1.1 PHYSICAL QUANTITIES & UNITS OF MEASUREMENT

What is a Physical Quantity? (भौतिक राशि क्या है?): Any quantity that can be measured directly or indirectly and in terms of which the laws of physics are expressed is called a **physical quantity** (e.g., length, mass, time, force, velocity). Measurement is essentially a process of comparison with a chosen standard.

कोई भी राशि जिसे प्रत्यक्ष या अप्रत्यक्ष रूप से मापा जा सके और जिसके पदों में भौतिकी के नियमों को व्यक्त किया जाता है, भौतिक राशि कहलाती है (जैसे लंबाई, द्रव्यमान, समय, बल)।

Unit & Numerical Value (मात्रक एवं आंकिक मान): The chosen standard reference used to measure a physical quantity is called its **unit (u)**. A measured value is expressed as **Q = n × u**, where *n* is the numerical magnitude and *u* is the unit. Note that **n ∝ 1/u** (smaller the unit, larger the numerical value; e.g., 1 m = 100 cm).

मापन के लिए चुने गए मानक को मात्रक (u) कहते हैं। किसी राशि का मान Q = n × u होता है; मात्रक छोटा होने पर आंकिक मान बड़ा होता है।

Fundamental vs Derived Quantities (मूल व व्युत्पन्न राशियाँ): Fundamental (Base) Quantities are independent of other physical quantities (e.g., length, mass, time). **Derived Quantities** are obtained by combining fundamental quantities through multiplication or division (e.g., speed = length/time, force = mass × acceleration).

मूल राशियाँ वे हैं जो अन्य राशियों से स्वतंत्र होती हैं, जबकि व्युत्पन्न राशियाँ मूल राशियों के संयोजन से प्राप्त होती हैं।

Earlier Systems of Units (मात्रकों की प्राचीन प्रणालियाँ): Before SI, three main systems were used: (1) **CGS System** (Centimetre, Gram, Second), (2) **FPS System** (Foot, Pound, Second — British), and (3) **MKS System** (Metre, Kilogram, Second).

SI प्रणाली से पहले CGS (सेमी, ग्राम, सेकंड), FPS (फुट, पाउंड, सेकंड) और MKS (मीटर, किग्रा, सेकंड) प्रणालियाँ प्रचलित थीं।

Key Exam Point: $Q = n_1u_1 = n_2u_2$ is the fundamental invariance equation of measurement used to convert units across systems.

$Q = n_1u_1 = n_2u_2$ मात्रक रूपांतरण का मूल समीकरण है।

SUPPLEMENTARY SI UNITS: PLANE ANGLE (RAD) VS SOLID ANGLE (SR)



Fig 1.1: Plane angle $d\theta = ds/r$ (radian) and Solid angle $d\Omega = dA/r^2$ (steradian).

Base Quantity	SI Unit	Symbol	Hindi Name
1. Length (लंबाई)	metre	m	मीटर
2. Mass (द्रव्यमान)	kilogram	kg	किलोग्राम
3. Time (समय)	second	s	सेकंड
4. Electric Current (विद्युत धारा)	ampere	A	एम्पीयर
5. Thermodynamic Temperature (ताप)	kelvin	K	केल्विन
6. Amount of Substance (पदार्थ की मात्रा)	mole	mol	मोल
7. Luminous Intensity (ज्योति तीव्रता)	candela	cd	कैंडेला

Key Exam Point: Both Radian (rad) and Steradian (sr) are supplementary SI units that are dimensionless $[M^0L^0T^0]$.

रेडियन (rad) और स्टेरेडियन (sr) दोनों पूरक SI मात्रक हैं और विमाहीन (dimensionless) होते हैं।

Definition of Significant Figures (सार्थक अंक): The reliable digits plus the first uncertain digit in a measurement are called **significant figures**. More significant figures indicate higher precision of the measuring instrument.

