

भौतिक विज्ञान (PHYSICS)

1. भौतिकी (Physics)

- भौतिकी शब्द की उत्पत्ति हुई —Fusis से
- ग्रीक भाषा के शब्द Fusis का अर्थ है —प्रकृति (Nature)
- भौतिकी शब्द का प्रथम प्रयोग किया (ई०पू० 350 मे) —अरस्तु ने
- पदार्थ के भौतिक गुणों एवं ऊर्जा का अध्ययन किया जाता है —
- भौतिकी में
- जिसे संख्या रूप में व्यक्त किया जाता है, कहलाता है —राशि (Quantity)।
- वे राशियाँ जिन्हें मापा जा सके —भौतिक राशियाँ (Physical Quantities)।
- वे राशियाँ, जिनमें केवल परिमाण हो, दिशा नहीं, उसे कहते हैं —
- अदिश राशियाँ (Scalar Quantities)।

कुछ अदिश राशियों के उदाहरण

- दूरी, द्रव्यमान, आयतन, चाल, घनत्व, ऊष्मा, क्षेत्रफल, विद्युतधारा, ताप, कार्य, ऊर्जा, शक्ति इत्यादि।
- वे राशियाँ जिनमें परिमाण (Magnitude) एवं दिशा हो, है —सदिश राशियाँ (Vector Quantities)।

कुछ सदिश राशियों के उदाहरण

विस्थापन, वेग, त्वरण, बल, संवेग, बल-आघूर्ण, विद्युत तीव्रता, धारा, घनत्व, चुंबकीय क्षेत्र, चुंबकन तीव्रता, चुंबकी प्रेरण, विद्युत ध्रुव आघूर्ण, कोणीय विस्थापन, कोणीय वेग, कोणीय त्वरण, कोणीय संवेग, भार इत्यादि

- अदिश राशियों का योग, घटाव, गुणन तथा भाग होता है —
- बीजगणितीय नियमों से
- सदिश राशियों के योग, घटाव, गुणन तथा भाग की क्रियाएं होती हैं
- —निश्चित नियमों के अनुसार
- किसी भौतिक राशि को मापने के लिए प्रयुक्त मानक कहलाता है —
- —मात्रक (Units)
- मात्रक के उदाहरण हैं —मीटर (लंबाई), किग्रा० (द्रव्यमान), सेकेंड (समय)
- मात्रक होते हैं —दो प्रकार के (मूल एवं व्युत्पन्न मात्रक)
- वे मात्रक जो अन्य मात्रक पर निर्भर नहीं करते हैं —मूल मात्रक (Fundamental Units)
- मीटर (लंबाई), किग्रा० (द्रव्यमान) एवं सेकेंड (समय) हैं —मूल मात्रक
- वे मात्रक जो मूल मात्रक पर निर्भर करते हैं —व्युत्पन्न मात्रक
- मीटर प्रति सेकेंड (चाल), मीटर/सेकेंड² (त्वरण) इत्यादि उदाहरण हैं
- —व्युत्पन्न मात्रक के

मात्रकों की प्रमुख पद्धतियाँ

- भौतिकी में मापन के लिये चार पद्धतियाँ प्रचलित हैं।
- 1. SI (System International) पद्धति—यह अन्तर्राष्ट्रीय पद्धति है। आजकल सभी वैज्ञानिक कार्य इस पद्धति से होता है।
- 2. FPS (Foot-pound-second system) पद्धति—इस पद्धति में समय, लम्बाई और द्रव्यमान के मात्रक क्रमशः सेकेंड, फुट तथा पाउण्ड होते हैं। इसे ब्रिटिश-पद्धति भी कहते हैं।

विमा (Dimension)

- किसी भौतिक राशि का मात्रक प्राप्त करने के लिए मूल मात्रकों को जिन घातों से उठाना पड़ता है वे घात ही उस भौतिक राशि की विमा कहलाते हैं।
- लम्बाई की विमा → L, द्रव्यमान की विमा M तथा समय की विमा → T होती है।

- 3. MKS पद्धति—इस पद्धति में लम्बाई, द्रव्यमान और समय का मात्रक क्रमशः मीटर, किलोग्राम, तथा सेकेंड होते हैं। इसे व्यावहारिक मात्रक कहते हैं।
- 4. CGS पद्धति—इस पद्धति में दूरी का मात्रक सेंटीमीटर, द्रव्यमान का ग्राम तथा समय का मात्रक सेकेंड होता है। इसे मीट्रिक या फ्रेन्च पद्धति कहते हैं।
- 5.1. पद्धति के मूल मात्रक :
- मूल मात्रक (Fundamental units)—ये मात्रक हैं, जो अन्य मात्रकों से स्वतंत्र होते हैं उनको एक दूसरे से संबंधित नहीं किया जा सकता अथवा आपस में बदला नहीं जा सकता है।
- S.I. पद्धति में निम्नलिखित सात मूल मात्रक तथा दो पूरक मूल मात्रक हैं।

S.I. पद्धति के मूल मात्रक तथा दो पूरक मात्रक S.I. Unit – International System of Unit

राशि (Quantity)	मात्रक (Units)	संकेत (Symbol)
1. द्रव्यमान (mass)	किलोग्राम	Kg
2. लम्बाई (Length)	मीटर	m
3. समय (Time)	सेकेंड	s
4. ताप (Temperature)	केल्विन	K
5. विद्युत धारा (Electric current)	ऐम्पियर	A
6. ज्योति तीव्रता (Luminous Intensity)	कैण्डेला	cd
7. पदार्थ की मात्रा (Quantity of mass)	मोल	mol
8. तलीय कोण (Plane Angle)	रेडियन	rad
9. घन या ठोस कोण (Solid Angle)	स्टेरेडियन	sr

पूरक मात्रक

S.I. पद्धति में प्राचीन मात्रकों के आधुनिक नाम एवं संकेत

भौतिक राशि	प्राचीन नाम	आधुनिक नाम
(i) आवृत्ति (frequency)	कम्पन प्रति सेकेंड (CPS)	हर्ट्ज (Hz)
(ii) ताप (Temperature)	डिग्री सेण्टीग्रेड (°C)	डिग्री सेल्सियस (°C)
(iii) ज्योति तीव्रता (Luminous Intensity)	कैण्डिल शक्ति (C.P.)	कैण्डेला (cd)

लम्बाई के मात्रक

- 1. मीटर (Meter)—
- सेवरे (पेरिस, फ्रांस) में स्थित इन्टरनेशनल ब्यूरो ऑफ वेट्स एण्ड मीजर्स (IBWM) में प्लैटिनम-इरीडियम मिश्रधातु का एक रॉड रखा हुआ है।
- उपर्युक्त 'प्लैटिनम-इरीडियम' रॉड पर बने दो चिह्नों के बीच की 0°C तापक्रम पर दूरी 1 मीटर कहलाती है।

नैनोमीटर

- इस शब्द का उपसर्ग नैनो का अर्थ है—एक अरबवाँ भाग यानी एक नैनोमीटर एक मीटर का एक अरबवाँ हिस्सा है।
- किसी छोटे अणु को मापने में इसका उपयोग होता है।
- यह नैनो-टेक्नोलॉजी का एक पैमाना भी है।

- 1960 ई० में वैज्ञानिकों की 'वेल्स एण्ड मीजर्स' की सभा में 'मीटर' की निम्न परिभाषाएँ दी गईं—
(a) गैस-क्रिप्टन-86 से भी हुई दृश्य में विद्युत-विजर्जन द्वारा उत्पन्न नारंगी रंग के प्रकाश के तरंगदैर्घ्य की 1650763.73 गुनी लम्बाई 1 मीटर होती है।
(b) कैडमियम लाल रेखा (Cd-red line) के तरंगदैर्घ्य की 1553163.5 गुनी लम्बाई '1 मीटर' होती है।
(c) कैडमियम हरी रेखा (Cd-green line) के तरंगदैर्घ्य की 1966249.7 गुनी लम्बाई '1 मीटर' होती है।
(d) कैडमियम नीली रेखा (Cd-blue line) के तरंगदैर्घ्य की 2083372.1 गुनी लम्बाई '1 मीटर' होती है।
(e) पारा की हरी रेखा (Hg-green line) के तरंगदैर्घ्य की 1831248.2 गुनी लम्बाई '1 मीटर' होती है।
- सेण्टीमीटर (Centimeter)**—मीटर का 100वाँ भाग सेण्टीमीटर कहलाता है। यह CGS पद्धति में लम्बाई का मात्रक है।
- प्रकाश वर्ष (Light Year)**—
प्रकाश द्वारा एक वर्ष में तय की गई दूरी को प्रकाश वर्ष कहा जाता है। यह लम्बी दूरी का मात्रक है।
1 प्रकाश वर्ष = 9.46×10^{15} मीटर या, 9.46×10^{12} किमी०।
- खगोलीय मात्रक (Astronomical Units)**—
सूर्य और पृथ्वी के बीच की औसत दूरी खगोलीय मात्रक कहलाता है।
खगोलीय मात्रक 15×10^{11} मीटर होता है।
- पारसेक (Parsec)**—
यह Parallax second का संक्षिप्त रूप है। यह लम्बी दूरी का मात्रक है।
1 पारसेक = 3.08×10^{16} मीटर होता है।

क्षेत्रफल का मात्रक

- 1 एकड़ = 4840 वर्ग गज, 640 एकड़ = 1 वर्ग मील
1 एयर = 100 वर्ग मीटर, 100 एयर = 1 हेक्टेयर 2.471 एकड़

द्रव्यमान का मात्रक

- S.I. पद्धति में द्रव्यमान का मात्रक किलोग्राम होता है।
- किलोग्राम (Kilogram)**—
इंटरनेशनल ब्यूरो ऑफ वेल्स एंड मीजर्स में रखे प्लैटिनम-इरीडियम बेलन का द्रव्यमान 1 किलोग्राम (kg) माना जाता है जब तापक्रम 0°C हो।
- ग्राम (Gram)**—
1 Kilogramme का 1000 वाँ भाग 1 ग्राम कहलाता है, यह CGS पद्धति में द्रव्यमान का मात्रक है।
- पाउंड (Pound)**—
0.454 किलोग्राम का 1 पाउंड (lb) होता है। वह FPS पद्धति में द्रव्यमान का मात्रक है।
1 टेराग्राम = 10^9 किग्रा० 1 मिलीग्राम = 10^{-6}
1 जीगाग्राम = 10^6 किग्रा० 1 डेसीग्राम = 10^{-4}
1 मेगाग्राम = 1 टन = 10^3 किग्रा० 1 स्लग = 10.57 किग्रा०
1 क्विंटल = 10^2 किग्रा० 1 पौंड = 16 औंस = 453.52 ग्राम
1 पिकोग्राम = 10^{-15} किग्रा० 1 किग्रा० = 2.205 पौंड
1 कैंट = 205.3 मिलीग्राम 1 बैरल तेल = 159 लीटर

समय के मात्रक

- S.I. पद्धति में समय का मात्रक सेकेंड (Second) होता है।
- एक सेकेंड माध्य और दिवस के $\frac{1}{86400}$ भाग के बराबर होता है तथा एक वर्ष 3.1556×10^7 सेकेंड होता है।
- एक मध्याह्न से दूसरे मध्याह्न के बीच का समय और एक सौर दिवस (Solar day) कहलाता है।

- 1967 ई० के अंतर्राष्ट्रीय विज्ञान सम्मेलन में तय किया गया कि 1 सेकेंड यह समयान्तराल है, जिसमें परमाणु घड़ी (Atomic clock) में सीज़ियम परमाणु ($^{133}\text{Cs}_{55}$) 919263170 बार कम्पन करें।
1 पिकोसेकेंड = 10^{-12} सेकेंड, 1 माइक्रो सेकेंड = 10^{-6} सेकेंड,
1 नैनो-सेकेंड = 10^{-9} सेकेंड, 1 मिली सेकेंड = 10^{-3} सेकेंड,
1 वर्ष = 3.1556×10^7 सेकेंड, 1 लिपि वर्ष = 366 दिन,

अन्य मात्रक

- ऐम्पियर (Ampere)**—
यह विद्युत धारा का मात्रक है।
एक ऐम्पियर विद्युत धारा, वह धारा है, जो कि निर्वात में एक मीटर की दूरी पर स्थित दो सीधे, लम्बे व समानान्तर तारों में प्रवाहित होने पर, प्रत्येक तार की प्रति मीटर लम्बाई पर तारों के बीच 2×10^{-7} न्यूटन का बल उत्पन्न करती है।
- केल्विन (Kelvin)**—
यह ताप का मात्रक है।
एक केल्विन सामान्य वायुमंडलीय दाब पर गलते बर्फ के ताप तथा उबलते जल के ताप के अंतर का सौवाँ भाग है।
- कैंडेला (Candela)**—
यह ज्योति-तीव्रता का मात्रक है।
एक कैंडेला, मानक स्रोत के खुले मुख के 1 सेमी² क्षेत्रफल की ज्योति-तीव्रता का 1/60 भाग है।
जबकि स्रोत का ताप प्लैटिनम के गलनांक के बराबर हो।
- मोल (Mole)**—
यह पदार्थ की मात्रा का मात्रक है।
एक मोल किसी पदार्थ की वह मात्रा है, जिसमें अवयवों (Entities) की वही संख्या है, जितनी C^{12} के 0.012 किग्रा० में परमाणुओं की संख्या होती है।
S.I. पद्धति में सात मूल-मात्रकों के अतिरिक्त दो पूरक मूल मात्रक भी होते हैं—
(a) **रेडियन (Radian)**—
एक रेडियन वह कोण है, जो वृत्त की त्रिज्या के बराबर का चाप, वृत्त के केन्द्र पर अंतर्लित करता है।
(b) **स्टेरेडियन (Steradian)**—
एक स्टेरेडियन वह धन कोण है, जो गोले के पृष्ठ का वह भाग, जिसका क्षेत्रफल गोले के त्रिज्या के वर्ग के बराबर होता है, गोले के केन्द्र पर अंतर्लित करता है।

कुछ प्रमुख रूपान्तरण

- 1 फर्मी = 10^{-15} मीटर
- 1 एंगस्ट्रॉम = 10^{-10} मीटर
- 1 मिली माइक्रोन = 10^{-9} मीटर
- 1 माइक्रोन = 10^{-6} मीटर
- 1 पारसेक = 3.08×10^{16} मीटर = 3.26 प्रकाश वर्ष
- 1 प्रकाश वर्ष = 9.46×10^{15} मीटर

मानक SI उपसर्ग (Standard SI Prefix)

संकेत	पूर्वलग्न	गुणक
E	एक्सा (exa)	10^{18}
P	पेटा (peta)	10^{15}
T	टेरा (tera)	10^{12}
G	जिगा (giga)	10^9
M	मेगा (mega)	10^6

