौज या झील को खाली करने में जिसमें कोई निकास द्वार न हो।

(iii) किसी घाटी द्वारा अलग किये गये दो जलाशयों को जोड़ने (उल्टे साइफन द्वारा) में या दो नहरों को जोड़ने में (नहरों की तली में उल्टे साइफन को जोड़कर)।

साइफन से सम्बन्धित समस्याओं का हल बरनॉली प्रमेय की सहायता से किया जाता है। चित्र 4.8 में दिखाये गये प्रबन्ध बिन्दुओं E और D, तथा D और F पर बरनॉली प्रमेय के प्रयोग से किया जा सकता है।

§ 4.11. पाइप द्वारा द्रवीय शक्ति संचरण (Transmission of Hydraulic Power through Pipes):

जब द्रवीय शक्ति का संचरण किसी पाइप द्वारा किया जाता है तब मुख्यत: पाइप के घर्षण प्रतिरोध के कारण द्रवीय शक्ति के कुछ अंश की क्षति (loss) हो जाती है।

यदि पाइप के प्रवेश पर कुल शीर्ष H_1, पाइप में घर्षण शीर्ष हानि h_f, प्रवाह वेग V, व्यास व लम्बाई क्रमशः d तथा l हैं और पाइप का घर्षण गुणांक f हो तो,

पाइप के निकास पर उपलब्ध (प्राप्त) कुल शुद्ध शीर्ष $= H - h_f$ होगा

∴ उपलब्ध ऊर्जा प्रति सेकण्ड (Energy Delivered) $= W \times (H - h_f)$ प्रति सेकण्ड

जहाँ, $W =$ द्रव का भार $= w\,Q = w\dfrac{\pi}{4}(d)^2 V$

अत:

$$\text{प्रति सेकण्ड ऊर्जा (Energy)} = \left[w\frac{\pi}{4}(d)^2 V\right]\left[H - \frac{4flV^2}{2gd}\right]$$

या

$$\text{प्राप्त अश्व शक्ति, h.p.} = \frac{\left[w\frac{\pi}{4}(d)^2 V\right]\left[H - \frac{4flV^2}{2gd}\right]}{75}$$

या

$$\text{h.p.} = \frac{w\pi d^2}{300}\left[H.V. - \frac{4flV^3}{2gd}\right] \qquad \text{...(xx)}$$

h.p. का मान अधिकतम होने के लिए $\left[H.V. - \dfrac{4flV^3}{2gd}\right]$ का v के सापेक्ष अवकलन का मान 0 होना चाहिए अर्थात्

$$\frac{d(h.p.)}{dv} = H - 3\left[\frac{4flV^2}{2gd}\right] = 0$$

या

$$H - 3\,[h_f] = 0$$

या

$$h_f = \frac{H}{3}$$

अर्थात् **पाइप द्वारा संचारित शक्ति उसी समय अधिकतम होगी जबकि पाइप में घर्षण के कारण शीर्ष हानि उपलब्ध (प्राप्त) शीर्ष की एक तिहाई हो**

"Power transmitted by a pipe is maximum when head loss due to friction in pipe is one-third of available head."

अत:,

$$\textbf{संचरण दक्षता, } \eta = \frac{H - h_f}{H} \qquad \text{...(xxi)}$$

$$\eta\ \textbf{अधिकतम} = \frac{H - H/3}{H} = \frac{2}{3} = \mathbf{66.7\%} \qquad \text{...(xxii)}$$

§ 4.12. जल आघात (Water Hammer) :

जैसा कि हम जानते हैं कि पाइप में प्रवाहित द्रव का कुछ संवेग (Momentum) होता है जिसका मान mV होगा और इस प्रकार संवेग प्रवाह वेग V के कारण होता है। **अब यदि प्रवाहित हो रहे द्रव या पानी को अचानक पाइप में लगा वाल्व बन्द करके शान्त (At rest) कर दिया जाये तो वेग शून्य हो जाने के कारण उसका संवेग भी नष्ट हो जायेगा तथा वाल्व पर बहुत अधिक दाब पैदा होगा तथा फिर पाइप में दाब तरंगें या कम्पन धारायें उत्पन्न हो जायेंगी। इन्हीं दाब तरंगों या कम्पन धाराओं के कारण पाइप में ठक-ठक जैसी ध्वनि होनी शुरू होगी जिसे नाकिंग या अभिहनन (Knocking) कहते हैं तथा प्रवाह के रूक जाने से पाइप में हुई एकदम दाब-वृद्धि को जलाघात (Water Hammer) या घन-प्रघात (Hammer-blow) कहते हैं।**

"In a long-pipe, when the flowing water is suddenly brought to rest by closing the valve or by any similar cause, there will be a sudden rise in pressure due to the momentum of water being destroyed. A pressure wave is transmitted along the pipe. A sudden rise in pressure has the effect of hammering action on the walls of the pipe. The phenomenon of sudden rise in pressure is known as "water hammer" or "hammer blow".

कभी-कभी इस जलाघात का मान इतना बढ़ जाता है कि पाइप फट जाता है। अत: पाइप वाल्व या पेन स्टाक (Penstock) का वाल्व धीरे-धीरे बन्द करना चाहिए। इसका अनुभव कभी-कभी हम घर के नलों में करते हैं जब एकदम वाल्व बन्द करने से नल में ध्वनि उत्पन्न होती है।

नलों में जल-आघात की दाब तीव्रता निम्न बातों पर निर्भर करती है—

(i) वाल्व को बन्द करने की गति,

(ii) पाइप लाइन की लम्बाई,

(iii) द्रव तथा पाइप के पदार्थ के प्रत्यास्थ-गुण (elastic properties)।

जल आघात के कारण नलों में द्रव की दाब-तीव्रता का मान वाल्व को बन्द करने की विधि के अनुसार ज्ञात किया जा सकता है अर्थात् वाल्व को धीरे-धीरे (gradually) बन्द करना या एकदम (instantaneously) बन्द करना। वाल्व एकदम बन्द करने पर द्रव की दाब तीव्रता ज्ञात करने में बहुत जटिलता है। इसलिए पुस्तक की सीमा के अन्तर्गत हम वाल्व को धीरे-धीरे बन्द करने की अवस्था में द्रव की दाब तीव्रता या वाल्व में दाब बढ़ोत्तरी की गणना निम्न प्रकार करते हैं—

$$\text{वाल्व में दाब बढ़ोत्तरी, } p = \frac{\text{बल}}{\text{क्षेत्रफल}} = \frac{\text{संहति} \times \text{त्वरण}}{\text{क्षेत्रफल}}$$

या

$$p = \frac{\text{पूरे पाइप में पानी की संहति (mass)} \times \text{वेग कम करने की दर}}{\text{पाइप का काट क्षेत्रफल}} \quad \ldots(i)$$

जहाँ पाइप में प्रवाहित द्रव की मात्रा, $m = \frac{wal}{g}$

जहाँ a = नल की काट का क्षेत्रफल

l = नल की लम्बाई,

V = नल में द्रव का वेग

t = वाल्व को पूर्णतया बन्द करने में लगा समय या पानी का वेग शून्य करने में लगा समय

w = द्रव का आपेक्षिक भार

साथ ही, वाल्व को धीरे-धीरे बन्द करने से, प्रवाहित द्रव का वेग कम होने की दर (retardation),

$$f = \frac{V-0}{t} = \frac{V}{t}$$

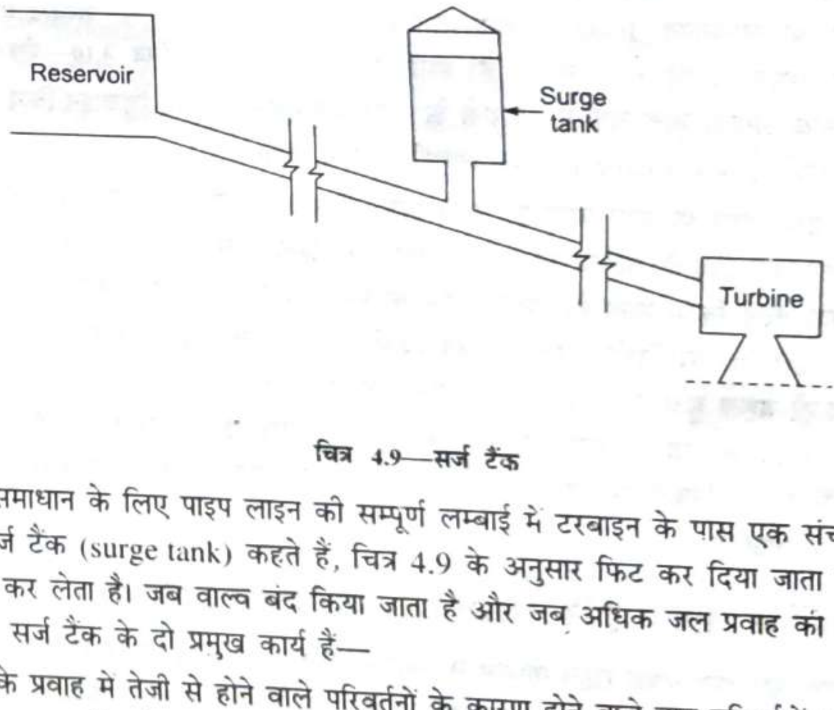
या
$$p = \frac{\left(\frac{wal}{g}\right) \times \left(\frac{V}{t}\right)}{a}$$

या
$$p = \frac{w.l.V}{g.t} \qquad ...(xvii)$$

§ 4.13. सर्ज टैंक (Surge Tank) :

हम जानते हैं कि जब किसी पाइप के सिरे पर फिट हुआ कोई वाल्व अचानक बन्द किया जाता है तो इसके कारण पाइप में जल आघात (water hammer or hammer blow) उत्पन्न होता है। इसके अतिरिक्त जल विद्युत संयन्त्रों में जहाँ जल की आवश्यकताएँ लगातार बदलती रहती हैं, यह आवश्यक होता है कि पाइप लाइन में जल का विसर्जन (Discharge) बढ़ाया अथवा घटाया जा सके।

यहाँ यह भी ध्यान देने योग्य है कि जब संयन्त्र में जल की आवश्यकता अचानक घट जाये, वाल्व को बन्द कर दिया जाता है जिसके परिणामस्वरूप जलाशय (Reservoir) तथा टरबाइन के मध्य की पूरी पाइप लम्बाई में दाब वृद्धि (increase pressure) हो जाती है।



चित्र 4.9—सर्ज टैंक

इस समस्या के समाधान के लिए पाइप लाइन की सम्पूर्ण लम्बाई में टरबाइन के पास एक संचयी जलाशय (storage reservoir), जिसे सर्ज टैंक (surge tank) कहते हैं, चित्र 4.9 के अनुसार फिट कर दिया जाता है। यह सर्ज टैंक अपने अन्दर जल का संग्रह कर लेता है। जब वाल्व बंद किया जाता है और जब अधिक जल प्रवाह की आवश्यकता होती है तो विसर्जित कर देता है। सर्ज टैंक के दो प्रमुख कार्य हैं—

1. पाइप लाइन के प्रवाह मे तेजी से होने वाले परिवर्तनों के कारण होने वाले दाब परिवर्तनों (Pressure variations) को नियन्त्रित करना, जिससे जल आघात की सम्भावनाओं को समाप्त किया जा सकता है।
2. आवश्यक जलशीर्ष उपलब्ध कराकर टरबाइन को भेजे जाने वाले जल की मात्रा को नियन्त्रित करना।

सर्ज टैंक को टरबाइन के यथासम्भव नजदीक रखा जाता है। सर्ज टैंक की ऊँचाई सामान्यतया सप्लाई जलाशय (Supply reservoir) में अधिकतम जल स्तर से अधिक रखी जाती है। यद्यपि अनेक प्रकार के सर्ज टैंकों का प्रयोग किये जाते हैं फिर भी सर्ज टैंक के प्रमुख प्रकार निम्न हैं—

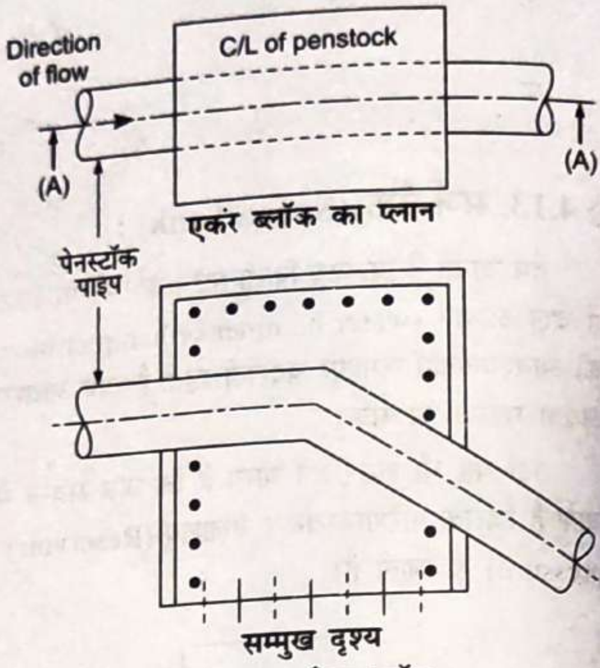
(i) साधारण सर्ज टैंक (Simple surge tank)

(ii) निरूद्ध ऑरिफिस प्रकार का सर्ज टैंक (Restricted orifice type surge tank), तथा

(iii) विभेदी सर्ज टैंक (Differential surge tank)।

§ 4.14. एंकर ब्लॉक (Anchor Block) :

जमीन के ऊपर बिछाई जाने वाली पाइप लाइनों के लिए एँकर ब्लॉक एक प्रमुख अवयव है। एँकर ब्लॉक जल आपूर्ति से सम्बन्धित अनुप्रयोगों (applications) में, जहाँ तक पाइप लाइन का जल आघातरोधी (thrust restraint) होना वांछित हो, जटिलता (typically) से प्रयोग किया जाता है।



चित्र 4.10—एँकर ब्लॉक

एँकर ब्लॉक का प्रमुख कार्य पेनस्टॉक पाइप (penstock pipe) को बद्ध (fix) करना तथा पाइप को किसी भी दिशा में गति (move) करने की अनुमति न देना है। एँकर ब्लॉक को प्राय: अग्रताल कुंड (forebay pool) तथा दाब पाइप (pressure pipe) की संधि (connection), दाब पाइप तथा पावर हाउस के बीच संधि तथा जहाँ दाब पाइप अपनी दिशा बदलता है, जैसा कि चित्र 4.10 में प्रदर्शित है, पर संस्थापित (Install) किया जाता है। दिशा में परिवर्तन क्षैतिज अथवा ऊर्ध्वाधर हो सकता है। इसलिए के लिए ड़िजाइन किये जाते हैं। एँकर के बीच प्रत्येक स्थिति में एँकर ब्लॉक लगाया जाना चाहिये। ये पानी के धक्के को सहने में पेनस्टॉक को रॉकर सपोर्ट (Rocker support) पर आधारित किया जाता है।

पेनस्टॉक पाइपों को दाब पाइप भी कहा जाता है। ये जलाशय से पॉवर हाउस तक पानी को लाने के लिये प्रयोग किये जाते हैं। पाइपों का डिजाइन जल दाब के वांछित स्तर, विशेषतया एँकर ब्लॉक पर, के लिए किया जाता है। पाइपों को साइट (site) पर फेब्रीकेट अथवा वेल्ड किया जाता है। पॉवर हाउस के समीप पेनस्टॉक के निचले स्तर का ड़िजाइन जल आघात प्रभाव (Water-hammer effect) पर निर्भर करता है। जब किसी तकनीकी खराबी के कारण मशीन रूक जाती है अथवा वाल्व बंद किया जाता है तो बहता हुआ पानी बहुत ऊर्जा जनित करता है तथा एक जल तरंग (water wave), पेन स्टॉक के भीतर, ऊपर की ओर चलती है। यह पेन स्टॉक में कार्यरत दाब की सबसे खराब स्थिति है। पेन स्टॉक की कार्यशैली को सुरक्षित बनाये रखने के लिए जल निकाय में एक सर्ज टैंक (surge tank) लगाया जाता है जिससे अतिरिक्त दाब सर्ज टैंक द्वारा समायोजित कर दिया जाता है।

§ 4.15. प्रवाहित तरलों के शीर्ष में हानि (Head Loss of Flowing Fluid) :

यदि कोई आदर्श तरल पूरी तरह घर्षण रहित माध्यम में प्रवाहित होता है तो उसकी ऊर्जा में कोई हानि नहीं होती जबकि किसी वास्तविक तरल के प्रवाह में निम्न कारणों से उस की ऊर्जा में या शीर्ष में कुछ न कुछ हानि अवश्य होती है। द्रव के वेग में परिवर्तन, तथा प्रवाह के विक्षुब्ध होने के अनेक कारण होते हैं। जिनमें मुख्य कारण निम्न प्रकार हैं—

1. प्रवाह मार्ग की रूक्षता (Roughness)
2. प्रवाह मार्ग की अनुप्रस्थ काट में सहसा (एकदम) परिवर्तन (अर्थात् आकस्मिक वर्धन और आकस्मिक संकुचन)
3. प्रवाह की दिशा में परिवर्तन जैसे मोड़ (Bend)
4. प्रवाह मार्ग में किसी प्रकार की रुकावट या अवरोध आदि।

वेग परिवर्तन के कारण होने वाली ऊर्जा हानियों को **लघु हानियाँ** (Minor Losses) कहते हैं जबकि प्रवाह में घर्षण के कारण ऊर्जा हानि, **मुख्य हानि** (Major Loss) कहलाती है क्योंकि ये मार्ग या पाइप की पूरी लम्बाई में होती है और इसका मान अपेक्षाकृत काफी अधिक होता है।

§ 4.16. विभिन्न प्रकार की शीर्ष हानियाँ (Various Types of Head Losses) :

तरल प्रवाह में निम्नलिखित शीर्ष हानियां होती हैं—

1. घर्षण के कारण शीर्ष हानि
2. आकस्मिक वर्धन (Sudden Enlargement) के कारण शीर्ष हानि
3. आकस्मिक संकुचन (Sudden Contraction) के कारण शीर्ष हानि
4. बड़े पात्र से पाइप में प्रवेश पर शीर्ष हानि
5. निकास (Exit) पर शीर्ष हानि
6. रुकावट के कारण शीर्ष हानि
7. प्रवाह की दिशा परिवर्तन के कारण शीर्ष हानि
8. विभिन्न प्रकार की पाइप फिटिंग के कारण घर्षण हानि

4.16.1. घर्षण के कारण शीर्ष हानि (Head Loss due to Friction)

प्रवाह मार्ग की रूक्षता (Roughness) के कारण तरल की ऊर्जा में जो हानि होती है, वह घर्षण हानि कहलाती है। घर्षण हानि प्रवाह मार्ग के घर्षण गुणांक (Coefficient of Friction) f, प्रवाह गति V, तथा सम्पर्क सतह के क्षेत्रफल (Area of wetted surface) पर निर्भर करती है। l लम्बाई तथा d व्यास के पाइप में घर्षण शीर्ष हानि,

$$h_f = \frac{4flV^2}{2gd}$$

या

$$h_f = \frac{flQ^2}{3(d)^5} \qquad ...(i)$$

जहाँ Q = पाइप में विसर्जन

4.16.2. आकस्मिक वर्धन के कारण शीर्ष हानि (Head Loss due to Sudden Enlargement)

चित्र 4.10 में किसी पाइप का काट क्षेत्रफल a_1 से बढ़कर अचानक a_2 हो जाता है। चित्रानुसार जहाँ पाइप का क्षेत्रफल अचानक बढ़ता है वहाँ कोनों (Corners) पर भंवर (Eddies) बन जाती हैं जिनके कारण शीर्ष हानि होती है।

माना काट 1-1 तथा 2-2 पर दाब और वेग क्रमशः p_1, V_1 तथा p_2, V_2 है। प्रयोगों द्वारा यह पाया गया है कि भंवरें इकाई दाब p (माना) क्षेत्रफल $(a_2 - a_1)$ पर लगाती हैं और p का मान p_1 के बराबर होता है।

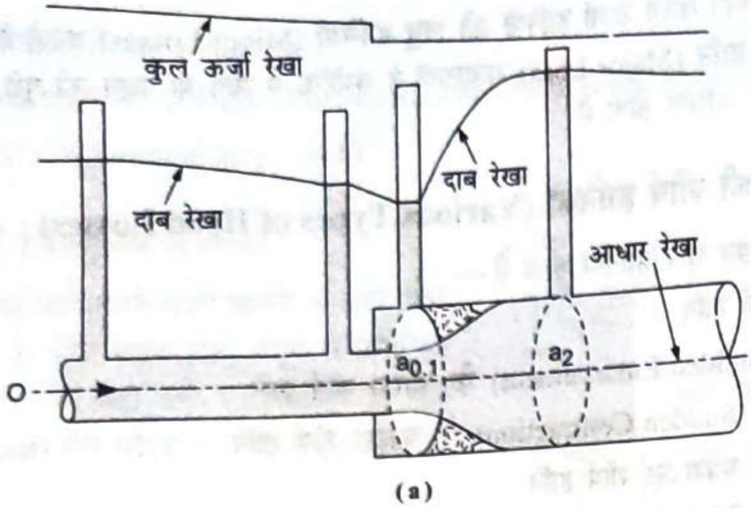
काट 1-1 तथा 2-2 के बीच द्रव पर लगा शुद्ध बल (Net Force) (जिसके कारण द्रव प्रवाह होता है)

$$= p_2a_2 - p_1a_1 - p(a_2 - a_1)$$

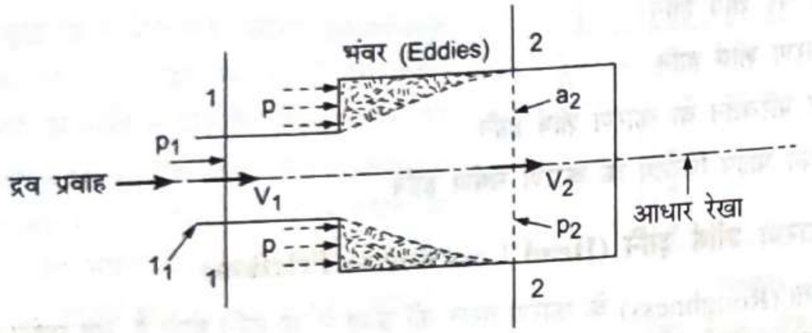
$$= p_2a_2 - p_1a_1 - p_1(a_2 - a_1) \qquad (\because p = p_1)$$

$$= a_2(p_2 - p_1)$$

यह बल काट 1-1 तथा 2-2 पर प्रति सेकण्ड संवेग (Momentum) के परिवर्तन के बराबर होगा अर्थात्



(a)



(b)

चित्र 4.11

$$a_2 (p_2 - p_1) = \text{प्रति सेकण्ड संवेग परिवर्तन}$$

$$= \text{काट (1-1) पर द्रव का संवेग} - \text{काट (2-2) पर संवेग}$$

$$= \frac{W}{g}(V_1) - \frac{W}{g}(V_2) \qquad \text{(प्रति सेकण्ड बह रहे द्रव का भार} = W)$$

$$= \frac{wa_2V_2V_1}{g} - \frac{wa_2V_2V_2}{g} \qquad (\because W = wa_1V_1 = wa_2V_2 \text{ सांतत्य समीकरण से})$$

अतः $$a_2 (p_2 - p_1) = \frac{a_2 w}{g}[V_1V_2 - V_2^2]$$

या $$\frac{p_2 - p_1}{w} = \frac{V_1V_2}{g} - \frac{V_2^2}{g} \qquad \text{...(i)}$$

माना आकस्मिक वर्धन से द्रव शीर्ष में हानि h_a है तो काट 1-1 तथा काट 2-2 पर बरनॉली प्रमेय लगाने पर,

$$Z_1 + \frac{p_1}{w} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{w} + \frac{V_2^2}{2g} + h_e$$

या $$h_e = \left(\frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g}\right) - \left(\frac{p_2 - p_1}{w}\right) \qquad \left(\because Z_1 = Z_2 = 0 \text{ पाइप की केन्द्र रेखा को आधार रेखा मानने पर}\right)$$

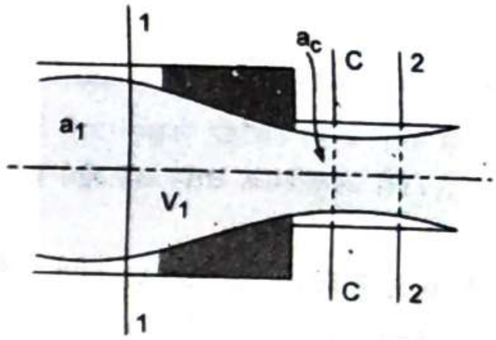
या
$$h_e = \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} - \left(\frac{V_1V_2}{g} - \frac{V_2^2}{g}\right)$$

$$= \frac{V_1^2 - V_2^2 - 2V_1V_2 + 2V_2^2}{2g} = \frac{V_1^2 - 2V_1V_2 + V_2^2}{2g}$$ (समीकरण (i) से मान रखने पर)

या
शीर्ष हानि, $$h_e = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} \quad ...(ii)$$

§ 4.16.3. आकस्मिक संकुचन के कारण शीर्ष हानि (Head Loss due to Sudden Contraction):

चित्र 4.12 के अनुसार एक पाइप का काट क्षेत्रफल a_1 से एक दम घट कर a_2 हो जाता है। जब द्रव a_1 (बड़ी काट) से a_2 वाले छोटे काट में आता है तो पहले काट C-C पर जेट संकोच (Vena contracta) बनता है तब बाद में द्रव पाइप में पूरा फैल कर (सारा भर कर) बहता है। माना आकस्मिक संकुचन के कारण शीर्ष हानि h_c है तो आकस्मिक संकुचन के कारण शीर्ष हानि, h_c = काट C-C से काट 2-2 पर आकस्मिक वर्धन के कारण शीर्ष हानि



चित्र 4.12

या
$$h_c = \frac{(V_c - V)^2}{2g}$$

खण्ड 4.16.2 की समीकरण (ii) के अनुसार, जहाँ V_c काट C-C पर तथा V, काट 2-2 पर वेग हैं। साथ ही सांतत्य समीकरण से,

$$a_cV_c = aV$$

या
$$V_c = \frac{aV}{a_c} = \frac{V}{a_c/a} = \frac{V}{C_c}$$ (जहाँ C_c = संकुचन गुणांक)

अत:
$$h_c = \frac{\left(\frac{V}{C_c} - V\right)^2}{2g}$$

या
$$h_c = \left(\frac{1}{C_c} - 1\right)^2 \frac{V^2}{2g}$$

C_c का मान रखने पर,

$$h_c = 0.5\frac{V^2}{2g} \quad ...(iii)$$

C_c का मान 0.62 लेने पर h_c का मान सामान्यत लगभग इतना ही होता है।

4.16.4. बड़े पात्र से पाइप में प्रवेश पर शीर्ष हानि (Head Loss on Entry in Pipe from a Vessel)

यह स्थिति आकस्मिक संकुचन प्रकार की है क्योंकि प्रवाह बड़ी काट से एक दम छोटी काट में हो रहा है। अत: बड़े पात्र से पाइप में प्रवेश पर शीर्ष हानि (समीकरण (iii) के अनुसार)

$$h_E = 0.5\frac{V^2}{2g} \qquad ...(iv)$$

4.16.5. निकास पर शीर्ष हानि (Head Loss at Exit)

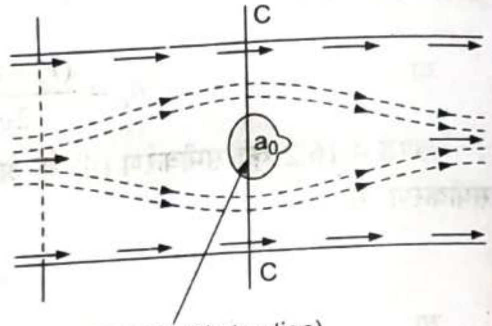
इस स्थिति में किसी पाइप में से बहने वाला द्रव वायुमण्डल में प्रवाहित होता है तो उसकी सारी गति समाप्त हो जाती है फलस्वरूप निकास पर शीर्ष हानि बह रहे द्रव के वेग शीर्ष के बराबर होती है। इस प्रकार निकास पर शीर्ष हानि

$$h_{ex} = \frac{V^2}{2g} \qquad ...(v)$$

(इसे आकस्मिक वर्धन की शीर्ष हानि $h_e = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$ में $V_2 = 0$ रखने पर भी प्राप्त कर सकते हैं।)

4.16.6. रुकावट के कारण शीर्ष हानि (Head Loss due to Obstruction)

चित्र 4.13 के अनुसार यदि काट क्षेत्रफल a के पाइप में कोई a_0 काट क्षेत्रफल (अधिकतम) की कोई रुकावट बन जाती है तो इस रुकावट के कारण शीर्ष हानि (माना h_0), रुकावट के बाद आकस्मिक वर्धन के कारण (मुख्य रूप में) होती है।



चित्र 4.13

अर्थात्
$$h_0 = \frac{(V_c - V)^2}{2g} \qquad ...(i)$$

काट C-C पर वेग V_c तथा रुकावट का अधिकतम क्षेत्रफल a_0 है।

अत: सांतत्य समीकरण से,

$$aV = (a - a_0)\, V_c \times C_c \text{ (जहाँ } C_c = \text{ संकुचन गुणांक)}$$

या
$$V_c = \frac{aV}{(a - a_0)C_c}$$

समीकरण (i) में V_c का मान रखने पर,

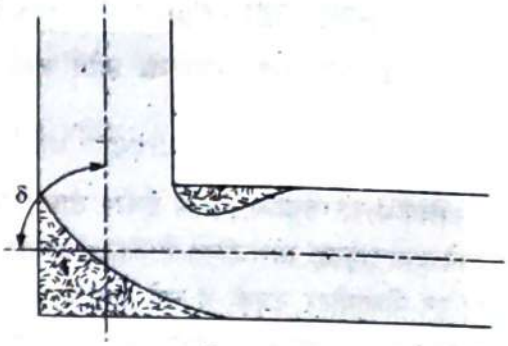
$$h_0 = \frac{V^2}{2g}\left[\frac{a}{(a - a_0)\,C_c} - 1\right]^2 \qquad ...(vi)$$

या
$$h_0 = K\frac{V^2}{2g}$$

जहाँ $K = \left[\frac{a}{(a - a_0)\,C_c} - 1\right]^2$

नोट—K का मान रुकावट की प्रकार तथा पाइप के माप पर निर्भर करता है और इसे तालिकाओं द्वारा ज्ञात करके h_0 की गणना करते हैं। नहीं तो समीकरण (iv) से सीधे ही h_0 का मान ज्ञात करते हैं।

4.16.7. प्रवाह की दिशा परिवर्तन या मोड़ के कारण शीर्ष हानि (Head Loss due to Change in Direction or Bends)



चित्र 4.14

जब पाइप लाइन में मोड़ पर दिशा परिवर्तन होता है तब भी उसमें शीर्ष हानि होती है। प्रवाह की दिशा परिवर्तन या मोड़ के कारण शीर्ष हानि,

$$h_b = K\frac{V^2}{2g} \quad ...(vii)$$

सूत्र से ज्ञात की जाती है जहाँ 90° मोड़ के लिए $K = 1$ होता है। K के मान मोड़ पर तथा पाइप की माप पर निर्भर करते हैं और तालिका द्वारा ज्ञात किये जाते हैं।

4.16.8. विभिन्न प्रकार की प्रयाप्त फिटिंग के कारण घर्षण हानि (Head Loss in Various Pipe Fittings):

विभिन्न प्रकार की पाइप फिटिंग के कारण होने वाली घर्षण हानियों को भी निम्न प्रकार प्रदर्शित किया जाता है।

$$h = K.V^2/2g \quad ...(viii)$$

यहाँ K का मान pipe fitting के प्रकार पर निर्भर करता है।

तालिका 4.1—पाइपों से प्रवाह में विभिन्न ऊर्जा या शीर्ष हानियाँ एवं सूत्र

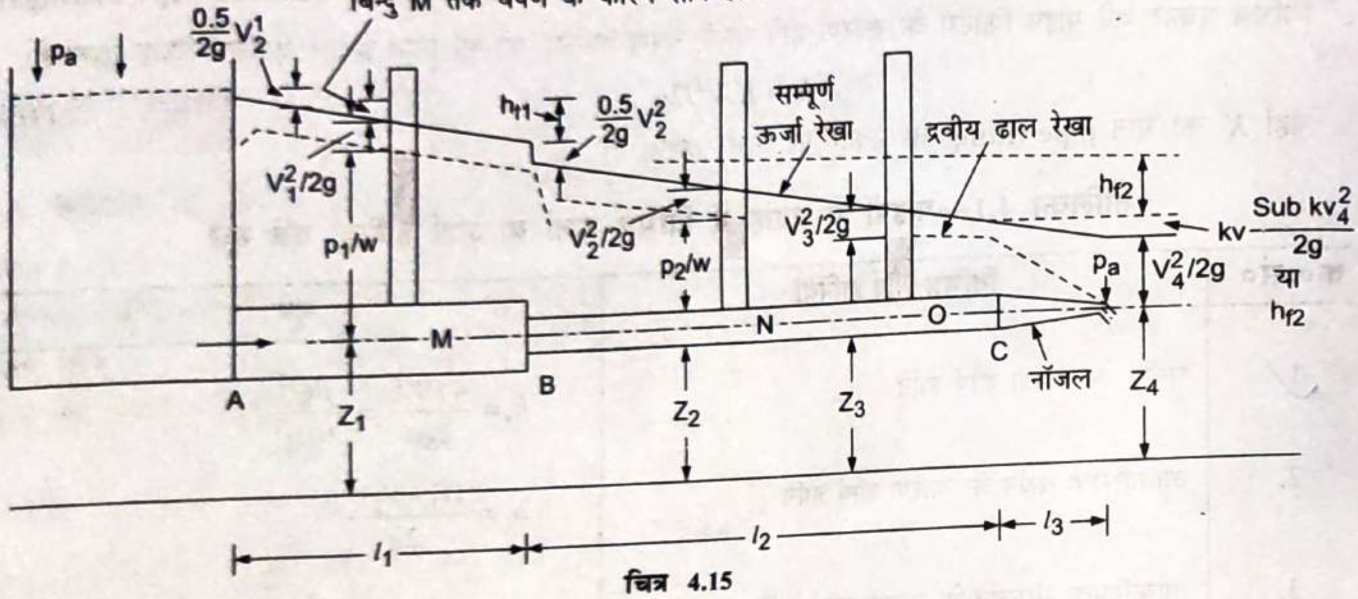
क्र० सं०	विभिन्न-शीर्ष हानियाँ	सूत्र
1	घर्षण के कारण शीर्ष हानि	$h_f = \frac{4flV^2}{2gd} = \frac{flQ^2}{3(d)^5}$
2.	आकस्मिक वर्धन के कारण शीर्ष हानि	$h_e = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$
3.	आकस्मिक संकुचन के कारण शीर्ष हानि	$h_c = \left(\frac{1}{C_c} - 1\right)^2 \frac{V^2}{2g} = 0.5\frac{V^2}{2g}$
4.	बड़े पात्र से पाइप में प्रवेश पर शीर्ष हानि	$h_E = 0.5\frac{V^2}{2g}$
5.	निकास (Exit) पर शीर्ष हानि	$h_{Ex} = \frac{V^2}{2g}$
6.	रुकावट (Obstruction) के कारण शीर्ष हानि	$h_0 = K\frac{V^2}{2g}\left[\frac{a}{(a-a_0)C_c} - 1\right]^2 = K\frac{V^2}{2g}$
7.	दिशा परिवर्तन या मोड़ (Bend) के कारण शीर्ष हानि	$h_b = K\frac{V^2}{2g}$ 90° मोड़ के लिए $K = 1$
8.	विभिन्न प्रकार की पाइप फिटिंग के कारण घर्षण हानि	$h = K\frac{V^2}{2g}$

§ 4.17. द्रवीय ढाल रेखा (Hydraulic Gradient Line or Hydraulic Slope Line) और सम्पूर्ण ऊर्जा रेखा (Total Energy Line) :

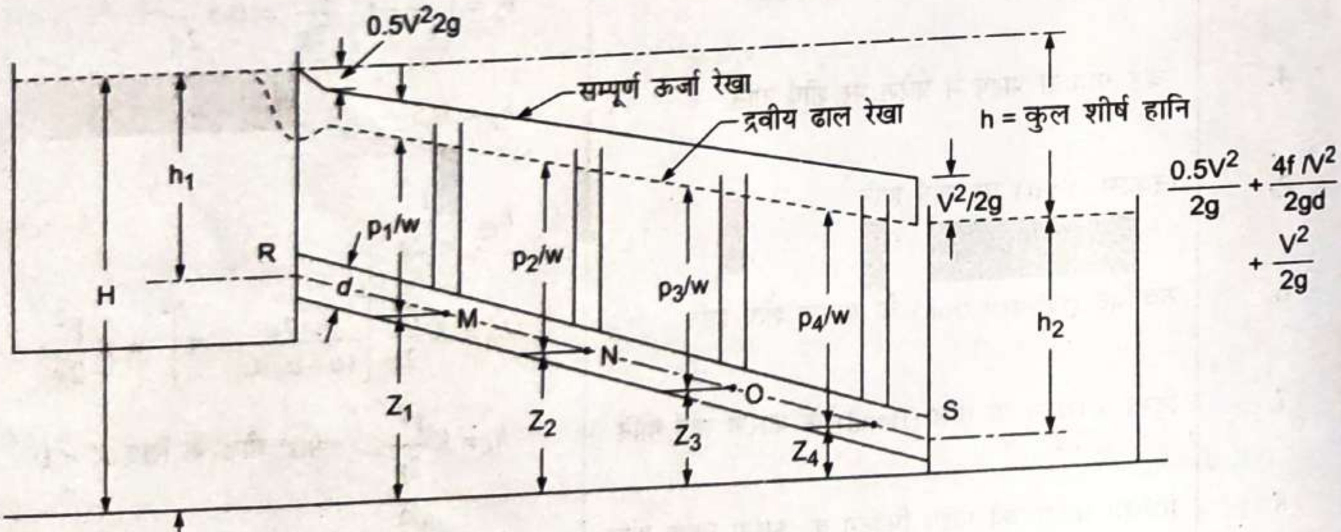
द्रवीय ढाल रेखा स्थैतिक शीर्ष तथा दाब शीर्ष के योग का रेखाचित्रीय प्रदर्शन है। इस प्रकार,

$$\text{द्रवीय ढाल रेखा} = \left(\frac{p}{w}+Z\right) \text{ का रेखा चित्रीय प्रदर्शन।}$$

चित्र 4.15 तथा 4.16 में द्रवीय ढाल रेखा देखिए जिसमें पाइप के विभिन्न बिन्दुओं पर पीजोमीटर टयूब लगाये गये हैं जिनमें द्रव चढ़ेगा। हम जानते हैं कि पीजोमीटर ट्यूब में चढ़ी द्रव की यह ऊँचाई द्रव का दाब शीर्ष प्रदर्शित करती है और यदि इन पीजोमीटर ट्यूबों में चढ़े द्रव की ऊँचाईयों को मिला दिया जाये तो प्राप्त रेखा द्रवीय ढाल रेखा होती है। ध्यान रहे कि क्षैतिज पाइप के लिए द्रवीय बल रेखा पाइप से विभिन्न बिन्दुओं पर दाब शीर्ष ही प्रदर्शित करेगी यदि क्षैतिज पाइप की अक्ष रेखा को आधार रेखा (Datum Line) मान लिया जाये।



चित्र 4.15



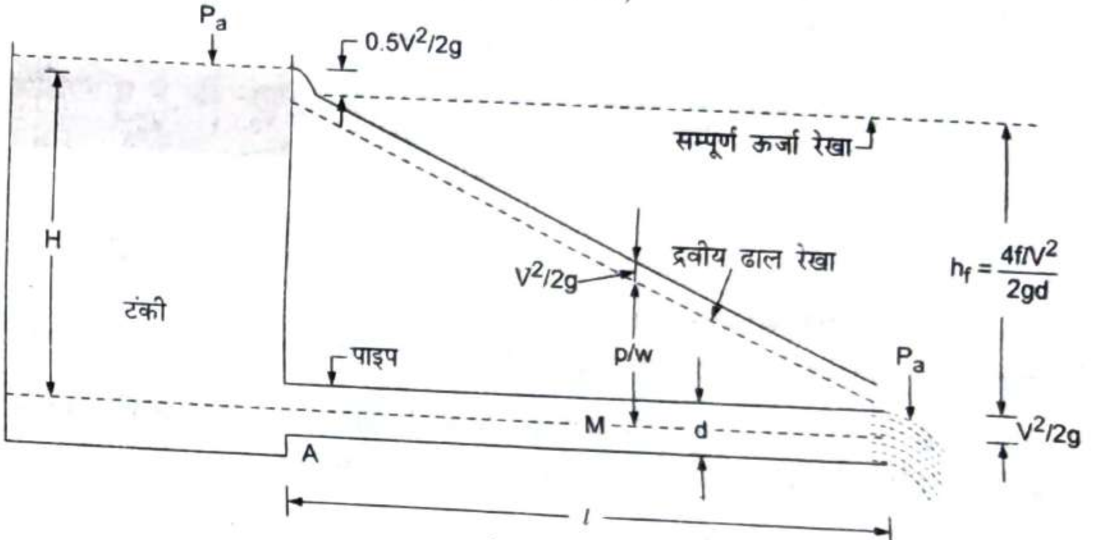
चित्र 4.16

सम्पूर्ण ऊर्जा रेखा (Total Energy Line)—किसी आधार रेखा से किसी पाइप के विभिन्न परिच्छेदों (काटों) पर स्थैतिक शीर्ष, दाब शीर्ष तथा वेग शीर्षों के योग का रेखाचित्रीय प्रदर्शन होती है। ध्यान रहे कि

सैद्धान्तिक रूप से बरनॉली प्रमेय के अनुसार सम्पूर्ण ऊर्जा रेखा क्षैतिज होनी चाहिये परन्तु वास्तविक प्रवाह में कुछ न कुछ ऊर्जा हानि अवश्य होती है इस कारण सम्पूर्ण ऊर्जा रेखा का क्षैतिज से कुछ झुकाव होता है। क्षैतिज रेखा से, किसी परिच्छेद (काट) पर, सम्पूर्ण ऊर्जा रेखा तक का ऊर्ध्वाधर गिराव ही शीर्ष हानि प्रदर्शित करता है।

§ 4.18. पाइप लाइन में से वायुमण्डल में विसर्जन (Discharge from Pipeline into Atmosphere):

चित्र 4.17 में एक टंकी से l लम्बाई व d व्यास की एक पाइप लाइन दिखाई गई है जिससे वायुमण्डल में विसर्जन हो रहा है। माना टंकी में द्रव की गहराई H और पाइप में द्रव का वेग V है तब, पाइप के टंकी से जुड़े सिरे A तथा वायुमण्डल में विसर्जन कर रहे सिरे B दोनों के लिए बरनॉली प्रमेय लगाने पर,



चित्र 4.17

H = टंकी से पाइप में प्रवेश पर शीर्ष हानि + पाइप की l लम्बाई में घर्षण के कारण शीर्ष हानि + निकास पर शीर्ष हानि।

या

$$H = \frac{0.5V^2}{2g} + \frac{4flV^2}{2gd} + \frac{V^2}{2g} \quad ...(xvi)$$

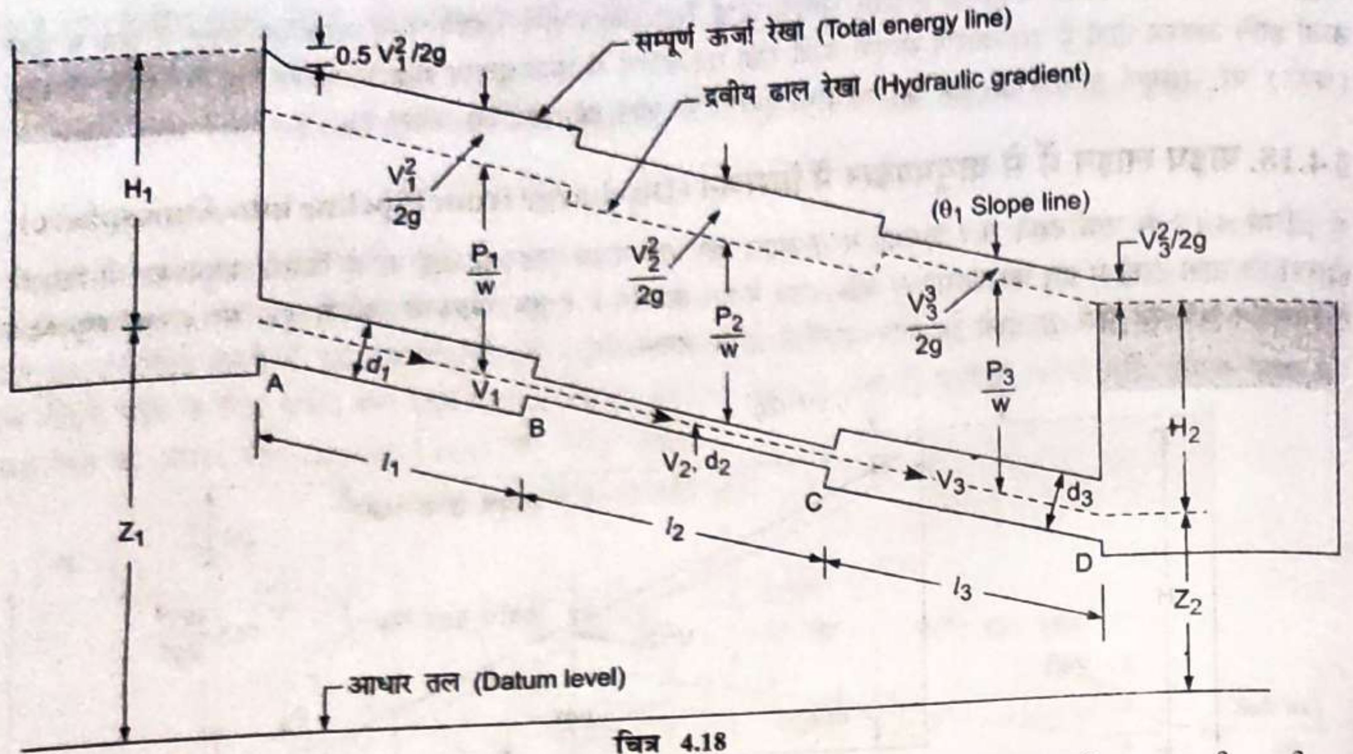
इस उपरोक्त समीकरण से V का मान ज्ञात किया जा सकता है और पाइप का व्यास ज्ञात होने पर विसर्जन ज्ञात किया जा सकता है।

§ 4.19. पाइप लाइन द्वारा एक टंकी से दूसरी टंकी में विसर्जन (Dicharge from One Tank to Another Tank by Pipelines) :

चित्र 4.18 में दिखाये अनुसार एक पाइप लाइन द्वारा एक टंकी से दूसरी में विसर्जन हो रहा है। A तथा D पर बरनॉली प्रमेय लगाने पर,

$H_1 + Z_1$ = सभी हानियों का योग + $H_2 + Z_2$

= A पर प्रवेश में शीर्ष हानि + AB पाइप में घर्षण शीर्ष हानि + BC पाइप में प्रवेश पर शीर्ष हानि
+ BC पाइप में घर्षण शीर्ष हानि + CD घर्षण पाइप में घर्षण शीर्ष हानि
+ CD पाइप में प्रवेश पर आकस्मिक वर्धन के कारण शीर्ष हानि
+ CD पाइप में टंकी में प्रवेश पर वेग शीर्ष हानि + $H_2 + Z_2$



चित्र 4.18

या $$(H_1 + Z_1) - (H_2 + Z_2) = 0.5\frac{V_1^2}{2g} + \frac{4fl_1V_1^2}{2gd_1} + \frac{0.5V_2^2}{2g} + \frac{4fl_2V_2^2}{2gd_2} + \frac{(V_2 - V_3)^2}{2g} + \frac{4fl_3V_3^2}{2gd_3} + \frac{V_3^2}{2g}$$

या $$h = \frac{0.5V_1^2}{2g} + \frac{4fl_1V_1^2}{2gd_1} + \frac{0.5V_2^2}{2g} + \frac{4fl_2V_2^2}{2gd_2} + \frac{(V_2 - V_3)^2}{2g} + \frac{4fl_3V_3^2}{2gd_3} + \frac{V_3^2}{2g} \quad ...(xvii)$$

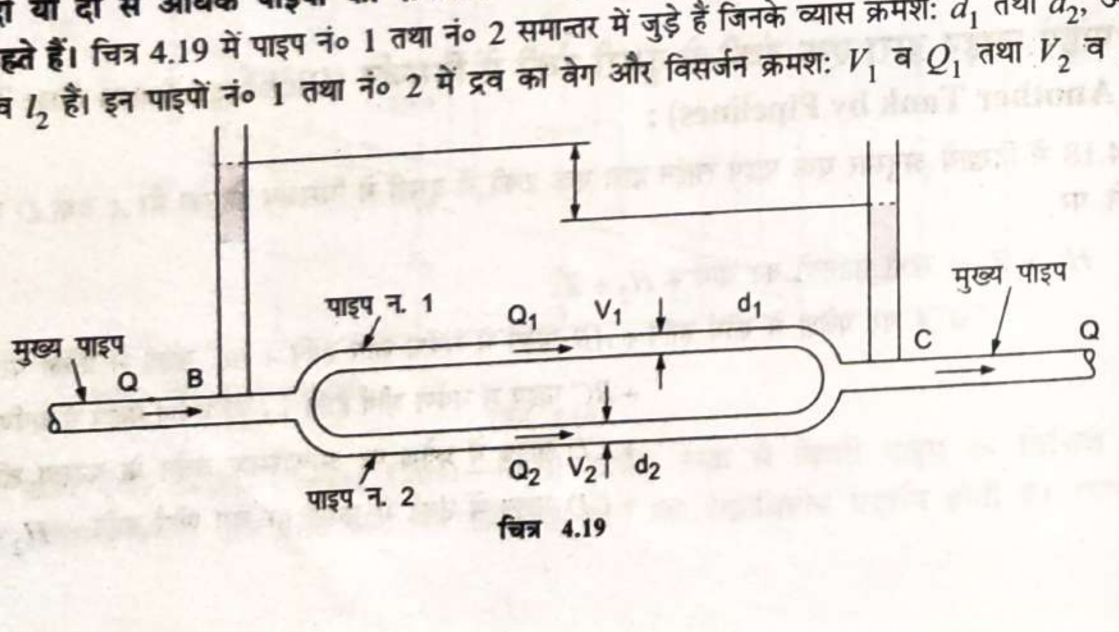
चूँकि, $(H_1 + Z_1) - (H_2 + Z_2)$ = टंकियों में द्रव तलों में द्रव तलों में अन्तर $= h$

तथा f का मान सब पाइपों के लिए समान माना गया है।

इस उपरोक्त समीकरण से वेग V_3 ज्ञात कर विसर्जन ज्ञात किया जा सकता है।

§ 4.20. समान्तर पाइपों में प्रवाह (Flow through Parallel Pipes) :

जब दो या दो से अधिक पाइपों को समान्तर में जोड़ा जाता है तो ऐसे पाइप संयोजन को समान्तर-पाइप संयोजन कहते हैं। चित्र 4.19 में पाइप नं० 1 तथा नं० 2 समान्तर में जुड़े हैं जिनके व्यास क्रमशः d_1 तथा d_2, और जिनकी क्रमशः l_1 व l_2 हैं। इन पाइपों नं० 1 तथा नं० 2 में द्रव का वेग और विसर्जन क्रमशः V_1 व Q_1 तथा V_2 व Q_2 है तो,



चित्र 4.19

(a) $$Q = Q_1 + Q_2$$

और (b) शीर्ष हानि, $h_f = \frac{4f_1 l_1 V_1^2}{2gd_1} = \frac{4f_2 l_2 V_2^2}{2gd_2}$ होंगे

अत: समान्तर पाइपों से सम्बन्धित समस्याओं को हल करने में निम्नलिखित दो सिद्धान्त सहायक होते हैं—

(i) मुख्य पाइप में विसर्जन का मान समान्तर में सभी पाइपों में से विसर्जन के योग के बराबर होगा अर्थात्

$$Q = Q_1 + Q_2 + ... \quad ...(A)$$

(ii) शीर्ष हानि h_f प्रत्येक समान्तर पाइप के लिए समान होती है अर्थात्

$$h_f = \frac{4f_1 l_1 V_1^2}{2gd_1} = \frac{4f_2 l_2 V_2^2}{2gd_2} = \frac{4f_3 l_3 V_3^2}{2gd_3} = ... \quad ...(B)$$

नोट—समीकरण B में यदि समान्तर पाइपों के लिये घर्षण गुणांकों का मान बराबर हो तो,

$$h_f = \frac{4fl_1 V_1^2}{2gd_1} = \frac{4fl_2 V_2^2}{2gd_2} = ... \quad (\because f_1 = f_2 = ... = f)$$

कभी-कभी एक पाइप में से विसर्जन का मान बढ़ाने के लिये दो या अधिक को समान्तर में जोड़ देते हैं। पाइपों को समान्तर में जोड़ना समान्तर विद्युत परिपथ (Parallel Electric Circuit) के समान ही होता है जिसमें धारा प्रवाह (Current Flow) द्रव प्रवाह के समतुल्य (Equivalent), तथा विभवान्तर (Potential Difference) शीर्ष हानि के समतुल्य होती है।

उदाहरण 4.14. एक जस्तेदार (Galvanised) लोहे के पाइप में 16000 cm³ पानी प्रति से बहता है, जिसमें शीर्ष हानि 2 m प्रति 100 m पाइप लम्बाई से अधिक नहीं है। घर्षण गुणांक 0.005 है। पाइप का अर्द्धव्यास निकालिये।

हल—प्रश्नानुसार विसर्जन, $Q = 16000\ cm^3/sec = 16 \times 10^{-3}\ m^3/sec$

प्रश्न में शीर्ष हानि, $h_f = 2$ m

जो $l = 100$ m पाइप की लम्बाई पर होती है।

प्रश्नानुसार सम्बन्ध $h_f = \frac{flQ^2}{3d^5}$ में मान रखने पर,

$$2 = \frac{0.005 \times 100 \times (16 \times 10^{-3})^2}{3d^5}$$

या $$d^5 = 21.33 \times 10^{-6}$$

या $$d = 0.116 \text{ m}$$

$\therefore$ $$\text{अर्द्धव्यास} = \frac{0.116}{2} = \mathbf{0.058\ m}$$

उत्तर

उदाहरण 4.15. एक 50 m लम्बी तथा 30 cm व्यास की पाइप लाइन में पानी का प्रवाह 5 m/sec की गति से हो रहा है। ज्ञात कीजिये कि पानी के संघर्षण (Friction) में कितनी शीर्ष हानि हो रही है? चेजी का सूत्र प्रयोग में लाइये और $C = 60$ लीजिये।

हल—चेजी के सूत्र के अनुसार,

$$V = C\sqrt{(m.i.)}$$

जहाँ प्रश्नानुसार, V = प्रवाह गति = 5 m/sec; $C = 60$

$$i = \frac{h_f}{50} = \frac{h_f}{50}$$

तथा
$$m = \frac{A}{P} = \frac{\frac{\pi}{4}(d)^2}{\pi d}$$

या
$$m = \frac{d}{4} = \frac{0.30}{4} = 0.075 \text{ m } (\because d = \text{व्यास} = 30 \text{ cm} = 0.30 \text{ m})$$

$$5 = 60\sqrt{\left(0.075 \times \frac{h_f}{50}\right)}$$

या
$$h_f = \frac{(5)^2 \times 50}{60 \times 60 \times 0.075} = 4.63 \text{ m}$$ उत्तर

उदाहरण 4.16. एक 30 cm व्यास वाली 5 km लम्बी पाइप लाइन से पानी प्रवाहित होता है। इस पाइप लाइन के एक छोर पर एक जलाशय से पानी आता है और दूसरे छोर पर पानी वायुमण्डल में मुक्त रूप से (freely) गिरता है। यदि पानी 1 m/sec की गति से पाइप लाइन में बहता है तो ज्ञात कीजिये कि शीर्ष में कुल हानि कितनी हो रही है। घर्षण गुणांक $4f = 0.04$ लीजिये और यह मानिये कि जलाशय से पाइप लाइन में प्रवेश sharp है। यह भी ज्ञात कीजिये कि विसर्जन (Discharge) कितना हो रहा है?

हल—(i) कुल शीर्ष हानि = जलाशय से पाइप में प्रवेश पर (आकस्मिक संकुचन) शीर्ष हानि + वायुमण्डल में निकास पर शीर्ष हानि + पाइप में घर्षण के कारण शीर्ष हानि

या
$$h_l = \frac{0.5V^2}{2g} + 4fl\frac{V^2}{2gd} + \frac{V^2}{2g} = \frac{V^2}{2g}\left[0.5 + \frac{4fl}{d} + 1\right]$$

$$= \frac{(1)^2}{2 \times 9.81}\left[0.5 + \frac{4.04 \times 5 \times 1000}{0.3} + 1\right]$$

$$= 34.1 \text{ m (पानी)}$$

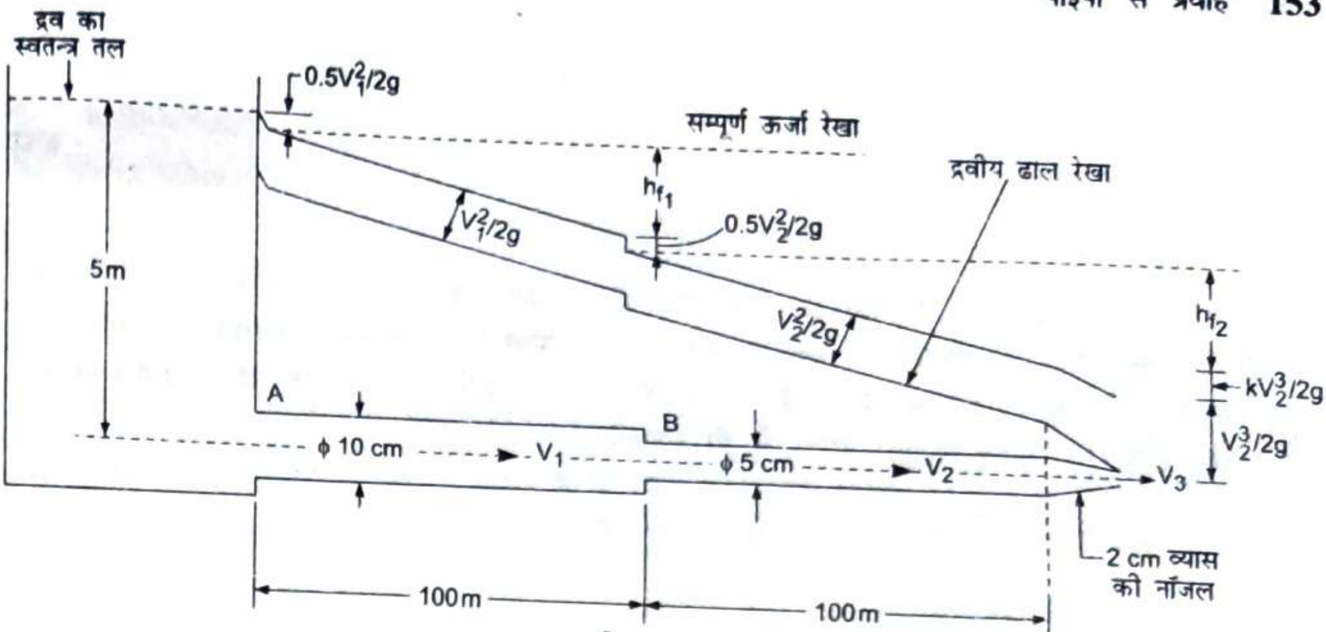
(ii) विसर्जन, $Q = av = \frac{\pi}{4}(0.3)^2 \times 1 = 0.0706 \text{ m}^3\text{/sec}$ उत्तर

$= 70.6$ **lit/sec**

उदाहरण 4.17. किसी टैंक का पानी एक क्षैतिज पाइप लाइन से विसर्जित हो रहा है। पाइप लाइन की केन्द्र रेखा से टैंक के पानी की सतह की ऊँचाई 5 m है। पाइप लाइन का पहला 100 मीटर लम्बा एक 10 cm वाला पाइप है और दूसरा 100 मीटर लम्बा हिस्सा 5 cm वाला पाइप है। पाइप लाइन के अन्त में एक 2 cm व्यास वाली नॉजल फिट की गई है। उपरोक्त पाइप से प्रवाहित विसर्जन को ज्ञात करिये। द्रवीय प्रवणता (Hydraulic Gradient) और कुल ऊर्जा रेखा (Total Energy Line) भी खींचिये। मानिये $4f = 0.020$ और नॉजल से होने वाली शीर्ष हानि = $\frac{KV^2}{2g}$ जहाँ, $K = 0.1$ और $V =$ नॉजल में वेग।

हल—प्रश्नानुसार, चित्र 4.20 के अनुसार,

कुल शीर्ष हानि, $h_l = A$ पर प्रवेश के कारण शीर्ष हानि + A से B तक घर्षण शीर्ष हानि + B पर आकस्मिक संकुचन के कारण शीर्ष हानि + B से C तक घर्षण शीर्ष हानि + C पर नॉजल में शीर्ष हानि + वायुमण्डल में निकास पर शीर्ष हानि



चित्र 4.20

या

$$h_1 = 0.5\frac{V_1^2}{2g} + \frac{4fl_1V_1^2}{2gd_1} + \frac{0.5V_2^2}{2g} + \frac{4fl_2V_2^2}{2gd_2} + \frac{kV_3^2}{2g} + \frac{V_3^2}{2g} \quad ...(i)$$

साथ ही, यदि पहले पाइप, दूसरे पाइप तथा नॉजल की काट के क्षेत्रफल क्रमशः a_1, a_2 और a_3 है, तब सांतत्य समीकरण (Continuity Equation) से,

$a_1V_1 = a_2V_2 = a_3V_3$ में मान रखने पर,

$$\frac{\pi}{4}(0.10)^2 V_1 = \frac{\pi}{4}(0.05)^2 V_2 = \frac{\pi}{4}(0.02)^2 V_3$$

या,

$$V_2 = \frac{(0.10)^2}{(0.05)^2}V_1 = 4V_1$$

तथा

$$V_3 = \frac{(0.10)^2}{(0.02)^2}V_1 = 25V_1$$

अतः समीकरण (i) में मान रखने पर, (नॉजल की लम्बाई बहुत कम मानी गई है। $h = 5$ m (टैंक में पाइप की केन्द्र-रेखा पर जल का सम्पूर्ण शीर्ष 5 m ही दोनों पाइपों व नॉजल की उपरोक्त विभिन्न शीर्ष हानियों में समाप्त होता है, जैसा कि चित्र से भी स्पष्ट हो जाता है।) अतः

$$5 = \frac{0.5V_1^2}{2\times 9.81} + \frac{0.02\times 100\times (V_1)^2}{2\times 9.81\times 0.10} + \frac{0.5(4V_1)^2}{2\times 9.81}$$
$$+ \frac{0.02\times 100\times (4V_1)^2}{2\times 9.81\times (0.05)} + \frac{0.1\times (25V_1)^2}{2\times 9.81} + \frac{(25V_1)^2}{2\times 9.81}$$

या $\quad 5 = \frac{V_1^2 + 1356}{2\times 9.81}$; $V_1^2 = 724\times 10^{-4}$

या $\quad V_1 = 0.2695$ m/sec

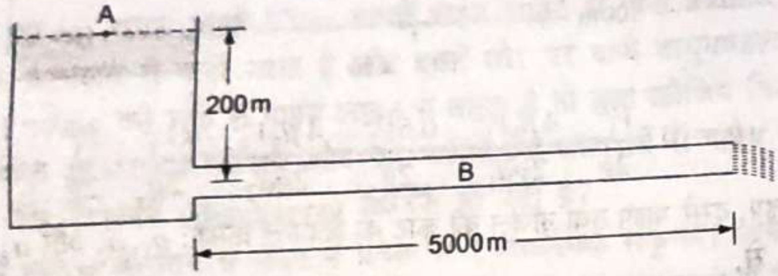
$$\therefore \quad Q = aV = \left(\frac{\pi}{4}\right)(0.10)^2 \times 0.2695 = 0.002116 \text{ m}^3\text{/sec}$$ **उत्तर**

$$= \mathbf{2.116 \text{ lit/sec}}$$

चित्र 4.19 में सम्पूर्ण ऊर्जा रेखा तथा द्रवीय ढाल रेखा दिखाई गई है।

उदाहरण 4.18. 5000 m लम्बी और 80 cm व्यास वाली क्षैतिज पाइप लाइन में एक जलाशय से पानी बह रहा है। पाइप की केन्द्र रेखा से जलाशय में जल का स्तर 200 m ऊँचा है। घर्षण के अतिरिक्त अन्य हानियों को नगण्य मानकर और $4f = 0.02$ मानकर पाइप में से विसर्जन ज्ञात कीजिये। पाइप के मध्य (Mid point) में कितना दाब शीर्ष (Pressure-Head) होगा, ये भी बताइये।

हल—प्रश्नानुसार तथा चित्र 4.21 के अनुसार, जलाशय में पाइप की केन्द्र रेखा पर जल का पूरा शीर्ष $H = 200$ m, घर्षण के कारण शीर्ष हानि में ही व्यय होगा। यदि पाइप में जल का वेग V हो तो,



चित्र 4.21

माना पानी का विसर्जन वायुमण्डल में होता है।

या $$h_f = \frac{0.02 \times 5000 \times V^2}{2 \times 9.81 \times 0.80}$$

या $$h_f = 6.371V^2$$

अत: पाइप के सिरे पर निकास पर शीर्ष हानि को नगण्य मानते हुए कुल शीर्ष

$$H = h_f + \frac{V^2}{2g}$$

या $$200 = 6.37V^2 + \frac{V^2}{2 \times 9.81} \text{ से, } V = 5.58 \text{ m/sec}$$

$\therefore$ $$\text{विसर्जन, } Q = aV = \left(\frac{\pi}{4}\right)(0.80)^2 \times 5.58 = 2.8 \text{ m}^3\text{/sec}$$

पाइप के मध्य में बिन्दु B पर दाब ज्ञात करने हेतु, जल-तल के बिन्दु A तथा पाइप के मध्य बिन्दु B पर बरनॉली समीकरण लगाने पर, (पाइप की केन्द्र रेखा को आधार तल मानते हुए) माना मध्य में घर्षण शीर्ष हानि h_{fB} है, तब,

$$H_a = Z_B + \frac{P_B}{w} + \frac{v_B^2}{2g} + h_{fB}$$

या
$$200 = 0 + \frac{p_B}{w} + \frac{(5.58)^2}{2 \times 9.81} + \frac{0.02 \times \frac{5000}{2} \times (5.58)^2}{2 \times 9.81 \times 0.8} \quad ...(i)$$

या
$$\frac{p_B}{w} = 200 - 99.18 - \frac{(5.58)^2}{2 \times 9.81}$$

या
$$\frac{p_B}{w} = \mathbf{99.2\ m}$$

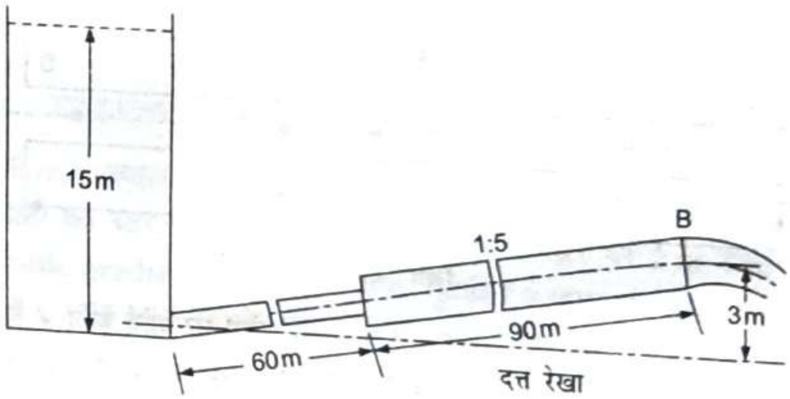
उत्तर

उदाहरण 4.19. 150 m लम्बी एक पाइप लाइन एक जलाशय से जोड़ी जाती है। पाइप लाइन के प्रवेश पर जल-तल 15 m की ऊंचाई पर है। पाइप लाइन का प्रथम 60 m भाग 7.5 cm व्यास का है तथा शेष भाग 15 cm व्यास का है। पाइप लाइन की ढाल ऊपर की ओर 50 में 1 है। यदि जल का प्रवाह वायुमण्डल में हो रहा हो तो विसर्जन क्या होगा? $f = 0.01$ मानें।

हल—प्रश्नानुसार चित्र 4.22 बनाकर तथा मानते हुए कि पहले व दूसरे पाइप में वेग क्रमशः V_1 तथा V_2 हैं, सांतत्य समीकरण $a_1V_1 = a_2V_2$ से, (मान रखने पर)

$$V_1 = \frac{a_2V_2}{a_1} = \frac{(\pi/4)\,(0.15)^2}{(\pi/4)\,(0.075)^2} V_2 = 4V_2$$

∵ पाइप 50 मीटर में 1 मीटर ऊपर उठ जाता है अतः 150 मीटर में 3 m ऊपर उठ जायेगा (देखिये चित्र 4.22)। अब पाइप के निचले सिरे पर के केन्द्र से गुजरने वाली क्षैतिज रेखा को आधार रेखा (Datum Line) मानते हुए तथा बिन्दुओं A व B पर बरनॉली समीकरण लगाने पर,



चित्र 4.22

A पर कुल शीर्ष = बिन्दु B पर शीर्ष = विभिन्न शीर्ष हानियाँ

$$15 = 3 + \frac{0.5V_1^2}{2g} + \frac{4fl_1V_1^2}{2gd_1} + \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} + \frac{4fl_2V_2^2}{2gd_2} + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$= 3 + \frac{0.5(4V_2)^2}{2 \times 9.81} + \frac{4 \times 0.01 \times 60 \times (4V_2)^2}{2 \times 9.81 \times 0.075} + \frac{(4V_2 - V_2)^2}{2 \times 9.81} + \frac{4 \times 0.01 \times 90V_2^2}{2 \times 9.81 \times 0.15} + \frac{V_2^2}{2 \times 9.81}$$

या
$$12 = \frac{V_2^2}{2 \times 9.81} [8 + 512 + 9 + 24 + 1] = \frac{554 V_2^2}{2 \times 9.81}$$

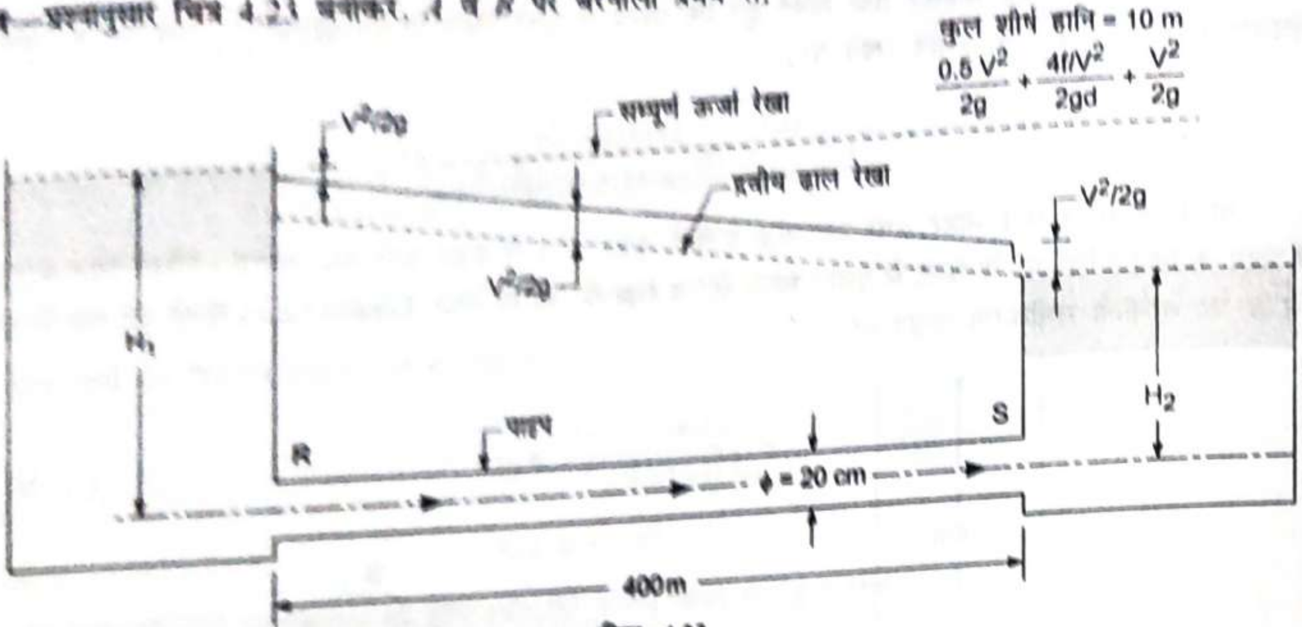
या
$$V_2 = 0.652 \text{ m/sec}$$

∴
$$\text{विसर्जन, } Q = a_2 V_2 = \left(\frac{\pi}{4}\right)(0.15)^2 \times 0.652$$

$$= 0.0115 \text{ m}^3\text{/sec} \quad \text{या} \quad \mathbf{11.5\ lit/sec}$$ **उत्तर**

उदाहरण 4.20. दो जलाशय एक 400 m लम्बाई और 20 cm व्यास वाले एक पाइप से जोड़ दिये गये हैं। दोनों संग्राहकों के बीच के पानी की सतह के बीच 10 m का अन्तर है। सब हानियों का ध्यान करते हुए पाइप का विसर्जन पता लगाइये जबकि $4f = 0.04$ है। द्रवीय ढाल (Hydraulic Gradient) रेखा और कुल ऊर्जा रेखा भी खींचिये।

हल—प्रश्नानुसार चित्र 4.23 बनाकर, A व B पर बरनौली प्रमेय से,



चित्र 4.23

H_1 = पाइप में पानी के प्रवेश पर शीर्ष हानि + घर्षण के कारण शीर्ष हानि + B पर निकास (टंकी में प्रवेश) पर शीर्ष हानि + H_2

या
$$H_1 - H_2 = \frac{0.5V^2}{2g} + \frac{4flV^2}{2gd} + \frac{V^2}{2g}$$

या
$$10 = \frac{V^2}{2 \times 9.81}\left[0.5 + \frac{0.04 \times 200}{0.20} + 1\right] = \frac{41.5V^2}{2 \times 9.81}$$

या
$$V = 2.17 \text{ m/sec}$$

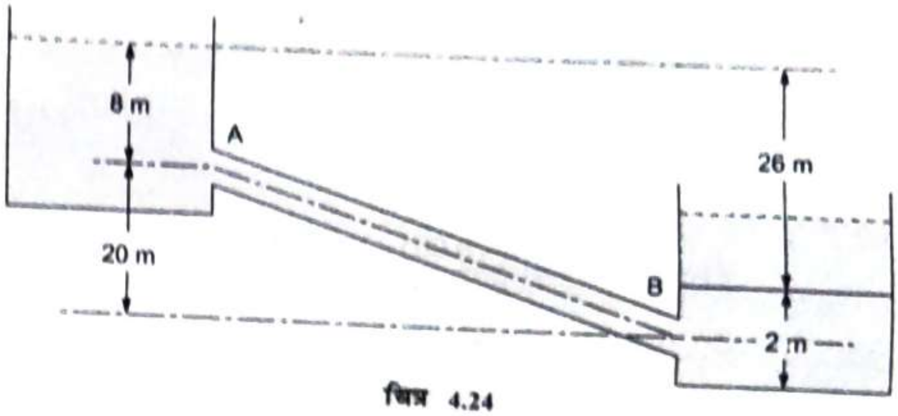
∴
$$\text{विसर्जन, } Q = aV = \left(\frac{\pi}{4}\right)(0.20)^2 \times 2.17$$

$$= 0.06813 \text{ m}^3\text{/sec} \quad \text{या} \quad \mathbf{68.13\ lit/sec}$$ **उत्तर**

उदाहरण 4.21. एक 228 mm व्यास का 1600 m लम्बा पाइप 2 जलाशयों को जोड़ता है। पाइप का ढाल 80 में 1 है। प्रवेश सिरे से पानी का स्तर 8 m ऊँचा है एवं निकास के सिरे से 2 m ऊँचा है। विसर्जन ज्ञात करिये एवं हाइड्रोलिक प्रवणता (Hydraulic Gradient) बताइये। घर्षण-गुणांक 0.005 मानिये।

हल—पाइप का ढाल 80 में 1 (दिया है) के हिसाब से 1600 m लम्बाई के लिये 20 m होगा।

अत: चित्र 4.24 के अनुसार दोनों जलाशयों के तलों में अन्तर = 20 + 8 – 2 = 26 m = h_f, छोटी-छोटी हानियों को जोड़ते हुए।



चित्र 4.24

$$h_f = \frac{flQ^2}{3(d)^5}$$

या

$$26 = \frac{0.005 \times 1600 \times Q^2}{3(0.228)^5}$$

या

$$Q^2 = 9.75 \times (228)^5 \times 10^{-15}$$

या

$$Q = \mathbf{0.0775\ m^3/sec}$$

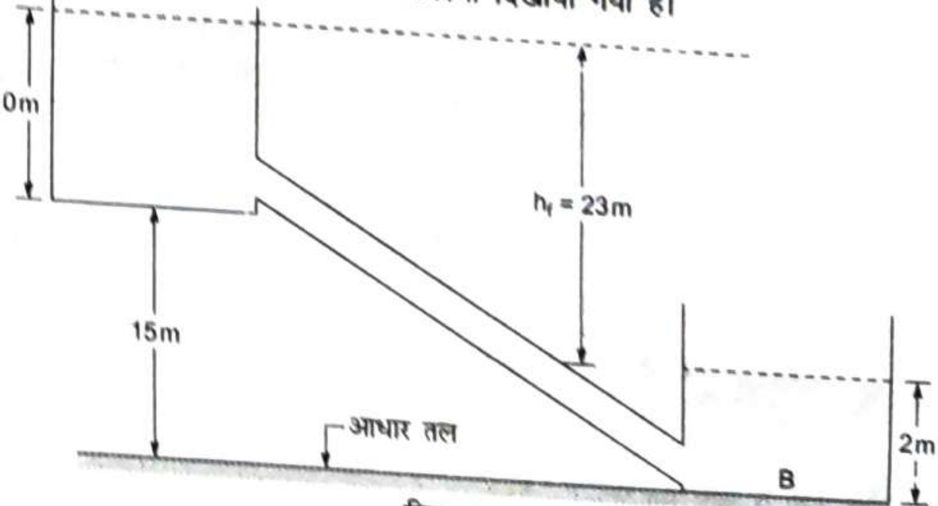
उत्तर

हाइड्रोलिक प्रवणता $= \frac{h_f}{l} = \frac{26}{1600} = \mathbf{0.01625}$

उत्तर

उदाहरण 4.22. एक 200 mm व्यास का 1500 m लम्बा पाइप दो जलाशयों को जोड़ता है। पाइप ढाल 100 में 1 है। प्रवेश सिरे से पानी का स्तर 10 m ऊँचा है एवं निकास के सिरे पर 2 m ऊँचा है। विसर्जन ज्ञात करिये एवं द्रवीय ढाल (hydraulic gradient) बताइये। घर्षण गुणांक 0.005 मानिये।

हल—प्रश्न के अनुसार, चित्र 4.25 में जलाशयों की व्यवस्था दिखायी गयी है।



चित्र 4.25

पाइप का व्यास, $d = 200 \text{ mm} = 0.2 \text{ m}$

पाइप की लम्बाई, $l = 1500 \text{ m}$,

पाइप की द्रवीय ढाल क्योंकि 100 में 1 है इसलिए 1500 में 15 m का अन्तर होगा।

घर्षण के अतिरिक्त अन्य सभी शीर्ष हानियों को नगण्य मानते हुए, घर्षण शीर्ष हानि,

$$h_f = 15 + 10 - 2 = 23 \text{ m}$$

$$\text{द्रवीय ढाल, } i = \frac{h_f}{l} = \frac{23}{1500} = 0.01533$$

अब

$$\text{सम्बन्ध, } h_f = \frac{4flV^2}{2gd} \text{ से}$$

$$23 = \frac{4 \times 0.005 \times 1500 \times V^2}{2 \times 9.81 \times 0.2}$$

∴

$$V^2 = 3.0084$$

या

$$V = 1.734 \text{ m/sec}$$

∴

$$\text{विसर्जन, } Q = a \times V = \frac{\pi}{4} \times (0.2)^2 \times 1.734 = 0.0545 \text{ m}^3\text{/sec}$$

$$= 54.5 \text{ lit/sec}$$ उत्तर

उदाहरण 4.23. 80 m लम्बे तथा 15 cm व्यास का एक नल, जल-तलों का अन्तर 4 m रखने वाले दो जलाशयों को मिलाता है। सूत्र $h_f = \frac{4flV^2}{2gd}$ में नल के लिए घर्षण गुणांक $f = 0.01$ है तो विसर्जन ज्ञात कीजिए। यदि इस नल को समान लम्बाई के तथा समान घर्षण गुणांक वाले एक 25 cm व्यास के नल द्वारा बदल दिया जाता है। ज्ञात कीजिये कि विसर्जन में कितने प्रतिशत वृद्धि होगी। प्रवेश (entry) तथा निकास सहित सारी हानियों पर विचार कीजिये।

हल—सभी शीर्ष हानियों पर विचार करते हुए,

$$H = 0.5\frac{V_1^2}{2g} + \frac{4flV_1^2}{2gd_1} + \frac{V_1^2}{2g}$$

$$4 = \frac{V_1^2}{2g}\left(0.5 + \frac{4 \times 0.01 \times 80}{0.15} + 1\right) = \frac{V_1^2}{2g} \times 22.833$$

या

$$V_1^2 = \frac{4 \times 2 \times 9.81}{22.833} = 3.437$$

या

$$V_1 = 1.85 \text{ m/sec}$$

अतः

$$\text{विसर्जन, } Q = a_1 \times V_1 = \frac{\pi}{4}(0.15)^2 \times 1.85$$

$$= 0.03256 \text{ m}^3\text{/sec} = 32.56 \text{ lit/sec}$$

माना, दूसरे नल हेतु, नल में पानी का वेग V_2 है।

पुनः सभी शीर्ष हानियों पर विचार करते हुये, जलाशयों के जल-स्तर में अन्तर,

$$H = 0.5\frac{V_2^2}{2g} + \frac{4flV_2^2}{2gd_2} + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$4 = \frac{V_2^2}{2g}\left(0.5 + \frac{4 \times 0.01 \times 80}{0.25} + 1\right) = \frac{V_2^2}{2g} \times 14.3$$

या

$$V_2^2 = \frac{4 \times 2 \times 9.81}{14.3} = 5.488$$

या

$$V_2 = 2.343 \text{ m/sec}$$

अतः

$$\text{विसर्जन, } Q_2 = a \times V = \frac{\pi}{4}(0.25)^2 \times 2.343$$

$$= 0.1150 \text{ m}^3\text{/sec} = 115 \text{ lit/sec}$$

$$\text{विसर्जन में वृद्धि} = Q_2 - Q_1 = 115 - 32.56 = 82.44 \text{ m}^3\text{/sec}$$

$$\text{विसर्जन में प्रतिशत वृद्धि} = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_1} \times 100 = \frac{82.44}{32.56} \times 100$$

$$= \mathbf{253.19\%}$$

उत्तर

उदाहरण 4.24. 5000 निवासियों वाले कालेज परिसर में एक पाइप लाइन के द्वारा 4 km दूर एक टंकी से पानी पहुंचाया जाता है। पानी की खपत 200 लीटर प्रति व्यक्ति प्रतिदिन आँकी जाती है तथा प्रतिदिन की कुल खपत की आधी सप्लाई 10 घण्टे में पम्प की जाती है। यदि घर्षण के कारण शीर्ष-हानि 20 m है तो पाइप लाइन का साइज ज्ञात करिये। $f = 0.008$ मानिये।

हल—प्रश्नानुसार, पाइप लाइन की लम्बाई $l = 4$ km $= 4000$ m

∴

$$\text{कुल सप्लाई} = 5000 \times 0.2 = 1000 \text{ m}^3\text{/per day } (200 \text{ lit} = 0.2 \text{ m}^3)$$

प्रश्न के अनुसार, कुल सप्लाई का आधा भाग 10 घण्टे में पम्प किया जाता है इसलिए पाइप-लाइन का वांछित साइज अधिकतम प्रवाह के लिए ज्ञात किया जाना चाहिए। अतः

$$\text{अधिकतम प्रवाह, } Q = \frac{1000}{2 \times 10 \times 3600} = 0.014 \text{ m}^3\text{/sec}$$

घर्षण के कारण शीर्ष हानि, $h_f = \frac{flQ^2}{3d^5}$ में मान रखने पर,

$$20 = \frac{0.008 \times 4000 \times 0.014^2}{3d^5} = \frac{0.0021}{d^5}\ ;\ d^5 = 0.0001$$

या

$$d = 0.158 \text{ m} = \mathbf{15.8 \text{ cm}}$$

उत्तर

उदाहरण 4.25. तीन पाइप, जो कि बराबर लम्बाई के हैं, जिनके व्यास का अनुपात 1 : 2 : 4 है, दो संग्राहकों (reservoirs) को समान्तर (parallel) में जोड़ते हैं। यदि न्यूनतम व्यास के पाइप में 1 क्यूमेक विसर्जन (1 Cumec Discharge) प्रवाहित हो रहा है तो ज्ञात कीजिये कि दूसरे दोनों पाइपों में अलग-अलग कितना विसर्जन हो रहा है। घर्षण-गुणांक का मान सब पाइपों के लिए समान मानिये। (संकेत—प्रत्येक पाइप के लिये शीर्ष-हानि समान है।)

हल—प्रश्नानुसार, $hf_1 = hf_2 = hf_3 =$ शीर्ष-हानि (प्रत्येक पाइप में) ...(i)

या $$\frac{flQ_1^2}{3d_1^5} = \frac{flQ_2^2}{3d_2^5} = \frac{flQ_3^2}{3d_3^5}$$

[जहाँ, Q_1, Q_2, तथा Q_3 क्रमशः नं० 1, 2, 3 में से विसर्जन हैं और इनके व्यास क्रमशः d_1, d_2 तथा d_3 हैं]

