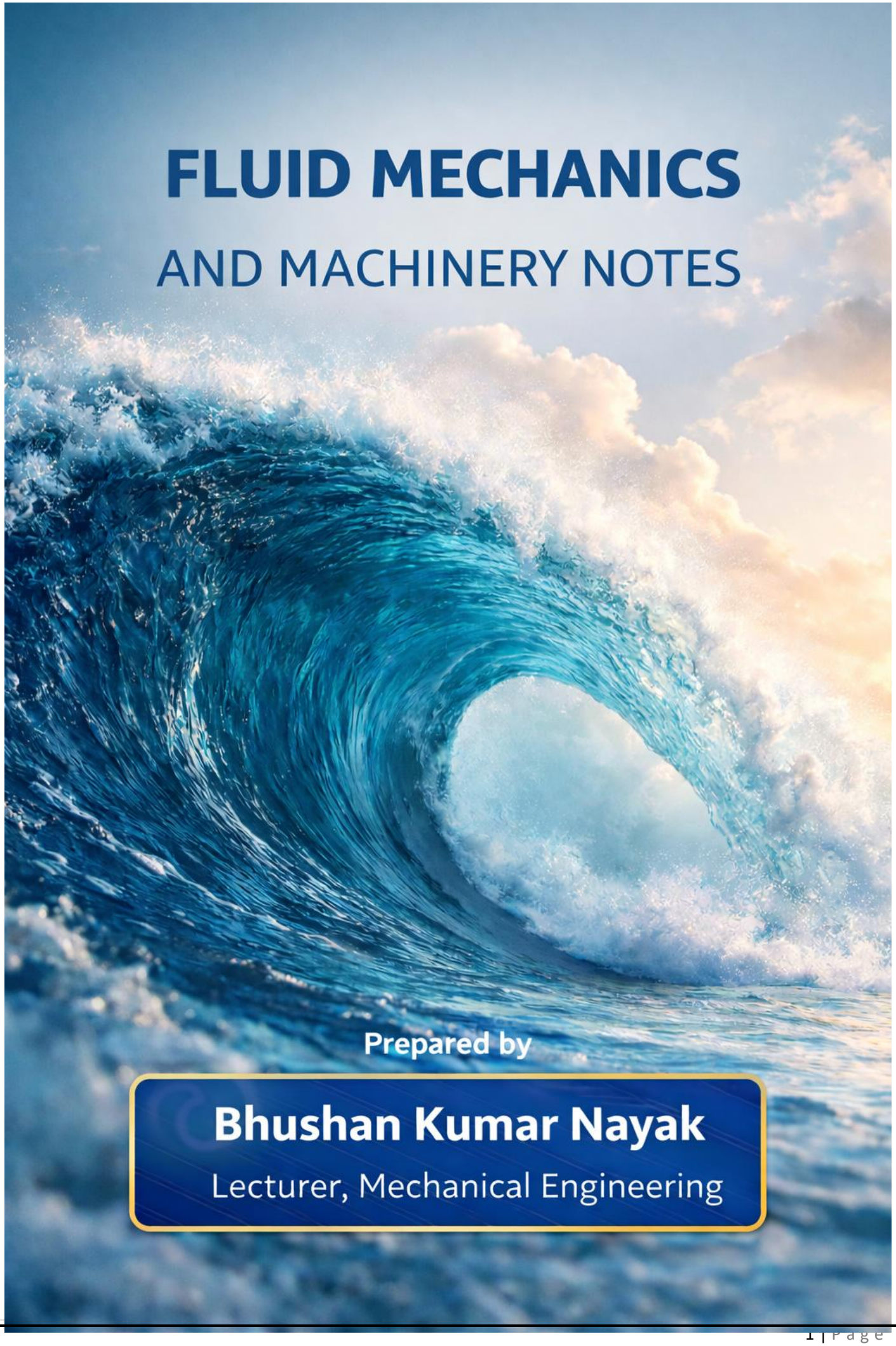
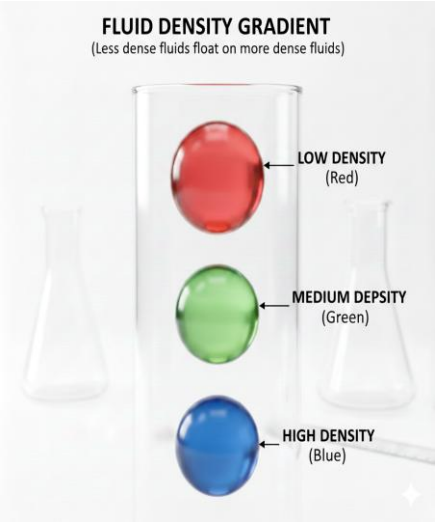

FLUID MECHANICS
AND MACHINERY NOTES
Prepared by
Bhushan Kumar Nayak
Lecturer, Mechanical Engineering

Unit – 01
Fluid and Its Properties

Fluid (तरल) वह पदार्थ है जो बाहरी बल (Shear Stress) लगाने पर लगातार बहता रहता है। इसमें तरल (Liquid) और गैस (Gas) दोनों शामिल हैं।

➢ Fluid Properties (तरल के गुण)



Density (घनत्व - ρ)

किसी पदार्थ के प्रति इकाई आयतन के द्रव्यमान को घनत्व कहते हैं।

- **Formula:** ρ = mass/Volume
- **Unit:** kg/m^3
- **Note:** पानी का घनत्व ρ 1000 kg/m^3 होता है।

Specific Weight (विशिष्ट भार w)

प्रति इकाई आयतन के भार को विशिष्ट भार कहते हैं।

- **Formula:** w = Weight/ Volume
- **Unit:** N/ m^3

Specific Volume (विशिष्ट आयतन -v)

प्रति इकाई द्रव्यमान के आयतन को विशिष्ट आयतन कहते हैं। यह घनत्व का उल्टा होता है।

- **Formula: ν** = Volume\ Mass
- **Unit:** m^3/kg

Specific Gravity (विशिष्ट गुरुत्व - S)

तरल के घनत्व और मानक तरल (पानी) के घनत्व के अनुपात को विशिष्ट गुरुत्व कहते हैं।

- **Formula:** S = ρ of any liquid / ρ of water
- **Unit:** इसकी कोई इकाई नहीं होती (Unitless)।

Viscosity (श्यानता)

श्यानता तरल का वह गुण है जो उसकी परतों के बीच होने वाली सापेक्ष गति (Relative motion) का विरोध करता है।

Dynamic Viscosity (μ):

Newton's law के अनुसार, Shear stress (τ) वेग प्रवणता (velocity gradient) के समानुपाती होता है।

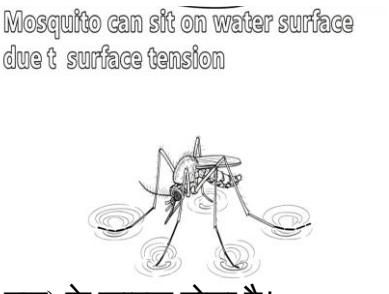
$$\tau \propto \frac{du}{dy}$$

- **Unit:** Ns/ m^2, Pa-s
- **CGS Unit:** Poise (1Pa-s = 10 /Poise)

Kinematic Viscosity (ν):

डायनामिक श्यानता और घनत्व के अनुपात को काइनेमैटिक श्यानता कहते हैं।

- **Formula:** ν = μ / ρ
- **Unit:** m^2/s
- **CGS Unit:** Stoke (1 Stoke = 10^{-4} m^2/s)



Surface Tension & Capillarity (पृष्ठ तनाव और केशिकत्व)

Surface Tension (σ):

तरल की सतह पर खिंचाव के बल को पृष्ठ तनाव कहते हैं। यह **Cohesion** (ससंजक बल) के कारण होता है।

BKN Bhushan Kumar Nayak

- **Unit:** N/m

Formula for Liquid Droplet (बूंद के लिए):

अंदर का दबाव (P) और पृष्ठ तनाव (σ) के बीच संतुलन:

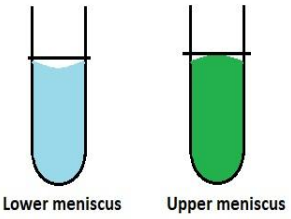
$$P = \frac{4\sigma}{d}$$

Capillarity (केशिकत्व):

कांच की पतली नली को तरल में डुबोने पर तरल का ऊपर चढ़ना या नीचे गिरना केशिकत्व कहलाता है।

Formula: $h = \frac{4\sigma\cos\theta}{wd}$

- जहां θ संपर्क कोण (Contact angle) है।



Compressibility and Bulk Modulus

Bulk Modulus (K):

दबाव में परिवर्तन और 'Volumetric Strain' के अनुपात को Bulk Modulus कहते हैं।

- **Formula:** $K = \frac{dP}{-(dV/V)}$

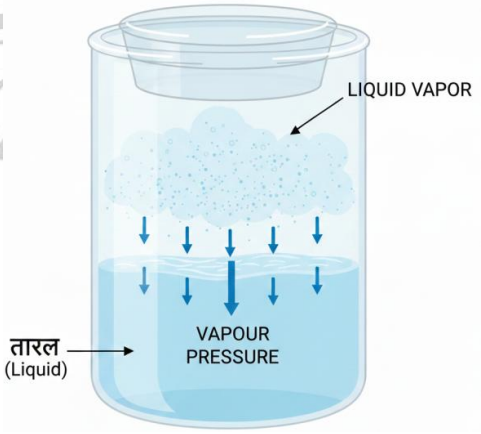
Compressibility (β):

यह Bulk Modulus का व्युत्क्रम (Reciprocal) होता है।

- **Formula:** $\beta = 1/K$

Vapour Pressure (वाष्प दाब)

जब किसी बंद बर्तन में तरल को गर्म किया जाता है, तो वाष्प के अणु तरल की सतह पर जो दबाव डालते हैं, उसे वाष्प दाब कहते हैं। यदि तरल का दबाव उसके वाष्प दाब से कम हो जाए, तो **Cavitation** की समस्या उत्पन्न होती है।



➢ Types of Fluids (तरल के प्रकार)

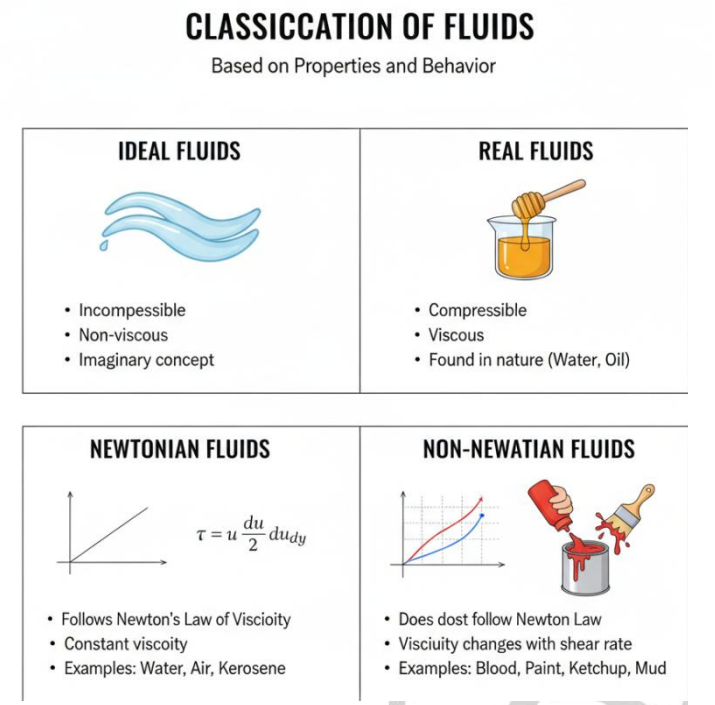
तरल पदार्थों को उनके गुणों और व्यवहार के आधार पर निम्नलिखित श्रेणियों में बांटा गया है:

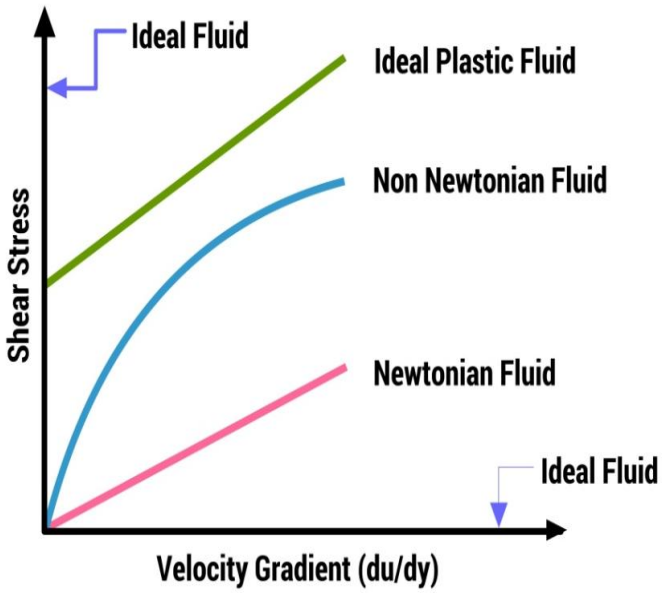
- **Ideal Fluid (आदर्श तरल):** यह वह तरल है जिसमें कोई श्यानता (Viscosity) नहीं होती और जो पूरी तरह से असंपीड्य (Incompressible) होता है। यह केवल एक काल्पनिक अवधारणा है।
- **Real Fluid (वास्तविक तरल):** प्रकृति में पाए जाने वाले सभी तरल वास्तविक होते हैं। इनमें श्यानता, सतह तनाव और संपीड्यता जैसे गुण होते हैं।
- **Newtonian Fluid (न्यूटनियन तरल):** वे तरल जो न्यूटन के श्यानता नियम (Newton's Law of Viscosity) का पालन करते हैं। इसमें Shear Stress (τ) वेग प्रवणता (du/dy) के समानुपाती होता है।

  Equation: $\tau = \mu\frac{du}{dy}$ *उदाहरण:* पानी, हवा, केरोसिन।

- **Non-Newtonian Fluid:** वे तरल जो न्यूटन के श्यानता नियम का पालन नहीं करते। इनमें श्यानता स्थिर नहीं रहती।

  उदाहरण: रक्त, पेंट, कीचड़, टूथपेस्ट।





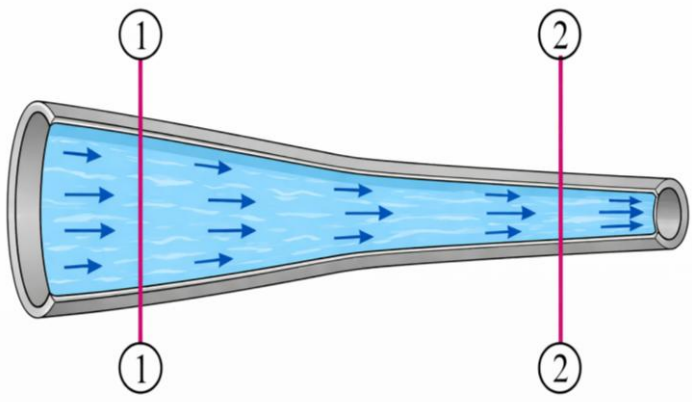
❖ Continuity Equation (सततता समीकरण)

Continuity equation द्रव्यमान संरक्षण के सिद्धांत (Principle of Conservation of Mass) पर आधारित है। इसका अर्थ है:

"यदि पाइप में किसी भी भाग में fluid न जोड़ा जाए और न ही निकाला जाए, तो पाइप के अलग-अलग सेक्शनों से गुजरने वाला द्रव्यमान (mass) समान रहता है।"

Bhushan Kumar Nauak

मान लीजिए पाइप के दो सेक्शन हैं:



A_1 = सेक्शन 1–1 पर पाइप का क्षेत्रफल (Area)

V_1 = सेक्शन 1–1 पर तरल का वेग (Velocity)

ρ_1 = सेक्शन 1–1 पर तरल का घनत्व (Density)

इसी प्रकार सेक्शन 2–2 पर:

A_2 = क्षेत्रफल, V_2 = वेग, ρ_2 = घनत्व

Flow Quantity (प्रवाह की मात्रा)

सेक्शन 1–1 से गुजरने वाले तरल की मात्रा: $\rho_1 A_1 V_1$

सेक्शन 2–2 से गुजरने वाले तरल की मात्रा: $\rho_2 A_2 V_2$

Continuity Equation (मुख्य सूत्र)

द्रव्यमान संरक्षण नियम के अनुसार: "$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2$" इसे ही Continuity Equation कहते हैं।

➡ यह समीकरण compressible और incompressible दोनों प्रकार के fluids पर लागू होती है।

यदि fluid incompressible है, तो: $\rho_1 = \rho_2$

इसलिए continuity equation बन जाती है: $A_1 V_1 = A_2 V_2$

➢ Pressure and Its Concepts (दाब और उसकी अवधारणाएं)

Pressure Intensity (दाब तीव्रता - P)

किसी सतह के प्रति इकाई क्षेत्रफल पर लगने वाले लंबवत बल को दाब कहते हैं।

- **Formula:** $P=\frac{F}{A}$; Area (A), Force (F)
- **Unit:** N/m^2 या Pascal (Pa).

Pressure Head (दाब शीर्ष - h)

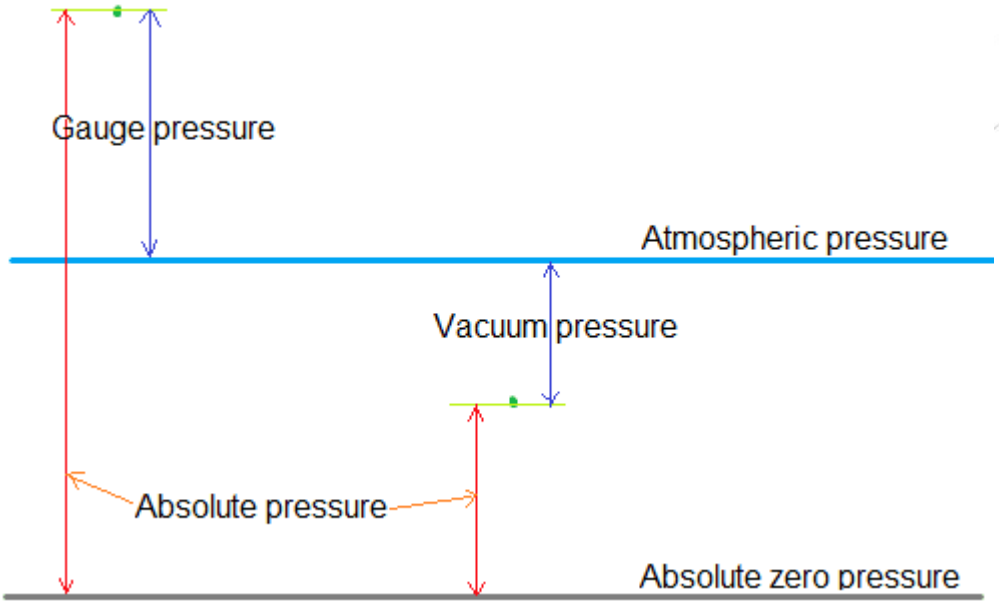
तरल के स्तंभ (Column) की वह ऊंचाई जो किसी बिंदु पर विशिष्ट दाब उत्पन्न करती है।

- **Formula:** $P=\rho \cdot g \cdot h \Longrightarrow h= P/ \rho g$
- यहाँ h को 'Pressure Head' कहा जाता है।

➢ Types of Pressure (दाब के प्रकार)

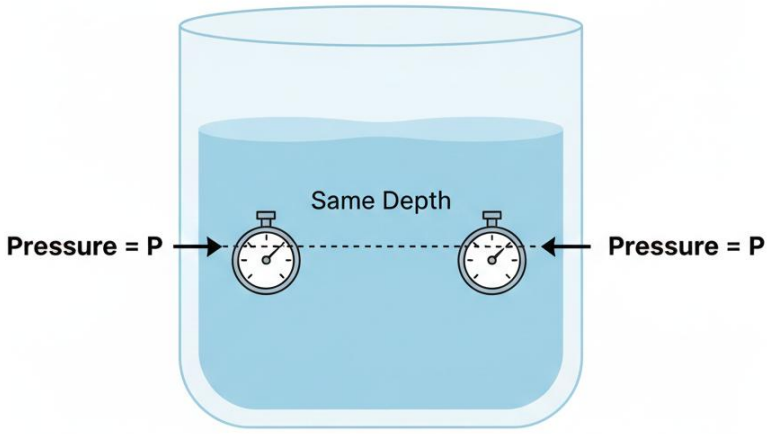
दाब को मापने के लिए अलग-अलग आधार (Reference) लिए जाते हैं:

1. **Atmospheric Pressure (Patm):** पृथ्वी के चारों ओर मौजूद हवा के आवरण द्वारा लगाया गया दाब। समुद्र तल पर इसका मान 101.325k N/m^2 या 760mm पारा (Hg) होता है।
2. **Gauge Pressure (Pgauge):** जब दाब को वायुमंडलीय दाब को 'जीरो' मानकर मापा जाता है। साधारण प्रेशर गेज यही मापते हैं।
3. **Absolute Pressure (Pabs):** जब दाब को 'Absolute Zero' (पूर्ण निर्वात) से मापा जाता है।
   Equation: Pabs = Patm + Pgauge
4. **Vacuum Pressure:** यदि दाब वायुमंडलीय दाब से कम है, तो उसे वैक्यूम प्रेशर कहते हैं।
   Equation: $Pabs=Patm - Pvacuum$



➢ पास्कल का नियम (Pascal's Law)

पास्कल के नियम के अनुसार, "किसी स्थिर तरल (Static Fluid) के किसी बिंदु पर दाब की तीव्रता सभी दिशाओं में समान होती है।"



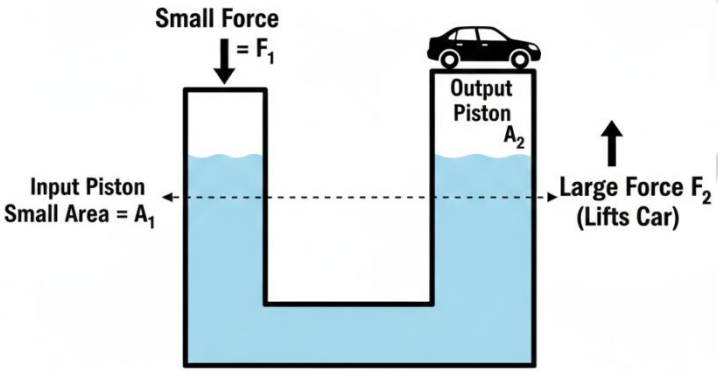
Pressure at point 1 = Pressure = all point 2

$P_1 = P_2 = \rho gh$

समीकरण: Px = Py = Pz

इसका उपयोग हाइड्रोलिक जैक, हाइड्रोलिक ब्रेक और लिफ्ट में किया जाता है।

A small force applied to a small area creates a large force on a large area.