कुछ महत्वपूर्ण रूपांतरण

- 1 cm = 10^{-2} m
- 1 माइक्रोमीटर = 10^{-6} m
- 1 पिकोफैराड = 10^{-12} फैराड
- 1 मेगाओम = 10^6 ओम
- 1 मिलि-एम्पियर = 10^{-3} A
- 1 नैनो सेकंड = 10^{-9} sec
- 1 kg = 10^3
- 1 टेराहर्ट्ज = 10^{12} हर्ट्ज

S.I. पद्धति में व्युत्पन्न मात्रक

व्युत्पन्न राशि (Derived Quantity)	मात्रक (Unit)	संकेत (Symbol)
बल (Force)	न्यूटन	N
आयतन (Volume)	घनमीटर	m ³
ऊर्जा (Energy)	जूल	J
आवृत्ति (Frequency)	हर्ट्ज	Hz
संवेग (Momentum)	किग्रा मीटर/सेकंड	Kgms ⁻¹
कोणीय संवेग (Angular Momentum)	किग्रा वर्गमीटर/सेकंड	Kgm ² s ⁻¹
जड़त्व-आघूर्ण (Moment of Inertia)	किग्रा वर्गमीटर	Kgm ²
कोणीय वेग (Angular velocity)	रेडियन प्रति सेकंड	rads ⁻¹
चाल (Speed)	मीटर प्रति सेकंड	ms ⁻¹
आवेग (Impulse)	न्यूटन-सेकंड	Ns
प्रकाश-तरंगदैर्घ्य	ऐंग्स्ट्रॉम	Å
प्रदीप्ति घनत्व	लक्स	Lx
ज्योति-फलक्स	ल्यूमेन	Lm
चुम्बकीय फलक्स	वेबर	Wb
दाब (Pressure)	पास्कल	Pa
शक्ति (Power)	वाट	W
श्यानता (Viscosity)	न्यूटन-सेकंड प्रति वर्ग मीटर	Nsm ⁻²
पृष्ठ-तनाव (Surface Tension)	न्यूटन प्रति मीटर	Nm ⁻¹
प्रारक	हेनरी	H
विद्युत्धारिता	फैराडे	F
विद्युत्-प्रतिरोध	ओम	Ω
विभवान्तर	वोल्ट	V
विद्युत-आवेश (Electric Charge)	कूलॉम	C
विशिष्ट ऊष्मा (Specific heat)	जूल प्रति किग्रा प्रति केल्विन	JKg ⁻¹ K ⁻¹

विमा (Dimension)

- किसी भौतिक राशि का मात्रक प्राप्त करने के लिए मूल मात्रकों को जिन घातों (Power) से उठाना पड़ता है वे घात ही उस भौतिक राशि की विमा (Dimension) कहलाते हैं।
 - भौतिक राशियों के व्युत्पन्न मात्रक लंबाई, द्रव्यमान एवं समय के मूल मात्रकों से प्राप्त किये जाते हैं।
 - मूल मात्रकों की विमाएँ इस प्रकार से निरूपित होती हैं—
→ लंबाई (Length)–L, द्रव्यमान (Mass)–M, समय (Time)–T
 - उपर्युक्त निरूपण से सिर्फ उनकी प्रकृति (Nature) का पता चलता है, उनके परिमाणों का पता इनसे नहीं चलता है। जैसे—
- क्षेत्रफल की विमा :** क्षेत्रफल = [लंबाई × लंबाई] = L × L = L²
या M⁰L²T⁰, इसका अर्थ हुआ 'क्षेत्रफल' की विमा द्रव्यमान में शून्य, लंबाई में 2 और समय में शून्य है।
- संख्या (Numbers) और समान राशि के अनुपात की कोई विमा नहीं होती, जैसे-'विशिष्ट घनत्व' दो घनत्वों का अनुपात है, अतः इसकी कोई विमा नहीं होती।

संकेत	पूर्वलग्न	गुणक
k	किलो (kilo)	10 ³
h	हेक्टो (hecto)	10 ²
D	डेका (deca)	10 ¹
d	डेसी (deci)	10 ⁻¹
c	सेंटी (centi)	10 ⁻²
m	मिली (mili)	10 ⁻³
μ	माइक्रो (micro)	10 ⁻⁶
n	नैनो (nano)	10 ⁻⁹
P	पिको (pico)	10 ⁻¹²
F	फैम्टो (femto)	10 ⁻¹⁵
a	एटो (atto)	10 ⁻¹⁸

बल का CGS पद्धति में मात्रक डाइन होता है तथा SI पद्धति में न्यूटन होता है। 1 न्यूटन = 10⁵ डाइन

कार्य का CGS पद्धति में मात्रक अर्ग एवं SI पद्धति में जूल होता है। 1 जूल = 10⁷ अर्ग

कुछ भौतिक राशियों की तीनों पद्धतियों में मात्रक

राशि	एम.के.एस. पद्धति (M.K.S. System)	सी.जी.एस. पद्धति (C.G.S. System)	एफ.पी.एस. पद्धति (F.P.S. System)
1. लंबाई	मीटर	सेंटीमीटर	फुट
2. द्रव्यमान	किलोग्राम	ग्राम	स्लग
3. समय	सेकंड	सेकंड	सेकंड
4. बल	न्यूटन	डाइन	पाउंड-फुट/सेकंड ²
5. कार्य/ऊर्जा	जूल	अर्ग	पाउंड-फुट ² /सेकंड ²
6. शक्ति	वाट	अर्ग/सेकंड	अश्व-शक्ति (H.P.) [1 H.P. = 746 वाट]

कुछ महत्वपूर्ण भौतिक नियतांकों के मान

- गुरुत्वीय त्वरण (g) = 9.8 ms⁻²
- मानक वायुमंडलीय दाब = 76 cm Hg = 1.01 × 10⁵ Nm⁻²
- पानी का महत्तम घनत्व = 1 × 10³ kg m⁻³
- पारा का घनत्व = 13.59 × 10³ kg m⁻³
- गुरुत्वाकर्षण नियतांक (G) = 6.67 × 10⁻¹¹ Nm² kg⁻²
- आदर्श गैस नियतांक = 8.3145 J mole⁻¹ K⁻¹
- प्रकारा की चाल (निर्वात में) = 3 × 10⁸ ms⁻¹
- इलेक्ट्रॉन का आवेश (e) = 1.6 × 10⁻¹⁹ C
- इलेक्ट्रॉन के आवेश एवं द्रव्यमान का अनुपात (e/m) = 1.75 × 10¹¹ C kg⁻¹
- पृथ्वी का द्रव्यमान = 5.983 × 10²⁴ kg
- पृथ्वी का माध्य घनत्व = 5.5 × 10³ kg m⁻³
- पृथ्वी की माध्य त्रिज्या = 6.37 × 10⁶ m
- इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान = 9.1 × 10⁻³¹ kg
- न्यूट्रॉन का द्रव्यमान = 1.67 × 10⁻²⁷ kg
- प्रोटॉन का द्रव्यमान = 1.6749 × 10⁻²⁷ kg
- एवोगैड्रो संख्या = 6.023 × 10²³ mol⁻¹
- प्लांक नियतांक = 6.626 × 10⁻³⁴ Js
- निर्वात की चुंबकशीलता = 4π × 10⁻⁷ हेनरी/मीटर
- निर्वात की विद्युतशीलता = 8.849 × 10⁻¹² Fm⁻¹
- वोल्टजमान नियतांक = 1.38 × 10⁻²³ Jk⁻¹

- किसी भौतिक राशि की विमा प्राप्त करने के लिए उस राशि को दूसरी भौतिक राशि के रूप में व्यक्त कर उसकी विमाएँ प्राप्त कर ली जाती हैं। कुछ उदाहरण निम्नलिखित दिये गये हैं—

महत्वपूर्ण विमीय सूत्र
(Important Dimensional Formulae)

राशि	सूत्र	विमाएँ
लम्बाई, चौड़ाई, मोटाई या दूरी एवं विस्थापन	लम्बाई	L
क्षेत्रफल (Area)	लम्बाई × चौड़ाई	L ²
आयतन (Volume)	लम्बाई × चौड़ाई × ऊँचाई	L ³
द्रव्यमान (Mass)	Mass	M
समय (Time)	Time	T
घनत्व (Density)	$\frac{\text{द्रव्यमान}}{\text{आयतन}}$	ML ⁻³
वेग (Velocity)	$\frac{\text{विस्थापन}}{\text{समय-अन्तराल}}$	LT ⁻¹
चाल (Speed)	$\frac{\text{दूरी}}{\text{समय-अन्तराल}}$	LT ⁻¹
त्वरण (Acceleration)	$\frac{\text{वेग परिवर्तन}}{\text{समय-अन्तराल}}$	LT ⁻²
बल (Force)	द्रव्यमान × त्वरण	MLT ⁻²
कार्य (Work) या ऊर्जा (Energy)	बल × विस्थापन	ML ² T ⁻²
शक्ति (Power)	$\frac{\text{बल} \times \text{विस्थापन}}{\text{समय}}$	ML ² T ⁻³
संवेग (Momentum)	द्रव्यमान × वेग	MLT ⁻¹
आवेग (Impulse)	बल × समय-अन्तराल	MLT ⁻¹

2. सामान्य भौतिकी (General Physics)

गति (Motion)

- **विराम (Rest)**—किसी पिंड को विराम में तब समझा जाता है जब वह अपना स्थान किसी दूसरे स्थिर संकेत बिंदु से समय के साथ-साथ नहीं बदलता है।
- **गति (Motion)**—अगर कोई वस्तु अपनी जगह, किसी स्थित संकेत बिंदु से समय के साथ-साथ बदलता है, तो वह पिंड गति में समझा जाता है।
- **एक विमा में गति (Motion in one dimension)**—सीधी रेखा पर की गई गति एकविमीय गति कहलाती है। लंबी व सीधी सड़क पर गतिशील कार की गति इसका बेहतरीन उदाहरण है।
- किसी वस्तु में अलग-अलग तीन तरह की गतियाँ हो सकती हैं—
- 1. **स्थानान्तरी गति (Translatory motion)**—
 - स्थानान्तरी गति तब होती है जब किसी वस्तु की अलग-अलग स्थितियाँ (Positions) को जोड़ने वाली रेखा की दिशा नहीं बदलती।
 - ऊँचाई से गिरता हुआ पत्थर, सीधी पटरियों पर दौड़ती ट्रेन आदि।
- 2. **चक्रीय गति (Rotatory motion)**—
 - चक्रीय गति तब होती है जब किसी गतिशील वस्तु में प्रत्येक बिन्दु एक वृत्त पर घूमता है।
 - बड़े-बड़े झूलों की गति, कुम्हार के चाक की गति आदि।
- 3. **आवर्त गति (Periodic motion)**—
 - आवर्त गति तब होती है जब कोई गतिशील वस्तु एक नियमित समयांतराल बाद गति को दुहराता है।

- सरल लोलक की गति, आवर्त गति का उदाहरण है।
- कुछ गतियाँ निम्न प्रकार की भी हो सकती हैं—
- (a) **यादृच्छिक गति (Random motion)**—
 - जब कोई वस्तु किसी टूट-मोड़ पथ में गमन करता है, तब कैसे गति को यादृच्छिक गति कहते हैं।
 - उदाहरण—मक्खी की गति, फुटबॉल के मैदान में फुटबॉल खिलाड़ी की गति इत्यादि।
- (b) **वृत्तीय गति (Circular motion)**—
 - जब कोई वस्तु वृत्ताकार पथ में गमन करता है, तो इसके गति को वृत्तीय गति कहते हैं।
 - पृथ्वी की गति, नाभिक के चारों ओर इलेक्ट्रॉन की गति इत्यादि उपर्युक्त के उदाहरण हैं।
- (c) **दोलनी गति (Oscillatory motion)**—
 - जब कोई वस्तु किसी निश्चित बिन्दु के आगे पीछे गति करता है, तो यह दोलनी गति कहलाता है।
 - झूले की गति, पेण्डुलम की गति इत्यादि इसके उदाहरण हैं।

दूरी एवं विस्थापन (Distance and Displacement)

- किसी वस्तु द्वारा किसी भी दिशा में चली गई कुल लम्बाई को दूरी (Distance) कहते हैं।
- वस्तु द्वारा निर्दिष्ट दिशा में चली गई दूरी को विस्थापन (Displacement) कहते हैं। विस्थापन एक सदिश राशि है।
- वस्तु की प्रारंभिक स्थिति और अंतिम स्थिति को मिलाने वाली सीधी रेखा विस्थापन कहलाती है।
- यह धनात्मक (+ve), ऋणात्मक (-ve) अथवा शून्य (0) भी हो सकता है।

चाल (Speed)

- किसी गतिशील वस्तु द्वारा प्रति सेकेंड तय की गयी दूरी को चाल कहा जाता है। अतः

$$\text{चाल} = \frac{\text{तय की गई दूरी}}{\text{समयान्तराल}}$$

- चाल में दिशा नहीं होती, सिर्फ परिमाण (Magnitude) होता है, अतः यह एक 'अदिश राशि' है।
- चाल का मान धनात्मक (+ve) होता है।
- चाल (Speed) का SI मात्रक मीटर प्रति सेकेंड (ms⁻¹) होता है।

औसत चाल (Average speed)

- (i) जब वस्तु भिन्न-भिन्न चालों से समान दूरी तय करती है—
"जब कोई वस्तु कोई दूरी V₁ चाल से तय करती है तथा उसके बाद उतनी ही दूरी V₂ चाल से तय करती है" तो संपूर्ण यात्रा की.....

$$\text{औसत चाल} = \frac{2V_1V_2}{V_1 + V_2}$$

- (ii) जब वस्तु भिन्न-भिन्न चालों से समान समय तक चलती है—
"यदि यात्रा के पहले आधे समय में कार की चाल V₁ तथा यात्रा के दूसरे आधे समय में कार की चाल V₂ हो" तो संपूर्ण यात्रा में....

$$\text{औसत चाल} = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

- **वेग (Velocity)**—एकांक समय में किसी विशेष दिशा में तय की गई दूरी 'वेग' कहलाती है।
$$\text{वेग} = \frac{\text{विस्थापन}}{\text{समयान्तराल}}$$
- वेग में परिमाण व दिशा दोनों हैं, अतः एक सदिश राशि है।
- वेग ऋणात्मक (-ve), धनात्मक (+ve) अथवा शून्य भी हो सकता है।
- वेग मुख्यतः 5 प्रकार के होते हैं—
- (a) **समरूप वेग (Uniform velocity)**—समरूप वेग तब होता है जब किसी गतिशील वस्तु का वेग प्रत्येक सेकेंड में समान रहता है।