परन्तु, प्रश्नानुसार, $d_1 : d_2 : d_3 = 1 : 2 : 4$ से,

या d_1, $2d_1$, $4d_1$ क्रमशः पाइप नं० 1, 2, 3, के व्यास होंगे।

अतः (i) में मान रखने पर व हल करने पर,

$$\frac{Q_1^2}{d_1^5} = \frac{Q_2^2}{(2d_1)^5} = \frac{Q_3^2}{(4d_1)^5}$$

या $$Q_2^2 = \frac{(2d_1)^5}{d_1^5} Q_1^2 = 2^5 \times (1)^2 = 32$$ ($\because Q_1 = 1$ क्यूमेक दिया है)

या $$Q_2 = 5.6569 \text{ m}^3\text{/sec}$$ उत्तर

तथा $$Q_3^2 = \frac{(4d_1)^5}{(d_1^5)} Q_1^2 = 4^5 \times (1)^2 = 1024$$

या $$Q_3 = 32 \text{ m}^3\text{/sec}$$ उत्तर

उदाहरण 4.26. एक पाइप का व्यास सहसा 240 mm से 480 mm विस्तृत हो रहा है तथा जलीय प्रवणता (hydraulic gradient) 10 mm बढ़ रहा है। पाइप में जल प्रवाह की दर ज्ञात कीजिये।

हल—दिया है—छोटे पाइप का व्यास $d_1 = 240 \text{ mm} = 0.24 \text{ m}$, बड़े पाइप का व्यास $d_2 = 480 \text{ mm} = 0.48 \text{ m}$

जलीय प्रवणता में वृद्धि, $$\left(\frac{p_2}{w} + Z_2\right) - \left(\frac{p_1}{w} + Z_1\right) = 10 \text{ mm} = 0.01 \text{ m}$$ ...(i)

छोटे व्यास के पाइप की काट (1-1) तथा बड़े व्यास के पाइप के काट (2-2) पर बरनॉली समीकरण लगाने पर, (सहसा वृद्धि के कारण हुई शीर्ष हानि)

$$\frac{p_1}{w} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{p_2}{w} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_e$$ ...(ii)

तथा $$h_e = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$$

सांतत्य समीकरण से, $$A_1V_1 = A_2V_2$$

∴ $$V_1 = \frac{A_2 V_2}{A_1}$$

∴ $$V_1 = \frac{\left(\frac{\pi}{4} \times d_2^2\right)}{\left(\frac{\pi}{4} \times d_1^2\right)} \times V_2 = \left[\frac{d_2}{d_1}\right]^2 \times V_2 = \left[\frac{0.48}{0.24}\right]^2 \times V_2 = 4V_2$$

V_1 का मान समीकरण (ii) में रखने पर,

$$h_e = \frac{(4V_2 - V_2)^2}{2g} = \frac{9V_2^2}{2g}$$

V_1 तथा h_e का मान समीकरण (1) में रखने पर,

$$\frac{p_1}{w} + \frac{(4V_2)^2}{2g} + Z_1 = \frac{p_2}{w} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + \frac{9V_2^2}{2g}$$

या $$\frac{16V_2^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} - \frac{9V_2^2}{2g} = \left(\frac{p_2}{w} + Z_2\right) - \left(\frac{p_1}{w} + Z_1\right)$$

या $$\frac{6V_2^2}{2g} = 0.01$$

या $$V_2 = \left[\frac{0.01 \times 2 \times 9.81}{6}\right]^{1/2} = \mathbf{0.181\ m/sec}$$

∴ प्रवाह की दर, $Q = A_2 V_2 = \frac{\pi}{4} \times (0.48)^2 \times 0.181$

$$= \mathbf{0.03275\ m^3/sec}$$ **उत्तर**

उदाहरण 4.27. एक क्षैतिज पाइप का व्यास सहसा 300 mm से बढ़कर 600 mm हो जाता है। इस पाइप से होने वाले जल प्रवाह की दर 0.4 m³/sec है। यदि कम व्यास के पाइप में दाब तीव्रता 125 kN/m² हो, तो ज्ञात कीजिये—

(i) अचानक वृद्धि के कारण शीर्ष हानि,

(ii) अधिक व्यास के पाइप में दाब तीव्रता, तथा

(iii) अचानक वृद्धि के कारण शक्ति हानि।

हल—छोटे पाइप का व्यास, $d_1 = 300\text{ mm} = 0.3\text{ m}$,

∴ $$A_1 = \frac{\pi}{4}(0.3)^2 = 0.0707\text{ m}^2$$

बड़े पाइप का व्यास, $d_2 = 600\text{ mm} = 0.6\text{ mm}$,

$$A_2 = \frac{\pi}{4}(0.6)^2 = 0.2828\text{ m}^2$$

कम व्यास के पाइप में दाब तीव्रता, $p_1 = 125\text{ kN/m}^2$

$$\text{वेग, } V_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{0.4}{0.0707} = 5.66 \text{ m/sec}$$

तथा

$$V_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{0.4}{0.2828} = 1.414 \text{ m/sec}$$

(i) अचानक वृद्धि के कारण शीर्ष हानि—

हम जानते हैं कि

$$h_e = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$$

∴

$$h_e = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} = \frac{(5.66 - 1.414)^2}{2 \times 9.81}$$

$$= \mathbf{0.918}$$ उत्तर

(ii) अधिक व्यास के पाइप में दाब तीव्रता P_2—अचानक वृद्धि के पहले तथा बाद में बरनॉली प्रमेय लगाने पर

$$\frac{p_1}{w} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{p_2}{w} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_e$$

परन्तु

$$Z_1 = Z_2$$

अतः

$$\frac{p_2}{w} = \frac{p_1}{w} + \frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} - h_e$$

∴

$$\frac{p_2}{w} = \frac{125}{9.81} + \frac{(5.66)^2}{2 \times 9.81} - \frac{(1.414)^2}{2 \times 9.81} - 0.918$$

$$\frac{p_2}{w} = 12.74 + 1.63 - 0.1 - 0.918 = 13.35$$

$$p_2 = w \times 13.35 = 9.81 \times 13.35$$

$$= \mathbf{130.9 \text{ kN/m}^2}$$ उत्तर

(iii) अचानक वृद्धि के कारण शक्ति हानि—

$$P_{\text{lost}} = \frac{w.Q.h_e}{1000} \text{ kW}$$

जहाँ

$$w = 9810 \text{ N/m}^3, Q = 0.4 \text{ m}^3\text{/sec}$$

तथा

$$h_e = 0.918 \text{ m}$$

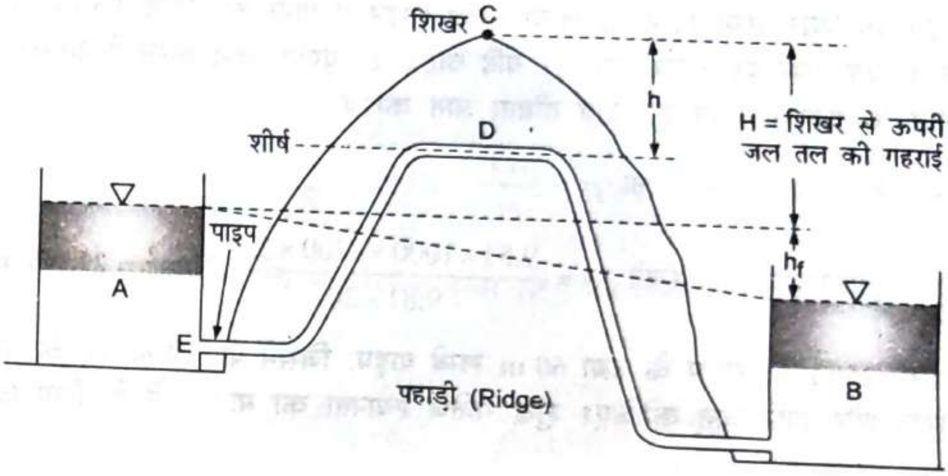
∴

$$\text{शक्ति हानि, } P_{\text{loss}} = \frac{9810 \times 0.4 \times 0.918}{1000}$$

$$= \mathbf{3.6 \text{ kW}}$$ उत्तर

उदाहरण 4.28. दो जलाशयों के तलों का अन्तर 30 m है। इन्हें एक 20 cm व्यास तथा 1850 m लम्बे पाइप द्वारा जोड़ा गया है। यह पाइप लाइन एक पहाड़ी पर से गुजरती है तथा इसकी ऊँचे जलाशय से ऊँचाई 7.5 m है। पहाड़ों के उच्चतम बिन्दु C से पाइप की गहराई ज्ञात करो, यदि पाइप के उच्चतम बिन्दु D पर दाब वायु मण्डलीय दाब से 7.3 m (पानी) के नीचे न गिरे। यदि ऊँचे जलाशय व D बिन्दु के मध्य पाइप की लम्बाई 300 m हो तो विसर्जन ज्ञात कीजिये। $f = 0.008$ तथा वायुमण्डलीय दाब = 10.3 m (पानी)।

हल—



चित्र 4.26

घर्षण शीर्ष हानि, (देखें चित्र 4.26) $h_f = \dfrac{4flV^2}{2gd}$ में प्रश्नानुसार मान रखने पर,

$$30 = \frac{4 \times 0.008 \times 1850 \times V^2}{2 \times 9.81 \times 0.20}$$

या
$$V^2 = \frac{30 \times 19.62 \times 0.2}{3.2 \times 18.5}$$

$$V = 1.41 \text{ m/sec}$$

चित्रानुसार, माना D से C की ऊँचाई h है अत: h का मान ज्ञात करने के लिए A व D पर बरनॉली प्रमेय लगने पर, (A व B बिन्दु जलाशयों के तल पर माने गये हैं।)

∴ A पर कुल ऊर्जा = D पर कुल ऊर्जा

या
$$10.3 = (10.3 - 7.3) + \frac{V^2}{2g} + (7.5 - h) + h_f$$

या
$$= 3 + \frac{(1.41)^2}{2 \times 9.81} + (7.5 - h) + \frac{4 \times 0.008 \times 300 \times (1.41)^2}{2 \times 9.81 \times 0.20}$$

या
$$h = \mathbf{5.1638 \text{ m}}$$

उत्तर

और
$$Q = aV = \frac{\pi}{4}(0.20)^2 \times 1.41 = 0.0443 \text{ m}^3\text{/sec} \text{ या } \mathbf{44.3 \text{ lit/sec}}$$

उदाहरण 4.29. किसी एक पाइप की लम्बाई 981 m है जिसके एक सिरे पर लगे वाल्व पर दाब वृद्धि ज्ञात करो यदि वाल्व को बन्द करने में 50 sec का समय लगे। पानी का वेग (पाइप में) 1.5 m/sec है।

हल— वाल्व पर दाब वृद्धि, $p = \dfrac{w \times l \times V}{g.t}$

या $p = \dfrac{1000 \times 981 \times 1.5}{9.81 \times 50} = 3000\ kg_f/m^2$ या $\mathbf{0.3\ kg_f/cm^2}$ **उत्तर**

उदाहरण 4.30. 20 cm व्यास तथा 1200 m लम्बी पाइप लाइन में पानी का प्रवाह 3.5 m/sec की दर से होता है। पाइप लाइन के एक सिरे पर वाल्व लगा है। यदि वाल्व को पूर्णतः बन्द करने में 20 sec का समय लगता है तो जल-आघात के कारण उत्पन्न हुई दाब तीव्रता ज्ञात करिये।

हल— जल आघात के कारण-तीव्रता, $p = \dfrac{wl.V}{gt}$

प्रश्नानुसार मान रखने पर $= \dfrac{9.81 \times 1000 \times 1200 \times 3.5}{9.81 \times 20}\ N/m^2 = \mathbf{21\ N/cm^2}$

उदाहरण 4.31. एक 250 mm व्यास के तथा 60 m लम्बे पाइप, जिसमें पानी 3 m/sec के वेग से बह रहा है, में घर्षण के कारण शीर्ष हानि ज्ञात कीजिए। शुद्ध गतिज श्यानता का मान पानी के लिए 0.01 स्टोक है। **(UP 2014)**

हल—दिया है—$d = 250$ mm $= 0.25$ m, $v = 0.01$ स्टोक $= 0.01 \times 10^{-4}$ m²/sec, $l = 60$ m, $\rho = 1000$ kg/m³, $v = 5$ m/sec

अब, शुद्ध गतिक श्यानता, $\gamma = \dfrac{\mu}{\rho}$ से,

$$\mu = 0.01 \times 10^{-4} \times 1000 = 0.001\ N\text{-}sec/m^2$$

अब सम्बन्ध, रेनॉल्ड नम्बर, $R_e = \dfrac{Vd\rho}{\mu} = \dfrac{Vd}{\gamma}$

$\therefore$ $R_e = \dfrac{3 \times 0.25}{0.01 \times 10^{-4}} = 7.5 \times 10^5$

घर्षण गुणांक (f) का मान रेनॉल्ड संख्या R_e पर निर्भर करता है। यदि R_e का मान 4000 से 10^6 के बीच परिवर्तित होता है तो घर्षण गुणांक

$$f = \frac{0.079}{R_e^{1/4}} = \frac{0.079}{(750000)^{1/4}} = 2.684 \times 10^{-3}$$

घर्षण के कारण शीर्ष हानि, $h_f = \dfrac{4f \cdot L \cdot V^2}{2gd} = \dfrac{4 \times 2.684 \times 10^{-3} \times 60 \times 3^2}{2 \times 9.81 \times 0.25} = \mathbf{1.182\ m}$ उत्तर

उदाहरण 4.32. 20 m व्यास के पाइप में 75 lit/sec की दर से तेल प्रवाह हो रहा है। तेल का विशिष्ट घनत्व 0.85 तथा श्यानता 0.05 poise है। यदि पाइप 500 m लम्बा हो तो घर्षण द्वारा शीर्ष हानि ज्ञात कीजिए। **(UP 2015)**

हल—दिया है—$d = 20$ cm $= 0.2$ m, $Q = 75$ lit/sec $= 75 \times 10^{-3}$ m³/sec

विशिष्ट गुरुत्व = 0.85, $\rho_{तेल} = 850$ kg/m³, $\mu = 0.05$ poise, $l = 500$ m

हम जानते हैं, कि
$$1 \text{ poise} = \frac{1}{10}\frac{\text{N-sec}}{\text{m}^2}$$

∴
$$\mu = 0.05 \times \frac{1}{10}\frac{\text{N-sec}}{\text{m}^2}$$

घर्षण के कारण शीर्ष हानि, $h_f = \dfrac{4f \cdot L \cdot V^2}{2gd}$

∴
$$Q = AV$$

∴
$$75 \times 10^{-3} = \frac{\pi}{4} \times 0.2^2 \times V$$

∴
$$V = 2.387 \text{ m/sec}$$

$$R_e = \frac{\rho \cdot Vd}{\mu} = \frac{850 \times 2.387 \times 0.2}{0.05 \times 10^{-1}} = 81158$$

हम जानते हैं कि घर्षण गुणांक (f) का मान रेनॉल्ड नम्बर (R_e) का मान 4000 से 10^6 के बीच परिवर्तित होता है तो गुणांक

$$f = \frac{0.079}{R_e^{1/4}} = \frac{0.079}{(81158)^{1/4}} = 4.681 \times 10^{-3}$$

∴ घर्षण के कारण शीर्ष हानि, $h_f = \dfrac{4 \times 4.681 \times 10^{-3} \times 500 \times 2.387^2}{2 \times 9.81 \times 0.2} = \mathbf{13.59 \text{ m}}$ **उत्तर**

प्रश्नावली

1. पाइपों की उपयोगिता पर टिप्पणी कीजिये।
2. पाइप-प्रवाह से क्या तात्पर्य है? समझाइये।
3. पाइप की विशिष्टियों को किस प्रकार व्यक्त करते हैं? समझाइये।
4. निम्न पदों पर टिप्पणी लिखिये— **(UP 2006)**
   (i) द्रवीय ढाल रेखा (hydraulic gradient line)
   (ii) सम्पूर्ण ऊर्जा रेखा (total energy line) **(UP 2014)**
   (iii) घर्षण शीर्ष हानि (friction head loss) **(UP 2014)**
   (iv) भीगी परिमाप (wetted perimeter) **(UP 2003)**
   (v) द्रवीय मध्यमान गहराई या द्रवीय त्रिज्या (hydraulic radius) **(UP 2003)**
   (vi) पाइपों में शीर्ष हानियाँ (head losses in pipes) **(UP 2003)**
   (vii) पाइपों में हैमर-बलों तथा इसका प्रभाव (hammer blows in pipes and its effect)
5. नलों में घर्षण के कारण शीर्ष हानि का डारसी सूत्र, $h_f = \dfrac{4flV^2}{2gd}$ व्युत्पन्न कीजिये।
6. पाइप के अनुप्रस्थ काट क्षे० में अचानक वृद्धि एवं संकुचन के कारण शीर्ष हानि का सूत्र व्युत्पन्न करिये। **(UP 2000, 03)**
7. वेग में परिवर्तन के कारण बहते पानी में विभिन्न शीर्ष हानियाँ कौन-कौन सी होती हैं?

8. पाइप लाइन की प्रणाली में कौन-कौन सी विभिन्न शीर्ष हानियाँ होती हैं? उनके लिये सूत्र लिखें एवं प्रयुक्त पद समझाइये। **(UP 2011, 13, 19(S))**

9. द्रवीय प्रवणता (Hydraulic gradient) तथा सम्पूर्ण ऊर्जा रेखा (Total energy line) को समझाइये। द्रवीय मध्यमान गहराई तथा भीगी परिमाप की परिभाषा दीजिये।

10. निम्नलिखित को समझाइये—(i) द्रवीय प्रवणता (hydraulic gradient), (ii) घर्षण के कारण शीर्ष हानि, (iii) द्रवीय त्रिज्या (hydraulic radius). **(UP 2010)**

11. पाइपों में घर्षण के कारण शीर्ष हानि के लिए डार्सी-वाइसबाख (Darcy-Weisbach) सूत्र व्युत्पन्न कीजिए। **(UP 2014)**

12. किसी पाइप में आकस्मिक संकुचन से शीर्ष हानि के लिए व्यंजक ज्ञात कीजिये।

13. पाइपों में जल आघात तथा इसके प्रभाव को समझाइये।

14. नलों में जल-आघात उत्पन्न होने के कारण बताइये।

15. सर्ज टैंक (Surge tank) तथा उसकी उपयोगिता का सचित्र वर्णन कीजिए।

16. एंकर ब्लॉक (Anchor block) क्या है। सचित्र वर्णन कीजिए।

17. साइफन (Syphon) किसे कहते हैं? इसकी क्रियाविधि का वर्णन कीजिए।

18. "सिद्ध कीजिए पाइप द्वारा संचारित शक्ति, उसी समय अधिकतम होगी जबकि पाइप में घर्षण के कारण शीर्ष हानि उपलब्ध शीर्ष की एक तिहाई हो।"

19. 500 m लम्बी तथा 20 cm व्यास की एक पाइप लाइन में 3 m/sec के वेग से पानी प्रवाहित होता है। यदि $f = 0.01$ हो तो घर्षण के कारण शीर्ष-हानि ज्ञात कीजिये। [**उत्तर**—45.87 m]

20. श्रमिकों की किसी बस्ती में एक पाइप लाइन के द्वारा 2200 lit/sec के दर से पानी प्रवाहित होता है। पानी की टंकी बस्ती से 5 km दूर है। यदि पाइप लाइन में घर्षण के कारण शीर्ष हानि 10 m होती हो तो पाइप लाइन का व्यास ज्ञात करिये। $f = 0.0075$ मानिये। [**उत्तर**—143 cm]

21. ये पाया गया कि एक 30 cm व्यास व 250 m लम्बे पाइप के दो सिरों पर शीर्षांतर 1.5 m है। $f = 0.01$ लो और लघु (minor) हानियों को छोड़ते हुए इससे विसर्जन की गणना कीजिये। [**उत्तर**—66.4 lit/sec]

22. (a) एक पाइप में द्रवीय ढाल क्या होता है?
    (b) एक 30 cm व्यास तथा 600 m लम्बाई के पाइप से दो जलाशय जोड़े गये हैं जिनमें तलांतर 6 m है। $f = 0.01$ मानते हुए lit/sec में प्रवाह दर ज्ञात कीजिये। [**उत्तर**—85 lit/sec]

23. एक 60 m लम्बे, 25 cm व्यास के पाइप से 4 m/sec वेग से जल बहता है। $v = c\sqrt{(mi)}$ सूत्र द्वारा, घर्षण में शीर्ष हानि ज्ञात कीजिये जबकि $C = 60$ मानिये। [**उत्तर**—4.268 m]

24. पानी 2.5 m/sec वेग से एक 60 m लम्बे व 2 cm व्यास के पाइप में से बहता है। घर्षण में शीर्ष हानि (a) सूत्र $H_f = \dfrac{4flV^2}{2gd}$ जबकि $f = 0.005$ (b) सूत्र $V = C\sqrt{(mi)}$ जबकि $C = 55$, ज्ञात कीजिये। [**उत्तर**—(a) 2.1 m; (b) 2.5 m]

25. 15 cm व्यास व 60 m लम्बा पाइप एक सिरे पर टैंक से जुड़ा है तथा दूसरे सिरे पर स्वतन्त्र रूप से पानी को वायुमण्डल में विसर्जित करता है। पाइप के केन्द्र से टैंक में जल तल 2.6 m ऊँचा है। पाइप क्षैतिज है और $f = 0.01$ है। सब हानियों पर विचार करते हुए पाइप से विसर्जन ज्ञात करिये। [**उत्तर**—32 lit/sec]

26. 15 cm व्यास की एक पाइप लाइन क्षैतिज में लगी है। इस पाइप की 1000 m लम्बाई में घर्षण शीर्ष हानि 7.5 m होती है यदि घर्षण गुणांक $f = 0.005$ हो तो डारसी सूत्र से विसर्जन ज्ञात करिये। [**उत्तर**—18.55 lit/sec]

27. 1 cm व्यास तथा 1.5 km लम्बाई के पाइप से पानी का प्रवाह 1 m/sec की गति से होता है। घर्षण के कारण शीर्ष हानि ज्ञात करिये।
   (a) डारसी सूत्र के द्वारा, जिसमें $f = 0.005$ मानिये।
   (b) चेजी सूत्र के द्वारा, जिसमें $C = 64$ मानिये।

[**उत्तर**—1.52 m; 1.42 m]

28. दो जलाशयों को 15 cm व्यास तथा 200 m लम्बी क्षैतिज पाइप लाइन से जोड़ा गया है। जलाशयों का जल-स्तर पाइप लाइन की केन्द्र रेखा से क्रमश: 6 m तथा 2 m पर बना रहता है। सभी शीर्ष-हानियों पर विचार करते हुए पाइप में प्रवाह की गति तथा एक जलाशय से दूसरे जलाशय में प्रवाह की दर ज्ञात करिये। $f = 0.01$ मानिये। [**उत्तर**—1.67 m/sec; 0.0295 m^3/sec]

29. दो जलाशयों को 30 m लम्बी पाइप लाइन में जोड़ा गया है। पाइप लाइन के पहले 10 m का व्यास 15 cm तथा शेष 20 m का व्यास 30 cm है। एक जलाशय का जल-स्तर दूसरे जलाशय के जल-स्तर से 20 m ऊँचा है। सभी शीर्ष हानियों पर विचार करते हुए विसर्जन ज्ञात करिये। दोनों पाइपों के लिये $f = 0.005$ मानिये।

[**उत्तर**—219.5 lit/sec]

30. 1500 m लम्बी एक पाइप लाइन द्वारा दो जलाशय जोड़े गये हैं। पहले 600 m पाइप का व्यास 30 cm और घर्षण गुणांक 0.005 और शेष पाइप का व्यास 60 cm और घर्षण गुणांक 0.00045 है। यदि विसर्जन 132 lit/sec है तो दोनों जलाशयों के जल-तलों में अन्तर ज्ञात कीजिये। घर्षण के अतिरिक्त सभी प्रकार की हानियों को नगण्य मानिये। [**उत्तर**—7.155 m]

31. जो जलाशय एक 3000 m लम्बे और 15 cm व्यास वाले पाइप से जोड़े जाते हैं। दोनों जलाशयों के बीच पानी की सतहों का अन्तर 9 m है। सभी प्रकार की हानियों पर विचार करते हुए पाइप का विसर्जन पता लगाइये जबकि $4f = 0.04$ है, द्रवीय ढाल रेखा और सम्पूर्ण ऊर्जा रेखा खींचिये।

[**उत्तर**—8.29 lit/sec]

32. एक 300000 जनसंख्या वाले नगर को 80 km दूर एक जलाशय से पाइप द्वारा पानी सप्लाई किया जाता है। जनसंख्या द्वारा प्रतिदिन प्रति व्यक्ति 180 litre पानी खर्च होता है। सप्लाई लगातार होती है। केवल घर्षण के कारण शीर्ष हानि ध्यान में रखते हैं तथा $f = 0.01$ लेकर पाइप लाइन की माप डिजाइन कीजिये। यदि जलाशय के जलतल और नगर में पाइप के सिरे पर पाइप-लाइन की केन्द्रीय रेखा के बीच तलों में न्यूनतम अन्तर 45 m है।

[**उत्तर**—$d = 1.18$ m]

33. एक लाख की आबादी वाले शहर को 5 km दूर स्थित एक जलाशय से पानी सप्लाई किया जाता है और यह निर्धारित किया गया है कि 8 घण्टों के अन्दर ही प्रति व्यक्ति 205 lit/day की सप्लाई की आधी सप्लाई दे दी जाये। यदि प्राप्त शीर्ष 11.5 m हो तो सप्लाई व शर्त पूरी करने हेतु पाइप का कितना व्यास रखा जाये? चेजी सूत्र में $C = 80$ मानिये।

34. दो पानी के संग्रहक (Reservoirs) आपस में एक पाइप लाइन के द्वारा जो कि 1 km लम्बी है और 38 cm व्यास की है, जुड़े

[**उत्तर**—56.1 cm]

(connected) हैं। संग्रहक में पानी के तलों में 5 m का अन्तर है। पाइप लाइन में से बहते हुए विसर्जन को ज्ञात कीजिये। केवल घर्षण (friction) के द्वारा होते हुए हानि को ध्यान में लीजिये शेष सब हानियों (losses) को नगण्य कर दीजिये। पाइप लाइन के पदार्थ के लिये $4f = 0.05$ मान लीजिये।

35. किसी नगर की जनसंख्या 4 लाख है। नगर मे एक पाइप लाइन की सहायता से किसी जलाशय से पानी पहुँचाया जाता है। नगर

[**उत्तर**—97.86 lit/sec]

से जलाशय की दूरी 6.44 km है। पाइप लाइन में शीर्ष हानि 15 m मापी जाती है। प्रतिदिन प्रति व्यक्ति 225 litre पानी खर्च करता है। पाइप लाइन के लिए $f = 0.0075$ है। यदि प्रतिदिन 16 घण्टे पानी भेजा जाता है तो पाइप का व्यास ज्ञात कीजिये।

36. दो जलाशय जिनकी आपस में दूरी 1500 m है, एक 0.3 m व्यास के पाइप से जोड़े गये हैं। जलाशयों के पानी मुक्त सतह में

[**उत्तर**—1.211 m]

20 m का अन्तर है और दिये गये पाइप के लिए घर्षण गुणांक $4f = 0.2$ लीजिये और पाइप का विसर्जन ज्ञात करिये।

37. एक 200 mm व्यास की पाइप से विसर्जन उस स्थिति में ज्ञात कीजिए जबकि पाइप के दोनों सिरे 500 m की दूरी पर है, के

[**उत्तर**—44.22 lit/sec]

बीच दाब शीर्ष-अन्तर 4 m जल के बराबर है। $f = 0.009$ मानिये। $h_f = \dfrac{4flV^2}{2gd}$ सूत्र प्रयोग कीजिए।

[**उत्तर**—0.03 m^3/sec]

38. 1.5 km लम्बे एक पाइप में 4.5 m/sec के वेग से पानी प्रवाहित होता है। पाइप के निकास पर लगे वाल्व को बन्द करने में 20 sec का समय लगता है। ज्ञात कीजिये कि वाल्व पर जल-आघात (water hammer) के कारण कितनी दाब-तीव्रता उत्पन्न होगी? **[उत्तर**—33.75 N/cm^2]

39. एक पाइप लाइन, d_1 व्यास के l_1 लम्बे पाइप, तथा फिर d_2 व्यास के l_2 लम्बे दूसरे पाइप और d_3 व्यास के l_3 लम्बे तीसरे पाइप से मिलकर बनी है। यदि d व्यास के उतने ही कुल लम्बाई के एक पाइप (Equivalent pipe) द्वारा पाइप लाइन को बदल डाला जाये तो सिद्ध कीजिये कि,

$$\frac{l_1 + l_2 + l_3}{d^5} = \frac{l_1}{d_1^5} + \frac{l_2}{d_2^5} + \frac{l_3}{d_3^5}$$

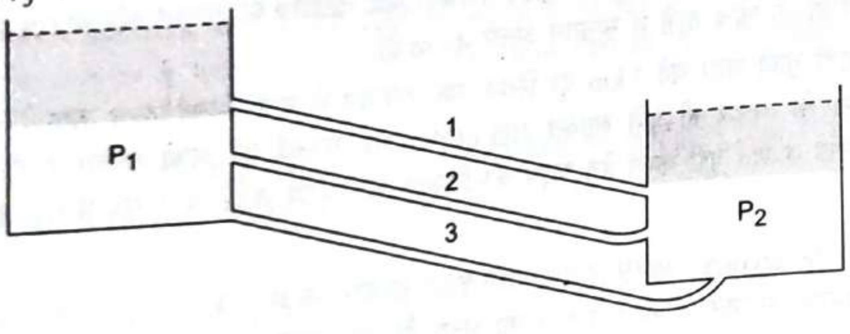
जबकि घर्षण गुणांक सबके लिए समान है और अन्य सभी लघु हानियों (Minor losses) को नगण्य मान लिया जाता है।

40. एक मुख्य पाइप से जुड़े तीन समान्तर समान व्यास d के तीन पाइपों की लम्बाई क्रमशः l_1, l_2 और l_3 है तथा उनमें से विसर्जन क्रमशः Q_1, Q_2 तथा Q_3 है। यदि प्रत्येक पाइप में घर्षण शीर्ष हानि समान हो, (लघु शीर्ष हानियों को नगण्य मानिये) तो सिद्ध कीजिये।

$$\frac{D^{5/2}}{d^{5/2}} = l^{1/2}\left[\frac{1}{\sqrt{l_1}} + \frac{1}{\sqrt{l_2}} + \frac{1}{\sqrt{l_3}}\right]$$

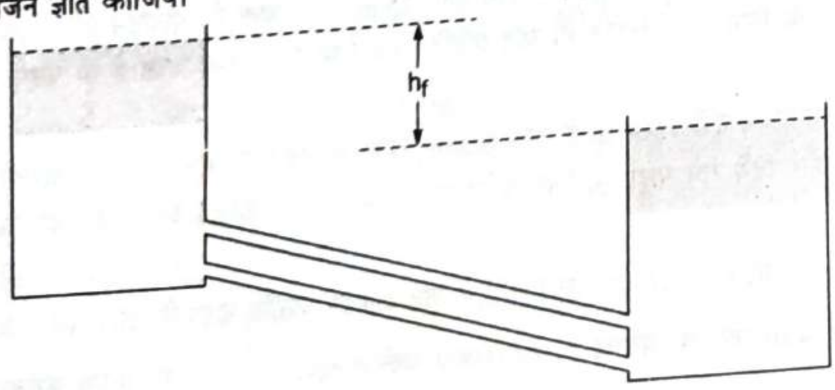
जहाँ D = मुख्य पाइप का व्यास। सब पाइपों के लिये घर्षण गुणांक समान मानिये।

41. चित्र 4.27 में दिखाये गये अनुसार तीन समान्तर पाइप दो जलाशयों के बीच लगायी गयी हैं। पाइपों के व्यास क्रमशः d, $2d$ तथा $3d$ हैं। सबकी लम्बाई समान है। यदि d व्यास के पाइप से विसर्जन 1 m^3 हो तो अन्य दोनों से होने वाला विसर्जन ज्ञात कीजिये। सब पाइपों के लिये f समान है। **[उत्तर**—5.66 m^3/sec; 15.59 m^3/sec]



चित्र 4.27

42. दो जलाशय दो समान्तर पाइपों द्वारा चित्र 4.28 के अनुसार जोड़े गये हैं। प्रत्येक की लम्बाई 2400 m तथा व्यास क्रमशः 1.2 m तथा 1.0 m है तथा इनके लिये f का मान क्रमशः 0.0065 तथा 0.00475 है। यदि जलाशयों के तलों का अन्तर 3.5 m हो तो विसर्जन ज्ञात कीजिये। **[उत्तर**—2.254 m^3/sec]



चित्र 4.28

42. दो जलाशयों के तलों में अन्तर 18 m का है। इन्हें 30 cm व्यास तथा 600 m लम्बे पाइप द्वारा जोड़ा गया है। साइफन का उच्चतम भाग ऊँचे जलाशय के जल तल से 3.0 m ऊँचा है। यदि प्रवेश अंग (inlet leg) की लम्बाई 240 m हो तो साइफन से विसर्जन व उच्चतम भाग पर दाब शीर्ष ज्ञात करो। $f = 0.008$ मानो। **[उत्तर**—166.5 lit/sec; 5.76 m]

43. (a) किसी पाइप (नल) में समान्तर पाइप क्यों जोड़ा जाता है एवं ऐसी दशा में प्रवाह किन नियमों से निर्देशित होता है?
(b) 0.6 m व्यास की एक पाइप लाइन 1.5 km लम्बी है। पाइप से विसर्जन बढ़ाने के लिये इस लाइन की अन्तिम आधी लम्बाई में समान व्यास का एक अन्य पाइप समान्तर में लगा दिया जाता है। यदि सब पाइपों के लिये $f = 0.01$ हो और पाइप लाइन के प्रवेश द्वार पर शीर्ष 30 m हो तो लघु हानियों (minor losses) की उपेक्षा (छोड़ते) करते हुए पाइप लाइन के विसर्जन में वृद्धि ज्ञात किजिये। **[उत्तर**—0.182 m^3/sec]

44. 15 km लम्बे किसी पाइप के प्रवेश पर जल का दबाव 70 kg_f/cm^2 तथा घर्षण के कारण जल के दाब में कमी 7 kg_f/cm^2 है। यदि इस पाइप द्वारा 100 h.p. का संचरण किया जाता हो तो पाइप का व्यास और संचरण दक्षता (transmission efficiency) ज्ञात करो। पाइप के लिये $f = 0.006$ लो। **[उत्तर**—व्यास 15 cm]

45. 2 m व्यास की एक टंकी में 2 m पानी चढ़ा है। 8 cm व्यास तथा 9 m लम्बाई के एक पाइप द्वारा टंकी को खाली करने में कितना समय लगेगा? $f = 0.0098$ मानिये। **[उत्तर**—20 मिनट]

46. एक टरबाइन को 3 m लम्बे पाइप से जल की सप्लाई 2 m/sec प्रवाह वेग से की जाती है। टरबाइन के पास पाइप में लगा वाल्व 40 sec में बन्द करते हैं, तब वाल्व के पीछे पाइप में दाब वृद्धि ज्ञात कीजिये। **[उत्तर**—1.53 kg_f/cm^2]

47. 150 mm व्यास वाला एक क्षैतिज पाइप, अचानक प्रसार द्वारा 225 mm व्यास के पाइप से जुड़ा है। इसमें 0.05 m^3/sec की दर से पानी प्रवाहित हो रहा है। निम्नलिखित ज्ञात कीजिए—(i) अचानक प्रसार के कारण शीर्ष का ह्रास (head loss), (ii) दोनों पाइपों में दाब का अन्तर। **(UP 2006)**
[उत्तर—(i) 0.15 mm, (ii) 1.47 kN)]

48. एक टैंक जो एक 5 m के स्थिर जल शीर्ष पर है तथा एक 100 m लम्बा तथा 15 cm व्यास की पाइप के निकास के ठीक ऊपर है, से जल विसर्जित हो रहा है। इसकी प्रवाह की दर की गणना कीजिए यदि पाइप का घर्षण गुणांक 0.01 है।
(UP 2008) [उत्तर—33.75 lit/sec]

49. एक पाइप, जिसका व्यास 200 mm एवं लम्बाई 60 m है, में पानी का प्रवाह 2.5 m/sec के वेग से हो रहा है। इस पाइप में घर्षण के कारण होने वाली शीर्ष हानि की गणना कीजिए। **(UP 2011)**
[उत्तर—(i) नये पाइप हेतु 2.18 m, (ii) पुराने पाइप हेतु 4.2 m]

5

Chapter

द्रवीय निकाय
(Hydraulic System)

§ 5.1. परिचय (Introduction) :

हमारे दैनिक उपयोग में ऐसी बहुत सी द्रवीय मशीनें अथवा उपकरण हैं जिसमें द्रवस्थैतिकी (Hydrostatics) तथा द्रव शुद्ध-गतिकी (Hydro-kinematics) के सिद्धान्तों का प्रयोग होता है। ये मशीनें या तो द्रव ऊर्जा को अपने अन्दर संचित (store) करके आवश्यकतानुसार निर्गत अथवा पारेषण (Transmit) करती हैं या फिर द्रव ऊर्जा को कई गुना वृद्धि करके पारेषित कर देती हैं। इन सभी मशीनों में शक्ति का पारेषण तरल (fluid) की सहायता से होता है। यह तरल पानी अथवा तेल हो सकता है।

इस अध्याय में हम कुछ प्रमुख प्रकार की द्रव मशीनों का विवरण (description), कार्यविधि (operation) तथा उपयोग (application) का अध्ययन करेंगे।

§ 5.2. प्रमुख प्रकार की द्रव मशीनें (Important Hydraulic Machines) :

कुछ प्रमुख द्रव मशीनें निम्न हैं—

(i) द्रवीय रैम (Hydraulic Ram)

(ii) द्रवीय जैक (Hydraulic Jack)

(iii) द्रवीय ब्रेक (Hydraulic Break)

(iv) द्रवीय संचायक (Hydraulic Accumulator)

(v) द्रवीय डोर क्लोजर (Hydraulic Door Closer)

(vi) द्रवीय प्रेस (Hydraulic Press)

5.2.(i) द्रवीय रैम (Hydraulic Ram)

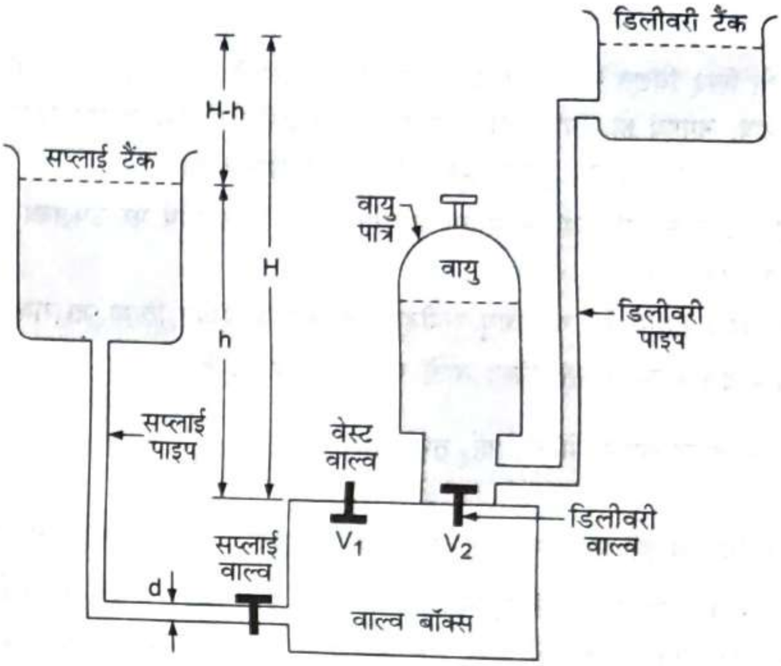
द्रवीय रैम एक ऐसा उपकरण है, जो कम ऊँचाई पर उपलब्ध जल की अधिक मात्रा की गतिज ऊर्जा का प्रयोग करके, जल की कम मात्रा को अधिक ऊँचाई पर पम्प (pump) कर देता है। यह जल-आघात (Waer-Hammer) के सिद्धान्त पर कार्य करता है।

"Hydraulic ram is a device with which small quantity of water can be pumped to higher levels from the available large quantity of water at low head. It works on the principle of water hammer."

यह एक ऐसा स्वचालित पम्प है जिसमें कार्य के लिए किसी बाह्य-ऊर्जा स्रोत की आवश्यकता नहीं होती है और यह अपने कार्य के लिए द्रव के गतिज-दाब (dynamic pressure) का प्रयोग करता है।

रचना (Construction)—चित्र 5.1 में एक द्रवीय रैम प्रदर्शित है। इसमें मुख्यत: एक वाल्व बाक्स होता है जिसमें कम शीर्ष वाला जल प्रवेश करता है। वाल्स बाक्स में लगा वेस्ट वाल्व (waste valve) V_1 अन्दर को तथा डिलीवरी वाल्व

(Delivery valve) V_2, बाहर को खुलता है। डिलीवरी वाल्व V_2 के ऊपर एक वायु-पात्र (air-vessel) लगा रहता है। यह वायु पात्र डिलीवरी पाइप के माध्यम से डिलीवरी टैंक से जुड़ा रहता है।



चित्र 5.1—द्रवीय रैम

कार्यविधि (Working method)—प्रारम्भ में सप्लाई वाल्व को खोलते हैं जिससे सप्लाई टैंक से जल सप्लाई पाइप के द्वारा वाल्व बॉक्स में प्रवेश करता है। वेस्ट वाल्व V_1 अपने भार के कारण खुली स्थिति में होता है जिससे जल वेस्ट वाल्व V_1 के द्वारा वाल्व बॉक्स से बाहर आने लगता है। जब सप्लाई पाइप में प्रवाह वेग बढ़ता है, वेस्ट वाल्व पर नीचे से ऊपर की ओर गतिज दाब (dynamic pressure) बढ़ता है जो वाल्व को अचानक बन्द कर देता है। वाल्व के अचानक बन्द होने से सप्लाई पाइप में जल का प्रवाह रुक जाता है जिसके कारण जल आघात (water hammer) उपजता है तथा वाल्व बाक्स में उच्च दाब स्थापित हो जाता है। इस उच्च दाब के कारण डिलीवरी वाल्व V_2 ऊपर की ओर खुलता है तथा कुछ जल वायु पात्र में प्रवेश कर जाता है। वायु पात्र में जल के प्रवेश से पात्र के अन्दर की वायु संपीडित होती है। पात्र में वायु दाब बढ़ने से कुछ जल डिलीवरी पाइप से होकर डिलीवरी टैंक में प्रवेश कर जाता है।

इस प्रकार जब वाल्व बॉक्स में जल का संवेग (momentum) समाप्त हो जाता है तो डिलीवरी वाल्व 'V_2' बन्द हो जाता है तथा वेस्ट वाल्व 'V_1' फिर खुल जाता है। वॉल्व बॉक्स में जल प्रवाह पुनः स्थापित हो जाता है और नया क्रिया-चक्र फिर प्रारम्भ हो जाता है। सप्लाई-वाल्व को बन्द करने से रैम की क्रिया रोकी जा सकती है। ये क्रिया चक्र बहुत कम समय में पूरा हो जाता है जिससे द्रवीय रैम द्वारा डिलीवरी टैंक में लगातार जल की सप्लाई होती रहती है।

द्रविक रैम के लाभ (Advantages)

1. यह ऑटोमेटिक कार्य करता है तथा इसका रखरखाव भी सस्ता है।
2. इसकी क्रिया के लिए किसी बाह्य ऊर्जा की आवश्यकता नहीं होती वरन् यह जल की अधिक मात्रा से ही क्रिया करता है।
3. इसकी क्रिया में शोर नहीं होता है।
4. चल भागों (moving parts) न होने से स्नेहन की आवश्यकता नहीं होती।

5. कार्यकारी लागत (running cost) नगण्य होती है।
6. इसकी दक्षता उच्च होती है तथा सेवाकाल भी अधिक होता है।

उपयोगिता (Utility)—

(i) पम्प को चलाने के लिए विद्युत शक्ति की उपलब्धता दूरस्थ स्थानों (remote area) तक होने के कारण, द्रवीय रैम का उपयोग प्राय: नगण्य हो गया है फिर भी यह उन स्थानों पर, जैसे-पहाड़ी स्थान से चश्मा या स्रोत आदि जहाँ पर्याप्त वर्षा जल उपलब्ध हो, इसका प्रयोग किया जा सकता है।
(ii) द्रवीय रैम के साथ उपयुक्त युक्तियों के प्रयोग से इसके द्वारा निम्न शीर्ष पर उपलब्ध गन्दे पानी से स्वच्छ पानी को पम्प किया जा सकता है।
(iii) थोड़े से सुधार के साथ द्रवीय रैम को वायु संपीडक के रूप में प्रयोग किया जा सकता है।

दक्षता (Efficiency)—द्रवीय रैम दक्षता निम्न बातों पर निर्भर करती है।

(i) पाइप में हानियाँ (ii) वाल्व बाक्स में हानियाँ, तथा (iii) $\frac{L}{H}$ तथा $\frac{h}{H}$ अनुपात

प्रयोगों द्वारा देखा गया है कि रैम की उच्चतम क्षमता के लिए $\frac{l}{H}$ तथा $\frac{h}{H}$ का मान लगभग 2.5 तथा 5 होना चाहिये। रैम की दक्षता 75% तक हो सकती है। रैम के लिए न्यूनतम कार्यकारी शीर्ष (h) 0.6 मी० होता है। विसर्जन शीर्ष 'H' का मान 'h' का 6 से 12 गुना तक होता है। रैम से प्राप्त जल की मात्रा, सप्लाई किये गये जल की मात्रा की $\frac{1}{24}$ से $\frac{1}{12}$ तक होती है। माना किसी रैम के लिए,

Q = जल की व्यर्थ मात्रा (Wasted water)

q = रैम द्वारा पम्प की गई जल की मात्रा

h = क्रियाकारी शीर्ष (वेस्ट-वाल्व से ऊपर जल स्रोत की ऊँचाई)

H = वेस्ट वाल्व से ऊपर डिलीवरी टैंक की ऊँचाई

तब,
$$q = \frac{Q.h}{2H}$$

द्रवीय रैम की रैंकिन दक्षता निम्न सूत्र द्वारा प्रदर्शित होगी $\eta = \frac{q(H-h)}{Q.h}$

उदाहरण 5.1. एक द्रविक रैम 3.3 m की ऊँचाई से 0.022 m³/sec पानी प्राप्त करता है तथा 0.0022 m³/sec पानी, रैम से 21 m की ऊँचाई पर भेजता है। द्रविक रैम की रैंकिन दक्षता (Rankine efficiency) ज्ञात करो।

हल—दिया है—रैम द्वारा पम्प की गई पानी की मात्रा $q = 0.0022\ m^3/sec$, Q = जल की व्यर्थ मात्रा (wasted water) $= (0.022 - 0.0022) = 0.0198\ m^3/sec$, h = क्रियाकारी शीर्ष = 3.3 m, H = वेस्ट वाल्व से ऊपर डिलीवरी टैंक की ऊँचाई = 21 m

$$\therefore \quad \text{रैंकिन दक्षता, } \eta = \frac{q(H-h)}{Q.h}$$

$$= \frac{0.022(21-3.3)}{0.0198 \times 3.3} = 0.596 \quad \text{या} \quad \mathbf{59.6\%}$$

उत्तर

उदाहरण 5.2. एक द्रविक रैम 5 m की ऊँचाई से 0.05 m^3/sec पानी प्राप्त करता है तथा 0.005 m^3/sec पानी, रैम से 35 m की ऊँचाई पर भेजता है। पाइप की लम्बाई तथा व्यास क्रमशः 120 m तथा 70 mm है। यदि घर्षण गुणांक 0.009 हो तो द्रविक रैम की रैंकिन दक्षता ज्ञात करो।

हल—दिया है—$q = 0.005$ m^3/sec, $Q = [0.05 - 0.005] = 0.045$ m^3/sec, $h = 5$ m, $H = 35$ m, $l = 120$ m, $d = 75$ mm $= 0.075$ m, $f = 0.009$

अतः घर्षण के कारण प्रदाय पाइप में शीर्ष हानि,

$$h_f = \frac{4f.l.V^2}{2gd} = \frac{4 \times 0.009 \times 120 \times V^2}{0.075 \times 2 \times 9.81}$$

प्रदाय पाइप में पानी का वेग, $V = \dfrac{q}{\dfrac{\pi}{d}.d^2} = \dfrac{0.005}{\dfrac{\pi}{4} \times 0.075^2} = 1.13$ m/sec

$$\therefore \quad h_f = \frac{4 \times 0.009 \times 120 \times (1.13)^2}{0.075 \times 2 \times 9.81} = 3.75 \text{ m}$$

अतः रैम द्वारा उत्पन्न प्रभावी शीर्ष, $H_e = H + h_f = 35 + 3.75 = 38.75$ m

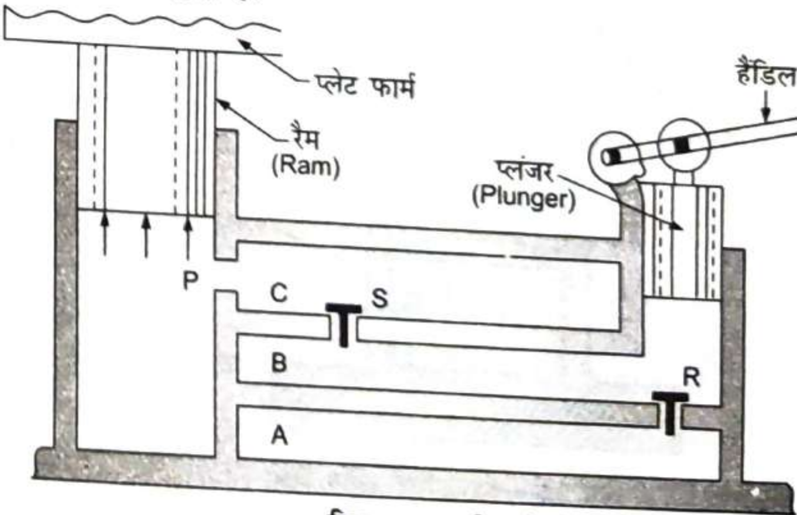
अतः रैंकिन दक्षता, $\eta = \dfrac{0.005(38.75 - 5)}{0.045 \times 5} = 0.75$ या **75%** उत्तर

5.2.(ii) द्रवीय जैक (Hydraulic Jack)

यह एक द्रव चालित सुवाह्य (portable) मशीन है जिसका उपयोग सामान्यतः कार, बस या ट्रक आदि में पहिया बदलने अथवा मरम्मत करने के लिये वाहन को उठाने में किया जाता है। इसकी कार्य प्रणाली भी द्रवयी प्रेस के समान ही है।

"This is a hydraulically operated portable machine which is generally used to lift the vehicle for repair or change the tyres of car, bus, truck etc. The working of hydraulic jack is quite similar to hydraulic press."

सैद्धांतिक रूप से जैक में दायीं ओर एक प्लंजर होता है जिसे एक हत्थे (handle) की सहायता से ऊपर-नीचे चलाया जा सकता है। (देखिये चित्र 5.2)। जैक के बायीं ओर एक रैम होता है जिसके ऊपर उठाये जाने वाले भार (कार या ट्रक) को टिकाने के लिये एक प्लेटफार्म होता है।

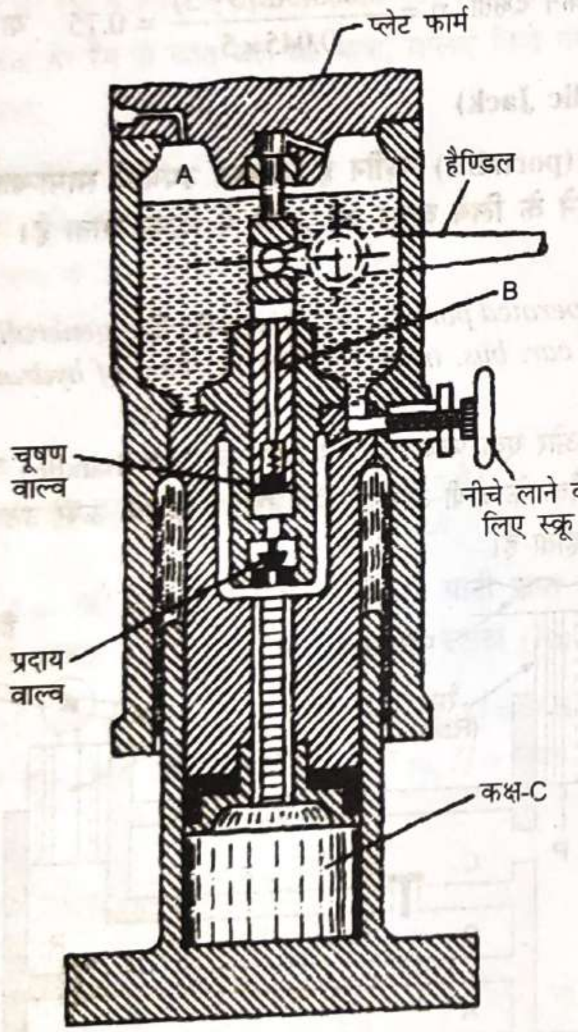


चित्र 5.2—द्रवीय जैक

जब प्लंजर को हैंडिल की सहायता से उठाया जाता है तो उसके नीचे कक्ष B में आंशिक निर्वात उत्पन्न हो जाता है जिसके फलस्वरूप वाल्व R खुल जाता है और कक्ष A का कुछ द्रव कक्ष B में आ जाता है। प्लंजर को नीचे लाने पर वाल्व R बंद हो जाता है और कक्ष B में द्रव दाब बढ़ जाता है जिसके फलस्वरूप वाल्व S के खुलने से अधिक दाब वाला द्रव कक्ष C में आ जाता है। कक्ष C में द्रव दाब से रैम पर ऊपर की ओर बल लगता है जिससे रैम थोड़ा ऊपर उठ जाता है। अब जब पुन: प्लंजर को ऊपर उठाया जाता है तो वाल्व S बंद हो जायेगा और R खुल जायेगा जिससे पहले वाली क्रिया की पुनरावृत्ति होगी और रैम थोड़ा और ऊपर उठ जायेगा। इस प्रकार बार-बार हैंडिल को ऊपर नीचे करने से कक्ष A में से और द्रव B से होता हुआ कक्ष C में पहुँचता रहेगा और रैम पर रखा भाग ऊपर उठता चला जायेगा। रैम की अधिक उठान किस जैक के लिये निश्चित होती है।

कार्य समाप्ति पर एक स्क्रू की सहायता से कक्ष C का सीधा सम्बन्ध A से कर दिया जाता है जिससे द्रव C में से निकल कर कक्ष A में बह जाता है, जिससे रैम धीरे-धीरे अपनी पूर्व स्थिति में आ जाता है। जैक में द्रव के रूप में कोई तेल प्रयोग किया जाता है। परन्तु आवश्यकतानुसार पानी भी प्रयोग किया जा सकता है।

एक व्यावहारिक जैक चित्र 5.3 में दिखाया गया है। इसमें हैंडिल की पश्चाग्र गति से कक्ष A का द्रव खोखले प्लंजर B में से होता हुआ चूषण व प्रदाय वाल्वों के बीच से कक्ष C में अधिक दाब पर प्रवेश करता है। कक्ष C के ऊपर रैम द्रव दाब के कारण ऊपर उठता है जिसके फलस्वरूप रैम पर रखा भार भी ऊपर उठता है। भार को नीचे लाने के लिये स्क्रू की व्यवस्था भी चित्र में दिखाई गई है जिसे घुमाने पर कक्ष C का द्रव वापिस कक्ष A में चला जाता है।



चित्र 5.3—व्यावहारिक द्रवीय जैक

जैक का सैद्धांतिक यांत्रिक लाभ $= m \cdot \frac{A}{a}$

जहाँ $m = \frac{\text{लीवर का विस्थापन}}{\text{प्लंजर का विस्थापन}} = \frac{L}{l}$

A = रैम की काट का क्षेत्रफल,

a = प्लंजर की काट का क्षेत्रफल

घर्षण हानि पर विचार करने पर,

$$\text{याँत्रिक लाभ} = \eta . m . \frac{A}{a}$$

अत:

$$\frac{W}{p} = \eta . m . \frac{A}{a}$$

या

$$w = \eta . mp . \frac{A}{a}$$

जैक की दक्षता 0.66 से 0.93 तक होती है। सामान्यत: जैक 3 टन से 100 टन तक के भार के लिए बनाये जाते हैं।

उदाहरण 5.3. एक द्रवीय जैक की दक्षता ज्ञात कीजिये जिसके द्वारा 50 N के बल से 3500 N का भार उठाया जा सकता है। जैक के लिए $m = 15$ तथा $\frac{A}{a} = 10$ मानिये।

हल—सम्बन्ध $W = \eta . p . m . \frac{A}{a}$ से,

$$3500 = \eta \times 50 \times 15 \times 10$$

$$\eta = 0.466$$

और

$$\eta = \mathbf{46.6\%}$$

उत्तर

उदाहरण 5.4. एक द्रवीय जैक की दक्षता 85% है। उसके लीवर की भुजाओं में अनुपात 1 : 6 है। यदि बड़े तथा छोटे सिलिण्डरों के व्यासों में अनुपात 1 : 5 हो तो ज्ञात कीजिये कि लीवर पर कितना बल लगाकर 10 kN का भार उठाया जा सकता है।

हल—दिया है—$\frac{L}{l} = 6$, $\frac{D}{d} = 5$, $\eta = 85\% = 0.85$, $W = 10$ kN,

अत: सम्बन्ध $W = \eta . P \left(\frac{L}{l}\right)\left(\frac{D}{d}\right)^2$ के विभिन्न पदों में मान रखने पर,

$$10 \times 10^3 = 0.85 \times P \times 6 \times (5)^2$$

$\therefore$ लीवर पर लगाया गया बल, $P = \frac{10000}{0.85 \times 150} = \mathbf{78.43\ N}$

उत्तर

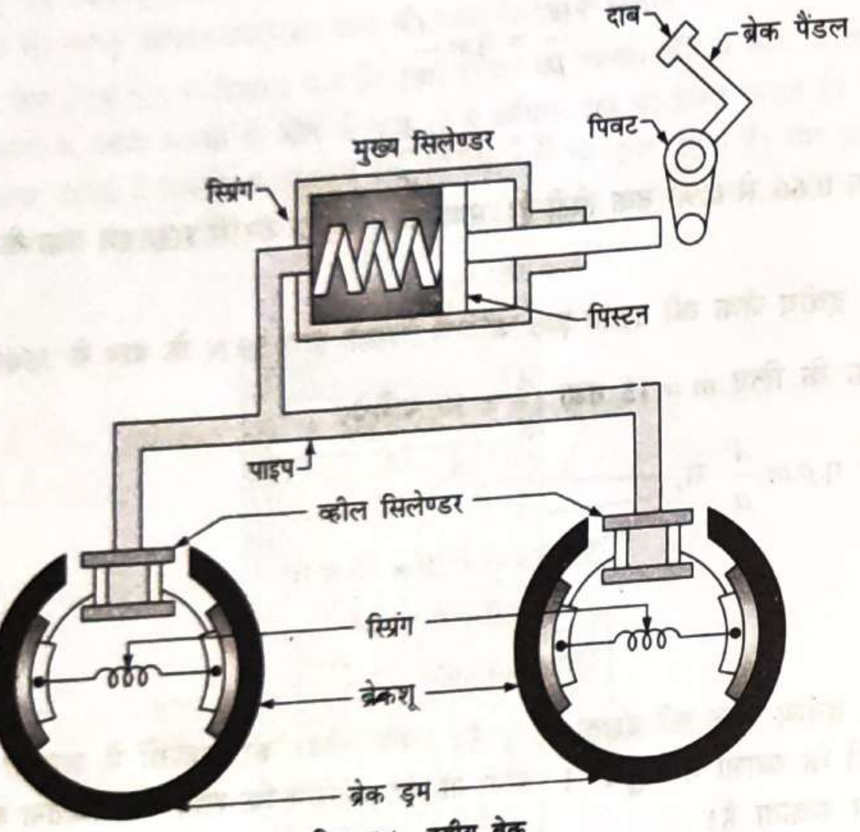
5.2.(iii) द्रवीय ब्रेक (Hydraulic Brakes)

हम जानते हैं कि विभिन्न प्रकार के ब्रेकों जैसे-यांत्रिक ब्रेक, द्रवीय ब्रेक, वायवीय (pneumatic) ब्रेक, विद्युत ब्रेक आदि का प्रयोग वाहनों की गति को कम करने अथवा रोकने के लिए किया जाता है। सभी ब्रेकों की अपनी क्रियाविधि तथा गुण होते हैं। यहाँ हम केवल द्रवीय ब्रेकों का अध्ययन करेंगे।

द्रवीय ब्रेक, द्रव दाब द्वारा क्रियान्वित होते हैं। ये पास्कल के नियम पर कार्य करते हैं जिसके अनुसार, स्थिर अवस्था में द्रव पर लगाया गया दाब सभी दिशाओं में एक समान कार्य करता है।

"Hydraulic brake operates by hydraulic pressure. It works on Pascal law. According to this law, the intensity of pressure at any point in a liquid at rest is the same in all directions."

चित्र 5.4 में एक चार पहिया वाहन के दो पहियों में द्रवीय ब्रेक का तंत्र प्रदर्शित है। शेष दो पहियों में भी यह तंत्र समान होगा।



चित्र 5.4—द्रवीय ब्रेक

द्रवीय ब्रेक में मुख्यतः एक सिलेण्डर होता है जिसमें लगा पिस्टन, ब्रेक पैडल से सम्बद्ध रहता है। सिलेण्डर में एक स्प्रिग लगा होता है जो पिस्टन पर बल लगाकर पिस्टन को दाँयी तरफ बनाये रखत। है। मुख्य सिलेण्डर एक पाइप लाइन के माध्यम से व्हील सिलेण्डर से जुड़ा रहता है। व्हील सिलेण्डर में दो पिस्टन लगे होते हैं जो ब्रेक शू से सम्बद्ध रहते हैं। ब्रेक शू की बाह्य सतह पर एक घर्षण पदार्थ की लाइनिंग (lining) लगी रहती है जिसको ब्रेक ड्रम के विरुद्ध दबा कर ब्रेकिंग क्रिया प्राप्त की जाती है। ब्रेक-शू एक सिरे पर पिवेटित रहते हैं तथा आपस में एक स्प्रिग द्वारा जुड़े रहते हैं।

जब वाहन गतिमय होता है सभी अंग अपनी सामान्य अवस्था में बने रहते हैं। गति को घटाने अथवा समाप्त करने के लिए ब्रेक पैड़ल को दबाया जाता है जिससे मुख्य सिलेण्डर का पिस्टन बायीं तरफ चलता है तथा सिलेण्डर में भरे द्रव को दबाता है जिससे सारे तंत्र का द्रव दाब बढ़ जाता है। व्हील सिलेण्डर में द्रव का दाब बढ़ जाता है जिससे दोनों पिस्टन पर बाहर की ओर दाब बढ़ता है जिससे ब्रेक ड्रम के विरुद्ध ब्रेक शू दाब लगाता है। ब्रेक ड्रम तथा ब्रेक लाइनिंग के मध्य उत्पन्न घर्षण के कारण पहिये का वेग कम हो जाता है।

जब ब्रेक पैड्ल से दाब हटाया जाता है तो पिस्टन अपनी पूर्व अवस्था में आ जाता है जिससे सिलेण्डर में पिस्टन के बायीं ओर द्रव दाब घट जाता है। ब्रेक शू में लगे स्प्रिंग द्वारा ब्रेक शू अपनी पूर्व अवस्था में आ जाता है तथा ब्रेक शू तथा ब्रेक ड्रम का सम्पर्क समाप्त हो जाता है तथा सभी अंग पूर्व अवस्था में आ जाते हैं।

द्रवीय ब्रेक के लाभ

(i) व्हील पर एक समान बल लगता है

(ii) स्वःस्नेहित होने के कारण घिसाई दर कम रहती है

(iii) उच्च यांत्रिक लाभ

(iv) सरल संरचना

हानि

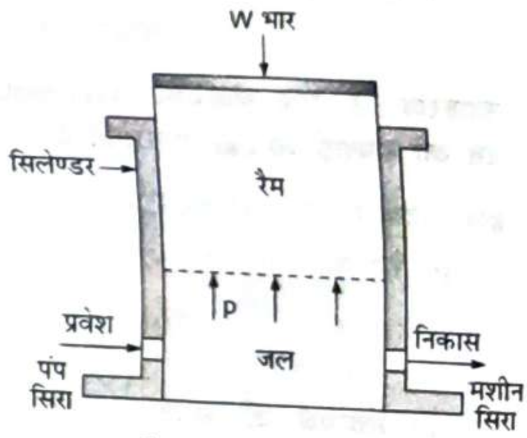
लीकेज अथवा वायु चूषित होने की दशा में तंत्र कार्य नहीं करता है।

5.2.(iv) द्रवीय संचायक (Hydraulic Accumulator)

द्रवीय संचायक एक ऐसा उपकरण है जो दाब ऊर्जा को संचित करता है और बाद में आवश्यकतानुसार एक मशीन को सप्लाई करता है। ये मशीन प्रायः द्रवीय प्रेस, लिफ्ट या क्रेन आदि होती है।

"It is a device used to store pressure energy, which may be supplied to a machine later on. These machines are hydraulic press, lift or crane etc."

एक द्रवीय संचायक अपने साधारण रूप में चित्र 5.5 में प्रदर्शित है। एक द्रवीय संचायक का कार्य पश्चाग्र इन्जन में लगे गतिपाल पहिये (flywheel) की भाँति होता है। किसी द्रवीय निकाय (Hydraulic system) में अचानक उत्पन्न हुये दाब अथवा झटकों (shocks) को यह अवशोषित (damp) कर लेता है और इस प्रकार यह एक "दाब नियन्त्रक" (Pressure regulator) का कार्य करता है।



चित्र 5.5—द्रवीय संचायक

रचना एवं कार्यविधि (Construction and Working)

चित्र 5.5 के अनुसार द्रवीय संचायक्र में एक स्थिर एवं उर्ध्वाधर सिलेण्डर होता है जिसके ऊपर सरकने वाला रैम या प्लन्जर (plunger) लगा होता है। रैम अथवा प्लन्जर के ऊपर भार रखा जाता है जो सिलेण्डर कक्ष में दाब उत्पन्न करता है। सिलेण्डर का एक सिरा पम्प से तथा दूसरा मशीन से जुड़ा रहता है।

प्रारम्भ में रैम अपने निम्नतम स्तर (lowermost position) पर होता है। चलायी जाने वाली मशीन (जैसे—क्रेन या लिफ्ट) के निष्क्रिय समय में पम्प द्वारा भेजा गया उच्च दाब द्रव, सिलेण्डर के खाली स्थान में चला जाता है। रैम पर ऊपर की ओर दाब लगता है और रैम, जिसके ऊपर भार रखा है, ऊपर उठ जाता है। द्रव की ओर सप्लाई करते रहने से सिलेण्डर भर जाता है और रैम अपनी उच्चतम स्थिति में पहुँच जाता है। इस वक्त सिलेण्डर में अधिकतम दाब ऊर्जा संचित हो जाती है। जब मशीन को कार्य करने हेतू अधिकतम ऊर्जा की आवश्यकता होती है तब यह संचित ऊर्जा मशीन को विसर्जित (discharged) कर दी जाती है।

संचायक की क्षमता (Capacity of Accumulator)

एक संचायक द्वारा संचित की जा सकने वाली अधिकतम ऊर्जा, संचायक की क्षमता (capacity) कहलाती है।

"The maximum energy stored by an accumulator is called the capacity of an accumulator."

माना,

A = रैम का क्षेत्रफल

L = स्ट्रोक या रैम का उठान (lift)

P = पम्प द्वारा सप्लाई किये गये द्रव की दाब तीव्रता

W = रैम का कुल भार, जिसमें रैम पर रखा भार भी सम्मिलित है।

तब

$$W = p \times A$$

रैम को उठाने में कृत कार्य = $W \times$ रैम का उठान,

$$= W \times L = p \times A \times L$$

परन्तु रैम को उठाने में कृत कार्य ही, संचायक में संचित ऊर्जा होगा और संचायक की क्षमता के बराबर होगा।

संचायक की क्षमता = $p \times A \times L = p \times$ संचायक का आयतन

उदाहरण 5.5. एक संचायक (Accumulator) के रैम का व्यास 200 mm तथा उठान 6 m है। यदि रैम को द्रव की सप्लाई 40 bar पर होती है तो ज्ञात कीजिये—(i) रैम पर रखा भार, एवं (ii) संचायक की क्षमता।

हल—दिया है—रैम का व्यास, $D = 200$ mm = 0.2 m; दाब तीव्रता, $p = 40$ bar; रैम का उठान, $L = 6$ m

(i) रैम का भार 'W'—

$$W = p \times A = 40 \times 10^5 \times 0.034 = 1.256 \times 10^5 \text{ N}$$

या

$$W = \mathbf{125.6 \text{ kN}}$$ उत्तर

(ii) संचायक की क्षमता—संचायक की क्षमता = $p \times A \times L = 40 \times 10^5 \times 0.0314 \times 6$

$$= 7.536 \times 10^5 \text{ N-m}$$

क्योंकि

$$1 \text{ kWh} = 1000 \times 60 \times 60 \text{ Nm}$$

∴

संचायक की क्षमता = $\dfrac{7.536 \times 10^5}{1000 \times 60 \times 60} = \mathbf{0.209 \text{ kWh}}$ उत्तर

उदाहरण 5.6. 1500 m लम्बे तथा 100 mm व्यास की एक पाइप लाइन के माध्यम् से 25 kW शक्ति संचायक द्वारा पारेषित की जाती है। रैम पर 1250 N का भार रखा गया है। पाइप में घर्षण के कारण हुई हानि कुल पारेषित शक्ति का 2.5% है। रैम का वाँछित व्यास ज्ञात कीजिये। घर्षण गुणांक = 0.01 मानिये।

हल—पारेषित शक्ति, $P = 25$ kW; पाइप का व्यास, $d = 100$ mm = 0.1 m; पाइप का लम्बाई, $l = 1500$ m; रैम पर भार, $W = 1250$ kN

पाइप लाइन में घर्षण हानि = 2.5% (कुल पारेषित शक्ति का)

$$= \frac{2.5}{100} \times 25 = 0.625 \text{ kW}$$

रैम का व्यास 'D'—हम जानते हैं कि पाइप लाइन में घर्षण के कारण शीर्ष हानि

$$h_f = \frac{4f.l.V^2}{2gd} = \frac{4 \times 0.01 \times 1500 \times V^2}{0.1 \times 2 \times 9.81} = 30.58\ V^2$$ **(जहाँ V = पाइप लाइन में प्रवाह का वेग)**

घर्षण के कारण शक्ति की हानि $= \dfrac{w.Q.h_f}{1000}$ kW (जहाँ पानी के लिए, $w = 9810$ N/m^3)

$$\therefore \quad 0.625 = \frac{9810 \times \frac{\pi}{4} \times 0.1^2 \times V \times 30.58\,V^2}{1000} = 2.356\ V^3$$

$$\therefore \quad V = \left[\frac{0.625}{2.356}\right]^{1/3} = 0.64 \text{ m/sec}$$

पाइप लाइन में विसर्जन $= \dfrac{\pi}{4} \times 0.1^2 \times 0.64 = 0.005026$ m^3/sec

यदि विसर्जन संचायक के अन्दर जाता है अत: संचायक द्वारा उत्पादित शक्ति $= \dfrac{w.Q.H}{1000}$ kW

(जहाँ H = संचायक के अन्दर पानी का दाब शीर्ष)

$$\therefore \quad 25 = \frac{9810 \times 0.005026 \times H}{1000}$$

या

$$H = \frac{25 \times 1000}{9810 \times 0.005026} = 507 \text{ m of water}$$

संचायक में दाब तीव्रता, $p = wH = 9810 \times 507 = 4973670$ N/m^2

$$\text{परन्तु दाब तीव्रता} = \frac{\text{रैम पर भार}}{\text{रैम का क्षेत्रफल}} = \frac{1250 \times 10^3}{\frac{\pi}{4} \times D^2}$$

$$\therefore \quad 4973670 = \frac{1250 \times 10^3}{\frac{\pi}{4} \times D^2}$$

$$\therefore \quad D^2 = 0.3199$$

$$\therefore \quad D = 0.565 \text{ m} = \mathbf{565\ m}$$

उत्तर

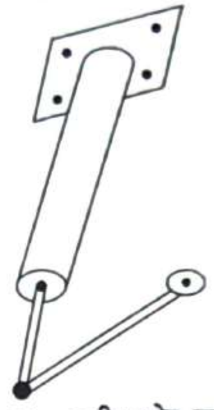
5.2.(v) द्रवीय डोर क्लोजर (Hydraulic Door Closer)

यह प्राय: बेलनाकार आकृति का होता है तथा घरों, दफ्तरों आदि में दरवाजों को बिना झटका लगे धीरे-धीरे बंद करने के लिए प्रयोग किया जाता है।

"Hydraulic door closers are devices that are installed at the top of the door and its frame. A hydrauiic door closer helps close a door automatically."

रचना एवं कार्यविधि (Construction and Working)

द्रवीय डोर क्लोजर के अन्दर एक सिलेण्डर तथा प्लैंजर का प्रबन्ध होता है। जब दरवाजा खुलता है तो सिलेण्डर तथा प्लन्जर के मध्य द्रव पर दाब बढ़ता है और द्रव पर कृत कार्य, ऊर्जा के रूप में संचित हो जाता है। जब दरवाजा बन्द होता है तो द्रव धीरे-धीरे अपनी दूरी संचित ऊर्जा को वापस करता है तथा दरवाजा बिना झटका लगे बन्द हो जाता है।



चित्र 5.6—द्रवीय डोर क्लोजर

लाभ (Advantages)

(i) द्रवीय डोर क्लोजर के प्रयोग से दरवाजों पर झटके नहीं लगते हैं तथा दरवाजों का सेवाकाल बढ़ता है।

(ii) झटके सोखने (absorb) के कारण दरवाजों में शोर नहीं होता है।

सीमाएँ (Limitations)

द्रव लीकेज हो जाने की स्थिति में तंत्र कार्य नहीं करता है।

5.2.(vi) द्रवीय प्रैस (Hydraulic Press)

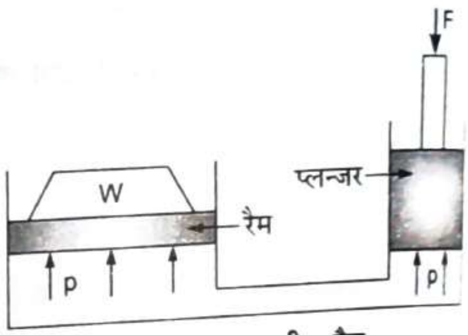
द्रवीय प्रैस एक ऐसा उपकरण है जो बहुत कम बल लगाकर भारी बोझ को उठाने के काम आता है।

"Hydraulic press is an apparatus used to lift heavier loads by least force."

यह भी पास्कल के नियम पर कार्य करता है जिसके अनुसार स्थिर अवस्था में द्रव पर लगाया गया दाब सभी दिशाओं में एक समान कार्य करता है।

कार्य सिद्धान्त (Working Principle)

एक द्रवीय प्रैस के कार्य सिद्धान्त को चित्र 5.7 द्वारा समझाया जा सकता है। हम एक रैम (ram) तथा एक प्लँजर (plunger) पर विचार करते हैं जो विभिन्न व्यास के दो सिलेण्डरों में कार्यरत है। ये सिलेण्डर आपस में नीचे से एक तार द्वारा जुड़े हुये (interconnected) हैं। इस कक्ष में कोई द्रव भरा रहता है। माना, W = उठाये जाने वाला भार, F = प्लंजर पर लगाये जाने वला बल, A = रैम का क्षेत्रफल तथा 'a' = प्लंजर का क्षेत्रफल



चित्र 5.7—द्रवीय प्रैस

अत: दाब तीव्रता, $p = \dfrac{\text{प्लंजर पर लगाया गया बल } (F)}{\text{प्लंजर का क्षेत्रफल } (a)}$

$$\therefore \quad p = \frac{F}{a}$$

परन्तु पास्कल के नियम से, दाब तीव्रता p सभी दिशाओं में समान रूप से संचारित होगी। अत: रैम पर दाब तीव्रता

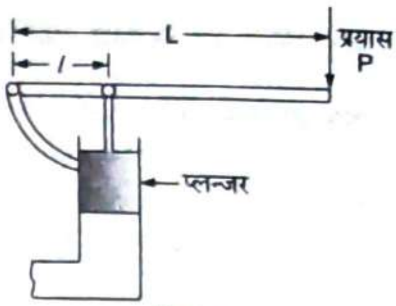
$$p = \frac{F}{a} = \frac{W}{A}$$

या
$$W = \frac{F \times A}{a}$$

सम्बन्ध (i) से पता चलता है कि प्लंजर पर कम बल लगाकर रैम पर अधिक बल W उत्पन्न किया जा सकता है। प्रैस का यांत्रिक लाभ = $\frac{A}{a}$

यदि प्लंजर पर लगने वाला बल एक लीवर के माध्यम से लगाया जाता है तो प्रैस का कुल यांत्रिक लाभ = $\frac{L}{l} \times \frac{A}{a}$

जहाँ अनुपात $\frac{L}{l}$, प्रैस का लीवरेज कहलाता है। देखें चित्र 5.8।

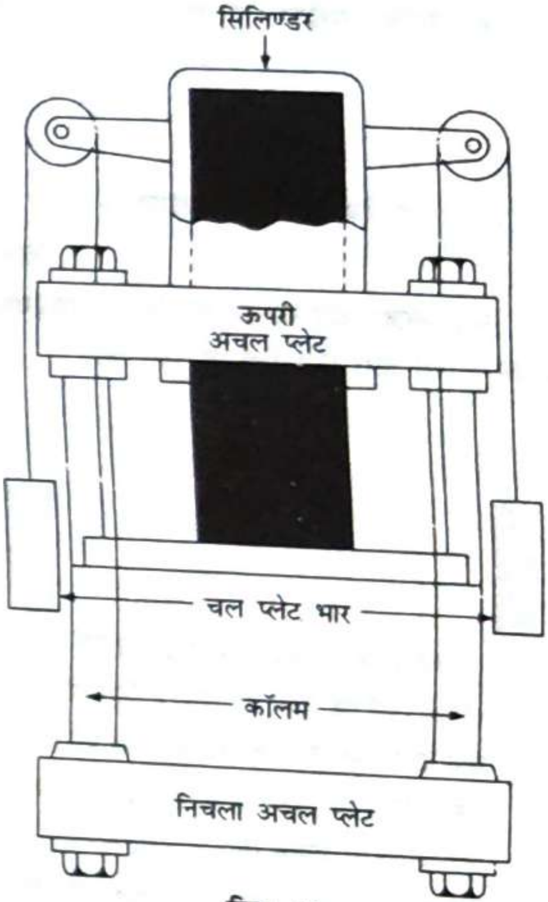


चित्र 5.8

चित्र 5.9 में एक 'एलेमेंटरी इनर्वटीड द्रवीय प्रेस' (Elementary Inverted Hydraulic Press) दिखायी गई है। इसके अन्दर एक स्थिर सिलेण्डर होता है जिसमें रैम चलता है। रैम के निचले सिरे पर एक चल प्लेट लगी होती है जो रैम के साथ ऊपर-नीचे [illegible] ती है। ऊपरी तथा निचली स्थिर प्लेटों को कॉलम द्वारा जोड़ा जाता है।

जब सिलेण्डर में उच्च दाब पर द्रव भेजा जाता है तो रैम नीचे की ओर चलता है तथा निचली स्थिर प्लेट तथा चल प्लेट के मध्य रखी किसी वस्तु अथवा पदार्थ पर बहुत अधिक बल लगाता है। यह बल, दाब तीव्रता तथा रैम के क्षेत्रफल के गुणनफल के बराबर होता है। रैम को अपनी पूर्व अवस्था में लाने के लिए सिलेण्डर से द्रव को बाहर निकाल लिया जाता है तथा चित्रानुसार चल प्लेट पर लगे भारों की क्रिया से रैम ऊपर को चलता है तथा अपनी पूर्व अवस्था में आ जाता है।

द्रवीय प्रैस पर 50 MN से 100 MN तक का दाब लगाया जा सकता है। इस प्रकार की द्रव-चालित प्रैस, स्टील की प्लेटों को काटने अथवा छिद्र करने, पदार्थ परीक्षण तथा बड़े उपकरणों के स्वतः नियन्त्रण आदि कार्यों के लिए उपयोग में लायी जाती है।



चित्र 5.9

उदाहरण 5.7. एक द्रवीय प्रैस के रैम का व्यास 180 mm, प्लंजर का व्यास 36 mm तथा स्ट्रोक लम्बाई 300 mm है। प्रैस रैम द्वारा लगाया गया बल 7 kN है और यह 15 मिनट में 0.9 m दूरी चलता है। ज्ञात कीजिये (i) प्लंजर पर लगाया गया बल (ii) स्ट्रोक सँख्या (iii) प्रैस रैम द्वारा कृत कार्य तथा (iv) प्लंजर को चलाने के लिए आवश्यक शक्ति।

हल—दिया है—

रैम का व्यास, $D = 180 \text{ mm} = 0.18 \text{ m}$

अतः

$$\text{रैम का क्षेत्रफल, } A = \frac{\pi}{4} \times (0.18)^2 = 0.0254 \text{ m}^2$$

प्लंजर का व्यास, $d = 36 \text{ mm} = 0.036 \text{ m}$

अतः

$$\text{प्लंजर का क्षेत्रफल, } a = \frac{\pi}{4} \times (0.036)^2 = 0.001018 \text{ m}^2$$

$W = 7$ kN, प्लंजर की स्ट्रोक लम्बाई, $x = 300 \text{ mm} = 0.3 \text{ m}$

रैम द्वारा चली गई दूरी, $y = 0.9$ m.

(i) प्लंजर पर लगाया गया बल, *F*—

हम जानते हैं कि
$$\frac{F}{a} = \frac{W}{A}$$

या
$$F = \frac{W.a}{A}$$

∴
$$F = \frac{0.001018}{0.0154} \times 7 = \mathbf{0.28\ kN}$$ उत्तर

(ii) स्ट्रोक संख्या (प्लंजर)—स्ट्रोक संख्या

$$n = \frac{A}{a} \times \frac{y}{x} = \frac{0.0254}{0.001018} \times \frac{0.9}{0.3} = 74.85$$

$$= \mathbf{75}$$ **स्ट्रोक** उत्तर

(iii) प्रैस रैम द्वारा कृत कार्य— उत्तर

कार्य = बल × दूरी = 7 × 0.9 = **6.3 kNm**

(iv) प्लंजर को चलाने के लिए आवश्यक शक्ति *P*—हम जानते हैं कि, पलंजर को चलाने के लिए आवश्यक शक्ति = रैम द्वारा प्रति सेकण्ड कृत कार्य

$$= \frac{6.3}{15 \times 60}\ \text{kW} = 0.007\ \text{kW}$$ उत्तर

$$= \mathbf{7\ Watt}$$

प्रश्नावली

1. स्वच्छ चित्र की सहायता से द्रवीय रैम (Hydraulic ram) का सिद्धान्त तथा कार्यप्रणाली समझाइये। (UP 2010, 14)
2. एक द्रवचालित जैक पर संक्षिप्त टिप्पणी लिखिये।
3. एक द्रवचलित जैक का स्वच्छ चित्र की सहायता से सिद्धान्त तथा कार्यविधि समझाइये।
4. स्वच्छ चित्र की सहायता से हाइड्रोलिक ब्रेक की कार्यविधि तथा सिद्धान्त का वर्णन करे।
5. एक द्रवीय संचायक (Hydraulic accumulator) की रचना एवं कार्यविधि का सचित्र वर्णन कीजिये।
6. एक द्रवीय प्रेस (Hydraulic press) की कार्यविधि का सचित्र वर्णन कीजिये। (UP 2009, 10, 12, 15, 2019(S))
7. द्रवीय डोर क्लोजर क्या है और कहाँ प्रयोग किया जाता है?
8. द्रवीय डोर क्लोजर की कार्य विधि समझाइये।
9. किसी द्रवीय रैम 2.42 m की ऊँचाई से 185.4 N पानी प्रति min. प्राप्त करता है तथा 5.4 N पानी प्रति min., रैम से 44 m की ऊँचाई पर भेजता है। द्रवीय रैम की रैंकिन दक्षता (Rankine efficiency) ज्ञात कीजिये। [उत्तर—51.5%]
10. किसी द्रवीय प्रेस के रैम का व्यास 5 m तथा प्लन्जर का व्यास 1 cm है। प्लन्जर पर 100 N के बल से रैम पर कितना भार उठाया जा सकता है? [उत्तर—2.5 kN]
11. किसी द्रवीय प्रेस में 100 N का बल लगाकर 10 kN का दाब उपजाया जाता है। लीवर भुजाओं का अनुपात 10 : 3 हो तो बड़े तथा छोटे सिलिण्डरों के क्षेत्रफलों में अनुपात ज्ञात कीजिये यदि प्रेस की दक्षता 82% है। [उत्तर—36.5 : 1]
12. एक द्रवीय संचायक (accumulator) के रैम का व्यास 200 mm तथा लिफ्ट 6 m है। यदि द्रव को 60 bar दाब पर सप्लाई किया जाये तो रैम पर आवश्यक भार तथा संचायक की क्षमता ज्ञात करो। [उत्तर—188.5 kN, 0.314 kWh]

13. एक हाइड्रोलिक प्रेस के रैम का व्यास 165 mm तथा प्लंजर का व्यास 33 mm और स्ट्रोक लम्बाई 250 mm है। प्रैस रैम द्वारा लगाया गया बल 5.5 kN है तथा यह 20 min. में 1.2 m दूरी चलता है। ज्ञात कीजिये—(i) प्लंजर पर लगाया गया बल (ii) प्लंजर की स्ट्रोक संख्या (iii) प्रैस रैम द्वारा कृत कार्य, तथा (iv) प्लंजर को चलाने के लिए आवश्यक शक्ति।

[उत्तर—(i) 0.22 kN (ii) 120 लगभग (iii) 6.6 kNm (iv) 5.5 Watt]

14. 1500 मी लम्बे तथा 100 mm व्यास की एक पाइप लाइन के माध्यम से 36.76 kW शक्ति, संचायक द्वारा पारेषित की जानी है। रैम पर 1226.25 kN का भार रखा गया है। पाइप में घर्षण के कारण हुई हानि कुल पारेषित शक्ति का 2% है। यदि घर्षण गुणांक $f = 0.001$ हो तो रैम का व्यास ज्ञात कीजिये।

[उत्तर—493 mm]

हा तो ग
36.5 : 1
पर सल
314 kW

6

Chapter

जल टरबाइन तथा पम्प
(Water Turbines and Pumps)

§ 6.1. जल टरबाइन (Water Turbines) :

जल टरबाइन एक द्रविक मशीन (hydraulic machine) हैं जिसमें जल की उपलब्ध ऊर्जा को यांत्रिक ऊर्जा में बदला जाता है।

"Water turbine is a hydraulic turbine in which available energy of water converts into mechanical energy."

