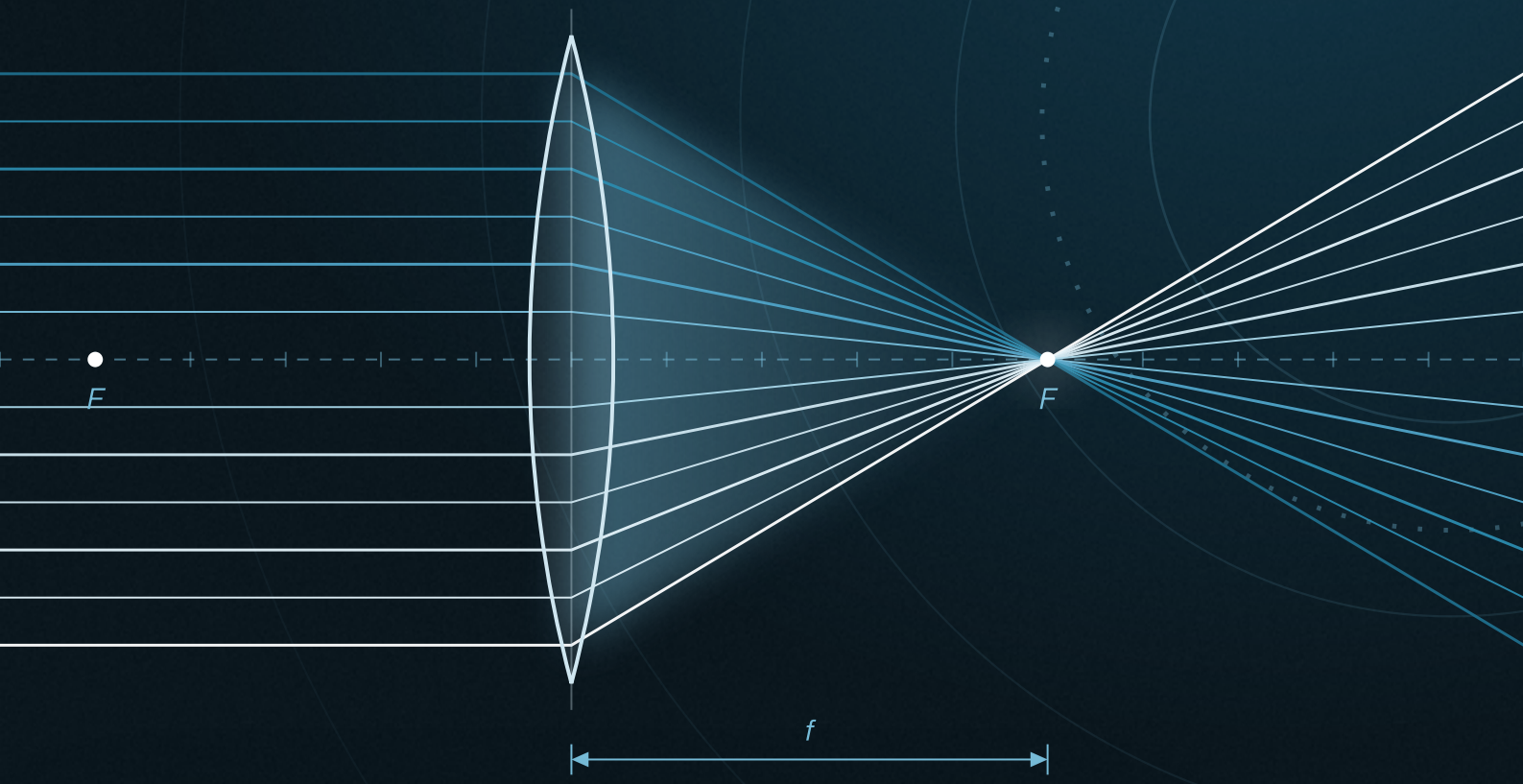
XamAgent

प्रारंभिक परीक्षा 2027

ED. 2027 · 15 CH · PYQ-PROOF · 189 FIG · 400 ★★★ · 183 MCQ



प्रारंभिक परीक्षा नोट्स

भौतिकी

प्रारंभिक परीक्षा से पहले की रात, बस एक किताब चाहिए।

PYQ-PROOF

2011 से UPSC और BPSC का हर प्रश्न इन नोट्स से हल होता है।

16 · वर्ष

UPSC CSE · BPSC · UPPCS · SSC CGL

Also in English

भौतिकी · प्रारंभिक परीक्षा नोट्स
प्रारंभिक परीक्षा 2027 संस्करण। समय के साथ बदलने वाले तथ्य नवंबर 2026 तक अद्यतन हैं।
© 2026 XamAgent। सर्वाधिकार सुरक्षित।

उपयोग की शर्तें

- यह पुस्तक इसे प्राप्त करने वाले व्यक्ति के **निजी, गैर-व्यावसायिक अध्ययन** के लिए है।
- बिना पूर्व लिखित अनुमति के इसका कोई भी भाग कॉपी करना, बिक्री के लिए छापना, दोबारा बेचना, किराये पर देना, वेबसाइट, फ़ाइल-शेयरिंग सेवा, टेलीग्राम/व्हाट्सऐप ग्रुप या किसी अन्य चैनल पर अपलोड करना, या इससे नोट्स, वीडियो या कोर्स बनाना मना है।
- इस पुस्तक या इसके किसी भाग का उपयोग मशीन लर्निंग या एआई मॉडल को प्रशिक्षित करने के लिए करना मना है।
- समीक्षा या चर्चा के लिए छोटे अंश XamAgent के स्पष्ट उल्लेख के साथ उद्धृत किए जा सकते हैं।
- पाठ, तालिकाएँ, याद रखने की ट्रिक और चित्र मौलिक कार्य हैं। पिछले वर्षों के परीक्षा प्रश्न शिक्षा और अभ्यास के उद्देश्य से परीक्षा और वर्ष के उल्लेख के साथ दिए गए हैं।

अस्वीकरण

- ये नोट्स एक स्वतंत्र अध्ययन सामग्री हैं। इनका संघ लोक सेवा आयोग, बिहार लोक सेवा आयोग, उत्तर प्रदेश लोक सेवा आयोग, कर्मचारी चयन आयोग या किसी सरकारी संस्था से **कोई संबंध नहीं है**, न ही ये उनके द्वारा अनुमोदित या जारी हैं।
- हर तथ्य को सही और नवीनतम रखने का पूरा प्रयास किया गया है। मान, संख्याएँ, रिकॉर्ड और नीतियाँ बदलती रहती हैं; ऐसे तथ्य नवंबर 2026 की स्थिति के अनुसार दिए गए हैं। जहाँ आधिकारिक अधिसूचना, पाठ्यक्रम या उत्तर कुंजी भिन्न हो, वहाँ आधिकारिक दस्तावेज़ ही मान्य होगा।
- पिछले प्रश्नों के उत्तर, जहाँ प्रकाशित हैं, आयोगों की अंतिम उत्तर कुंजी के अनुसार हैं; अन्यथा मानक स्वीकृत उत्तर के अनुसार।
- परीक्षा का स्वरूप और पाठ्यक्रम परीक्षा लेने वाली संस्थाएँ तय करती हैं और बदल सकते हैं। परिणाम पाठक की अपनी तैयारी पर निर्भर है; इस पुस्तक के उपयोग से हुई किसी हानि के लिए लेखक और प्रकाशक उत्तरदायी नहीं हैं।

ये नोट्स अलग क्यों हैं

1051	134	103	183
मुख्य बिंदु	तुलनात्मक तालिकाएँ	हल किए गए पिछले प्रश्न	अभ्यास MCQ

असली प्रश्नपत्रों पर परखा गया

UPSC 2011–2026 और BPSC 56वीं–71वीं में पूछे गए भौतिकी के सभी 103 प्रश्न ऐसे पाठक को दिए गए जिसने केवल ये नोट्स देखे, उत्तर नहीं। हर प्रश्न का उत्तर इन नोट्स से मिलता है, और हर प्रश्न उत्तर सहित अपने अध्याय के अंत में दिया गया है।

एक किताब से नहीं, पाठ्यक्रम से बना

अध्याय UPSC CSE, BPSC, UPPCS और SSC CGL के संयुक्त प्रारंभिक पाठ्यक्रम पर आधारित हैं और एनसीईआरटी स्तर तक पूरे हैं, ताकि परीक्षक जहाँ तक पहुँच सकता है, वहाँ तक कुछ न छूटे।

पहले क्या दोहराएँ, यह पता रहे

हर बिंदु पर स्टार है। 400 ★★★ बिंदु वे तथ्य हैं जो बार-बार पूछे जाते हैं; इन्हें तीन बार दोहराएँ, बाकी को एक बार।

पहली बार पढ़ने में ही याद रहे

पहले अवधारणा, फिर तथ्य; साथ में 105 याद रखने की ट्रिक, 22 रोज़मर्रा के उदाहरण और इस पुस्तक के लिए बनाए गए 189 चित्र, ताकि हर विचार के साथ एक चित्र और एक ट्रिक जुड़ी रहे।

परीक्षक की चालों से परिचित

122 "परीक्षा में सावधान" बॉक्स दिखाते हैं कि विकल्प कैसे घुमाए जाते हैं: मिलते-जुलते शब्द, उलटे कथन और लोकप्रिय गलत धारणाएँ।

नवीनतम, पुराने संस्करणों की नकल नहीं

बदलने वाले तथ्य (रिकॉर्ड, मिशन, मानक, संख्याएँ, पुरस्कार) आधिकारिक स्रोतों से जाँचे गए हैं और नवंबर 2026 की स्थिति के अनुसार लिखे गए हैं।

दोहराव पहले से तैयार

दो रफ़्तार: पूरी पुस्तक एक बार पढ़ने में लगभग 13 घंटे; रिवीज़न कार्ड (कुल 193 बिंदु) और सभी ★★★ तथ्य परीक्षा से पहले की रात लगभग 2 घंटे में। हर अध्याय एक-पंक्ति व्याख्या वाले अभ्यास प्रश्नों (कुल 183) पर समाप्त होता है।

साफ़, परीक्षा-योग्य तथ्य

हर पंक्ति में एक तथ्य, मुख्य शब्द बोल्ड में, संख्याएँ इकाई और शर्त के साथ। कोई भराव नहीं, बाद में भूलने लायक कुछ नहीं।

	सामान्य नोट्स	ये नोट्स
कवरेज	एक किताब की अध्याय सूची	चार परीक्षाओं का पाठ्यक्रम, हर पिछले प्रश्न पर जाँचा गया
प्राथमिकता	सब कुछ बराबर ज़रूरी लगता है	हर बिंदु पर स्टार; 400 ★★★ तथ्य चिह्नित
याददाश्त	रटने की सूचियाँ	ट्रिक, कहानियाँ, रोज़मर्रा के उदाहरण और चित्र
जाल	परीक्षा हॉल में पता चलते हैं	तथ्य के साथ लाल बॉक्स में
नवीनता	पुराने तथ्य दोबारा छपे	बदलने वाले तथ्य नवंबर 2026 तक अद्यतन
अभ्यास	अलग किताब	हर अध्याय में पिछले प्रश्न और अभ्यास MCQ

आभार

सबसे पहले हम उन शिक्षकों के आभारी हैं जिन्होंने दिखाया कि भौतिकी सूत्रों की सूची नहीं, दुनिया को देखने का एक तरीका है: स्टील का जहाज़ क्यों तैरता है, आकाश नीला क्यों है, प्रेशर कुकर में खाना जल्दी क्यों पकता है।

हम संघ लोक सेवा आयोग, राज्य लोक सेवा आयोगों और कर्मचारी चयन आयोग के आभारी हैं, जिनके प्रकाशित प्रश्नपत्रों ने वह मानक तय किया जिस पर यहाँ की हर पंक्ति परखी गई।

उन सार्वजनिक संस्थाओं का भी धन्यवाद जिनके खुले अभिलेख तथ्यों को सही और नवीन रखते हैं: अंतरराष्ट्रीय माप-तौल ब्यूरो, सीएसआईआर–राष्ट्रीय भौतिक प्रयोगशाला, भारतीय अंतरिक्ष अनुसंधान संगठन, परमाणु ऊर्जा विभाग, पत्र सूचना कार्यालय और नोबेल फ़ाउंडेशन।

सबसे बढ़कर, यह पुस्तक उस अभ्यर्थी के लिए है जो लंबे दिन के बाद इसे पढ़ रहा है: जो बस में दोहराता है, धीमी रोशनी में पढ़ता है, और खराब मॉक टेस्ट के बाद भी हार नहीं मानता। ये पृष्ठ आपकी तैयारी को हल्का और परीक्षा के दिन को शांत बनाएँ।

XamAgent टीम

पाठक के लिए

ज़्यादातर छोटे नोट्स किसी वजह से छोटे होते हैं। चालीस-पचास पन्ने, छोटे अक्षर, हर पन्ना किनारे तक भरा हुआ। एक पन्ना पढ़ने में बीस मिनट लगते हैं और अगले पन्ने तक भूल जाता है। परीक्षा के बाद वे गिनाते हैं कि कितने प्रश्न “उनसे आए”।

यह पुस्तक इस तरह काम नहीं करती।

- **पढ़ने लायक अक्षर।** पढ़ने के लिए छापे गए, ठूँसने के लिए नहीं।
- **एक पन्ना दो से तीन मिनट में।** मापा गया, अनुमान नहीं।
- **याद रखने के लिए बनी।** हर विचार के साथ एक चित्र, याद रखने की ट्रिक, रोज़मर्रा का उदाहरण और वह जाल जो परीक्षक उसके आसपास बिछाते हैं।

यह पुस्तक छोटे नोट्स से लंबी है, क्योंकि याददाश्त को जगह चाहिए। अतिरिक्त पन्नों में रटने के लिए अतिरिक्त तथ्य नहीं हैं।

यह पुस्तक आपको पसंद आएगी, अगर आप महत्व देते हैं:

- किसी विचार को रटने से पहले समझने को;
- यह जानने को कि कौन-से तथ्य पहले दोहराने हैं और कौन-से बाद में;
- ऐसे पन्नों को जो पढ़ने में आसान और दोहराने में तेज़ हों;
- ऐसे नोट्स को जो परीक्षा से पहले असली प्रश्नपत्रों पर परखे गए हों, परीक्षा के बाद श्रेय लेने वाले नहीं।

XamAgent

विषय-सूची

1	मात्रक, मापन और मापक यंत्र	★★★	7
2	गति, बल और न्यूटन के नियम	★★★	32
3	कार्य, ऊर्जा, शक्ति और सरल मशीनें	★★	49
4	गुरुत्वाकर्षण और उपग्रह	★★★	61
5	पदार्थ के गुण: ठोस और तरल	★★★	77
6	ऊष्मा और ऊष्मागतिकी	★★★	94
7	तरंगें और ध्वनि	★★★	119
8	प्रकाश I: परावर्तन, अपवर्तन और प्रकाशीय परिघटनाएँ	★★★	138
9	प्रकाश II: लेंस, मानव नेत्र और प्रकाशिक यंत्र	★★	156
10	विद्युतचुंबकीय स्पेक्ट्रम और तरंग प्रकाशिकी	★★★	172
11	विद्युत: आवेश, धारा और परिपथ	★★★	186
12	चुंबकत्व और विद्युतचुंबकत्व	★★	210
13	परमाणु, नाभिक और रेडियोधर्मिता	★★★	228
14	अर्धचालक, इलेक्ट्रॉनिकी और आधुनिक उपकरण	★★	257
15	वैज्ञानिक, खोजें, नियम और नियतांक: त्वरित सारणियाँ	★★	277
★	**परीक्षा से पहले की रात**: सभी ★★★ तथ्य एक जगह		295
	बदलने वाले तथ्य: इन्हें कहाँ जाँचें		306

कैसे पढ़ें: ★★★ बार-बार पूछा गया, ★★ कभी-कभी पूछा गया, ★ जानना उपयोगी। पूरा अध्याय एक बार पढ़ें, फिर केवल रिवीज़न कार्ड और ★★★ बिंदु दोहराएँ। हरे बॉक्स याद रखने की ट्रिक हैं, लाल बॉक्स परीक्षक के जाल, और नारंगी बॉक्स रोज़मर्रा का उदाहरण।

अध्याय 1

मात्रक, मापन और मापक यंत्र

BPSC लगभग हर वर्ष यहाँ से दो से चार प्रश्न पूछता है: कौन-सा मात्रक क्या मापता है, अदिश या सदिश, प्रकाश-वर्ष, kWh से जूल, और कौन-सा '-मीटर' क्या मापता है। SSC और UPPCS यही मात्रक और यंत्र-सूचियाँ दोहराते हैं।

पिछले प्रश्नपत्रों में 16 बार पूछा गया: UPSC 1 · BPSC 15

≈ 1 h 03 min पढ़ने में ≈ 7 min ★★★ दोहराने में दोहराएँ: दिन 1 | दिन 3 | दिन 7 | दिन 21

रिवीज़न कार्ड

1. सात SI मूल मात्रक: मीटर, किलोग्राम, सेकंड, ऐम्पियर, केल्विन, मोल, कैंडेला। याद-सूत्र: King Mohan Sells Apples, Keeps Mangoes, Candies (kg, m, s, A, K, mol, cd)।
2. 20 मई 2019 से सभी SI मात्रक निश्चित नियतांकों पर टिके हैं: किलोग्राम प्लांक नियतांक h पर, ऐम्पियर आवेश e पर, केल्विन बोल्ट्ज़मान k पर, मोल आवोगाद्रो N_A पर।
3. प्रकाश-वर्ष दूरी है ($\approx 9.46 \times 10^{12}$ km)। पारसेक ≈ 3.26 प्रकाश-वर्ष। AU $\approx 1.5 \times 10^{8}$ km (पृथ्वी–सूर्य)।
4. बिजली की 1 यूनिट = 1 kWh = 3.6×10^{6} J। अतः 250 यूनिट = 9×10^{8} J।
5. 1 hp $\approx$ 746 W; 1 cal $\approx$ 4.186 J; 1 eV = 1.6×10^{-19} J; 1 atm = 1.013×10^{5} Pa = 760 mm Hg।
6. ऐंग्स्ट्रॉम = 10^{-10} m (तरंगदैर्ध्य, परमाणु का आकार); फर्मी = 10^{-15} m (नाभिक); माइक्रॉन = 10^{-6} m।
7. टेस्ला = चुंबकीय क्षेत्र = $Wb/m^2 = N\,A^{-1}\,m^{-1} = 10^{4}$ गॉस। हर्ट्ज़ = आवृत्ति। वाट = शक्ति। पास्कल = दाब।
8. अदिश: चाल, दाब, धारा, कार्य, ऊर्जा। सदिश: विस्थापन, वेग, बल, बल-आघूर्ण, धारा घनत्व।
9. कोई मात्रक नहीं: विकृति, अपवर्तनांक, आपेक्षिक घनत्व, मैक संख्या, घर्षण गुणांक।
10. हाइग्रोमीटर = आर्द्रता; हाइड्रोमीटर = द्रव का घनत्व; लैक्टोमीटर = दूध; ओडोमीटर = दूरी; स्पीडोमीटर = चाल; टैकोमीटर = rpm।
11. डायनेमो बिजली बनाता है; डायनेमोमीटर बल या इंजन की शक्ति मापता है। थर्मोस्टेट ताप को स्थिर रखता है, उसे मापता नहीं।
12. कैरेट = 0.2 g (रत्नों के लिए); कैरट = सोने की शुद्धता (24K शुद्ध, 22K $\approx$ 91.6%)। नॉट = चाल (1.852 km/h)।
13. सबसे नए उपसर्ग (2022): रोना 10^{27}, क्वेटा 10^{30}, रोंटो 10^{-27}, क्वेक्टो 10^{-30}।
14. CSIR-NPL, नई दिल्ली भारत के राष्ट्रीय मानक और IST (UTC + 5:30, 82.5° E) रखती है; 2026 के नियम IST को एकमात्र वैध समय बनाते हैं।

भौतिक राशियाँ: मूल, व्युत्पन्न, अदिश, सदिश

7 मूल राशियाँ

अदिश बनाम सदिश

धारा: अदिश

दाब: अदिश

चाल बनाम वेग

जो कुछ भी मापा जा सके वह **भौतिक राशि (Physical quantity)** है: एक संख्या और एक मात्रक (5 kg, 20 m/s)। कुछ गिनी-चुनी राशियों को **मूल (Fundamental)** राशियाँ चुना गया है; बाकी हर राशि उन्हीं को गुणा या भाग करके **व्युत्पन्न (Derived)** होती है। चाल = लंबाई ÷ समय, इसलिए इसे अपना अलग मात्रक नहीं चाहिए।

★★★ **मूल राशियाँ (7)**: लंबाई, द्रव्यमान, समय, विद्युत धारा, ताप, पदार्थ की मात्रा, ज्योति तीव्रता। बल, वेग, कार्य और दाब व्युत्पन्न हैं।

★★ **व्युत्पन्न राशि** = मूल राशियों से बनी, जैसे बल = द्रव्यमान × त्वरण (kg m s^{-2}), घनत्व = द्रव्यमान ÷ आयतन (kg m^{-3})।

★★★ **अदिश (Scalar)**: केवल परिमाण होता है। द्रव्यमान, लंबाई, समय, चाल, दूरी, ताप, कार्य, ऊर्जा, शक्ति, दाब, घनत्व, आयतन, आवेश, विभव, आवृत्ति।

★★★ **सदिश (Vector)**: परिमाण और दिशा दोनों होते हैं और यह त्रिभुज (समांतर चतुर्भुज) नियम से जुड़ता है। विस्थापन, वेग, त्वरण, बल, भार, संवेग, आवेग, बल-आघूर्ण, कोणीय संवेग, विद्युत क्षेत्र, चुंबकीय क्षेत्र।

★★★ **विद्युत धारा अदिश है**, भले ही वह किसी दिशा में 'बहती' है: किसी संधि पर मिलने वाली दो धाराएँ सीधे जुड़ जाती हैं, सदिश योग का पालन नहीं करतीं।

★★★ **धारा घनत्व (Current density)** (प्रति एकांक क्षेत्रफल धारा) **सदिश है**; हर बिंदु पर यह प्रवाह की दिशा में होता है।

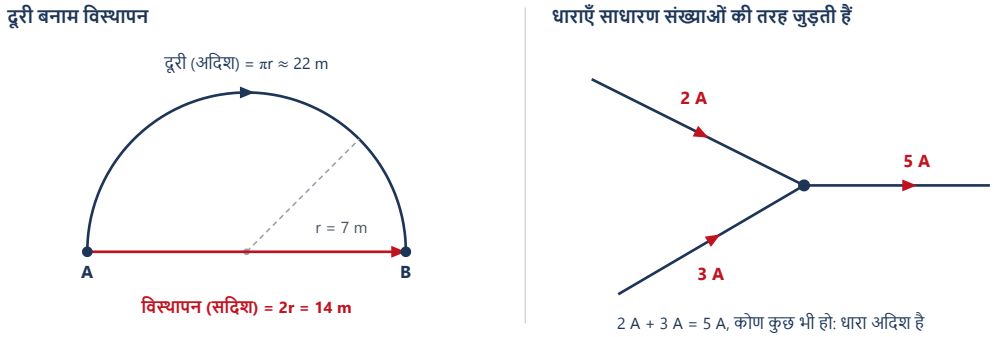
★★★ **दाब अदिश है**: द्रव के किसी बिंदु पर यह सभी दिशाओं में बराबर लगता है। इससे किसी सतह पर लगने वाला बल सदिश है।

★★ **चाल बनाम वेग**: चाल = दूरी ÷ समय (अदिश); वेग = विस्थापन ÷ समय (सदिश)। एक पूरा चक्कर लगाने वाले धावक का विस्थापन और औसत वेग शून्य होता है, पर औसत चाल शून्य नहीं।

★ **टेंसर (Tensor)**: प्रतिबल और जड़त्व आघूर्ण न साधारण अदिश हैं न सदिश; प्रारंभिक परीक्षा में प्रतिबल को प्रायः दाब के साथ रखा जाता है क्योंकि दोनों बल प्रति क्षेत्रफल हैं।

अदिश या सदिश: परीक्षकों की पसंदीदा राशियाँ ★★★

अदिश	सदिश
दूरी	विस्थापन
चाल	वेग
द्रव्यमान	भार (एक बल)
कार्य, ऊर्जा, शक्ति	बल, बल-आघूर्ण
दाब	प्रणोद (सतह पर बल)
विद्युत धारा	धारा घनत्व
विद्युत विभव, आवेश	विद्युत क्षेत्र
चुंबकीय फ्लक्स	चुंबकीय क्षेत्र (फ्लक्स घनत्व) B
ताप, ऊष्मा	संवेग, आवेग
समय, आयतन, घनत्व	त्वरण, कोणीय वेग



बाएँ: 7 m त्रिज्या के अर्धवृत्त पर A से B तक जाने में दूरी πr ≈ 22 m तय होती है, पर विस्थापन केवल सीधी रेखा AB = 14 m है (पैमाने पर बना)। दाएँ: किसी संधि पर मिलने वाली 2 A और 3 A धाराएँ, तारों के बीच कोण कुछ भी हो, सदा 5 A देती हैं, इसलिए धारा अदिश है।

याद रखें: पूछिए: 'क्या यह किसी ओर इशारा करता है?' धक्का (बल), मरोड़ (बल-आघूर्ण) और जगह का बदलना (विस्थापन) सब किसी दिशा में होते हैं। दाम का लेबल (द्रव्यमान, ऊर्जा, ताप) किसी ओर इशारा नहीं करता। धारा अपवाद है: वह बहती है पर सीधा जोड़ मानती है, जैसे दो नलों का पानी एक बाल्टी भरता है।

⚠ परीक्षा में सावधान: 'कौन-सा सदिश नहीं है?' विकल्प विस्थापन, चाल, वेग, बल-आघूर्ण: उत्तर चाल है। 'धारा सदिश है' गलत है; 'धारा घनत्व सदिश है' सही है। 'दाब सदिश है' गलत है।

☑ झटपट जाँच

1. SI में कितनी मूल राशियाँ हैं? क्या बल उनमें से एक है?
2. धारा एक दिशा में बहती है। फिर भी वह अदिश क्यों है?
3. पथ का एक पूरा चक्कर लगाने के बाद क्या शून्य होता है: औसत चाल या औसत वेग?

उत्तर: 1. सात; नहीं, बल व्युत्पन्न राशि है · 2. संधि पर धाराएँ साधारण संख्याओं की तरह जुड़ती हैं, सदिश नियमों से नहीं · 3. औसत वेग (विस्थापन शून्य है)

SI पद्धति और 2019 की पुनर्परिभाषा

7 मूल मात्रक

h से kg

अलग-अलग क्षेत्र कभी फुट, सेर और तोला प्रयोग करते थे, इसलिए व्यापार और विज्ञान को मापन की एक साझा भाषा चाहिए थी। **मीटर कन्वेंशन (Metre Convention) (20 मई 1875)** ने पेरिस (Paris) के पास **BIPM** की स्थापना

20 मई 2019

सीज़ियम-133

c से मीटर

किबल तुला

की, और **11वें CGPM (1960)** ने आधुनिक मीट्रिक पद्धति को **SI (Système International d'Unités)** नाम दिया। 2019 में हर मूल मात्रक को प्रकृति के एक निश्चित नियतांक से बाँध दिया गया, ताकि मात्रक कहीं भी बनाया जा सके और कभी खिसके नहीं।

सात SI मूल मात्रक ★★★

मूल राशि	SI मात्रक	प्रतीक	नाम किससे
लंबाई	मीटर	m	यूनानी 'metron', माप
द्रव्यमान	किलोग्राम	kg	यूनानी 'gramma'
समय	सेकंड	s	घंटे का दूसरा विभाजन
विद्युत धारा	ऐम्पियर	A	आंद्रे-मारी ऐम्पियर (André-Marie Ampère)
ऊष्मागतिक ताप	केल्विन	K	लॉर्ड केल्विन (Lord Kelvin) (विलियम थॉमसन, William Thomson)
पदार्थ की मात्रा	मोल	mol	जर्मन 'Molekül'
ज्योति तीव्रता	कैंडेला	cd	लैटिन 'candle' (मोमबत्ती)

याद रखें: King Mohan Sells Apples, Keeps Mangoes, Candies → kg, m, s, A, K, mol, cd (हर शब्द का पहला अक्षर एक मात्रक)। केवल दो मूल मात्रक किसी व्यक्ति के नाम पर हैं: ऐम्पियर और केल्विन (A और K बड़े अक्षर हैं)।

7 SI मूल मात्रक और हर एक को तय करने वाला नियतांक (20 मई 2019 से)

राशि	मात्रक (प्रतीक)	नियत किया गया नियतांक	इस रूप में कब से
समय	सेकंड (s)	Cs-133 आवृत्ति = 9 192 631 770 Hz	1967
लंबाई	मीटर (m)	प्रकाश की चाल c = 299 792 458 m/s	1983
द्रव्यमान	किलोग्राम (kg)	प्लांक नियतांक h	**2019 (नया)**
विद्युत धारा	ऐम्पियर (A)	मूल आवेश e	**2019 (नया)**
ताप	केल्विन (K)	बोल्ट्ज़मान नियतांक k	**2019 (नया)**
पदार्थ की मात्रा	मोल (mol)	आवोगाद्रो नियतांक N_a	**2019 (नया)**
ज्योति तीव्रता	कैंडेला (cd)	ज्योति दक्षता K = 683 lm/W	1979

लाल पंक्तियाँ 2019 में बदलीं: फ्रांस में रखा धातु का किलोग्राम बेलन हटा दिया गया।

हर मूल मात्रक अब एक नियतांक से तय है। चार लाल पंक्तियाँ (kg, A, K, mol) 20 मई 2019 को बदलीं।

★★★ **2019 की पुनर्परिभाषा (Redefinition)**: नवंबर 2018 में 26वें CGPM ने स्वीकार की, **20 मई 2019** (विश्व माप-विज्ञान दिवस) से लागू। h, e, k और N_A के मान सटीक रूप से निश्चित कर दिए गए।

★★★ **किलोग्राम** अब **प्लांक नियतांक (Planck constant) h = 6.626 070 15 × 10^{-34} J s** से परिभाषित है। पेरिस के पास सेव्र (Sèvres) में रखा प्लैटिनम-इरिडियम का पुराना बेलन (अंतरराष्ट्रीय प्रोटोटाइप किलोग्राम, 1889) हटा दिया गया।

★★ **ऐम्पियर मूल आवेश (Elementary charge) e = 1.602 176 634 × 10^{-19} C** से तय; **केल्विन बोल्ट्ज़मान नियतांक (Boltzmann constant) k = 1.380 649 × 10^{-23} J/K** से; **मोल आवोगाद्रो नियतांक (Avogadro constant) N_A = 6.022 140 76 × 10^{23} mol^{-1}** से।

★★★ **सेकंड** = **सीज़ियम-133** परमाणु के विकिरण के **9 192 631 770** दोलनों का समय (1967 से परमाणु घड़ी वाली परिभाषा)।

★★ **मीटर** = निर्वात में प्रकाश द्वारा **1/299 792 458 सेकंड** में तय दूरी (1983 से), इसलिए प्रकाश की चाल ठीक 299 792 458 m/s है।

★ **कैंडेला** 540 THz हरे प्रकाश की ज्योति दक्षता, 683 lm/W, से तय (1979 से)।

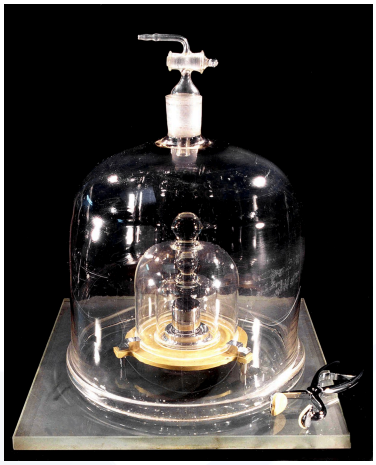
★ **किबल तुला (Kibble balance)**: वह मशीन जो किसी द्रव्यमान के भार को विद्युतचुंबकीय बल से संतुलित करती है और किलोग्राम को h से जोड़ती है।

★★ **28वाँ CGPM (अक्टूबर 2026)**: सेकंड अब भी **सीज़ियम-133** घड़ी से परिभाषित है; नई परिभाषा का प्रस्ताव, जिसके **प्रकाशिक घड़ियों (Optical clocks)** पर आधारित होने की आशा है, **29वें CGPM (2030)** में रखा जाना है।

★★ **लीप सेकंड का अंत**: 2026 के CGPM ने **20 मई 2027 से UTC को निरंतर** बना दिया, अतः अब लीप सेकंड नहीं जोड़े जाएँगे; UT1 और UTC के बीच एक घंटे तक का अंतर आ सकता है।

★ **पूरक मात्रक (Supplementary units)** (पुराना शब्द): **रेडियन** (समतल कोण) और **स्टेरेडियन** (घन कोण); 1995 से इन्हें विमाहीन व्युत्पन्न मात्रक माना जाता है। 1 rad ≈ 57.3°।

★ **पुरानी पद्धतियाँ**: CGS (सेंटीमीटर-ग्राम-सेकंड), FPS (फ़ुट-पाउंड-सेकंड, ब्रिटिश), MKS (मीटर-किलोग्राम-सेकंड, SI की जननी)।



अंतरराष्ट्रीय प्रोटोटाइप किलोग्राम ('ल ग्रां के', Le Grand K): पेरिस के पास काँच के दो घंटीनुमा आवरणों के नीचे रखा प्लैटिनम-इरिडियम का बेलन। 1889 से 20 मई 2019 तक किलोग्राम इसी से परिभाषित था; अब प्लांक नियतांक से होता है। चित्र: BIPM, Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0 IGO

⚠ **परीक्षा में सावधान:** 'किलोग्राम अब भी फ्रांस में रखे धातु के बेलन से परिभाषित है' 2019 से गलत है। 'द्रव्यमान, लंबाई और समय ही मूल राशियाँ हैं' गलत है: SI में सात हैं। बल और वेग कभी मूल राशियाँ नहीं होते।

☑ झटपट जाँच

1. 20 मई 2019 से किलोग्राम किस नियतांक से तय होता है?
2. सेकंड किस परमाणु के विकिरण से परिभाषित है?
3. कौन-से दो SI मूल मात्रक व्यक्तियों के नाम पर हैं?

उत्तर: 1. प्लांक नियतांक h · 2. सीज़ियम-133 (9 192 631 770 दोलन) · 3. ऐम्पियर और केल्विन

व्युत्पन्न मात्रक और वैज्ञानिकों के नाम पर मात्रक

न्यूटन = kg m s^{-2}

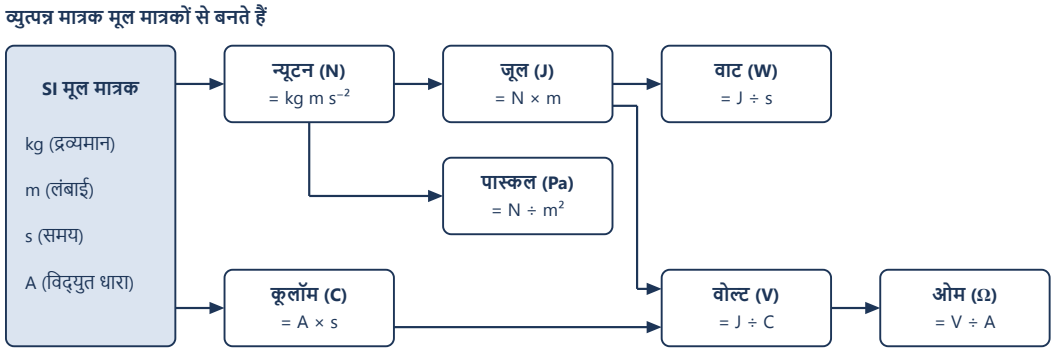
टेस्ला = N A^{-1} m^{-1}

ग्रे बनाम सीवर्ट

ल्यूमेन बनाम लक्स

विकृति: कोई मात्रक नहीं

व्युत्पन्न मात्रक (Derived unit) मूल मात्रकों के एक समूह का छोटा नाम है। न्यूटन बस kg m s^{-2} है; वाट बस जूल प्रति सेकंड है। बाईस व्युत्पन्न मात्रकों के विशेष नाम हैं, और उनमें से अधिकांश किसी वैज्ञानिक का सम्मान करते हैं। पूरा नाम छोटे अक्षरों में लिखा जाता है (newton, watt); व्यक्ति के नाम से बना प्रतीक बड़े अक्षर से लिखा जाता है (N, W, Pa)।



व्युत्पन्न मात्रक मूल मात्रकों के समूहों के छोटे नाम हैं: न्यूटन = kg m s^{-2}; जूल = न्यूटन × मीटर और वाट = जूल प्रति सेकंड; वोल्ट = जूल प्रति कूलॉम और ओम = वोल्ट प्रति ऐम्पियर।

विशेष नाम वाले SI व्युत्पन्न मात्रक ★★★

राशि	मात्रक (प्रतीक)	अन्य मात्रकों में	नाम किसके नाम पर
बल	न्यूटन (N)	kg m s^{-2}	आइज़क न्यूटन (Isaac Newton)
कार्य, ऊर्जा, ऊष्मा	जूल (J)	N m	जेम्स प्रेस्कॉट जूल (James Prescott Joule)
शक्ति (विद्युत शक्ति सहित)	वाट (W)	J/s	जेम्स वाट (James Watt)
दाब, प्रतिबल	पास्कल (Pa)	N/m^2	ब्लेज़ पास्कल (Blaise Pascal)
आवृत्ति	हर्ट्ज़ (Hz)	s^{-1} (चक्र प्रति सेकंड)	हाइनरिख हर्ट्ज़ (Heinrich Hertz)
विद्युत आवेश	कूलॉम (C)	A s	चार्ल्स-ऑगस्टिन द कूलॉम (Charles-Augustin de Coulomb)
विभवांतर, विद्युत वाहक बल (emf)	वोल्ट (V)	J/C = W/A	एलेसांद्रो वोल्टा (Alessandro Volta)
प्रतिरोध	ओम (Ω)	V/A	जॉर्ज साइमन ओम (Georg Simon Ohm)
चालकत्व	सीमेंस (S)	Ω^{-1} (पुराना नाम म्हो)	वर्नर वॉन सीमेंस (Werner von Siemens)
धारिता	फैराड (F)	C/V	माइकल फैराडे (Michael Faraday)
चुंबकीय फ्लक्स	वेबर (Wb)	V s	विल्हेम वेबर (Wilhelm Weber)
चुंबकीय क्षेत्र (फ्लक्स घनत्व)	टेस्ला (T)	Wb/m^2 = N A^{-1} m^{-1}	निकोला टेस्ला (Nikola Tesla)
प्रेरकत्व	हेनरी (H)	Wb/A	जोसेफ़ हेनरी (Joseph Henry)
सेल्सियस ताप	डिग्री सेल्सियस (°C)	K − 273.15	एंडर्स सेल्सियस (Anders Celsius)
रेडियोधर्मिता (सक्रियता)	बेकरेल (Bq)	एक विघटन प्रति सेकंड	हेनरी बेकरेल (Henri Becquerel)
अवशोषित विकिरण मात्रा	ग्रे (Gy)	J/kg	लुई हेरोल्ड ग्रे (Louis Harold Gray)
तुल्य मात्रा (जैविक प्रभाव)	सीवर्ट (Sv)	J/kg	रॉल्फ़ सीवर्ट (Rolf Sievert)
ज्योति फ्लक्स	ल्यूमेन (lm)	cd sr	लैटिन 'प्रकाश'
प्रदीप्ति	लक्स (lx)	lm/m^2	लैटिन 'प्रकाश'
उत्प्रेरक सक्रियता	कैटल (kat)	mol/s	यूनानी 'घोलना'
समतल कोण / घन कोण	रेडियन (rad) / स्टेरेडियन (sr)	विमाहीन	-

★★★ **F = BIL से टेस्ला**: तार पर बल = क्षेत्र × धारा × लंबाई, अतः B = F/(IL) और **1 T = 1 N A^{-1} m^{-1}** (न्यूटन प्रति ऐम्पियर-मीटर)। साथ ही 1 T = 1 Wb/m^2 = **10^4 गॉस**।

★★★ **वाट** हर प्रकार की शक्ति का मात्रक है, विद्युत शक्ति का भी: P = VI, अतः 1 W = 1 V × 1 A।

★★★ **हर्ट्ज़** = एक चक्र प्रति सेकंड; यह किसी भी तरंग या कंपन की आवृत्ति मापता है (ध्वनि, भारत में 50 Hz की AC मेन्स, रेडियो)।

★★ **ग्रे बनाम सीवर्ट**: दोनों J/kg हैं। ग्रे अवशोषित कच्ची ऊर्जा है; सीवर्ट उसे जीवित ऊतक को होने वाली हानि के अनुसार तौलता है।

★★ **ल्यूमेन बनाम लक्स**: ल्यूमेन = स्रोत द्वारा दिया गया कुल प्रकाश; लक्स = हर वर्ग मीटर पर पड़ने वाला प्रकाश (प्रदीप्ति)। LED बल्ब ल्यूमेन में आँके जाते हैं; लक्स मीटर कमरे की रोशनी जाँचता है।

★★ **कूलॉम** = 1 ऐम्पियर द्वारा 1 सेकंड में प्रवाहित आवेश; एक कूलॉम ≈ 6.25×10^{18} इलेक्ट्रॉन।

सामान्य राशियाँ जिनके मात्रकों का कोई विशेष नाम नहीं ★★

राशि	SI मात्रक
वेग, चाल	m/s
त्वरण	m/s^2
संवेग, आवेग	kg m/s = N s
बल-आघूर्ण (Torque)	N m (कभी J नहीं लिखा जाता)
पृष्ठ तनाव (Surface tension)	N/m
श्यानता (गुणांक)	Pa s (CGS: पॉइज़; 1 Pa s = 10 पॉइज़)
घनत्व	kg/m^3
विशिष्ट ऊष्मा धारिता	J kg^{-1} K^{-1}
गुप्त ऊष्मा	J/kg
ऊष्मा चालकता	W m^{-1} K^{-1}
प्रतिरोधकता	Ω m (ओम-मीटर)
विद्युत क्षेत्र	N/C = V/m
कोणीय वेग	rad/s
जड़त्व आघूर्ण	kg m^2
लेंस की क्षमता	डायॉप्टर (D) = m^{-1}
यंग प्रत्यास्थता गुणांक	Pa (N/m^2)
ध्वनि तीव्रता	W/m^2 (स्तर डेसिबल में)

★★★ **बिना मात्रक वाली (विमाहीन) राशियाँ**: **विकृति (Strain)** (लंबाई में परिवर्तन ÷ मूल लंबाई), अपवर्तनांक, आपेक्षिक घनत्व (विशिष्ट गुरुत्व), घर्षण गुणांक, पॉयसन अनुपात, आपेक्षिक विद्युतशीलता (परावैद्युतांक), मैक संख्या, दक्षता।

★★★ **प्रतिबल और दाब** दोनों बल प्रति क्षेत्रफल हैं, इसलिए दोनों **पास्कल** में मापे जाते हैं। विकृति का कोई मात्रक नहीं क्योंकि वह दो लंबाइयों का अनुपात है।

याद रखें: प्रकाश के मात्रक (कैंडेला, ल्यूमेन, लक्स) 'बिना नाम' वाला परिवार हैं: इनमें से कोई किसी व्यक्ति के नाम पर नहीं। विद्युत के मात्रक 19वीं सदी के विद्युत अग्रदूतों की हाज़िरी जैसे लगते हैं: वोल्टा (वोल्ट), ओम (ओम), फैराडे (फैराड), हेनरी (हेनरी), और चुंबकीय मात्रकों के लिए वेबर और टेस्ला।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** बल-आघूर्ण और कार्य दोनों का मात्रक N m है, पर बल-आघूर्ण कभी जूल में नहीं लिखा जाता। 'ओम-मीटर प्रतिरोध का मात्रक है' गलत है: ओम-मीटर प्रतिरोधकता का मात्रक है। 'सीमेंस प्रतिरोध मापता है' गलत है: यह चालकत्व (प्रतिरोध का उलटा) मापता है।

☑ झटपट जाँच

1. टेस्ला को न्यूटन, ऐम्पियर और मीटर में लिखिए।
2. ओम-मीटर प्रतिरोध का मात्रक है या प्रतिरोधकता का?
3. ऐसी एक राशि बताइए जिसका कोई मात्रक नहीं।

उत्तर: 1. 1 T = 1 N A^{-1} m^{-1} (F = BIL से) · 2. प्रतिरोधकता का · 3. विकृति (अपवर्तनांक, आपेक्षिक घनत्व भी)

SI उपसर्ग

किलो से टेरा

मिली से पिको

रोना, क्वेटा (2022)

M बनाम m

उपसर्ग (Prefixes) एक ही मात्रक को परमाणु से आकाशगंगा तक, शून्यों की लंबी कतार के बिना, ले जाते हैं। किलो से ऊपर और मिली से नीचे हर सीढ़ी 1000 गुने की है। **नवंबर 2022** में 27वें CGPM ने चार नए उपसर्ग जोड़े क्योंकि डेटा भंडारण योटा से आगे बढ़ रहा था।

SI उपसर्ग: हर सीढ़ी ×1000

बड़े: नाम के अंत में -a		छोटे: नाम के अंत में -o	
केटा (Q)	10^{30} (2022)	**केक्टो (q)**	10^{-30} (2022)
रोना (R)	10^{27} (2022)	**रोंटो (r)**	10^{-27} (2022)
योटा (Y)	10^{24}	योक्टो (y)	10^{-24}
ज़ेटा (Z)	10^{21}	ज़ेप्टो (z)	10^{-21}
एक्सा (E)	10^{18}	एटो (a)	10^{-18}
पेटा (P)	10^{15}	फेम्टो (f)	10^{-15}
टेरा (T)	10^{12}	पिको (p)	10^{-12}
गीगा (G)	10^{9}	नैनो (n)	10^{-9}
मेगा (M)	10^{6}	माइक्रो (μ)	10^{-6}
किलो (k)	10^{3}	मिली (m)	10^{-3}

बीच में: हेक्टो (h) 10^{2} · डेका (da) 10^{1} · डेसी (d) 10^{-1} · सेंटी (c) 10^{-2}
मेगा और उससे ऊपर के प्रतीक बड़े अक्षर में; किलो का प्रतीक छोटा k

बड़े उपसर्गों के नाम -a पर, छोटे उपसर्गों के -o पर खत्म होते हैं। लाल रंग वाले चार 2022 में जोड़े गए।

★★★ **रोज़मर्रा के उपसर्ग**: किलो 10^{3}, मेगा 10^{6}, गीगा 10^{9}, टेरा 10^{12}; मिली 10^{-3}, माइक्रो 10^{-6}, नैनो 10^{-9}, पिको 10^{-12}।

★★ **अगले उपसर्ग**: पेटा 10^{15}, एक्सा 10^{18}, ज़ेटा 10^{21}, योटा 10^{24}; फेम्टो 10^{-15}, एटो 10^{-18}, ज़ेप्टो 10^{-21}, योक्टो 10^{-24}।

★★ **2022 में जोड़े गए: रोना (R) 10^{27}, क्वेटा (Q) 10^{30}, रोंटो (r) 10^{-27}, क्वेक्टो (q) 10^{-30}**। पृथ्वी का द्रव्यमान लगभग 6 रोनाग्राम है; इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान लगभग 1 रोंटोग्राम।

★ **हेक्टो 10^{2}, डेका 10^{1}, डेसी 10^{-1}, सेंटी 10^{-2}**: केवल यही उपसर्ग 1000 की घात नहीं हैं (हेक्टेयर, डेसिबल, सेंटीमीटर)।

★ **प्रतीक का अक्षर-रूप मायने रखता है**: M (मेगा) बनाम m (मिली); P (पेटा) बनाम p (पिको)। 1 mW वाट का हज़ारवाँ भाग है; 1 MW दस लाख वाट है।

याद रखें: बड़ी सीढ़ी: Kind Men Give Tea, People Enjoy Zesty Yellow Rich Quality (किलो, मेगा, गीगा, टेरा, पेटा, एक्सा, ज़ेटा, योटा, रोना, क्वेटा)। छोटी सीढ़ी: My Mother Never Prepares Food After Zero Yoga, Really Quickly (मिली, माइक्रो, नैनो, पिको, फेम्टो, एटो, ज़ेप्टो, योक्टो, रोंटो, क्वेक्टो)। हर शब्द का पहला अक्षर क्रम से एक उपसर्ग है।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** माइक्रो 10^{-6} (दस लाखवाँ भाग) है, 10^{-9} नहीं; नैनो 10^{-9} है। फेम्टो (10^{-15}) नाभिक का 'फर्मी' आकार है। 'गीगा' बाइट 10^{9} है, 'टेरा' 10^{12}।

☑ झटपट जाँच

1. माइक्रो या नैनो: कौन-सा 10^{-6} है?
2. 2022 में कौन-से चार उपसर्ग जोड़े गए?
3. 1 MW, 1 mW का कितने गुना है?

