

कार्य, ऊर्जा, शक्ति एवं गुरुत्वाकर्षण

कार्य, ऊर्जा एवं शक्ति

कार्य (Work)

• $W = F \cdot d \cdot \cos\theta$

अदिश राशि; SI इकाई जुल (J)
(1 J = 1 N·m)।

- **शून्य कार्य** : विस्थापन = 0;
बल व विस्थापन परस्पर लंबवत ($\theta = 90^\circ$)

जैसे – अभिकेंद्र बल, सिर पर बोझ लेकर
क्षैतिज चलना।

- **ऋणात्मक कार्य** : बल विस्थापन के विपरीत
(जैसे घर्षण बल)।



ऊर्जा (Energy)

- कार्य करने की क्षमता; SI इकाई जुल (J)।

1 कैलोरी = 4.18 J (लगभग)

1 kWh = 3.6×10^6 J

1 eV = 1.6×10^{-19} J

1 erg = 10^{-7} J

गतिज ऊर्जा
(KE)

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



स्थितिज ऊर्जा
(PE)

$PE = mgh$



प्रत्यास्थ स्थितिज
ऊर्जा

$PE = \frac{1}{2}kx^2$



- **कार्य-ऊर्जा प्रमेय** : कुल कार्य = गतिज ऊर्जा में परिवर्तन।
• **ऊर्जा संरक्षण का नियम** : ऊर्जा न उत्पन्न होती है, न नष्ट;
केवल रूप बदलती है। $E = mc^2$ (आइंस्टीन, 1905)
• स्वतंत्र रूप से गिरती वस्तु में **KE + PE = स्थिर**।

ऊर्जा रूपांतरण (उपकरण और उदाहरण)

उपकरण	ऊर्जा रूपांतरण
जलविद्युत संयंत्र	स्थितिज → गतिज → विद्युत
जनरेटर/डायनेमो	यांत्रिक → विद्युत
विद्युत मोटर	विद्युत → यांत्रिक
सौर सेल	प्रकाश → विद्युत
माइक्रोफोन	ध्वनि → विद्युत
लाउडस्पीकर	विद्युत → ध्वनि
बैटरी चार्जिंग	विद्युत → रासायनिक
प्रकाश-संश्लेषण	प्रकाश → रासायनिक

शक्ति (Power)

- $P = \frac{W}{t}$ SI इकाई वाट (W) = J/s।
• 1 अश्व-शक्ति (hp) = 746 W।
• विद्युत ऊर्जा की व्यावसायिक इकाई:
kWh (1 यूनिट)।
• दक्षता = (निर्गत ÷ निवेश) × 100%।



न्यूटन के गति-नियम

नियम	कथन
प्रथम (जड़त्व का नियम)	वस्तु अपनी विराम/गति की अवस्था में रहती है जब तक बाह्य बल न लगे; द्रव्यमान जड़त्व का माप है।
द्वितीय	$F = ma$ (बल = संवेग परिवर्तन की दर)। SI इकाई न्यूटन (N) = kg·m/s ² ।
तृतीय	प्रत्येक क्रिया की समान व विपरीत प्रतिक्रिया (रोकेट, बंदूक का पीछे हटना)।



गुरुत्वाकर्षण (Gravitation)

- **सार्वत्रिक गुरुत्वाकर्षण नियम** :

$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$

• $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N·m}^2/\text{kg}^2$

• $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ (पृथ्वी पर)

• **गुरुत्वीय स्थितिज ऊर्जा** : $U = -\frac{GMm}{r}$

- **उपयोग** : उपग्रहों की गति, ग्रहों की कक्षाएँ, ज्वार-भाटा।



• **संवेग** : $p = mv$

• **आवेग** : $F \times \Delta t = \text{संवेग में परिवर्तन}$

• **संवेग संरक्षण** : बाह्य बल न होने पर कुल संवेग स्थिर।

• **अभिकेंद्र बल** : $F = \frac{mv^2}{r}$

• **घर्षण** : स्थैतिक > गतिज > लोटनी।



गुरुत्वाकर्षण

सार्वत्रिक गुरुत्वाकर्षण नियम (न्यूटन)

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$



- F : दो द्रव्यमानों के बीच गुरुत्वाकर्षण बल
- G = $6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ (हेनरी कैबेडिश, 1798 ने मापा)।