Pressure = Constant throughout the fluid

$P = F_1/A_1 = F_2/A_2$

Thus, $F_2 = F_1 (A_2/A_1)$

➢ द्रव का दाब (Pressure of a Liquid)

जब किसी द्रव को एक पात्र (बर्तन) में रखा जाता है, तो वह पात्र की दीवारों, तल तथा ऊपर के भाग के हर बिंदु पर बल लगाता है।

इकाई क्षेत्रफल पर लगने वाले इस बल को दाब (pressure) कहते हैं।

यदि,

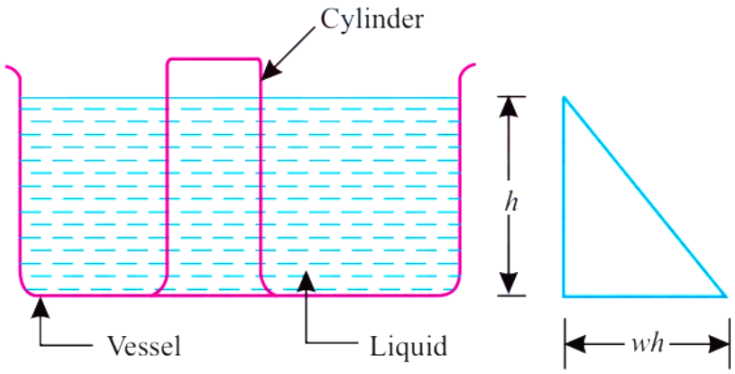
p = बल (Force)

A = वह क्षेत्रफल जिस पर बल लग रहा है,

तो दाब की तीव्रता,

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

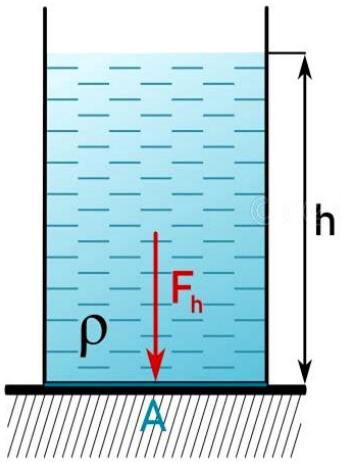
किसी सतह पर द्रव द्वारा लगाया गया दाब हमेशा उस सतह के लंबवत (normal) कार्य करता है।



- **हाइड्रो स्थैतिक लॉ**

"किसी द्रव में ऊर्ध्वाधर नीचे की दिशा में दाब की वृद्धि की दर उस बिंदु पर द्रव के विशिष्ट भार के बराबर होती है।"

$$\frac{dp}{dh} = \rho g$$



$F_h = mg = \rho Ahg$

$F_h = \rho Ahg$

➢ दाब मापन उपकरण (Pressure Measurement)

द्रव का दाब निम्नलिखित उपकरणों द्वारा मापा जा सकता है:

- **मैनोमीटर (Manometers):**

मैनोमीटर वे उपकरण हैं जिनका उपयोग किसी द्रव के किसी बिंदु पर दाब मापने के लिए किया जाता है, जिसमें द्रव के स्तंभ को उसी या किसी दूसरे द्रव के स्तंभ द्वारा संतुलित किया जाता है। इन्हें निम्न प्रकार से वर्गीकृत किया जाता है:

(a) सरल मैनोमीटर (Simple manometers):

(i) पीजोमीटर (Piezometer)

(ii) यू-ट्यूब मैनोमीटर (U-tube manometer)

(iii) एकल स्तंभ मैनोमीटर (Single column manometer)

(b) अंतर मैनोमीटर (Differential manometers)

❖ **यांत्रिक गेज (Mechanical gauges):**

ये वे उपकरण हैं जिनमें दाब को स्प्रिंग (लचीले तत्व) या मृत भार (dead weight) द्वारा द्रव स्तंभ को संतुलित करके मापा जाता है। सामान्यतः इन गेजों का उपयोग उच्च दाब मापने के लिए किया जाता है, जहाँ बहुत अधिक शुद्धता आवश्यक नहीं होती। प्रचलित यांत्रिक गेज हैं:

(i) बॉर्डन ट्यूब दाब गेज (Bourdon tube pressure gauge)

(ii) डायफ्राम दाब गेज (Diaphragm pressure gauge)

(iii) बेलोज़ दाब गेज (Bellow pressure gauge)

(iv) डेड-वेट दाब गेज (Dead-weight pressure gauge)

- **सरल मैनोमीटर (Simple manometers)**

एक "सरल मैनोमीटर" वह होता है जिसमें एक काँच की नली होती है जिसका एक सिरा उस बिंदु से जोड़ा जाता है जहाँ दाब मापना है, और दूसरा सिरा वायुमंडल के लिए खुला रहता है।

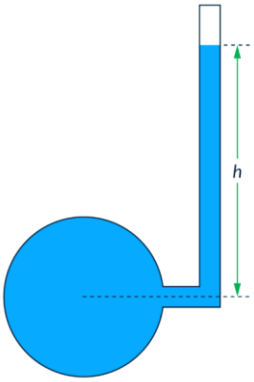
सरल मैनोमीटर के सामान्य प्रकार नीचे दिए गए हैं:

- **पीजोमीटर (Piezometer)**

यह सबसे सरल प्रकार का मैनोमीटर है। इसमें एक कांच की नली होती है जिसका एक सिरा पाइप से जुड़ा होता है और दूसरा वायुमंडल में खुला होता है। नली को ऊपर की ओर इतना ऊँचा बढ़ाया जाता है कि द्रव उसमें बिना बहकर बाहर निकले स्वतंत्र रूप से ऊपर उठ सके।

द्रव के किसी भी बिंदु पर दाब को उस बिंदु से ऊपर नली में द्रव की ऊँचाई से दर्शाया जाता है, जिसे नली पर लगी मापनी (स्केल) से पढ़ा जा सकता है।

- **उपयोग:** मध्यम दाब मापने के लिए।
- **समीकरण:** $P = \rho \cdot g \cdot h$

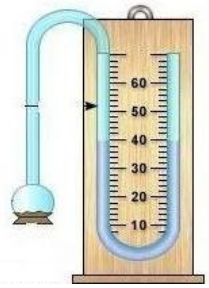


- **U-ट्यूब मैनोमीटर (U-tube Manometer)**

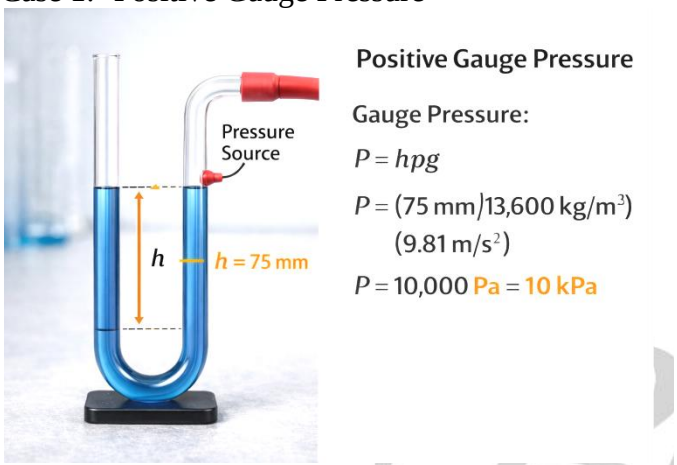
हल्के द्रवों में अधिक दाब मापना के लिए पीजोमीटर का उपयोग नहीं किया जा सकता, क्योंकि इसके लिए बहुत लंबी नली की आवश्यकता पड़ेगी, जिन्हें संभालना कठिन होगा।

इसके अतिरिक्त, गैस का दाब पीजोमीटर से नहीं मापा जा सकता क्योंकि गैस की कोई मुक्त वायुमंडलीय सतह नहीं होती। इन सीमाओं को यू-ट्यूब मैनोमीटर द्वारा दूर किया जाता है।

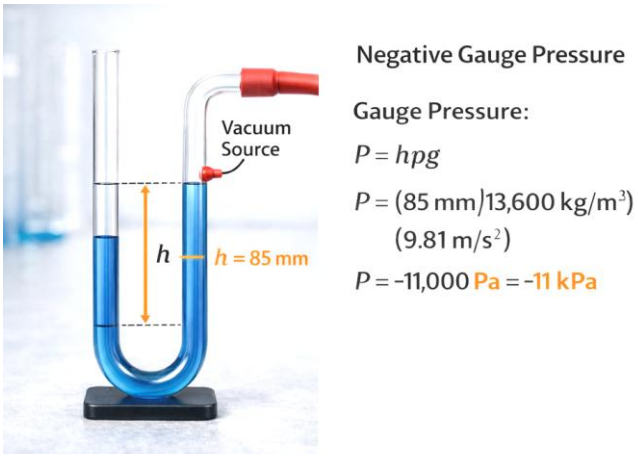
"यू-ट्यूब मैनोमीटर एक U-आकार की मुड़ी हुई काँच की नली होती है, जिसका एक सिरा उस बिंदु से जोड़ा जाता है जहाँ दाब मापना है, और दूसरा सिरा वायुमंडल के लिए खुला रहता है। इसमे एक भारी तरल (प्रायः पारा) भरा होता है।



Case 1:- Positive Gauge Pressure

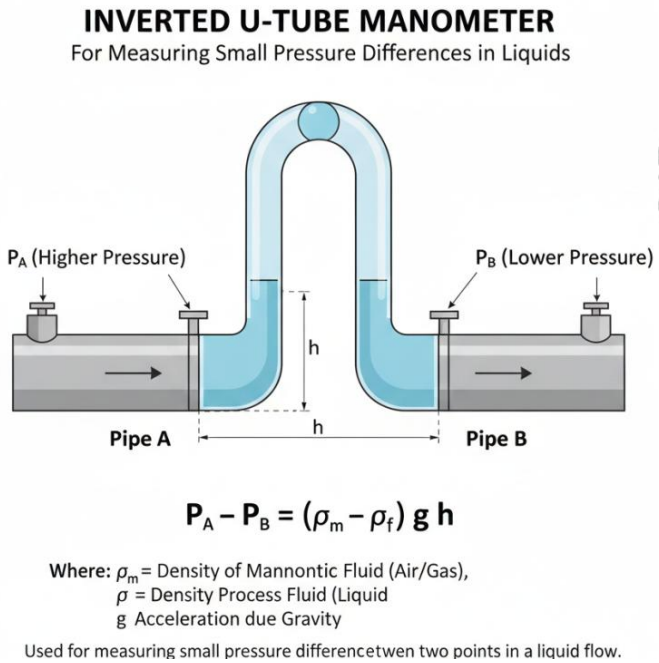


Case 2:- Negative Gauge Pressure



- **इनवर्टेड U-ट्यूब मैनोमीटर (Inverted U-tube Manometer)**

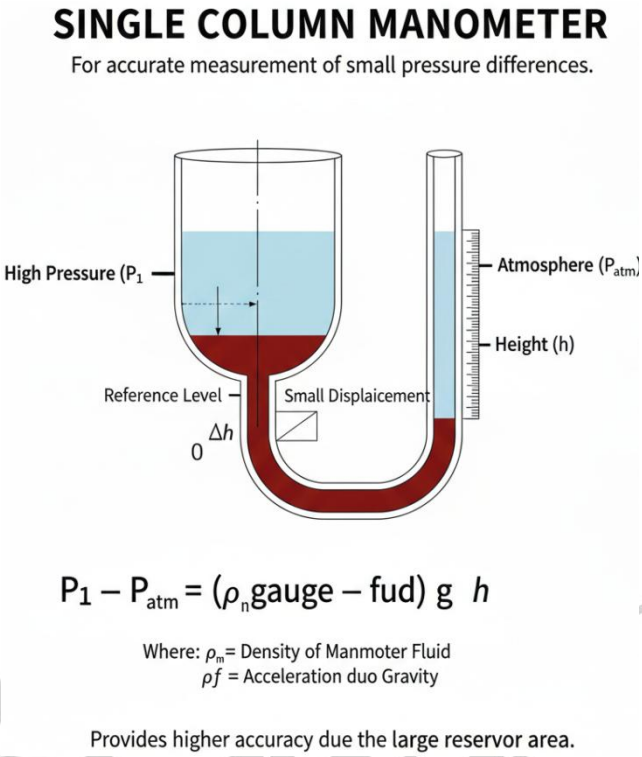
इसका उपयोग दो पाइपों के बीच बहुत कम दबाव के अंतर को मापने के लिए किया जाता है। जहाँ सटीकता (accuracy) मुख्य आवश्यकता होती है।



- **सिंगल कॉलम मैनोमीटर (माइक्रो-मैनोमीटर)**

सिंगल कॉलम मैनोमीटर, U-ट्यूब मैनोमीटर का संशोधित रूप है, जिसमें एक उथला जलाशय (reservoir) होता है जिसका अनुप्रस्थ क्षेत्रफल नली के क्षेत्रफल की तुलना में बहुत बड़ा (लगभग 100 गुना) होता है, और यह मैनोमीटर की एक भुजा से जुड़ा रहता है।

दाब में किसी भी परिवर्तन पर जलाशय में द्रव स्तर का परिवर्तन इतना कम होता है कि उसे नगण्य माना जा सकता है, और दाब को दूसरी (पतली) भुजा में द्रव की ऊँचाई से दर्शाया जाता है। इसलिए दाब मापने के लिए केवल संकीर्ण भुजा में एक ही रीडिंग लेना पर्याप्त होता है।



सिंगल कॉलम मैनोमीटर के दो प्रकार होते हैं। संकीर्ण भुजा सीधी (vertical) या झुकी हुई (inclined) हो सकती है।

यांत्रिक गेज (Mechanical Gauges)

मैनोमीटर कम दाब मापने के लिए उपयुक्त होते हैं। उच्च दाब के लिए ये बहुत बड़े हो जाते हैं, इसलिए मध्यम और उच्च दाब मापने के लिए इलास्टिक प्रेशर गेज का उपयोग किया जाता है। ये गेज ट्यूब, डायफ्राम या बेलोज़ जैसे लचीले तंत्रों का उपयोग करते हैं। इन तंत्रों के लचीले विकृति (elastic deformation) से दाब मापा जाता है।

इन्हें कभी-कभी द्वितीयक उपकरण (secondary instruments) भी कहा जाता है, क्योंकि इन्हें मैनोमीटर जैसे प्राथमिक उपकरणों से कैलिब्रेट करना पड़ता है।

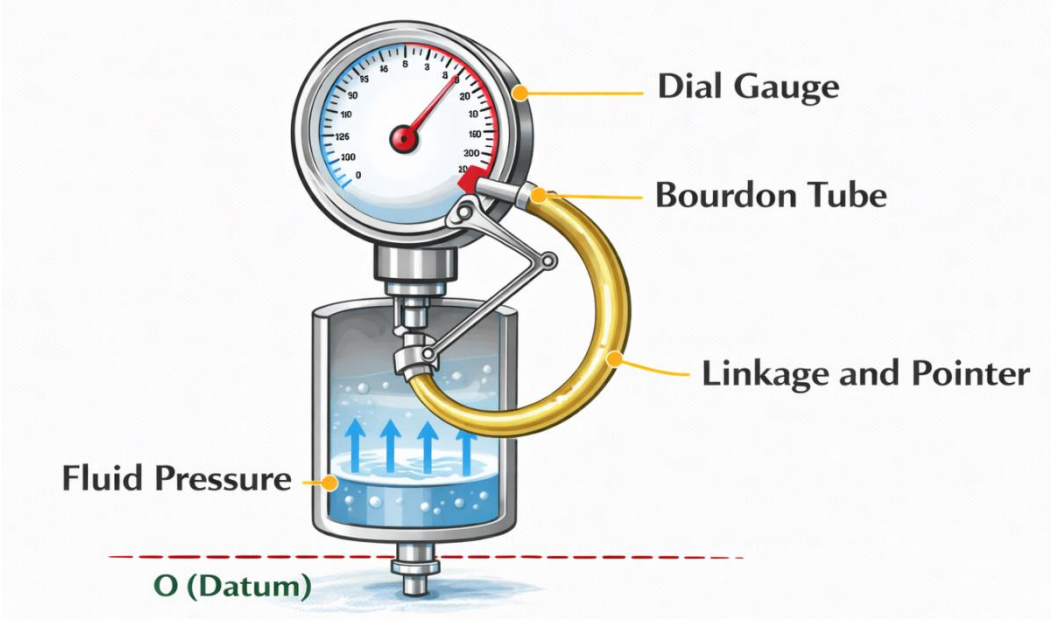
महत्वपूर्ण प्रकार:

1) बॉर्डन ट्यूब प्रेशर गेज
2) डायफ्राम गेज
3) वैक्यूम गेज

1. बॉर्डन ट्यूब प्रेशर गेज

यह उच्च तथा निम्न दोनों दाब मापने के लिए उपयोग होता है। इसमें लगभग अंडाकार काट वाली धातु की मुड़ी हुई नली होती है। जब दाब लगाया जाता है तो नली फैलती है और उसका मुक्त सिरा हिलता है। यह गति लीवर और गियर के माध्यम से सूई (pointer) तक पहुँचती है, जो डायल पर दाब दिखाती है।

बॉर्डन ट्यूब सामान्यतः कांसे (bronze) या निकल स्टील की बनी होती है। कांसा कम दाब के लिए और निकल स्टील उच्च दाब के लिए उपयोग होता है।

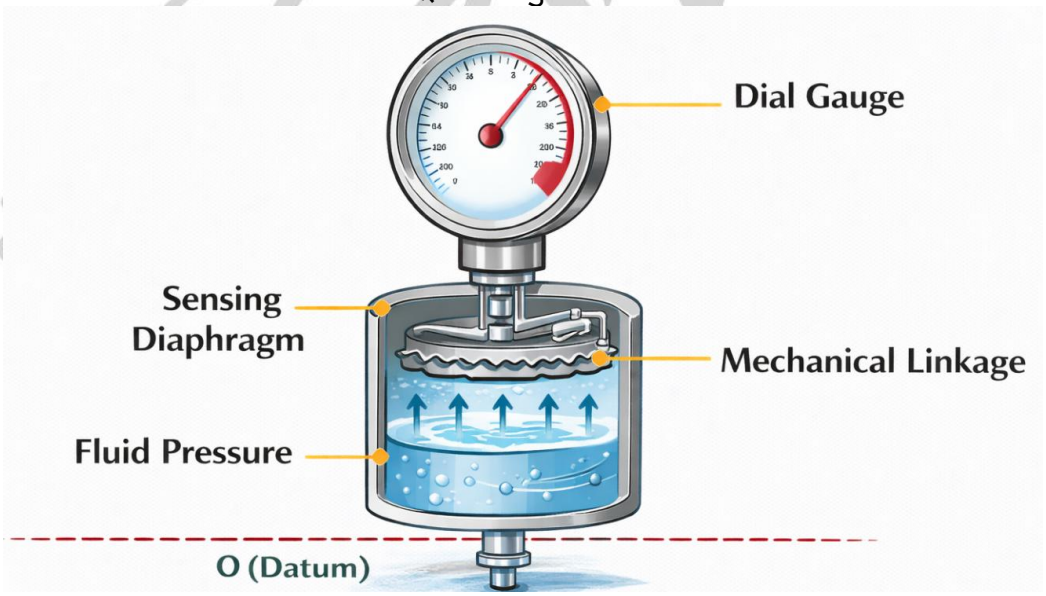


प्रकार:

1) कंपाउंड बॉर्डन ट्यूब → वायुमंडलीय दाब से ऊपर और नीचे दोनों मापता है
2) डबल बॉर्डन ट्यूब → कंपन वाली जगहों पर उपयोग

2. डायफ्राम गेज

इस गेज में एक धातु की पतली चादर (डायफ्राम) होती है। जब नीचे से दाब लगाया जाता है तो डायफ्राम ऊपर की ओर झुकता है। यह गति रैक और पिनियन से सूई तक पहुँचती है, जो डायल पर रीडिंग दिखाती है।



3. वैक्यूम गेज

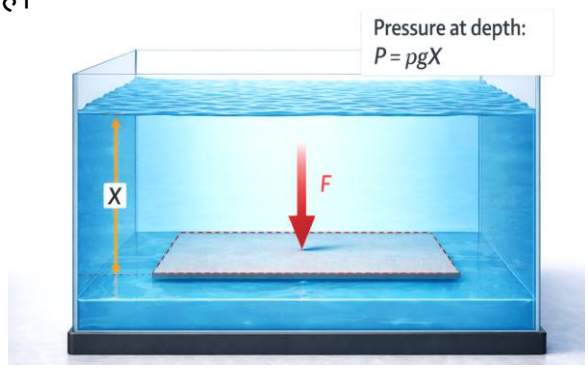
यह दाब की जगह निर्वात (vacuum) मापने के लिए उपयोग होता है। इसमें बॉर्डन ट्यूब अंदर की ओर मुड़ी होती है। वैक्यूम गेज की माप वायुमंडलीय दाब से नीचे पारे के मिलीमीटर में की जाती है।

इनका उपयोग कंडेंसर आदि में वैक्यूम मापने के लिए होता है। यदि कहीं रिसाव हो तो वैक्यूम घट जाता है।

➢ हाइड्रोस्टैटिक बल (Hydrostatic Forces)

जब कोई सतह तरल में डूबी होती है, तो तरल उस पर बल लगाता है।

कुल दाब (Total Pressure)



तरल द्वारा किसी सतह पर लगाया गया कुल लम्बवत बल 'कुल दाब' कहलाता है।

$F = \rho g A \bar{x}$

जहाँ:

- ρ= तरल का घनत्व
- A = सतह का क्षेत्रफल
- $\bar{x}$= सतह के गुरुत्व केंद्र (C.G.) की मुक्त सतह से गहराई

दाब केंद्र (Centre of Pressure)

वह बिंदु जहाँ कुल दाब कार्य करता है, उसे दाब केंद्र ($\bar{h}$) कहते हैं। यह हमेशा गुरुत्व केंद्र (C.G.) के नीचे होता है।

ऊर्ध्वाधर सतह (Vertical Surface) के लिए सूत्र:

$$\bar{h} = \bar{x} + \frac{Ig}{A\bar{x}}$$

➢ Buoyancy (उत्प्लावन)

जब कोई वस्तु (body) किसी fluid में पूरी तरह या आंशिक रूप से डुबाई जाती है, तो उस पर एक ऊपर की ओर लगने वाला बल (upward force) कार्य करता है, जो उसे ऊपर उठाने की कोशिश करता है।

Fluid में डूबी हुई वस्तु को ऊपर उठाने की यह प्रवृत्ति, जो गुरुत्वाकर्षण (gravity) के विपरीत दिशा में कार्य करती है, Buoyancy (उत्प्लावन) कहलाती है।

जो बल वस्तु को ऊपर उठाने की कोशिश करता है, उसे उत्प्लावक बल कहा जाता है:

❖ Archimedes' Principle (आर्किमिडीज का सिद्धांत)

"जब कोई वस्तु किसी fluid में पूरी या आंशिक रूप से डुबोई जाती है, तो उस पर लगने वाला उठाने वाला बल (upthrust) उस fluid के वजन के बराबर होता है, जो उस वस्तु द्वारा विस्थापित (displaced) किया गया हो।"

❖ तैरते हुए पिंडों (Floating Bodies) के संतुलन के प्रकार

Floating bodies का equilibrium (संतुलन) मुख्यतः तीन प्रकार का होता है:

1. Stable Equilibrium (स्थिर संतुलन)
2. Unstable Equilibrium (अस्थिर संतुलन)
3. Neutral Equilibrium (उदासीन / तटस्थ संतुलन)

1. Stable Equilibrium (स्थिर संतुलन)

जब किसी body को बाहरी बल से थोड़ा सा झुकाया (small angular displacement) जाए और फिर वह अपने अंदर लगने वाले बलों (weight और upthrust) के कारण वापस अपनी पुरानी स्थिति में आ जाए, तो उसे Stable Equilibrium कहते हैं।

BKN Bhushan Kumar Nayak

2. Unstable Equilibrium (अस्थिर संतुलन)

जब किसी body को थोड़ा झुकाने पर वह अपनी मूल स्थिति में वापस न आए और और ज्यादा झुकती चली जाए, तो उसे Unstable Equilibrium कहते हैं।

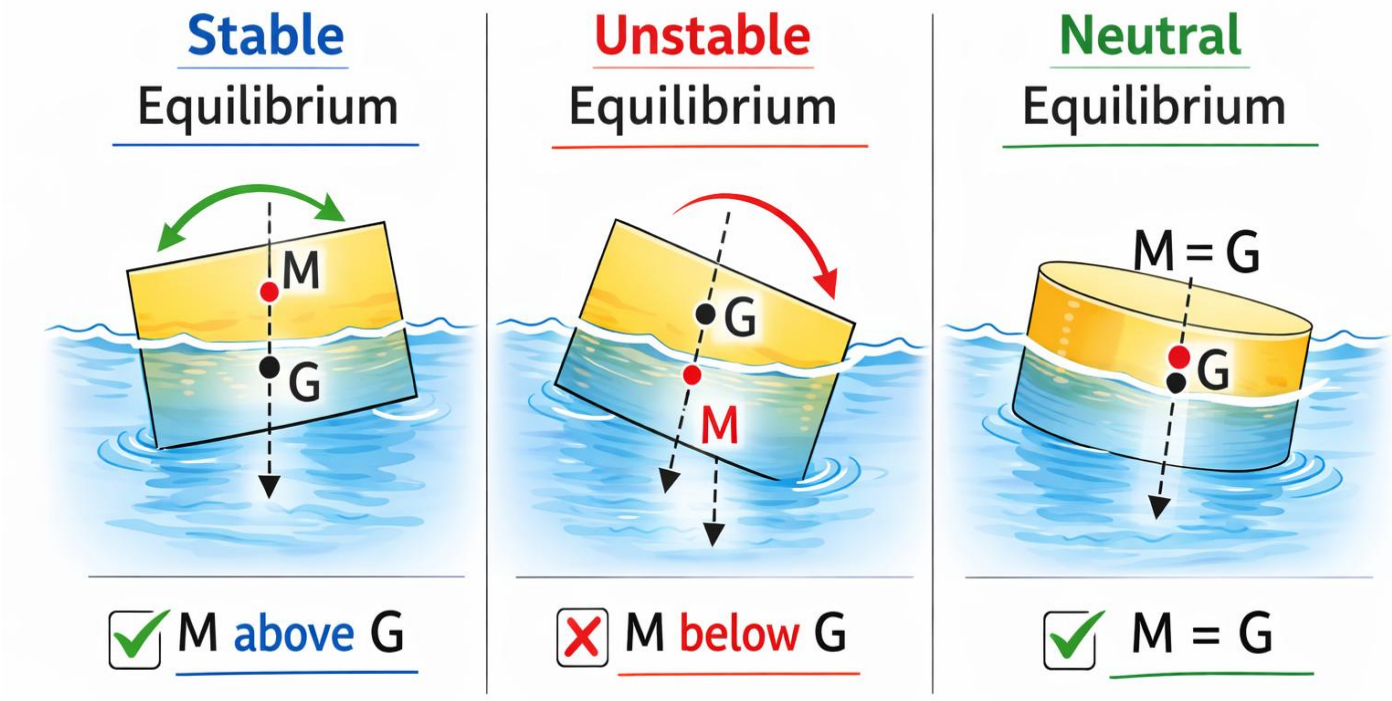
3. Neutral Equilibrium (तटस्थ / उदासीन संतुलन)

जब किसी body को थोड़ा झुकाया जाए और वह नई स्थिति में जाकर वहीं स्थिर हो जाए (ना वापस आए, ना और झुके), तो उसे Neutral Equilibrium कहते हैं।

❖ **मेटासेंटर (Metacenter)**

जब कोई तैरती हुई वस्तु थोड़ी झुकाई जाती है, तो वह जिस बिंदु के चारों ओर दोलन (Oscillate) करना शुरू करती है, उसे **मेटासेंटर (M)** कहते हैं।

- **मेटासेंट्रिक ऊंचाई (GM):** $GM = \frac{I}{V} - BG$
- **स्थिरता की स्थिति:**
  - **Stable:** M, G के ऊपर हो।
  - **Unstable:** M, G के नीचे हो।
  - **Neutral:** M और G एक ही बिंदु पर हों।