उत्तर: 1. माइक्रो (नैनो 10^{-9} है) · 2. रोना, क्वेटा, रोंटो, क्वेक्टो · 3. 10^{9} गुना

परीक्षाओं के प्रिय गैर-SI और पारंपरिक मात्रक

प्रकाश-वर्ष: दूरी

AU < ly < पारसेक

कैरेट बनाम कैरट

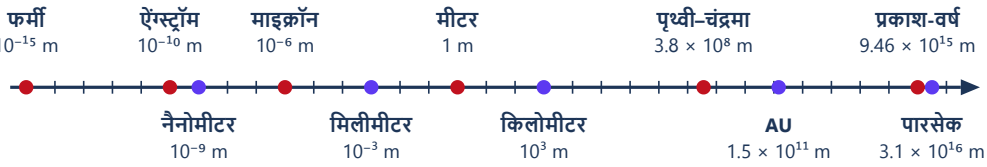
kWh = 3.6 × 10^{6} J

नॉट: चाल

डेसिबल

कई पुराने या विशेष मात्रक इसलिए बचे हैं क्योंकि वे अपने काम के लिए उपयुक्त हैं: खगोलविदों को विशाल लंबाइयाँ चाहिए, जौहरियों को बहुत छोटे द्रव्यमान, नाविक पृथ्वी की अपनी वक्रता से मापते हैं। परीक्षाएँ पूछती हैं कि हर मात्रक क्या मापता है, इसलिए इन्हें परिवार के अनुसार याद करें।

लंबाई के मात्रक एक सीढ़ी पर (हर निशान = ×10)



नाभिक ~ फर्मी · परमाणु ~ ऐंग्स्ट्रॉम · जीवाणु ~ माइक्रॉन · तारे ~ प्रकाश-वर्ष और पारसेक

नाभिक से तारों तक: फर्मी < ऐंग्स्ट्रॉम < नैनोमीटर < माइक्रॉन < … < AU < प्रकाश-वर्ष < पारसेक।

लंबाई और दूरी ★★★

मात्रक	मान	किसके लिए
प्रकाश-वर्ष (Light-year, ly)	प्रकाश द्वारा एक वर्ष में तय दूरी ≈ 9.46×10^{15} m ≈ 9.46×10^{12} km	तारों की दूरियाँ
खगोलीय इकाई (Astronomical unit, AU)	पृथ्वी–सूर्य की माध्य दूरी ≈ 1.496×10^{11} m ≈ 150 मिलियन km	सौरमंडल की दूरियाँ
पारसेक (Parsec, pc)	≈ 3.26 ly ≈ 3.09×10^{16} m ≈ 206 265 AU	तारों और आकाशगंगाओं की दूरियाँ
ऐंग्स्ट्रॉम (Ångström, Å)	10^{-10} m = 0.1 nm	प्रकाश, एक्स-किरणों की तरंगदैर्ध्य; परमाणुओं का आकार
फर्मी (फेम्टोमीटर, fm)	10^{-15} m	नाभिक का आकार
माइक्रॉन (माइक्रोमीटर, µm)	10^{-6} m	कोशिकाएँ, जीवाणु, धूल (PM2.5 = ≤ 2.5 µm के कण)
नैनोमीटर (nm)	10^{-9} m = 10 Å	दृश्य प्रकाश 400–700 nm; चिप प्रौद्योगिकी
समुद्री मील (Nautical mile)	ठीक 1852 m (1.852 km)	समुद्री और हवाई नौवहन; अक्षांश का एक मिनट
मील (स्टैच्यूट)	≈ 1.609 km	सड़क की दूरी (ब्रिटेन, अमेरिका)
फैदम (Fathom)	6 फुट ≈ 1.83 m	पानी की गहराई
फुट / इंच / गज	1 ft = 12 in = 30.48 cm; 1 in = 2.54 cm; 1 yd = 3 ft = 0.9144 m	रोज़मर्रा की लंबाई

★★★ **प्रकाश-वर्ष दूरी मापता है, समय नहीं।** प्रकाश हर सेकंड लगभग 3×10^5 km चलता है; एक वर्ष में यह लगभग 9.46×10^{12} km हो जाता है।

★★★ **खगोलविद प्रकाश-वर्ष क्यों प्रयोग करते हैं**: **निर्वात में प्रकाश की चाल हर जगह और हमेशा समान** रहती है, इसलिए यह विशाल दूरियों के लिए एक आदर्श, न बदलने वाला पैमाना है।

★★★ **आकार का क्रम**: AU < प्रकाश-वर्ष < पारसेक। 1 ly ≈ 63 000 AU; 1 pc ≈ 3.26 ly।

★★ **पारसेक** = 'एक आर्क-सेकंड का लंबन (parallax)': वह दूरी जहाँ से 1 AU केवल 1 आर्क-सेकंड चौड़ा दिखे।

★★ सूर्य के बाद **सबसे निकट तारा**, प्रॉक्सिमा सेंटॉरी (Proxima Centauri), लगभग 4.2 ly दूर है; सूर्य के प्रकाश को पृथ्वी तक (1 AU) पहुँचने में लगभग 8 मिनट 20 सेकंड लगते हैं।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** 'प्रकाश-वर्ष समय का मात्रक है' और 'प्रकाश-वर्ष चाल का मात्रक है' दोनों गलत हैं: यह दूरी है। UPSC 2021 में पूछा गया कारण प्रकाश की चाल का स्थिर रहना था, यह नहीं कि तारे स्थिर रहते हैं: तारों की दूरियाँ बदलती हैं, और भारी पिंडों के पास प्रकाश मुड़ता भी है।

द्रव्यमान, आयतन, क्षेत्रफल ★★

मात्रक	मान	टिप्पणी
कैरेट (Carat, ct)	200 mg = 0.2 g	हीरे और रत्नों का द्रव्यमान
कैरट (Karat, K)	24 में से सोने के भाग	सोने की शुद्धता: 24K शुद्ध, 22K ≈ 91.6%, 18K = 75%
क्विंटल / टन	100 kg / 1000 kg	फ़सल (क्विंटल), माल ढुलाई (टन)
परमाणु द्रव्यमान मात्रक (u, डाल्टन)	≈ 1.66×10^{-27} kg	कार्बन-12 परमाणु का 1/12
तोला	≈ 11.66 g	सोने और चाँदी के लिए पारंपरिक भारतीय मात्रक
पाउंड (lb)	≈ 0.4536 kg	ब्रिटिश द्रव्यमान
लीटर (L)	1 dm^3 = 1000 cm^3; 1 m^3 = 1000 L	1 mL = 1 cm^3 (cc)
बैरल (तेल)	42 US गैलन ≈ 159 लीटर	कच्चे तेल का व्यापार
गैलन	US ≈ 3.785 L; इंपीरियल ≈ 4.546 L	अमेरिका/ब्रिटेन में ईंधन
हेक्टेयर (ha)	10 000 m^2	भूमि; 1 ha ≈ 2.47 एकड़
एकड़	≈ 4047 m^2	भूमि

याद रखें: C वाला Carat, Crystal (हीरा, एक द्रव्यमान) के लिए। K वाला Karat, Kangan (सोने का कंगन, 24 में से शुद्धता) के लिए। 22K हॉलमार्क वाले गहनों पर 916 अंकित होता है: 22 ÷ 24 = 0.916।

ऊर्जा, शक्ति और दाब ★★★

मात्रक	SI में मान	टिप्पणी
किलोवाट-घंटा (kWh) = बिजली की 1 'यूनिट'	3.6×10^6 J	1000 W, 3600 s तक; आपका बिजली बिल
कैलोरी (cal)	≈ 4.186 J (≈ 4.2 J)	ऊष्मा; भोजन की 'Calorie' (kcal) = 1000 cal
इलेक्ट्रॉन-वोल्ट (eV)	1.602×10^{-19} J	परमाणु और नाभिकीय ऊर्जा; MeV, GeV
अर्ग (CGS)	10^{-7} J	1 J = 10^7 अर्ग
ब्रिटिश थर्मल यूनिट (BTU)	≈ 1055 J	हीटिंग, एयर कंडीशनर
अश्वशक्ति (hp)	≈ 746 W	इंजन, मोटर, पंप
टन ऑफ़ रेफ्रिजरेशन	≈ 3.5 kW शीतलन	AC की क्षमता ('1.5 टन का AC')
डाइन (CGS बल)	10^{-5} N	1 N = 10^5 डाइन
किलोग्राम-भार (kgf)	≈ 9.8 N	दाब का मात्रक kgf/cm^2 ≈ 0.98 bar
बार	10^5 Pa	मौसम: 1 मिलीबार = 1 hPa = 100 Pa
मानक वायुमंडल (atm)	101 325 Pa ≈ 1.013 bar	= पारे के 760 mm
टॉर (Torr)	1/760 atm ≈ 133 Pa	≈ 1 mm Hg; निर्वात कार्य
mm Hg (पारे का mm)	≈ 133 Pa	रक्तचाप (120/80 mm Hg)
psi (पाउंड प्रति वर्ग इंच)	≈ 6.9 kPa	टायर का दाब (30–35 psi)

★★★ **kWh से जूल**: 1 kWh = 1000 W × 3600 s = **3.6×10^6 J**। उदाहरण: 250 यूनिट = 250 × 3.6 × 10^6 = **9×10^8 J**।

★★★ **kWh ऊर्जा है, kW शक्ति।** मीटर खर्च हुई ऊर्जा गिनता है; हीटर पर लिखी रेटिंग (2 kW) उसकी शक्ति है।

★★★ **दाब (Pressure)** = बल ÷ क्षेत्रफल; SI मात्रक **पास्कल (N/m²)**। 'kg/cm²' वस्तुतः द्रव्यमान प्रति क्षेत्रफल है; दाब का मात्रक **kgf/cm²** (किलोग्राम-भार प्रति वर्ग सेंटीमीटर) है। अतः यदि विकल्प केवल kg/cm², kg/cm, kg/mm और kg/cm³ हों, तो उत्तर **इनमें से कोई नहीं** है: हर एक द्रव्यमान का मात्रक है जिसे लंबाई, क्षेत्रफल या आयतन से भाग दिया गया है।

★★ **इलेक्ट्रॉन-वोल्ट** ऊर्जा है, आवेश या वोल्टता नहीं: एक इलेक्ट्रॉन 1 वोल्ट से गुज़रकर जितनी ऊर्जा पाता है।

आसपास देखें: 1.5 kW का गीज़र 2 घंटे चले तो 1.5 × 2 = 3 kWh = 3 यूनिट = 3 × 3.6 × 10^6 = 1.08 × 10^7 J खर्च होते हैं।

विद्युत, चुंबकत्व, विकिरण, ध्वनि, चाल ★★

मात्रक	क्या मापता है	मान / टिप्पणी
गॉस (G)	चुंबकीय क्षेत्र (CGS)	1 T = 10^4 G; पृथ्वी का क्षेत्र ≈ 0.25–0.65 G
मैक्सवेल	चुंबकीय फ्लक्स (CGS)	1 Wb = 10^8 मैक्सवेल
क्यूरी (Ci)	रेडियोधर्मिता	3.7 × 10^{10} Bq (1 g रेडियम की सक्रियता)
रैड / रेम	अवशोषित मात्रा / तुल्य मात्रा	1 रैड = 0.01 Gy; 1 रेम = 0.01 Sv
रॉन्टजन (R)	एक्स-किरण और गामा उद्भासन (वायु का आयनन)	पुराना मात्रक
डेसिबल (dB)	प्रबलता (ध्वनि स्तर)	लघुगणकीय; +10 dB = 10 × तीव्रता
मैक संख्या	चाल ÷ ध्वनि की चाल	कोई मात्रक नहीं; 20 °C पर वायु में Mach 1 ≈ 343 m/s ≈ 1235 km/h
नॉट (Knot)	जहाज़ों और विमानों की चाल	1 समुद्री मील प्रति घंटा = 1.852 km/h
rpm	घूर्णन चाल	चक्कर प्रति मिनट (टैकोमीटर पर पढ़ा जाता है)
डॉबसन इकाई (DU)	ओज़ोन स्तंभ की मोटाई	1 DU = 0 °C और 1 atm पर शुद्ध ओज़ोन की 0.01 mm परत
क्यूसेक / क्यूमेक	नदी या नहर का प्रवाह	घन फुट प्रति सेकंड (≈ 28.3 L/s) / घन मीटर प्रति सेकंड
बार्न	नाभिकीय अनुप्रस्थ काट (क्षेत्रफल)	10^{-28} m²

★★★ **डेसिबल (Decibel)** (**बेल** का दसवाँ भाग, अलेक्ज़ेंडर ग्राहम बेल (Alexander Graham Bell) के नाम पर): 0 dB = सबसे धीमी सुनाई देने वाली ध्वनि; फुसफुसाहट ≈ 30 dB; बातचीत ≈ 60 dB; लगभग 85 dB से ऊपर लंबे समय तक रहने से सुनने की क्षमता को हानि; दर्द लगभग 120–130 dB पर।

★★ **मैक**: अवध्वनिक (subsonic) < Mach 1 < पराध्वनिक (supersonic); Mach 5 से ऊपर अतिध्वनिक (hypersonic)। मैक संख्या का कोई मात्रक नहीं।

★★ **नॉट चाल है**, न दूरी और न रस्सी की लंबाई: 20 नॉट ≈ 37 km/h।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** जो जोड़े आपस में बदल दिए जाते हैं: कैरेट (द्रव्यमान) बनाम कैरट (शुद्धता); नॉट (चाल) बनाम समुद्री मील (दूरी); kWh (ऊर्जा) बनाम kW (शक्ति); eV (ऊर्जा) बनाम वोल्ट (विभव); गॉस बनाम टेस्ला (एक ही राशि, 1 T = 10 000 G); डेसिबल प्रबलता मापता है, हर्ट्ज़ तारत्व (आवृत्ति)।

झटपट जाँच

1. प्रकाश-वर्ष _____ का मात्रक है।
2. प्रकाश-वर्ष तारों की दूरी का अच्छा पैमाना क्यों है?
3. 1 kWh कितने जूल है?

उत्तर: 1. दूरी (≈ 9.46×10^{15} m) · 2. निर्वात में प्रकाश की चाल हर जगह और हमेशा समान है · 3. 3.6×10^6 J

मुख्य रूपांतरण एक नज़र में

km/h × 5/18

K = °C + 273

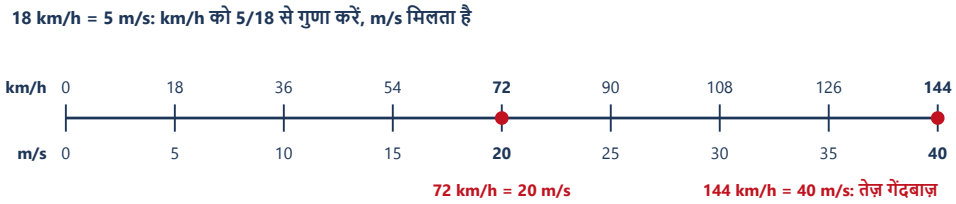
°F = 9/5 °C + 32

−40 °C = −40 °F

37 °C = 98.6 °F

याद रखने योग्य रूपांतरण ★★★

से	में	नियम
km/h	m/s	5/18 से गुणा करें (72 km/h = 20 m/s)
सेल्सियस	केल्विन	K = °C + 273.15 (प्रायः 273)
सेल्सियस	फ़ारेनहाइट	°F = (9/5) °C + 32
शरीर का ताप	-	37 °C = 98.6 °F ≈ 310 K
जल का क्वथन / हिमांक (1 atm)	-	100 °C = 212 °F = 373 K / 0 °C = 32 °F = 273 K
°C और °F पर समान पाठ्यांक	-	−40 °C = −40 °F
1 N	डाइन	10^5 डाइन
1 J	अर्ग	10^7 अर्ग
1 kWh	J	3.6×10^6 J
1 hp	W	≈ 746 W
1 cal	J	≈ 4.186 J
1 atm	Pa / mm Hg	1.013×10^5 Pa / 760 mm Hg
1 T	गॉस	10^4 G
1 इंच / 1 फुट	cm	2.54 cm / 30.48 cm
1 मील / 1 समुद्री मील	km	1.609 km / 1.852 km
1 rad	डिग्री	≈ 57.3°



पैमाने पर बनी चाल की रेखा: km/h का हर निशान ठीक अपने m/s मान के ऊपर है। हर 18 km/h = 5 m/s, इसलिए 72 km/h = 20 m/s और 144 km/h की गेंद 40 m/s है।

याद रखें: चाल की तरकीब: '18 km/h = 5 m/s'। 144 km/h से गेंद फेंकने वाला क्रिकेट गेंदबाज़ 40 m/s से गेंद फेंक रहा है। और −40 वह अकेला ताप है जहाँ सेल्सियस और फ़ारेनहाइट 'हाथ मिलाते' हैं।

☑ झटपट जाँच

1. 72 km/h कितने m/s है?
2. किस ताप पर सेल्सियस और फ़ारेनहाइट एक ही पाठ्यांक देते हैं?
3. शरीर का ताप 37 °C लगभग कितने केल्विन है?

उत्तर: 1. 20 m/s (× 5/18) · 2. −40 · 3. ≈ 310 K

संक्षेप में विमाएँ

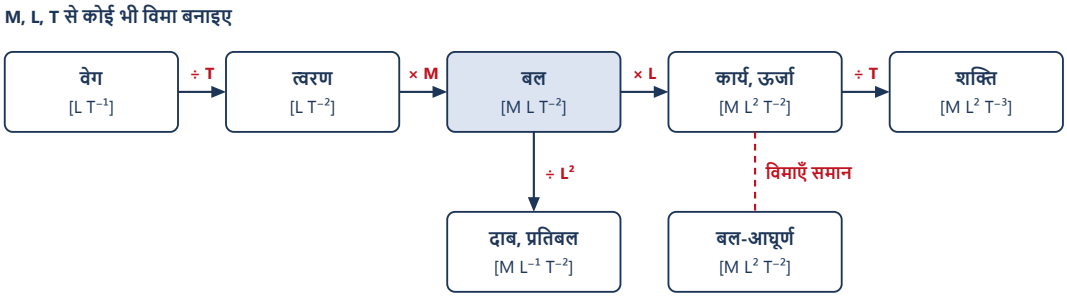
[M L T]

बल [M L T⁻²]

कार्य और बल-आघूर्ण समान

समांगता

किसी राशि को द्रव्यमान [M], लंबाई [L] और समय [T] की घातों में लिखने से पता चलता है कि वह वास्तव में किससे बनी है। सही समीकरण के दोनों पक्षों की विमाएँ (Dimensions) समान होनी चाहिए (समांगता का सिद्धांत), जिससे हम सूत्रों की जाँच और मात्रकों का रूपांतरण जल्दी कर सकते हैं।



हर चरण में एक मूल विमा से गुणा या भाग होता है। कार्य और बल-आघूर्ण की विमाएँ समान [M L² T⁻²] हैं, यद्यपि कार्य अदिश है और बल-आघूर्ण सदिश।

विमीय सूत्र ★★

राशि	विमाएँ	SI मात्रक
वेग	[L T⁻¹]	m/s
त्वरण	[L T⁻²]	m/s²
बल	[M L T⁻²]	N
संवेग, आवेग	[M L T⁻¹]	N s
कार्य, ऊर्जा, बल-आघूर्ण	[M L² T⁻²]	J (बल-आघूर्ण: N m)
शक्ति	[M L² T⁻³]	W
दाब, प्रतिबल, यंग प्रत्यास्थता गुणांक	[M L⁻¹ T⁻²]	Pa
पृष्ठ तनाव, कमानी नियतांक	[M T⁻²]	N/m
आवृत्ति, कोणीय वेग	[T⁻¹]	Hz, rad/s
प्लांक नियतांक, कोणीय संवेग	[M L² T⁻¹]	J s
गुरुत्वाकर्षण नियतांक G	[M⁻¹ L³ T⁻²]	N m² kg⁻²
विकृति, अपवर्तनांक, कोण	[M⁰ L⁰ T⁰]	कोई नहीं

★★ **समान विमाएँ, अलग राशियाँ**: कार्य और बल-आघूर्ण; दाब और प्रतिबल (और प्रति आयतन ऊर्जा); आवेग और संवेग; प्लांक नियतांक और कोणीय संवेग; प्रकाश-वर्ष और तरंगदैर्ध्य (दोनों लंबाई)।

★ **विमीय विश्लेषण की सीमाएँ**: यह शुद्ध संख्या वाले नियतांक (½mv² का ½) नहीं दे सकता और sine, log या घातांकी फलन वाले सूत्रों पर काम नहीं करता।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** 'समान विमाओं वाली राशियाँ एक ही भौतिक राशि होनी चाहिए' गलत है: कार्य (अदिश) और बल-आघूर्ण (सदिश) दोनों की विमा $[M\,L^2\,T^{-2}]$ है।

☑ झटपट जाँच

1. बल का विमीय सूत्र?
2. कौन-सी दो अलग राशियों की विमाएँ $[M\,L^2\,T^{-2}]$ हैं?
3. विमाएँ $\frac{1}{2}mv^2$ का $\frac{1}{2}$ क्यों नहीं दे सकतीं?

उत्तर: 1. $[M\,L\,T^{-2}]$ · 2. कार्य (ऊर्जा) और बल-आघूर्ण · 3. शुद्ध संख्याओं की कोई विमा नहीं होती

मापन: अल्पतमांक, वर्नियर, स्क्रू गेज, त्रुटियाँ

अल्पतमांक

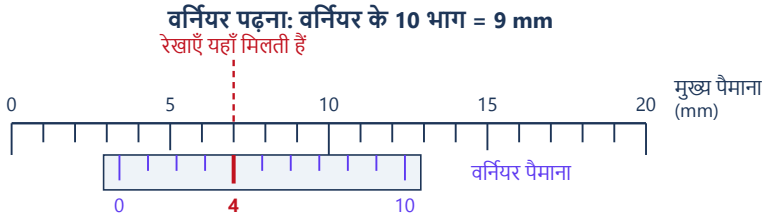
वर्नियर 0.1 mm

स्क्रू गेज 0.01 mm

यथार्थता बनाम परिशुद्धता

क्रमबद्ध बनाम यादृच्छिक

कोई भी यंत्र अपने सबसे छोटे विभाजन से बारीक नहीं पढ़ सकता। वह सबसे छोटा पाठ्यांक उसका **अल्पतमांक (Least count)** है; अल्पतमांक जितना छोटा, यंत्र उतना परिशुद्ध। वर्नियर और स्क्रू गेज दोनों एक चतुर दूसरे पैमाने से मुख्य विभाजन का अंश पढ़ते हैं।



वर्नियर की वह रेखा खोजें जो मुख्य पैमाने की किसी रेखा से मिलती है; उसकी संख्या × 0.1 mm को मुख्य पाठ्यांक में जोड़ें।

सामान्य यंत्रों का अल्पतमांक ★★

यंत्र	अल्पतमांक	सामान्य उपयोग
मीटर पैमाना	1 mm	cm और m में लंबाइयाँ
वर्नियर कैलिपर्स	0.1 mm (0.01 cm)	नली का भीतरी और बाहरी व्यास, गहराई
स्क्रू गेज (माइक्रोमीटर)	0.01 mm (0.001 cm)	तार या चादर की मोटाई
गोलाईमापी (स्फेरोमीटर)	0.01 mm	लेंस या गोलीय सतह की वक्रता (त्रिज्या)
डॉक्टरी थर्मामीटर	0.1 °C	शरीर का ताप, 35–42 °C
डिजिटल स्टॉपवॉच	0.01 s	छोटे समय अंतराल

★★ **वर्नियर कैलिपर्स (Vernier callipers)**: अल्पतमांक = मुख्य पैमाने का 1 भाग − वर्नियर का 1 भाग = 1 mm − 0.9 mm = **0.1 mm**। पियरे वर्नियर (Pierre Vernier) (1631) के नाम पर।

★★ **स्क्रू गेज (Screw gauge)**: अल्पतमांक = चूड़ी अंतराल (पिच) ÷ वृत्तीय पैमाने के भागों की संख्या, जैसे 0.5 mm ÷ 50 = **0.01 mm**; वर्नियर से दस गुना बारीक।

★★ **यथार्थता (Accuracy)** = पाठ्यांक वास्तविक मान के कितना निकट है; **परिशुद्धता (Precision)** = बार-बार लिए गए पाठ्यांक एक-दूसरे के कितने निकट हैं (और अल्पतमांक कितना बारीक है)।

★ **क्रमबद्ध त्रुटि (Systematic error)** (हर बार एक ही दिशा में, जैसे शून्य त्रुटि, गलत अंशांकन) हर पाठ्यांक में उसका सुधार करके हटाई जाती है; **यादृच्छिक त्रुटि (Random error)** (अनिश्चित बिखराव) कई पाठ्यांकों का औसत लेकर घटाई जाती है।

★ **लंबन त्रुटि (Parallax error)**: पैमाने को तिरछे कोण से पढ़ना; आँख को निशान के ठीक ऊपर सीधा रखकर इससे बचें।

★ **सार्थक अंक (Significant figures)**: विश्वसनीय अंक और पहला संदिग्ध अंक; 2.50 m, 2.5 m से अधिक परिशुद्धता का दावा करता है।

याद रखें: डार्टबोर्ड की तस्वीर: डार्ट पास-पास गुच्छे में पर केंद्र से दूर = परिशुद्ध, यथार्थ नहीं। डार्ट केंद्र के चारों ओर बराबर बिखरे = औसत में यथार्थ, परिशुद्ध नहीं। केंद्र पर गुच्छा = दोनों।

झटपट जाँच

1. वर्नियर कैलिपर्स और स्क्रू गेज का अल्पतमांक?
2. डार्ट पास-पास गुच्छे में पर केंद्र से दूर: यथार्थ या परिशुद्ध?
3. कई पाठ्यांकों का औसत लेने से कौन-सी त्रुटि घटती है?

उत्तर: 1. 0.1 mm; 0.01 mm · 2. परिशुद्ध, यथार्थ नहीं · 3. यादृच्छिक त्रुटि

मापक यंत्र: कौन क्या मापता है

-मीटर, -स्कोप, -ग्राफ

हाइग्रोमीटर बनाम हाइड्रोमीटर

लैक्टोमीटर: दूध

ओडोमीटर बनाम स्पीडोमीटर

ऐमीटर: श्रेणी में

डायनेमो बनाम डायनेमोमीटर

अधिकांश यंत्रों के नाम यूनानी या लैटिन मूल शब्द और '-meter' (मापना), '-scope' (देखना) या '-graph' (लिखना/रिकॉर्ड करना) से बने हैं। लगभग बीस मूल शब्द सीख लें तो परीक्षक का लगभग हर विकल्प समझ में आ जाएगा।

मूल शब्द से नाम पहचानें ★★

मूल शब्द	अर्थ	यंत्र
hygro-	नमी	हाइग्रोमीटर (Hygrometer): आर्द्रता
hydro-	जल	हाइड्रोमीटर (Hydrometer): द्रवों का घनत्व
lacto-	दूध	लैक्टोमीटर (Lactometer): दूध की शुद्धता
pyro-	अग्नि	पायरोमीटर (Pyrometer): बहुत ऊँचा ताप
baro-	भार, दाब	बैरोमीटर (Barometer): वायुदाब
mano-	पतला (गैस)	मैनोमीटर (Manometer): गैस का दाब
anemo-	पवन	एनीमोमीटर (Anemometer): पवन की चाल
alti-	ऊँचाई	ऑल्टीमीटर (Altimeter): तुंगता
audio-	सुनना	ऑडियोमीटर (Audiometer): श्रवण / ध्वनि स्तर
chrono-	समय	क्रोनोमीटर (Chronometer): समुद्र में सटीक समय
tacho-	चाल	टैकोमीटर (Tachometer): घूर्णन चाल (rpm)
odo-	सड़क, मार्ग	ओडोमीटर (Odometer): तय की गई दूरी
seismo-	कंपन	सिस्मोग्राफ (Seismograph): भूकंपीय तरंगें
sphygmo-	नाड़ी	स्फिग्मोमैनोमीटर (Sphygmomanometer): रक्तचाप
cresco-	मैं बढ़ता हूँ (लैटिन)	क्रेस्कोग्राफ (Crescograph): पौधों की वृद्धि
sacchari-	शर्करा	सैकरीमीटर (Saccharimeter): विलयन में शर्करा
onde (फ्रेंच)	तरंग	ओंडोमीटर (Ondometer): रेडियो तरंगों की आवृत्ति
tele-	दूर	टेलीमीटर (Telemeter): दूर से मापन
dynamo-	शक्ति, बल	डायनेमोमीटर (Dynamometer): बल, बल-आघूर्ण, इंजन की शक्ति

मौसम, पृथ्वी, समुद्र और नौवहन ★★★

यंत्र	क्या मापता / करता है	याद रखें
बैरोमीटर	वायुमंडलीय दाब	टॉरिसेली (Torricelli), 1643; अचानक गिरावट = तूफ़ान आने वाला, धीमी बढ़त = साफ़ मौसम
बैरोग्राफ (Barograph)	वायुदाब का निरंतर रिकॉर्ड	रिकॉर्ड करने वाला बैरोमीटर
ऑल्टीमीटर	विमान की ऊँचाई (तुंगता)	निर्द्रव (एनरॉयड) बैरोमीटर की तरह काम करता है: ऊँचाई के साथ दाब घटता है
एनीमोमीटर	पवन की चाल	घूमते कप; दिशा पवन-दिक्सूचक (wind vane) बताता है
हाइग्रोमीटर	वायु की आर्द्रता	गीले-और-सूखे बल्ब वाला प्रकार साइक्रोमीटर (psychrometer) है
हाइग्रोस्कोप (Hygroscope)	आर्द्रता में परिवर्तन दिखाता है	केवल संकेत देता है, मापता नहीं
वर्षामापी (उडोमीटर, Udometer)	वर्षा	वर्षा के mm
पायरहेलियोमीटर (Pyrheliometer)	सीधे सौर विकिरण की तीव्रता	भट्ठी का थर्मामीटर नहीं
सिस्मोग्राफ	भूकंपीय तरंगें रिकॉर्ड करता है	रिक्टर पैमाना = परिमाण (magnitude); मरकैली पैमाना = तीव्रता (क्षति)
फैदोमीटर (Fathometer) (प्रतिध्वनि सौंडर)	समुद्र की गहराई	ध्वनि स्पंद की प्रतिध्वनि का समय मापता है (SONAR का विचार)
हिप्सोमीटर (Hypsometer)	समुद्र तल से ऊँचाई	जल के क्वथनांक से
ग्रैविमीटर (Gravimeter)	g में छोटे परिवर्तन	तेल और खनिज की खोज
सेक्सटैंट (Sextant)	क्षितिज से सूर्य या तारे का कोण	समुद्र में अक्षांश ज्ञात करना; दूर की वस्तुओं की ऊँचाई
क्रोनोमीटर	बहुत सटीक समय, विशेषकर जहाज़ों पर	जॉन हैरिसन (John Harrison); सटीक समय से देशांतर मिलता है
कम्पास / जाइरोकम्पास	दिशा	चुंबकीय सुई / घूमता जाइरोस्कोप

द्रव, दाब और पदार्थ ★★★

यंत्र	क्या मापता / करता है	याद रखें
हाइड्रोमीटर	द्रवों का घनत्व (आपेक्षिक घनत्व)	हल्के द्रव में अधिक गहराई तक डूबता है
लैक्टोमीटर	दूध की शुद्धता (उसका घनत्व)	एक विशेष हाइड्रोमीटर; पानी मिलाने से दूध का घनत्व घटता है
मैनोमीटर	गैसों का दाब (पाइप या पात्र में)	द्रव वाली U-नली
सैकरीमीटर	विलयन में शर्करा की सांद्रता	ध्रुवित प्रकाश के घूर्णन का उपयोग
सैलिनोमीटर (Salinometer)	जल की लवणता (नमक की मात्रा)	समुद्री जल, बॉयलर का पानी
विस्कोमीटर (Viscometer)	द्रवों की श्यानता	इंजन ऑयल, पेंट
रिफ्रैक्टोमीटर (Refractometer)	अपवर्तनांक	फलों के रस में शर्करा, रत्न
स्फेरोमीटर (Spherometer)	गोलीय सतहों की वक्रता	लेंस, दर्पण
वेंचुरीमीटर (Venturimeter)	पाइप में द्रव के प्रवाह की दर	बर्नूली का सिद्धांत
पिटो नली (Pitot tube)	तरल प्रवाह की चाल; विमान की वायु-चाल	बर्नूली का सिद्धांत

ऊष्मा, प्रकाश और विकिरण ★★

यंत्र	क्या मापता / करता है	याद रखें
थर्मामीटर (तापमापी)	ताप	पारा, ऐल्कोहॉल, डिजिटल
पायरोमीटर	बहुत ऊँचा ताप (भट्ठियाँ, पिघली धातु)	दूर से ऊष्मा विकिरण पढ़ता है
क्रायोमीटर (Cryometer)	बहुत निम्न ताप	cryo = ठंडा
बोलोमीटर (Bolometer)	ऊष्मा (अवरक्त) विकिरण	प्रतिरोध में सूक्ष्म परिवर्तन
कैलोरीमीटर (Calorimeter)	ऊष्मा की मात्रा	विशिष्ट ऊष्मा और गुप्त ऊष्मा के प्रयोग
थर्मोस्टेट (Thermostat)	ताप को स्थिर रखता है	फ्रिज, इस्त्री, गीज़र; नियंत्रित करता है, मापता नहीं
फोटोमीटर (Photometer)	प्रकाश स्रोत की ज्योति तीव्रता	दो लैंपों की तुलना करता है
लक्स मीटर	प्रदीप्ति (सतह पर पड़ने वाला प्रकाश)	लक्स में पढ़ता है
रेडियोमीटर (Radiometer)	विकिरण ऊर्जा की तीव्रता	क्रुक्स रेडियोमीटर प्रकाश में घूमता है
स्पेक्ट्रोस्कोप / स्पेक्ट्रोमीटर	स्पेक्ट्रम: प्रकाश को तरंगदैर्ध्यों में बाँटता है	तारों में तत्वों की पहचान करता है
ओंडोमीटर (तरंगमापी)	विद्युतचुंबकीय (रेडियो) तरंगों की आवृत्ति	onde = तरंग
गाइगर काउंटर (गाइगर–मुलर काउंटर, Geiger–Müller counter)	आयनकारी विकिरण (α, β, γ) का संसूचन और गिनती	हर कण पर क्लिक करता है
डोसीमीटर (Dosimeter)	किसी व्यक्ति को मिली विकिरण मात्रा	एक्स-रे और नाभिकीय कर्मचारी पहनते हैं

विद्युत और चुंबकत्व ★★★

यंत्र	क्या मापता / करता है	याद रखें
ऐमीटर (Ammeter)	विद्युत धारा	कम प्रतिरोध; श्रेणी क्रम में जोड़ा जाता है
वोल्टमीटर (Voltmeter)	विभवांतर (वोल्टता)	उच्च प्रतिरोध; समांतर क्रम में जोड़ा जाता है
गैल्वेनोमीटर (Galvanometer)	बहुत छोटी धाराओं का संसूचन और मापन	शंट लगाने पर ऐमीटर, श्रेणी प्रतिरोध लगाने पर वोल्टमीटर बनता है
पोटेंशियोमीटर (Potentiometer)	emf और विभवांतर बहुत सटीकता से; emf की तुलना	संतुलन पर धारा नहीं लेता, इसलिए वोल्टमीटर से अधिक सटीक
ओममीटर / मेगर	प्रतिरोध / बहुत उच्च (विद्युतरोधी) प्रतिरोध	-
मल्टीमीटर (AVO मीटर)	धारा, वोल्टता और प्रतिरोध	A-V-O = ऐम्पियर, वोल्ट, ओम
वाटमीटर	विद्युत शक्ति	वाट
ऊर्जा मीटर	खर्च हुई विद्युत ऊर्जा	आपके बिल पर kWh ('यूनिट')
इलेक्ट्रोस्कोप (Electroscope)	विद्युत आवेश का संसूचन	स्वर्ण-पत्र विद्युतदर्शी
इलेक्ट्रोमीटर (Electrometer)	आवेश या विभवांतर	-
ऑसिलोस्कोप (CRO)	संकेत का तरंगरूप दिखाता है	कैथोड-किरण ऑसिलोस्कोप
डायनेमो	यांत्रिक ऊर्जा को विद्युत ऊर्जा में बदलता है	एक जनित्र, मापक यंत्र नहीं
डायनेमोमीटर	इंजन का बल, बल-आघूर्ण या शक्ति	एक मापक यंत्र

वाहन, मशीनें और दूरी ★★★

यंत्र	क्या मापता / करता है	याद रखें
ओडोमीटर	वाहन द्वारा तय की गई कुल दूरी	डैशबोर्ड पर 'km रीडिंग'
स्पीडोमीटर (Speedometer)	वाहन की तात्क्षणिक चाल	सुई
टैकोमीटर	इंजन या शाफ़्ट की घूर्णन चाल (rpm)	चक्कर गिनने वाला
टेलीमीटर	दूर के स्थान के पाठ्यांक रिकॉर्ड कर भेजता है; सर्वेक्षण में दूरी-मापक	उपग्रह टेलीमेट्री भेजते हैं
स्ट्रोबोस्कोप (Stroboscope)	तेज़ी से घूमती या कंपन करती वस्तुओं को स्थिर दिखाता है	उनकी चाल मापता है
पेडोमीटर (Pedometer)	चले गए कदम	फ़िटनेस बैंड
जाइरोस्कोप (Gyroscope)	दिशा बनाए रखता है / घूर्णन मापता है	विमान, जहाज़, फ़ोन

चिकित्सा और जीवविज्ञान ★★★

यंत्र	क्या मापता / करता है	याद रखें
स्फिग्मोमैनोमीटर	रक्तचाप	सामान्य लगभग 120/80 mm Hg
स्टेथोस्कोप (Stethoscope)	हृदय और फेफड़ों की ध्वनियाँ सुनता है	रेने लैनेक (René Laennec), 1816
कार्डियोग्राफ (इलेक्ट्रोकार्डियोग्राफ, ECG)	हृदय की विद्युत गतिविधि रिकॉर्ड करता है	ECG = इलेक्ट्रोकार्डियोग्राम (ग्राफ़)
ऑडियोमीटर	सुनने की क्षमता; ध्वनि तीव्रता	श्रवण परीक्षण
ऑडियोफोन (Audiophone)	श्रवण यंत्र	सुनने में मदद करता है, मापता नहीं
क्रेस्कोग्राफ	पौधों की वृद्धि	जे.सी. बोस (J.C. Bose) का आविष्कार
काइमोग्राफ (Kymograph)	मांसपेशी की गति, नाड़ी, रक्तचाप का ग्राफ़ीय रिकॉर्ड	शरीर-क्रिया विज्ञान प्रयोगशालाएँ
एंडोस्कोप (Endoscope)	शरीर के भीतर देखता है	प्रकाशिक तंतुओं का उपयोग (पूर्ण आंतरिक परावर्तन)
पल्स ऑक्सीमीटर	रक्त की ऑक्सीजन संतृप्ति	उँगली पर लगाया जाता है
पॉलीग्राफ (Polygraph)	नाड़ी, श्वसन, रक्तचाप एक साथ	'झूठ पकड़ने वाली मशीन'

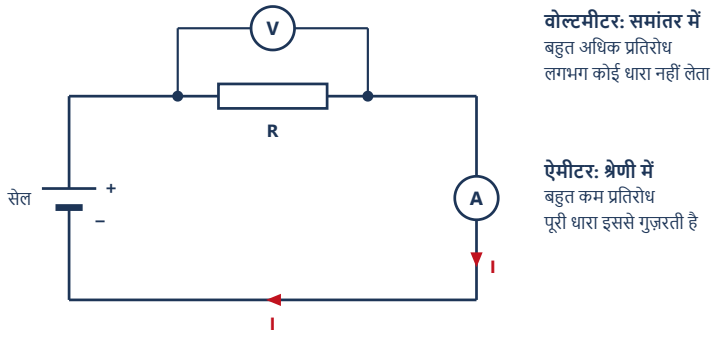
★★★ **ओडोमीटर बनाम स्पीडोमीटर**: ओडोमीटर = तय की गई दूरी (km); स्पीडोमीटर = इस समय की चाल (km/h)। **क्रोनोमीटर** सटीक समय रखता है; **ऐमीटर** धारा मापता है।

★★★ **हाइग्रोमीटर बनाम हाइड्रोमीटर**: hygro = वायु में नमी (आर्द्रता); hydro = जल, अर्थात द्रवों का घनत्व। **लैक्टोमीटर** दूध के लिए हाइड्रोमीटर है।

★★ **ऐमीटर श्रेणी में, वोल्टमीटर समांतर में**: ऐमीटर को पूरी धारा ले जानी होती है, इसलिए उसका प्रतिरोध बहुत कम होता है; वोल्टमीटर को धारा नहीं लेनी चाहिए, इसलिए उसका प्रतिरोध बहुत अधिक होता है।

★★ **बैरोमीटर बनाम मैनोमीटर**: बैरोमीटर = वायुमंडल का दाब; मैनोमीटर = बंद पात्र या पाइप में गैस का दाब।

★★ **पायरोमीटर बनाम पायरहेलियोमीटर**: पायरोमीटर = भट्ठी का ताप; पायरहेलियोमीटर = सूर्य के प्रकाश की तीव्रता।



ऐमीटर परिपथ के लूप में ही (श्रेणी में) लगता है, इसलिए पूरी धारा इससे गुज़रती है; वोल्टमीटर प्रतिरोध R के सिरों पर (समांतर में) जुड़ता है और लगभग कोई धारा नहीं लेता। धारा I सेल के + सिरे से बाहर निकलती है।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** मिलते-जुलते जोड़े: हाइग्रोमीटर (आर्द्रता) / हाइड्रोमीटर (द्रव का घनत्व) / हाइग्रोस्कोप (केवल आर्द्रता में परिवर्तन दिखाता है); डायनेमो (बिजली बनाता है) / डायनेमोमीटर (बल या शक्ति मापता है); ऑल्टीमीटर (ऊँचाई) / ऑडियोमीटर (श्रवण); ओडोमीटर (दूरी) / स्पीडोमीटर (चाल) / टैकोमीटर (rpm); थर्मोस्टेट (नियंत्रित करता है) / थर्मामीटर (मापता है); सिस्मोग्राफ (यंत्र) / रिक्टर पैमाना (एक पैमाना, यंत्र नहीं)।

👁 **आसपास देखें:** आपके स्कूटर का डैशबोर्ड: सुई स्पीडोमीटर है, चलता हुआ km योग ओडोमीटर है, और 'rpm' डायल वाली बाइक में टैकोमीटर होता है। दूधवाले का लैक्टोमीटर शुद्ध दूध में ऊपर तैरता है और पानी मिलाने पर अधिक गहराई तक डूबता है।

झटपट जाँच

1. हाइग्रोमीटर या हाइड्रोमीटर: आर्द्रता कौन मापता है?
2. ऐमीटर श्रेणी में और वोल्टमीटर समांतर में क्यों जोड़ा जाता है?
3. क्रेस्कोग्राफ क्या मापता है, और इसका आविष्कार किसने किया?

उत्तर: 1. हाइग्रोमीटर (हाइड्रोमीटर: द्रवों का घनत्व) · 2. ऐमीटर से पूरी धारा गुज़रनी चाहिए (कम R); वोल्टमीटर लगभग कोई धारा न ले (अधिक R) · 3. पौधों की वृद्धि; जे.सी. बोस

भारत के राष्ट्रीय मानक और भारतीय मानक समय

CSIR-NPL

परमाणु घड़ियाँ

UTC + 5:30

82.5° E, मिर्ज़ापुर

IST नियम 2026

हर देश को अपने किलोग्राम, मीटर और सेकंड का एक भरोसेमंद रखवाला चाहिए, ताकि पटना (Patna) का तराज़ू और चेन्नई (Chennai) का मीटर एक जैसा मापें। भारत में यह रखवाला **CSIR-राष्ट्रीय भौतिक प्रयोगशाला (National Physical Laboratory, NPL), नई दिल्ली** है, जो देश का **राष्ट्रीय माप-विज्ञान संस्थान (National Metrology Institute)** है और 1947 में स्थापित हुआ। इसके मानक BIPM से जुड़े (अनुरेखणीय) हैं, इसलिए भारतीय माप पूरी दुनिया में मान्य होते हैं।

★★★ **CSIR-NPL, नई दिल्ली** SI मात्रकों (द्रव्यमान, लंबाई, समय, ताप, धारा, प्रकाश आदि) के भारत के राष्ट्रीय मानकों को साकार करती और बनाए रखती है तथा उनसे यंत्रों का अंशांकन करती है।

★★★ **CSIR-NPL भारतीय मानक समय (Indian Standard Time, IST)** को **परमाणु घड़ियों (सीज़ियम मानकों)** के एक समूह से रखती है, जो BIPM के माध्यम से विश्व समय (UTC) से जुड़ा है।

★★★ **IST = UTC + 5 घंटे 30 मिनट**, जो **82.5° E (82°30′ E) देशांतर रेखा** पर आधारित है; यह रेखा **मिर्ज़ापुर (Mirzapur) (उत्तर प्रदेश)** के पास से गुज़रती है; भारत एक ही समय क्षेत्र प्रयोग करता है।

★★★ **82.5° E** देशांतर रेखा **पाँच राज्यों** से गुज़रती है: **उत्तर प्रदेश, मध्य प्रदेश, छत्तीसगढ़, ओडिशा और आंध्र प्रदेश** (उत्तर से दक्षिण)। ट्रिक: 'U-M-C-O-A'।

★★ **विधिक माप-विज्ञान (भारतीय मानक समय) नियम, 2026 (Legal Metrology (Indian Standard Time) Rules)**: विधिक माप-विज्ञान अधिनियम, 2009 के अंतर्गत उपभोक्ता मामले विभाग द्वारा **अगस्त 2026** में अधिसूचित; ये **IST को** विधिक, प्रशासनिक, वाणिज्यिक और आधिकारिक उपयोग (दूरसंचार, बैंकिंग और भुगतान, बिजली ग्रिड, परिवहन) के लिए **एकमात्र अनिवार्य समय संदर्भ** बनाते हैं; ये राजपत्र में प्रकाशन के 180 दिन बाद लागू होते हैं।

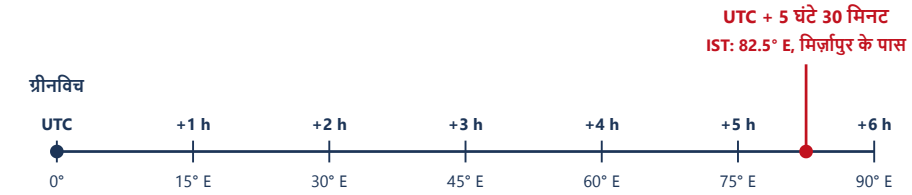
★★ **'एक राष्ट्र, एक समय' (One Nation, One Time)**: IST, CSIR-NPL से पाँच **क्षेत्रीय संदर्भ मानक प्रयोगशालाओं** (अहमदाबाद, बेंगलुरु, भुवनेश्वर, फ़रीदाबाद, गुवाहाटी), इंटरनेट टाइम सर्वरों और **नाविक (NavIC)** उपग्रहों के ज़रिए भेजा जाता है, जिससे विदेशी GPS समय पर निर्भरता घटती है।

★ **राष्ट्रीय प्रोटोटाइप किलोग्राम संख्या 57** (प्लैटिनम-इरिडियम की एक प्रति) CSIR-NPL में रखा है; 2019 से किलोग्राम स्वयं प्लांक नियतांक से परिभाषित है।

★ **भारतीय निर्देशक द्रव्य (BND)**: CSIR-NPL द्वारा परीक्षण प्रयोगशालाओं के लिए जारी भारतीय प्रमाणित संदर्भ पदार्थ (जैसे धातुओं, सीमेंट, प्रदूषण जाँच के लिए)।

★ **मीट्रिक भारत**: भारत 1957 में मीटर कन्वेंशन में शामिल हुआ; बाट और माप मानक अधिनियम, 1956 ने 1958 से मीट्रिक मात्रक प्रयोग में लाए।

★ **विधिक माप-विज्ञान (Legal Metrology)** (व्यापार में प्रयुक्त बाट और माप, पेट्रोल पंप, दुकान के तराज़ू) का प्रशासन उपभोक्ता मामले विभाग और राज्यों के विधिक माप-विज्ञान विभाग करते हैं; **BIS** उत्पाद मानक तय करता है (ISI चिह्न, हॉलमार्किंग)।



पृथ्वी 24 घंटे में 360° घूमती है: 15° = 1 घंटा, 1° = 4 मिनट; 82.5 × 4 = 330 मिनट = 5 घंटे 30 मिनट

IST क्यों UTC + 5:30 है: पृथ्वी हर घंटे 15° घूमती है, इसलिए मिर्ज़ापुर के पास की 82.5° E देशांतर रेखा ग्रीनविच से 82.5 × 4 = 330 मिनट, यानी 5 घंटे 30 मिनट आगे है। दूरियाँ पैमाने पर।

याद रखें: NPL = 'Nation's Precise Lab' (राष्ट्र की सटीक प्रयोगशाला): यह भारत का किलोग्राम, उसका सेकंड और उसकी घड़ी रखती है। IST को 'मिर्ज़ापुर का समय' मानिए, जो ग्रीनविच से 5½ घंटे आगे है।

परीक्षा में सावधान: IST को CSIR-NPL रखती है, न कि इसरो (ISRO), IMD या BIS। इसरो का नाविक समय संकेत फैलाने में मदद करता है; IMD मौसम का पूर्वानुमान करता है; BIS उत्पाद मानक तय करता है। साथ ही, IST = UTC + 5:30 है, + 5:00 नहीं।

झटपट जाँच

1. भारतीय मानक समय कौन-सी संस्था रखती है?
2. IST, UTC से कितना आगे है, और किस देशांतर रेखा पर आधारित है?
3. कौन-सी भारतीय उपग्रह प्रणाली IST को देश भर में भेजने में मदद करती है?