किसी मापन में विश्वसनीय अंकों तथा पहले अनिश्चित अंक को मिलाकर सार्थक अंक (Significant Figures) कहते हैं।

Rule 1 & 2: Non-Zero & Trapped Zeros: All **non-zero digits** are significant (e.g., 285 cm has 3 SF). All **zeros between two non-zero digits** are significant, no matter where the decimal point is (e.g., 2.005 has 4 SF; 1004 has 4 SF).

सभी अशून्य अंक सार्थक होते हैं, और दो अशून्य अंकों के बीच आने वाले सभी शून्य भी सार्थक होते हैं।

Rule 3: Leading Zeros (प्रारंभिक शून्य): If the number is less than 1, zeros on the right of the decimal point but to the left of the first non-zero digit are **NOT significant** (e.g., in 0.002308, the underlined zeros 0.00 are not significant → 4 SF).

1 से छोटी संख्या में दशमलव के बाद और पहले अशून्य अंक से पहले आने वाले शून्य सार्थक नहीं होते (0.002308 में 4 सार्थक अंक हैं)।

Rule 4 & 5: Trailing Zeros (अंतिम शून्य): Trailing zeros in a number **without a decimal point** are NOT significant (e.g., 12300 cm = 3 SF). However, trailing zeros in a number **with a decimal point** ARE significant (e.g., 3.500 has 4 SF; 0.06900 has 4 SF).

बिना दशमलव वाली संख्या के अंतिम शून्य सार्थक नहीं होते, पर दशमलव वाली संख्या के अंतिम शून्य सार्थक होते हैं।

Scientific Notation & Exact Numbers: In scientific notation $\mathbf{a \times 10^b}$, powers of 10 are irrelevant for SF; only digits in a count (e.g., 4.700×10^2 m has 4 SF). Exact numbers (like 2 in d = 2r) have infinite significant figures.

वैज्ञानिक संकेतन $a \times 10^b$ में 10 की घात को नहीं गिना जाता; केवल 'a' के अंक सार्थक होते हैं।

Key Exam Point: Changing units does NOT change the number of significant figures! Always express ambiguous numbers in scientific notation.

मात्रक बदलने से सार्थक अंकों की संख्या नहीं बदलती! हमेशा वैज्ञानिक संकेतन का प्रयोग करें।

1. Multiplication & Division Rule (गुणा व भाग का नियम): In multiplication or division, the final result should retain as many **significant figures** as are there in the original number with the **least significant figures**. Example: Density = 4.237 g / 2.51 cm^3 = 1.68804... → rounded to **1.69 g/cm^3** (3 SF, matching 2.51).

गुणा या भाग में अंतिम परिणाम में उतने ही सार्थक अंक रखे जाते हैं जितने सबसे कम सार्थक अंक वाली मूल संख्या में हों।

2. Addition & Subtraction Rule (जोड़ व घटाव का नियम): In addition or subtraction, the final result should retain as many **decimal places** as are there in the number with the **least decimal places**. Example: 436.32 g + 227.2 g + 0.301 g = 663.821 g → rounded to **663.8 g** (1 decimal place, matching 227.2).

जोड़ या घटाव में अंतिम उत्तर में दशमलव के बाद उतने ही स्थान रखे जाते हैं जितने सबसे कम दशमलव स्थान वाली संख्या में हों।

3. Rules for Rounding Off Uncertain Digits (पूर्णांकन के नियम): (a) If the digit to be dropped is **> 5**, raise the preceding digit by 1 (e.g., 2.746 → 2.75). (b) If it is **< 5**, leave preceding digit unchanged (2.743 → 2.74). (c) If it is **exactly 5**: if preceding digit is **even**, leave it unchanged (2.745 → 2.74); if **odd**, raise it by 1 (2.735 → 2.74).