- (b) **असमरूप वेग (Non-uniform velocity)**—असमरूप वेग तब होता है जब किसी गतिशील वस्तु का वेग प्रति सेकेंड में भिन्न-भिन्न होता है।
 (c) **औसत (Average Velocity)**—कुल विस्थापन में समयांतराल से भाग देने पर औसत वेग प्राप्त होता है।

$$\therefore V_{(av)} = \frac{\text{कुल विस्थापन}}{\text{समयान्तराल}}$$

Ex.—एक व्यक्ति पहले सेकेंड में 4 मीटर पूरब, दूसरे सेकेंड में 6 मीटर फिर पूरब तथा तीसरे सेकेंड में 5 मीटर पश्चिम की ओर जाता है।

अतः, व्यक्ति का औसत वेग = $\frac{5}{3} = 1.66 \text{ m/s}$ पूरब की ओर।

- (d) **आपेक्षिक या सापेक्षिक वेग (Relative velocity)**—दो वेगों के सदिश अन्तर को सापेक्षिक वेग कहते हैं।

- यदि दो वस्तुएँ A और B क्रमशः वेग V_A तथा V_B से गतिशील हैं, तो A का सापेक्षिक वेग B के सापेक्ष V_{AB} द्वारा तथा B आपेक्षिक वेग A के सापेक्ष V_{BA} द्वारा व्यक्त किया जाता है।

स्थितियाँ :

- यदि दोनों वस्तुएँ एक ही सरल रेखा में एक ही दिशा में चल रही हैं,

$$\text{तो } \overrightarrow{V_A = 10 \text{ km/h}} \quad \overrightarrow{V_B = 15 \text{ km/h}}$$

$$\overrightarrow{V_{AB}} = \overrightarrow{V_A} - \overrightarrow{V_B} = \leftarrow 5 \text{ km/h}$$

$$\overrightarrow{V_{BA}} = \overrightarrow{V_B} - \overrightarrow{V_A} = 5 \text{ km/h} \rightarrow$$

- यदि दोनों वस्तुएँ एक ही सरल रेखा में विपरीत दिशा में चल रही हैं,

$$\text{तो } \leftarrow \overrightarrow{V_A = 10 \text{ km/h}} \quad \overrightarrow{V_B = 15 \text{ km/h}}$$

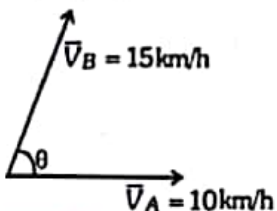
$$\overrightarrow{V_{AB}} = \overrightarrow{V_A} + \overrightarrow{V_B} = 10 + 15 = 25 \text{ km/h}$$

- यदि दोनों वस्तुएँ भिन्न सरल रेखा एवं दिशा में चल रही हैं, अर्थात् जब दोनों के बीच θ कोण बनता है—

$$\overrightarrow{V_{AB}} = \overrightarrow{V_A} - \overrightarrow{V_B} = 10 - 15 = -5 \text{ km/h}$$

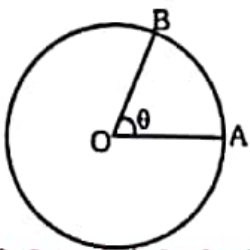
$$\overrightarrow{V_{BA}} = \overrightarrow{V_B} - \overrightarrow{V_A} = 15 - 10 = 5 \text{ km/h}$$

$$-\overrightarrow{V_{BA}} = \overrightarrow{V_{AB}}$$



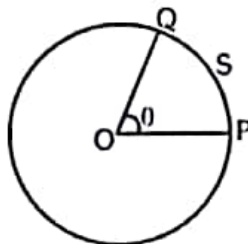
- (e) **कोणीय वेग (Angular Velocity)**—वृत्तीय पथ पर चलने वाली पिंड एक सेकेंड में वृत्त के केन्द्र पर जितना बड़ा कोण बनाती है, वही उस वस्तु का कोणीय वेग कहलाता है। चित्रानुसार एक वस्तु वृत्तीय पथ पर A से B तक t सेकेंड में चलती है, तो वस्तु का कोणीय वेग—

$$\omega = \frac{\angle AOB}{t} \quad \omega = \frac{\theta}{t}$$



1. **रेखीय एवं कोणीय वेग में संबंध (Relation between linear & Angular velocities)**—माना कि r त्रिज्या वाले वृत्तीय पथ पर एक वस्तु समरूप गति से चलकर t सेकेंड में चक्कर काटती है, तो वस्तु

का रेखीय वेग (V), वस्तु के कोणीय वेग (ω) एवं वृत्त की त्रिज्या के गुणनफल के बराबर होगा—



रेखीय वेग (V) = कोणीय वेग (ω) \times वृत्त की त्रिज्या (r)

2. **तात्क्षणिक वेग (Instantaneous velocity)**—यदि समयांतराल अति सूक्ष्म हों (यानि $dt \rightarrow 0$) वेग तात्क्षणिक वेग कहलाता है—

$$\vec{V}_{inst.} \lim_{\delta t \rightarrow 0} = \frac{\Delta x}{dt} = \frac{dx}{dt}$$

हां, $\Delta x \rightarrow$ वस्तु में हुआ विस्थापन।

त्वरण (Acceleration)—

- वस्तु के वेग परिवर्तन की दर को त्वरण कहते हैं।
- यदि वेग में कमी है तो इस कमी की दर को मंदन (Retardation) कहते हैं।
- यह एक सदिश है।
- त्वरण एवं मंदन का SI मात्रक m/sec^2 होता है।
- त्वरण समरूप एवं असमरूप दोनों प्रकार के होते हैं।
- यदि वस्तु के वेग में बराबर समयान्तरालों में बराबर परिवर्तन हो रहा है तो उसका त्वरण समरूप (Uniform) कहलाता है।
- यदि वस्तु के वेग का परिमाण समय के साथ बढ़ रहा है तो वस्तु का त्वरण धनात्मक (+ve) होता है।
- यदि वस्तु के वेग का परिमाण समय के साथ घट रहा है तो त्वरण ऋणात्मक (-ve) होता है तथा 'मंदन' कहलाता है।
- यदि समयांतराल Δt में वेग का वेग U से बदलकर V हो जाय तो वेग

में परिवर्तन $\Delta \vec{V} = \vec{V} - \vec{U}$ अतः, माध्य त्वरण

$$a_{(av)} = \frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t}$$

त्वरण = $\frac{\text{वेग में परिवर्तन}}{\text{समयान्तराल}}$

- यदि समयांतराल अति सूक्ष्म हो (यदि $\Delta t \rightarrow 0$), तो त्वरण को तात्क्षणिक त्वरण कहते हैं।

$$\vec{a}_{inst.} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t} = \frac{d\vec{V}}{dt}$$

एकसमान त्वरित गति के लिए गैलीलियो के समीकरण (Galileo's equations for uniformly accelerated motion)

1. समरूप वेग से चलती हुई वस्तु द्वारा t sec. में तय की गई दूरी—

$$S = Vt \quad \text{जहाँ, } S \rightarrow t \text{ sec. में वस्तु द्वारा तय की गई दूरी, } V \Rightarrow \text{वस्तु का वेग।}$$

2. समरूप त्वरण 'a' से चलती हुई वस्तु द्वारा 't' sec. में प्राप्त वेग—

$$V = U + at \quad \text{जहाँ, } V \Rightarrow t \text{ sec. में वस्तु का वेग, } H \Rightarrow \text{वस्तु का प्रारंभिक वेग।}$$

3. समरूप त्वरण 'a' से चलकर 't' sec. में प्राप्त की गई दूरी—

$$S = Ut + \frac{1}{2}at^2 \quad \text{जहाँ, } S \text{ समरूप त्वरण से चलकर } t \text{ sec. में तय की गई दूरी।}$$

4. समरूप त्वरण 'a' से चलते हुए, अंतिम एवं प्रारंभिक वेगों में संबंध-

$$V^2 = U^2 + 2as$$

v → अंतिम वेग,
U → प्रारंभिक वेग,
S → तय की गई दूरी।

5. किसी खास sec. में वस्तु द्वारा तय की गयी दूरी - यदि वस्तु का प्रारंभिक वेग U तथा समरूप त्वरण a हों, तो प्रारंभ से n sec. में तय की गई दूरी-

$$S_n = U + \frac{(2n-1)}{2}a$$

$$\bar{V} = \frac{U+V}{2}$$

जहाँ, \bar{V} — औसत वेग, U — प्रारंभिक वेग, V — अंतिम वेग।

6. गुरुत्व के अधीन उदग्र (vertical) गति के समीकरण—यदि गिरने की दूरी बहुत अधिक नहीं होती है, तो गुरुत्व के त्वरण, ऊपर से नीचे (या नीचे से ऊपर) गिरनेवाली वस्तुओं के त्वरण 'g' का मान लगभग स्थिर रहता है—

ऊपर से नीचे की ओर गति के लिए

$$V = U + gt$$

$$h = Ut + \frac{1}{2}gt^2$$

$$V^2 = U^2 + 2gh$$

नीचे से ऊपर की ओर गति के लिए

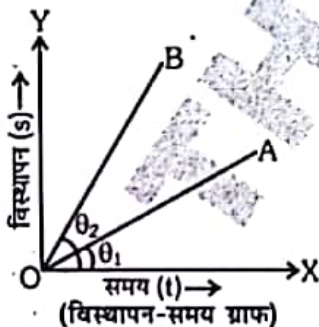
$$V = U - gt$$

$$h = Ut - \frac{1}{2}gt^2$$

$$V^2 = U^2 - 2gh$$

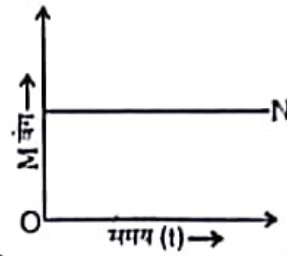
गति-सम्बन्धी ग्राफ (Graphs Related to Motion)

1. विस्थापन-समय ग्राफ (Displacement-Time Graph)—यदि कोई वस्तु एकसमान वेग से एक सरल रेखा से गति करती है, तो उसका विस्थापन-समय ग्राफ एक सरल रेखा में होता है, जिसकी प्रवणता (Slope) उस वस्तु की चाल (Speed) बतलाती है। समय-अक्ष के साथ यदि सरल रेखा का झुकाव अधिक होता है, तो उसकी प्रवणता अधिक होती है। साथ-ही-साथ वस्तु की चाल भी अधिक होती है।



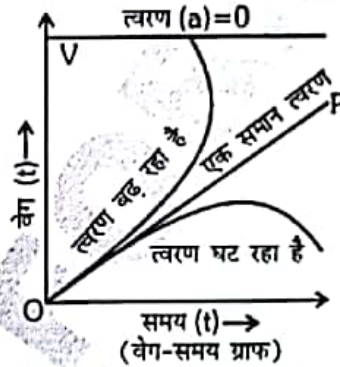
दिए गए चित्र में $\angle BOX > \angle AOX$ अर्थात् वस्तु B की प्रवणता वस्तु A की प्रवणता से अधिक है, इसलिए वस्तु B की चाल वस्तु A की चाल से अधिक होगी।

2. वेग-समय ग्राफ (Velocity-Time Graph)—यदि वस्तु एकसमान गति कर रही है, तो उसका वेग नियत रहेगा, अतः वेग-समय ग्राफ एक सरल रेखा होगा, जो समय-अक्ष के समांतर होगी जैसा कि चित्र में रेखा MN द्वारा प्रदर्शित है।



(वेग-समय ग्राफ (एक समान गति))

3. एक समान त्वरित गति—यदि कोई वस्तु एकसमान त्वरण से एक सरल रेखा में गति कर रही हो, तो उसका वेग-समय ग्राफ भी एक सरल रेखा होता है, जो समय-अक्ष के साथ कुछ निश्चित कोण बनाती है।



दिए गए चित्र में सरल रेखा OP इस तरह की गति में वेग-समय ग्राफ को प्रदर्शित करती है।

- **वृत्तीय गति (Circular Motion)**—जब कोई वस्तु किसी वृत्ताकार मार्ग पर गति करती है, तो उसकी गति को वृत्तीय गति कहते हैं।

Note: समरूप वृत्तीय गति एक त्वरित गति होती है, क्योंकि वेग की दिशा प्रत्येक बिन्दु पर बदल जाती है।

- **कोणीय त्वरण (Angular Acceleration)**—कोणीय वेग के परिवर्तन की दर को कोणीय त्वरण कहते हैं।

$$\text{अतः कोणीय त्वरण } (\alpha) = \frac{\text{कोणीय वेग में परिवर्तन की दर}}{\Delta t} = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$$

- इसका मात्रक रेडियन/से² है।
- **कोणीय वेग (Angular Velocity)**—वृत्ताकार मार्ग पर गतिशील कण को वृत्त के केंद्र से मिलाने वाली रेखा एक सेकण्ड में जितने कोण से घूम जाती है, उसे उस कण का कोणीय वेग कहते हैं। इसे ω (ओमेगा) से प्रकट किया जाता है।
- **अभिकेन्द्रीय त्वरण (Centripetal Acceleration)**—जब कोई कण एकसमान चाल v से r त्रिज्या के वृत्त में गति करता है, तो कण पर

केंद्र की दिशा में $\frac{v^2}{r}$ के बराबर त्वरण कार्य करता है, जिसे अभिकेन्द्रीय त्वरण कहते हैं। इस त्वरण का परिमाण नियत रहता है, लेकिन उसकी दिशा हमेशा परिवर्तित होती रहती है, क्योंकि यह गति के प्रत्येक बिंदु पर केंद्र की दिशा में रहती है। अभिकेन्द्रीय त्वरण के बिना वृत्तीय गति असंभव है।

- **कोणीय संवेग (Angular Momentum)**—घूर्णन-गति करने वाले किसी पिंड के जड़त्व-आघूर्ण एवं कोणीय वेग के गुणनफल को कोणीय संवेग कहते हैं।
कोणीय संवेग = जड़त्व आघूर्ण \times कोणीय वेग या $L = I\omega$

एकसमान वृत्तीय गति (Uniform Circular Motion)—

- यदि कोई कण किसी स्थिर वृत्त की परिधि (circumference) पर नियत चाल (constant speed) में घूम रहा हो तो उसकी गति 'एकसमान वृत्तीय गति' कही जाती है।

- एकसमान वृत्तीय गति में गति पथ के प्रत्येक बिंदु पर तात्क्षणिक वेग हमेशा पथ के अनुदिश (along) अर्थात् स्पर्श-रेखीय (tangential) होता है।