उत्तर: 1. CSIR-राष्ट्रीय भौतिक प्रयोगशाला (NPL), नई दिल्ली · 2. 5 घंटे 30 मिनट; 82.5° E, मिर्ज़ापुर के पास · 3. नाविक (NavIC)

पिछले वर्षों में पूछे गए प्रश्न (16)

BPSC 64th ऐंग्स्ट्रम इकाई है
(a) तरंगदैर्घ्य की (b) ऊर्जा की (c) आवृत्ति की (d) वेग की (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (a) तरंगदैर्घ्य की. एक ऐंग्स्ट्रम (Å) 10^{-10} m है, जो तरंगदैर्घ्य और परमाणु आकार के लिए प्रयुक्त होता है

BPSC 64th आवृत्ति को नापा जाता है
(a) हर्ट्ज में (b) मीटर प्रति सेकंड में (c) रेडियन में (d) वॉट में (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (a) हर्ट्ज में. आवृत्ति का SI मात्रक हर्ट्ज (एक चक्र प्रति सेकंड) है

BPSC 64th विद्युत्-शक्ति की इकाई है
(a) ऐम्पीयर (b) वोल्ट (c) कूलॉम्ब (d) वॉट (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (d) वॉट. शक्ति, विद्युत-शक्ति सहित, का SI मात्रक वॉट (जूल प्रति सेकंड) है

BPSC 64th आर्द्रता किस उपकरण से नापी जाती है?
(a) हाइड्रोमीटर (b) हाइग्रोमीटर (c) पायरोमीटर (d) लैक्टोमीटर (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (b) हाइग्रोमीटर. हाइग्रोमीटर आर्द्रता और हाइड्रोमीटर द्रव का घनत्व मापता है

BPSC 65th दाब का मात्रक है
(a) कि॰ ग्रा॰/वर्ग से॰ मी॰ (b) कि॰ ग्रा॰/से॰ मी॰ (c) कि॰ ग्रा॰/मि॰ मी॰ (d) कि॰ ग्रा॰/घन से॰ मी॰
(e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक. दाब प्रति इकाई क्षेत्रफल पर बल है; इसका SI मात्रक पास्कल (N/m^2) है; kg/cm^2 द्रव्यमान प्रति क्षेत्रफल है; दाब का मात्रक kgf/cm^2 है

BPSC 65th निम्नलिखित में से कौन-सी अदिश राशि है?
(a) बल (b) दाब (c) वेग (d) त्वरण (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (b) दाब. दाब अदिश राशि है; बल, वेग और त्वरण सदिश राशियाँ हैं

BPSC 65th निम्नलिखित में से किस राशि का मात्रक नहीं है?
(a) प्रतिबल (b) बल (c) विकृति (d) दाब (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (c) विकृति. विकृति आकार में परिवर्तन और मूल आकार का अनुपात है, इसलिए इसका मात्रक नहीं होता; प्रतिबल और दाब दोनों प्रति क्षेत्रफल बल हैं, जिन्हें पास्कल में मापते हैं

BPSC 65th हर्ट्ज में क्या नापा जाता है?
(a) आवृत्ति (b) ऊर्जा (c) ऊष्मा (d) गुणवत्ता (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (a) आवृत्ति. हर्ट्ज़ आवृत्ति का SI मात्रक है, यानी एक चक्र प्रति सेकंड

BPSC 66th 'प्रकाश-वर्ष' किसकी इकाई है?
(a) समय (b) गति (c) दूरी (d) प्रकाश की तीव्रता (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (c) दूरी. प्रकाश-वर्ष दूरी का मात्रक है: प्रकाश द्वारा एक वर्ष में तय की गई दूरी

UPSC 2021 खगोलीय दूरियाँ प्रकाश-वर्ष में मापे जाने का कारण निम्नलिखित में से कौन-सा है?
(a) तारकीय पिंडों के बीच की दूरियाँ परिवर्तित नहीं होती हैं। (b) तारकीय पिंडों का गुरुत्व परिवर्तित नहीं होता है।
(c) प्रकाश सदैव सीधी रेखा में यात्रा करता है। (d) प्रकाश की गति (स्पीड) सदैव एकसमान होती है।
उत्तर: (d) प्रकाश की गति (स्पीड) सदैव एकसमान होती है।. प्रकाश-वर्ष वह दूरी है जो प्रकाश निर्वात में एक वर्ष में तय करता है, लगभग 9.46×10^{12} किमी; निर्वात में प्रकाश की चाल एक सार्वत्रिक नियतांक है, लगभग 3×10^8 मी/से

BPSC 67th re-exam निम्न में से कौन-सी 'सदिश राशि' नहीं है?
(a) विस्थापन (b) गति (c) वेग (d) बलआघूर्ण (टॉर्क) (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (b) गति. चाल अदिश राशि है; विस्थापन, वेग और बलाघूर्ण सदिश राशियाँ हैं

BPSC 69th धारा घनत्व होता है
(a) एक अदिश राशि (b) एक सदिश राशि (c) विमाविहीन (d) उपर्युक्त में से कोई नहीं
उत्तर: (b) एक सदिश राशि. धारा घनत्व सदिश राशि है, पर विद्युत धारा अदिश राशि है

BPSC 70th किस मीटर का उपयोग वाहन द्वारा तय की गई दूरी को मापने के लिए किया जाता है । _____ के रूप में जाना जाता है ।
(a) स्पीडोमीटर (b) एमीटर (c) ओडो मीटर (d) क्रोनोमीटर
उत्तर: (c) ओडो मीटर. ओडोमीटर तय की गई दूरी दर्ज करता है; स्पीडोमीटर तात्कालिक चाल दिखाता है; क्रोनोमीटर एक सटीक समयमापी है; ऐमीटर विद्युत धारा मापता है

BPSC 70th निम्नलिखित में से कौन टेस्ला के समतुल्य है ?
(a) न्यूटन पर कुलम्ब (b) एम्पीयर पर न्यूटन (c) न्यूटन पर एम्पीयर मीटर (d) न्यूटन पर एम्पीयर–सैकण्ड
उत्तर: (c) न्यूटन पर एम्पीयर मीटर. $F = BIL$ से, 1 टेस्ला = 1 न्यूटन प्रति एम्पीयर-मीटर ($N\,A^{-1}\,m^{-1}$)

BPSC 70th re-exam चुम्बकीय बल के मापन की ईकाई क्या है ?
(a) ओह्म (b) टेस्ला (c) एम्पियर (d) कोबाल्ट
उत्तर: (b) टेस्ला. चुंबकीय क्षेत्र (फ्लक्स घनत्व) का SI मात्रक टेस्ला है; 1 T = 10^4 गाउस

BPSC 71st किसी घर में एक महिने में ऊर्जा की खपत 250 यूनिट होती है तो कुल ऊर्जा जूल में होगी :
(a) 9×10^5 (b) 8×10^6 (c) 9×10^8 (d) 10^5
उत्तर: (c) 9×10^8. बिजली की एक यूनिट 1 kWh = 3.6×10^6 जूल होती है

स्वयं को परखें (13)

1. निम्नलिखित में से कौन-सा युग्म सही सुमेलित नहीं है?
(a) एनीमोमीटर – पवन की चाल (b) हाइग्रोमीटर – द्रवों का घनत्व (c) पायरोमीटर – बहुत ऊँचा ताप (d) टैकोमीटर – इंजन की घूर्णन चाल

2. 20 मई 2019 से किलोग्राम किसके सटीक मान को निश्चित करके परिभाषित है?
(a) आवोगाद्रो नियतांक (b) बोल्ट्ज़मान नियतांक (c) प्लांक नियतांक (d) गुरुत्वाकर्षण नियतांक

3. एक घरेलू मीटर एक महीने में 50 यूनिट दर्ज करता है। खर्च हुई ऊर्जा लगभग है
(a) 1.8×10^8 J (b) 5×10^4 J (c) 3.6×10^6 J (d) 1.8×10^5 J

4. निम्नलिखित में से कौन लंबाई या दूरी का मात्रक नहीं है?
(a) पारसेक (b) फर्मी (c) नॉट (d) फैदम

5. निम्नलिखित में से कौन-सी सदिश राशि है?
(a) विद्युत धारा (b) दाब (c) संवेग (d) कार्य

6. 10^{-15} के लिए SI उपसर्ग है
(a) एटो (b) पिको (c) नैनो (d) फेम्टो

7. वेबर प्रति वर्ग मीटर किसका मात्रक है?
(a) चुंबकीय फ्लक्स (b) प्रेरकत्व (c) विद्युत क्षेत्र (d) चुंबकीय फ्लक्स घनत्व

8. '22K' हॉलमार्क वाले गहनों में सोना लगभग कितना होता है?
(a) 75% (b) 91.6% (c) 99.9% (d) 22%

9. समुद्र की गहराई ज्ञात करने के लिए किस यंत्र का प्रयोग होता है?
(a) ऑल्टीमीटर (b) हिप्सोमीटर (c) फैदोमीटर (d) मैनोमीटर

10. किस जोड़ी की राशियों की विमाएँ समान हैं?
(a) कार्य और बल-आघूर्ण (b) बल और शक्ति (c) संवेग और ऊर्जा (d) दाब और बल

11. निम्नलिखित कथनों पर विचार कीजिए:
1. 20 मई 2019 से किलोग्राम प्लांक नियतांक के माध्यम से परिभाषित है।
2. सेकंड सीज़ियम-133 परमाणु के विकिरण से परिभाषित है।
3. ऐम्पियर बोल्ट्ज़मान नियतांक का मान निश्चित करके परिभाषित है।
उपर्युक्त कथनों में से कौन-सा/से सही है/हैं?
(a) केवल 1 (b) केवल 1 और 2 (c) केवल 2 और 3 (d) 1, 2 और 3

12. निम्नलिखित युग्मों पर विचार कीजिए:
मात्रक : राशि
1. टेस्ला : चुंबकीय फ्लक्स घनत्व
2. सीमेंस : विद्युत प्रतिरोध
3. प्रकाश-वर्ष : समय
उपर्युक्त में से कितने युग्म सही सुमेलित हैं?
(a) केवल एक (b) केवल दो (c) सभी तीन (d) कोई भी नहीं

13. एक जौहरी अंगूठी बेचता है: 18K सोने का छल्ला, जिसमें 2 कैरेट का हीरा जड़ा है। अंगूठी का कौन-सा विवरण सही है?
(a) छल्ले में 18% सोना है; हीरे का द्रव्यमान 2 g है (b) छल्ले में 75% सोना है; हीरे का द्रव्यमान 2 g है
(c) छल्ले में 18% सोना है; हीरे का द्रव्यमान 0.4 g है (d) छल्ले में 75% सोना है; हीरे का द्रव्यमान 0.4 g है

उत्तर: 1. (b) हाइग्रोमीटर आर्द्रता मापता है; द्रवों का घनत्व हाइड्रोमीटर से मापा जाता है। · 2. (c) किलोग्राम h = 6.626 070 15 × 10^{-34} J s पर टिका है; धातु का पुराना प्रोटोटाइप हटा दिया गया। · 3. (a) 1 यूनिट = 1 kWh = 3.6 × 10^{6} J, अतः 50 यूनिट = 1.8 × 10^{8} J। · 4. (c) नॉट एक चाल है, एक समुद्री मील प्रति घंटा (1.852 km/h)। · 5. (c) संवेग (द्रव्यमान × वेग) की दिशा होती है; धारा, दाब और कार्य अदिश हैं। · 6. (d) फेम्टो = 10^{-15} (फर्मी आकार का नाभिक); पिको 10^{-12}, नैनो 10^{-9}, एटो 10^{-18}। · 7. (d) 1 Wb/m^2 = 1 टेस्ला, चुंबकीय क्षेत्र (फ्लक्स घनत्व) का मात्रक; केवल वेबर फ्लक्स का मात्रक है। · 8. (b) कैरट 24 में सोने के भाग गिनता है: 22/24 ≈ 91.6% (इसीलिए हॉलमार्क 916)। · 9. (c) फैदोमीटर (प्रतिध्वनि सौंडर) समुद्र तल से लौटी ध्वनि स्पंद की प्रतिध्वनि का समय मापता है। · 10. (a) दोनों [M L^2 T^{-2}] हैं; कार्य जूल में अदिश है, बल-आघूर्ण N m में सदिश। · 11. (b) h किलोग्राम को और सीज़ियम-133 सेकंड को तय करते हैं; ऐम्पियर मूल आवेश e पर टिका है, जबकि बोल्ट्ज़मान नियतांक केल्विन को तय करता है। · 12. (a) केवल टेस्ला वाला युग्म सही है; सीमेंस चालकत्व (प्रतिरोध का उलटा) मापता है और प्रकाश-वर्ष दूरी है। · 13. (d) कैरट 24 में शुद्धता है, अतः 18K = 18/24 = 75% सोना; कैरेट द्रव्यमान है, हर एक 0.2 g, अतः 2 कैरेट = 0.4 g।

अध्याय 2

गति, बल और न्यूटन के नियम

मुड़ती या ब्रेक लगाती बस में जड़त्व (Inertia), आवेग (Impulse) (गेंद पकड़ना), बॉल बेयरिंग और घर्षण (Friction), अभिकेंद्र बल (Centripetal force) और F = ma पर एक-चरण वाले सवाल लगभग हर यूपीएससी (UPSC), बीपीएससी (BPSC) और एसएससी (SSC) प्रश्नपत्र में आते हैं।

पिछले प्रश्नपत्रों में 10 बार पूछा गया: UPSC 1 · BPSC 9

≈ 51 min पढ़ने में ≈ 8 min ★★★ दोहराने में

दोहराएँ: दिन 1 | दिन 3 | दिन 7 | दिन 21

रिवीज़न कार्ड

1. दूरी (Distance) अदिश है, विस्थापन (Displacement) सदिश; ट्रैक का एक पूरा चक्कर लगाने के बाद विस्थापन शून्य होता है, पर दूरी नहीं।
2. गैलीलियो (Galileo) ने सबसे पहले चाल को प्रति इकाई समय में तय की गई दूरी के रूप में परिभाषित किया।
3. दूरी-समय ग्राफ का ढाल = चाल; वेग-समय ग्राफ का ढाल = त्वरण; वेग-समय ग्राफ के नीचे का क्षेत्रफल = विस्थापन।
4. $v = u + at$, $s = ut + \frac{1}{2}at^2$, $v^2 = u^2 + 2as$. निर्वात में हर वस्तु, उसका द्रव्यमान कुछ भी हो, एक ही $g \approx 9.8\ m/s^2$ से गिरती है।
5. प्रक्षेप्य (Projectile) परवलय पथ पर चलता है; 45° पर परास अधिकतम होता है, और पूरक कोण (30° और 60°) समान परास देते हैं।
6. अभिकेंद्र बल केंद्र की ओर लगता है और वस्तु को वृत्त पर बनाए रखता है; अपकेंद्र बल घूमती वस्तु के भीतर बाहर की ओर महसूस होने वाला छद्म बल है (क्रीम सेपरेटर, वॉशिंग मशीन का ड्रायर)।
7. जड़त्व: बस चली → आप पीछे गिरते हैं (विराम); बस ने ब्रेक लगाया → आप आगे गिरते हैं (गति); बस दाईं ओर मुड़ी → आप बाईं ओर झुकते हैं (दिशा)।
8. $F = ma$ = संवेग परिवर्तन की दर; $1\ N = 1\ kg{\cdot}m/s^2 = 10^5$ डाइन।
9. आवेग = $F \times t$ = संवेग में परिवर्तन; रुकने का समय बढ़ाने से बल घटता है (गोलकीपर हाथ पीछे खींचता है, एयरबैग, रेत के गड्ढे)।
10. क्रिया और प्रतिक्रिया बराबर और विपरीत होती हैं और अलग-अलग वस्तुओं पर लगती हैं, इसलिए कभी एक-दूसरे को निरस्त नहीं करतीं।
11. बाहरी बल न हो तो संवेग संरक्षित रहता है: बंदूक का प्रतिक्षेप, रॉकेट (निर्वात में भी काम करता है)।
12. घर्षण का क्रम: सीमांत (स्थैतिक) > गतिज (सर्पी) > लोटनिक। बॉल बेयरिंग सर्पी घर्षण को लोटनिक में बदलते हैं और संपर्क क्षेत्रफल घटाते हैं।
13. नियत वेग पर कुल बल शून्य होता है, इसलिए घर्षण लगाए गए धक्के के बराबर होता है।
14. नीचा गुरुत्व केंद्र और चौड़ा आधार = स्थिर; बस की छत पर सामान रखने से वह आसानी से पलट सकती है। स्केटर बाँहें भीतर खींचती है → तेज़ घूमती है (कोणीय संवेग संरक्षित)।

गति का वर्णन: अदिश, सदिश, चाल और वेग

अदिश / सदिश

दूरी व विस्थापन

गैलीलियो: चाल

$a = (v - u)/t$

$2v_1v_2/(v_1+v_2)$

गति का वर्णन करने के लिए तीन बातें चाहिए: कितनी दूर, कितनी तेज़ और किस दिशा में। जिन राशियों के लिए केवल परिमाण चाहिए वे **अदिश (Scalars)** हैं; जिन्हें दिशा भी चाहिए वे **सदिश (Vectors)** हैं। गैलीलियो (Galileo) ने सबसे पहले गति को इस तरह मापा; उन्होंने ढलान पर लुढ़कती गेंदों का समय नापा।

अदिश और सदिश ★★

अदिश (केवल परिमाण)	सदिश (परिमाण + दिशा)
दूरी (Distance)	विस्थापन (Displacement)
चाल (Speed)	वेग (Velocity)
द्रव्यमान, समय, ताप	त्वरण, बल, भार
कार्य, ऊर्जा, शक्ति	संवेग, आवेग, बल-आघूर्ण
दाब, घनत्व, आयतन	विद्युत और चुंबकीय क्षेत्र
विद्युत धारा (इसकी दिशा होती है, पर यह अदिश की तरह जुड़ती है)	कोणीय संवेग

★★★ **गैलीलियो गैलिली (Galileo Galilei)** ने सबसे पहले **चाल** को प्रति इकाई समय में तय की गई दूरी के रूप में परिभाषित किया।

★★★ **दूरी** = पथ की कुल लंबाई; सदा धनात्मक। **विस्थापन** = आरंभ से अंत तक की सीधी-रेखा दूरी, दिशा सहित; यह धनात्मक, ऋणात्मक या शून्य हो सकता है।

★★ **चाल** = दूरी ÷ समय (अदिश)। **वेग** = विस्थापन ÷ समय (सदिश)। दोनों का SI मात्रक: **m/s**; 1 km/h = 5/18 m/s (अतः 72 km/h = 20 m/s)।

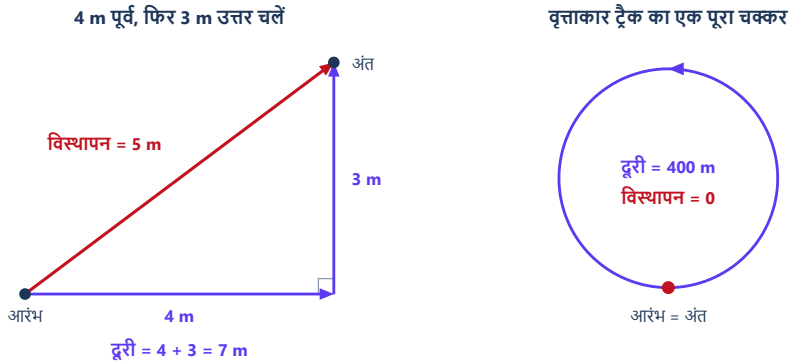
★★ **औसत चाल (Average speed)** = कुल दूरी ÷ कुल समय। दो बराबर दूरियाँ v_1 और v_2 चाल से तय करने पर यह $\mathbf{2v_1v_2/(v_1+v_2)}$ होती है, साधारण औसत नहीं।

★★★ **त्वरण (Acceleration)** = वेग परिवर्तन की दर, $a = (v - u)/t$, मात्रक **m/s²**। ऋणात्मक त्वरण को **मंदन (Retardation)** या अवत्वरण कहते हैं।

★★ **एकसमान गति (Uniform motion)**: सीधी रेखा में बराबर समय में बराबर दूरी (त्वरण शून्य)। **असमान गति (Non-uniform motion)**: बराबर समय में असमान दूरी, जैसे गिरता पत्थर, ट्रैफ़िक में चलती कार।

★★ **नियत चाल** से वृत्त में चलती वस्तु **फिर भी त्वरित होती है**, क्योंकि उसकी दिशा, और इसलिए उसका वेग, लगातार बदलता रहता है।

★ **स्पीडोमीटर (Speedometer)** तात्क्षणिक चाल दिखाता है; **ओडोमीटर (Odometer)** तय की गई कुल दूरी दर्ज करता है।



दूरी पूरा पथ है; विस्थापन आरंभ से अंत तक का सीधा अंतर है। बाएँ, पैमाने पर बना: 4 m + 3 m चलना 7 m की दूरी है, पर विस्थापन केवल 5 m है। दाएँ: एक पूरे चक्कर के बाद आरंभ और अंत एक ही बिंदु हैं, इसलिए विस्थापन शून्य है।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** एक धावक 400 m ट्रैक का एक पूरा चक्कर 50 s में लगाता है: दूरी 400 m, औसत चाल 8 m/s, पर विस्थापन और औसत वेग दोनों **शून्य** हैं। साथ ही: कोई कार जाते समय 40 km/h और लौटते समय 60 km/h से चले तो औसत चाल **48 km/h** होगी, 50 नहीं।

☑ **झटपट जाँच**

1. 400 m ट्रैक का एक पूरा चक्कर: दूरी और विस्थापन कितने?
2. चाल को प्रति इकाई समय में तय दूरी के रूप में सबसे पहले किसने परिभाषित किया?
3. नियत चाल से वृत्त में चलती वस्तु फिर भी त्वरित क्यों है?

उत्तर: 1. 400 m; विस्थापन शून्य · 2. गैलीलियो · 3. उसकी दिशा, अतः वेग, लगातार बदलता है

गति के समीकरण और ग्राफ

$v = u + at$

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

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

ढाल = दर

क्षेत्रफल = कुल

जब त्वरण नियत हो, तो वेग हर सेकंड समान मात्रा में बढ़ता है। इसी एक विचार से तीन समीकरण निकलते हैं, और ग्राफ वही बात एक नज़र में दिखाता है: उसका ढाल और उसके नीचे का क्षेत्रफल उत्तर देते हैं।

★★★ **एकसमान त्वरित गति के समीकरण (Equations of motion)**: $v = u + at$; $s = ut + \frac{1}{2}at^2$; $v^2 = u^2 + 2as$ (u = प्रारंभिक वेग, v = अंतिम वेग, a = त्वरण, s = विस्थापन, t = समय)।

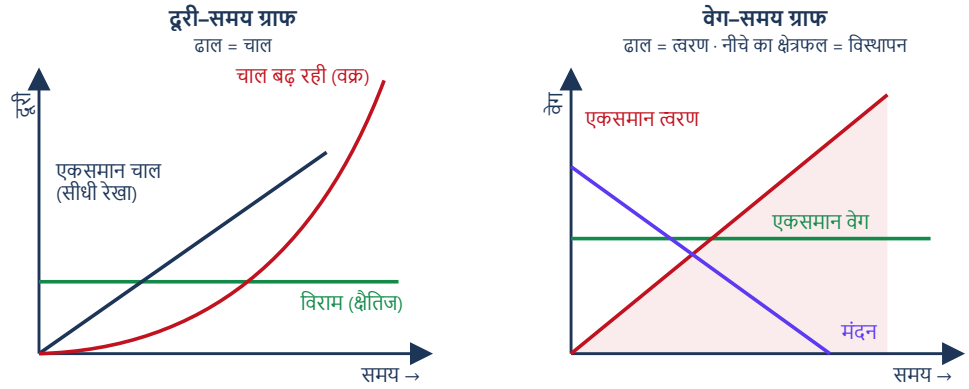
★★ **विराम से चलना शुरू करने वाली** वस्तु के लिए $u = 0$, अतः $s = \frac{1}{2}at^2$ और $v = at$।

★★★ **दूरी–समय ग्राफ का ढाल (Slope) = चाल**; सीधी तिरछी रेखा का अर्थ है एकसमान चाल, क्षैतिज रेखा का अर्थ है वस्तु विराम में है, ऊपर की ओर मुड़ते वक्र का अर्थ है चाल बढ़ रही है।

★★★ **वेग–समय ग्राफ का ढाल = त्वरण**; **उसके नीचे का क्षेत्रफल = विस्थापन** (गति एक ही दिशा में हो तो दूरी)।

★★ वेग–समय ग्राफ में क्षैतिज रेखा का अर्थ है **शून्य त्वरण**, यानी नियत वेग; नीचे की ओर झुकी सीधी रेखा का अर्थ है **एकसमान मंदन**।

★ दूरी–समय ग्राफ कभी नीचे की ओर नहीं झुक सकता (दूरी कभी घटती नहीं) और कोई भी गति-ग्राफ ऊर्ध्वाधर रेखा नहीं हो सकता (उसका अर्थ होगा अनंत चाल या अनंत त्वरण)।



v–t की क्षैतिज रेखा = शून्य त्वरण, शून्य वेग नहीं। d–t की क्षैतिज रेखा = वस्तु विराम में।

दूरी–समय ग्राफ का ढाल चाल और वेग–समय ग्राफ का ढाल त्वरण बताता है; वेग–समय रेखा के नीचे का क्षेत्रफल तय की गई दूरी है।

आसपास देखें: एक ट्रक विराम से चलकर नियत त्वरण से 20 s में 400 m चलता है; उसका द्रव्यमान 7 टन है। $s = \frac{1}{2}at^2$ से: $400 = \frac{1}{2} \times a \times 20^2$, अतः $a = 2\ m/s^2$। बल $F = ma = 7000\ kg \times 2\ m/s^2 = \mathbf{14{,}000\ N}$।

याद रखें: ग्राफ का सीधा नियम: **SLOPE tells the RATE, AREA tells the TOTAL**, यानी **ढाल दर बताता है, क्षेत्रफल कुल मात्रा**। दूरी का ढाल चाल देता है, वेग का ढाल त्वरण देता है, वेग के नीचे का क्षेत्रफल दूरी देता है।

झटपट जाँच

1. वेग–समय ग्राफ का ढाल _____ देता है; उसके नीचे का क्षेत्रफल _____ ।
2. दूरी–समय ग्राफ का ढाल क्या देता है?
3. विराम से a त्वरण से चली वस्तु t समय में कितनी दूरी तय करती है?

उत्तर: 1. त्वरण; विस्थापन · 2. चाल · 3. $s = \frac{1}{2}at^2$

मुक्त पतन और प्रक्षेप्य गति

$g \approx 9.8\ m/s^2$

सभी द्रव्यमानों के लिए समान

शीर्ष: $v = 0, a = g$

45° पर अधिकतम परास

पूरक कोण

गुरुत्व (Gravity) हर वस्तु को पृथ्वी के केंद्र की ओर एक ही त्वरण g से खींचता है। भारी वस्तु पर खिंचाव अधिक होता है, पर उसका जड़त्व भी उसी अनुपात में अधिक होता है, इसलिए दोनों का असर बराबर हो जाता है। केवल वायु प्रतिरोध के कारण पंख पत्थर से पीछे रह जाता है।

★★★ **मुक्त पतन (Free fall)**: केवल गुरुत्व के अधीन गति। **निर्वात (Vacuum)** में एक साथ गिराए गए पंख, रबर की गेंद और लकड़ी की गेंद **एक साथ ज़मीन पर पहुँचते हैं**; त्वरण $g \approx \mathbf{9.8\ m/s^2}$ द्रव्यमान पर निर्भर नहीं करता।

★★ मुक्त रूप से गिरते दो अलग-अलग द्रव्यमानों का **हर क्षण वेग समान** होता है, पर उन पर लगने वाला **बल** (उनका भार) अलग होता है, जो द्रव्यमान के अनुपात में है।

★ 1971 में अंतरिक्ष यात्री **डेविड स्कॉट (David Scott)** (अपोलो (Apollo) 15) ने वायुरहित चंद्रमा पर एक हथौड़ा और एक पंख गिराया; दोनों एक साथ ज़मीन पर गिरे।

★★ सीधे ऊपर फेंकी गई गेंद के लिए: **शीर्ष पर वेग शून्य, पर त्वरण फिर भी g** (नीचे की ओर) होता है; ऊपर जाने का समय = नीचे आने का समय; गेंद उसी चाल से लौटती है जिससे फेंकी गई थी।

★★ a = g रखकर समीकरण लगाएँ: $v = u + gt$, $h = ut + \frac{1}{2}gt^2$, $v^2 = u^2 + 2gh$। विराम से गिराई गई वस्तु **पहले सेकंड में लगभग 4.9 m** गिरती है।

प्रक्षेप्य (Projectile) वह कोई भी वस्तु है जिसे किसी कोण पर फेंककर गुरुत्व के भरोसे छोड़ दिया जाए: क्रिकेट की गेंद, भाला, गोला, पाइप से निकलता पानी। यह क्षैतिज दिशा में स्थिर चाल से चलता है जबकि गुरुत्व केवल उसकी ऊपर-नीचे की चाल बदलता है, इसलिए पथ मुड़कर **परवलय (Parabola)** बन जाता है।

★★★ **क्षैतिज से 45° पर परास (Range) अधिकतम** होता है (वायु प्रतिरोध की उपेक्षा करने पर)।

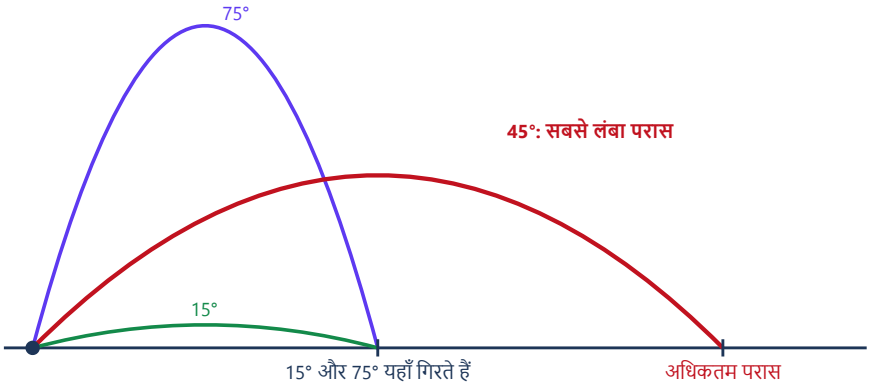
★★ **पूरक कोण (Complementary angles) समान परास देते हैं**: 15° और 75°, 30° और 60° एक ही स्थान पर गिरते हैं; अधिक खड़ी फेंक ऊँची जाती है और हवा में अधिक देर रहती है।

★★ **क्षैतिज वेग स्थिर रहता है** (कोई क्षैतिज बल नहीं); ऊर्ध्वाधर वेग हर सेकंड g से बदलता है। उच्चतम बिंदु पर केवल क्षैतिज वेग बचता है।

★ सूत्र: परास $R = u^2 \sin 2\theta / g$; अधिकतम ऊँचाई $H = u^2 \sin^2\theta / 2g$; उड्डयन काल $T = 2u \sin\theta / g$। 45° पर परास अधिकतम ऊँचाई का 4 गुना होता है।

★★ क्षैतिज दिशा में दागी गई गोली और उसी ऊँचाई से उसी क्षण गिराई गई गोली **एक साथ ज़मीन पर पहुँचती हैं**: क्षैतिज गति गिरने पर असर नहीं डालती।

★ सीधी (क्षैतिज) उड़ान भरते विमान से छोड़ा गया बम विमान की आगे की चाल बनाए रखता है, इसलिए परवलय में गिरते हुए भी वह विमान के ठीक नीचे रहता है (वायु की उपेक्षा करने पर)।



समान प्रक्षेपण चाल, वायु प्रतिरोध नहीं। जिन कोणों का योग 90° हो, उनका परास समान; पथ परवलय है।

समान प्रक्षेपण चाल: 45° सबसे लंबा परास देता है, जबकि 15° और 75° एक ही बिंदु पर गिरते हैं।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** अपने पथ के शीर्ष पर गेंद संतुलन में **नहीं** होती और उसका त्वरण शून्य **नहीं** होता; केवल उसका ऊर्ध्वाधर वेग शून्य होता है। साथ ही, निर्वात में द्रव्यमान गिरने का समय नहीं बदलता: 'भारी वस्तु पहले गिरती है' वाला विकल्प गलत है।

☑ झटपट जाँच

1. निर्वात में पंख और पत्थर एक साथ गिराए जाते हैं। पहले कौन गिरेगा?
2. प्रक्षेपण के किस कोण पर परास अधिकतम होता है?
3. उड़ान के शीर्ष पर गेंद का त्वरण कितना होता है?

उत्तर: 1. दोनों एक साथ (g समान) · 2. 45° · 3. फिर भी g, नीचे की ओर (केवल ऊर्ध्वाधर वेग शून्य)

वृत्तीय गति: अभिकेंद्र और अपकेंद्र बल

अभिकेंद्र: भीतर की ओर

$F = mv^2/r$

अकेली छोड़ दी जाए तो गतिमान वस्तु सीधी चलती है। उसके पथ को वृत्त में मोड़ने के लिए कोई चीज़ उसे लगातार केंद्र की ओर खींचती रहनी चाहिए: यही भीतर की ओर खिंचाव **अभिकेंद्र बल (Centripetal force)** है। घूमती वस्तु के

अपकेंद्र: छद्म बल

स्पर्श रेखा

बंकन

अपकेंद्रण

भीतर बैठे हुए आपको लगता है कि आप बाहर फेंके जा रहे हैं; यह महसूस होने वाला धक्का **अपकेंद्र बल (Centrifugal force)** है, जो असल में आपका अपना जड़त्व है।

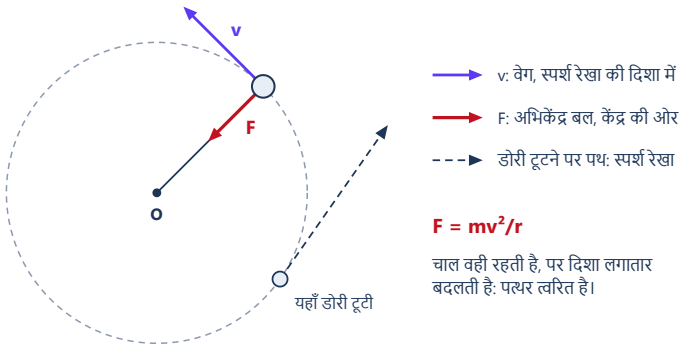
★★★ **अभिकेंद्र बल** केंद्र की ओर लगता है और वस्तु को वृत्तीय पथ पर बनाए रखता है: $F = mv^2/r = m\omega^2 r$।

★★ अभिकेंद्र बल सदा गति की दिशा के लंबवत होता है, इसलिए यह **कोई कार्य नहीं करता** और चाल नहीं बदलता, केवल दिशा बदलता है।

★★ **अपकेंद्र बल** एक **छद्म (आभासी) बल (Pseudo force)** है: अभिकेंद्र बल के बराबर और विपरीत, जो केवल घूमती वस्तु के साथ घूम रहे प्रेक्षक को महसूस होता है।

★★ घुमाए जा रहे पत्थर की डोरी टूट जाए तो पत्थर सीधे बाहर नहीं, बल्कि **स्पर्श रेखा (Tangent)** की दिशा में उड़ता है। घूमते पहिए से कीचड़ और घूमती सान से चिंगारियाँ भी स्पर्श रेखा की दिशा में उड़ती हैं।

★ कोणीय वेग (Angular velocity) ω = प्रति सेकंड घूमा गया कोण (rad/s); रैखिक चाल $v = r\omega$।



डोरी से घुमाया गया पत्थर, पैमाने पर बना। इसका वेग v स्पर्श रेखा की दिशा में, डोरी से 90° पर है; डोरी का खिंचाव F केंद्र O की ओर है। चाल वही रहती है पर दिशा बदलती रहती है, इसलिए पत्थर त्वरित है। डोरी टूट जाए तो पत्थर सीधे बाहर नहीं, स्पर्श रेखा की दिशा में उड़ता है।

अभिकेंद्र बल कौन देता है ★★

गति	भीतर की ओर बल किससे आता है
पृथ्वी के चारों ओर उपग्रह, पृथ्वी के चारों ओर चंद्रमा, सूर्य के चारों ओर ग्रह	गुरुत्वाकर्षण
नाभिक के चारों ओर इलेक्ट्रॉन (बोर मॉडल)	स्थिरवैद्युत आकर्षण
डोरी से बाँधकर घुमाया गया पत्थर	डोरी में तनाव
समतल सड़क पर मुड़ती कार	टायर और सड़क के बीच घर्षण
ढालू मोड़ पर कार या रेलगाड़ी	झुकी हुई सड़क या ऊँची बाहरी पटरी (अभिलंब बल का घटक)

★★★ **अपकेंद्रण (Centrifugation)** में मिश्रण को तेज़ी से घुमाया जाता है ताकि सघन भाग बाहर की ओर जाकर अलग हो जाएँ: **क्रीम सेपरेटर** (दूध), **वॉशिंग मशीन का स्पिन ड्रायर** (पानी ड्रम के छेदों से निकल जाता है), रक्त सेंट्रीफ्यूज (लाल रक्त कोशिकाएँ नली की तली में बैठ जाती हैं)।

★ गैस **सेंट्रीफ्यूज यूरेनियम का संवर्धन करते हैं** (भारी U-238 बाहर की ओर खिसकता है); सेंट्रीफ्यूज से शीरे से चीनी के क्रिस्टल और छत्ते से शहद भी अलग किया जाता है।

★★★ **सड़कों का बंकन (Banking of roads)**: मोड़ का बाहरी किनारा ऊँचा रखा जाता है ताकि झुकाव स्वयं अभिकेंद्र बल दे और घर्षण पर निर्भर हुए बिना मोड़ सुरक्षित हो। रेल के मोड़ों पर **बाहरी पटरी ऊँची** रखी जाती है (कैंट)।

★★ इसी कारण मोड़ पर **साइकिल सवार भीतर की ओर झुकता है**; मौत के कुएँ में मोटरसाइकिल सवार इसलिए घूम पाता है कि दीवार का भीतर की ओर धक्का (अभिलंब बल) अभिकेंद्र बल देता है, और दीवार के साथ घर्षण उसे नीचे फिसलने से रोकता है।

याद रखें: Centri-PETAL केंद्र को खोजता है (लैटिन petere = खोजना: अदालत जाते याचिकाकर्ता, petitioner, को सोचें)। **Centri-FUGAL** केंद्र से भागता है (fugitive = भगोड़ा)। Petal pulls in, fugal flies out: अभिकेंद्र भीतर खींचता है, अपकेंद्र बाहर उड़ाता है।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** वॉशिंग मशीन कपड़े **अपकेंद्रण** से सुखाती है, विसरण या परासरण से नहीं। और उपग्रह इसलिए परिक्रमा नहीं करता रहता कि ऊपर गुरुत्व नहीं है, बल्कि इसलिए कि गुरुत्व ही वह अभिकेंद्र बल है जो उसके पथ को मोड़ता है।

झटपट जाँच

1. घुमाए जा रहे पत्थर की डोरी टूट जाए तो पत्थर किस रेखा पर उड़ता है?
2. अभिकेंद्र या अपकेंद्र: कौन-सा छद्म बल है?
3. वॉशिंग मशीन कपड़े किस प्रक्रिया से सुखाती है?

उत्तर: 1. स्पर्श रेखा पर · 2. अपकेंद्र बल · 3. अपकेंद्रण

न्यूटन का पहला नियम और जड़त्व

जड़त्व का नियम

जड़त्व ∝ द्रव्यमान

विराम का जड़त्व

गति का जड़त्व

दिशा का जड़त्व

पदार्थ आलसी है: जो कर रहा है वही करता रहता है। विराम में पड़ी वस्तु विराम में रहती है, और चलती वस्तु उसी चाल से सीधी रेखा में चलती रहती है, जब तक कोई बल इसे न बदले। यही आलस **जड़त्व (Inertia)** है, और न्यूटन (Newton) का पहला नियम (प्रिंसिपिया, Principia, 1687) यही कहता है।

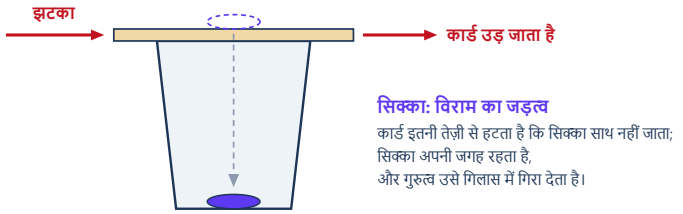
★★★ **पहला नियम (जड़त्व का नियम)**: कोई वस्तु अपनी विराम की अवस्था या सीधी रेखा में एकसमान गति की अवस्था में तब तक बनी रहती है जब तक उस पर कोई बाहरी असंतुलित बल न लगे।

★★ **जड़त्व केवल द्रव्यमान पर निर्भर करता है**: अधिक द्रव्यमान, अधिक जड़त्व। भरे हुए ट्रक को चलाना, रोकना या मोड़ना साइकिल की तुलना में कठिन है।

★★ पहला नियम **बल की परिभाषा** देता है: जो किसी वस्तु की विराम या गति की अवस्था बदले। जड़त्व के विचार तक सबसे पहले गैलीलियो अपने नत-तल (Inclined plane) प्रयोगों से पहुँचे।

जड़त्व के तीन प्रकार ★★★

किसका जड़त्व	अर्थ	रोज़मर्रा के उदाहरण
विराम	विराम में पड़ी वस्तु हिलाए जाने का विरोध करती है	बस अचानक चलने पर यात्री पीछे गिरते हैं; कालीन पीटने पर धूल निकल जाती है; कार्ड को झटके से हटाने पर उस पर रखा सिक्का गिलास में गिर जाता है; डाली हिलाने पर फल गिरते हैं
गति	चलती वस्तु रोके जाने का विरोध करती है	बस में ब्रेक लगने पर यात्री आगे गिरते हैं; चलती बस से कूदने वाला व्यक्ति आगे गिरता है; लंबी कूद से पहले खिलाड़ी दौड़कर आता है; धक्के के बाद भी गेंद लुढ़कती रहती है
दिशा	चलती वस्तु दिशा बदलने का विरोध करती है	बस के तेज़ी से दाईं ओर मुड़ने पर यात्री बाईं ओर झुकते हैं; घूमते पहिए से कीचड़ स्पर्श रेखा की दिशा में उड़ता है; तीखे मोड़ पर कार बाहर की ओर फिसलती है



विराम का जड़त्व: कार्ड को तेज़ी से झटक दें तो सिक्का उसके साथ नहीं जाता; वह अपनी जगह रहता है और गिलास में गिर जाता है।

याद रखें: भीड़ भरी DTC बस सोचिए: **चली** → सब पीछे झूलते हैं (विराम); **ब्रेक** → सब आगे लुढ़कते हैं (गति); **दाईं ओर मुड़ी** → सब बाईं ओर झुकते हैं (दिशा)। शरीर हमेशा अपनी पुरानी अवस्था बनाए रखना चाहता है।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** जब बस **दाईं** ओर मुड़ती है, यात्री **बाईं** ओर झुकते हैं, दाईं ओर नहीं। उनका शरीर सीधा चलता रहता है जबकि बस उनके नीचे मुड़ जाती है।

झटपट जाँच

1. किसी वस्तु का जड़त्व केवल उसके _____ पर निर्भर करता है।
2. बस अचानक ब्रेक लगाती है। यात्री किधर गिरते हैं, और यह कौन-सा जड़त्व है?
3. बस तेज़ी से दाईं ओर मुड़ती है। यात्री किधर झुकते हैं?

उत्तर: 1. द्रव्यमान · 2. आगे: गति का जड़त्व · 3. बाईं ओर (दिशा का जड़त्व)

दूसरा नियम, संवेग और आवेग

$p = mv$

$F = \Delta p/\Delta t = ma$

$1\ N = 10^5$ डाइन

आवेग = F × t

अधिक समय, कम बल

संवेग (Momentum) गतिमान द्रव्यमान है: धीमा ट्रक और तेज़ गोली, दोनों को रोकना कठिन है। बल बताता है कि संवेग कितनी तेज़ी से बदलता है। इसलिए संवेग में एक जैसा परिवर्तन बड़े बल से थोड़ी देर में भी हो सकता है और छोटे बल से अधिक देर में भी, और यही विचार जान बचाता है।

★★★ **संवेग** p = द्रव्यमान × वेग, एक सदिश; मात्रक **kg·m/s** (= N·s)।

★★★ **दूसरा नियम**: बल **संवेग परिवर्तन की दर** के बराबर होता है, $F = \Delta p/\Delta t = ma$, और परिवर्तन की दिशा में लगता है।

★★ **बल के मात्रक**: SI मात्रक **न्यूटन (newton)** (1 N = 1 kg·m/s²); CGS मात्रक **डाइन (dyne)**; 1 N = **10^5 डाइन**; 1 किलोग्राम-भार (kgf) = 9.8 N।

★★ एक ही बल हल्की वस्तु को अधिक त्वरण देता है: खाली ट्रॉली को भरी ट्रॉली की तुलना में तेज़ करना आसान है।

★★★ **आवेग (Impulse)** = बल × समय = संवेग में परिवर्तन; मात्रक N·s। संवेग में किसी निश्चित परिवर्तन के लिए **रुकने का समय जितना लंबा, बल उतना छोटा**।

दैनिक जीवन में आवेग ★★★

समय बढ़ाओ, बल घटाओ	समय घटाओ, बल बढ़ाओ
गोलकीपर या फ़ील्डर गेंद पकड़ते समय हाथ पीछे खींचता है	कराटे का वार पल भर में ईंट तोड़ देता है
कारों में एयरबैग, सीट बेल्ट और क्रम्पल ज़ोन	हथौड़ा तेज़ चोट से कील ठोकता है
लंबी कूद और ऊँची कूद के लिए रेत का गड्ढा या फोम के गद्दे	कठोर कंक्रीट पर गिरना रेत या मिट्टी पर गिरने से अधिक चोट पहुँचाता है
कूदकर उतरते समय घुटने मोड़ना	बल्ला बहुत कम संपर्क-समय में गेंद को मारता है
काँच के बर्तनों को पुआल, कागज़ या थर्मोकोल में पैक करना; शॉक एब्ज़ॉर्बर और रेल के बफ़र	मुक्केबाज़ का तेज़ मुक्का (जैब) कम संपर्क-समय में बड़ा बल पहुँचाता है

40 m/s से आती 150 g की क्रिकेट गेंद का कैच, पैमाने पर बना। दोनों तरह संवेग में परिवर्तन 6 N·s है, जो हर वक्र के नीचे का क्षेत्रफल है। कड़े हाथ उसे 0.02 s में रोकते हैं और शिखर बल 600 N होता है; पीछे खींचे हाथ 0.12 s लेते हैं और शिखर बल 100 N रह जाता है।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** हाथ पीछे खींचने से संवेग में परिवर्तन कम **नहीं** होता (गेंद तो रुकती ही है); इससे संवेग परिवर्तन की **दर** घटती है, और इसलिए हाथों पर लगने वाला बल घटता है।

☑ झटपट जाँच

1. न्यूटन का दूसरा नियम: बल _____ परिवर्तन की दर के बराबर है।
2. कैच लेते समय क्षेत्ररक्षक हाथ पीछे क्यों खींचता है?
3. 1 न्यूटन = कितने डाइन?

उत्तर: 1. संवेग · 2. रुकने का समय बढ़ता है, इसलिए बल घटता है · 3. 10^5 डाइन

तीसरा नियम, संवेग संरक्षण और बल के प्रकार

क्रिया = प्रतिक्रिया
अलग-अलग वस्तुएँ
संवेग संरक्षण
बंदूक का प्रतिक्षेप
निर्वात में रॉकेट
संपर्क / असंपर्क

बल सदा जोड़ों में आते हैं: आप किसी चीज़ को धक्का दें तो वह भी आपको धक्का देती है। यह जोड़ा दो अलग वस्तुओं पर लगता है, इसलिए दोनों धक्के एक-दूसरे को निरस्त नहीं करते; बल्कि दोनों वस्तुओं का कुल संवेग समान बना रहता है।

★★★ **तीसरा नियम**: प्रत्येक क्रिया (Action) की **बराबर और विपरीत प्रतिक्रिया (Reaction)** होती है। दोनों बल **अलग-अलग वस्तुओं** पर लगते हैं, इसलिए कभी एक-दूसरे को निरस्त नहीं करते।

★★ वस्तुएँ बहुत असमान हों तब भी क्रिया और प्रतिक्रिया बराबर होती हैं: सेब पृथ्वी को ठीक उतने ही बल से ऊपर खींचता है जितने बल से पृथ्वी सेब को नीचे खींचती है; पृथ्वी का विशाल द्रव्यमान उसकी गति को नगण्य बना देता है।

★★★ **संवेग संरक्षण का नियम (Law of conservation of momentum)**: यदि कोई बाहरी बल न लगे तो किसी निकाय का कुल संवेग स्थिर रहता है। यह दूसरे और तीसरे नियम से निकलता है।

हमारे आसपास क्रिया और प्रतिक्रिया ★★

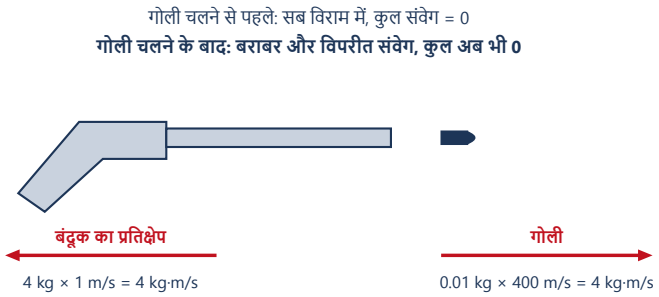
स्थिति	क्रिया	प्रतिक्रिया
चलना	पैर ज़मीन को पीछे धकेलता है	ज़मीन हमें आगे धकेलती है (घर्षण चाहिए)
तैरना, नाव खेना	हाथ या चप्पू पानी को पीछे धकेलते हैं	पानी तैराक या नाव को आगे धकेलता है
रॉकेट	रॉकेट गर्म गैस को पीछे धकेलता है	गैस रॉकेट को आगे धकेलती है
जेट विमान	इंजन हवा और निकास गैस को पीछे फेंकता है	विमान आगे बढ़ता है
बंदूक चलाना	बंदूक गोली को आगे धकेलती है	गोली बंदूक को पीछे धकेलती है (प्रतिक्षेप)
नाव से किनारे पर कूदना	पैर नाव को पीछे धकेलते हैं	नाव कूदने वाले को आगे धकेलती है; स्वयं नाव किनारे से दूर खिसक जाती है
पूरे वेग से पानी छोड़ता होज़ पाइप	पानी आगे धकेला जाता है	पाइप पीछे की ओर झटका देता है

★★★ **बंदूक का प्रतिक्षेप (Recoil)**: गोली चलाने से पहले कुल संवेग शून्य है, अतः बाद में m(गोली) × v(गोली) = M(बंदूक) × V(बंदूक)। बंदूक बहुत भारी है, इसलिए धीरे पीछे हटती है। 4 kg की बंदूक से 400 m/s पर चली 10 g की गोली 1 m/s का प्रतिक्षेप देती है।

★★★ **रॉकेट** संवेग संरक्षण से काम करता है: पीछे फेंकी गई निकास गैस रॉकेट को आगे की ओर बराबर संवेग देती है। यह अपना ऑक्सीकारक साथ ले जाता है और इसे **धकेलने के लिए हवा की ज़रूरत नहीं** होती, इसलिए यह अंतरिक्ष में भी काम करता है।

★★ **जेट इंजन** भी इसी सिद्धांत पर चलता है, पर हवा से ऑक्सीजन लेता है, इसलिए अंतरिक्ष में काम नहीं कर सकता।

★ गोली और बंदूक को बराबर संवेग मिलता है पर गतिज ऊर्जा बहुत असमान: हल्की गोली लगभग सारी गतिज ऊर्जा ले जाती है, इसीलिए गोली नुकसान करती है और प्रतिक्षेप सहने योग्य रहता है।



बंदूक का प्रतिक्षेप, संवेग के तीर पैमाने पर। गोली चलने से पहले कुल संवेग शून्य है; बाद में 400 m/s से चलती 10 g की गोली और 1 m/s से पीछे हटती 4 kg की बंदूक के संवेग बराबर और विपरीत हैं (हर एक 4 kg·m/s), इसलिए कुल संवेग अब भी शून्य है।

संपर्क और असंपर्क बल ★★

संपर्क बल (छूना ज़रूरी)	असंपर्क बल (दूरी से लगते हैं)
घर्षण	गुरुत्वाकर्षण बल
अभिलंब प्रतिक्रिया, तनाव, स्प्रिंग बल	चुंबकीय बल
संघट्ट (टक्कर) बल, पेशीय बल	स्थिरवैद्युत बल
वायु प्रतिरोध, उत्प्लावन बल	नाभिकीय बल (नाभिक के भीतर)

चार मूल बल ★

बल	सापेक्ष प्रबलता	परास	कहाँ काम करता है
प्रबल नाभिकीय	सबसे प्रबल	बहुत कम (नाभिक के आकार तक)	प्रोटॉनों और न्यूट्रॉनों को जोड़े रखना
विद्युतचुंबकीय	दूसरा	अनंत	परमाणु, रसायन, घर्षण, प्रकाश
दुर्बल नाभिकीय	तीसरा	बहुत कम	बीटा क्षय, सूर्य में संलयन
गुरुत्वाकर्षण	सबसे दुर्बल	अनंत	ग्रह, ज्वार, गिरती वस्तुएँ

याद रखें: रॉकेट का नियम: **रॉकेट हवा पर नहीं, अपनी ही निकास गैस पर धक्का देता है**। जैसे कोई स्केटर भारी थैला आगे फेंककर पीछे खिसक जाता है, उसे अपने बाहर किसी चीज़ की ज़रूरत नहीं।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** चुंबकीय, स्थिरवैद्युत और गुरुत्वाकर्षण बल **असंपर्क** बल हैं; घर्षण और संघट्ट बल के लिए संपर्क चाहिए। साथ ही, क्रिया और प्रतिक्रिया कभी निरस्त नहीं होतीं क्योंकि वे अलग वस्तुओं पर लगती हैं।

झटपट जाँच

1. क्रिया और प्रतिक्रिया बराबर और विपरीत हैं। फिर वे एक-दूसरे को निरस्त क्यों नहीं करतीं?
2. रॉकेट अंतरिक्ष में किस नियम से काम करता है?
3. चुंबकीय बल संपर्क बल है या असंपर्क बल?