यदि छोड़ा जाने वाला अंक 5 से बड़ा है तो 1 बढ़ाएँ, 5 से छोटा है तो अपरिवर्तित रखें, और ठीक 5 होने पर सम अंक को अपरिवर्तित व विषम को 1 बढ़ाएँ।

Operation	Controlling Criterion	Example
Multiplication / Division	Least number of Significant Figures	1.2 × 36.72 = 44 (2 SF)
Addition / Subtraction	Least number of Decimal Places	12.11 + 18.0 + 1.012 = 31.1 (1 dec. place)

Key Exam Point: Remember: Multiply/Divide checks TOTAL Significant Figures; Add/Subtract checks DECIMAL PLACES only!

याद रखें: गुणा/भाग में कुल सार्थक अंक देखे जाते हैं, जबकि जोड़/घटाव में केवल दशमलव के बाद के स्थान!

What are Dimensions? (भौतिक राशियों की विमाएँ): The **dimensions** of a physical quantity are the powers (exponents) to which the base quantities (M, L, T, A, K, mol, cd) are raised to represent that quantity. For example, Force = Mass × Acceleration = $[M^1L^1T^{-2}]$; hence dimensions of force are 1 in mass, 1 in length, and −2 in time.

किसी भौतिक राशि की विमाएँ वे घातें (powers) हैं जिन्हें उस राशि को व्यक्त करने के लिए मूल राशियों पर चढ़ाया जाता है।

Dimensional Formula & Equation (विमीय सूत्र व समीकरण): The expression showing which base quantities and with what powers enter a physical quantity is its **dimensional formula** (e.g., $[M^1L^2T^{-2}]$ for Work/Energy). Equating the quantity to its dimensional formula gives a **dimensional equation**, e.g., $[F] = [M^1L^1T^{-2}]$.

किसी राशि को मूल मात्रकों की घातों के रूप में दर्शाने वाला व्यंजक विमीय सूत्र कहलाता है।

Physical Quantity	Formula	Dimensional Formula	SI Unit
Velocity / Speed	Displacement / Time	$[M^0L^1T^{-1}]$	m s^{-1}
Acceleration	Velocity / Time	$[M^0L^1T^{-2}]$	m s^{-2}
Force	Mass × Acceleration	$[M^1L^1T^{-2}]$	N (kg m s^{-2})
Work / Energy / Torque	Force × Distance	$[M^1L^2T^{-2}]$	J (N m)
Power	Work / Time	$[M^1L^2T^{-3}]$	W (J s^{-1})
Pressure / Stress / Modulus	Force / Area	$[M^1L^{-1}T^{-2}]$	Pa (N m^{-2})
Linear Momentum / Impulse	Mass × Velocity	$[M^1L^1T^{-1}]$	kg m s^{-1}
Gravitational Constant (G)	$F r^2 / (m_1 m_2)$	$[M^{-1}L^3T^{-2}]$	N m^2 kg^{-2}
Planck's Constant (h)	Energy / Frequency	$[M^1L^2T^{-1}]$	J s

Key Exam Point: Quantities with identical dimensions: (1) Work, Energy & Torque $[ML^2T^{-2}]$; (2) Pressure, Stress & Young's Modulus $[ML^{-1}T^{-2}]$; (3) Impulse & Momentum $[MLT^{-1}]$.

समान विमा वाली राशियाँ: कार्य/ऊर्जा/बल-आघूर्ण $[ML^2T^{-2}]$; दाब/प्रतिबल $[ML^{-1}T^{-2}]$; आवेग/संवेग $[MLT^{-1}]$।

Principle of Homogeneity of Dimensions (विमीय समांगता का सिद्धांत): Only physical quantities having the **same dimensions** can be added, subtracted, or equated. In any valid equation A = B + C, we must have **[A] = [B] = [C]**. For example, in $x = x_0 + v_0t + \frac{1}{2}at^2$, every term has dimension [L].

केवल समान विमा वाली राशियों को ही जोड़ा, घटाया या बराबर किया जा सकता है। समीकरण के प्रत्येक पद की विमा समान होनी चाहिए।

Application 1: Checking Dimensional Consistency (समीकरण की सत्यता की जाँच): To check whether $\frac{1}{2}mv^2 = mgh$ is dimensionally correct: LHS = $[M][LT^{-1}]^2 = [ML^2T^{-2}]$; RHS = $[M][LT^{-2}][L] = [ML^2T^{-2}]$. Since LHS = RHS, the equation is dimensionally consistent.