गुरुत्वीय त्वरण (g)

$$g = \frac{GM}{R^2} \approx 9.8 \text{ m/s}^2$$

G : गुरुत्वाकर्षण नियतांक
M : पृथ्वी का द्रव्यमान
R : पृथ्वी की त्रिज्या

g में परिवर्तन



अन्य पिंडों पर g का मान



चंद्रमा
 $\approx 1.63 \text{ m/s}^2$
(पृथ्वी का 1/6)



मंगल
 $\approx 3.7 \text{ m/s}^2$



बृहस्पति
 $\approx 24.8 \text{ m/s}^2$

द्रव्यमान और भार में अंतर

आधार	द्रव्यमान	भार
परिभाषा	पदार्थ की मात्रा	पृथ्वी द्वारा लगाया गुरुत्व बल ($W = mg$)
प्रकृति	अदिश राशि	सदिश राशि
इकाई	किलोग्राम (kg)	न्यूटन (N)
स्थान पर निर्भरता	स्थिर (नहीं बदलता)	स्थान के साथ बदलता

भारहीनता (Weightlessness)



- कक्षा में उपग्रह मुक्त पतन की अवस्था में होते हैं, इसलिए आभासी भारहीनता अनुभव करते हैं।

मुक्त पतन (Free Fall)

- सभी वस्तुओं का त्वरण समान (गैलीलियो)।
- गति के समीकरण :

$$v = u + at \quad s = ut + \frac{1}{2} at^2$$

$$v^2 = u^2 + 2as$$

पलायन वेग (Escape Velocity)



$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

- पृथ्वी के लिए $\approx 11.2 \text{ km/s}$
- चंद्रमा के लिए $\approx 2.4 \text{ km/s}$

कक्षीय वेग (Orbital Velocity)

$$v_0 = \sqrt{\frac{GM}{R}}$$

- पृथ्वी की सतह के निकट $\approx 7.9 \text{ km/s}$
- संबंध : $v_e = \sqrt{2} \times v_0$



उपग्रह (Satellites)

भूस्थिर उपग्रह (Geostationary)



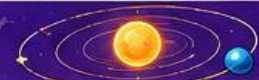
- ऊँचाई :** लगभग 36,000 किमी (35,786 किमी)
- विषुव रेखा के ऊपर
- आवर्तकाल :** 24 घंटे
- उदाहरण :** INSAT श्रृंखला

ध्रुवीय / सूर्य-समकालिक कक्षा



- ऊँचाई :** लगभग 800-900 किमी
- सूर्य के साथ स्थिर अभिविन्यास
- उदाहरण :** IRS श्रृंखला

केपलर के नियम



नियम	कथन
प्रथम	ग्रह दीर्घवृत्ताकार कक्षा में घूमते हैं; सूर्य एक नाभि पर स्थित होता है।
द्वितीय	समान समय में समान क्षेत्रफल (कोणीय संवेग संरक्षण); सूर्य के निकट गति अधिक होती है।
तृतीय	$T^2 \propto a^3$ (T : आवर्तकाल, a : अर्द्धदीर्घ अक्ष)



घनत्व एवं दाब

घनत्व (Density)

$$\rho = \frac{m}{V}$$

- ρ = घनत्व, m = द्रव्यमान, V = आयतन
- SI इकाई : kg/m^3
- पानी का अधिकतम घनत्व 4°C पर (1000 kg/m^3) ।
- **आपेक्षिक घनत्व (Relative Density) :** किसी पदार्थ का घनत्व / पानी का घनत्व । (कोई इकाई नहीं) ।



दाब (Pressure)

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

- P = दाब, F = बल, A = क्षेत्रफल
- SI इकाई : पास्कल (Pa) = N/m^2
- वायुमंडलीय दाब $\approx 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ (पारे का 76 सेमी स्तंभ) ।



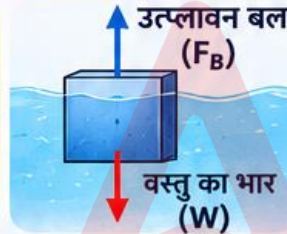
वायुमंडलीय दाब
 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$

बैरोमीटर : टॉरिसली (1643) ने वायुमंडलीय दाब का मापन किया।

आर्किमिडीज़ का सिद्धांत (उत्प्लावन)