उत्तर: 1. वे अलग-अलग वस्तुओं पर लगती हैं · 2. संवेग संरक्षण (तीसरा नियम) · 3. असंपर्क

घर्षण

स्थैतिक: स्व-समायोजी

सीमांत > गतिज > लोटनिक

घर्षण गुणांक μ

बॉल बेयरिंग

स्नेहक

कोई भी सतह पूरी तरह चिकनी नहीं होती; छोटे-छोटे उभार एक-दूसरे में फँस जाते हैं और संपर्क बिंदुओं पर अणु आपस में चिपक जाते हैं। यही पकड़ **घर्षण (Friction)** है: यह फिसलने का विरोध करता है, ऊर्जा को ऊष्मा के रूप में बर्बाद करता है, फिर भी इसके बिना हम न चल सकते, न लिख सकते, न ब्रेक लगा सकते।

★★★ **स्थैतिक घर्षण (Static friction)** गति शुरू होने से पहले लगता है और लगाए गए बल के बराबर होने के लिए **स्वयं को समायोजित** कर लेता है; इसका अधिकतम मान **सीमांत घर्षण (Limiting friction)** है।

★★ **गतिज (सर्पी) घर्षण (Kinetic / sliding friction)** पहले से फिसल रही वस्तु पर लगता है; यह **सीमांत घर्षण से थोड़ा कम** होता है, इसीलिए भारी बक्से को धकेलना शुरू करना उसे चलाते रहने से कठिन है।

★★★ **लोटनिक घर्षण (Rolling friction) सर्पी घर्षण से बहुत कम** होता है। क्रम: **सीमांत स्थैतिक > गतिज (सर्पी) > लोटनिक**।

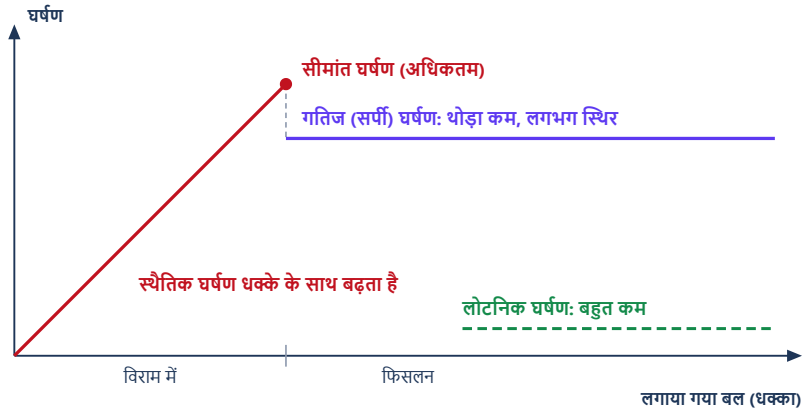
★★★ **नियत वेग** पर कुल बल शून्य होता है, इसलिए घर्षण ठीक लगाए गए बल के बराबर होता है: किसी बक्से को 200 N से एकसमान धकेलने का अर्थ है घर्षण 200 N है।

★★ घर्षण **सतहों की प्रकृति** और उन्हें आपस में दबाने वाले **अभिलंब बल** पर निर्भर करता है, (आदर्श रूप में) संपर्क क्षेत्रफल पर नहीं। घर्षण गुणांक (Coefficient of friction) μ = घर्षण ÷ अभिलंब बल; इसका कोई मात्रक नहीं।

★★ घर्षण **गतिज ऊर्जा को ऊष्मा में** बदलता है: हाथ रगड़ने से वे गर्म होते हैं, ब्रेक गर्म हो जाते हैं, माचिस की तीली जल उठती है।

★ बक्से को रस्सी से किसी कोण पर **खींचना** उसे कोण पर नीचे की ओर **धकेलने** से आसान है: खींचने से बक्सा थोड़ा उठता है और अभिलंब बल घटता है, धकेलने से वह फर्श पर और ज़ोर से दबता है।

★ **विराम कोण (Angle of repose)** वह सबसे अधिक ढलान है जिस पर वस्तु बिना फिसले टिकी रहती है; यह वस्तु और ढलान के बीच घर्षण का माप है।



भारी बक्से को लगातार अधिक बल से धकेलिए। स्थैतिक घर्षण धक्के के बराबर बढ़ता जाता है, जब तक अपने अधिकतम मान, सीमांत घर्षण, तक न पहुँच जाए; फिर बक्सा फिसलने लगता है और घर्षण थोड़ा घटकर गतिज घर्षण रह जाता है। पहियों पर लोटनिक घर्षण इससे भी बहुत कम होता है। मान केवल उदाहरण हैं, पैमाने पर नहीं।

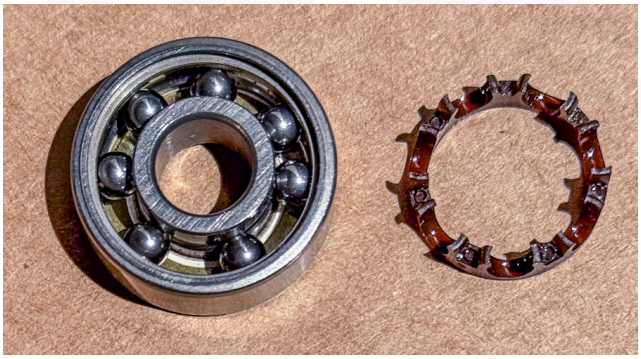
घर्षण बढ़ाना और घटाना ★★

घर्षण बढ़ाने के लिए (पकड़ चाहिए)	घर्षण घटाने के लिए (आसान गति चाहिए)
टायरों और जूतों के तलों पर खाँचे (ट्रेड) सड़क को पकड़ते हैं और पानी को बाहर निकालते हैं	स्नेहक: तेल, ग्रीस, ग्रेफ़ाइट
फिसलन या बर्फ़ वाली सड़कों पर रेत या बजरी	बॉल बेयरिंग और रोलर बेयरिंग
जिमनास्ट के हाथों पर चॉक पाउडर	सतहों को घिसकर चिकना करना
धावकों के जूतों में कीलें (स्पाइक)	वायु गद्दी (होवरक्राफ़्ट), हवा और पानी के कर्षण के लिए धारारेखीय आकार

★★★ **बॉल बेयरिंग (Ball bearings)** पहिए और धुरी के बीच **प्रभावी संपर्क क्षेत्रफल घटाकर सर्पी घर्षण को लोटनिक घर्षण में बदलते हैं**; साइकिल, कार, पंखे, मोटर में प्रयुक्त।

★★ घर्षण **चलने** (बर्फ़ या साबुन लगे फर्श पर कठिन), **लिखने**, चीज़ें पकड़ने, ब्रेक लगाने और माचिस जलाने के लिए ज़रूरी है। गीली सड़क टायर का घर्षण घटाती है, इसलिए बारिश के बाद रुकने की दूरी बढ़ जाती है।

★ तरल घर्षण (**कर्षण, Drag**) चाल के साथ बढ़ता है; इसीलिए विमान, मछलियाँ और पक्षी **धारारेखीय (Streamlined)** होते हैं।



खोला गया बॉल बेयरिंग, उसका प्लास्टिक पिंजरा (दाईं ओर) निकाला हुआ। स्टील की गोलियाँ भीतरी और बाहरी छल्लों के बीच रहती हैं, इसलिए पहिया घूमने पर सतहें फिसलने के बजाय गोलियाँ लुढ़कती हैं: सर्पी घर्षण की जगह लोटनिक घर्षण। चित्र: Fred Hsu, Wikimedia Commons, CC BY-SA 4.0

याद रखें: Stuck → Sliding → Rolling: हर अगला पिछले से आसान। अटकी हुई अलमारी को हिलाना सबसे कठिन, उसे खिसकाते रहना आसान, और ट्रॉली पर लुढ़काना सबसे आसान।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** बॉल बेयरिंग संपर्क क्षेत्रफल **घटाते** हैं; जो विकल्प कहें कि वे वास्तविक या प्रभावी क्षेत्रफल बढ़ाते हैं, वे गलत हैं। और घर्षण हमेशा बाधा नहीं: चलना और ब्रेक लगाना इसी पर निर्भर हैं।

☑ झटपट जाँच

1. घटते क्रम में लगाएँ: लोटनिक, सीमांत और गतिज घर्षण।
2. किसी बक्से को 200 N से नियत वेग से धकेला जाता है। घर्षण कितना है?
3. बॉल बेयरिंग घर्षण कैसे घटाते हैं?

उत्तर: 1. सीमांत > गतिज > लोटनिक · 2. 200 N (कुल बल शून्य) · 3. सर्पी की जगह लोटनिक घर्षण; कम संपर्क क्षेत्रफल

बल-आघूर्ण, बलयुग्म और गुरुत्व केंद्र

बल-आघूर्ण = F × d

बलयुग्म

गुरुत्व केंद्र

नीचा CG, चौड़ा आधार

स्थायी / अस्थायी / उदासीन

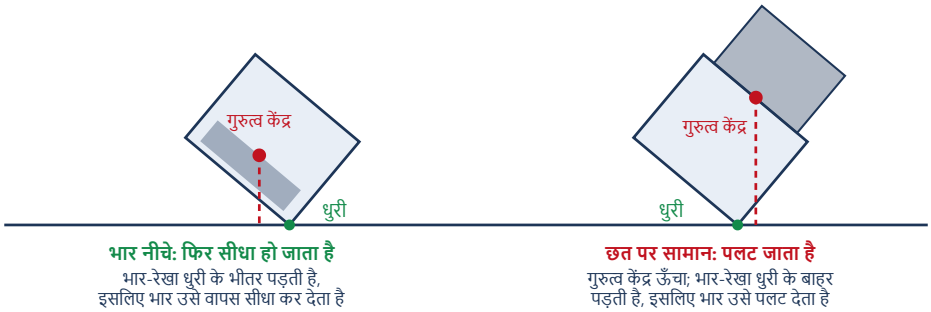
बल धकेलने के साथ घुमा भी सकता है। वह कितना घुमाएगा, यह बल पर और इस पर निर्भर है कि वह धुरी से कितनी दूर लगता है। इसीलिए दरवाज़े का हैंडल दूर वाले किनारे पर होता है और लंबा स्पैनर कसा हुआ नट खोल देता है।

★★★ **बल-आघूर्ण (Torque / moment of force)** = बल × अक्ष से लंबवत दूरी; मात्रक **N·m**; यह सदिश है। कब्ज़ों के पास दरवाज़ा धकेलने पर वह मुश्किल से हिलता है।

★★ **बलयुग्म (Couple)** दो बराबर, विपरीत, समांतर बल हैं जो एक रेखा में नहीं होते; यह वस्तु को सरकाए बिना केवल घुमाता है: स्टीयरिंग व्हील, नल, चाबी या ढक्कन घुमाना, घड़ी में चाबी भरना।

★★★ **गुरुत्व केंद्र (Centre of gravity, CG)**: वह बिंदु जिससे होकर वस्तु का पूरा भार लगता है। यह पदार्थ के बाहर भी हो सकता है, जैसे छल्ले या चूड़ी के केंद्र पर।

★★★ **स्थायित्व (Stability) नीचे गुरुत्व केंद्र** और **चौड़े आधार** से बढ़ता है। वस्तु तभी पलटती है जब उसके गुरुत्व केंद्र से जाने वाली ऊर्ध्वाधर रेखा **आधार के बाहर** पड़े।



एक जैसा झुकाव, अलग परिणाम: भार नीचे होने पर भार-रेखा धुरी के भीतर रहती है और वाहन फिर सीधा हो जाता है; छत पर सामान होने पर भार-रेखा बाहर से गुज़रती है और वाहन पलट जाता है।

संतुलन की तीन अवस्थाएँ (मेज़ पर रखा शंकु) ★

अवस्था	शंकु किस पर टिका है	थोड़ा झुकाने पर
स्थायी	अपने समतल आधार पर	गुरुत्व केंद्र ऊपर उठता है; शंकु पुरानी स्थिति में लौट आता है
अस्थायी	अपनी नोक पर	गुरुत्व केंद्र नीचे आता है; शंकु पलट जाता है
उदासीन	अपनी वक्र सतह पर	गुरुत्व केंद्र उसी ऊँचाई पर रहता है; शंकु लुढ़ककर कहीं भी टिक जाता है

आसपास देखें: बसों और ट्रकों की **छत पर भारी सामान नहीं लादा जाता**, और डबल-डेकर बसों का भारी इंजन और चेसिस जितना हो सके नीचे रखा जाता है, ताकि गुरुत्व केंद्र नीचा रहे। रेसिंग कारें नीची और चौड़ी होती हैं। **पीसा की झुकी मीनार (Leaning Tower of Pisa)** इसलिए खड़ी है कि उसके गुरुत्व केंद्र से जाने वाली ऊर्ध्वाधर रेखा अभी भी आधार के भीतर पड़ती है। एक हाथ में बाल्टी उठाने वाला व्यक्ति दूसरी ओर झुकता है; पहाड़ी पर चढ़ने वाला आगे झुकता है; जहाज़ों के पेंदे में नीचे भारी गिट्टी (Ballast) रखी जाती है।

याद रखें: Low and wide never dies (नीचा और चौड़ा कभी नहीं गिरता): सूमो पहलवान, प्रेशर कुकर, रेसिंग कार। लंबा और पतला, ऊपर भार के साथ (सामान से लदा छत-कैरियर, नाव में खड़ा व्यक्ति), आसानी से पलटता है।

झटपट जाँच

1. दरवाज़े का हैंडल कब्ज़ों से दूर क्यों लगाया जाता है?
2. झुकी हुई वस्तु कब पलटती है?
3. दोनों हाथों से स्टीयरिंग व्हील घुमाने पर _____ लगता है।

उत्तर: 1. अधिक दूरी, उसी बल से अधिक बल-आघूर्ण · 2. जब उसके गुरुत्व केंद्र से जाती ऊर्ध्वाधर रेखा आधार से बाहर गिरे · 3. बलयुग्म

घूर्णन और कोणीय संवेग

जड़त्व आघूर्ण

L = Iω संरक्षित

स्केटर: बाँहें भीतर

गोताखोर

पल्सर

घूमती वस्तु में भी घूर्णी जड़त्व होता है, जिसे **जड़त्व आघूर्ण (Moment of inertia)** कहते हैं; द्रव्यमान अक्ष से जितना दूर फैला हो, यह उतना बढ़ता है। घूर्णन चाल और इस जड़त्व का गुणनफल **कोणीय संवेग (Angular momentum)** है, जो बाहरी बल-आघूर्ण न लगने पर स्थिर रहता है। द्रव्यमान को भीतर खींचें तो घूर्णन तेज़ होना ही है।

★★ **जड़त्व आघूर्ण (I)** द्रव्यमान पर और इस पर निर्भर करता है कि वह **घूर्णन अक्ष से कितनी दूर** है। गतिपालक चक्र (Flywheel) की परिधि भारी होती है ताकि वह चाल में बदलाव का विरोध करे।

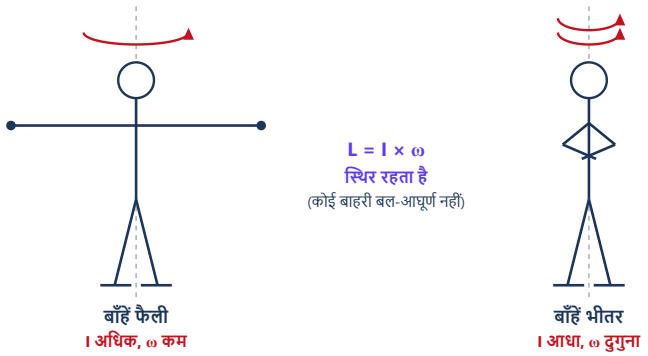
★★★ **कोणीय संवेग** L = Iω बाहरी बल-आघूर्ण (Torque) न होने पर **संरक्षित** रहता है: I घटे तो ω बढ़ता है।

★★★ **आइस स्केटर या बैले नर्तकी** बाँहें भीतर खींचने पर तेज़ और फैलाने पर धीमी घूमती है।

★★ **गोताखोर** तेज़ कलाबाज़ी के लिए शरीर कसकर मोड़ लेता है, फिर पानी में घुसने से पहले धीमा होने के लिए शरीर फैला देता है।

★★ इसी कारण कोई ग्रह **सूर्य के पास तेज़** चलता है (केप्लर का दूसरा नियम); सिकुड़ता तारा तेज़ घूमने वाला **पल्सर (Pulsar)** बन जाता है।

★ **रस्सी पर चलने वाले नट का लंबा डंडा** जड़त्व आघूर्ण बढ़ाता है, जिससे गिरने की प्रवृत्ति धीमी पड़ती है और संतुलन सुधारने का समय मिलता है।



कोई बाहरी बल-आघूर्ण नहीं, इसलिए L = Iω वही रहता है। यहाँ बाँहें भीतर खींचने से जड़त्व आघूर्ण आधा होता है, इसलिए घूमने की दर दुगुनी हो जाती है।

याद रखें: कथक नर्तकी के चक्कर देखिए: बाँहें मोड़ीं तो घूमना तेज़; बाँहें खोलीं तो धीमा। **Pull in to spin up: भीतर खींचो, तेज़ घूमो।**

झटपट जाँच

1. स्केटर अपनी बाँहें भीतर खींचती है। कौन-सी राशि स्थिर रहती है, और घूर्णन का क्या होता है?
2. जड़त्व आघूर्ण द्रव्यमान पर और अक्ष से उसकी _____ पर निर्भर करता है।
3. रस्सी पर चलने वाला नट लंबा डंडा क्यों रखता है?

उत्तर: 1. कोणीय संवेग; वह तेज़ घूमती है · 2. दूरी · 3. जड़त्व आघूर्ण बढ़ता है, गिरने की प्रवृत्ति धीमी होती है

पिछले वर्षों में पूछे गए प्रश्न (10)

UPSC 2013 साइकिल और कारों में बॉल-बेयरिंग का प्रयोग होता है, क्योंकि
(a) पहिया और धुरी के बीच संस्पर्श का वास्तविक क्षेत्र बढ़ जाता है (b) पहिया और धुरी के बीच संस्पर्श का प्रभावी क्षेत्र बढ़ जाता है
(c) पहिया और धुरी के बीच संस्पर्श का प्रभावी क्षेत्र घट जाता है (d) उपर्युक्त कथनों में से कोई भी सही नहीं है
उत्तर: (c) पहिया और धुरी के बीच संस्पर्श का प्रभावी क्षेत्र घट जाता है. बॉल-बेयरिंग संपर्क क्षेत्र घटाकर सर्पी घर्षण को लोटनिक घर्षण में बदल देते हैं

BPSC 67th re-exam वाशिंग मशीन का कार्यकारी सिद्धान्त क्या है?
(a) अपोहन (b) विपरीत परासरण (c) प्रसार (d) अपकेन्द्रण (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (d) अपकेन्द्रण. अपकेंद्रण में मिश्रण को तेज़ी से घुमाया जाता है जिससे भारी अंश बाहर की ओर जाकर अलग हो जाते हैं; वॉशिंग मशीन का स्पिन ड्रायर और क्रीम सेपरेटर अपकेंद्रण के सिद्धांत पर काम करते हैं

BPSC 67th re-exam गति को सर्वप्रथम किसने परिभाषित किया?
(a) टॉलमी (b) गैलीलियो (c) न्यूटन (d) केप्लर (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (b) गैलीलियो. गैलीलियो ने सबसे पहले चाल को प्रति इकाई समय में तय दूरी के रूप में परिभाषित किया

BPSC 68th बॉल बेयरिंग का उपयोग स्थैतिक घर्षण को निम्नलिखित में से किसमें परिवर्तित करने के लिए किया जाता है?
(a) कर्षण (ड्रैग) (b) सर्पी घर्षण (c) रोलिंग घर्षण (d) उपर्युक्त में से एक से अधिक (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं
उत्तर: (c) रोलिंग घर्षण. लोटनिक घर्षण सर्पी घर्षण से बहुत कम होता है; बॉल बेयरिंग इसी का लाभ उठाते हैं

BPSC 68th फुटबॉल के खेल में एक गोलकीपर फुटबॉल को गोल में पकड़ने के बाद अपने हाथों को पीछे की ओर खींचता है। यह गोलकीपर को किस प्रकार सक्षम बनाता है?
(a) फुटबॉल पर अधिक बल लगाने में (b) फुटबॉल द्वारा हाथों पर लगाए गए बल को बढ़ाने में (c) संवेग परिवर्तन की दर को कम करने में
(d) उपर्युक्त में से एक से अधिक (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं
उत्तर: (c) संवेग परिवर्तन की दर को कम करने में. बल संवेग परिवर्तन की दर के बराबर होता है (न्यूटन का दूसरा नियम); रोकने का समय बढ़ाने से टक्कर का बल घटता है, $F = \Delta p/\Delta t$

BPSC 68th केन्द्राभिमुखी बल किसके लिए जिम्मेदार है?
(a) वस्तु को वृत्ताकार पथ पर गतिमान रखना (b) वस्तु को सीधी रेखा के साथ उड़ाना (c) अंतरिक्ष में वस्तु की स्वतंत्र गति
(d) उपर्युक्त में से एक से अधिक (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं
उत्तर: (a) वस्तु को वृत्ताकार पथ पर गतिमान रखना. केंद्र की ओर लगने वाला अभिकेंद्र बल वस्तु को वृत्ताकार पथ पर गतिमान रखता है

BPSC 68th एक बस सीधे रास्ते पर चल रही है और अचानक दाईं ओर एक तेज मोड़ लेती है। बस में बैठे यात्री
(a) आगे की ओर गिरेंगे (b) बाईं ओर झुकेंगे (c) दाईं ओर झुकेंगे (d) उपर्युक्त में से एक से अधिक (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं
उत्तर: (b) बाईं ओर झुकेंगे. दिशा का जड़त्व: बल लगे बिना कोई वस्तु सीधी रेखा में चलती रहती है

BPSC 70th निम्नलिखित में से कौन-सा एक गैर-संपर्क बल है ?
(a) चुम्बकीय बल (b) घर्षण बल (c) प्रभावी बल (d) इनमें से कोई नहीं
उत्तर: (a) चुम्बकीय बल. चुंबकीय, स्थिरवैद्युत और गुरुत्वाकर्षण बल बिना संपर्क के कार्य करते हैं; घर्षण, अभिलंब बल और संघट्ट बल के लिए भौतिक संपर्क ज़रूरी है

BPSC 71st हम एक लकड़ी के बक्से को 200 न्यूटन बल लगाकर उसे नियत वेग से फर्श पर ढकलते है। सीमान्त घर्षण बल होगा :
(a) 100 न्यूटन (b) 200 न्यूटन (c) 300 न्यूटन (d) 400 न्यूटन
उत्तर: (b) 200 न्यूटन. नियत वेग पर कुल बल शून्य होता है, इसलिए घर्षण बल लगाए गए बल के बराबर होता है

BPSC 71st एक ट्रक विराम अवस्था से किसी पहाड़ी से नीचे की ओर नियत त्वरण से लुढकना शुरू करता है। यह 20 सेकेण्ड में 400 मीटर की दूरी तय करता है। यदि ट्रक का द्रव्यमान 7 टन है तो इस पर लगने वाला बल होगा :
(a) 11000 न्यूटन (b) 12000 न्यूटन (c) 13000 न्यूटन (d) 14000 न्यूटन
उत्तर: (d) 14000 न्यूटन. विराम से एकसमान त्वरण पर तय दूरी $s = \frac{1}{2}at^2$; बल द्रव्यमान और त्वरण के गुणनफल के बराबर है, $F = ma$

स्वयं को परखें (12)

1. डोरी से बँधे पत्थर को क्षैतिज वृत्त में घुमाया जा रहा है और डोरी अचानक टूट जाती है। पत्थर चलेगा
(a) त्रिज्या के अनुदिश बाहर की ओर, वृत्त के केंद्र से दूर (b) उस बिंदु पर वृत्त की स्पर्श रेखा के अनुदिश
(c) त्रिज्या के अनुदिश भीतर, केंद्र की ओर (d) सर्पिल पथ पर

2. समान चाल से दागे गए प्रक्षेप्य के लिए निम्नलिखित में से कौन-सा युग्म समान क्षैतिज परास देता है?
(a) 20° और 40° (b) 30° और 45° (c) 30° और 60° (d) 45° और 90°

3. कारों में एयरबैग चोट मुख्यतः इसलिए कम करते हैं क्योंकि वे
(a) यात्री के संवेग में कुल परिवर्तन घटा देते हैं (b) यात्री को रोकने में लगने वाला समय बढ़ा देते हैं (c) यात्री का जड़त्व बढ़ा देते हैं
(d) यात्री का द्रव्यमान घटा देते हैं

4. रॉकेट बाह्य अंतरिक्ष में त्वरित हो सकता है क्योंकि
(a) वह अंतरिक्ष में मौजूद विरल हवा पर धक्का देता है (b) अंतरिक्ष में गुरुत्व नहीं होता (c) निकास गैसें संवेग को पीछे की ओर ले जाती हैं
(d) अंतरिक्ष में उसे रोकने वाला घर्षण नहीं होता

5. परिमाण के घटते क्रम में व्यवस्थित कीजिए: लोटनिक घर्षण (R), गतिज घर्षण (K), सीमांत घर्षण (L)
(a) R > K > L (b) L > K > R (c) K > L > R (d) L > R > K

6. बाँहें फैलाकर घूमती एक आइस स्केटर अपनी बाँहें भीतर खींच लेती है। कौन-सी राशि स्थिर रहती है?
(a) कोणीय वेग (b) जड़त्व आघूर्ण (c) कोणीय संवेग (d) घूर्णन की गतिज ऊर्जा

7. निम्नलिखित में से कौन-सा छद्म बल है?
(a) अपकेंद्र बल (b) अभिकेंद्र बल (c) घर्षण बल (d) गुरुत्वाकर्षण बल

8. वेग–समय ग्राफ के नीचे का क्षेत्रफल देता है
(a) त्वरण (b) चाल (c) बल (d) विस्थापन

9. बस की छत पर भारी सामान लादना असुरक्षित क्यों है?
(a) इससे गुरुत्व केंद्र ऊपर उठ जाता है (b) इससे टायर और सड़क के बीच घर्षण बढ़ जाता है (c) इससे बस का जड़त्व घट जाता है
(d) इससे बस का गुरुत्व केंद्र नीचे आ जाता है

10. निम्नलिखित कथनों पर विचार कीजिए:
1. बस के तेज़ी से दाईं ओर मुड़ने पर यात्री बाईं ओर झुकते हैं।
2. क्रिया और प्रतिक्रिया बराबर और विपरीत होने के कारण एक-दूसरे को निरस्त कर देती हैं।
3. किसी पिंड पर लगा आवेग उसके संवेग में परिवर्तन के बराबर होता है।
उपर्युक्त कथनों में से कौन-सा/से सही है/हैं?
(a) केवल 1 (b) केवल 2 और 3 (c) केवल 1 और 3 (d) 1, 2 और 3

11. निम्नलिखित कथनों पर विचार कीजिए:
1. सीधे ऊपर फेंकी गई गेंद का उच्चतम बिंदु पर त्वरण शून्य होता है।
2. निर्वात में एक साथ गिराए गए पंख और पत्थर एक साथ धरती पर पहुँचते हैं।
3. बॉल बेयरिंग सर्पी घर्षण की जगह लोटनिक घर्षण लाकर घर्षण घटाते हैं।
उपर्युक्त में से कितने कथन सही हैं?
(a) केवल एक (b) केवल दो (c) सभी तीन (d) कोई भी नहीं

12. सीधी पटरी पर एकसमान चाल से चलती ट्रेन में बैठा यात्री एक सिक्का सीधा ऊपर उछालता है। सिक्का कहाँ गिरेगा?
(a) वापस उसके हाथ में (b) उसके पीछे, डिब्बे के पिछले भाग की ओर (c) उसके आगे, डिब्बे के अगले भाग की ओर
(d) उसके एक ओर बगल में

उत्तर: 1. (b) अभिकेंद्र बल न रहने पर दिशा का जड़त्व उसे स्पर्श रेखा के अनुदिश सीधा ले जाता है। · 2. (c) पूरक कोण (जिनका योग 90° हो) समान परास देते हैं। · 3. (b) $F = \Delta p/\Delta t$; रुकने का समय लंबा होने का अर्थ है कम बल। · 4. (c) रॉकेट प्रणोदन संवेग संरक्षण पर चलता है और उसे किसी बाहरी माध्यम की

ज़रूरत नहीं होती। · 5. (b) सीमांत स्थैतिक घर्षण सबसे अधिक, फिर सर्पी, और लोटनिक सबसे कम होता है। · 6. (c) कोई बाहरी बल-आघूर्ण नहीं, इसलिए कोणीय संवेग संरक्षित रहता है; घूर्णन तेज़ हो जाता है। · 7. (a) अपकेंद्र बल केवल घूमते हुए निर्देश तंत्र में प्रकट होता है। · 8. (d) वेग × समय = विस्थापन; ढाल त्वरण देता है। · 9. (a) ऊँचे गुरुत्व केंद्र के कारण कम झुकाव पर ही भार-रेखा आधार से बाहर चली जाती है। · 10. (c) यात्री सीधे चलते रहना चाहते हैं (दिशा का जड़त्व) और आवेग = F × t = Δp; क्रिया और प्रतिक्रिया अलग-अलग पिंडों पर लगती हैं, इसलिए कभी निरस्त नहीं होतीं। · 11. (b) कथन 2 और 3 सही हैं; शीर्ष पर केवल ऊर्ध्वाधर वेग शून्य होता है, त्वरण तब भी g नीचे की ओर रहता है। · 12. (a) सिक्का ट्रेन की आगे की चाल बनाए रखता है (गति का जड़त्व) और यात्री के साथ आगे बढ़ता है, जैसे सीधा उड़ते विमान से छोड़ा गया बम विमान के नीचे ही रहता है।

अध्याय 3

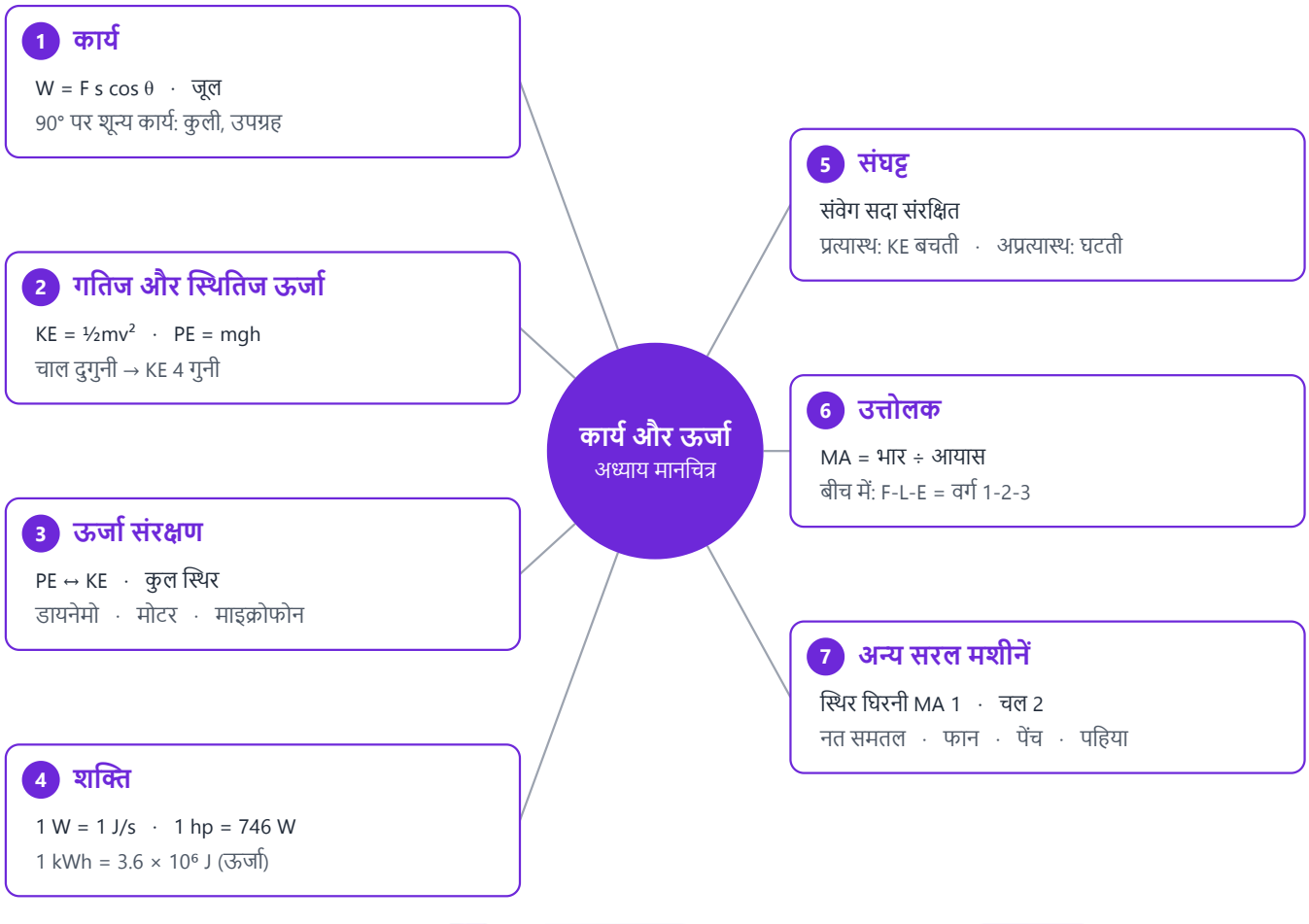
कार्य, ऊर्जा, शक्ति और सरल मशीनें

परीक्षाओं में कार्य के सरल प्रश्न (W = F × s), शून्य कार्य की स्थितियाँ, उपकरणों में ऊर्जा रूपांतरण, मुक्त पतन में ऊर्जा संरक्षण, अश्वशक्ति और kWh, तथा उत्तोलक के वर्ग और उनके उदाहरण पूछे जाते हैं।

पिछले प्रश्नपत्रों में 3 बार पूछा गया: BPSC 3

≈ 27 min पढ़ने में ≈ 4 min ★★★ दोहराने में

दोहराएँ: दिन 1 | दिन 3 | दिन 7 | दिन 21



रिवीज़न कार्ड

1. कार्य $W = F \times s \times \cos\theta$; मात्रक जूल। बल गति की दिशा के लंबवत हो तो कार्य शून्य: समतल भूमि पर बोझ लेकर चलता कुली, वृत्ताकार कक्षा में उपग्रह।
2. न हिलने वाली दीवार को धकेलने में कार्य शून्य होता है, चाहे थकान कितनी भी हो।
3. $KE = \frac{1}{2}mv^2 = p^2/2m$; वेग (या संवेग) दुगुना करने पर KE चार गुनी हो जाती है। PE = mgh।
4. ऊर्जा न कभी बनती है, न नष्ट होती है; गिरते पिंड की PE, KE में बदलती है और कुल ऊर्जा वही रहती है।
5. घर्षण गतिज ऊर्जा को ऊष्मा में बदलता है।
6. डायनेमो: यांत्रिक → विद्युत; मोटर: विद्युत → यांत्रिक; सेल: रासायनिक → विद्युत; माइक्रोफोन: ध्वनि → विद्युत; लाउडस्पीकर: विद्युत → ध्वनि।
7. शक्ति = कार्य ÷ समय; 1 W = 1 J/s; 1 अश्वशक्ति = 746 W।
8. 1 kWh (बिजली की एक यूनिट) = 3.6×10^6 J; यह ऊर्जा का मात्रक है, शक्ति का नहीं।
9. प्रत्यास्थ संघट्ट में संवेग और KE दोनों संरक्षित; अप्रत्यास्थ में केवल संवेग।
10. उत्तोलक: वर्ग 1-2-3 में बीच वाली चीज़ F-L-E है (आलंब, भार, आयास)।
11. वर्ग II के उत्तोलक में सदा MA > 1 (सरौता, ठेला-गाड़ी); वर्ग III में सदा MA < 1 (चिमटा, अग्रबाहु)।
12. मशीन बल या चाल बढ़ा सकती है, ऊर्जा कभी नहीं; दक्षता सदा 100% से कम।

कार्य

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

जूल = 10^7 अर्ग

90° पर शून्य कार्य

ऋणात्मक कार्य

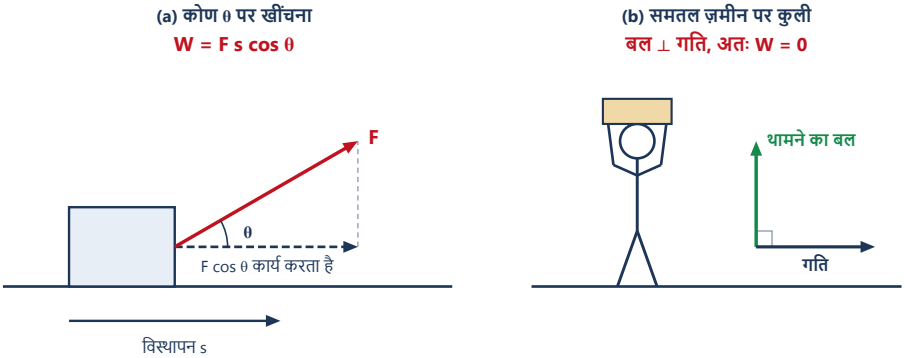
भौतिकी में कार्य (Work) तभी होता है जब बल किसी वस्तु को बल की दिशा में **खिसकाता** है। केवल मेहनत कार्य नहीं है: भारी थैला स्थिर पकड़े रहना, या न हिलने वाली दीवार को धकेलना आपको थकाता है, पर थैले या दीवार पर कोई कार्य नहीं होता।

★★★ **कार्य** = बल × बल की दिशा में विस्थापन (Displacement): **$W = F\,s\cos\theta$**। SI मात्रक **जूल (Joule)** (1 J = 1 N × 1 m); यह **अदिश (Scalar)** राशि है।

★★ 1 जूल = **10^7 अर्ग (erg)** (CGS मात्रक)।

★★★ **शून्य कार्य** तब होता है जब बल और विस्थापन के बीच **90°** का कोण हो या विस्थापन ही न हो।

★★ **धनात्मक कार्य (Positive work)**: बल गति की दिशा में (गाड़ी खींचता घोड़ा)। **ऋणात्मक कार्य (Negative work)**: बल गति के विरुद्ध (फिसलते डिब्बे पर घर्षण, ऊपर फेंकी गेंद पर गुरुत्व, कार पर ब्रेक)।



(a) बल का केवल गति की दिशा वाला भाग, F cos θ, कार्य करता है (यहाँ θ = 30°, अतः F cos θ = 0.87 F)। (b) कुली का थामने वाला बल ऊर्ध्वाधर है जबकि बोझ बगल की ओर चलता है: 90° पर cos θ = 0, इसलिए बोझ पर कोई कार्य नहीं होता।

शून्य कार्य की प्रसिद्ध स्थितियाँ ★★★

स्थिति	कार्य शून्य क्यों
सिर पर बोझ रखकर समतल भूमि पर चलता कुली	वह बोझ को ऊर्ध्वाधर बल से थामे है; बोझ क्षैतिज दिशा में चलता है (90°)। कार्य केवल बोझ उठाते समय होता है (mgh)।
वृत्ताकार कक्षा में उपग्रह	गुरुत्व पृथ्वी के केंद्र की ओर है, गति कक्षा के साथ-साथ (90°), इसलिए चाल स्थिर रहती है
न हिलने वाली दीवार या खड़े ट्रक को धकेलना	कोई विस्थापन नहीं
सूटकेस को स्थिर पकड़े रहना	कोई विस्थापन नहीं (मांसपेशियाँ थकती हैं, पर सूटकेस पर कार्य नहीं होता)
लोलक की डोरी में तनाव; घुमाए जा रहे पत्थर पर अभिकेंद्र बल	डोरी के साथ लगा बल सदा गति से 90° पर रहता है

आसपास देखें: बैलों की एक जोड़ी 15 m लंबे खेत में हल पर 140 N का बल लगाती है। कार्य = 140 N × 15 m = **2100 J**।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** समतल सड़क पर सिर पर बोझ लेकर चलता व्यक्ति **गुरुत्व के विरुद्ध कोई कार्य नहीं** करता, भले ही वह थक जाए। थकान शारीरिक मेहनत है, भौतिकी वाला कार्य नहीं।

झटपट जाँच

1. सिर पर बोझ लेकर समतल ज़मीन पर चलता कुली गुरुत्व के विरुद्ध कितना कार्य करता है?
2. वृत्ताकार कक्षा में उपग्रह पर गुरुत्व द्वारा किया गया कार्य?
3. फिसलते बक्से पर घर्षण धनात्मक कार्य करता है या ऋणात्मक?

उत्तर: 1. शून्य (बल ⊥ गति) · 2. शून्य · 3. ऋणात्मक

गतिज और स्थितिज ऊर्जा

KE = ½mv²

KE = p²/2m

2 × v → 4 × KE

PE = mgh

प्रत्यास्थ PE

ऊर्जा कार्य करने की क्षमता है और इसका मात्रक भी जूल है। गतिमान वस्तु अपनी गति के कारण कार्य कर सकती है (**गतिज ऊर्जा, Kinetic energy**); ऊपर उठाई गई या खींची गई वस्तु अपनी स्थिति या आकार के कारण कार्य कर सकती है (**स्थितिज ऊर्जा, Potential energy**)।

★★★ **गतिज ऊर्जा** KE = ½mv²। चूँकि संवेग (Momentum) p = mv, इसलिए **KE = p²/2m**। KE कभी ऋणात्मक नहीं होती।

★★★ **वेग दुगुना → KE 4 गुनी** (KE ∝ v²)। यदि **संवेग दुगुना** हो (द्रव्यमान वही), तो KE भी **4 गुनी** हो जाती है।

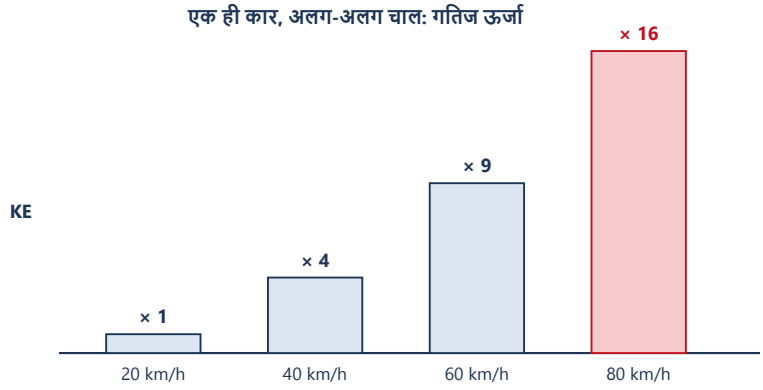
★★ यदि **KE दुगुनी** हो, तो संवेग **√2 गुना** हो जाता है। संवेग 50% बढ़े तो KE 125% बढ़ती है (1.5² = 2.25)।

★★ **समान KE** वाली दो वस्तुओं में **भारी** वस्तु का संवेग अधिक होता है। **समान संवेग** वाली दो वस्तुओं में **हल्की** वस्तु की KE अधिक होती है (गोली बनाम बंदूक)।

★★★ **गुरुत्वीय स्थितिज ऊर्जा** PE = mgh; इसे किसी चुने हुए संदर्भ तल से मापा जाता है।

★★ **प्रत्यास्थ स्थितिज ऊर्जा (Elastic potential energy)** खींची या दबाई गई वस्तु में संचित होती है: घड़ी की चाबी भरी कमानी, तना हुआ धनुष, गुलेल, खींचा हुआ रबर बैंड।

★ संचित ऊर्जा के अन्य रूप: भोजन, ईंधन और सेल में **रासायनिक** ऊर्जा; नाभिक में **नाभिकीय** ऊर्जा; बाँध के पीछे रुके पानी की ऊर्जा।



एक ही कार 20, 40, 60 और 80 km/h पर: गतिज ऊर्जा चाल के वर्ग के अनुपात में बढ़ती है, 1 : 4 : 9 : 16। पट्टियाँ पैमाने पर बनी हैं।

याद रखें: चाल का वर्ग होता है, इसलिए तेज़ चाल जान लेती है: 80 km/h पर चलती कार में उसी कार की 40 km/h वाली KE से चार गुनी KE होती है और उसे रुकने के लिए लगभग चार गुनी दूरी चाहिए।

⚠ **परीक्षा में सावधान: द्रव्यमान** दुगुना करने से KE केवल दुगुनी होती है; **चाल** दुगुनी करने से चार गुनी। KE और संवेग एक नहीं हैं: संवेग सदिश है, KE अदिश।

झटपट जाँच

1. वेग दुगुना हो जाता है। गतिज ऊर्जा कितनी गुनी हो जाती है?
2. समान संवेग, अलग-अलग द्रव्यमान: किसकी KE अधिक?
3. खींचे हुए धनुष या चाबी भरी स्प्रिंग में संचित ऊर्जा को क्या कहते हैं?

उत्तर: 1. 4 गुनी · 2. हल्की वस्तु की · 3. प्रत्यास्थ स्थितिज ऊर्जा

ऊर्जा संरक्षण और ऊर्जा रूपांतरण

ऊर्जा संरक्षण

मुक्त पतन: PE → KE

लोलक

घर्षण → ऊष्मा

डायनेमो बनाम मोटर

ऊर्जा केवल रूप बदलती है; कुल ऊर्जा कभी नहीं बदलती। जब कोई वस्तु ऊर्जा खोती लगे, तो देखिए वह कहाँ गई: प्रायः घर्षण से ऊष्मा, कुछ ध्वनि, कुछ प्रकाश। मशीनें और बिजलीघर रूपांतरणों की शृंखला भर हैं।

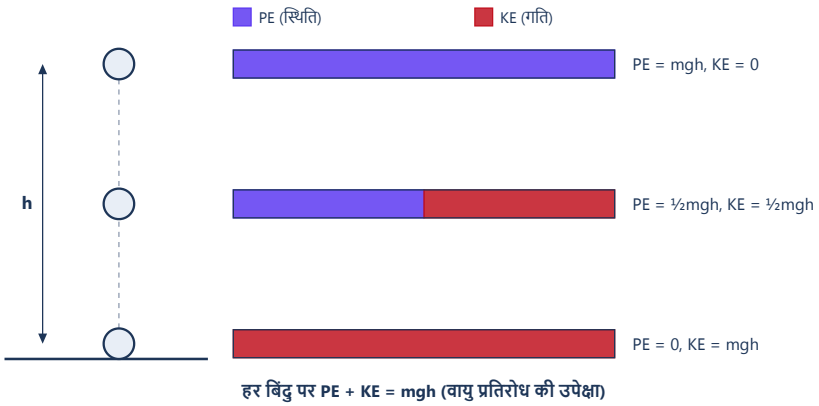
★★★ **ऊर्जा संरक्षण का नियम (Law of conservation of energy)**: ऊर्जा न तो उत्पन्न की जा सकती है न नष्ट, केवल एक रूप से दूसरे रूप में बदली जा सकती है; विलगित निकाय की कुल ऊर्जा स्थिर रहती है।

★★★ **मुक्त पतन (Free fall)** में PE लगातार घटती है और KE उतनी ही बढ़ती है; कुल यांत्रिक ऊर्जा (KE + PE) वही रहती है, इसलिए नियम का **उल्लंघन नहीं** होता।

★★ **झूलता लोलक (Pendulum)**: दोनों सिरों पर PE अधिकतम और KE शून्य; सबसे निचली, माध्य स्थिति पर KE अधिकतम (सबसे तेज़ चाल)।

★★★ **घर्षण (Friction) गतिज ऊर्जा को ऊष्मा में बदलता है**; इसी कारण यांत्रिक ऊर्जा खोती लगती है और ब्रेक, टायर और उल्काएँ गरम हो जाते हैं।

★ आइंस्टीन (Einstein) का **$E = mc^2$** बताता है कि द्रव्यमान भी ऊर्जा का एक रूप है; सूर्य और नाभिकीय रिएक्टर द्रव्यमान की थोड़ी-सी मात्रा को विशाल ऊर्जा में बदलते हैं।



ऊँचाई h से गिराई गई गेंद, पैमाने पर बनी। आधे रास्ते पर उसकी आधी स्थितिज ऊर्जा गतिज ऊर्जा बन चुकी होती है; ज़मीन छूने से ठीक पहले पूरी। हर बिंदु पर PE + KE = mgh।

सामान्य उपकरणों में ऊर्जा रूपांतरण ★★★

उपकरण / प्रक्रिया	किस ऊर्जा को	किसमें बदलता है
डायनेमो / विद्युत जनित्र (Generator)	यांत्रिक ऊर्जा	विद्युत ऊर्जा
विद्युत मोटर (पंखा, मिक्सर, पंप)	विद्युत ऊर्जा	यांत्रिक ऊर्जा
विद्युत सेल / बैटरी (डिस्चार्ज होते समय)	रासायनिक ऊर्जा	विद्युत ऊर्जा
बैटरी चार्ज करना	विद्युत ऊर्जा	रासायनिक ऊर्जा
माइक्रोफोन	ध्वनि ऊर्जा	विद्युत ऊर्जा
लाउडस्पीकर	विद्युत ऊर्जा	ध्वनि ऊर्जा
सौर (प्रकाश-वोल्टीय) सेल	प्रकाश ऊर्जा	विद्युत ऊर्जा
विद्युत बल्ब, ट्यूबलाइट, LED	विद्युत ऊर्जा	प्रकाश (और ऊष्मा)
विद्युत हीटर, इस्त्री, गीज़र	विद्युत ऊर्जा	ऊष्मा ऊर्जा
भाप इंजन, ताप बिजलीघर की टरबाइन	ऊष्मा ऊर्जा	यांत्रिक ऊर्जा
कार का इंजन (पेट्रोल या डीज़ल)	ईंधन की रासायनिक ऊर्जा	ऊष्मा, फिर यांत्रिक ऊर्जा
तापयुग्म (Thermocouple)	ऊष्मा ऊर्जा	विद्युत ऊर्जा
प्रकाश संश्लेषण	प्रकाश ऊर्जा	रासायनिक ऊर्जा (ग्लूकोज़)
जलती मोमबत्ती	रासायनिक ऊर्जा	प्रकाश और ऊष्मा
जलविद्युत संयंत्र	संचित जल की स्थितिज ऊर्जा	गतिज, फिर विद्युत ऊर्जा
नाभिकीय रिएक्टर	नाभिकीय ऊर्जा	ऊष्मा, फिर विद्युत ऊर्जा

हिमाचल प्रदेश में सतलुज नदी पर भाखड़ा बाँध (Bhakra Dam)। बाँध के पीछे ऊँचाई पर रुके पानी में स्थितिज ऊर्जा है; वह पाइपों से नीचे बाँध के तल पर बने बिजलीघर की टर्बाइनों तक तेज़ी से आता है (गतिज ऊर्जा), और जनित्र उसे विद्युत ऊर्जा में बदलते हैं, जिसे पहाड़ियों पर खड़े ट्रांसमिशन टावर दूर ले जाते हैं। चित्र: KawalSingh, Wikimedia Commons, public domain

याद रखें: डायनेमो और मोटर दर्पण-जुड़वाँ हैं: **D**ynamo **D**elivers electricity from motion (डायनेमो गति से बिजली देता है), **M**otor **M**oves from electricity (मोटर बिजली से चलती है)। ध्वनि के लिए माइक और स्पीकर वैसे ही जुड़वाँ हैं: Mic Makes current (माइक धारा बनाता है), Speaker Speaks (स्पीकर बोलता है)।

⚠ **परीक्षा में सावधान: डायनेमो** ऊर्जा बनाता नहीं; वह यांत्रिक कार्य को बिजली में बदलता है। डायनेमो और मोटर, या माइक्रोफोन और लाउडस्पीकर को आपस में बदल देने वाले विकल्प सामान्य जाल हैं।

झटपट जाँच

1. डायनेमो _____ ऊर्जा को _____ ऊर्जा में बदलता है।
2. गेंद मुक्त रूप से गिरती है। PE + KE का क्या होता है?
3. माइक्रोफोन या लाउडस्पीकर: ध्वनि को विद्युत ऊर्जा में कौन बदलता है?