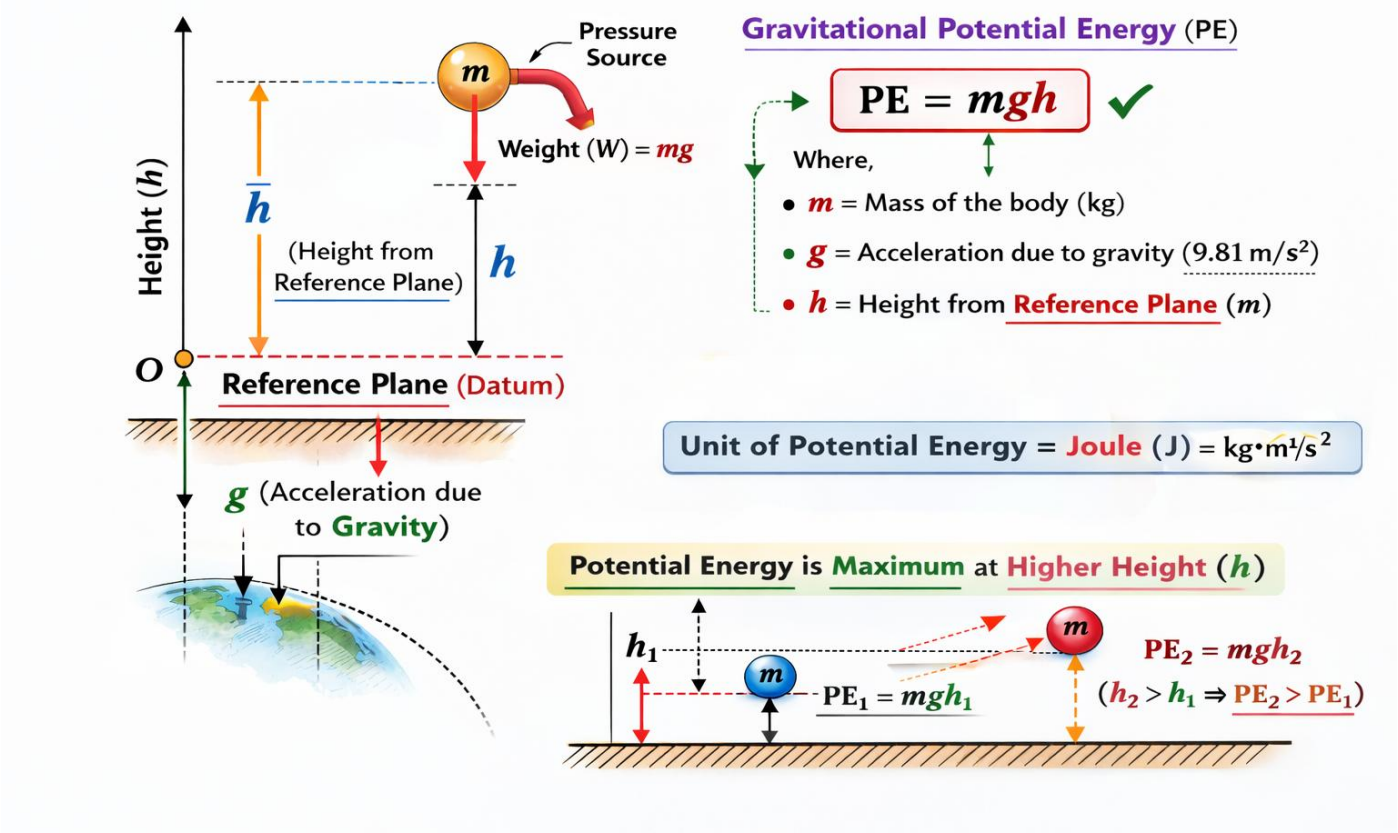


UNIT – 2
Fluid Flow Energy Equation

➢ स्थितिज ऊर्जा (Potential Energy)

यह ऊर्जा तरल के कणों की समुद्र तल से **ऊंचाई (Datum level)** के कारण होती है। यदि कोई तरल कण किसी संदर्भ रेखा (Reference line) से निश्चित ऊंचाई पर है, तो उसमें स्थितिज ऊर्जा संचित होती है।

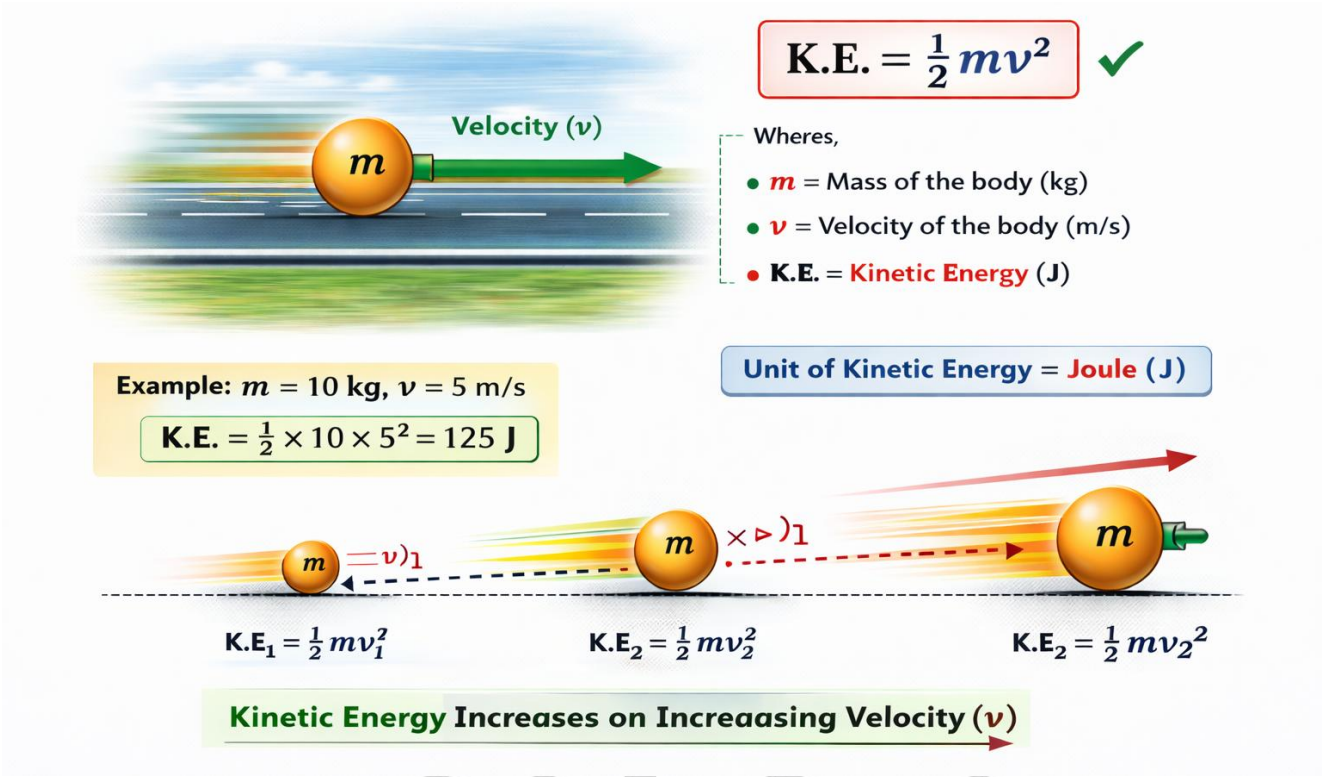
- **समीकरण:** माना m द्रव्यमान का तरल z ऊंचाई पर है।
  Potential Energy = mgh
- **स्थितिज शीर्ष (Potential Head):** प्रति इकाई भार (per unit weight) ऊर्जा को 'शीर्ष' कहते हैं।
  Z = mgh/W



➢ गतिज ऊर्जा (Kinetic Energy)

जब तरल प्रवाहित होता है, तो उसके **वेग (Velocity)** के कारण जो ऊर्जा उत्पन्न होती है, उसे गतिज ऊर्जा कहते हैं।

- **समीकरण:** यदि तरल V वेग से प्रवाहित हो रहा है:
  Kinetic Energy = $\frac{mv2}{2}$
- **गतिज शीर्ष (Kinetic Head):** प्रति इकाई भार (per unit weight) गतिज ऊर्जा को 'गतिज शीर्ष' कहते हैं।
  Kinetic Head = $\frac{v2}{2g}$

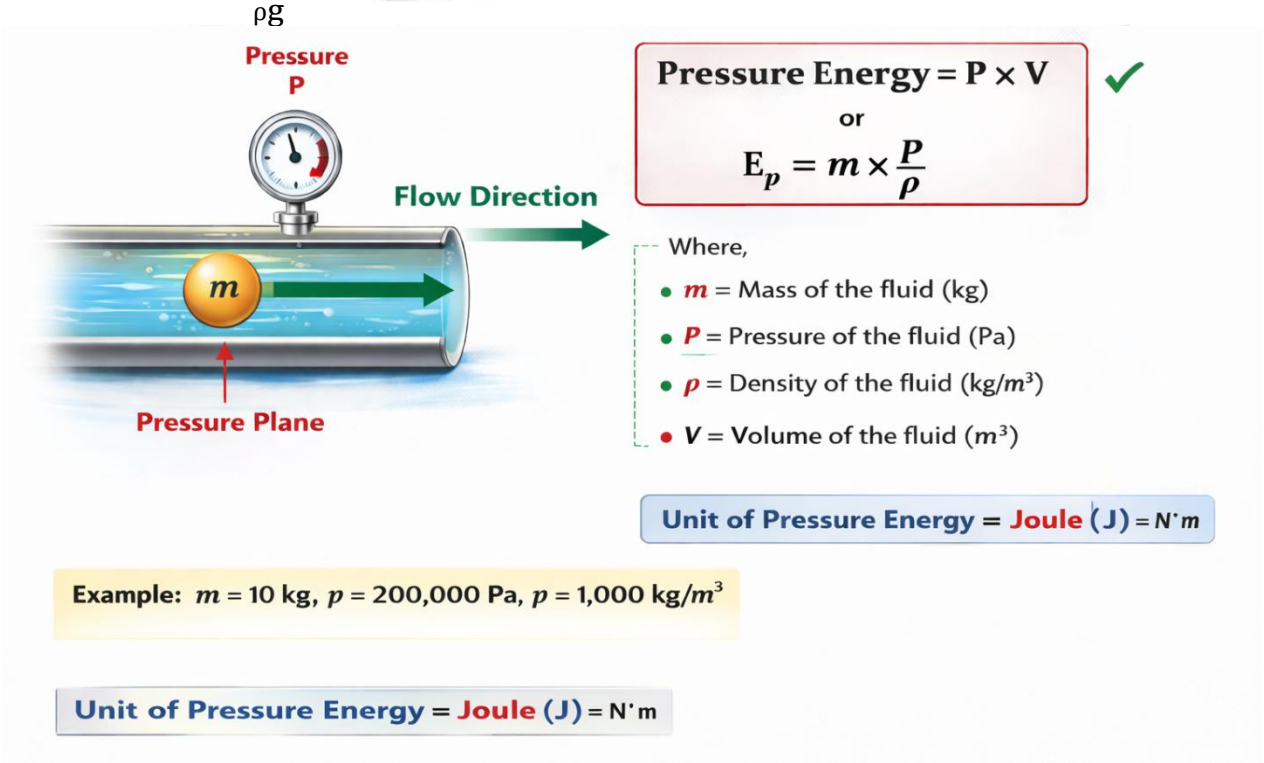


➢ दाब ऊर्जा (Pressure Energy)

यह ऊर्जा तरल के **दाब (Pressure)** के कारण होती है। जब तरल किसी पाइप या चैनल में दबाव के साथ बहता है, तो वह कार्य करने की क्षमता रखता है।

- **दाब शीर्ष (Pressure Head):** प्रति इकाई भार दाब ऊर्जा:

$$\text{Pressure Head} = \frac{P}{\rho g}$$

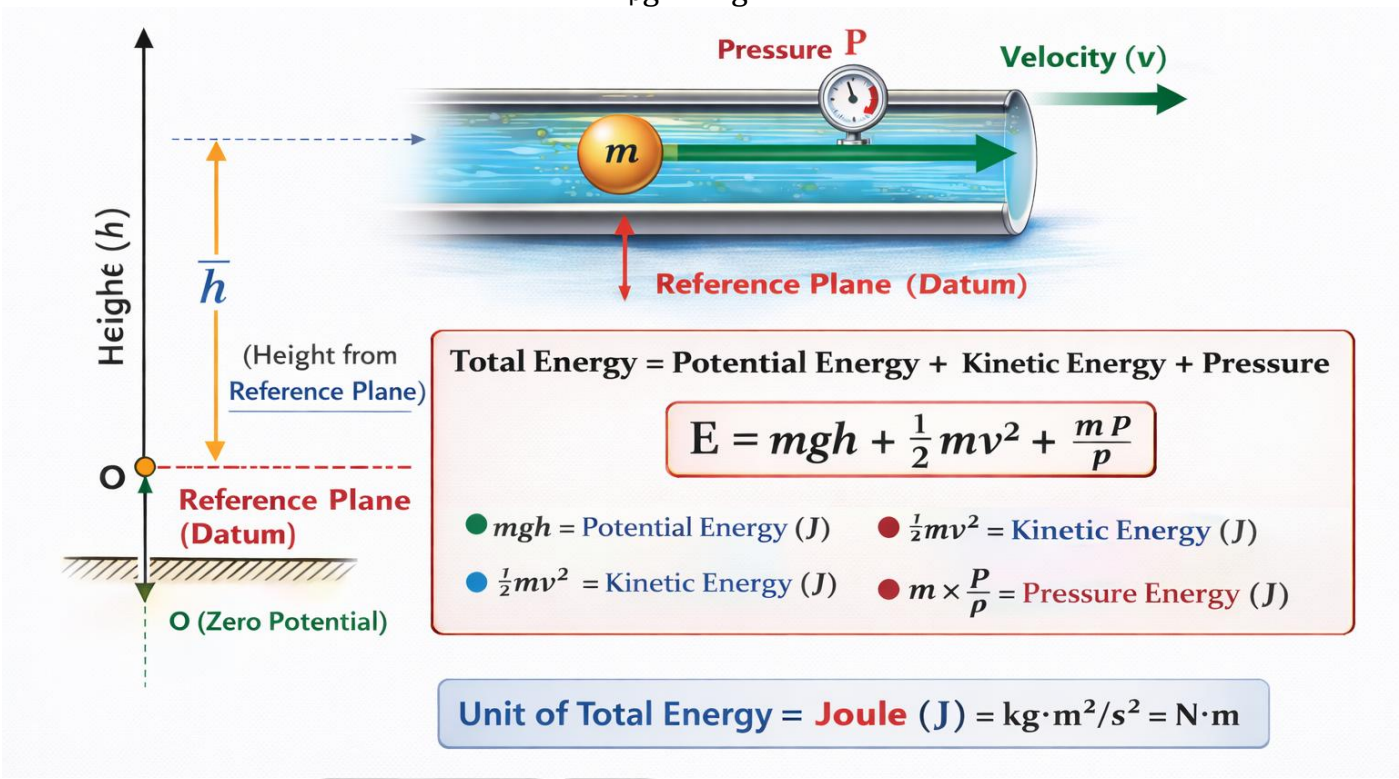


➢ कुल ऊर्जा (Total Energy)

किसी प्रवाहित तरल की कुल ऊर्जा, उसकी स्थितिज, गतिज और दाब ऊर्जाओं का योग होती है।

कुल शीर्ष (Total Head, H) का समीकरण:

$$H=\frac{P}{\rho g}+\frac{v2}{2g}+Z$$



➢ प्रति इकाई द्रव्यमान ऊर्जा (Energy per Unit Mass)

Bhushan Kumar Nayak

कभी-कभी गणना के लिए ऊर्जा को भार के बजाय द्रव्यमान (m) के संदर्भ में व्यक्त किया जाता है:

1. **स्थितिज ऊर्जा :** Z
2. **गतिज ऊर्जा :** $\frac{v2}{2g}$
3. **दाब ऊर्जा :** $\frac{P}{\rho g}$

➢ शीर्ष की अवधारणा (Concept of Heads)

जब कोई तरल गति में होता है, तो उसकी कुल ऊर्जा को "शीर्ष" (Head) के रूप में व्यक्त किया जाता है, जिसका मात्रक **मीटर (m)** होता है।

डेटम दाब/शीर्ष (Datum or Potential Head)

यह तरल की अपनी स्थिति या ऊंचाई के कारण संचित ऊर्जा है। इसे एक संदर्भ रेखा (Datum line) से मापा जाता है। V^2

वेग शीर्ष (Velocity Head)

तरल की गति के कारण उत्पन्न ऊर्जा को वेग शीर्ष कहते हैं।

- **सूत्र :** $\frac{v2}{2g}$

दाब शीर्ष (Pressure Head)

तरल के दबाव के कारण होने वाली ऊर्जा।

- **सूत्र :** $\frac{P}{\rho g}$

कुल शीर्ष (Total Head)

इन तीनों शीर्षों का योग कुल शीर्ष कहलाता है।

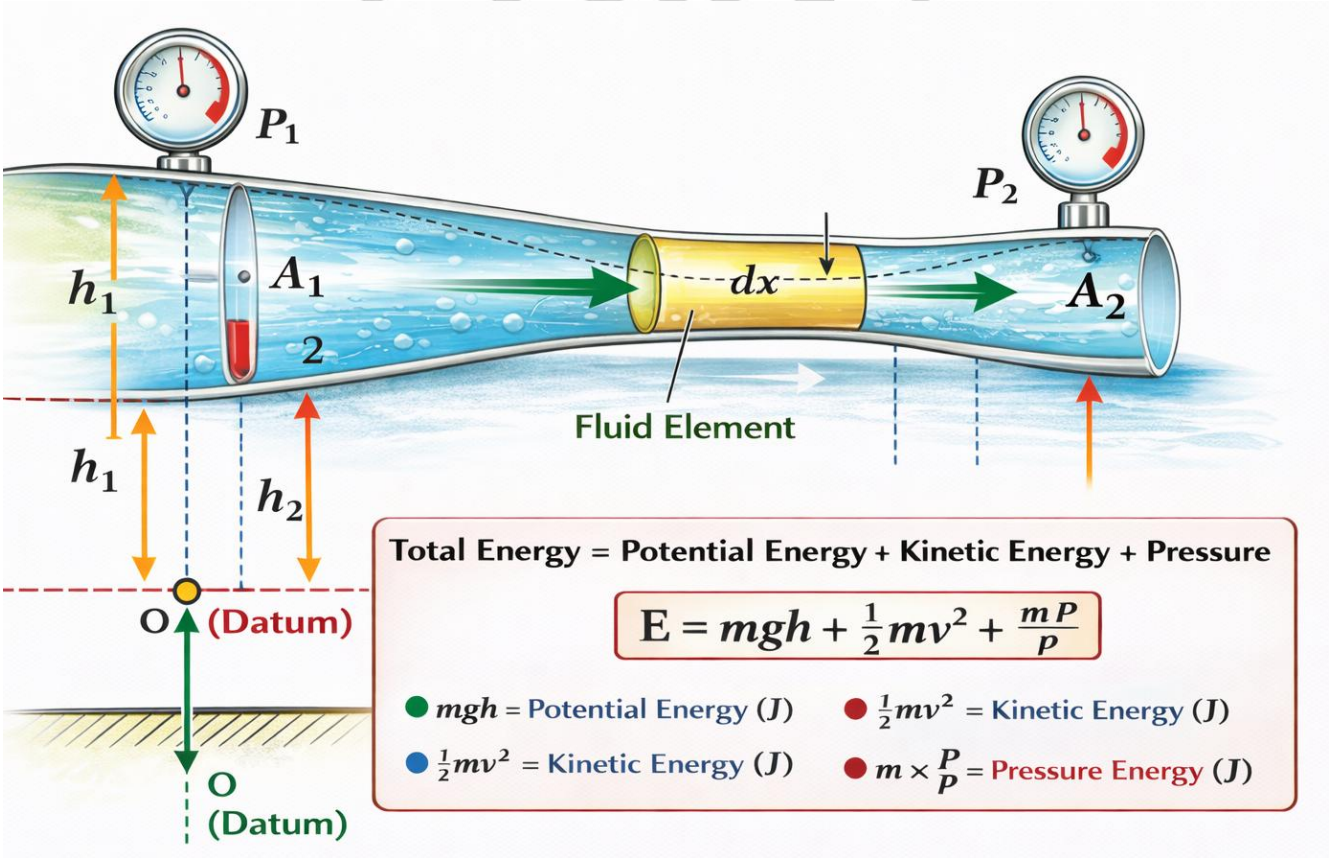
$$H=\frac{P}{\rho g}+\frac{v2}{2g}+Z$$

➢ बरनौली की प्रमेय (Bernoulli's Theorem)

सिद्धांत: एक आदर्श, असंपीड्य (Incompressible) और घर्षणरहित तरल के लिए, एक धारा-रेखीय प्रवाह (Streamline flow) में कुल ऊर्जा हमेशा स्थिर रहती है।

मान्यताएं (Assumptions):

1. तरल **आदर्श (Ideal)** है (श्यानता शून्य है)।
2. प्रवाह **असंपीड्य** है (घनत्व स्थिर रहता है)।
3. प्रवाह **अपरिवर्ती (Steady)** है।
4. प्रवाह **अघूर्णी (Irrotational)** है।



हेड (शीर्ष) के रूप में

$$H=\frac{P}{\rho g}+\frac{v2}{2g}+Z$$

बरनौली प्रमेय के व्यावहारिक अनुप्रयोग (Practical Applications)

1. **वेंचुरीमीटर (Venturimeter):** पाइप में प्रवाह की दर (Discharge) मापने के लिए।
2. **ऑरिफिस मीटर (Orifice Meter):** डिस्चार्ज मापने का सस्ता साधन।
3. **पिटोट ट्यूब (Pitot Tube):** किसी बिंदु पर तरल का वेग मापने के लिए।

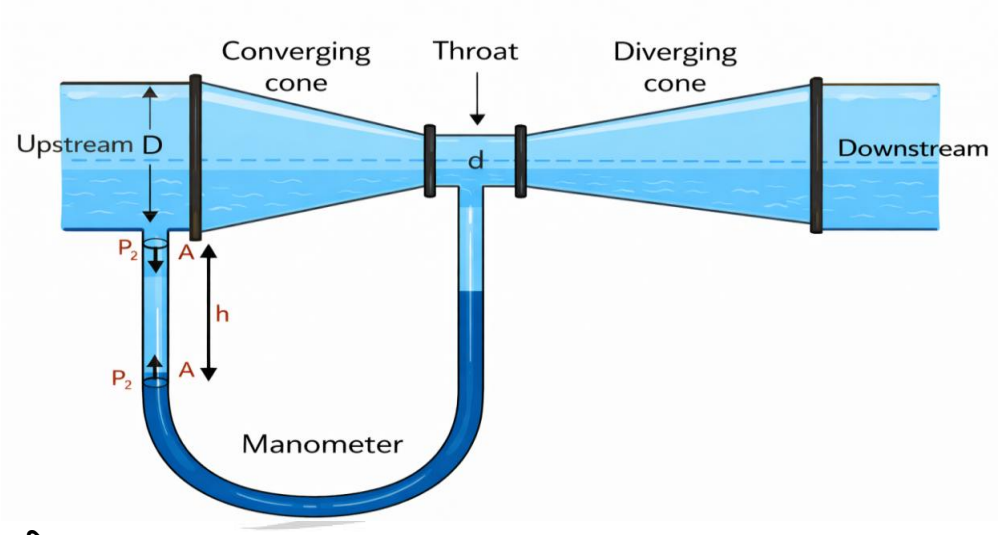
1. Venturimeter (वेंचुरीमीटर)

वेंचुरीमीटर एक ऐसा उपकरण है जिसका उपयोग पाइप में बहने वाले तरल की Discharge (प्रवाह दर) मापने के लिए किया जाता है। यह Bernoulli's Equation पर आधारित है।

- **निर्माण (Construction):**

इसके तीन मुख्य भाग होते हैं:

- ✓ Converging Part (अभिसारी भाग): यहाँ पाइप का व्यास धीरे-धीरे कम होता है, जिससे वेग बढ़ता है और दाब कम होता है।
- ✓ Throat (कंठ): यह सबसे संकरा भाग है जहाँ वेग अधिकतम और दाब न्यूनतम होता है।
- ✓ Diverging Part (अपसारी भाग): यहाँ व्यास फिर से बढ़ता है। ऊर्जा की हानि को कम करने के लिए इसकी लंबाई अभिसारी भाग से अधिक रखी जाती है।



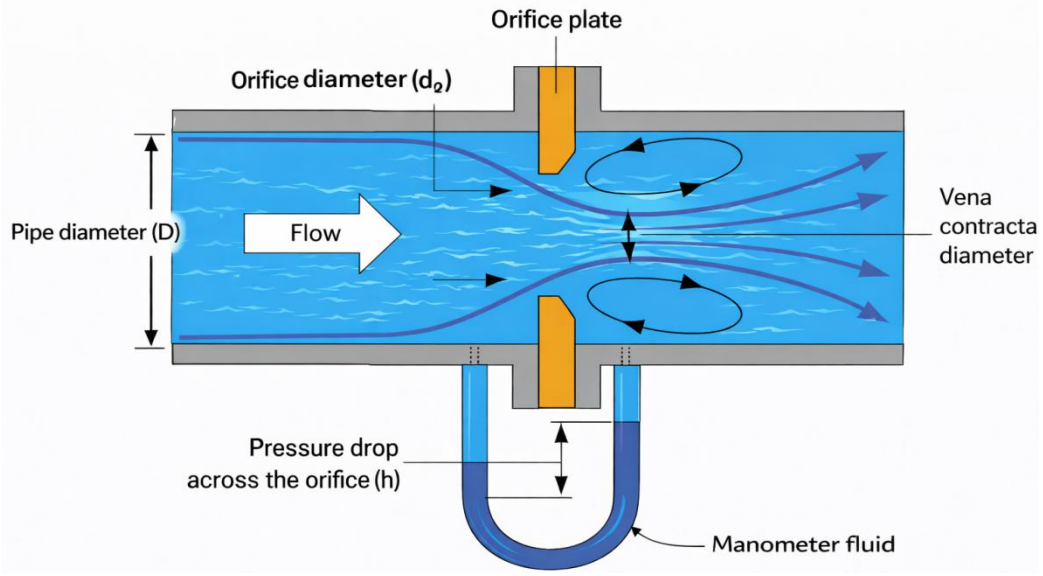
- **कार्यप्रणाली (Working):**

जब तरल वेंचुरीमीटर से गुजरता है, तो इसके इनलेट और थ्रोट के बीच Pressure Difference (h) पैदा होता है। इस अंतर को मैनोमीटर से मापा जाता है और डिस्चार्ज की गणना की जाती है।

$$Q = C_d \frac{a_1 a_2}{\sqrt{a_1^2 - a_2^2}} \sqrt{2gh}$$

2. Orifice Meter (ओरिफिस मीटर)

यह भी डिस्चार्ज मापने का उपकरण है, लेकिन यह वेंचुरीमीटर की तुलना में सस्ता है और कम जगह घेरता है।