किसी द्रव में डूबी वस्तु पर लगने वाला उत्प्लावन बल = विस्थापित द्रव का भार ।

$$F_B = \rho_{\text{द्रव}} g V_{\text{विस्थापित}}$$



- **प्लवन का नियम :** वस्तु तैरती है जब उसका भार = उत्प्लावन बल ।
- वस्तु का घनत्व द्रव से कम होने पर वह तैरती है, अधिक होने पर डूबती है ।
- **उपयोग :** जहाज़, पनडुब्बी, हाइड्रोमीटर (द्रव का घनत्व), लैक्टोमीटर (दूध की शुद्धता) ।
- समुद्री जल में उत्प्लावन अधिक होता है, इसलिए मृत सागर में व्यक्ति आसानी से तैरता है ।

उपयोग के उदाहरण



जहाज़
(उत्प्लावन के कारण तैरता है)



पनडुब्बी
(घनत्व बदलकर डूबती/तैरती है)



हाइड्रोमीटर
(द्रव का घनत्व मापने के लिए)

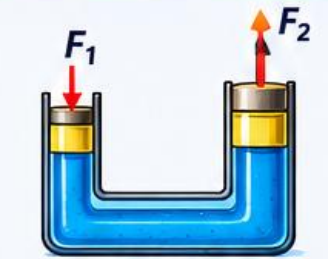


लैक्टोमीटर
(दूध की शुद्धता जानने के लिए)

पास्कल का नियम

बंद द्रव में लगाया गया दाब सभी दिशाओं में समान रूप से संचरित होता है ।

$$P = \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$



हाइड्रोलिक प्रेस / हाइड्रोलिक ब्रेक

बरनौली का सिद्धांत

द्रव की गति बढ़ने पर दाब घटता है ।

$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh = \text{स्थिर}$$



वायुयान के पंख

बिहार विशेष

प्रमुख वैज्ञानिक



आर्यभट्ट
(पटना)

- आर्यभटीय
- पृथ्वी के घूर्णन का मत ।



ब्रह्मगुप्त
(ब्रह्मस्फुटसिद्धांत, 628 ई.)

- पृथ्वी के आकर्षण का उल्लेख ।



पृथ्वी का घूर्णन

जलविद्युत परियोजनाएँ (बिहार)



- गंडक परियोजना (वाल्मीकिनगर)
- कोसी परियोजना (वीरपुर)
- सोन परियोजना

ऊर्जा रूपांतरण :
स्थितिज ऊर्जा →
गतिज ऊर्जा →
विद्युत ऊर्जा



WORK, ENERGY, POWER & GRAVITATION



WORK

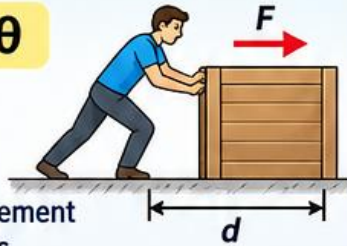
$$W = F \cdot d \cdot \cos \theta$$

- Scalar quantity.
- SI unit: **joule (J)**
(1 J = 1 N·m).
- Work is **zero** when displacement is zero or when the force is perpendicular to displacement ($\theta = 90^\circ$).

Examples: centripetal force, carrying a load horizontally.

- Negative work** when force acts opposite to displacement.

Example: friction.



ENERGY

- Capacity to do work.
- SI unit: **joule (J)**.

1 calorie $\approx$ 4.18 J
1 kWh = 3.6×10^6 J
1 eV = 1.6×10^{-19} J
1 erg = 10^{-7} J

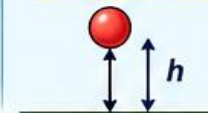
Kinetic Energy (KE)

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



Gravitational Potential Energy (PE)

$$PE = mgh$$



Elastic Potential Energy (PE)

$$PE = \frac{1}{2} kx^2$$



- Work-energy theorem:** Net work = change in kinetic energy.
- Conservation of energy:** Energy is neither created nor destroyed; it changes form.
- Einstein's relation:** $E = mc^2$
- During free fall, KE + PE remains constant (neglect air resistance).

ENERGY CONVERSIONS

Device / Process	Input Energy	Output Energy
Hydroelectric plant	Potential energy (water)	Kinetic $\rightarrow$ Electrical
Generator / Dynamo	Mechanical	Electrical
Electric motor	Electrical	Mechanical
Solar cell	Light (solar)	Electrical
Microphone	Sound	Electrical
Loudspeaker	Electrical	Sound
Battery charging	Electrical	Chemical
Photosynthesis	Light (solar)	Chemical