इस प्रकार जो यांत्रिक ऊर्जा प्राप्त होती है उसका उपयोग विद्युत जनित्र चलाने में किया जाता है जिससे विद्युत का उत्पादन होता है। विद्युत उत्पादन की इस विधि को जल-विद्युत उत्पादन (hydro-electric generation) कहते हैं।

आधुनिक टरबाइन जल-पहिये का विकसित रूप है। जल-टरबाइन में एक पहिये की परिधि पर अनेक फलक (blades) लगे होते हैं जिन्हें वेन (vanes), बेकेट (bucket) या कप (cup) आदि नामों से सम्बोधित किया जाता है। वेन के एक सिरे से जल का प्रवेश होता है तथा दूसरे सिरे से निकास होता है। जैसे ही जल अपने वेग के कारण वेग की वक्र रेखा सतह (curved surface) को छूते हुये गुजरता है, उसके वेग के मान (magnitude) तथा दिशा में परिवर्तन होता है, फलस्वरूप वेन पर धक्का या प्रणोद (thrust) क्रिया करता है और पहिये को घूर्णी गति प्रदान करता है। इस पहिये को आन्तरनोदक (impeller) या रनर (runner), रोटर (rotor) आदि नामों से जाना जाता है।

§ 6.2. जल टरबाइनों का वर्गीकरण (Classification of Water Turbines) :

जल टरबाइनों का वर्गीकरण निम्न प्रकार किया जाता है—

(i) जलशीर्ष तथा जल की उपलब्ध मात्रा के आधार पर,

(ii) अविष्कारक के नाम के आधार पर,

(iii) चल ब्लेड़ों पर पानी की क्रिया के आधार पर,

(iv) रनर में पानी के प्रवाह की दिशा के आधार पर,

(v) टरबाइन शाफ्ट की स्थिति के आधार पर,

(vi) विशिष्ट गति के आधार पर,

(vii) जल शीर्ष के आधार पर।

(i) जल शीर्ष तथा जल की उपलब्ध मात्रा के आधार पर (According to the Head and a Quantity of Water Available)

(अ) आवेगी या वेग टरबाइन (Impulse or Velocity Turbine)—इन टरबाइनों की क्रिया में उच्च शीर्ष (high head) तथा कम मात्रा (small quantity) में उपलब्ध जल की आवश्यकता होती है।

(ब) प्रतिक्रिया या दाब टरबाइन (Reaction or Pressure Turbine)—इन टरबाइनों की क्रिया में निम्न शीर्ष (low head) तथा अधिक मात्रा (large quantity) में उपलब्ध जल की आवश्यकता होती है।

(ii) आविष्कारक के नाम के आधार पर (According to the Inventor's Name)

(अ) पैल्टन व्हील (Pelton Wheel)—यह टरबाइन इसके आविष्कारक एल० ए० पैल्टन के नाम पर है।

(ब) फ्राँसिस टरबाइन (Francis Turbine)—यह टरबाइन इसके आविष्कारक जे० बी० फ्राँसिस के नाम पर है।

(स) कपलान टरबाइन (Kaplan Turbine)—यह टरबाइन जर्मन आविष्कारक डा० वी० कपलान के नाम पर है।

अब हम वर्गीकरण के अनुसार विभिन्न टरबाइनों का विस्तृत अध्ययन करेंगे।

(iii) चल ब्लेड़ों पर पानी की क्रिया के आधार पर (According to Action of Water on the Moving Blades)

टरबाइन →
- आवेगी टरबाइन— टरबाइन की क्रिया जल के आवेग से प्राप्त होती है जैसे—पेल्टन टरबाइन।
- प्रतिक्रिया टरबाइन— टरबाइन की क्रिया दाब ऊर्जा के गतिज ऊर्जा में बदलने से प्राप्त प्रतिक्रिया द्वारा होती है। जैसे—फ्राँसिस टरबाइन या कपलान टरबाइन।

(iv) रनर पर पानी के प्रभावी की दिशा के आधार पर (According to the Direction of Flow of Water in the Runner)

(अ) स्पर्श रेखीय प्रवाह टरबाइन (Tangential flow turbine)

(ब) त्रिज्या प्रवाह टरबाइन (Radial flow turbine)

(स) अक्षीय प्रवाह टरबाइन (Axial flow turbine)

(द) मिश्रित प्रवाह टरबाइन (Mixed flow turbine)

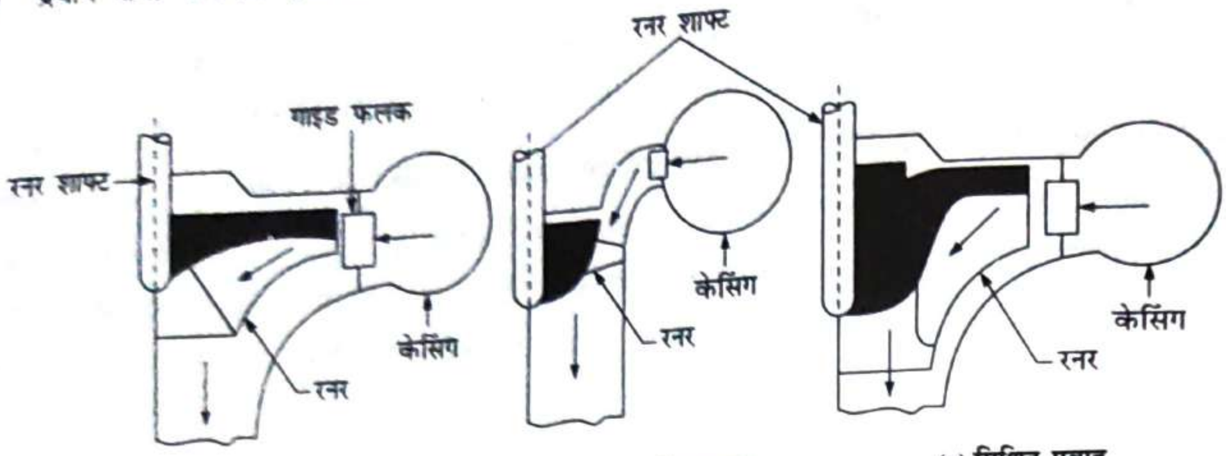
(अ) स्पर्श रेखीय प्रवाह टरबाइन (Tangential Flow Turbine)—इस प्रकार के टरबाइनों में रनर (runner) के फलकों पर पानी का प्रवाह उनके सम्मुख पथ (Path of rotation) पर स्पर्श रेखीय (tagential) होता है।

(ब) त्रिज्या प्रवाह टरबाइन (Radial Flow Turbine)—त्रिज्या प्रवाह टरबाइन में पानी का प्रवाह रनर में घुमाव अक्ष (axis of rotation) के लम्बवत् (at right-angle to the axis of rotation of runner) होता है। ये टरबाइन निम्न दो प्रकार के होते हैं—

(i) अन्तर्मुखी त्रिज्या प्रवाह टरबाइन (Inward flow radial turbine)—इस टरबाइन में पानी का प्रवेश परिधि पर होता है जहाँ से पानी फलकों पर से प्रवाहित होकर रनर के केन्द्र की ओर जाता है। [देखिये चित्र 6.1 (a)]

(ii) बहिर्मुखी त्रिज्या प्रवाह टरबाइन (Outward flow radial turbine)—इस टरबाइन में पानी का प्रवेश रनर के केन्द्र पर होता है तथा निकास परिधि पर होता है।

(स) अक्षीय प्रवाह टरबाइन (Axial Flow Turbine)—इस प्रकार के टरबाइन में पानी रनर के घुमाव-अक्ष के समान्तर प्रवाहित होता है जैसा कि चित्र 6.1 (b) में दिखाया गया है। ऐसे टरबाइन को समान्तर प्रवाह (parallel flow) टरबाइन भी कहते हैं।



(a) अर्न्तमुखी त्रिज्या प्रवाह (b) अक्षीय प्रवाह (c) मिश्रित प्रवाह

चित्र 6.1

(द) मिश्रित प्रवाह टरबाइन (Mixed Flow Turbine)—मिश्रित प्रवाह टरबाइन में रनर पर पानी का प्रवाह दो प्रकार से होता है। रनर के कुछ भाग में पानी की त्रिज्या-प्रवाह (radial flow) तथा शेष भाग में अक्षीय प्रवाह (axial flow) होता है। [देखिये चित्र 6.1(c)]

(v) टरबाइन शाफ्ट की स्थिति के आधार पर (According to the Disposition of the Turbine Shaft)

टरबाइन शाफ्ट ऊर्ध्वाधर अथवा क्षैतिज हो सकती है।

आधुनिक समय में, पेल्टन टरबाइनों में प्राय: क्षैतिज शाफ्ट प्रयोग की जाती है जबकि अन्य, खास तौर पर बड़ी टरबाइनों में, उर्ध्वाधर शाफ्ट प्रयोग की जाती है।

(vi) विशिष्ट गति के आधार पर (According to Specific Speed)

किसी टरबाइन की विशिष्ट गति, ज्यामीतिय रूप से समान उस टरबाइन की गति होगी जो वह 1 m जल शीर्ष के अन्तर्गत 1 kW शक्ति उत्पन्न कर सके।

सभी ज्यामीतिय रूप से समान टरबाइनें (चाहे साइज कुछ भी हो) समान शीर्ष के अन्तर्गत समान विशिष्ट गति रखती हैं।

अत: विशिष्ट गति, $N_s = \frac{N\sqrt{p}}{H^{5/4}}$

जहाँ N = सामान्य कार्यकारी गति

p = टरबाइन की शक्ति

H = प्रभावकारी शीर्ष मीटर में

विशिष्ट गति के आधार पर टरबाइनों को निम्न प्रकार वर्गीकृत किया जा सकता है—

(a) 10 से 35 मीटरी इकाई विशिष्ट गति टरबाइन—(एक नॉजल वाली पेल्टन टरबाइन)।

(b) 35 से 60 मीटरी इकाई विशिष्ट गति टरबाइन—(दो या अधिक नॉजल वाली पेल्टन टरबाइन)।

(c) 60 से 300 मीटरी इकाई विशिष्ट गति टरबाइन—(फ्राँसिस टरबाइनें)।

(d) 300 से 1000 मीटरी इकाई विशिष्ट गति टरबाइन—(कपलान टरबाइनें)।

(vii) जल शीर्ष के आधार पर वर्गीकरण (Classification According to Head of Water)

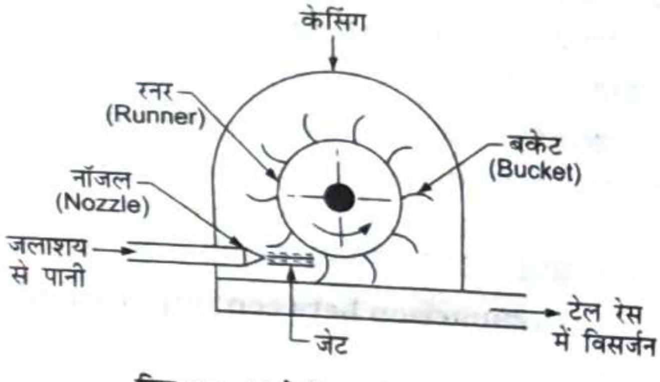
1. **उच्च शीर्ष टरबाइन (High Head Turbine)**—उच्च शीर्ष पर चलने वाले टरबाइन अक्षीय प्रवाह, आवेगी टरबाइन (axial flow impluse turbine) होते हैं, जैसे पेल्टन व्हील। ये टरबाइन 200 से 2000 m शीर्ष पर कार्य कर सकते हैं।

2. **मध्यम शीर्ष टरबाइन (Medium Head Turbine)**—मध्यम शीर्ष पर चलने वाले टरबाइन अन्तर्मुखी, त्रिज्या प्रवाह (inward radial flow) प्रकार के होते हैं, जैसे फ्रेंसिस टरबाइन। ये टरबाइन 30 से 150 शीर्ष पर कार्य कर सकते हैं।

3. **निम्न शीर्ष टरबाइन (Low Head Turbine)**—निम्न शीर्ष पर चलने वाले टरबाइन अक्षीय प्रवाह, प्रतिक्रिया टरबाइन (axial flow, reaction turbine) होते हैं, जैसे कपलान टरबाइन। ये टरबाइन 30 m से कम शीर्ष पर कार्य करते हैं।

§ 6.3. आवेगी या वेग टरबाइन (Impulse or Velocity Turbine) :

आवेगी टरबाइन जल की गतिज ऊर्जा पर व्यवहार करते हैं। इस टरबाइन के रनर की परिधि पर अनेक बकेट (buckets) लगी होती हैं, जैसा कि चित्र 6.2 में दिखाया गया है। रनर पर प्रवेश से पूर्व पानी को नॉजल में से प्रवाहित कर उसकी सम्पूर्ण ऊर्जा (total energy) को गतिज ऊर्जा (Kinetic energy) में बदल दिया जाता है। नॉजल से पानी उच्च वेग पर बाहर आता है और बकेटों से टकराकर रोटर को ऊर्जा प्रदान करता है। फलस्वरूप बकेट आगे को चलती हैं और रोटर पहिये को अपने साथ घुमाव गति से चलाती है। टरबाइन का रनर वायुमण्डल में खुला होता है इसलिए इसके केसिंग में वायुमण्डलीय दाब बना रहता है और बकेटों पर पानी का प्रवाह भी वायुमण्डलीय दाब पर होता है।



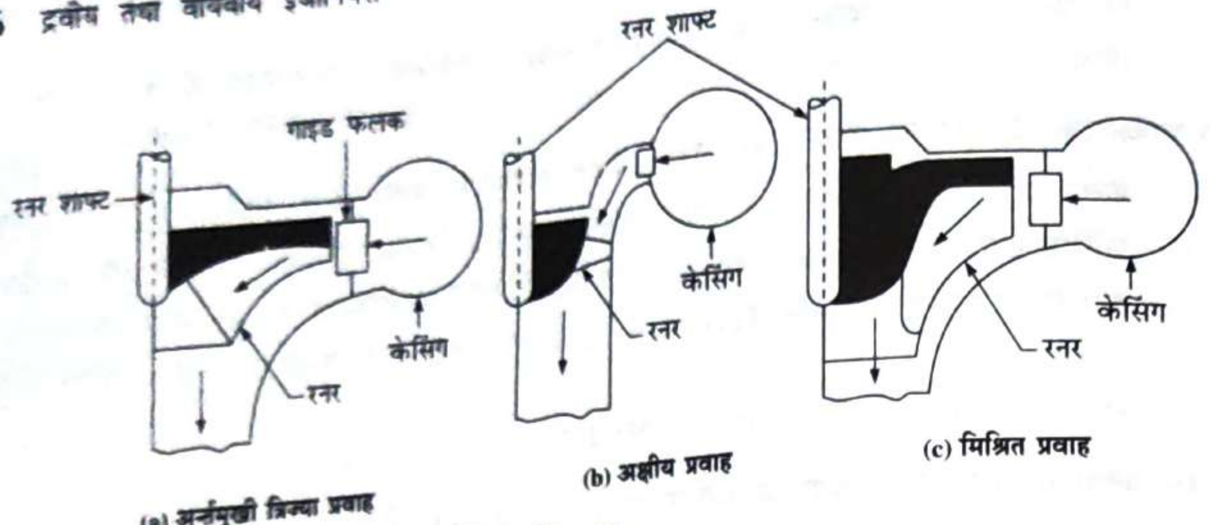
चित्र 6.2—आवेगी टरबाइन का सिद्धान्त

बकेटों से टकराने के बाद पानी लगभग शून्य वेग पर टरबाइन से बाहर प्रवाहित होता है और निश्चित मार्ग से गुजरकर टेल रेस (tail race) से चला जाता है। इस टरबाइन का उदाहरण पेल्टन व्हील है।

§ 6.4. प्रतिक्रिया या दाब टरबाइन (Reaction or Pressure Turbines) :

चित्र 6.3 में प्रतिक्रिया टरबाइन के दो दृश्य दिखाये गये हैं। इस टरबाइन का रनर एक वायु-रोधक (air tight) केसिंग में बन्द होता है। रनर की परिधि पर अनेक वक्र-फलक (curved blades) लगे होते हैं जो कि केसिंग की परिधि पर गाइड़ों फलकों (guide blades) से घिरे होते हैं। गाइड फलकों के घेरे में रनर घूम सकता है।

जल-स्रोत से पानी सर्वप्रथम पेन-स्टॉक के माध्यम से टरबाइन के केसिंग में उच्च दाब (high pressure) तथा निम्न वेग (low velocity) पर प्रवेश करता है। फिर गाइड फलकों से होते हुए रनर फलकों पर प्रवाहित होता है। रनर फलकों पर प्रवाहित होने के दौरान पानी की दाब-ऊर्जा गतिज ऊर्जा में बदलती है और रनर फलकों पर प्रतिक्रिया बल लगता है। फलस्वरूप रनर फलकों को गति प्राप्त होती है और रोटर घूमना आरम्भ करता है। अन्त में पानी उच्च गति पर रनर से बाहर निकलता है। रनर में पानी की दाब ऊर्जा क्योंकि गतिज ऊर्जा में बदल जाती है इसलिए टरबाइन के निकास पर दाब, प्रवेश



चित्र 6.1

(द) मिश्रित प्रवाह टरबाइन (Mixed Flow Turbine)—मिश्रित प्रवाह टरबाइन में रनर पर पानी का प्रवाह दो प्रकार से होता है। रनर के कुछ भाग में पानी की त्रिज्या-प्रवाह (radial flow) तथा शेष भाग में अक्षीय प्रवाह (axial flow) होता है। [देखिये चित्र 6.1(c)]

(v) टरबाइन शाफ्ट की स्थिति के आधार पर (According to the Disposition of the Turbine Shaft)

टरबाइन शाफ्ट ऊर्ध्वाधर अथवा क्षैतिज हो सकती है।

आधुनिक समय में, पेल्टन टरबाइनों में प्राय: क्षैतिज शाफ्ट प्रयोग की जाती है जबकि अन्य, खास तौर पर बड़ी टरबाइनें में, उर्ध्वाधर शाफ्ट प्रयोग की जाती है।

(vi) विशिष्ट गति के आधार पर (According to Specific Speed)

किसी टरबाइन की विशिष्ट गति, ज्यामीतिय रूप से समान उस टरबाइन की गति होगी जो वह 1 m जल शीर्ष के अन्तर्गत 1 kW शक्ति उत्पन्न कर सके।

सभी ज्यामीतिय रूप से समान टरबाइनें (चाहे साइज कुछ भी हो) समान शीर्ष के अन्तर्गत समान विशिष्ट गति रखती है।

अत:
$$\text{विशिष्ट गति, } N_s = \frac{N\sqrt{p}}{H^{5/4}}$$

जहाँ $N =$ सामान्य कार्यकारी गति

$p =$ टरबाइन की शक्ति

$H =$ प्रभावकारी शीर्ष मीटर में

विशिष्ट गति के आधार पर टरबाइनों को निम्न प्रकार वर्गीकृत किया जा सकता है—

(a) 10 से 35 मीटरी इकाई विशिष्ट गति टरबाइन—(एक नॉजल वाली पेल्टन टरबाइन)।

(b) 35 से 60 मीटरी इकाई विशिष्ट गति टरबाइन—(दो या अधिक नॉजल वाली पेल्टन टरबाइन)।

(c) 60 से 300 मीटरी इकाई विशिष्ट गति टरबाइन—(फ्रॉसिस टरबाइनें)।

(d) 300 से 1000 मीटरी इकाई विशिष्ट गति टरबाइन—(कपलान टरबाइनें)।

(vii) जल शीर्ष के आधार पर वर्गीकरण (Classification According to Head of Water)

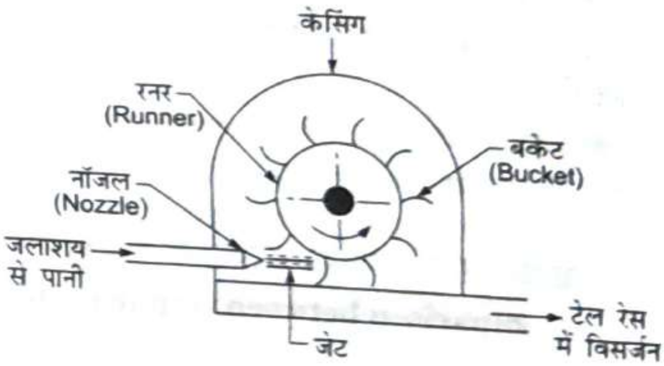
1. **उच्च शीर्ष टरबाइन (High Head Turbine)**—उच्च शीर्ष पर चलने वाले टरबाइन अक्षीय प्रवाह, आवेगी टरबाइन (axial flow impluse turbine) होते हैं, जैसे पेल्टन व्हील। ये टरबाइन 200 से 2000 m शीर्ष पर कार्य कर सकते हैं।

2. **मध्यम शीर्ष टरबाइन (Medium Head Turbine)**—मध्यम शीर्ष पर चलने वाले टरबाइन अन्तर्मुखी, त्रिज्या प्रवाह (inward radial flow) प्रकार के होते हैं, जैसे फ्रेंसिस टरबाइन। ये टरबाइन 30 से 150 शीर्ष पर कार्य कर सकते हैं।

3. **निम्न शीर्ष टरबाइन (Low Head Turbine)**—निम्न शीर्ष पर चलने वाले टरबाइन अक्षीय प्रवाह, प्रतिक्रिया टरबाइन (axial flow, reaction turbine) होते हैं, जैसे कपलान टरबाइन। ये टरबाइन 30 m से कम शीर्ष पर कार्य करते हैं।

§ 6.3. आवेगी या वेग टरबाइन (Impulse or Velocity Turbine) :

आवेगी टरबाइन जल की गतिज ऊर्जा पर व्यवहार करते हैं। इस टरबाइन के रनर की परिधि पर अनेक बकेट (buckets) लगी होती हैं, जैसा कि चित्र 6.2 में दिखाया गया है। रनर पर प्रवेश से पूर्व पानी को नॉजल में से प्रवाहित कर उसकी सम्पूर्ण ऊर्जा (total energy) को गतिज ऊर्जा (Kinetic energy) में बदल दिया जाता है। नॉजल से पानी उच्च वेग पर बाहर आता है और बकेटों से टकराकर रोटर को ऊर्जा प्रदान करता है। फलस्वरूप बकेट आगे को चलती हैं और रोटर पहिये को अपने साथ घुमाव गति से चलाती है। टरबाइन का रनर वायुमण्डल में खुला होता है इसलिए इसके केसिंग में वायुमण्डलीय दाब बना रहता है और बकेटों पर पानी का प्रवाह भी वायुमण्डलीय दाब पर होता है।



चित्र 6.2—आवेगी टरबाइन का सिद्धान्त

बकेटों से टकराने के बाद पानी लगभग शून्य वेग पर टरबाइन से बाहर प्रवाहित होता है और निश्चित मार्ग से गुजरकर टेल रेस (tail race) से चला जाता है। इस टरबाइन का उदाहरण पेल्टन व्हील है।

§ 6.4. प्रतिक्रिया या दाब टरबाइन (Reaction or Pressure Turbines) :

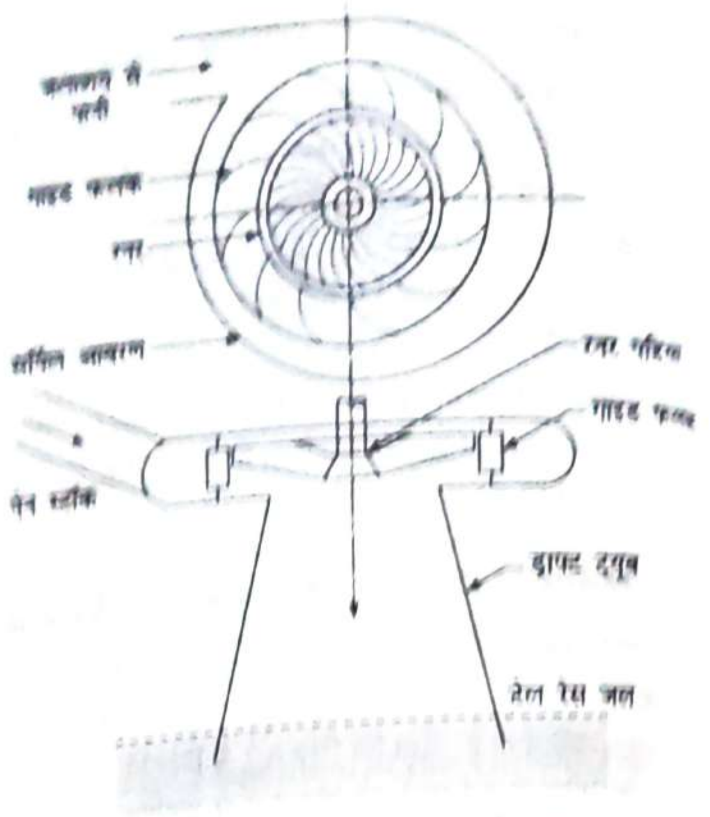
चित्र 6.3 में प्रतिक्रिया टरबाइन के दो दृश्य दिखाये गये हैं। इस टरबाइन का रनर एक वायु-रोधक (air tight) केसिंग में बन्द होता है। रनर की परिधि पर अनेक वक्र-फलक (curved blades) लगे होते हैं जो कि केसिंग की परिधि पर गाइड़ फलकों (guide blades) से घिरे होते हैं। गाइड फलकों के घेरे में रनर घूम सकता है।

जल-स्रोत से पानी सर्वप्रथम पेन-स्टॉक के माध्यम से टरबाइन के केसिंग में उच्च दाब (high pressure) तथा निम्न वेग (low velocity) पर प्रवेश करता है। फिर गाइड फलकों से होते हुए रनर फलकों पर प्रवाहित होता है। रनर फलकों पर प्रवाहित होने के दौरान पानी की दाब-ऊर्जा गतिज ऊर्जा में बदलती है और रनर फलकों पर प्रतिक्रिया बल लगता है। फलस्वरूप रनर फलकों को गति प्राप्त होती है और ... ा है। अ... ानी उच्च गति पर रनर से बाहर निकलता है। रनर में पानी की दाब ऊर्जा ... के निकास पर दाब, प्रवेश

से बहुत कम होता है। यदि निकास दाब वायुमण्डलीय दाब से कम हो तो बाहर से वायु टरबाइन में प्रवेश कर सकती है इसलिए टरबाइन केसिंग को वायुरोधक (air tight) बनाया जाता है।

टरबाइन केसिंग में क्योंकि पानी का उच्च दाब होता है, इसलिए रनर में पानी पूरा भरकर प्रवाहित होना चाहिये। यदि टरबाइन से पानी का विसर्जन वायुमण्डलीय दाब पर होता है तो टरबाइन को टेल रेस (tail race) के तल से ऊँचा रखा जाता है। यदि पानी का विसर्जन वायुमण्डलीय दाब से नीचे होता है तो टरबाइन को टेल रेस के नीचे पूर्णतया डूबा हुआ रखा जाता है। टरबाइन को जब टेल रेस से ऊपर रखना हो तो उसका विसर्जन एक ड्राफ्ट ट्यूब (draft tube) में प्राप्त किया जाता है। ड्राफ्ट ट्यूब का निचला सिरा टेल रेस में डूबा रहता है जहाँ इस ट्यूब से प्राप्त पानी प्रवाहित होता है।

प्रतिक्रिया टरबाइन में पानी का प्रवेश उसकी सम्पूर्ण परिधि पर होना चाहिये।



चित्र 6.3—प्रतिक्रिया टरबाइन का सिद्धान्त

§ 6.5. आवेगी तथा प्रतिक्रिया टरबाइनों की तुलना (Comparison between Impulse and Reaction Turbine) :

आवेगी टरबाइन (Impulse Turbine)	प्रतिक्रिया टरबाइन (Reaction Turbine)
1. पानी की सम्पूर्ण उपलब्ध ऊर्जा, सर्वप्रथम गतिज ऊर्जा में बदलती है, फिर उच्च गतिज पर पानी टरबाइन में प्रवेश करता है।	पानी की सम्पूर्ण उपलब्ध ऊर्जा गतिज ऊर्जा में नहीं बदलती। पानी दोनों प्रकार की ऊर्जाओं (दाब तथा गतिज) के साथ टरबाइन में प्रवेश करता है।
2. निकास पर जल का प्रवाह लगभग शून्य वेग पर होता है।	निकास पर जल का प्रवाह निम्न दाब तथा उच्च वेग होता है।
3. आवेगी टरबाइन वायुमण्डल में खुला होता है।	प्रतिक्रिया टरबाइन का वायुरोधक (air tight) होना आवश्यक है।
4. इस टरबाइन में केसिंग जल से पूरा भरकर प्रवाहित होना आवश्यक नहीं है।	इसमें केसिंग का जल से पूरा भरकर प्रवाहित होना आवश्यक है।
5. टरबाइन पर केवल जल की गतिज ऊर्जा (Kinetic energy) से कार्य प्राप्त होता है।	इसमें कुछ कार्य गतिज शीर्ष (Velocity head) से तथा अधिकांश कार्य दाब शीर्ष (pressure head) से प्राप्त होता है।
6. टरबाइन में जल का प्रवेश व्हील की सम्पूर्ण परिधि पर अथवा परिधि के कुछ भाग पर हो सकता है।	जल का प्रवेश व्हील की सम्पूर्ण परिधि पर होना आवश्यक है।
7. आवेगी टरबाइन जल के उच्च शीर्ष पर कार्य करते हैं।	प्रतिक्रिया टरबाइन जल के मध्यम या निम्न शीर्ष पर कार्य करते हैं।
8. पानी की कम मात्रा से ये टरबाइन चल सकते हैं।	पानी की पर्याप्त मात्रा का उपलब्ध होना आवश्यक है।

§ 6.6. पेल्टन व्हील (Pelton Wheel) :

पेल्टन व्हील का आविष्कार, अमरीकी इंजीनियर लेस्टर एलन पेल्टन ने किया था। यह एक **"स्पर्श रेखीय प्रवाह आवेगी टरबाइन"** (Tangential flow impulse turbine) है।

पेल्टन व्हील में, जल की दाब ऊर्जा, गतिज ऊर्जा में बदल जाती है, जब जल को एक नॉजल से गुजार कर तीव्र गति का जैट बनाया जाता है। यही जैट, पेल्टन व्हील को घुमाने का कार्य करता है।

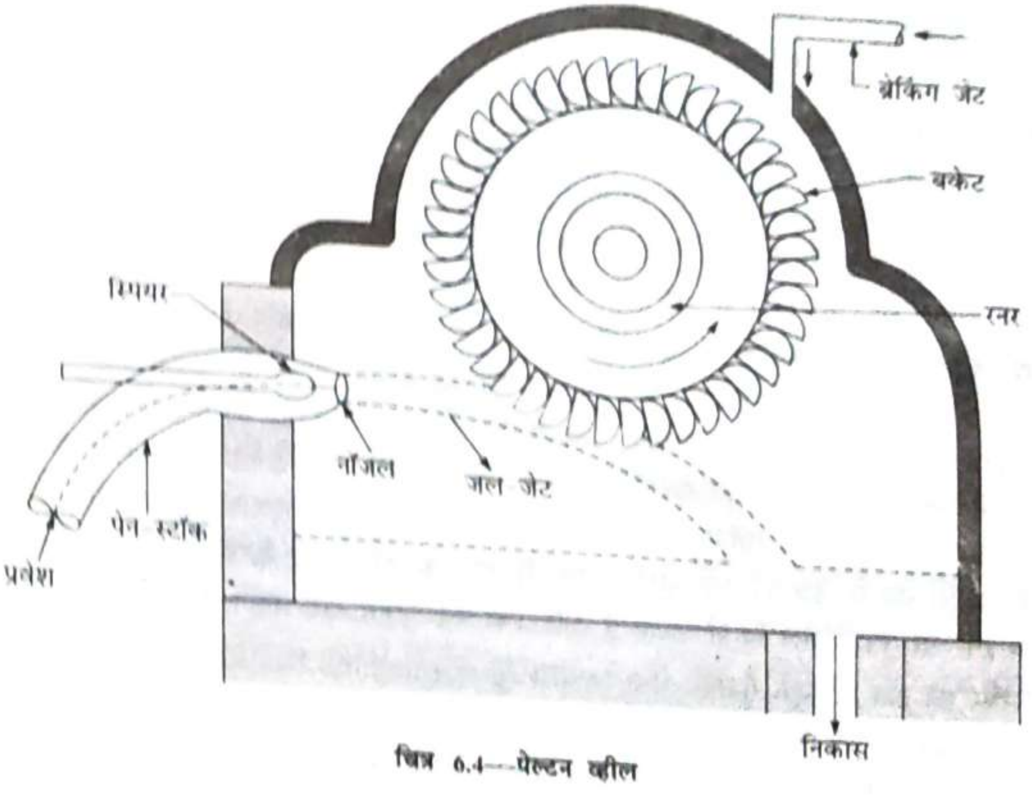
"In Pelton wheel, pressure energy of water is converted into kinetic energy when passed through the nozzle and forms the high velocity jet of water. The formed water is used for driving the wheel."

यह टरबाइन प्रायः उन स्थानों पर प्रयोग की जाती है जहाँ जल की अपेक्षाकृत कम मात्रा, उच्च शीर्ष (200 m से अधिक) पर उपलब्ध है। इसकी दक्षता 85% तक हो सकती है तथा यह 10 MW तक शक्ति उत्पन्न कर सकती है।

रचना एवं कार्यविधि (Construction and Working)—रचना: पेल्टन व्हील के मुख्य रूप से निम्नलिखित भाग होते हैं—

1. नॉजल (Nozzle)
2. रनर तथा बकेट या वेन (Runner and bucket or vane)
3. केसिंग (Casing)
4. ब्रेकिंग जेट (Breaking jet)

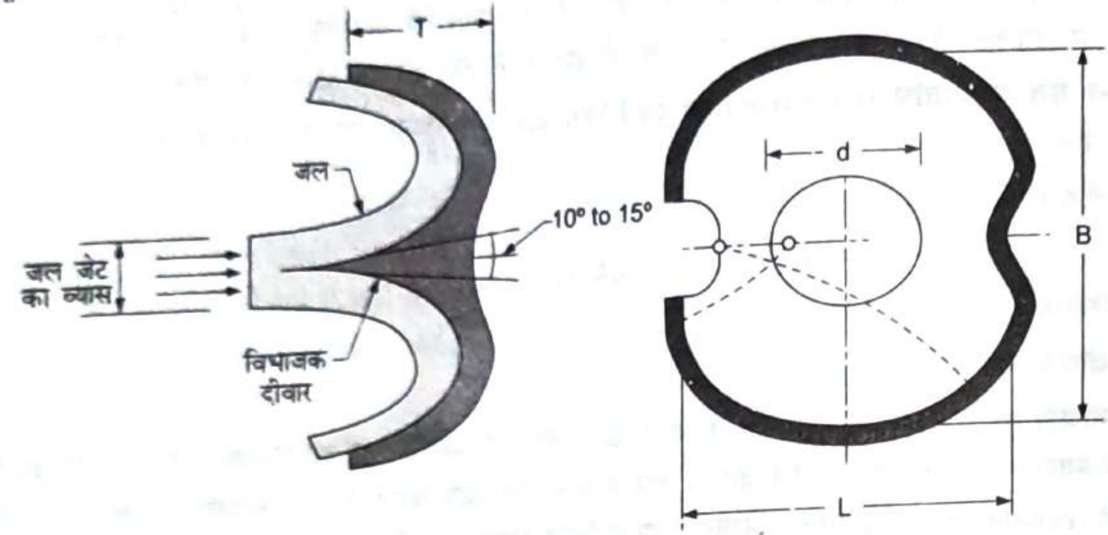
1. नॉजल (Nozzle)—नॉजल ऐसी युक्ति है जो टरबाइन में जल के मार्ग का निर्देशन करती है। (देखिये चित्र 6.4) नॉजल से प्रवाहित होने के पश्चात् जल जेट के रूप में बकेट पर प्रहार करता है। एक शंक्वाकार स्पीयर (conical spear) या नीडल (needle) नॉजल के अन्दर अक्षीय दिशा में क्रिया करती है। स्पीयर को अक्षीय दिशा में आगे पीछे करके नॉजल से प्रवाहित जल की मात्रा को नियन्त्रित (control) या नियमित (regulate) किया जा सकता है। स्पीयर को अक्षीय गति



चित्र 6.4—पेल्टन व्हील

देने के लिए इसे हस्त पहिये की सहायता से चलाया जाता है। आवश्यकतानुसार इसके स्वचालित नियन्त्रण का भी प्रब
होता है।

2. रनर तथा बकेट या वेन (Runner and Bucket or Vane)—पेल्टन व्हील का रनर एक वृत्ताकार डिस्
के आकार का होता है। व्हील एक क्षैतिज शाफ्ट पर दृढ़तापूर्वक बद्ध होता है। इसकी परिधि पर अनेक बकेट (bucke
लगे होते हैं। ये बकेट दो अर्ध गोलाकार कप (double hemispherical cup) आकार के होते हैं, जिनके बीच एक विभाजक
दीवार (dividing wall) होती है। चित्र 6.5 में बकेट के दो दृश्य दिखाये गये हैं जिसमें बकेट की समानुपातिक विमाएँ प्रदर्शि
हैं। यहाँ $\frac{L}{d}$ = 2 से 3, $\frac{B}{d}$ = 3 से 4, $\frac{D}{d}$ = 11 to 16, $\frac{T}{d}$ = 0.8 से 1.2 तक, नॉच (चौड़ाई) = 1.1d + 5 mm होगा



चित्र 6.5—रनर तथा बकेट

3. केसिंग (Casing)—केसिंग का कार्य, जेट को बकेट पर टकराने के बाद, जल के इधर-उधर छिटक
(splashing) से रोकना है। केसिंग, जल को टेल-रेस (Tail-race) की तरफ ले जाने में भी सहायक होता है।

4. ब्रेकिंग जेट (Breaking Jet)—जब टरबाइन के घुमते हुए पहिये को रोकने की आवश्यकता होती है तब स्पि
को अग्र दिशा में चलाकर नॉजल को पूर्णत: बंद करना पड़ता है। परन्तु नॉजल बन्द होने के बाद भी पहिया रुकने से
कुछ समय तक जड़त्व (inertia) के कारण घूमता रहता है। पहिये को कम समय में रोकने के लिए एक छोटी नॉज
केसिंग के ऐसे स्थान पर लगा दी जाती है जहाँ से पानी का जेट बकेट की पश्च (Back) पर टकराता रहे। इस नॉजल
निकले जेट को ब्रेकिंग जेट भी कहते हैं। यह रनर की गति को कम करने में ब्रेक का कार्य करता है।

पेल्टन व्हील का क्रिया सिद्धान्त—पेल्टन व्हील में पानी का प्रवेश उच्च गति पर नॉजल के माध्यम से होता है जि
उच्च शीर्ष पर पानी का जेट (jet) बकेट के मध्य भाग से टकराता है और बकेट के जुड़वा अर्ध-गोलाकार कप (doub
hemispherical cup) में प्रवाहित होकर अक्षीय दिशा में कप से बाहर निकलता है। इस व्यवस्था से रनर तथा रन-श
पर कोई परिणामी अक्षीय बल क्रिया नहीं करता। बकेट के कपों (cups) का आकार इस प्रकार से होता है कि पानी
जेट इनसे टकराकर पीछे की तरफ वापिस आता है। बकेट के दोनों कपों में सामान्यतया जेट का विक्षेप 165° से 17
पर होता है। बकेट पर जेट के टकराने तथा अक्षीय दिशा में बहने के कारण जेट के संवेग (momentum) में परिवर्तन
है। फलस्वरूप रनर पर स्पर्शी-बल क्रिया करता है और रनर को घुमाव गति प्रदान करता है।

टरबाइन रनर की गति को एक गवर्निंग यन्त्र विन्यास (governing mechanism) द्वारा नियन्त्रित किया जाता है।
यन्त्र विन्यास, टरबाइन पर भार बदलने की दशा में, टरबाइन में जा रहे पानी की मात्रा को अपने आप आवश्यकता
नियन्त्रित करता है तथा रनर की गति को नियत (constant) बनाये रखा है।

§ 6.7. फ्राँसिस टरबाइन (Francis Turbine) :

(I) परिचय (Introduction)

फ्राँसिस टरबाइन एक अन्तर्मुखी त्रिज्या प्रवाह प्रतिक्रिया टरबाइन (inward radial flow reaction turbine) है। यह मध्यम शीर्ष पर कार्य करता है। इसमें पानी का प्रवेश दाब-शीर्ष के अन्तर्गत होता है इसलिए टरबाइन में पानी पूरा भरकर प्रवाहित होना चाहिये। टरबाइन को टेल-रेस के जल में या तो पूरा डूबा रहना चाहिये अथवा इसका विसर्जन वायुमण्डल में होना चाहिये।

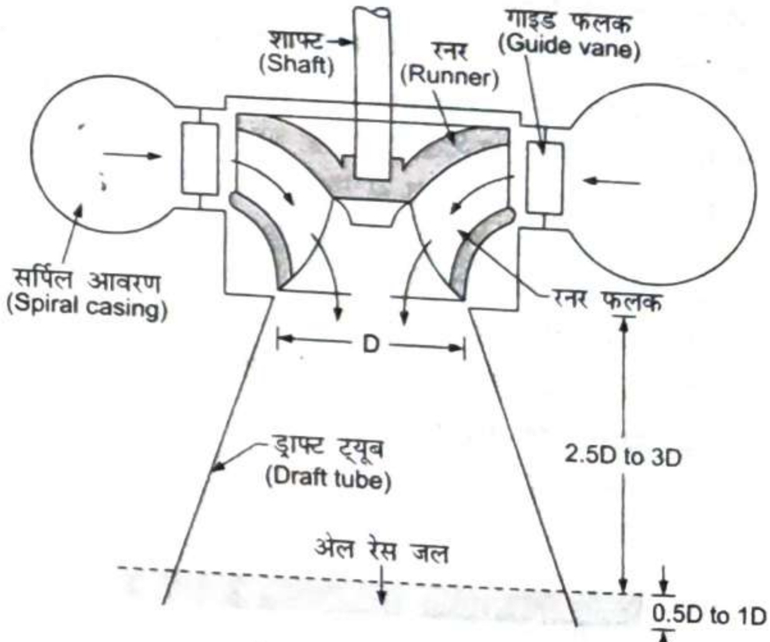
"Francis turbine is an inward radial flow reaction turbine. It works on medium head, in this turbine the water enters the wheel under pressure and flows over the vanes. As the water flowing over the vanes, is under pressure, therefore wheel of the turbine run full and may be submerged below the tail race or may be discharge into the atmosphere. The pressure head of water, while flowing over the vanes is converted into velocity head and is finally reduced to the atmospheric pressure before leaving the wheels."

यह इस बात पर निर्भर करता है कि टरबाइन का निकास दाब वायुमण्डलीय दाब से कम है अथवा उसके बराबर है। पानी का दाब-शीर्ष वेन पर से प्रवाहित होने के अन्तर्गत वेग-शीर्ष में बदल जाता है और अन्त में रनर से बाहर आने से पूर्व वायुमण्डलीय दाब तक गिर जाता है।

(II) फ्राँसिस टरबाइन के मुख्य अंग (Main Parts of Francis Turbine)

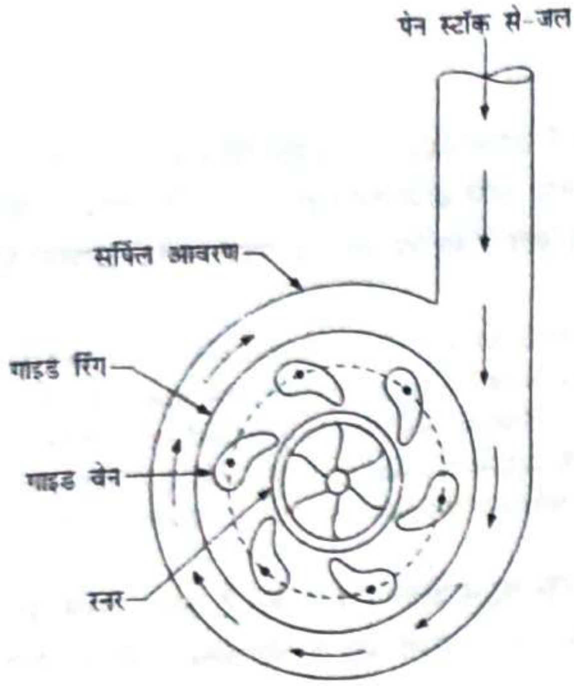
1. सर्पिल आवरण (Spiral casing)
2. गाइड यन्त्रावली (Guides mechanism)
3. टरबाइन रनर (Turbine runner)
4. ड्राफ्ट ट्यूब (Draft tube)

1. सर्पिल आवरण (Spiral Casing)— सर्पिल आवरण में पानी की सप्लाई पाइप-लाइन के माध्यम से होती है और आवरण के अन्दर **गाइड रिंग** (guide ring) के घेरे में पानी का वितरण होता है। आवरण का आकार इस प्रकार का होता है कि प्रवेश से निकास तक इसकी काट का क्षेत्रफल धीरे-धीरे समान रूप से कम होता जाता है। प्रवेश पर आवरण का अनुप्रस्थ काट अधिकतम तथा निकास पर न्यूनतम होता है जैसा कि चित्र 6.6 में दिखाया गया है। इस प्रकार, आवरण का आकार सर्पिल (spiral) होता है और इसी आधार पर इसे सर्पिल आवरण (spiral casing) या स्क्राल आवरण (scroll casing) कहते हैं।

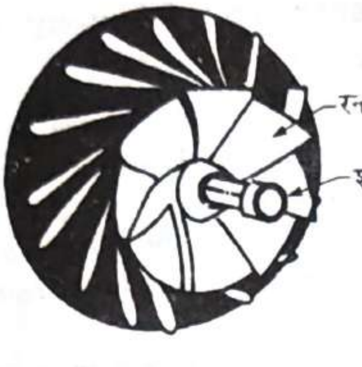


चित्र 6.6—फ्राँसिस टरबाइन

सर्पिल आवरण पर निरीक्षण-छिद्र (inspection holes) बने होते हैं और दाब-गेज (pressure guage) लगे होते हैं। आवरण की रचना उपलब्ध जल-शीर्ष के आधार पर विभिन्न पदार्थों से की जाती है जैसे 30 मीटर तक शीर्ष के लिये कंक्रीट, 100 मी० तक शीर्ष के लिये रचनात्मक इस्पात (structrual steel) तथा 100 मी० से अधिक के लिये ढलवाँ इस्पात (cast steel)।



चित्र 6.7—गाइड यंत्रावली



चित्र 6.8—टरबाइन रनर

2. गाइड यन्त्रावली (Guide Mechanism)—गाइड यंत्रावली में एक पहिये पर अनेक गाइड-वेन (guide vanes) लगी होती हैं। यह पहिया दो रिंगों के बीच स्थित होता है तथा सर्पिल आवरण से दृढ़तापूर्वक जुड़ा होता है। (देखिये चित्र 6.7) सभी गाइड-वेन अपने पिवेट पर घूम सकती हैं तथा इनका कोणीय स्थिति में परिवर्तन करने के लिये आवश्यक यंत्रावली भी होती है। यह यंत्रावली टरबाइन के गवर्नर (governor) द्वारा नियन्त्रित होती है। गवर्नर का कार्य टरबाइन की विभिन्न भार स्थितियों में उसकी गति को समान बनाये रखना है। गाइड वेन सामान्यतया ढलवाँ इस्पात की बनी होती है।

3. टरबाइन रनर (Turbine Runner)—प्रतिक्रिया टरबाइनों के रनर में अनेक रनर-ब्लेड (runner blades) होते हैं। चित्र 6.8 में एक रनर दिखाया गया है। यह रनर टरबाइन शाफ्ट पर कुंजी (key) की सहायता से जुड़ा होता है। टरबाइन-शाफ्ट क्षैतिज या ऊर्ध्व में स्थित हो सकती है। पहली स्थिति में टरबाइन को क्षैतिज-टरबाइन (horizontal turbine) तथा दूसरी स्थिति में ऊर्ध्व-टरबाइन (vertical turbine) कहते हैं। रनर ब्लेड़ों की सतह बहुत चिकनी (smooth) बनाई जाती है। रनर ढले हुए एक खण्ड के रूप में हो सकता है अथवा प्लेटों को जोड़कर वेल्डन द्वारा निर्मित खण्ड के रूप में हो सकता है। निम्न शीर्षों के लिये रनर ढलवाँ लोहे के बनाये जाते हैं परन्तु उच्च शीर्षों के लिये रनर को इस्पात या उपयुक्त एलाय (alloy) का बनाया जाता है। जब पानी रसायन-युक्त हो तो विशेष एलॉय से निर्मित रनर प्रयोग किये जाते हैं।

4. ड्राफ्ट ट्यूब (Draft Tube)—रनर से बाहर प्रवाहित होने के पश्चात् पानी का निकास ड्राफ्ट ट्यूब के माध्यम से टेल-रेस में किया जाता है। ड्राफ्ट ट्यूब सामान्यतया टेल-रेस के जल में लगभग एक मीटर गहराई तक डुबी रहती है। प्रतिक्रिया टरबाइनों में ड्राफ्ट ट्यूब के निम्न कार्य होते हैं—

(अ) जल शीर्ष में वृद्धि होती है। यह वृद्धि टेल-रेस के ऊपर रनर की ऊँचाई के बराबर होती है।

(ब) टरबाइन की दक्षता में वृद्धि होती है।

(III) फ्राँसिस टरबाइन का क्रिया सिद्धान्त (Working Principle of Fransis Turbine)

जल-स्रोत में टरबाइन तक जल का प्रवाह पेन-स्टॉक (pen stock) के माध्यम से उपलब्ध शीर्ष पर होता है। पेन-स्टॉक टरबाइन के सर्पिल आवरण से जुड़ा होता है। आवरण में प्रवाहित होने के बाद जल गाइड-वेनों (guide-vanes) में आ जाता है, जहाँ उसे प्रवाह की निश्चित दिशा प्राप्त होती है। गाइड वेनों से फिर पानी रनर-वेनों (runner vanes) में जाता है और अन्त में ड्राफ्ट-ट्यूब से होकर टेल-रेस में पहुँचता है। ड्राफ्ट ट्यूब हमेशा टेल-रेस में डूबी रहती है।

आवरण में जल का प्रवेश उच्च दाब शीर्ष तथा निम्न गतिज-शीर्ष पर होता है। यह जल जब किन्हीं दो गाइड वेनों के बीच संकीर्ण मार्ग (restricted passage) से होकर बहता है तो इसकी कुछ दाब-ऊर्जा गतिज ऊर्जा में बदल जाती है। फिर यह जल रनर-वेनों (runner vanes) में प्रवेश करता है जहाँ वेनों से प्रवाहित होने के अन्तर्गत इसकी अधिकांश दाब-ऊर्जा पुनः गतिज ऊर्जा में बदलती है। अन्त में रनर से निकलकर जल निम्न दाब तथा उच्च गति पर ड्राफ्ट ट्यूब में चला जाता है। इस प्रकार, गाइड-वेन के प्रवेश (inlet) तथा निकास (exit) के बीच दाब-अन्तर और रनर वेन में प्रवेश और निकास के बीच दाब-अन्तर स्थापित हो जाता है। इस दाब-अन्तर के कारण तथा रनर वेन पर जल के संवेग में अन्तर (change of momentum) के कारण, रनर पर स्पर्शी बल क्रिया करता है और रनर को घूर्णी-गति प्राप्त होती है।

फ्राँसिस टरबाइन से 150 MW की सीमा तक शक्ति प्राप्त हो सकती है। इसकी सर्वांग दक्षता (over all efficiency) 80% होती है।

(IV) पेल्टन व्हील के तुलना में फ्राँसिस टरबाइन के लाभ तथा हानियाँ (Advantages and Disadvantages of Francis Turbines Over Pelton Wheel)

लाभ (Advantages)

(i) फ्राँसिस टरबाइन में कार्यकारी शीर्ष (operating head) में बदलाव को आसानी से नियन्त्रित किया जा सकता है।

(ii) समान शक्ति उत्पादन के लिए, पेल्टन व्हील की तुलना में फ्राँसिस टरबाइन के रनर का आकार, जनेरेटर तथा पॉवर हाउस आदि का आकार छोटा तथा मितव्ययी (economical) होता है।

(iii) फ्राँसिस टरबाइन की तुलना में पेल्टन व्हील की यांत्रिक दक्षता घिसाई (wear) के साथ तेजी से कम होती है।

हानियाँ (Disadvantages)

पेल्टन व्हील की तुलना में फ्राँसिस टरबाइन में निम्न हानियाँ/दोष है—

(i) उच्च शीर्ष फ्राँसिस टरबाइन में गन्दा पानी (अस्वच्छ पानी) तेजी से साथ घिसाई (rapid wear) कर सकता है।

(ii) कैवीटेशन (cavitation) का खतरा बना रहता है।

(iii) निरीक्षण एवं मरम्मत कार्य करना अपेक्षाकृत कठिन है।

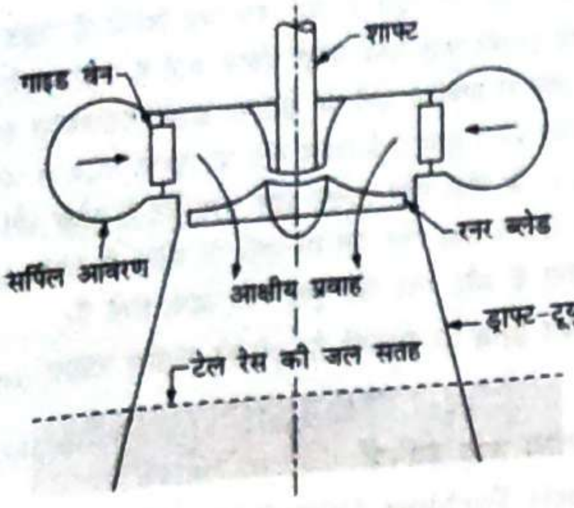
(iv) यदि फ्राँसिस टरबाइन 50% से कम शीर्ष पर लम्बे समय तक कार्य करती है तो उसकी दक्षता तो कम होती ही है, केवीटेशन का खतरा बहुत अधिक बढ़ जाता है।

§ 6.8. कपलान टरबाइन (Kaplan Turbine) :

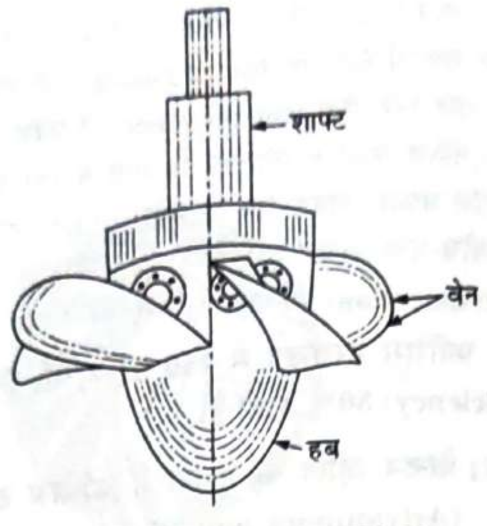
कपलान टरबाइन अक्षीय प्रवाह प्रतिक्रिया टरबाइन (axial flow reaction turbine) होता है अर्थात् जल, शाफ्ट के समान्तर प्रवाहित होता है। यह टरबाइन निम्न-शीर्ष (low head) पर कार्य कर सकता है परन्तु इसमें पानी की अपेक्षाकृत अधिक मात्रा की आवश्यकता है।

कपलान टरबाइन की रचना फ्राँसिस टरबाइन के समान ही होती है (देखिये चित्र 6.9)। इसमें भी सर्पिल आवरण (spiral casing), गाइड वेन, ड्राफ्ट-ट्यूब तथा रनर आदि होते हैं, परन्तु रनर की रचना कुछ भिन्न होती है। इसमें वेनों (vanes) की संख्या 3 से 8 तक होती है जबकि फ्राँसिस टरबाइन के रनर में वेनों की संख्या 16 से 24 तक होती है। रनर की आकृति शिप प्रोपेलर (ship propeller) जैसी होती है इसलिए कपलान टरबाइन को **प्रोपेलर टरबाइन** (propeller turbine) भी कहते हैं। देखें चित्र 6.10।

कपलान टरबाइन में क्योंकि वेनों की संख्या कम होती है इसलिये जल की सम्पर्क सतह का क्षेत्रफल घट जाता है साथ ही घर्षण प्रतिरोध (frictional resistance) भी कम हो जाता है। अतः टरबाइन निम्न शीर्ष पर कार्य कर सकता है।



चित्र 6.9—कपलान टरबाइन



चित्र 6.10—कपलान टरबाइन रनर

कपलान टरबाइन में 1,20,000 की सीमा तक अश्व-शक्ति उपज सकती है। इस टरबाइन की सर्वांग दक्षता 90% होती है। यह 4 m से 24 m तक जल शीर्ष पर कार्य कर सकता है।

6.8.1. फ्रॉसिस टरबाइन की तुलना में कपलान टरबाइन के लाभ

फ्रॉसिस टरबाइन की तुलना में कपलान टरबाइन के निम्न लाभ है—

(i) समान शक्ति उत्पादन के लिए कपलान टरबाइन बनावट (construction) में अधिक सघन (more compact) तथा आकार में कम होती है।

(ii) कपलान टरबाइन की आँशिक भार पर दक्षता (Part load efficiency) अधिक होती है।

(iii) ब्लेड़ों की संख्या कम होने से घर्षण हानियाँ भी कम होती हैं।

§ 6.9. प्रोपेलर टरबाइन (Propeller Turbine) :

प्रोपेलर टरबाइन एक आवक प्रवाह प्रतिक्रिया टरबाइन (inward flow reaction turbine) है। इसका डिजाइन कपलान टरबाइन के समान ही होता है परन्तु ब्लेड फिक्स (fixed blades) होते हैं। यह एक बहुत ही सामान्य टरबाइन है और उच्च प्रवाह दर (high flow rate) के साथ सबसे अच्छा कार्य करता है।

इस टरबाइन का चल अंग (moving part) अर्थात् रनर एक प्रोपेलर होता है। यह प्रोपेलर, पानी के जहाजों तथा पनडुब्बी (submarines) आदि को पानी में धकेलने वाले प्रोपेलर के ही समान होता है। इस टरबाइन में समायोज्य गाइड फलक (adjustable guide vanes) लगे होते हैं जो टरबाइन में जल के प्रवाह की दर को नियन्त्रित करते हैं। इसके साथ ही वे प्रोपेलर के पीछे जल को एक कोण पर निर्देशित भी करते हैं।

ये टरबाइन बहुत उच्च रोटेशन गति तक पहुँच सकते हैं इसीलिए ये कम शीर्ष (low head) के लिए प्रभावी है। यही कारण है कि इस प्रकार की टरबाइन रन-ऑफ-रिवर (runoff river) पावर स्टेशनों के लिए उपयुक्त है।

§ 6.10. टरबाइन की एकांक गति, एकांक शक्ति, एकांक विसर्जन तथा विशिष्ट गति (Unit Speed, Unit Power, Unit Discharge, Specific Speed of Turbines) :

टरबाइनों के निष्पादन (performance) को ज्ञात करने के लिए तथा विभिन्न जल शीर्षों, गतियों तथा निर्गत शक्तियों टरबाइनों में तुलना करने के लिए विभिन्न लक्षणों का अध्ययन किया जाता है। जैसे—

(i) एकांक गति (Unit speed)

(ii) एकांक शक्ति (Unit power) तथा

(iii) एकांक विसर्जन (Unit discharge)।

उपरोक्त तीनों लक्षणों (characteristics) के लिए जल शीर्ष का मान एकांक (1) अर्थात् 1 मीटर माना जाता है।

(i) एकांक गति (Unit Speed)—"किसी टरबाइन के लिए, 1 m जल शीर्ष के अन्तर्गत, गति को एकांक गति कहते हैं।"

"The speed of a turbine, working under a head of 1 m, is known as unit speed."

माना, एक टरबाइन की एकांक गति ज्ञात करनी है जिसके लिए

H = जल शीर्ष (Head of water) जिसके अन्तर्गत टरबाइन कार्य कर रही है

v = रनर की स्पर्शीय गति (tangential velocity)

N = जल शीर्ष 'H' के अन्तर्गत् टरबाइन रनर की गति, तथा

N_u = एकांक शीर्ष (unit head) के अन्तर्गत्, उसी टरबाइन की गति

हम जानते हैं कि, वेग गुणांक C_v को एकांक मानते हुए जल का वेग, $V = \sqrt{2gH}$

$$\text{रनर का स्पर्शीय वेग } v \propto \text{ जल का वेग } (V)$$

$$v \propto \sqrt{H}$$

अब,

$$\text{टरबाइन रनर की गति } N = \frac{60\,v}{\pi D} \qquad \left(\text{सूत्र } v = \frac{\pi DN}{60} \text{ से}\right)$$

∴

$$N \propto v \propto \sqrt{H}$$

∴

$$N = N_u.\sqrt{H}$$

या

$$N_u = \frac{N}{\sqrt{H}}$$

(ii) एकांक शक्ति (Unit Power)—"1 m जल शीर्ष के अन्तर्गत, किसी टरबाइन द्वारा उत्पन्न शक्ति को ही एकांक शक्ति कहते हैं।"

"The power developed by a turbine, working under a head of 1 m, is known as unit power."

माना H = जलशीर्ष, जिसके अन्तर्गत् टरबाइन कार्य कर रही है,

P = जलशीर्ष "H" के अन्तर्गत् टरबाइन द्वारा उत्पन्न शक्ति,

Q = जलशीर्ष "H" के अन्तर्गत् टरबाइन से होने वाला विसर्जन, तथा

P_u = एकांक शीर्ष के अन्तर्गत् उसी टरबाइन द्वारा उत्पन्न शक्ति

अब, वेग गुणांक C_v को एकांक मानते हुए,

$$\text{जल का वेग, } V = \sqrt{2gH}$$

तथा

$$\text{विसर्जन, } Q = aV = a\sqrt{2gH}$$

हम जानते हैं कि, एक टरबाइन द्वारा उत्पन्न शक्ति, $P = wQH = w(a\sqrt{2gH})H$

$\therefore$ $$P \propto H^{3/2}$$

$\therefore$ $$P = P_u \cdot H^{3/2}$$

या $$P_u = \frac{P}{H^{3/2}}$$

(iii) एकांक विसर्जन (Unit Discharge)—"1 m जलशीर्ष के अन्तर्गत, किसी टरबाइन से होने वाले विस
को ही एकांक विसर्जन कहते हैं।"

"The discharge of a turbine, working under a head of 1 m, is known as unit discharge."

माना, H = जलशीर्ष, जिसके अन्तर्गत् टरबाइन कार्य कर रही है,

Q = जलशीर्ष 'H' के अन्तर्गत् टरबाइन से होने वाला विसर्जन, तथा

Q_u = एकांक शीर्ष के अन्तर्गत् उसी टरबाइन से होने वाला विसर्जन

अब, वेग गुणांक C_v को एकांक मानते हुए,

जल का वेग, $V = \sqrt{2gH}$

तथा विसर्जन, $Q = aV = a\sqrt{2gH}$

$\therefore$ $$Q \propto \sqrt{H}$$

$$Q = Q_u \cdot \sqrt{H}$$

$\therefore$ $$Q_u = \frac{Q}{\sqrt{H}}$$

उदाहरण 6.1. एक टरबाइन 250 rpm पर 25 m जल शीर्ष के अन्तर्गत् 2000 kW शक्ति उत्पन्न कर रही है। टरबाइन के लिए एकांक शक्ति तथा एकांक गति ज्ञात कीजिए।

हल—दिया है—$P = 2000$ kW, $H = 25$ m, $N = 250$ rpm

हम जानते हैं कि एकांक शक्ति, $P_u = \frac{P}{H^{3/2}} = \frac{2000}{(25)^{3/2}} = $ **16 kW** उत्

तथा एकांक गति, $N_u = \frac{N}{\sqrt{H}} = \frac{250}{\sqrt{25}} = $ **50 rpm** उ

उदाहरण 6.2. एक टरबाइन 200 rpm पर 16 m जल शीर्ष के अन्तर्गत 1000 kW शक्ति उत्पन्न कर रही है त 9 m³/sec जल विसर्जित कर रही है। टरबाइन के लिए एकांक शक्ति तथा एकांक विसर्जन ज्ञात कीजिए।

हल—दिया है—$P = 1000$ kW, $H = 16$ m, $N = 200$ rpm, $Q = 9\ m^3/sec$

एकांक शक्ति, $P_u = \frac{P}{H^{3/2}} = \frac{1000}{(16)^{3/2}} = $ **15.625 kW**

तथा एकांक विसर्जन, $Q_u = \frac{Q}{\sqrt{H}} = \frac{9}{\sqrt{16}} = $ **2.25 m^3/sec**

§ 6.11. टरबाइन की विशिष्ट गति (Specific Speed of a Turbine) :

एकांक स्थितियों में टरबाइन का व्यवहार ज्ञात कर लेने के बाद वास्तविक टरबाइन के ज्यामितीय रूप (geometrically) से समान तथा समान ब्लेड़ कोण वाली एक काल्पनिक टरबाइन के अभिलक्षणों (characteristics) की जाँच की जाती है जिसका साइज इस प्रकार कम कर दिया गया है जो एकांक शीर्ष के अन्तर्गत् एकांक शक्ति (अर्थात् 1 m शीर्ष के अन्तर्गत् 1 kW) उत्पन्न करती है। इस काल्पनिक टरबाइन को ही **'विशिष्ट टरबाइन' (specific turbine) तथा इसकी गति को** 'विशिष्ट गति' (specific speed) कहते हैं।

इस प्रकार **''किसी टरबाइन की विशिष्ट गति को एक काल्पनिक टरबाइन की गति से परिभाषित किया जा सकता है जो दी गई टरबाइन के समान (identical) हो तथा एकांक शीर्ष के अन्तर्गत् एकांक शक्ति उत्पन्न करती हो।''**

"The specific speed of a turbine may be defined as the speed of an imaginary turbine, identical with the given turbine which will develop a unit power under unit head."

माना N_s = टरबाइन की विशिष्ट गति

D = टरबाइन रनर का व्यास

V = पानी का परम वेग (Absolute velocity)

N = रनर की गति r.p.m. में

v = रनर का स्पर्शीय वेग (Tangential velocity)

हम जानते हैं कि,

$$\text{रनर का स्पर्शीय वेग "}v\text{"} \propto \text{पानी का परम वेग '}V\text{'}$$

$$\propto \sqrt{2gH}$$

$$\propto \sqrt{H}$$

पुनः,

$$\text{रनर का स्पर्शीय वेग, } v = \frac{\pi DN}{60}$$

∴

$$D \propto \frac{v}{N}$$

$$D \propto \frac{\sqrt{H}}{N} \quad ...(1)$$

माना, Q = टरबाइन द्वारा विसर्जन

b = टरबाइन रनर की चौड़ाई

V_f = प्रवाह वेग, तथा

D = टरबाइन रनर का व्यास

अब

$$\text{टरबाइन से विसर्जन, } Q = \pi Db.V_f$$

परन्तु

$$b \propto D$$

तथा

$$V_f \propto \sqrt{2gH}$$

∴

$$V_f \propto \sqrt{H}$$

∴

$$Q \propto \pi D.D.\sqrt{2gH}$$

या

$$Q \propto D^2\sqrt{H}$$

समीकरण (i) से 'D' का मान रखने पर,

$$Q \propto \left(\frac{\sqrt{H}}{N}\right)^2 \times \sqrt{H}$$

या $$Q \propto \frac{H^{3/2}}{N^2} \qquad \text{...(ii)}$$

अब, माना P = टरबाइन द्वारा उत्पन्न शक्ति

हम जानते हैं कि शक्ति, $P = wQH$

$$P \propto QH$$

∴ Q का माना समीकरण (ii) से रखने पर,

$$P \propto \frac{H^{3/2}}{N^2} \times H$$

∴ $$P \propto \frac{H^{5/2}}{N^2}$$

∴ $$N^2 \propto \frac{H^{5/2}}{P}$$

या $$N \propto \frac{H^{5/4}}{\sqrt{P}} = \frac{N_3 \times H^{5/4}}{\sqrt{P}}$$

या विशिष्ट गति, $$N_s = \frac{N\sqrt{P}}{H^{5/4}}$$

(यहाँ N = rpm, P = kW तथा H = metre में है)

उदाहरण 6.3. एक टरबाइन 20 m जलशीर्ष के अन्तर्गत, 150 rpm पर चलती है तथा 625 kW शक्ति उत्पन्न करती है। इसकी विशिष्ट गति ज्ञात कीजिए।

हल—दिया है—$H = 20$ m, $N = 150$ rpm, $P = 625$ kW

∴ विशिष्ट गति, $$N_s = \frac{150\sqrt{625}}{(20)^{5/4}} = 88.66 \text{ rpm}$$ **उत्तर**

उदाहरण 6.4. एक हाइड्रोइलेक्ट्रिक स्टेशन में, 100 m³/sec की दर से 15 m के शीर्ष पर जल उपलब्ध है। 82% दक्षता तथा 65 rpm की गति के साथ टरबाइन की संख्या ज्ञात कीजिए। टरबाइन की विशिष्ट गति 125 rpm से अधिक नहीं होनी चाहिए। प्रत्येक टरबाइन द्वारा उत्पन्न शक्ति भी ज्ञात कीजिए।

हल—दिया है—उपलब्ध जल = 100 m³/sec; $H = 15$ m; $N = 65$ rpm; ओवरआल दक्षता, $\eta_o = 82\% = 0.82$; $N = 125$ rpm

(i) प्रत्येक टरबाइन द्वारा उत्पन्न शक्ति—हम जानते हैं कि,

टरबाइन की विशिष्ट गति $$(N_s) = \frac{N\sqrt{P}}{H^{5/4}}$$

$$\therefore \quad 125 = \frac{65\sqrt{P}}{(15)^{5/4}} = \frac{65\sqrt{P}}{29.5} = 2.2\sqrt{P}$$

$$\therefore \quad P = 3226 \text{ kW}$$ उत्तर

(ii) टरबाइनों की संख्या—माना Q = प्रत्येक टरबाइन द्वारा विसर्जन

हम जानते हैं कि, टरबाइन की दक्षता, $\eta_o = \frac{P}{w.QH}$

$$\therefore \quad 0.82 = \frac{3226}{9.81 \times Q \times 15} = \frac{21.9}{Q}$$

$$\therefore \quad Q = \frac{21.9}{0.82} = 26.7 \text{ m}^3\text{/sec}$$

इस प्रकार, $$\text{टरबाइनों की संख्या} = \frac{\text{उपलब्ध जल}}{\text{प्रत्येक टरबाइन द्वारा विसर्जन } (Q)}$$

$$= \frac{100}{26.7} = 3.7 \text{ माना } \mathbf{4}$$ उत्तर

§ 6.12. कोटरण (Cavitation) :

कोटरण को किसी बहते हुए द्रव में, वाष्प (vapour) भरे हुए बुल्बुले के निर्माण के रूप में परिभाषित किया जा सकता है।

"The cavitation may be defined as the formation of bubbles, filled with vapour's, within the body of a moving liquid."

यह देखा गया है कि द्रव प्रवाह के किसी बिन्दु पर दाब, उस तापमान पर द्रव के वाष्प दाब से कम हो जाता है तो वाष्प गुहिकायें (vapour cavities) बनने लगती है। ये बुलबुले जब धारा (stream) के साथ बहकर उच्च दाब क्षेत्र में पहुँचते हैं जहाँ वाष्प संघनित (condense) हो जाती है तथा बुलबुला टूट (collapse) जाता है। वह स्थान, जहाँ पहले बुलबुला (bubble) था, आस-पास के द्रव द्वारा भरा जाता है। इसके परिणामस्वरूप कुछ आवाज आती है तथा कम्पन भी उत्पन्न होते हैं। वह दाब, जिस पर बुलबुला टूट जाता है, सामान्यतया वायुमण्डलीय दाब का 100 गुना होता है।

जब किसी बॉड़ी (body) की सतह पर कोई गुहिका (cavity) टूटती है तब आस-पास के द्रव के लगातार घात क्रिया (Repeated hammering action) के कारण धातुकण अलग होने लगते हैं। जिसके परिणामस्वरूप एक बहुत बड़ी मात्रा में धातु का क्षरण (erosion) होता है जिसे पिटिंग (Pitting) कहते हैं। कोटरण से किसी द्रविक मशीन पर निम्न तीन प्रकार से प्रभाव पड़ता है—

(i) गुहिकाओं के अनियमित टूटने से विभिन्न अंगों में कम्पन तथा शोर होता है।

(ii) पिटिंग (Pitting) को कारण धातु की हानि होती है तथा सतह खुरदुरी (rough) हो जाती है।

(iii) गुहिकाओं के कारण टरबाइन से विसर्जन में सदैव कमी आती है।

(iv) टरबाइन की निर्गत शक्ति (Power output) तथा दक्षता (efficiency) में कमी आती है।

प्रतिक्रिया टरबाइनों में कोटरण को बहुत हद तक निम्न विधियों द्वारा दूर किया जा सकता है—

(i) टरबाइन को टेलरेस स्तर के नीचे स्थापित करके,

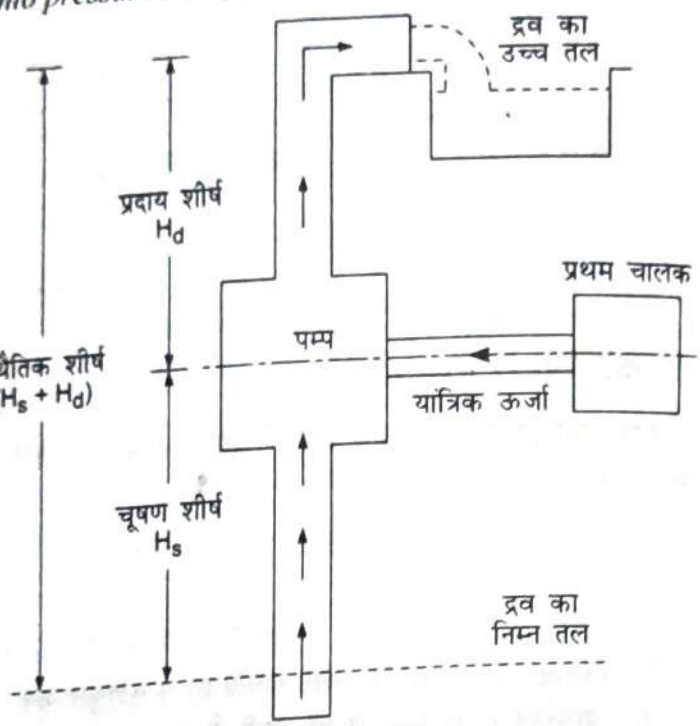
(ii) टरबाइन में कोटरण मुक्त (cavitation free) रनर का प्रावधान करके,

(iii) टरबाइन में स्टेनलैस स्टील का रनर प्रयोग करके,
(iv) रनर में उच्च परिष्कृति की पालिश वाले ब्लेड़ प्रयोग करके, तथा
(v) टरबाइन रनर को अभिकल्पित गति (designed speed) पर चलाकर।

§ 6.13. द्रवीय पम्प (Hydraulic Pump) :

पम्प एक ऐसी यांत्रिक युक्ति (Device) है जो किसी तरल व्यवस्था (निकाय System) में तरल की ऊर्जा में वृद्धि करती है।

"A pump is a mechanical device used to increase the energy of the fluid." In other words, "pump is a machine which converts mechanical energy into pressure energy."



चित्र 6.11—द्रवीय पम्प

यह वृद्धि दाब ऊर्जा, या गतिज ऊर्जा या दोनों प्रकार की ऊर्जाओं में हो सकती है। अर्थात् दूसरे शब्दों में, **"पम्प किसी अन्य बाह्य स्रोत (Source) से प्राप्त यांत्रिक ऊर्जा (Mechanical Energy) को तरल ऊर्जा में बदलते हैं।"** पम्प अधिकतर द्रव की दाब ऊर्जा (Pressure Energy) बढ़ाते हैं अर्थात् द्रवीय पम्प किसी द्रव को निम्नतल (Low Level) से उच्च तल (Higher Level) तक उठाने का कार्य करते हैं या यों कहें कि पम्प द्रव पर कुछ कार्य करते हैं। यह कार्य पम्प के प्रवेश अर्थात् चूषण (Suction) सिरे में दाब को कम करके तथा निकास पर अर्थात् प्रदाय (Delivery) सिरे पर दाब को अधिक किया जाता है और पम्प को कार्य करने के लिए बाह्य स्रोत से दी जाने वाली ऊर्जा विद्युत मोटर या किसी प्रथम (मूल) चालक द्वारा प्रदान की जाती है (देखिये चित्र 6.11)। **टरबाइन का विलोम ही पम्प है, क्योंकि टरबाइन द्रव की ऊर्जा को ही यांत्रिक ऊर्जा में बदलती है जबकि पम्प यांत्रिक ऊर्जा प्रयोग करके द्रव की ऊर्जा बढ़ाते हैं।**

§ 6.14. पम्प का पदनाम (Designation) या विशिष्टयाँ (Specifications) :

पम्प के पदनाम या विशिष्टियों हेतु पम्प के प्रकार, क्षमता (Capacity), प्रदाय शीर्ष (Head), अश्व-शक्ति (Horse-power) का उल्लेख करते हैं जिसके लिए प्रायोगिक द्रव, उद्देश्य (Purpose), चाल (Speed), प्रायोगिक स्थल (Place), वाल्व व विशेष अवयवों (Components) आदि का ध्यान रखा जाता है। क्योंकि पम्प अनेक आकार, प्रकार, साइज व डिजाइन में बनाये जाते हैं।

§ 6.15. कुछ सम्बन्धित पद (Terminology) :

(i) **चूषण पाइप (Suction Pipe)**—पम्प के चूषण सिरे से जुड़ा एक पाइप जो द्रव में डूबा रहता है चूषण पाइप कहलाता है जिसकी सहायता से पम्प द्रव को अपने अन्दर चूसता है। चूषण सिरे पर दाब वायुमण्डलीय दाब से कम होता है जिससे द्रव की सतह पर पड़ने वाला वायुमण्डलीय दाब द्रव को पम्प के अन्दर भेजता है।

(ii) चूषण स्ट्रोक (Suction Stroke)—प्रत्यागामी पम्पों में पिस्टन (Piston) के जितने विस्थापन (Displacement) के लिये सिलिंडर में द्रव चूषित होता है उसे पिस्टन का चूषण स्टोक कहते हैं। चूंकि यह विस्थापन है अत: इसकी इकाई मीटर (MKS या SI पद्धतियों में) होती है।

(iii) प्रदाय पाइप (Delivery Pipe)—पम्प के निकास सिरे से जुड़ा वह पाइप जो प्रदाय टंकी (Delivery Tank) तक जाता है (अर्थात् प्रदाय टंकी को द्रव प्रदान करता है।) प्रदाय पाइप कहलाता है। निकास पर उच्च दाब होने से द्रव प्रदाय पाइप द्वारा क्षमता व डिजाइन के अनुसार इच्छित ऊँचाई व स्थान तक पहुंचाया जाता है।

(iv) प्रदाय स्ट्रोक (Delivery Stroke)—प्रत्यागामी (Reciprocating) पम्पों में चूषण वाल्व के बन्द होने पर पिस्टन के विस्थापन को, जबकि पिस्टन सिलिंडर में भरे द्रव पर दाब डालता है, प्रदाय स्ट्रोक कहते हैं। इस स्ट्रोक में प्रदाय वाल्व खुला होता है और द्रव प्रदाय पाइप में दाब से प्रवाहित होता है।

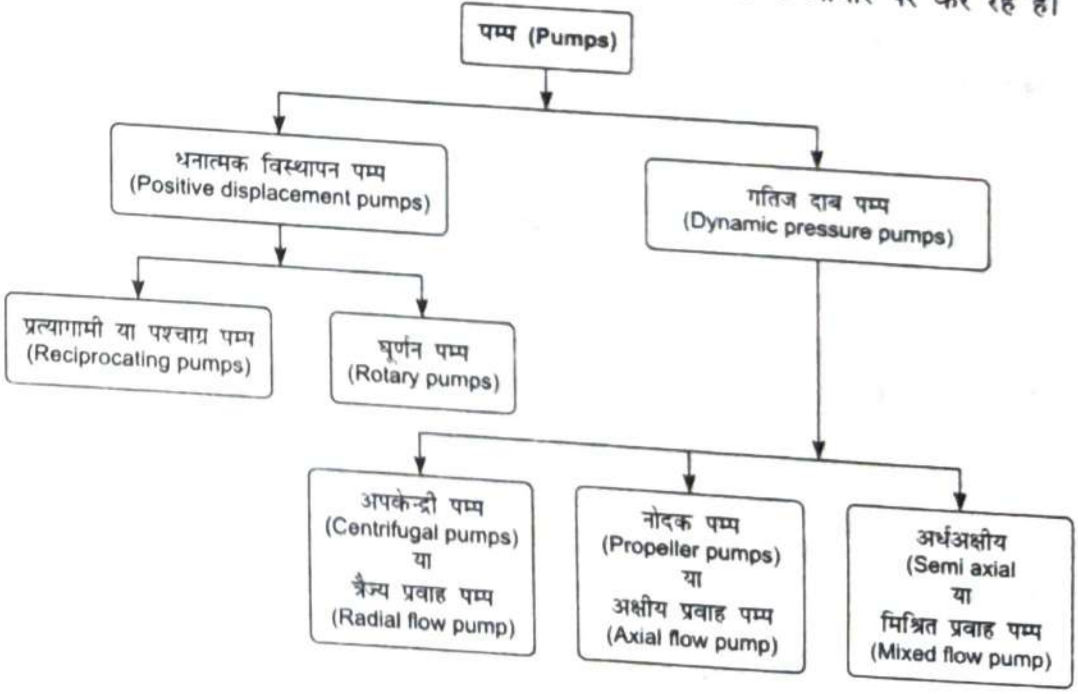
(v) चूषण शीर्ष (Suction Head)—जिस गहराई से पम्प द्रव को चूषित करता है उसे पम्प का चूषण शीर्ष कहते हैं। देखिये चित्र 6.11। इसे साधारणतया: H_s या h_s द्वारा प्रदर्शित करते हैं। पानी में H_s (या h_s) का अधिकतम मान 10 मीटर (पानी) होता है (क्योंकि जल-कुण्ड (Sump या Well) में जल-तल पर जहाँ से जल खींचा जाता है वहाँ पर साधारणत: वायुमण्डलीय दाब कार्य करता है।) परन्तु घर्षण आदि से होने वाली हानियों के कारण H_s (या h_s) का व्यावहारिक रूप से अधिकतम मान 7.5 मीटर लगभग ही रह जाता है। H_s (या h_s), पम्प सिलिण्डर (प्रत्यागामी पम्पों में) या पम्प-अक्षि (Eye) (अपकेन्द्रीय पम्पों में) की अपकेन्द्रीय रेखा की कुण्ड के द्रव-तल से ऊँचाई होती है।

(vi) प्रदाय शीर्ष (Delivery Head)—प्रदाय पाइप की क्षैतिज निकास रेखा की पम्प-सिलिंडर (प्रत्यागामी पम्पों में) या पम्प-अक्षि (Eye) (अपकेन्द्री पम्पों में) की केन्द्र-रेखा से ऊँचाई को प्रदाय शीर्ष कहते हैं। इसे H_d या h_d द्वारा प्रदर्शित करते हैं। देखिये चित्र 6.11।

(vii) स्थैतिक शीर्ष (Static Head)—चूषण शीर्ष व प्रदाय शीर्ष के योग (अर्थात् $H_s + H_d$) को पम्प का स्थैतिक शीर्ष कहते हैं।

§ 6.16. पम्पों का वर्गीकरण (Classification) :

विभिन्न प्रकार के पम्पों को उनके आकार, डिजाइन, कार्य सिद्धान्त आदि के आधार पर वर्गीकृत किया जाता है। यहाँ हम पम्पों का वर्गीकरण द्रव को उनके द्वारा ऊर्जा प्रदान करने की विधि के आधार पर कर रहे हैं।



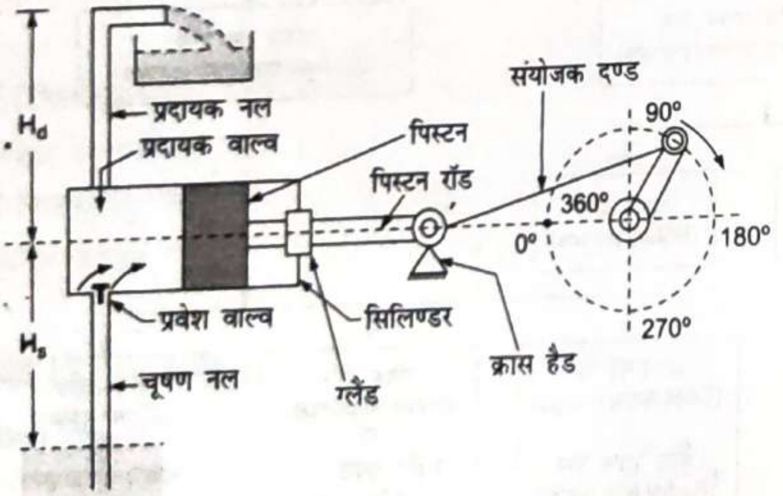
§ 6.17. प्रत्यागामी या पश्चाग्र पम्प (Reciprocating Pump) :

प्रत्यागामी पम्प धनात्मक विस्थापन प्रकार का पम्प होता है। धनात्मक विस्थापन (Positive Displacement) पम्प का अर्थ है ऐसा विस्थापन पम्प जिसमें पम्प के चलित अंग (moving member) के विस्थापन द्वारा ही द्रव का विस्थापन होकर उठाव (Lift) तथा दाब बनता है। प्रत्यागामी पम्प में चलित अंग पिस्टन (Piston) या प्लंजर (Plunger) होता है जिसके आगे-पीछे या ऊपर-नीचे चलने में धनात्मक विस्थापन होता है जबकि घूर्णन पम्प (Rotary Pump) में धनात्मक विस्थापन चक्रीय गति के साथ (Positive Displacement with Circular Motion) उसकी घूर्णन गति के द्वारा प्राप्त होता है।

"The reciprocating pump is a positive displacement pump as it sucks and rises the liquid by actually displacing it with a piston or plunger that executes a reciprocating motion in a closely fitting cylinder. The amount of liquid pumped is equal to the volume displaced in the position."