उत्तर: 1. यांत्रिक → विद्युत · 2. वही रहता है · 3. माइक्रोफोन

शक्ति और दक्षता

P = W/t

1 hp = 746 W

kWh = ऊर्जा

3.6 × 10^6 J

दक्षता < 100%

दो लोग एक ही बाल्टी को एक ही सीढ़ियों पर चढ़ाएँ तो कार्य बराबर होता है, पर जो इसे जल्दी करता है वह अधिक **शक्तिशाली** है। शक्ति (Power) यह है कि कार्य कितनी तेज़ी से होता है या ऊर्जा कितनी तेज़ी से खर्च होती है।

★★★ **शक्ति** P = कार्य ÷ समय = ऊर्जा ÷ समय; साथ ही P = बल × वेग। SI मात्रक **वाट (Watt)** (1 W = 1 J/s), जेम्स वाट (James Watt) के नाम पर।

★★★ **1 अश्वशक्ति (hp) = 746 W** (≈ 0.75 kW)।

★★ 1 किलोवाट (kW) = 1000 W; 1 मेगावाट (MW) = 10^6 W; 1 गीगावाट (GW) = 10^9 W।

★★★ **किलोवाट-घंटा (kWh) ऊर्जा का** व्यावसायिक **मात्रक** है: 1 kWh = 1000 W × 3600 s = **3.6 × 10^6 J**। बिजली के बिल की एक यूनिट यही एक kWh है।

★★ खर्च ऊर्जा (kWh) = शक्ति (kW) × घंटे: 100 W का बल्ब 10 घंटे में 1 kWh खर्च करता है; 2 kW का गीज़र 30 मिनट में 1 kWh।

★★★ **दक्षता (Efficiency)** = उपयोगी निर्गत ÷ निवेश × 100%। वास्तविक मशीनों में यह सदा **100% से कम** होती है, क्योंकि कुछ ऊर्जा ऊष्मा, ध्वनि और घर्षण में खो जाती है।

★ पुराना फिलामेंट बल्ब अपनी बिजली का बहुत छोटा भाग (10% से काफ़ी कम) ही प्रकाश में बदलता है, बाकी ऊष्मा में; LED उतनी ही शक्ति में कहीं अधिक प्रकाश देती है।

ऊर्जा = शक्ति × समय, यानी हर आयत का क्षेत्रफल, पैमाने पर बना। 100 W का बल्ब 10 घंटे, 1 kW का हीटर 1 घंटा और 2 kW का गीज़र आधा घंटा, हर एक ठीक 1 kWh खर्च करता है, यानी बिल की एक यूनिट।

⚠ **परीक्षा में सावधान: kWh ऊर्जा है, kW शक्ति।** वाट शक्ति का मात्रक है, जूल और kWh ऊर्जा के मात्रक हैं, और अश्वशक्ति शक्ति है। विद्युत ऊर्जा का मात्रक पूछा जाए तो उत्तर kWh है।

☑ झटपट जाँच

1. 1 अश्वशक्ति = कितने वाट?
2. kWh शक्ति का मात्रक है या ऊर्जा का? जूल में इसका मान?
3. कोई वास्तविक मशीन 100% दक्ष क्यों नहीं होती?

उत्तर: 1. 746 W · 2. ऊर्जा; 3.6×10^6 J · 3. कुछ ऊर्जा ऊष्मा, ध्वनि और घर्षण में खो जाती है

संघट्ट (टक्कर)

संवेग सदा संरक्षित

प्रत्यास्थ: KE बची

अप्रत्यास्थ: KE घटी

e = 1 / 0

बराबर द्रव्यमान: वेग की अदला-बदली

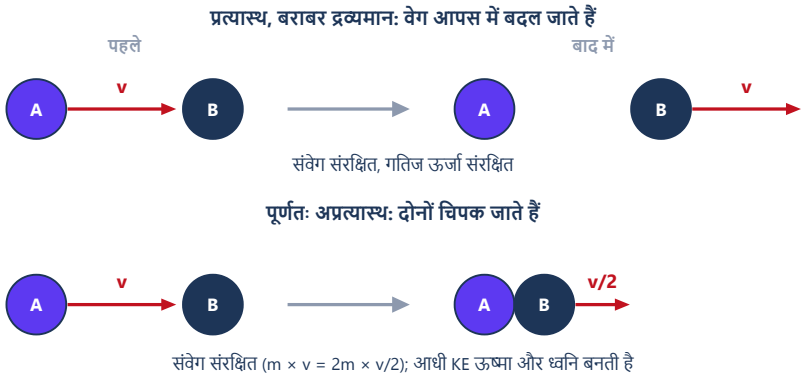
हर संघट्ट (Collision) में वस्तुएँ एक-दूसरे पर बराबर और विपरीत बल लगाती हैं, इसलिए **संवेग सदा संरक्षित** रहता है। जो बच नहीं भी सकती वह है गतिज ऊर्जा: उसका कुछ भाग ऊष्मा, ध्वनि या पिचकन में बदल सकता है।

प्रत्यास्थ बनाम अप्रत्यास्थ संघट्ट ★★

लक्षण	प्रत्यास्थ (Elastic)	अप्रत्यास्थ (Inelastic)	पूर्णतः अप्रत्यास्थ
संवेग	संरक्षित	संरक्षित	संरक्षित
गतिज ऊर्जा	संरक्षित	आंशिक हानि (ऊष्मा, ध्वनि, विरूपण)	अधिकतम हानि
संघट्ट के बाद	वस्तुएँ उछलकर अलग	वस्तुएँ अलग हो जाती हैं	वस्तुएँ आपस में चिपक जाती हैं
उदाहरण	गैस के अणुओं और परमाणुओं की टक्कर; स्टील या हाथीदाँत की गेंदों में लगभग ऐसा	अधिकांश वास्तविक टक्करें: हर बार कम उछलती गेंद, दुर्घटना में कारें	लकड़ी के गुटके में धँसती गोली; दीवार पर चिपकता कीचड़
प्रत्यवस्थान गुणांक (e)	1	0 और 1 के बीच	0

★★ **दो बराबर द्रव्यमानों के** आमने-सामने के **प्रत्यास्थ संघट्ट** में वे **वेग आपस में बदल लेते हैं**: चलती गेंद एकदम रुक जाती है और जिसे वह टकराती है वह चल पड़ती है (न्यूटन का पालना (Newton's cradle), बिलियर्ड की एक गेंद वैसी ही दूसरी गेंद से सीधी टकराए)।

★ हर संघट्ट में कुल ऊर्जा संरक्षित रहती है; अप्रत्यास्थ संघट्ट में केवल **यांत्रिक (गतिज)** भाग खो सकता है।



दो बराबर गेंदें, तीर की लंबाई = चाल, पैमाने पर बनी। ऊपर: प्रत्यास्थ संघट्ट में चलती गेंद रुक जाती है और दूसरी उसी चाल से चल पड़ती है। नीचे: जब वे चिपक जाती हैं तो आधी चाल से चलती हैं; संवेग वही रहता है, पर आधी गतिज ऊर्जा ऊष्मा और ध्वनि बन जाती है।

याद रखें: Elastic = Everything kept (प्रत्यास्थ = सब कुछ बचा: संवेग और KE)। **Inelastic = Instead heat** (अप्रत्यास्थ = बदले में ऊष्मा: संवेग बचा, KE का कुछ भाग ऊष्मा और ध्वनि में बदला)।

झटपट जाँच

1. हर संघट्ट में कौन-सी राशि संरक्षित रहती है?
2. बराबर द्रव्यमानों के आमने-सामने के प्रत्यास्थ संघट्ट में उनके वेगों का क्या होता है?
3. गोली लकड़ी के गुटके में धँस जाती है। यह कैसा संघट्ट है?

उत्तर: 1. संवेग · 2. वेग आपस में बदल जाते हैं · 3. पूर्णतः अप्रत्यास्थ

सरल मशीनें और उत्तोलक

MA = भार ÷ आयास

VR

दक्षता = MA/VR

FLE: वर्ग 1-2-3

वर्ग III: MA < 1

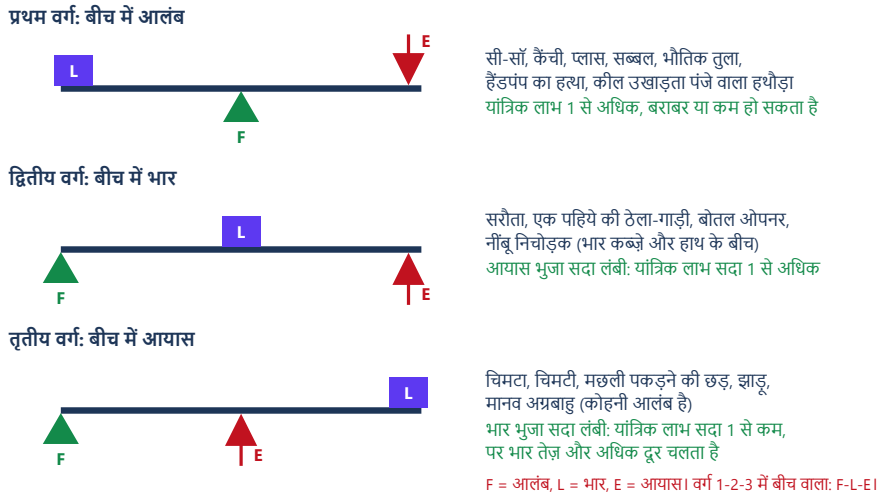
सरल मशीन (Simple machine) थोड़े आयास से बड़ा भार हिलाने देती है, या हाथ की छोटी हरकत को भार की बड़ी, तेज़ हरकत में बदल देती है। यह जितना कार्य लेती है उससे अधिक कभी नहीं देती: बल में जो लाभ मिलता है उसकी कीमत दूरी में चुकानी पड़ती है।

★★★ **यांत्रिक लाभ (Mechanical advantage, MA)** = भार ÷ आयास। MA > 1 का अर्थ है मशीन बल को बढ़ाती है।

★★ **वेग अनुपात (Velocity ratio, VR)** = आयास द्वारा चली दूरी ÷ भार द्वारा चली दूरी। **दक्षता = MA ÷ VR × 100%**।

★★ छह पारंपरिक सरल मशीनें: **उत्तोलक, घिरनी, पहिया और धुरी, नत समतल, फान, पेंच**।

★★★ **उत्तोलक (Lever)** एक दृढ़ छड़ है जो एक स्थिर बिंदु, **आलंब (Fulcrum, F)**, के चारों ओर घूमती है। उत्तोलक का नियम: भार × भार भुजा = आयास × आयास भुजा। इसका वर्ग इस पर निर्भर करता है कि बीच में क्या है।



उत्तोलक के तीन वर्ग: बीच में क्या है (आलंब, भार या आयास), यही वर्ग और यांत्रिक लाभ तय करता है।

उत्तोलक के वर्ग ★★★

वर्ग	बीच में	MA	उदाहरण
I	आलंब	1 से अधिक, बराबर या कम	सी-सॉ, कैंची, प्लास, सब्बल, भौतिक तुला, हैंडपंप का हत्था, कील उखाड़ता पंजे वाला हथौड़ा
II	भार	सदा 1 से अधिक	सरौता, एक पहिये की ठेला-गाड़ी, बोतल ओपनर, नींबू निचोड़क
III	आयास	सदा 1 से कम (चाल और दूरी में लाभ)	चिमटा, चिमटी, मछली पकड़ने की छड़, झाड़ू, मानव अग्रबाहु (कोहनी = आलंब, बाइसेप्स = आयास)

याद रखें: FLE, 1-2-3: बीच वाली चीज़ वर्ग 1 में **F**ulcrum (आलंब), वर्ग 2 में **L**oad (भार), वर्ग 3 में **E**ffort (आयास) है। इसे flee पढ़ें: वर्ग के क्रम में F-L-E।

⚠ **परीक्षा में सावधान: भौतिक तुला** वर्ग I का उत्तोलक है जिसका MA = 1 है। **ठेला-गाड़ी** वर्ग II की है (पहिया आलंब, भार बीच में)। चिमटा और अग्रबाहु वर्ग III के हैं और इनका MA 1 से कम है; ये बल देकर चाल और पहुँच पाते हैं।

झटपट जाँच

1. वर्ग II के उत्तोलक में बीच में क्या होता है? एक उदाहरण दें।
2. किस वर्ग के उत्तोलक का MA सदा 1 से कम होता है?
3. भौतिक तुला किस वर्ग का उत्तोलक है?

उत्तर: 1. भार: सरौता, ठेला-गाड़ी · 2. वर्ग III (चिमटा, अग्रबाहु) · 3. वर्ग I, MA = 1

घिरनी, नत समतल, फान, पेंच, पहिया और धुरी

स्थिर घिरनी: MA 1
चल घिरनी: MA 2
नत समतल
फान
पेंच
पहिया और धुरी

ये सभी मशीनें उतने ही कार्य को लंबे रास्ते पर फैला देती हैं। ढलान (रैंप) के सहारे भारी ड्रम को सीधा उठाने के बजाय धीरे-धीरे ऊपर धकेला जा सकता है; पेंच एक छड़ पर लपेटा हुआ ढलान ही है।

★★★ **एकल स्थिर घिरनी (Fixed pulley)**: MA = 1 (आदर्श)। यह बल में लाभ नहीं देती पर आयास की **दिशा बदल** देती है ताकि खींचना सुविधाजनक हो: झंडा फहराना, कुएँ से पानी खींचना।

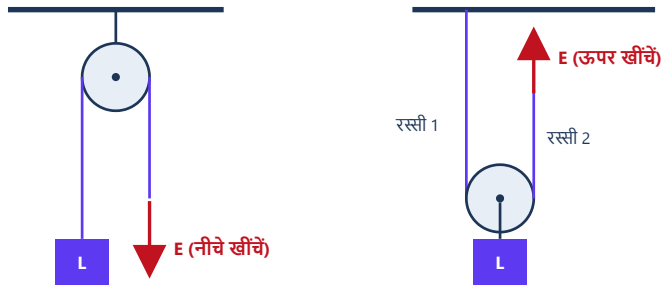
★★ **एकल चल घिरनी (Movable pulley)**: MA = 2; आयास भार से दुगुनी दूरी चलता है। **घिरनी-समूह (Block and tackle)** में MA = भार थामने वाले रस्सी-भागों की संख्या (क्रेन, लिफ्ट)।

★★ **नत समतल (Inclined plane)**: MA = ढलान की लंबाई ÷ ऊँचाई। ट्रक लादने के रैंप, व्हीलचेयर रैंप और घुमावदार पहाड़ी (घाट) सड़कें नत समतल हैं।

★★ **फान (Wedge)**: पीठ से पीठ जुड़े दो नत समतल; यह धक्के को बगल की ओर चीरने वाले बल में बदलता है: कुल्हाड़ी, चाकू, छेनी, कील, हल का फाल।

★★ **पेंच (Screw)**: बेलन पर लपेटा गया नत समतल: स्क्रू जैक (कार उठाता है), बोल्ट, जार के ढक्कन, घुमावदार सीढ़ियाँ।

★★ **पहिया और धुरी (Wheel and axle)**: छोटी धुरी से जुड़ा बड़ा पहिया; MA = पहिये की त्रिज्या ÷ धुरी की त्रिज्या: स्टीयरिंग व्हील, पेचकस, दरवाज़े का हत्था, कुएँ की चरखी।



एकल स्थिर घिरनी
यांत्रिक लाभ = 1: बल में लाभ नहीं, केवल सुविधाजनक दिशा
झंडा फहराना, कुएँ से पानी खींचना

एकल चल घिरनी
रस्सी के दो भाग भार बाँटते हैं: यांत्रिक लाभ = 2, पर रस्सी दुगुनी खींचें
घिरनी-समूह: यांत्रिक लाभ = भार थामने वाली रस्सियाँ

स्थिर घिरनी केवल खींचने की दिशा बदलती है; चल घिरनी भार को रस्सी के दो भागों में बाँटकर आयास आधा कर देती है।

आसपास देखें: शिमला (Shimla) या दार्जिलिंग (Darjeeling) की पहाड़ी सड़कें सीधी चढ़ने के बजाय टेढ़ी-मेढ़ी चलती हैं: लंबी, हल्की ढलान एक नत समतल है जिससे वाहन कम बल लगाकर चढ़ जाते हैं।

झटपट जाँच

1. एकल स्थिर घिरनी से क्या लाभ मिलता है?
2. एकल चल घिरनी का यांत्रिक लाभ?
3. पेंच एक नत समतल है जो _____ ।

उत्तर: 1. केवल सुविधाजनक दिशा (MA = 1) · 2. 2 · 3. बेलन पर लपेटा गया है

पिछले वर्षों में पूछे गए प्रश्न (3)

BPSC 68th निम्नलिखित में से किस ऊर्जा परिवर्तन में घर्षण बल शामिल होता है?
(a) स्थितिज ऊर्जा से ध्वनि ऊर्जा (b) रासायनिक ऊर्जा से ऊष्मा ऊर्जा (c) गतिज ऊर्जा से ऊष्मा ऊर्जा (d) उपर्युक्त में से एक से अधिक
(e) उपर्युक्त में से कोई नहीं
उत्तर: (c) गतिज ऊर्जा से ऊष्मा ऊर्जा. घर्षण गतिज ऊर्जा को ऊष्मा में बदलता है

BPSC 71st मुक्त रूप से गिरते हुये पिण्ड की स्थितिज ऊर्जा लगातार कम होती जाती है।
(a) ऊर्जा संरक्षण सिद्धान्त का उल्लंघन है। (b) ऊर्जा संरक्षण सिद्धान्त का उल्लंघन नहीं है। (c) गुरूत्वाकर्षण बल का उल्लंघन है।
(d) गुरूत्वाकर्षण बल का उल्लंघन नही है।
उत्तर: (b) ऊर्जा संरक्षण सिद्धान्त का उल्लंघन नहीं है।. मुक्त पतन में घटती स्थितिज ऊर्जा गतिज ऊर्जा बनती है; कुल ऊर्जा संरक्षित रहती है

BPSC 71st बेलों की एक जोड़ी खेत जोतते समय हल पर 140 न्यूटन का बल लगाती है। जोता गया खेत 15 मीटर लम्बा है। खेत की लम्बाई को जोतने में किया गया कार्य :
(a) 1900 जूल (b) 2000 जूल (c) 2100 जूल (d) 2200 जूल
उत्तर: (c) 2100 जूल. किया गया कार्य = बल × बल की दिशा में विस्थापन; इसका मात्रक जूल है

स्वयं को परखें (11)

1. किसी वस्तु का संवेग दुगुना कर दिया जाए, तो उसकी गतिज ऊर्जा हो जाती है
(a) आठ गुनी (b) चार गुनी (c) आधी (d) अपरिवर्तित

2. किस स्थिति में बताए गए बल द्वारा किया गया कार्य शून्य है?
(a) मुक्त रूप से गिरती गेंद पर गुरुत्व (b) फ़र्श पर फिसलकर रुकते भारी डिब्बे पर घर्षण (c) वृत्ताकार कक्षा में उपग्रह पर गुरुत्व
(d) त्वरित होती कार पर इंजन का बल

3. एक किलोवाट-घंटा बराबर है
(a) 3.6×10^5 J (b) 3.6×10^6 J (c) 1000 J (d) 746 J

4. कौन-सा उपकरण ध्वनि ऊर्जा को विद्युत ऊर्जा में बदलता है?
(a) लाउडस्पीकर (b) माइक्रोफोन (c) विद्युत मोटर (d) डायनेमो

5. सरौते में निम्नलिखित में से कौन अन्य दोनों के बीच होता है?
(a) आलंब (b) आयास (c) भार (d) कोई नहीं, तीनों एक ही बिंदु पर हैं

6. अप्रत्यास्थ संघट्ट के बारे में कौन-सा कथन सही है?
(a) संवेग और गतिज ऊर्जा दोनों संरक्षित रहते हैं (b) न संवेग संरक्षित रहता है न गतिज ऊर्जा (c) गतिज ऊर्जा संरक्षित रहती है पर संवेग नहीं
(d) संवेग संरक्षित रहता है पर गतिज ऊर्जा नहीं

7. हथेली में भार उठाती मानव अग्रबाहु किसका उदाहरण है?
(a) वर्ग I का उत्तोलक (b) वर्ग III का उत्तोलक (c) वर्ग II का उत्तोलक (d) पहिया और धुरी तंत्र

8. 2 hp की एक मोटर 1 घंटा चलती है। वह लगभग कितनी ऊर्जा खर्च करती है?
(a) 1.5 kWh (b) 2 kWh (c) 0.75 kWh (d) 746 kWh

9. निम्नलिखित कथनों पर विचार कीजिए:
1. सिर पर बोझ लेकर समतल प्लेटफ़ॉर्म पर चलता कुली गुरुत्व के विरुद्ध कोई कार्य नहीं करता।
2. फिसलकर रुकते बक्से पर घर्षण ऋणात्मक कार्य करता है।
3. किलोवाट-घंटा शक्ति का मात्रक है।
उपर्युक्त कथनों में से कौन-सा/से सही है/हैं?
(a) केवल 1 और 2 (b) केवल 2 और 3 (c) केवल 1 और 3 (d) 1, 2 और 3

10. निम्नलिखित युग्मों पर विचार कीजिए:
युक्ति या प्रक्रिया : ऊर्जा परिवर्तन
1. तापयुग्म : ऊष्मा से विद्युत
2. बैटरी चार्ज करना : विद्युत से रासायनिक
3. प्रकाश संश्लेषण : प्रकाश से रासायनिक
उपर्युक्त में से कितने युग्म सही सुमेलित हैं?
(a) केवल एक (b) केवल दो (c) सभी तीन (d) कोई भी नहीं

11. एक्सप्रेसवे पर एक कार की चाल 40 km/h से बढ़कर 80 km/h हो जाती है। उतने ही ब्रेक बल से, पहले की तुलना में अब वह रुकने से पहले लगभग कितनी दूरी तय करेगी?
(a) उतनी ही दूरी (b) दोगुनी दूरी (c) चार गुनी दूरी (d) आठ गुनी दूरी

उत्तर: 1. (b) $KE = p^2/2m$, इसलिए $KE \propto p^2$। · 2. (c) गुरुत्व कक्षीय गति के लंबवत है, इसलिए $W = F\,s\cos 90° = 0$। · 3. (b) $1000\ W \times 3600\ s = 3.6 \times 10^6$ J। · 4. (b) माइक्रोफोन ध्वनि कंपनों को विद्युत संकेतों में बदलता है; लाउडस्पीकर इसका उलटा करता है। · 5. (c) सुपारी (भार) कब्ज़े (आलंब) और हाथ (आयास) के बीच रहती है: वर्ग II का उत्तोलक। · 6. (d) संवेग सदा संरक्षित रहता है; अप्रत्यास्थ संघट्ट में कुछ KE ऊष्मा और ध्वनि में बदल जाती है। · 7. (b) कोहनी आलंब है, बाइसेप्स का आयास बीच में लगता है, भार हाथ में है। · 8. (a) $2 \times 746\ W \approx 1.49$ kW; 1 घंटे में यह लगभग 1.5 kWh है। · 9. (a) बोझ थामने वाले बल से 90° पर चलता है और घर्षण गति के विरुद्ध लगता है; kWh ऊर्जा है (3.6×10^6 J), किलोवाट शक्ति है। · 10. (c) तीनों सही हैं; चार्ज करना

डिस्चार्ज होते सेल (रासायनिक से विद्युत) का उलटा है, और दोनों को अदल-बदल देना ही सामान्य जाल है। · 11. (c) चाल दोगुनी होने पर KE = ½mv² चार गुनी हो जाती है, और ब्रेकों को इसे लगभग चार गुनी दूरी में हटाना पड़ता है; 'दोगुनी' मानना KE को v के अनुपाती समझने की भूल है।

अध्याय 4

गुरुत्वाकर्षण और उपग्रह

g में परिवर्तन (ध्रुव, विषुवत रेखा, गहराई, पृथ्वी का घूर्णन), द्रव्यमान बनाम भार, लिफ्ट में भार, मुक्त पतन, पलायन वेग (Escape velocity), उपग्रहों की कक्षाएँ और आदित्य-L1 तथा लाइगो-इंडिया (LIGO-India) जैसे मिशन साल-दर-साल पूछे जाते हैं।

पिछले प्रश्नपत्रों में 5 बार पूछा गया: UPSC 1 · BPSC 4

≈ 45 min पढ़ने में ≈ 8 min ★★★ दोहराने में

दोहराएँ: दिन 1 | दिन 3 | दिन 7 | दिन 21

रिवीज़न कार्ड

1. $F = G m_1 m_2 / r^2$; $G = 6.67 \times 10^{-11}\ N{\cdot}m^2/kg^2$ हर जगह समान है; $g \approx 9.8\ m/s^2$ जगह-जगह बदलता है।
2. g ध्रुवों पर अधिकतम, विषुवत रेखा पर न्यूनतम होता है; यह ऊँचाई और गहराई दोनों के साथ घटता है और पृथ्वी के केंद्र पर शून्य होता है।
3. यदि पृथ्वी तेज़ घूमे तो विषुवत रेखा पर भार घटेगा; ध्रुवों पर नहीं बदलेगा।
4. द्रव्यमान कभी नहीं बदलता; भार $W = mg$ बदलता है। चंद्रमा पर भार पृथ्वी पर के भार का लगभग 1/6 होता है।
5. लिफ्ट: ऊपर की ओर त्वरण → भारी महसूस; नीचे की ओर त्वरण → हल्का; केबल टूटी (मुक्त पतन) → भारहीन।
6. कक्षा में अंतरिक्ष यात्री इसलिए भारहीन होते हैं कि वे और उनका यान साथ-साथ मुक्त रूप से गिर रहे हैं, इसलिए नहीं कि वहाँ गुरुत्व नहीं है।
7. केप्लर: दीर्घवृत्त, जिसकी एक नाभि पर सूर्य; बराबर समय में बराबर क्षेत्रफल; $T^2 \propto a^3$।
8. पृथ्वी से पलायन वेग = 11.2 km/s (चंद्रमा ≈ 2.4 km/s); यह वस्तु के द्रव्यमान पर निर्भर नहीं करता।
9. चंद्रमा पर वायुमंडल नहीं है क्योंकि उसका पलायन वेग गैस अणुओं की चाल से कम है।
10. भूस्थिर कक्षा: विषुवत रेखा से 35,786 km ऊपर, आवर्तकाल एक दिन, पश्चिम से पूर्व। ध्रुवीय/सूर्य-तुल्यकालिक कक्षाएँ चित्र लेने के लिए नीची (~500–800 km) होती हैं।
11. आदित्य-L1 सूर्य–पृथ्वी L1 के चारों ओर हेलो कक्षा में है, पृथ्वी से लगभग 1.5 मिलियन km दूर; यह 6 जनवरी 2024 को वहाँ पहुँचा।
12. चंद्रशेखर सीमा ≈ 1.4 सौर द्रव्यमान: इससे भारी मृत तारा श्वेत वामन नहीं रह सकता।
13. लाइगो-इंडिया (औंढा, हिंगोली, महाराष्ट्र): निर्माण की नींव अप्रैल 2026 में रखी गई, पहले प्रेक्षणों का लक्ष्य 2030।

न्यूटन का गुरुत्वाकर्षण नियम

$F = Gm_1m_2/r^2$

व्युत्क्रम वर्ग

$G = 6.67 \times 10^{-11}$

G बनाम g

कैवेंडिश

जो खिंचाव सेब को गिराता है, वही चंद्रमा को कक्षा में थामे रखता है: यही न्यूटन (Newton) की महान अंतर्दृष्टि थी। हर द्रव्यमान हर दूसरे द्रव्यमान को आकर्षित करता है; द्रव्यमान बढ़ने पर खिंचाव बढ़ता है और दूरी बढ़ने पर तेज़ी से घटता है। यह प्रकृति का सबसे दुर्बल बल है, पर कभी बंद नहीं होता और सदा आकर्षी होता है।

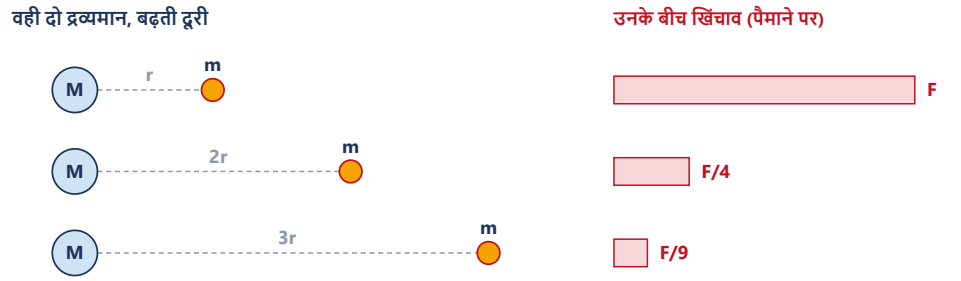
★★★ **गुरुत्वाकर्षण का सार्वत्रिक नियम (Universal law of gravitation)** (न्यूटन, प्रिंसिपिया, 1687): $F = G m_1 m_2 / r^2$: बल द्रव्यमानों के गुणनफल के अनुक्रमानुपाती और उनके केंद्रों के बीच की दूरी के **वर्ग** के व्युत्क्रमानुपाती होता है।

★★ दूरी दुगुनी → बल **1/4** हो जाता है; एक द्रव्यमान दुगुना → बल दुगुना।

★★★ **G** (सार्वत्रिक गुरुत्वाकर्षण नियतांक) = $\mathbf{6.67 \times 10^{-11}\ N{\cdot}m^2/kg^2}$; ब्रह्मांड में हर जगह समान और वस्तुओं के बीच के माध्यम से अप्रभावित। हेनरी कैवेंडिश (Henry Cavendish) ने इसे पहली बार 1798 में मापा।

★★ गुरुत्वाकर्षण बल सदा **आकर्षी** होता है, केंद्रों को मिलाने वाली रेखा के अनुदिश लगता है, और दोनों वस्तुएँ एक-दूसरे को **बराबर और विपरीत** बलों से खींचती हैं।

★ आर्यभट (Aryabhata) ने (आर्यभटीय, 499 ई.) कहा कि पृथ्वी **अपने अक्ष पर घूमती है**, और इससे तारों की दैनिक गति को समझाया।



व्युत्क्रम वर्ग नियम, पैमाने पर: दुगुनी दूरी पर खिंचाव एक-चौथाई, तिगुनी दूरी पर नौवाँ भाग रह जाता है (पट्टी की लंबाई $\propto 1/r^2$)।

G बनाम g ★★★

	G	g
नाम	सार्वत्रिक गुरुत्वाकर्षण नियतांक	गुरुत्वीय त्वरण
मान	6.67×10^{-11} N·m²/kg²	पृथ्वी की सतह पर ≈ 9.8 m/s²
बदलता है?	कभी नहीं: हर जगह समान	हाँ: ऊँचाई, गहराई, अक्षांश, ग्रह के साथ
प्रकार	अदिश नियतांक	सदिश (पृथ्वी के केंद्र की ओर)
संबंध	सूत्र $g = GM/R^2$ में आता है	G, पृथ्वी के द्रव्यमान M और त्रिज्या R से तय होता है

⚠ **परीक्षा में सावधान:** G सार्वत्रिक नियतांक है; g नहीं। जो प्रश्न कहे कि चंद्रमा पर G बदल जाता है, वह गलत है; केवल g (वहाँ 1.62 m/s²) बदलता है।

☑ झटपट जाँच

1. दो पिंडों के बीच की दूरी दुगुनी कर दी जाए तो गुरुत्वाकर्षण बल का क्या होगा?
2. स्थान बदलने पर कौन कभी नहीं बदलता, G या g?

उत्तर: 1. एक-चौथाई रह जाएगा (F/4) · 2. G (6.67×10^{-11} N·m²/kg²); g बदलता है

गुरुत्वीय त्वरण और उसमें परिवर्तन

g ≈ 9.8 m/s²
ध्रुवों पर अधिकतम
ऊँचाई पर घटता
गहराई में घटता
केंद्र पर शून्य
तेज़ घूर्णन

पृथ्वी के पास हर मुक्त रूप से गिरती वस्तु की चाल हर सेकंड लगभग 9.8 m/s बढ़ती है। यह मान इस पर निर्भर करता है कि आप पृथ्वी के केंद्र से कितनी दूर हैं, और पृथ्वी के घूर्णन पर: केंद्र से दूर हों या घूर्णन से बाहर की ओर धकेले जाएँ, तो खिंचाव कम महसूस होता है।

★★★ सतह पर **g ≈ 9.8 m/s²** (विषुवत रेखा पर लगभग 9.78, ध्रुवों पर 9.83)। यह गिरती वस्तु के **द्रव्यमान पर निर्भर नहीं करता**।

★★★ **अक्षांश (Latitude)**: पृथ्वी एक लघ्वक्ष गोलाभ (Oblate spheroid) है, जो विषुवत रेखा पर उभरी हुई है, इसलिए ध्रुव केंद्र के अधिक पास हैं। **g ध्रुवों पर अधिकतम और विषुवत रेखा पर न्यूनतम होता है**; वस्तु का भार ध्रुवों पर सबसे अधिक होता है।

★★★ **ऊँचाई (Altitude)**: ऊपर जाने पर g **घटता** है (कम ऊँचाई के लिए $g' \approx g(1 - 2h/R)$)। पहाड़ की चोटी पर भार थोड़ा कम होता है।

★★★ **गहराई (Depth)**: खदान में नीचे जाने पर भी g **घटता** है ($g' = g(1 - d/R)$) और **पृथ्वी के केंद्र पर शून्य** हो जाता है।

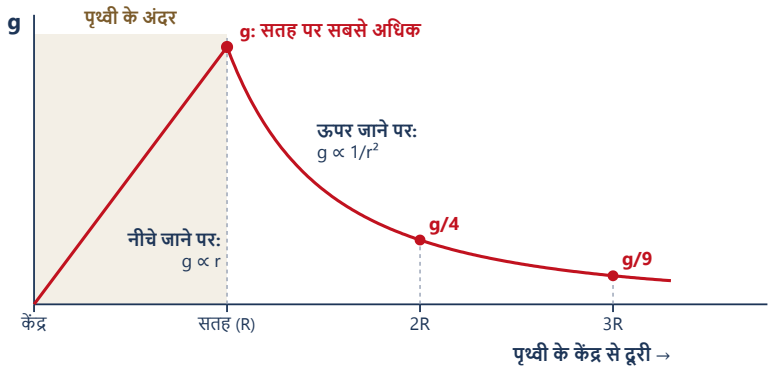
★★ ऊँचाई या गहराई में थोड़े परिवर्तन के लिए g **नीचे जाने की तुलना में ऊपर जाने पर तेज़ी से** घटता है (2h/R बनाम d/R)।

★★ **पृथ्वी का घूर्णन (Rotation)**: घूर्णन से बाहर की ओर (अपकेंद्री) प्रभाव पैदा होता है, जो प्रभावी g को विषुवत रेखा पर सबसे अधिक घटाता है और ध्रुवों पर बिलकुल नहीं: विषुवत रेखा पर $g' = g - \omega^2 R$।

★★★ यदि **पृथ्वी तेज़ घूमने लगे**, तो विषुवत रेखा पर भार **घटेगा**; यदि **घूमना बंद कर दे**, तो विषुवत रेखा पर भार बढ़ेगा; ध्रुवों पर दोनों स्थितियों में भार वही रहेगा।

★ यदि पृथ्वी लगभग **17 गुना तेज़** घूमे (दिन लगभग 1 h 24 min का), तो विषुवत रेखा पर वस्तुएँ भारहीन हो जाएँगी।

★ यदि पृथ्वी उसी द्रव्यमान के साथ आधी त्रिज्या की हो जाए, तो उसकी सतह पर g 4 गुना हो जाएगा ($g \propto 1/R^2$)।



पृथ्वी के केंद्र से दूरी के साथ g में परिवर्तन (एकसमान पृथ्वी का पाठ्यपुस्तक मॉडल, पैमाने पर): केंद्र पर शून्य से सीधी रेखा में बढ़कर सतह पर सबसे अधिक, फिर $1/r^2$ के अनुसार घटता है: 2R पर g/4, 3R पर g/9।

याद रखें: Poles are Plump with g (अधिकतम), **Equator is Empty-ish** (न्यूनतम): ध्रुवों पर g भरपूर, विषुवत रेखा पर सबसे कम। सतह से ऊपर जाएँ या नीचे, दोनों में g घटता है; सतह ही शिखर है।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** g ऊँचाई **और** गहराई दोनों के साथ घटता है; जो विकल्प कहे कि खदान के भीतर g बढ़ता है, वह गलत है। पृथ्वी के केंद्र पर g शून्य है, पर द्रव्यमान नहीं बदलता।

झटपट जाँच

1. पृथ्वी पर g सबसे अधिक कहाँ है और सबसे कम कहाँ?
2. खान में नीचे जाने पर g का क्या होता है, और पृथ्वी के केंद्र पर?
3. यदि पृथ्वी और तेज़ घूमे तो विषुवत रेखा पर और ध्रुवों पर आपके भार का क्या होगा?

उत्तर: 1. ध्रुवों पर सबसे अधिक, विषुवत रेखा पर सबसे कम · 2. घटता है; केंद्र पर शून्य हो जाता है · 3. विषुवत रेखा पर घटेगा; ध्रुवों पर नहीं बदलेगा

द्रव्यमान, भार और लिफ्ट

द्रव्यमान बनाम भार

W = mg

चंद्रमा: 1/6

लिफ्ट: R = m(g ± a)

भारहीनता

द्रव्यमान बताता है कि आपमें कितना पदार्थ है; भार बताता है कि कोई ग्रह उसे कितने ज़ोर से खींचता है। 60 kg के व्यक्ति को चंद्रमा पर ले जाइए: पदार्थ अब भी 60 kg है, पर चंद्रमा लगभग छठे भाग जितना ही खींचता है। वज़न मशीन असल में फर्श का आप पर धक्का पढ़ती है, इसीलिए त्वरित होती लिफ्ट में वह गलत पाठ्यांक देती है।

द्रव्यमान बनाम भार ★★★

द्रव्यमान (Mass)	भार (Weight)
वस्तु में पदार्थ की मात्रा	वस्तु पर गुरुत्व बल, W = mg
अदिश; SI मात्रक किलोग्राम (kg)	सदिश (नीचे की ओर); SI मात्रक न्यूटन (N)
हर जगह समान: पृथ्वी, चंद्रमा, अंतरिक्ष	g के साथ बदलता है; मुक्त पतन में शून्य हो सकता है
दंड (साधारण) तुला से मापा जाता है	कमानीदार तुला (Spring balance) से मापा जाता है
जड़त्व का माप	गुरुत्वीय खिंचाव का माप

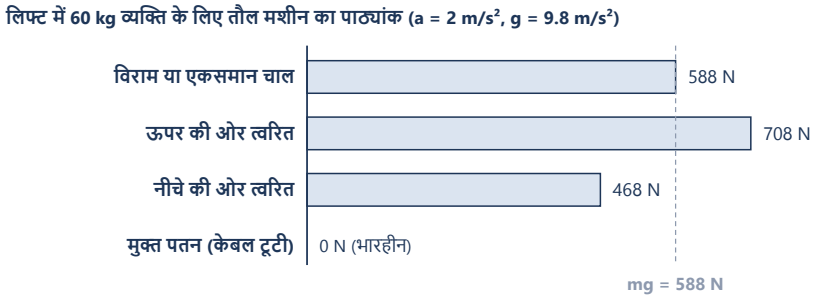
★★★ **चंद्रमा का गुरुत्व ≈ पृथ्वी का 1/6** (1.62 m/s²): 60 kg के व्यक्ति का भार पृथ्वी पर लगभग 588 N और चंद्रमा पर लगभग 98 N होता है; द्रव्यमान 60 kg ही रहता है।

★★ चंद्रमा पर आप लगभग 6 गुना ऊँचा कूद सकते हैं; वहाँ **लोलक घड़ी धीमी चलती है** ($T = 2\pi\sqrt{(L/g)}$, इसलिए कम g का अर्थ है लंबा आवर्तकाल)।

★ ग्रहों में **बृहस्पति (Jupiter)** का सतही गुरुत्व सबसे प्रबल है (पृथ्वी का लगभग 2.5 गुना)।

लिफ्ट में आभासी भार (वज़न मशीन का पाठ्यांक R) ★★★

लिफ्ट	पाठ्यांक	आप महसूस करते हैं
विराम में या नियत चाल से चलती हुई (ऊपर या नीचे)	R = mg	सामान्य
ऊपर की ओर त्वरित (या नीचे जाते हुए धीमी होती)	R = m(g + a)	भारी
नीचे की ओर त्वरित (या ऊपर जाते हुए धीमी होती)	R = m(g − a)	हल्का
मुक्त रूप से गिरती हुई (केबल टूटी, a = g)	R = 0	भारहीन
g से अधिक त्वरण से नीचे जाती हुई	ऋणात्मक	छत से दबे हुए



लिफ्ट में आभासी भार, 60 kg व्यक्ति और a = 2 m/s² के लिए पैमाने पर: ऊपर त्वरित होने पर R = m(g + a) = 708 N, नीचे त्वरित होने पर m(g − a) = 468 N, मुक्त पतन में शून्य। द्रव्यमान (60 kg) कभी नहीं बदलता।

★★★ **भारहीनता (Weightlessness) मुक्त पतन** में शून्य आभासी भार की अनुभूति है। कक्षा में घूमते स्टेशन में अंतरिक्ष यात्री इसलिए तैरते हैं कि वे और स्टेशन साथ-साथ पृथ्वी के चारों ओर गिर रहे हैं; अंतरराष्ट्रीय अंतरिक्ष स्टेशन (ISS) (~400 km ऊपर) पर गुरुत्व अब भी **सतही g का लगभग 90%** है।

★★ कक्षा में घूमते अंतरिक्ष यान में लोलक नहीं झूलता, गिलास से पानी नहीं उड़ेला जा सकता, मोमबत्ती की लौ गोल और नीली हो जाती है, और कमानीदार तुला शून्य पढ़ती है।

अंतर्राष्ट्रीय अंतरिक्ष स्टेशन (ISS) के अंदर तैरते अंतरिक्ष यात्री (जुलाई 2011)। वहाँ गुरुत्व अब भी सतह के मान का लगभग 90% है; वे इसलिए तैरते हैं कि वे और स्टेशन साथ-साथ पृथ्वी के चारों ओर गिर रहे हैं। चित्र: NASA, Wikimedia Commons, public domain

याद रखें: Accelerate up = weight up, accelerate down = weight down, cable gone = weight gone. यानी ऊपर की ओर त्वरण = भार बढ़ा, नीचे की ओर त्वरण = भार घटा, केबल गई = भार गया। नियत चाल से, ऊपर हो या नीचे, कुछ नहीं बदलता।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** चंद्रमा पर मुक्त रूप से गिरते अलग-अलग द्रव्यमान वाले दो पिंडों का **हर क्षण वेग समान** होता है (त्वरण समान), पर उन पर लगने वाले बल **अलग** होते हैं, क्योंकि भार द्रव्यमान के अनुपात में है। गिरने के दौरान उनका जड़त्व नहीं बदलता।

☑ झटपट जाँच

1. 60 kg का व्यक्ति चंद्रमा पर जाता है। उसके द्रव्यमान और भार का क्या होगा?
2. लिफ्ट की केबल टूट जाए तो अंदर रखी तौल मशीन क्या पढ़ेगी?
3. ISS में गुरुत्व g का लगभग 90% होते हुए भी अंतरिक्ष यात्री क्यों तैरते हैं?

उत्तर: 1. द्रव्यमान 60 kg ही रहेगा; भार लगभग 1/6 रह जाएगा · 2. शून्य: मुक्त पतन, भारहीनता · 3. वे और स्टेशन साथ-साथ पृथ्वी के चारों ओर गिर रहे हैं (मुक्त पतन)

निर्वात में मुक्त पतन

समान त्वरण

पंख और गेंद

वायु प्रतिरोध

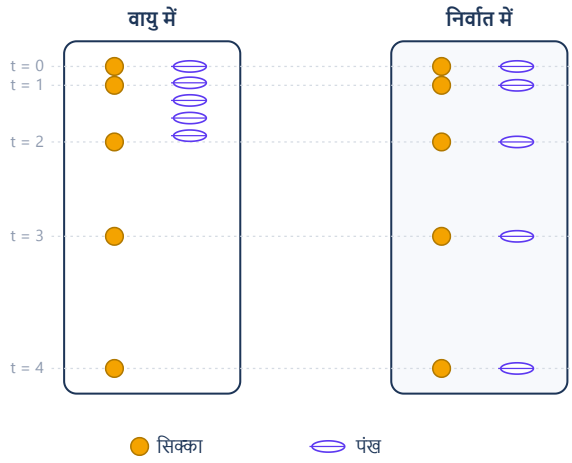
गैलीलियो

भारी वस्तु पर खिंचाव अधिक होता है, पर वह त्वरण का विरोध भी ठीक उसी अनुपात में अधिक करती है। इसलिए रास्ते में हवा न हो तो सब कुछ एक साथ गिरता है। पंख को धीरे-धीरे तैराने वाला वायु प्रतिरोध है, गुरुत्व नहीं।

★★★ निर्वात (Vacuum) में एक साथ गिराए गए **पंख, रबर की गेंद और लकड़ी की गेंद एक साथ ज़मीन पर पहुँचते हैं**।

★★ गैलीलियो (Galileo) ने दिखाया कि गिरती वस्तु की चाल उसके भार पर निर्भर नहीं करती; पीसा की झुकी मीनार से गेंदें गिराने की कहानी इसी विचार को समझाती है।

★★ हवा में, कागज़ की मुड़ी-तुड़ी गेंद उसी कागज़ की सपाट शीट से तेज़ गिरती है: अंतर केवल वायु प्रतिरोध का है।



बराबर समय-अंतरालों पर एक सिक्का और एक पंख। निर्वात में दोनों साथ गिरते हैं, और क्रमिक अंतरालों में तय दूरी 1 : 3 : 5 : 7 के अनुपात में बढ़ती है (पैमाने पर)। वायु में पंख जल्दी ही धीमी, एकसमान चाल से उतरने लगता है (उसकी स्थितियाँ केवल समझाने के लिए हैं)।

☑ झटपट जाँच

1. निर्वात में पंख और गेंद एक साथ गिराए जाते हैं। पहले कौन पहुँचेगा?
2. वायु में पंख गेंद से धीमा क्यों गिरता है?