समीकरण के दोनों पक्षों की विमाओं की तुलना करके उसकी विमीय शुद्धता की जाँच की जा सकती है।

Application 2: Deducing Relations Among Quantities (सूत्र स्थापित करना): Example: Time period *T* of a simple pendulum depends on length *l* and gravity *g*. Let $T = k\, l^a\, g^b \rightarrow [T^1] = [L]^a\,[LT^{-2}]^b = [L^{a+b}\,T^{-2b}]$. Comparing powers: $-2b = 1 \Rightarrow b = -\frac{1}{2}$; $a + b = 0 \Rightarrow a = +\frac{1}{2}$. Thus $\mathbf{T = k\sqrt{l/g}}$ (experimentally $k = 2\pi$).

विमीय विश्लेषण से किसी भौतिक राशि का अन्य राशियों पर निर्भरता सूत्र (जैसे सरल लोलक का आवर्तकाल $T = 2\pi\sqrt{(l/g)}$) निकाला जा सकता है।

Application 3: Converting Units Between Systems (मात्रक पद्धति बदलना): Using $n_2 = n_1\,[M_1/M_2]^a\,[L_1/L_2]^b\,[T_1/T_2]^c$, we can convert 1 Joule (MKS) to erg (CGS): $[ML^2T^{-2}]$ gives $1\text{ J} = (10^3\text{ g/g})(10^2\text{ cm/cm})^2(1\text{ s/s})^{-2} = \mathbf{10^7}$ **erg**; similarly $\mathbf{1\text{ N} = 10^5}$ **dyne**.

इस सूत्र से एक पद्धति के मात्रक को दूसरी पद्धति में बदला जा सकता है, जैसे 1 जूल = 10^7 अर्ग और 1 न्यूटन = 10^5 डाइन।

Key Exam Point: Arguments of trigonometric ($\sin\theta$, $\cos\theta$), logarithmic ($\log x$), and exponential (e^x) functions are ALWAYS dimensionless!

त्रिकोणमितीय, लघुगणकीय और चरघातांकी फलनों के कोणांक सदैव विमाहीन होते हैं!

Limitation 1: Cannot Determine Dimensionless Constants: Dimensional analysis gives NO information about pure numerical constants like 2π, ½, or 1/6 (e.g., it gives $T \propto \sqrt{(l/g)}$ but cannot find $k = 2\pi$).

विमीय विश्लेषण से विमाहीन नियतांकों (जैसे 2π, ½) का मान ज्ञात नहीं किया जा सकता।

Limitation 2: Fails for Sum/Difference of Terms & >3 Variables: It cannot derive equations containing more than one term (like $s = ut + \frac{1}{2}at^2$) or equations where a quantity depends on more than three independent variables in mechanics.

यह एक से अधिक पदों वाले समीकरण ($s = ut + \frac{1}{2}at^2$) या तीन से अधिक स्वतंत्र चरों वाले संबंधों को व्युत्पन्न नहीं कर सकता।

Limitation 3: Fails for Trigonometric, Log & Exponential Functions: It cannot derive formulas involving sinθ, cosθ, log, or e^x because their arguments are dimensionless.

त्रिकोणमितीय, लघुगणकीय या चरघातांकी फलनों वाले सूत्रों की व्युत्पत्ति इससे संभव नहीं है।

Limitation 4: Dimensionally Correct ≠ Physically Correct: A dimensionally correct equation may still be physically wrong (e.g., $K = mv^2$ is dimensionally valid $[ML^2T^{-2}]$ yet physically wrong since $K = \frac{1}{2}mv^2$). However, a dimensionally wrong equation is ALWAYS physically wrong!