1. **वक्र पथ पर साइकिल सवार की गति—**
जब कभी साइकिल सवार वक्र पथ पर साइकिल चलाता है तो वह अपना शरीर ऊर्ध्वाधर दिशा (vertical direction) से दूर, पथ के केंद्र की ओर झुका देता है।
- यदि साइकिल सवार का ऊर्ध्वाधर दिशा से झुकान θ , साइकिल का वेग v तथा वक्र-पथ की त्रिज्या R हो, तो—

$$\tan \theta = \frac{v^2}{Rg}, \text{ जहाँ, } g \rightarrow \text{गुरुत्वीय त्वरण}$$

2. **मार्गों का ढलान (Banking of roads)—**
यदि किसी R त्रिज्या के मार्ग पर किसी वाहन, जैसे साइकिल, मोटरगाड़ी, रेलगाड़ी इत्यादि की चाल V तथा सड़क अथवा रेल की पटरी में ढलान हो, तो—

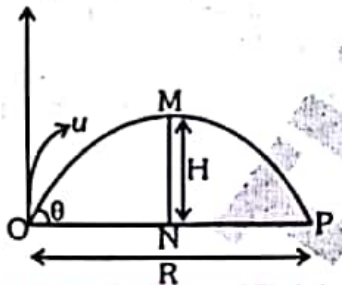
$$\tan \theta = \frac{V^2}{Rg}$$

3. **ऊर्ध्वाधर वृत्तीय गति (Motion in vertical circle)—**
जब कोई पिंड क्षैतिज तल में घूमता है तो उसकी चाल एवं अभिकेंद्र बल स्थिर रहते हैं।
परंतु, यदि किसी धागे या डोरी से बंधे वृत्त को ऊर्ध्वाधर वृत्त में घुमाया जाता है तब उसकी चाल स्थिर नहीं रहती है, क्योंकि इसपर गुरुत्वीय त्वरण लगता है।
पिंड की चाल का मान निम्नतम बिंदु पर अधिकतम एवं उच्चतम बिंदु पर न्यूनतम होगा।
उच्चतम बिंदु पर पिंड की न्यूनतम चाल की क्रांतिक चाल (Critical speed) कहते हैं।

$$V_C = \sqrt{Rg}, \text{ जहाँ, } R \rightarrow \text{वृत्त की त्रिज्या, } V_C \rightarrow \text{क्रांतिक चाल}$$

प्रक्षेप्य गति (Projectile Motion)—

- जब किसी पिंड को क्षैतिज गति से कुछ कोण बनाते हुए ऊर्ध्वाधर तल में प्रक्षेपित किया जाता है, तो उसका पथ परवलय होता है।
- पिंड की इस गति को 'प्रक्षेप्य गति' कहते हैं। तथा इसके पथ को 'प्रक्षेप्य पथ' कहते हैं।
- जैसे—तोप से छूटे गोले की गति, ईंधन समाप्त हो जाने के बाद रॉकेट की गति, छत पर खड़े होकर क्षैतिज दिशा में फेंके गये गेंद की गति आदि प्रक्षेप्य गति के उदाहरण हैं।



1. **उड़ड़यन-काल (Time of Flight)—**पिंड के ऊपर फेंकने तथा पृथ्वी पर वापस लौटने के बीच के समय को उड़ड़यन-काल कहते हैं।

$$\text{उड़ड़यन-काल } T = \frac{2u \sin \theta}{g}, \text{ जहाँ } u \text{ पिंड का प्रारंभिक वेग है।}$$

2. **अधिकतम ऊँचाई (Maximum Height)—**माना कि पथ के उच्चतम

$$\text{बिंदु } M \text{ की पृथ्वी तल से ऊँचाई } H \text{ है, तो } H = \frac{u^2 \sin^2 \theta}{2g}$$

समीकरण से स्पष्ट है कि यदि $\theta = 90^\circ$ हो, तो $\sin 90^\circ = 1$
अतः इस अवस्था में पिंड सबसे अधिक ऊँचाई तक जायेगा।

3. **परास (Range)—**प्रक्षेप्य बिंदु O से P तक की क्षैतिज दूरी को परास कहते हैं। यदि O से P तक की दूरी R हो, तो $R = \frac{u^2 \sin 2\theta}{g}$
यदि $\theta = 45^\circ$ हो, तो इस अवस्था में परास का मान महत्तम होगा अर्थात् पिंड सबसे दूर जाकर गिरेगा।

न्यूटन के गति सम्बन्धी नियम (Newton's Laws of Motion)

- 1687 ई० में सर आइजक न्यूटन की पुस्तक प्रिंसिपिया (Principia) का प्रकाशन हुआ।
- उपर्युक्त पुस्तक में न्यूटन ने गति के नियमों (Laws of motion) की व्याख्या की।
- वैज्ञानिक न्यूटन के सम्मान में उपर्युक्त नियमों को न्यूटन के गति के नियम (Newton's laws of motion) कहा गया।
- (i) **प्रथम नियम (First law of motion)—**
गैलीलियो द्वारा प्राप्त किये गये निष्कर्षों को ही न्यूटन ने गति के प्रथम नियम के रूप में पेश किया था।
अतः यदि कोई वस्तु स्थिर हो या एक समान गति से चल रही है तो वह उस समय तक स्थिर रहेगी अथवा एक समान गति से चलती रहेगी जब तक उस पर कोई असंतुलित अथवा बाह्य बल न लगे।
उपर्युक्त नियम को गैलीलियो का जड़त्व का नियम (Galileo's law of Inertia) भी कहा जाता है।
- **जड़त्व (Inertia)—**किसी वस्तु का वह गुण, जिसके कारण स्थिर वस्तु सदा स्थिर एवं समरूप वेग से गतिमान वस्तु सदा गतिमान रहना चाहती है, को 'जड़त्व' कहते हैं।
- जड़त्व दो प्रकार के होते हैं—
- (i) **विराम जड़त्व (Inertia of Rest)—**यदि कोई वस्तु विराम की अवस्था में है, तो वह हमेशा विराम में ही रहना चाहती है, जबतक कि उसपर कोई बाहरी बल लगाकर उसकी अवस्था में परिवर्तन न कर दे।
- (ii) **गति का जड़त्व (Inertia of motion)—**यदि कोई वस्तु एकसमान चाल से सीधी सरल रेखा में चल रही हो, तो वह हमेशा चलते ही रहना चाहती है, जबकि कि कोई बाहरी बल लगाकर उसकी अवस्था में परिवर्तन न ला दे।
- **चलती बस से कूदना खतरनाक है :** क्योंकि चलती बस में सवार व्यक्ति बस के साथ गतिशील अवस्था में रहता है। बस से बाहर कूदते समय उसके पैर जमीन पर घर्षण के कारण विराम में आ जाते हैं, किन्तु उसके शरीर का ऊपरी भाग जड़त्व के कारण गतिमान बना रहता है, फलस्वरूप वह बस की गति की दिशा में गिर पड़ता है और घायल हो जाता है। अतः इससे बचने के लिए व्यक्ति को बस की गति की दिशा में कुछ दूरी त दौड़कर धीरे-धीरे अपनी गति समाप्त करनी चाहिए।
- **जड़त्व का उदाहरण—**
- (i) ठहरी हुई मोटर या रेलगाड़ी के अचानक चल पड़ने पर उसमें बैठे यात्री पीछे की ओर झुक जाते हैं।
- (ii) चलती हुई मोटरकार के अचानक रुकने पर उसमें बैठे यात्री आगे की ओर झुक जाते हैं।
- (iii) कम्बल को हाथ से पकड़कर डण्डे से पीटने पर धूल के कण झड़कर गिर पड़ते हैं।
- (iv) दरी खींचने पर उसपर खड़ा व्यक्ति उलट जाता है।
- इस प्रकार न्यूटन के प्रथम नियम से बल की परिभाषा मिलती है।
- (ii) **न्यूटन का द्वितीयक नियम (Newton's Second law of Motion) :** किसी वस्तु के संवेग परिवर्तन की दर उस पर लगाये गये बल के समानुपाती होता है।
- बल एवं संवेग परिवर्तन की दिशा समरेखीय (collinear) होती है।

- यदि आरोपित बल F , बल की दिशा में उत्पन्न त्वरण a एवं वस्तु का द्रव्यमान m हो, तो न्यूटन के गति के दूसरे नियम से $F = ma$
- यदि $F = 0$, तो $a = 0$ ($m \neq 0$) अर्थात् यदि वस्तु पर बल न लगायी जाय, तो वस्तु में त्वरण भी उत्पन्न नहीं होगा।
- अतः त्वरण के शून्य होने का अर्थ है कि वस्तु या तो विरामावस्था में है या नियम वेग से गतिमान है।
- अतः न्यूटन का वेग विषयक द्वितीय नियम प्रथम नियम का ही एक रूप है।
- इस नियम से बल का व्यंजक प्राप्त होता है।
- बल का मात्रक Kg-m/s^2 या N (न्यूटन) होता है।

संवेग (Momentum) —

- किसी वस्तु के द्रव्यमान एवं वेग के गुणनफल को संवेग कहते हैं।
- यह एक सदिश राशि है।
- इसका मात्रक kgm/s^{-1} (किलोग्राम मी०/से०) तथा विमा $[\text{MLT}^{-1}]$ है।

- इसे \vec{p} से सूचित किया जाता है।

- यदि वस्तु का वेग \vec{u} हो, तो

$$\text{संवेग} = \text{द्रव्यमान} \times \text{वेग या } \vec{p} = m\vec{u}$$

बल (Force)

- बल वह भौतिक कारण है, जो किसी वस्तु पर लगकर उसकी विराम की अवस्था अथवा सरल रेखा में एकसमान गति की अवस्था में परिवर्तन लाता है अथवा लाने का प्रयत्न करता है बल (Force) कहते हैं।
- बल लगाकर किसी वस्तु की आकृति और आकार में परिवर्तन लाया जा सकता है।
- जैसे—हवा से भरे बैलून को यदि हाथ से जोर से दबाया जाय, तो उसकी आकृति और आकार दोनों ही बदल जाते हैं।

बल के मात्रक (Unit of Force) —

- बल का मात्रक 'न्यूटन' होता है। इसे N से सूचित किया जाता है।

न्यूटन (Newton) —

- 1 न्यूटन बल वह बल है, जो 1 किग्रा द्रव्यमान की किसी वस्तु में 1 मीटर/सेकंड^2 का त्वरण उत्पन्न कर देता है।

- $1 \text{ न्यूटन (N)} = 1 \text{ किग्रा-मीटर/सेकंड}^2$ $1 \text{ न्यूटन} = 10^5 \text{ डाइन}$

- C.G.S. पद्धति में बल का मात्रक डाइन (Dyne) है

$$1 \text{ Dyne} = 1 \text{ gm-cm/sec}^2$$

- बल का एक अन्य मात्रक किग्रा-भार है। इसे गुरुत्वीय मात्रक भी कहते हैं।

- 1 किग्रा-भार उस बल के बराबर होता है, जो 1 किग्रा की वस्तु पर गुरुत्व के कारण लगता है।

- गुरुत्वीय बल = द्रव्यमान \times गुरुत्वीय त्वरण

- किसी वस्तु पर लगने वाले गुरुत्वीय बल को वस्तु का भार भी कहते हैं। इसे W से सूचित किया जाता है—

$$W = mg \text{ [जहाँ } g = 9.8 \text{ मीटर/सेकंड}^2 \text{ होता है।]}$$

- $1 \text{ किग्रा-भार} = 1 \text{ किग्रा} \times 9.8 \text{ मीटर/सेकंड}^2 = 9.8 \text{ किग्रा-मीटर/सेकंड}^2 = 9.8 \text{ न्यूटन}$ होता है।

- अतः भार (W ; Weight) एक बल है और उसका मात्रक न्यूटन है।

$$\text{द्रव्यमान } m \text{ का मात्रक किग्रा है। इसलिए सूत्र : } g = \frac{W}{m}$$

- गुरुत्वीय त्वरण को न्यूटन/किग्रा मात्रक में व्यक्त किया जाता है।

बलों के प्रकार (Types of Forces) :

- बल मुख्यतः दो रूपों में लगाए जाते हैं—खींचने के रूप में अथवा धकेलने के रूप में।
- बल को मुख्यतः चार भागों में विभाजित किया गया है।
- सभी प्रकार के बल इनके अंतर्गत आ जाते हैं।

- ये बल निम्नलिखित हैं—

(i) गुरुत्वाकर्षण बल (Gravitational Force) —

- ब्रह्माण्ड, के प्रत्येक कण एक-दूसरे कण को अपने द्रव्यमान के कारण आकर्षित करते हैं।
- पृथ्वी भी अपने केंद्र की ओर प्रत्येक वस्तु को आकर्षित करती है। पृथ्वी के इस प्रकार के आकर्षण बल को गुरुत्वीय बल (Force of gravity) कहते हैं।
- यह बल बहुत ही कमजोर होता है, जिसके कारण हम इसका अनुभव नहीं करते।
- जैसे—1 किग्रा द्रव्यमान के दो पिंडों को 1 मीटर की दूरी पर रखा जाए, तो उनके बीच 6.67×10^{-11} न्यूटन का बल लगता है, जो बहुत ही कम है।
- दो खगोलीय पिंडों के बीच लगने वाले बल को गुरुत्वाकर्षण बल (Gravitational Force) कहते हैं।
- यह दो पिंडों के बीच लगता है।
- जैसे—सूर्य, चन्द्रमा, पृथ्वी आदि। यह बल इतना प्रभावी होता है कि पिंड अपने अक्ष पर घूर्णन करते रहते हैं तथा एक पिंड दूसरे पिंड के साथ संतुलन बनाए रखते हैं।

(ii) विद्युत्-चुम्बकीय बल (Electromagnetic force) —

- यह बल मुख्यतः दो प्रकार के होते हैं—

(a) स्थिर-विद्युत् बल (Electro-static force) —

- दो स्थिर बिंदु-आवेशों के बीच लगने वाले बल को स्थिर-विद्युत् बल कहते हैं। इस प्रकार के बल में सजातीय आवेश एक-दूसरे को विकर्षित करते हैं, लेकिन विजातीय आवेश एक-दूसरे को आकर्षित करते हैं। जैसे—दो आवेशों q_1 तथा q_2 के बीच की दूरी r हो, तो

$$\text{इनके बीच लगने वाला स्थिर-विद्युत् बल} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q_1 q_2}{r^2} \text{ होता है,}$$

जहाँ μ = माध्यम की परावैद्युतांक।

(b) चुम्बकीय बल (Magnetic force) —

- दो चुम्बकीय ध्रुवों के बीच लगने वाले बल को चुम्बकीय बल कहते हैं। जैसे— m_1 तथा m_2 प्रबलता (Strength) वाले दो ध्रुवों के बीच की दूरी अगर r हो, तो इनके बीच लगने वाले चुम्बकीय बल

$$F = \frac{1}{4\pi\mu} \cdot \frac{m_1 m_2}{r^2} \text{ होता है, जहाँ } \mu = \text{माध्यम का चुम्बकीय पारगम्यता है।}$$