§ 6.18. प्रत्यागामी पम्प की रचना (Construction) :

प्रत्यागामी पम्प के मुख्य अंग सिलिंडर, पिस्टन, वाल्व आदि होते हैं। देखिये चित्र 6.12 में। प्रत्यागामी पम्प में चलित अंग (moving member) द्रव-रोधी (water tight) पिस्टन या प्लंजर होता है जो आगे-पीछे या ऊपर-नीचे एक सिलिंडर (cylinder) में गति करता है। पिस्टन को गति कराने के लिए इसे पिस्टन दण्ड (piston rod) या संयोजी दण्ड (connecting rod) तथा क्रेंक (Crank) द्वारा किसी प्रथम चालक (Prime Mover) या द्वितीय चालक से युग्मित (Coupled) किया जाता है। अधिकतर विद्युत मोटर से पट्टे बैल्ट (Belt) की सहायता से युग्मित करते हैं क्योंकि प्रत्यागामी पम्प अधिकतर कम गति पर कार्य करते हैं। सिलिंडर के चूषण सिरे पर प्रदाय पाइप जोड़े जाते हैं। जोड़े जाने के स्थान पर सिलिंडर पर ही (अधिकतर) क्रमश: चूषण वाल्व व प्रदाय वाल्व चित्रानुसार लगे होते हैं जो एक तरफा प्रकार के वाल्व होते हैं। अर्थात् द्रव इन पाइपों में केवल एक ही ओर प्रवाहित हो सकता है। ध्यान रहे कि **बकेट पम्पों में निकास वाल्व पिस्टन पर ही लगा होता है।** पिस्टन-पम्प के सिलिंडर के अन्दर आजकल पीतल या कांसे (bronze) की लाइनिंग (Lining या अस्तर) कर देते हैं। **सिलिंडर अधिकतर ढलवाँ लोहे के बनाये जाते हैं और उपयुक्त आधार से जोड़कर स्थित कर दिये जाते हैं। पिस्टन अधिकतर ढलवां लोहे के बने होते हैं** तथा इन पर धातु के पिस्टन रिंग (Rings) या फाइबर (रेशेदार fibrous) पैकिंग के छल्ले भी चढ़े रहते हैं जिससे द्रव के च्यवन (क्षरण Leakage) को रोका जा सके और जरूरत पड़ने पर पूरे पिस्टन को बदलने के बजाये छल्ले-दण्ड बदल कर फिर से नया कर लेते हैं। पिस्टन-पिन व नट की सहायता से पिस्टन-दण्ड पिस्टन द्वारा जुड़ा रहता है जो सिलिंडर से बाहर निकलकर पश्चाग्र गति देने वाली (पिस्टन को) किसी युक्ति (Device) से जुड़ा रहता है जैसे क्रास हेड (Cross Head) व संयोजी दण्ड (Connecting Rod) तथा क्रेंक (Crank) से बनने वाली युक्ति से। सिलिंडर से बाहर पिस्टन-दण्ड से होकर द्रव के च्यवन



चित्र 6.13—प्रत्यागामी पम्प

(Leakage) को रोकने के लिये ग्लैंड (Gland) आदि का प्रयोग किया जाता है। प्रत्यागामी पम्पों में अधिकतर चकती वाल्व (Disc Valve) प्रयोग किये जाते हैं। ये रबड़ के बने होते हैं जिनमें केन्द्र पर बने छेद की मदद से ही ये एक बोल्ट द्वारा निर्देशित होकर अपनी सीट पर बैठते हैं। परन्तु कुछ विशेष व गर्म द्रवों के लिए धातु के बने वाल्व लगाये जाते हैं। धातु या टोपी (Cap या Head) में रबड़ लगाकर या लोहे या सीसे पर रबड़ चढ़ाकर प्रयोग करने से वाल्व टिकाऊ व मजबूत हो जाते हैं (अर्थात् इनकी आयु बढ़ जाती है)। गाढ़े द्रवों हेतु कांसे के बने व गेंद के जैसे आकार में खोखले वाल्व प्रयोग किये जाते हैं।

§ 6.19. प्रत्यागामी पम्पों का कार्य सिद्धान्त (Working Principle) व संचालन (Operation) :

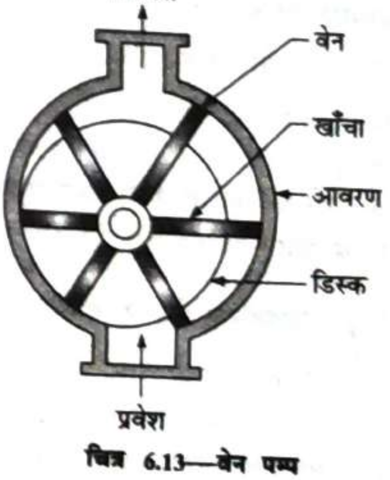
क्रेंक को किसी प्रथम-चालक द्वारा घुमाया जाता है। जब वह क्षैतिज स्थिति से उठकर बांयी ओर से दांयी ओर (चित्र 6.12) चलता है तो पिस्टन भी बांयी ओर से दांयी ओर (तरफ) जाता है इससे चूषण पाइप में वायु का दाब बाहरी वायुमण्डलीय दाब से कम हो जाता है और तब ये बाहरी अधिक दाब जल को (या द्रव को) चूषण पाइप में चढ़ा देता है। जहाँ से ये चूषण वाल्व को धक्का देकर सिलिंडर में पहुँचता है। क्रेंक के आधा चक्कर पार कर लेने पर चूषण स्ट्रोक पूरा हो जाता है। अब क्रेंक दांयी क्षैतिज स्थिति से बांयी ओर चलती है तो पिस्टन भी चलता है। इस कारण जल पर पिस्टन दाब डालता है फलस्वरूप चूषण वाल्व बन्द हो जाता है और जल द्वारा धक्का दिये जाने पर प्रदाय वाल्व खुलता है और पानी प्रदाय पाइप में चढ़ने लगता है। इस प्रकार प्रदाय स्ट्रोक पूरा होता है। फिर यह क्रम दोहराया जाता है अर्थात् फिर चूषण स्ट्रोक और फिर प्रदाय स्ट्रोक ... ...। इस दशा में क्रेंक के एक पूरे चक्कर में एक कार्यकारी स्ट्रोक (Working Stroke) हुआ।

§ 6.20. प्रत्यागामी (या पश्चाग्र) पम्पों का उपयोग (Applications) :

ये उच्च शीर्ष (High Head) या दाब (700 kg_f/cm^2 तक के), कम क्षमता (Capacity) की प्राप्ति के लिए उपयोगी रहते हैं। घरों में हैंड पम्प (Hand Pump) व तेल पम्प आदि के रूप में, उद्योगों में छोटे बॉयलरों (Boilers) में भरण जल (Feed Water) भेजने, वायु-दाब निकायों (Pneumatic Pressure-Systems), हल्के तेल की पम्पिंग, तेल छिद्रण (Oil Drilling) क्रियाओं में इनका उपयोग किया जाता है।

§ 6.21. वेन पम्प (Vane Pumps) :

एक वेन पम्प, अपने सरलतम रूप में, एक पम्प आवरण में उत्केन्द्रित रूप से (eccentrically) घूमती हुयी डिस्क (disc) जैसा होता है। इस डिस्क में सामान्यत: 4 से 8 तक वेनयुक्त खाँचे बने होते हैं जैसाकि चित्र 6.13 में प्रदर्शित है। ये वेन त्रैज्यिक रूप से (radially) इन खाँचे में अन्दर की तरफ को सरकने (slide) के लिए स्वतन्त्र होती है।



चित्र 6.13—वेन पम्प

जब रोटर, डिस्क को घुमाता है, अपकेन्द्रिय बल (centrifugal force) के कारण आवरण (casing) के विरूद्ध वेन पर दाब लगता है जिससे आवरण के साथ वेन की एक द्रव रोधी सील (liquid tight seal) बनती है। जब डिस्क घूमती है तब आवरण तथा वेन के मध्य बनी पॉकिट (pocket) में द्रव भर जाता है। केसिंग तथा वेग के मध्य बदलते हुए आयतन (volume) के कारण पर्याप्त दाब उपजता है जो द्रव को प्रदाय पाइप (delivery pipe) में धकेल देता है। कुछ अन्य प्रकार के वेन पम्पों में आवरण के विरुद्ध वेन को दबाने के लिए स्प्रिंगों का प्रयोग किया जाता है।

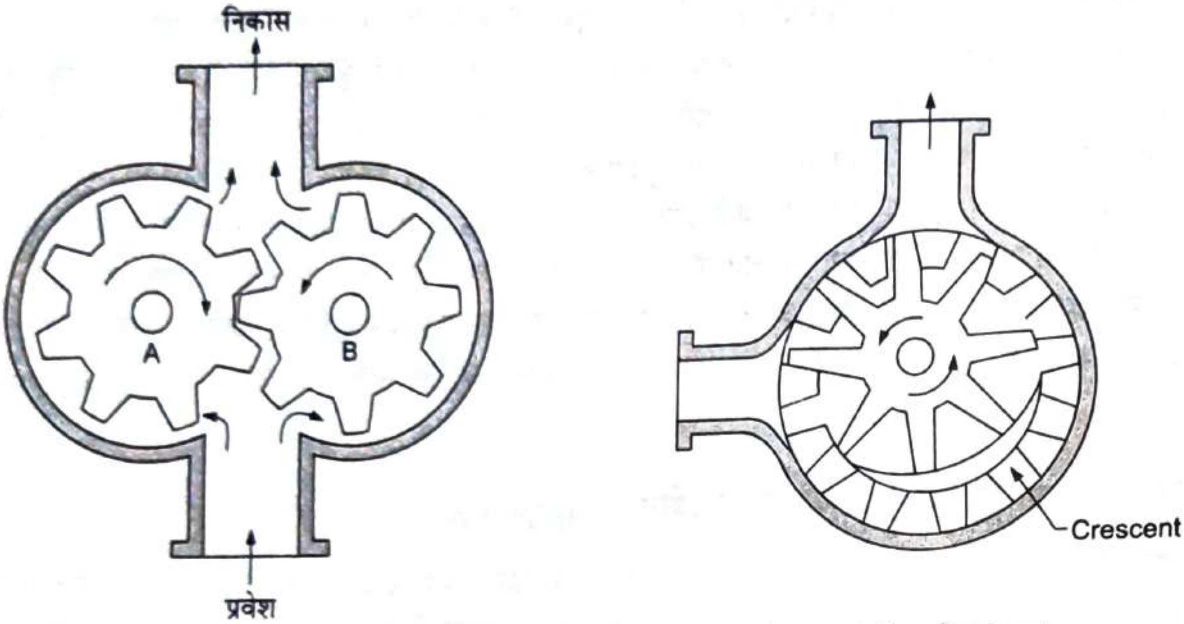
§ 6.22. गियर पम्प (Gear Pump) :

गियर पम्प का प्रमुख लाभ यह है कि इसमें अपकेन्द्रिय तथा पश्चाग्र दोनों प्रकार के पम्पों के लाभ सन्निहित (include) होते हैं। इसमें अपकेन्द्रिय पम्प की भाँति लगातार विसर्जन भी मिलता है तथा पश्चाग्र पम्प की भाँति धनात्मक विस्थापन (Positive displacement) भी मिलता है।

गियर पम्प दो प्रकार के होते हैं—

(i) बाह्य गियर पम्प (External Gear Pump)

(ii) आन्तरिक गियर पम्प (Internal Gear Pump)



(a) बाह्य गियर पम्प

(b) आन्तरिक गियर पम्प

चित्र 6.14

6.22.(i) बाह्य गियर पम्प (External Gear Pump)

एक बाह्य गियर पम्प, अपने सरलतम रूप में, दो परस्पर मिलने वाले तथा एक समान स्पर पहियों से बना होता है, जो आवरण के अन्दर एक सूक्ष्म अवकाश (fine clearance) के साथ घूमते हैं। जैसा कि चित्र 6.14(a) में प्रदर्शित है।

ये पहिये इस प्रकार अभिकल्पित (design) किये जाते हैं कि ये परस्पर घूमते हुए सम्पर्क बिन्दु पर तरल रोधी जोड़ (fluid tight joint) बनाते हैं। एक पहिया चालक शाफ्ट पर तथा दूसरा, चालित शाफ्ट पर बँधा रहता है। चलाने से पूर्व, पम्प को द्रव से पूरा भर लिया जाता है। जब गियर घूमता है तो दाँतों के बीच में द्रव फँस जाता है और आवरण में बने विसर्जन सिरे की ओर प्रवाहित होता है। घूमते हुए गियर, पर्याप्त दाब उत्पन्न करते हैं जो डिलिवरी पाइप में द्रव को धकेलता है। गियर का प्रत्येक दाँता, पश्चाग्र पम्प के पिस्टन अथवा प्लन्जर की भाँति कार्य करता है।

6.22.(ii) आन्तरिक गियर पम्प (Internal Gear Pump)

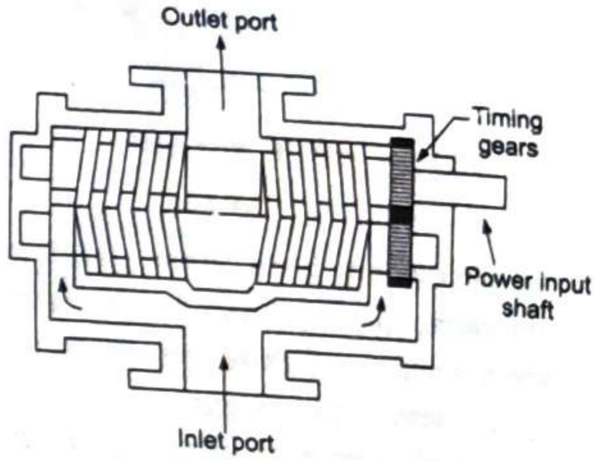
एक आन्तरिक गियर पम्प, अपने सरलतम रूप में, दो परस्पर तथा आन्तरिक रूप से मिलने वाले स्पर पहियों से बना होता है। ये पहिये इस प्रकार अभिकल्पित (design) किये जाते हैं कि ये एक तरफ तो सम्पर्क बिन्दु पर एक तरलरोधी जोड़ बनाते हैं तथा दूसरी तरफ एक अर्धचंद्राकार (crescent) स्थान बनाते हैं जैसाकि चित्र 6.14(b) में प्रदर्शित है।

एक अर्धचंद्राकार पार्टिशन दोनों पहियों के मध्य रखा जाता है तो चूषण (suction) तथा विसर्जन (discharge) के बीच सील (seal) का कार्य करता है। यह बाह्य पहिये में आन्तरिक पहिये को थोड़ा उत्केन्द्रित (Eccentrically) रखकर प्राप्त किया जाता है। आन्तरिक पहिये को चालक शाफ्ट पर तथा बाह्य पहिये को चलित शाफ्ट पर लगाया जाता है।

पम्प को चलाने से पहले इसे द्रव से पूरा भरा जाता है। जैसे ही पहिये घूमना प्रारम्भ करते हैं, दाँते सम्पर्क (mesh) से बाहर निकालते हैं। इसके परिणामस्वरूप दोनों पहियों के बीच का स्थान बढ़ता है तथा द्रव इस स्थान पर प्रवेश करता है। पहियों के लगातार घूमने से दाँतों तथा अर्धचंद्राकार स्थान (crescent) में द्रव फँस (tapped) जाता है और विसर्जन सिरे की तरफ बढ़ता है। इस पम्प में भी गियर का प्रत्येक दाँता, पश्चाग्र पम्प के पिस्टन अथवा प्लन्जर की भाँति कार्य करता है।

§ 6.23. स्क्रू पम्प (Screw Pump) :

स्क्रू पम्प एक धनात्मक विस्थापन पम्प (Positive displacement pump) है जिसमें एक अथवा अधिक स्क्रू का प्रयोग करके तरलों को एक स्थान से दूसरे स्थान पर भेजा जाता है। इसकी क्रियाविधि भी गियर पम्प के समान ही होती है। इसके दो स्क्रू स्पिंडल होते हैं जिसमें एक चालक गियर पर तथा दूसरा चलित गियर पर लगा होता है। गियर शाफ्ट को चलाते हैं। तरल पदार्थ के लिए इनलेट हमेशा तल पर और आउटलेट पम्प के ऊपरी भाग में स्थित होता है।



चित्र 6.15—स्क्रू पम्प

क्रियाविधि (Working)—पम्प के तल पर प्रवेश (inlet) से तरल पदार्थ प्रवेश करता है। चालक तथा चलित पेंच विपरीत दिशाओं में घूमते हैं, जो पम्प के निचले हिस्से में एक चूषण दबाब बनाता है। यह दबाव द्रव को ऊपर की ओर खींचता है। तरल दोनों स्क्रू के मध्य छोटे से अवकाश (small clearance) में से गुजरता है तथा इस पर एक अपकेन्द्रिय बल कार्य करता है। अपकेन्द्रिय बल तथा चूषण दाब के संयोजन से द्रव ऊपर उठता है तथा पम्प से बाहर निकलता है।

§ 6.24. अपकेन्द्री पम्प (Centrifugal Pump) :

अपकेन्द्री पम्प गतिज दाब (Dynamic Pressure) पम्प के वर्ग में आते हैं। गतिज दाब पम्प द्वारा द्रव का दाब उसकी गति द्वारा प्राप्त किया जाता है। अपकेन्द्री पम्प में द्रव का उठाने का स्तम्भ अपकेन्द्री बल (Centrifugal Force) द्वारा प्राप्त होता है। आइये इस सिद्धान्त को समझें।

"The pump which raises water or a liquid from a lower level to a higher level by the action of centrifugal force, is known as a centrifugal pump."

6.24.1. सिद्धान्त तथा क्रिया (Theory and Operation)

अपकेन्द्री पम्प का सिद्धान्त समझने हेतु चित्र 6.16 के दिखाये अनुसार सिलिंडर जैसा बर्तन लेकर उसमें कुछ गहराई तक पानी या द्रव भरकर उसे अपने कक्ष के चारों ओर समान गति से घुमाया जाये तो द्रव की सतह दिखाये गये तल *ABC* की तरह हो जायेगी। इसका अर्थ हुआ कि **बर्तन को घुमाने से द्रव में एक अतिरिक्त दाब-ऊर्जा आ गई और द्रव के किसी बिन्दु पर यह ऊर्जा उस बिन्दु पर बर्तन के परिधीय वेग शीर्ष (Peripheral Velocity Head) के बराबर होती है।** इसी प्रकार अपकेन्द्री पम्प कार्य करता है और अपनी क्रिया के लिये अपकेन्द्री बल (Centrifugal Force) पर निर्भर करता है।

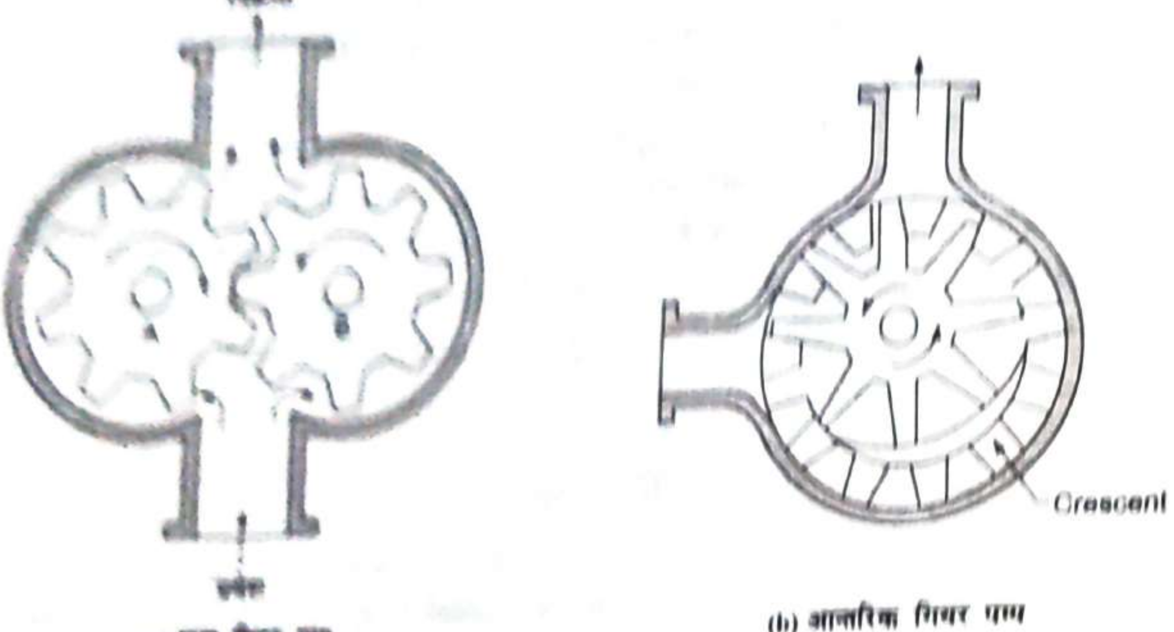
§ 6.22 गियर पम्प (Gear Pump) :

गियर पम्प का प्रमुख लाभ यह है कि इसमें अपकेन्द्रिय तथा पश्चाग्र दोनों प्रकार के पम्पों के लाभ सम्मिलित (include) होते हैं. इसमें अपकेन्द्रिय पम्प की भाँति लगातार निस्सरण भी मिलता है तथा पश्चाग्र पम्प की भाँति धनात्मक विस्थापन (Positive displacement) भी मिलता है।

गियर पम्प दो प्रकार के होते हैं—

(i) बाह्य गियर पम्प (External Gear Pump)

(ii) आन्तरिक गियर पम्प (Internal Gear Pump)



(a) बाह्य गियर पम्प

(b) आन्तरिक गियर पम्प

चित्र 6.14

6.22.(i) बाह्य गियर पम्प (External Gear Pump)

एक बाह्य गियर पम्प, अपने सरलतम रूप में, दो परस्पर मिलने वाले तथा एक समान स्पर पहियों से बना होता है, जो आवरण के अन्दर एक सूक्ष्म अवकाश (fine clearance) के साथ घूमते हैं। जैसा कि चित्र 6.14(a) में प्रदर्शित है।

ये पहिये इस प्रकार अभिकल्पित (design) किये जाते हैं कि ये परस्पर घूमते हुए सम्पर्क बिन्दु पर तरल रोधी जोड़ (fluid tight joint) बनाते हैं। एक पहिया चालक शाफ्ट पर तथा दूसरा, चालित शाफ्ट पर बँधा रहता है। चलाने से पूर्व, पम्प को द्रव से पूरा भर लिया जाता है। जब गियर घूमता है तो दाँतों के बीच में द्रव फँस जाता है और आवरण में बने विसर्जन सिरे की ओर प्रवाहित होता है। घूमते हुए गियर, पर्याप्त दाब उत्पन्न करते हैं जो डिलिवरी पाइप में द्रव को धकेलता है। गियर का प्रत्येक दाँत, पश्चाग्र पम्प के पिस्टन अथवा प्लन्जर की भाँति कार्य करता है।

6.22.(ii) आन्तरिक गियर पम्प (Internal Gear Pump)

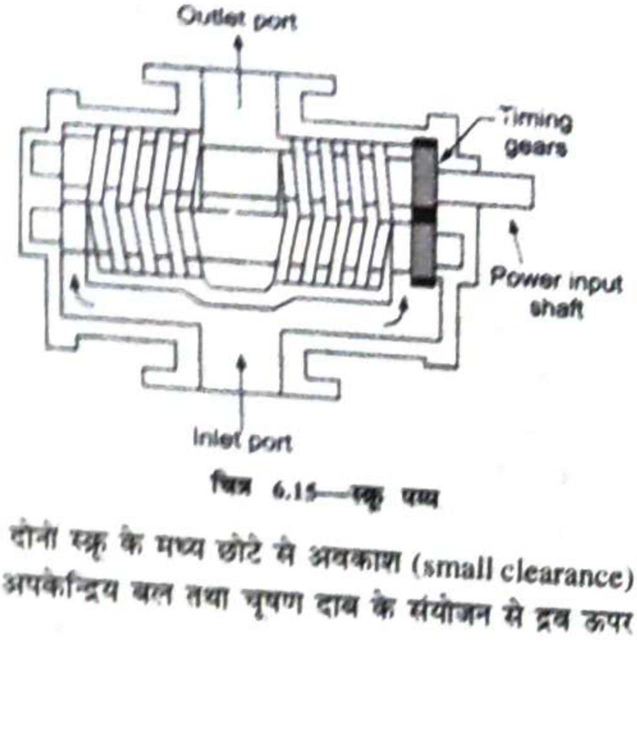
एक आन्तरिक गियर पम्प, अपने सरलतम रूप में, दो परस्पर तथा आन्तरिक रूप से मिलने वाले स्पर पहियों से बना होता है। ये पहिये इस प्रकार अभिकल्पित (design) किये जाते हैं कि ये एक तरफ तो सम्पर्क बिन्दु पर एक तरलरोधी जोड़ बनाते हैं तथा दूसरी तरफ एक अर्धचंद्राकार (crescent) स्थान बनाते हैं जैसाकि चित्र 6.14(b) में प्रदर्शित है।

एक अर्धचंद्राकार पार्टिशन दोनों पहियों के मध्य रखा जाता है जो चूषण (suction) तथा विसर्जन (discharge) के बीच सील (seal) का कार्य करता है। यह बाह्य पहिये में आन्तरिक पहिये को थोड़ा उत्केन्द्रित (Eccentrically) रखकर प्राप्त किया जाता है। आन्तरिक पहिये को चालक शाफ्ट पर तथा बाह्य पहिये को चलित शाफ्ट पर लगाया जाता है।

पम्प को चलाने से पहले इसे द्रव से पूरा भरा जाता है। जैसे ही पहिये घूमना प्रारम्भ करते हैं, दाँत सम्पर्क (mesh) से बाहर निकालते हैं। इसके परिणामस्वरूप दोनों पहियों के बीच का स्थान बढ़ता है तथा द्रव इस स्थान पर प्रवेश करता है। पहियों के लगातार घूमने से दाँतों तथा अर्धचंद्राकार स्थान (crescent) में द्रव फँस (tapped) जाता है और विसर्जन सिरे की तरफ बढ़ता है। इस पम्प में भी गियर का प्रत्येक दाँत, पश्चाग्र पम्प के पिस्टन अथवा प्लन्जर की भाँति कार्य करता है।

§ 6.23. स्क्रू पम्प (Screw Pump) :

स्क्रू पम्प एक धनात्मक विस्थापन पम्प (Positive displacement pump) है जिसमें एक अथवा अधिक स्क्रू का प्रयोग करके तरलों को एक स्थान से दूसरे स्थान पर भेजा जाता है। इसकी क्रियाविधि भी गियर पम्प के समान ही होती है। इसके दो स्क्रू स्पिंडल होते हैं जिसमें एक चालक गियर पर तथा दूसरा चलित गियर पर लगा होता है। गियर शाफ्ट को चलाते हैं। तरल पदार्थ के लिए इनलेट हमेशा तल पर और आउटलेट पम्प के ऊपरी भाग में स्थित होता है।



चित्र 6.15—स्क्रू पम्प

क्रियाविधि (Working)—पम्प के तल पर प्रवेश (inlet) से तरल पदार्थ प्रवेश करता है। चालक तथा चलित पेंच विपरीत दिशाओं में घूमते हैं, जो पम्प के निचले हिस्से में एक चूषण दबाव बनाता है। यह दबाव द्रव को ऊपर की ओर खींचता है। तरल दोनों स्क्रू के मध्य छोटे से अवकाश (small clearance) में से गुजरता है तथा इस पर एक अपकेन्द्रिय बल कार्य करता है। अपकेन्द्रिय बल तथा चूषण दाब के संयोजन से द्रव ऊपर उठता है तथा पम्प से बाहर निकलता है।

§ 6.24. अपकेन्द्री पम्प (Centrifugal Pump) :

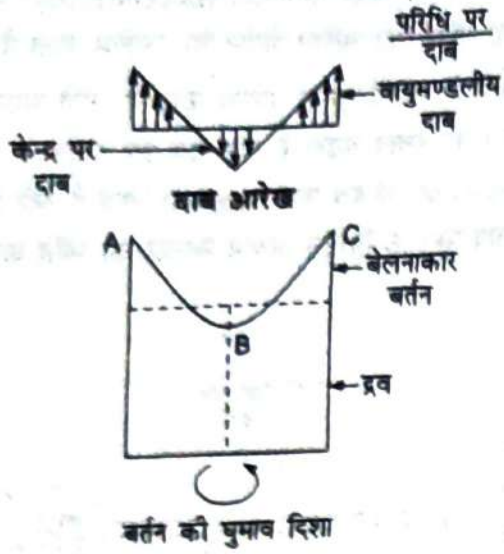
अपकेन्द्री पम्प गतिज दाब (Dynamic Pressure) पम्प के वर्ग में आते हैं। गतिज दाब पम्प द्वारा द्रव का दाब उसकी गति द्वारा प्राप्त किया जाता है। अपकेन्द्री पम्प में द्रव का उठाने का रास्ता अपकेन्द्री बल (Centrifugal Force) द्वारा प्राप्त होता है। आइये इस सिद्धान्त को समझें।

"The pump which raises water or a liquid from a lower level to a higher level by the action of centrifugal force, is known as a centrifugal pump."

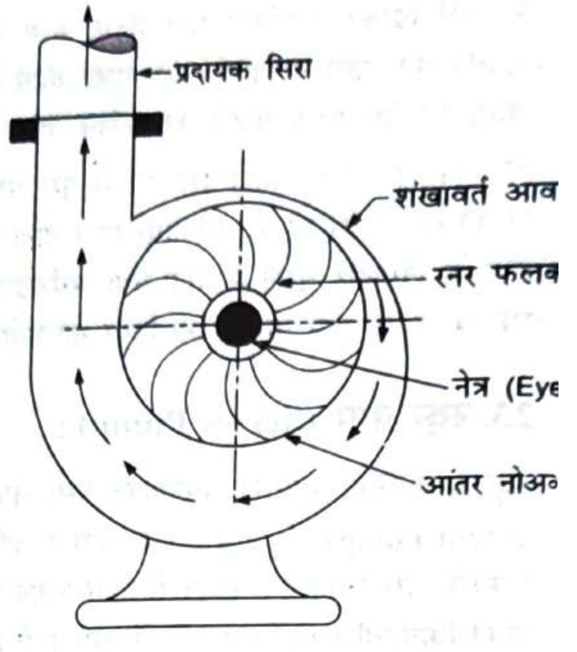
6.24.1. सिद्धान्त तथा क्रिया (Theory and Operation)

अपकेन्द्री पम्प का सिद्धान्त समझने हेतु चित्र 6.16 के दिखाये अनुसार सिलिंडर जैसा बर्तन लेकर उसमें कुछ गहराई तक पानी या द्रव भरकर उसे अपने कक्ष के चारों ... से घुमाया जाये तो द्रव की सतह दिखाये गये तल *ABC* की तरह हो जायेगी। इसका अर्थ ... द्रव में एक अतिरिक्त दाब-ऊर्जा आ गई और द्रव के किसी बिन्दु ... ग शीर्ष (**Peripheral Velocity Head**) के बराबर होती ...

और ... क्या के ... (Centrifugal Force) पर



चित्र 6.16



चित्र 6.17—अपकेन्द्री पम्प

अपकेन्द्री पम्प में एक आवरण (केसिंग या खोल Casing) के अन्दर एक घूमने वाला अंग लगा रहता है आन्तरनोदक (Impeller) कहते हैं। यदि पम्प को द्रव से भरकर (अर्थात् प्राइमिंग करके) आन्तरनोदक द्वारा द्रव क गति से घुमाया जाता है जिससे घूमते हुए द्रव पर अपकेन्द्री बल क्रिया करता है और तब द्रव में बाह्य अरीय (Out Radial) दिशा में एक दाब वृद्धि (Increase) होती है उसमें बाहर की तरफ बहने की प्रवृत्ति (Nature) आ जाती है। घूमने की गति काफी हो तो वे दाब वृद्धि पम्प के ऊपर पड़ने वाले प्रदाय शीर्ष (Delivery Head) से अधिक हो जा और द्रव प्रवाहित होने लगता है अर्थात् तब द्रव केन्द्र से दूर जाता है और केन्द्र पर आँशिक निर्वात (Partial Vacuu बनता है। इस निर्वात के कारण वायुमण्डलीय दाब पर बाहरी द्रव घूमने वाले अंग के आन्तरनोदक के) केन्द्र पर खिं जाता है और आन्तरनोदक के केन्द्रक से दूर काफी गति से लगातार द्रव प्राप्त होता है। बाद में द्रव की इस गतिज ऊर्जा पम्प के अन्दर ही दाब ऊर्जा में बदलकर उच्च दाब पर द्रव प्राप्त किया जाता है और यह द्रव पम्प के आवरण (Casin पर बने मार्ग द्वारा बाहर निकलता है। देखें चित्र 6.17। इस तरह अपकेन्द्री पम्प का क्रिया सिद्धान्त एक प्रतिवर्तित प्रतिक्रि टरबाइन (Reversed Reaction Turbine) के जैसा ही होता है।

"The action of a centrifugal pump is that of a reversed reaction turbine. In a reaction turbine, th water at high pressure, is allowed to enter the casing which gives mechanical energy its shaft, wherea in a pump, the mechanical energy is fed into the shaft and water enters the impeller which increases th pressure energy of the outgoing fluid. The water enters the impeller radially and leaves the vane axially."

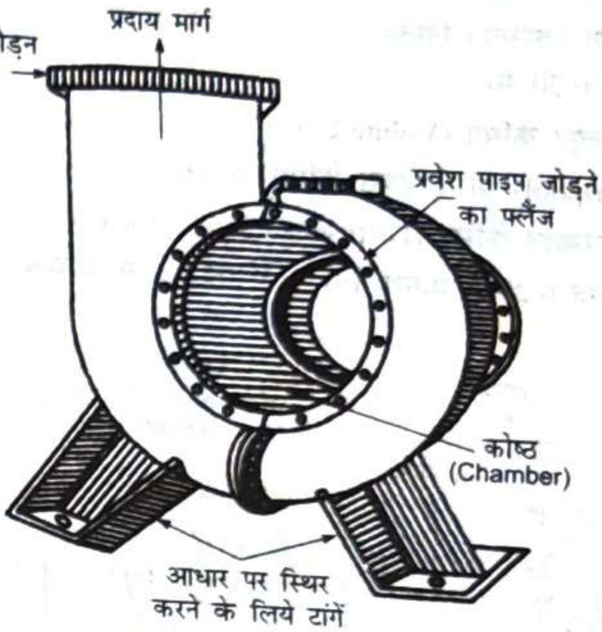
6.24.2. अपकेन्द्री पम्प की रचना (Construction)

अपकेन्द्री पम्प के मुख्य अंग (Components) निम्नलिखित हैं—

1. **घूमने वाला पहिया**, जो आन्तरनोदक (Impeller) कहलाता है।
2. आन्तरनोदक के बाहर चारों ओर बना हुआ **आवरण** (Casing)—यह वायुरोधी तथा जलारोधी (Air-tight an water tight) बनाई जाती है। देखे चित्र 6.18
3. **चूषण पाइप**—इसका ऊपरी सिरा पम्प के प्रवेश, जिसे अक्षि (Eye) कहते हैं, से जुड़ा रहता है और नीचे क सिरा द्रव कुण्ड (Reservoir) या (Sump) में डूबा रहता है। इस पाइप के अन्त में एक छत्रक सहित पाद-क

(Foot Valve with Strainer) लगाये जाते हैं। प्रवेश मार्ग से द्रव केसिंग या आवरण की अक्षि या नेत्र (Eye) में प्रवेश करता है जहाँ से इम्पेलर के केन्द्र में पहुँचता है।

4. **प्रदाय पाइप** (Delivery Pipe) आवरण (Casing) के निकास से जल या द्रव को प्रदाय टंकी तक ले जाता है। प्रदाय पाइप में एक नियन्त्रक वाल्व लगा देते हैं।

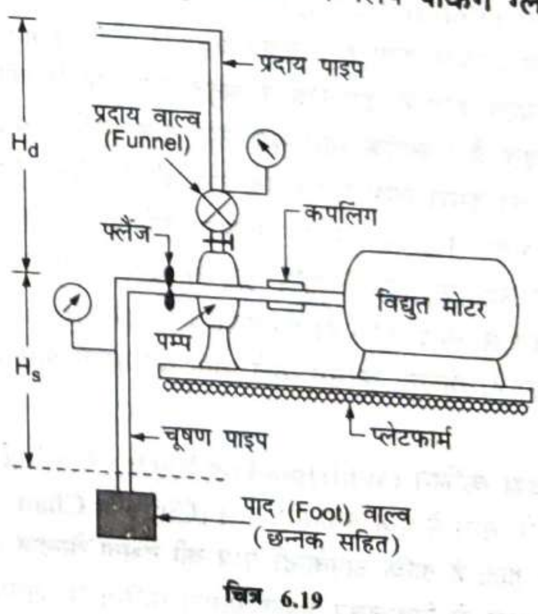


चित्र 6.18—आवरण

5. चूषण और प्रदाय दोनों पाइपों में अगर आवश्यक हो तो इनमें दाब को मापने हेतु निर्वात दाब मापी ओर गेजदाब मापी (Pressure Gauge) लगा दी जाती है।

6. **एक प्रथम (या मूल) चालक** (Prime-Mover) जैसे पेट्रोल या डीजल इंजन, विद्युत मोटर आदि जो इम्पेलर को घुमाते हैं।

7. विभिन्न स्थानों पर द्रव की लीकेज (Leakage) रोकने के लिये **पेकिंग ग्लैंड, स्टेफिंग बाक्स** लगाये जाते हैं।



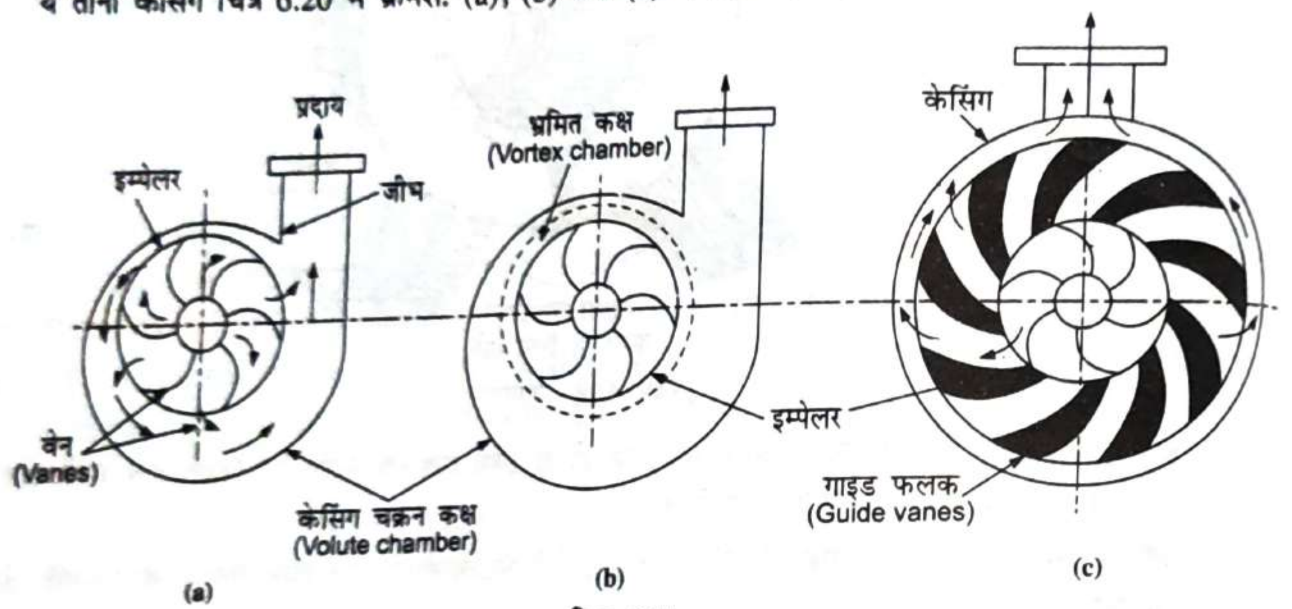
चित्र 6.19

6.24.3. अपकेन्द्री पम्पों के आवरण/केसिंग (Casing)

ये विशेष प्रकार के दो भागों में धातु को ढालकर (Casting से) बनाये जाते हैं। जिन्हें ऊर्ध्व समतल में बो जोड़ कर पूरा आवरण प्राप्त हो जाता है। आवरण के निचले भाग में आधार के लिये स्थिर करने का प्रबन्ध बना आवरण अपने केन्द्र पर दोनों ओर खुला रहता है जिसमें से लेकर शाफ्ट गुजरती है जिस पर आन्तरनोदक (इम्पेल किया जाता है। आवरण (केसिंग) निम्नलिखित तीन प्रकार के होते हैं, इनकी प्रकार के नाम पर अपकेन्द्री पम्प पड़ता है। देखिये चित्र 6.20 में।

1. केन्द्रज या वोल्यूट केसिंग (Volute Casing)
2. भ्रमिल (Whirlpool) या वोरटेक्स केसिंग (Vortex Casing)
3. निसारक या टरबाइन केसिंग (Diffuser or Turbine Casing)

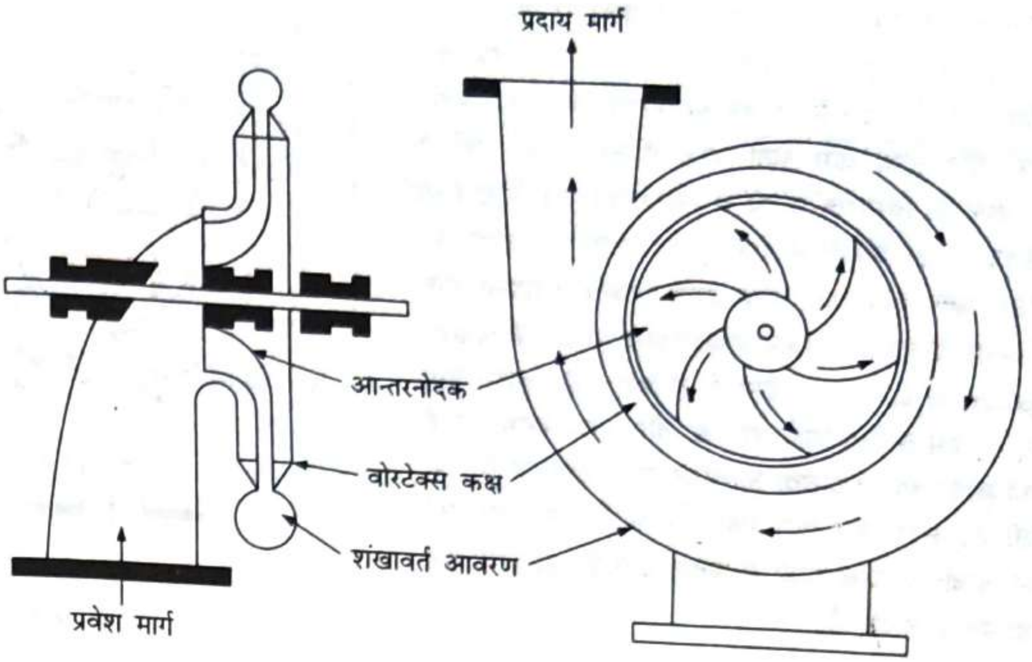
ये तीनों केसिंग चित्र 6.20 में क्रमशः (a), (b) तथा (c) में दिखलाई गई हैं।



चित्र 6.20

केन्द्रज या वोल्यूट केसिंग (Volute Casing)—चित्र 6.20(a) तथा 6.21 में दिखाये अनुसार इम्पेलर के च ओर आवरण में बना एक सर्पिल आकार होता है जिसका क्षेत्रफल जीभ (Tongue) से लेकर इम्पेलर के घूमने की दि में निकास की तरफ को बढ़ता चला जाता है। इस क्षेत्र के बढ़ते चले जाने के कारण द्रव की वेग ऊर्जा दाब ऊर्जा में ब जाती है और पम्प की दक्षता बढ़ती है (क्योंकि सारी वेग ऊर्जा दाब ऊर्जा में बदल जानी चाहिये तभी प्रदाय शीर्ष बढ़ेग साथ ही इस प्रकार की केसिंग का दूसरा लाभ यह है कि द्रव की अतिरिक्त मात्रा को लेने के लिये केसिंग का क्षेत्र बढ़ते जाना आवश्यक है वरना भंवर (Eddies) बनने से ऊर्जा हानि होगी। फिर भी व्यावहरतः यह पाया गया है कि केसिंग की दक्षता बहुत अधिक नहीं बढ़ पाती क्योंकि द्रव के इम्पेलर से निकलने के बाद उसका भ्रमर-वेग (Wh Velocity) अधिकतर प्रवाह-वेग से ज्यादा होता है। फलस्वरूप आघात (Impact) के कारण ऊर्जा हानि होती है और प की दक्षता पर उल्टा प्रभाव पड़ता है। वोल्यूट केसिंग वाले पम्पों का प्रयोग कम-शीर्ष पर द्रव की अधिक मात्रा पम्प क में किया जाता है।

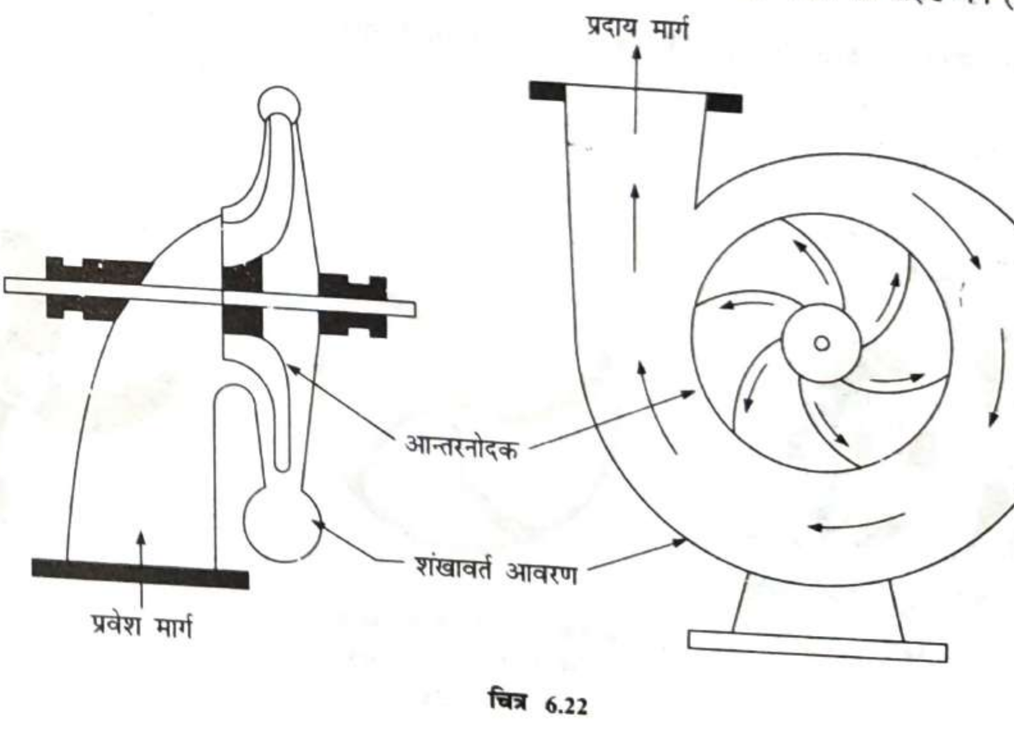
भ्रमिल केसिंग या वोरटेक्स केसिंग (Whirlpool or Vortex Casing) हेतु चित्र 6.20 (b) तथा 6.22 देखे इम्पेलर और केन्द्रज (Volute) के बीच में एक वृत्ताकार कक्ष (Circular Chamber) और बना देते हैं जो आयताकार का और एक समान चौड़ाई का होता है ताकि अपकेन्द्री पम्प की दक्षता केन्द्रज केसिंग वाले अपकेन्द्री पम्प से अपेक्षा बढ़ाई जा सके। क्योंकि द्रव इम्पेलर से निकलकर पहले भ्रमिल केसिंग में जायेगा जहाँ से यह त्रिज्या के बाहर की



चित्र 6.21

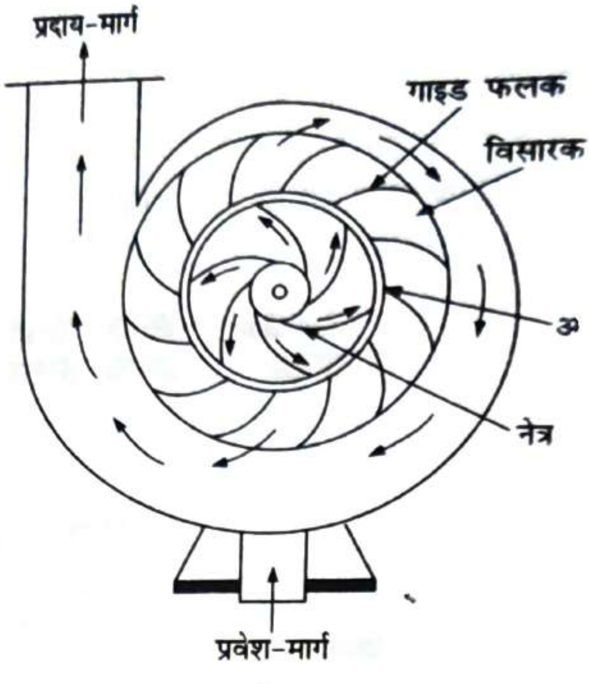
(Radially Outward) जाता है और साथ-साथ फिर केन्द्रज केसिंग में प्रवेश करता है अर्थात् साथ-साथ घुमावदार पथ पर भी चलता है जस कारण यहाँ एक प्रकार का मुक्त भ्रमिल (Free Vortex) बन जाता है जिसमें वेग-ऊर्जा दाब ऊर्जा में बदल जाती है। इस प्रकार पम्प की दक्षता बढ़ जाती है।

विसारक या टरबाइन केसिंग (Diffuser or Turbine Casing)—देखिये चित्र 6.20(c) तथा 6.23 में इम्पेलर एक स्थिर पहिये से घिरा रहता है और इस स्थिर पहिये में अनेक गाइड वेन लगी होती है जिसका क्षेत्रफल पहिये की परिधि की ओर बढ़ता जाता है। इस स्थिर पहिये को विसारक पहिया (Diffuser Wheel) कहते हैं। गाइड वेन (या गाइड फलकों)



चित्र 6.22

का कोण ऐसा बना होता है जिससे कि इम्पेलर से निकलने के बाद इन फलकों में द्रव आसानी से बिना टकराये प्रवेश कर सके और जैसे-जैसे द्रव स्थिर वेन या फलकों में होकर बहता है उसकी गति ऊर्जा कम होती जाती है तथा दाब ऊर्जा में बदलती जाती है। विसारक पहिये से निकलकर द्रव केन्द्रज या शंखावर्त (Volute) केसिंग में होता हुआ निकास पर पहुंचता है। इस केसिंग वाले पम्प को, चूंकि इसका क्रिया सिद्धान्त एक प्रतिवर्ती अन्तर्मुखी प्रवाह प्रतिक्रिया टर्बाइन (Reversed Inward-flow Reaction Turbine) जैसा ही है अत: इसे टर्बाइन पम्प भी कहते हैं। इस केसिंग वाले पम्प के तीन मुख्य लाभ यह है कि इसकी शाफ्ट क्षैतिज अथवा ऊर्ध्वाधर दोनों स्थितियों में रखी जा सकती है, अपेक्षाकृत कम स्थान घेरता है, और द्रव की 75% वेग ऊर्जा को दाब ऊर्जा में बदल देता है। हालांकि यह पम्प थोड़ा महंगा पड़ता है।



चित्र 6.23

§ 6.25. अपकेन्द्री पम्पों के इम्पेलर या आन्तरनोदक (Impellers) :

अधिकतर काँसे (Bronze) (धातु) को ढाल कर एक ही खण्ड में इम्लेपर बनाये जाते हैं। विशेष द्रवों के लिए म (Monel), निकिल (Nickel) तथा क्रोम (Chrome), आदि मिश्र धातुओं (Alloys) से बने इम्पेलर प्रयोग किये जा इम्पेलर को शाफ्ट (Shaft) पर कुंजी (Key) द्वारा आवरण में फिट किया जाता है और शाफ्ट को उपयुक्त बि (Bearings) की मदद से टिका दिया जाता है। इम्पेलर में वेन या फलकें लगी होती हैं। इम्पेलर एक या दोनों ओर से प्रवेश कराने वाले हो सकते हैं।

A. इम्पेलर निम्नलिखित तीन प्रकार के होते हैं—

1. **दोनों सिरों पर ढके हुये या बन्द (Surrounded or Closed)**—इम्पेलर चित्र 6.24 (a) में दिखाया गया जिसमें वेन या फलकों के दोनों ओर धातु की प्लेट या ढक्कन लगे रहते हैं। ये इम्पेलर साफ द्रव (जिनमें कू करकट आदि न हो) के लिए उपयोगी होते हैं और अधिक दक्ष होते हैं।

(a)

(b) एक सिरे पर ढके हुए या बन्द
(Shroud or one side)

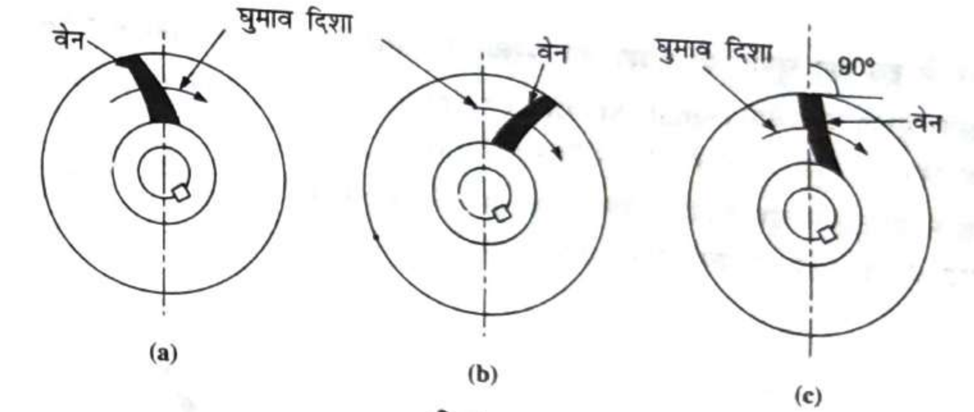
(c)

चित्र 6.24

2. **अधखुले या एक सिरे पर ढके हुए या बन्द (Surround or Closed on one Side)**—इम्पेलर चित्र 6.24(b) में दिखाया गया है जिसमें वेन या फलकों के केवल एक ही ओर धातु की बनी आधार प्लेट लगी होती है। ये इम्पेलर लुग्दीदार द्रवों या किसी सीमा तक गंदले पानी या कूड़ा करकट मिले द्रव के लिए प्रयोग किये जाते हैं।
3. **खुले (Open) इम्पेलर** में किसी भी ओर आधार प्लेट या ढक्कन प्लेट (Base Plate or Cover Plate) नहीं होती। देखिये चित्र 6.24(c) में। ये इम्पेलर गाढ़े लुग्दीदार (Pulpy), रेत या काफी कूड़ा-करकट मिले द्रवों के लिए उपयोगी होते हैं।

B. **इम्पेलरों की फलके या वेन (Vanes)** निम्नलिखित तीन प्रकार की हो सकती हैं—

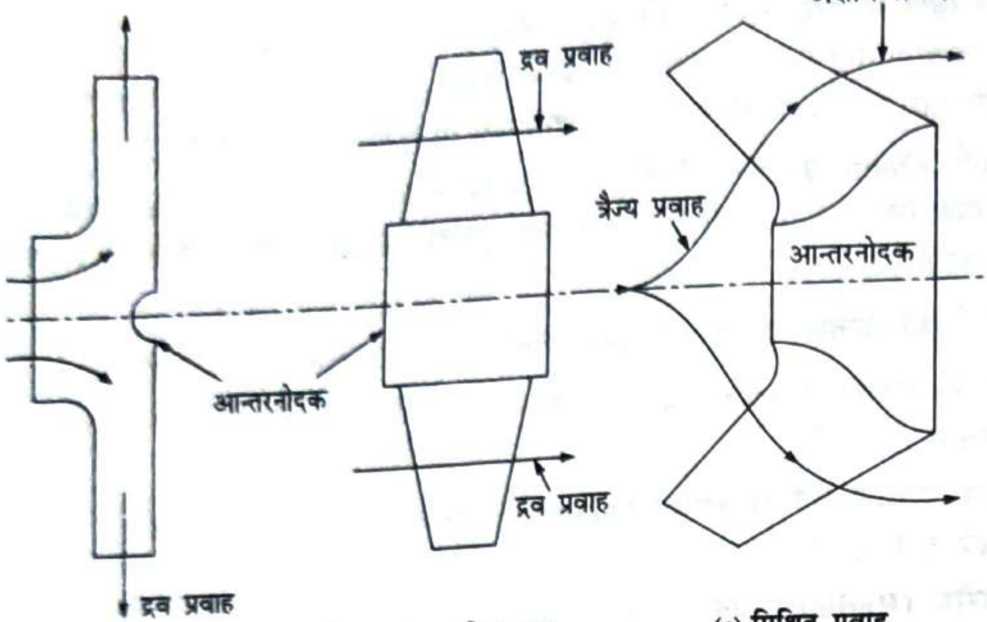
1. **पश्च-वक्रित (Curved-Back)**—वेन इम्पेलर की घूमने की दिशा से उल्टी ओर झुकी रहती है। देखिये चित्र 6.25(a) में।
2. **अग्र वक्रित वेन (Curved-Forward)**—इम्पेलर के घूमने की दिशा की तरफ झुकी रहती है। देखिये चित्र 6.25(b) में।
3. **अरीय (Radial)**—वेन के निकास टिप (Tip) अरीय होते हैं अर्थात् ये स्पर्शी के अभिलम्ब (Normal to Teangent) होते हैं। देखिये चित्र 6.25(c) में।



चित्र 6.25

C. **इम्पेलरों के अन्दर से द्रव का प्रवाह किस प्रकार हो रहा है इस आधार पर इम्पेलर अग्रलिखित तीन प्रकार के होते हैं—**

1. **अरीय प्रवाह (Radial Flow) इम्पेलर**—इनमें द्रव इम्पेलर के केन्द्र से प्रवेश करता है और अरीय दिशा में जाता है। देखिये चित्र 6.26(a)। इस प्रकार के इम्पेलर पम्प से अधिक प्रचलित हैं।
2. **मिश्रित प्रवाह (Mixed Flow)**—इम्पेलर में द्रव का प्रवाह चित्र 6.26(b) के अनुसार कुछ अरीय तथा कुछ अक्षीय होता है और दाब शीर्ष अन्ततः अपकेन्द्री बल के तथा अंशतः फलकों में उठने के कारण पैदा होता है। ये द्रव की अपेक्षाकृत अधिक मात्रा को कम ऊँचाई तक उठने में काम आते हैं और इनकी बनावट मिश्रित प्रवाह टर्बाइनों की तरह होती है।
3. **अक्षीय प्रवाह (Axial Flow)**—इम्पेलर चित्र 6.26(c) के अनुसार द्रव को अक्षीय रूप से शाफ्ट की अक्ष के सामान्तर प्रवाहित होने देते हैं। इनसे बहुत अधिक मात्रा में द्रव को काफी थोड़े शीर्ष तक उठाने में ही प्रयोग किया जाता है। सैद्धान्तिक रूप से इनमें द्रव पर कोई अपकेन्द्री बल नहीं कार्य करता। पहले द्रव को किसी बाह्य युक्ति (Device) से प्रवाहित करते हैं फिर द्रव इम्पेलर के घूमने से आगे बढ़ता जाता है।

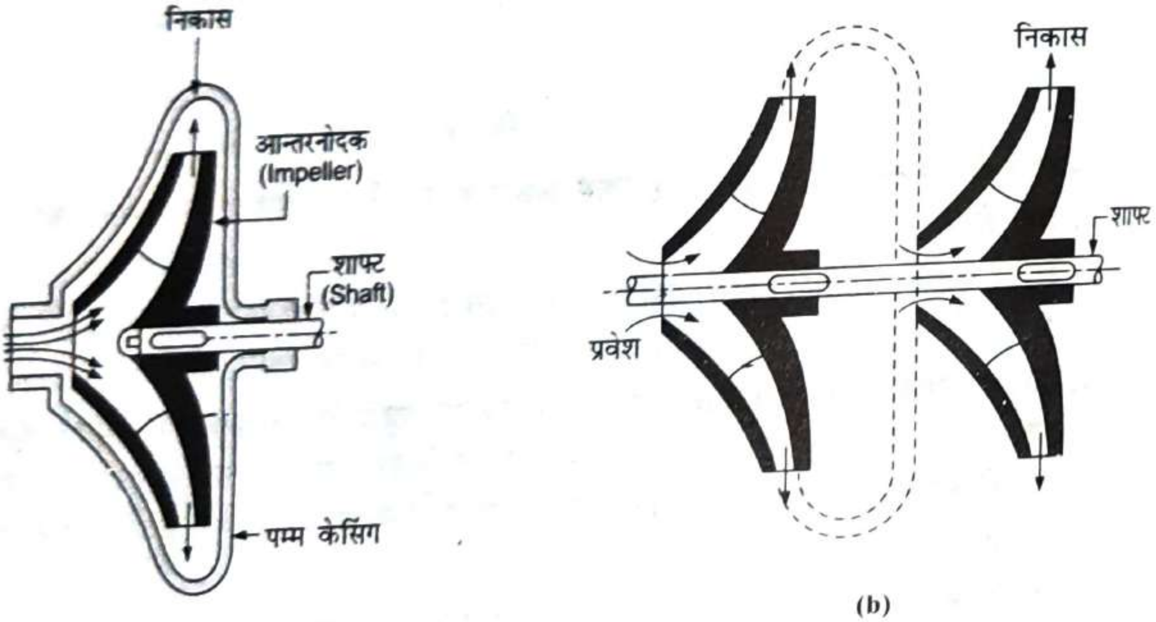


(a) त्रैज्य प्रवाह (b) अक्षीय प्रवाह (c) मिश्रित प्रवाह

चित्र 6.26

इम्पेलर में द्रव का चूषण या प्रवेश की संख्या के आधार पर इम्पेलर निम्नलिखित दो प्रकार के होते हैं

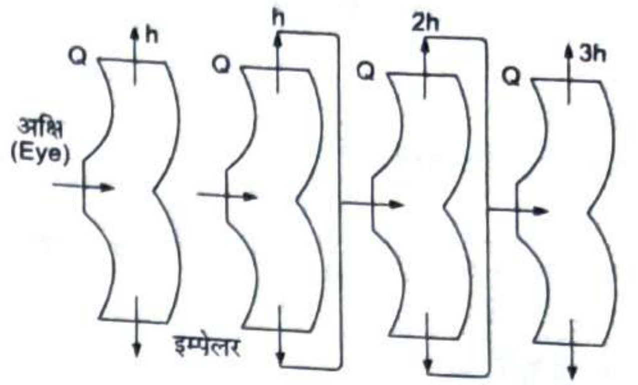
1. **एकल चूषण या प्रवेश (Single Suction or Entry)** इम्पेलर की रचना ऐसी होती है कि द्रव, केसिंग में, केवल एक ओर से प्रवेश करता है। देखिये चित्र 6.27(a) में।
2. **द्विकल या दोहरा चूषण (या प्रवेश) (Double Suction or Entry)** इम्पेलर की रचना ऐसी होती है कि द्रव केसिंग में, दो तरफ से प्रवेश करता है। देखिये चित्र 6.27(b) में।



(a) (b)

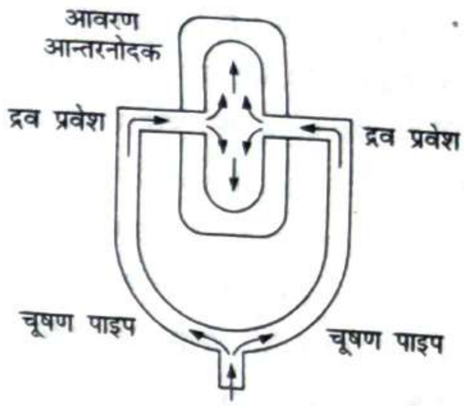
चित्र 6.27

अपकेन्द्री पम्प में इम्पेलरों को उनकी संख्या के आधार पर विभिन्न अवस्थाओं में, जैसे एकल अवस्था (Single Stage) या बहु अवस्था (Multi-Stage) में लगाया जा सकता है। देखिये चित्र 6.28(a) तथा (b) और 6.29(a) तथा (b)



चित्र 6.28

(a) ऐकल प्रवेश



(b) दोहरा प्रवेश

चित्र 6.29

§ 6.26. अपकेन्द्री पम्पों का वर्गीकरण (Classification) :

1. **कार्य शीर्ष (Working Heads)**—जिस शीर्ष पर पम्प द्वारा द्रव का प्रदाय होता है, के आधार पर—
   (a) निम्न-शीर्ष (Low Lift or Head) अपकेन्द्री पम्प—20 m कार्यकारी शीर्ष तक
   (b) मध्यम शीर्ष (High Head or Lift) अपकेन्द्री पम्प—20 से 40 m तक
   (c) उच्च शीर्ष (High Head or Lift) अपकेन्द्री पम्प—40 m से ऊपर शीर्ष पर कार्य करने वाले
2. **केसिंग (Casing) के आधार पर**—
   (a) केन्द्रज (Volute) केसिंग अपकेन्द्री पम्प—देखिये चित्र 6.20(a)
   (b) भ्रमिल या वोरटेक्स (Whirlpool Vortex) केसिंग अपकेन्द्री पम्प—देखिये चित्र 6.20(b)
   (c) विसारक या टर्बाइन (Diffuser or Turbine) केसिंग अपकेन्द्री पम्प—देखिये चित्र 6.20(c)
3. **पम्प शाफ्ट (Shaft) की स्थिति (Position) के आधार पर**—
   (a) क्षैतिज शाफ्ट पम्प
   (b) ऊर्ध्वशाफ्ट पम्प

4. इम्पेलर के वेन के खुले या बन्द होने के आधार पर—निम्नलिखित के लिये देखिये क्रमशः चित्र 6.24(a), (b) तथा (c)

(a) दोनों सिरों पर ढके इम्पेलर पम्प

(b) एक सिरे पर ढके या अध-खुले इम्पेलर पम्प

(c) खुले इम्पेलर पम्प

वे वर्गीकृत, प्रयोग किये जाने वाले द्रव की (Quality) साफ, गंदला या लुग्दीदार (Pulpy), गाढ़े आदि के अनुसार भी किया जा सकता है जैसा कि हम § 6.24.3 में पढ़ चुके हैं।

5. इम्पेलर की वेन की प्रकार के आधार पर—

(a) पश्च वक्रित (Curved-Back) वेन इम्पेलर पम्प—देखिये चित्र 6.25(a)

(b) अग्र वक्रित (Curved Forward) वेन इम्पेलर पम्प—देखिए चित्र 6.25(b)

(c) अरीय (Radial Flow) वेन इम्पेलर पम्प—देखिए चित्र 6.25(c)

6. इम्पेलर में से द्रव-प्रवाह की प्रकार के आधार पर—

(a) अरीय प्रवाह (Radial Flow) अपकेन्द्री पम्प—देखिए चित्र 6.26(a)

(b) अक्षीय प्रवाह (Axial Flow) अपकेन्द्री पम्प—देखिये चित्र 6.26(c)

(c) मिश्रित प्रवाह (Mixed Flow) अपकेन्द्री पम्प—देखिये चित्र 6.26(b)

7. इम्पेलर में द्रव प्रवेश की संख्या के आधार पर—

(a) एकल चूषण (Single Suction) अपकेन्द्री पम्प—देखिये चित्र 6.27(a)

(b) द्विकल चूषण (Double Suction) अपकेन्द्री पम्प—देखिये चित्र 6.27(b)

8. इम्पेलर की संख्या या अवस्था (Stage) के आधार पर—

(a) एकल अवस्था (Single Stage) अपकेन्द्री पम्प

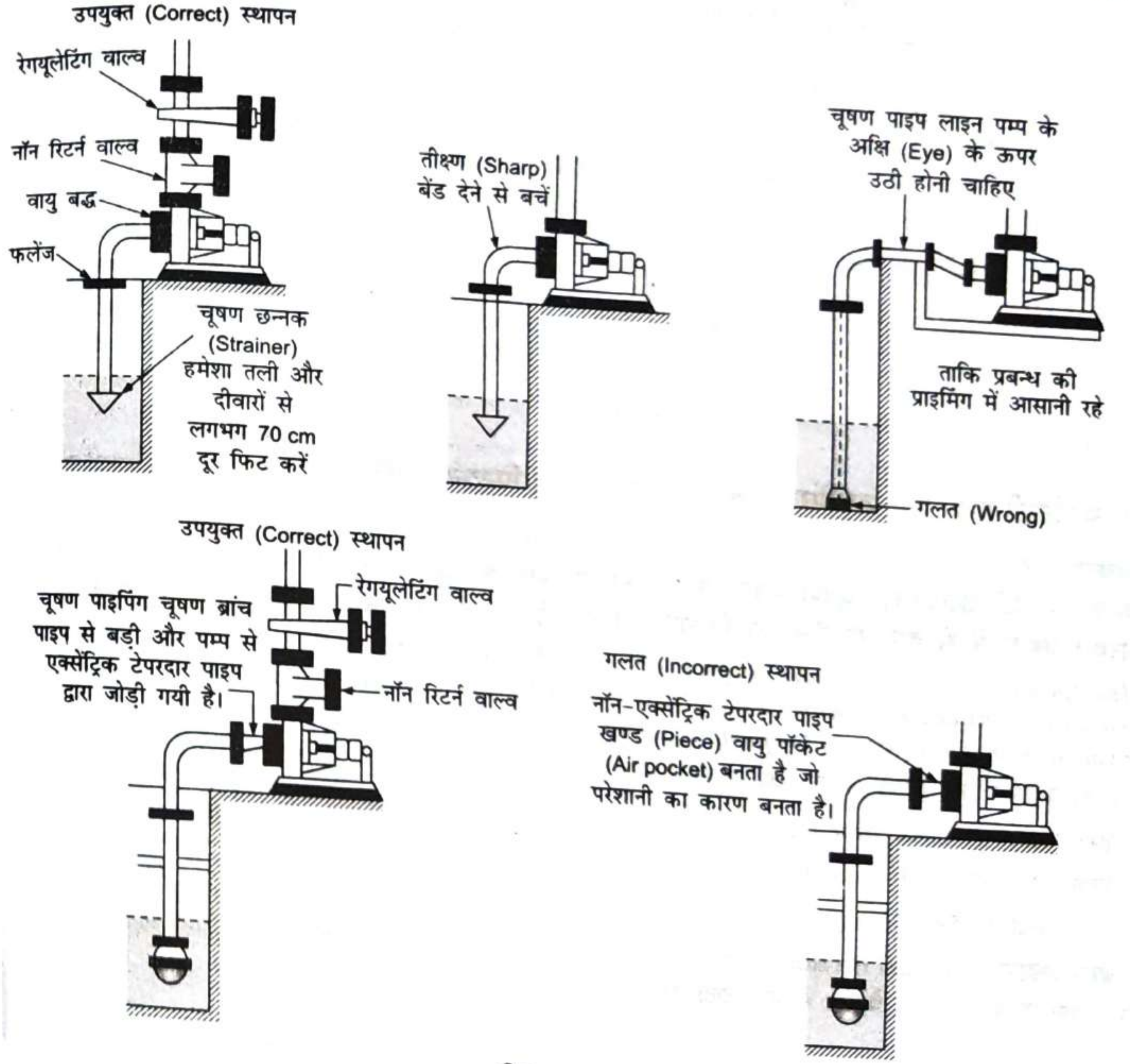
(b) बहु अवस्था (Multi Stage) अपकेन्द्री पम्प

एकल अवस्था (Single Stage) अपकेन्द्री पम्पों में केवल एक इम्पेलर होता है। ये इम्पेलर एकल चूषण या द्विकल चुषण या ऊर्ध्व शाफ्ट या क्षैतिज शाफ्ट वाला किसी भी प्रकार का हो सकता है। देखिये चित्र 6.28(a) तथा 6.29(a) में। परन्तु इन पम्पों का प्रयोग निम्न प्रदाय-शीर्ष (Low Delivery Head) के लिये ही होता है।

बहु-अवस्था (Multi-Stage) अपकेन्द्री पम्पों में एक ही शाफ्ट पर एक ही आवरण (केसिंग) में दो या दो से अधिक इम्पेलर लगे होते हैं। देखिये चित्र 6.28(b) में द्वि-अवस्था वाला अपकेन्द्री पम्प दिखाया गया है। इसमें द्रव पहले इम्पेलर के अक्षि (Eye) पर प्रवेश कर, इसकी परिधि से निकलने के बाद द्रव दूसरे इम्पेलर में जाता है अर्थात् पहले इम्पेलर का निकसित द्रव ही दूसरे इम्पेलर में प्रवेश करेगा और दूसरे इम्पेलर का निकसित द्रव ही तीसरे इम्पेलर में [देखिये चित्र 6.29(b)] और इस प्रकार यह क्रम चलता है तथा अन्तिम इम्पेलर से निकल कर द्रव चौड़े काट वाले अक्ष में होता हुआ प्रदाय पाइप में पहुँचता है जिससे इस दौरान इस क्रम में द्रव का दाब उत्तरोत्तर बढ़ते जाने से अन्त से अधिकतम दाब वाला द्रव प्राप्त होता है। एक इम्पेलर से दूसरे इम्पेलर में द्रव भेजने के लिये गाइड वेन (Guide Vanes) लगी होती हैं। इन पम्पों का प्रयोग उच्च शीर्ष प्राप्त करने के लिये करते हैं।

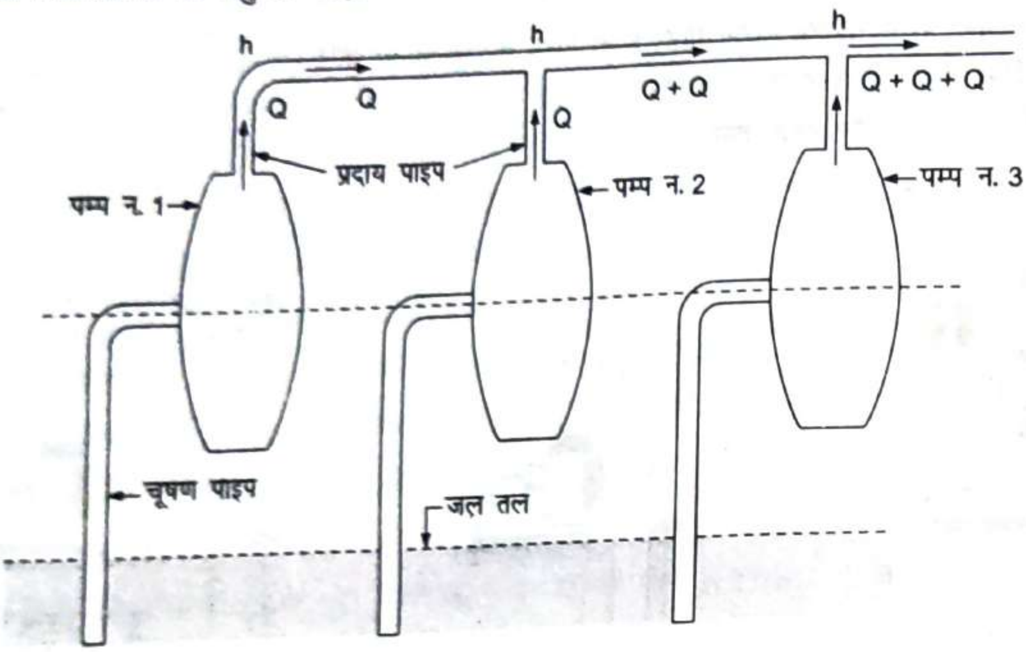
§ 6.27. अपकेन्द्री पम्प का संस्थापन (Installation) :

1. संस्थापन के लिये अपकेन्द्री पम्प को सबसे पहले उसकी नींव (Foundation) पर ऐसे रखते हैं कि नींव के ऊपरी तल तथा आधार प्लेट के निचले तल के बीच ग्राउटिंग (Grouting) के लिये 5 cm लगभग खाली रहे। इसके लिये लोहे की पट्टियाँ या फन्नियाँ (Wedges) प्रयोग करते हैं।
2. अब कपलिंग बोल्टों को खोलकर स्प्रिट लेविल (Spirit Level) को बाहर निकली शाफ्ट पर आवरण के उपयुक्त स्थान पर रखकर पम्प को लेविल करते हैं और कपलिंगों पर बोल्टों की सीध भी बना लेते हैं तथा कपलिंग अर्धों के आमने-सामने के तलों को भी फीलर गेज आदि की मदद से समान्तर स्थिति में समंजित (Assemble) कर देते हैं। ध्यान रहे कि यदि प्रथम चालक विद्युत मोटर है तो मोटर का चुम्बकत्व केन्द्र (Magnetic Centre) ज्ञात करके ही पम्प को लेविल करते हैं और यदि भाप टरबाइन द्वारा पम्प चलाना है या गर्म द्रव उठाना है तो लेविल करते समय इस स्थिति का भी ध्यान रखा जाये।



चित्र 6.30

3. लेविल करने के बाद (पम्प इकाई को) ग्राउटिंग करते हैं। अर्थात् सुधार प्लेट के नीचे नींव में बनाये गये खाँचे व खाली स्थान में सीमेंट-रोड़ी मसाले द्वारा, नींव-बोल्टों (Foundation Bolts) को उपयुक्त स्थिति प्रदान कर भरते हैं। दो तीन दिन बाद जब मसाला सैट (कठोर) हो जाये तो नींव-बोल्टों को कस देते हैं और कपलिंग-अर्धों को फिर चैक करते हैं।
4. पाइप फिटिंग, वाल्व व छन्नक तथा पाद वाल्व आदि की स्थिति चित्र 6.30 में दिखाई गई है।
5. यदि अपकेन्द्रीय पम्पों को समान्तर में जोड़ना हो (निश्चित निम्न शीर्ष हेतु तथा बहुत अधिक द्रव की प्रदाय-मात्रा हेतु) तो चित्र 6.31 के अनुसार जोड़े।



चित्र 6.31

§ 6.28. अपकेन्द्री पम्पों की प्राइमिंग (Priming) करना या पिन्हान युक्तियाँ (Priming Devices) :

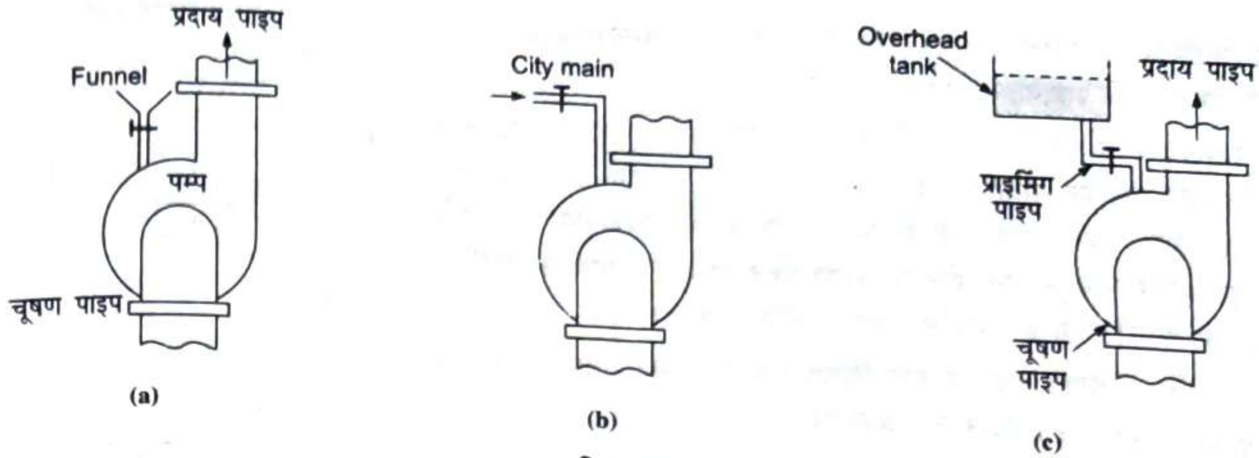
अपकेन्द्री पम्पों में प्राय: वाल्व बन्द कर व वायु निकास (पेट कॉक, Pet Cock) खोलकर (केसिंग पर लगी कॉक या टोंटी खोलकर), चूषण पाइप, व पूरे केसिंग (पम्प के) को प्रयोग किये जाने वाले द्रव से पूरी तरह भरकर प्रबन्ध में से वायु या गैस को निकाल देने की क्रिया को पम्प की प्राइमिंग करना कहते हैं।

"The operation of filling the suction pipe, casing of the pump and a portion of the delivery pipe completely from outside source with the liquid to be raised, before starting the pump, to remove the air, gas or vapour from these parts of the pump is called "Priming of a centrifugal pump."