उत्तर: 1. कोई नहीं: दोनों एक साथ पहुँचेंगे · 2. वायु प्रतिरोध के कारण, गुरुत्व के कारण नहीं

केप्लर के ग्रहीय गति के नियम

दीर्घवृत्त, नाभि पर सूर्य

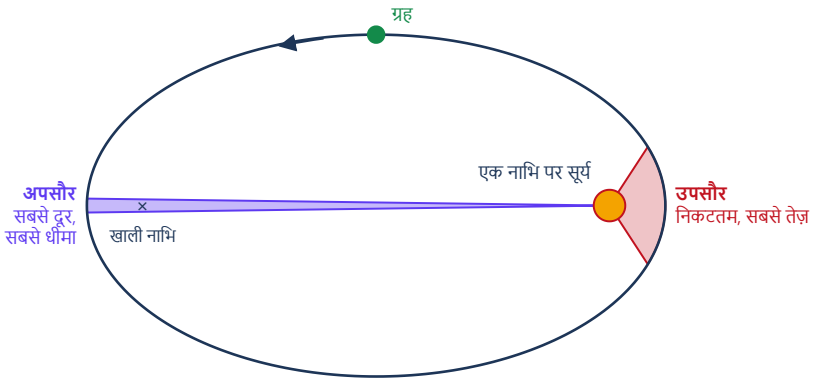
समान क्षेत्रफल

$T^2 \propto a^3$

योहानेस केप्लर (Johannes Kepler) ने टाइको ब्राहे (Tycho Brahe) के सटीक प्रेक्षणों से वे तीन नियम खोजे जिनका पालन ग्रह करते हैं (1609 और 1619 में प्रकाशित)। बाद में न्यूटन ने दिखाया कि तीनों नियम उनके गुरुत्वाकर्षण नियम से निकलते हैं।

उपसौर: सबसे तेज़

जनवरी में उपसौर



नियम 1: कक्षा दीर्घवृत्त, एक नाभि पर सूर्य। नियम 2: दोनों छायांकित भाग बराबर समय में बनते हैं।
नियम 3: $T^2 \propto a^3$ (a = अर्ध-दीर्घ अक्ष)। दीर्घवृत्त बढ़ा-चढ़ाकर दिखाया है: ग्रहों की असली कक्षाएँ लगभग वृत्तीय हैं।

केप्लर के नियम (दीर्घवृत्त बढ़ा-चढ़ाकर, पैमाने पर नहीं): दीर्घवृत्तीय कक्षा, जिसकी एक नाभि पर सूर्य है; ग्रह बराबर समय में बराबर क्षेत्रफल तय करता है, इसलिए उपसौर पर सबसे तेज़ चलता है।

केप्लर के तीन नियम ★★★

नियम	कथन	अर्थ
1. कक्षाओं का नियम	हर ग्रह दीर्घवृत्त (Ellipse) में चलता है, जिसकी एक नाभि पर सूर्य है	सूर्य से दूरी बदलती रहती है: उपसौर (Perihelion, निकटतम), अपसौर (Aphelion, सबसे दूर)
2. क्षेत्रफलों का नियम	ग्रह और सूर्य को मिलाने वाली रेखा बराबर समय में बराबर क्षेत्रफल तय करती है	ग्रह उपसौर पर सबसे तेज़, अपसौर पर सबसे धीमा होता है (कोणीय संवेग संरक्षित रहता है)
3. परिक्रमण कालों का नियम	परिक्रमण काल का वर्ग ∝ अर्ध-दीर्घ अक्ष का घन ($T^2 \propto a^3$)	दूर के ग्रह बहुत अधिक समय लेते हैं: बुध 88 दिन, पृथ्वी 1 वर्ष, वरुण (नेप्च्यून) लगभग 165 वर्ष

★★ पृथ्वी **जनवरी की शुरुआत में उपसौर** पर और जुलाई की शुरुआत में अपसौर पर पहुँचती है, इसलिए जनवरी में वह सूर्य के चारों ओर सबसे तेज़ चलती है।

★ ऋतुएँ **पृथ्वी के अक्ष के झुकाव (23.5°)** से बनती हैं, दूरी में परिवर्तन से नहीं: उत्तरी गोलार्ध में सर्दी तब होती है जब पृथ्वी सूर्य के सबसे पास होती है।

याद रखें: E-A-T: Ellipse (दीर्घवृत्त), equal Areas (बराबर क्षेत्रफल), $T^2 \propto a^3$। केप्लर के नियम उसी क्रम में, जिसमें वे गिने जाते हैं।

झटपट जाँच

1. केप्लर का पहला नियम: कक्षा का आकार क्या है और सूर्य कहाँ है?
2. ग्रह अपनी कक्षा में सबसे तेज़ कहाँ चलता है?
3. केप्लर का तीसरा नियम प्रतीकों में?

उत्तर: 1. दीर्घवृत्त, जिसकी एक नाभि पर सूर्य है · 2. उपसौर पर, सूर्य के सबसे निकट · 3. $T^2 \propto a^3$

कक्षीय वेग, पलायन वेग और उपग्रह क्यों नहीं गिरते

लगातार मुक्त पतन

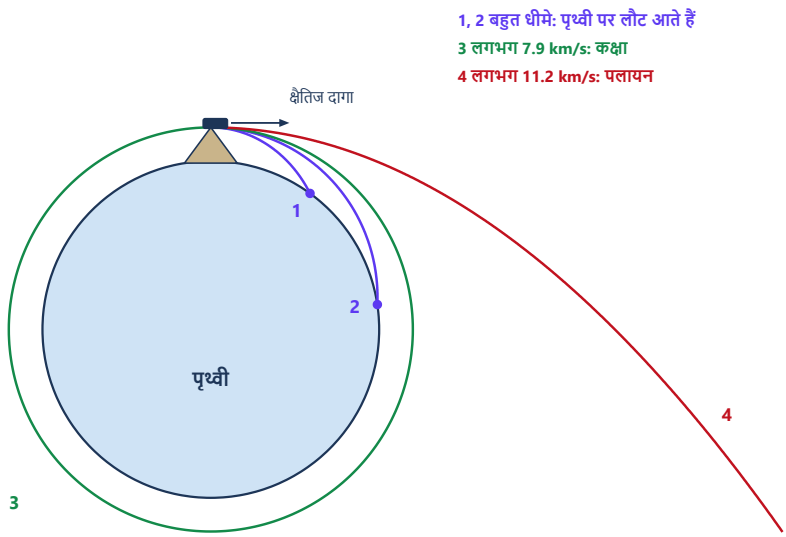
कक्षीय: 7.9 km/s

पलायन: 11.2 km/s

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

चंद्रमा: वायु नहीं

पत्थर को क्षैतिज फेंकिए, वह मुड़कर ज़मीन पर गिरता है। और तेज़ फेंकिए, वह और दूर गिरता है। लगभग 7.9 km/s से फेंकिए तो पृथ्वी की सतह उतनी ही तेज़ी से नीचे मुड़ती जाती है जितनी तेज़ी से पत्थर गिरता है: वह गिरता रहता है पर कभी ज़मीन पर नहीं पहुँचता। यही कक्षा है। 11.2 km/s से फेंकिए तो वह कभी नहीं लौटता: यही पलायन है।



न्यूटन की तोप (पर्वत बहुत बढ़ा-चढ़ाकर, पैमाने पर नहीं)। क्षैतिज दिशा में बढ़ती चाल से दागा गया गोला पहले अधिक दूर गिरता है (1, 2), फिर हमेशा पृथ्वी के चारों ओर गिरता रहता है (3, कक्षा); उस चाल के √2 गुना पर वह पलायन कर जाता है (4)। हर पथ अपनी चाल के लिए कक्षा का सटीक आकार है।

★★★ उपग्रह नीचे नहीं गिरता क्योंकि **पृथ्वी का गुरुत्व ठीक उतना अभिकेंद्र त्वरण (Centripetal acceleration) देता है** जितना उसकी वृत्तीय गति के लिए चाहिए; वह पृथ्वी के चारों ओर लगातार मुक्त पतन में है।

★★★ पृथ्वी की सतह के पास **कक्षीय वेग (Orbital velocity) ≈ 7.9 km/s** ($v_0 = \sqrt{(gR)}$); ऊँची कक्षाओं के लिए यह कम होता है (~400 km पर ISS लगभग 7.7 km/s से चलता है और लगभग 92 मिनट में पृथ्वी का चक्कर लगाता है)।

★★ पृथ्वी की सतह के ठीक ऊपर घूमने वाला उपग्रह लगभग **84 मिनट** में एक चक्कर लगाएगा; पृथ्वी के चारों ओर यही न्यूनतम संभव परिक्रमण काल है।

★★★ **पलायन वेग (Escape velocity)** = वह न्यूनतम चाल जिससे कोई वस्तु किसी ग्रह के गुरुत्व से सदा के लिए निकल जाए: $v_e = \sqrt{(2GM/R)} = \sqrt{(2gR)}$। **पृथ्वी के लिए = 11.2 km/s**; **चंद्रमा के लिए ≈ 2.4 km/s**।

★★★ पलायन वेग और कक्षीय वेग प्रक्षेपित वस्तु के **द्रव्यमान पर निर्भर नहीं करते** (और पलायन वेग प्रक्षेपण की दिशा पर भी नहीं)। $\mathbf{v_e = \sqrt{2} \times v_0} \approx 1.41 \times$ कक्षीय वेग।

★★★ **चंद्रमा पर वायुमंडल नहीं है**: उसका पलायन वेग (≈ 2.4 km/s) इतना कम है कि गर्म दिन में तेज़ चलते गैस अणु (उनकी rms चाल) निकल भागते हैं। 11.2 km/s वाली पृथ्वी अपनी हवा को थामे रखती है।

★★ कक्षा जितनी ऊँची, **उपग्रह उतना धीमा और आवर्तकाल उतना लंबा** ($T^2 \propto r^3$)। 3.84 लाख km दूर चंद्रमा लगभग 27.3 दिन लेता है।

★★ यदि गुरुत्व अचानक गायब हो जाए, तो उपग्रह अपनी कक्षा की **स्पर्श रेखा (Tangent)** के अनुदिश उड़ जाएगा।

★ पलायन वेग: मंगल लगभग 5 km/s, बृहस्पति लगभग 60 km/s, सूर्य लगभग 618 km/s। ब्लैक होल के लिए यह प्रकाश की चाल से भी अधिक है।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** उपग्रह न इसलिए ऊपर टिके हैं कि उस ऊँचाई पर गुरुत्व नहीं है, न इसलिए कि चंद्रमा का खिंचाव पृथ्वी के खिंचाव को निरस्त कर देता है। गुरुत्व मौजूद है और **आवश्यक त्वरण** (अभिकेंद्र) देता है। पलायन वेग कंकड़ और रॉकेट के लिए एक ही है।

☑ झटपट जाँच

1. पृथ्वी से पलायन वेग कितना है? क्या यह पिंड के द्रव्यमान पर निर्भर करता है?
2. चंद्रमा पर वायुमंडल क्यों नहीं है?
3. उपग्रह पृथ्वी पर क्यों नहीं गिरता?

उत्तर: 1. 11.2 km/s; नहीं · 2. उसका पलायन वेग (≈ 2.4 km/s) इतना कम है कि गैस के अणुओं को रोक नहीं पाता · 3. गुरुत्व ठीक उतना अभिकेंद्र त्वरण देता है जितना चाहिए; वह पृथ्वी के चारों ओर गिरता ही रहता है

उपग्रह कक्षाओं के प्रकार

GEO: 35,786 km

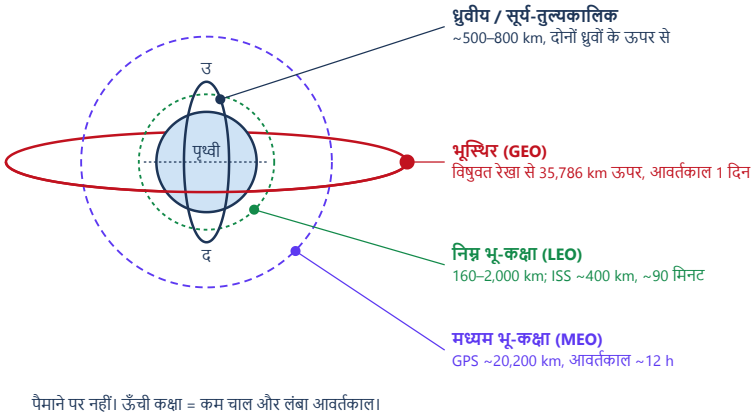
पश्चिम से पूर्व

ध्रुवीय / सूर्य-तुल्यकाली

GEO बनाम GSO

PSLV बनाम GSLV

कक्षा चुनना काम चुनना है। जिस उपग्रह को दिन भर एक ही देश को देखना है, वह विषुवत रेखा के ऊपर बहुत ऊँचाई पर रहता है; जिसे पूरी पृथ्वी के विस्तृत चित्र लेने हैं, वह नीचे उड़ता है और ध्रुवों के ऊपर से गुज़रता है।



पैमाने पर नहीं। ऊँची कक्षा = कम चाल और लंबा आवर्तकाल।

पृथ्वी की मुख्य कक्षाएँ (पैमाने पर नहीं): चित्र लेने के लिए निम्न और ध्रुवीय कक्षाएँ, नौवहन के लिए मध्यम कक्षा, संचार और मौसम के लिए भूस्थिर कक्षा।

कक्षाओं की तुलना ★★★

कक्षा	पृथ्वी से ऊँचाई	मुख्य विशेषता	उपयोग / उदाहरण
भूस्थिर (Geostationary, GEO)	35,786 km (≈ 36,000 km), विषुवत रेखा के ऊपर	आवर्तकाल = एक नाक्षत्र दिवस (23 h 56 min), पश्चिम से पूर्व चलता है; आकाश में स्थिर दिखता है	संचार, DTH टीवी, मौसम: इनसैट (INSAT), जीसैट (GSAT) शृंखला
भू-तुल्यकालिक (Geosynchronous, GSO)	35,786 km, पर कक्षा झुकी हुई या दीर्घवृत्तीय	वही 1-दिन का आवर्तकाल, पर आकाश में 8 जैसी आकृति बनाता है	नाविक (NavIC, भारत की नौवहन प्रणाली) का एक भाग झुकी हुई GSO का उपयोग करता है
ध्रुवीय कक्षा (Polar orbit)	निम्न, सामान्यतः 500–1,000 km	दोनों ध्रुवों के ऊपर से गुज़रती है; नीचे पृथ्वी घूमती रहती है, इसलिए पूरा भूमंडल कवर होता है	सुदूर संवेदन, मानचित्रण, टोही
सूर्य-तुल्यकालिक (Sun-synchronous, एक लगभग-ध्रुवीय कक्षा)	लगभग 600–800 km	हर स्थान के ऊपर से एक ही स्थानीय सौर समय पर गुज़रती है, इसलिए हर बार रोशनी एक जैसी	पृथ्वी प्रेक्षण: कार्टोसैट (Cartosat), रिसोर्ससैट (Resourcesat), ओशनसैट (Oceansat); पीएसएलवी (PSLV) से प्रक्षेपित
निम्न भू-कक्षा (Low Earth orbit, LEO)	160–2,000 km	तेज़; एक चक्कर ~90 मिनट में	ISS (~400 km), स्टारलिंक (Starlink)
मध्यम भू-कक्षा (Medium Earth orbit, MEO)	2,000–35,786 km	आवर्तकाल कुछ घंटों का	GPS (~20,200 km, 12 h), गैलीलियो (Galileo)
भू-तुल्यकालिक स्थानांतरण कक्षा (Geosynchronous transfer orbit, GTO)	दीर्घवृत्तीय, नीचे उपभू (Perigee) से ~36,000 km अपभू (Apogee) तक	स्थानांतरण कक्षा: उपग्रह अपभू पर अपना इंजन चलाकर GEO तक पहुँचता है	जहाँ जीएसएलवी (GSLV) और LVM3 संचार उपग्रहों को छोड़ते हैं

★★★ **हर भूस्थिर कक्षा भू-तुल्यकालिक है, पर हर भू-तुल्यकालिक कक्षा भूस्थिर नहीं**: भूस्थिर के लिए ठीक विषुवत रेखा के ऊपर वृत्तीय कक्षा चाहिए।

★★ 120° की दूरी पर स्थित लगभग **तीन भूस्थिर उपग्रह** ध्रुवीय क्षेत्रों को छोड़कर लगभग पूरी पृथ्वी को कवर कर सकते हैं। आर्थर सी. क्लार्क (Arthur C. Clarke) ने 1945 में यह सुझाव दिया था; GEO पट्टी को **क्लार्क कक्षा (Clarke orbit)** कहते हैं।

★★ **पीएसएलवी** (ध्रुवीय उपग्रह प्रक्षेपण यान, Polar Satellite Launch Vehicle) का नाम उसके काम पर है: उपग्रहों को ध्रुवीय और सूर्य-तुल्यकालिक कक्षाओं में स्थापित करना; **जीएसएलवी** उन्हें भू-तुल्यकालिक स्थानांतरण कक्षा में स्थापित करता है।

★ भारत का पहला उपग्रह **आर्यभट** 19 अप्रैल 1975 को एक सोवियत रॉकेट से प्रक्षेपित हुआ; विश्व का पहला कृत्रिम उपग्रह **स्पुतनिक-1 (Sputnik)** था (सोवियत संघ, 4 अक्टूबर 1957)।

याद रखें: GEO = Glued Even Overhead (विषुवत रेखा के ऊपर चिपका-सा स्थिर)। **Polar = Photographer** (हर स्थान के ऊपर से गुज़रकर चित्र लेता है)। **Sun-synchronous = Same-time Shoot** (एक ही स्थानीय समय, एक जैसी छायाएँ)।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** भूस्थिर उपग्रह लगभग 36,000 km पर होता है, 3,600 km या 360 km पर नहीं, और वह पृथ्वी के साथ **पश्चिम से पूर्व**, **विषुवत रेखा** के ऊपर परिक्रमा करता है, ध्रुवों के ऊपर नहीं।

☑ झटपट जाँच

1. भूस्थिर कक्षा की ऊँचाई और आवर्तकाल?
2. हर भूस्थिर कक्षा भू-तुल्यकाली है। क्या उल्टा भी सही है?
3. कार्टोसैट जैसे चित्र लेने वाले उपग्रहों के लिए कौन-सी कक्षा उपयुक्त है?

उत्तर: 1. विषुवत रेखा के ऊपर 35,786 km; एक दिन · 2. नहीं: भूस्थिर कक्षा वृत्ताकार और ठीक विषुवत रेखा के ऊपर होनी चाहिए · 3. सूर्य-तुल्यकाली (लगभग ध्रुवीय), लगभग 600–800 km

लैग्रेंज बिंदु और आदित्य-L1

L1 से L5

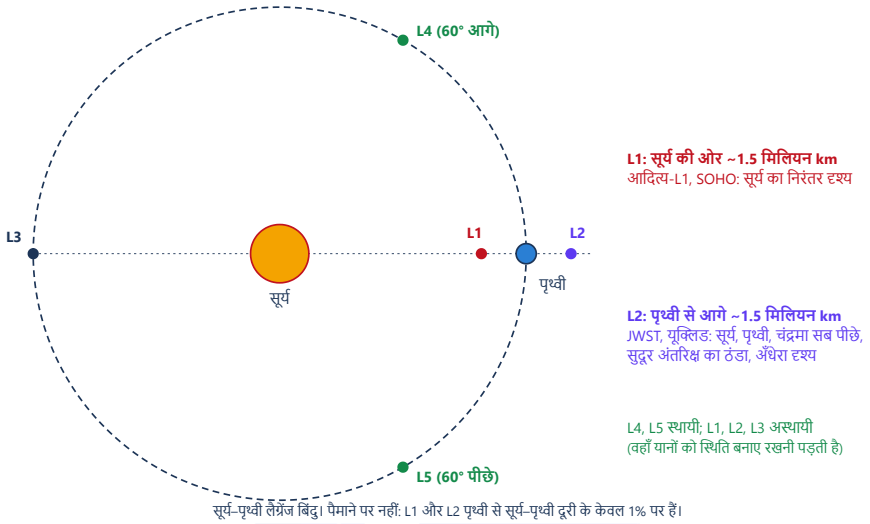
L4, L5 स्थिर

L1: 1.5 million km

आदित्य-L1

L2: JWST

सूर्य और पृथ्वी जैसे दो बड़े पिंडों के बीच पाँच स्थान ऐसे हैं जहाँ उनका सम्मिलित गुरुत्व किसी छोटे यान को ठीक उतना खिंचाव देता है जितना उसे पृथ्वी के साथ कदम मिलाकर सूर्य की परिक्रमा के लिए चाहिए। वहाँ खड़ा किया गया यान दोनों के सापेक्ष एक ही स्थिति में रहता है, जिससे ईंधन बचता है।



सूर्य–पृथ्वी के पाँच लैग्रेंज बिंदु (पैमाने पर नहीं): L1 सूर्य की ओर है (आदित्य-L1), L2 सुदूर अंतरिक्ष की ओर देखता है (JWST)।

★★ **लैग्रेंज बिंदु (Lagrange points)** (जोसेफ़-लुई लैग्रेंज, Joseph-Louis Lagrange, के नाम पर): किसी भी दो-पिंड निकाय में पाँच स्थितियाँ, L1 से L5। **L1, L2, L3 अस्थायी हैं** (वहाँ यान को टिके रहने के लिए समय-समय पर छोटे थ्रस्टर चलाने पड़ते हैं); **L4 और L5 स्थायी हैं**।

★★ **सूर्य–पृथ्वी L1** पृथ्वी से **सूर्य की ओर लगभग 1.5 मिलियन km** दूर है (सूर्य–पृथ्वी दूरी का लगभग 1%)। वहाँ से सूर्य कभी पृथ्वी या चंद्रमा से नहीं ढकता (कोई ग्रहण नहीं)।

★★★ **आदित्य-L1**, सूर्य के अध्ययन के लिए भारत का पहला अंतरिक्ष मिशन, **2 सितंबर 2023 को PSLV-C57** से प्रक्षेपित हुआ और **6 जनवरी 2024 को L1 के चारों ओर हेलो कक्षा (Halo orbit)** में स्थापित हुआ; इसमें सात उपकरण हैं, जिनमें कोरोना के अध्ययन के लिए VELC शामिल है।

★★ **सूर्य–पृथ्वी L2**, पृथ्वी से आगे (सूर्य से दूर की ओर) लगभग 1.5 मिलियन km पर, **जेम्स वेब अंतरिक्ष दूरबीन (James Webb Space Telescope)** (25 दिसंबर 2021 को प्रक्षेपित) और **यूक्लिड (Euclid)** का ठिकाना है: सूर्य, पृथ्वी और चंद्रमा तीनों इनके पीछे रहते हैं, जिससे ठंडा, अँधेरा दृश्य मिलता है।

★ बृहस्पति के **L4 और L5** बिंदुओं पर हज़ारों क्षुद्रग्रह इकट्ठा हैं, जिन्हें **ट्रोजन (Trojans)** कहते हैं।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** आदित्य-L1 न तो सूर्य की सतह के पास उसकी परिक्रमा कर रहा है, न पृथ्वी की; यह पृथ्वी और सूर्य के बीच, लगभग 1.5 मिलियन km दूर L1 बिंदु का चक्कर लगाता है।

झटपट जाँच

1. आदित्य-L1 कहाँ स्थित है?
2. आदित्य-L1 अपनी हेलो कक्षा में कब पहुँचा?
3. कौन-से लैग्रेंज बिंदु स्थिर हैं?

उत्तर: 1. सूर्य–पृथ्वी L1 के चारों ओर हेलो कक्षा में, पृथ्वी से लगभग 1.5 million km दूर · 2. 6 जनवरी 2024 (2 सितंबर 2023 को PSLV-C57 से प्रक्षेपित) · 3. L4 और L5

ज्वार-भाटा

चंद्रमा का खिंचाव

दो उभार

बृहत् ज्वार

लघु ज्वार

24 h 50 min

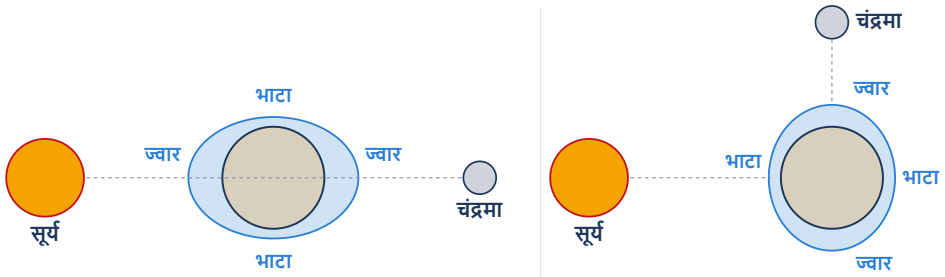
चंद्रमा पृथ्वी के पास वाले भाग को केंद्र से अधिक, और केंद्र को दूर वाले भाग से अधिक खींचता है। महासागर खिंचकर दो उभार बनाते हैं, एक चंद्रमा की ओर और एक ठीक उलटी ओर। पृथ्वी घूमते हुए दोनों उभारों से गुज़रती है, इसलिए अधिकांश तटों पर दिन में दो बार ज्वार आता है।

★★★ ज्वार-भाटा (Tides) मुख्यतः **चंद्रमा के गुरुत्व** से आता है; सूर्य का ज्वार उठाने वाला प्रभाव चंद्रमा के प्रभाव के **आधे** से थोड़ा कम है, क्योंकि ज्वारीय बल पृथ्वी के आर-पार खिंचाव के **अंतर** पर निर्भर करता है, जो दूरी के घन के साथ घटता है।

★★ दो ज्वार और दो भाटे लगभग हर **24 h 50 min** में आते हैं (ज्वार लगभग 12 h 25 min के अंतर पर), क्योंकि चंद्रमा हर दिन लगभग 50 मिनट देर से उगता है।

★★★ **वृहत् ज्वार (Spring tides)** (सबसे ऊँचे ज्वार): **अमावस्या और पूर्णिमा** को, जब सूर्य, पृथ्वी और चंद्रमा एक रेखा में होते हैं। **निम्न ज्वार (Neap tides)** (सबसे कमज़ोर): **शुक्ल और कृष्ण पक्ष की अष्टमी** (First and last quarter) को, जब सूर्य और चंद्रमा समकोण पर खींचते हैं।

★ ज्वारीय घर्षण पृथ्वी के दिन को धीरे-धीरे लंबा कर रहा है और इसने चंद्रमा को ऐसा बाँध दिया है कि वह पृथ्वी को सदा **एक ही चेहरा** दिखाता है। भारत में ज्वारीय ऊर्जा के सबसे अच्छे स्थल **खंभात की खाड़ी**, **कच्छ की खाड़ी** और **सुंदरबन** हैं।



(a) बृहत् ज्वार
सूर्य, पृथ्वी, चंद्रमा एक सीध में: अमावस्या या पूर्णिमा

(b) लघु ज्वार
सूर्य और चंद्रमा समकोण पर: अष्टमी

ज्वार-भाटा, पैमाने पर नहीं (उभार बहुत बढ़ा-चढ़ाकर)। (a) सूर्य और चंद्रमा एक ही रेखा में खींचते हैं: सबसे ऊँचे ज्वार और सबसे नीचे भाटे, बृहत् ज्वार। (b) वे समकोण पर खींचते हैं: सूर्य का खिंचाव चंद्रमा के भाटे को कुछ भर देता है, इसलिए अंतर सबसे कम रहता है, लघु ज्वार।

याद रखें: Spring का वसंत ऋतु से कोई संबंध नहीं: सोचिए कि सूर्य और चंद्रमा एक रेखा में खींचें (अमावस्या या पूर्णिमा) तो ज्वार उछल (spring) पड़ता है। Neap = Not much (बहुत कम)।

झटपट जाँच

1. बृहत् ज्वार किन दिनों आते हैं?
2. लघु ज्वार तब आते हैं जब सूर्य और चंद्रमा किस कोण पर खींचते हैं?
3. बड़े ज्वार कौन उठाता है, सूर्य या चंद्रमा?

उत्तर: 1. अमावस्या और पूर्णिमा को · 2. समकोण पर (शुक्ल और कृष्ण पक्ष की अष्टमी) · 3. चंद्रमा; सूर्य का प्रभाव आधे से थोड़ा कम है

ब्लैक होल, चंद्रशेखर सीमा और गुरुत्वीय तरंगें

चंद्रशेखर: 1.4

श्वेत वामन

घटना क्षितिज

LIGO: 2015

LIGO-इंडिया: हिंगोली

जब किसी तारे का ईंधन खत्म हो जाता है, तो गुरुत्व उसके क्रोड को कुचल देता है। वह क्या बनेगा, यह क्रोड के भार पर निर्भर है: श्वेत वामन, न्यूट्रॉन तारा, या, यदि गुरुत्व पूरी तरह जीत जाए, तो ब्लैक होल, जिससे प्रकाश भी नहीं निकल सकता।

★★★ **चंद्रशेखर सीमा (Chandrasekhar limit) ≈ 1.4 सौर द्रव्यमान** (1.44): **श्वेत वामन (White dwarf)** का अधिकतम द्रव्यमान। इससे भारी मृत क्रोड और सिकुड़कर **न्यूट्रॉन तारा (Neutron star)** या **ब्लैक होल (Black hole)** बन जाता है। हमारा सूर्य अंत में श्वेत वामन बनेगा।

★★★ **सुब्रह्मण्यन चंद्रशेखर (Subrahmanyan Chandrasekhar)** ने 1930 में यह सीमा निकाली और **1983 का भौतिकी का नोबेल पुरस्कार** साझा किया; नासा (NASA) की **चंद्रा एक्स-रे वेधशाला (Chandra X-ray Observatory)** उन्हीं के नाम पर है।

★★★ **ब्लैक होल**: ऐसा क्षेत्र जहाँ गुरुत्व इतना प्रबल है कि उसकी सीमा, **घटना क्षितिज (Event horizon)**, के भीतर से कुछ भी, प्रकाश भी, नहीं निकल सकता; इसका पलायन वेग प्रकाश की चाल से अधिक है। यह नाम जॉन व्हीलर (John Wheeler) ने 1967 में लोकप्रिय बनाया।

★★ **इवेंट होराइज़न टेलीस्कोप (Event Horizon Telescope)** ने किसी ब्लैक होल की छाया की पहली तस्वीर, आकाशगंगा M87 में स्थित **M87*** की, अप्रैल 2019 में जारी की, और हमारी आकाशगंगा मंदाकिनी (Milky Way) के केंद्र में स्थित **सैजिटेरियस A* (Sagittarius A*)** की मई 2022 में।

★ स्टीफ़न हॉकिंग (Stephen Hawking) ने (1974) दिखाया कि ब्लैक होल को धीरे-धीरे विकिरण छोड़ना चाहिए, जिसे अब **हॉकिंग विकिरण (Hawking radiation)** कहते हैं।

★★ **गुरुत्वीय तरंगें (Gravitational waves)** दिक्-काल (Space-time) में उठने वाली लहरें हैं, जो **प्रकाश की चाल** से चलती हैं और त्वरित भारी पिंडों, जैसे विलय होते ब्लैक होलों, से पैदा होती हैं। **आइंस्टीन (Einstein)** ने 1916 में अपने सामान्य सापेक्षता सिद्धांत से इनकी भविष्यवाणी की थी।

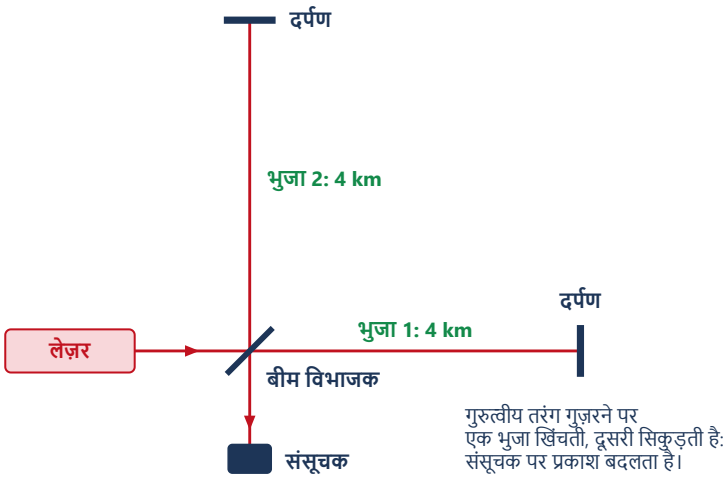
★★★ पहली प्रत्यक्ष पहचान: **14 सितंबर 2015** (GW150914), अमेरिका में जुड़वाँ **लाइगो (LIGO)** डिटेक्टरों (हैनफ़ोर्ड और लिविंगस्टन) द्वारा, लगभग 1.3 अरब प्रकाश-वर्ष दूर दो ब्लैक होलों के विलय से। **2017 का भौतिकी का नोबेल पुरस्कार** राइनर वाइस (Rainer Weiss), बैरी बैरिश (Barry Barish) और किप थॉर्न (Kip Thorne) को मिला।

★★ **LIGO** = लेज़र इंटरफ़ेरोमीटर ग्रैविटेशनल-वेव ऑब्ज़र्वेटरी (Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory): समकोण पर दो 4 km लंबी भुजाएँ; लेज़र प्रकाश लंबाई में प्रोटॉन से भी कहीं छोटे परिवर्तन मापता है। डिटेक्टर अब एक नेटवर्क के रूप में काम करते हैं: लाइगो (अमेरिका), विर्गो (Virgo, इटली), कागरा (KAGRA, जापान)।

★★★ **लाइगो-इंडिया (LIGO-India)**: **महाराष्ट्र के हिंगोली ज़िले के औंढा** में 4 km भुजाओं वाला डिटेक्टर, जिसे **परमाणु ऊर्जा विभाग और विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी विभाग** अमेरिकी लाइगो प्रयोगशाला (NSF) के साथ बना रहे हैं। केंद्रीय मंत्रिमंडल ने इसे अप्रैल 2023 में लगभग ₹2,600 करोड़ की लागत पर मंज़ूरी दी; **23 अप्रैल 2026 को निर्माण की नींव रखी गई**, और पहले प्रेक्षणों का **लक्ष्य 2030** है।

★ भारत में, बाकी डिटेक्टरों से दूर, एक डिटेक्टर होने से आकाश में गुरुत्वीय तरंगों के स्रोत की सटीक स्थिति बताने की क्षमता बहुत बढ़ जाएगी।

ब्लैक होल का पहला चित्र: चमकती गैस के छल्ले के भीतर M87* की काली छाया, जिसे इवेंट होराइज़न टेलीस्कोप ने अप्रैल 2019 में जारी किया। चित्र: Event Horizon Telescope, Wikimedia Commons, CC BY 4.0



LIGO गुरुत्वीय तरंगों को कैसे पकड़ता है: लेज़र किरण दो समकोण 4 km भुजाओं में बँटती है, दर्पणों से लौटती है और संसूचक पर फिर मिलती है। गुज़रती तरंग भुजाओं की लंबाई प्रोटॉन की चौड़ाई से भी बहुत कम बदलती है, और संसूचक पर प्रकाश बदल जाता है। पैमाने पर नहीं।

मरते तारे का भविष्य (बचे हुए क्रोड के द्रव्यमान के अनुसार) ★★

क्रोड का द्रव्यमान	अंतिम अवस्था	टिप्पणी
लगभग 1.4 सौर द्रव्यमान से कम (चंद्रशेखर सीमा)	श्वेत वामन	इलेक्ट्रॉन दाब से टिका रहता है; सूर्य का भविष्य
लगभग 1.4 से मोटे तौर पर 2–3 सौर द्रव्यमान	न्यूट्रॉन तारा (प्रायः पल्सर)	एक चम्मच भर का भार अरबों टन; बहुत तेज़ घूमता है
मोटे तौर पर 2–3 सौर द्रव्यमान से अधिक	ब्लैक होल	घटना क्षितिज से कुछ नहीं निकलता

याद रखें: चंद्रा का 1.4: इसे क्रिकेट स्कोर 1-for-4 की तरह याद रखें। 1.4 से कम हो तो तारा श्वेत वामन बनकर शांति से रिटायर होता है; उससे अधिक हो तो ऑल आउट: न्यूट्रॉन तारा या ब्लैक होल।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** गुरुत्वीय तरंगें **प्रकाश की चाल** से चलती हैं, उससे तेज़ नहीं, और पहली बार **2015** में पकड़ी गईं (घोषणा 2016 में), आइंस्टीन की भविष्यवाणी के एक सदी बाद। लाइगो-इंडिया **महाराष्ट्र** में है, कर्नाटक या तमिलनाडु में नहीं।

☑ झटपट जाँच

1. चंद्रशेखर सीमा कितनी है और यह क्या तय करती है?
2. गुरुत्वीय तरंगें पहली बार कब और किससे पकड़ी गईं?
3. LIGO-इंडिया कहाँ बन रहा है?

उत्तर: 1. ≈ 1.4 सौर द्रव्यमान; श्वेत वामन का अधिकतम द्रव्यमान · 2. 14 सितंबर 2015 को, अमेरिका के दो LIGO संसूचकों से · 3. औंढा, हिंगोली ज़िला, महाराष्ट्र

पिछले वर्षों में पूछे गए प्रश्न (5)

UPSC 2011 पृथ्वी के चारों ओर परिक्रमा कर रहा कृत्रिम उपग्रह इसलिए पृथ्वी पर नीचे नहीं गिरता क्योंकि पृथ्वी का आकर्षण
(a) उतनी दूरी पर अस्तित्वहीन होता है (b) चंद्रमा के आकर्षण से निष्क्रिय हो जाता है
(c) उसकी नियमित चाल के लिए आवश्यक गति प्रदान करता है (d) उसकी गति के लिए आवश्यक त्वरण प्रदान करता है
उत्तर: (d) उसकी गति के लिए आवश्यक त्वरण प्रदान करता है. पृथ्वी का गुरुत्व वह अभिकेंद्र त्वरण देता है जो उपग्रह को कक्षा में बनाए रखता है

BPSC 67th यदि एक पंख, एक रबर की गेंद और एक लकड़ी की गेंद निर्वात में एक-समान ऊँचाई से स्वतंत्रतापूर्वक एक-साथ गिर रहे हैं, तो
(a) पंख सबसे पहले जमीन पर पहुँच जाएगा (b) रबर की गेंद सबसे पहले जमीन पर पहुँच जाएगी
(c) लकड़ी की गेंद सबसे पहले जमीन पर पहुँच जाएगी (d) तीनों एक-साथ जमीन पर पहुँचेंगे
(e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (d) तीनों एक-साथ जमीन पर पहुँचेंगे. स्वतंत्र पतन में सभी वस्तुओं का त्वरण g समान होता है, चाहे उनका द्रव्यमान कुछ भी हो

BPSC 67th re-exam यदि धरती की घूमने की गति (घूर्णन) बढ़ा दी जाय, तो भूमध्यरेखा पर पिण्ड का वज़न
(a) दो गुना हो जायेगा (b) बढ़ जायेगा (c) घट जायेगा (d) कोई परिवर्तन नहीं होगा
(e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (c) घट जायेगा. भूमध्य रेखा पर प्रभावी गुरुत्व $g - \omega^2 R$ होता है, इसलिए तेज़ घूर्णन से भार घटता है

BPSC 69th अलग-अलग द्रव्यमान की दो वस्तुएँ चंद्रमा की सतह के पास स्वतंत्र रूप से गिरने से क्या होगा?
(a) अलग-अलग त्वरण होगा (b) उनके जड़त्व में परिवर्तन होगा (c) किसी भी क्षण एक ही वेग होगा
(d) समान परिमाण के बल का अनुभव होगा
उत्तर: (c) किसी भी क्षण एक ही वेग होगा. स्वतंत्र पतन में सभी वस्तुओं का त्वरण g समान होता है, चाहे उनका द्रव्यमान कुछ भी हो; किसी वस्तु पर गुरुत्वीय बल, यानी उसका भार, उसके द्रव्यमान के समानुपाती होता है

BPSC 70th re-exam चन्द्रमा की सतह पर कोई वातावरण नहीं है क्योंकि
(a) वह पृथ्वी के चारों ओर भ्रमण करता है (b) वह सूर्य से प्रकाश प्राप्त करता है
(c) गैस अणुओं का पलायन वेग उनमें वेग के मूल माध्य वर्ग से कम होता है (d) वह पृथ्वी के नजदीक है
उत्तर: (c) गैस अणुओं का पलायन वेग उनमें वेग के मूल माध्य वर्ग से कम होता है. जहाँ पलायन वेग गैस अणुओं की वर्ग-माध्य-मूल चाल से कम हो, वहाँ वायुमंडल नहीं टिकता; चंद्रमा का पलायन वेग लगभग 2.4 km/s है, जबकि पृथ्वी का 11.2 km/s

स्वयं को परखें (12)

1. पृथ्वी पर किसी वस्तु का भार कहाँ सबसे अधिक होता है?
(a) विषुवत रेखा पर (b) ध्रुवों पर (c) पृथ्वी के केंद्र पर (d) माउंट एवरेस्ट की चोटी पर

2. एक व्यक्ति लिफ्ट में वज़न मशीन पर खड़ा है। मशीन का पाठ्यांक शून्य होगा जब लिफ्ट
(a) नियत चाल से ऊपर जाती है (b) नियत चाल से नीचे जाती है (c) मुक्त रूप से गिरती है (d) ऊपर की ओर त्वरित होती है

3. 100 kg द्रव्यमान की वस्तु के लिए पृथ्वी की सतह से पलायन वेग 11.2 km/s है। 400 kg द्रव्यमान की वस्तु के लिए यह होगा
(a) 44.8 km/s (b) 22.4 km/s (c) 5.6 km/s (d) 11.2 km/s

4. भूस्थिर उपग्रह के बारे में कौन-सा कथन सही है?
(a) यह ध्रुवों के ऊपर परिक्रमा करता है (b) यह पूर्व से पश्चिम चलता है (c) इसका आवर्तकाल एक दिन के बराबर है
(d) यह लगभग 3,600 km पर परिक्रमा करता है

5. आदित्य-L1 लैग्रेंज बिंदु L1 के चारों ओर स्थापित है, जो स्थित है
(a) चंद्रमा के उस पार, पृथ्वी से दूर वाली ओर (b) पृथ्वी और सूर्य के बीच (c) पृथ्वी से आगे, सूर्य से दूर की ओर
(d) अपनी कक्षा में पृथ्वी से 60° आगे

6. वृहत् ज्वार (Spring tides) आते हैं
(a) शुक्ल और कृष्ण पक्ष की अष्टमी को (b) अमावस्या और पूर्णिमा को (c) केवल वसंत ऋतु में (d) केवल विषुव के समय

7. चंद्रशेखर सीमा लगभग है
(a) सूर्य के द्रव्यमान का 1.4 गुना (b) सूर्य के द्रव्यमान का 14 गुना (c) बृहस्पति के द्रव्यमान का 1.4 गुना (d) सूर्य के द्रव्यमान का 3 गुना

8. अंतरराष्ट्रीय अंतरिक्ष स्टेशन के भीतर अंतरिक्ष यात्री मुख्यतः इसलिए तैरते हैं क्योंकि
(a) उस ऊँचाई पर गुरुत्व नहीं होता (b) चंद्रमा का खिंचाव उन पर पृथ्वी के खिंचाव को ठीक निरस्त कर देता है
(c) वे और स्टेशन साथ-साथ मुक्त पतन में हैं (d) स्टेशन तेज़ी से घूमता है

9. लाइगो-इंडिया गुरुत्वीय तरंग वेधशाला कहाँ बनाई जा रही है?
(a) हिंगोली ज़िला, महाराष्ट्र (b) थेनी ज़िला, तमिलनाडु (c) चल्लकेरे, चित्रदुर्ग ज़िला, कर्नाटक (d) हानले, लद्दाख

10. निम्नलिखित कथनों पर विचार कीजिए:
1. गुरुत्वीय त्वरण ध्रुवों पर सबसे अधिक होता है।
2. गहरी खान में नीचे जाने पर गुरुत्वीय त्वरण बढ़ता है।
3. यदि पृथ्वी तेज़ी से घूमे, तो विषुवत रेखा पर किसी पिंड का भार घट जाएगा।
उपर्युक्त कथनों में से कौन-सा/से सही है/हैं?
(a) केवल 1 (b) केवल 1 और 2 (c) केवल 2 और 3 (d) केवल 1 और 3

11. निम्नलिखित कथनों पर विचार कीजिए:
1. हर भू-तुल्यकालिक कक्षा एक भूस्थिर कक्षा भी होती है।
2. भूस्थिर उपग्रह पूर्व से पश्चिम की ओर चलता है।
3. ध्रुवीय सुदूर संवेदन उपग्रह आमतौर पर पृथ्वी से लगभग 36,000 km ऊपर परिक्रमा करते हैं।
उपर्युक्त में से कितने कथन सही हैं?
(a) केवल एक (b) केवल दो (c) सभी तीन (d) कोई भी नहीं

12. दिल्ली में सही समय देने वाली एक लोलक घड़ी चंद्रमा पर बने एक अड्डे पर ले जाई जाती है। वहाँ वह
(a) धीमी चलेगी, क्योंकि कम g हर दोलन को लंबा कर देता है (b) तेज़ चलेगी, क्योंकि गोलक का भार कम है और वह खुलकर झूलता है
(c) सही समय देगी, क्योंकि गोलक का द्रव्यमान नहीं बदलता (d) तुरंत रुक जाएगी, क्योंकि चंद्रमा पर हवा नहीं है

उत्तर: 1. (b) g ध्रुवों पर अधिकतम है, क्योंकि वे पृथ्वी के केंद्र के सबसे पास हैं और घूर्णन से अप्रभावित हैं। · 2. (c) मुक्त पतन में फर्श कोई धक्का नहीं देता, इसलिए आभासी भार शून्य होता है। · 3. (d) पलायन वेग वस्तु के द्रव्यमान पर निर्भर नहीं करता। · 4. (c) भूस्थिर उपग्रह विषुवत रेखा के ऊपर लगभग 35,786 km पर, एक दिन के आवर्तकाल से, पश्चिम से पूर्व चलता है। · 5. (b) सूर्य–पृथ्वी L1 सूर्य–पृथ्वी रेखा पर सूर्य की ओर लगभग 1.5 मिलियन km पर है; पृथ्वी से आगे वाला बिंदु L2 है। · 6. (b) अमावस्या और पूर्णिमा को सूर्य, चंद्रमा और पृथ्वी एक रेखा में होते हैं, इसलिए उनके ज्वारीय खिंचाव जुड़ जाते हैं। · 7. (a) लगभग 1.4 सौर द्रव्यमान से अधिक होने पर श्वेत वामन स्वयं को टिकाए नहीं रख सकता। · 8. (c) ~400 km पर गुरुत्व सतही g का लगभग 90% है; स्टेशन और यात्री साथ-साथ पृथ्वी के चारों ओर गिर रहे हैं। · 9. (a) यह हिंगोली ज़िले के औंढा में है; थेनी प्रस्तावित INO स्थल है और हानले में भारतीय खगोलीय वेधशाला है। · 10. (d) g ध्रुवों पर सबसे अधिक है और तेज़ घूर्णन विषुवत रेखा पर बाहर की ओर का प्रभाव बढ़ाता है; गहराई में भी g घटता है और पृथ्वी के केंद्र पर शून्य हो जाता है। · 11. (d) तीनों गलत हैं: केवल विषुवत रेखा के ठीक ऊपर की वृत्ताकार कक्षा भूस्थिर है, वह पश्चिम से पूर्व चलता है, और ध्रुवीय उपग्रह नीचे, लगभग 500 से 1,000 km ऊपर उड़ते हैं। · 12. (a) $T = 2\pi\sqrt{(L/g)}$, अतः कम g (1.62 m/s²) से आवर्तकाल बढ़ता है और घड़ी पिछड़ती है; गोलक का द्रव्यमान सूत्र में आता ही नहीं।

अध्याय 5

पदार्थ के गुण: ठोस और तरल

दाब (Pressure) और उसका मात्रक, वायुमंडलीय दाब के प्रभाव, पास्कल का नियम (Pascal's law), तैरती बर्फ़ और हिमशैल, पृष्ठ तनाव (Surface tension), केशिकत्व (Capillarity) (और स्ट्रॉ केशिकत्व क्यों नहीं है), शहद बनाम पानी की श्यानता (Viscosity), और बरनौली का सिद्धांत (Bernoulli's principle) बार-बार पूछे जाते हैं।

पिछले प्रश्नपत्रों में 4 बार पूछा गया: UPSC 1 · BPSC 3

≈ 49 min पढ़ने में ≈ 9 min ★★★ दोहराने में

दोहराएँ: दिन 1 दिन 3 दिन 7 दिन 21

रिवीज़न कार्ड

1. दाब = बल ÷ क्षेत्रफल; SI मात्रक पास्कल (1 Pa = 1 N/m^2)। 1 atm ≈ 1.013×10^5 Pa = पारे का 76 cm।
2. द्रव का दाब गहराई के साथ बढ़ता है (P = hpg), इसलिए बाँध की दीवारें नीचे मोटी होती हैं।
3. पीने की स्ट्रॉ, सिरिंज और ड्रॉपर वायुमंडलीय दाब से काम करते हैं, केशिकत्व से नहीं।
4. पास्कल का नियम: बंद द्रव पर लगाया गया दाब सभी दिशाओं में बिना घटे पहुँचता है: हाइड्रोलिक लिफ्ट, ब्रेक, प्रेस।
5. आर्किमिडीज़: उत्प्लावन बल = हटाए गए द्रव का भार। तैरती वस्तु अपने भार के बराबर द्रव हटाती है।
6. पानी में तैरती बर्फ़ पिघलने पर जल-स्तर नहीं बदलता। हिमशैल का लगभग 9/10 भाग पानी के नीचे रहता है।
7. जहाज़ नदी के पानी की तुलना में समुद्री पानी में अधिक ऊपर तैरता है (समुद्री पानी अधिक सघन है); अंडा गाढ़े नमकीन पानी में तैरता है।
8. पृष्ठ तनाव बूँदों को गोल बनाता है; ऊष्मा, साबुन और डिटर्जेंट इसे घटाते हैं; तालाबों पर डाला गया मिट्टी का तेल मच्छरों के लार्वा को डुबो देता है।
9. पानी काँच को भिगोता है (अवतल नवचंद्रक, केशिका में ऊपर चढ़ता है); पारा नहीं भिगोता (उत्तल, नीचे गिरता है)।
10. केशिकत्व: दीये की बत्ती, स्याही सोख्ता, पौधों में पानी का चढ़ना; मिट्टी की गुड़ाई केशिकाओं को तोड़कर नमी बचाती है।
11. श्यानता: शहद > रक्त > पानी > वायु। गर्म करने पर द्रव की श्यानता घटती है, पर गैस की बढ़ती है।
12. सीमांत वेग (स्टोक्स का नियम) के कारण वर्षा की बूँदें चोट नहीं पहुँचातीं और पैराशूट काम करते हैं।
13. बरनौली: तेज़ प्रवाह → कम दाब: वायुयान का उत्थापन, आँधी में छतें उड़ना, एटमाइज़र, दो नावों का पास खिंच आना।
14. स्टील रबर से अधिक प्रत्यास्थ है (यंग गुणांक अधिक)। प्लाज़्मा 4थी अवस्था है, बोस–आइंस्टीन संघनित 5वीं।

पदार्थ की अवस्थाएँ

ठोस, द्रव, गैस

प्लाज़्मा: 4th अवस्था

BEC: 5th अवस्था

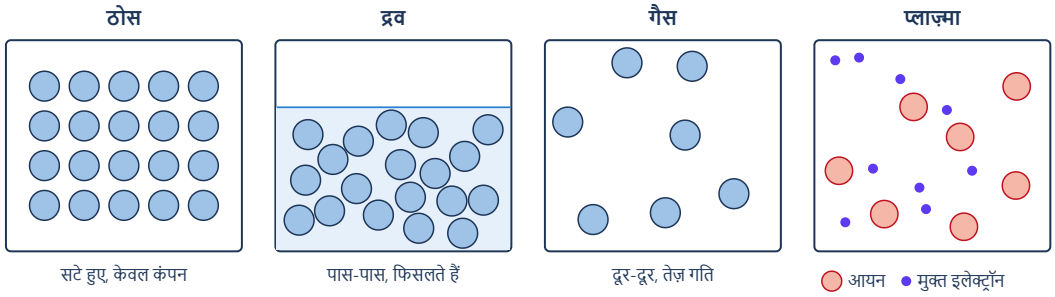
एस.एन. बोस

ऊर्ध्वपातन

पदार्थ की अवस्था इस पर निर्भर करती है कि उसके कण कितनी मज़बूती से बँधे हैं और उनके पास कितनी ऊर्जा है। ऊर्जा निकाल दीजिए तो कण जमकर ठोस बन जाते हैं; पर्याप्त ऊर्जा दीजिए तो बिखरकर गैस बन जाते हैं; और ऊर्जा दीजिए तो परमाणु इलेक्ट्रॉन खोकर प्लाज़्मा बनाते हैं। कुछ परमाणुओं को परम शून्य के लगभग पास तक ठंडा कीजिए तो वे मिलकर एक ही क्वांटम पिंड बन जाते हैं।

पदार्थ की पाँच अवस्थाएँ ★★

अवस्था	आकार और आयतन	कण	उदाहरण
ठोस	निश्चित आकार, निश्चित आयतन	कसकर जमे हुए, केवल कंपन करते हैं	बर्फ़, लोहा, लकड़ी
द्रव	बर्तन का आकार ले लेता है, आयतन निश्चित	पास-पास, पर खिसकने को स्वतंत्र	पानी, पारा, तेल
गैस	पूरे बर्तन में फैल जाती है	दूर-दूर, तेज़ी से चलते हैं	वायु, भाप, LPG वाष्प
प्लाज़्मा (4थी अवस्था)	कोई निश्चित आकार नहीं; विद्युत का चालन करता है	आयनित गैस: मुक्त इलेक्ट्रॉन और आयन	सूर्य और तारे, तड़ित, नियॉन साइन, ध्रुवीय ज्योति
बोस–आइंस्टीन संघनित (5वीं अवस्था)	परमाणु मिलकर एक बड़े क्वांटम कण की तरह व्यवहार करते हैं	परम शून्य से एक डिग्री के अंश भर ऊपर तक ठंडे किए गए परमाणु	पहली बार 1995 में रुबिडियम परमाणुओं से बनाया गया



पदार्थ की चार अवस्थाओं में कण (योजनात्मक): ठोस में सटे हुए और केवल कंपन करते, द्रव में पास-पास पर फिसलने को स्वतंत्र, गैस में दूर-दूर, और प्लाज़्मा में आयनों और मुक्त इलेक्ट्रॉनों में बँटे हुए।

★★ **प्लाज़्मा (Plasma)** पदार्थ की **चौथी अवस्था** है; ब्रह्मांड का अधिकांश दृश्य पदार्थ (तारे) प्लाज़्मा है।

★★★ **बोस–आइंस्टीन संघनित (Bose–Einstein condensate, BEC)**, **पाँचवीं अवस्था**, की भविष्यवाणी 1924–25 में **सत्येंद्र नाथ बोस (Satyendra Nath Bose)** और **अल्बर्ट आइंस्टीन (Albert Einstein)** ने की थी; इसे पहली बार 1995 में एरिक कॉर्नेल (Eric Cornell) और कार्ल वीमैन (Carl Wieman) ने बनाया (वोल्फ़गैंग केटरले, Wolfgang Ketterle, के साथ 2001 का नोबेल पुरस्कार)।

★ **बोसॉन (Bosons)** नाम के कण एस.एन. बोस के सम्मान में हैं; हिग्स बोसॉन (Higgs boson) भी इन्हीं में से एक है।

★★ **ऊर्ध्वपातन (Sublimation)**: ठोस सीधे गैस में बदलता है, जैसे कपूर, नेफ़्थलीन की गोलियाँ, शुष्क बर्फ़ (ठोस CO_2)। उलटी क्रिया (गैस से ठोस) **निक्षेपण (Deposition)** कहलाती है।

याद रखें: ऊष्मा सीढ़ी चढ़ती है **S-L-G-P**: Solid (ठोस) → Liquid (द्रव) → Gas (गैस) → Plasma (प्लाज़्मा)। BEC सबसे निचले डंडे से भी नीचे है, किसी भी ठोस से ठंडा।

झटपट जाँच

1. पदार्थ की पाँचवीं अवस्था, और उससे जुड़े भारतीय वैज्ञानिक?
2. सूर्य और तड़ित में पदार्थ किस अवस्था में होता है?
3. कपूर का सीधे वाष्प बन जाना क्या कहलाता है?