(iii) दुर्बल या क्षीण बल —

- प्रबल बल के परिमाण से क्षीण बल का परिमाण लगभग 10^{-13} गुना कम होता है, जो बहुत ही कम है, इसलिए इसे दुर्बल या क्षीण बल कहते हैं।
- इसके द्वारा संचालित क्षय प्रतिक्रियाएँ अपेक्षाकृत बहुत धीमी गति से चलती हैं।
- मेसॉन तथा हाइप्रॉन (Hyprion) के क्षय (Decay) में भी क्षीण बल कार्य करता है।
- ऐसा समझा जाता है कि ये बल W -बोसॉन (W -Boson) नामक कण के आदान-प्रदान द्वारा अपना प्रभाव दिखाते हैं।
- यह अत्यंत लघु परास वाला बल (Very short range force) है। इसका परास प्रोटॉन तथा न्यूट्रॉन के आकार से भी कम होता है।
- अतः इसका प्रभाव इन कणों के अंदर तक ही सीमित रहता है।
- इलेक्ट्रॉनों एवं प्रोटीन्यूट्रॉनों के बीच पारस्परिक क्रिया दुर्बल बल के माध्यम से ही होती है।

(iv) प्रबल बल —

- परमाणु के नाभिक में प्रोटॉन तथा न्यूट्रॉन एक-दूसरे के इतने करीब (10^{-15} m) रहते हुए भी दो प्रोटॉनों के बीच प्रतिकर्षण नहीं होता।
- इसका कारण यह है कि इनके बीच एक शक्तिशाली आकर्षण बल कार्य करता है, जिसे प्रबल बल कहते हैं।
- इस बल का आकर्षण-प्रभाव विद्युत्-बल के प्रतिकर्षण प्रभाव से बहुत अधिक होता है।
- यह बल कण के आवेश पर निर्भर नहीं करता है।

- सभी मेसॉन (Meson) एवं बेरियॉन (Baryon) मूलकणों के बीच प्रबल बल ही कार्य करता है।
- यह बल भी अति लघुपरस वाला बल है। इसका परस 10^{-15} मीटर की कोटि का होता है।
- यानी दो प्रोटॉनों के बीच की दूरी उससे अधिक होगी, तो यह बल नगण्य हो जायेगा।

सुपर बल (Super force)

- यह माना जाता है कि विश्व की उत्पत्ति के समय उपर्युक्त चारों प्रकार के मूल बल एकीकृत (Unified) रूप में थे अर्थात् उस समय केवल एक ही बल था, जिसे सुपर बल कहते हैं।
- इन सुपर बलों के माध्यम से ही ब्रह्म के अस्तित्व को मनीषियों ने प्रमाणित किया। अतः यह मानव तथा ब्रह्म के बीच कार्य करने वाला बल है।

संतुलित बल (Balanced forces) —

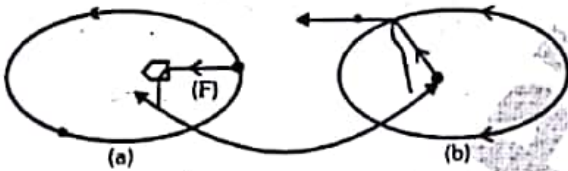
- जब किसी वस्तु पर एक से अधिक बल एक साथ कार्य हों तथा इन सभी बलों का परिणामी शून्य हो, तो वह वस्तु संतुलित अवस्था में होगी।
- इस स्थिति में वस्तु पर लगने वाले सभी बल संतुलित बल कहलाते हैं।

असंतुलित बल (Unbalanced force) —

- जब दो या दो से अधिक बल किसी वस्तु पर लगाते हैं, तो वस्तु किसी एक बल की दिशा में गति करने लगती है।
- ऐसे बल को असंतुलित बल कहते हैं।

अभिकेन्द्रीय बल (Centripetal force) —

- जब कोई वस्तु किसी वृत्ताकार पथ पर चलती है, तो उसपर एक बल वृत्त के केन्द्र की ओर कार्य करता है।
- इस बल को अभिकेन्द्रीय बल कहते हैं।
- इस बल के बिना वस्तु वृत्ताकार पथ पर नहीं चल सकती है।



(पत्थर पर डोरी द्वारा लगाया गया अभिकेन्द्रीय बल तथा अपकेन्द्रीय बल)

- चित्र (a), यदि कोई M द्रव्यमान का पिंड v वेग से R त्रिज्या के वृत्तीय पथ पर चल रहा है, तो उसपर कार्यकारी वृत्त के केन्द्र की ओर

आवश्यक अभिकेन्द्रीय बल $F = \frac{Mv^2}{R}$ होता है।

- अभिकेन्द्रीय बल का परिमाण तो नियत रहता है, लेकिन बल की दिशा हमेशा केन्द्र की ओर होने के कारण लगातार बदलती रहती है।

अपकेन्द्रीय बल (Centrifugal Force) —

- जब कोई पिंड किसी वृत्तीय पथ पर चलता है, तो उसपर पथ के केन्द्र से बाहर की ओर एक बल कार्य करता है, जिसे अपकेन्द्रीय बल कहते हैं।
- यह बल अभिकेन्द्रीय बल के परिमाण के बराबर, लेकिन दिशा में विपरीत होता है।

अपकेन्द्रीय (Centrifuge) —

- यह एक ऐसा यंत्र है, जिससे किसी द्रव में उपस्थिति विभिन्न द्रव्यमान के कणों को पृथक् किया जाता है।
- इस प्रकार के यंत्र के उदाहरण हैं—क्रीम निकालने की मशीन (Cream Separator), अपकेन्द्रीय पंप (Centrifugal Pump) तथा अपकेन्द्रीय शोषक (Centrifugal Drier) वाशिंग मशीन (Washing Machine) आदि।

मौत का कुआँ

- मौत का कुआँ अभिकेन्द्रीय बल तथा अपकेन्द्रीय बल का एक अच्छा उदाहरण है।
- सर्कस में 'मौत का कुआँ' के खेल में मोटर-साइकिल सवार पर दीवार द्वारा अभिकेन्द्रीय बल अन्दर की ओर लगाया जाता है, जबकि इसका प्रतिक्रिया बल (अपकेन्द्रीय बल) सवार द्वारा दीवार पर बाहर की ओर लगाया जाता है।

(III) न्यूटन का तृतीय नियम (Newton's third law of motion) —

- इस नियम के अनुसार प्रत्येक क्रिया के बराबर एवं विपरीत प्रतिक्रिया होती है।
- परिमाण में बराबर पर दिशा में एक-दूसरे के विपरीत एवं प्रतिक्रियात्मक बलों की क्रिया-रेखा एक ही होती है।
- यदि F_1 क्रिया-बल तथा F_2 प्रतिक्रिया-बल हो, तो $F_2 = -F_1$
- इन दोनों बलों में से एक बल को क्रिया तथा दूसरे को प्रतिक्रिया बल कहते हैं।
- क्रिया तथा प्रतिक्रिया परिमाण में बराबर तथा दिशा में एक-दूसरे के विपरीत होती है।
- स्मरण रहे कि क्रिया और प्रतिक्रिया सदैव भिन्न पिंडों पर लगती है।
- इसलिए वे एक-दूसरे को निरस्त (Cancel) नहीं करती है।

रॉकेट (Rocket)

- रॉकेट का पलायन न्यूटन के गति के तृतीय नियम पर आधारित है।
- रॉकेट में किसी ज्वलनशील पदार्थ को जलाकर गैसों उत्पन्न की जाती है, जो नीचे की ओर अत्यंत तीव्र वेग से एक जेट के रूप में निकलती है।
- ये गैसें रॉकेट पर ऊपर की ओर प्रतिक्रिया बल लगाती हैं, जिससे रॉकेट ऊपर उठ जाता है।
- गैस के जेट के वेग जितने अधिक होंगे, रॉकेट भी ऊपर की ओर उठने ही अधिक वेग से जाएगा।
- न्यूटन के तृतीय गति नियम का उदाहरण :
(i) बन्दूक से गोली चलाने पर चलाने वाले को पीछे की ओर धक्का लगना।
(ii) नाव से किनारे पर कूदने पर नाव के पीछे की ओर हट जाना।
(iii) रॉकेट को उड़ाने में।
- संवेग संरक्षण का सिद्धांत—यदि कणों को किसी समूह या निकाय पर कोई बाह्य बल नहीं लग रहा हो, तो उस निकाय का कुल संवेग नियत रहता है। अर्थात् टक्कर के पहले और बाद का संवेग बराबर होता है।

रॉकेट तथा जेट प्लेन में अंतर

- रॉकेट में ईंधन को जलाने के लिए अंदर में ही ऑक्सीजन की आपूर्ति की व्यवस्था रहती है, जबकि जेट प्लेन में ईंधन किरोसीन (पैराफिन) होता है, जिसे जलाने के लिए वायुमंडल से ऑक्सीजन प्राप्त किया जाता है।
- अतः जेट प्लेन को रॉकेट के समान अधिक ऊँचाई तक नहीं ले जाया जा सकता है, क्योंकि यहाँ वायुमंडल नहीं होने के कारण ऑक्सीजन प्राप्त नहीं हो सकेगा।

आवेग (Impulse) —

- जब कोई बड़ा बल किसी वस्तु पर थोड़े समय के लिए कार्य करता है, तो बल तथा समय-अन्तराल के गुणफल को उस बल का आवेग कहते हैं।

- आवेग = बल \times समय अन्तराल = संवेग परिवर्तन;

$$\Delta p = F \times \Delta t$$

- आवेग एक सदिश राशि है तथा इसका मात्रक न्यूटन सेकेंड होता है तथा दिशा वही होती है जो बल की दिशा होती है।

दैनिक जीवन में आवेग—

- हथौड़े से कील ठोकना
- क्रिकेट के बल्ले से शॉट मारकर गेंद को दूर भेजना।
- छड़ी द्वारा पिंग-पोंग की गेंद को पाले में भेजना।
- बल का आवेग (Impulse of a force)—जब कोई बड़ा बल किसी पिंड पर अल्प समय तक क्रियाशील रहता है तो ऐसे आवेग को 'बल का आवेग' कहते हैं, और ऐसा बल आवेग बल (Impulsive force) कहलाता है।
- जब तक किसी पिंड पर आवेगी बल लगता है; तब तक पिंड का विस्थापन नगण्य होता है।
- बल F एवं समय t के गुणनफल को नियत रहने से यह स्पष्ट है कि समय t का मान बढ़ने से बल F का मान घटता है।
- उपर्युक्त कारण से ही क्रिकेट का गेंद लोकरे (catch) समय खिलाड़ी अपने हाथों को नीचे कर लेता है, ऐसा करके वह समय को बढ़ाता है, बल कम करता है तथा हाथ को घायल होने से बचाता है।
- बालू के ढेर पर किसी ऊँचाई से गिरते हुए व्यक्ति की अपेक्षा पक्के फर्श पर उसी ऊँचाई से गिरने वाले व्यक्ति को अधिक चोट लगती है।

जड़त्वीय और गुरुत्वीय द्रव्यमान (Inertial and Gravitational Mass)

- **जड़त्वीय द्रव्यमान (Inertial Mass) :** जड़त्वीय द्रव्यमान वस्तु का वह गुण है जो यह बताता है कि उसकी अवस्था परिवर्तन करने में कितना प्रतिरोध लगता है।
- यदि कोई बल F किसी वस्तु में 'a' त्वरण उत्पन्न करे तो उसका

$$\text{जड़त्वीय द्रव्यमान } m = \frac{F}{a} \text{ होगा।}$$

- **गुरुत्वीय द्रव्यमान (Gravitational Mass) :** पृथ्वी द्वारा वस्तु पर लगनेवाले आकर्षण बल के द्वारा मापा जानेवाला द्रव्यमान वस्तु का गुरुत्वीय द्रव्यमान कहलाता है।
- यदि पृथ्वी का द्रव्यमान M तथा त्रिज्या R हो, तो गुरुत्वीय द्रव्यमान

$$m = \frac{FR^2}{GM}$$

Note—किन्हीं दो वस्तुओं के जड़त्वीय द्रव्यमानों एवं गुरुत्वीय द्रव्यमानों का अनुपात एक होता है।

बल आघूर्ण एवं बल-युग्म (Moment of a force and Couple)

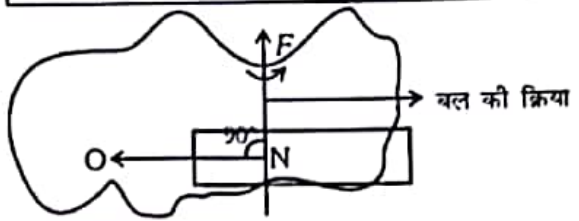
केन्द्रीय बल (Central Force)—

- किसी वृत्ताकार पथ पर वस्तु को निरंतर गतिशील रखने के लिए सदैव एक ऐसे बल की आवश्यकता होती है जो केन्द्र की ओर लगे।
- इसी बल के कारण वस्तु सरल रेखा में न जाकर वृत्तीय पथ पर घूमती है।
- इसकी अनुपस्थिति में वस्तु स्पर्श रेखा की दिशा में सरल रेखीय गति करने लगती है।
- Ex. : (i) इलेक्ट्रॉन नाभिक के चारों ओर वृत्ताकार कक्षाओं में चक्कर लगाता है। यहाँ केन्द्रीय बल वैद्युत आकर्षण बल से प्राप्त होता है।
(ii) पृथ्वी, सूर्य के चारों ओर वृत्तीय गति पर घूमती है। यहाँ केन्द्रीय बल गुरुत्वाकर्षण बल से प्राप्त होता है।

बल आघूर्ण (Moment Force)—

- बल द्वारा एक पिंड को एक अक्ष के परितः घुमाने की प्रवृत्ति को बल आघूर्ण कहते हैं।
- इसका मान बल के परिमाण तथा घूर्णन अक्ष से बल की क्रिया रेखा की लंबी दूरी के गुणनफल के बराबर होता है।
- यदि कोई पिंड बल F लगाने से बिन्दु O के परितः घूमने की प्रवृत्ति रखता है तो यदि घूर्णन अक्ष से O तक की दूरी $ON = r$ हो तब