पम्प की प्राइमिंग निम्न तरीकों से की जा सकती है—

1. हस्त प्राइमिंग (Manual Priming)
2. निर्वात द्वारा प्राइमिंग (Priming by Vacuum)
3. स्वत: प्राइमिंग (Self Priming)

1. हस्त प्राइमिंग (Manual Priming)—इस विधि में द्रव को हाथ द्वारा या सीधे ही किसी जगह भरे द्रव की टोंटी खोलकर चूषण पाइप और पम्प केसिंग में भरा जाता है।



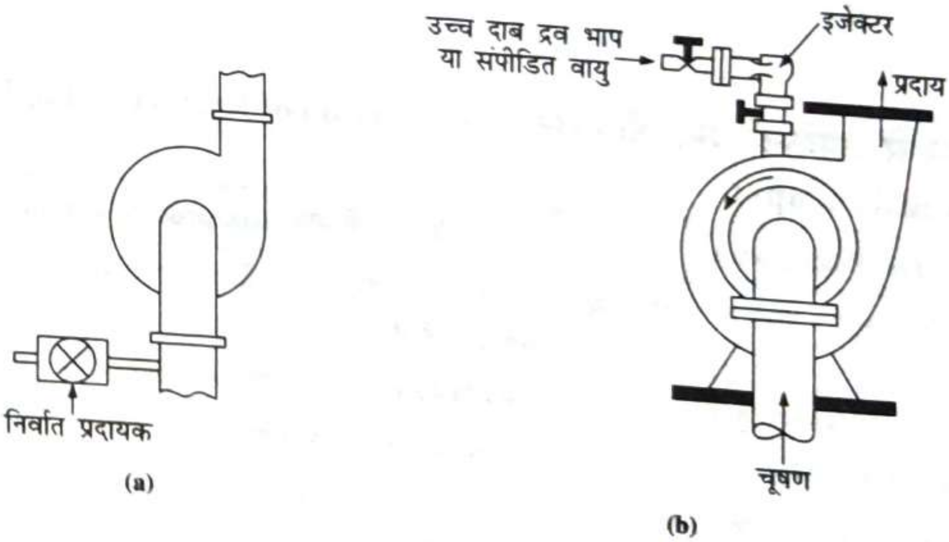
चित्र 6.32

(i) चित्र 6.32(a) के अनुसार पम्प पर लगी प्राइमिंग कीप (Priming funnel) की सहायता से द्रव भरा जाता है।

(ii) चित्र 6.32(b) के अनुसार सिटी-मेन (City Main) लाईन पम्प के साथ जोड़ दी जाती है तब आवश्यकतानुसार टोंटी खोलकर प्राइमिंग की जाती है।

(iii) इस विधि में जबकि पम्प ऊपरी शीर्ष टंकी को पानी प्रदान करता हो तब प्राइमिंग के उद्देश्य से प्रदाय पाइप से एक छोटा पाइप जोड़कर इस पाइप के दूसरे सिरे को पम्प केसिंग से जोड़ देते हैं या पम्प केसिंग में सीधे ही ऊपरी शीर्ष टंकी में एक पाइप लाकर जोड़ दिया जाता है जिसे प्राइमिंग पाइप कहा जाता है। देखिये चित्र 6.32(c)

2. निर्वात द्वारा प्राइमिंग (Priming by Vacuum)—निर्वात उपजाने वाली युक्तियों (Vacuum Producing Devices) की सहायता से या संपीडित वायु या उच्च दाब पर पानी का भाप चित्र 6.33(b) के अनुसार इजेक्टर (Ejector) में से होकर प्रवाहित करते हैं जिससे पम्प के केसिंग के ऊपरी भाग में निर्वात बन जाता है और वायु-मण्डलीय दाब के कारण पानी इम्पेलर तथा चूषण पाइप में चूषित होता है। आधुनिक पम्पों में विद्युत मोटर चालित निर्वात पम्प प्रयोग किये जाते हैं।

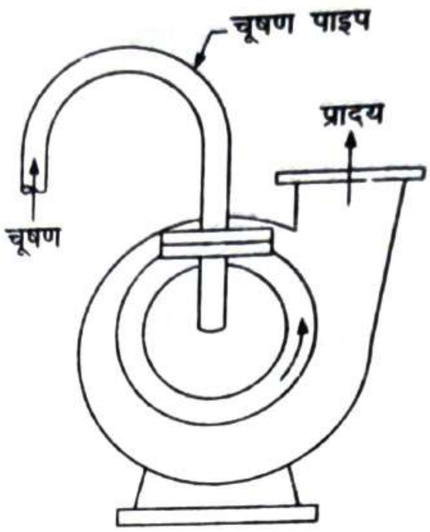


चित्र 6.33

3. स्वतः प्राइमिंग (Self Priming)—इस विधि में जल का संचरण (Circulation) स्वतः प्राइमिंग युक्तियों की सहायता से किया जाता है।

(i) चित्र 6.34 के अनुसार कुल पम्प-निर्माता अपने डिजाइन और पेटेन्ट (Patent) में ही स्वतः प्राइमिंग युक्तियाँ प्रदान करते हैं। जिसमें राइजिंग-मेन (Raising Main) और चूषण पाइप दोनों ही पम्प के शिखर पर चित्रानुसार जुड़े होते हैं। इस प्रकार पम्प के बन्द होने पर थोड़ा बहुत पानी (जो पम्प की प्राइमिंग के लिये काफी होता है) राइजिंग-मेन में बचा रहता है।

(ii) दूसरी विधि में चूषण पाइप में एक विशेष संग्राहक टंकी (Interposing a Special Reservior) प्रदान की जाती है।



चित्र 6.34

§ 6.29. अपकेन्द्री पम्पों के उपयोग (Uses of Centrifugal Pumps) :

अपकेन्द्री पम्पों का उपयोग इतना व्यापक है कि सभी का वर्णन सम्भव नहीं है। परन्तु इसके सामान्य उपयोग निम्नलिखित है—

(i) सिंचाई के लिए नलकूप (Tube-wells)
(ii) जल की निकासी (Drainage) विशेषकर बाढ़ आदि के पानी की
(iii) संघनित्रों (condensers) में जल का परिसंचरण (circulation)
(iv) मुनिसिपल वाटर वर्कस में जल-आपूर्ति
(v) वाहित मल (sewage) का निस्तारण
(vi) सार्वजनिक जल प्रदाय (public water supply)
(vii) तेल शोधक कारखानों में जल-आपूर्ति तथा तेल-निस्तारण
(viii) पैट्रोल पम्पस में पैट्रोल का पम्पन (pumping)
(ix) आग के बचाव।

§ 6.30. प्रत्यागामी पम्प से अपकेन्द्री पम्प की तुलना (Comparison of Reciprocating Pump with Centifugal Pump) :

अपकेन्द्री पम्प (Centrifugal pumps)	प्रत्यागामी पम्प (Reciprocating pump)
1. इसकी रचना सरल होती है क्योंकि इसमें अंगों की संख्या अपेक्षाकृत कम होती है।	इसकी रचना जटिल होती है क्योंकि इसमें अंगों की संख्या अधिक होती है।
2. निश्चित विसर्जन के लिए पम्प का भार कम होता है।	समान विसर्जन के लिए इसका भार अधिक होता है।
3. निम्न शीर्ष तथा अधिक विसर्जन के लिये उपयुक्त होते हैं।	कम विसर्जन तथा उच्च शीर्ष के लिए उपयुक्त होते हैं।
4. यह कम फर्श क्षेत्रफल (floor area) घेरता है तथा इसका प्रतिष्ठापन (installation) सुगम है।	यह अधिक क्षेत्रफल घेरता है तथा इसका प्रतिस्थापन भी सुगम नहीं होता।
5. इसकी टूट-फूट (wear and tear) कम होती है।	इसकी टूट-फूट अधिक होती है।
6. अनुरक्षण (maintenance) की लागत कम आती है।	अनुरक्षण की लागत अधिक होती है।

शेष आगे →

अपकेन्द्री पम्प (Centrifugal pupms)	प्रत्यागामी पम्प (Reciprocating pump)
7. गंदे पानी के लिए उपयोग किया जा सकता है।	गंदे पानी के लिए उपयोगी नहीं है।
8. उच्च गति पर चल सकता है।	उच्च गति पर नहीं चल सकता।
9. समान विसर्जन प्राप्त होता है।	असमान विसर्जन प्राप्त होता है।
10. वायुपात्र (air vessel) आवश्यक नहीं है।	वायुपात्र की आवश्यकता होती।
11. समान घूर्ण (Uniform torque) लगता है।	असमान घूर्ण लगता है।
12. परिचालन (Operation) सरल है।	परिचालन के लिए देख-रेख अधिक चाहिये।
13. प्राइमिंग आवश्यक है।	प्राइमिंग आवश्यक नहीं है।
14. प्रारम्भिक कीमत कम होती है।	प्रारम्भिक कीमत अधिक होती है।
15. निम्न शीर्ष पर दक्षता अधिक होती है।	निम्न शीर्ष पर दक्षता कम होती है।

§ 6.31. अपकेन्द्री पम्प का मैनोमीटर शीर्ष (Manometric Head) :

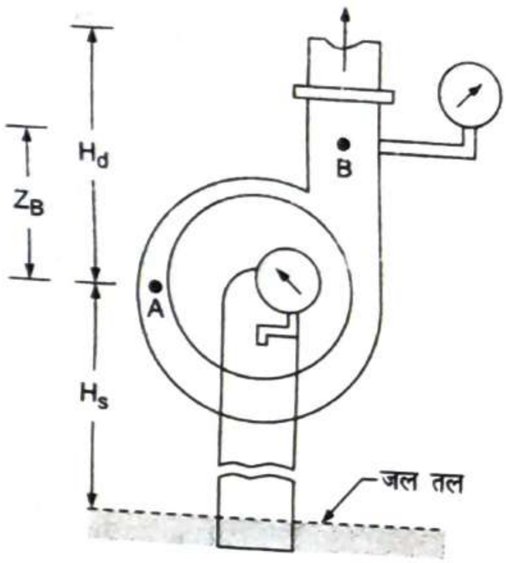
चित्र 6.35 के अनुसार

(i) **स्थैतिक शीर्ष** (Static Head)

$$H = H_s + H_d$$

(ii) **चूषण शीर्ष**, $= H_s + H_{fs} + \dfrac{V_s^2}{2g}$

जहाँ चूषण पाइप में घर्षण शीर्ष-हानि H_{fs} तथा इस पाइप के निकास पर शीर्ष-हानि $v_s^2/2g$ है जबकि v_s चूषण पाइप में द्रव का वेग है। एकल अपकेन्द्री पम्प में चूषण शीर्ष 4.5 m से अधिक नहीं रखा जाता।



चित्र 6.35

(iii) इसी प्रकार, **प्रदाय शीर्ष** $= H_d + H_{fa} + \dfrac{v_d^2}{2g}$

जहाँ प्रदाय पाइप में घर्षण शीर्ष हानि H_{fd}, तथा इस पाइप में द्रव प्रवाह वेग v_d के कारण निकास पर शीर्ष-हानि $\dfrac{v_d^2}{2g}$

(iv) मैनोमीटर शीर्ष, H_m = चूषण शीर्ष + प्रदाय शीर्ष

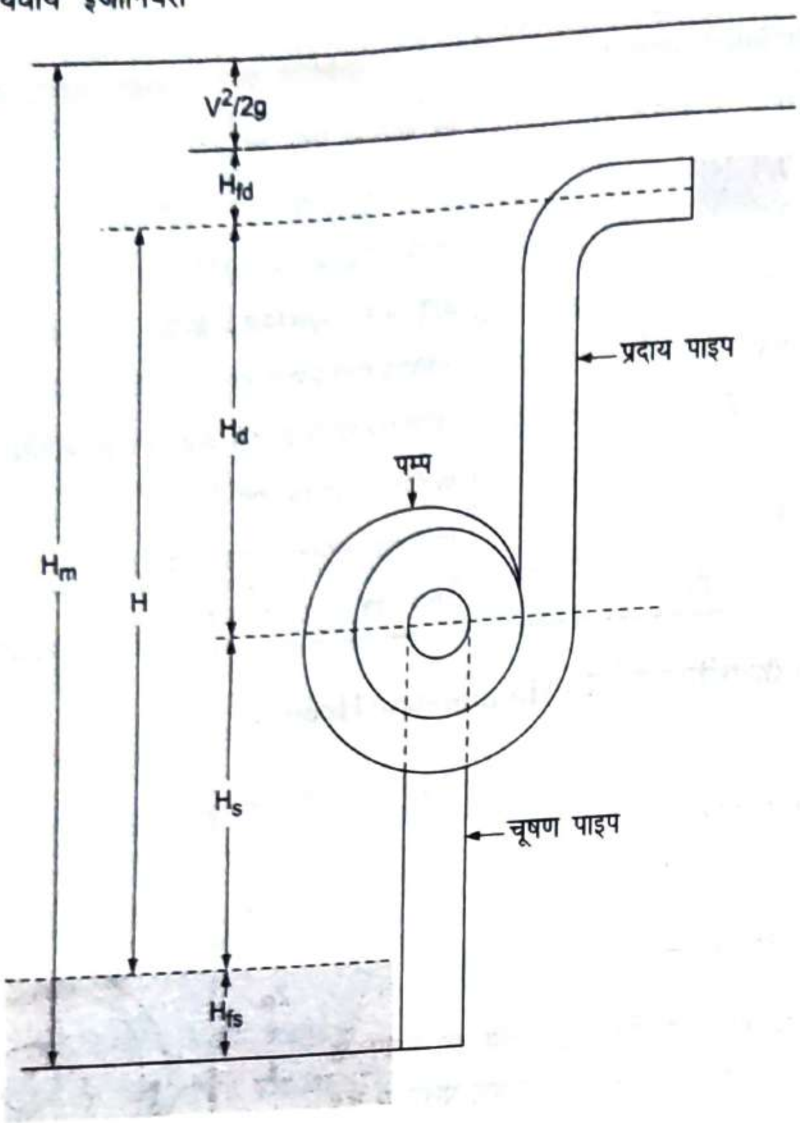
$$= H_s + H_{fs} + \frac{v_s^2}{2g} + H_d + H_{fd} + \frac{v_d^2}{2g}$$

या

$$H_s = H_s + H_d + \left[H_{fs} + H_{fd} + \frac{v_s^2}{2g} + \frac{v_d^2}{2g} \right]$$

= स्थैतिक शीर्ष + स्तम्भ शीर्ष हानियाँ

तथा दूसरे शब्दों में, H_m = पम्प के प्रवेश बिन्दु A पर तथा केसिंग के निकास बिन्दु B पर दाब शीर्षों का अन्तर



चित्र 6.36

$$= H_B - H_A$$

$$= \left(\frac{p_B}{w} + \frac{V_B^2}{2g} + Z_B\right) - \left(\frac{p_A}{w} + \frac{V_A^2}{2g} + Z_A\right)$$

चूँकि पम्प के केन्द्र से ही आधारतल (Datum Level) गुजरता हुआ माना जाये तो $Z_A = 0$ होगा।

§ 6.32. अपकेन्द्री पम्प में विभिन्न हानियाँ (Pump Losses) :

1. द्रवीय हानियाँ (Hydraulic Losses)—ये दो प्रकार की होती हैं—

(a) पम्प में ये हानियाँ इम्पेलर में प्रवेश व निकास पर भवरों (Eddies) के बनने के कारण हानि, इम्पेलर में घर्षणहानि, विसारक (Diffuser) में भंवर व घर्षण आदि के कारण हानियाँ होती हैं।

(b) **चूषण व प्रदाय** पाइपों में होने वाली समस्त विभिन्न शीर्ष हानियाँ

2. यांत्रिक हानियाँ (Mechanical Losses)—ये हानियाँ, मुख्य बियरिंग व ग्लैंड, कपलिंग आदि घर्षण या सर्पी (Slip) आदि के कारण होने वाली हानियाँ हैं।

इन उपरोक्त हानियों को गणितीय रूप से निम्न प्रकार समझा जा सकता है—

(i) विद्युत मोटर द्वारा इम्पेलर को दी ऊर्जा = इम्पेलर द्वारा दी ऊर्जा + यांत्रिक हानियाँ

(ii) शाफ्ट h.p.—यांत्रिक हानियाँ = इम्पेलर h.p.

(iii) इम्पेलर h.p.—पम्प में द्रवीय हानियाँ = केसिंग निकास h.p.

(iv) केसिंग निकास पर h.p.—चूषण व प्रदाय पाइपों में हॉनियाँ = स्थैतिक h.p.

§ 6.32. अपकेन्द्री पम्प की दक्षतायें (Efficiencies) :

नोट—हम जानते हैं, $\eta = \frac{\text{Output}}{\text{Input}}$ से

1. मैनोमीटर दक्षता (Manometric Efficiency) या द्रवीय दक्षता (Hydraulic Efficiency)

$$\eta_{hyd} \text{ या } \eta_{man} = \frac{\text{मैनोमीटर शीर्ष}}{\text{मैनोमीटर शीर्ष + पम्प में द्रवीय हानियाँ}}$$

$$= \frac{H_m}{H_m + H_l} = \frac{\text{केसिंग निकास पर h.p.}}{\text{इम्पेलर की h.p.}}$$

2. यांत्रिक दक्षता (Mechanical Efficiency)

$$\eta_{mech} = \frac{\text{इम्पेलर की ऊर्जा}}{\text{शाफ्ट को दी गई ऊर्जा}} = \frac{\text{इम्पेलर की ऊर्जा}}{\text{इम्पेलर की ऊर्जा + यांत्रिक हानियाँ}}$$

$$= \frac{\text{इम्पेलर h.p.}}{\text{मोटर की शाफ्ट h.p.}}$$

3. वास्तविक या सकल दक्षता (Actual or Overall Efficiency)

$$\eta_t \text{ या } \eta_v = \frac{\text{मैनोमीटरी शीर्ष}}{\text{प्रति न्यूटन जल के लिए शाफ्ट को दी गई ऊर्जा}}$$

$$= \frac{\frac{\text{जल का उठाया गया भार} \times \text{मैनोमीटरी शीर्ष}}{75\text{ g}}}{\text{शाफ्ट h.p.}}$$

$$= \frac{\frac{W \times H_m}{75\text{ g}}}{\text{शाफ्ट h.p. (या Shaft horse power)}}$$

नोट—जहाँ उठाया गया भार न्यूटन में।

§ 6.34. पम्पों को विशिष्ट करना (Pump's Specifications) :

इस उद्देश्य के लिए निम्न बातें बताई जाती हैं—

1. पम्प की प्रकार (विस्तृत रूप से इम्पेलर केसिंग आदि भी बतायें)

2. पम्प की चालक युक्ति (Drive)—विद्युत मोटर या तेल इंजन आदि।

3. क्षमता (ली०/से० या m^3/min)

4. कुल स्थैतिक शीर्ष उठान (Total Lift) समस्त हानियों को ध्यान में रखते हुए मीटर में।

5. चूषण व प्रदाय पाइपों के साइज (व्यास आदि)।

6. प्रयोग किये जाने वाले द्रव का विवरण।

7. प्रायोगिक स्थल या कार्य का विवरण।

प्रश्नावली

1. जल टरबाइन की परिभाषा बताइये।
2. जल टरबाइन का क्रिया सिद्धान्त समझाइये। (UP 2
3. जल टरबाइन के मुख्य अंगों का वर्णन करिये।
4. जल टरबाइनों का वर्गीकरण कीजिये।
5. प्रेरित (impulse) जल टरबाइन की केसिंग के क्या कार्य हैं?
6. प्रेरित जल टरबाइन को कैसे नियन्त्रित किया जाता है?
7. प्रेरित (impulse) तथा प्रतिक्रिया (reaction) टरबाइन में क्या अन्तर है?
8. स्वच्छ चित्र की सहायता से पेल्टन व्हील के मुख्य अंगों का वर्णन करिये। (UP 2019(S
9. पेल्टन टरबाइन के मुख्य भागों के नाम बताइये तथा इनके कार्य समझाइये।
10. संक्षेप में पेल्टन-व्हील की कार्य-विधि का वर्णन करिये। (UP 201
11. फ्राँसिस टरबाइन के मुख्य भागों के नाम बताइये तथा उनके कार्य समझाइये।
12. संक्षेप में फ्राँसिस टरबाइनों की कार्य विधि का वर्णन करिये। (UP 2007, 08, 10, 12, 14, 15
13. फ्राँसिस टरबाइन का रेखाचित्र बनाइये।
14. फ्राँसिस तथा कपलॉन टरबाइन में अन्तर बताइये। (UP 2006, 13
15. एक कपलान टरबाइन का चित्र दीजिये एवं इसके महत्वपूर्ण भागों के नाम दीजिये। (UP 2009, 11
16. स्वच्छ चित्र की सहायता से एक आवेगी टरबाइन की कार्यविधि समझाइये। (UP 2008, 13
17. प्रतिक्रिया टरबाइन (Reaction turbine) का एक स्वच्छ चित्र बनाइये तथा नामांकन करें। (UP 201
18. प्रोपेलर टरबाइन का संक्षिप्त वर्णन करें तथा कपलान टरबाइन से प्रमुख अन्तर बताइये।
19. टरबाइन की एकांक गति (unit speed) एकांक शक्ति (unit power) तथा एकांक विसर्जन (unit discharge) को परिभाषित करें।
20. टरबाइन की विशिष्ट गति (specific speed) क्या है? इसके लिए व्यंजक व्युत्पन्न कीजिए।
21. कोटरण (cavitation) को परिभाषित कीजिए तथा समझाइये।
22. जल पम्प से आप क्या समझते हैं?
23. पश्चाग्र पम्प की रचना चित्र की सहायता से बताइये। (UP 2019(S
24. पश्चाग्र पम्प का चित्रों की सहायता से कार्य-सिद्धान्त समझाइये। (UP 2006, 12, 14
25. एक डबल एक्टिंग पश्चाग्र पम्प का रेखाचित्र बनाइये तथा उसकी कार्य प्रणाली समझाइये। (UP 2011, 1
26. चूषण तथा प्रदाय शीर्ष क्या है?

27. पश्चाग्र पम्प में वायुपात्र (air vessel) का कार्य एवं उसकी कार्य विधि समझाइये।
28. स्वच्छ चित्र सहित अपकेन्द्री पम्प का सिद्धान्त एवं उसकी कार्य विधि समझाइये।
29. अपकेन्द्री पम्प का रेखाचित्र खींचिये तथा विभिन्न भागों के नाम लिखिये।
30. अपकेन्द्री पम्प का विन्यास (layout) स्वच्छ चित्र की सहायता से समझाइये। **(UP 2019(S))**
31. अपकेन्द्री पम्प में प्रयोग होने वाले तीन प्रकार के आवरणों (casing) के रेखाचित्र बनायें। **(UP 2011, 15)**
32. अपकेन्द्री पम्प में आन्तरनोदक (impeller) के उपयोग बताइये।
33. अपकेन्द्री पम्प में तीन प्रकार के आन्तरनोदकों का वर्णन करिये।
34. अपकेन्द्री पम्पों की विभिन्न शीर्ष हानियाँ बताइये।
35. अपकेन्द्री पम्प में चूषण शीर्ष को कौन से कारक सीमित करते हैं? समझाइये।
36. पश्चाग्र पम्प, अपकेन्द्री पम्प से किस प्रकार भिन्न होता है?
37. प्राइमिंग क्या होती है एवं यह क्यों आवश्यक है? **(UP 2008)**
38. प्राइमिंग की व्याख्या कीजिये। यह क्यों की जाती है? **(UP 2019(S))**
39. प्राइमिंग की प्रमुख विधियों का वर्णन करिये।
40. अपकेन्द्री पम्पों के विभिन्न उपयोग बताइये।
41. एक पश्चाग्र पम्प की अपेक्षा अपकेन्द्री के लाभ तथा हानियाँ बताइये।
42. अपकेन्द्री पम्प का वर्गीकरण कैसे किया जाता है?
43. अपकेन्द्री पम्प में होने वाली विभिन्न हानियों का वर्णन कीजिए।
44. अपकेन्द्री पम्प की विभिन्न दक्षताओं का वर्णन कीजिए।
45. पम्पों की किस प्रकार विशिष्ट (specify) किया जाता है।
46. अपकेन्द्री पम्पों के संस्थापन (Installation) पर टिप्पणी कीजिए।

7 Chapter

तेल शक्तियुक्त द्रविक तथा वायवी[illegible] प्रणालियों का परिच[illegible]

(Introduction to Oil Power Hydraulic an[illegible] Pneumatic Systems

§ 7.1. परिचय (Introduction) :

अधिकतर औद्योगिक प्रक्रियाओं में वस्तुओं को एक स्थान से दूसरे स्थान तक पहुँचाने के लिए अथवा किसी उत्पाद को पकड़ने, आकृति करने और संपीडित करने के लिए प्रथम चालक (Prime movers) की आवश्यकता होती है। अधिकतर जगहों पर प्रथम चालक विद्युत चालित होते हैं परन्तु अन्य साधनों जैसे आवरणयुक्त तरलों (Enclosed fluids) (द्रव तथा गैसें दोनों) का प्रयोग भी आवश्यकतानुसार ऊर्जा को एक स्थान से दूसरे स्थान तक संचारित करने के लिए, घूर्णी अथवा रेखीय गति उत्पन्न करने के लिए और कोई बल लगाने के लिए, किया जा सकता है। तरल आधारित प्रणालियाँ जो द्रव को संचारण माध्यम के रूप में प्रयोग करती है, द्रविक (Hydraulic) प्रणालियाँ कहलाती है। द्रव प्राय: पानी या तेल होता है। गैस आधारित प्रणालियाँ वायवीय (Pneumatic) प्रणालियाँ कहलाती है। प्राय: प्रयुक्त होने वाली गैस साधारण संपीडित वायु होती है परन्तु कभी-कभी नाइट्रोजन का भी प्रयोग किया जाता है।

द्रविक अथवा वायवीय प्रणालियों के प्रमुख लाभ और अलाभ दोनों, कम घनत्व वाली संपीडिय गैसों तथा अपेक्षाकृत उच्च घनत्व वाले असंपीडिय द्रवों के विभिन्न अभिलक्षणों से उत्पन्न होती है। उदाहरण के लिए एक वायवीय प्रणाली, एक द्रविक प्रणाली की तुलना में एक नरम क्रिया (Softer action) होती है क्योंकि द्रविक प्रणाली के अन्तर्गत पाइपों में झटकों सहित शोर एवं टूटफूट आदि की प्रवृत्ति होती है। यद्यपि द्रव आधारित द्रविक प्रणाली अपेक्षाकृत उच्च दाबों पर क्रिया कर सकती है तथा उनसे बहुत अधिक बल लगाया जा सकता है।

§ 7.2. एक द्रविक प्रणाली (A Hydraulic System) :

एक हाइड्रोलिक लाइन सहित प्रणाली को चित्र 1.1 में प्रदर्शित किया गया है। इस अनुप्रयोग में उपयुक्त द्रविक रेखा[illegible] गति प्रदान करने के लिए एक रैम का प्रयोग किया जाता है जैसाकि चित्र 1.1(a) में प्रदर्शित है। इसमें एक चल पिस्टन आउटपुट शाफ्ट से सीधा जुड़ा होता है।

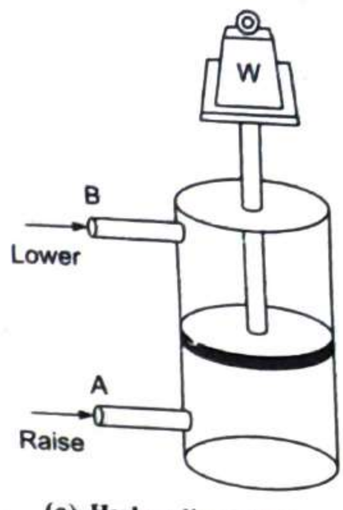
यदि तरल को पाइप A द्वारा पम्प किया जाता है तो पिस्टन ऊपर की ओर चलेगा तथा शाफ्ट का प्रसार होगा और यदि तरल को पाइप B द्वारा प्रवेशित कराया जाता है तब शाफ्ट अपनी पूर्व अवस्था में लौट आयेगी। अत: पिस्टन की बिना दाबि[illegible] तरफ (Nonpressurised side) से तरल की पुर्नप्राप्ति हेतु कोई विधि प्रयोग करनी होगी। सिलेण्डर से उपलब्ध होने वाला अधिकतम बल तरल के दाब तथा पिस्टन के अनुप्रस्थ काट के क्षेत्रफल पर निर्भर करता है। उदाहरण के लिए 150 [illegible] के द्रव दाब से 4.2 cm व्यास वाले पिस्टन द्वारा 2000 kg भार उठाया जा सकता है।

चित्र 1.1(b) में एक द्रविक प्रणाली को प्रदर्शित किया गया है। इस प्रणाली (system) के परिचालन हेतु एक तर[illegible] (liquid fluid) तथा एक बन्द लूप में लगी हुई पाइपिंग (Piping) की आवश्यकता होती है जिसमें पिस्टन के एक सा[illegible] में स्टोरेज टैंक से द्रव स्थानान्तरित होती है तथा दूसरी साइड से द्रव टैंक में वापस जाता है। द्रव को स्टोरेज टैंक से ए[illegible] पंप द्वारा चूषित करके 150 bar के वांछित दाब पर प्रवाहित किया जाता है। पंप को विद्युत मोटर द्वारा चलाया जाता है। [illegible]

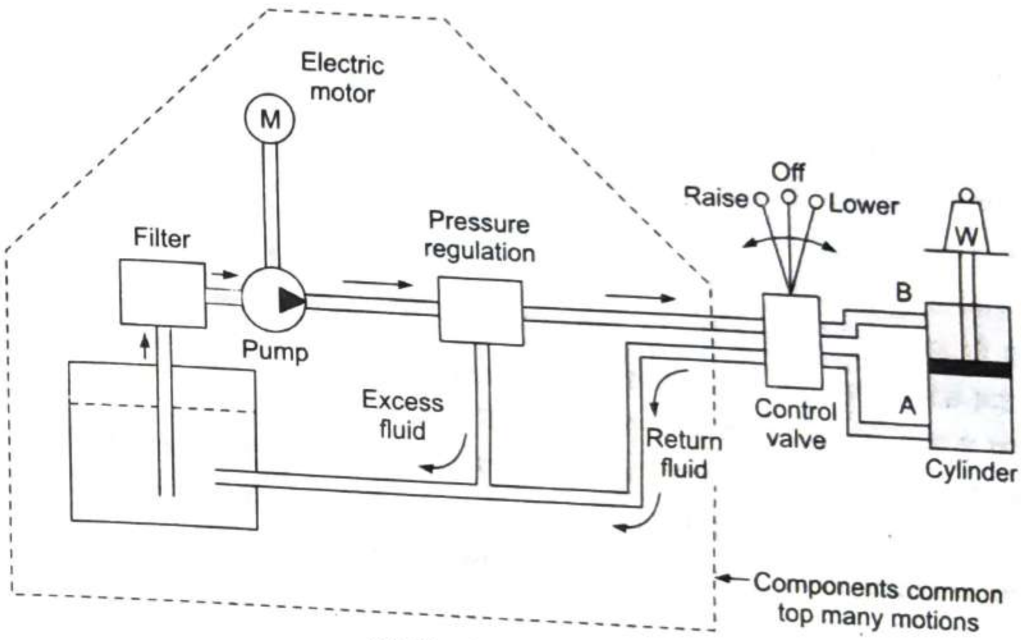
उ
स
हो
हैं

भी एक धनात्मक विस्थापन (positive displacement) प्रकार का होता है जो द्रविक तेल या तरल को फिल्टर में से गुजारता हुआ चूषित करता है और दाब बढ़ाकर विसर्जित करता है। उच्च दाब पर यह तेल नियन्त्रक वाल्व (Regulating valve) में जाता है जो अतिरिक्त तेल वापस टैंक में भेज देता है। एक दिशा नियन्त्रण वाल्व (Direction Control Valve) द्वारा सिलेण्डर के परिचालन को नियन्त्रित किया जाता है। भार को ऊपर उठाने के लिए दाब रेखा (Pressure line) को सिलेण्डर के बिन्दु A तथा टैंक को बिन्दु B पर जोड़ा जाता है।

सिलेण्डर पर भार के उठने की गति को सिलेण्डर में भेजे जाने वाले द्रव की मात्रा (Volume flow rate) को कम/अधिक करके नियन्त्रित किया जा सकता है। द्रविक प्रणाली का प्रमुख लाभ यह है कि इसमें कम गतियों पर सुक्ष्म नियन्त्रण प्राप्त किया जा सकता है। फिल्टर का कार्य धूल मिट्टी आदि के कणों के द्रव से अलग करके ही उसे पम्प में भेजना है।



(a) Hydraulic cylinder

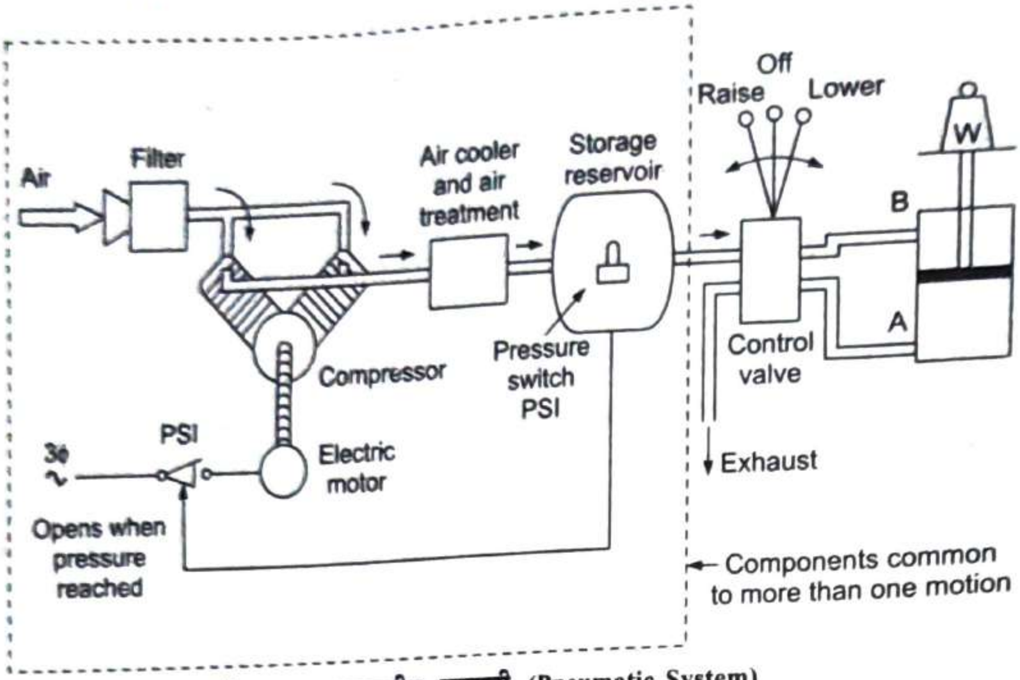


(b) Physical components

चित्र 7.1—द्रविक प्रणाली (Hydraulic System)

§ 7.3. एक वायवीय प्रणाली (A Pneumatic System) :

चित्र 7.2 एक वायवीय प्रणाली को प्रदर्शित किया गया है। इसमें भी मूलत: गति प्रदान करने वाला अवयव एक सिलिण्डर ही होता है जिसकी शाफ्ट पर लगने वाला बल वायु के दाब (air pressure) तथा पिस्टन के अनुप्रस्थ काट के क्षेत्रफल (C.S. area) पर निर्भर करता है। वायवीय प्रणाली में कार्यकारी दाब सामान्यतया द्रविक प्रणाली की तुलना में बहुत कम होता है। उदाहरण के लिए 10 बार के वायु दाब से 16 cm व्यास वाले पिस्टन द्वारा 2000 kg का भार उठाया जा सकता है। अत: समान भार उठाने के लिए द्रविक प्रणाली की तुलना में वायवीय प्रणाली में बड़े सिलिण्डर (actuators) की आवश्यकता होती है। क्योंकि वायु सर्वव्याप्त तथा आसानी से उपलब्ध होती है इसीलिए क्रिया के पश्चात् इसे वापस टैंक में नहीं भेजते हैं बल्कि बाहर खुले वातावरण में छोड़ देते हैं।



चित्र 7.2—वायवीय प्रणाली (Pneumatic System)

इस प्रणाली में भी चित्र 1.2 के अनुसार वायु को वायुमण्डल से चूषित करके पहले फिल्टर में से गुजारा जाता है ताकि वायु में उपस्थित धूल मिट्टी के कणों को अलग किया जा सके। अब वायु को एक A.C. मोटर चालित सम्पीड़क सम्पीड़ित करके उसके दाब बढ़ाया जाता है। इस प्रक्रिया में वायु का तापमान भी बहुत बढ़ जाता है। वायु में जल वाष्प भी कुछ मात्रा होती है। अत: प्रयोग करने से पूर्व वायु को ठण्डा किया जाता है। इससे जल वाष्प (Water vapour) भी संघनन होता है। अत: एक सम्पीड़क के साथ एक वायु शीतक (Air cooler) तथा वायु उपचार यूनिट लगाना आवश्यक होता है। उच्च दाब की वायु को एक भण्डारण पात्र (Storage vessel) में भेजा जाता है। पात्र में उच्च दाब पर वायु को करके रखा जाता है तथा भार की आवश्यकतानुसार सिलेण्डर में भेजा जाता है।

इस प्रणाली में वायु के दाब को नियन्त्रित रखने के लिए एक दाब स्विच (PSI) भण्डारण पात्र में लगा होता है। दाब कम होने पर सम्पीड़क मोटर को चालू कर देता है तथा दाब का वांछित स्तर प्राप्त होने पर पुन: मोटर को बन्द कर देता है। बिन्दुदार रेखाओं से बॉक्स में प्रदर्शित यूनिट प्राय: सभी संयन्त्रों में एक समान रहती है। कुछ बड़े सयन्त्रों में वायु को एक केन्द्रीय यूनिट में संपीडित कर लिया जाता है तथा फिर संपीडित वायु के पाइप लाइन के माध्यम से अलग-अलग स्थान पर प्रयोग हेतु भेज दिया जाता है।

§ 7.4. द्रविक तथा वायवीय प्रणालियों में तुलना (Comparison between Hydraulic and Pneumatic Systems) :

द्रविक तथा वायवीय प्रणालियों में तुलना के प्रमुख बिन्दु निम्न प्रकार है—

	द्रविक प्रणाली (Hydraulic System)		वायवीय प्रणाली (Pneumatic System)
1.	इस प्रणाली में गति तथा शक्ति के संचारण हेतु दाबयुक्त द्रव (Pressurized liquid) का प्रयोग किया जाता है।	1.	इसमें संपीडित गैस (Compressed gas) का प्रयोग किया जाता है। प्राय: वायु को ही गति तथा शक्ति संचारण के लिए प्रयुक्त किया जाता है।
2.	तेल युक्त द्रविक प्रणाली 700 bar दाब तक परिचालित की जा सकती है।	2.	वायवीय प्रणालियाँ प्राय: 5 से 10 बार दाब तक कार्य करती है।

क्रमशः

द्रविक प्रणाली (Hydraulic System)		वायवीय प्रणाली (Pneumatic System)	
3.	प्राय: बन्द सिस्टम के लिए डिजाइन किये जाते हैं।	3.	वायवीय सिस्टम प्राय: खुले सिस्टम के लिए डिजाइन किये जाते हैं।
4.	लीकेज (leakage) होने पर प्रणाली मंद (slow down) पड़ जाती है।	4.	लीकेज होने का प्रणाली पर कोई खास असर नहीं होता है।
5.	वाल्व परिचालन कठिन होता है।	5.	वाल्व परिचालन आसान होता है।
6.	भार अधिक होता है।	6.	भार कम होता है।
7.	दाबयुक्त द्रव (Pressurized liquid) बनाने के लिए पम्पों का प्रयोग किया जाता है।	7.	गैसों के सम्पीडन हेतु सम्पीडकों का प्रयोग किया जाता है।
8.	यह प्रणाली आग लगने के खतरों में असुरक्षित है।	8.	यह प्रणाली आग लगने के खतरे से सुरक्षित रहती है।
9.	स्वत: स्नेहन का प्रबन्ध होता है।	9.	स्नेहन के लिए विशेष प्रबन्ध की आवश्यकता होती है।
10.	असंपीडिय (incompressible) होने के कारण तेल द्वारा बल संचारण ठोसों के समान ही होता है। इससे इनपुट गति सीधे ही आउटपुट गति में संचारित होती है। इसीलिए आउटपुट गति तथा स्थिति को यथार्थतापूर्वक नियन्त्रित किया जा सकता है।	10.	संपीडिय (compressible) होने के कारण वायु द्वारा बल संचारण, स्प्रिंग से बल संचारण के समान होता है। इसीलिए आउटपुट गति तथा स्थिति को यथार्थतापूर्वक नियन्त्रित किया जा सकता है।

§ 7.5. द्रविक प्रणाली के लाभ तथा अलाभ (Advantages and Disadvantages of Hydraulic Systems) :

लाभ (Advantages)

1. द्रविक प्रणाली परिचालन में आसान एवं शांत होती है। कम्पनों को न्यूनतम रखा जाता है।
2. सुरक्षित एवं विश्वसनीय प्रणाली।
3. उच्च यांत्रिक लाभ प्राप्त करने हेतु गियर, कैम अथवा लीवरों के जटिल सिस्टम की आवश्यकता नहीं होती है।
4. नियन्त्रण तथा अप्रोच (approach) में बहुत अधिक नम्यता (flexibility) होती है। गति तथा बलों की एक बड़ी परास (wide range) पर नियन्त्रण करना सरल होता है।
5. एक सघन एक्चुऐटर (compact actuator) से उच्च निर्गत शक्ति (High Power Output) प्राप्त की जा सकती है।
6. बलों को अधिक दूरी तक तथा कोनों के चारों ओर, दक्षता (efficiency) में कुछ कमी के साथ संचारित किया जा सकता है।
7. सरल उपकरणों/युक्तियों (devices) के प्रयोग के साथ एक प्रचालक (operator) के लिए सिस्टम को चालू करना, रोकना, गति को बढ़ाना अथवा कम करना तथा बहुत सन्निकट्ट (close) तथा यथार्थ टॉलरेन्स के साथ बड़े बलों को नियन्त्रित करना सरल होता है।
8. द्रविक प्रणाली के अन्तर्गत् बहुत अल्प बलों से लेकर अत्यधिक भारी बलों को आसानी से एवं दक्षतापूर्वक आरोपित किया जा सकता है।
9. द्रविक प्रणाली को शीघ्रता से विपरीत दिशा में भी गति कराई जा सकती है।

अलाभ (Disadvantages)

1. लीकेज होने पर आग लगने का खतरा रहता है।
2. द्रव लीकेज को समाप्त करने अथवा न्यूनतम करने के लिए प्रणाली के अवयवों को विशेष रूप से अभिकल्पित त बनाया जाता है।
3. धूल, मिट्टी, संक्षारण, तेल विकृति तथा अन्य प्रदूषित वातावरण से प्रणाली का बचाव करना महत्वपूर्ण होता है।
4. पर्याप्त तेल फिल्टरेशन (Adequate oil filtration) बनाये रखना पड़ता है।
5. पाइप लाइन फट सकती है जिससे गंभीर समस्यायें हो सकती है।
6. अत्यन्त सुग्राही अंगों का अनुरक्षण करना, जब वे खराब जलवायु तथा गन्दे वातावरण में कार्य करते हैं।

§ 7.6. वायवीय प्रणाली के लाभ तथा अलाभ (Advantages and Disadvantages of Pneumatics):

लाभ (Advantages)

1. कम लागत (Economical)
2. सरल संस्थापन (Installation) तथा अनुरक्षण (Maintenance)
3. उच्च विश्वसनीयता, क्योंकि चल अंगों की संख्या बहुत कम होती है।
4. डिजाइन तथा लागू करने (Implementation) में आसानी।
5. विस्फोटन रहित अवयव (Explosion proof components)
6. सहज रूप से मंद एक्चुऐटर तथा सेन्सर (Inherently modulating actuators and sensors)
7. उच्च दक्षता! एक अपेक्षाकृत छोटा सम्पीड़क एक बड़े स्टोरेज टैंक को भर सकता है जिससे संपीड़ित वायु की आंतरायिक उच्च मांग (Intermittent high demands) को पूरा किया जा सकता है।
8. पर्यावरण हितैषी (Ecofriendly) खराब वातावरण में भी यह प्रणाली कार्य कर सकती है।

अलाभ (Disadvantages)

1. साफ एवं शुष्क वायु बनाने के लिए सम्पीड़क की आवश्यकता।
2. नियमित रूप से अवयवों का अंशाकंन (calibration) करने की आवश्यकता होती है।
3. वायु पाइपिंग की लागत।
4. स्नेहन (lubrication) करने की आवश्यकता होती है।

§ 7.7. द्रविक तथा वायवीय प्रणालियों का अनुप्रयोग (Applications of Hydraulic and Pneumatic Systems) :

(a) द्रविक (Hydraulic)

1. मशीन औजार उद्योग (Machine Tool Industry)
2. प्लास्टिक प्रोसेसिंग मशीन (Plastic Processing Machines)
3. हाइड्रोलिक प्रेसे (Hydraulic Presses)
4. निर्माण मशीनरी (Construction Machinery)

5. लिफ्टिंग तथा परिवहन (Lifting and Transporting)
6. कृषि मशीनरी (Agricultural Machinery)
7. ऑटोमोबाइल उद्योग (Automotive Industry) में पॉवर ब्रेक, पॉवर स्टियरिंग, झटका अवशोषक (Shock Absorbers) आदि के निर्माण में।
8. फूड़ प्रोसेसिंग मशीनरी (Food Processing Machinery)
9. हस्तन उपकरण तथा रोबोट (Handling and Robots)
10. वायुयान तथा मिसाइल आदि (Aeroplanes and Missile etc.)

(b) वायवीय (Pneumatic)

1. भारी अथवा गर्म दरवाजों के परिचालन में,
2. स्लैब मोल्डिंग मशीनों में भार उठाने तथा शिफ्ट करने में,
3. स्प्रे पेन्टिंग (Spray Painting) में,
4. बॉटलिंग तथा फिलिंग मशीनों (Bottling and Filling Machines)
5. अवयवों तथा पदार्थ संवाहक (Component and Material Conveyor)
6. डेन्टल ड्रिल (Dental Drills)
7. भवन निर्माण, खनन (Mining) तथा रसायन उद्योग में हॉपर (Hoppers) की अनलोड़िंग (Unloading)
8. सिमेण्ट उद्योग, सूती मिलो (Cotton Mills) आदि में
9. मशीन औजार (Machine Tools) में
10. वायुयान (Aircraft) में
11. विनिर्माण उद्योगों (Manufacturing Industries) में विभिन्न संक्रियायें जैसे ड्रिलिंग, टर्निंग, मिलिंग फॉर्मिंग आदि में, गुणवत्ता नियन्त्रण (Quality Control) में, स्टैम्पिंग तथा एम्बेसिंग प्रक्रिया में।

§ 7.8. पॉस्कल का नियम तथा उसके अनुप्रयोग (Pascal Law and Its Application) :

पॉस्कल के नियम से, "कोई भी तरल स्थिर अवस्था में सभी दिशाओं में समान दाब लगता है।" दूसरे शब्दों में, "The pressure exerted on a confined fluid is transmitted undiminished in all directions and acts with equal force on equal areas and at right angles to the containing surfaces."

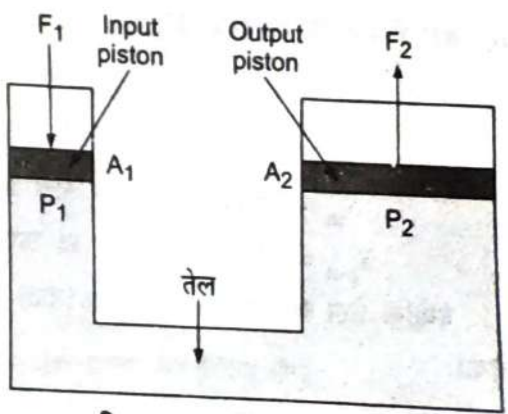
दाब को प्राय: प्रति एकांक क्षेत्रफल पर लगने वाले बल से व्यक्त किया जाता है। इस प्रकार—

$$\text{दाब} = \frac{\text{बल}}{\text{क्षेत्रफल}}$$

7.8.1. पॉस्कल के नियम के उपयोगी लक्षण (Useful Features of Pascal's Law)

(a) बल का बहुलीकरण (Multiplication of Force)

इसका प्रमुख उपयोगी लक्षण है कि इसके द्वारा बल को कई गुना अधिक बढ़ाया जा सकता है। इसके लिए आवश्यक प्रबन्ध चित्र 1.3 में प्रदर्शित है। चित्रानुसार बाँयी तरफ एक कम व्यास का सिलिण्डर एवं पिस्टन का प्रबन्ध



चित्र 7.3—बल का बहुलीकरण

दिखाया गया है जबकि दाँयी तरफ एक अधिक व्यास का सिलिण्डर एवं पिस्टन का प्रबन्ध प्रदर्शित है। दोनों सिलिण्डर नीचे से आपस में जुड़े हुये हैं तथा पात्र में तेल भरा हुआ है। जब बाँये सिलिण्डरों में लगे इनपुट पिस्टन पर जब F_1 मान का बल लगाया जाता है तब दाब अथवा दाब तीव्रता, $p_1 = \frac{F_1}{A_1}$ जहाँ A_1 = इनपुट पिस्टन का क्षेत्रफल

पॉस्कल के नियम से, आऊटपुट पिस्टन पर दाब तीव्रता p_2 भी p_1 के बराबर ही होगी। अर्थात्

$$p_2 = p_1 \text{ परन्तु}$$

$$p_2 = \frac{F_2}{A_2} \text{ जहाँ } A_2 = \text{आउटपुट पिस्टन का क्षेत्रफल है।}$$

$\therefore$ आउटपुट बल, $F_2 = p_2 \cdot A_2$

पुन:

$$\frac{F_1}{A_1} = p_1 = p_2 = \frac{F_2}{A_2}$$

$\therefore$

$$F_2 = \frac{A_2}{A_1} \times F_1$$

$\because A_2 > A_1$

$\therefore F_2 > F_1$

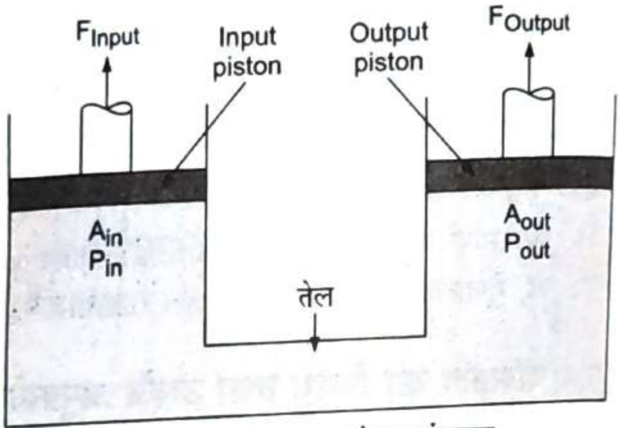
अत: जो अनुपात दोनों पिस्टनों के क्षेत्रफलों में होगा, उसी अनुपात में आउटपुट बल, इनपुट बल से अधिक होगा।

(b) बल का संचारण (Transmission of Forces)

चित्र 1.4 में प्रदर्शित प्रबन्ध में यदि इनपुट पिस्टन, जिसका क्षेत्रफल A_{in} है, पर F_{in} बल लगाया जाता है तो इस बल को एक दूसरे स्थान पर, जहाँ समान व्यास का सिलेण्डर तथा पिस्टन लगा है, समान परिमाण अर्थात् $F_{output} = F_{input}$ से स्थानान्तरित किया जा सकता है।

$$\frac{F_{input}}{A_{in}} = p_{in} = p_{out} = \frac{F_{output}}{A_{output}}$$

अत: यदि $A_{input} = A_{output}$ हो तो $F_{input} = F_{output}$ होगा।



चित्र 7.4—बल का अंयत्र संचारण

इस प्रकार बल को समान परिमाण से एक स्थान से दूसरे स्थान पर तेल माध्यम द्वारा स्थानान्तरित किया जा सकता है।

(c) बल विस्थापन सम्बन्ध (Force Displacement Relation)

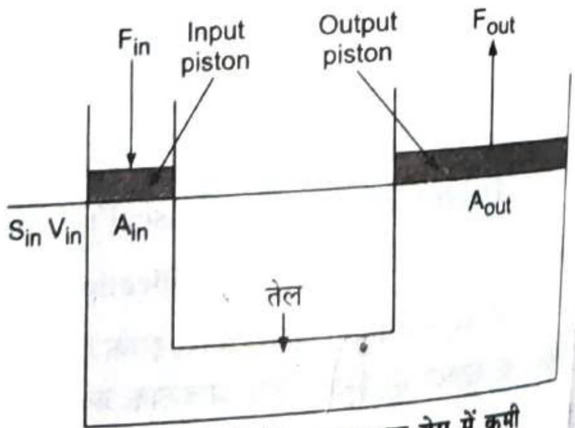
माना, V_{in} = इनलेट पिस्टन द्वारा विस्थापित तेल का आयतन

V_{out} = आउटलेट पिस्टन द्वारा विस्थापित तेल का आयतन

S_{in} = इनपुट पिस्टन का नीचे की ओर विस्थापन

S_{out} = आउटपुट पिस्टन का ऊपर की ओर विस्थापन

क्योंकि तेल को असंपीडिय माना जाता है अत: $V_{in} = V_{out}$ होगा।



चित्र 7.5—बल के विस्थापन तथा वेग में कमी

क्योंकि सिलिण्डर का आयतन उसके अनुप्रस्थ काट के क्षेत्रफल तथा उसके ऊँचाई के गुणनफल के बराबर होता है, अत:

$$A_{in} S_{in} = A_{out} \cdot S_{out}$$

$$\therefore \quad \frac{S_{input}}{S_{output}} = \frac{A_{output}}{A_{input}} \qquad \text{अत:} \left[\frac{F_{output}}{F_{input}} = \frac{A_{output}}{A_{input}} = \frac{S_{input}}{S_{output}}\right]$$

अत: output में अधिक परिमाण का बल कम विस्थापन करेगा।

7.8.2. पॉस्कल के नियम के प्रायोगिक अनुप्रयोग (Practical Applications of Pascal's Law)

(a) बरमाह हाइड्रोलिक प्रेस (Bramah's Hydraulic Press)

बरमाह हाइड्रोलिक प्रेस को पॉस्कल के नियम का प्रयोग करके विकसित किया गया था। हाइड्रोलिक प्रेस में एक छोटा बल निवेश (small input force) करके एक बड़ा निर्गत बल प्राप्त करते हैं।

पॉस्कल के नियम से, निकाय के प्रत्येक बिन्दु पर दाब तीव्रता समान होगी अत:

$$p_{input} = \frac{F_{input}}{A_{input}}$$

तथा

$$p_{output} = \frac{F_{output}}{A_{output}}$$

परन्तु

$$p_{input} = p_{output}$$

$$\therefore \quad \frac{F_{input}}{A_{input}} = \frac{F_{output}}{A_{output}}$$

या

$$\frac{F_{output}}{F_{input}} = \frac{A_{output}}{A_{input}}$$

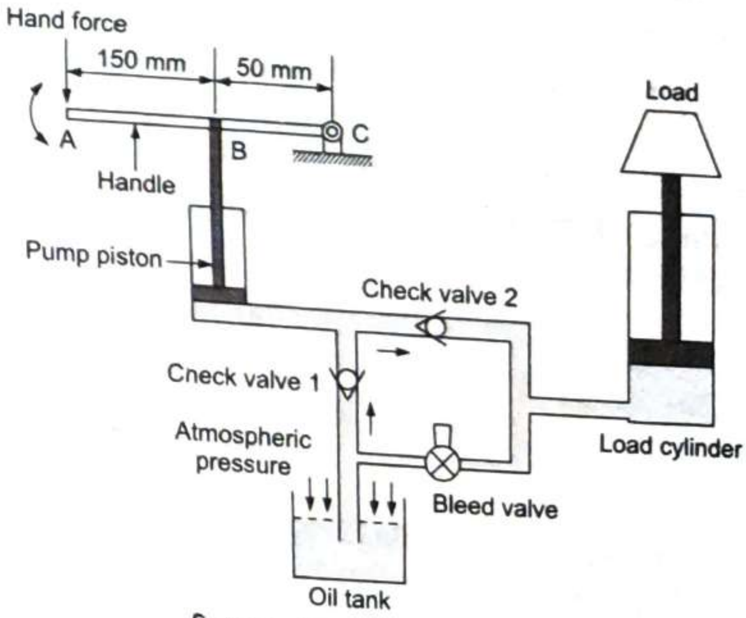
क्योंकि $A_{output} > A_{in}$, अत: $F_{output} > F_{input}$

(b) हस्तचालित हाइड्रोलिक जैक (Hand Operated Hydraulic Jack)

हाइड्रोलिक जैक का प्रयोग हैण्डिल पर कम प्रयास लगाकर भारी भारों को उठाने के लिए होता है। जैसा कि चित्र 7.6 में प्रदर्शित है। यह भी पॉस्कल के नियम पर कार्य करता है।

जब पम्प सिलिण्डर का हैण्डिल ऊपर को खींचा जाता है तो पिस्टन ऊपर उठता है जिससे सिलिण्डर में पिस्टन के नीचे का स्थान रिक्त हो जाता है। इसके परिणामस्वरूप वायुमण्डलीय दाब के कारण तेल टैंक से तेल ऊपर चढ़ता है और चैक वाल्व-1 से होते हुए सिलिण्डर में पिस्टन के रिक्त स्थान में भर जाता है। चेक वाल्व होने के कारण तेल वापस टैंक में नहीं आयेगा।

जब पम्प सिलिण्डर का हैण्डिल नीचे की ओर लाया जाता है तब पिस्टन के दाब से तेल सिलिण्डर



चित्र 7.6—हस्तचालित हाइड्रोलिक जैक

से बाहर आ जाता है और चैक वाल्व-2 से होता हुआ भार सिलिण्डर (load cylinder) की तली में, पिस्टन के नीचे पहुँच है। इस प्रकार जब भी हैण्डिल को ऊपर तथा नीचे चलाया जाता है तो तेल की एक निश्चित मात्रा भार सिलिण्डर में पिस्ट के नीचे पहुँचती है जिससे भार ऊपर को उठ जाता है।

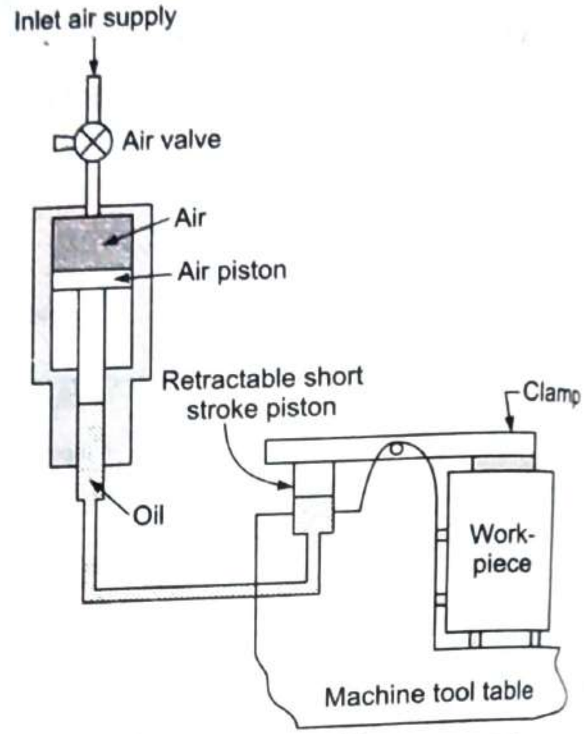
ब्लीड़ वाल्व (Bleed Valve) एक हस्त चालित वाल्व होता है जिसको जब खोला जाता है तब भार सिलिण्डर क सारा तेल, तेल टैंक में वापस आ जाता है तथा भार अपनी स्थिति से नीचे आ जाता है।

(c) एअर-टू-हाइड्रोलिक दाब बूस्टर (Air-to-Hydraulic Pressure Booster)

इस युक्ति का प्रयोग, शाला में उपस्थित वायु से उच्च हाइड्रोलिक दाब प्राप्त करना है जिसका उपयोग हाइड्रोलिक सिलिण्डरों के परिचालन में होता है। बुस्टर का प्रयोग रिवेटिंग मशीनों में तथा मशीन औजारों में क्लैम्प के रूप में होता है।

संरचना (Construction)—चित्र 7.7 के अनुसार इसमें एक बड़े व्यास का वायु पिस्टन होता है जो छोटे व्यास के हाइड्रोलिक पिस्टन को चलाता है।

क्रियाविधि (Working)—चित्र 7.7 में एक अनुप्रयोग को प्रदर्शित किया गया है। जहाँ एक एअर-टू-हाइड्रोलिक दाब बूस्टर उच्च दाब तेल सप्लाई करता है जो एक मशीन टूल टेबिल पर एक कार्यखण्ड को क्लैम्प करता है। शाला का वायुदाब सामान्यतया 4 से 6 बार पर कार्य करता है। यदि हम केवल वायु चालित क्लैम्प का ही प्रयोग करते हैं तब हमें एक बड़े साइज का न्यूमेटिक सिलिण्डर कार्यखण्ड को क्लैम्प करने के लिए आवश्यक होगा। एअर-टू-हाइड्रोलिक दाब बूस्टर के प्रयोग से सिलिण्डर का साइज प्रभावशाली ढंग से कम हो जाता है।



चित्र 7.7—एअर-टू-हाइड्रोलिक दाब बूस्टर

माना एअर पिस्टन को क्षेत्रफल $10\,cm^2$ है तथा इस पर 10 बार का वायु दाब है। यह बूस्टर के हाइड्रोलिक पिस्टन पर 1000 M का बल उत्पन्न करता है। यदि बूस्टर के हाइड्रोलिक पिस्टन का क्षेत्रफल $1\,cm^2$ हो तो तेल का दाब 100 bar होगा। पॉस्कल के नियम से, यह दाब मशीन टूल टेबिल पर लगे हाइड्रोलिक क्लैपिंग सिलिण्डर (Hydraulic Clamping Cylinder) के छोटे स्ट्रोक पिस्टन पर 100 bar दाब उत्पन्न करेगा। एअर-टू-हाइड्रोलिक दाब बूस्टर का दाब अनुपात निम्न समीकरण से प्राप्त किया जा सकता है—

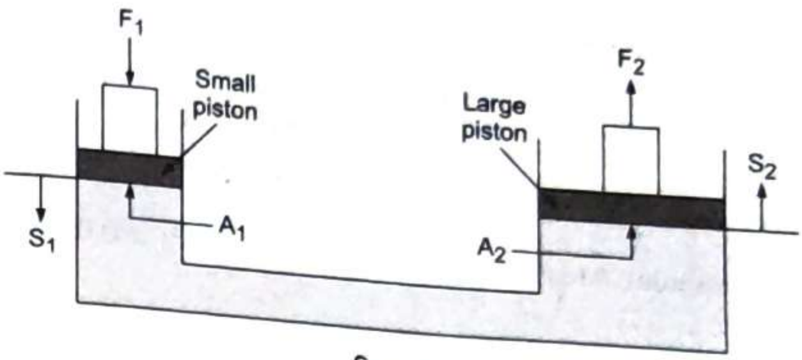
$$\text{दाब अनुपात} = \frac{\text{आउटपुट तेल दाब}}{\text{इनपुट तेल दाब}} = \frac{\text{वायु पिस्टन का क्षेत्रफल}}{\text{हाइड्रोलिक पिस्टन का क्षेत्रफल}}$$

अत:

$$\text{दाब अनुपात} = \frac{10000\ \text{kPa}}{1000\ \text{kPa}} = \frac{10\ \text{cm}^2}{1\ \text{cm}^2}$$

एक क्लैम्पिंग सिलिण्डर पिस्टन, जिसका क्षेत्रफल $0.5\,cm^2$ है, पर क्लैम्पिंग बल $1000\ N/cm^2 \times 0.5\ cm^2 =$ 500 N होगा। 500 N के समान क्लैम्पिंग बल को बिना बूस्टर के, प्रदान करने के लिए क्लैम्पिंग सिलिण्डर के पिस्टन का क्षेत्रफल, 10 बार वायुदाब मानते हुए, $5\,cm^2$ होना चाहिए।

उदाहरण 7.1—चित्र 7.8 में प्रदर्शित एक हाइड्रोलिक प्रेस में छोटे पिस्टन पर 100 N का बल लगाया जाता है। बड़े पिस्टन पर ऊपर को लगने वाला बल ज्ञात कीजिए। छोटे पिस्टन का क्षेत्रफल 50 × 10² mm² तथा बड़े पिस्टन का क्षेत्रफल 500 × 10² mm² है। यदि छोटे पिस्टन द्वारा चली दूरी 100 mm हो तो बड़े पिस्टन द्वारा चलित दूरी ज्ञात कीजिए।



चित्र 7.8

हल—दिया है—$F_1 = 100$ N, $A_1 = 50 \times 10^2$ mm², $A_2 = 500 \times 10^2$ mm², $s_1 = 100$ mm

(i) **बड़े पिस्टन पर बल**—पॉस्कल के नियम से,

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{A_2}{A_1}$$

$$\therefore \quad \frac{F_2}{100} = \frac{500 \times 10^2}{50 \times 10^2}$$

$$\therefore \quad F_2 = 1000 \text{ N} \uparrow \text{ (ऊपर को)}$$

उत्तर

(ii) **बड़े पिस्टन द्वारा चली दूरी**—क्योंकि

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{A_2}{A_1} = \frac{S_1}{S_2}$$

$$\therefore \quad \frac{A_2}{A_1} = \frac{S_1}{S_2}$$

$$\therefore \quad \frac{500 \times 10^2}{50 \times 10^2} = \frac{100}{S_2}$$

$$\therefore \quad S_2 = 10 \text{ mm}$$

उत्तर

उदाहरण 7.2—एक ऑटोमोबाइल लिफ्ट 15600 N भार की एक कार को जमीन स्तर से 2.13 m उठाता है। यदि हाइड्रोलिक सिलिण्डर के पिस्टन का व्यास 20.32 cm तथा पिस्टन रॉड का व्यास 10.16 cm हो तो ज्ञात कीजिए—

(a) कार उठाने में आवश्यक कार्य (b) आवश्यक दाब (c) शक्ति, यदि लिफ्ट कार को 10 sec में उठाती है। (d) लिफ्ट की उतरने वाली गति (descending speed), 0.000629 m³/sec के प्रवाह दर के लिए तथा (e) 10 sec में नीचे उतरने (descend) के लिए ऑटो में प्रवाह की दर।

हल—(a) कार उठाने में आवश्यक कार्य—

$$\text{बल} \times \text{विस्थापन} = 15600 \times 2.13 \text{ m} = 33{,}200 \text{ N.m}$$

उत्तर

(b) आवश्यक दाब—∵ पिस्टन का क्षेत्रफल $= \frac{\pi}{4}(0.2032)^2 = 0.0324 \text{ m}^2$

$$\therefore \quad \text{दाब} = \frac{\text{बल}}{\text{क्षेत्रफल}} = \frac{15600}{0.0324} = 481{,}000 \text{ N/m}^2 = \mathbf{481 \text{ kPa}}$$ उत्तर

(c) शक्ति—

$$\frac{\text{कृत कार्य}}{\text{समय}} = \left[\frac{33200}{10}\right] = 3320 \text{ N.m/sec}$$

$$= 3320 \text{ watt} = \mathbf{3.32 \text{ kWatt}}$$ उत्तर

(d) दिया है—

$$Q = \text{प्रवाह दर} = 0.000629 \text{ m}^3\text{/sec}$$

∴ वलयाकार क्षेत्रफल (Annulus Area) $= \frac{\pi}{4}[(0.2032)^2 - 0.1016)^2] = 0.0243 \text{ m}^2$

$$\therefore \quad \text{लिफ्ट की उतरने वाली गति} = \frac{\text{प्रवाह दर}}{\text{वलयाकार क्षेत्रफल}} = \frac{0.000629}{0.0243}$$

$$= \mathbf{0.0259 \text{ m/sec}}$$ उत्तर

(e) 10 sec में नीचे उतरने के लिए ऑटो में प्रवाह की दर—

$$\text{प्रवाह दर} = \text{वलयाकार क्षेत्रफल} \times \frac{\text{दूरी}}{\text{समय}} = 0.0243 \times \frac{2.13}{10}$$

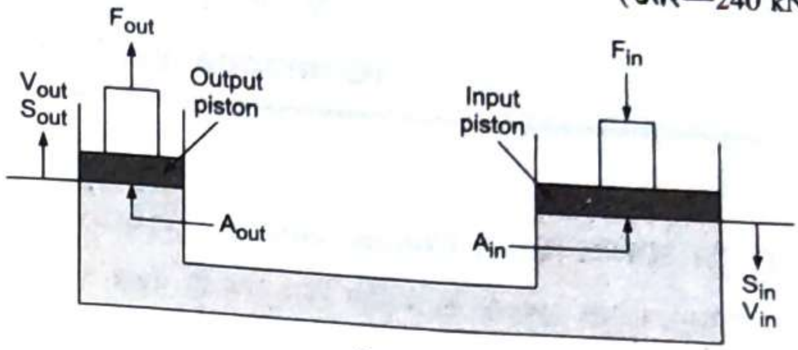
$$= \mathbf{0.00518 \text{ m}^3\text{/sec}}$$ उत्तर

प्रश्नावली

1. एक हाइड्रोलिक सिलिण्डर की कार्यप्रणाली का सचित्र वर्णन करें।
2. एक द्रविक प्रणाली (Hydraulic system) का चित्र बनाकर संक्षिप्त वर्णन कीजिए।
3. एक वायवीय प्रणाली (Pneumatic system) का चित्र बनाकर संक्षिप्त वर्णन कीजिए।
4. एक द्रविक तथा वायवीय प्रणालियों में तुलना कीजिए।
5. एक द्रविक प्रणाली के लाभों तथा अलाभों (Advantages and Disadvantages of Hydraulic system) की विवेचना कीजिए।
6. एक वायवीय प्रणाली के लाभों तथा अलाभों (Advantages and Disadvantages of Pneumatic system) की विवेचना कीजिए।
7. एक द्रवीय प्रणाली के अनुप्रयोगों (Applications of Hydraulic system) पर टिप्पणी कीजिए।
8. एक वायवीय प्रणाली के अनुप्रयोगों (Applications of Pneumatic system) पर टिप्पणी कीजिए।
9. पॉस्कल का नियम लिखिए तथा इसके उपयोगी लक्षणों की विवेचना कीजिए।
10. एक हस्तचालिक हाइड्रोलिक जैक का सचित्र वर्णन कीजिए।
11. एक एअर-टू-हाइड्रोलिक दाब बूस्टर (Air-to-Hydraulic Pressure Booster) का सचित्र वर्णन कीजिए।
12. एक सिलिण्डर में 100 bar दाब से एक 10 kN भार को चलाया जाना है। सिलिण्डर के लिए आवश्यक न्यूनतम व्यास की गणना कीजिए। (**उत्तर**—35.68 mm)

13. चित्र 7.9 में एक द्रवित जैक व्यवस्था को प्रदर्शित किया गया है। निर्गत बल (F_{out}) ज्ञात कीजिए जबकि इनपुट व्यास = 25 mm, आऊटपुट व्यास = 100 mm, इनपुट बल (F_{in}) = 15 kN है। यह भी ज्ञात कीजिए कि आऊटपुट पिस्टन को ऊपर की ओर 100 mm विस्थापित करने के लिए इनपुट पिस्टन को कितना विस्थापित करना होगा। यदि आऊटपुट वेग (v_{out}) 0.05 m/sec हो तो इनपुट वेग (v_{in}) भी ज्ञात कीजिए।

(**उत्तर**—240 kN, 1.6 mm, 0.8 m/sec)



चित्र 7.9

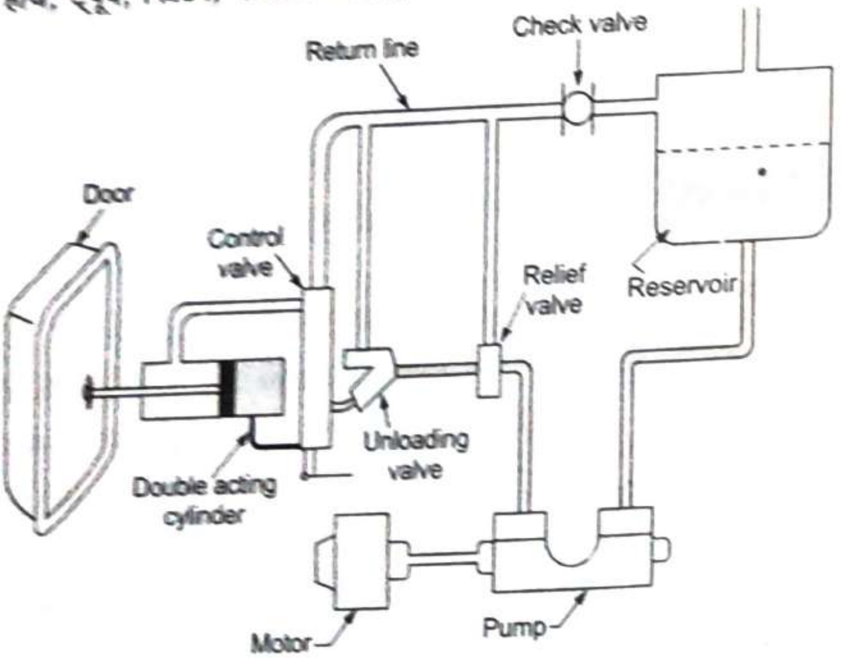
8 Chapter

द्रविक प्रणाली के अवयव
(Components of Hydraulic System)

§ 8.1. द्रविक प्रणाली के मूल अवयव (Basic Components of a Hydraulic Systems) :

चित्र 8.1 में एक द्रविक प्रणाली के मूल अवयवों को प्रदर्शित किया गया है। प्रमुख अवयव निम्न प्रकार है—

1. विद्युत मोटर (Electric Motor)
2. द्रविक पम्प (Hydraulic Pump)
3. फिल्टर (Filter)
4. दाब गेज (Pressure Gauge)
5. दाब नियन्त्रक/अनलोडिंग वाल्व (Pressure Regulator or Unloading Valve)
6. दाब विमोचन वाल्व (Pressure Relief Valve)
7. दिशा नियन्त्रक वाल्व (Direction Control Valve)
8. द्रविक एक्चुएटर (Hydraulic Actuator)
9. भार (Load)
10. चेक वाल्व (Check Valve)
11. कुण्ड या टंकी (Reservoir)
12. मैनीफोल्ड, हौज, ट्यूब, फिटिंग, कपलिंग आदि (Manifold, Hose, Tube, Fitting, Coupling etc.)



चित्र 8.1—एक द्रविक प्रणाली के मूल अवयव

§ 8.2. एक द्रविक परिपथ में लगे प्रत्येक अवयव का कार्य (Function of Each Component in Hydraulic Circuit) :

एक द्रविक परिपथ (चित्र 8.1) में लगे प्रत्येक अवयव का कार्य निम्न प्रकार है—

1. विद्युत मोटर (Electric Motor)—एक विद्युत मोटर अथवा अन्य कोई शक्ति स्रोत का कार्य पम्प को चलाने का है।

2. द्रविक पम्प (Hydraulic Pump)—एक द्रविक पम्प का कार्य विद्युत मोटर अथवा अन्य शक्ति स्रोत से प्राप्त यांत्रिक ऊर्जा को द्रव की ऊर्जा (दाब ऊर्जा) में बदलने का है। इस दाब ऊर्जा का प्रयोग गति करने वाले यन्त्र (Actuator) को परिचालित करने के लिए होता है। पम्प द्रव तरल (Hydraulic fluid) को धकेलकर प्रवाह उत्पन्न करता है।

3. फिल्टर (Filter) तथा छलनियाँ (Strainer)—सभी द्रविक अवयव सही प्रकार से कार्य करें, इसके लिए आवश्यक है कि जहाँ तक संभव हो स्वच्छ एवं साफ तेल का प्रयोग किया जाए। वाल्व, पम्प तथा अन्य अवयवों की सामान्य घिसन एवं टूटफूट (Wear) से उत्पन्न महीन धातु कण तथा अन्य अवांछित पदार्थ, प्रणाली में प्रविष्ट हो जाते हैं। छलनियाँ (strainers), फिल्टर (filters) तथा चुम्बकीय प्लग (Magnetic plug) आदि का प्रयोग करके तेल में से प्रभावशाली ढंग से इन अशुद्धियों को बाहर किया जा सकता है। ये संदूषण (contamination) के विरुद्ध अत्यन्त प्रभावी ढंग से रक्षक (Safeguards) होते हैं।

(a) छलनियाँ (Strainers)—छलनियों का प्रयोग द्रव तरल में उपस्थित बाह्य पदार्थों के मोटे कणों को सबसे पहले फिल्टर करके अलग करने के लिए किया जाता है। छलनियाँ द्वारा की गई स्क्रीनिंग क्रिया बहुत अच्छी नहीं होती लेकिन ये द्रव प्रवाह में कम प्रतिरोध उत्पन्न करती है।

(b) फिल्टर (Filters)—फिल्टर का प्रयोग द्रव तरल में उपस्थित बाह्य पदार्थों (Foreign matter) के महीन कणों को पृथक करना है। ये अत्यन्त प्रभावशाली ढंग से कार्य करते हैं। इन्हें दो प्रकार से वर्गीकृत किया जा सकता है—

(i) पूर्ण प्रवाह फिल्टर (Full Flow Filter)—इस फिल्टर में समस्त द्रव फिल्टर करने वाले अवयव में से प्रवाहित होता है। यद्यपि इस प्रकार का फिल्टर अधिक धनात्मक फिल्टर क्रिया देता है परन्तु प्रवाह में अधिक प्रतिरोध, विशेषतया जब यह गंदा हो जाता है, उत्पन्न करता है।

(ii) समानुपाती प्रवाह फिल्टर (Proportional Flow Filter)—यह फिल्टर वेन्चूरी के सिद्धान्त पर कार्य करता है जिसमें एक ट्यूब में कंठ (Throat) बना होता है जिसके कारण इसमें से गुजरने वाले द्रव की गति बढ़ जाती है। सबसे छोटे अनुप्रस्थ काट पर सबसे अधिक वेग होने से दाब घट जाता है जिससे एक चूषण क्रिया (Sucking action) होती है जो कार्टेज (Cartridge) के चारों ओर द्रव की कुछ मात्रा खींचती है और फिल्टर से गुजरती है।

4. दाब गेज (Pressure Gauge)—इसका कार्य द्रविक प्रणाली में द्रव का दाब मापने का होता है।

5. दाब नियन्त्रक/अनलोड़िंग वाल्व (Pressure Regulator/Unloading Valve)—दाब नियन्त्रक, जिन्हें कभी-कभी अनलोड़िंग वाल्व भी कहते हैं, का कार्य द्रविक शक्ति प्रणाली में दाब को नियन्त्रित करने का है। जब भी दाब नियन्त्रक यह अनुभव करता है कि लाइन में दाब बढ़ गया है तब यह क्रिया करके अतिरिक्त द्रव को बाईपास कर देता है तथा दाब स्वतः ही नियन्त्रण में बना रहता है।

वाल्व (Valves)—द्रविक प्रणालियों में वाल्व का प्रयोग गति करने वाले एक्चुऐटर (actuator) की क्रिया नियन्त्रित करने के लिए होता है। विशेष दाब परिस्थितियों को उत्पन्न करके ये वाल्व दाब को नियन्त्रित करते हैं। इसके साथ ही परिपथ में कहाँ और कितना तेल प्रवाहित होगा, ये भी वाल्व ही नियन्त्रित करते हैं।

6. दाब विमोचन वाल्व (Pressure Relief Valve)—विमोचन वाल्व, दाब नियन्त्रण वाल्वों में एक अत्यन्त सामान्य प्रकार का वाल्व है। विमोचन वाल्व की क्रिया सिस्टम के अनुरूप होती है। ये परिपथ में लगे अवयवों को ओवरलोड़ से सुरक्षा

प्रदान कर सकते हैं अथवा रेखीय ऐक्चुऐटर (linear actuator) या घूर्णी मोटर (rotary motor) द्वारा लगाने जाने व बल अथवा बलाघूर्ण (Torque) को सीमित कर सकते हैं। सभी विमोचन वाल्वों की आन्तरिक संरचना मूलतः समान ह है। वाल्व के दो भाग होते हैं—प्रथम बॉडी, जिसमें माडल के अनुसार एक पिस्टन स्प्रिंगों द्वारा अपनी सीट पर स्थित र है तथा दूसरा आवरण (cover) अथवा पायलट-वाल्व सेक्शन (Pilot valve section) जो पिस्टन की गति को हाइड्रोलिक नियन्त्रित करता है। एक समंजन स्क्रू द्वारा यह नियन्त्रण, वाल्व की परास (range) में बनाये रखा जाता है।

7. दिशा नियन्त्रक वाल्व (Direction Control Valve)—एक द्रविक अथवा वायवीय परिपथ में तरल के प्रव की दिशा को बदलने के लिए प्रयोग की जाने वाली युक्तियों को दिशा नियन्त्रक वाल्व कहते हैं। ये सिलिण्डरों, घूर्णी ऐक्चुऐट (rotary actuators), ग्रिपर्स (grippers) तथा अन्य विन्यासों (Mechanisms) को, जो पैकेजिंग, हैण्डलिंग, एसेम्बली त असंख्य अन्य अनुप्रयोगों में प्रयोग होते हैं, प्रवाहित होने वाली संपीड़ित वायु को नियन्त्रित करते हैं।

8. द्रविक ऐक्चुऐटर (Hydraulic Actuator)—एक द्रविक ऐक्चुऐटर का कार्य दाब ऊर्जा प्राप्त करके उसे यांत्रि बल तथा गति में परिवर्तित करना है। ये ऐक्चुऐटर रेखीय अथवा घूर्णी हो सकते हैं। एक रेखीय ऐक्चुऐटर निर्गत बल तथ गति को एक सीधी रेखा में प्रदान करता हैं। इसे प्रायः सिलेण्डर कहा जाता है परन्तु कभी-कभी इसे रैम (ram), पश्चा अथवा घूर्णी मोटर भी कहा जाता है।

9. भार (Load)—यह ऐक्चुऐटर पर लगने वाला बल/भार होता है।

10. चेक वाल्व (Check Valve)—द्रव शक्ति सिस्टमों में चेक वाल्व बहुधा प्रयोग किये जाते हैं। ये किसी एक दिश में ही प्रवाह को होने देते हैं, विपरीत दिशा में प्रवाह को रोक देते हैं। इन्हें अलग से भी लगाया जा सकता है और एक दाब न्यूनक वाल्व (Pressure reducing valve) के साथ भी। वाल्व अवयव एक स्लीव (Sleeve), कोन (Cone), बॉल (Ball), पोपेट (Poppet), पिस्टन (Piston), स्पूल (Spool) अथवा डिस्क (Disc) हो सकता है। बहते हुए तरल द्वारा लगाये बल से चेक वाल्व खुलता है तथा विपरीत प्रवाह (Back flow), स्प्रिंग (Spring) अथवा गुरुत्व (Gravity) से वाल्व बंद होता है।

11. कुण्ड या टंकी (Reservoir)—जो द्रव द्रविक परिपथ में नहीं है, उस द्रव को संचय करने के लिए कुण्ड या टंकी का प्रयोग किया जाता है। इसके अतिरिक्त कुण्ड के कुछ अन्य कार्य निम्न हैं—

(i) यह कूलर की भाँति कार्य करता है।

(ii) यह भारी अशुद्धियों का अवसादन (sedimentation) करके एक रूक्ष छलनी (coarse strainer) की तरह व्यवहा करता है।

(iii) यह वायु तथा जल को अलग करता है।

(iv) यह गैसों को बाहर निकलने देता है।

एक उचित प्रकार से निर्मित कुण्ड (reservoir) तेल से ऊष्मा को बाहर निकालने में सक्षम होना चाहिए, तेल से वा को अलग करना चाहिए, उसमें मिले हुए कणों का अवसादन करना चाहिए। यह पतला और ऊँचा होना चाहिए। पमप के चूषण लाइन पर तेल का स्तर यथा सम्भव ऊँचा रहना चाहिए। इससे भँवर (Vortex) के कारण लाइन पर बनने वा सम्भावित निर्वात् (Vacuum) से बचा जा सकता है। अधिकतर कुण्ड वायुनण्डल में खुले रहते हैं। इससे तेल में से वा बाहर निकल जाती है तथा तेल के ऊपर एक नियत वायुमण्डलीय दाब बना रहता है।

§ 8.3. तेल कुण्ड़, कपलिंग, मोटर तथा पम्प (Oil Reservoirs, Couplings, Motors and Pumps)

(A) तेल कुण्ड़ (Oil Reservoirs)

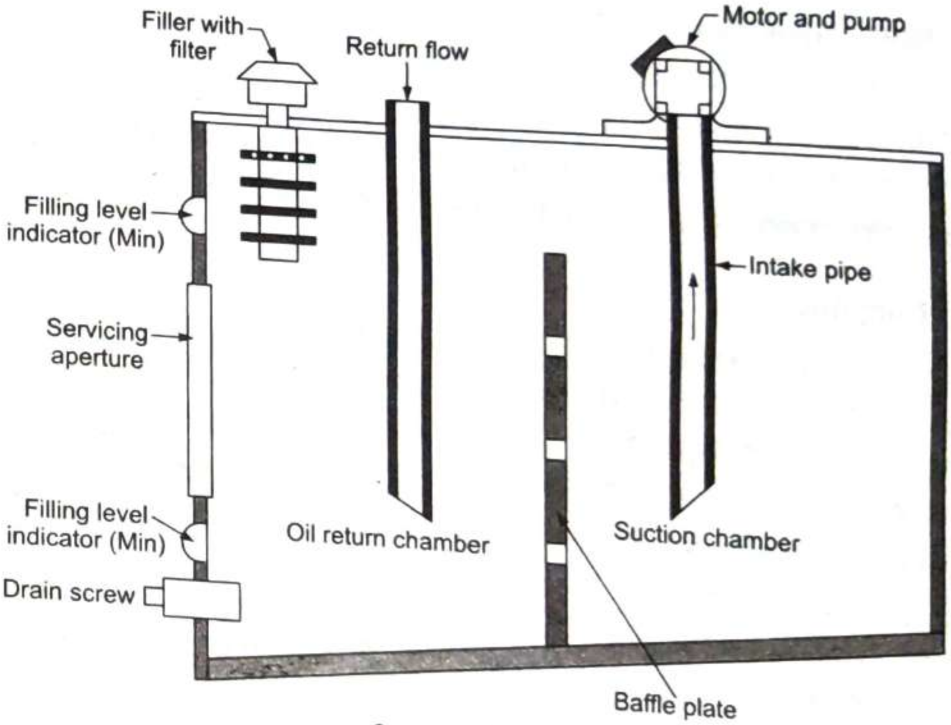
तेल कुण्ड़ एक बंद, धातु पात्र है जिसका मुख्य कार्य द्रविक तरल (hydraulic fluid) या तेल का भण्डारण कर तथा सिस्टम को सप्लाई करना है।

"A reservoir is a closed metallic container with a breather whose main function is to store and supply the hydraulic fluid to the system."