उत्तर: 1. बोस–आइंस्टीन संघनित (BEC); सत्येंद्र नाथ बोस · 2. प्लाज़्मा, चौथी अवस्था · 3. ऊर्ध्वपातन

प्रत्यास्थता: प्रतिबल, विकृति और यंग प्रत्यास्थता गुणांक

प्रत्यास्थ बनाम प्लास्टिक

हुक का नियम

प्रतिबल ∝ विकृति

यंग प्रत्यास्थता गुणांक

स्टील > रबर

स्प्रिंग खींचिए, वह फैलती है; छोड़िए, वह वापस आ जाती है। आकार वापस पाने की यही क्षमता **प्रत्यास्थता (Elasticity)** है। भौतिकी में वह पदार्थ **अधिक प्रत्यास्थ** है जिसे उतना ही विकृत करने के लिए **अधिक बल** चाहिए, इसलिए स्टील रबर से आगे है, भले ही रबर अधिक आसानी से खिंचता है।

★★ **प्रत्यास्थता**: विकृत करने वाला बल हटते ही वस्तु का अपना मूल आकार और आकृति वापस पा लेने का गुण। **सुघट्यता (Plasticity)**: वस्तु विकृत ही रह जाती है (पुट्टी, गीली मिट्टी, च्यूइंग गम)।

★★ **प्रतिबल (Stress)** = प्रति इकाई क्षेत्रफल प्रत्यानयन बल (मात्रक $N/m^2 = Pa$)। **विकृति (Strain)** = आकार में परिवर्तन ÷ मूल आकार (कोई मात्रक नहीं)।

★★★ **हुक का नियम (Hooke's law)** (रॉबर्ट हुक, Robert Hooke, 17वीं सदी): **प्रत्यास्थता सीमा (Elastic limit)** के भीतर **प्रतिबल विकृति के अनुक्रमानुपाती होता है**। **कमानीदार तुला (Spring balance)** इसी नियम पर काम करती है।

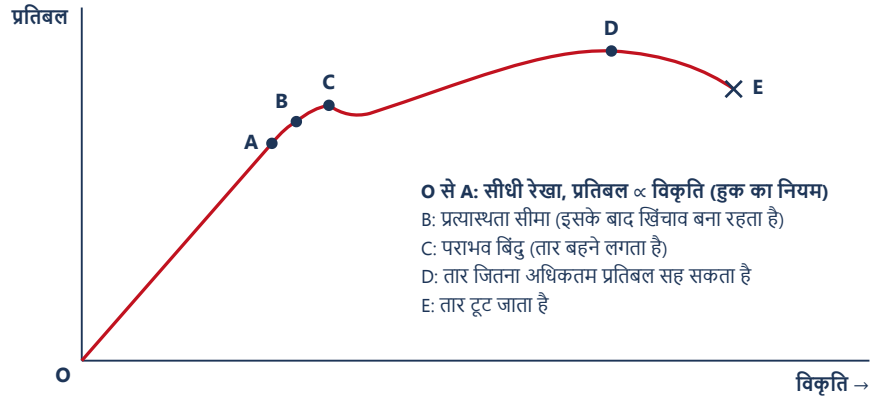
★★★ **यंग प्रत्यास्थता गुणांक (Young's modulus)** Y = अनुदैर्ध्य प्रतिबल ÷ अनुदैर्ध्य विकृति; मात्रक पास्कल। **स्टील (~200 GPa) रबर (कुछ MPa) से कहीं अधिक प्रत्यास्थ है**।

★★ अन्य गुणांक: **आयतन प्रत्यास्थता गुणांक (Bulk modulus)** (आयतन में परिवर्तन; द्रवों और गैसों के लिए एकमात्र) और **अपरूपण गुणांक / दृढ़ता गुणांक (Shear modulus / modulus of rigidity)** (आकृति में परिवर्तन; केवल ठोसों के लिए)।

★ **क्वार्ट्ज़ तंतु** लगभग पूर्ण प्रत्यास्थ है; **पुट्टी** लगभग पूर्ण सुघट्य है।

★ **प्रत्यास्थ श्रांति (Elastic fatigue)**: बार-बार भार पड़ने से समय के साथ पदार्थ कमज़ोर होता है, इसलिए वर्षों की सेवा के बाद पुराने पुल असुरक्षित घोषित किए जाते हैं।

★ प्रत्यास्थता सीमा के बाद तार स्थायी रूप से खिंचा रह जाता है; **भंजक प्रतिबल (Breaking stress)** पर वह टूट जाता है। अधिक यंग गुणांक और भंजक प्रतिबल के कारण इमारतों और पुलों में स्टील का उपयोग होता है।



धातु के तार के लिए प्रतिबल-विकृति ग्राफ़ (केवल आकार, पैमाने पर नहीं)। सीधे भाग O से A तक हुक का नियम लागू होता है; प्रत्यास्थता सीमा B के बाद तार खिंचा रह जाता है, और E पर टूट जाता है।

⚠ **परीक्षा में सावधान: स्टील रबर से अधिक प्रत्यास्थ है।** बोलचाल में रबर को लचीला कहा जाता है क्योंकि वह आसानी से खिंचता है, पर भौतिकी प्रत्यास्थता को इससे मापती है कि वस्तु कितनी मज़बूती से विरोध करती है और वापस आती है: समान विकृति के लिए स्टील को कहीं अधिक प्रतिबल चाहिए।

☑ झटपट जाँच

1. स्टील और रबर में कौन अधिक प्रत्यास्थ है, और क्यों?
2. हुक का नियम बताइए।
3. कौन-सा रोज़मर्रा का उपकरण हुक के नियम पर काम करता है?

उत्तर: 1. स्टील: समान विकृति के लिए उसे कहीं अधिक प्रतिबल चाहिए (यंग प्रत्यास्थता गुणांक अधिक) · 2. प्रत्यास्थता सीमा के भीतर, प्रतिबल ∝ विकृति · 3. कमानीदार तुला (स्प्रिंग बैलेंस)

ठोसों और द्रवों में दाब

P = F/A

पास्कल = N/m²

बड़ा क्षेत्रफल, कम दाब

P = hρg

बाँध की मोटी नींव

एक ही बल चुभ भी सकता है और हानिरहित भी हो सकता है, यह इस पर निर्भर है कि वह कितने क्षेत्रफल पर फैला है। नुकीली सुई बल को बहुत छोटे क्षेत्रफल पर केंद्रित करती है; चौड़ा पट्टा उसे फैला देता है। द्रव में दाब ऊपर के द्रव के भार से आता है, इसलिए जितना गहरे जाएँ, दाब उतना बढ़ता है।

★★★ **दाब (Pressure)** = बल ÷ क्षेत्रफल (P = F/A); एक अदिश। SI मात्रक **पास्कल (Pa) = N/m²**।

★★ अन्य मात्रक: **1 बार (bar) = 10^5 Pa**; **1 वायुमंडल (atmosphere) ≈ 1.013 × 10^5 Pa = पारे का 760 mm (76 cm)**; 1 टॉर (torr) = पारे का 1 mm। रक्तचाप पारे के mm में बताया जाता है।

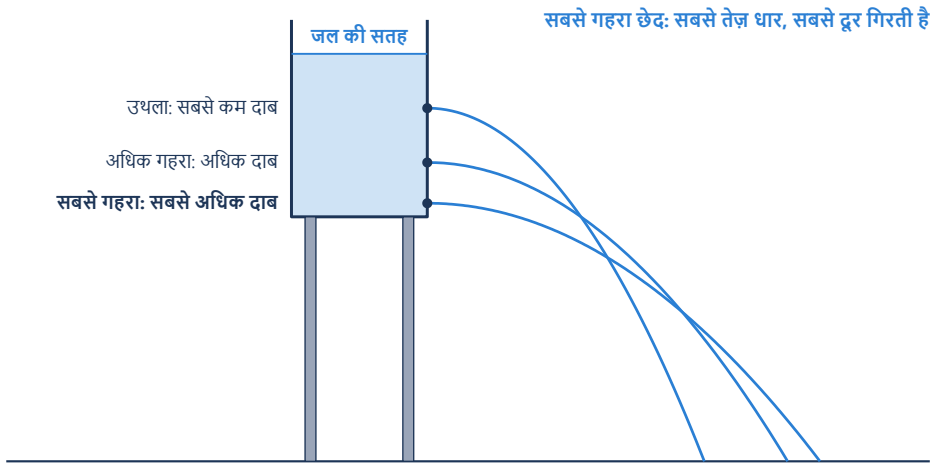
★★ **कम क्षेत्रफल, अधिक दाब**: धारदार चाकू और सुइयाँ, नुकीली कीलें, पनीर काटता पतला तार।

★★★ **अधिक क्षेत्रफल, कम दाब**: स्कूल बैग के चौड़े पट्टे, रेत पर **ऊँट के चौड़े पैर**, चौड़ी चेन-पटरियों पर चलते ट्रैक्टर और टैंक, इमारतों की चौड़ी नींव, रेल पटरियों के नीचे स्लीपर, बर्फ़ पर चलने के जूते।

★★★ **द्रव का दाब** P = **hρg** (गहराई × घनत्व × g); यह गहराई के साथ बढ़ता है, **सभी दिशाओं में बराबर** लगता है, और बर्तन के आकार पर निर्भर नहीं करता।

★★★ **बाँध की दीवारें नीचे मोटी बनाई जाती हैं** क्योंकि सबसे अधिक गहराई पर पानी का दाब सबसे अधिक होता है।

★★ गहरे समुद्र के गोताखोरों को दाब-सूट चाहिए; पानी की टंकियाँ छत पर रखी जाती हैं ताकि ऊँचाई से नलों में दाब मिले; डिब्बे के सबसे निचले छेद से पानी सबसे तेज़ वेग से निकलता है।



द्रव का दाब गहराई के साथ बढ़ता है (P = hρg), इसलिए सबसे गहरे छेद से सबसे तेज़ धार निकलती है। धारें टॉरिसेली की चाल v = √(2gh) से खींची गई हैं; डिब्बा स्टैंड पर ऊँचा रखा हो तो सबसे गहरी धार सबसे दूर भी गिरती है।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** दाब का SI मात्रक **N/m² (पास्कल)** है, N·m नहीं (वह बल-आघूर्ण या कार्य का है) और N/m भी नहीं (वह पृष्ठ तनाव का है)।

☑ झटपट जाँच

1. दाब का SI मात्रक?
2. बाँध की दीवारें नीचे मोटी क्यों बनाई जाती हैं?
3. ऊँट रेत पर आसानी से क्यों चल लेता है?

उत्तर: 1. पास्कल (N/m²) · 2. द्रव का दाब गहराई के साथ बढ़ता है (P = hρg) · 3. चौड़े पैर: बड़ा क्षेत्रफल यानी कम दाब

वायुमंडलीय दाब

1 atm = 76 cm पारा

स्ट्रॉ, सिरिंज

विमान में पेन का रिसना

बैरोमीटर

तेज़ गिरावट: तूफ़ान

हम लगभग 100 km गहरे हवा के महासागर की तली में रहते हैं। उसका भार हर वर्ग मीटर पर लगभग 1 लाख न्यूटन से दबाता है, पर हमें पता नहीं चलता क्योंकि हमारे शरीर के भीतर के तरल बराबर धक्का वापस देते हैं। जब बाहर का धक्का बदलता है, जैसे विमान में या पहाड़ पर, तब हमें महसूस होता है।

★★★ समुद्र तल पर **सामान्य वायुमंडलीय दाब (Atmospheric pressure)** ≈ **1.013 × 10⁵ Pa** = पारे का 76 cm = लगभग **10.3 m** ऊँचा पानी का स्तंभ। यह **ऊँचाई के साथ घटता** है।

★★★ **पीने की स्ट्रॉ, सिरिंज, ड्रॉपर, सक्शन हुक**: आप भीतर का दाब घटाते हैं, और **बाहर का वायु दाब** द्रव को भीतर धकेलता है या हुक को दीवार से दबाए रखता है।

★★ **अधिक ऊँचाई पर नाक से खून आना**: बाहर का दाब कम होता है जबकि रक्तचाप वही रहता है, इसलिए नाक की बारीक नसें फट सकती हैं।

★★★ **विमान में फ़ाउंटेन पेन का रिसना**: केबिन का दाब स्याही की नली में फँसी हवा के दाब से कम होता है, इसलिए फँसी हवा फैलकर स्याही को बाहर धकेलती है।

★★ पहाड़ी सड़कों और उड़ानों में बंद चिप्स के पैकेट **फूल जाते हैं**; उड़ान भरते समय कान बंद-से हो जाते हैं; पहाड़ों पर पानी 100 °C से कम पर उबलता है, जिससे खाना पकने में देर लगती है।

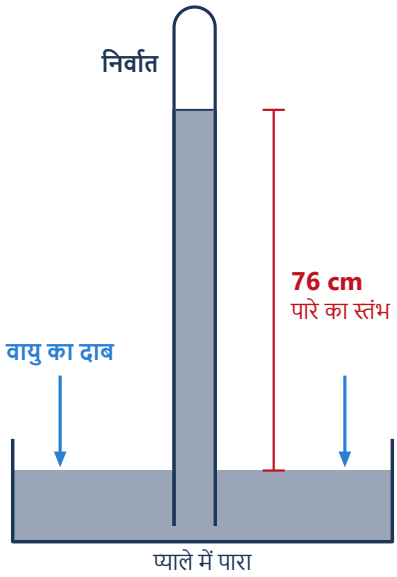
★ चूषण पंप पानी को लगभग **10 m** से अधिक ऊपर नहीं उठा सकता, क्योंकि वायुमंडलीय दाब बस इतने ही पानी को थाम सकता है।

★ **ओटो वॉन गेरिक (Otto von Guericke) के मैगडेबर्ग गोलार्ध (Magdeburg hemispheres)** (1654): घोड़ों की दो टोलियाँ उन दो गोलार्धों को अलग नहीं कर सकीं जिनके भीतर से हवा निकाल दी गई थी।

ओटो वॉन गेरिके के मैग्डेबर्ग अर्धगोले (1654), उनकी 1672 की पुस्तक के उत्कीर्ण चित्र में: दोनों अर्धगोलों के बीच की हवा निकाल देने पर घोड़ों के दल भी उन्हें अलग नहीं कर सके। बाहर की हवा का दाब उन्हें जोड़े रहा। चित्र: Gaspar Schott, Wikimedia Commons, public domain

★★ **बैरोमीटर (दाबमापी, Barometer)** वायुमंडलीय दाब मापता है। **इवेंजेलिस्टा टॉरिसेली (Evangelista Torricelli)** ने 1643 में पारे वाले बैरोमीटर का आविष्कार किया; पारा इसलिए लिया जाता है कि वह बहुत सघन है (10.3 m पानी के बजाय 76 cm का स्तंभ), लगभग वाष्पित नहीं होता और काँच को नहीं भिगोता।

★★ **निर्द्रव बैरोमीटर (Aneroid barometer)** में कोई द्रव नहीं होता; विमान का **तुंगतामापी (Altimeter)** ऊँचाइयों में अंकित निर्द्रव बैरोमीटर ही है।



टॉरिसेली का पारा बैरोमीटर, पैमाने पर: खुले प्याले पर हवा का दाब 76 cm पारे के स्तंभ को थामे रखता है, जिसके ऊपर निर्वात है। यही दाब लगभग 10.3 m पानी का स्तंभ थाम सकता है।

बैरोमीटर पाठ्यांक और मौसम ★★★

बैरोमीटर पाठ्यांक	संभावित मौसम
अचानक, तेज़ गिरावट	तूफ़ान, चक्रवात या आँधी आने वाली है
धीरे-धीरे गिरावट	वर्षा की संभावना (नम वायु शुष्क वायु से हल्की होती है)
धीरे-धीरे वृद्धि	साफ़, शुष्क मौसम
स्थिर	मौसम में कोई बदलाव नहीं

💡 **याद रखें: बैरोमीटर गिरा, मौसम बिगड़ा** (Barometer falls, weather falls apart): तेज़ गिरावट तूफ़ान की चेतावनी, धीमी गिरावट वर्षा की, और वृद्धि साफ़ आसमान की।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** स्ट्रॉ **वायुमंडलीय दाब** से काम करती है, केशिकत्व से नहीं। केशिकत्व न हो तब भी आप स्ट्रॉ से पी सकेंगे, पर बत्ती, स्याही सोख्ता और पौधों में रस का चढ़ना विफल हो जाएँगे।

☑ झटपट जाँच

1. पीने की स्ट्रॉ _____ के कारण काम करती है, केशिकत्व के कारण नहीं।
2. विमान में फाउंटेन पेन क्यों रिसने लगता है?
3. बैरोमीटर का पाठ्यांक अचानक तेज़ी से गिरे तो वह किसकी चेतावनी है?

उत्तर: 1. वायुमंडलीय दाब · 2. केबिन का दाब कम होता है, इसलिए पेन में फँसी हवा फैलकर स्याही बाहर धकेलती है · 3. तूफ़ान की

पास्कल का नियम और हाइड्रोलिक मशीनें

पास्कल का नियम

बिना घटे, सभी दिशाओं में

$F_2 = F_1 \times A_2/A_1$

हाइड्रोलिक ब्रेक

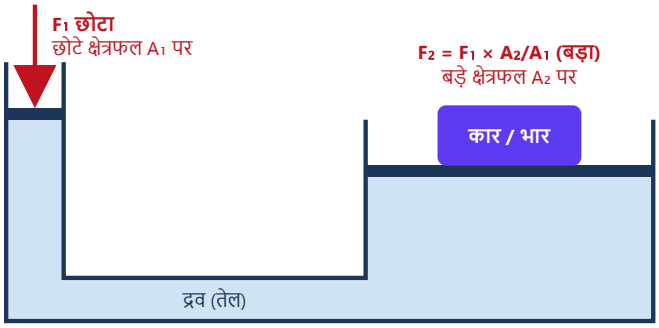
द्रव बहुत कम संपीडित होते हैं, इसलिए बंद द्रव के एक भाग पर दिया गया धक्का तुरंत हर जगह महसूस होता है। छोटे पिस्टन को दबाइए तो वही दाब बड़े पिस्टन के नीचे पहुँचता है, जहाँ वह बड़े क्षेत्रफल पर लगकर बड़ा बल देता है। कीमत: छोटे पिस्टन को लंबी दूरी तक चलना पड़ता है।

★★★ **पास्कल का नियम (Pascal's law)** (ब्लेज़ पास्कल, Blaise Pascal): **बंद द्रव** पर लगाया गया दाब **सभी दिशाओं में बिना घटे** संचरित होता है।

कार्य गुणित नहीं

★★★ हाइड्रोलिक मशीन में $F_1/A_1 = F_2/A_2$, अतः **$F_2 = F_1 \times (A_2/A_1)$**: छोटे पिस्टन पर छोटा बल बड़े पिस्टन पर भारी बोझ उठा देता है। बल गुणित होता है; **कार्य नहीं** (बड़ा पिस्टन कम दूरी चलता है)।

★★★ उपयोग: **हाइड्रोलिक लिफ्ट** (कार सर्विस स्टेशन), **हाइड्रोलिक ब्रेक** (एक पैडल चारों पहियों तक बराबर दाब भेजता है), **हाइड्रोलिक प्रेस** (ब्रामा प्रेस, कपास की गाँठें बाँधने और धातु दबाने के लिए), हाइड्रोलिक जैक, JCB खुदाई मशीन की भुजाएँ, दंत चिकित्सक और नाई की कुर्सियाँ।



पास्कल का नियम: दाब F_1/A_1 द्रव के हर भाग तक बिना घटे पहुँचता है।
बड़े पिस्टन पर वही दाब बड़े क्षेत्रफल पर लगता है, इसलिए बल बड़ा; पर वह कम दूरी चलता है।

हाइड्रोलिक लिफ्ट: दोनों पिस्टनों पर एक ही दाब लगता है, इसलिए बड़े पिस्टन को उतने गुना बड़ा बल मिलता है जितने गुना बड़ा उसका क्षेत्रफल है।

याद रखें: Pascal passes pressure perfectly: चार P वाला वाक्य। छोटे पिस्टन पर थोड़ा दबाइए, बड़े पिस्टन पर बहुत उठाइए।

झटपट जाँच

1. पास्कल का नियम बताइए।
2. पास्कल के नियम पर चलने वाली तीन मशीनें बताइए।
3. हाइड्रोलिक लिफ्ट बल को कई गुना करती है। क्या कार्य को भी?

उत्तर: 1. बंद द्रव पर लगाया गया दाब बिना घटे सभी दिशाओं में पहुँचता है · 2. हाइड्रोलिक लिफ्ट, हाइड्रोलिक ब्रेक, हाइड्रोलिक प्रेस · 3. नहीं: बड़ा पिस्टन कम दूरी तय करता है

उत्प्लावन, आर्किमिडीज़ का सिद्धांत और तैरना

आर्किमिडीज़ का सिद्धांत

प्लवन का नियम

बर्फ़ पिघले: तल वही

हिमशैल: 9/10 नीचे

नदी → समुद्र: ऊपर उठता

पानी में डूबी वस्तु के नीचे वाले भाग पर ऊपर वाले भाग से अधिक धक्का लगता है, क्योंकि नीचे का भाग अधिक गहरा है। यही कुल ऊपरी धक्का **उत्प्लावन बल (Buoyant force / upthrust)** है, और आर्किमिडीज़ (Archimedes) ने पाया कि यह वस्तु द्वारा हटाए गए द्रव के भार के बराबर होता है। वस्तु उससे हल्की हो तो तैरती है।

★★★ **आर्किमिडीज़ का सिद्धांत (Archimedes' principle)**: किसी तरल में पूरी या आंशिक रूप से डूबी वस्तु पर **हटाए गए तरल के भार के बराबर ऊपर की ओर उत्प्लावन बल** लगता है; उसका भार उतना ही घटा हुआ प्रतीत होता है।

★★★ **प्लवन का नियम (Law of flotation)**: वस्तु तब तैरती है जब उसका भार उसके द्वारा हटाए गए द्रव के भार के बराबर हो। **द्रव से कम सघन वस्तु तैरती है**, अधिक सघन डूब जाती है।

★★ **तैरती वस्तु का द्रव के भीतर डूबा भाग** = उसका घनत्व ÷ द्रव का घनत्व।

★★ **घनत्व (Density)** = द्रव्यमान ÷ आयतन, SI मात्रक **kg/m³**। **आपेक्षिक घनत्व (Relative density)** = पदार्थ का घनत्व ÷ 4 °C पर पानी का घनत्व; इसका **कोई मात्रक नहीं** होता।

★★ **लोहे का जहाज़ तैरता है** जबकि लोहे की कील डूब जाती है: खोखला ढाँचा पानी का बड़ा आयतन हटाता है, जो जहाज़ के भार के बराबर होने के लिए पर्याप्त है।

★★ कुएँ में पानी से भरी बाल्टी जब तक पानी के भीतर रहती है हल्की लगती है, और बाहर आते ही भारी।

याद रखने योग्य घनत्व (लगभग, कमरे के ताप पर) ★★

पदार्थ	घनत्व (kg/m³)	आपेक्षिक घनत्व
वायु (समुद्र तल)	1.2	0.0012
कॉर्क	लगभग 240	0.24
बर्फ़	917	0.92
शुद्ध पानी (4 °C)	1000	1.00
समुद्री पानी	लगभग 1025	1.025
लोहा	लगभग 7,870	7.9
पारा	13,600	13.6
सोना	लगभग 19,300	19.3
ऑस्मियम (सबसे सघन तत्व)	लगभग 22,590	22.6

★★ **लोहा पारे पर तैरता है** पर पानी में डूब जाता है। **लीथियम (Lithium)** (0.53 g/cm³) सबसे हल्की धातु है और पानी पर तैरती है।

★★★ **किनारे तक भरे गिलास में तैरती बर्फ़**: पिघलने पर पानी का **स्तर नहीं बदलता** और कुछ नहीं छलकता, क्योंकि तैरती बर्फ़ पहले ही ठीक अपने भार के बराबर पानी हटा चुकी थी।

★★★ **हिमशैल (Iceberg)**: समुद्री पानी (लगभग 1025 kg/m³) में बर्फ़ (917 kg/m³) **लगभग 9/10 भाग सतह के नीचे** रखकर तैरती है, इसीलिए कहते हैं 'हिमशैल का सिरा' (tip of the iceberg)।

★★★ **जहाज़ नदी की तुलना में समुद्र में अधिक ऊपर तैरता है**: सघन समुद्री पानी में कम आयतन हटाना पड़ता है। नदी से समुद्र में जाता जहाज़ **थोड़ा ऊपर उठ जाता है**। जहाज़ों पर **भार रेखा (प्लिमसोल रेखा, Plimsoll line)** बनी होती है, जो अलग-अलग पानी में सुरक्षित लदान दिखाती है।

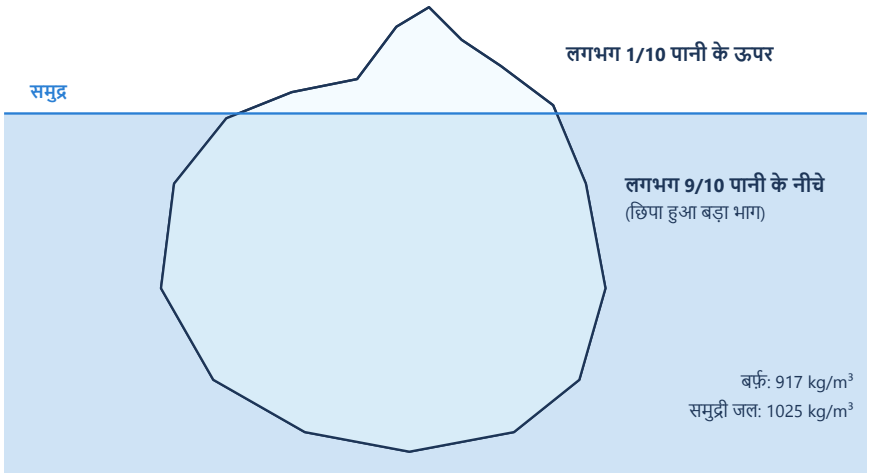
★★ **अंडा सादे पानी में डूबता है पर गाढ़े नमकीन पानी में तैरता है**; बहुत खारे **मृत सागर (Dead Sea)** में लोग आसानी से तैरते हैं।

★★ **पनडुब्बी (Submarine)**: भारी होकर गोता लगाने के लिए अपने **गिट्टी टैंकों (Ballast tanks) में पानी भरती है**; हल्की होकर ऊपर उठने के लिए **संपीडित वायु** से पानी बाहर निकाल देती है।

★★ **गर्म हवा का गुब्बारा**: भीतर की गर्म हवा बाहर की ठंडी हवा से कम सघन होती है, इसलिए हटाई गई ठंडी हवा का भार गुब्बारे के भार से अधिक होता है और वह ऊपर उठता है। हीलियम या हाइड्रोजन से भरे गुब्बारे भी इसी तरह उठते हैं।

★ **दुग्धमापी (Lactometer)** दूध की शुद्धता उसके घनत्व से जाँचता है; **हाइड्रोमीटर (Hydrometer)** द्रवों (बैटरी का अम्ल, ऐल्कोहॉल) का आपेक्षिक घनत्व मापता है; दोनों हल्के द्रवों में अधिक गहरे डूबते हैं।

★ मछलियाँ हवा से भरे **वाताशय (Swim bladder)** से अपनी गहराई बदलती हैं; लाइफ़ जैकेट की हवा पहनने वाले की उत्प्लावकता बढ़ाती है।



घनत्व के अनुपात में सटीक खींचा गया हिमशैल: समुद्री जल (1025 kg/m³) में तैरती बर्फ़ (917 kg/m³) का 917/1025 ≈ 89.5% भाग जल-तल के नीचे रहता है (आकृति एकसमान मोटाई की पट्टी मानकर खींची गई है)।

याद रखें: पानी ऊपर उठा तो आर्किमिडीज़ **यूरेका! (Eureka!)** चिल्लाते हुए स्नान-टब से कूद पड़े: शरीर अपने आयतन जितना पानी हटाता है, और पानी उतने पानी के भार से ऊपर की ओर धक्का देता है।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** भरे गिलास में पिघलती बर्फ़ से पानी **नहीं** छलकता और स्तर **नहीं** घटता। (बहुत नमकीन पानी में बर्फ़ पिघले तो स्तर थोड़ा बढ़ता है, क्योंकि ताज़ा पिघला पानी खारे पानी से हल्का है।) नाव से तालाब में फेंका गया पत्थर तालाब का स्तर थोड़ा **घटा** देता है।

झटपट जाँच

1. किसी पिंड पर उत्प्लावन बल _____ के बराबर होता है।
2. लबालब भरे गिलास में तैरती बर्फ़ पिघलती है। जल-तल का क्या होगा?
3. जहाज़ नदी से समुद्र में जाता है। वह थोड़ा ऊपर उठेगा या डूबेगा?

उत्तर: 1. उसके द्वारा हटाए गए द्रव के भार · 2. कोई परिवर्तन नहीं; कुछ नहीं छलकेगा · 3. ऊपर उठेगा: समुद्री जल अधिक घना है

पृष्ठ तनाव

तनी हुई झिल्ली

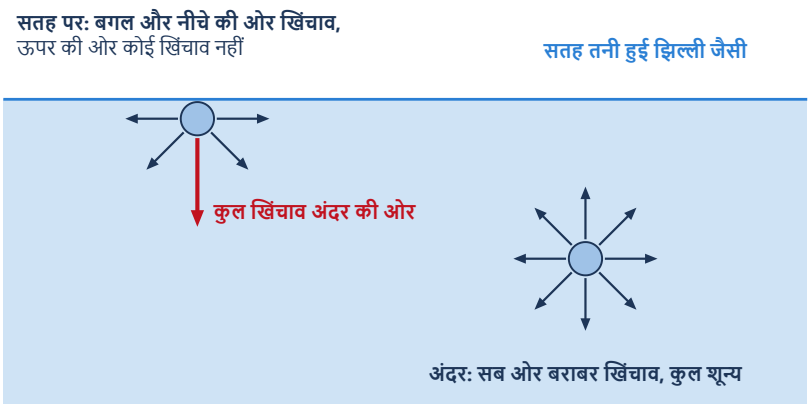
मात्रक: N/m

गोल बूँदें

ऊष्मा, साबुन घटाते

केरोसिन और लार्वा

द्रव के भीतर का अणु सभी ओर से बराबर खिंचता है, पर सतह का अणु केवल भीतर और बगल की ओर खिंचता है। इसलिए सतह एक **तनी हुई लचीली झिल्ली** की तरह व्यवहार करती है जो सबसे कम क्षेत्रफल तक सिकुड़ना चाहती है। दिए गए आयतन के लिए गोले की सतह सबसे कम होती है, इसलिए स्वतंत्र बूँदें गोल हो जाती हैं।



द्रव की सतह तनी हुई झिल्ली जैसी क्यों व्यवहार करती है: अंदर के अणु पर सब ओर बराबर खिंचाव होता है, पर सतह के अणु के ऊपर द्रव नहीं होता, इसलिए उस पर कुल खिंचाव अंदर की ओर होता है।

★★★ **पृष्ठ तनाव (Surface tension)**: द्रव की सतह पर प्रति इकाई लंबाई बल; मात्रक **N/m** (J/m² भी)। 25 °C पर पानी ≈ 0.072 N/m; पारे का कहीं अधिक (लगभग 0.48 N/m)।

★★★ **वर्षा की बूँदें, पारे की बूँदें और साबुन के बुलबुले गोल होते हैं** क्योंकि पृष्ठ तनाव क्षेत्रफल को न्यूनतम करता है।

★★ **ताप बढ़ने से पृष्ठ तनाव घटता है**: गर्म पानी और गर्म साबुन का पानी बेहतर सफ़ाई करते हैं; गर्म सूप जीभ पर फैलकर अधिक स्वादिष्ट लगता है।

★★ **साबुन और डिटर्जेंट पृष्ठ तनाव घटाते हैं**, जिससे पानी कपड़े के रेशों में फैलकर चिकनाई हटा देता है।

★★★ **रुके हुए पानी पर मिट्टी का तेल या तेल** उसका पृष्ठ तनाव घटाता है; **मच्छरों के लार्वा**, जो साँस लेने के लिए सतह की झिल्ली से लटके रहते हैं, अब टिक नहीं पाते, डूबकर मर जाते हैं।

★★ **तेल समुद्र की ऊँची लहरों को शांत करता है**: सतह पर फैलकर वह पृष्ठ तनाव घटाता है और उन छोटी लहरियों को दबा देता है जिन पर बड़ी लहरें बनती हैं।

★★ **वाटर स्ट्राइडर** जैसे कीट **पानी पर चलते हैं**; धीरे से रखी सूखी सुई या ब्लेड तैरता है; दोनों सतह की झिल्ली पर टिके होते हैं।

★★ पेंटब्रश के बाल पानी में फैल जाते हैं पर बाहर निकालने पर **आपस में चिपक जाते हैं**; डेटॉल जैसे **ऐंटिसेप्टिक** का पृष्ठ तनाव कम होता है, इसलिए वे घाव में फैल जाते हैं।

★ **साधारण नमक घोलने से** पानी का पृष्ठ तनाव **थोड़ा बढ़ता है**; साबुन, डिटर्जेंट और ऐल्कोहॉल इसे घटाते हैं।

धारा की सतह पर खड़ा जल-स्ट्राइडर कीट। उसके पैर सतह में छोटे गड्ढे बनाते हैं पर उसे तोड़ते नहीं (तल पर दिखते काले घेरे उन्हीं की छाया हैं): पृष्ठ तनाव उसे थामे रहता है। चित्र: Tim McCormack, Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0

याद रखें: पृष्ठ तनाव घटता है **H-S-D: Heat, Soap, Detergent** से, यानी ऊष्मा, साबुन, डिटर्जेंट (तेल और मिट्टी का तेल भी जोड़ लें)। मच्छर के लार्वा याद रखें: एक चम्मच मिट्टी का तेल उनका फ़र्श तोड़ देता है।

परीक्षा में सावधान: तेल पानी पर इसलिए फैलता है कि तेल का पृष्ठ तनाव पानी से **कम** है। मिट्टी का तेल लार्वा को पृष्ठ तनाव घटाकर मारता है (वे डूब जाते हैं), पानी को ज़हरीला बनाकर नहीं।

झटपट जाँच

1. वर्षा की बूँदें गोल क्यों होती हैं?
2. तालाब पर डाला गया केरोसिन मच्छर के लार्वा को कैसे मारता है?
3. पृष्ठ तनाव का SI मात्रक?

उत्तर: 1. पृष्ठ तनाव सतह को सिकोड़ता है, और गोले का क्षेत्रफल सबसे कम होता है · 2. पृष्ठ तनाव घटा देता है; लार्वा सतह से लटक नहीं पाते और डूब जाते हैं · 3. N/m

संसंजन, आसंजन और केशिकत्व

संसंजन बनाम आसंजन

पानी: अवतल, चढ़ता

पारा: उत्तल, गिरता

पतली नली, अधिक चढ़ाव

गुड़ाई से नमी बचती

एक ही पदार्थ के अणु एक-दूसरे को आकर्षित करते हैं (**संसंजन, Cohesion**); अलग पदार्थों के अणु भी आकर्षित करते हैं (**आसंजन, Adhesion**)। यदि द्रव को काँच अपने से अधिक पसंद है, तो वह दीवारों पर चढ़ता है और पतली नली में ऊपर रेंगता है। यदि उसे खुद से अधिक लगाव है, तो वह पीछे हटता है और नली में नीचे धँसता है।

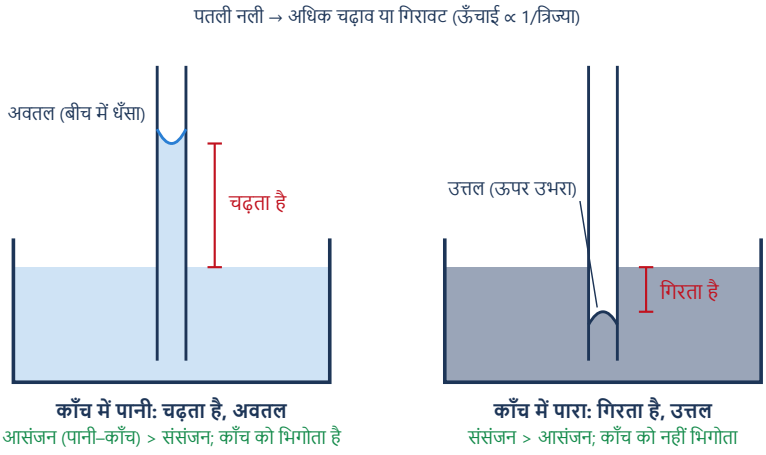
★★ **संसंजन**: समान अणुओं के बीच आकर्षण (पानी–पानी)। **आसंजन**: असमान अणुओं के बीच आकर्षण (पानी–काँच)।

★★★ **काँच में पानी**: आसंजन > संसंजन, इसलिए पानी **काँच को भिगोता है**, **अवतल नवचंद्रक (Concave meniscus)** बनाता है (स्पर्श कोण लगभग 0°, न्यून कोण) और केशिका नली में **ऊपर चढ़ता है**।

★★★ **काँच में पारा**: संसंजन > आसंजन, इसलिए पारा **काँच को नहीं भिगोता**, **उत्तल नवचंद्रक (Convex meniscus)** बनाता है (स्पर्श कोण लगभग 140°, अधिक कोण) और केशिका में **नीचे दब जाता है**।

★★ पानी का स्तर नवचंद्रक के **निचले** भाग पर और पारे का स्तर **ऊपरी** भाग पर पढ़ें।

★★★ **केशिकत्व (Capillarity)**: पृष्ठ तनाव के कारण पतली नली या बारीक छिद्रों में द्रव का ऊपर चढ़ना या नीचे उतरना। **नली जितनी पतली, चढ़ाव उतना अधिक** ($h = 2T\cos\theta / r\rho g$; ऊँचाई ∝ 1/त्रिज्या)।



पानी काँच को भिगोता है, अवतल वक्र बनाता है और केशिका में चढ़ता है; पारा काँच को नहीं भिगोता, उत्तल वक्र बनाता है और नीचे धकेला जाता है।

केशिकत्व के उदाहरण ★★★

उदाहरण	क्या होता है
मिट्टी के तेल के लैंप या दीये की बत्ती	तेल सूती धागों के बीच की बारीक दरारों से लौ तक चढ़ता है
स्याही सोख्ता, तौलिया, स्पंज, टिश्यू	स्याही या पानी बारीक छिद्रों में खिंच जाता है
पौधों में पानी का चढ़ना	पानी बारीक जाइलम वाहिकाओं में चढ़ता है (वाष्पोत्सर्जन खिंचाव की मदद से); ऊँचे पेड़ इसी पर निर्भर हैं
चाय में डूबा चीनी का क्यूब या चॉक	द्रव छिद्रों से ऊपर रिसता है
सीलन भरी दीवारें	भूजल ईंटों के छिद्रों से ऊपर चढ़ता है; नमी-रोधी परत (डैम्प-प्रूफ़ कोर्स) इसे रोकती है
मिट्टी की नमी	पानी मिट्टी की बारीक नलिकाओं से सतह तक चढ़कर वाष्पित हो जाता है

★★★ ऊपरी मिट्टी की **गुड़ाई या जुताई बारीक केशिकाओं को तोड़ देती है**, इसलिए भूजल सतह तक चढ़कर वाष्पित नहीं हो पाता; मिट्टी **नमी बनाए रखती है**। मिट्टी पर **रोलर चलाना** (दबाना) उलटा काम करता है और पानी ऊपर लाता है।

याद रखें: Water is a hugger (पानी गले मिलने वाला: काँच से प्यार, ऊपर चढ़ता है, ऊपर से देखने पर मुस्कान जैसा वक्र, अवतल)। **Mercury is a loner** (पारा अकेला रहने वाला: काँच से दूर, नीचे धँसता है, गुंबद जैसा उभार, उत्तल)।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** केशिकत्व के बिना मिट्टी के तेल का लैंप, स्याही सोख्ता और ऊँचे पेड़ विफल हो जाएँगे, पर **स्ट्रॉ से पीना** तब भी चलेगा, क्योंकि वह वायुमंडलीय दाब पर निर्भर है।

झटपट जाँच

1. काँच की केशिका में पानी: नवचंद्रक का आकार क्या है, और पानी चढ़ता है या गिरता है?
2. काँच की केशिका में पारा: नवचंद्रक का आकार और तल?
3. ऊपरी मिट्टी की गुड़ाई से खेत में नमी क्यों बनी रहती है?

उत्तर: 1. अवतल; चढ़ता है · 2. उत्तल; गिरता है · 3. केशिकाएँ टूट जाती हैं, इसलिए पानी सतह तक चढ़कर वाष्पित नहीं हो पाता

श्यानता, स्टोक्स का नियम और सीमांत वेग

प्रवाह का विरोध

शहद > रक्त > पानी

ऊष्मा: द्रव ↓, गैस ↑

सीमांत वेग

पैराशूट

शहद और पानी साथ-साथ उड़ेलिए: शहद रेंगता है, पानी दौड़ता है। बहते तरल की हर परत अपनी पड़ोसी परत को खींचती है, जैसे ताश की गड्डी के पत्ते खिसकाए जाने का विरोध करते हैं। यही आंतरिक घर्षण **श्यानता (Viscosity)** है। गर्म करने से द्रव के अणु ढीले पड़ते हैं, पर गैस में गर्म करने से अणु अधिक टकराते हैं और अधिक खिंचाव पैदा करते हैं।

★★★ **श्यानता**: तरल का आंतरिक घर्षण, परतों के बीच **प्रवाह का प्रतिरोध**। श्यानता गुणांक का SI मात्रक: **पास्कल-सेकंड (Pa·s)**; CGS मात्रक **पॉइज़ (poise)** (1 Pa·s = 10 पॉइज़)।

★★★ श्यानता का क्रम: **शहद > ग्लिसरीन > रक्त > पानी > वायु**। रक्त पानी से लगभग 3–4 गुना श्यान है।

★★★ **ताप**: गर्म करने पर **द्रवों की श्यानता घटती है** (गर्म शहद और इंजन ऑयल आसानी से बहते हैं) पर **गैसों की श्यानता बढ़ती है**।

★ भारी मशीनों में गाढ़े (अधिक श्यान) तेल स्नेहक के रूप में प्रयुक्त होते हैं; आदर्श तरल की श्यानता शून्य होती, और परम शून्य के पास द्रव हीलियम (एक **अतितरल, Superfluid**) सचमुच बिना श्यानता के बहता है।

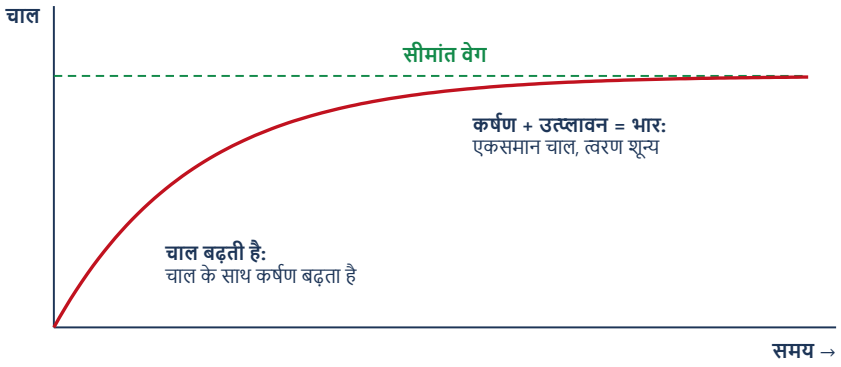
★★ **स्टोक्स का नियम (Stokes' law)** (जॉर्ज स्टोक्स, George Stokes, 1851): तरल में धीरे-धीरे चलते छोटे गोले पर कर्षण बल, **$F = 6\pi\eta rv$**, श्यानता η, त्रिज्या r और चाल v के साथ बढ़ता है।

★★★ **सीमांत वेग (Terminal velocity)**: गिरती वस्तु की चाल तब तक बढ़ती है जब तक कर्षण और उत्प्लावन मिलकर उसके भार के बराबर न हो जाएँ; तब कुल बल शून्य होता है और वह **नियत चाल** से गिरती है।

★★★ **वर्षा की बूँदें** केवल कुछ मीटर प्रति सेकंड का सीमांत वेग पाती हैं, इसलिए चोट नहीं पहुँचातीं; **बड़ी बूँदें तेज़ गिरती हैं** (छोटी बूँदों के लिए सीमांत वेग $\propto r^2$)। बादलों की नन्ही बूँदें इतनी धीरे गिरती हैं कि बादल तैरते हुए लगते हैं।

★★ **पैराशूट** का बड़ा क्षेत्रफल वायु कर्षण बढ़ाकर सीमांत वेग को लगभग 5 m/s की सुरक्षित उतरने की चाल तक घटा देता है, जबकि बिना पैराशूट के स्काइडाइवर की चाल लगभग 55 m/s होती है।

★ **मिलिकन के तेल-बूँद प्रयोग (Millikan's oil-drop experiment)** में इलेक्ट्रॉन का आवेश मापने के लिए स्टोक्स के नियम का उपयोग हुआ।



गिरती वर्षा की बूँद की चाल समय के साथ: कर्षण और उत्प्लावन का योग भार के बराबर होने तक चाल बढ़ती है, फिर बूँद स्थिर सीमांत वेग से गिरती है (वक्र कर्षण $\propto$ चाल मानकर खींचा गया है, जैसा स्टोक्स के नियम में)।

★★ **सांतत्य समीकरण (Equation of continuity)**: स्थायी प्रवाह में क्षेत्रफल × चाल स्थिर रहता है, इसलिए **जहाँ पाइप पतला होता है वहाँ द्रव तेज़ बहता है**: पाइप का मुँह दबाने पर पानी दूर तक जाता है; नदी वहाँ सबसे तेज़ बहती है जहाँ वह संकरी और उथली होती है।

★ **धारारेखीय प्रवाह (Streamline flow)** कम चाल पर चिकना और परतदार होता है; एक क्रांतिक चाल से ऊपर यह अव्यवस्थित **विक्षुब्ध प्रवाह (Turbulent flow)** बन जाता है (रेनॉल्ड्स संख्या, Reynolds number, से आँका जाता है)।

याद रखें: Hot honey hurries, hot air hesitates: गर्म शहद दौड़ता है, गर्म हवा ठिठकती है। ऊष्मा द्रवों को पतला और गैसों को अधिक चिपचिपा बनाती है।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** गर्म करने से केवल **द्रवों** की श्यानता घटती है; **गैसों** की बढ़ती है। और सीमांत वेग का अर्थ है **शून्य त्वरण**, शून्य वेग नहीं।

झटपट जाँच

1. द्रव को गर्म करें और गैस को गर्म करें: दोनों की श्यानता का क्या होता है?
2. सीमांत वेग क्या है?
3. शहद, पानी और रक्त को श्यानता के क्रम में लिखिए, सबसे अधिक पहले।

उत्तर: 1. द्रव: घटती है; गैस: बढ़ती है · 2. वह स्थिर चाल जो कर्षण और उत्प्लावन का योग भार के बराबर होने पर मिलती है: त्वरण शून्य · 3. शहद > रक्त > पानी

बरनौली का सिद्धांत

तेज़ प्रवाह, कम दाब

वायुयान का उठाव

छत उड़ना

एटमाइज़र

नावें पास खिंचतीं

बहते तरल के पास ऊर्जा का एक निश्चित बजट होता है, जो दाब और गति के बीच बँटा रहता है। जहाँ उसे तेज़ चलना पड़ता है, वहाँ उसका दाब गिरना ही है। डेनियल बरनौली (Daniel Bernoulli) ने 1738 में यह बताया, और यही समझाता है कि विमान क्यों उड़ते हैं और आँधी छतें क्यों उखाड़ देती है।

★★★ **बरनौली का सिद्धांत (Bernoulli's principle)**: आदर्श तरल के स्थायी प्रवाह में प्रति इकाई आयतन दाब ऊर्जा + गतिज ऊर्जा + स्थितिज ऊर्जा स्थिर रहती है, इसलिए **जहाँ चाल बढ़ती है, वहाँ दाब घटता है**। यह तरलों पर लागू ऊर्जा संरक्षण है।

★★★ **वायुयान का उत्थापन (Lift)**: पंख (एयरोफ़ॉइल) का आकार और झुकाव ऐसा होता है कि हवा **ऊपर से तेज़** बहती है; ऊपर का दाब नीचे के दाब से कम हो जाता है, जिससे पंख ऊपर धकेला जाता है।

★★★ **आँधी में छतें उड़ना**: छत के ऊपर तेज़ हवा वहाँ का दाब घटा देती है जबकि भीतर की स्थिर हवा ऊपर धकेलती है; हल्की टिन की छतें उखड़ जाती हैं।

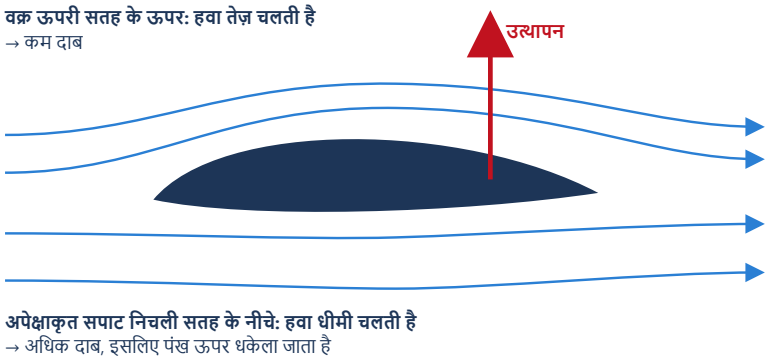
★★★ **एटमाइज़र, इत्र स्प्रे, कीटनाशक पंप (फ़्लिट गन), पेंट स्प्रे गन, कार्बुरेटर**: नली के ऊपर से गुज़रती तेज़ हवा की धार वहाँ दाब घटाती है, जिससे द्रव ऊपर खिंचकर महीन फुहार में टूट जाता है।

★★ **साथ-साथ चलती दो नावें (या जहाज़)** एक-दूसरे की ओर खिंच जाती हैं: उनके बीच का पानी तेज़ बहता है और उसका दाब घट जाता है।

★★ तेज़ ट्रेन के पास खड़ा होना ख़तरनाक है: आपके और ट्रेन के बीच तेज़ चलती हवा दाब घटा देती है, और आपके पीछे की हवा आपको ट्रेन की ओर धकेल देती है।

★★ तेज़ हवा में छाता उलट जाता है; झोंके से धूल और कागज़ उठ जाते हैं; हवा की धार में पिंग-पॉन्ग गेंद संतुलित टिकी रहती है।

★ **घूमती गेंद मुड़ जाती है** (क्रिकेट में स्पिन गेंद का हवा में बहकना, फ़ुटबॉल की मुड़ती फ़्री किक) क्योंकि घुमाव से एक ओर हवा तेज़ बहती है: यह **मैग्नस प्रभाव (Magnus effect)** है। **वेंचुरीमापी (Venturi meter)** संकरे कंठ में दाब की गिरावट से प्रवाह की दर मापता है।



वायुयान का पंख: ऊपर तेज़ हवा का अर्थ है ऊपर कम दाब, इसलिए नीचे का अधिक दाब पंख को ऊपर उठाता है।

💡 **याद रखें: तेज़ हवा, कम दाब: तेज़ बोलने वाले सेल्समैन को सोचिए: चाल बहुत, बहस के लिए दबाव बचा ही नहीं।** चाल बढ़ी, दाब घटा।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** आँधी में छत **ऊपर के कम दाब** से उठती है, हवा के नीचे दबाने वाले ऊँचे दाब से नहीं। तेज़ प्रवाह का अर्थ है **कम** दाब, जो सहज बुद्धि के उलट है।

☑ झटपट जाँच

1. बरनौली का सिद्धांत एक पंक्ति में?
2. आँधी में छत क्यों उड़ जाती है?
3. इत्र का एटमाइज़र किस सिद्धांत से फुहार छोड़ता है?