POWER

$$P = \frac{W}{t}$$



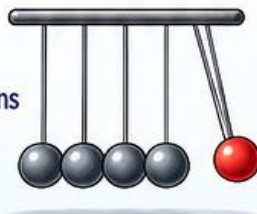
- SI unit: watt (W) = J/s.
- 1 horsepower (hp) = 746 W.**
- Commercial unit of electrical energy: **kWh (1 unit)**.
- Efficiency** = (output $\div$ input) $\times$ 100%.

$$\text{Efficiency } (\eta) = \frac{\text{Output energy}}{\text{Input energy}} \times 100\%$$

NEWTON'S LAWS OF MOTION

Law	Statement	Key Points
1. First Law (Law of Inertia)	A body remains at rest or in uniform straight-line motion unless acted on by an external force.	Mass measures inertia.
2. Second Law	$F = ma$ Force is the rate of change of momentum.	SI unit: newton (N) = kg·m/s ²
3. Third Law	Every action has an equal and opposite reaction.	Examples: rocket propulsion, gun recoil.

- Momentum:** $p = mv$.
- Impulse:** $F \times \Delta t$ = change in momentum.
- Conservation of momentum:** Total momentum remains constant when no external force acts.
- Centripetal force:** $F = \frac{mv^2}{r}$.
- Friction:** static > kinetic > rolling.



GRAVITATION

- Universal law of gravitation:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

- $G = 6.67 \times 10^{-11}$ N·m²/kg²
- $g \approx 9.8$ m/s² on Earth.
- Gravitational potential energy:

$$U = -\frac{GmM}{r}$$

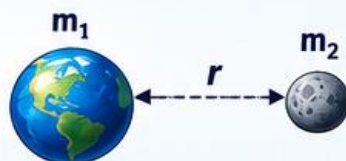
- Applications:** planetary motion, satellite orbits, tides.



GRAVITATION

UNIVERSAL LAW OF GRAVITATION

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$



- F is the gravitational force between two masses.
- $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$ (measured by **Henry Cavendish** in 1798).

ACCELERATION DUE TO GRAVITY

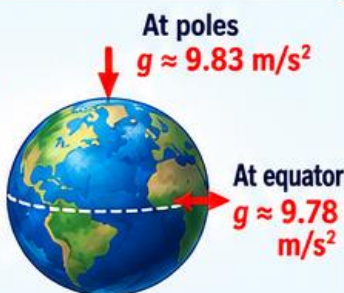
$$g = \frac{GM}{R^2} \approx 9.8 \text{ m/s}^2$$



- G = gravitational constant ($6.67 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$)
- M = mass of Earth
- R = radius of Earth

VARIATION OF g

- Maximum at poles: $g \approx 9.83 \text{ m/s}^2$
- Minimum at equator: $g \approx 9.78 \text{ m/s}^2$
- Decreases with altitude (height).
- Decreases with depth (inside Earth).
- $g = 0$ at Earth's centre.



GRAVITY ON OTHER BODIES



Moon

$g \approx 1.63 \text{ m/s}^2$
(about 1/6 of Earth)



Mars

$g \approx 3.7 \text{ m/s}^2$



Jupiter

$g \approx 24.8 \text{ m/s}^2$

MASS vs WEIGHT

Basis	Mass	Weight
Meaning	Quantity of matter	Gravitational force ($W = mg$)
Nature	Scalar quantity	Vector quantity
SI unit	Kilogram (kg)	Newton (N)
Change with location	Remains constant	Changes with location (varies)

WEIGHTLESSNESS

- Apparent weightlessness in an orbiting satellite occurs because it and its occupants are in continuous free fall towards the Earth.



FREE FALL

- All bodies fall with the same acceleration when air resistance is neglected.



$$\begin{aligned} v &= u + at \\ s &= ut + \frac{1}{2}at^2 \\ v^2 &= u^2 + 2as \end{aligned}$$

ESCAPE VELOCITY

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

- For Earth: $v_e \approx 11.2 \text{ km/s}$
- For Moon: $v_e \approx 2.4 \text{ km/s}$



ORBITAL VELOCITY

$$v_0 = \sqrt{\frac{GM}{R}}$$

- Near Earth's surface: $v_0 \approx 7.9 \text{ km/s}$

- Relation with escape velocity:

$$v_e = \sqrt{2} \times v_0$$



SATELLITES

Geostationary Satellite

- Altitude: $\approx 35,786 \text{ km}$ above equator
- Orbital period: 24 hours
- Example: **INSAT**



Polar / Sun-synchronous Satellite

- Altitude: $\approx 800\text{--}900 \text{ km}$
- Example: **IRS**

KEPLER'S LAWS

First Law (Law of Orbits)

Planets move in elliptical orbits with the Sun at one focus.