Bhushan Kumar Nayak

- **निर्माण और कार्य (Construction & Working):**

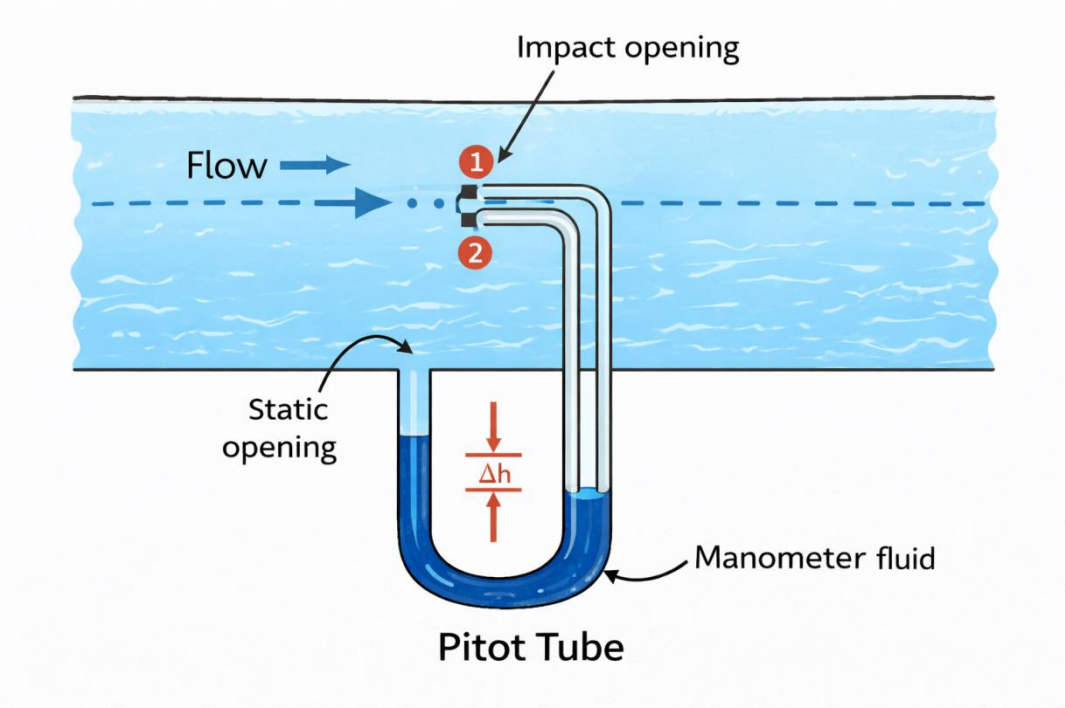
इसमें एक पतली गोलाकार प्लेट होती है जिसके बीच में एक छेद (Orifice) होता है। इसे पाइप के बीच में फिट किया जाता है। जब पानी इससे गुजरता है, तो अचानक संकुचन (Contraction) के कारण दाब में गिरावट आती है।

मुख्य अंतर: वेंचुरीमीटर में ऊर्जा की हानि कम होती है क्योंकि प्रवाह सुव्यवस्थित होता है, जबकि ओरिफिस मीटर में 'Eddies' बनने के कारण ऊर्जा की हानि अधिक होती है।

$$Q = \frac{C_d\, a_0\, a_1 \sqrt{2gh}}{\sqrt{{a_1}^2 - {a_0}^2}}$$

3. Pitot Tube (पिटोट ट्यूब)

पिटोट ट्यूब का उपयोग पाइप या खुले चैनल में किसी बिंदु पर तरल का Local Velocity (वेग) मापने के लिए किया जाता है।



सिद्धांत (Principle):

यह इस सिद्धांत पर कार्य करता है कि यदि किसी बिंदु पर तरल का वेग शून्य कर दिया जाए (Stagnation Point), तो उसकी गतिज ऊर्जा (Kinetic Energy) दाब ऊर्जा (Pressure Energy) में बदल जाती है।

वेग का सूत्र: V = Cv $\sqrt{2gh}$

उपयोग (Applications):

- ✓ हवाई जहाज की गति मापने के लिए।
- ✓ नदियों और नहरों में पानी का वेग मापने के लिए।

UNIT-3
Losses in Pipes

- **तरल प्रवाह (Fluid Flow) के प्रकार**

तरल (Fluid) के प्रवाह को निम्न प्रकारों में बाँटा जाता है:

1. स्थिर (Steady) और अस्थिर (Unsteady) प्रवाह
2. एकसमान (Uniform) और असमान (Non-uniform) प्रवाह
3. एक-आयामी, द्वि-आयामी और त्रि-आयामी प्रवाह
4. घूर्णी (Rotational) और अघूर्णी (Irrotational) प्रवाह
5. परतदार (Laminar) और अशांत (Turbulent) प्रवाह
6. संपीड्य (Compressible) और असंपीड्य (Incompressible) प्रवाह

1. स्थिर (Steady) और अस्थिर (Unsteady) प्रवाह
   - स्थिर प्रवाह (Steady Flow)
     ऐसा प्रवाह जिसमें किसी निश्चित बिंदु पर तरल के गुण जैसे वेग (velocity), दाब (pressure), घनत्व (density) आदि समय के साथ नहीं बदलते, उसे स्थिर प्रवाह कहते हैं।
     उदाहरण: किसी प्रिज़्मीय (समान आकार वाले) पाइप में नियत दर (constant rate) से बहने वाला प्रवाह।
   - अस्थिर प्रवाह (Unsteady Flow)
     ऐसा प्रवाह जिसमें किसी बिंदु पर वेग, दाब या घनत्व समय के साथ बदलते रहते हैं, उसे अस्थिर प्रवाह कहते हैं।
     उदाहरण: - ऐसा पाइप प्रवाह जिसमें वाल्व को धीरे-धीरे खोला या बंद किया जा रहा हो।

2. एकसमान (Uniform) और असमान (Non-uniform) प्रवाह
   - एकसमान प्रवाह (Uniform Flow)
     ऐसा प्रवाह जिसमें किसी निश्चित समय पर वेग स्थान के साथ नहीं बदलता।
     उदाहरण:- समान व्यास (constant diameter) वाले सीधे पाइप में प्रवाह।
   - असमान प्रवाह (Non-uniform Flow)
     ऐसा प्रवाह जिसमें किसी समय पर वेग स्थान के साथ बदलता है।
     उदाहरण: असमान आकार वाले पाइप में प्रवाह, पाइप बेंड या नहर मोड़ के पास प्रवाह।

3. एक-आयामी, द्वि-आयामी और त्रि-आयामी प्रवाह
   - एक-आयामी प्रवाह (One Dimensional Flow)
     जब प्रवाह के गुण केवल एक दिशा या एक निर्देशांक पर निर्भर करते हैं, तो उसे एक-आयामी प्रवाह कहते हैं।
     उदाहरण: पाइप में औसत प्रवाह (average flow) का विश्लेषण,
   - द्वि-आयामी प्रवाह (Two Dimensional Flow)
     जब वेग समय तथा दो दिशाओं (x और y) में बदलता है तथा तीसरी दिशा में परिवर्तन नहीं होता।
     उदाहरण: समानांतर प्लेटों के बीच प्रवाह, चौड़ी नदी की मुख्य धारा में प्रवाह।

BKN Bhushan Kumar Nayak

- त्रि-आयामी प्रवाह (Three Dimensional Flow)

जब वेग तीनों दिशाओं (x, y, z) में बदलता है, तो उसे त्रि-आयामी प्रवाह कहते हैं।
उदाहरण: संकुचित या फैलते हुए पाइप में प्रवाह, खुले चैनल में प्रवाह जहाँ चौड़ाई और गहराई लगभग समान हों।

4. Rotational और Irrotational Flow
   - Rotational Flow (घूर्णी प्रवाह)

     जब तरल के कण प्रवाह की दिशा में चलते समय अपने mass centre (द्रव्यमान केंद्र) के चारों ओर घूमते हैं, तो उसे घूर्णी प्रवाह कहते हैं। ठोस सतह (solid boundary) के पास का प्रवाह सामान्यतः rotational होता है।
     उदाहरण: घूमती हुई टंकी (rotating tank) में तरल की गति।
   - Irrotational Flow (अघूर्णी प्रवाह)

     जब तरल के कण प्रवाह की दिशा में चलते समय अपने mass centre के चारों ओर नहीं घूमते, तो उसे अघूर्णी प्रवाह कहते हैं। Boundary layer के बाहर का प्रवाह सामान्यतः irrotational माना जाता है।
     उदाहरण: स्थिर टंकी या वॉश बेसिन के ड्रेन होल के ऊपर का प्रवाह।
5. Laminar और Turbulent Flow
   - Laminar Flow (परतदार प्रवाह)

     ऐसा प्रवाह जिसमें तरल के कण अच्छी तरह परिभाषित रास्तों (stream lines) में चलते हैं और एक-दूसरे के रास्ते को नहीं काटते। इसे Streamline flow या Viscous flow भी कहते हैं।
     उदाहरण: Capillary tube में प्रवाह, नसों और धमनियों (veins & arteries) में रक्त प्रवाह, Ground water flow
   - Turbulent Flow (अशांत प्रवाह)

     ऐसा प्रवाह जिसमें तरल के कण zig-zag (अनियमित) तरीके से चलते हैं।
     उदाहरण: बड़े आकार की पाइप में उच्च वेग (high velocity) वाला प्रवाह।
     Engineering में ज्यादातर प्रवाह turbulent होते हैं।
     - ✸ Reynolds Number के आधार पर Flow
     - ☞ Re < 2000 → Flow Laminar होता है
     - ☞ Re > 4000 → Flow Turbulent होता है
     - ☞ Re = 2000 – 4000 → Flow Laminar या Turbulent दोनों हो सकता है (Transition zone)
6. Compressible और Incompressible Flow
   - Compressible Flow (संपीड्य प्रवाह)

     ऐसा प्रवाह जिसमें fluid की density (घनत्व) स्थान के अनुसार बदलती है। Density constant नहीं रहती।
     Mathematically: $\rho \neq$ constant
     उदाहरण: Gases का flow – orifice, nozzle, gas turbine आदि।
   - Incompressible Flow (असंपीड्य प्रवाह)

     ऐसा प्रवाह जिसमें fluid की density स्थिर रहती है। अधिकांश liquids को incompressible माना जाता है।
     Mathematically: $\rho =$ constant

BKN Bhushan Kumar Nayak

उदाहरण: Subsonic aerodynamics (कम गति वाला वायु प्रवाह)।

❖ Hydraulic Co-efficients (हाइड्रोलिक गुणांक)

Hydraulic coefficients (या Orifice coefficients) निम्न प्रकार के होते हैं:

1. Coefficient of Contraction (Cc)
2. Coefficient of Velocity (Cv)
3. Coefficient of Discharge (Cd)
4. Coefficient of Resistance (Cr)

1. Coefficient of Contraction (Cc) :- Vena-contracta पर जेट के area और orifice के area के अनुपात को Coefficient of Contraction कहते हैं।

   $Cc = \frac{Ac}{Ao}$

   जहाँ,

   Ac = Vena-contracta पर jet का क्षेत्रफल

   Ao = Orifice का क्षेत्रफल

   मान (Value): सामान्यतः 0.61 से 0.69 के बीच, औसत मान ≈ 0.64

2. Coefficient of Velocity (Cv):- Vena-contracta पर jet की actual velocity और theoretical velocity के अनुपात को coefficient of velocity कहते हैं।

   $Cv = \frac{V}{Vth}$; $Vth = \sqrt{2gh}$

   जहाँ,

   V = Actual velocity

   H = Head (जिस ऊँचाई से fluid बह रहा है)

मान (Value): लगभग 0.95 से 0.99, Sharp-edged orifice के लिए ≈ 0.98

3. Coefficient of Discharge (Cd):- Actual discharge (Q) और theoretical discharge (Qth) के अनुपात को coefficient of discharge कहते हैं।

   $Cd = \frac{Q}{Qth}$ या $Cd = Cc \times Cv$

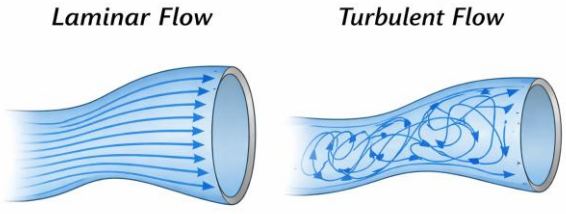
   मान (Value): लगभग 0.62 से 0.65 के बीच

4. Coefficient of Resistance (Cr):- Orifice में होने वाले head loss और उपलब्ध water head के अनुपात को coefficient of resistance कहते हैं।

➢ Laminar (Viscous) Flow

Newtonian fluid के मामले में flow को Reynolds number के आधार पर दो प्रकारों में बाँटा जाता है:

1. Laminar (या Viscous) Flow
2. Turbulent Flow



Reynolds number: $Re = \frac{\rho VL}{\mu}$

जहाँ, L = characteristic length (विशिष्ट लंबाई)

Laminar / Viscous Flow के उदाहरण

- ☞ बहुत छोटे पिंडों (tiny bodies) के पास flow
- ☞ भूमिगत जल प्रवाह (Underground flow)
- ☞ मानव शरीर की धमनियों (arteries) में रक्त का प्रवाह

- ☞ Measuring instruments में oil का flow
- ☞ पौधों की जड़ों से पानी का ऊपर उठना

Laminar Flow की विशेषताएँ

- ✓ Boundary पर "No Slip" condition होती है (fluid की velocity boundary पर शून्य होती है)
- ✓ Viscosity के कारण fluid layers के बीच shear होता है:(X-direction में flow के लिए)
- ✓ Flow rotational होता है।
- ✓ Viscous shear की वजह से ऊर्जा (energy) लगातार dissipate होती रहती है, इसलिए flow बनाए रखने के लिए बाहरी ऊर्जा देनी पड़ती है।
- ✓ Energy loss, velocity की first power और viscosity की first power के proportional होता है।
- ✓ अलग-अलग fluid layers आपस में mix नहीं होतीं (केवल बहुत कम molecular motion होता है)।
- ✓ जब तक Reynolds number का मान critical value से कम रहता है, flow laminar बना रहता है।

➢ **Losses in Pipe**

Pipe (पाइप) एक बंद नली (closed conduit) होती है (आमतौर पर गोलाकार section की), जिसका उपयोग दबाव (pressure) के अंदर fluid ले जाने के लिए किया जाता है।

जब fluid पाइप के पूरे cross-section को पूरी तरह भर देता है और उसकी कोई free surface नहीं होती, तब उसे pipe flow कहा जाता है।

यदि पाइप आंशिक रूप से भरी हो (partially full), तो पाइप के अंदर atmospheric pressure होता है और ऐसा flow open channel की तरह व्यवहार करता है।

❖ **पाइप में ऊर्जा (या Head) की हानि**

जब पानी पाइप में बहता है, तो उसे गति के दौरान resistance (प्रतिरोध) मिलता है। इसके कारण उसकी velocity और उपलब्ध head कम हो जाती है।

इस energy (या head) की हानि को दो भागों में बाँटा जाता है:

A. Major Energy Losses (मुख्य ऊर्जा हानि) :- यह हानि friction (घर्षण) के कारण होती है।

B. Minor Energy Losses (गौण ऊर्जा हानि) :- ये हानियाँ निम्न कारणों से होती हैं:

- ▪ पाइप का अचानक चौड़ा होना (Sudden enlargement)
- ▪ पाइप का अचानक संकरा होना (Sudden contraction)
- ▪ पाइप में मोड़ (Bend)
- ▪ पाइप के अंदर रुकावट (Obstruction)
- ▪ Pipe fittings आदि

A. Major Energy Losses (मुख्य ऊर्जा हानि)

जो losses friction के कारण होती हैं, उन्हें निम्न सूत्रों से निकाला जाता है:

1. Darcy–Weisbach Formula
2. Chezy's Formula

1. Darcy–Weisbach Formula

पाइप में friction के कारण होने वाली head (या energy) loss को Darcy–Weisbach formula से निकाला जाता है।

$$h_f = \frac{4fLV2}{\mu D \times 2g}$$

Bhushan Kumar Nayak

जहाँ,

- h_f = friction के कारण head loss
- f = coefficient of friction (यह Reynolds number पर निर्भर करता है)

  Friction factor के मान:

  ☞ जब Reynolds number 4000 से 10^6 के बीच हो: $f = \frac{0.0791}{Re^{0.25}}$

  ☞ जब Re < 2000 (Laminar flow): $f = \frac{16}{Re}$
- L = पाइप की लंबाई
- V = flow की mean velocity
- D = पाइप का diameter

2. Chezy's Formula (Loss of Head due to Friction)

Pressure difference से बनने वाला force और frictional resistance के संतुलन से Chezy's formula प्राप्त होता है। अंतिम रूप में:

$$V = C\sqrt{mi}$$

जहाँ,

- V = Mean velocity
- C = Chezy's constant
- m = Hydraulic mean depth (या hydraulic radius) = $\frac{A}{P}$

  जहाँ,

  A = flow का area, P = wetted perimeter
- Slope (i) = $\frac{h_f}{L}$; यह पाइप की प्रति इकाई लंबाई में head loss को दर्शाता है।

B. Minor Energy Losses (गौण ऊर्जा हानि)

प्रवाह के पैटर्न में गड़बड़ी (disturbance) या वेग (velocity) में परिवर्तन के कारण होने वाली हानियों को लघु हानियाँ (Minor Losses) कहा जाता है।

ये हानियाँ सामान्यतः निम्न कारणों से होती हैं:

- प्रवाह क्षेत्रफल (Area of flow) में अचानक परिवर्तन
- प्रवाह की दिशा (Direction of flow) में परिवर्तन

ये हानियाँ, प्रमुख हानियों (Major Losses) की तुलना में कम होती हैं।

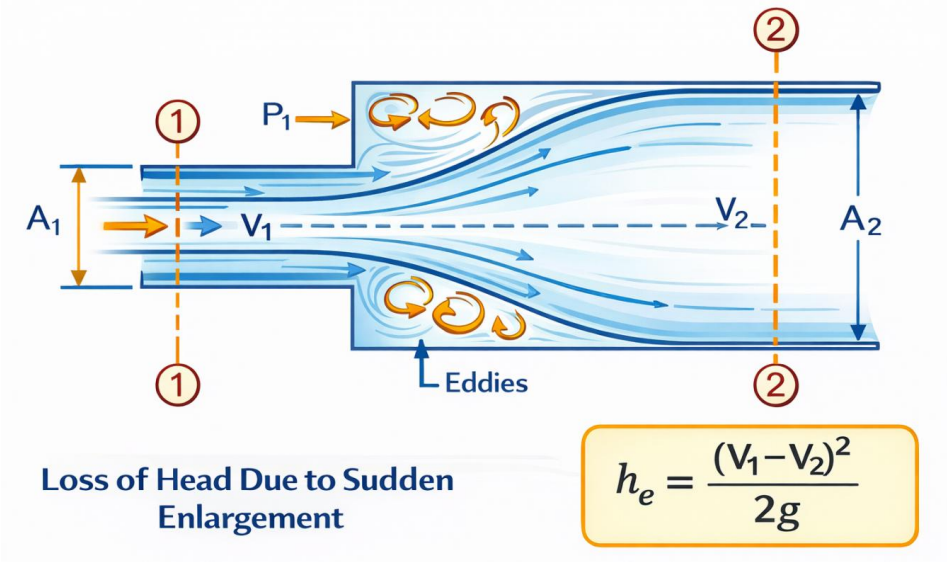
हेड (ऊर्जा) की लघु हानियों में निम्नलिखित स्थितियाँ शामिल होती हैं:

1. अचानक विस्तार (Sudden Enlargement) के कारण हेड की हानि

चित्र में एक पाइप दर्शाया गया है जिसमें द्रव (fluid) अचानक बड़े व्यास वाले पाइप में प्रवेश करता है। इसे **अचानक विस्तार (Sudden Enlargement)** कहते हैं।

इस स्थिति में हेड की हानि इसलिए होती है क्योंकि छोटे पाइप से निकलने वाला द्रव बड़े पाइप में प्रवेश करते समय किनारों (periphery) से अलग हो जाता है। इस अलगाव (separation of flow) के कारण कोनों (corner region) में भंवर गति (eddy formation) उत्पन्न होती है। इन भंवरों के कारण ऊर्जा की हानि होती है, जिसे **हेड लॉस (Head Loss)** कहते हैं।

BKN Bhushan Kumar Nayak



2. अचानक संकुचन (Sudden Contraction) के कारण हेड की हानि

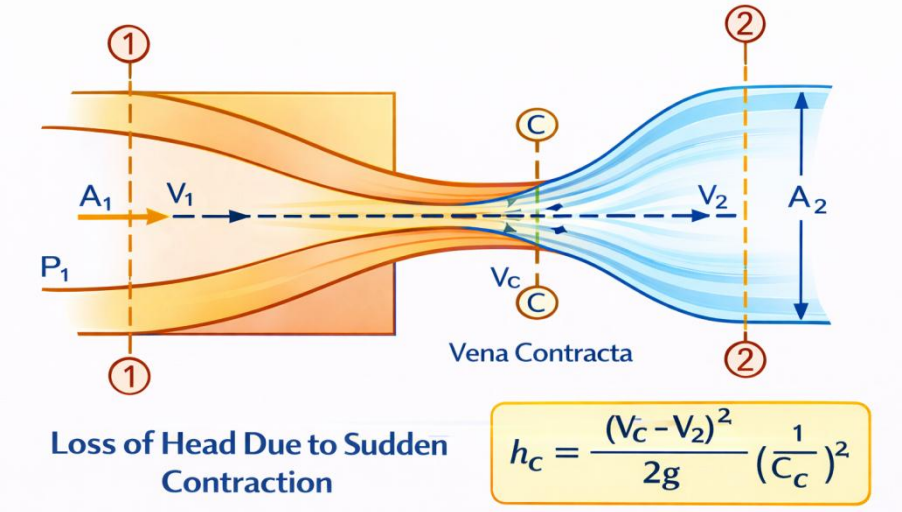
चित्र में एक पाइप दर्शाया गया है जिसमें द्रव (fluid) अचानक छोटे व्यास वाले पाइप में प्रवेश करता है। इसे **अचानक संकुचन (Sudden Contraction)** कहते हैं। सेक्शन **1–1** से **C–C (Vena Contracta)** तक प्रवाह रेखाएँ (streamlines) आपस में सिमटती (converging) हैं।

हेड लॉस कहाँ होता है?