बल आघूर्ण = बल \times बल की क्रिया-रेखा से लम्बवत् दूरी



$$\tau = F \times ON = F \times r$$

- बल आघूर्ण एक सदिश राशि है, इसका मात्रक Nm तथा विमा $[ML^2T^{-2}]$ होती है।

सरल मशीन (Simple Machines)—

- यह बल-आघूर्ण के सिद्धांत पर कार्य करता है।
- इस मशीन में किसी सुविधाजनक बिन्दु पर बल लगाकर किसी अन्य बिन्दु पर रखे हुए भार को उठाया जाता है।
- Ex. : उत्तोलक, धिरनी, आनत तल, स्क्रू-जैक आदि।
- मशीन द्वारा कम बल लगाकर अधिक भार उठाया जा सकता है।
- परंतु, उपर्युक्त कार्य में निवेशित ऊर्जा (Input Energy) सदैव निर्गत ऊर्जा (Output Energy) से अधिक होती है।
- क्योंकि, निवेशित ऊर्जा का कुछ अंश घर्षण बलों (Frictional forces) के कारण खर्च हो जाता है, अतः मशीन की दक्षता (Efficiency of machine) हमेशा 100% से कम होती है।
- सिर्फ आदर्श मशीन (Ideal Machine) की दक्षता 100% हो सकती है।

बल युग्म (Couple)—

- दो बराबर तथा विपरीत समान्तर बल, जिनकी क्रिया रेखाएँ एक सीध में नहीं हैं, बल युग्म बनाते हैं।
- अतः दोनों बलों के बीच की लम्बवत् दूरी को बल युग्म की भुजा कहते हैं।
- बल-युग्म = बल \times बल-भुजा
- वामावर्त आघूर्ण धनात्मक तथा दक्षिणावर्त आघूर्ण ऋणात्मक होता है।

उत्तोलक (Lever)—

- यह एक प्रकार का सरल मशीन है जो आघूर्ण के सिद्धांत पर आधारित है।
- इसके मुख्यतः तीन भाग होते हैं—आलम्ब, आयास तथा भार।
- (i) **आलम्ब (Fulcrum)**—वह बिन्दु जिसके चारों ओर उत्तोलक घूम सकता है, उसे आलम्ब कहते हैं।
- (ii) **आयास (Effort)**—उत्तोलक को काम में लाने के लिए आलम्ब के एक ओर उत्तोलक पर लगाया गया बल आयास कहलाता है।
- (iii) **भार (Load)**—उत्तोलक द्वारा जो वजन उठाया जाता है उसे ही भार कहते हैं।
- उत्तोलक का यांत्रिक लाभ—किसी उत्तोलक द्वारा उठाये गये भार (W) तथा आयास (E) के अनुपात को उत्तोलक का यांत्रिक लाभ कहते हैं :
यांत्रिक लाभ = W/E
- **उत्तोलक के सिद्धांत (Theory of Lever)**—आयास एवं आयस भुजा का गुणनफल, भार एवं भार-भुजा के गुणनफल के बराबर होता है।
- आयास \times आयास-भुजा = भार \times भार-भुजा
- उत्तोलक मुख्यतः तीन प्रकार के होते हैं—
- (i) **प्रथम श्रेणी के उत्तोलक**—इस प्रकार के उत्तोलकों में आलम्ब, आयास तथा भार के बीच में स्थित होते हैं। इसमें यांत्रिक लाभ 1 से अधिक, 1 के बराबर तथा 1 से कम भी हो सकता है।
- Ex. : कैची, पिलास, सिंढासी, कील उखाड़ने की मशीन, शीश झुला, साइकिल का ब्रेक तथा हैंड-पम्प।
- (ii) **द्वितीय श्रेणी का उत्तोलक**—इस प्रकार के उत्तोलक में आलम्ब तथा आयास के बीच भार होता है। इसका यांत्रिक लाभ सदैव एक से अधिक होता है।
- Ex. : सरैया, नीचू निचोड़ने की मशीन, एक पहिए की कूड़ा ढोने की गाड़ी आदि।
- (iii) **तृतीय श्रेणी का उत्तोलक**—इस उत्तोलक में आलम्ब, भार के बीच आयास होता है। इसका यांत्रिक लाभ सदैव एक से कम होता है।
- Ex. : चिमटा, किसान का हल तथा बेलचा, मनुष्य का हाथ इत्यादि।

- **भौतिक तुला**—यह आपूर्णों के सिद्धांत पर कार्य करता है। इससे वस्तु का द्रव्यमान ज्ञात किया जाता है।

घर्षण (Friction)

- जब एक वस्तु किसी दूसरी वस्तु पर सरकती या लुढ़कती है तब दोनों के बीच एक बल कार्य करता है जो गति का विरोध करता है। यही बल घर्षण बल कहलाता है।
- यह बल दोनों तलों के स्पर्श बिन्दु पर दोनों तलों के स्पर्श रेखा के अनुरूप होता है।

घर्षण के कारण (Cause of Friction)—

- कोई भी वस्तु पूर्ण चिकना नहीं होता है।
- उसके पृष्ठ पर सूक्ष्म शिखायें तथा गर्ते होती हैं।
- अतः वस्तु का तल खुरदरा होता है।
- जिस कारण दोनों वस्तुओं के तल तथा अवमंदन बल उत्पन्न होता है।
- इस बल को ही घर्षण बल तथा इस प्रकृति या प्रवृत्ति को घर्षण कहा जाता है।

घर्षण के प्रकार (Types of Friction)—

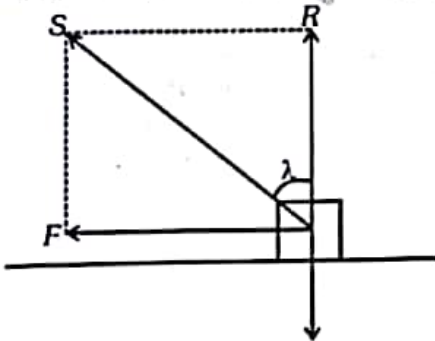
- यह तीन प्रकार का होता है—
- (1) **विसर्पी घर्षण (Sliding Friction)**—जब कोई वस्तु दूसरे वस्तु पर फिसलता है या फिसलने की चेष्टा करता है, तो इनके पृष्ठों के बीच उत्पन्न घर्षण को विसर्पी घर्षण कहा जाता है। यह तीन प्रकार होता है।
- (a) **स्थैतिक घर्षण (Static Friction)**—जब एक वस्तु को किसी सतह पर चलने के लिए बल लगाने पर भी वस्तु विरामावस्था में रहती है तो इस स्थिति में दोनों संपर्क सतहों के बीच लगने वाले बल को स्थैतिक घर्षण कहते हैं।
- (b) **गतिक घर्षण (Kinetic Friction)**—यदि एक वस्तु दूसरे के सापेक्ष गति अवस्था में हो, तो उनके संपर्क पृष्ठों के बीच उत्पन्न घर्षण को गतिक घर्षण कहते हैं।
- (c) **चरम घर्षण (Limiting Friction)**—जब किसी सतह पर रखी वस्तु पर लगाने से वस्तु उस सतह पर ठीक-ठीक चलने की स्थिति में आ जाता है, तो इस स्थिति में लगनेवाले घर्षण-बल को चरम घर्षण कहते हैं।
- (2) **लोटनीक घर्षण (Rolling Friction)**—यदि कोई वस्तु जैसे पहिया, बेलन, गोला आदि किसी सतह पर लुढ़कते हैं या लुढ़कने का प्रयत्न करते हैं, तो उनके संपर्क पृष्ठों के बीच उत्पन्न घर्षण को लोटनीक घर्षण कहते हैं।
- (3) **तरल घर्षण (Fluid Friction)**—बहने या प्रवाहित होने वाला पदार्थ तरल पदार्थ कहलाता है। द्रव के विभिन्न पतों के बीच एक अन्योन्य या आंतरिक बल कार्य करता है। इसे ही तरल घर्षण या श्यानता कहा जाता है।

सर्पी घर्षण (Sliding Friction)—

- जब एक वस्तु किसी सतह पर सरकती है, तो संपर्क सतहों के बीच लगनेवाले बल को सर्पी घर्षण कहते हैं।

घर्षण कोण (Angle of Friction)—

- चरम घर्षण बल F तथा अभिलम्ब प्रतिक्रिया ' R ' का परिणामी ' s ' अभिलम्ब प्रतिक्रिया से जो कोण बनता है, उसे घर्षण कोण कहते हैं।



$$\tan \lambda = \frac{F}{R} = \mu \text{ (घर्षण गुणांक)}$$

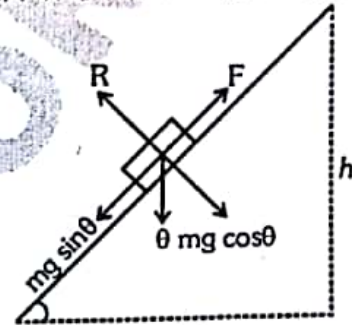
- λ का मान सदा 45° से कम होता है।
- μ (घर्षण गुणांक) एक विमाहीन राशि है तथा इसका मान 0 से 1 के बीच होता है।

घर्षण गुणांक (Co-efficient friction)—

- घर्षण बल और संपर्क सतह द्वारा आरोपित अभिलम्ब प्रतिक्रिया के अनुपात को घर्षण गुणांक कहते हैं।
- इसे μ द्वारा सूचित किया जाता है।
- घर्षण गुणांक (μ) = सीमांत घर्षण (F)/अभिलम्ब प्रतिक्रिया (R)

विराम कोण (Angle Repose)—

- यह θ झुकाव वाले नत-समतल से संबंधित है।
- यदि किसी वस्तु को θ कोण से झुके नत-समतल पर रखा जाय और यह केवल नीचे खिसकने की स्थिति में हो, तो तल के शैतिज के साथ झुकाव के कोण को दो स्पर्शीय सतहों के लिए विराम कोण कहलाते हैं।



चित्र से,

$$F = mg \sin \theta \Rightarrow R = mg \cos \theta$$

$$\therefore \frac{F}{R} = \tan \theta = \mu = \tan \lambda$$

अतः $\theta = \lambda$ (\therefore विराम कोण = घर्षण कोण)

घर्षण-बल के उपयोग (Uses of Force of Friction)—

- इसके निम्नलिखित उपयोग हैं—
- (i) यदि सड़कों पर घर्षण न हो, तो पहिये फिसलने लगते हैं।
- (ii) घर्षण-बल न होने के कारण हम केले के छिलके तथा बरसात में चिकनी सड़क पर फिसल जाते हैं।
- (iii) घर्षण के कारण ही मनुष्य सीधा खड़ा रहता है।

घर्षण-बल की विशेषताएँ (Characteristics of Force of Friction)—

- इसकी निम्नलिखित विशेषताएँ हैं—
- (i) दो सतहों के बीच का घर्षण-बल उनके संपर्क क्षेत्रफल (Area of Contact) पर निर्भर नहीं करता, बल्कि सतहों की प्रकृति पर निर्भर करता है।
- (ii) स्थैतिक घर्षण-बल से लोटनिक घर्षण-बल का मान कम होता है।
- (iii) ठोस-ठोस सतहों के बीच घर्षण-बल अधिक, द्रव-द्रव सतहों के बीच उससे कम तथा वायु-ठोस सतहों के बीच घर्षण-बल कम होता है।

किसी रॉलर को खींचने की अपेक्षा लुढ़काना आसान है, क्यों?

चूँकि लोटनिक घर्षण-बल (Rolling Friction Force) का मान स्थैतिक घर्षण-बल (Static Force of Friction) से कम होता है। यही कारण है कि रॉलर को खींचने की अपेक्षा लुढ़काना आसान होता है।

घर्षण संबंधी विभिन्न सूत्र

1. $F = ma$ (जहाँ F = बल, m = द्रव्यमान, a = त्वरण, t = समय)
2. $F = \frac{P_2 - P_1}{t}$ (जहाँ P = संवेग, v = वेग, P_1 = प्रारंभिक संवेग, P_2 = अंतिम संवेग)

3. $P = mv$
4. $m_1u_1 + m_2u_2 = m_1v_1 + m_2v_2$
5. mv (गोली संवेग) = $-MV$ (बंदूक संवेग) जहाँ M = बंदूक का द्रव्यमान

गुरुत्वाकर्षण (Gravitation)

न्यूटन का गुरुत्वाकर्षण नियम (Newton's Law of Gravitation)—

- इस नियम के अनुसार ब्रह्माण्ड का प्रत्येक कण दूसरे कण को आकर्षित करता है।
- किसी दो कणों के बीच लगने वाला बल, कणों के द्रव्यमानों के गुणनफल के समानुपाती तथा उनके बीच की दूरी के वर्ग का व्युत्क्रमानुपाती होती है।
- यदि m_1 एवं m_2 द्रव्यमान के दो कण एक-दूसरे से r दूरी पर स्थित हैं, तो लगने वाला बल गणितीय रूप में,

$$F \propto m_1m_2 \quad F \propto \frac{1}{r^2}$$

$$\therefore F \propto \frac{m_1m_2}{r^2} \quad F = G \frac{m_1m_2}{r^2}$$

- G गुरुत्वाकर्षण का सार्वत्रिक नियतांक है। इसका मान $6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2$ होता है तथा इसका विमीय सूत्र $[M^{-1}L^3T^{-2}]$ होता है।
- **गुरुत्वाकर्षण बल (Gravitation Force)**—ब्रह्माण्ड में किन्हीं दो वस्तुओं के बीच लगने वाले आकर्षण बल को गुरुत्वाकर्षण बल कहते हैं।
- **गुरुत्व-बल (Force of Gravity)**—पृथ्वी और किसी अन्य वस्तु के बीच लगने वाले आकर्षण बल को गुरुत्व बल कहते हैं।

$$\text{गुरुत्वीय बल } F = G \frac{Mm}{R^2} \text{ होता है।}$$

- **गुरुत्व (Gravity)**—जिस बल से पृथ्वी किसी वस्तु को अपने केंद्र की ओर आकर्षित करती है, उसे गुरुत्व कहते हैं।
- **गुरुत्वाकर्षण नियतांक एक सार्वत्रिक नियतांक**—गुरुत्वाकर्षण नियतांक (G) को सार्वत्रिक नियतांक कहते हैं, क्योंकि इसका मान किसी भी दो वस्तुओं के लिए हमेशा नियत होता है तथा वस्तुओं की प्रकृति, उनके बीच स्थित माध्यम तथा स्थान पर भी निर्भर नहीं करता।
- **'g' के मान में परिवर्तन**— 45° अक्षांश तथा 'समुद्र-तल' पर 'g' का प्रामाणिक मान 9.8 मीटर सेकेंड $^{-2}$ होता है। परंतु, अन्य स्थानों पर 'g' का मान थोड़ा भिन्न होता है। g के मान में भिन्नता निम्न प्रकार है—
- (i) पृथ्वी की सतह से ऊपर से नीचे या नीचे से ऊपर जाने पर g का मान घटता है। अतः पृथ्वी की त्रिज्या R का मान बदलता रहता है, जो कि पृथ्वी के आकार के कारण 'g' का मान ध्रुवों पर अधिकतम तथा विषुवत रेखा पर न्यूनतम होता है।
- (ii) पृथ्वी के घूर्णन गति बढ़ने पर 'g' के मान में कमी होती है। चूँकि पृथ्वी अपने अक्ष पर घूमती है जिसके कारण 'g' का मान बदलता है।