(i) तेल कुण्ड के प्रमुख कार्य (Functions of a Reservoir)—कुण्ड मूलत: द्रविक तरल के लिए भण्डार पात्र या टंकी (storage tank) होते हैं। इनका प्रमुख कार्य—

1. तेल को भण्डार करना तथा सिस्टम में सप्लाई करना।
2. तेल को ठण्ड़ा करना। तेल की ऊष्मा वातावरण में निष्कासित करना।
3. तेल में उपस्थित वायु को बाहर जाने देना।
4. ठोस दूषित पदार्थों (contaminants) को तली में एकत्र (settle down) होने देना।
5. सिस्टम में हुयी किसी लीकेज को पूरा करना।
6. कुण्ड के आवरण (cover) पर पम्प तथा मोटर की एसेम्बली को स्थापित किया जाता है। आसान अनुरक्षण के लिए वाल्व बोर्ड को टंकी के ऊपर उचित ऊँचाई पर स्थापित किया जा सकता है।

(ii) संरचना (Construction)—तेल कुण्ड़ प्रणाली (Oil Reservoir System) के प्रमुख अंग चित्र 8.2 में प्रदर्शित है।



चित्र 8.2—तेल कुण्ड

(a) टैंक (Tank)—टंकी, स्टील प्लेटों से बनी होती है। इसकी आन्तरिक सतहों को संघनित नमी (condensed moisture) के कारण लगने वाले जंग से बचाने के लिए सीलर से पेंट कर देते हैं। इसकी तली में एक ड्रेन प्लग (Drain plug) लगा होता है जो आवश्यकतानुसार टंकी को खाली करने में प्रयोग किया जाता है। सफाई के दौरान आसान पहुँच (access) बनाने के लिए हटा सकने योग्य शीर्ष (removable head) होता है। इसमें एक वायु आने जाने हेतु कैप (Vented breather cap) भी बनी होती है जिसमें एक वायु फिल्टरिंग स्क्रीन भी लगी होती है। इससे सिस्टम की माँग के अनुरूप तेल का स्तर बदलने पर टैंक को साँस लेने (breathe) में आसानी होती है।

(b) बफल प्लेट (Baffle Plate)—यह लम्बाई के साथ-साथ टैंक के केन्द्र में लगी होती है जैसाकि चित्र 8.2 प्रदर्शित है। इसका प्रमुख कार्य पम्प की प्रवेश लाइन (inlet line) को वापसी लाइन (return line) से अलग करना है जिस कि एक ही द्रव बार-बार पुन: संचारित (recirculate) न हो पाये। इसके अतिरिक्त बफल प्लेट से ऊष्मा निकास भी शीघ्र से होता है क्योंकि तेल का सम्पर्क क्षेत्रफल बढ़ जाता है।

(c) फिलर या ब्रीदर कैप (Filler or Breather Cap)—बंद स्थिति में यह एअर टाइट (air tight) होनी चाहि परन्तु इसके मध्य एक वायु मार्ग (vent) हो सकता है जो टंकी में प्रवेश करने वाली वायु को फिल्टर करे और उचित ते प्रवाह हेतु गुरुत्व दाब (gravity push) भी उपलब्ध करायें।

(d) आयल लेवल गेज (Oil Level Gauge)—तेल टंकी के ढक्कन को बिना हटाये, तेल स्तर की जांच करने हे गैस का प्रयोग किया जाता है। यह काँच की नली होती है और टंकी की दीवार में लगी होती है। इसमें तेल का स्तर प्रदर्शि होता रहता है।

(e) चूषण तथा वापसी लाइनें (Suction and Return Lines)—ये लाइनें टंकी में उस स्थान से प्रवेश करती है जहाँ वायु विक्षोभ (Air turbulence) न्यूनतम हो। ये लाइनें टंकी में ऊपर से या साइड़ से प्रवेश कर सकती है परन्तु उसके सिरे टंकी की तली के पास होने चाहिए। यदि वापसी की लाइन तेल के स्तर से ऊपर होगी तो वापसी का तेल (Returning oil) झाग (foam) बना सकता है तथा पाइप में वायु प्रवेश कर सकती है।

(f) प्रवेश फिल्टर (Inake Filter)—यह फिल्टर चूषण पाइप में जुड़ा होता है तथा प्रवेश के समय तेल में से अशुद्धियों को अलग करता है।

(g) ड्रेन प्लग (Drain Plug)—टंकी खाली करने के लिए ड्रेन प्लग का प्रयोग किया जाता है। यह टंकी की तली में लगा होता है। कुछ ड्रेन प्लग चुम्बकीय (Magnetic) भी होते हैं जो धातु के कण को तेल से अलग करते रहते हैं।

(h) छलनियाँ और फिल्टर (Strainers and Filters)—इनका कार्य तेल में से अशुद्धियों को अलग करने का है।

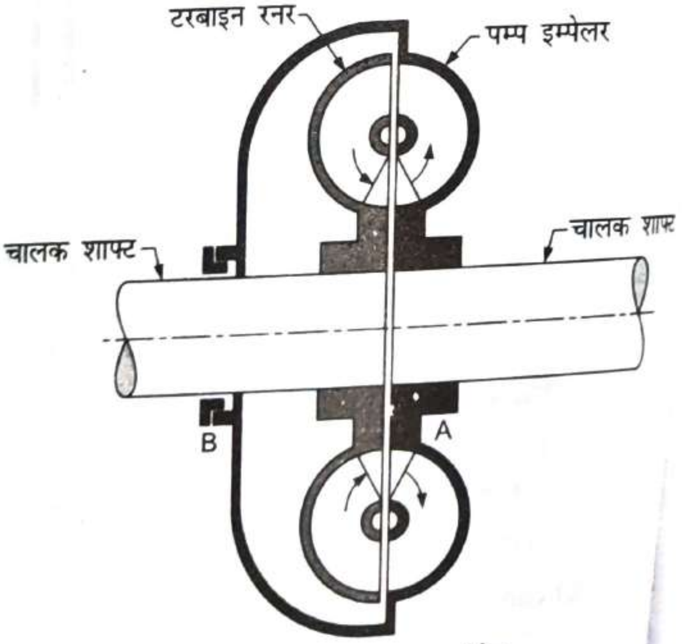
(B) कपलिंग (Couplings)

एक तरल युग्मक (fluid coupling) अथवा हाइड्रोलिक युग्मक (Hydraulic coupling) एक हाइड्रोडायनमिक (hydrodynamic) अथवा हाइड्रोकायनेटिक (Hydrokinetic) युक्ति है जो घूर्णी यांत्रिक शक्ति (rotating mechanical power) को संचारित करने के लिए प्रयुक्त होती है। इसका प्रयोग यांत्रिक क्लच के विकल्प के रूप ऑटोमोबाइल संचारण (Automobile transmissions) में होता है।

इसमें समुद्री और औद्योगिक मशीन ड्राइव में व्यापक अनुप्रयोग भी है जहाँ चर गति संचालन (variable speed operation) और नियन्त्रित पॉवर ट्रांसमिशन के बिना शॉक लोडिंग (without shock loading) के स्टार्ट अप (start up) आवश्यक है।

एक तरल कपलिंग के तीन मुख्य अवयव (parts) होते हैं—

(i) **हॉउसिंग (Housing)**—इसको शैल भी कहते हैं। यह ड्राइव शाफ्ट के चारों ओर तेल-तंग सील (oil-tight seal) युक्त होनी चाहिए।



चित्र 8.3—हाइड्रोलिक कपलिंग

(ii) दो टरबाइन (पंखा जैसा अवयव)—इसमें से एक इनपुट शाफ्ट से जुड़ी होती है जिसे पम्प या इम्पेलर (Impeller), प्रायमरी व्हील इनपुट टरबाइन भी कहते हैं। दूसरी आउटपुट शाफ्ट से जुड़ी होती है जिसे टरबाइन शाफ्ट या रनर कहते हैं।

अनुप्रयोग (Applications)

(i) औद्योगिक प्रयोगों में,
(ii) रेल परिवहन में,
(iii) स्वचालन में,
(iv) वायुयानों में।

कार्य विधि (Working Method)

द्रवीय युग्मक का रेखाचित्र चित्र में प्रदर्शित है। साधारण रूप में द्रवीय युग्मक में दो एक समान अर्धगोलाकार काट A तथा B होते हैं। काट A चालक शाफ्ट पर तथा काट B चलित शाफ्ट पर लगे होते हैं। ये दोनों अर्धकाट एक आवरण (casing) में लगे होते हैं जिसमें तेल भरा होता है। तेल कार्यकारी माध्यम का कार्य करता है। चालक शाफ्ट A पर लगा अर्धकाट, पंप इम्पेलर की भाँति कार्य करता है तथा तेल को ऊर्जा प्रदान करता है। चलित शाफ्ट B पर लगा दूसरा अर्धकाट एक प्रतिक्रिया टरबाइन के रनर की भाँति कार्य करता है और तेल से ऊर्जा प्राप्त करता है।

जब चालक 'A' घूमना प्रारम्भ करती है तो केसिंग में भरा हुआ तेल, पम्प इम्पेलर की परिधि की तरफ धकेला जाता है। यह तेल प्रतिक्रिया टरबाइन के रनर में प्रवेश करके रनर को घुमाता है और पुनः पम्प इम्पेलर में प्रवेश करता है। वास्तव में शाफ्ट B का वेग, शाफ्ट A के वेग से 2 से 4% कम होता है। यह फिसलन घर्षण तथा अन्य हानियों के कारण होता है।

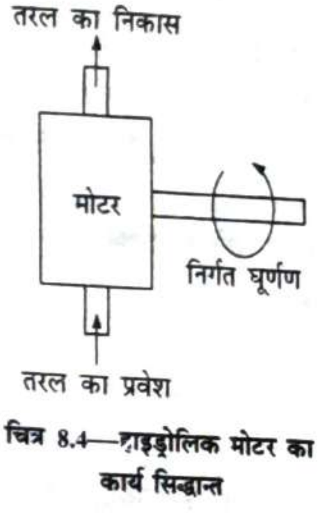
किसी द्रवीय युग्मक की दक्षता, शाफ्ट B से निर्गत शक्ति तथा शाफ्ट A को प्रदत्त शक्ति के अनुपात को कहते हैं। अर्थात्

$$\eta = \frac{P_B}{P_A} = \frac{N_B}{N_A} \text{ तथा फिसलन } S = 1 - \eta = 1 - \frac{N_B}{N_A}$$

(C) हाइड्रोलिक मोटर (Hydraulic Motors)

''एक हाइड्रोलिक मोटर वह युक्ति है जो द्रविक शक्ति (fluid power) को घूर्णन शक्ति (Rotary Power) अथवा द्रव दाब को बलाघूर्ण (torque) में बदलती है तथा प्रवाह दर को गति में बदलती है।''

"A fluid power motor is a device that converts fluid power energy to rotary motion or pressure is converted into torque and flow rate is converted into speed."



चित्र 8.4—हाइड्रोलिक मोटर का कार्य सिद्धान्त

हाइड्रोलिक मोटर का डिज़ाइन तथा परिचालन, पम्प के समान ही होता है। (देखें चित्र 8.4) एक मोटर की प्रमुख रेटिंग बलाघूर्ण (torque), दाब (pressure) तथा विस्थापन (displacement) होते हैं। बलाघूर्ण तथा दाब से यह पता चलता है कि मोटर कितना लोड़ बर्दाश्त कर सकती है। विस्थापन से पता चलता है कि मोटर की एक विशिष्ट चालन गति को प्राप्त करने के लिए कितने प्रवाह की आवश्यकता होगी। इसे घन इंच प्रति चक्र (Cubic inches per revolution) द्वारा व्यक्त किया जाता है।

द्रविक मोटरें स्थिर अथवा चल विस्थापन प्रकार की होती हैं। स्थिर विस्थापन वाली मोटरें स्थिर बलाघूर्ण तथा परिवर्तनीय गति प्रदान करती हैं। प्रवेश पर प्रवाह दर को नियन्त्रित करके गति में बदलाव किया जा सकता है।

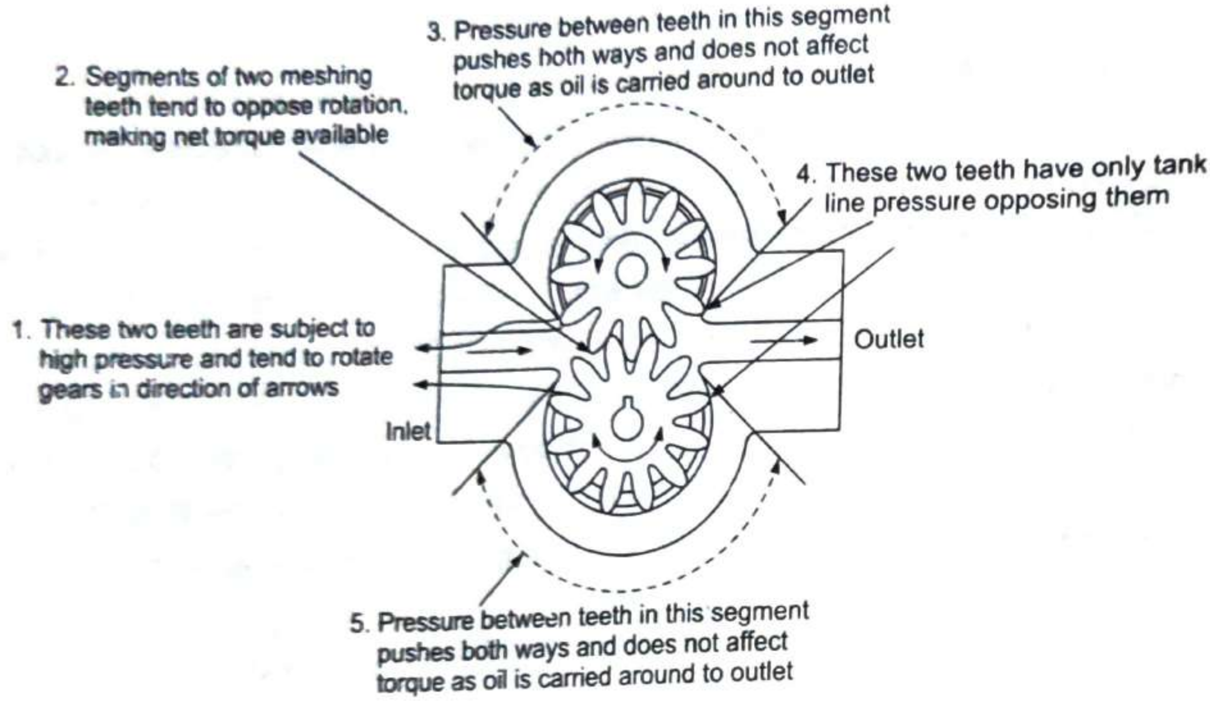
वर्गीकरण (Classification)—हाइड्रोलिक मोटरें प्राय: अपने आन्तरिक अवयव, जो प्रवाह से सीधे गति करता है, के प्रकारों के अनुसार वर्गीकृत किये जाते हैं। प्रमुख मोटरें निम्न प्रकार है—

(i) गियर मोटर (Gear motors)

(ii) वेन मोटर (Vane motors) तथा

(iii) पिस्टन मोटर (Piston motors)।

(i) गियर मोटर (Gear Motors)—गियर पम्प की भाँति गियर मोटर का आयतनिक विस्थापन की नियत (fi रहता है। चित्र 8.5 में एक गियर मोटर की क्रिया के प्रदर्शित किया गया है। इसमें दोनों गियर पहिये चलित (driven) के होते हैं परन्तु एक पहिये पर निर्गत शाफ्ट जुड़ी होती है।

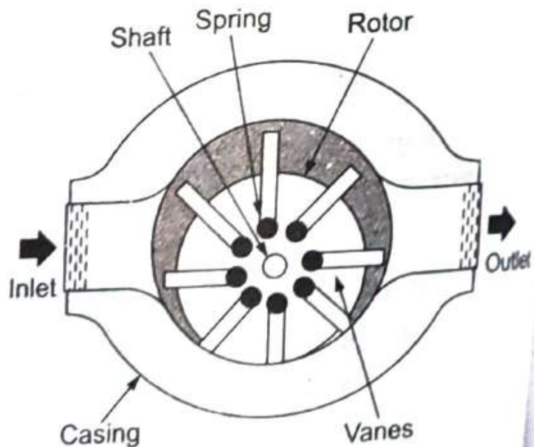


चित्र 8.5—गियर मोटर

चित्रानुसार तेल को मोटर के इनलेट पोर्ट पर प्रविष्ट कराया जाता है जिससे गियर के दाँतों पर दाब लगता है और गियर तथा शाफ्ट घूमने लगते हैं। गियर मोटर में दाँतों पर लगने वाले असन्तुलित द्रविक बलों के कारण घूर्णन गति उत्पन्न होती है। गियर दाँतों के खुलने (Unmesh) के कारण मोटर में एक द्रविक असंतुलन उत्पन्न होता है। जैसे ही गियर दाँते खुलते (Unmesh) हैं, एक गियर के एक तरफ (side) के एक दाँते के अतिरिक्त सिस्टम दाब से बद्ध सभी दाँते द्रविक रूप से (hydraulically) सन्तुलित हो जाते हैं। गियरों पर बलों के असंतुलन से बलाघूर्ण (torque) उत्पन्न होता है जिसका परिमाण गियर दाँते को विमाओं के समानुपाती होता है। बड़े गियर दाँते अधिक बलाघूर्ण प्रदान करते हैं।

ये संरचना में सरल होते हैं तथा इन्हें दोनों तरफ से अर्थात् दिशा पलटकर भी चलाया जा सकता है। इनकी दक्षता, लीकेज के कारण कम रहती है।

(ii) वेन मोटर (Vane Motors)—(देखें चित्र 8.6) वेन मोटर केवल एक दिशा में घूर्णन उपलब्ध कराती है। पम्प से आने वाला प्रवाह इनलेट पर प्रवेश करता है, रोटर पर बल लगाता है और वेन घूमता है तथा आऊटलेट से बाहर निकल जाता है। मोटर के घूमने से आऊटपुट शाफ्ट भी घूमती है। क्योंकि कोई अपकेन्द्रिय बल कार्य नहीं



चित्र 8.6—वेन मोटर

करता जब तक कि मोटर घूमना प्रारम्भ न कर दें, अत: केसिंग कन्टूर (casing contour) के विरुद्ध वेन को पकड़ने (hold) के लिए किसी विधि का प्रयोग किया जाना चाहिए। इसके लिए प्राय: स्प्रिंग प्रयुक्त होते हैं। वेन मोटर द्रविक रूप से सन्तुलित होती है जिससे कि रोटर को शाफ्ट के साइड़ लोडिंग से सुरक्षित किया जा सके। शाफ्ट को दो बियरिंगों पर सहारा जाता है। मोटर में तेल को पम्प द्वारा बलात् (forced) प्रविष्टि कराने से हुए दाबान्तर के कारण बलाघूर्ण (torque) उत्पन्न होता है। इनमें गियर मोटर की तुलना में कम लीकेज होता है। इसका डिज़ाइन सरल, शोर कम तथा कम कम्पन होता है।

(iii) पिस्टन मोटर (Piston Motors)—द्रविक प्रणालियों में पिस्टन मोटर बहुतायत से प्रयुक्त होती है। इनको निम्न प्रकार वर्गीकृत किया जाता है—

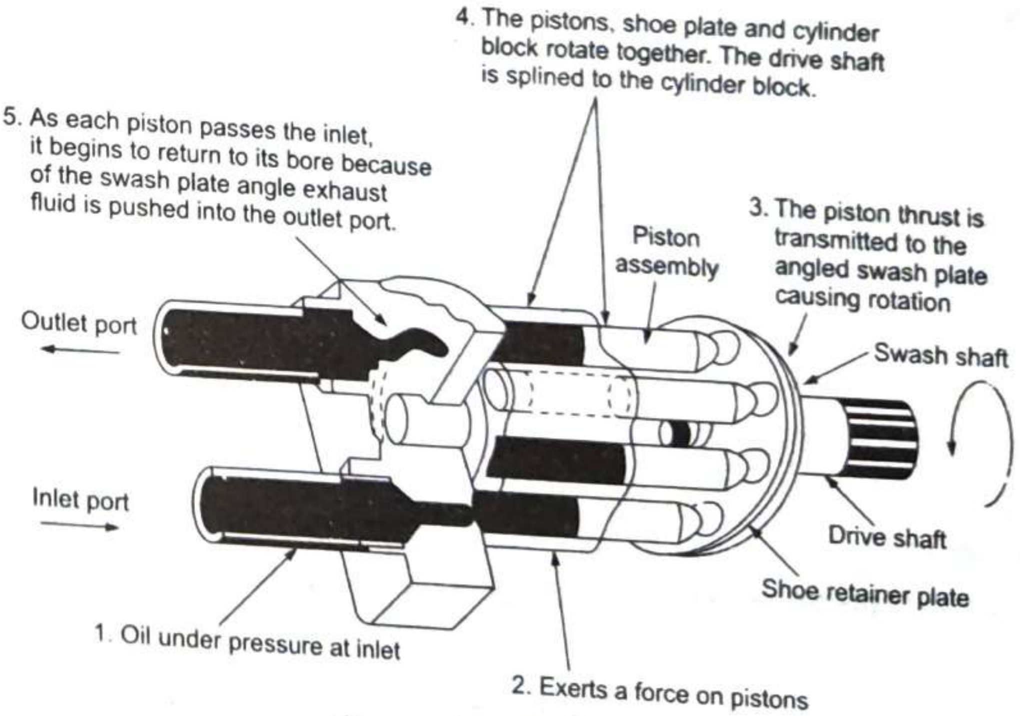
(a) सिलेण्डर ब्लॉक के पिस्टन तथा ड्राइव शाफ्ट के आधार पर, पिस्टन मोटर निम्न प्रकार के होते हैं—

1. अक्षीय पिस्टन मोटर (Axial piston motors)
2. त्रैज्यिक पिस्टन मोटर (Radial piston motors)

(b) विस्थापन के आधार पर, पिस्टन मोटर निम्न प्रकार के होते हैं—

1. स्थिर विस्थापन पिस्टन मोटर,
2. परिवर्तनीय विस्थापन पिस्टन मोटर

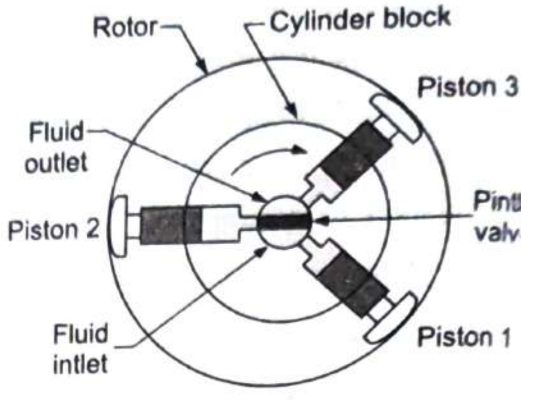
अक्षीय पिस्टन मोटर (Axial Piston Motors)—इन मोटरों में, पिस्टन सिलिण्डर ब्लॉक की अक्ष के समान्तर पश्चाग्र गति करता है। ये मोटरें स्थिर अथवा परिवर्तनीय विस्थापन, दोनों प्रकार की हो सकती है। इसमें मोटर के पार (through) दाब पतन (Pressure drop) से बलाघूर्ण उत्पन्न होता है। दाब से पिस्टनों के सिरों पर एक बल लगता है जो शाफ्ट रोटेशन में परिवर्तित हो जाता है। अनेक मॉड़लों में प्रवाह की दिशा बदलकर घूर्णन दिशा परिवर्तित की जा सकती है। पम्प से आने वाले तेल को सिलिण्डर बोर में इनलेट पोर्ट से बलात् प्रविष्टि कराया जाता है। इस बिन्दु पर पिस्टनों पर लगने वाला बल उन्हें एक स्वास प्लेट (Swash plate) के विरुद्ध धकेलता (Push) है। पिस्टन स्वास प्लेट के अनुदिश तथा सिलेण्डर बैरल से दूर सरकते हुए गति कर सकते हैं जिसके कारण यह घूमती है। ये बैरल एक शाफ्ट से स्पलाइन (splined) किये होते हैं जिससे यह घूमती है।



चित्र 8.7—स्वास प्लेट पिस्टन मोटर

त्रैज्यिक पिस्टन मोटर (Radial Piston Motors)—त्रैज्यिक या रेडियल पिस्टन मोटर में, सिलेण्डरों में तरल धकेला जाता है तथा पिस्टन बाहर की ओर चलते हैं। पिस्टन, रोटर को दबाते हैं जिससे सिलेण्डर ब्लॉक घूमने लगता

चित्र 8.8 में प्रदर्शित मोटर में सुगमता हेतु तीन पिस्टनों को दर्शाया गया है। सामान्यतया इसमें सात अथवा नौ पिस्टन होते हैं। जब पिस्टन-1 से सम्बन्धित सिलेण्डर बोर में द्रव को धकेला जाता है, पिस्टन बाहर की ओर चलता है। इस कारण से सिलेण्डर प्रदक्षिण (clockwise) दिशा में घूमने लगता है। जब पिस्टन-1 पर लगा बल सिलेण्डर ब्लॉक को घुमाता है। पिस्टन-2 घूमना प्रारम्भ करता है तथा पिस्टन-3 की स्थिति के पास पहुँचता है। यहाँ सिलेण्डर ब्लॉक तथा रोटर के प्रतिक्रिया रिंग (reaction ring) के बीच की दूरी लगातार, ऊपर तथा रोटर के दाँये अर्ध में (Top and right half) कम होती जाती है।



चित्र 8.8—त्रैज्यिक पिस्टन मोटर

जब पिस्टन-2 घूमता है, यह अन्दर की ओर बल लगाता है और द्रव को सिलेण्डर से बाहर की ओर धकेलता है क्योंकि पिन्टल वाल्व के इस तरफ कोई दाब नहीं होता अथवा बहुत कम दाब होता है। इसके बाद पिस्टन-3, धकेलने वाला पिस्टन (Pushing piston) बन जाता है और सिलेण्डर ब्लॉक को घुमाता है।

ये मोटरें कम गति तथा उच्च बलाघूर्ण वाली होती है। इनका प्रयोग विंच (Winches) आदि में होता है।

(D) पम्प (Pump)

पम्प का कार्य यांत्रिक ऊर्जा को द्रविक ऊर्जा में बदलना है। ये भार को चलाने के लिए बल का जनन करते हैं। एक प्रथम चालक, जैसे कि विद्युत मोटर द्वारा प्रदत्त यांत्रिक ऊर्जा, पम्प को प्रदान की जाती है। पम्प शाफ्ट के यांत्रिक घूर्णन से पम्प के प्रवेश पर आंशिक निर्वात् उत्पन्न किया जाता है। निर्वात् होने से वायुमण्डल दाब, तरल पर बल लगाकर उसे पम्प में धकेलता है। पम्प तरल को यांत्रिक रूप से दबाता है। इस तरल शक्ति से गति करने वाली युक्ति (actuated devices) जैसे मोटर अथवा सिलेण्डर को चलाया जाता है।

पम्प का वर्गीकरण (Classifications of Pumps)—पम्पों को तीन प्रकार वर्गीकृत किया जाता है—

1. विस्थापन के आधार पर वर्गीकरण—
   (a) अधनात्मक विस्थापन पम्प या हाइड्रोडाइनेमिक पम्प
   (b) धनात्मक विस्थापन पम्प या हाइड्रोस्टेटिक पम्प
2. डिलीवरी के आधार पर वर्गीकरण—
   (a) नियम प्रदाय (delivery) पम्प
   (b) चर प्रदाय (delivery) पम्प
3. गति के आधार पर वर्गीकरण—
   (a) रोटरी या घूर्णी पम्प
   (b) पश्चाग्र पम्प

पम्पों का विस्तृत अध्ययन हम पूर्व अध्याय-6 में कर चुके हैं।

§ 8.4. फिल्टर (Filter) :

तेल की स्वच्छता किसी भी द्रविक प्रणाली (Hydraulic system) के लम्बे सेवाकाल तथा सही परिचालन के लिए अत्यन्त महत्वपूर्ण है। किसी भी द्रविक प्रणाली के असफल होने का प्रमुख कारण संदूषण (contamination) होता है। अत: तेल को सही प्रकार से फिल्टर करना आवश्यक होता है।

परिभाषा—"फिल्टर एक युक्ति है जिसका प्रमुख उद्देश्य महीन सरन्ध्र माध्यम (fine porous medium) का प्रयोग करने वाली रोक (retention) द्वारा अघुलनशील संदूषण (insoluble contaminants) को पृथक करना है।

"Filter is a device whose primary function is to remove the insoluble contaminants from the fluid retention using fine porous medium."

उद्देश्य (Purpose)—एक फिल्टर स्टील की बनी हुई हाउसिंग (Housing) या पात्र होता है जिसमें एक प्रवेश तथा निकास मार्ग बना होता है। इसमें स्प्रिंगों के माध्यम फिल्टर अवयव को यथास्थिति में बनाये रखा जाता है। जब फिल्टर गंदा (dirty) हो जाता है, इसे हटा देते हैं तथा इसकी जगह नया फिल्टर लगा देते हैं। फिल्टरों द्वारा हटाये गये कणों का साइज (μ) माइक्रोन में मापा जाता है। फिल्टर ठोस तथा द्रव, दोनों प्रकार के संदूषण को हटाता है।

फिल्टरों का वर्गीकरण (Classifications of Filters)

फिल्टर को निम्न आधारों पर वर्गीकृत किया जाता है—

(A) फिल्टर करने की विधि के आधार पर (According to the Filtering Method)

(i) **यांत्रिक फिल्टर (Mechanical Filters)**—इस प्रकार के फिल्टरों में धातु या कपड़े की जाली की एक श्रेणी बनी होती है। ये फिल्टर तरल में उपस्थित अपेक्षाकृत मोटे कणों को पृथक करने में सक्षम होते हैं।

(ii) **अवशोषण फिल्टर (Absorption Filters)**—ये फिल्टर सरंध्र (Porous) तथा पारगम्य (Permeable) पदार्थों जैसे कागज, वुड़ पल्प (Wood pulp), कपड़ों, सेलूलोज (Cellulose) तथा एस्बेस्टस (Asbestos) आदि से बने होते हैं। पेपर फिल्टर, एक रेजिन (resin) द्वारा लेपित होते हैं जिससे उसे अतिरिक्त सामर्थ्य मिलती है। इस प्रकार के फिल्टरों में कण वास्तव में अवशोषित होते हैं क्योंकि तरल, पदार्थों में से पारगम्य (permeable) होते हैं। ये फिल्टर अत्यन्त छोटे कणों को फिल्टर करने के लिए ही प्रयुक्त होते हैं।

(iii) **अधिशोषण फिल्टर (Adsorbent Filters)**—अधिशोषण एक सतही घटना है और फिल्टर की सतह पर कणों के चिपकने की प्रकृति से सम्बन्धित है। अत: ऐसे फिल्टरों की क्षमता उपलब्ध सतही क्षेत्रफल के परिमाण पर निर्भर करती है। प्रयुक्त होने वाले अधिशोषण पदार्थ प्राय: सक्रियित क्ले (activated clay) तथा रासायनिक उपचार युक्त पेपर (chemically treated paper) होते हैं।

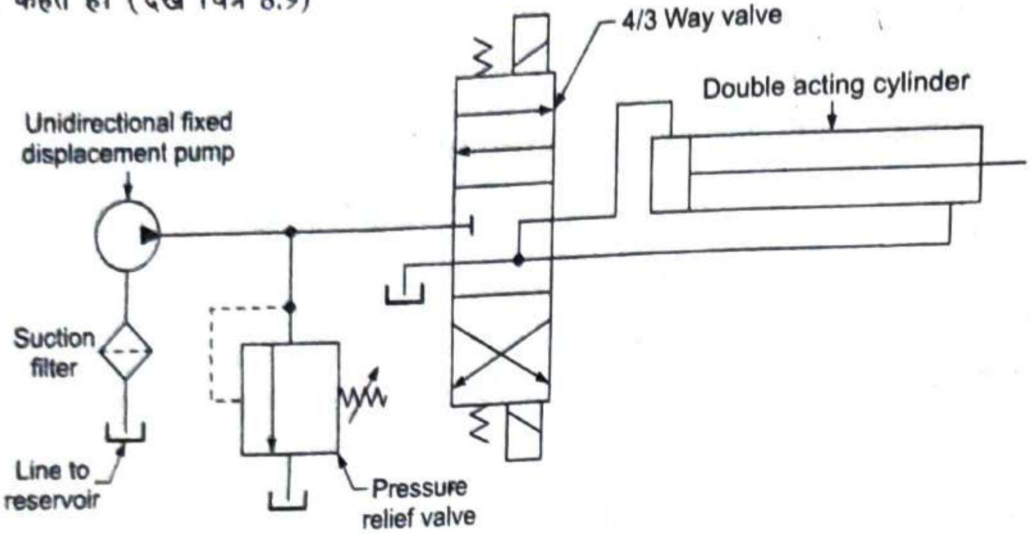
(B) पदार्थ में रन्ध्रों के आकार के आधार पर (According to the Size of Pores in the Material)

(i) **सतही फिल्टर (Surface Filters)**—ये एक साधारण स्क्रीन (simple screens) होते हैं जिनका प्रयोग उनके रन्ध्रों (Pores) में से तेल को गुजारकर उसे साफ करने के लिए होता है। यह स्क्रीन बहुत पतली (thin) होती है और गन्दे, अवांछित कणों को स्क्रीन की ऊपरी सतह पर एकत्र किया जाता है जब तेल उसमें से गुजारा जाता है।

(ii) **गहरे फिल्टर (Depth Filters)**—ये मोटी दीवार युक्त फिल्टर माध्यम होते हैं जिनके मध्य से तेल को गुजारा जाता है और अवांछित बाहरी कण रोक दिये जाते हैं। इसमें अधिक महीन कण भी फिल्टर रोके जा सकते हैं और इसकी क्षमता सतही फिल्टर से अधिक होती है।

(C) फिल्टर की स्थिति के आधार पर (According to the Location of Filters)

(i) इनटेक या इनलाइन फिल्टर (Intake or Inline Filter)—इसे सक्शन लाइन फिल्टरिंग (suction filtering) भी कहते हैं। (देखें चित्र 8.9)



चित्र 8.9—Suction Filter

ये फिल्टर पम्प से पहले लगाये जाते हैं जिससे कि तेल में उपस्थित संदूषण (contamination) से पम्प को बचा जा सके। ये फिल्टर न्यून दाब पतन (low pressure drop) देने के लिए अभिकल्पित किये जाते हैं अन्यथा ये पम्प टैंक तरल या द्रव खींचने में सक्षम नहीं होगा। फिल्टर के पास न्यून दाब पतन प्राप्त करने के लिए एक रूक्ष जाली (coarse mesh लगाई जाती है। ये फिल्टर सूक्ष्म कणों को फिल्टर नहीं कर पाते हैं।

लाभ (Advnatages)—1. सक्शन फिल्टर, पम्प को तेल कुण्ड़ में उपस्थित धूल मिट्टी से बचाता है। क्योंकि सक्शन फिल्टर, तेल कुण्ड के बाहर लगा होता है, एक सूचक (indicator) का प्रयोग तेल की गन्दगी को दर्शाने के लिए प्रयोग किया जाता है।

2. तेल कुण्ड या चूषण लाइन को विघटित (dismentle) किये बिना फिल्टर अवयव को आसानी से साफ तथा सर्विस किया जा सकता है।

अलाभ (Disadvantage)—यदि सक्शन फिल्टर का साइज उचित न हो तो वह पम्प का कार्य बाधित कर सकता है।

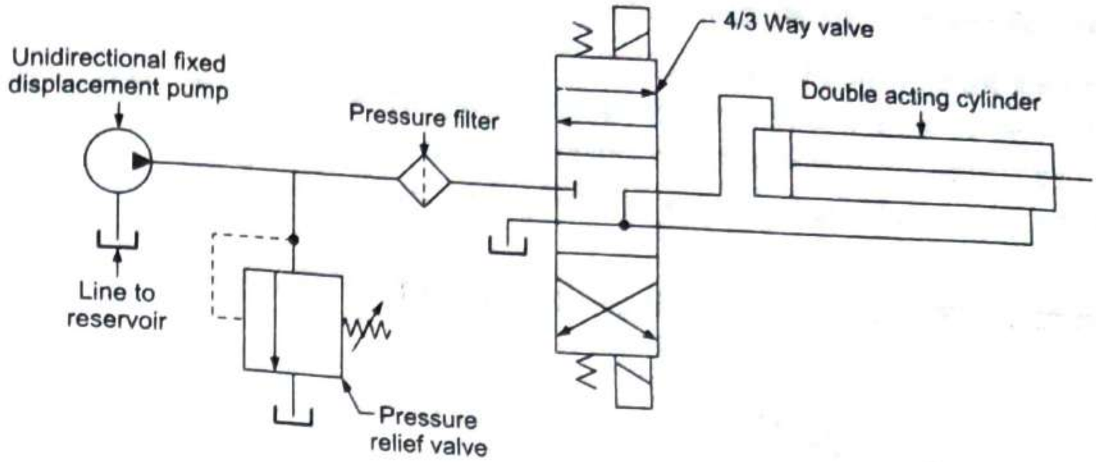
(ii) दाब लाइन फिल्टर (Pressure Line Filters)—इसे उच्च दाब फिल्टर भी कहते हैं जैसे की चित्र 8.10 में प्रदर्शित है। ये पम्प के ठीक बाद में लगाये जाते हैं जिससे कि वाल्वों तथा गति करने वाले अंगों (Actuators) को सुरक्षित रखा जा सके तथा महीन और छोटी जाली का प्रयोग हो सके। ये फिल्टर सम्पूर्ण सिस्टम के दाब के विरुद्ध बने रहने के लिए सक्षम होना चाहिए।

लाभ (Advantages)—1. एक दाब फिल्टर बहुत सूक्ष्म कणों को फिल्टर कर सकते हैं क्योंकि सिस्टम दाब फिल्टर के मध्य से तरल को धकेलता है।

2. एक दाब फिल्टर किसी विशिष्ट अवयव को किसी प्रति प्रवाह अवयव (upstream component) द्वारा जनित विकृत कणों (determining particles) से सुरक्षित रख सकता है।

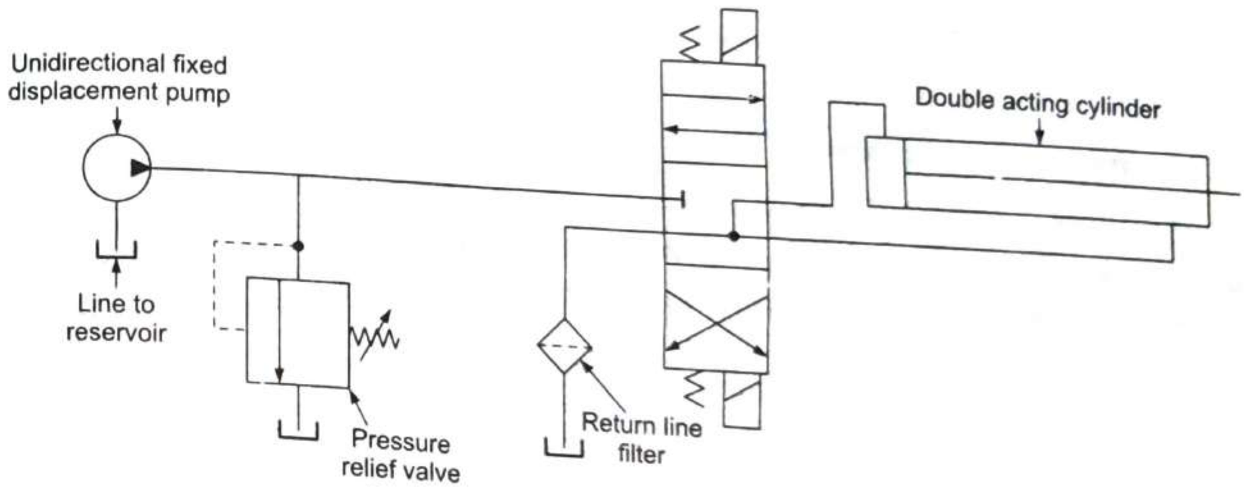
अलाभ (Disadvantages)—1. दाब फिल्टर के लिए बनाये जाने वाली हाउसिंग (Housing) को इस प्रकार अभिकल्पित किया जाना चाहिए कि वह पूर्व सिस्टम दाब पर कार्य कर सके। इससे फिल्टर की लागत बढ़ती है।

2. यदि दाब अन्तर तथा तरल वेग बहुत अधिक हो तो धूल आदि अवयव के पार जा सकते हैं अर्थात् अवयव टूट या खराब हो सकता है।



चित्र 8.10—दाब फिल्टर

(iii) वापसी लाइन फिल्टर (Return Line Filters)—इसको निम्न दाब फिल्टर (low pressure filter) भी कहते हैं। जैसा कि चित्र 8.11 में प्रदर्शित है—



चित्र 8.11—वापसी लाइन फिल्टर

ये फिल्टर दाब विमोचन वाल्व (Pressure relief valve अथवा निकाय (actuator) से वापस लौटते हुए तेल की फिल्टरिंग करते हैं। ये प्राय: टैंक से ठीक पहले लगाये जाते हैं। इसमें अपेक्षाकृत उच्च दाब पतन (High-Pressure drop) हो सकता है अत: इसमें एक महीन जाली हो सकती है। ये फिल्टर न केवल निम्न दाब पर बने रहते हैं बल्कि टैंक तथा पम्प को संदूषण (contamination) से भी बचाते हैं।

लाभ (Advantages)—1. एक वापसी लाइन फिल्टर, तेल कुण्ड में वापसी से पहले, सिस्टम में से धूल कणों को अलग करता है।

2. फिल्टर हाउसिंग, सम्पूर्ण सिस्टम दाब के अन्दर कार्य नहीं करता है अत: यह कम खर्चीला होता है।

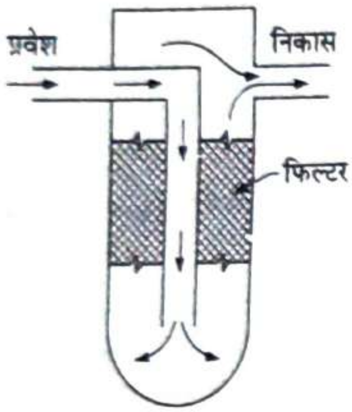
अलाभ (Disadvantages)—1. परिपथ के अवयवों के लिए कोई सीधी सुरक्षा नहीं होती है।

2. वापसी लाइन पूर्व प्रवाह फिल्टरों में, आकारण (sizing) करते समय डिस्चार्जिंग सिलेण्डर (discharging cylinders), गति करने वाले अवयवों (actuators) तथा संचयको (accumulators) से होने वाले प्रवाह पर भी विचार करना चाहिए।

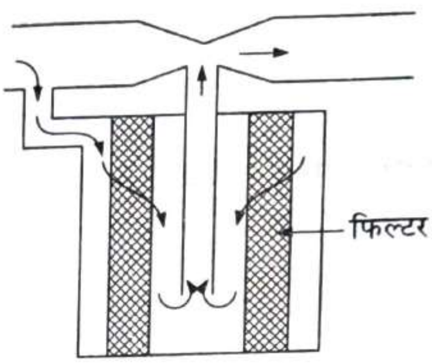
(D) फिल्टरित की जाने वाली तेल की मात्रा के आधार पर (On the Basis of Quantity of Oil to be F

(i) पूर्ण प्रवाह फिल्टर (Full Flow Filter)—(देखें चित्र 8.12) इस प्रकार के फिल्टर में, सम्पूर्ण तेल को किया जाता है। फिल्टर अवयव के प्रवेश (inlet) पर तेल का समस्त प्रवाह प्रवेश करना चाहिए तथा फिल्टर अवयव से रूप से गुजरते हुए निकास (outlet) से बाहर निकलना चाहिए। यह एक दक्ष (efficient) फिल्टर है लेकिन इसमें उच्च पतन होता है। यह दाब पतन और बढ़ जाता है जब फिल्टर संदूषण (contamination) के कारण ब्लॉक (blocke जाता है।

(ii) समानुपाती फिल्टर (Proportional Filter)—इसे बाई-पास फिल्टर (Bypass filter) भी कहते हैं। चित्र 8.13)

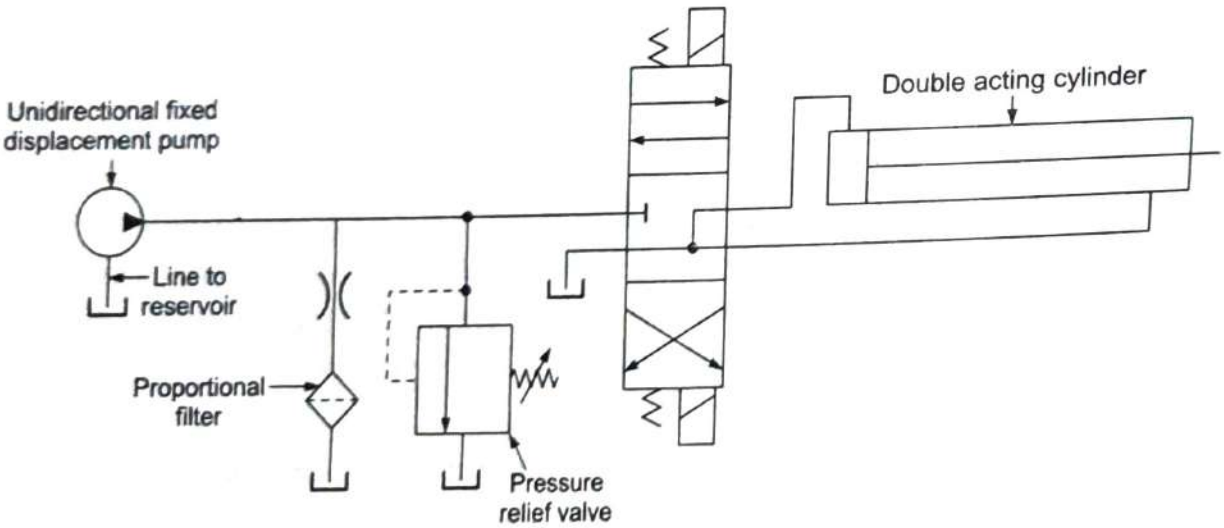


चित्र 8.12—पूर्ण प्रवाह फिल्टर



चित्र 8.13—समानुपाती फिल्टर

कुछ द्रविक प्रणाली अनुप्रयोगों में, तेल का केवल कुछ भाग ही फिल्टर से गुजरता है, सम्पूर्ण आयतन नहीं गुजरता मुख्य भाग एक संकरे रास्ते (restricted passage) से बिना फिल्टर हुए सीधे ही गुजार दिया जाता है। समानुपाती फिल्टर को अलग से एक ड्रेन लाइन (drain line) में लगाया जाता है जैसा कि चित्र 8.14 में प्रदर्शित है।



चित्र 8.14—एक पृथक ड्रेन लाइन में स्थापित समानुपाती फिल्टर

§ 8.5. सील तथा पैकिंग (Seals and Packing) :

सभी द्रविक प्रणालियों की लीकेज एक प्रमुख समस्या है। इससे दक्षता घटती है तथा शक्ति ह्रास (Power losses) वृद्धि होती है। अतः द्रविक प्रणालियों में सीलिंग युक्तियों (sealing devices) का प्रयोग करके दक्षता को बढ़ाते हैं तथा

ह्रास को कम करते हैं। लीकेज को प्रणाली के उचित अनुरक्षण (Maintenance), सील के उचित चुनाव तथा डिजाइन के स्तर पर सही सीलिंग विधि का चुनाव करके कम किया जा सकता है।

द्रविक प्रणालियों में लीकेज को दो प्रकार से वर्गीकृत किया जा सकता है—

(a) आन्तरिक लीकेज (Internal leakage)

(b) बाह्य लीकेज (External leakage)

(a) आन्तरिक लीकेज (Internal Leakage)

आन्तरिक लीकेज, द्रविक अवयवों जैसा कि स्पूल (spools) आदि चल अंगों में दिये गये कार्यकारी अवकाश (operating clearance) के कारण होती है। आन्तरिक लीकेज से किसी प्रकार से तरल की हानि नहीं होती क्योंकि सारा तरल वापस कुण्ड में चला जाता है। यदि लीकेज बहुत अधिक हो तो गति करने वाली युक्ति (actuators) ठीक से परिचालित नहीं होगी।

(b) बाह्य लीकेज (External Leakage)

बाह्य लीकेज से अभिप्राय, प्रणाली में से तरल की हानि होना है। पाइप फिटिंग की अनुचित एसेंबली इसका सबसे प्रमुख कारण है। आवश्यकता से अधिक कसे होने से नुकसान होता है अथवा कम्पनों से भी उचित कसे हुए पाइप फिटिंग ढीले पड़ सकते हैं। ड्रेन लाइन को सही से जोड़ने में असफलता, अधिक कार्यकारी दाब तथा संदूषण (contamination) भी बाह्य लीकेज के कारण हो सकते हैं।

8.5.1. सील का कार्य (Functions of Seal)

अत्याधिक आन्तरिक तथा बाह्य लीकेज से बचाने के लिए द्रविक प्रणालियों में सील का प्रयोग किया जाता है। सील से संदूषण को भी बाहर रखा जा सकता है।

1. लीकेज से बचाती है—आन्तरिक तथा बाह्य दोनों।
2. प्रणाली में धूल तथा अन्य अवाछित कणों को प्रवेश न होने देना।
3. दाब को बनाये रखती है।
4. द्रविक प्रणाली की विश्वसनीयता तथा सेवाकाल को बढ़ाती है।

8.5.2. द्रविक सीलों का वर्गीकरण (Classification of Hydraulic Seals)

(a) सीलिंग की विधि के आधार पर (According to the Method of Sealing)

(i) धनात्मक सीलिंग (Positive Sealing)

(ii) अधनात्मक सीलिंग (Non-positive Sealing)

एक धनात्मक सील तरल या तेल की छोटी सी मात्रा भी बाहर निकलने से बचाती है। धनात्मक सील किसी भी प्रकार की लीकेज, चाहे वह बाह्य हो या आन्तरिक, को नहीं होने देती है। एक अधनात्मक सील आन्तरिक लीकेज की एक बहुत छोटी सी मात्रा, जैसे कि एक स्नेहन फिल्म बनाने हेतु पिस्टन में दिया गया अवकाश के कारण, की अनुमति देती है।

(b) सील तथा अन्य अंगों के बीच सापेक्ष गति के आधार पर (According to the Relative Motion Existing between the Seals and Other Parts)

(i) स्थैतिक सील (Static seal)

(ii) गतिक सील (Dynamic seal)

स्थैतिक सील ऐसे स्थानों पर प्रयोग की जाती है जहाँ मिलने वाले अंगों में सापेक्ष गति नहीं होती है। उदाहरण के लिए— फ्लैंज गास्केट तथा सील, O-रिंग आदि। ये अपेक्षाकृत साधारण होती है। यदि उचित एसेम्बली हो तो ये घिसन रहित तथा प्राय: समस्या रहित होती है।

गतिक सील ऐसे स्थानों पर प्रयोग की जाती है जहाँ मिलने वाले अंगों में सापेक्ष गति होती है। अत: गतिक सीलों में घिसन (wear) की समस्या होती है क्योंकि एक चल अंग सील के विरूद्ध घिसता है।

(c) ज्यामितीय अनुप्रस्थ काट के आधार पर (According to Geometrical Cross-section)

(i) O-रिंग सील (O-Ring Seal)

(ii) V-रिंग तथा U-रिंग सील (V-ring and U-ring Seal)

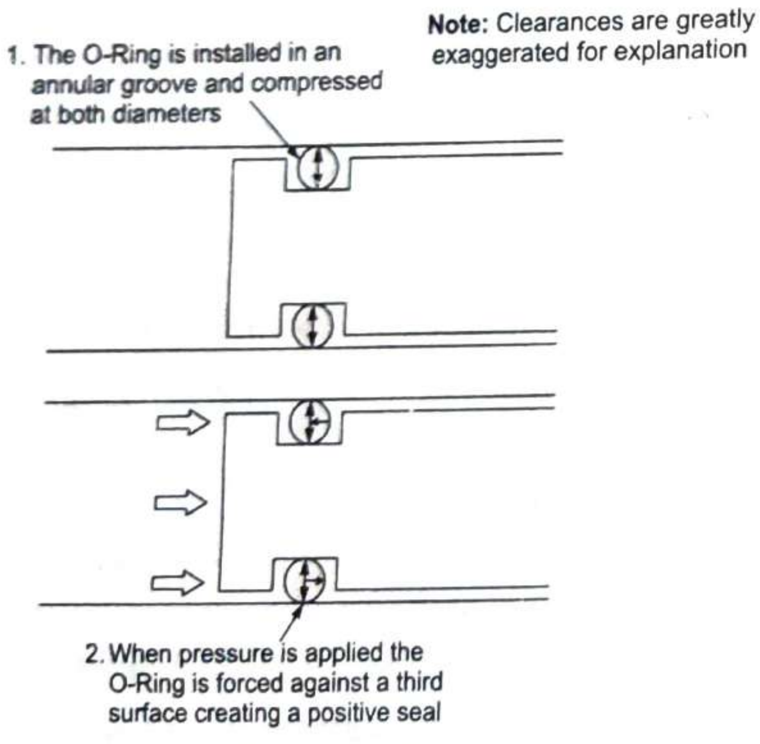
(iii) T-रिंग सील (T-ring Seal)

(iv) पिस्टन कप पैकिंग (Piston Cup Packings)

(v) पिस्टन रिंग (Piston Rings)

(vi) वाइपर रिंग (Viper Rings)

(i) O-रिंग सील (O-Ring Seal)—यह द्रविक प्रणालियों में सर्वाधिक प्रयुक्त होने वाली सील है। यह एक मोल्डेड़ सिंथेटिक रबर सील होती है जिसकी अनुप्रस्थ काट उसकी मुक्त अवस्था में वृत्ताकार होती है। यह सील अधिकतर स्थैतिक तथा गतिक परिस्थितियों के लिये प्रयोग की जा सकती है। यह सील ताप, दाब तथा गतियों की एक बड़ी परास के लिए प्रभावी सीलिंग प्रदान करती है। इसके साथ ही इसका प्रमुख लाभ यह भी है कि चल अंगों पर निम्न रनिंग घर्षण प्रदान करती है और सील के दोनों तरफ सीलिंग दाब वहन कर सकती है। चित्र 8.15 में O-रिंग सील के अनुप्रयोग को प्रदर्शित किया गया है—

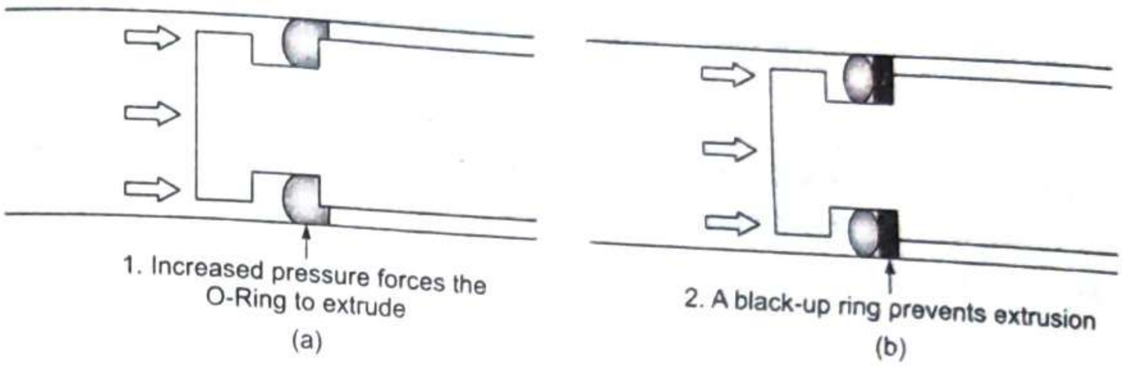


चित्र 8.15—O-रिंग सील

O-रिंग की खामियाँ (Drawbacks of O-rings)—

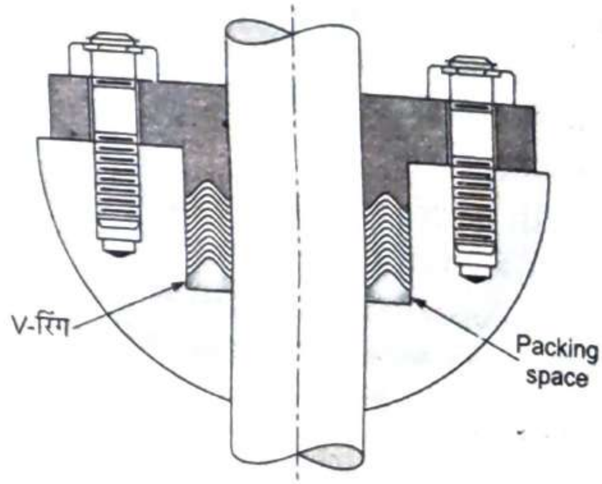
1. O-रिंग, घूमती हुई शाफ्टों की सीलिंग तथा जहाँ कम्पन एक समस्या है, के लिए उपयुक्त है।

2. उच्च दाबों पर 'O'-रिंग मिलने वाले अंगों के मध्य अवकाश (clearance) में निष्कासित (extrude) हो सकता है जैसा कि चित्र 8.16(a) में प्रदर्शित है। गतिक अनुप्रयोगों में भी यह कम अनुप्रक्त होती है क्योंकि इससे तीव्र घिसन (rapid wear) होती है। निष्कासन (Extrusion) से बचाने के लिए बैकअप रिंग (Backup ring) प्रयुक्त किये जाते हैं। जैसाकि चित्र 8.16(b) में प्रदर्शित है।



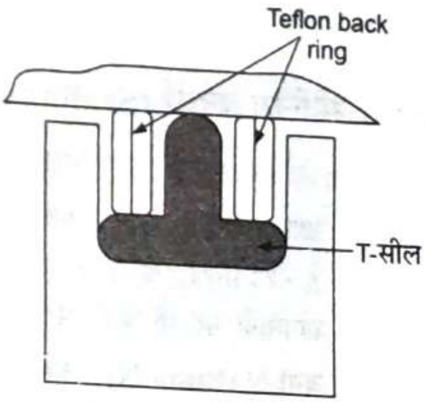
चित्र 8.16

(ii) V- अथवा U-रिंग पैकिंग (V-ring Packing)— चित्र 8.17 में एक V-रिंग पैकिंग प्रदर्शित है। ये संपीड़न प्रकार की सील होती है और प्राय: सभी प्रकार के पश्चाग्र पम्पों में पिस्टन तथा प्लन्जरों पर सील, वायवीय तथा द्रविक सिलिण्डरों, प्रैस रैंक (Press ranks), जैक (Jacks) में पिस्टन तथा पिस्टन रॉड सील आदि निहित है। ये कुछ धीमे घूर्णी (rotary) अनुप्रयोगों जैसे कि वाल्व स्टैम (Valve stems) के लिए भी उपयुक्त होती है। इन पैकिंगों को V और U आकृतियों नें मोल्ड़ करके बनाया जाता है। अधिक प्रभावी सीलिंग के लिए इन्हें अधिक संख्या में लगाया जाता है।



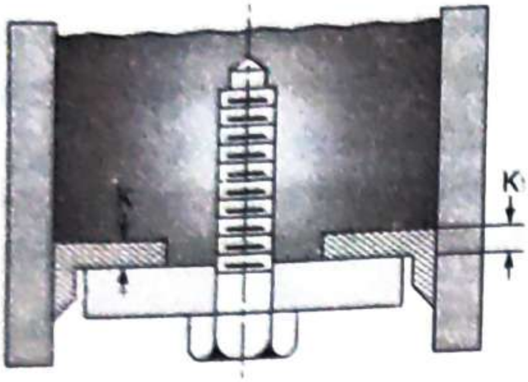
चित्र 8.17

(iii) T-रिंग सील—T-सील स्थिर या पश्चाग्र गतिक (Reciprocating dynamic) अनुप्रयोगों के लिए एक उत्कृष्ट सील समाधान प्रदान करते हैं। (देखें चित्र 8.18)। टी-सील को मौजूदा ओ-रिंग ग्रूव्स (O-ring grooves) (पिस्टन तथा रॉड ओरिएंटेशन दोनों) में फिट करने के लिए या विशिष्ट अनुप्रयोग आवश्यकताओं के लिए अनुकूलित करने के लिए डिजाइन किया जा सकता है।



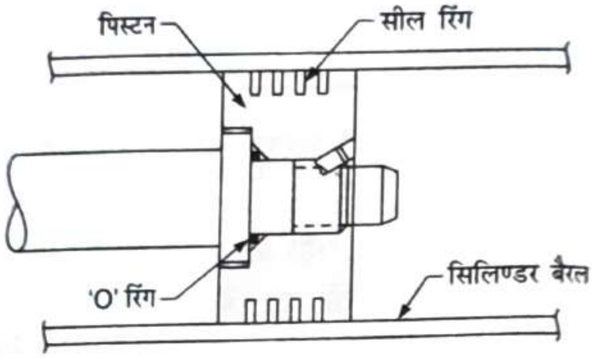
चित्र 8.18—T-रिंग सील

(iv) पिस्टन कप पैकिंग (Piston Cup Packings)—(देखे चित्र 8.19) पिस्टन कप पैकिंग को वायवीय/द्रविक सिलिण्डर तथा पश्चाग्र पम्पों में पिस्टनों के लिए विशेष रूप से डिजाइन किया जाता है। ये आसानी एवं शीघ्रता से लगाये जा सकते हैं, न्यूनतम रेसिस स्थान (minimum recess space) तथा न्यूनतम रेसिस मशीनिंग की आवश्यकता होती तथा इस प्रकार के अनुप्रयोगों में सर्वोत्तम सेवाकाल प्रदान करते हैं।



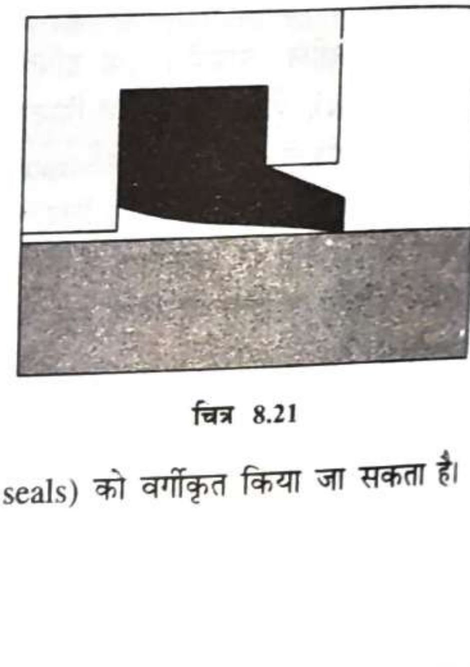
चित्र 8.19—पिस्टन कप रिंग

(v) पिस्टन रिंग (Piston Rings)—चित्र 8.20 में पिस्टन रिंग प्रदर्शित है। ये सील सर्वत्र रूप से सिलिण्डर पिस्टनों में प्रयोग की जाती है। धातु पिस्टन रिंग प्राय: कास्ट आयरन अथवा स्टील की बनायी जाती है। जंग तथा संक्षारण से बचाने के लिए इन रिंग पर जिंक फास्फेट अथवा मैंगनीज फास्फेट की बाहरी परत चढ़ाई जाती है। पिस्टन रिंग अनेक अनुप्रयोग के लिए आदर्श समाधान है क्योंकि वहाँ स्नेहक (Lubricant) की उपस्थिति हानिकारक अथवा खतरनाक हो सकती है। उदाहरण के लिए आक्सीजन सम्पीड़क में जहाँ तेल की जरा सी उपस्थिति आग अथवा विस्फोटन का खतरा उत्पन्न कर सकती है।



चित्र 8.20—पिस्टन रिंग

(vi) वाइपर रिंग (Wiper Rings)—वाइपर रिंग वह सील है जिसका डिजाइन, सिलिण्डर में प्रवेश करने वाले बाहरी अपघर्षी अथवा संक्षारक पदार्थों (abrasive or corrosive materials) को रोकने के लिए किया जाता है। ये दाब के विरूद्ध सील लगाने के लिए डिजाइन नहीं किये जाते हैं। चित्र 8.21 में एक वाइपर रिंग प्रदर्शित है।



चित्र 8.21

(d) सील पदार्थों के प्रकार के अनुसार (According to the Type of Seal Material Used)

सील पदार्थों के प्रकार (types) के अनुसार भी द्रविक सीलों (Hydraulic seals) को वर्गीकृत किया जा सकता है।

§ 8.6. सीलिंग पदार्थ (Sealing Materials) :

सील के प्रयुक्त होने वाले प्रमुख पदार्थ निम्न है—

(i) चमड़ा (Leather)—यह पदार्थ सख्त, मजबूत तथा कम कीमत वाला होता है। यह सूखा होने पर आवाज करता है तथा 90°C के ऊपर कार्य नहीं करता है जो कई द्रविक प्रणालियों में अपर्याप्त होता है। यह –50°C जैसे कम तापमानों पर भी कहीं से कार्य नहीं करता है।

(ii) बुना-N (Buna-N)—यह पदार्थ सख्त, कम कीमत का तथा घिसने वाला होता है। इसके परिचालन के तापमान की परास (range) अपेक्षाकृत अधिक होती है (–45°C से लेकर 110°C तक) जिसके मध्य ये अच्छे सीलिंग लक्षण दर्शाते हैं।

(iii) **सिलिकॉन (Silicons)**—यह इलास्टोमर (Elastomer) बहुत अधिक तापमान परास (–65°C से लेकर 235°C तक) रखते हैं। इसीलिये ये घूमती हुई शाफ्ट सीलों तथा स्थैतिक सीलों के लिए प्रयोग किये जाते हैं। जहाँ बहुत अधिक परिचालन तापमान अपेक्षित होता है। सिलिकॉन, पश्चाग्र सील अनुप्रयोगों के लिए अनुप्रयुक्त होते हैं क्योंकि इनकी फटन प्रतिरोधकता (tear resistance) बहुत कम होती है।

(iv) **नियोप्रिन (Neoprene)**—यह पदार्थ 50°C से लेकर 120°C तक क्रियाकारी तापमान परास रखता है। यह 120°C से ऊपर अनुप्रयुक्त रहता है क्योंकि इसमें ज्वलित होने (vulcanize) की प्रकृति होती है।

(v) **टेट्राफ्लोरोइथाइलीन (Tetrafluoroethylene)**—द्रविक प्रणालियों में सील के लिए सर्वाधिक प्रयुक्त होने वाली प्लास्टिक के रूप में इसका प्रयोग होता है। यह सख्त (tough) तथा रासायनिक रूप से निष्क्रिय होता है। इसका बहुत कम घर्षण गुणांक (extremely low coefficient of friction) होता है। इसकी एक प्रमुख खॉमी (drawback) यह है कि यह दाब में बह (flow) जाने की प्रवृत्ति रखता है।

(vi) **वाइटन (Viton)**—वाइटन में लगभग 65% फ्लोरीन (fluorine) होता है। यह लगभग एक मानक पदार्थ के रूप में इलास्टोमर प्रकार की सीलों में प्रयुक्त होता है जो उच्च तापमान लगभग 240°C से लेकर न्यूनतम परिचालन तापमान 28°C तक कार्य करती है।

प्रश्नावली

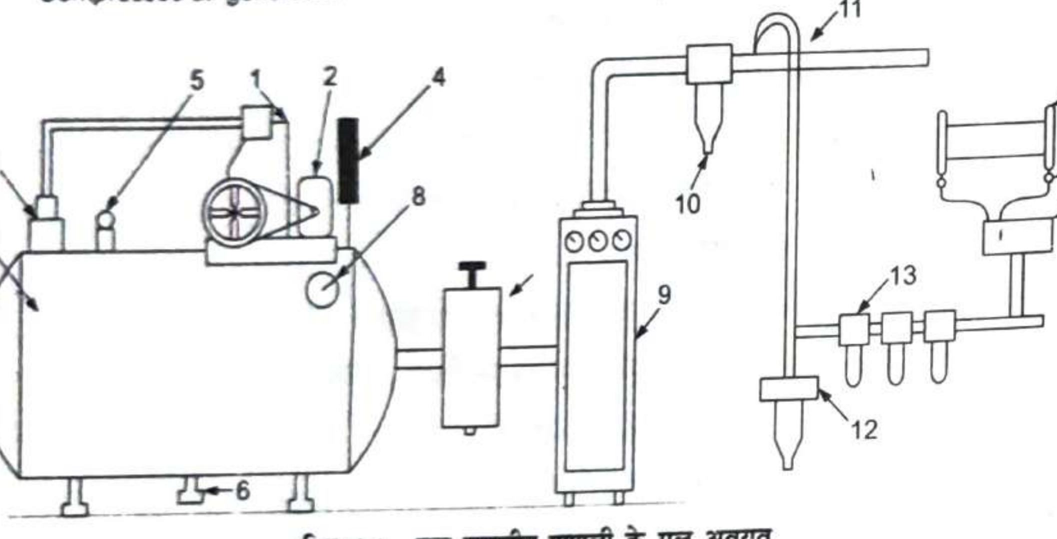
1. एक द्रविक प्रणाली का चित्र बनाकर उसके मूल अवयवों का नाम लिखिए।
2. एक द्रविक परिपथ में लगे प्रत्येक अवयव के कार्यों का संक्षिप्त वर्णन कीजिए।
3. "फिल्टर" को परिभाषित कीजिए। पूर्ण प्रवाह फिल्टर तथा समानुपाती प्रवाह फिल्टर में अन्तर बतायें।
4. एक तेल कुण्ड (Reservoir) का चित्र बनाकर उसके प्रमुख अवयवों के नाम लिखिए।
5. एक तेल कुण्ड के प्रमुख कार्यों का वर्णन कीजिए।
6. एक द्रविक कपलिंग (Hydraulic coupling) का चित्र बनाकर क्रियाविधि समझाइये।
7. एक हाइड्रोलिक मोटर को परिभाषित कीजिए तथा उसकी क्रियाविधि को समझाइये।
8. एक गियर मोटर का चित्र बनाकर क्रियाविधि का वर्णन कीजिए।
9. पम्प को परिभाषित कीजिए तथा उनका वर्गीकरण कीजिए।
10. इन-लाइन फिल्टर, दाब लाइन फिल्टर तथा वापसी लाइन फिल्टरों में अन्तर बताइये।
11. सील (Seal) को परिभाषित कीजिए तथा इसके कार्यों का वर्णन कीजिए।
12. अनुप्रस्थ काट के आधार पर विभिन्न सीलों के नाम लिखिए तथा संक्षिप्त वर्णन कीजिए।
13. विभिन्न प्रकार के सीलिंग पदार्थों का संक्षिप्त वर्णन कीजिए।

9 Chapter

वायवीय प्रणाली के अवयव (Components of Pneumatic Systems)

§ 9.1. वायवीय प्रणाली के मूल अवयव (Basic Components of Pneumatic Systems) :

वायवीय प्रणालियों में अवयवों अथवा अंगों को चलाने के लिए संपीडित वायु का प्रयोग करते हैं। मूल वायवीय प्रणाली में मुख्यत: एक संपीडित वायु जनन यूनिट तथा एक संपीडित वायु खपत यूनिट होती है जैसा कि चित्र 9.1 में प्रदर्शित है। संपीडित वायु में धूल मिट्टी तथा नमी होती है अत: प्रयोग से पूर्व वायु को फिल्टर किया जाता है, नमी को सुखाया जाता है तथा विभिन्न अनुप्रयोगों के लिए वायु दाब भी अलग-अलग रखना होता है। गति करने वाले अवयवों (Actuators) में पहुँचने से पूर्व वायु के अन्य उपचार (treatment) भी किये जाते हैं।



चित्र 9.1—एक वायवीय प्रणाली के मूल अवयव

चित्र 9.1 में एक वायवीय प्रणाली के मूल अवयव प्रदर्शित हैं। प्रणाली के दक्षतापूर्ण तथा मितव्ययी परिचालन के लिए प्रायोगिक रूप से कुछ उपसाधन (Accessories) भी प्रयोग किये जाते हैं। प्रणाली के प्रमुख अवयव निम्न हैं—

1. संपीडक (Compressor)
2. विद्युत मोटर (Electric motor)
3. वायु ग्राही (Air receiver)
4. दाब स्विच (Pressure switch)
5. सुरक्षा वाल्व (Safety valve)
6. ऑटोड्रेन (Autodrain)
7. चेक वाल्व (Check valve)
8. दाब गेज (Pressure gauge)
9. वायु ड्रायर (Air dryer)
10. आफ्टर फिल्टर (After filter)
11. टैपिंग (Tapping)
12. ऑटोड्रेन (Autodrain)
13. एअर सर्विस यूनिट (Air service unit)
14. दिशा नियन्त्रण वाल्व (Direction control valve)
15. गति करने वाला यंत्र (Actuator)
16. गति नियन्त्रक (Speed controller)

§ 9.2. एक वायवीय प्रणाली में लगे प्रत्येक अवयव का कार्य (Function of Each Component in a Pneumatic System) :

(i) **सम्पीड़क (Compressor)**—वह युक्ति, जो यांत्रिक बल तथा गति को वायवीय तरल शक्ति में परिवर्तित करती है, सम्पीड़क कहलाती है। सम्पीड़क ही वायवीय प्रणाली में सम्पीड़ित वायु की सप्लाई करता है।

(ii) **विद्युत मोटर (Electric Motor)**—विद्युत मोटर का प्रयोग सम्पीड़क को चलाने के लिए होता है।

(iii) **वायु ग्राही (Air Receiver)**—यह एक बन्द पात्र है जिसमें संपीड़ित वायु को स्टोर किया जाता है।

(iv) **दाब स्विच (Pressure Switch)**—इस स्विच का प्रयोग वायुग्राही में वांछित दाब बनाये रखने के लिए होता है। यह वायुग्राही में उच्च दाब सीमा तथा निम्न दाब सीमा को समंजित करता है तथा सम्पीड़क को स्वत: ही आवश्यकतानुसार चालू तथा बन्द करता है।

(v) **सुरक्षा वाल्व (Safety Valve)**—सुरक्षा वाल्व का प्रयोग, वायुग्राही में उच्च दाब सीमा से अधिक दाब होने पर अतिरिक्त वायु को बाहर निकालने के लिए होता है।

(vi) **ऑटोड्रेन (Autodrain)**—वायुग्राही में वायु ठण्डी होकर संघनित होती है जिसके कारण संघनित जल वायुग्राही की तली में एकत्र हो जाता है। ऑटोड्रेन का कार्य संघनित जल को ही बाहर निकालने का है।

(vii) **चेक वाल्व (Check Valve)**—चेक वाल्व का कार्य वायु प्रवाह को एक ही दिशा में होने देना है। विपरीत दिशा में प्रवाह को यह वाल्व निरुद्ध (constrained) कर देता है।

(viii) **दाब गेज (Pressure Gauge)**—दाब गेज वायुग्राही में वायु के दाब को दर्शाता है।

(ix) **वायु ड्रायर (Air Drier)**—इसका कार्य संपीड़ित वायु में से नमी को दूर करना है।

(x) **आफ्टर फिल्टर (After Filter)**—आफ्टर फिल्टर, एअर ड्रायर के पश्चात् स्थापित किये जाते हैं तथा इनका कार्य अनुप्रवाह (downstram) साइड़ में लगे उपस्करों को दूषित वायु से बचाना है। ये तरल (गैस अथवा द्रव) को फिल्टर करके अवांछित धूल मिट्टी के कणों को अलग करते हैं।

(xi) **टैपिंग (Tapping)**—मुख्य/उच्च दाब लाइन से आपूर्ति को एक टी-प्रकार के पाइप जोड़ का प्रयोग करके प्राप्त किया जाता है तथा पाइप में पानी की न्यूनतम मात्रा को सुनिश्चित करने के लिए इस जोड़ को ऊपर से (upside) बनाया जाता है। जैसा कि चित्र 9.1 में प्रदर्शित है। वायवीय प्रणालियों में सदैव इस प्रकार के जोड़ को वरीयता दी जाती है जिससे कि निम्न दाब लाइनों में जलांश न रहे। इसे गूसनेक जोड़ (Gooseneck connection) भी कहते हैं।

(xii) **ऑटोड्रेन (Autodrain)**—यदि कोई जलांश नली में शेष रह जाता है तो इस ऑटोड्रेन द्वारा उसे बाहर निकाल देते हैं। यह प्रत्येक ट्यूब के निम्नतर बिन्दु पर स्थित होना चाहिए।

(xiii) **एअर सर्विस यूनिट (Air Service Unit)**—फिल्टर (filter), रेगूलेटर (Regulator) तथा लुब्रीकेटर (Lubricator) तीनों एक यूनिट में जुड़े होने पर एअर सर्विस यूनिट (Air service unit) या F.R.L. यूनिट कहलाते हैं। इसका उद्देश्य लाइन में लगे अन्य अनुप्रयोगों को वायु की सप्लाई करना है। यह वांछित दाब पर स्वच्छ वायु उपलब्ध कराता है। इसमें स्नहेक (Lubricant) भी मिला देते हैं जो स्नेहन की आवश्यकता वाले उपकरणों का सेवाकाल भी बढ़ाता है।

(xiv) **दिशा नियन्त्रक वाल्व (Direction Control Valve)**—वायवीय/द्रविक परिपथ में तरल के प्रवाह की दिशा को बदलने के लिए दिशा नियन्त्रक वाल्व का प्रयोग किया जाता है। ये पैकेजिंग संयोजन तथा हैण्डलिंग आदि अनेक अनुप्रयोग में लगे सिलिण्डरों, घूर्णन गति करने वाले अंगों (rotary actuators), ग्रीपर (grippers) तथा अन्य विन्यासों (mechanisms) में संपीड़ित वायु के प्रवाह को नियन्त्रित करता है। ये वाल्व विद्युतीय अथवा मानवीय रूप से गति करते हैं।

(xv) **वायवीय ऐक्चूयेटर (Pneumatic Actuator)**—वह युक्ति, जो बिना तीव्रता में वृद्धि किये एक दाबित माध्यम (Pressurized medium) से दूसरे तक, शक्ति को संचारित करती है, ऐक्चूयेटर कहलाती है। वायवीय ऐक्चूयेटर प्राय: ऐसे संक्रियाओं (Processes) को नियन्त्रित करने में प्रयोग किये जाते हैं जिसमें द्रुत (quick) तथा यथार्थ प्रत्युत्तर (accurate response) की आवश्यकता होती है क्योंकि उन्हें अधिक परिमाण वाले वाहक बल (motive force) नहीं चाहिये। ये पश्चाग्र सिलिण्डर, घूर्णी मोटर आदि हो सकते हैं।

(xvi) **गति नियन्त्रक (Speed Controller)**—अधिकतर वायवीय अनुप्रयोगों में वायवीय सिलिण्डरों के धीरे-धीरे कर्षण तथा प्रतिकर्षण (extraction and retraction of pneumatic cylinders slowly) के लिए गति नियन्त्रण आवश्यक होती है। इसके लिए प्रवाह नियन्त्रक वाल्व तथा चेक वाल्व के संयोजन (combination) का प्रयोग किया जाता है।

इसके अतिरिक्त वायु इन्टेक फिल्टर तथा वायु इन्टरकूलर का भी आवश्यकतानुसार प्रयोग किया जाता है।

§ 9.3. वायु सम्पीड़क (Air Compressors) :

वायु सम्पीड़क वह युक्ति है जो वायु को निम्न प्रवेश दाब (प्राय: वायुमण्डलीय दाब) से उच्च निकास दाब (प्राय: 6-8 बार) तक संपीड़ित करने के काम आती है।

सम्पीड़क वायु का दाब, उसका आयतन कम करके, बढ़ाया जाता है।

सम्पीड़कों का वर्गीकरण (Classification of Compressors)

क्रिया सिद्धान्त के आधार पर, सम्पीड़कों को निम्न प्रकार वर्गीकृत किया जाता है—

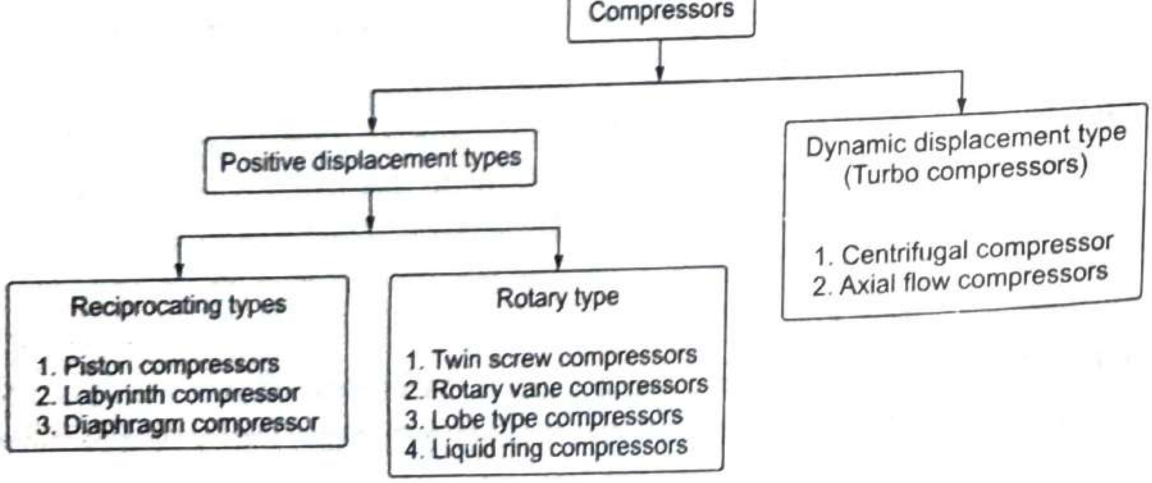
(i) धनात्मक विस्थापन सम्पीड़क (Positive displacement compressor)

(ii) अधनात्मक विस्थापन सम्पीड़क (Nonpositive displacement compressor)

धनात्मक विस्थापन सम्पीड़कों में, एक बन्द चैम्बर में वायु के एक निश्चित आयतन को घटाकर, दाब को बढ़ाया जाता है।

अधनात्मक विस्थापन सम्पीड़कों को स्थिर प्रवाह सम्पीड़क भी कहते हैं। ये निम्न दाब पर अधिक प्रवाह दर प्रदान करने के लिए डिजाइन किये जाते हैं। इनमें प्राय: घूमते हुये वेन (Vanes) अथवा इम्पेलर (Impellers) का प्रयोग किया जाता है।

सम्पीड़कों को आगे वर्गीकृत निम्न प्रकार किया जाता है—



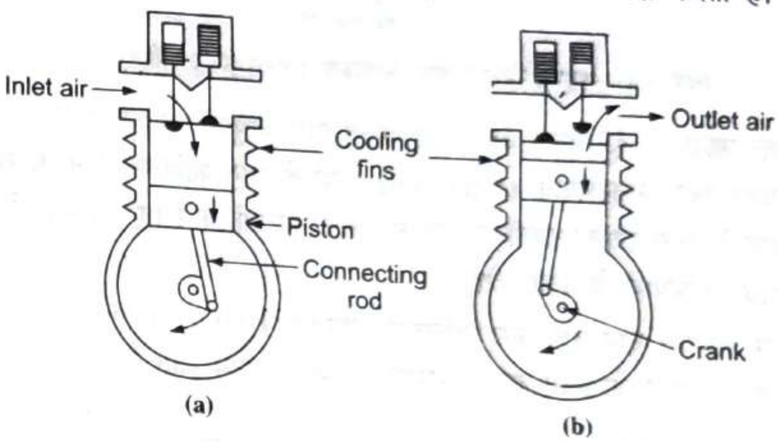
चित्र 9.2—सम्पीड़कों का वर्गीकरण

उपरोक्त सम्पीड़कों में पिस्टन प्रकार के सम्पीड़कों का सर्वाधिक प्रयोग किया जाता है। कुछ प्रमुख प्रकार के सम्पीड़कों का संक्षिप्त विवरण निम्न प्रकार है—

(A) पिस्टन प्रकार के सम्पीड़क (Piston Type Compressor)

ये सम्पीड़क सबसे पुराने तथा वायवीय उद्योग में सर्वाधिक प्रयोग होने वाले हैं। इसकी नम्यता (flexibility), उच्च दाब क्षमता (high pressure capability), सम्पीड़न से उपजी ऊष्मा को निष्कासित करने की क्षमता के कारण इन्हें अधिक प्रयोग किया जाता है। ये स्थिर तथा चल (Portable) प्रकार के हो सकते हैं।

(a) एकल सिलिण्डर सम्पीड़क (Single Cylinder Compressor)—चित्र 9.3 में एक एकल सिलिण्डर संपीडक की बनावट तथा क्रियाविधि को प्रदर्शित किया गया है। जब प्रथम चालक क्रैंक शाफ्ट को घुमाता है तो पिस्टन पश्चाग्र गति करता है। जब पिस्टन नीचे आता है तो इनलेट पोर्ट से वायु सिलिण्डर में प्रवेश करती है। (देखें चित्र 9.3(a))



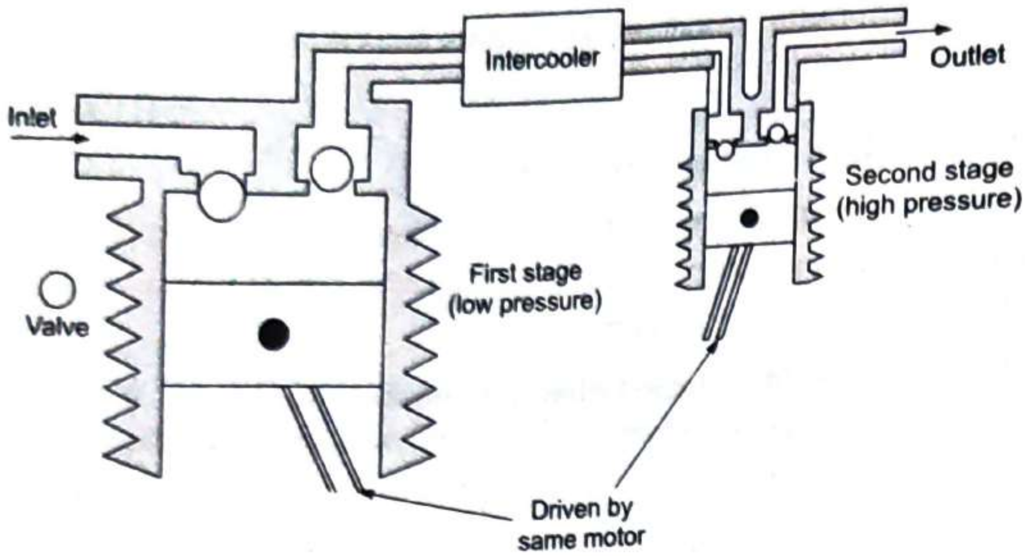
चित्र 9.3—एकल सिलिण्डर सम्पीड़क

जब पिस्टन ऊपर की ओर चलता है तो सिलिण्डर में भरी वायु सम्पीड़ित होती है तथा यह वायु आउटलेट पोर्ट से बाहर ग्राही (Receiver) में चली जाती है। देखें चित्र 9.3(b)।

(b) बहु-पद पिस्टन सम्पीड़क (Multi-stage Piston Compressors)—जब वायवीय प्रणाली में उच्च दाब की आवश्यकता होती है तो वायु का दाब एक साथ किसी एक सिलिण्डर में न बढ़ाकर एक से अधिक सिलिण्डरों में थोड़ा-थोड़ा बढ़ाया जाता है। इसे ही बहु-पद सम्पीड़न कहते हैं। चित्र 9.4 के अनुसार दो सिलिण्डर के मध्य एक अन्तरशीतक सहित बहुपद सम्पीड़क को प्रदर्शित किया गया है। प्रथम पद (first stage) में वायु इनलेट पोर्ट से वायुमण्डलीय ताप एवं दाब पर प्रवेश करती है तथा सम्पीड़न के पश्चात् उसका ताप एवं दाब बढ़ जाता है। ताप बढ़ने से उसका आयतन भी बढ़ता है। अत: वायु का दाब बढ़ना वांछनीय परन्तु तापमान बढ़ना वांछनीय नहीं होगा।

इसीलिए सम्पीड़ित वायु को अन्तरशीतक से गुजारा जाता है जिससे उसका तापमान वांछित स्तर तक कम हो जाता है। अब यह कम तापमान की सम्पीड़ित वायु को दूसरे सिलिण्डर में प्रवेश कराया जाता है और उसका पुन: सम्पीड़न किया जाता है जिससे उसका दाब वांछित स्तर तक बढ़ जाता है। यदि आवश्यक हो तो एक परचशीतक (after cooler) लगाकर सम्पीड़ित वायु को ठण्डा करके वायुग्राही (air receiver) में भेज दिया जाता है। दोनों सिलिण्डर में सम्पीड़न अनुपात वांछित ताप एवं दाब एवं पदों (stages) की संख्या पर निर्भर करता है।

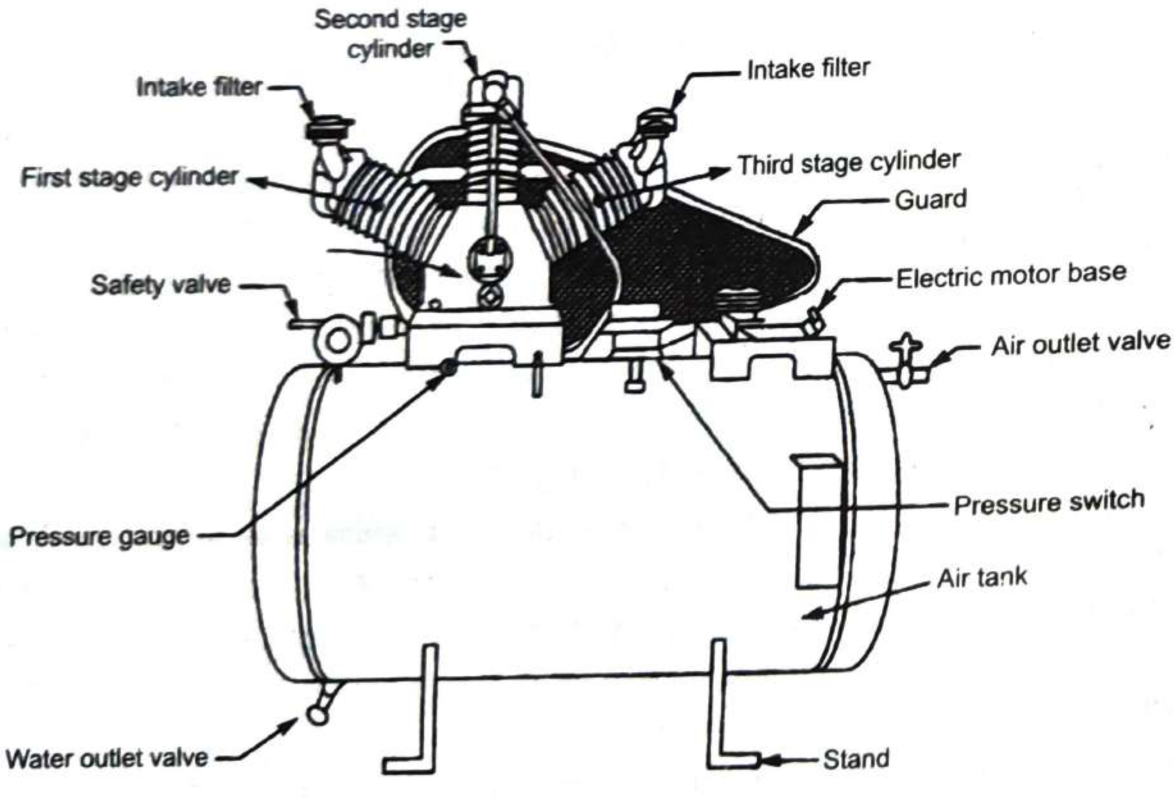
चित्र 9.5 में एक तीन पद सम्पीड़क के विभिन्न अंग प्रदर्शित है। विद्युत मोटर के साथ दाब स्विच लगा होता है। जब वायुग्राही (receiver or tank) में वायु दाब वांछित स्तर तक पहुँच जाता है तो वह मोटर को रोक देता है तथा सम्पीड़न बंद हो जाता है। जब वायु टैंक में वायु दाब सुरक्षित सीमा से अधिक हो जाता है तो सुरक्षा वाल्व खुल जाता है तथा वायु



चित्र 9.4—बहुपद पिस्टन वायु सम्पीड़क (अन्तरकूलर सहित)

का अतिरिक्त दाब बाहर निकल जाता है। ड्रेन/वाटर आउटलेट वाल्व द्वारा वायुग्राही की तली में जमा संघनित जल को बाहर निकाल दिया जाता है। सिलिण्डर तथा अन्तरशीतक (Intercooler) या तो वायु शीतित (फिन के साथ) अथवा जल शीतित (सिलिण्डर में जल जैकेट) होते हैं। वायु शीतित सम्पीड़क, निम्न दाब अनुप्रयोगों के लिए प्रयुक्त किये जाते हैं तथा जल शीतित सम्पीड़कों का प्रयोग उच्च दाब अनुप्रयोगों के लिए होता है।

एकल पद सम्पीड़क 4 से 30 बार दाब तथा कम डिलिवरी आयतन (10,000 m^3/hour से कम) के लिए प्रयुक्त होते हैं। 30 बार दाब से अधिक के सम्पीड़न के लिए बहुपद सम्पीड़क प्रयुक्त किये जाते हैं।



चित्र 9.5—तीन पद सम्पीड़क के विभिन्न अंग

पिस्टन प्रकार के सम्पीड़कों के लाभ (Advantages of Piston Type Compressor)

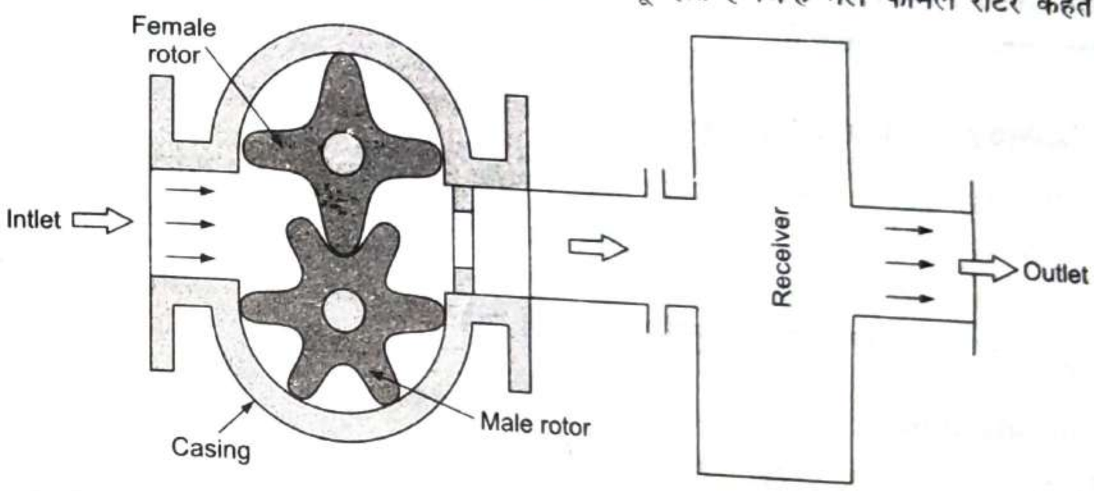
1. ये दाब तथा क्षमता की एक बड़ी परास (range) के लिए उपलब्ध होते हैं।
2. अन्य सम्पीड़कों की तुलना में उच्च सकल दक्षता (High overall efficiency) होती है।
3. बहुपद सम्पीड़न के साथ 250 बार जैसा बहुत उच्च वायु दाब तथा उच्च वायु प्रवाह दर प्राप्त करना संभव होता है।
4. उचित सिलिण्डर व्यवस्था से बहुपद सम्पीड़क द्वारा बेहतर यांत्रिक सन्तुलन प्राप्त करन संभव होता है।

अलाभ (Disadvantages)

1. ये उच्च दाब पर वायु का कम आयतन प्रदान करने के लिए उपयुक्त रहते हैं।
2. पश्चाग्र पिस्टन से जड़त्व बल उत्पन्न होते हैं अत: एक मजबूत एवं दृढ़ फ्रेम के साथ मजबूत नींव (foundation) भी आवश्यक होती है।

(B) द्वि-स्क्रू सम्पीड़क (Twin Screw Compressors)

स्क्रू सम्पीड़क मध्यम दाब (< 10 bar) तथा मध्यम वायु आयतन (5000 m^3/hour तक) की आवश्यकता के लिए प्रयुक्त किये जाते हैं। स्क्रू सम्पीड़क को चित्र 9.6 में प्रदर्शित किया गया है। इस सम्पीड़क में एक अवतल कन्टूर (concave contour) तथा दूसरा उत्तल कन्टूर (convex contour) वाले दो स्क्रू होते हैं जिन्हें मेल-फीमेल रोटर कहते हैं।



चित्र 9.6—द्वि-स्क्रू सम्पीड़क

जब स्क्रू घूमते हैं तो केसिंग में निर्वात के कारण वायु अन्दर प्रवेश करती है और दोनों स्क्रू के मध्य फँस जाती (trapped) है और निकास पोर्ट की तरफ बढ़ती है।

लाभ (Advantages)

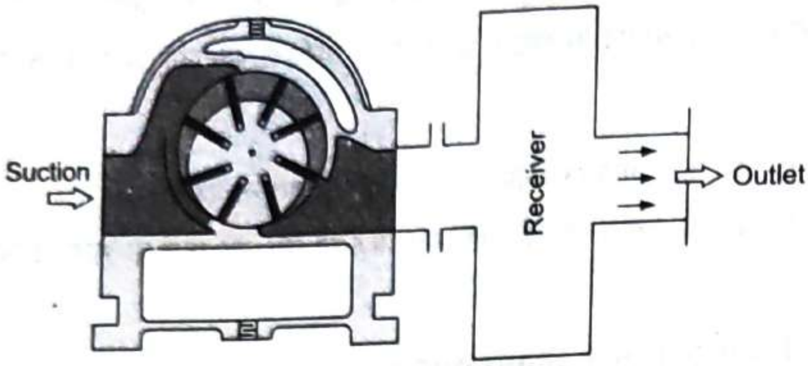
1. ये बनावट तथा डिजाइन में सरल होते हैं।
2. इनमें चल अंगों की संख्या कम होती है। प्राय: रोटर नियत गति से घूमते हैं।
3. दाब कम्पन (pressure pulsations) न्यूनतम होते हैं।

अलाभ (Disadvantages)

1. ये मंहगे होते हैं।
2. गंदे, आर्द्रतापूर्ण तथा धूल भरे वातावरण के लिए उपयुक्त नहीं रहते।

(C) घूर्णी वेन सम्पीड़क (Rotary Vane Compressors)

जब निम्न दाब तथा वायु के कम आयतन की आवश्यकता हो तो घूर्णी वेन सम्पीड़कों का प्रयोग किया जाता चित्र 9.7 में यह सम्पीड़क प्रदर्शित है। इसमें रोटर के खाँचों में बहुत सारे वेन लगे होते हैं। वेन स्प्रिंग भारित होते हैं त केसिंग के साथ रोटर उत्केन्द्रित रहता है।



चित्र 9.7—घूर्णी वेन सम्पीड़क

जब रोटर घूमता है तो केसिंग में निर्वात होने के कारण वायु प्रवेश करती है। वेन तथा केसिंग के मध्य वायु फँस जाती है तथा सम्पीड़ित होती है। सम्पीड़ित वायु अब निकास पोर्ट से निकलकर बाहर वायुग्राही (receiver) में चली जाती है।

इनका प्रयोग अपेक्षाकृत कम होता है।

§ 9.4. वायु सिलिण्डर (Air Cylinder) :

वायु या न्युमैटिक सिलिण्डर वे युक्तियाँ हैं जो वायु दाब को रेखीय यांत्रिक बल तथा गति में बदलते हैं। वायु सिलिण्डर मूलत: एकल उद्देश्य अनुप्रयोगों (single purpose application) जैसे क्लैम्पिंग (clamping), स्टैम्पिग (stamping), ट्रांसफरिंग (Transferring), ब्रांचिग (Branching), मीटरिंग (Metering), टिलटिंग (Tilting), इजेक्टिंग (Ejecting), टर्निंग (Turning), बेन्ड़िग तथा अन्य अनेकों अनुप्रयोगों में प्रयोग किये जाते हैं।

वर्गीकरण (Classification)

वायु सिलिण्डरों को निम्न प्रकार वर्गीकृत किया जाता है—

1. अनुप्रयोगों, जिसके लिए वायु सिलिण्डरों का प्रयोग होता है, के आधार पर (Based on the application for which air cylinders are used)—

(a) हल्की सेवा वायु सिलिण्डर (Light duty air cylinders)

(b) मध्यम् सेवा वायु सिलिण्डर (Medium duty air cylinders)

(c) भारी सेवा वायु सिलिप्ण्डर (Heavy duty air cylinders)

2. सिलिण्डर की क्रिया के आधार पर (Based on the cylinder action)—

(a) एकल क्रिया सिलिण्डर (Single acting cylinder)

(b) डबल क्रिया सिलिण्डर (Double acting cylinder)

(i) एकल रॉड सिलिण्डर (Single rod cylinder)

(ii) डबल रॉड सिलिण्डर (Double rod cylinder)

3. सिलिण्डर गति के आधार पर (Based on cylinder movement)—

(a) घूर्णी प्रकार का वायु सिलिण्डर (Rotating type air cylinder)

(b) अघूर्णी प्रकार का वायु सिलिण्डर (Non-rotating type air cylinder)

4. सिलिण्डर डिजाइन के आधार पर (Based on cylinder's design)—

(a) टेलीस्कोपिक सिलिण्डर (Telescopic cylinder).