हेड लॉस केवल **Vena Contracta (C–C)** के बाद होता है।

इसका कारण यह है कि:

- Vena Contracta तक प्रवाह **त्वरित (accelerating)** होता है।
- इस भाग में **boundary layer separation नहीं होता**।
- Vena Contracta के बाद प्रवाह अचानक फैलता है।
- इस फैलाव के कारण भंवर (eddies) बनते हैं।
- इन्हीं भंवरों के कारण ऊर्जा की हानि होती है।



BKN Bhushan Kumar Nayak

3. पाइप के प्रवेश (Entrance) पर हेड की हानि

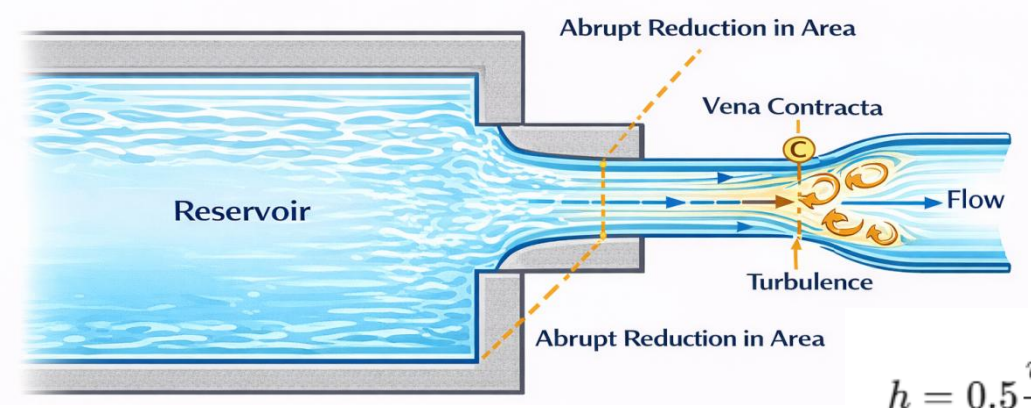
पाइप के प्रवेश पर होने वाली हेड लॉस, अचानक संकुचन (Sudden Contraction) के कारण होने वाली हानि के समान होती है।

जब द्रव किसी बड़े जलाशय (Reservoir) से छोटे व्यास वाली पाइप में प्रवेश करता है, तो क्षेत्रफल में अचानक कमी (abrupt reduction in area) हो जाती है।

इस कारण द्रव पहले **Vena Contracta** बनाता है और उसके बाद फैलता है।

मुख्य कारण:

- Reservoir से Pipe में अचानक क्षेत्रफल कम होना
- Vena Contracta का बनना
- Vena Contracta के बाद जेट का फैलना
- फैलाव के कारण अशांति (turbulence) उत्पन्न होना



$$h = 0.5\frac{v^2}{2g}$$

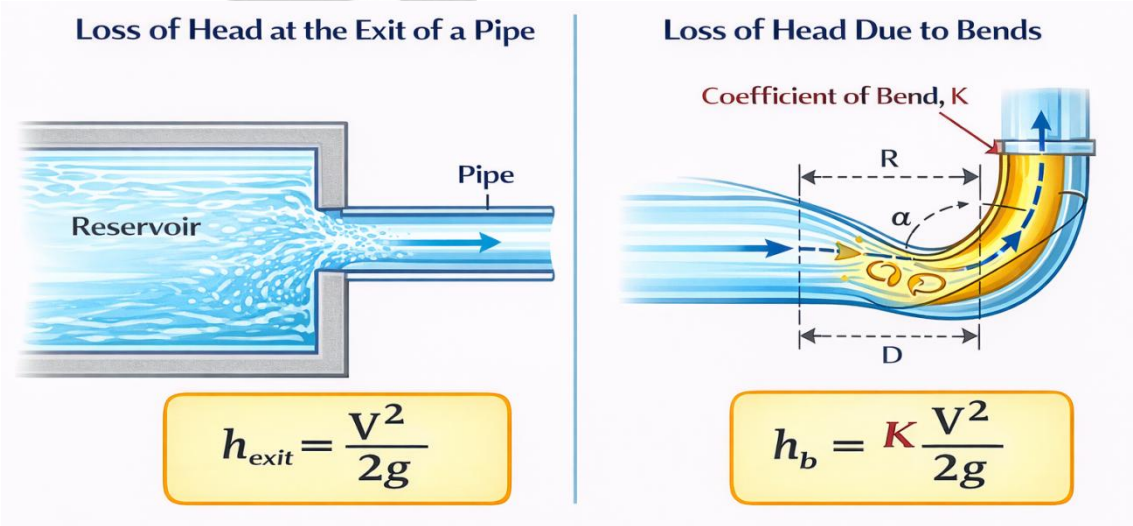
4. पाइप के निकास (Exit) पर हेड की हानि

जब पाइप से निकलकर द्रव किसी बड़े जलाशय (Reservoir) में प्रवेश करता है, तो उसकी पूरी गतिज ऊर्जा (Velocity Head) नष्ट हो जाती है।

यदि पाइप में द्रव का वेग V है, तो निकास पर हेड लॉस दिया जाता है:

कारण:

- बड़े Reservoir में प्रवेश करते समय वेग लगभग शून्य हो जाता है।
- इसलिए पूरी velocity head नष्ट हो जाती है।



5. पाइप में मोड़ (Bends) के कारण हेड की हानि

पाइप में मोड़ (bend) देने पर प्रवाह की दिशा बदलती है। दिशा परिवर्तन के कारण अशांति (turbulence) और भंवर (eddies) उत्पन्न होते हैं, जिससे ऊर्जा की हानि होती है।

मोड़ के कारण हेड लॉस को इस प्रकार व्यक्त किया जाता है:

K किन बातों पर निर्भर करता है?

- मोड़ का कोण (Angle of bend)
- वक्रता की त्रिज्या (Radius of curvature)
- पाइप का व्यास (Diameter of pipe)

➢ **Hydraulic Gradient और Total Energy Lines**

पाइप में fluid flow के अध्ययन में Hydraulic Gradient Line (HGL) और Total Energy Line (TEL / EGL) का concept बहुत उपयोगी होता है।

❖ Total Energy Line (T.E.L. या E.G.L.)

किसी भी datum के संबंध में Total head (या total energy per unit weight) निम्न तीन heads के योग के बराबर होता है:

- Elevation (Potential) head
- Pressure head
- Velocity head

$$H = \frac{P}{\rho g} + \frac{v2}{2g} + Z$$

जब fluid पाइप में बहता है, तो head (energy) loss होता है और flow की दिशा में total energy कम होती जाती है। यदि पाइप के अलग-अलग बिंदुओं पर total energy को plot करके एक रेखा खींची जाए, तो उसे Energy Gradient Line (E.G.L.) कहते हैं।

Note: Literature में E.G.L. को ही Total Energy Line (T.E.L.) भी कहा जाता है।

❖ Hydraulic Gradient Line (H.G.L.)

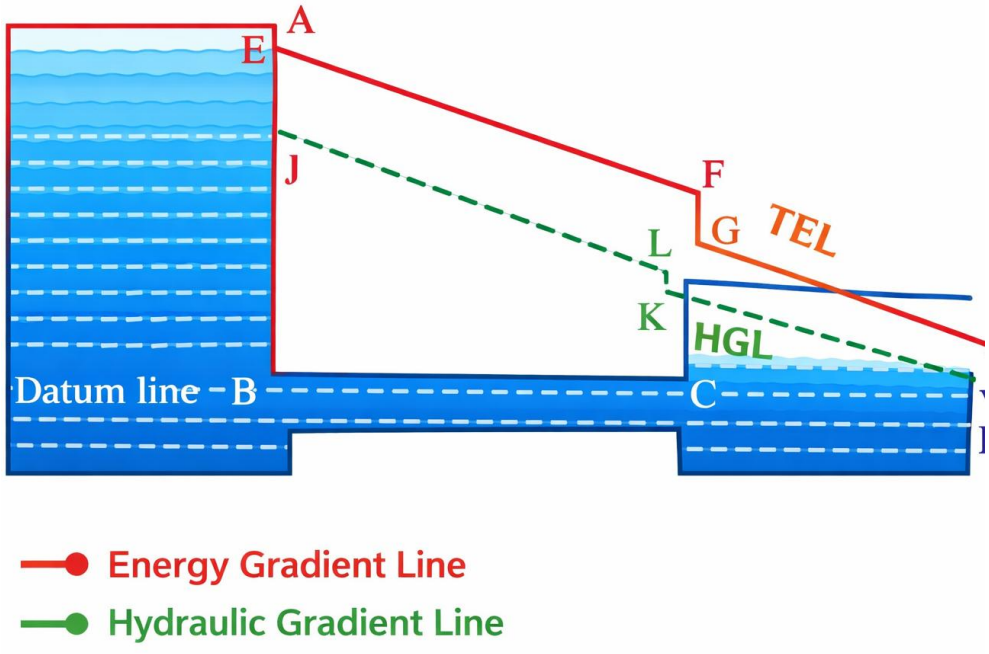
Potential head और pressure head के योग को Piezometric head कहते हैं।

$$= \frac{P}{\rho g} + Z$$

यदि विभिन्न बिंदुओं के piezometric levels को जोड़कर एक रेखा खींची जाए, तो उसे: Hydraulic Gradient Line (H.G.L.) कहा जाता है।

✓ **Important Points (Exam Very Important)**

1. Energy Gradient Line (E.G.L.) हमेशा flow की दिशा में नीचे गिरती है (head loss के कारण)।
2. Hydraulic Gradient Line (H.G.L.) pressure changes के अनुसार ऊपर या नीचे जा सकती है।
3. H.G.L. हमेशा E.G.L. के नीचे होती है। दोनों के बीच vertical दूरी = velocity head$\left(\frac{v2}{2g}\right)$
4. Uniform cross-section वाली पाइप में H.G.L. और E.G.L. की slope समान होती है।
5. Energy gradient line की slope और pipe axis की slope का कोई direct संबंध नहीं होता।



UNIT-4
Turbines

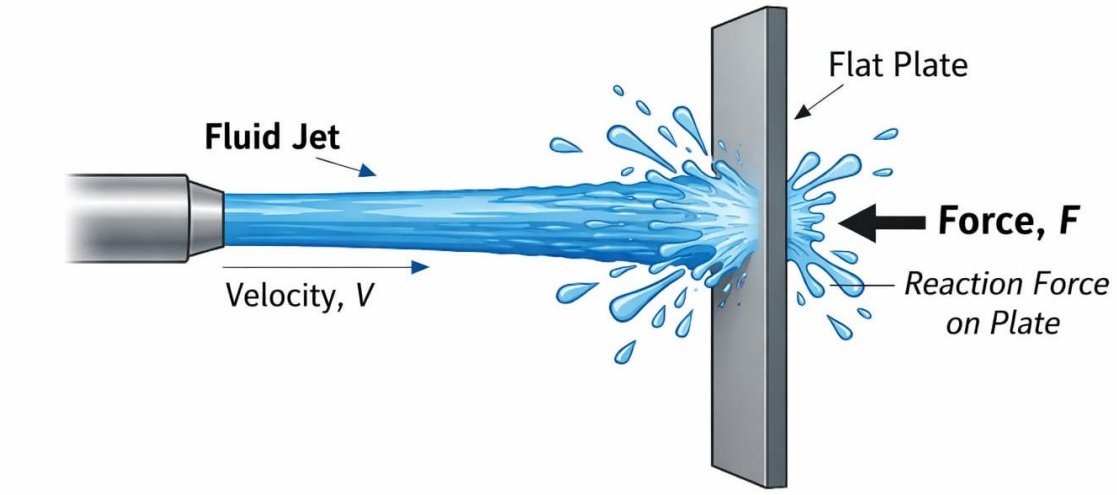
➢ जेट का प्रभाव: परिचय (Introduction to Impact of Jet)

एक तरल जेट (Jet) किसी नोजल से निकलने वाली तरल की वह धारा है जिसका वेग बहुत अधिक होता है और इसलिए उसकी गतिज ऊर्जा (Kinetic energy) भी बहुत अधिक होती है। जब एक जेट किसी प्लेट या वेन (Vane) से टकराता है, तो वह उस पर एक बल लगाता है (यह संवेग/Momentum में परिवर्तन के कारण होता है)। इस बल (हाइड्रोडायनामिक) का मूल्यांकन 'आवेग-संवेग सिद्धांत' (Impulse-momentum principle) का उपयोग करके किया जा सकता है।

इसमें निम्नलिखित स्थितियों पर विचार किया जाएगा:

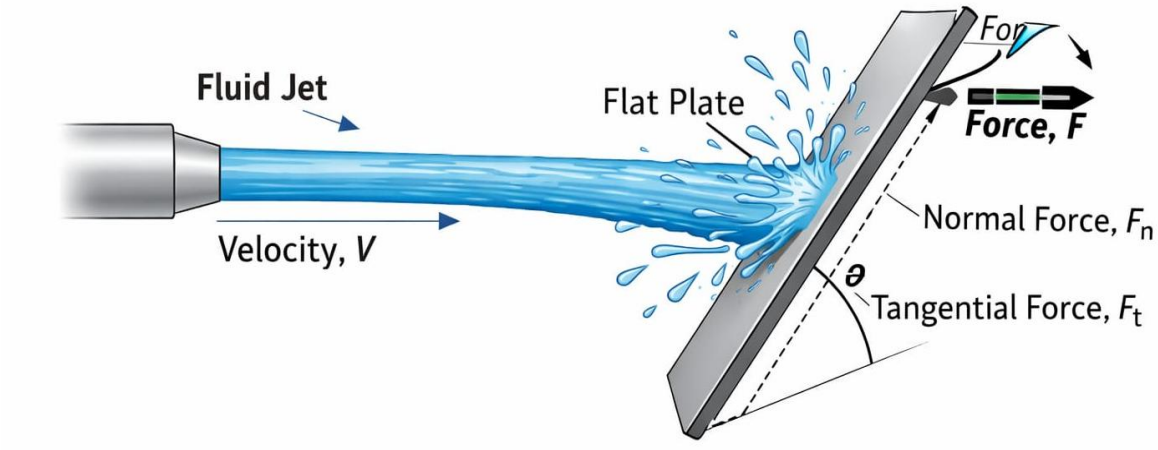
- स्थिर प्लेट (Stationary plate) पर जेट द्वारा लगाया गया बल:
  1) जब समतल प्लेट (Flat plate) जेट के लंबवत (Normal) हो;
  2) जब समतल प्लेट जेट की दिशा में तिरछी (Inclined) हो;
  3) जब प्लेट घुमावदार (Curved) हो।

1) जब समतल प्लेट (Flat plate) जेट के लंबवत (Normal) हो



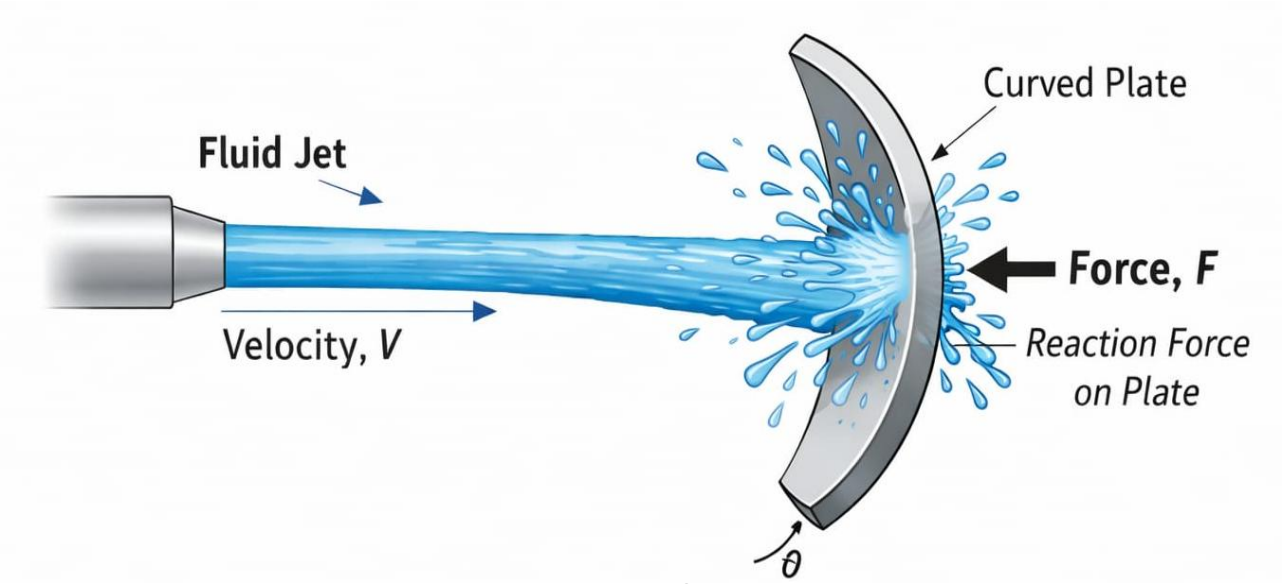
Force F= ρAV^2
Work done (W) = 0

2) जब समतल प्लेट जेट की दिशा में तिरछी (Inclined) हो



Force F= $\rho A(V \sin\theta)^2$
Work done (W) = 0

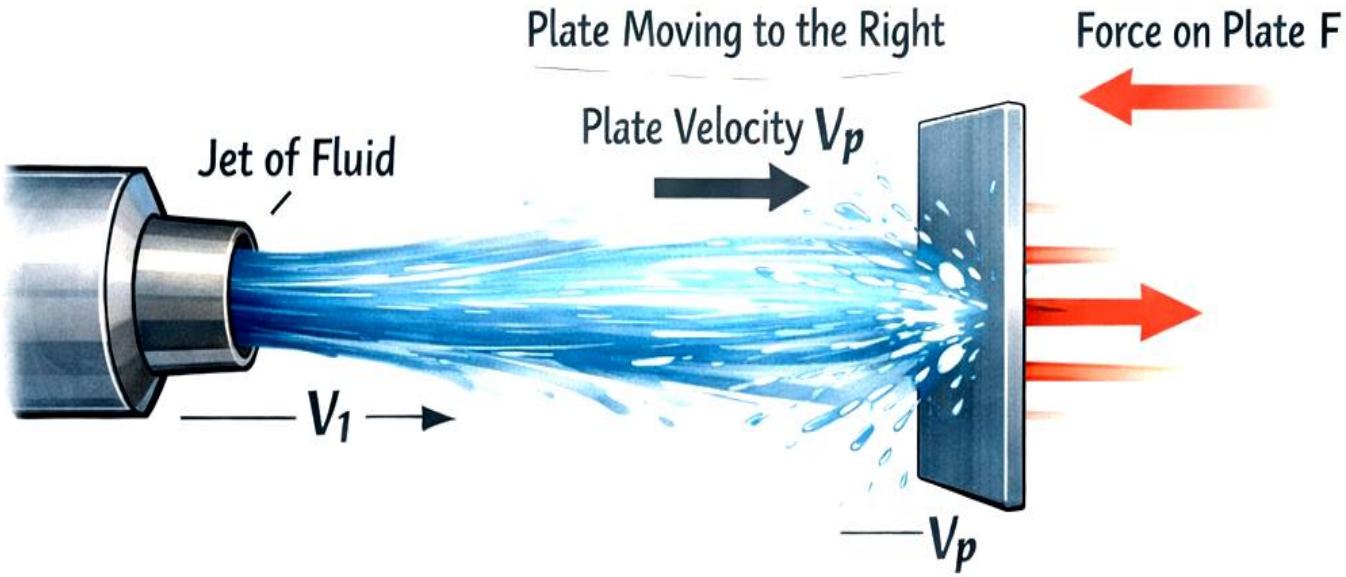
3) जब प्लेट घुमावदार (Curved) हो



Force $F_x = \rho AV^2 (1+\cos\theta)$
Work done (W) = 0

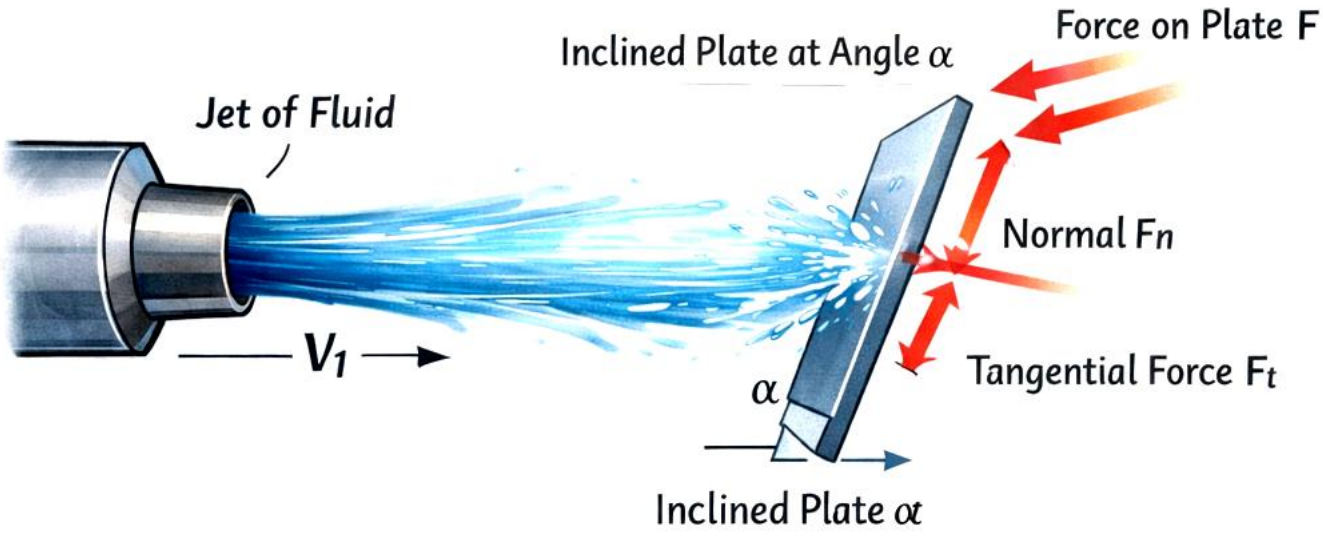
- गतिशील प्लेट (Moving plate) पर जेट द्वारा लगाया गया बल:
  1) जब प्लेट जेट के लंबवत हो;
  2) जब प्लेट जेट की दिशा में तिरछी हो;
  3) जब प्लेट घुमावदार हो।

2) जब प्लेट जेट के लंबवत हो



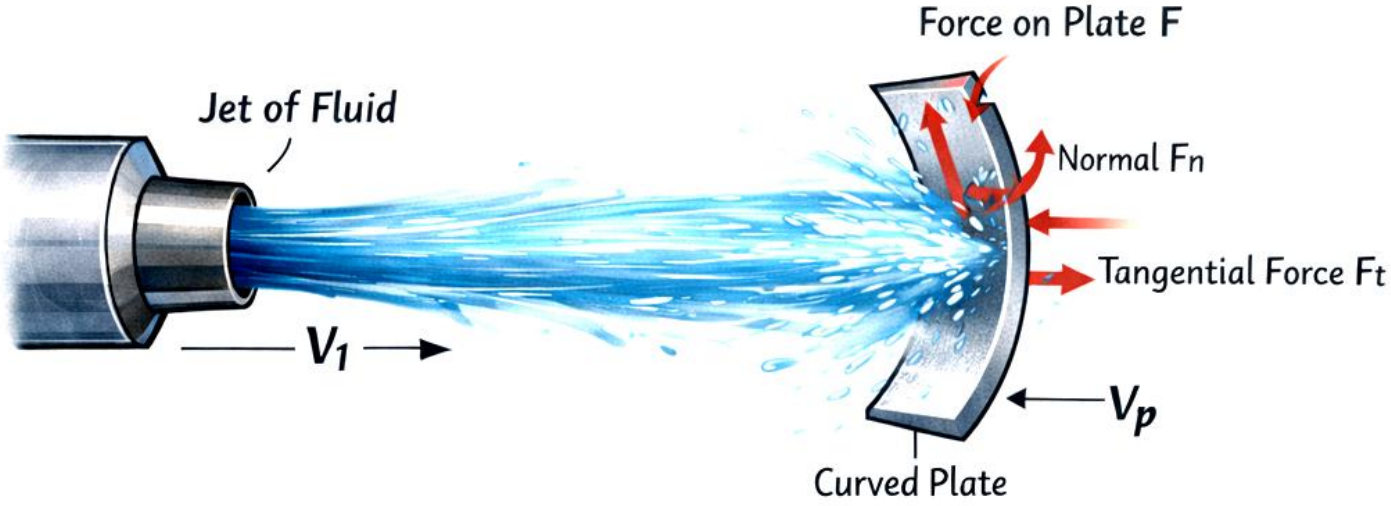
Force $F = \rho A(V-u)^2$
Work done (W) = $\rho A(V-u)^2 \times u$

3) जब प्लेट जेट की दिशा में तिरछी हो



Force F= ρA((V-u) sinθ)^2
Work done (W) = ρA((V-u) sinθ)^2 × u

4) जब प्लेट घुमावदार हो



Force F_x= ρA(V-u)^2 (1+cosθ)
Work done (W) = ρA(V-u)^2 (1+cosθ)×u

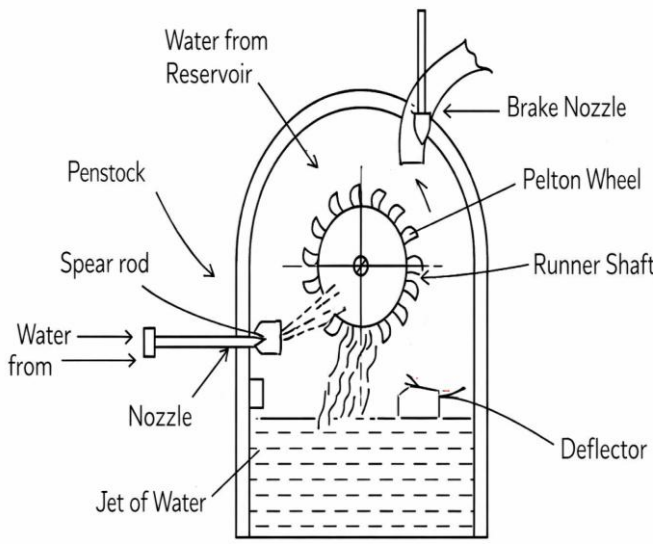
➢ हाइड्रोलिक टर्बाइन (Hydraulic Turbine)

- **एक हाइड्रोलिक टरबाइन एक प्राइम मूवर (प्रधान चालित्र) होती है** (ऐसी मशीन जो किसी पदार्थ की मूल ऊर्जा का उपयोग करके उसे यांत्रिक ऊर्जा में परिवर्तित करती है)। यह बहते हुए पानी की ऊर्जा का उपयोग करके उसे यांत्रिक ऊर्जा में बदल देती है (जो रनर के घूर्णन के रूप में होती है)।
- यह यांत्रिक ऊर्जा एक विद्युत जनरेटर को चलाने में उपयोग की जाती है, जो सीधे हाइड्रोलिक टरबाइन के शाफ्ट से जुड़ा होता है। इस विद्युत जनरेटर से हमें विद्युत शक्ति प्राप्त होती है, जिसे ट्रांसमिशन लाइनों और ट्रांसमिशन टावरों के माध्यम से लंबी दूरी तक भेजा जा सकता है।
- हाइड्रोलिक टरबाइनों को **'वॉटर टरबाइन'** भी कहा जाता है, क्योंकि इनमें प्रयुक्त द्रव माध्यम पानी होता है।

हाइड्रोलिक टर्बाइन का वर्गीकरण (Classification of Hydraulic Turbines)

टर्बाइनों को उनके काम करने के तरीके और बनावट के आधार पर वर्गीकृत किया जाता है:

- ब्लेडों पर पानी की क्रिया के अनुसार :
  1. इम्पल्स टरबाइन (Pelton टरबाइन)
  2. रिएक्शन टरबाइन
     a) फ्रांसिस टरबाइन
     b) कैपलान तथा प्रोपेलर टरबाइन
- उपलब्ध हेड (Head) के आधार पर:
  1. High Head: 250 मीटर से अधिक (उदा: Pelton Wheel)
  2. Medium Head: 60 से 250 मीटर (उदा: Francis Turbine)
  3. Low Head: 60 मीटर से कम (उदा: Kaplan Turbine)
- विशिष्ट गति (Specific Speed) के आधार पर:
  1. कम,
  2. मध्यम
  3. उच्च विशिष्ट गति वाले टर्बाइन।
- प्रवाह की दिशा के आधार पर:
  1. Tangential (स्पर्शरेखीय),
  2. Radial (त्रिज्यीय), Axial (अक्षीय) और
  3. Mixed flow



Bhushan Kumar Nayak

पेल्टन व्हील/टरबाइन का निर्माण और कार्य

पेल्टन व्हील/टरबाइन में एक रोटर (Runner) होता है, जिसकी परिधि पर समान दूरी पर दोहरे अर्धगोलाकार (double hemispherical) या दोहरे दीर्घवृत्ताकार (double ellipsoidal) बकेट लगे होते हैं।

पानी को ऊँचाई से पेनस्टॉक (Penstock) के माध्यम से लाया जाता है, जो एक नोज़ल से जुड़ा होता है। नोज़ल से पानी उच्च वेग (high speed jet) के रूप में बाहर निकलता है।

नोज़ल के अंदर लगा **नीडल स्पीयर (Needle Spear)** पानी के प्रवाह को नियंत्रित करता है और साथ ही ऊर्जा हानि को कम रखते हुए जलधारा को सुचारु बनाता है।

जेट के बकेट से टकराने से पहले पानी की **संपूर्ण स्थितिज ऊर्जा (Potential Energy)** गतिज ऊर्जा (Kinetic Energy) में परिवर्तित हो जाती है।

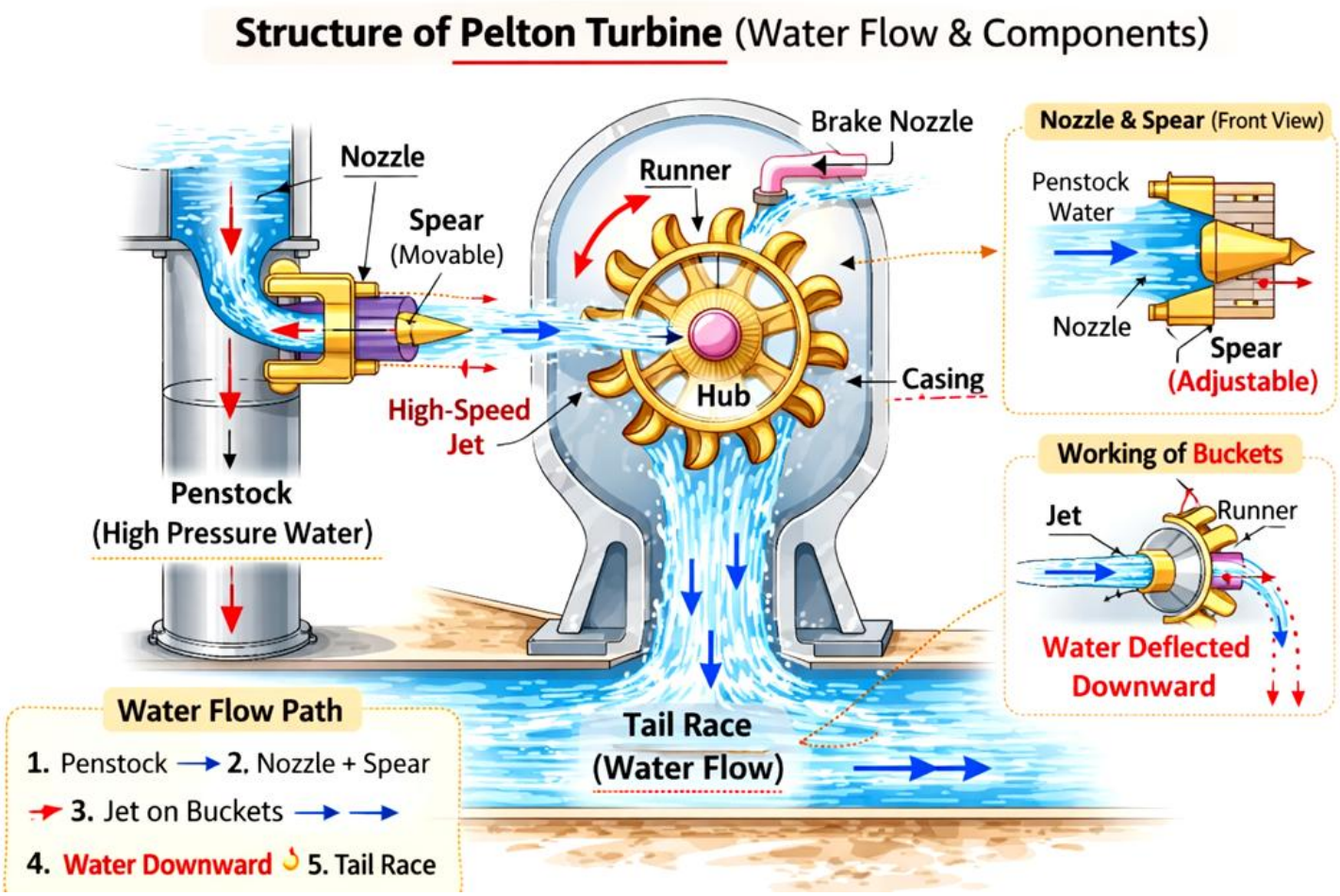
पूरे पहिए पर दाब वायुमंडलीय दाब के बराबर रहता है, इसलिए ऊर्जा का स्थानांतरण केवल **इम्पल्स (Impulse) क्रिया** से होता है।

टरबाइन को एक **केसिंग (Casing)** से ढका जाता है, जो पानी के छींटों को रोकता है और पानी को टेल रेस की ओर निकालता है।

यदि स्पीयर को आगे बढ़ाकर नोज़ल बंद किया जाए तो पानी की मात्रा कम हो जाती है, लेकिन रनर जड़त्व के कारण घूमता रहता है। उसे शीघ्र रोकने के लिए एक **ब्रेक नोज़ल (Brake Nozzle)** लगाया जाता है, जो बकेट की पीठ पर पानी की धारा भेजता है — इसे **ब्रेकिंग जेट** कहते हैं।

टरबाइन की गति को एक **गवर्निंग मैकेनिज्म (Governing Mechanism)** द्वारा नियंत्रित किया जाता है, जो लोड में परिवर्तन के अनुसार पानी की मात्रा को स्वचालित रूप से नियंत्रित करता है।

जेट बकेट के स्प्लिटर से टकराता है और दोनों भागों में विभाजित होकर लगभग 165°–170° कोण से मुड़ता है।



रिएक्शन टर्बाइन (Reaction Turbines)

Reaction turbine में स्थितिज (Potential) तथा गतिज (Kinetic) दोनों प्रकार की ऊर्जा का उपयोग किया जाता है।

जब पानी टर्बाइन के स्थिर भागों से गुजरता है, तब उसका दाब ऊर्जा गतिज ऊर्जा में पूर्ण रूप से नहीं बदलता।जब पानी चलती हुई ब्लेड (runner blades) में प्रवेश करता है, तब पानी के दबाव तथा दिशा में परिवर्तन होता है। जैसे-जैसे पानी अपनी ऊर्जा रनर को देता है, उसकी दाब (Pressure) और परम वेग (Absolute Velocity) दोनों कम हो जाते हैं।

रिएक्शन टर्बाइन में:

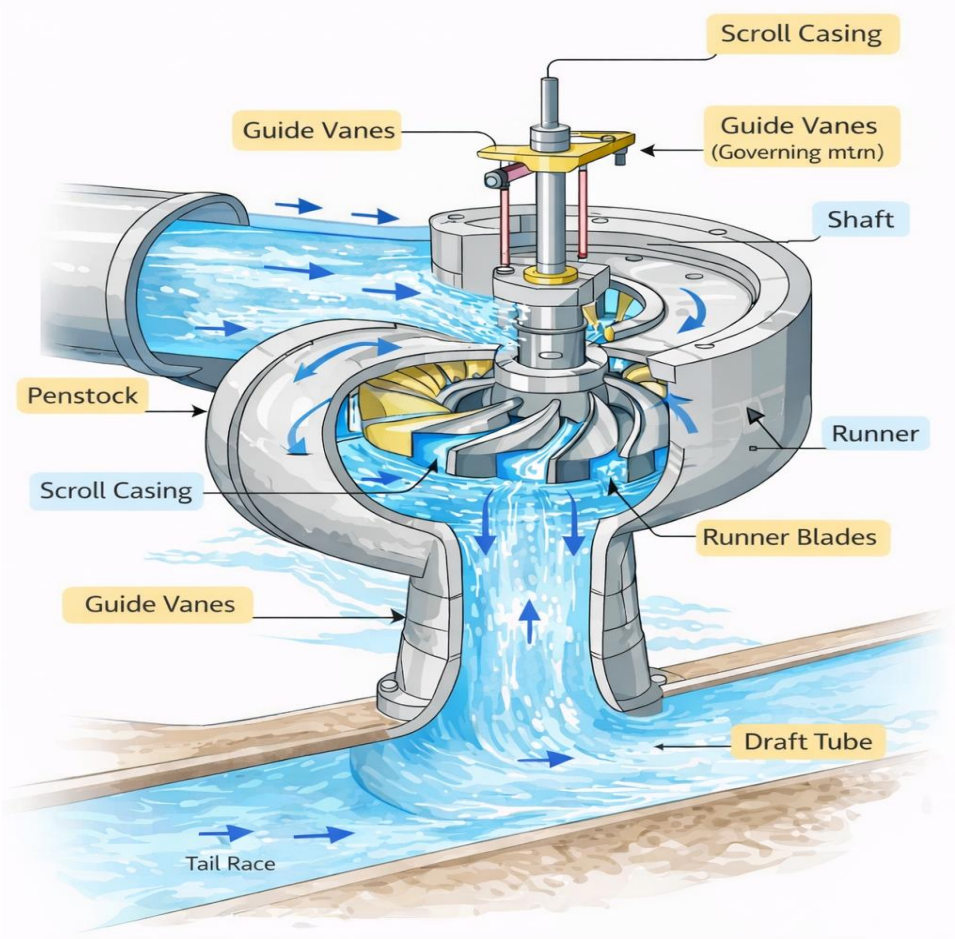
- रनर ब्लेड हमेशा वायुमंडलीय दाब से अधिक दबाव में रहते हैं।
- रनर के अंदर पानी हमेशा भरा रहता है।
- मुख्य रिएक्शन टर्बाइन के प्रकार
  - Francis Turbine
  - Kaplan Turbine
  - Propeller Turbine

➢ फ्रांसिस टर्बाइन (Francis Turbine)

फ्रांसिस टरबाइन एक प्रकार की रिएक्शन टरबाइन है, जिसका विकास जेम्स बी. फ्रांसिस (James B. Francis) द्वारा किया गया था।

इस टरबाइन का उपयोग मध्यम हेड (Medium Head) और मध्यम डिस्चार्ज (Medium Discharge) के लिए किया जाता है।

पानी रनर में प्रवेश करता है और पहिये के केंद्र की ओर रेडियल दिशा (Radial Direction) में बहता है, तथा टरबाइन की धुरी (Axis) के समानांतर दिशा में बाहर निकलता है।



❖ **फ्रांसिस टर्बाइन के मुख्य भाग:**

4. Penstock (पेनस्टॉक)

यह एक बड़े आकार की पाइप होती है जो बाँध (dam) या जलाशय (reservoir) से पानी को टर्बाइन के रनर तक पहुँचाती है।

5. Spiral / Scroll Casing (स्पाइरल या स्क्रोल केसिंग)

यह एक बंद मार्ग (closed passage) बनाता है जिसकी cross-sectional area धीरे-धीरे प्रवाह की दिशा में कम होती जाती है। जिसका प्रवेश (inlet) पर क्षेत्रफल अधिक, एवं निकास (exit) पर लगभग शून्य।

6. Guide Vanes / Wicket Gates (गाइड वेन्स / विकेट गेट्स)

ये ब्लेड पानी को उचित कोण (angle) पर रनर की ओर निर्देशित करती हैं। इनकी गति हाथ से या गवर्नर द्वारा नियंत्रित की जाती है।

7. Governing Mechanism (गवर्निंग तंत्र)

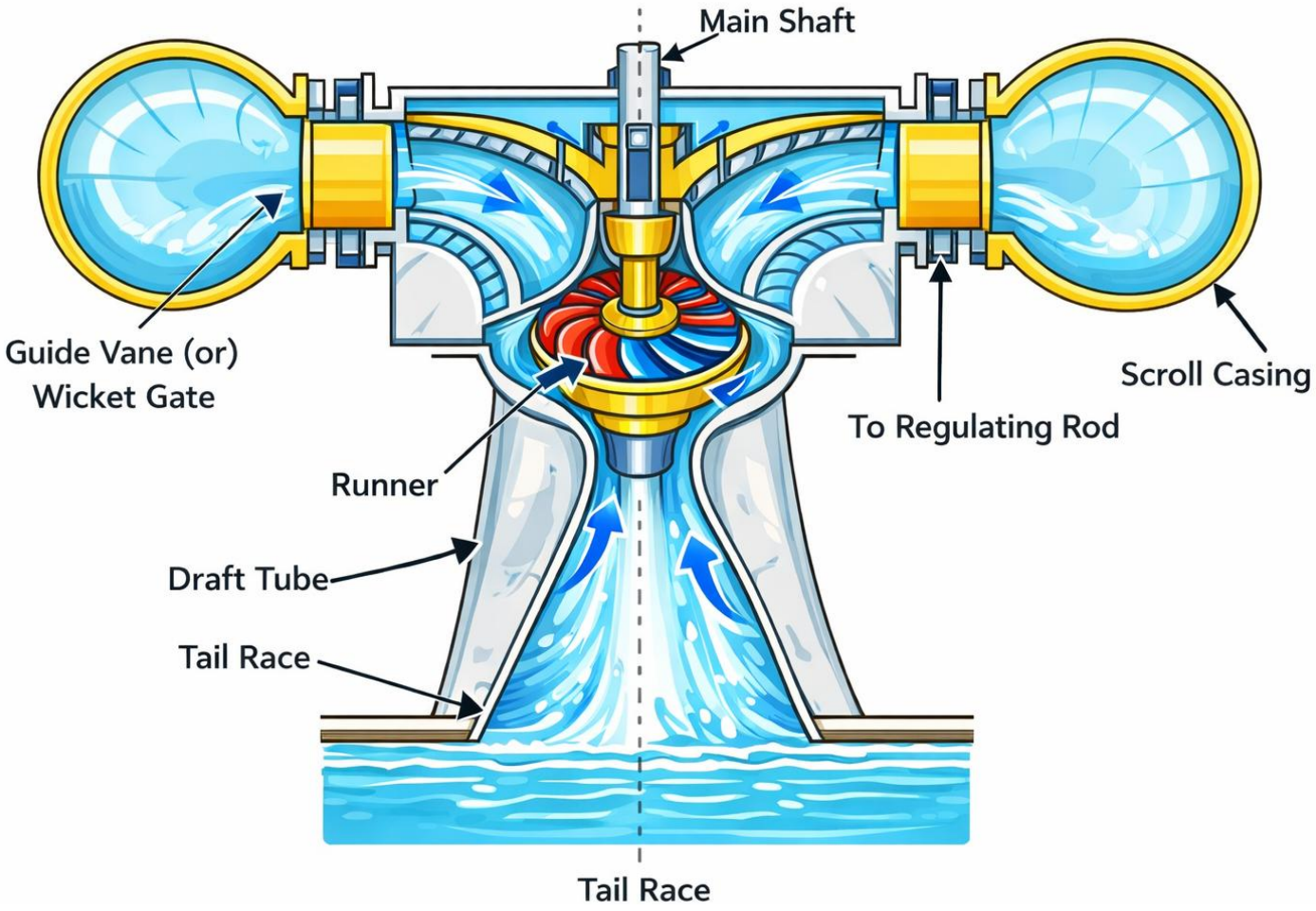
यह गाइड ब्लेड की स्थिति बदलकर पानी के प्रवाह को नियंत्रित करता है, जिससे लोड बदलने पर भी टर्बाइन सही गति से चल सके।

8. Runner and Runner Blades (रनर और ब्लेड)

रनर पर लगने वाला बल Impulse और Reaction दोनों प्रभावों से उत्पन्न होता है। रनर ब्लेड की संख्या सामान्यतः 16 से 24 के बीच होती है।

9. Draft Tube (ड्राफ्ट ट्यूब)

यह एक धीरे-धीरे फैलने वाली ट्यूब होती है जो रनर से गुजरने वाले पानी को टेल रेस (tail race) तक पहुँचाती है।



❖ **Francis Turbine का कार्य सिद्धांत**

आधुनिक फ्रांसिस टर्बाइन एक inward mixed flow reaction turbine है।

मुख्य विशेषताएँ:

- ↓ पानी दबाव में गाइड वेन्स से रनर में प्रवेश करता है।
- ↓ पानी का प्रवाह पहले रेडियल दिशा में और फिर अक्षीय (axial) दिशा में होता है।
- ↓ यह टर्बाइन मध्यम हेड (medium head) और मध्यम मात्रा के जल प्रवाह के लिए उपयुक्त है।
- ↓ ऊर्जा परिवर्तन

- ☞ पानी का कुछ हेड गतिज ऊर्जा में बदलता है।
- ☞ शेष भाग दबाव ऊर्जा (pressure energy) के रूप में रहता है।

↓ गाइड वेन और रनर के बीच दाब का अंतर रनर को घुमाता है — इसे ही Reaction Pressure कहते हैं।

↓ इसी कारण फ्रांसिस टर्बाइन को Reaction Turbine कहा जाता है।

दबाव का व्यवहार

टर्बाइन के inlet पर दबाव outlet से अधिक होता है। पानी हमेशा बंद मार्ग (closed conduit) में बहता है।

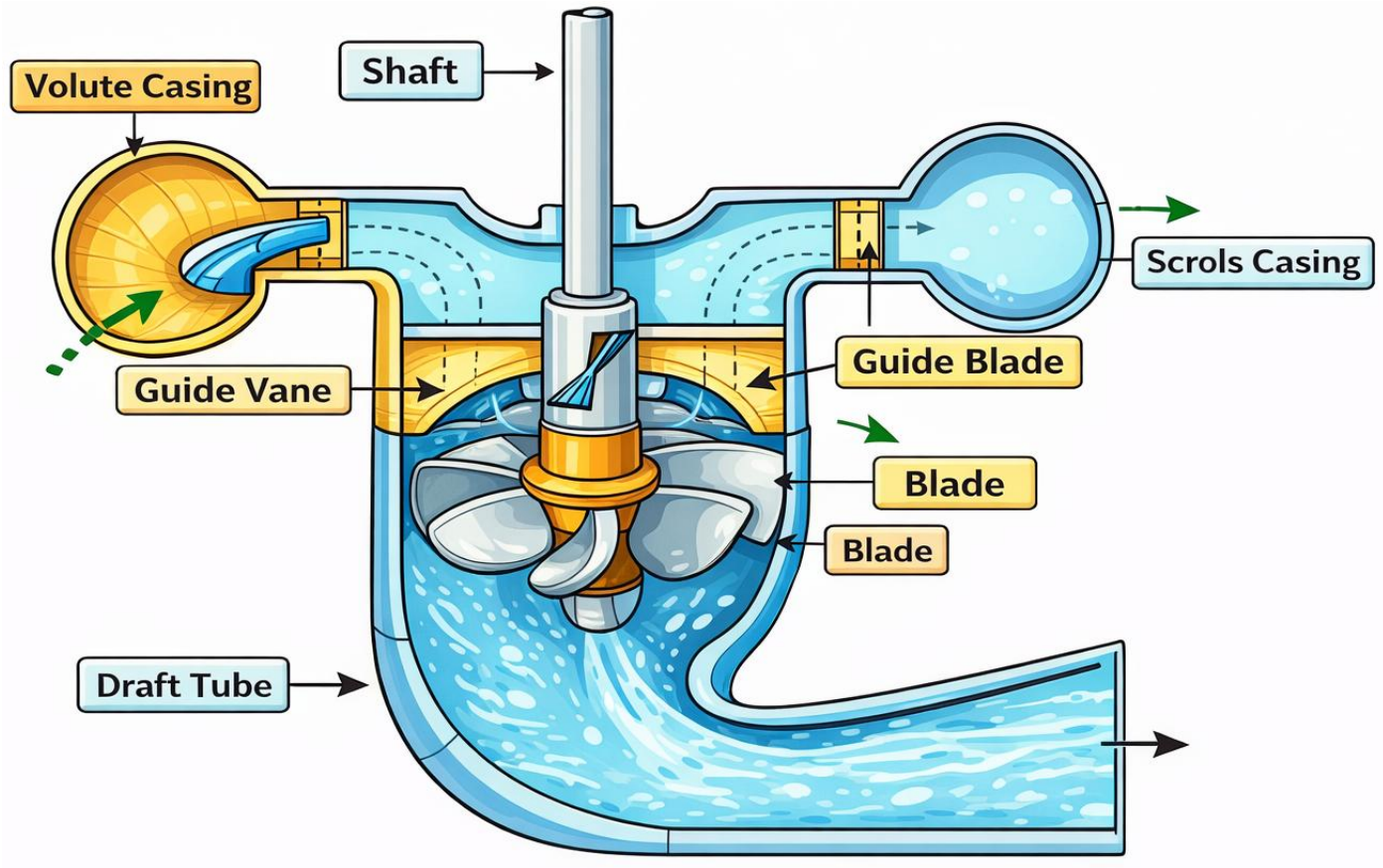
☞ **Draft Tube का महत्व**

- ✓ पानी को धीरे-धीरे विस्तार वाले पाइप से बाहर ले जाता है।
- ✓ ऊर्जा हानि कम होती है।
- ✓ पानी स्वतंत्र रूप से गिरता नहीं बल्कि नियंत्रित रूप से बहता है।

इम्पल्स टरबाइन और रिएक्शन टरबाइन का अंतर

पहलू	इम्पल्स टरबाइन	रिएक्शन टरबाइन
द्रव ऊर्जा का परिवर्तन	उपलब्ध द्रव ऊर्जा को नोज़ल द्वारा गतिज ऊर्जा (K.E.) में बदला जाता है।	द्रव की ऊर्जा का कुछ भाग रनर में प्रवेश करने से पहले ही गतिज ऊर्जा में बदल जाता है।
दाब और वेग में परिवर्तन	रनर पर पानी की क्रिया के दौरान दाब लगभग वायुमंडलीय और समान रहता है।	रनर में प्रवेश के बाद पानी के वेग और दाब दोनों में परिवर्तन होता है।
पहिए पर पानी का प्रवेश	पानी पहिए के कुछ भाग या पूरे परिधि पर प्रवेश कर सकता है।	पानी पूरे पहिए की परिधि पर प्रवेश करता है।
जलरोधी आवरण	आवश्यक है।	आवश्यक नहीं है।
पानी द्वारा पहिए को भरना	टरबाइन पूरी तरह भरी नहीं रहती और हवा को बाल्टियों तक स्वतंत्र पहुँच होती है।	पानी ब्लेड के बीच की सभी जगह भर देता है और काम करता है।
यूनिट की स्थापना	हमेशा टेल रेस के ऊपर स्थापित की जाती है, ड्राफ्ट ट्यूब का उपयोग नहीं होता।	टेल रेस के ऊपर या नीचे स्थापित की जा सकती है, ड्राफ्ट ट्यूब का उपयोग होता है।
पानी का सापेक्ष वेग	या तो स्थिर रहता है या घर्षण के कारण थोड़ा कम होता है।	दाब में निरंतर गिरावट के कारण सापेक्ष वेग बढ़ता है।
प्रवाह नियंत्रण	नोज़ल में लगी नीडल वाल्व द्वारा नियंत्रण किया जाता है; बिना हानि के संभव नहीं।	गाइड वेन असेंबली द्वारा नियंत्रण किया जाता है; हमेशा कुछ हानि होती है।

➢ Kaplan Turbine (कैपलान टर्बाइन)



कप्लान टर्बाइन (Kaplan turbine), फ्रांसिस टर्बाइन (Francis turbine) का ही एक विकसित रूप है। इसके आविष्कार ने **कम हेड (low-head)** वाले स्थानों पर भी कुशलतापूर्वक बिजली उत्पादन को संभव बनाया, जो फ्रांसिस टर्बाइन के साथ संभव नहीं था।

कप्लान टर्बाइन (Kaplan turbine) एक **प्रोपेलर-प्रकार (propeller-type)** का वॉटर टर्बाइन है जिसमें **एडजस्टेबल ब्लेड्स (adjustable blades)** होते हैं। इसका विकास 1913 में ऑस्ट्रियाई प्रोफेसर **विक्टर कप्लान** द्वारा किया गया था। उन्होंने ऑटोमैटिक रूप से एडजस्ट होने वाले प्रोपेलर ब्लेड्स को ऑटोमैटिक **विकेट गेट्स (wicket gates)** के साथ जोड़ा, ताकि पानी के प्रवाह (flow) और जल स्तर की एक विस्तृत श्रृंखला (wide range) में उच्च दक्षता (efficiency) प्राप्त की जा सके।

❖ कप्लान टर्बाइन के मुख्य भाग) Components of Kaplan Turbine)

कप्लान टर्बाइन के मुख्य घटकों में रनर (या इम्पेलर), हब, ड्राफ्ट ट्यूब, रनर ब्लेड्स, शाफ्ट और गाइड ब्लेड्स शामिल हैं।