अतः पृथ्वी के घूर्णन के कारण g का प्रभावी मान g हो तो

$$g^1 = g - R\omega^2 \cos^2 \lambda$$

गुरुत्वाकर्षण से संबंधित सूत्र

$$1. \quad F = G \frac{m_1 \times m_2}{r^2} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{जहाँ } F = \text{गुरुत्वाकर्षण बल} \\ G = \text{गुरुत्वाकर्षण नियतांक} \\ = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2 \\ m_1 \text{ तथा } m_2 = \text{वस्तुओं का द्रव्यमान} \end{array} \right.$$

$$2. \quad g = \frac{GM}{R^2} \quad \left\{ \begin{array}{l} M = \text{पृथ्वी का द्रव्यमान} \\ g = \text{गुरुत्वीय त्वरण और} \\ R = \text{पृथ्वी की त्रिज्या} \\ W = \text{भार, } m = \text{द्रव्यमान} \end{array} \right.$$

$$3. \quad W = mg$$

- यदि वस्तु नीचे की ओर गति करती है, तो g का मान धनात्मक होगा।
- 4. $u = u + gt$
- 5. $h = ut + \frac{1}{2}gt^2$
- 6. $v^2 = u^2 + 2gs$
- यदि वस्तु ऊपर की ओर गति करती है, तो g का मान ऋणात्मक होता है।
- 7. $u = u - gt$

$$8. \quad h = ut - \frac{1}{2}gt^2$$

$$9. \quad v^2 = u^2 - 2gh$$

- यदि वस्तु मुक्त रूप से गिरती है, तो $u = 0$
- कुछ नियमित आकार के वस्तुओं के गुरुत्व-केंद्र

वस्तु	गुरुत्व-केंद्र
बेलन	बेलन के अक्ष का मध्य बिंदु
एक समान छड़	मध्य बिंदु
खोखला शंकु	शंकु के आधार से उसके अक्ष पर तिरछी ऊँचाई पर
ठोस शंकु	शंकु के आधार से उसके अक्ष पर चौथाई ऊँचाई पर
समानांतर चतुर्भुज	विकर्णों का कटन-बिन्दु
वृत्तीय छल्ला	छल्ले का केंद्र
वृत्तीय चकती	ज्यामितीय केंद्र
ठोस या खोखला गोला	गोले का ज्यामितीय केंद्र
त्रिभुजाकार सतह	माध्यिकाओं का कटन-बिंदु

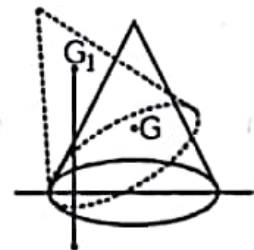
संतुलन (Equilibrium)

संतुलन (Equilibrium)—

- जब किसी वस्तु पर अनेक बल इस प्रकार कार्य कर रहे हों कि वस्तु न तो रेखीय गति करे और न ही घूर्णन-गति, तो कहा जाता है कि वस्तु संतुलन की अवस्था में है।

संतुलन के प्रकार (Kinds of Equilibrium)—

- संतुलन मुख्यतः तीन प्रकार के होते हैं—
- (i) स्थायी संतुलन (Stable Equilibrium)
- (ii) अस्थायी संतुलन (Unstable Equilibrium)
- (iii) उदासीन संतुलन (Neutral Equilibrium)
- (i) **स्थायी संतुलन (Stable Equilibrium)—**
- जब किसी वस्तु को उसकी संतुलन की अवस्था से थोड़ा-सा विस्थापित करके छोड़ने पर यदि वस्तु पुनः अपनी मूल संतुलन की अवस्था को प्राप्त कर लेती है, तो कहा जाता है कि वस्तु स्थायी संतुलन में है।
जैसे—चौड़े मुँह पर रखा हुआ शंकु।
- इस अवस्था में वस्तु का गुरुत्व-केंद्र आधार से निकटतम ऊँचाई पर होता है।

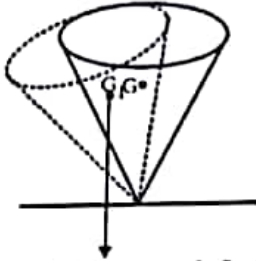


(स्थायी संतुलन की स्थिति)

(ii) अस्थायी संतुलन (Unstable Equilibrium)—

- जब किसी वस्तु को उसकी संतुलन की अवस्था से थोड़ा-सा विस्थापित करके छोड़ने पर वह पुनः संतुलन की अवस्था में न आए, तो इसे अस्थायी संतुलन में कहा जाता है।
जैसे—शीर्ष पर खड़ा हुआ शंकु।

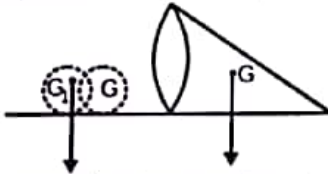
- इस अवस्था में वस्तु का गुरुत्व-केन्द्र आधार से अधिकतम ऊँचाई पर होता है।



(अस्थायी संतुलन की स्थिति)

(ii) उदासीन संतुलन (Neutral Equilibrium) —

- जब किसी वस्तु को उसकी संतुलन की अवस्था से थोड़ा-सा विस्थापित करके छोड़ने पर यदि वह पुनः अपनी मूल अवस्था को प्राप्त नहीं करे, बल्कि कोई नयी अवस्था में आ जाए, तो हम कहते हैं कि वस्तु उदासीन संतुलन में है।
जैसे—किसी तल पर पड़ा हुआ शंकु आदि।
- इस अवस्था में वस्तु के गुरुत्व-केन्द्र की ऊँचाई आधार से स्थिर रहती है।



(उदासीन संतुलन की स्थिति)

स्थायी संतुलन की शर्तें (Conditions of Stable Equilibrium) —

- स्थायी संतुलन की निम्नलिखित दो शर्तों का पूरा होना आवश्यक है—

 - वस्तु का गुरुत्व-केन्द्र अधिक-से-अधिक नीचा होना चाहिए।
 - गुरुत्व-केन्द्र से होकर जाने वाली ऊर्ध्वाधर रेखा वस्तु के आधार से गुजरनी चाहिए।

द्रव्यमान (Mass) —

- किसी वस्तु में उपस्थित पदार्थ की मात्रा को उसका द्रव्यमान कहते हैं।
- इसका SI मात्रक 'kg' होता है।

भार (Weight) —

- जिस बल से पृथ्वी किसी वस्तु को अपने केन्द्र की ओर आकर्षित करती है, उस बल को पृथ्वी पर उस वस्तु का भार कहते हैं।
- इसे W द्वारा सूचित किया जाता है।
- $W = mg$ (जहाँ m = वस्तु का द्रव्यमान)
- इसका SI मात्रक न्यूटन (N) तथा गुरुत्वीय मात्रक किलोग्राम-भार (kg-wt) होता है।
- अतः $1 \text{ kg-wt} = 9.8 \text{ N}$
- भार को कमानीदार तुला द्वारा मापा जाता है।

द्रव्यमान तथा भार में अंतर

(Difference between Mass and Weight)

द्रव्यमान (Mass)	भार (Weight)
1. पृथ्वी के केन्द्र पर या पृथ्वी से बहुत दूर वस्तु का द्रव्यमान यथावत् रहता है।	1. पृथ्वी के केन्द्र पर या पृथ्वी से दूर वस्तु का भार नगण्य हो जाता है।
2. वस्तु का द्रव्यमान साधारण तुला से मापते हैं।	2. वस्तु का भार कमानीदार तुला से मापते हैं।
3. वस्तु का द्रव्यमान उसके अंदर पदार्थ की मात्रा होती है।	3. वस्तु का भार उस पर लगने वाला गुरुत्व बल होता है। भार = द्रव्यमान × गुरुत्वीय त्वरण = mg
4. वस्तु का द्रव्यमान कहीं भी अर्थात् किसी भी स्थान पर नहीं बदलता है।	4. भार भिन्न-भिन्न स्थानों पर भिन्न-भिन्न होते हैं।
5. द्रव्यमान एक अदिश राशि है।	5. भार एक सदिश राशि है।

- गुरुत्वीय एवं जड़त्वीय द्रव्यमान (Gravitational Mass and Inertial Mass) — यदि दो पिंडों के गुरुत्वीय द्रव्यमान m_1 एवं m_2 हैं तथा इन पर गुरुत्वीय बल F_1 व F_2 कार्य करते हैं तो—

$$F_1 = \frac{GMm_1}{R^2}, \quad F_2 = \frac{GMm_2}{R^2} \quad \therefore \frac{F_1}{F_2} = \frac{m_1}{m_2}$$

- यदि स्वतंत्रतापूर्वक गिरने पर इनमें g_1 एवं g_2 गुरुत्वीय त्वरण उत्पन्न होता है, तो जड़त्वीय द्रव्यमान के परिभाषा से—

$$F_1 = M_1 g_1 \quad F_2 = M_2 g_2 \Rightarrow \frac{F_1}{F_2} = \frac{M_1 g_1}{M_2 g_2}$$

\therefore सभी वस्तुएँ एकसमान त्वरण से गिरते हैं।

$$\text{अतः } g_1 = g_2 \quad \therefore \frac{F_1}{F_2} = \frac{M_1}{M_2}$$

$$\text{अतः } \frac{M_1}{M_2} = \frac{m_1}{m_2} \Rightarrow m \propto M$$

अर्थात् गुरुत्वीय तथा जड़त्वीय द्रव्यमान परस्पर समानुपाती होते हैं। गुरुत्वीय एवं जड़त्वीय द्रव्यमान के गुण समान होते हैं। तीनों ही अदिश राशि हैं।

- भारहीनता (Weightlessness) — जिस स्थिति में किसी वस्तु का आपसी भार शून्य हो जाता है, तो उस स्थिति को भारहीनता कहते हैं।

लिफ्ट में पिंड का भार (Weight of a Body in a Lift)

- जब लिफ्ट ऊपर की ओर त्वरित गति से चलती है, तो उसमें स्थित व्यक्ति को अपना भार बढ़ा हुआ प्रतीत होता है। यदि व्यक्ति का द्रव्यमान m हो तथा लिफ्ट का ऊपर की ओर त्वरण a हो, तो इस अवस्था में व्यक्ति का भार होता है— $W = mg + ma$
- जब लिफ्ट नीचे की ओर त्वरित गति से आती है, तो व्यक्ति को अपना भार घट हुआ प्रतीत होता है। यदि नीचे आते समय लिफ्ट का त्वरण a हो, तो व्यक्ति का भार होता है— $W = mg - ma$
- जब लिफ्ट एकसमान वेग से ऊपर या नीचे आती है, तो व्यक्ति को अपने भार में कोई परिवर्तन प्रतीत नहीं होता है अथवा $W = mg$
- यदि नीचे उतरते समय लिफ्ट की डोरी टूट जाय, तो वह मुक्त पिंड की तरह गुरुत्वीय त्वरण से नीचे गिरती है। इस अवस्था में व्यक्ति का अपना भार शून्य प्रतीत होता है। इस अवस्था को भारहीनता कहते हैं।
- यदि नीचे गिरते समय लिफ्ट का त्वरण गुरुत्वीय त्वरण से अधिक हो, तो व्यक्ति लिफ्ट की सतह से उठकर उसकी छत पर जा लगेगा।

उपग्रहों में भारहीनता (Weightlessness in Satellites) —

- किसी वस्तु के भार का अनुभव उस वस्तु के सम्पर्क में रखी किसी वस्तु द्वारा उस वस्तु पर लगाए गए प्रतिक्रिया बल के कारण होता है।
- यदि प्रतिक्रिया बल का मान शून्य हो, तो वस्तु का भार शून्य प्रतीत होगा।
- जैसे—जब हम किसी तल पर खड़े होते हैं, तो तल हमारे पैरों पर एक प्रतिक्रिया बल लगाता है, जिसके कारण हमें अपने भार का अनुभव होता है।
- यदि तल हम पर कोई प्रतिक्रिया बल न लगाए अर्थात् तल द्वारा लगाया गया प्रतिक्रिया बल शून्य हो, तो हमें अपना भार शून्य प्रतीत होगा।
- यही भारहीनता की अवस्था कहलाती है।
- कृत्रिम उपग्रहों में भारहीनता की अवस्था पाई जाती है अर्थात् उपग्रह के तल द्वारा यात्री पर लगाया गया प्रतिक्रिया बल शून्य होता है।

अंतरिक्ष यात्री के खान-पान के तरीके —

- अंतरिक्ष यात्री उपग्रहों में भारहीनता का अनुभव करते हैं।
- इसी से वे अपना भोजन विशेष प्रकार के ट्यूब में ले जाते हैं तथा उन्हें अंदर दबाकर निगल जाते हैं।

- अंतरिक्ष यात्री को गिलास से जल पीने में कठिनाई होती है, क्योंकि जैसे ही अंतरिक्ष यात्री पानी पीने के लिए गिलास टेढ़ा करता है, भारहीनता के कारण पानी मुँह में न जाकर बाहर छोटी-छोटी बूँदों के रूप में तैरने लगता है।

• अतः वे जल पीने के लिए विशेष प्रकार के तरीके अपनाते हैं।

चन्द्रमा पर भारहीनता की अवस्था (Weightlessness on Moon)—

- चन्द्रमा पृथ्वी का एक उपग्रह है, लेकिन मनुष्य चन्द्रमा पर भारहीनता का अनुभव नहीं करता है।
- इसका कारण यह है कि चन्द्रमा का द्रव्यमान अधिक होने के कारण चन्द्रमा स्वयं अपने तल पर स्थित व्यक्ति पर एक आकर्षण बल लगाता है, जिसके कारण उसे कुछ भार का अनुभव होता है, जिसे चन्द्रमा पर व्यक्ति का भार कहते हैं।
- चन्द्रमा पर व्यक्ति पृथ्वी के आकर्षण के कारण भार का अनुभव नहीं करता है।
- इसके विपरीत, कृत्रिम उपग्रह का द्रव्यमान अपेक्षाकृत कम होता है।
- अतः, उसमें बैठे व्यक्ति पर उपग्रह स्वयं कोई पर्याप्त आकर्षण बल नहीं लगा पाता है, इसलिए उपग्रह में व्यक्ति का भार नगण्य होता है।
- युग्मतारा तंत्र (Double-star system)—तारों के ऐसे जोड़े को जो एक ही द्रव्यमान-केन्द्र के इर्द-गिर्द परिक्रमा करते हैं, युग्मतारा तंत्र कहते हैं।
- वॉब्लिंग (Wobbling)—ब्रह्माण्ड में किसी अन्य पिण्ड के गुरुत्वाकर्षण बल के कारण किसी तारे की गति में अनियमितता को वॉब्लिंग कहते हैं।