(b) टेन्ड्म सिलिण्डर (Tandem cylinder)

(c) रॉड रहित सिलिण्डर (Rodless cylinder)

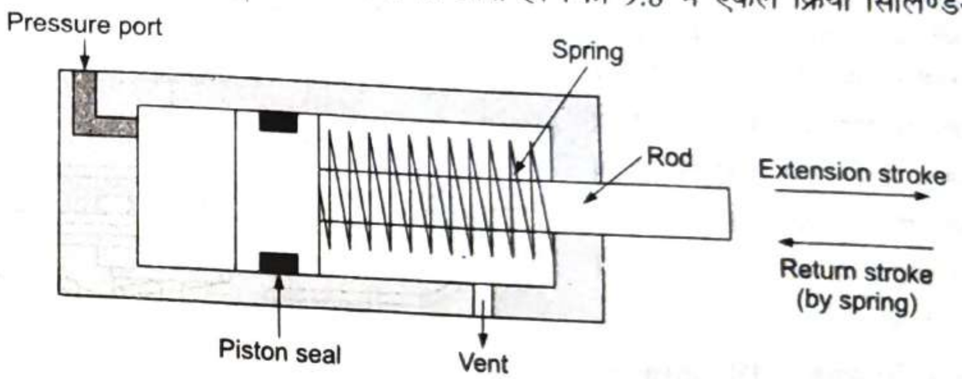
(d) इम्पैक्ट सिलिण्डर (Impact cylinder)

(e) डयूप्लेक्स सिलिण्डर (Duplex cylinder)

(f) इन-बिल्ट सेन्सर सहित सिलिण्डर (Cylinder with in-built sensors)

उपरोक्त में से कुछ सिलिण्डरों का संक्षिप्त विवरण निम्न है—

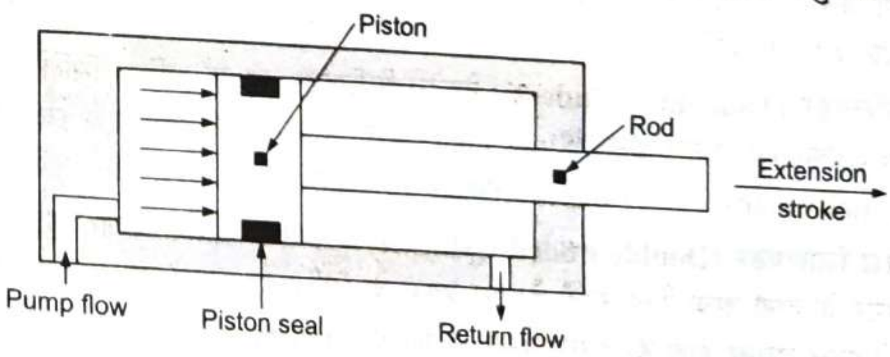
(i) एकल क्रिया सिलिण्डर (Single Acting Cylinders)—एकल क्रिया सिलिण्डर में एक कार्यकारी पोर्ट होता है। पिस्टन की अग्र गति, कार्यकारी पोर्ट से सप्लाई की गई सम्पीड़ित वायु द्वारा प्राप्त की जाती है। पिस्टन की वापसी गति, सिलिण्डर की रॉड साइड़ में स्थापित स्प्रिंग द्वारा प्राप्त की जाती है। चित्र 9.8 में एकल क्रिया सिलिण्डर प्रदर्शित है।



चित्र 9.8—एकल क्रिया सिलिण्डर

एकल क्रिया सिलिण्डर वहाँ प्रयोग किये जाते हैं जहाँ केवल एक दिशा में बल लगाने की आवश्यकता होती है। उदाहरण के लिए—क्लैम्पिंग (Clamping), फीडिंग (feeding), लॉकिंग (locking) आदि।

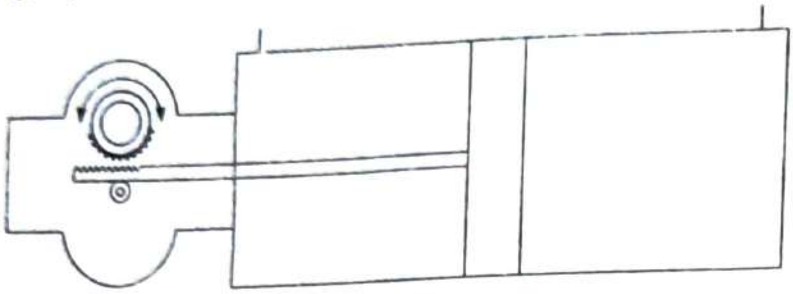
(ii) डबल क्रिया सिलिण्डर (Double Acting Cylinder)—डबल क्रिया सिलिण्डर में दो कार्यकारी पोर्ट होते हैं, एक पिस्टन साइड़ में तथा दूसरा रॉड साइड़ में। अग्र गति प्राप्त करने के लिए संपीड़ित वायु पिस्टन साइड़ से तथा रॉड़



चित्र 9.9—डबल क्रिया सिलिण्डर

साइड़ निकास (exhaust) से जुड़ी होती है। वापसी स्ट्रोक में वायु रॉड साइड से प्रवेश करती है तथा पिस्टन साइड़ का निकास से जुड़ा होता है। पिस्टन तरफ दोनों तरफ गतियों में बल लगाया जाता है। ये 300 mm व्यास तथा 2 स्ट्रोक तक उपलब्ध होते है।

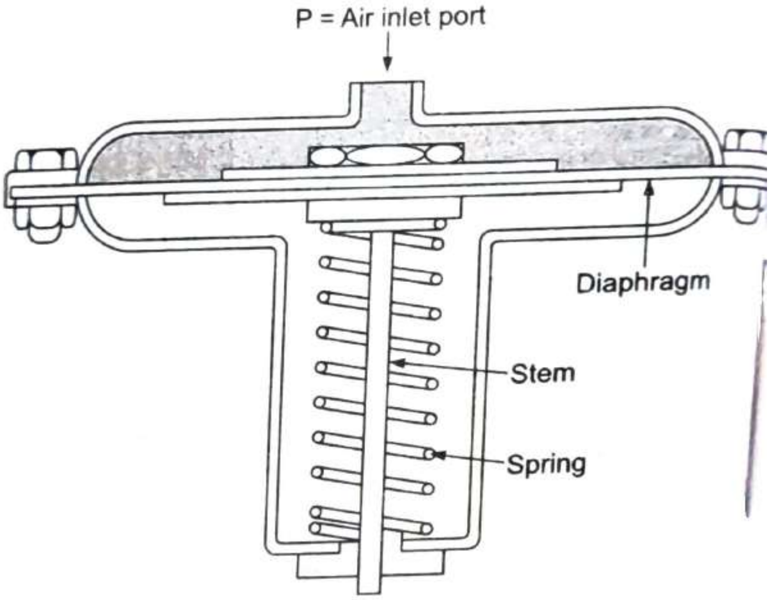
(iii) घूर्णी सिलिण्डर (Rotating Cylinder)—घूर्णी सिलिण्डर, जैसा कि चित्र 9.10 में प्रदर्शित है, एक घू को रेखीय गति प्रदान करती है। कभी-कभी ये टरेट खरादों पर घूर्णी चकों को गति देने के लिए प्रयुक्त किये जाते सिलिण्डरों में तरल एक स्थिर वितरक (distributor) द्वारा प्रविष्ट कराया जाता है। ये ठोस तथा खोखले दोनों प्र पिस्टन के साथ उपलब्ध होते हैं।



चित्र 9.10—घूर्णी सिलिण्डर

(iv) अघूर्णी सिलिण्डर (Non-rotating Cylinders)—अघूर्णी सिलिण्डर ऐसे अनुप्रयोगों में प्रयुक्त होते हैं जि यथार्थ रेखीय स्थिति (accurate linear position) तथा सूक्ष्म कोणीय अभिविन्यास (Precise angular orientation) की आवश्यकता होती है। मानक सिलिण्डरों में रॉड को घुमाव से बचाने के लिए विशिष्ट गाइड़ लगाये जा सकते हैं परन्तु ये कभी-कभी भारी तथा मँहगे होते हैं। कभी-कभी वर्गाकार पिस्टन रॉड (गोलाकार कोनों सहित) का प्रयोग भी रॉड को घुमाव से रोकने के लिए किया जाता है।

(v) डायाफ्राम सिलिण्डर (Diaphragm Cylinder)—डायाफ्राम सिलिण्डर में, पिस्टन के स्थान पर एक डायाफ्राम (Diaphragm) होता है जो धातु, प्लास्टिक अथवा कठोर रबड़ का बना होता है और जो एक चौड़े तथा समतल आवरण (Enclosure) बनाने वाले दो धातु अर्धों (Metallic halves) के बीच में क्लैम्प (clamped) हुआ रहता है जैसा कि चित्र 9.11 में प्रदर्शित है।

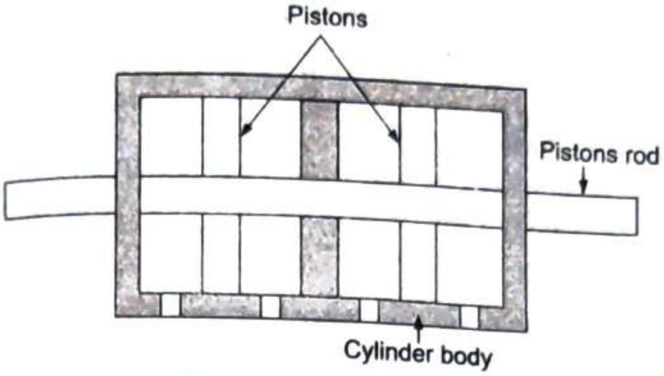


चित्र 9.11—डायाफ्राम सिलिण्डर

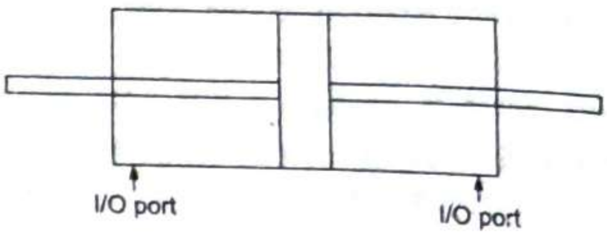
(vi) टेनडेम सिलिण्डर (Tandem Cylinder)—टेनडेम सिलिण्डर, दो या अधिक सिलिण्डरों का संयोजन होते जो एक दूसरे के साथ जुड़कर एक एकल यूनिट (Single unit) बनाते हैं। तरल का प्रवाह एक स्वतन्त्र दिशा नियन्त्रण वाल्व (independent direction control valve) द्वारा उपलब्ध कराया जाता है।

(vii) डबल सिरा सिलिण्डर (Double Ended Cylinder)—ये एक द्विक्रिया प्रकार के सिलिण्डर होते हैं जिसमें एक पिस्टन रॉड, पिस्टन के दोनों तरफ फैली रहती है। इस प्रकार के सिलिण्डर का प्रमुख लाभ यह है कि पिस्टन के दोनों तरफ का कार्यकारी क्षेत्रफल बराबर होता है। इससे पिस्टन समान दर से चलता है तथा प्रत्येक दिशा में बराबर बल लगता है। ये सिलिण्डर एक खोखली रॉड के साथ उपलब्ध होते हैं जिसमें से तरल तथा अन्य मशीनी अवयव सिलिण्डर में

गुजारे जा सकते हैं। डिजाइन में परिवर्तन करके इसे प्लेनर पर प्रयुक्त किया जा सकता है। जहाँ खोखले पिस्टन रॉड को नियत (restrained) कर दिया जाता है तथा सिलिण्डर बॉड़ी, चल टेबिल (moving table) को आगे-पीछे सरकाने के लिए बल लगाती है। चित्र 9.13 में एक डबल सिरा सिलिण्डर प्रदर्शित है।

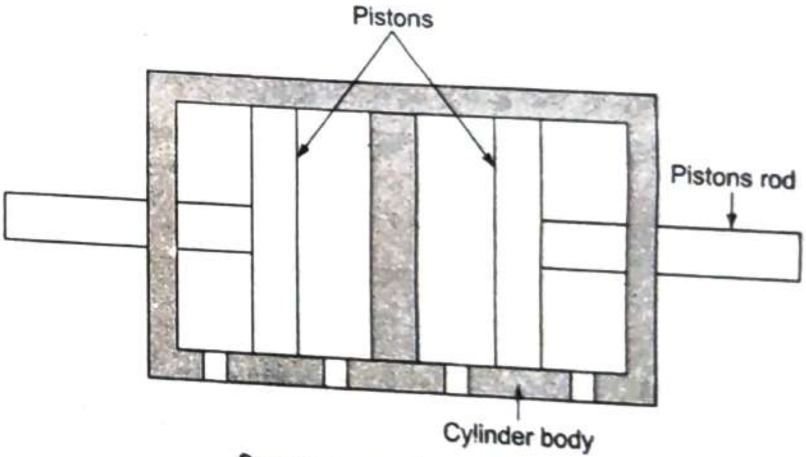


चित्र 9.12—टेनडेम सिलिण्डर



चित्र 9.13—डबल सिरा सिलिण्डर

(viii) ड्यूप्लेक्स सिलिण्डर (Duplex Cylinder)—ड्यूप्लेक्स सिलिण्डर में भी दो या अधिक सिलिण्डर एक सीध में जुड़े होते हैं। लेकिन इस सिलिण्डर की रॉड, दूसरे सिलिण्डर के रॉड रहित सिरे (Non rod end) पर निकली होती है और ऐसे ही आगे चलता रहता है। एक ड्यूप्लेक्स सिलिण्डर दो से अधिक इन-लाइन सिलिण्डरों से बना हो सकता है जिनकी स्ट्रोक लम्बाईयाँ अलग-अलग हो सकती हैं। इससे ये अनेकों विभिन्न स्थिर स्ट्रोक लम्बाईयों के लिए उपयोगी हो सकते हैं जिन पर प्रत्येक पिस्टन गति करते हैं। देखे चित्र 9.14।



चित्र 9.14—ड्यूप्लेक्स सिलिण्डर

§ 9.5. वायु फिल्टर, रेगुलेटर तथा ल्युबरीकेटर (Air Filter, Regulator and Lubricator) :

(A) वायु फिल्टर (Air Filter)

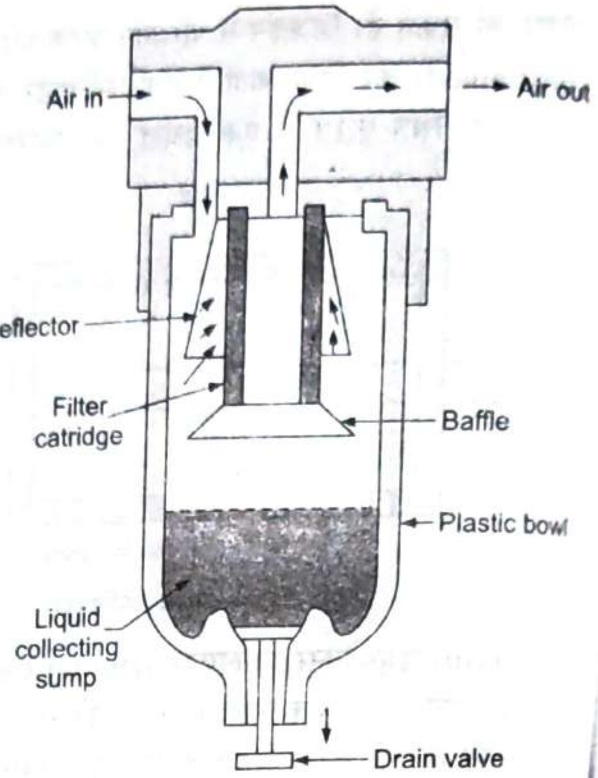
वायु फिल्टर का उद्देश्य संपीड़ित वायु को सभी प्रकार की अशुद्धियों तथा संघनित जल से साफ करना है।

वायु फिल्टर के कार्य (Functions of Air Filters)—

1. सभी प्रकार के बाह्य पदार्थों को अलग करना तथा बिना रुकावट के शुष्क तथा स्वच्छ वायु, दाब नियामक तथा ल्युबरीकेटर को सप्लाई करना।
2. वायु से जलांश को संघनित करना तथा पृथक करना।
3. वायु से ठोस संदूषण तथा महीन कणों को एकत्र करना।

फिल्टर, एक महीन जालीदार कपड़े (जो बड़े बाह्य कणों को छान सकता है) से लेकर सिंथेटिक पदार्थ से बने अवयव (जो अत्यन्त महीन कणों को पृथक कर सकता है) तक बड़े परास में उपलब्ध होते हैं। प्राय: लाइन फिल्टर अवयव 5 से 50 माइक्रोन रेंज के संदूषण को पृथक कर सकता है।

कार्यप्रणाली (Operation)—एक कार्टेज (cartridge) प्रकार का फिल्टर चित्र 9.15 में प्रदर्शित है। इसके प्रमुख अवयव फिल्टर कार्टेज, डिफ्लेक्टर (deflector), बाउल (bowl), वाटर ड्रेन वाल्व (water drain valve) आदि होते हैं। फिल्टर बाउल प्राय: पारदर्शी प्लास्टिक का बना होता है। 10 बार से अधिक दाब पर बाउल, पीतल (brass) का हो सकता है।



चित्र 9.15—वायु फिल्टर

वायु इनलेट पोर्ट से वायु फिल्टर में एक कोण पर प्रवेश करती है और बाउल में घूमती है। घूमती हुयी हवा को अपकेन्द्रीय क्रिया से धूल के बड़े कण तथा जल कण, फिल्टर बाउल की आन्तरिक दीवार से टकराते हैं तथा समस्त संदूषण (contaminants) फिल्टर बाउल की तली में चला जाता है। बफल घूमती हुयी वायु को फिल्टर अवयव पर गिरती हुई जल की बूंदों से बचाता है। इस प्रकार से पूर्व में ही साफ हुई वायु (Precleaned air), फिल्टर अवयव से गुजरती है जहाँ महीन कण भी फिल्टरित हो जाते हैं। पृथक हुये धूल कणों का साइज, जाली के साइज पर निर्भर करता है। अब संपीड़ित वायु आउटलेट पोर्ट की तरफ बढ़ती है। प्रवेश तथा निकास पर दाबान्तर, फिल्टर अक्यव के अवरुद्ध होने की कोटी पर निर्भर करता है। व्यावसायिक रूप से उपलब्ध फिल्टरों में कुछ अतिरिक्त अभिलक्षण जैसे स्व:ड्रेन सुविधा, सर्विस लाइफ इन्डीकेटर (service life indicator) आदि हो सकते हैं।

(B) वायु दाब नियामक (Air Pressure Regulator)

कार्य (Function)—एक वायु दाब नियामक का प्रमुख कार्य लाइन दाब तथा वायु खपत में होने वाले उतार चढ़ाव को नजरअंदाज करते हुए कार्यकारी दाब को लगभग नियत बनाये रखना है।

वायवीय प्रणालियों में सप्लाई दाब या लोड दाब में बदलाव (variation) के कारण दाब में उतार-चढ़ाव होता है। इसलिए यह आवश्यक है कि भार की आवश्यकताओं के अनुरूप दाब को नियमित किया जाये चाहे सप्लाई दाब या भार दाब में कुछ भी परिवर्तन हो।

दाब नियामक के प्रकार (Types of Pressure Regulator)

दाब नियामक दो प्रकार के होते हैं—

(i) डायाफ्राम प्रकार का (Diaphragm type)

(ii) पिस्टन प्रकार का (Piston type)

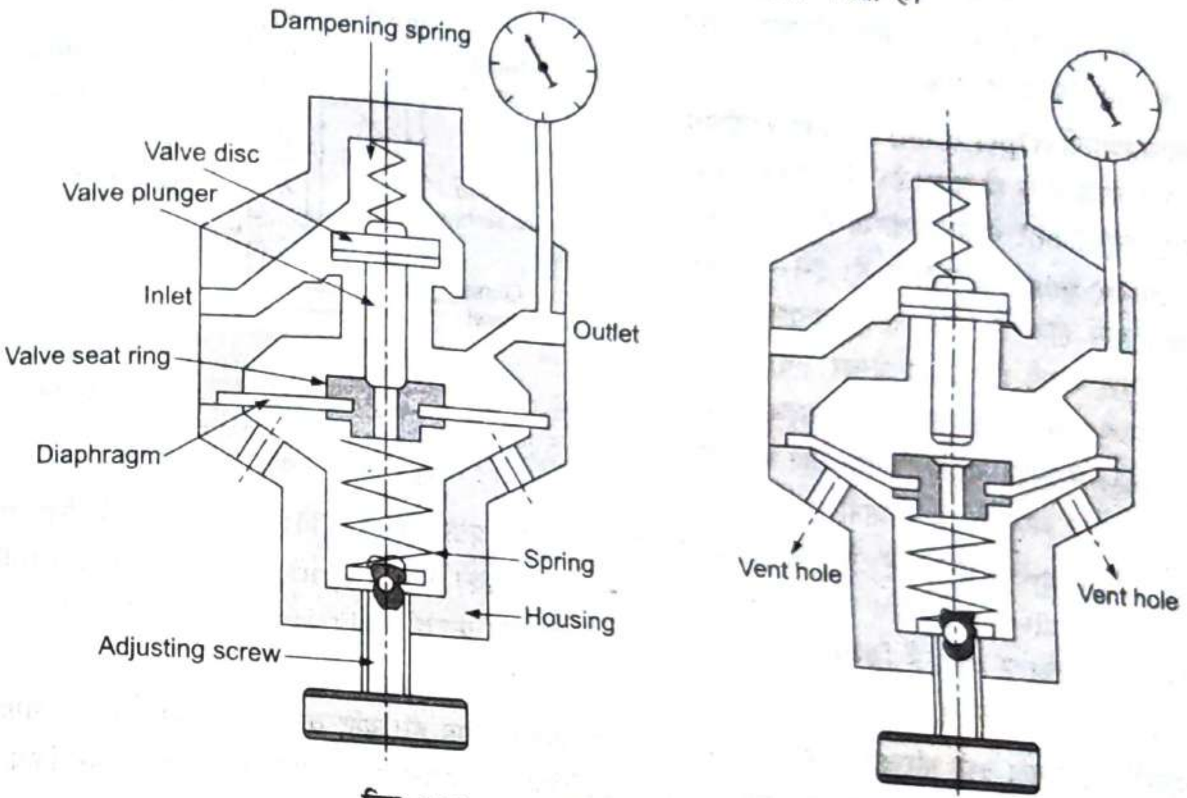
औद्योगिक वायवीय प्रणालियों में प्राय: डायाफ्राम प्रकार के नियामक प्रयोग किये जाते हैं। ये भी दो प्रकार के होते हैं—

(i) बिना विमोचन अथवा बिना वायुमार्ग प्रकार का नियामक (Non relieving or non-venting type regulator)

(ii) विमोचन अथवा वायुमार्ग युक्त नियामक (Relieving or venting type regulator)

विमोचन या वायुमार्ग प्रकार का दाब नियामक (Relieving or Venting Type Pressure Regulator)

चित्र 9.16 में एक विमोचन अथवा वायुमार्ग प्रकार का दाब नियामक प्रदर्शित है। निकास दाब को एक डायफ्राम द्वारा अनुभव (sense) किया जाता है जो पहले से ही एक समायोज्य (adjustable) दाब सेटिंग स्प्रिंग द्वारा भारित होता है। संपीड़ित वायु, जो वाल्व सीट के नियन्त्रित अनुप्रस्थ काट में से प्रवाहित होती है, डायाफ्राम के दूसरी तरफ कार्य करती है। डायाफ्राम बड़ा सतही क्षेत्रफल रखता है जो निकास दाब से अनावृत (exposed) होता है और उसके उतार चढ़ावों (fluctuations) से बहुत संवेदनशील (sensitive) होता है। डायफ्राम की गति, दाब को नियमित करती है।



चित्र 9.16—वायु मार्ग प्रकार का दाब नियामक

जब निकास दाब कम होता है—जब संपीड़ित वायु की खपत अधिक होती है तब भार वाली साइड़ में भार या निकास दाब घट जाता है और डायफ्राम पर कम दाब लगता है। विपरीत साइड़ में उच्च स्प्रिंग बल डायफ्राम को इस प्रकार धकेलता है कि जिसके कारण वाल्व डिस्क अपनी सीट से अधिक उठती है और अधिक वायु निकास साइड़ की तरफ प्रवाहित होती है और दाब पुन: बढ़ जाता है।

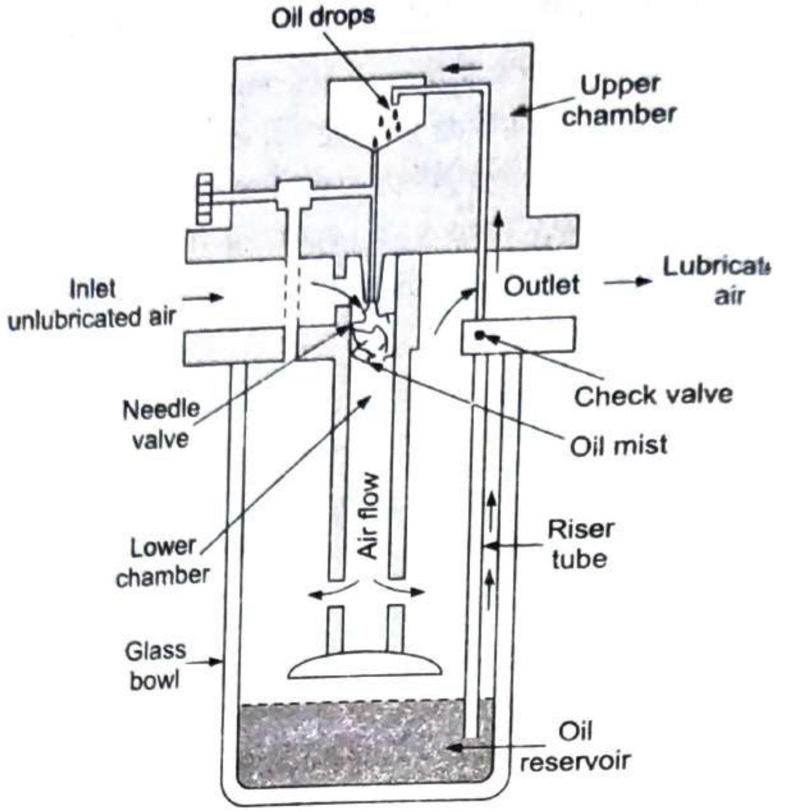
जब निकास दाब अधिक होता है—जब संपीड़ित वायु की खपत कम होती है तब निकास या भार साइड़ में दाब बढ़ जाता है और डायफ्राम पर अधिक दाब लगता है। विपरीत साइड़ में उच्च स्प्रिंग बल डायफ्राम को इस प्रकार नीचे को खींचता है कि वाल्व डिस्क अपनी सीट से कम उठती है और कम वायु निकास साइड़ की तरफ प्रवाहित होती है और दाब पुन: कम हो जाता है।

(C) वायु ल्युबरीकेटर (Air Lubricator)

वायु ल्युबरीकेटर का प्रमुख कार्य तेल की एक नियन्त्रित मात्रा को वायु के साथ मिलाना है जिससे कि वायवीय अवयवों के आन्तरिक चल अंगों के उचित स्नेहन को सुनिश्चित किया जा सके। स्नेहकों का प्रयोग होता है—

- घर्षण हानियों को कम करने के लिए,
- उपकरणों को संक्षारण से बचाने के लिए,
- चल अंगों से घिसन को कम करने के लिए।

ल्यूबरीकेटर महीन कोहरे (Mist) के रूप में स्नेहन तेल को वायु में मिलाता है जिससे कि वायु ऐक्चुऐटर (Air actuators) में प्रयुक्त पैकिंग, वाल्व आदि वायवीय अवयवों के चल अंगों की घिसन तथा घर्षण को कम किया जा सके।



चित्र 9.17—वायु ल्युबरीकेटर

कार्यप्रणाली (Operation)—इसकी कार्यविधि कार्बुरेटर के सिद्धान्त के ही समान है। (देखें चित्र 8.4)। जब वायु, ल्युबरीकेटर में प्रवेश करती है, एक संकरे मार्ग (venture ring) से गुजरती है। इस मार्ग पर दाब बहुत कम होता है परन्तु वायु, वायुमण्डलीय दाब पर प्रवेश करती है। ऊपरी चैम्बर तथा निचले चैम्बर के मध्य दाबान्तर के कारण तेल, राइजर ट्यूब (Riser tube) में ऊपर चढ़ता है तथा तेल की बूदें, प्रवेश करती हुयी वायु मे मिल जाती है और एक महीन धुँध (Fine mist) बनाती है। तेल के विरुद्ध दाबान्तर तथा तेल प्रवाह की दर को समंजित करने के लिए एक नीड़ल वाल्व (Needle valve) का प्रयोग किया जाता है। तेल वायु मिश्रण को भँवर (Swirl) के रूप में केन्द्रीय सिलिण्डर से बलपूर्वक बाहर निकाला जाता है जिससे तेल के भारी कण वापस तेल कुण्ड (Oil reservoir) में गिर जाते हैं और केवल कोहरा (Mist) ही निकास में जाता है।

ल्युबरीकेटर केवल तभी परिचालित होता है जब वायु का पर्याप्त प्रवाह हो। यदि वायु प्रवाह कम होगा तो पर्याप्त निर्वात नहीं बनेगा तथा तेल ऊपर नहीं चढ़ेगा। वायवीय प्रणाली ल्युबरीकेटर में केवल पतला खनिज तेल ही प्रयोग किया जाता है। इसकी श्यानता (Viscosity) प्राय: 10-50 सेन्टीस्टोक अथवा SAE 10 होती है।

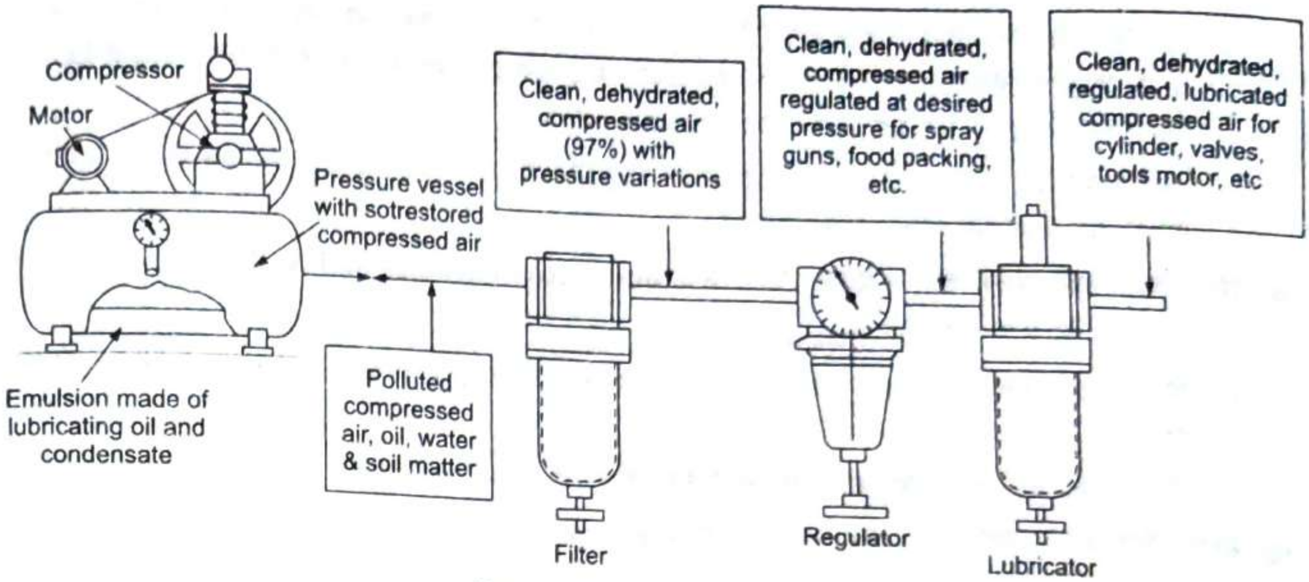
F.R.L. यूनिट/सर्विस यूनिट (F.R.L. Unit/Service Unit)—अधिकतर वायवीय प्रणालियों में संपीड़ित वायु को पहले फिल्टरित किया जाता है, उसके बाद एक विशिष्ट दाब पर नियमित किया जाता है तथा अन्त में ल्युब्रीकेटर में, वायु में तेल को मिलाया जाता है।

इस प्रकार एक फिल्टर, एक रेगुलेटर तथा एक ल्युब्रीकेटर को क्रम में प्रत्येक वायु परिपथ की इनलेट लाइन में स्थापित किया जाता है। ये अलग-अलग भी स्थापित किये जा सकते हैं परन्तु अधिकतर प्रयोगों में ये एक संयुक्त यूनिट (combined unit) के रूप में कार्य करते हैं। चित्र 9.18 में इन तीनों का क्रमबद्ध संस्थापन प्रदर्शित किया गया है। इन तीनों का संयोजन F.R.L. यूनिट या सर्विस यूनिट कहलाता है।

§ 9.6. वायु सिलिण्डरों का संस्थापन, अनुरक्षण तथा अनुप्रयोग (Installation, Maintenance and Application of Air Cylinders) :

1. संस्थापन (Installation)

वायुवीय सिलिण्डर सामान्यतया: पोर्ट को सुरक्षित प्लास्टिक प्लग द्वारा ढके हुए (covering) सप्लाई किये जाते हैं। ये प्लग धूल मिट्टी आदि अवांछित कणों को सिलिण्डर में प्रवेश नहीं होने देते जिससे संस्थापन से पूर्व आन्तरिक सीलों (internal



चित्र 9.18—F.R.L. यूनिट का संस्थापन

seals) को किसी प्रकार का नुकसान नहीं होता है। संस्थापन करते समय ये पार्ट प्लग, वायु सप्लाई से सम्बद्ध करने से पूर्व, हटा लेते हैं।

(i) **संलग्नक (Attachments)**—सिलिण्डर को मजबूती के साथ इसके कार्यकारी संलग्नको से जोड़ते हैं। यह सुनिश्चित करते हैं कि पिस्टन रॉड अपने सम्पर्क अवयवों (Mating components) के साथ अपनी फैली हुई (extended) तथा सिकुड़ी हुई (retracted) दोनों अवस्थाओं में उचित संरेक्षण (proper alignment) में रहे। अनुचित संरेक्षण से रॉड ग्लेंड (rod gland) तथा सिलिण्डर बोर में घिसन (wear) हो सकती है।

(ii) **सुरक्षा (Protection)**—सिलिण्डर की पिस्टन रॉड पर विशेष ध्यान देना पड़ता है। इसकी सतह पर ऐसा कोई निशान नहीं होना चाहिए जो पिस्टन रॉड वाइपर को नुकसान पहुँचा सके। यदि कोई सिलिण्डर, अपघर्षी कणों (abrasive particles) के एक स्रोत (source) के निकट स्थापित किया जाता है तो उसमें एक रॉड स्क्रेपर (scraper) अथवा सुरक्षा प्रदान करने वाला रॉड बूट (rod boot) अवश्य लगाना चाहिये।

(iii) **स्वच्छता (Cleanliness)**—सिलिण्डर को वायु सप्लाई से जोड़ने से पूर्व सभी पाइपों को भली-भाँति साफ करके सभी प्रकार के चिप्स (chips) अथवा बर्र (burrs) को हटा देना चाहिए। ये चिप्स अथवा बर्र, कटिंग क्रिया से उपजते हैं।

2. अनुरक्षण (Maintenance)

वायवीय सिलिण्डरों के अच्छे परिचालन और लंबे सेवाकाल के लिए यह आवश्यक है कि उनका समय-समय पर उचित अनुरक्षण भी हो। इसके लिए आवश्यक है कि सिलिण्डरों में दाब निर्धारित सीमा से कम रहे। वायु शुष्क एवं साफ रहे। सप्लाई की जाने वाली वायु पूर्व स्नेहित हो। सिलिण्डर के उचित परिचालन के लिए पैकिंग तथा सील को समय-समय पर बदला जा सकता है जिसकी आवृत्ति (frequency) क्रियाकारी परिस्थितियों तथा चक्रण (cycling) पर निर्भर करती है।

(i) **पिस्टन पैकिंग का सत्यापन (Verification of Piston Packings)**—

(a) सिलिण्डर के बन्द सिरा कैप पोर्ट (blind end cap port) पर वायु भेजती है तथा पिस्टन को उसकी पूरी स्ट्रोक लम्बाई (stroke length) चलने देते हैं। अब पोर्ट (शीर्ष) से वायु लाइन हटा लेते हैं।

(b) अब खुले पोर्ट पर अंगूठे से दाब लगाते हैं। अंगूठे को कुछ देर ऐसे रखकर यह महसूस करने की कोशिश करते हैं कि अंगूठे के नीचे वायु दाब बन रहा है अथवा नहीं। यदि वायु दाब महसूस होता है तो इसका अर्थ है कि पिस्टन पैकिंग लीक (leak) कर रही है तथा इसे बदल देना चाहिए।

(c) उपरोक्त पद (a) तथा (b) अन्य पिस्टन पैकिंग के लिए भी प्रयोग करते हैं। रॉड सिरे पर दाब लगाना चाहिए तथा पिस्टन रॉड सिकुड़नी (retracted) चाहिए।

(ii) रॉड पैकिंग तथा सीलों का सत्यापन (Verifications of Rod Packings and Seals)—

(a) सिलिण्डर के रॉड सिरा पोर्ट (rod end port) पर वायु की आपूर्ति करते हैं।

(b) पिस्टन रॉड तथा ग्लैंड (gland) पर लीक जाँच हेतु साबुन का घोल (leak detecting soap solution) की फुहार करते हैं।

(c) यदि बुलबुले बनते है तो वह सील अथवा पैकिंग लीक रही है तब उसे बदलने की आवश्यकता है।

(iii) बैरल सील का सत्यापन (Verification of Barrel Seals)—

(a) सिलिण्डर के बंद सिरा कैप पोर्ट (Blind end cap port) पर वायु दाब लगाते हैं।

(b) बंद सिरा कैप के बैरल जोड़ के चारो ओर लीक जाँच हेतु साबुन के घोल की फुहार करते हैं।

(c) यदि बुलबुले बनते हैं तो इसका अर्थ है कि कहीं लीकेज (leakage) है। यदि लीकेज दिखती है तो सिलिण्डर को बदल देते हैं।

(d) उपरोक्त पदों (a), (b), (c) को रॉड सिरा कैप के लिए भी दोहराते हैं।

3. अनुप्रयोग (Applications)

स्वचालन में, वायु सिलिण्डरों का प्रमुखता से अनुप्रयोग किया जाता है। ये वस्तु के स्थिति निर्धारण (positioning), पकड़ने (holding) तथा चलाने के लिए प्रयोग किये जाते हैं। कुल विशेष गुणवत्ता सम्बन्धी उत्पादन प्रक्रमों में वायु दाब (Pneumatic force) बड़ी यथार्थता (precise) से रिकार्ड करना पड़ता है। दाब मापने के लिए एक अवसर ही मिलता है परन्तु इस विधि में त्रुटि सम्भव है।

वायु सिलिण्डर द्रुत (quick), साफ, विश्वसनीय तथा कम खर्चीली रेखीय गति प्रदान करने में सिद्ध (proven) है। ये अनेकों डिजाइनों, स्टायल (styles) और विकल्पों (options), जो किसी अपनाने योग्य अनुप्रयोग के लिए उचित रहते हैं, में उपलब्ध होते हैं। ये अनलोडिंग तथा दाब नियामक वाल्व जैसी युक्तियों को आसानी से नियन्त्रित कर सकते हैं।

प्रश्नावली

1. एक वायवीय प्रणाली का चित्र बनाकर उस पर प्रमुख अवयवों के नाम लिखिए।
2. एक वायवीय प्रणाली में प्रमुख अवयवों के कार्यों का संक्षिप्त वर्णन कीजिए।
3. वायु सम्पीड़क क्या होते हैं? इनका वर्गीकरण कीजिए।
4. एकल सिलिण्डर पश्चाग्र वायु सम्पीड़क (Single cylinder reciprocating air compressor) की कार्यप्रणाली का सचित्र वर्णन कीजिए।
5. एक बहुपद सम्पीड़क (Multistage compressor) की क्रियाविधि को रेखाचित्र (line diagram) द्वारा समझाइये।
6. एक द्वि-स्क्रू वायु सम्पीड़क (Twin screw air compressor) का सचित्र वर्णन कीजिए।
7. वायु सिलिण्डर (Air cylinder) को परिभाषित कीजिए तथा उनका वर्गीकरण कीजिए।

8. एकल क्रिया तथा डबल क्रिया सिलिण्डरों की क्रिया में अन्तर को सचित्र समझाइये।
9. एक डायाफ्राम (Diaphragm) प्रकार के सिलिण्डर का सचित्र वर्णन कीजिए।
10. एक वायु फिल्टर (Air filter) की कार्यविधि का चित्र बनाकर वर्णन कीजिए।
11. वायु दाब नियामक (Air pressure regulator) का सचित्र वर्णन कीजिए।
12. वायु ल्यूबरीकेटर (Air lubricator) का सचित्र वर्णन कीजिए।
13. F.R.L. यूनिट से आप क्या समझते हैं? इसके क्या कार्य है।
14. वायु सिलिण्डरों के संस्थापन, अनुरक्षण तथा अनुप्रयोगों पर संक्षिप्त टिप्पणियाँ लिखिए।

प्रयोगात्मक कार्य
(Practicals)

प्रयोग संख्या-1

उद्देश्य (Object) :

निम्न द्रवीय यन्त्रों द्वारा दाब शीर्ष का मापन करना—

(i) पीजोमीटर ट्यूब (Piezometeer tube)

(ii) सिंगल तथा डबल कॉलम मैनोमीटर (Single and double column manometer)

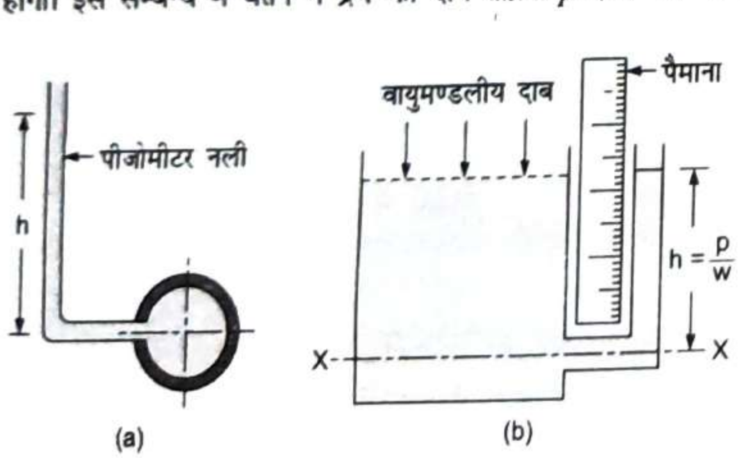
आवश्यक उपकरण (Required Apparatus) :

सिद्धान्त (Theory) तथा अध्ययन (Study)

(A) पीजोमीटर नली (Piezometer tube)—द्रव-दाब मापने की यह सरलतम युक्ति है जिसको द्रवों के मध्यम दाबों के मापन के लिए प्रयोग किया जाता है।

"A piezometer is the simplest form of manometer which can be used for measuring moderate pressure of liquids."

चित्र P1.1(a) तथा (b) के अनुसार यह काँच की साधारण नली होती है जिसका एक सिरा वायुमण्डल में खुला होता है और दूसरा सिरा उस बर्तन से जुड़ा होता है जिसमें भरे हुए द्रव का दाब मापा जाना है। बर्तन का द्रव नली में स्वतन्त्रता पूर्वक ऊपर चढ़ सकता है। नली में द्रव जिस ऊँचाई तक चढ़ता है, वह बर्तन में द्रव के दाब-शीर्ष (pressure head) को व्यक्त करता है। इस प्रकार, यदि बर्तन में w अपेक्षिक भार वाला द्रव भरा है और उसकी दाब तीव्रता p है तब नली में द्रव की ऊँचाई, $h = \frac{p}{w}$ होगी। इस सम्बन्ध में बर्तन में द्रव की दाब तीव्रता p ज्ञात की जा सकती है।



चित्र P1.1—पीजोमीटर नली

पीजोमीटर नली का उपयोग अल्प दाबों को मापने में किया जाता है क्योंकि उच्च दाबों के लिये अधिक लम्बी नली की आवश्यकता होगी जो व्यावहारिक रूप से सुविधाजनक नहीं होगी। पीजोमीटर नली अत्यन्त निम्न दाब तथा ऋणात्मक-दाब के लिये उपयुक्त नहीं है। निम्न दाब पर नली के स्तम्भ की लम्बाई बहुत कम होगी।

ऋणात्मक दाब की दशा में नली से होकर वायु बर्तन के अन्दर प्रवेश करना आरम्भ कर देगी।

पीजोमीटर नली केवल गेज दाब मापने में सक्षम होती है क्योंकि यह वायुमण्डल में खुली होती है।

(B) मैनोमीटर या द्रव दाबमापी (Manometers)—मैनोमीटर, पीजोमीटर नली का ही विकसित रूप है। मैनोमीटर से अपेक्षाकृत उच्च-दाब मापे जा सकते हैं और ऋणात्मक-दाब (negative pressure) भी मापे जा सकते हैं।

"Manometer is the advance form of piezometer tube. Manometer can measure relatively high-pressure and negative pressure too."

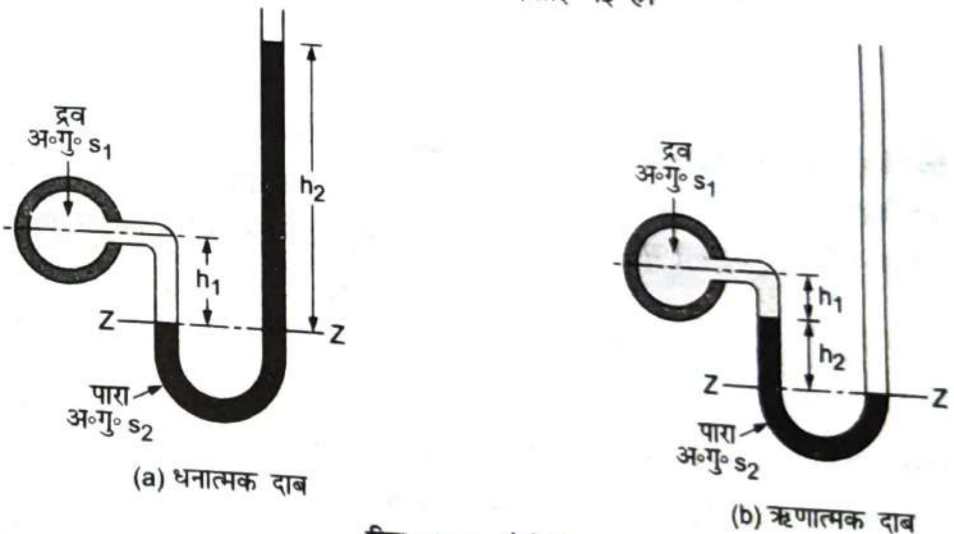
मैनोमीटर निम्न प्रकार के होते हैं—

(i) सरल मैनोमीटर (Simple manometer)

(ii) माइक्रो मैनोमीटर (Micro manometer)

(iii) भेद-दर्शी द्रव दाबमापी (Differential manometer)

B(i) सरल दाबमापी (Simple manometer)—इसकी रचना U-नली (U-tube) के आकार की होती है जिसमें कोई भारी द्रव भरा होता है। भारी द्रव ऐसा होना चाहिये जो उस द्रव में घुलनशील न हो जिसका कि दाब मापना है। U-नली का एक सिरा वायुमण्डल में खुला होता है तथा दूसरा सिरा उस बर्तन से जुड़ा होता है जिसमें द्रव भरा है जैसे कि चित्र P1.2(a) तथा (b) में दिखाया गया है। चित्र P1.2(a) में धनात्मक-दाब (positive pressure) तथा चित्र P1.2(b) में ऋणात्मक दाब (negative pressure) मापने की व्यवस्था दिखाई गई है।



चित्र P1.2—मैनोमीटर

सरल दाबमापी की U-नली में भरा द्रव सामान्यतया पारा होता है जो पानी से 13.6 गुणा अधिक भारी होता है। इसलिये यह दाबमापी उच्च दाब मापने के लिये उपयुक्त होते हैं।

माना कि किसी पाइप में उच्च दाब द्रव बहता है और इसका दाब सरल दाबमापी से मापा जाना है। (देखिये चित्र P1.2(a) पाइप में द्रव के उच्च दाब के कारण मैनोमीटर की U-नली में बाँयी भुजा के अन्दर भारी द्रव पर बल लगेगा और भारी द्रव का तल नीचे गिरेगा। फलस्वरूप U-नली की दाँयी भुजा में भारी द्रव के तल की ऊँचाई में वृद्धि होगी। इस प्रकार हल्का द्रव भारी द्रव U-नली की बाँयी भुजा में एक सामान्य-तल (common surface) या आधार रेखा (datum line) Z-Z पर मिलते हैं।

उपरोक्त स्थिति में बाँयी भुजा तथा दाँयी भुजा में सामान्य-तल पर द्रव का दाब बराबर होगा।

माना, h_1 = U-नली की बाँयी भुजा में सामान्य तल के ऊपर हल्के द्रव की ऊँचाई (cm)

h_2 = U-नली की दाँयी भुजा में सामान्य तल के ऊपर भारी द्रव की ऊँचाई (cm)

h = पाइप में द्रव का दाब शीर्ष (cm)

S_1 = हल्के द्रव का अपेक्षिक गुरुत्व

S_2 = भारी द्रव का अपेक्षिक गुरुत्व

अब बाँयी भुजा में आधार रेखा (Z–Z) पर दाब $= h + S_1 h_1$ cm (पानी) ...(i)

तथा दाँयी भुजा में आधार रेखा पर दाब $= S_2 h_2$ cm (पानी) ...(ii)

क्योंकि आधार रेखा पर दाब बराबर है इसलिए सम्बन्ध (i) और (ii) से

$$h + S_1 h_1 = S_2 h_2$$

या

$$h = (S_2 h_2 - S_1 h_1) \text{ cm (पानी)}$$

पाइप में यदि ऋणात्मक दाब (negative pressure) हो तो सरल मैनोमीटर से निम्न प्रकार दाब ज्ञात किया जा सकता है—

पाइप में ऋणात्मक दाब के कारण U-नली की बाँयी भुजा का हल्का द्रव पाइप में चूषित (suck) होता है और भारी द्रव कुछ ऊपर चढ़ता है। फलस्वरूप दाँयी भुजा में भारी द्रव कुछ ऊपर आ जाता है जैसा कि चित्र P1.2(b) में दिखाया गया है। अब दाँयी भुजा में भारी द्रव के तल पर रेखा Z–Z को आधार मानिये। इस प्रकार बाँयी भुजा के आधार-रेखा के ऊपर द्रव का दाब

$$= h + S_1 h_1 + S_2 h_2 \text{ cm (पानी)}$$

तथा दाँयी भुजा में दाब = 0

$$\therefore \quad h + S_1 h_2 + S_2 h_2 = 0$$

या

$$h = -(S_1 h_1 + S_2 h_2)$$

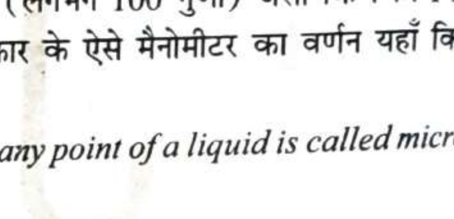
B(ii) माइक्रो मैनोमीटर (Micro Manometer)—यह मैनोमीटर, U-नली मैनोमीटर का विकसित रूप है जिसमें एक भुजा की काट का क्षेत्रफल दूसरी भुजा की अपेक्षा बहुत अधिक होता है। (लगभग 100 गुणा) जैसा कि चित्र P1.3 में दिखाया गया है। माइक्रो-मैनोमीटर अत्यन्त सूक्ष्म दाब माप सकते हैं। दो प्रकार के ऐसे मैनोमीटर का वर्णन यहाँ किया जायेगा।

"The device used to measure very small amount of pressure at any point of a liquid is called micro-manometer."

(a) ऊर्ध्व नली माइक्रो-मैनोमीटर (Vertical Tube Micro-manometer)

चित्र P1.3(a) के अनुसार, एक पाइप पर ऊर्ध्व नली में माइक्रो-मैनोमीटर लगा है। पाइप में उच्च दाब पर हल्का द्रव प्रवाहित होता है। पाइप में द्रव के उच्च दाब के कारण बेसिन का भारी द्रव कुछ नीचे गिरता है। यह गिरावट, बेसिन के बड़े क्षेत्रफल के कारण बहुत कम होती है परन्तु दाँयी भुजा में भारी द्रव अपेक्षाकृत अधिक ऊँचाई तक ऊपर चढ़ता है क्योंकि भुजा का क्षेत्रफल बहुत कम होता है।

ऊर्ध्व नली माइक्रो मैनोमीटर से पाइप में द्रव का दाब निम्न सम्बन्ध से ज्ञात होता है—



चित्र P1.3(a)—ऊर्ध्व नली माइक्रो मैनोमीटर

$$h = S_2h_2 - S_1h_1 \text{ cm (पानी)}$$

जहाँ h = पाइप में हल्के द्रव का दाब (cm)

h_1 = आधार रेखा ZZ के ऊपर हल्के द्रव की ऊँचाई (cm)

h_2 = आधार रेखा ZZ के ऊपर भारी द्रव की ऊँचाई (cm)

S_1 = हल्के द्रव का आ० गु० (sp. gra.)

S_2 = भारी द्रव का आ० गु० (sp. gra.)

(b) नत तली माइक्रो-मैनोमीटर (Inclined Tube Micro-manometer)

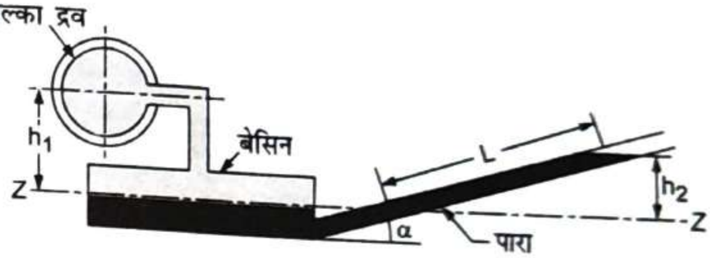
इस माइक्रो मैनोमीटर में U-नली की एक भुजा आनत (inclined) होती है जैसा कि चित्र P1.3(b) में दिखाया गया है। यह ऊर्ध्व नली माइक्रो-मैनोमीटर से अधिक सुग्राही (sensitive) होती है। आनत होने के कारण, पतली नली में द्रव द्वारा चली गई दूरी अपेक्षाकृत अधिक होती है जिससे पाठ्यांक लेने में सुविधा होती है। आनत नली की ज्यामिति के अनुसार,

$$\frac{h_2}{l} = \sin \alpha$$

या

$$h_2 = l \cdot \sin \alpha$$

अब h_2 का यह मान माइक्रो-मैनोमीटर के समीकरण $h = S_2h_2 - S_1h_1$ में रखने पर द्रव का दाब सेमी में ज्ञात किया जा सकता है।



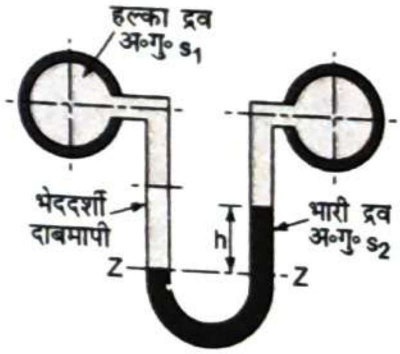
चित्र P1.3(b)—नत नली माइक्रो मैनोमीटर

C(iii) भेददर्शी दाबमापी (Differential Manometer)

C(iii) भेददर्शी दाबमापी (Differential Manometer)—भेददर्शी दाबमापी किसी पाइप के दो बिन्दुओं के बीच दाब-अन्तर (Difference in pressure) अथवा दो पाइपों में दाब अन्तर ज्ञात करने के लिये प्रयोग किये जाते हैं।

भेददर्शी दाबमापी की सरलतम रचना में एक U-नली होती है जिसमें भारी द्रव भरा होता है और जिसके दोनों सिरे उन दो बिन्दुओं से जुड़े होते हैं जिनका दाब-अन्तर ज्ञात किया जाना है।

अब चित्र P1.4 के अनुसार मानिये कि एक भेददर्शी दाबमापी के सिरे, एक तल पर स्थित दो भिन्न-भिन्न स्थानों A तथा B से जुड़े हैं। अब मानिये कि A पर द्रव का दाब B पर द्रव के दाब की अपेक्षा अधिक है। इस प्रकार A में अधिक दाब वाला द्रव, U-नली में भारी द्रव को नीचे धकेलेगा। फलस्वरूप दाँयी नली में भारी द्रव ऊपर उठेगा।



चित्र P1.4—भेददर्शी दाबमापी

अब रेखा ZZ को आधार रेखा (datum line) मानिये जहाँ पर दोनों प्रकार के द्रव-तल परस्पर मिलते हैं। इस स्थिति में,

माना कि, h = U-नली की दोनों भुजाओं में भारी द्रव के तलों में अंतर (सेमी) (इसे मैनोमीटर का पाठ्यांक भी कहते हैं)

मौखिक प्रश्न (Viva Voce)

1. दाब मापने की इकाइयाँ बताइये।
2. दाब इकाइयों में परस्पर क्या सम्बन्ध हैं?
3. विभिन्न प्रकार की दाब मापक युक्तियों के नाम बताइये।
4. द्रव-स्तम्भ तथा दाब तीव्रता में सम्बन्ध बताइये।
5. मैनोमीटर कितने प्रकार के होते हैं?
6. पीजोमीटर नली का उपयोग कहाँ और क्यों किया जाता है?
7. इसकी सीमायें बताइये।
8. U-नली दाब के पीजोमीटर नली की तुलना में लाभ बताइये।
9. माइक्रो-मैनोमीटर क्या है?
10. U-नली मैनोमीटर की तुलना में इसके क्या लाभ हैं?
11. भेददर्शी दाबमापी किस प्रकार के दाब माप सकता है?

प्रयोग संख्या 2

उद्देश्य (Object) :

वेन्चुरीमापी (Venturimeter) के लिए विसर्जन गुणांक (Coefficient) का मान ज्ञात करना।

उपकरण (Apparatus) :

1. वेन्चुरीमीटर,
2. U-नली दाबान्तरमापी (U-Tube manometer),
3. मापक टंकी (measuring tank), पीजोमीटर ट्यूब (piezometer tube) तथा पैमाना (scale) सहित,
4. स्टॉप वाच (stop watch), पानी का नियन्त्रित सप्लाई का साधन।

सिद्धान्त (Theory) :

वेन्चुरीमीटर बरनॉली की प्रमेय पर आधारित एक अनुप्रयोग (application) है।

वेन्चुरीमीटर का विसर्जन गुणांक निम्न सम्बन्ध से व्यक्त होता है—

$$C_d = \frac{\text{वास्तविक विसर्जन}}{\text{सैद्धान्तिक विसर्जन}} = \frac{Q_{act}}{Q_{th}} \quad \text{...(i)}$$

तथा

$$Q_{th} = \frac{a_1 a_2}{\sqrt{(a_1^2 - a_2^2)}} \times \sqrt{(2gH)} \quad \text{...(ii)}$$

जहाँ Q_{th} = वेन्चुरीमीटर का सैद्धान्तिक विसर्जन,

C_d = वेन्चुरीमापी का विसर्जन गुणांक (coefficient of discharge of venturimeter)

a_1 = वेन्चुरीमापी के प्रवेश का क्षेत्रफल (सेमी)^2

a_2 = वेन्चुरीमापी के कण्ठ (throat) का क्षेत्रफल (सेमी)^2

H = वेन्चुरीमापी के प्रवेश तथा कंठ के बीच U-नली दाबान्तर मापी द्वारा मापा गया शीर्ष अन्तर।

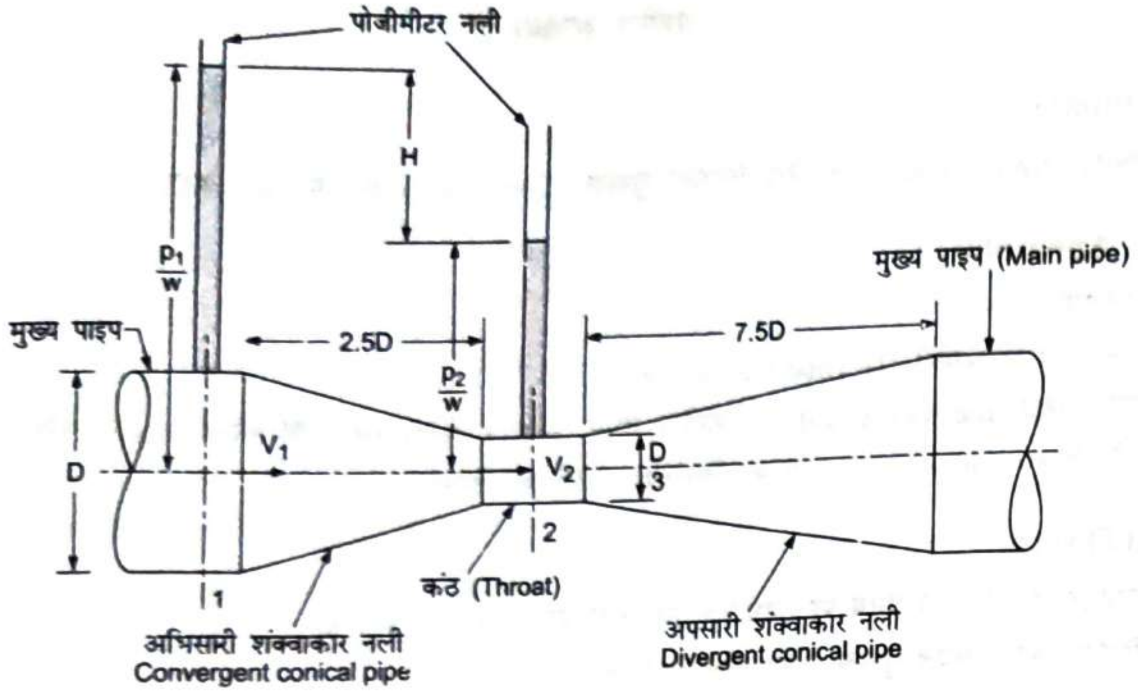
Q_{act} = वास्तविक विसर्जन = मापक टैंक में इकाई समय में एकत्र हुआ पानी का आयतन

अर्थात्,

$$Q_{act} = \frac{\text{आयतन (volume)}}{\text{समय (time)}} \quad \text{...(iii)}$$

विधि (Method) :

1. सर्वप्रथम वेन्चुरीमापी के प्रवेश तथा कंठ के क्षेत्रफल ज्ञात करिये। (सभी वेन्चुरीमीटरों के लिये प्रवेश तथा कण्ठ के व्यास ज्ञात होते हैं।) (देखे चित्र P2.1)
2. मापन टंकी के ज्ञात साइज (लम्बाई × चौड़ाई × ऊँचाई) से उसमें एकत्रित पानी का आयतन ज्ञात हो सकता है।
3. पाइप-लाइन में वेन्चुरीमापी को फिट करिये।
4. U-नली दाबान्तरमापी को वेन्चुरीमापी के प्रवेश तथा कंठ से रबर ट्यूबों की सहायता से जोड़ दीजिये।
5. अब t सेकण्ड में पाइप लाइन से होने वाले विसर्जन को मापक टंकी की सहायता से ज्ञात कर लीजिये। विसर्जन का समय स्टॉप-वाच से ज्ञात करिए।



चित्र P2.1—वेन्चुरीमापी

6. अब U-नली की नलियों में प्रदर्शित किये गये शीर्ष अन्तर 'h' को पढ़िये।
7. इसी प्रकार प्रवाह की दर में परिवर्तन करके टंकी में एकत्रित पानी का आयतन तथा वेन्चुरीमापी में शीर्ष अन्तर के प्रेक्षण लीजिये।
8. Q_{th} का मान सूत्र (ii) में प्रेक्षण मान रखकर ज्ञात करते हैं और Q_{act} को ज्ञात करने के लिए मापक टैंक में किसी समय t sec में एकत्र हुए पानी का आयतन ज्ञात कर सूत्र (iii) में मान रखकर ज्ञात करते हैं।
9. अब सूत्र (i) में Q_{th} व Q_{act} के मान रखकर C_d ज्ञात करते हैं। प्रवाह की दर में परिवर्तन कर फिर से प्रेक्षण करते हैं तथा फिर C_d ज्ञात कर परीक्षण को दोहराते हैं।

प्रेषण (Observation) :

1. वेन्चुरीमापी के प्रवेश का क्षेत्रफल = ... a_1 cm^2
2. वेन्चुरीमापी के कंठ का क्षेत्रफल = ... a_2 cm^2
3. वेन्चुरीमापी का विसर्जन गुणांक = ... C_d
4. वेन्चुरीमापी के प्रवेश तथा कंठ पर शीर्ष अन्तर, $H = h\left(\frac{13.6}{w} - 1\right)$ cm (पानी)

जहाँ, h = U-नली में पारे के तलों में अन्तर,

w = पानी का विशिष्ट भार (sp. wt.)

13.6 = पारे का विशिष्ट भार

नोट—प्रयोगशालीय चित्र अवश्य बनायें और उस पर विभिन्न भागों के नाम लिखें।

प्रेक्षण तालिका (Observation Table) :

क्र० सं०	टंकी में पानी एकत्रित होने में लगा समय t sec	t से० में एकत्र किया गया पानी V cm^3	वास्तविक विसर्जन की दर Q cm^3/sec $= \frac{V}{t}$	U-नली दाबमापी का पाठ्यांक h cm	वेन्चुरीमापी के प्रवेश तथा कंठ पर शीर्ष अन्तर $H = h\left(\frac{13.6}{w} - 1\right)$	वेन्चुरीमापी से सैद्धान्तिक विसर्जन $= \frac{a_1 a_2}{\sqrt{a_1^2 - a_2^2}} \times \sqrt{(2gh)}$ cm^3/sec	C_d का मान $= \frac{Q_{act}}{Q_{th}}$

परिणाम (Result) :

वेन्चुरीमापी गुणांक C_d का ज्ञात किया गया मान = ...

सावधानियाँ (Precautions) :

1. पाइप में पानी प्रवाहित करने से पहले U-नली तथा रबर नलियों में, रुकी वायु को चूसकर निकाल देना चाहिये।
2. U-नली में पारे के तलों में अन्तर उस समय लेना चाहिये जब प्रवाह स्थिर हो जाये।
3. विसर्जन के विभिन्न मानों के लिये U-नली में शीर्ष अन्तर अलग-अलग नोट करना चाहिये।

मौखिक प्रश्न (Viva Voce)

1. वेन्चुरीमीटर किस काम आता है?
2. वेन्चुरीमीटर का साइज किस प्रकार व्यक्त होता है?
3. वेन्चुरीमीटर के विसर्जन का क्या सूत्र है?
4. वेन्चुरीमीटर की क्रिया का सिद्धान्त बताइये।
5. वेन्चुरीमीटर के प्रवेश तथा कंठ पर द्रव का शीर्ष अन्तर किस प्रकार ज्ञात किया जा सकता है?
6. क्षैतिज तथा ऊर्ध्व वेन्चुरीमीटर के विसर्जन में क्या अन्तर है?
7. कंठ के व्यास तथा मुख्य पाइप के व्यास में क्या सम्बन्ध होता है?
8. वेन्चुरीमीटर के अभिसारी (convergent) तथा अपसारी (divergent) भागों की लम्बाई में क्या सम्बन्ध है?

प्रयोग संख्या 3

उद्देश्य (Object) :

वेन्चुरीमीटर की सहायता से प्रवाह का मापन (measurement of flow) करना।

उपकरण (Apparatus) :

1. वेन्चुरीमीटर,
2. U-नली दाबान्तरमापी (U-Tube manometer),
3. मापक टंकी (measuring tank), पीजोमीटर ट्यूब (piezometer tube) तथा पैमाना (scale) सहित,
4. स्टॉप वाच (stop watch), पानी का नियन्त्रित सप्लाई का साधन।

सिद्धान्त (Theory) :

वेन्चुरीमीटर बरनॉली की प्रमेय पर आधारित एक अनुप्रयोग (application) है।

वेन्चुरीमीटर का विसर्जन गुणांक निम्न सम्बन्ध से व्यक्त होता है—

$$C_d = \frac{\text{वास्तविक विसर्जन}}{\text{सैद्धान्तिक विसर्जन}} = \frac{Q_{act}}{Q_{th}} \quad \text{...(i)}$$

तथा

$$Q_{th} = \frac{a_1 a_2}{\sqrt{(a_1^2 - a_2^2)}} \times \sqrt{(2gH)} \quad \text{...(ii)}$$

जहाँ Q_{th} = वेन्चुरीमीटर का सैद्धान्तिक विसर्जन,

C_d = वेन्चुरीमापी का विसर्जन गुणांक (coefficient of discharge of venturimeter)

a_1 = वेन्चुरीमापी के प्रवेश का क्षेत्रफल (सेमी)^2

a_2 = वेन्चुरीमापी के कण्ठ (throat) का क्षेत्रफल (सेमी)^2

H = वेन्चुरीमापी के प्रवेश तथा कंठ के बीच U-नली दाबान्तर मापी द्वारा मापा गया शीर्ष अन्तर।

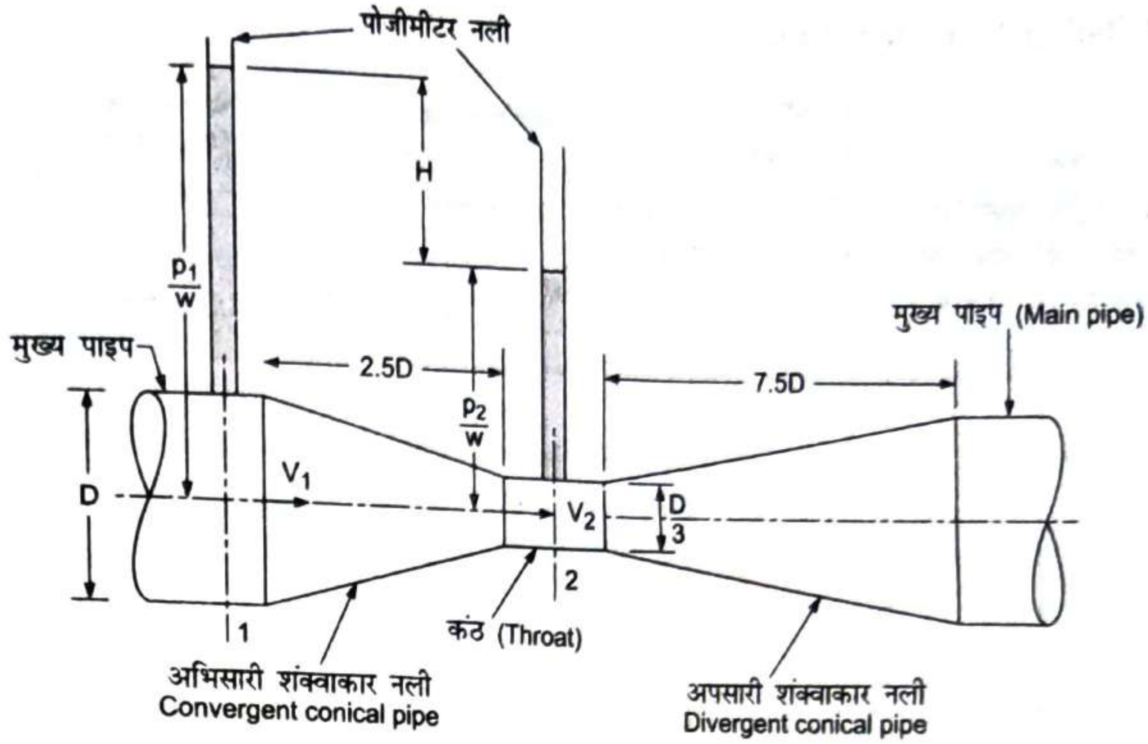
Q_{act} = वास्तविक विसर्जन = मापक टैंक में इकाई समय में एकत्र हुआ पानी का आयतन

अर्थात्,

$$Q_{act} = \frac{\text{आयतन (volume)}}{\text{समय (time)}} \quad \text{...(iii)}$$

विधि (Method) :

1. सर्वप्रथम वेन्चुरीमापी के प्रवेश तथा कंठ के क्षेत्रफल ज्ञात करिये। (सभी वेन्चुरीमीटरों के लिये प्रवेश तथा कण्ठ के व्यास ज्ञात होते हैं।) (देखे चित्र P2.1)
2. मापन टंकी के ज्ञात साइज (लम्बाई × चौड़ाई × ऊँचाई) से उसमें एकत्रित पानी का आयतन ज्ञात हो सकता है।
3. पाइप-लाइन में वेन्चुरीमापी को फिट करिये।
4. U-नली दाबान्तरमापी को वेन्चुरीमापी के प्रवेश तथा कंठ से रबर ट्यूबों की सहायता से जोड़ दीजिये।
5. अब t सेकण्ड में पाइप लाइन से होने वाले विसर्जन को मापक टंकी की सहायता से ज्ञात कर लीजिये। विसर्जन का समय स्टॉप-वाच से ज्ञात करिए।



चित्र P2.1—वेन्चुरीमापी

6. अब U-नली की नलियों में प्रदर्शित किये गये शीर्ष अन्तर 'h' को पढ़िये।
7. इसी प्रकार प्रवाह की दर में परिवर्तन करके टंकी में एकत्रित पानी का आयतन तथा वेन्चुरीमापी में शीर्ष अन्तर के प्रेक्षण लीजिये।
8. Q_{th} का मान सूत्र (ii) में प्रेक्षण मान रखकर ज्ञात करते हैं और Q_{act} को ज्ञात करने के लिए मापक टैंक में किसी समय t sec में एकत्र हुए पानी का आयतन ज्ञात कर सूत्र (iii) में मान रखकर ज्ञात करते हैं।
9. अब सूत्र (i) में Q_{th} व Q_{act} के मान रखकर C_d ज्ञात करते हैं। प्रवाह की दर में परिवर्तन कर फिर से प्रेक्षण करते हैं तथा फिर C_d ज्ञात कर परीक्षण को दोहराते हैं।

प्रेषण (Observation) :

1. वेन्चुरीमापी के प्रवेश का क्षेत्रफल = ... a_1 cm^2
2. वेन्चुरीमापी के कंठ का क्षेत्रफल = ... a_2 cm^2
3. वेन्चुरीमापी का विसर्जन गुणांक = ... C_d
4. वेन्चुरीमापी के प्रवेश तथा कंठ पर शीर्ष अन्तर, $H = h\left(\frac{13.6}{w} - 1\right)$ cm (पानी)

जहाँ, h = U-नली में पारे के तलों में अन्तर,

w = पानी का विशिष्ट भार (sp. wt.)

13.6 = पारे का विशिष्ट भार

नोट–प्रयोगशालीय चित्र अवश्य बनायें और उस पर विभिन्न भागों के नाम लिखें।

प्रेक्षण तालिका (Observation Table) :

क्र० सं०	टंकी में पानी एकत्रित होने में लगा समय t sec	t से० में एकत्र किया गया पानी V cm³	वास्तविक विसर्जन की दर Q cm³/sec $= \frac{V}{t}$	U-नली दाबमापी का पाठ्यांक h cm	वेन्चुरीमापी के प्रवेश तथा कंठ पर शीर्ष अन्तर $H = h\left(\frac{13.6}{w} - 1\right)$	वेन्चुरीमापी से सैद्धान्तिक विसर्जन $= \frac{a_1 a_2}{\sqrt{a_1^2 - a_2^2}} \times \sqrt{(2gh)}$ cm³/sec	C_d का मान $= \frac{Q_{act}}{Q_{th}}$

परिणाम (Result) :

वेन्चुरीमापी गुणांक C_d का ज्ञात किया गया मान = ...