1. **रनर ब्लेड्स (Runner Blades)**

रनर ब्लेड्स इस टर्बाइन के आवश्यक अंग हैं, जो देखने में एक **प्रोपेलर** (जहाज के पंखे) के समान होते हैं। अन्य 'एक्सियल फ्लो' (Axial flow) टर्बाइनों की तुलना में, इनके ब्लेड समतल नहीं होते बल्कि **मुड़े हुए (Twisted)** होते हैं ताकि पानी प्रवेश से निकास तक सही ढंग से बह सके। जब पानी इन ब्लेडों से टकराता है, तो वे घूमने लगते हैं, जिससे शाफ्ट भी घूमने लगता है।

2. **हब (Hub)**

इस टर्बाइन का शाफ्ट ऊर्ध्वाधर (Vertical) होता है। शाफ्ट के निचले सिरे को बड़ा और गोलाकार बनाया जाता है, जिसे '**हब**' **(Hub)** कहते हैं। टर्बाइन के ब्लेड इसी हब पर लगे होते हैं, जो ब्लेडों के रोटेशन को नियंत्रित करते हैं।

3. **शाफ्ट (Shaft)**

टर्बाइन में शाफ्ट का एक सिरा रनर से जुड़ा होता है, जबकि दूसरा सिरा **जनरेटर कॉइल** से जुड़ा होता है। जब ब्लेडों के घूमने से रनर घूमता है, तो शाफ्ट भी घूमने लगता है और यह गति जनरेटर तक पहुँचती है। जनरेटर घूमने पर बिजली (Electricity) पैदा होती है। शाफ्ट को 'स्ट्रक्चरल स्टील' से बनाया जाता है क्योंकि यह 1800 rpm से 3600 rpm की उच्च गति पर घूमता है।

4. **गाइड वेन्स (Guide Vanes)**

गाइड वेन टर्बाइन का **नियंत्रण घटक (Regulating component)** है जो बिजली की आवश्यकता के आधार पर खुलता और बंद होता है। ये पानी के प्रवाह को नियंत्रित करने के लिए एक सटीक कोण पर मुड़ते हैं। यदि बिजली की मांग अधिक है, तो ये अधिक खुलते हैं ताकि अधिक पानी टकरा सके। इनके बिना टर्बाइन कुशलतापूर्वक कार्य नहीं कर सकता।

5. **रनर या इम्पेलर (Runner)**

रनर टर्बाइन का घूमने वाला हिस्सा है जो बिजली पैदा करने में मदद करता है। टर्बाइन ब्लेड पर पानी का **अक्षीय प्रवाह (Axial flow)** इम्पेलर को घुमाता है, जिससे शाफ्ट घूमता है।

6. **ब्लेड नियंत्रण तंत्र (Mechanism of Blade Control)**

टर्बाइन के ब्लेड हब से एक गतिशील धुरी (Movable axis) द्वारा जुड़े होते हैं। यह तंत्र पानी के टकराते समय '**अटैक एंगल' (Angle of attack)** को नियंत्रित करता है, जिससे टर्बाइन की दक्षता बढ़ जाती है।

7. **स्क्रॉल केसिंग या वॉल्यूट केसिंग (Scroll Casing)**

पूरा टर्बाइन एक घुमावदार केसिंग से घिरा होता है जो धीरे-धीरे संकरा होता जाता है। पानी पहले पेनस्टॉक से इस केसिंग में आता है, फिर गाइड वेन्स के क्षेत्र में जाता है। केसिंग आंतरिक भागों (इम्पेलर, गाइड वेन) को बाहरी क्षति से बचाती है।

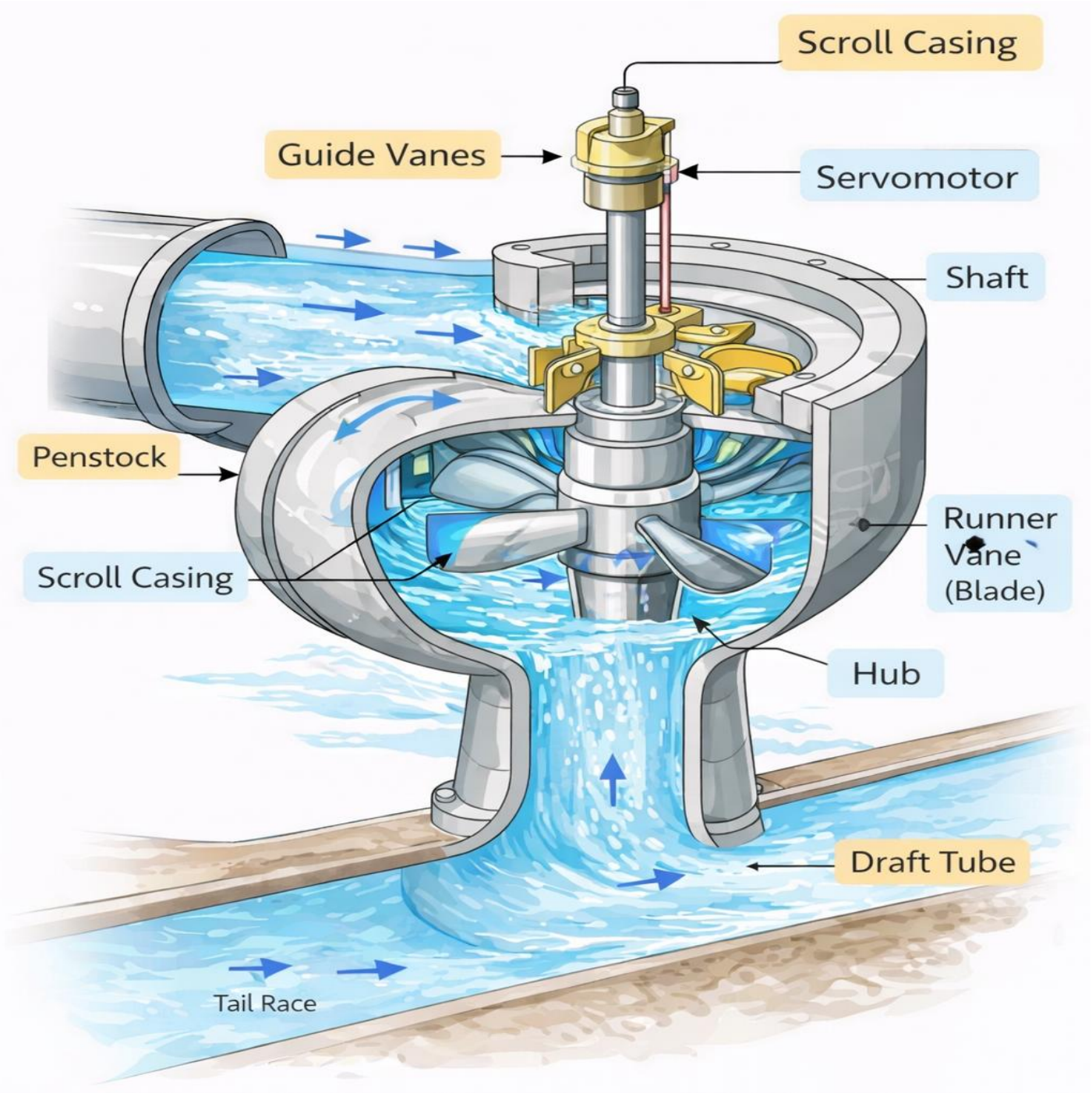
8. **ड्राफ्ट ट्यूब (Draft Tube)**

टर्बाइन के रनर के निकास (Exit) पर उपलब्ध बल आमतौर पर वायुमंडलीय दबाव (Atmospheric force) से कम होता है। इसलिए, निकास के पानी को सीधे **टेलरेस (Tailrace)** में नहीं छोड़ा जा सकता। पानी को डिस्चार्ज करने के लिए एक ट्यूब का उपयोग किया जाता है जिसका क्षेत्रफल धीरे-धीरे बढ़ता है, इसे **ड्राफ्ट ट्यूब (Draft tube)** कहते हैं। ड्राफ्ट ट्यूब का एक सिरा रनर के निकास से जुड़ा होता है जबकि दूसरा सिरा टेलरेस के पानी में डूबा रहता है। ड्राफ्ट ट्यूब का उपयोग केवल **प्रतिक्रिया टर्बाइन (Reaction turbine)** में किया जाता है।

❖ कार्यप्रणाली (Working)

पेनस्टॉक से बहने वाला पानी टर्बाइन की स्क्रॉल केसिंग में प्रवेश करता है, जिसे इस तरह बनाया जाता है कि प्रवाह का दबाव कम न हो। गाइड वेन्स पानी को रनर ब्लेड्स की ओर धकेलती हैं। पानी की दिशा रनर ब्लेड्स की ओर अक्षीय (Axial) करने के लिए इसे 90 डिग्री घुमाया जाता है।

जब पानी रनर ब्लेड्स से टकराता है, तो पानी के **प्रतिक्रिया बल (Reaction force)** के कारण यह घूमने लगता है। ये ब्लेड पूरी लंबाई में मुड़े (Twisted) होते हैं ताकि हर क्रॉस-सेक्शन पर अधिकतम दक्षता के लिए सही अटैक एंगल बना रहे। रनर ब्लेड्स से पानी ड्राफ्ट ट्यूब में प्रवेश करता है जहाँ इसकी गतिज ऊर्जा (Kinetic energy) कम हो जाती है। जब गतिज ऊर्जा **दबाव ऊर्जा (Pressure energy)** में बदल जाती है, तो पानी का दबाव बढ़ जाता है। टर्बाइन के घूमने का उपयोग बिजली उत्पादन के लिए जनरेटर के शाफ्ट को घुमाने में किया जाता है।"


Scroll Casing
Guide Vanes
Servomotor
Shaft
Penstock
Runner Vane (Blade)
Scroll Casing
Hub
Draft Tube
Tail Race

UNIT-5
Pumps

➢ परिचय (Introduction)

Pump एक ऐसी मशीन है जो द्रव (fluid) को ऊर्जा प्रदान करती है। यह द्रव की: दाब ऊर्जा (Pressure Energy) गतिज ऊर्जा (Kinetic Energy) या दोनों को बढ़ाती है, और यह काम यांत्रिक ऊर्जा (Mechanical Energy) को द्रव ऊर्जा में बदलकर किया जाता है।

☞ Turbine और Pump में अंतर

Turbine - प्रवाह उच्च दाब → निम्न दाब Decelerated flow

Pump - प्रवाह निम्न दाब → उच्च दाब Accelerated flow

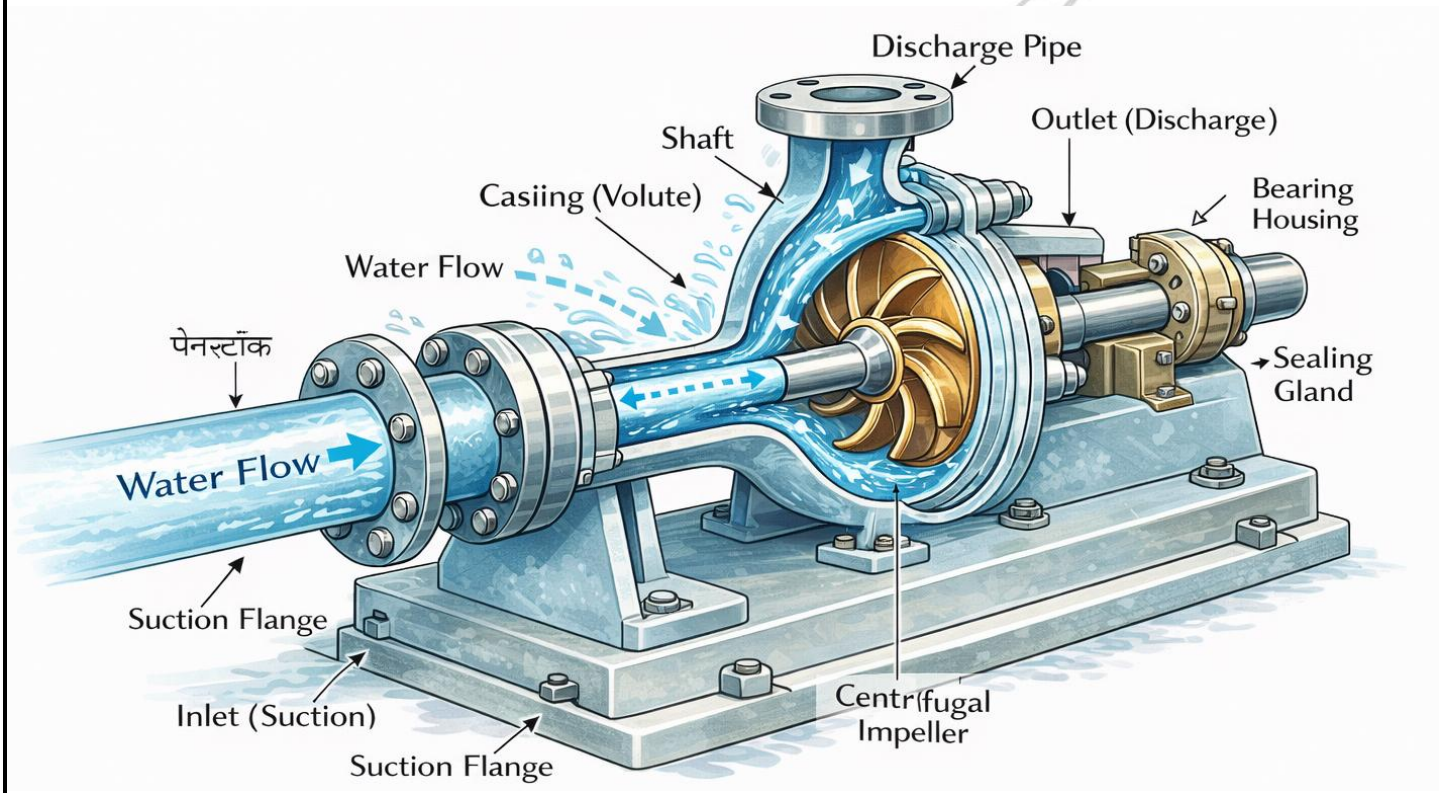
❖ पम्पों का वर्गीकरण (Classification of Pumps)

1. यांत्रिक ऊर्जा के स्थानांतरण के आधार पर:
    a. Rotodynamic Pumps
        i. Radial flow pump
        ii. Axial flow pump
        iii. Mixed flow pump
    b. Positive Displacement Pumps

➡*Rotodynamic Pump में ऊर्जा वृद्धि Centrifugal energy, Pressure energy, Kinetic energy के संयुक्त प्रभाव से ऊर्जा बढ़ती है।*

2. Flow के आधार पर अंतर
    a. Radial flow pump → प्रवाह रेडियल दिशा में
    b. Axial flow pump → प्रवाह अक्षीय दिशा में
    c. Mixed flow pump → रेडियल + अक्षीय दोनों

➡*Radial flow pumps को सामान्यतः Centrifugal Pump कहा जाता है।*



Bhushan Kumar Nayak

➢ Centrifugal Pumps (सेंट्रीफ्यूगल पम्प)

Centrifugal Pump के मुख्य भाग (Component Parts)

1. Impeller (इम्पेलर)

यह एक घूमने वाला पहिया (rotor) है जिसमें curved vanes लगे होते हैं।

Impeller के प्रकार

i. Closed / Shrouded Impeller- दोनों तरफ cover plate होती है, अधिक efficiency, साफ पानी के लिए
ii. Semi-open Impeller - केवल base plate, थोड़ा debris वाले liquid के लिए
iii. Open Impeller - कोई side plate नहीं, गंदे पानी, sewage, pulp आदि के लिए

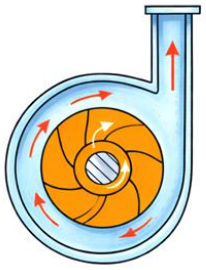
2. Casing (केसिंग)

यह एक airtight chamber है जो impeller को घेरता है। मुख्य कार्य: -

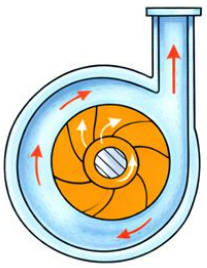
- पानी को impeller तक मार्गदर्शन देना,
- kinetic energy को pressure energy में बदलना

Casing के प्रकार

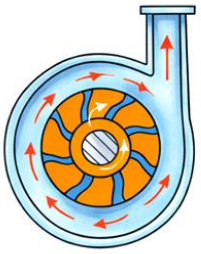
a. Volute Casing-
   (i) Flow area धीरे-धीरे बढ़ता है
   (ii) Velocity कम होती है
   (iii)Pressure बढ़ता है


Volute Casing

b. Vortex Casing –
   (i) Impeller और volute के बीच circular chamber
   (ii) Kinetic energy → pressure energy
   (iii) Efficiency अधिक


Vortex Casing

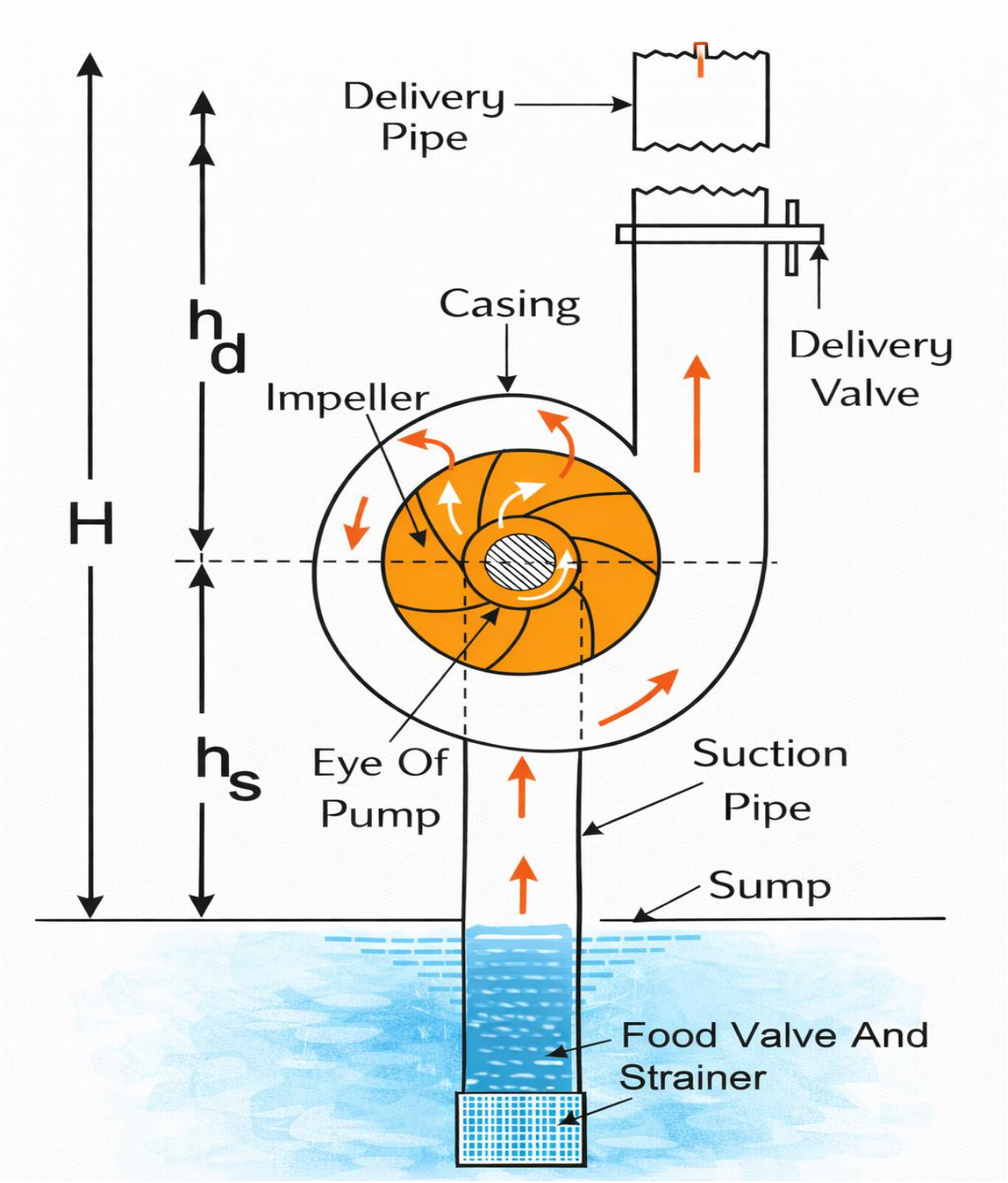
c. Guide blade Casing-
   (i) Guide vanes लगे होते हैं
   (ii) Velocity घटती है pressure बढ़ता है
   (iii) Efficiency अधिक लेकिन cost भी अधिक


Guide Blade Casing

3. Suction Pipe (सक्शन पाइप)
   - ☞ Sump से पानी impeller तक लाता है
   - ☞ Air-tight होना चाहिए
   - ☞ नीचे strainer लगाया जाता है
   - ☞ Foot valve backflow रोकता है
   - ☞ Priming में मदद करता है

4. Delivery Pipe (डिलीवरी पाइप)
   - ☞ Pump outlet से जुड़ी होती है
   - ☞ पानी को आवश्यक ऊँचाई तक पहुँचाती है
   - ☞ Flow control के लिए valve लगा होता है।

➡*Impeller Material सम्बन्धी बातें - साफ पानी → Cast iron, Corrosion वाले liquid → Stainless steel / Gun metal, गर्म पानी (>150°C) → Special packing, Acid → corrosion resistant coating, दूध उद्योग → Stainless steel.*



- **Centrifugal Pump का कार्य सिद्धांत (Working)**

Principle: जब द्रव को घुमाया जाता है तो वह केंद्र से दूर फेंका जाता है और ऊँचाई तक उठता है।

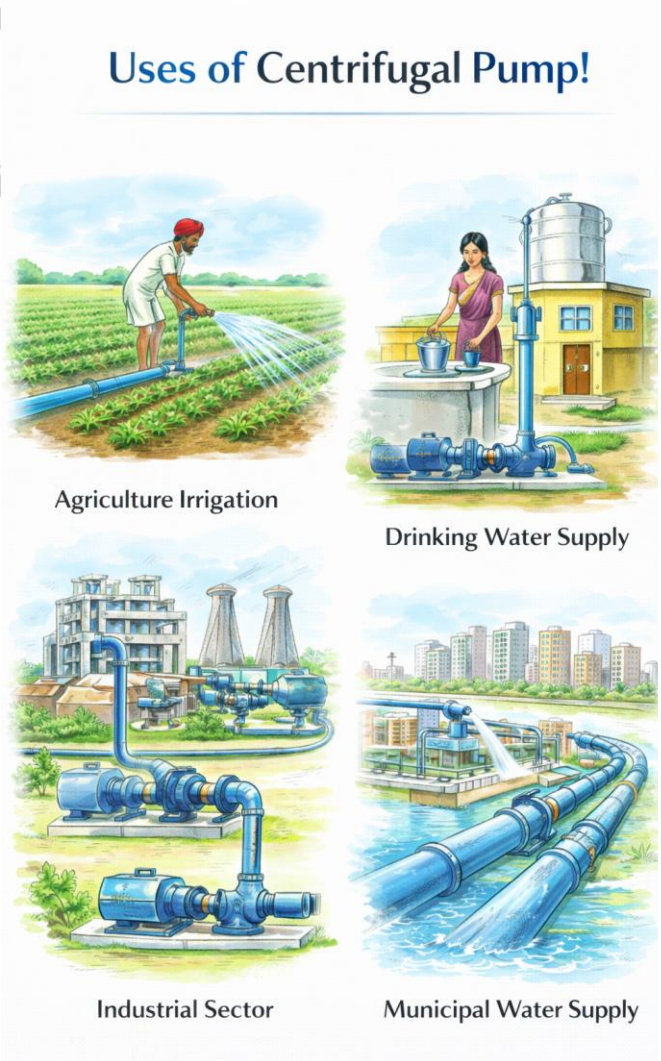
Working Steps

- Delivery valve बंद करके pump की priming की जाती है।
- Motor चालू करके impeller घुमाया जाता है।
- Impeller की speed धीरे-धीरे बढ़ती है।
- Normal speed पर delivery valve खोला जाता है।
- पानी suction pipe से impeller के eye में प्रवेश करता है
- Vanes द्वारा बाहर फेंका जाता है
- Casing में Kinetic energy → pressure energy में बदलती है।
- जब तक impeller घूमता है lifting लगातार होती रहती है।
- Pump बंद करते समय पहले delivery valve बंद किया जाता है।