विमीय रूप से सही समीकरण भौतिक रूप से गलत हो सकता है, किंतु विमीय रूप से गलत समीकरण सदैव गलत होता है।

Dimensionless Quantities	Constants with Dimensions
Angle (rad), Strain, Relative Density	Gravitational Constant G $[M^{-1}L^3T^{-2}]$
Refractive Index, Poisson's Ratio	Planck's Constant h $[M^1L^2T^{-1}]$
Reynolds Number, Coefficient of Friction	Universal Gas Constant R $[M^1L^2T^{-2}K^{-1}mol^{-1}]$

Key Exam Point: Note the difference: Dimensionless Constants (π, e, 2) have no units; Dimensional Constants (G, h, c) have fixed values AND dimensions!

विमाहीन नियतांक (π, e) मात्रक-रहित होते हैं, जबकि विमीय नियतांक (G, h, c) की विमा और मात्रक दोनों होते हैं।

1.8 SOLVED NCERT NUMERICALS & CONCEPTUAL PROBLEMS (PART 1)

Numerical 1: Volume & Surface Area of a Cube (Side = 7.203 m): Given side a = 7.203 m (4 SF). Total surface area = $6a^2 = 6(7.203)^2 = 311.299254\ m^2$ → rounded to 4 SF = **311.3 m²**. Volume = $a^3 = (7.203)^3 = 373.714754\ m^3$ → rounded to 4 SF = **373.7 m³**.

घन की भुजा a = 7.203 m (4 सार्थक अंक)। क्षेत्रफल $6a^2 = 311.3\ m^2$ तथा आयतन $a^3 = 373.7\ m^3$ (4 सार्थक अंकों तक पूर्णांकित)।

Numerical 2: Density with Significant Figures: Mass m = 5.74 g (3 SF), Volume V = 1.2 cm^3 (2 SF). Density = m/V = 5.74 / 1.2 = 4.7833... g/cm^3. Since V has the least SF (2 SF), Density = **4.8 g/cm³**.

द्रव्यमान 5.74 g (3 SF) व आयतन 1.2 cm^3 (2 SF)। घनत्व = 5.74/1.2 = 4.8 g/cm^3 (न्यूनतम 2 सार्थक अंकों में)।

Numerical 3: Finding Dimensions in v = at + b/(t + c): By homogeneity: [c] = [t] = **[T]**. Also [at] = [v] ⇒ $[a] = [LT^{-1}]/[T] = \mathbf{[LT^{-2}]}$. And [b/(t+c)] = [v] ⇒ $[b] = [LT^{-1}][T] = \mathbf{[L]}$.

विमीय समांगता से: [c] = [T], $[a] = [LT^{-2}]$, तथा [b] = [L]।

Numerical 4: Converting Calorie to Joule in New Units: 1 cal = 4.2 J = 4.2 kg $m^2\ s^{-2}$. In a new system where mass unit = α kg, length = β m, time = γ s: 1 cal = $4.2\ (1/\alpha)^1\ (1/\beta)^2\ (1/\gamma)^{-2}$ = **$4.2\ \alpha^{-1}\ \beta^{-2}\ \gamma^2$** new units.

नई मात्रक प्रणाली (α kg, β m, γ s) में 1 कैलोरी = $4.2\ \alpha^{-1}\ \beta^{-2}\ \gamma^2$ नए मात्रक।

Key Exam Point: Always check whether the problem asks for Significant Figures (multiply/divide) or Decimal Places (add/subtract).

सवाल हल करते समय गुणा/भाग में सार्थक अंक और जोड़/घटाव में दशमलव स्थान अवश्य जाँचें।

Q1. State the number of significant figures in: (a) 0.007 m^2 (b) 2.64×10^{24} kg (c) 0.2370 g/cm^3 (d) 6.320 J: (a) **1** (leading zeros excluded); (b) **3** (powers of 10 excluded); (c) **4** (trailing zero after decimal included); (d) **4**.