सावधानियाँ (Precautions) :

1. पाइप में पानी प्रवाहित करने से पहले U-नली तथा रबर नलियों में, रुकी वायु को चूसकर निकाल देना चाहिये।
2. U-नली में पारे के तलों में अन्तर उस समय लेना चाहिये जब प्रवाह स्थिर हो जाये।
3. विसर्जन के विभिन्न मानों के लिये U-नली में शीर्ष अन्तर अलग-अलग नोट करना चाहिये।

मौखिक प्रश्न (Viva Voce)

1. वेन्चुरीमीटर किस काम आता है?
2. वेन्चुरीमीटर का साइज किस प्रकार व्यक्त होता है?
3. वेन्चुरीमीटर के विसर्जन का क्या सूत्र है?
4. वेन्चुरीमीटर की क्रिया का सिद्धान्त बताइये।
5. वेन्चुरीमीटर के प्रवेश तथा कंठ पर द्रव का शीर्ष अन्तर किस प्रकार ज्ञात किया जा सकता है?
6. क्षैतिज तथा ऊर्ध्व वेन्चुरीमीटर के विसर्जन में क्या अन्तर है?
7. कंठ के व्यास तथा मुख्य पाइप के व्यास में क्या सम्बन्ध होता है?
8. वेन्चुरीमीटर के अभिसारी (convergent) तथा अपसारी (divergent) भागों की लम्बाई में क्या सम्बन्ध है?

प्रयोग संख्या 4

उद्देश्य (Object) :

बरनॉली प्रमेय (Bernoulli's theorem) का सत्यापन करना।

उपकरण (Apparatus) :

1. पानी की सप्लाई-टंकी,
2. मापक टंकी (measuring tank),
3. उल्टी-V (inverted-V) आकार की चैनल जिसकी न्यूनतम काट मध्य में स्थित हो और विभिन्न काटों पर दाबमापी नलियाँ (Piezometer) लगी हों,
4. स्टॉप वाच।

सिद्धान्त (Theory) :

किसी बहते हुये जल की निश्चित संहति (mass) के सभी कणों (particles) यदि सतत् सम्बन्ध बना रहे, तो जल की सम्पूर्ण ऊर्जा (total energy) या सम्पूर्ण शीर्ष (total head) सभी बिन्दुओं पर समान होता है, जबकि घर्षण या अन्य कारणों से ऊर्जा हानि हो रही हो।

इस प्रकार, जल का सम्पूर्ण शीर्ष,

$$H_1 = \frac{p_1}{w} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = H_2 = \frac{p_2}{w} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

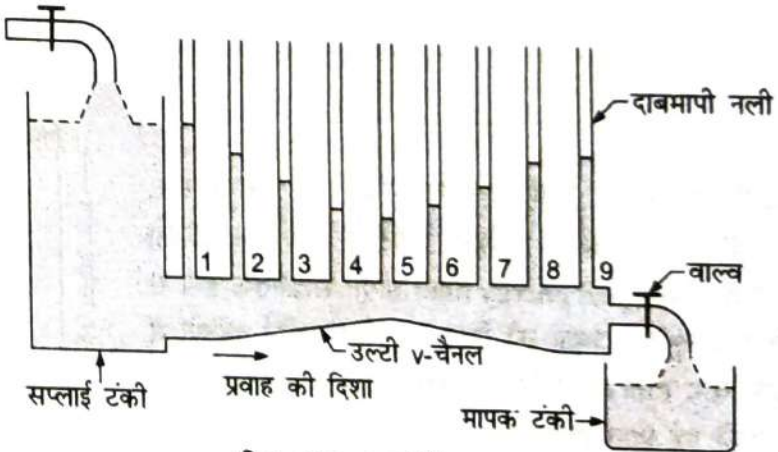
यह बरनॉली प्रमेय (Bernouli's theorem) है। इस प्रमेय को सिद्ध करने में हम शीर्ष हानियों को नगण्य मानेंगे।

विधि (Method) :

बरनॉली प्रमेय सिद्ध करने के लिये आवश्यक प्रबन्ध चित्र P4.1 में दिखाया गया है। इस प्रबन्ध में क्योंकि चैनल क्षैतिज में है इसलिये सभी स्थानों पर स्थैतिक शीर्ष का मान समान होगा अर्थात् $Z_1 = Z_2 =$ स्थिर।

बरनॉली प्रमेय को सिद्ध करने की विधि के मुख्य पद निम्न प्रकार हैं—

1. चैनल की विभिन्न काट (चित्र P4.1 के अनुसार 1 से 9 तक) का क्षेत्रफल नोट करिये। मापक टंकी के साइज भी नोट करिये।।



चित्र P4.1—बरनॉली उपकरण

2. पीजोमीटर ट्यूब के जोड़ों को चैक करिये।
3. अब सप्लाई टंकी से पानी को चैनल में प्रवाहित करिये।
4. फिर किसी निश्चित समय t sec में मापक टंकी (measuring tank) में एकत्रित पानी का आयतन q cm^3 ज्ञात करिये।

[$q = t$ sec में जल-तल में वृद्धि × टंकी की काट का क्षेत्रफल]

5. अब प्रत्येक काट पर पीजोमीटर नली में चढ़े द्रव की ऊँचाई h तालिका में नोट करिये।
6. प्रत्येक काट तालिका पर दाब-शीर्ष तथा वेग का योग $\left(\frac{p}{2}+\frac{v^2}{2g}\right)$ तालिका में अंकित करिये।
7. विसर्जन में परिवर्तन करके, इसी प्रकार प्रेक्षणों का एक और सेट लीजिये।

प्रेक्षण (Observations) :

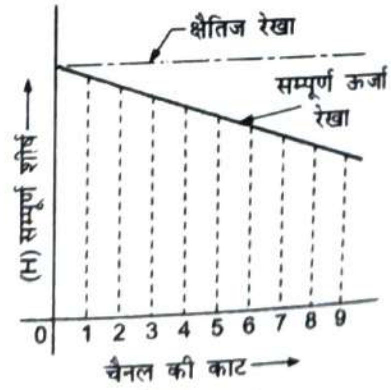
मापक टंकी की काट का क्षेत्रफल = A (cm)^2

प्रेक्षण तालिका (Observation Table)

प्रेक्षणों के सैट	मापन टंकी पानी एकत्र होने का समय t sec	t सेकण्ड में एकत्रित पानी का आयतन q cm^3	विसर्जन, $Q = \frac{q}{t}$ cm^3/sec	चैनल की काट	काट का क्षेत्रफल a cm^2	काट पर द्रव प्रवाह का वेग $v = \frac{Q}{a}$ cm/sec	काट पर वेग शीर्ष $\frac{v^2}{2g}$ cm	काट पर दाब शीर्ष $\frac{p}{w} = h$ cm	काट पर सम्पूर्ण शीर्ष $H = [(p/w) + (v^2/2g)]$ cm
1				1 2 3 .. 9					
2				1 2 3 .. 9					

परिणाम (Results) :

प्रेक्षण तालिका के सैट में प्राप्त सम्पूर्ण शीर्ष H के मान, चित्र P4.2 के अनुसार, ग्राफ पर कोटि (ordinate) के रूप में अंकित कीजिये। कोटि के शीर्ष बिन्दुओं को मिलाने वाली रेखा सम्पूर्ण ऊर्जा रेखा (total energy line) होगी। सैद्धान्तिक रूप से यह रेखा क्षैतिज होनी चाहिये परन्तु द्रव प्रवाह की दिशा में लगातार शीर्ष हानियों में वृद्धि के कारण सम्पूर्ण ऊर्जा कम होती जाती है। इस कारण ग्राफ पर सम्पूर्ण ऊर्जा रेखा क्षैतिज से नीचे कुछ झुकी हुई प्राप्त होती है।



चित्र P4.2

सावधानियाँ (Precautions) :

1. पीजोमीटर नलियों में दाब शीर्ष उस समय नोट करना चाहिये जब उनमें द्रव की ऊँचाई स्थिर हो जाये।
2. द्रव प्रवाहित करने से पूर्व चैनल को क्षैतिज में स्थित करना चाहिये।
3. प्रेक्षणों के प्रत्येक सैट के लिये सप्लाई टंकी में द्रव तल स्थिर रहना चाहिये।

मौखिक प्रश्न (Viva Voce)

1. बरनॉली प्रमेय की परिभाषा बताइये।
2. द्रव की सम्पूर्ण ऊर्जा किस सूत्र से प्रदर्शित होती है?
3. सम्पूर्ण ऊर्जा रेखा क्या है?
4. सम्पूर्ण ऊर्जा तथा सम्पूर्ण शीर्ष में अन्तर स्पष्ट कीजिये।
5. पीजोमीटर नलियों में द्रव की ऊँचाई क्या प्रदर्शित करती है?
6. चैनल की काट पूरी लम्बाई में यदि एक समान हो तो पीजोमीटर नलियों में द्रव तल कैसे होंगे?
7. बरनॉली प्रमेय की सीमायें क्या हैं?
8. किसी एक सैट के प्रेक्षणों में द्रव तल स्थिर रहना क्यों आवश्यक है?
9. बरनॉली प्रमेय की उपयोगिता समझाइये।
10. सम्पूर्ण शीर्ष में स्थैतिक शीर्ष का पद क्यों नहीं सम्मिलित किया जाता है।

प्रयोग संख्या 5

उद्देश्य (Object) :

पाइपों के प्रवाह में डार्सी का घर्षण गुणांक ज्ञात करना।

उपकरण (Apparatus) :

1. विभिन्न व्यास वाले कुछ क्षैतिज पाइप जिनमें चुनी हुई दो काटों के बीच लम्बाइयाँ ज्ञात हों तथा इन काटों को U-ट्यूब दाबान्तर (U-tube manometer) से रबर ट्यूबों द्वारा जोड़ा जा सके।
2. प्रत्येक पाइप के प्रवाह को नियन्त्रित करने के लिए पृथक्-पृथक् वाल्व।
3. मापक टंकी जिस पर पीजोमीटर ट्यूब तथा पैमाना लगा हो।

सिद्धान्त (Theory) :

पाइपों में घर्षण शीर्ष हानि निम्न सम्बन्ध से ज्ञात की जाती है—

$$h_f = \frac{4flv^2}{2gd}$$

जहाँ, h_f = घर्षण शीर्ष हानि,

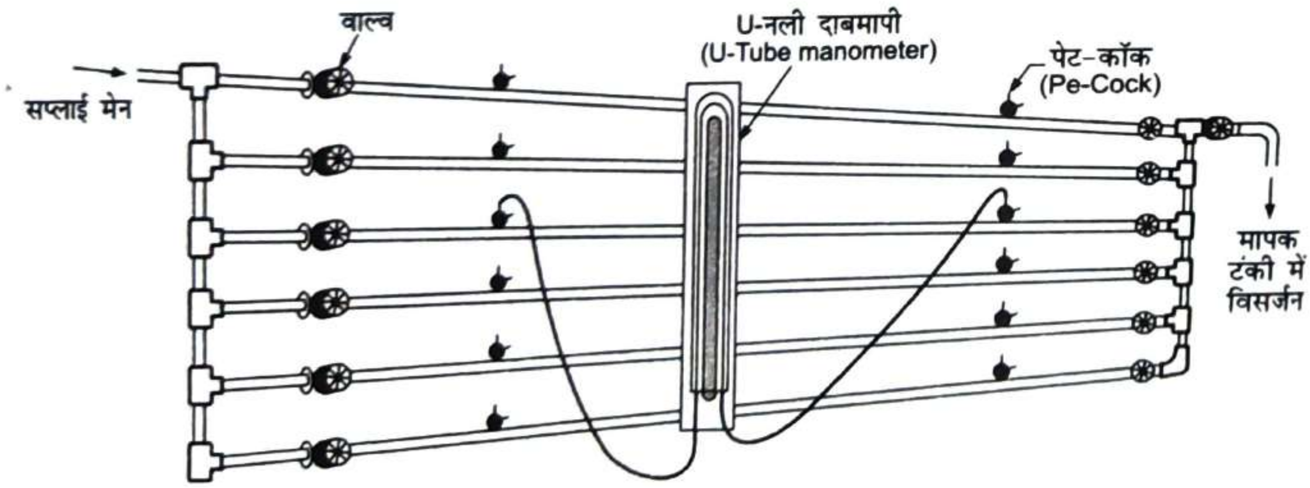
f = पाइप के लिये घर्षण गुणांक

l = पाइप की लम्बाई,

d = पाइप का व्यास

विधि (Method) :

चित्र P5.1 में इस प्रयोग की आवश्यक व्यवस्था दिखाई गई है। प्रयोग करने की विधि के मुख्य पद अग्र प्रकार हैं—



चित्र P5.1

1. सर्वप्रथम सभी पाइपों के व्यास तथा दो चुनी हुई काटों के बीच लम्बाइयाँ मापिये।
2. अब किसी एक पाइप की निश्चित लम्बाई में पेट-कॉक तथा दाबान्तरमापी को रबर नलियों से जोड़िये, और सभी पाइपों के वाल्व बन्द करिये।
3. प्रश्नगत पाइप से अब पानी की नियन्त्रित मात्रा सप्लाई करिए तथा दाबान्तरमापी द्वारा दर्शाया गया तलों में अन्तर x सेमी० नोट करिये।
4. मापक टंकी में t सेकण्ड तक कुछ पानी एकत्रित होने दीजिये। माना एकत्रित पानी का आयतन q cm^3 है। तब विसर्जन $Q = \frac{q}{t} \frac{\text{cm}^3}{\text{sec}}$ होगा। इससे पाइप में पानी का वेग सम्बन्ध $v = Q/a$ से ज्ञात हो जायेगा। वहाँ a = पाइप की काट का क्षेत्रफल है।
5. इसी प्रकार विसर्जन को स्थिर रखते हुए अन्य पाइपों में से क्रमवार पानी प्रवाहित करके प्रयोग को दोहराइये।
6. विसर्जन में परिवर्तन करके भी प्रयोग को दोहराइए।

प्रेक्षण (Observations) :

1. प्रत्येक लाइन का व्यास तथा लम्बाई नोट करिए।
2. घर्षण गुणांक निम्न सम्बन्ध से ज्ञात कीजिए—

$$f = 0.1\,(1 + 1/35d) \text{ ... नए पाइप के लिए}$$
$$f = 0.005\,(1 + 1/35d) \text{ ... पुराने पाइप के लिए}$$

जहाँ d = पाइप का व्यास (m)

3. घर्षण शीर्ष हानि, $h_f = x\,(S - 1)$

जहाँ x = दाबान्तरमापी में मापा गया द्रव तलों में अन्तर

तथा S = दाबान्तरमापी में भरे द्रव का आपेक्षिक गुरुत्व

4. प्रत्येक पाइप का क्षेत्रफल सूत्र $a = \frac{\pi}{4} d^2$ से ज्ञात करिये।

क्र० सं०	मापक टंकी में पानी एकत्र पानी का समय t cm	t से में एकत्रित पानी का आयतन q cm^3	पाइप में से विसर्जन $Q = \frac{q}{t}$ cm^3/sec	पाइप में प्रवाह वेग $v = \frac{Q}{a}$ cm/sec	पाइप में शीर्ष हानि $\frac{4flv^2}{2gd}$ cm	दाबान्तरमापी से मापा गया शीर्ष अन्तर h_f
1.						
2.						

परिणाम (Result) :

सूत्र द्वारा ज्ञात की गयी शीर्ष हानि तथा दाबान्तरमापी से मापा गया शीर्ष अन्तर h_f लगभग बराबर होने चाहियें।

विशेष (Note) :

पाइप में घर्षण हानि के सूत्र $h_f = \frac{4flv^2}{2gd}$ से किसी भी पाइप के घर्षण गुणांक f का मान ज्ञात किया जा सकता है।

मौखिक प्रश्न (Viva Voce)

1. पाइप में शीर्ष हानि का क्या अर्थ है?
2. शीर्ष हानि तथा ऊर्जा हानि में क्या अन्तर है?
3. शीर्ष हानि को, ऊर्जा हानि भी कहते हैं, क्यों?
4. पाइप में द्रव की विभिन्न शीर्ष हानियों के नाम बताइये।
5. ऊर्जा हानियाँ क्यों होती हैं?
6. क्या ऊर्जा का नाश हो सकता है?
7. ऊर्जा की हानि का क्या होता है?
8. द्रव दाबमापी से क्या मापा जाता है?
9. पाइप के उपयोग बताइये। पाइप फिटिंग्स के नाम बताइये।
10. पाइप में आकस्मिक वर्धन तथा संकुचन से हुई शीर्ष हानियों के सूत्र बताइये।
11. पाइप में भीगी परिमाप तथा द्रवीय ढाल क्या होती है?
12. पाइप में द्रव के वेग का चेजी सूत्र बताइये।
13. सम्पूर्ण ऊर्जा रेखा तथा द्रवीय ढाल रेखा क्या है?
14. पाइपों में विभिन्न कारणों से होने वाली शीर्ष हानियाँ बताइए।

प्रयोग संख्या 6

उद्देश्य (Object) :

एक ऑटोमोबाइल ब्रेक (Automobile brake) तथा हाइड्रोलिक रैम (Hydraulic ram) के द्रवीय परिपथ (Hydraulic circuit) का अध्ययन करना।

उपकरण (Apparatus) :

एक ऑटोमोबाइल ब्रेक तथा हाइड्रोलिक रैम के मॉडल।

सिद्धान्त (Principle) :

(A) द्रवीय ब्रेक (Hydraulic Brakes)

हम जानते हैं कि विभिन्न प्रकार के ब्रेकों जैसे—यॉंत्रिक ब्रेक, द्रवीय ब्रेक, वायवीय (pneumatic) ब्रेक, विद्युत ब्रेक आदि का प्रयोग वाहनों की गति को कम करने अथवा रोकने के लिए किया जाता है। सभी ब्रेकों की अपनी क्रियाविधि तथा गुण होते हैं। यहाँ हम केवल द्रवीय ब्रेकों का अध्ययन करेंगे।

द्रवीय ब्रेक, द्रव दाब द्वारा क्रियान्वित होते हैं। ये पास्कल के नियम पर कार्य करते हैं जिसके अनुसार, स्थिर अवस्था में द्रव पर लगाया गया दाब सभी दिशाओं में एक समान कार्य करता है।

"Hydraulic brake operates by hydraulic pressure. It is also based on Pascal's law".

चित्र P6.1 में एक चार पहिया वाहन के दो पहियों में द्रवीय ब्रेक का तंत्र प्रदर्शित है। शेष दो पहियों में भी यह तंत्र समान होगा।

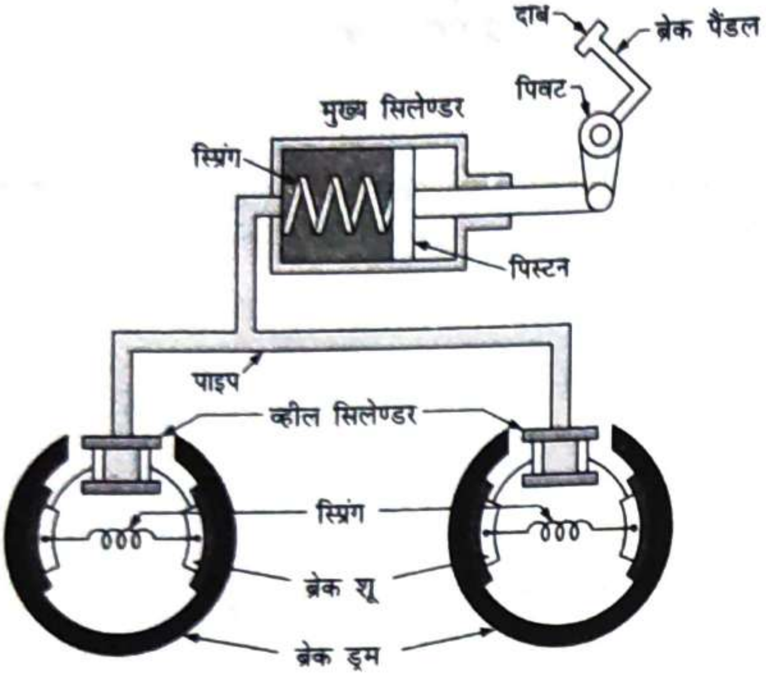
द्रवीय ब्रेक में मुख्यत: एक सिलेण्डर होता है जिसमें लगा पिस्टन, ब्रेक पैडल से सम्बद्ध रहता है। सिलेण्डर में एक स्प्रिंग लगा होता है जो पिस्टन पर बल लगाकर पिस्टन को दाँयी तरफ बनाये रखता है। मुख्य सिलेण्डर एक पाइप लाइन के माध्यम् से व्हील सिलेण्डर से जुड़ा रहता है। व्हील सिलेण्डर में दो पिस्टन लगे होते हैं जो ब्रेक शू से सम्बद्ध रहते हैं। ब्रेक शू की बाह्य सतह पर एक घर्षण पदार्थ की लाइनिंग (lining) लगी रहती है जिसको ब्रेक ड्रम के विरुद्ध दबा कर ब्रेकिंग क्रिया प्राप्त की जाती है। ब्रेक-शू एक सिरे पर पिवेटित रहते हैं तथा आपस में एक स्प्रिंग द्वारा जुड़े रहते हैं।

जब वाहन गतिमय होता है सभी अंग अपनी सामान्य अवस्था में बने रहते हैं। गति को घटाने अथवा समाप्त करने के लिए ब्रेक पैडल को दबाया जाता है जिससे मुख्य सिलेण्डर का पिस्टन बायीं तरफ चलता है तथा सिलेण्डर में भरे द्रव को दबाता है जिससे सारे तंत्र का द्रव दाब बढ़ जाता है। व्हील सिलेण्डर में द्रव का दाब बढ़ जाता है जिससे दोनों पिस्टन पर बाहर की ओर दाब बढ़ता है जिससे ब्रेक ड्रम के विरुद्ध ब्रेक शू दाब लगाता है। ब्रेक ड्रम तथा ब्रेक लाइनिंग के मध्य उत्पन्न घर्षण के कारण पहिये का वेग कम हो जाता है।

जब ब्रेक पैडल से दाब हटाया जाता है तो पिस्टन अपनी पूर्व अवस्था में आ जाता है जिससे सिलेण्डर में पिस्टन के बायीं ओर द्रव दाब घट जाता है। ब्रेक शू में लगे स्प्रिंग द्वारा ब्रेक शू अपनी पूर्व अवस्था में आ जाता है तथा ब्रेक शू तथा ब्रेक ड्रम का सम्पर्क समाप्त हो जाता है तथा सभी अंग पूर्व अवस्था में आ जाते हैं।

द्रवीय ब्रेक के लाभ (Advantages of Hydraulic Brake)

(i) व्हील पर एक समान बल लगता है
(ii) स्व:स्नेहित होने के कारण घिसाई दर कम रहती है
(iii) उच्च यांत्रिक लाभ
(iv) सरल संरचना



चित्र P6.1—द्रवीय ब्रेक

हानि (Disadvantage)

लीकेज अथवा वायु चूषित होने की दशा में तंत्र कार्य नहीं करता है।

(B) द्रवीय रैम (Hydraulic Ram)

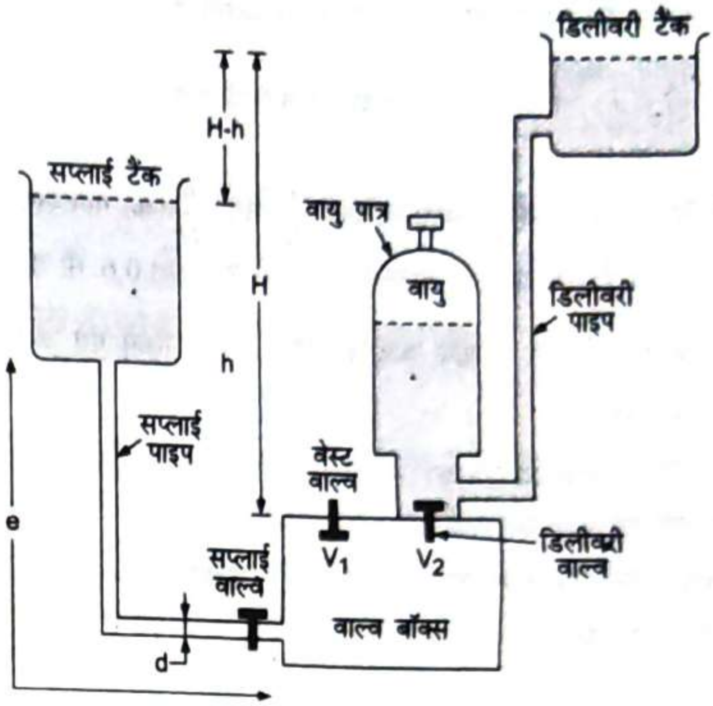
द्रवीय रैम एक ऐसा उपकरण है, जो कम ऊँचाई पर उपलब्ध जल की अधिक मात्रा की गतिज ऊर्जा का प्रयोग करके, जल की कम मात्रा को अधिक ऊँचाई पर पम्प (pump) कर देता है। यह जल-आघात (waer-hammer) के सिद्धान्त पर कार्य करता है।

"Hydraulic ram is a device with which small quantity of water can be pumped to higher levels from the available large quantity of water of low head. It works on the principle of water hammer".

यह एक ऐसा स्वचालित पम्प है जिसमें कार्य के लिए किसी बाह्य-ऊर्जा स्रोत की आवश्यकता नहीं होती है और यह अपने कार्य के लिए द्रव के गतिज-दाब (dynamic pressure) का प्रयोग करता है।

रचना (Construction)—चित्र P6.2 में एक द्रवीय रैम प्रदर्शित है। इसमें मुख्यत: एक वाल्व बाक्स होता है जिसमें कम शीर्ष वाला जल प्रवेश करता है। वाल्व बाक्स में लगा वेस्ट वाल्व (waste valve) V_1 अन्दर को तथा डिलीवरी वाल्व (delivery valve) V_2, बाहर को खुलता है। डिलीवरी वाल्व वाल्व V_2 के ऊपर एक वायु-पात्र (air-vessel) लगा रहता है। यह वायु पात्र डिलीवरी पाइप के माध्यम से डिलीवरी टैंक से जुड़ा रहता है।

कार्यविधि (Working Method)—प्रारम्भ में सप्लाई वाल्व को खोलते हैं जिससे सप्लाई टैंक से जल सप्लाई पाइप के द्वारा वाल्व बॉक्स में प्रवेश करता है। वेस्ट वाल्व V_1 अपने भार के कारण खुली स्थिति में होता है जिससे जल वेस्ट वाल्व V_1 के द्वारा वाल्व बॉक्स से बाहर आने लगता है। जब सप्लाई पाइप में प्रवाह वेग बढ़ता है, वेस्ट वाल्व पर नीचे से ऊपर की ओर गतिज दाब (dynamic pressure) बढ़ता है जो वाल्व को अचानक बन्द कर देता है। वाल्व के अचानक बन्द होने से सप्लाई पाइप में जल का प्रवाह रुक जाता है जिसके कारण जल आघात (water hammer) उपजता है तथा वाल्व बाक्स में उच्च दाब स्थापित हो जाता है। इस उच्च दाब के कारण डिलीवरी वाल्व V_2 ऊपर की ओर खुलता है तथा कुछ जल वायु पात्र में प्रवेश कर जाता है। वायु पात्र में जल के प्रवेश से पात्र के अन्दर की वायु संपीड़ित होती है। पात्र में वायु दाब बढ़ने से कुछ जल डिलीवरी पाइप से होकर डिलीवरी टैंक में प्रवेश कर जाता है।



चित्र P6.2—द्रवीय रैम

इस प्रकार जब वाल्व बॉक्स में जल का संवेग (momentum) समाप्त हो जाता है तो डिलीवरी वाल्व 'V_2' बन्द हो जाता है तथा वेस्ट वाल्व 'V_1' फिर खुल जाता है। वाल्व बॉक्स में जल प्रवाह पुनः स्थापित हो जाता है और नया क्रिया-चक्र फिर प्रारम्भ हो जाता है। सप्लाई-वाल्व को बन्द करने से रैम की क्रिया रोकी जा सकती है। ये क्रिया चक्र बहुत कम समय में पूरा हो जाता है जिससे द्रवीय रैम द्वारा डिलीवरी टैंक में लगातार जल की सप्लाई होती रहती है।

द्रविक रैम के लाभ (Advantages)

1. यह ऑटोमेटिक कार्य करता है तथा इसका रखरखाव भी सस्ता है।
2. इसकी क्रिया के लिए किसी बाह्य ऊर्जा की आवश्यकता नहीं होती वरन् यह जल की अधिक मात्रा से ही क्रिया करता है।
3. इसकी क्रिया में शोर नहीं होता है।
4. चल भागों (moving parts) के न होने से स्नेहन की आवश्यकता नहीं होती।
5. कार्यकारी लागत (running cost) नगण्य होती है।
6. इसकी दक्षता उच्च होती है तथा सेवाकाल भी अधिक होता है।

उपयोगिता (Utility)—

(i) पम्प को चलाने के लिए विद्युत शक्ति की उपलब्धता दूरस्थ स्थानों (remote area) तक होने के कारण, द्रवीय रैम का उपयोग प्रायः नगण्य हो गया है फिर भी उन स्थानों पर, जैसे-पहाड़ी स्थान से चश्मा या स्रोत आदि जहाँ पर्याप्त वर्षा जल उपलब्ध हो, इसका प्रयोग किया जा सकता है।

(ii) द्रवीय रैम के साथ उपयुक्त युक्तियों के प्रयोग से इसके द्वारा निम्न शीर्ष पर उपलब्ध गन्दे पानी से स्वच्छ पानी को पम्प किया जा सकता है।

(iii) थोड़े से सुधार के साथ द्रवीय रैम को वायु संपीडक के रूप में प्रयोग किया जा सकता है।

दक्षता (Efficiency)—द्रवीय रैम दक्षता निम्न बातो पर निर्भर करती है—

(i) पाइप में हानियाँ (ii) वाल्व बॉक्स में हानियाँ तथा (iii) $\frac{l}{H}$ तथा $\frac{h}{H}$ अनुपात

प्रयोगों द्वारा देखा गया है कि रैम की उच्चतम क्षमता के लिए $\frac{l}{H}$ तथा $\frac{h}{H}$ का मान लगभग 2.5 तथा 5 होना चाहिये। रैम की दक्षता 75% तक हो सकती है। रैम के लिए न्यूनतम कार्यकारी शीर्ष (h) 0.6 मी होता है। विसर्जन शीर्ष 'H' का मान 'h' का 6 से 12 गुना तक होता है। रैम से प्राप्त जल की मात्रा, सप्लाई किये गये जल की मात्रा की $\frac{1}{24}$ से $\frac{1}{12}$ तक होती है। माना किसी रैम के लिए,

Q = जल की व्यर्थ मात्रा (wasted water)

q = रैम द्वारा पम्प की गई जल की मात्रा

h = क्रियाकारी शीर्ष (वेस्ट-वाल्व से ऊपर जल स्रोत की ऊँचाई)

H = वेस्ट वाल्व से ऊपर डिलीवरी टैंक की ऊँचाई

तब,
$$q = \frac{Q.h}{2H}$$

द्रवीय रैम की रैकिन दक्षता इस सूत्र द्वारा प्रदर्शित होगी $\eta = \frac{q(H-h)}{Q.h}$

मौखिक प्रश्न (Viva Voce)

1. द्रवीय ब्रेक किस सिद्धान्त पर कार्य करते हैं?
2. द्रवीय ब्रेक कहाँ प्रयोग किये जाते हैं?
3. द्रवीय ब्रेक के प्रमुख लाभ कौन-कौन से हैं?
4. द्रवीय ब्रेक तन्त्र का प्रमुख दोष क्या है?
5. द्रवीय रैम किस सिद्धान्त पर कार्य करता है?
6. यह कहाँ प्रयोग किया जाता है?
7. द्रवीय रैम में वायुपात्र का क्या कार्य है?
8. द्रवीय रैम की सहायता से कितनी ऊँचाई तक जल पहुँचाया जा सकता है?
9. द्रवीय रैम की दक्षता कितनी होती है?

प्रयोग संख्या 7

उद्देश्य (Object) :

पेल्टन टरबाइन (Pelton turbine) तथा फ्रॉंसिस टरबाइन (Francis turbine) की क्रिया विधि का अध्ययन करना।

उपकरण (Apparatus) :

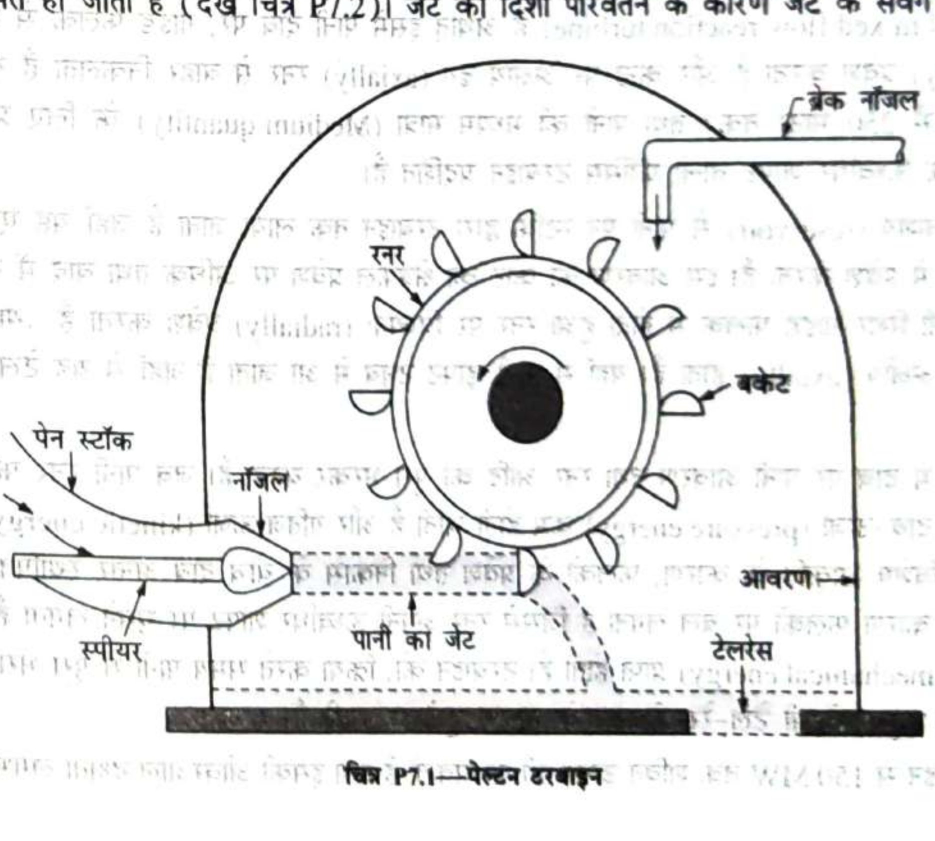
पेल्टन टरबाइन तथा फ्रांसिस टरबाइन या इनके मॉडल तथा चार्ट।

अध्ययन (Study) :

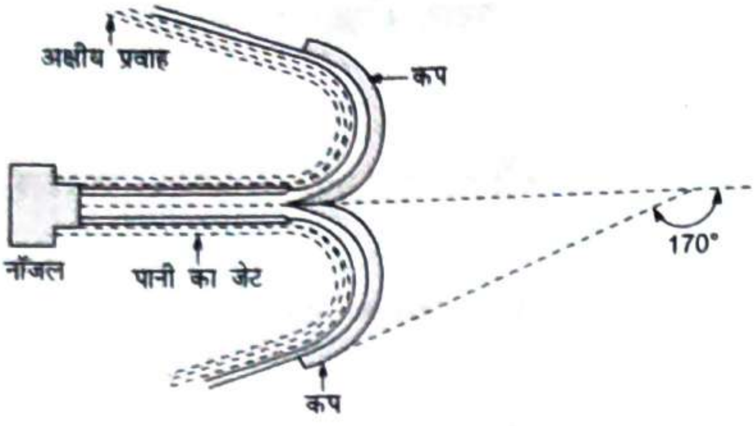
पेल्टन टरबाइन तथा फ्रॉंसिस टरबाइन का रेखाचित्र तथा क्रिया विधि निम्न प्रकार है—

(i) पेल्टन टरबाइन (Pelton Turbine)—एक पेल्टन व्हील/टरबाइन में मुख्य रूप से क्षैतिज अक्ष पर घुमने वाला एक रोटर पहिया होता है जिसकी परिधि पर दोहरे अर्धगोलाकार (double hemispherical) बकेट निश्चित दूरी पर लगे रहते हैं। बकेट सहित पहिये को रनर (Runner) कहते हैं। रनर, ढलवाँ लोहे (cost iron) के एक आवरण (casing) में बंद रहता है। केसिंग का कार्य पानी की बूंदों को इधर-उधर छिटकने (splashing) से रोकना तथा पानी को टेल-रेस (tail race) द्वारा विसर्जित करना है।

सर्वप्रथम पानी को एक उच्च शीर्ष स्रोत (high head source) अर्थात् जलाशय (reservoir) से पेन-स्टॉक (penstock) द्वारा टरबाइन तक पहुंचाया जाता है जहाँ यह एक नॉजल में प्रवेश करता है। नॉजल (nozzle) में पानी की सम्पूर्ण ऊर्जा, गतिज ऊर्जा में परिवर्तित हो जाती है। नॉजल से पानी एक तीव्र गति के जेट के रूप में निकलता है और अपने सामने वाली बकेट पर टकराता है। देखें चित्र P7.1। इस दौरान सम्पूर्ण पहिये पर दाब वायुमण्डलीय बना रहता है अतः ऊर्जा का सम्पूर्ण परिवर्तन, शुद्ध आवेगी क्रिया (purely impure action) के कारण होता है। जेट का बकेट पर टकराव, इसके दो अर्धगोलाकार भागों को मिलाने वाली रेखा पर होता है तथा टकराने के पश्चात् जेट, साधारणतया लगभग 170° के कोण पर विक्षेपित हो जाती है (देखें चित्र P7.2)। जेट की दिशा परिवर्तन के कारण जेट के संवेग में परिवर्तन होता



चित्र P7.1—पेल्टन टरबाइन



चित्र P7.2

है तथा बकेट पर एक आवेगी बल (Impulsive force) क्रिया करता है जो बकेट को जेट की दिशा में आगे धकेल देता है। इसके पश्चात् दूसरी बकेट जेट के सामने आ जाती है जिस पर इसी प्रकार बल लगता है और वह भी आगे धकेल दी जाती है। इस प्रकार बारी-बारी से प्रत्येक बकेट जेट के सामने आती है और रनर पहिया घुमने लगता है और यांत्रिक ऊर्जा प्राप्त होती है बकेट से टकराने के पश्चात् पानी टेल रेस (tail race) में आता है और टरबाइन से बाहर निकल जाता है।

नॉजल से निकलने वाले जेट के नियन्त्रण के लिए चित्र P7.1 के अनुसार एक स्पिअर (spear) वाल्व लगा रहता है जिसको एक हस्त पहिये द्वारा आगे-पीछे सरकाकर जेट में पानी की मात्रा नियन्त्रित की जा सकती है। पहिये को शीघ्रता से रोकने के लिए एक ब्रेक नॉजल का भी प्रबन्ध होता है जिससे निकलने वाली जेट बकेट के पश्च (back) पर टकराती है तथा ब्रेकिंग क्रिया करती है।

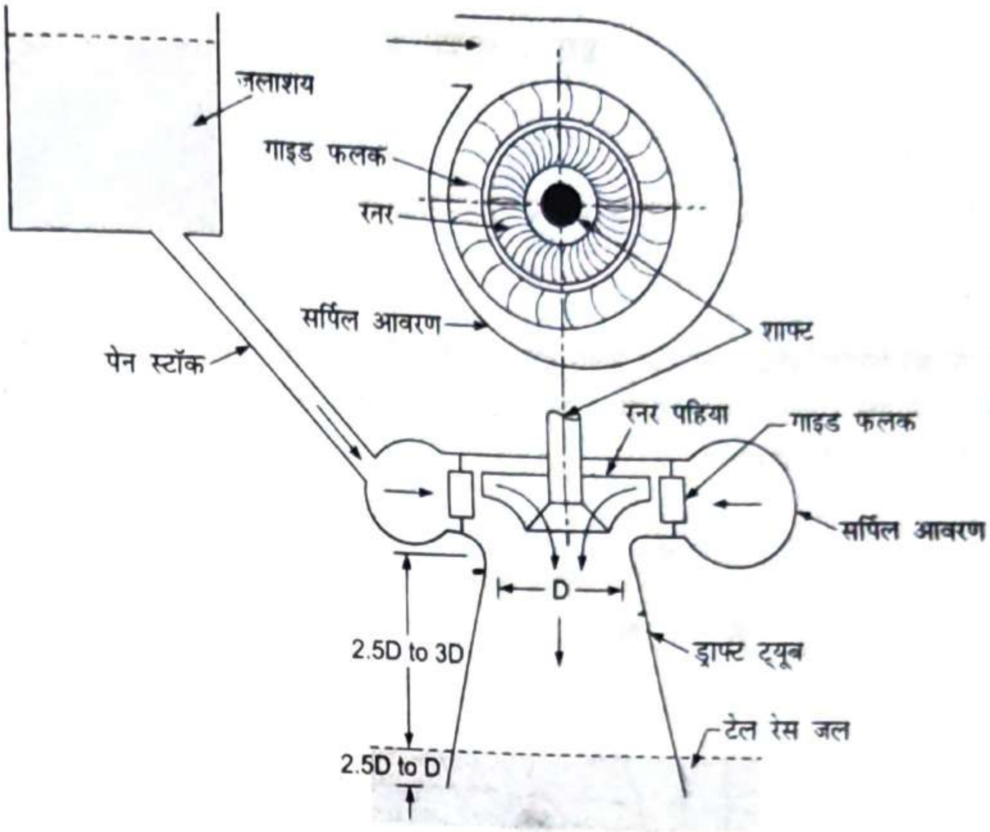
पेल्टन टरबाइन के लिए पानी के शीर्ष का मान 200 m या उससे अधिक होता है। इसकी दक्षता 85% तक हो सकती है तथा यह 100 MW तक शक्ति उत्पन्न कर सकती है।

(ii) फ्रॉसिस टरबाइन (Francis Turbine)—आधुनिक फ्रॉसिस टरबाइन एक अन्तर्मुखी मिश्रित प्रवाह प्रतिक्रिया टरबाइन (Inward mixed flow reaction turbine) है अर्थात् इसमें पानी दाब पर, गाइड फलक से रनर की परिधि पर त्रिज्यत: (radially) प्रवेश करता है और केन्द्र पर अक्षीय ढंग (axially) रनर से बाहर निकलता है यह टरबाइन मध्यम शीर्ष (25 मीटर से 250 मीटर तक) तथा पानी की मध्यम मात्रा (Medium quantity) के लिए प्रयोग की जाती है। चित्र P7.3 में एक ऊर्ध्वाधर शाफ्ट वाली फ्रॉसिस टरबाइन प्रदर्शित है।

सर्वप्रथम जलाशय (reservoir) से पानी पेन स्टॉक द्वारा टरबाइन तक लाया जाता है जहाँ यह एक सर्पिल आवरण (spiral casing) में प्रवेश करता है। इस आवरण की काट का क्षेत्रफल प्रवेश पर अधिक तथा बाद में कम होता जाता है। आवरण में से पानी स्थिर गाइड फलक से होता हुआ रनर पर त्रिज्यत: (radially) प्रवेश करता है तथा केन्द्र पर रनर से पानी का निकास अक्षीय (axially) होता है। यहाँ से पानी ड्राफ्ट ट्यूब में आ जाता है जहाँ से यह टेल रेस में भेज दिया जाता है।

इस टरबाइन में दाब पर पानी आवरण तथा रनर आदि को पूरा भरकर बहता है। जब पानी रनर फलकों पर प्रवाहित होता है तो इसकी दाब-ऊर्जा (pressure energy) कम होती जाती है और गतिज ऊर्जा (kinetic energy) बढ़ती जाती है। रनर फलकों की विशेष आकृति के कारण, फलकों के प्रवेश तथा निकास के बीच दाब अन्तर स्थापित हो जाता है। इस दाब के अन्तर के कारण फलकों पर बल लगता है जिससे रनर अपनी ऊर्ध्वाधर शाफ्ट पर घूमने लगता है। इस प्रकार रनर पर यांत्रिक ऊर्जा (mechanical energy) प्राप्त होती है। टरबाइन को, क्रिया करते समय पानी से पूरा भरा रखना आवश्यक है, इसलिये ड्राफ्ट ट्यूब को भी टेल-रेस में जल के अन्दर डुबोकर रखते हैं।

फ्रॉसिस टरबाइन से 150 MW तक शक्ति उत्पन्न की जा सकती है तथा इसकी ओवरआल दक्षता लगभग 80% होती है।



चित्र P7.3—फ्रांसिस टरबाइन

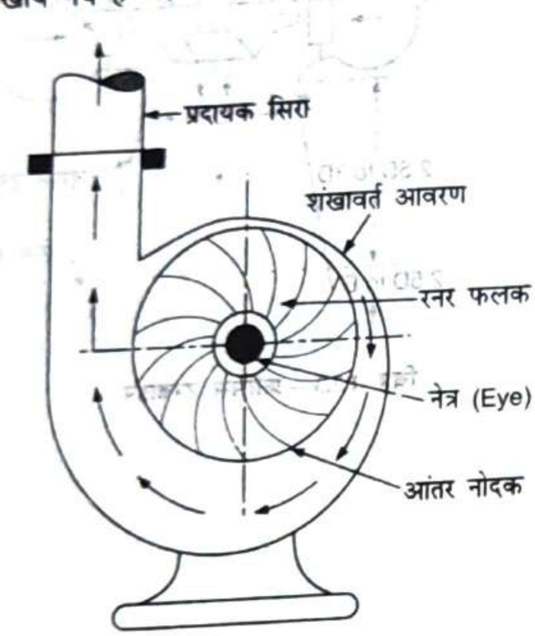
प्रयोग संख्या 8

उपकरण (Apparatus) :

अपकेन्द्री पम्प (centrifugal pump) अथवा इसका माडल तथा चार्ट।

अध्ययन (Study) :

अपकेन्द्री पम्प की क्रिया विधि—यह एक गतिज दाब पम्प होता है और अपनी क्रिया के लिए अपकेन्द्री बल पर निर्भर करता है। चित्र P8.1 में एक अपकेन्द्री पम्प की सरल रचना दिखाई गई है तथा इसके प्रमुख अंग जैसे आन्तरनोदक, आवरण, चूषण पाइप, प्रदाय पाइप आदि दिखाये गये हैं—



चित्र P8.1—अपकेन्द्री पम्प

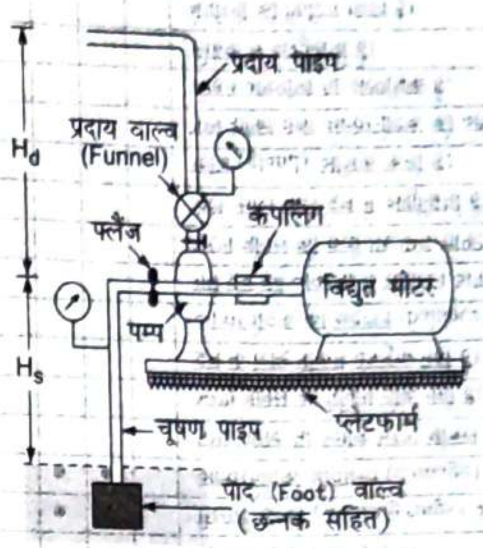
यह पम्प एक प्रतिवर्तित प्रतिक्रिया टरबाइन (reversed reaction turbine) की भाँति कार्य करता है। चलाने से पहले पिन्हान (priming) क्रिया करके इसके चूषण पाइप तथा आवरण से हवा को बाहर निकाला जाता है।

जब प्रथम चालक अथवा विद्युत मोटर की सहायता से आन्तरनोदक (impeller) को घुमाया जाता है, तब अपकेन्द्री बल से आन्तरनोदक के केन्द्र पर आँशिक निर्वात उत्पन्न हो जाता है। इसके परिणाम स्वरूप चूषण पाइप का द्रव, नेत्र (eye) की ओर जाता है। जब द्रव आन्तरनोदक की परिधि से आवरण में आता है तो उसमें पर्याप्त गतिज ऊर्जा तथा कुछ दाब ऊर्जा होती है जैसे-जैसे यह द्रव आगे बढ़ता है, आवरण के बढ़ते हुए काट के क्षत्रफल के कारण द्रव की गतिज ऊर्जा दाब में बदल जाती है। इस प्रकार आवरण के निकास तक पहुँचने पर द्रव काफी दाब ऊर्जा ग्रहण कर लेता है जिससे वह प्रदाय पाइप में ऊपर चढ़ता है और दाब से प्रवाहित होता है।

रचना (Construction) :

अपकेन्द्री पम्प के मुख्य अंग (components) निम्नलिखित है—

1. घुमने वाला पहिया, जो आन्तरनोदक (impeller) कहलाता है।
2. आन्तरनोदक के बाहर चारों ओर बना हुआ आवरण (casing) यह वायुरोधी तथा जलरोधी बनायी जाती है।



चित्र P8.2—अपकेन्द्री पम्प का संस्थापन

3. चूषण पाइप, इसका ऊपरी सिरा पम्प के प्रवेश, जिसे अक्षि या नेत्र (eye) कहते हैं, से जुड़ा रहता है तथा नीचे वाला सिरा द्रव कुण्ड (sump) में डूबा रहता है। इस पाइप के अन्त में एक छन्नक सहित पाद-वाल्व (foot value with strainer) लगाया जाता है। प्रवेश-मार्ग से द्रव केसिंग या आवरण की अक्षि या नेत्र में प्रवेश करके आन्तरनोदक के केन्द्र पर पहुंचता है।
4. प्रदाय पाइप, आवरण के निकास से जल या द्रव को प्रदाय टंकी तक ले जाता है। प्रदाय पाइप में एक नियन्त्रक वाल्व लगा देते हैं।
5. चूषण और प्रदाय पाइपों में आवश्यकतानुसार निर्वात दाबमापी और गेज दाबमापी (pressure gauge) लगा दी जाती है।
6. प्रथम चालक जैसे विद्युत मोटर, इन्जन आदि, जो इम्पेलर को घुमाता है।
7. विभिन्न स्थानों पर द्रव की लीकेज रोकने के लिये पैकिंग, ग्लैंड स्टॉफिंग बाक्स लगाये जाते हैं।

दोष (Fault)

1. अपकेन्द्री पम्प को सामान्यतया, द्रव के 4.5 m चूषण शीर्ष के लिए डिजाइन किया जाता है परन्तु यदि किसी पम्प विशेष को चूषण शीर्ष की इस सीमा से अधिक मान के लिए प्रयोग किया जाये तो उसका विसर्जन कम हो जाता है। इसके अतिरिक्त पम्प रुक सकता है, दक्षता कम हो सकती है, पिन्हान समाप्त हो सकता है तथा पम्प के विभिन्न भागों की घिसाई तथा टूट-फूट बढ़ जाती है।

चूषण शीर्ष का निर्धारण निम्न बातों पर निर्भर करता है—

(i) द्रव की श्यानता
(ii) स्टेटिक हैड (static head)
(iii) द्रव का तापमान
(iv) लीकेज तथा अन्य यान्त्रिक दोष
(v) पम्प के पाइपों में शीर्ष हानियाँ।

2. पम्प के विभिन्न दोषों तथा उनके संभावित कारणों को तालिका 8.1 में प्रदर्शित किया गया है—

तालिका 8.1—पम्प दोष तथा उनके संभावित कारण (Defects and Possible Causes)

दोष ↓ / सम्भावित कारण →	पम्प की गति बहुत कम है।	पम्प की गति अत्यधिक है	पम्प की घुमाव दिशा गलत है।	वास्तविक मैनोमीटरी शीर्ष, पम्प के मैनोमीटरी शीर्ष से अधिक है।	वास्तविक मैनोमीटरी शीर्ष, पम्प के मैनोमीटरी शीर्ष से कम है।	द्रव का आ० गु० निर्धारित द्रव जितना नहीं।	द्रव की श्यानता निर्धारित द्रव जितनी नहीं।	पम्प निर्धारित से काफी कम क्षमता पर चल रहा है।	पाइप लाइन, आन्तरनोदक या आवरण में बाधा है।	पम्प के स्थापन में सीध (alignment) गलत है।	पम्प नींव का लेवल गलत है।	पिन्हान (priming) ठीक नहीं हुई है।	चूषण शीर्ष अधिक है।	द्रव में गैस है।	चूषण पाइप में वायु पॉकेट है।	चूषण पाइप में वायु क्षरण हो रहा है।	भरण बॉक्स से पम्प वायु क्षरण हो रहा है।	तली-वाल्व (foot valve) अधिक छोटा है।	तली-वाल्व में अधिक रुकावट है।	चूषण पाइप पर्याप्त नहीं डूबा है।	चूषण तथा भरण बाक्स पर जलसील अवरुद्ध है।	पम्प की शाफ्ट टेढ़ी हो गयी है।	कहीं पर अधिक घिसाई हो रही है।	बेयरिंग में दोष आ गया है।	घिसाई छल्ले (wearing rings) अधिक घिस गये हैं।	आन्तरनोदक क्षतिग्रस्त (damage) हो गया है।	पम्प शाफ्ट या स्लीव भरण बॉक्स (stuffing box) पर घिस गई है।	भरण बॉक्स की पैकिंग ठीक नहीं है।	द्रव के लिए पैकिंग उपयुक्त नहीं है।	आन्तरनोदक का संतुलन (balance) बिगड़ गया है।	गर्म द्रव की अवस्था में शीतलन अपर्याप्त है।	भरण बॉक्स की तली पर पम्प शाफ्ट तथा आवरण छिद्र में अधिक छूट है।	जल-सील वाले द्रव में अशुद्धियाँ हैं।	ग्लैंड (gland) अधिक कसी है।	पम्प शाफ्ट तथा आन्तरनोदक की अक्षीय फिटिंग गलत है।	स्नेहन अपर्याप्त या अत्यधिक है।	स्नेहक में अशुद्धियाँ हैं।	बेयरिंगों की फिटिंग गलत है।
1. पम्प प्रदाय नहीं दे पाता।	•		•	•					•			•	•		•					•																		
2. पम्प की क्षमता (capacity) कम है।	•			•			•		•			•	•	•	•	•	•	•	•	•					•	•												
3. पम्प का प्रदाय शीर्ष कम है।	•		•	•			•							•											•	•												
4. चलने के पश्चात् पम्प रूक जाता है।												•	•	•	•	•	•			•	•																	
5. पम्प अधिक शक्ति लेता है।		•		•	•	•		•	•													•	•					•										
6. भरण बॉक्स (stuffing box) से अधिक क्षरण होता है।									•													•					•	•	•	•	•							
7. पैकिंग जल्दी बदलनी पड़ती है।									•												•	•					•	•	•	•	•	•	•	•				
8. पम्प शोर करता है या कम्पन होते हैं।							•	•	•	•	•	•							•	•		•	•	•		•				•					•			
9. पम्प की बेयरिंग गर्म हो जाती है।									•													•	•	•						•					•	•	•	•
10. पम्प भारी चलता है या रूक जाता है।							•		•		•												•	•						•					•			•

मौखिक प्रश्न (Viva Voce)

1. द्रवीय पम्प क्या होते हैं?
2. द्रवीय पम्प तथा टरबाइन में अन्तर बताइये।
3. चूषण-शीर्ष तथा प्रदाय-शीर्ष से आप क्या समझते हैं?
4. चूषण शीर्ष की सीमायें बताइये।
5. प्रत्यागामी पम्प तथा अपकेन्द्री पम्प में अन्तर बताइये।
6. पम्पों की क्षमता से आप क्या समझते हैं?
7. अपकेन्द्री पम्प कितने प्रकार के होते हैं?
8. प्रत्यागामी पम्प में वायु-पात्र का क्या कार्य है?
9. प्रत्यागामी पम्प तथा अपकेन्द्री पम्प का सिद्धान्त समझाइये।
10. आन्तरनोदक कितने प्रकार के होते हैं?
11. आन्तरनोदक का क्या कार्य है?
12. अपकेन्द्री पम्प में शंखावर्त आवरण (volute casing) का कार्य बताइये।
13. प्रत्यागामी पम्प की विशिष्टयाँ बताइये।
14. अपकेन्द्री पम्प की विशिष्टियाँ किस प्रकार व्यक्त की जाती हैं?
15. तली वाल्व (foot valve) की भूमिका बताइये।
16. पम्पों में पिन्हान (priming) की आवश्यकता क्यों है?
17. विभिन्न प्राइमिंग युक्तियाँ कौन-कौन सी हैं?
18. पम्पों के विभिन्न उपयोग बताइये।
19. पश्चाग्र पम्प व अपकेन्द्री पम्प में परस्पर लाभ व हानि बताइये एवं अन्तर बताइये।

प्रयोग संख्या 9

उद्देश्य (Object) :

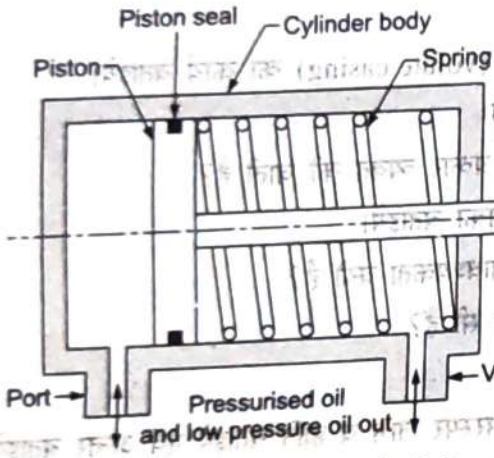
सिंगल तथा डबल एक्टिंग सिलिण्डर (Single and double acting cylinder) का प्रत्यक्ष परिचालन (direct operation)।

आवश्यक उपकरण (Apparatus Required) :

सिंगल तथा डबल एक्टिंग सिलिण्डरों के मॉडल।

अध्ययन (Study) :

(i) सिंगल एक्टिंग सिलिण्डर (Single Acting Cylinder)—सिंगल एक्टिंग सिलिण्डर डिजाइन में सरल होती है। इसको चित्र P9.1 में प्रदर्शित किया गया है।



चित्र P9.1—सिंगल एक्टिंग सिलिण्डर

संरचना (Construction) :

इसके अन्तर्गत एक बेलनाकार आवरण (Cylindrical housing) जिसे बैरल (Barrel) कहते हैं, में एक पिस्टन लगा होता है जिसके एक सिरे पर पिस्टन रॉड लगी रहती है। पिस्टन के विपरीत सिरे पर सिलिण्डर बैरल में एक पोर्ट बना होता है जिससे तेल प्रविष्ट तथा निकास दोनों करता है। सिंगल एक्टिंग सिलिण्डर (single acting cylinder) में केवल एक पोर्ट होता है जिससे तेल अथवा तरल (fluid) का प्रवेश तथा निकास कराया जाता है। सिंगल एक्टिंग सिलिण्डर केवल एक दिशा में ही बल उत्पन्न करता है जब पिस्टन के दूसरी तरफ कोई द्रविक तरल (hydraulic fluid) दाब लगता है। पिस्टन रॉड साइड़ में एक वेन्ट पोर्ट (Vent port) भी बना होता है।

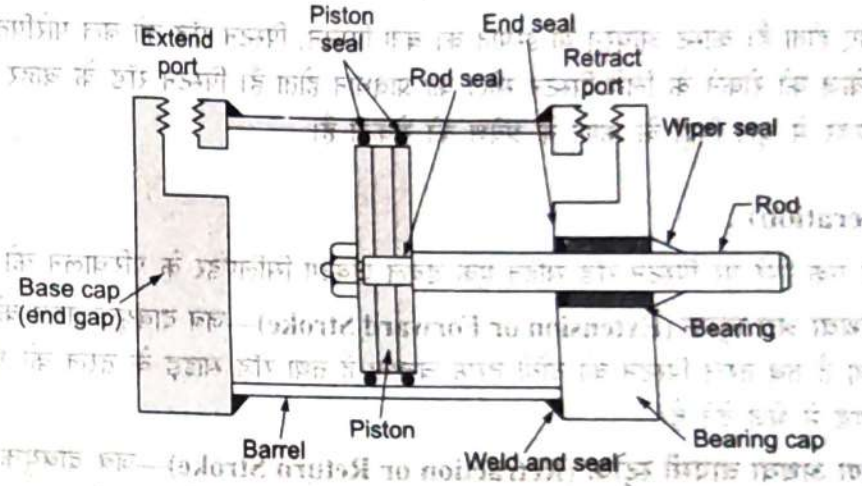
परिचालन (Operation) :

जब दाबयुक्त तरल (Pressurized fluid) को दाब लाइन (Pressure line) से प्रवेश पोर्ट से प्रविष्ट कराया जाता है तो पिस्टन दाँयी ओर आगे को चलता है। इससे स्प्रिंग का संपीड़न होता है तथा अतिरिक्त वायु वेन्ट पोर्ट से बाहर निकल जाती है। जब प्रवेश पोर्ट को टैंक से सम्बद्ध (connect) किया जाता है तो तेल या तरल टैंक में जाने लगता है जिससे पिस्टन पर दाब कम होता है। पिस्टन का वापसी स्ट्रोक द्रविक प्रकार से (hydraulically) नहीं होता है क्योंकि सिंगल एक्टिंग सिलिण्डर

में पिस्टन की वापसी स्प्रिंग बल द्वारा अथवा ऊर्ध्व सिलिण्डरों से गुरुत्व (gravity) द्वारा होती है। जब पिस्टन बाँयी तरफ अपनी चरम स्थिति में पहुँचता है तो फिर से प्रवेश पोर्ट दाब लाइन से जुड़ जाता है और दाबयुक्त तरल पिस्टन के बाँयी तरफ प्रविष्ट करने लगता है।

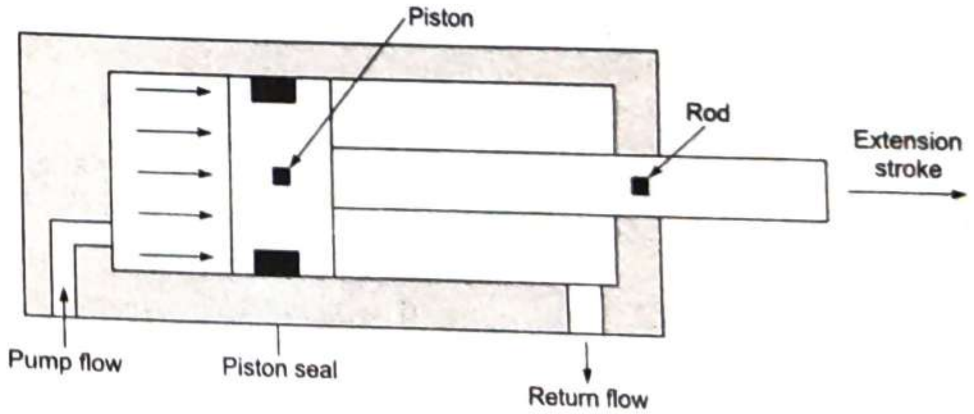
(ii) डबल एक्टिंग सिलिण्डर (Double Acting Cylinder)—चित्र P9.2 में एक डबल एक्टिंग सिलिण्डर की संरचना को प्रदर्शिता किया गया है। एक डबल एक्टिंग सिलिण्डर के पाँच मुख्य भाग निम्न है—

1. पोर्ट कनेक्शन सहित बेसिक कैप (Basic cap with port connection)
2. पोर्ट कनेक्शन सहित बियरिंग कैप (Bearing cap with port connection)
3. सिलिण्डर बैरल (Cylinder barrel)
4. पिस्टन (Piston)
5. पिस्टन रॉड (Piston rod)

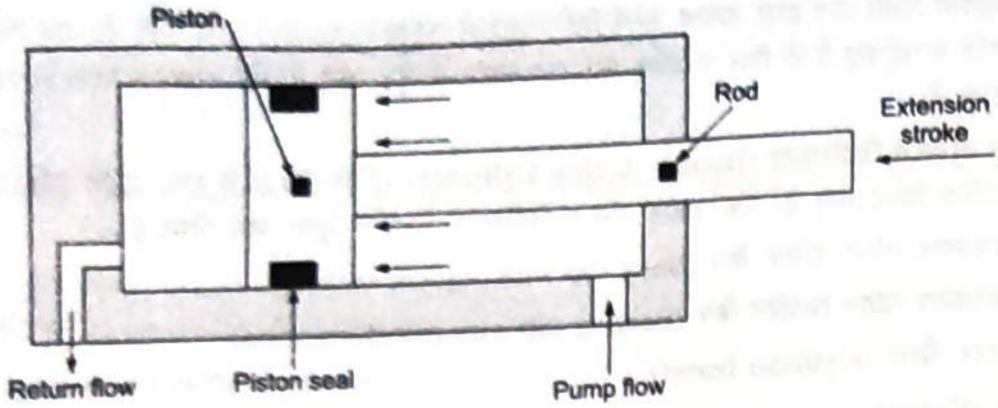


चित्र P9.2—डबल एक्टिंग सिलिण्डर की संरचना

अवयवों को इस प्रकार अभिकल्पित किया जाता है कि सिरा कैप (End caps) तथा पिस्टन, समान व्यास के सभी सिलिण्डरों के लिए समान (common) होते हैं। विभिन्न स्ट्रोक लम्बाईयों के सिलिण्डरों को बनाने के लिए केवल बैरल तथा पिस्टन रॉड में परिवर्तन होता है। सिरा कैपो (End caps) को बैरल के साथ वैल्ड कर दिया जाता है तथा पिस्टन रॉड को पिस्टन के साथ चूड़ीदार जोड़ द्वारा जोड़ा जाता है। सीवन रहित इस्पात ट्यूब (Seamless drawn steel tube) का प्रयोग



(a)



(b)

चित्र P9.3—डबल एक्टिंग सिलिण्डर की क्रिया

बैरल बनाने के लिए होता है। कास्ट आयरन या इस्पात का बना पिस्टन, पिस्टन रॉड को बल पारेषित करता है। पिस्टन तथा बैरल के मध्य लीकेज को रोकने के लिये पिस्टन सील का प्रावधान होता है। पिस्टन रॉड के बाहर एक वाइपर सील लगी होती है जो सिलिण्डर मे धूल मिट्टी के कणों के प्रवेश को रोकती है।

परिचालन (Operation) :

चित्र P9.3 में एक सिरे पर पिस्टन रॉड सहित एक डबल एक्टिंग सिलिण्डर के परिचालन को प्रदर्शित किया गया है।

(a) प्रसार अथवा अग्र स्ट्रोक (Extension or Forward Stroke)—जब दाबयुक्त तरल को पिस्टन के बाँयी ओर भेजा जाता है तब तरल पिस्टन को दाँयी तरफ चलाता है तथा रॉड़ साइड़ के तरल को धकेलकर सिलिण्डर से बाहर कुण्ड में भेज देते हैं।

(b) प्रत्याकर्षण अथवा वापसी स्ट्रोक (Retraction or Return Stroke)—जब दाबयुक्त तरल को रॉड साइड़ भेजा जाता है तो वह पिस्टन को बाँयी तरफ धकेलता है। पिस्टन के बाँयी तरफ के तरल पर दाब लगता है और वह सिलिण्डर से बाहर कुण्ड में चला जाता है।

प्रयोग संख्या 10

उद्देश्य (Object) :

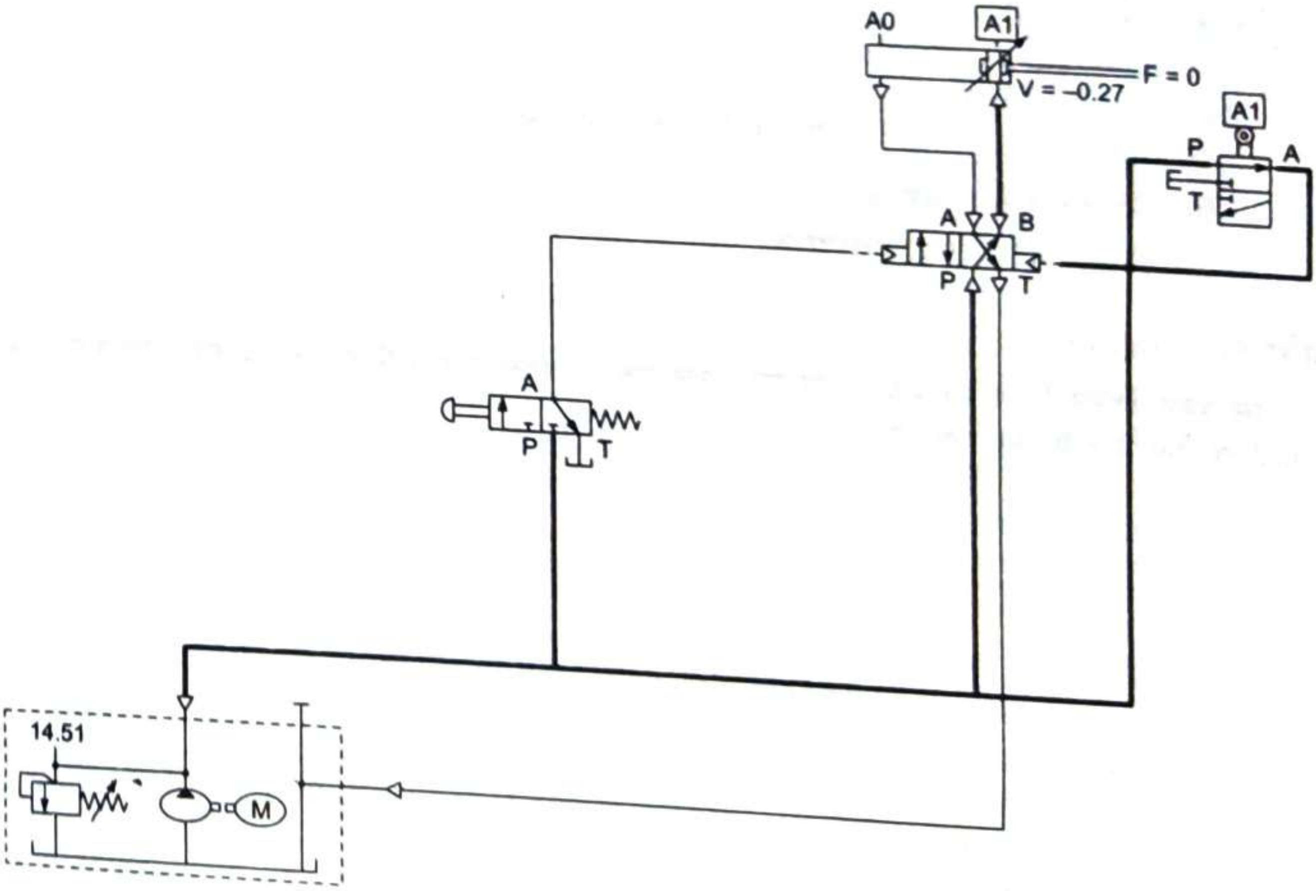
लिमिट स्विच का प्रयोग करते हुए एकल चक्र में डबल एक्टिंग सिलिण्डर का स्वत: परिचालन (Automatic operation)।

आवश्यक उपकरण (Apparatus Required) :

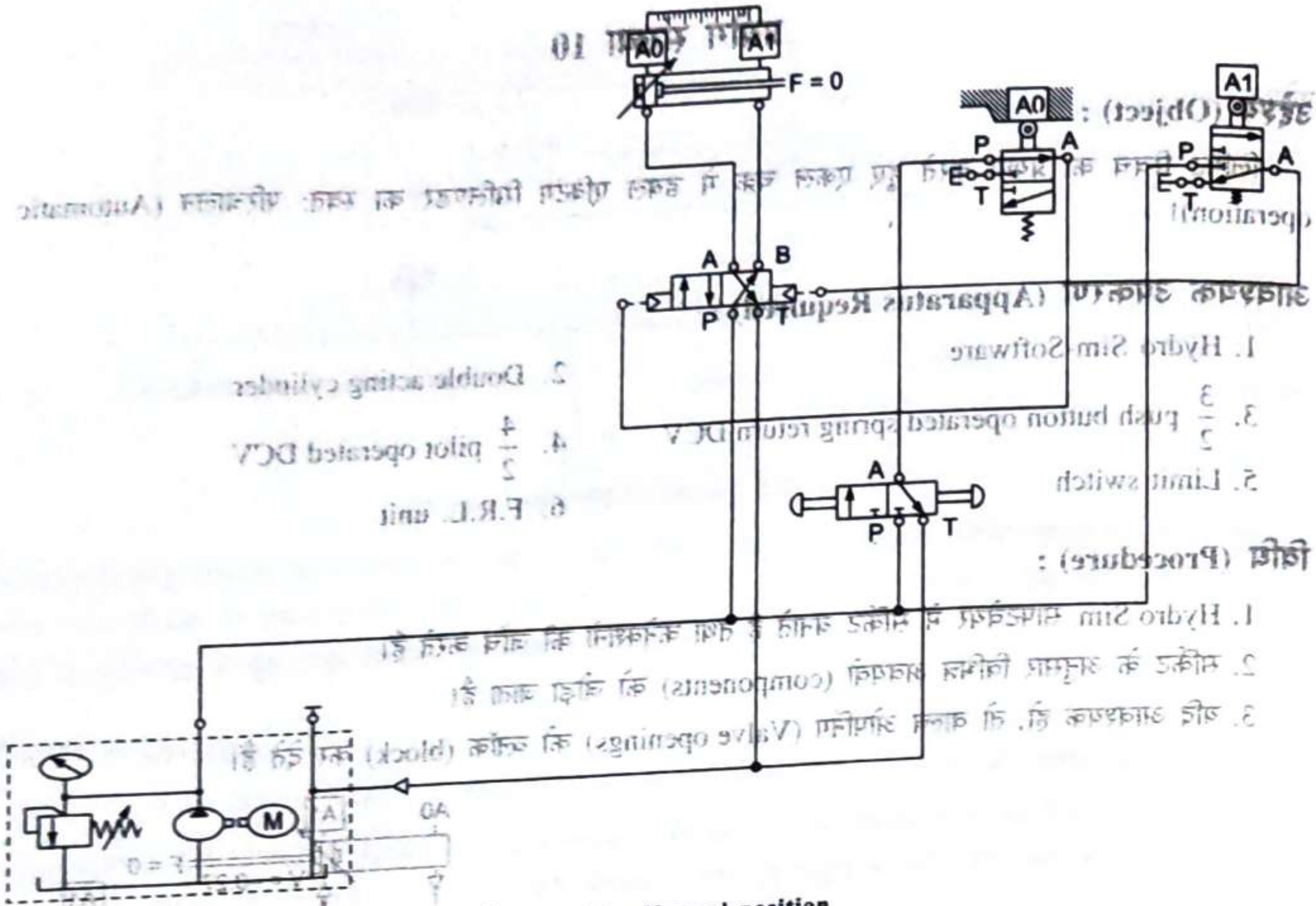
1. Hydro Sim-Software
2. Double acting cylinder
3. $\frac{3}{2}$ push button operated spring return DCV
4. $\frac{4}{2}$ pilot operated DCV
5. Limit switch
6. F.R.L. unit

विधि (Procedure) :

1. Hydro Sim साफ्टवेयर में सर्किट बनाते हैं तथा कनेक्शनों की जाँच करते हैं।
2. सर्किट के अनुसार विभिन्न अवयवों (components) को जोड़ा जाता है।
3. यदि आवश्यक हो, तो वाल्व ओपनिंग (Valve openings) को ब्लॉक (block) कर देते हैं।



चित्र P10.1—Actuated position



चित्र P10.2—Normal position

4. लीकेज की जाँच करते हैं तथा सही करते हैं।

5. वाल्व को खोल देते हैं तथा सिलिण्डर का परिचालन करते हैं।

परिणाम (Result) :

इस प्रकार लिमिट स्विच का प्रयोग करते हुए एकल चक्र में डबल एक्टिंग सिलिण्डर का स्वतः परिचलान एक हाइड्रोलिक ट्रेनर किट में किया जाता है।

प्रयोग संख्या 11

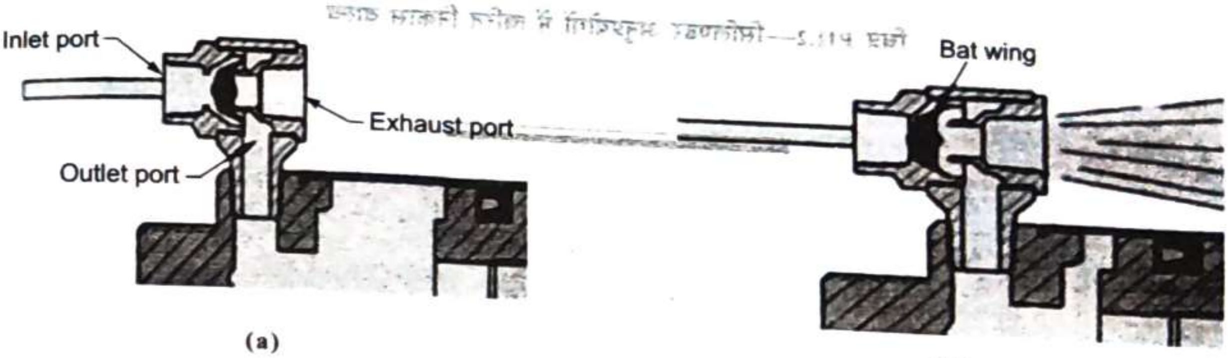
उद्देश्य (Object) :

एक क्विक एग्जास्ट वाल (quick exhaust wall) सहित डबल एक्टिंग सिलिण्डर का परिचलान।

आवश्यक उपकरण (Apparatus Required) :

अध्ययन (Study) :

त्वरित निकास वाल्व (Quick Exhaust Valve)—ये वाल्व नियन्त्रित वायु के त्वरित निकास प्रदान करते हैं जब इन्हें एक वायु सिलिण्डर के ऊपर, नियन्त्रण वाल्व के बाद, सीधे ही स्थापित किया जाता है। किल्पाई के त्वरित निकास वाल्व के अन्दर सील को एक बैट विंग (Bat wing) का आकार किया गया है। जब वायु दाब सिलिण्डर में भेजा जाता है तो यह सील को पीछे से टकराता है तथा सामने वाले भाग को निकास पोर्ट के विरुद्ध धकेलता है। यह इसे बंद कर देता है और वायु को सिलिण्डर में प्रवेश करने की अनुमति देता है। जब नियन्त्रण वाल्व को शिफ्ट किया जाता है, सील का बैट विंग डिजाइन बाहर जाती वायु को पकड़ना प्रारम्भ कर देती है और मूल इनलेट को बंद करने के लिए स्वयं को शिफ्ट करती है। यह सभी निकास वायु को निकास पोर्ट से तुरन्त बाहर निकलने देता है।

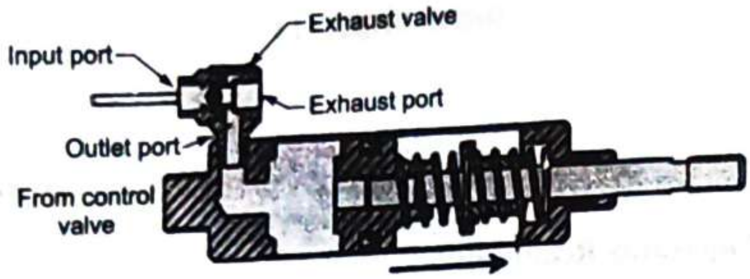


(a) (b)

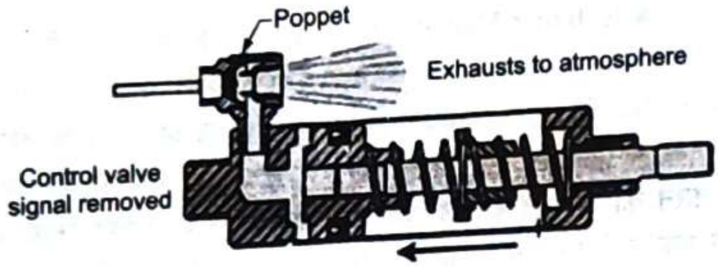
चित्र P11.1—त्वरित निकास वाल्व

सिलिण्डर अनुप्रयोगों में त्वरित निकास वाल्व (Quick Exhaust Valve in Cylinder Applications)—एक विशिष्ट अनुप्रयोग में निकास वाल्व को स्प्रिंग रिटर्न वाल्व या डबल ऐक्टिंग वायवीय सिलिण्डर के इनलेट में स्थापित किया जाता है। एक नियन्त्रण वाल्व से वायु सप्लाई को निकास वाल्व के इनलेट पोर्ट में निर्देशित (directed) किया जाता है। नाइट्राइल पॉपेट (Nitrile pappet) निकास पोर्ट को सील कर देता है तथा वाल्व के आउटलेट पोर्ट से वायु को सिलिण्डर में प्रवाहित करने की अनुमति देता है। दाब वाली वायु तब पिस्टन के खिलाफ धकेल बल प्रदान करती है तथा रॉड को विस्तारित (Extend) करती है तथा स्प्रिंग को संपीड़ित करती है जब तक की रॉड का सम्पूर्ण विस्तार न हो जाये।

जब नियन्त्रण वाल्व, निकास वाल्व इनलेट पोर्ट से हवा का निकास करता है तो नाइट्राइल पॉपेट (Nitrile poppet) इनलेट पोर्ट को सील कर देता है और निकास पोर्ट को सिलिण्डर में खोल देता है। दाब वाली वायु (Pressurized air) को तब निकास वाल्व के माध्यम् से सीधे वायुमण्डल में निकास की अनुमति दी जाती है। सामान्यतया वायु को निकास के लिए नियन्त्रण वाल्व तक लम्बी वायु लाइन (air line) से होकर वापस यात्रा (travel) करनी चाहिए परन्तु निकास वाल्व को सीधे ही सिलिण्डर पर स्थापित कर देने से पिस्टन शीघ्रता से पीछे हट जाता है क्योंकि वायुमण्ड़ल से दूरी बहुत कम तथा बाधा रहित होती है।



(a) Cylinder extends



(b) Cylinder retracts-Fast

चित्र P11.2—सिलिण्डर अनुप्रयोगों में त्वरित निकास वाल्व

मॉडल पेपर
द्रवीय तथा वायवीय इंजीनियरी
(Hydraulics and Pneumatics)

1. किन्हीं तीन प्रश्नों के उत्तर दें—
   (a) तरल के गुणों का वर्णन करिये।
   (b) स्थिर तथा गतिशील दबाव हम कैसे मापेंगे। उपकरणों के नाम दीजिए तथा उनके अनुप्रयोगों का वर्णन कीजिए।
   (c) निम्नलिखित को समझाइये व बताइये कि इनसे पाइप में से विसर्जन कैसे ज्ञात करते हैं—
      (i) ऑरिफिस मीटर
      (ii) प्रवाह नॉजल
      (iii) प्रेन्डटल ट्यूब।
   (d) स्वच्छ चित्र की सहायता से द्रवीय रैम (Hydraulic ram) का सिद्धान्त तथा कार्यप्रणाली समझाइये।
   (e) एक वायवीय प्रणाली का चित्र बनाकर उस पर प्रमुख अवयवों के नाम लिखिए।
2. किन्हीं तीन प्रश्नों के उत्तर दें—
   (a) किसी पाइप में आकस्मिक संकुचन से शीर्ष हानि के लिए व्यंजक ज्ञात कीजिये।
   (b) Heat sink पर thyristor को mount करने की विभिन्न विधियाँ बताइये।
   (c) Induction heating क्या होती है? इसके सिद्धान्त व अनुप्रयोग बताइये।
   (d) Dielectric heating क्या होती है? इसके सिद्धान्त व अनुप्रयोग बताइये।
   (e) Transducers क्या होते हैं? इनका वर्गीकरण कीजिये।
3. किन्हीं तीन प्रश्नों के उत्तर दें—
   (a) 1.5 km लम्बे एक पाइप में 4.5 m/sec के वेग से पानी प्रवाहित होता है। पाइप के निकास पर लगे वाल्व को बन्द करने में 20 sec का समय लगता है। ज्ञात कीजिये कि वाल्व पर जल-आघात (water hammer) के कारण कितनी दाब-तीव्रता उत्पन्न होगी?
   (b) 10 cm व्यास के एक पाइप में पानी के प्रवाह की दर 0.124 m/sec है। पानी के वेग का औसत मान ज्ञात करिये।
   (c) किसी द्रवीय रैम 2.42 m की ऊँचाई से 185.4 N पानी प्रति min. प्राप्त करता है तथा 5.4 N पानी प्रति min., रैम से 44 m की ऊँचाई पर भेजता है। द्रवीय रैम की रैंकिन दक्षता (Rankine efficiency) ज्ञात कीजिये।
   (d) एक काँच की नली का न्यूनतम साइज ज्ञात कीजिए, जो जल स्तर मापने के लिए प्रयुक्त हो सकती है, यदि ट्यूब में कैपीलरी चढ़ाव 0.25 mm से अधिक न हो। वायु के सम्पर्क में जल का पृष्ठ तनाव 0.0735 N/m मानिए।
   (e) एक डायाफ्राम (Diaphragm) प्रकार के सिलिण्डर का सचित्र वर्णन कीजिए।
4. किन्हीं तीन प्रश्नों के उत्तर दें—
   (a) पाइप की विशिष्टियों को किस प्रकार व्यक्त करते हैं? समझाइये।
   (b) "फिल्टर" को परिभाषित कीजिए। पूर्ण प्रवाह फिल्टर तथा समानुपाती प्रवाह फिल्टर में अन्तर बतायें।
   (c) एक एअर-टू-हाइड्रोलिक दाब बूस्टर (Air-to-Hydraulic Pressure Booster) का सचित्र वर्णन कीजिए।

(d) एक तेल कुण्ड (Reservoir) का चित्र बनाकर उसके प्रमुख अवयवों के नाम लिखिए।

(e) F.R.L. यूनिट से आप क्या समझते हैं? इसके क्या कार्य है।

5. किन्हीं तीन पर संक्षिप्त टिप्पणी लिखें—

(a) आदर्श तरल (Ideal Fluid)

(b) अपरिवर्ती तथा परिवर्ती प्रवाह

(c) द्रवीय ढाल रेखा (hydraulic gradient line)

(d) दाब तीव्रता (Pressure intensity)

(e) जल पम्प