Second Law (Law of Areas)

Equal areas are swept in equal times; planets move faster near the Sun.

Third Law (Law of Periods)

$T^2 \propto a^3$
(T = time period, a = semi-major axis)



BUOYANCY, PRESSURE AND BIHAR



DENSITY (घनत्व)

$$\rho = \frac{\text{mass}}{\text{volume}} = \frac{m}{V}$$

- SI unit : kg/m^3
- Water has maximum density at $4^\circ\text{C} = 1000 \text{ kg/m}^3$.
- Relative density (specific gravity) has no unit.

$$\text{Relative density} = \frac{\rho_{\text{substance}}}{\rho_{\text{water}}}$$

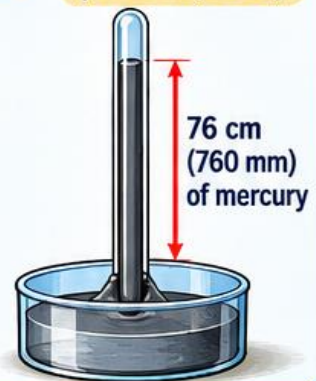


PRESSURE (दाब)

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

- SI unit : pascal (Pa)
($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$)
- Atmospheric pressure $\approx 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$
 $= 76 \text{ cm of mercury}$ (760 mm Hg).

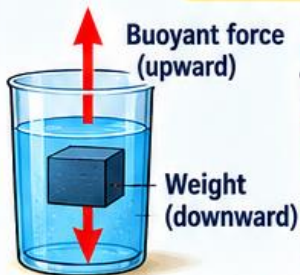
Barometer (Torricelli, 1643)



ARCHIMEDES' PRINCIPLE (उत्प्लावन का सिद्धांत)

A body wholly or partially immersed in a fluid experiences an upward buoyant force equal to the weight of the fluid displaced.

$$F_B = \rho_{\text{fluid}} g V_{\text{displaced}}$$



Law of flotation:
A body floats when its **weight = buoyant force**.
It floats if its density is less than that of the liquid.

Applications

- Ships (float because average density < water)
- Submarines (change density using ballast tanks)
- Hydrometer (measures density of liquids)
- Lactometer (measures purity of milk)



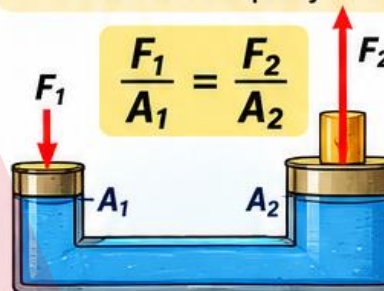
Ship floats due to buoyancy.



Buoyancy is greater in sea water (higher density).
A person floats easily in the **Dead Sea**.

PASCAL'S LAW (पास्कल का नियंत्र)

Pressure applied to an enclosed fluid is transmitted equally in all directions.

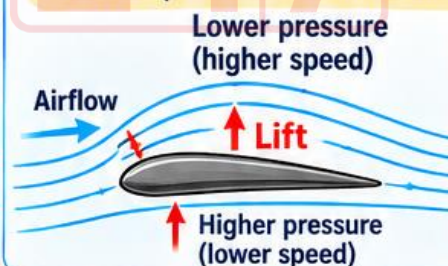


Applications

- Hydraulic press (used to lift heavy loads)
- Hydraulic brakes (in vehicles)

BERNOULLI'S PRINCIPLE (बर्नूली का सिद्धांत)

In a flowing fluid, pressure decreases as the speed of the fluid increases.

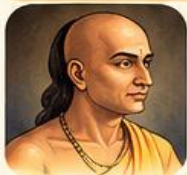


Applications

- Aeroplane wing (lift)
- Spray pump (used in atomisers)

BIHAR SPECIFIC

Ancient Indian contributions



Aryabhata (Patna)
(476–550 CE)

- Aryabhatiya
- Gave the view of Earth's rotation.



Brahmagupta
(598–668 CE)

- Brahmasphutasiddhanta (628 CE)
- Described Earth's attraction (gravitational pull).

Hydroelectric projects in Bihar



- Gandak Project** (Valmikinagar) on the Gandak river.
- Kosi Project (Birpur)** on the Kosi river.
- Sone river projects** (e.g., Indrapuri, other small hydro projects).
- These projects illustrate the conversion: **Potential energy → Kinetic energy → Electrical energy.**