- **Centrifugal Pump के प्रकार (Classification)**

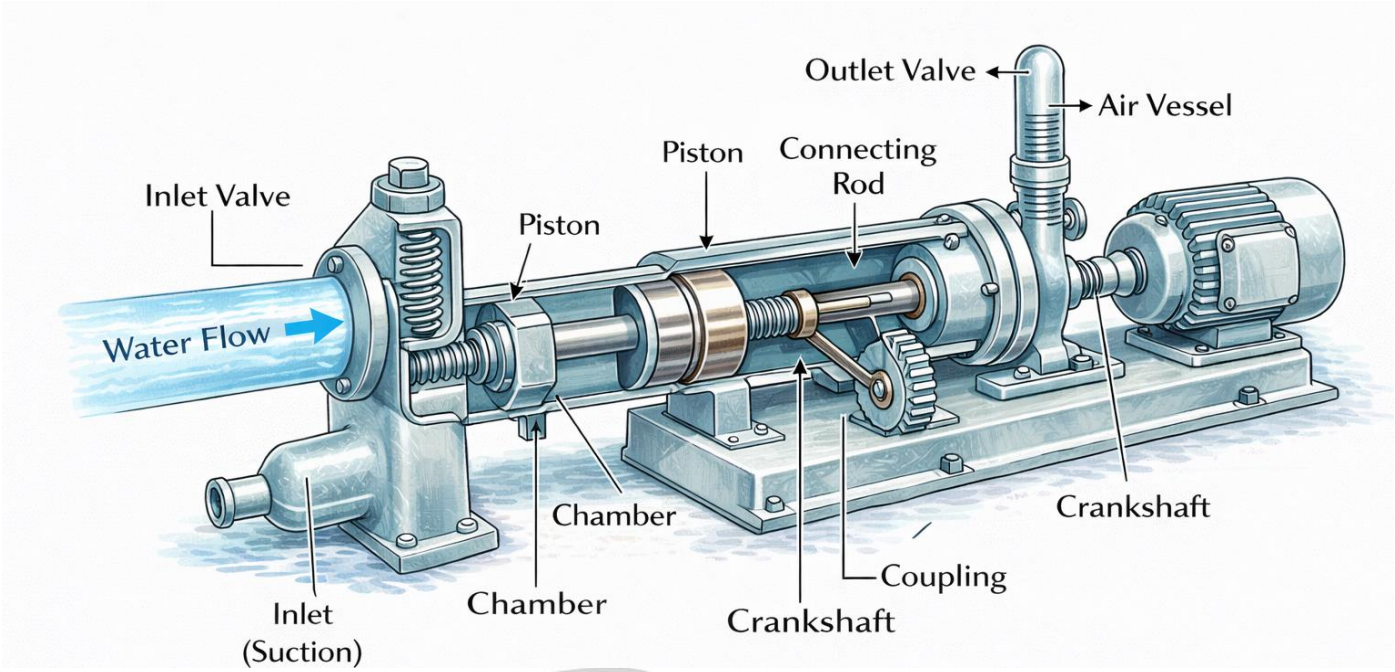
1. Casing के आधार पर
    a. Volute pump
    b. Diffusion (Turbine) pump
2. Working Head के आधार पर प्रकार
    a. Low lift 15 m तक
    b. Medium lift 40 m तक
    c. High lift 40 m से अधिक
3. Impeller के आधार पर
    a. Closed impeller pump
    b. Semi-open impeller pump
    c. Open impeller pump
4. Impeller की संख्या के आधार पर
    a. Single stage → एक impeller
    b. Multi-stage → दो या अधिक impellers
5. Entry के आधार पर
    a. Single suction pump
    b. Double suction pump (दोनों तरफ से पानी प्रवेश)
6. Flow दिशा के आधार पर
    a. Radial flow pump
    b. Axial flow pump
    c. Mixed flow pump

- **Centrifugal Pump के फायदे (Advantages)**
    - ✓ लागत कम
    - ✓ Installation व maintenance आसान
    - ✓ अधिक discharge क्षमता
    - ✓ आकार छोटा और हल्का
    - ✓ Performance बेहतर
    - ✓ गाढ़े (viscous) liquid भी पम्प कर सकता है



BKN Bhushan Kum

➢ Reciprocating Pump – प्रतिगामी पंप



❖ **परिचय (Reciprocating Pump – प्रतिगामी पंप)**

प्रतिगामी पंप एक पॉज़िटिव डिस्प्लेसमेंट पंप होता है। यह तरल को चूसकर और उठाकर कार्य करता है, जिसमें पिस्टन/प्लंजर एक अच्छे से फिट सिलेंडर के अंदर आगे-पीछे (reciprocating) गति करता है। पंप द्वारा निकाले गए तरल की मात्रा पिस्टन द्वारा विस्थापित (displaced) किए गए आयतन के बराबर होती है।

डिस्क पिस्टन वाले पंप लगभग 25 bar तक दाब (pressure) उत्पन्न कर सकते हैं, जबकि प्लंजर पंप इससे भी अधिक दाब बना सकते हैं। इन पंपों का डिस्चार्ज (प्रवाह) मुख्य रूप से पंप की गति (speed) पर निर्भर करता है।

प्रतिगामी पंप की कुल दक्षता (efficiency) समान क्षमता वाले केन्द्रापसारक (centrifugal) पंप की तुलना में लगभग 10 से 20% अधिक होती है।

औद्योगिक उपयोग में प्रतिगामी पंप धीरे-धीरे कम उपयोग में आने लगे हैं, क्योंकि उनकी प्रारंभिक लागत (capital cost) और रख-रखाव लागत (maintenance cost) केन्द्रापसारक पंपों की तुलना में अधिक होती है। फिर भी, हाथ से चलने वाले पंप जैसे – साइकिल पंप, फुटबॉल पंप, केरोसिन पंप, गाँवों के कुएँ के पंप तथा हाइड्रोलिक जैक में प्रयुक्त पंप – आज भी व्यापक रूप से उपयोग किए जाते हैं।

प्रतिगामी पंप कम डिस्चार्ज (small capacity) और अधिक हेड (high head) के लिए सबसे उपयुक्त माना जाता है। यह प्रकार का पंप तेल ड्रिलिंग (oil drilling) कार्यों में भी बहुत सामान्य है।

प्रतिगामी पंप के मुख्य उपयोग:

- ✓ हल्के तेल की पम्पिंग
- ✓ छोटे बॉयलरों में कंडेन्सेट रिटर्न फीड करना
- ✓ न्यूमैटिक प्रेशर सिस्टम में

Bhushan Kumar Nayak

प्रतिगामी पंपों का वर्गीकरण (Classification of Reciprocating Pumps)

प्रतिगामी पंपों का वर्गीकरण निम्न प्रकार से किया जाता है:

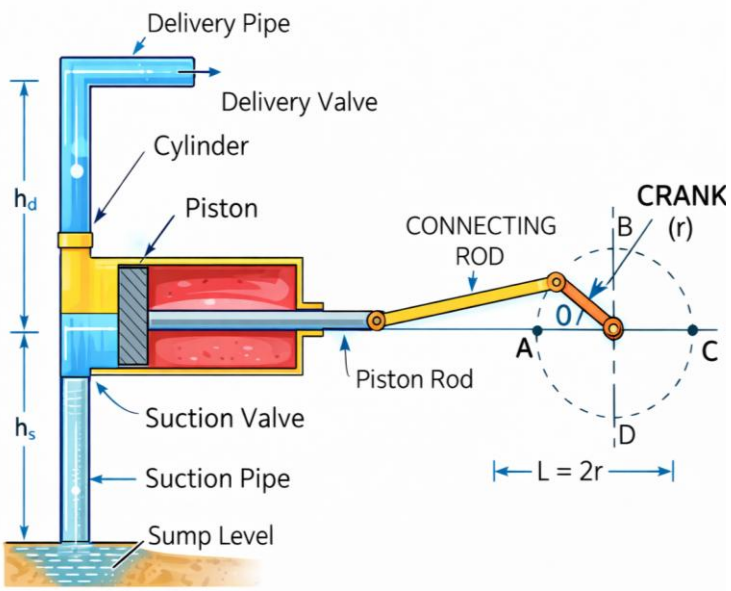
1. पिस्टन के संपर्क में आने वाले पानी के आधार पर
   - ii. Single-acting pump (सिंगल एक्टिंग पंप) – इसमें पानी पिस्टन की केवल एक तरफ संपर्क में रहता है।
   - iii. Double-acting pump (डबल एक्टिंग पंप) – इसमें पानी पिस्टन की दोनों तरफ संपर्क में रहता है।
3. सिलेंडरों की संख्या के आधार पर
   - i. सिंगल सिलेंडर पंप
   - ii. डबल सिलेंडर पंप (या two throw pump)
   - iii. ट्रिपल सिलेंडर पंप (या three throw pump)
   - iv. डुप्लेक्स डबल-एक्टिंग पंप (या four throw pump)
   - v. क्विंटुप्लेक्स पंप (या five throw pump)

सामान्यतः, जिन प्रतिगामी पंपों में एक से अधिक सिलेंडर होते हैं, उन्हें मल्टी-सिलेंडर पंप कहा जाता है।

प्रतिगामी पंप के मुख्य भाग तथा कार्य (Main Components and Working)

प्रतिगामी पंप के मुख्य भाग निम्नलिखित हैं:

1. सिलेंडर (Cylinder)
2. पिस्टन (Piston)
3. सक्शन वाल्व (Suction valve)
4. डिलिवरी वाल्व (Delivery valve)
5. सक्शन पाइप (Suction pipe)
6. डिलिवरी पाइप (Delivery pipe)
7. क्रैंक एवं कनेक्टिंग रॉड तंत्र, जो किसी शक्ति स्रोत जैसे स्टीम इंजन, आई.सी. इंजन या इलेक्ट्रिक मोटर से चलाया जाता है



सिंगल-एक्टिंग प्रतिगामी पंप का कार्य (Working of a Single-Acting Reciprocating Pump)

चित्र के अनुसार, सिंगल-एक्टिंग प्रतिगामी पंप में एक सक्शन पाइप और एक डिलिवरी पाइप होता है। इसे सामान्यतः सम्प (sump) में द्रव स्तर के ऊपर लगाया जाता है। जब क्रैंक घूमता है, तो पिस्टन सिलेंडर के अंदर आगे-पीछे गति करता है। पंप का कार्य इस प्रकार होता है

- प्रारंभ में मान लें कि क्रैंक Inner Dead Centre (I.D.C.) पर है और क्रैंक घड़ी की दिशा में घूमता है।
- क्रैंक के घूमने पर पिस्टन दाईं ओर चलता है, जिससे सिलेंडर में वैक्यूम (दाब में कमी) बनता है।
- इस कारण सक्शन वाल्व खुल जाता है और तरल सक्शन पाइप से सिलेंडर में प्रवेश करता है। इसे सक्शन स्ट्रोक कहते हैं।
- जब पिस्टन उल्टी दिशा में चलता है, तो तरल पर दाब बढ़ता है, सक्शन वाल्व बंद हो जाता है और डिलिवरी वाल्व खुल जाता है।
- इसके बाद तरल डिलिवरी पाइप से बाहर निकलता है। इसे डिलिवरी स्ट्रोक कहते हैं।

➢ सबमर्सिबल पंप (Submersible Pump)

परिचय (Introduction)

सबमर्सिबल पंप ऐसा पंप होता है जो पूरी तरह पानी या तरल के अंदर डूबकर काम करता है। "Submersible" शब्द का अर्थ है — डूबा हुआ (immersed)।

यह पंप सामान्यतः बोरवेल, गहरे कुएँ, जल आपूर्ति, सिंचाई और उद्योगों में उपयोग किया जाता है। इसमें मोटर और पंप एक ही यूनिट में जुड़े होते हैं और दोनों पानी के अंदर रहते हैं।

❖ मुख्य विशेषता

1. पंप को पानी के अंदर स्थापित किया जाता है
2. सक्शन की आवश्यकता नहीं होती
3. पानी को नीचे से ऊपर push किया जाता है (खींचा नहीं जाता)

❖ सबमर्सिबल पंप की परिभाषा

सबमर्सिबल पंप वह विद्युत चालित पंप है जिसमें मोटर और पंप एक सीलबंद (sealed) यूनिट में होते हैं और जो पूरी तरह तरल में डूबकर पानी को उच्च स्तर तक पहुँचाता है।

❖ सबमर्सिबल पंप का निर्माण (Construction)

सबमर्सिबल पंप कई भागों से मिलकर बनता है। नीचे प्रत्येक भाग का विस्तार से वर्णन दिया गया है।

1. इलेक्ट्रिक मोटर (Electric Motor)
   - i. यह पंप का शक्ति स्रोत होता है।
   - ii. मोटर पूर्णतः वॉटरप्रूफ और सीलबंद होती है ताकि पानी अंदर न जाए।
   - iii. आम तौर पर AC induction motor उपयोग की जाती है।
   - iv. मोटर शाफ्ट पंप के इम्पेलर को घुमाती है।
2. इम्पेलर (Impeller)
   - i. यह घूमने वाला पंखे जैसा भाग होता है।
   - ii. पानी को वेग (velocity) देता है।
   - iii. केन्द्रापसारक बल (centrifugal force) उत्पन्न करता है।

   कार्य:

   पानी को नीचे से खींचकर बाहर की ओर फेंकना जिससे दबाव बनता है।
3. डिफ्यूज़र (Diffuser)
   - i. इम्पेलर के बाद लगा स्थिर भाग।
   - ii. पानी के वेग को दबाव में बदलता है।
4. पंप शाफ्ट (Pump Shaft)
   - i. मोटर और इम्पेलर को जोड़ता है।
   - ii. मोटर की घूर्णन गति को पंप तक पहुंचाता है।
5. कपलिंग (Coupling)
   - i. मोटर शाफ्ट और पंप शाफ्ट को जोड़ने वाला भाग।
6. सील (Mechanical Seal)
   - i. पानी को मोटर के अंदर जाने से रोकता है।
   - ii. लीकेज रोकने में बहुत महत्वपूर्ण।

BKN Bhushan Kumar Nayak

7. सक्शन स्ट्रेनर (Suction Strainer)

i. जालीदार फिल्टर होता है।

ii. मिट्टी, कंकड़, रेत आदि को अंदर जाने से रोकता है।

8. डिलिवरी पाइप (Delivery Pipe)

i. पानी को ऊपर सतह तक ले जाने वाली पाइप।

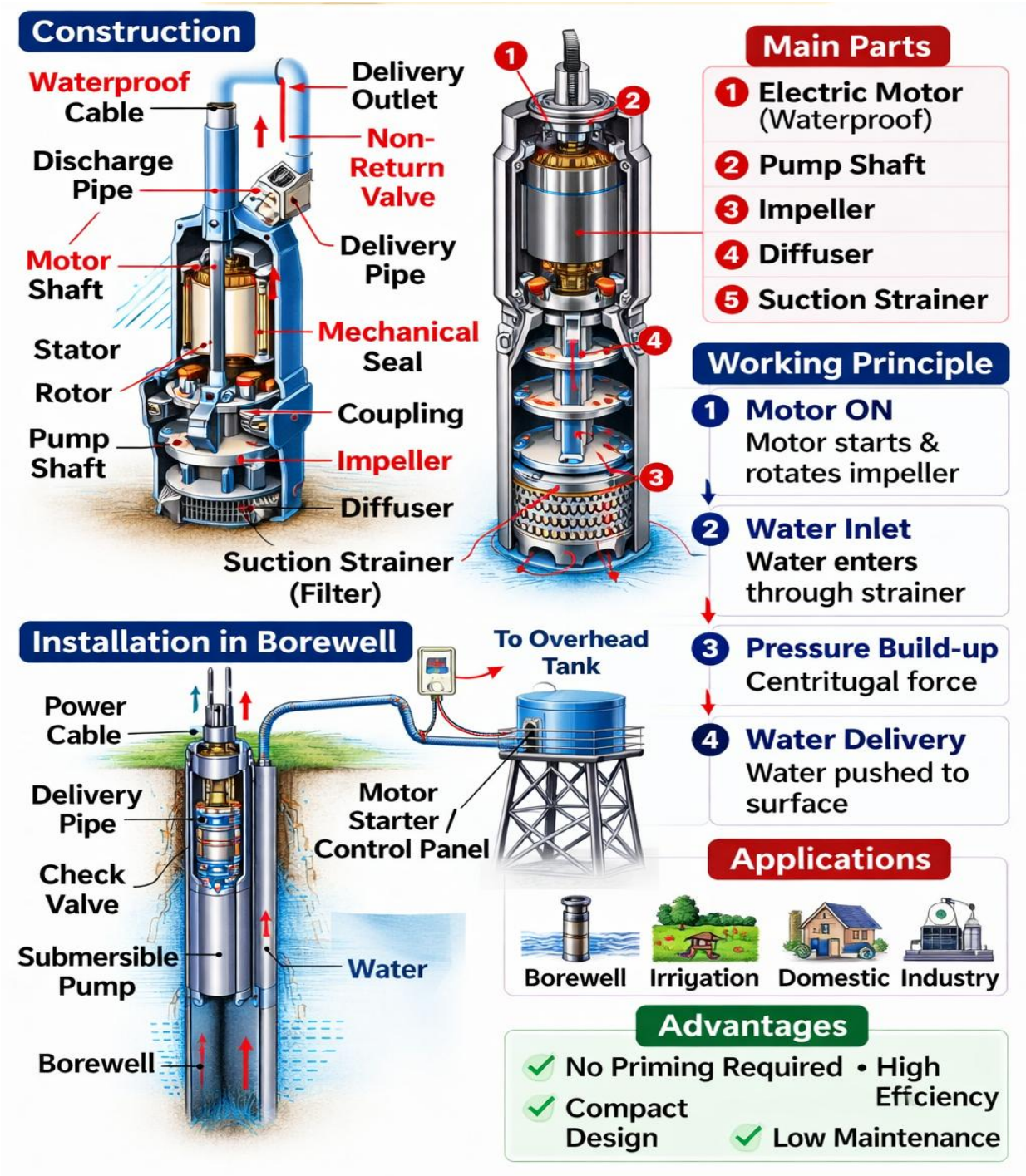
9. केबल (Waterproof Cable)

i. मोटर को बिजली की आपूर्ति करती है।

ii. विशेष इंसुलेटेड होती है।

10. चेक वाल्व (Non-Return Valve)

i. पानी को वापस नीचे जाने से रोकता है।



सबमर्सिबल पंप का कार्य सिद्धांत (Working Principle)

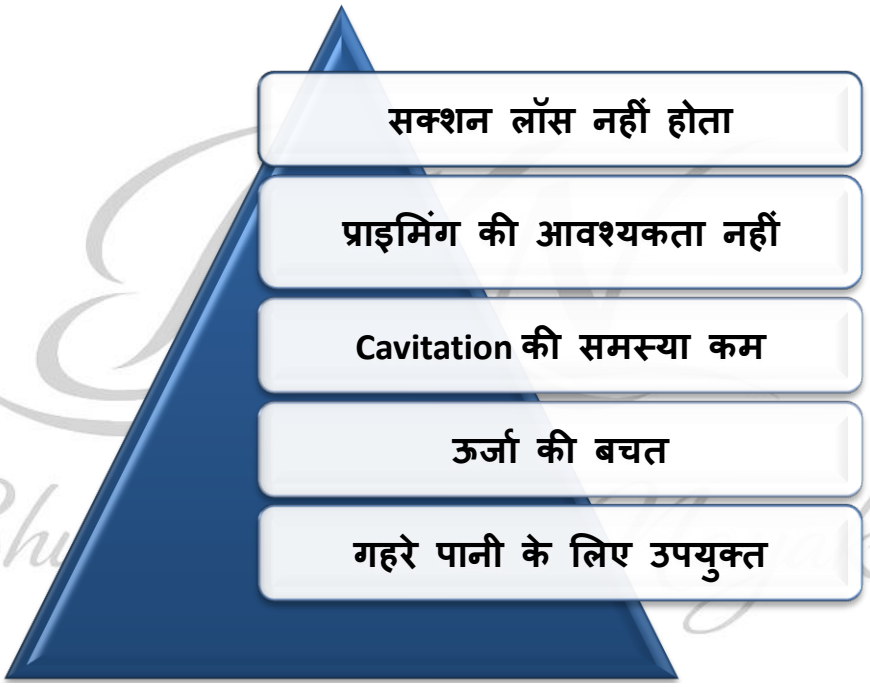
सबमर्सिबल पंप का कार्य Centrifugal Pump Principle पर आधारित होता है।

Step-by-Step Working:

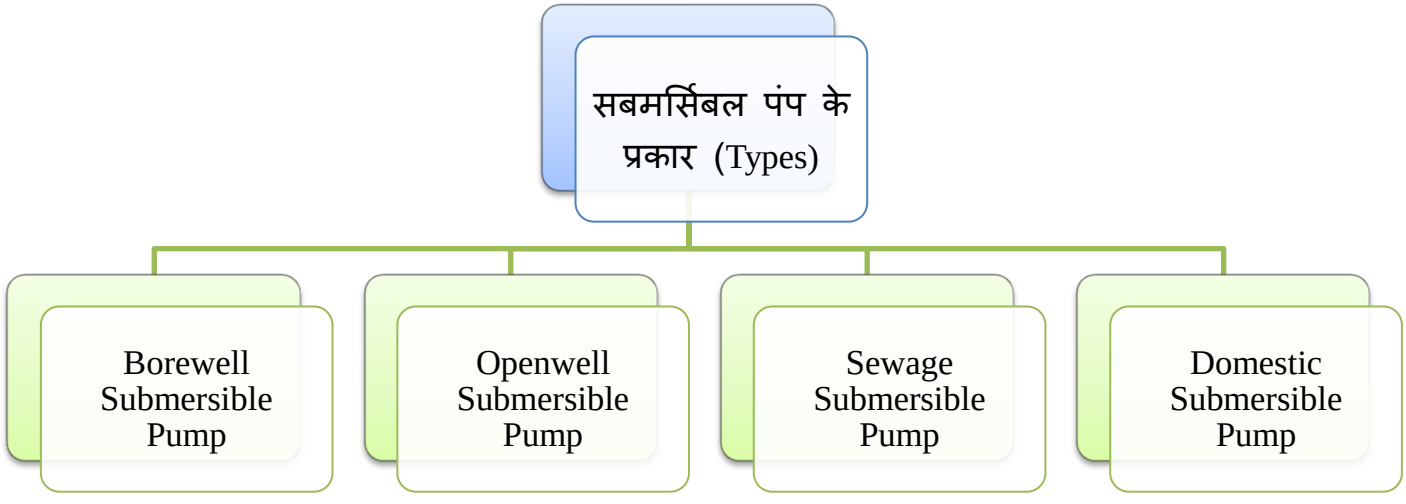
1. बिजली सप्लाई मिलने पर मोटर घूमती है।
2. मोटर शाफ्ट इम्पेलर को घुमाता है।
3. इम्पेलर घूमकर पानी को केन्द्रापसारक बल से बाहर की ओर फेंकता है।
4. इम्पेलर के केंद्र में कम दबाव (low pressure) बनता है।
5. इस कम दबाव के कारण नीचे से पानी अंदर आता है।
6. डिफ्यूज़र पानी का वेग घटाकर दबाव बढ़ाता है।
7. उच्च दबाव वाला पानी डिलिवरी पाइप से ऊपर पहुँच जाता है।

✔ याद रखने वाली बात – सबमर्सिबल पंप पानी को Push करता है इसलिए दक्षता अधिक होती है।

सबमर्सिबल पंप क्यों अधिक प्रभावी है?

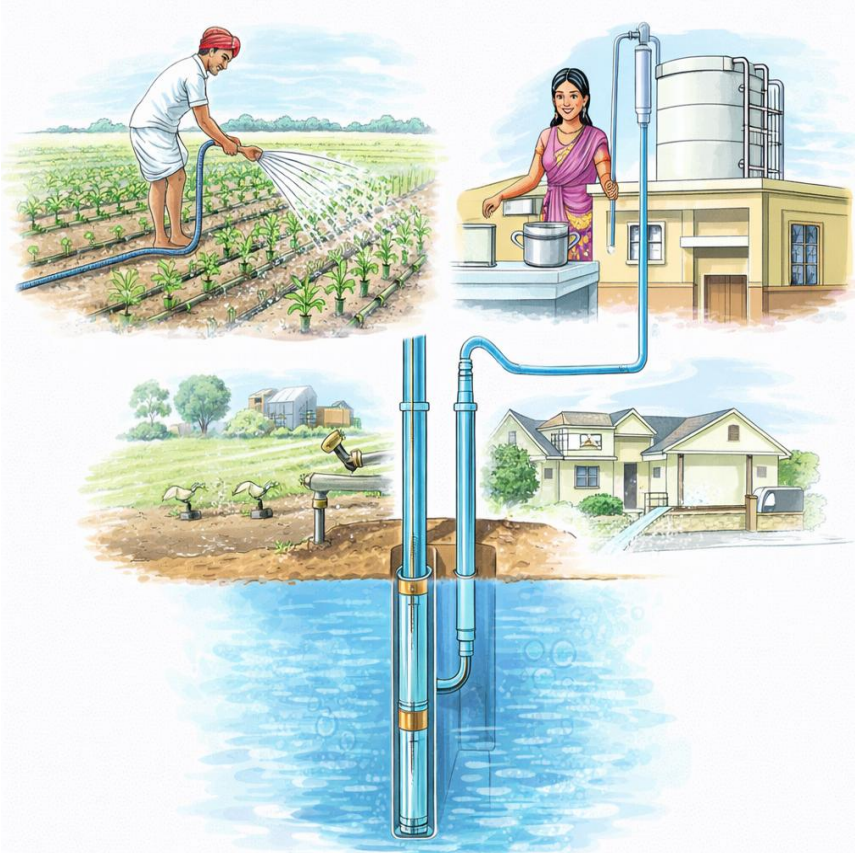


सबमर्सिबल पंप के प्रकार (Types)



❖ सबमर्सिबल पंप के अनुप्रयोग (Applications)

- ✓ कृषि (Agriculture)
- ✓ खेतों की सिंचाई
- ✓ ड्रिप और स्प्रिंकलर सिस्टम
- ✓ घरेलू उपयोग
- ✓ पानी की सप्लाई
- ✓ ओवरहेड टैंक भरना



❖ उद्योग (Industry)

- ✓ कूलिंग सिस्टम
- ✓ प्रोसेस वाटर सप्लाई
- ✓ नगरपालिका कार्य
- ✓ जल वितरण
- ✓ बोरवेल पंपिंग
- ✓ खनन और निर्माण
- ✓ पानी निकालना (dewatering)

❖ फायदे (Advantages)

- ✓ उच्च दक्षता
- ✓ कम शोर
- ✓ कम जगह घेरता है
- ✓ रख-रखाव कम
- ✓ गहरे पानी के लिए उपयुक्त

Bhushan Kumar Nayak

सीमाएँ (Disadvantages)

- ☒ मरम्मत कठिन (पानी से बाहर निकालना पड़ता है)
- ☒ स्थापना लागत अधिक
- ☒ बिजली पर निर्भर

Bhushan Kumar Nayak Digitally signed by Bhushan Kumar Nayak