गुरुत्वीय क्षेत्र तीव्रता (Gravitational Field Strength)—

- वह क्षेत्र जिसमें किसी कण के गुरुत्वाकर्षण बल के प्रभाव का अनुभव किया जा सके, गुरुत्वीय क्षेत्र कहता है।
- किसी बिंदु पर गुरुत्वीय क्षेत्र की तीव्रता उस बिंदु पर रखे एकांक द्रव्यमान पर कार्य करने वाले गुरुत्वाकर्षण बल के बराबर होती है।
- M द्रव्यमान के कारण r दूरी पर स्थित बिंदु पर क्षेत्र की तीव्रता
$$= (E) = \frac{GM}{r^2}$$
- इसका मात्रक m/sec^2 और विमीय सूत्र $[M^0L^1T^{-2}]$ होता है।

गुरुत्वीय विभव (Gravitational Potential)—

- गुरुत्वीय क्षेत्र में किसी बिंदु पर गुरुत्वीय विभव, एकांक द्रव्यमान को अनन्त से उस बिंदु पर लाने में किये गये कार्य के बराबर होता है।
- M द्रव्यमान से r दूरी पर गुरुत्वीय विभव

$$V = -\frac{GM}{r}$$

- इसका मात्रक जूल/kg और विमीय सूत्र $[M^0L^1T^{-2}]$ होता है।
- गुरुत्वीय स्थितिज ऊर्जा (Gravitational Potential Energy)—गुरुत्वीय क्षेत्र में अनन्त से किसी पिण्ड को लाने में जितनी ऊर्जा प्राप्त होती है, उसे उस पिण्ड की गुरुत्वीय स्थितिज ऊर्जा कहते हैं।
- गुरुत्वीय स्थितिज ऊर्जा = गुरुत्वीय विभव \times द्रव्यमान
- गुरुत्वीय स्थितिज ऊर्जा पृथ्वी पर m द्रव्यमान के पिण्ड के लिए

$$U = \frac{GmM}{R}$$

- इसका मात्रक जूल एवं विमीय सूत्र $[ML^2T^{-2}]$ होता है।

पलायन वेग (Escape Velocity)—

- पलायन वेग वह न्यूनतम वेग है जिससे किसी पिण्ड को पृथ्वी की सतह से ऊपर की ओर फेंके जाने पर वह गुरुत्वीय क्षेत्र को पार कर जाता है, पृथ्वी पर वापस नहीं आता है।
- इस तरह पृथ्वी के लिए पलायन वेग का मान 11.2 km/sec है।
- अतः पृथ्वी तल से किसी वस्तु को 11.2 km/sec या इससे अधिक वेग से ऊपर किसी भी दिशा में फेंक दिया जाए तो वस्तु फिर पृथ्वी तल पर वापस नहीं आएगी।

- पलायन वेग किसी पिण्ड के कक्षीय वेग का ' $\sqrt{2}$ गुना' होता है।
- पृथ्वी तल के अति निकट चक्कर लगाने वाले उपग्रह का कक्षीय वेग लगभग 8 km/sec होता है।
- चंद्रमा के लिए पलायन वेग का मान 2.37 km sec^{-1} होता है।
- उपग्रह के लिए कक्षीय वेग $v_0 = \sqrt{gRe}$ तथा पृथ्वी तल से पलायन वेग $v_e = \sqrt{2gRe}$ । अतः $v_0 = \sqrt{2}v_e$ अर्थात् पलायन वेग कक्षीय वेग का $\sqrt{2}$ गुणा होता है।
- इसलिए यदि किसी उपग्रह के कक्षीय वेग को $\sqrt{2}$ गुणा (अर्थात् 41%) बढ़ा दिया जाए तो वह उपग्रह अपनी कक्षा को छोड़कर पलायन कर जाएगा।

भूस्थिर उपग्रह (Geostationary satellite)

- यदि पृथ्वी की सतह से किसी 'कृत्रिम उपग्रह' (artificial satellite) की ऊँचाई इतनी हो कि इसका परिक्रमण काल ठीक पृथ्वी की अक्षीय गति के परिक्रमण काल, अर्थात् 24 घंटे के बराबर हो तो वह उपग्रह पृथ्वी के सापेक्ष हमेशा एक ही स्थान पर स्थिर दिखाई देगा, यद्यपि पृथ्वी तथा उपग्रह दोनों ही गतिमान हैं।
- ऐसे उपग्रह को 'भू-स्थिर उपग्रह' कहते हैं तथा इसकी कक्षा को पार्क कक्षा (parking orbit) कहते हैं।
- पृथ्वी की सतह से 'पार्क कक्षा' की ऊँचाई 36000 km है।
- भू-स्थिर कक्षा (Geostationary Orbit)—भू-स्थिर उपग्रह की कक्षा को भू-स्थिर कक्षा कहते हैं। इस कक्षा की त्रिज्या $r^3 = \frac{T^2}{4\pi^2} gR^2$
- कक्षीय वेग (Orbit Velocity)—अपनी कक्षा की परिक्रमा करने हेतु किसी उपग्रह को दिए गए वेग को उसका कक्षीय वेग कहते हैं।
कक्षीय वेग $= v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$

'g' एवं 'G' में अंतर

(i) एक एकांक द्रव्यमान के पिण्ड पर लगने वाला गुरुत्व बल है।	(i) यह एकांक दूरी पर स्थित एकांक द्रव्यमान के दो समान पिण्डों के बीच गुरुत्वाकर्षण बल है।
(ii) स्थान परिवर्तन से इसका मान बदलता है।	(ii) यह एक सार्वजनिक स्थिरांक है, जिसका मान हर स्थान के लिए एक ही होता है।
(iii) समुद्र पृष्ठ एवं 45° अक्षांश पर इसका मान 9.8 m/sec^2 है।	(iii) प्रत्येक स्थल के लिए इसका मान $6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ है।
(iv) इसका विमा $[LT^{-2}]$ है।	(iv) इसकी विमा $[M^{-1}L^3T^{-2}]$ है।

कार्य, शक्ति तथा ऊर्जा (Work, Power and Energy)

कार्य (Work)—

- यदि कोई बल किसी वस्तु पर लगकर उसमें विस्थापन उत्पन्न करता है, तो कहा जाता है कि बल द्वारा कार्य हुआ।
- कार्य यद्यपि दो सदिश राशियों का गुणनफल है, परंतु कार्य एक अदिश राशि है।
- कार्य की माप लगाए गए बल तथा बल की दिशा में वस्तु के विस्थापन के गुणनफल के बराबर होती है; $\text{कार्य}(W) = \text{बल}(F) \times \text{विस्थापन}(s)$
- कार्य का मात्रक जूल एवं विमीय सूत्र $[ML^2T^{-2}]$ होता है।

- कार्य दो कारकों पर निर्भर करता है—
(i) आरोपित बल (F) एवं (ii) बल की दिशा में तय की गई दूरी (s), के बीच यदि θ कोण बनता हो, तो $W = Fs \cos\theta = \vec{F} \cdot \vec{s}$ (बल एवं विस्थापन का अदिश गुणनफल)

विशेष स्थिति—

- (i) $\theta = 0^\circ$ ($\because \cos 0^\circ = 1$) (iii) यदि $0 < \theta < 90^\circ$

$$\text{तब } W = Fs \cos\theta$$

$$W = Fs \cos\theta \text{ धनात्मक}$$

$$W = Fs$$

- (ii) यदि $\theta = 90^\circ$ (ii) यदि $90^\circ < \theta \leq 180^\circ$

$$\text{तब } W = Fs \cos 90^\circ \quad W = 0$$

$$W = Fs \cos\theta \text{ ऋणात्मक}$$

- (iii) यदि विस्थापन (s) = 0

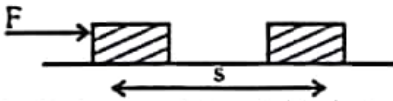
$$\text{तो } W = 0$$

- यदि वस्तु को पृथ्वी पर रख दिया जाय तो वस्तु को उठाने वाले बल द्वारा कार्य धनात्मक, जबकि गुरुत्वाकर्षण बल (जिसकी दिशा नीचे की ओर है) द्वारा किया गया कार्य ऋणात्मक होगा।

कार्य की माप (Measurement of work)—

- जब विस्थापन और बल की दिशा एक हो तो

$$\text{कार्य} = \text{बल} \times \text{विस्थापन}$$

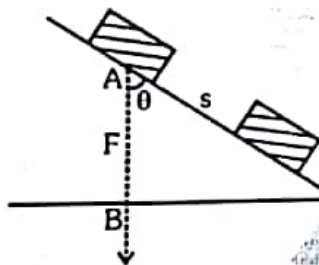


- जब बल, विस्थापन के साथ कोई कोण (θ) बनाता है।

$$\text{कार्य} = \text{बल} \times \text{बल की दिशा में विस्थापन का घटक}$$

$$W = F \times AB$$

$$(\triangle ABC \text{ में } AB = AC \cos\theta)$$



$$W = F \times s \cos\theta$$

- जब विस्थापन बल की दिशा के लम्बवत् हो अर्थात् $\theta = 90^\circ$ हो तो किया गया कार्य शून्य होता है क्योंकि $\cos 90^\circ = 0$

- धनात्मक कार्य (Positive work)**—यदि वस्तु में विस्थापन बल की दिशा में होता है तो बल द्वारा किया गया कार्य धनात्मक कार्य कहलाता है।

- ऋणात्मक कार्य (Negative work)**—यदि बल लगने पर वस्तु में बल के विपरीत दिशा में विस्थापन हो, तो किया गया कार्य ऋणात्मक कार्य कहलाता है।

- जूल (Joule)**—यदि 1 N बल द्वारा किसी वस्तु में बल की दिशा में 1 m का विस्थापन हो तो किया गया कार्य 1 जूल कहलाता है।

$$1 \text{ जूल} = 10^7 \text{ अर्ग}$$

- वृत्ताकार गति में कार्य शून्य होता है**—जब कोई वस्तु किसी बल के अन्तर्गत वृत्ताकार मार्ग पर चलती है तो बल की दिशा सदैव वृत्त के केन्द्र की ओर होती है और गति की दिशा वृत्त की स्पर्श रेखा के अनुदिश होती है जो बल पर लम्बवत् होती है। अतः बल द्वारा शून्य कार्य होता है।

शक्ति (Power)—

- कार्य की दर को शक्ति कहते हैं।
- यदि किसी कर्ता द्वारा W कार्य t समय में किया जाता है, तो कर्ता की शक्ति $\frac{W}{t}$ होगी।

- शक्ति का SI मात्रक वाट (W) होता है, जिसे वैज्ञानिक जेम्स वाट के सम्मान में रखा गया है।

$$\text{शक्ति} = \frac{\text{कार्य}}{\text{समय}} = \frac{\text{जूल}}{\text{सेकंड}} = \text{वाट}$$

- शक्ति का CGS पद्धति में $\frac{\text{अर्ग}}{\text{सेकंड}}$ होता है।

- शक्ति का विमीय सूत्र $[ML^2T^{-3}]$ होता है।

$$1KW = 1000W, 1MW = 10^6W$$

- शक्ति का एक और मात्रक अश्वशक्ति है; $1 \text{ अश्वशक्ति} = 746 \text{ वाट}$

वाट-सेकण्ड (Ws)—

$$1 \text{ वाट सेकण्ड (Ws)} = 1 \text{ वाट} \times 1 \text{ सेकण्ड} = 1 \text{ जूल}$$

$$1 \text{ वाट घंटा (Wh)} = 3600 \text{ जूल}$$

$$1 \text{ किलोवाट घंटा (1 kWh)} = 1000 \text{ वाट घंटा} = 1000 \text{ वाट} \times 1 \text{ घंटा} = 3.6 \times 10^6 \text{ जूल}$$

- W, KW, MW तथा HP शक्ति के मात्रक हैं।

- Ws, Wh, kWh कार्य अथवा ऊर्जा का मात्रक है।

ऊर्जा (Energy)—

- किसी वस्तु के कार्य करने की कुल क्षमता को ऊर्जा कहते हैं।

- यह एक अदिश राशि है, तथा इसका SI मात्रक जूल होता है।

- इसके अतिरिक्त इसका मात्रक इलेक्ट्रॉन वोल्ट (ev) होता है।

- 1 ev = इलेक्ट्रॉन द्वारा 1 वोल्ट के विभवान्तर पर त्वरित करने से प्राप्त ऊर्जा है।

$$1 \text{ ev} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ keV} = 1.6 \times 10^{-16} \text{ J}$$

$$1 \text{ MeV} = 1.6 \times 10^{-13} \text{ J}$$

(CGS पद्धति में ऊर्जा का मात्रक अर्ग होता है।)

- विद्युत-ऊर्जा की माप के लिए प्रयुक्त होनेवाला मात्रक निम्न है—वाट-घंटा तथा किलोवाट-घंटा (kWh), जहाँ $1 \text{ Wh} = 3.6 \text{ KJ}$

- ऊष्मा-ऊर्जा या खाद्य पदार्थों में उपस्थित ऊर्जा के लिए प्रयुक्त होने वाले मात्रक कैलोरी तथा किलो-कैलोरी हैं।

$$1 \text{ J} = 0.24 \text{ कैलोरी}; 1 \text{ कैलोरी} = 4.186 \text{ जूल}$$

- परमाणु के कणों की ऊर्जा की माप के लिए प्रयुक्त होने वाला उपकरण इलेक्ट्रॉन-वोल्ट (ev) है।

- कैलोरी (Calorie)**—एक ग्राम पानी का ताप 1°C से बढ़ाने के लिए आवश्यक ऊष्मा के मात्रक को 1 कैलोरी कहते हैं।

- इलेक्ट्रॉन वोल्ट (Electron Volt)**—किसी इलेक्ट्रॉन को 1 वोल्ट विभवान्तर वाले बिंदुओं के बीच त्वरित करने के लिए आवश्यक ऊर्जा की मात्रा 1 इलेक्ट्रॉन-वोल्ट ऊर्जा कहलाता है।

- ऊर्जा के विभिन्न रूप (Various Forms of Energy)—**

(i) यांत्रिक ऊर्जा (Mechanical Energy)

(ii) प्रकाश ऊर्जा (Light Energy)

(iii) ऊष्मा ऊर्जा (Heat Energy)

(iv) ध्वनि ऊर्जा (Sound Energy)

(v) चुम्बकीय ऊर्जा (magnetic Energy)

(vi) नाभिकीय ऊर्जा (Nuclear Energy)

(vii) सौर ऊर्जा (Solar Energy)

(viii) पवन ऊर्जा (Wind Energy)

(ix) विद्युत ऊर्जा (Electrical Energy)

(x) रासायनिक ऊर्जा (Chemical Energy)