(a) 1; (b) 3; (c) 4; (d) 4 सार्थक अंक।

Q2. Why do we prefer a small unit or a large unit for different measurements?: We choose a unit of convenient size comparable to the quantity being measured—e.g., fermi (10^{-15} m) for nuclear size, angstrom (10^{-10} m) for atomic size, and astronomical unit (AU = 1.496×10^{11} m) or light year (9.46×10^{15} m) for celestial distances.

मापन की सुविधा के लिए परमाणु हेतु एंग्स्ट्रॉम (10^{-10} m) और खगोलीय दूरी हेतु प्रकाश वर्ष (9.46×10^{15} m) का उपयोग करते हैं।

Q3. Check dimensional consistency of $E = mc^2$ and $T = 2\pi\sqrt{(l/g)}$.: For $E = mc^2$: $[ML^2T^{-2}] = [M][LT^{-1}]^2 = [ML^2T^{-2}]$ (Correct). For $T = 2\pi\sqrt{(l/g)}$: $[T] = \sqrt{([L]/[LT^{-2}])} = \sqrt{([T^2])} = [T]$ (Correct).

दोनों समीकरणों के बाएँ और दाएँ पक्षों की विमाएँ समान हैं, अतः दोनों विमीय रूप से सत्य हैं।

Q4. What is the difference between 5.0 cm and 5.00 cm?: 5.0 cm has 2 SF (least count 0.1 cm), whereas 5.00 cm has 3 SF (least count 0.01 cm). Thus 5.00 cm is **more precise**.

5.00 cm में 3 सार्थक अंक हैं (अल्पतमांक 0.01 cm), अतः यह 5.0 cm की तुलना में अधिक परिशुद्ध है।

Key Exam Point: 1 Light Year = 9.46×10^{15} m; 1 Parsec = 3.08×10^{16} m (3.26 ly); 1 AU = 1.496×10^{11} m.

1 प्रकाश वर्ष = 9.46×10^{15} m; 1 पारसेक = 3.08×10^{16} m; 1 AU = 1.496×10^{11} m।

Last-Minute Exam Checklist (अंतिम परीक्षा जाँच सूची): 1. Memorise all 7 SI Base Units and 2 Supplementary Units. 2. Practice all 5 Significant Figure rules + Add/Multiply rounding. 3. Master Dimensional Formulas of G, h, R, Pressure, Viscosity, Surface Tension, and Impulse.

1. सभी 7 मूल व 2 पूरक SI मात्रक याद करें। 2. सार्थक अंक व पूर्णांकन के नियम दोहराएँ। 3. G, h, R आदि के विमीय सूत्र अभ्यास करें।

Topic / Constant	Key Formula / Value	Dimension / Remark
Measurement Invariance	$Q = n_1u_1 = n_2u_2$	$n \propto 1/u$
Plane Angle / Solid Angle	$\theta = s/r$ (rad); $\Omega = A/r^2$ (sr)	Dimensionless $[M^0L^0T^0]$
1 Newton / 1 Joule	1 N = 10^5 dyne; 1 J = 10^7 erg	Force $[MLT^{-2}]$; Energy $[ML^2T^{-2}]$
1 u (amu) & 1 eV	1 u = 1.66×10^{-27} kg; 1 eV = 1.6×10^{-19} J	Atomic mass & energy units
1 Fermi / 1 Angstrom	1 fm = 10^{-15} m; 1 Å = 10^{-10} m	Nuclear & atomic length scales
Universal Gravitation G	6.67×10^{-11} N m^2 kg^{-2}	$[M^{-1}L^3T^{-2}]$
Planck's Constant h	6.626×10^{-34} J s	$[M^1L^2T^{-1}]$
Gas Constant R	8.314 J mol^{-1} K^{-1}	$[M^1L^2T^{-2}K^{-1}mol^{-1}]$

Key Exam Point: Narayan Sir's Mantra: Never write a physical quantity without its proper SI unit and correct significant figures!

नारायण सर का मंत्र: किसी भी भौतिक राशि के उत्तर में सही SI मात्रक और उचित सार्थक अंक अवश्य लिखें।