उत्तर: 1. जहाँ तरल तेज़ बहता है, वहाँ उसका दाब कम होता है · 2. तेज़ हवा छत के ऊपर दाब घटा देती है; अंदर का अधिक दाब उसे ऊपर धकेलता है · 3. बरनौली का सिद्धांत

पिछले वर्षों में पूछे गए प्रश्न (4)

UPSC 2012 निम्नलिखित कथनों पर विचार कीजिए :
यदि केशिकत्व की परिघटना नहीं होती, तो
1. किरोसिन दीप का उपयोग मुश्किल हो जाता
2. कोई मृदुपेय का उपभोग करने के लिए स्ट्रॉ का प्रयोग नहीं कर पाता
3. स्याही-सोख पत्र काम करने में विफल हो जाता
4. बड़े पेड़, जिन्हें हम अपने चारों ओर देखते हैं, पृथ्वी पर नहीं उगते
उपर्युक्त में से कौन-से कथन सही हैं?
(a) केवल 1, 2 और 3 (b) केवल 1, 3 और 4 (c) केवल 2 और 4 (d) 1, 2, 3 और 4
उत्तर: (b) केवल 1, 3 और 4. केशिकत्व पृष्ठ तनाव के कारण पतली नलियों में द्रव का ऊपर चढ़ना है; स्ट्रॉ से पीना वायुमंडलीय दाब से होता है, केशिकत्व से नहीं

BPSC 64th दाब की इकाई क्या है?
(a) न्यूटन प्रति वर्ग मीटर (b) न्यूटन-मीटर (c) न्यूटन (d) न्यूटन प्रति मीटर (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (a) न्यूटन प्रति वर्ग मीटर. दाब प्रति इकाई क्षेत्रफल बल है; इसका SI मात्रक पास्कल (N/m^2) है

BPSC 66th सबसे ज्यादा श्यानता होती है
(a) जल की (b) वायु की (c) खून की (d) शहद की (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (d) शहद की. श्यानता किसी तरल का प्रवाह के प्रति आंतरिक प्रतिरोध है; शहद रक्त से कहीं अधिक श्यान है, और रक्त जल से अधिक

BPSC 67th बर्फ का एक टुकड़ा पानी से लबालब भरे बीकर में तैर रहा है। जब पूरी बर्फ पिघल जाए, तब
(a) पानी फर्श पर फैल जाएगा (b) बीकर में पानी का स्तर नीचे आ जाएगा (c) पानी का स्तर पहले गिरेगा और फिर यह बीकर से बाहर निकलेगा
(d) जल-स्तर नहीं बदलेगा (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (d) जल-स्तर नहीं बदलेगा. तैरती बर्फ अपने भार के बराबर पानी हटाती है, इसलिए पिघलने पर जल-स्तर नहीं बदलता

स्वयं को परखें (12)

1. विमान में ले जाने पर फ़ाउंटेन पेन से स्याही रिसने की प्रवृत्ति क्यों होती है?
(a) अधिक ऊँचाई पर स्याही बहुत कम श्यान हो जाती है (b) केबिन में वायु दाब पेन के भीतर के दाब से कम होता है
(c) ऊँचाई पर गुरुत्व कमज़ोर होता है (d) ऊँचाई पर स्याही का पृष्ठ तनाव तेज़ी से बढ़ जाता है

2. एक जहाज़ नदी से समुद्र में जाता है। वह
(a) थोड़ा और नीचे डूबेगा (b) थोड़ा ऊपर उठेगा (c) उसी स्तर पर रहेगा (d) पहले ऊपर उठेगा और फिर डूबेगा

3. कार के हाइड्रोलिक ब्रेक किस पर काम करते हैं?
(a) आर्किमिडीज़ का सिद्धांत (b) बरनौली का सिद्धांत (c) पास्कल का नियम (d) हुक का नियम

4. निम्नलिखित में से कौन-सा वायुमंडलीय दाब के कारण है, केशिकत्व के कारण नहीं?
(a) लैंप की बत्ती में तेल का चढ़ना (b) स्याही सोख्ता द्वारा स्याही सोखना (c) स्ट्रॉ से ठंडा पेय पीना
(d) पेड़ की पतली जाइलम वाहिकाओं में पानी का चढ़ना

5. किसी गैस का ताप बढ़ाने पर उसकी श्यानता
(a) बढ़ती है (b) घटती है (c) पहले घटती, फिर बढ़ती है (d) बिलकुल नहीं बदलती

6. रुके हुए पानी पर मिट्टी का तेल डालने से मच्छर नियंत्रित होते हैं क्योंकि यह
(a) सभी कीटों और मछलियों के लिए पानी को ज़हरीला बना देता है (b) पानी का ताप बढ़ा देता है (c) पानी का पृष्ठ तनाव घटा देता है
(d) पानी की श्यानता बढ़ा देता है

7. यंग प्रत्यास्थता गुणांक के बारे में कौन-सा कथन सही है?
(a) रबर का मान स्टील से अधिक है (b) इसका कोई मात्रक नहीं है (c) यह विकृति ÷ प्रतिबल के बराबर है (d) स्टील का मान रबर से अधिक है

8. आँधी में घर की छत उड़ जाती है क्योंकि
(a) तेज़ हवा उसके ऊपर का दाब घटा देती है (b) हवा छत को बहुत ज़ोर से नीचे दबाती है (c) वर्षा से छत भारी हो जाती है
(d) घर के भीतर की हवा गर्म हो जाती है

9. काँच की केशिका नली में पारा दिखाता है
(a) अवतल नवचंद्रक और ऊपर चढ़ता है (b) उत्तल नवचंद्रक और नीचे गिरता है (c) समतल सतह और स्तर वही रहता है
(d) अवतल नवचंद्रक और नीचे गिरता है

10. निम्नलिखित कथनों पर विचार कीजिए:
1. गर्म करने पर द्रव की श्यानता घटती है, पर गैस की बढ़ती है।
2. साबुन और डिटर्जेंट पानी का पृष्ठ तनाव बढ़ाते हैं।
3. काँच की केशिका नली में पारा नीचे दब जाता है।
उपर्युक्त कथनों में से कौन-सा/से सही है/हैं?
(a) केवल 1 (b) केवल 1 और 3 (c) केवल 2 और 3 (d) 1, 2 और 3

11. निम्नलिखित पर विचार कीजिए:
1. वायुयान के पंख पर उठाव
2. इत्र का एटमाइज़र, जो द्रव को ऊपर खींचकर फुहार बनाता है
3. कार के हाइड्रोलिक ब्रेक
उपर्युक्त में से कितने बरनौली के सिद्धांत से समझाए जाते हैं?
(a) केवल एक (b) केवल दो (c) सभी तीन (d) कोई भी नहीं

12. रसोई के एक प्रयोग में अंडा नल के पानी के गिलास में डूब जाता है, पर उसमें बहुत-सा नमक घोलने पर तैरने लगता है। क्यों?
(a) नमक पृष्ठ तनाव बढ़ाता है, और सतह की झिल्ली अंडे को थाम लेती है (b) नमक पानी को इतना श्यान बना देता है कि अंडा डूब न सके
(c) नमकीन पानी अधिक सघन है, इसलिए अंडा उसका अधिक भार विस्थापित करता है (d) नमक अंडे से पानी खींचकर उसे हल्का कर देता है

उत्तर: 1. (b) पेन में फँसी हवा केबिन के कम दाब के विरुद्ध फैलती है और स्याही को बाहर धकेलती है। · 2. (b) समुद्री पानी अधिक सघन है, इसलिए जहाज़ के भार को सँभालने के लिए कम आयतन हटाना पड़ता है। · 3. (c) पैडल का दाब ब्रेक द्रव से होकर सभी पहियों तक बिना घटे पहुँचता है। · 4. (c) चूसने से स्ट्रॉ के भीतर दाब घटता है; बाहर का वायु दाब पेय को ऊपर धकेलता है। · 5. (a) तेज़ चलते गैस अणु परतों के बीच अधिक संवेग स्थानांतरित करते हैं; द्रवों में श्यानता घटती है। · 6. (c) लार्वा सतह की झिल्ली से लटके रहते हैं; पृष्ठ तनाव घटने पर वे ऊपर टिक नहीं पाते। · 7. (d) समान विकृति के लिए स्टील को कहीं अधिक प्रतिबल चाहिए, इसलिए वह अधिक प्रत्यास्थ है। · 8. (a) बरनौली के सिद्धांत से तेज़ हवा का अर्थ कम दाब है; भीतर का अधिक दाब छत को ऊपर उठा देता है। · 9. (b) संसंजन आसंजन से अधिक है, इसलिए पारा काँच को नहीं भिगोता। · 10. (b) कथन 1 और 3 सही हैं; साबुन और डिटर्जेंट पृष्ठ तनाव घटाते हैं, इसी से वे कपड़े में फैलकर चिकनाई हटाते हैं। · 11. (b) उठाव और एटमाइज़र तेज़ प्रवाह से घटे दाब पर निर्भर हैं; हाइड्रोलिक ब्रेक पास्कल के नियम पर चलते हैं। · 12. (c) उत्प्लावन बल विस्थापित द्रव के भार के बराबर होता है, इसलिए सघन नमकीन पानी उसी आयतन पर अधिक उत्प्लावन बल देता है; पृष्ठ तनाव डूबे हुए अंडे को नहीं थाम सकता।

अध्याय 6

ऊष्मा और ऊष्मागतिकी

ताप-पैमानों का रूपांतरण, गुप्त ऊष्मा, जल का असंगत प्रसार, क्वथनांक और दाब, वाष्पन से ठंडक और ऊष्मा संचरण की तीन विधियाँ लगभग हर साल पूछी जाती हैं; रेफ्रिजरेटर और ऊष्मागतिकी के नियम भी पीछे नहीं।

पिछले प्रश्नपत्रों में 11 बार पूछा गया: UPSC 2 · BPSC 9

≈ 1 h 10 min पढ़ने में ≈ 9 min ★★★ दोहराने में दोहराएँ: दिन 1 | दिन 3 | दिन 7 | दिन 21

ऊष्मा और ऊष्मागतिकी
अध्याय मानचित्र

1 ऊष्मा बनाम ताप
ऊष्मा गर्म → ठंडा बहती है
1 cal = 4.186 J

2 ताप के पैमाने
F = 9/5 C + 32 · K = C + 273.15
−40 °C = −40 °F · 37 °C = 98.6 °F

3 तापमापी
डॉक्टरी: मोड़ · ठंड में ऐल्कोहॉल
पायरोमीटर · तापयुग्म

4 तापीय प्रसार
गैस > द्रव > ठोस
पटरियों में जगह · द्विधात्विक पट्टी

5 जल का असंगत प्रसार
4 °C पर सबसे सघन
तालाब ऊपर से जमते हैं

6 विशिष्ट ऊष्मा
जल 4186 J/kg·K: सबसे अधिक
Q = m c ΔT · सम तटीय जलवायु

7 गुप्त ऊष्मा
गलन 80 cal/g · वाष्पन 540 cal/g
भाप अधिक जलाती है · त्रिक बिंदु

8 दाब और क्वथनांक
कुकर ≈ 120 °C · पहाड़ < 100 °C
पुनर्हिमायन · बर्फ पर नमक

9 वाष्पन, आर्द्रता
ठंडक · मटका · पंखा
ओसांक · ऊर्ध्वपातन

10 चालन
चाँदी > ताँबा > सोना
फँसी हवा · ऊन · इग्लू

11 संवहन
गर्म तरल ऊपर उठता है
दिन में समुद्री, रात में स्थलीय समीर

12 विकिरण
माध्यम नहीं · काला सोखता है
वीन: गर्म तारे नीले दिखते हैं

13 थर्मस, ग्रीनहाउस
निर्वात · चाँदी की परत · कॉर्क
CO_2 अवरक्त को रोकती है

14 गैस नियम
बॉयल · चार्ल्स · PV = nRT
0 K = −273.15 °C

15 ऊष्मागतिकी के नियम
Q = ΔU + W
रुद्धोष्म · 100% इंजन नहीं

16 इंजन और फ्रिज
कार्नो: 1 − T ठंडा / T गर्म
खुला फ्रिज कमरा गर्म करता है

17 भारतीय संदर्भ
चंद्रमा पर चास्टे (ChaSTE)
एस.एन. बोस · मेघनाद साहा

रिवीज़न कार्ड

1. °F = 9/5 × °C + 32; K = °C + 273.15. 40 °C = 104 °F, 50 °C = 122 °F, 100 °C = 212 °F; −40 °C = −40 °F.
2. शरीर का सामान्य ताप 37 °C = 98.6 °F = 310 K. परम शून्य = 0 K = −273.15 °C.
3. जल का घनत्व 4 °C पर सबसे अधिक होता है: तालाब ऊपर से जमते हैं, मछलियाँ नीचे के 4 °C जल में जीवित रहती हैं; जमने पर जल लगभग 9% फैलता है, इसलिए पाइप फट जाते हैं।
4. सामान्य पदार्थों में जल की विशिष्ट ऊष्मा सबसे अधिक है (4186 J/kg·K): तटीय जलवायु सम रहती है, दिन में समुद्री समीर, रात में स्थलीय समीर।
5. जल के वाष्पन की गुप्त ऊष्मा 2260 kJ/kg (540 cal/g), बर्फ के गलन की 334 kJ/kg (80 cal/g): भाप, उबलते पानी या 100 °C की हवा से अधिक जलाती है।
6. अधिक दाब → ऊँचा क्वथनांक (प्रेशर कुकर ~120 °C, सीटी के भार और छेद के क्षेत्रफल से तय); पहाड़ों पर कम दाब → पानी 100 °C से नीचे उबलता है।
7. दाब बर्फ का गलनांक घटाता है (पुनर्हिमायन, स्केटिंग); अशुद्धि गलनांक घटाती है (बर्फीली सड़कों पर नमक) और क्वथनांक बढ़ाती है।
8. वाष्पन से ठंडक होती है; ऊष्मा, हवा, बड़ा पृष्ठ और शुष्क वायु इसे तेज़ करते हैं: मटका, पसीना, पंखे से राहत, डेज़र्ट कूलर।
9. चालन (ठोस), संवहन (द्रव और गैस), विकिरण (माध्यम नहीं चाहिए, सबसे तेज़)। चाँदी और ताँबा सबसे अच्छे चालक हैं; धातुओं में पारा ऊष्मा का खराब चालक है।
10. थर्मस फ्लास्क: निर्वात चालन और संवहन रोकता है, चाँदी की परत विकिरण रोकती है। अच्छे अवशोषक अच्छे उत्सर्जक होते हैं।
11. जल का त्रिक बिंदु: 273.16 K (0.01 °C), जहाँ बर्फ, जल और वाष्प साथ-साथ रहते हैं।
12. दरवाज़ा खुला छोड़ा गया रेफ्रिजरेटर कमरे को गर्म करता है: वह भीतर से खींची ऊष्मा और अपनी मोटर का कार्य, दोनों बाहर छोड़ता है। कोई ऊष्मा इंजन 100% दक्ष नहीं होता (दूसरा नियम)।

ऊष्मा और ताप

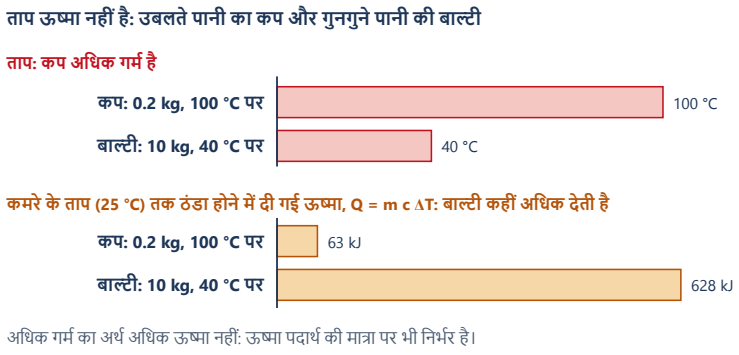
ऊष्मा बनाम ताप

गर्म → ठंडा

1 cal = 4.186 J

आंतरिक ऊर्जा

अणु हमेशा काँपते-हिलते रहते हैं। **ताप (Temperature)** बताता है कि वे औसतन कितनी तेज़ी से हिलते हैं: यह अणुओं की **औसत गतिज ऊर्जा** का माप है। **ऊष्मा (Heat)** वह ऊर्जा है जो ताप के अंतर के कारण गर्म वस्तु से ठंडी वस्तु की ओर बहती है। गुनगुने पानी की बाल्टी में खौलते पानी के कप से अधिक ऊष्मा होती है, पर ताप कप का अधिक होता है।



ताप और ऊष्मा पैमाने पर। कप अधिक गर्म है (100 °C बनाम 40 °C), पर 25 °C के कमरे तक ठंडा होने में बाल्टी दस गुनी ऊष्मा देती है (628 kJ बनाम 63 kJ), क्योंकि Q = m c ΔT द्रव्यमान पर भी निर्भर है।

ऊष्मा बनाम ताप ★★★

	ऊष्मा	ताप
यह क्या है	ताप के अंतर के कारण संचरित होती ऊर्जा	गर्माहट की मात्रा; अणुओं की औसत गतिज ऊर्जा
द्रव्यमान पर निर्भर?	हाँ (अधिक पानी, अधिक ऊष्मा)	नहीं
SI मात्रक	जूल (J)	केल्विन (K), एक SI मूल मात्रक
अन्य मात्रक	कैलोरी; 1 cal = 4.186 J; भोजन की Calorie = 1 kcal	°C, °F
किससे मापते हैं	कैलोरीमीटर	तापमापी (थर्मामीटर)

★★★ **ऊष्मा के बहाव की दिशा**: ऊष्मा **ऊँचे ताप से निम्न ताप** की ओर बहती है, अपने-आप कभी 'अधिक ऊष्मा' से 'कम ऊष्मा' की ओर नहीं। दोनों का ताप बराबर होते ही बहाव रुक जाता है (तापीय साम्य, Thermal equilibrium)।

★★ **आंतरिक ऊर्जा (Internal energy)**: किसी वस्तु के सभी अणुओं की कुल गतिज और स्थितिज ऊर्जा। गर्म करने पर यह बढ़ती है।

★★ **कैलोरी (Calorie)**: 1 g पानी का ताप 1 °C बढ़ाने के लिए आवश्यक ऊष्मा। **1 cal = 4.186 J** (जूल का ऊष्मा का यांत्रिक तुल्यांक, J ≈ 4.2 J/cal)।

★ **ऊष्मा के प्रभाव**: ताप में परिवर्तन, अवस्था परिवर्तन, प्रसार, और गुणों में परिवर्तन जैसे विद्युत प्रतिरोध (प्रतिरोध तापमापी इसी पर चलते हैं)।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** 'ऊष्मा और ताप एक ही चीज़ हैं' गलत है। एक ही ताप की दो वस्तुओं में ऊष्मा की मात्रा बहुत अलग हो सकती है। फुलझड़ी की चिंगारी 1000 °C से अधिक गर्म होती है, पर उसमें इतनी कम ऊष्मा होती है कि हाथ नहीं जलता।

☑ झटपट जाँच

1. ताप अणुओं की _____ को मापता है।
2. ऊष्मा अपने-आप किस ओर बहती है?
3. 1 कैलोरी = कितने जूल?

उत्तर: 1. औसत गतिज ऊर्जा · 2. ऊँचे ताप से निम्न ताप की ओर · 3. 4.186 J

ताप के पैमाने और रूपांतरण

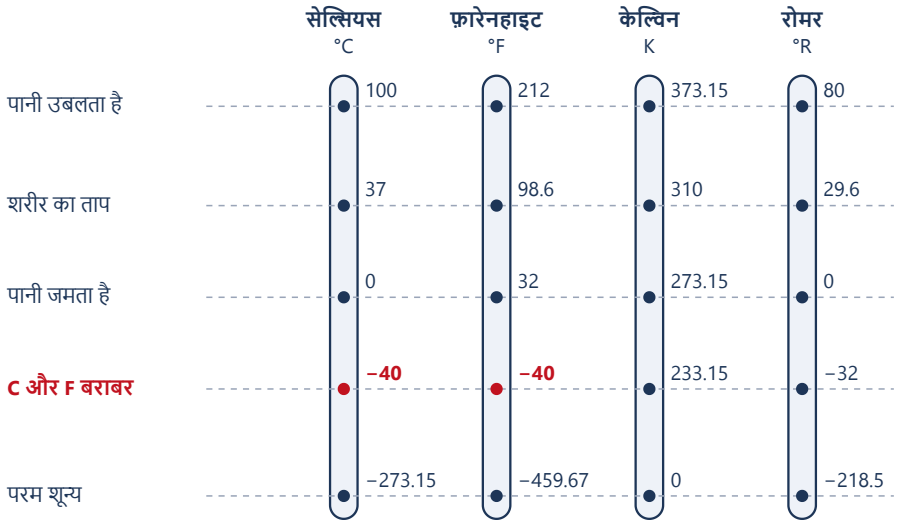
F = 9/5 C + 32

K = C + 273.15

−40 पर बराबर

37 °C = 98.6 °F

हर पैमाना दो संदर्भ बिंदु तय करता है, सामान्य दाब पर बर्फ का पिघलना और पानी का उबलना, और उनके बीच के अंतर को बराबर भागों में बाँटता है। सेल्सियस में 100 भाग हैं, फ़ारेनहाइट में 180, रोमर में 80। इसलिए रूपांतरण बस यह देखना है कि ताप बर्फ और भाप के बीच कितने अंश की दूरी पर है।



C/5 = (F − 32)/9 = (K − 273.15)/5 = R/4
पैमाने के अनुसार नहीं। केल्विन बिना डिग्री चिह्न के लिखा जाता है।

चार पैमानों पर एक जैसे ताप। ध्यान दें: सेल्सियस और फ़ारेनहाइट केवल −40 पर मिलते हैं, और केल्विन परम शून्य से शुरू होता है। दूरियाँ पैमाने पर नहीं।

पैमानों के नियत बिंदु ★★★

पैमाना (आविष्कारक)	हिम बिंदु	भाप बिंदु	बीच के भाग
सेल्सियस °C (एंडर्स सेल्सियस, Anders Celsius, स्वीडन)	0	100	100
फ़ारेनहाइट °F (डी.जी. फ़ारेनहाइट, D.G. Fahrenheit, जर्मन-डच)	32	212	180
केल्विन K (लॉर्ड केल्विन, विलियम थॉमसन, William Thomson)	273.15	373.15	100
रोमर °R (आर.ए.एफ. द रोमर, R.A.F. de Réaumur, फ़्रांस)	0	80	80

★★★ **मुख्य सूत्र**: C/5 = (F − 32)/9 = (K − 273.15)/5 = R/4.

★★★ **सेल्सियस → फ़ारेनहाइट**: F = (9/5) × C + 32. अतः **40 °C = 104 °F**, **50 °C = 122 °F**, 30 °C = 86 °F, 100 °C = 212 °F.

★★★ **फ़ारेनहाइट → सेल्सियस**: C = (F − 32) × 5/9. अतः 212 °F = 100 °C, 68 °F = 20 °C.

★★★ **−40** ही एकमात्र ताप है जहाँ **सेल्सियस और फ़ारेनहाइट एक ही संख्या** दिखाते हैं।

★★★ **शरीर का सामान्य ताप ≈ 37 °C = 98.6 °F = 310 K**.

★★ **केल्विन = सेल्सियस + 273.15**. 1 °C का परिवर्तन 1 K के परिवर्तन के बराबर है; 1 °C का परिवर्तन 1.8 °F के बराबर है।

★★ **केल्विन बिना डिग्री चिह्न के लिखा जाता है** (300 K, न कि 300 °K)। यह ताप का SI मात्रक है; 2019 से इसे बोल्ट्ज़मान नियतांक (Boltzmann constant) का मान तय करके परिभाषित किया जाता है (k = 1.380649 × 10^{-23} J/K)।

★ **केल्विन और फ़ारेनहाइट** लगभग **574.6** पर एक ही संख्या दिखाते हैं।

याद रखें: 'दोगुना करो, दसवाँ भाग घटाओ, 32 जोड़ो': 40 °C → 80 → 72 → 104 °F। और 'कमरे के ताप की जोड़ी' याद रखें: 20 °C = 68 °F, 25 °C = 77 °F।

परीक्षा में सावधान: 40 °C के लिए 100 °F या 102 °F, और 50 °C के लिए 75 °F जैसे विकल्प अनुमान लगाने को ललचाते हैं। हल करके देखें: पहले 9/5 से गुणा करें, फिर 32 जोड़ें (40 → 72 → 104 °F; 50 → 90 → 122 °F)।

☑ झटपट जाँच

1. 40 °C फ़ारेनहाइट पैमाने पर?
2. सेल्सियस और फ़ारेनहाइट किस ताप पर एक ही संख्या दिखाते हैं?
3. शरीर का सामान्य ताप केल्विन में?

उत्तर: 1. 104 °F (40 × 9/5 + 32) · 2. −40 · 3. 310 K (37 °C)

तापमापी

डॉक्टरी: मोड़

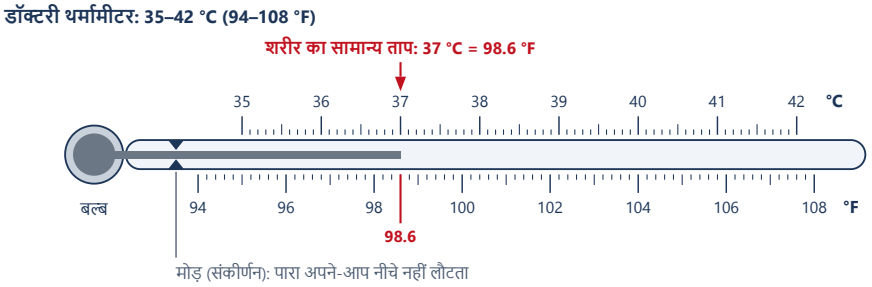
पारा −39 °C पर जमता

ठंड में ऐल्कोहॉल

पायरोमीटर

तापयुग्म

तापमापी (Thermometer) किसी ऐसे गुण का उपयोग करता है जो ताप के साथ नियमित रूप से बदलता है: द्रव स्तंभ की लंबाई, विद्युत प्रतिरोध, दो धातुओं के बीच वोल्टता, या उत्सर्जित प्रकाश का रंग और चमक। चुनाव इस पर निर्भर है कि वस्तु कितनी गर्म या ठंडी है।



डॉक्टरी थर्मामीटर, उसके दोनों पैमाने एक-दूसरे के सापेक्ष ठीक-ठीक बने: 37 °C ठीक 98.6 °F पर है। बल्ब के पास का मोड़ पारे को वापस गिरने से रोकता है, इसलिए झटककर नीचे करने तक पाठ्यांक बना रहता है।

कौन-सा तापमापी किस काम के लिए ★★★

तापमापी	किस सिद्धांत पर	परास / उपयोग
क्लिनिकल (डॉक्टरी)	पारे का स्तंभ, जिसमें एक मोड़ (संकीर्णन) पारे को वापस गिरने से रोकता है	35–42 °C (94–108 °F); शरीर का ताप
प्रयोगशाला	पारे का स्तंभ, बिना मोड़	लगभग −10 से 110 °C
पारा	पारे का प्रसार	लगभग −39 °C (पारा जम जाता है) से 357 °C (उबल जाता है) तक
ऐल्कोहॉल	रंगीन ऐल्कोहॉल का प्रसार	बहुत ठंडे स्थान: ऐल्कोहॉल लगभग −114 °C पर ही जमता है (लद्दाख, सियाचिन, ध्रुवीय क्षेत्र)
सिक्स का अधिकतम-न्यूनतम (Six's maximum-minimum)	ऐल्कोहॉल और पारा, सूचक चिह्नों के साथ	दिन का अधिकतम और न्यूनतम ताप दर्ज करता है; मौसम केंद्र
डिजिटल / अवरक्त	थर्मिस्टर, या शरीर से निकला अवरक्त विकिरण	घरेलू उपयोग; माथे को बिना छुए ताप पढ़ने वाली गन
प्लैटिनम प्रतिरोध	ताप बढ़ने पर प्लैटिनम का प्रतिरोध बढ़ता है	बहुत सटीक; लगभग −200 °C से कई सौ °C तक
तापयुग्म (Thermocouple)	दो भिन्न धातुओं के संधि-स्थल पर वोल्टता (सीबेक प्रभाव, Seebeck effect)	भट्ठियाँ, इंजन; लगभग 1500 °C और उससे अधिक तक
उत्तापमापी / पायरोमीटर (Pyrometer)	गर्म वस्तु से निकला विकिरण; संपर्क नहीं	बहुत ऊँचे ताप: भट्ठियाँ, पिघली धातु, सूर्य की सतह
स्थिर-आयतन गैस तापमापी	नियत आयतन पर गैस का दाब	दूसरे तापमापियों के अंशांकन का मानक

★★ **पारा ही क्यों**: यह अपारदर्शी और चमकीला है (पढ़ना आसान), काँच को नहीं भिगोता, समान रूप से फैलता है, दूसरे द्रवों से बेहतर ऊष्मा चालक है (इसलिए जल्दी प्रतिक्रिया देता है) और बड़े परास में द्रव रहता है।

★★ **ठंडे क्षेत्रों में ऐल्कोहॉल क्यों**: पारा −39 °C पर जम जाता है; ऐल्कोहॉल लगभग −114 °C तक द्रव रहता है।

★★★ **पायरोमीटर** गर्म वस्तु से निकलने वाले विकिरण से बहुत ऊँचे ताप को दूर से मापता है।

★ **पारे वाले तापमापी पारे पर मिनामाता अभिसमय (Minamata Convention on Mercury)** के तहत चरणबद्ध रूप से हटाए जा रहे हैं, जिसका भारत ने 2018 में अनुसमर्थन किया; उनकी जगह डिजिटल तापमापी ले रहे हैं।

★ क्लिनिकल तापमापी को कभी गर्म पानी में न धोएँ: इसका परास लगभग 42 °C पर खत्म हो जाता है, और काँच टूट सकता है।

याद रखें: 'Pyro' का अर्थ है आग: आग जैसी गर्म चीज़ों के लिए पायरोमीटर। 'Clinical' यानी क्लिनिक: मोड़ पाठ्यांक को तब तक रोके रखता है जब तक डॉक्टर देख न ले।

झटपट जाँच

1. डॉक्टरी थर्मामीटर में पारे को वापस गिरने से क्या रोकता है?
2. सियाचिन में पारे के बजाय ऐल्कोहॉल क्यों?
3. भट्ठी का ताप दूर से कौन-सा तापमापी पढ़ता है?

उत्तर: 1. बल्ब के पास का मोड़ (संकीर्णन) · 2. पारा −39 °C पर जम जाता है; ऐल्कोहॉल लगभग −114 °C पर · 3. पायरोमीटर (विकिरण से)

तापीय प्रसार

गैस > द्रव > ठोस

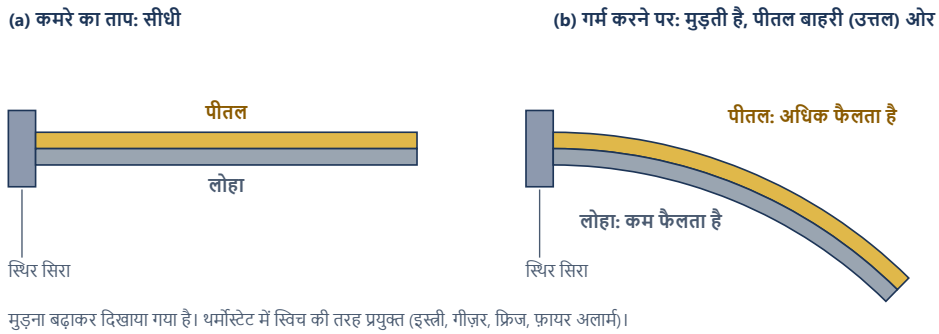
पटरियों में जगह

झूलते तार

द्विधात्विक पट्टी

इनवार

गर्म होने पर अणु और ज़ोर से कंपन करते हैं और एक-दूसरे को दूर धकेलते हैं, इसलिए लगभग हर चीज़ गर्म होकर फैलती है: यह तापीय प्रसार (Thermal expansion) है। गैसें सबसे अधिक फैलती हैं, द्रव उससे कम और ठोस सबसे कम। इंजीनियर इसके लिए जगह छोड़ते हैं; जहाँ नहीं छोड़ते, वहाँ चीज़ें मुड़ती, चटकती या झूल जाती हैं।



मुड़ना बढ़ाकर दिखाया गया है। थर्मोस्टेट में स्विच की तरह प्रयुक्त (इस्त्री, गीज़र, फ्रिज, फ़ायर अलार्म)।

पीतल-लोहे की द्विधात्विक पट्टी। पीतल अधिक फैलता है, इसलिए गर्म करने पर पट्टी पीतल को बाहरी (उत्तल) ओर रखकर मुड़ती है; यही मुड़ना थर्मोस्टेट का संपर्क खोलता या बंद करता है। मुड़ना बढ़ाकर दिखाया गया है।

★★ **प्रसार का क्रम**: समान ताप वृद्धि पर **गैस > द्रव > ठोस**।

★ ठोस के **तीन गुणांक**: रेखीय (α), क्षेत्रीय (β = 2α) और आयतन (γ = 3α)।

★★★ **रेल की पटरियों** के बीच छोटे अंतराल (प्रसार जोड़) छोड़े जाते हैं ताकि गर्मियों में पटरियाँ बिना मुड़े लंबी हो सकें।

★★ **पुल** एक सिरे पर रोलरों पर टिके होते हैं, और कंक्रीट की सड़कों में तारकोल भरे अंतराल होते हैं, ताकि प्रसार हो सके।

★★★ **टेलीफ़ोन और बिजली के तार गर्मियों में झूल जाते हैं** (लंबे हो जाते हैं) और सर्दियों में तन जाते हैं; इसीलिए इन्हें ढीला बाँधा जाता है।

★★★ **द्विधात्विक पट्टी (Bimetallic strip)**: भिन्न प्रसार वाली दो धातुएँ (पीतल और लोहा) एक साथ रिवेट की हुई। गर्म करने पर यह मुड़ जाती है, और अधिक फैलने वाला पीतल बाहरी (उत्तल) ओर रहता है। यह बिजली की इस्त्री, गीज़र, रेफ्रिजरेटर, AC और फ़ायर अलार्म में **थर्मोस्टेट** का स्विच चलाती है।

★★ **मोटा काँच गर्म पानी से चटक जाता है**: बाहरी सतह गर्म होने से पहले ही भीतरी सतह फैल जाती है। पतला काँच और बोरोसिलिकेट (पाइरेक्स, Pyrex) काँच, जो बहुत कम फैलता है, बच जाते हैं।

★★ काँच के जार का **कसा हुआ धातु का ढक्कन** गर्म पानी में डुबाने पर खुल जाता है: धातु काँच से अधिक फैलती है।

★★ **बैलगाड़ी के पहिये का लोहे का हाल (रिम)** लगाने से पहले गर्म किया जाता है; ठंडा होने पर यह सिकुड़कर कसकर पकड़ लेता है। गर्म रिवेट भी इसी तरह कसते हैं।

★★ **लोलक घड़ी गर्मियों में सुस्त हो जाती है**: लोलक लंबा हो जाता है, इसलिए हर दोलन अधिक समय लेता है। **इनवार (Invar)** (लोहा-निकेल मिश्रधातु) लगभग नहीं फैलता और लोलक तथा मापने वाले फ़ीतों में प्रयुक्त होता है।

★★ **गर्मियों में टायर फटते हैं** और बंद एरोसोल कैन आग में फट जाते हैं: गर्म गैस फैलती है और उसका दाब बढ़ता है।

आसपास देखें: बिजली की इस्त्री में थर्मोस्टेट: प्लेट गर्म होने पर द्विधात्विक पट्टी मुड़कर एक संपर्क से हट जाती है और धारा काट देती है; ठंडी होने पर सीधी होकर हीटर फिर चालू कर देती है।

☑ झटपट जाँच

1. गर्म की गई पीतल-लोहे की पट्टी मुड़ती है। बाहरी (उत्तल) ओर कौन-सी धातु होती है?
2. लोलक घड़ी गर्मियों में सुस्त क्यों हो जाती है?
3. पटरियों के बीच छोटी जगह क्यों छोड़ी जाती है?

उत्तर: 1. पीतल: वह अधिक फैलता है · 2. लोलक लंबा हो जाता है, इसलिए हर दोलन में अधिक समय लगता है · 3. ताकि गर्मियों में लंबी होकर वे टेढ़ी न हों

जल का असंगत प्रसार

4 °C पर सबसे सघन

ऊपर से जमना

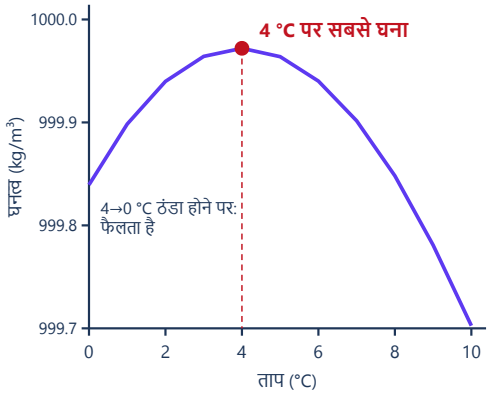
बर्फ तैरती है

9% प्रसार

फटते पाइप

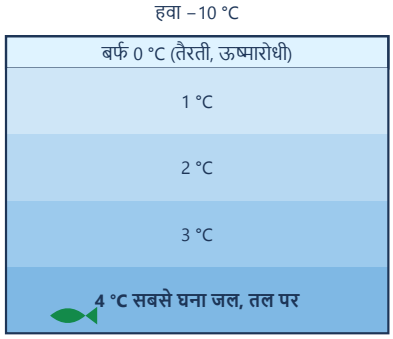
जल नियम तोड़ता है (असंगत प्रसार, Anomalous expansion)। कमरे के ताप से ठंडा करने पर यह सिकुड़ता है, पर केवल **4 °C** तक। 4 °C से नीचे यह फिर **फैलने** लगता है, और जमने पर लगभग **9%** फैल जाता है। कारण: जल के अणु हाइड्रोजन बंधों से बँधी एक खुली, षट्कोणीय संरचना में जुड़ने लगते हैं, जो अधिक जगह घेरती है।

जल: घनत्व बनाम ताप



0 °C पर बर्फ ≈ 917 kg/m³ (ग्राफ़ से बहुत नीचे), इसलिए बर्फ तैरती है

सर्दियों में जमा तालाब



मछलियाँ 4 °C परत में रहती हैं

जल का घनत्व 4 °C पर सबसे अधिक है। जमे तालाब में 4 °C का जल नीचे बैठकर तल पर रहता है, इसलिए बर्फ केवल ऊपर बनती है।

★★★ **जल का अधिकतम घनत्व 4 °C पर** (लगभग 1000 kg/m³)। 4 °C और 0 °C के बीच जल ठंडा होने पर फैलता है।

★★★ **तालाब और झीलें ऊपर से नीचे की ओर जमती हैं**: 4 °C तक ठंडा जल सबसे घना होता है और नीचे बैठ जाता है; उससे ठंडा जल ऊपर रहकर जमता है। तल का जल लगभग 4 °C पर द्रव रहता है, इसलिए **मछलियाँ और पौधे जीवित रहते हैं**।

★★ **बर्फ की परत ऊष्मा की कुचालक** है, इसलिए बनने के बाद यह नीचे के जल के और जमने को धीमा कर देती है।

★★★ **बर्फ तैरती है**: बर्फ (लगभग 917 kg/m³) जल से कम घनी है; हिमशैल का लगभग नौ-दसवाँ भाग पानी के नीचे रहता है।

★★ कड़ाके की सर्दी में **पानी के पाइप फट जाते हैं** और फ्रीज़र में काँच की बोतलें चटक जाती हैं, क्योंकि जमने पर जल फैलता है।

★★ **तुषार अपक्षय (Frost weathering)**: चट्टान की दरारों में जमता पानी उन्हें चौड़ा करके चट्टान तोड़ देता है।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** जमी झील का तल द्रव क्यों रहता है? मुख्य उत्तर है 'जल 4 °C पर सबसे घना होता है'। 'बर्फ कुचालक है' सही है और मदद करता है, पर परीक्षक जो मूल कारण चाहता है वह यह नहीं है।

याद रखें: 'Four is the floor': 4 °C वाला जल हमेशा झील के फ़र्श, यानी तल पर बैठता है।

झटपट जाँच

1. जल किस ताप पर सबसे सघन होता है?
2. जमी झील में मछलियाँ कैसे बचती हैं?
3. जमने पर जल लगभग कितना फैलता है?

उत्तर: 1. 4 °C · 2. सबसे सघन 4 °C का जल तल पर रहता है और नहीं जमता · 3. लगभग 9%

विशिष्ट ऊष्मा धारिता

Q = m c ΔT

जल: 4186 J/kg·K

सम तटीय जलवायु

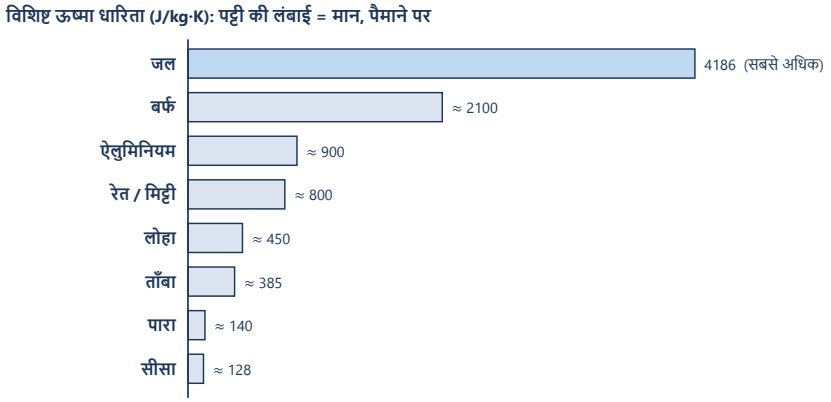
शीतलक

रेत जल्दी गर्म

कुछ पदार्थ गर्म होने में बहुत ऊष्मा लेते हैं; कुछ तुरंत गर्म हो जाते हैं। **विशिष्ट ऊष्मा धारिता (Specific heat capacity)** (c) वह ऊष्मा है जो **1 kg का ताप 1 K** बढ़ाने के लिए चाहिए। ली गई ऊष्मा: **Q = m c ΔT**। जल का मान असामान्य रूप से बड़ा है, इसलिए जल धीरे गर्म होता है, धीरे ठंडा होता है और बहुत ऊष्मा संचित करता है।

विशिष्ट ऊष्मा धारिता (लगभग, J/kg·K) ★★

पदार्थ	c	टिप्पणी
जल	4186	सामान्य पदार्थों में सबसे अधिक (1 cal/g·°C)
बर्फ	≈ 2100	जल का लगभग आधा
ऐलुमिनियम	≈ 900	धातु के हिसाब से अधिक
रेत / मिट्टी	≈ 800	स्थल जल्दी गर्म और ठंडा होता है
लोहा	≈ 450	प्रति डिग्री कम ऊर्जा: जल्दी गर्म
ताँबा	≈ 385	प्रति डिग्री कम ऊर्जा: जल्दी गर्म
पारा	≈ 140	कम: तापमापी में जल्दी प्रतिक्रिया
सीसा	≈ 128	सबसे कम में से एक



विशिष्ट ऊष्मा धारिताएँ पैमाने पर। समान ताप-वृद्धि के लिए जल को रेत से लगभग पाँच गुनी ऊष्मा चाहिए, इसीलिए समुद्र इतने धीरे गर्म और ठंडा होता है।

★★★ **जल की विशिष्ट ऊष्मा** सामान्य पदार्थों में **सबसे अधिक** है, लगभग **4186 J/kg·K**।

★★★ **तटीय जलवायु सम रहती है** (मुंबई, चेन्नई), जबकि भीतरी स्थान (दिल्ली, राजस्थान) चरम ताप झेलते हैं: समुद्र धीरे गर्म और धीरे ठंडा होता है।

★★ कार के रेडिएटर और बिजलीघरों में **शीतलक के रूप में जल**: ताप में थोड़ी वृद्धि पर यह बहुत ऊष्मा बहा ले जाता है।

★★ **गर्म पानी की थैली**: जल लंबे समय तक धीरे-धीरे ऊष्मा देता है।

★★ पूरी वस्तु की **ऊष्मा धारिता (Heat capacity)** = m × c (मात्रक J/K); विशिष्ट ऊष्मा प्रति किलोग्राम होती है।

★ पाला पड़ने वाली रातों में **किसान खेतों में पानी भर देते हैं**: पानी संचित ऊष्मा छोड़कर फसलों को पाले से बचाता है।

आसपास देखें: गर्मी की दोपहर में समुद्र तट पर रेत पैर जलाती है, जबकि समुद्र का पानी ठंडा लगता है। दोनों को एक जैसी धूप मिली; रेत की कम विशिष्ट ऊष्मा उसे कहीं अधिक गर्म कर देती है।

झटपट जाँच

1. सामान्य पदार्थों में सबसे अधिक विशिष्ट ऊष्मा किसकी है?
2. मुंबई की जलवायु दिल्ली से सम क्यों है?
3. किसी वस्तु द्वारा ली गई ऊष्मा: Q = ?

उत्तर: 1. जल की, लगभग 4186 J/kg·K · 2. समुद्र धीरे गर्म और ठंडा होता है (जल की ऊँची विशिष्ट ऊष्मा) · 3. m c ΔT

अवस्था परिवर्तन और गुप्त ऊष्मा

गुप्त ऊष्मा

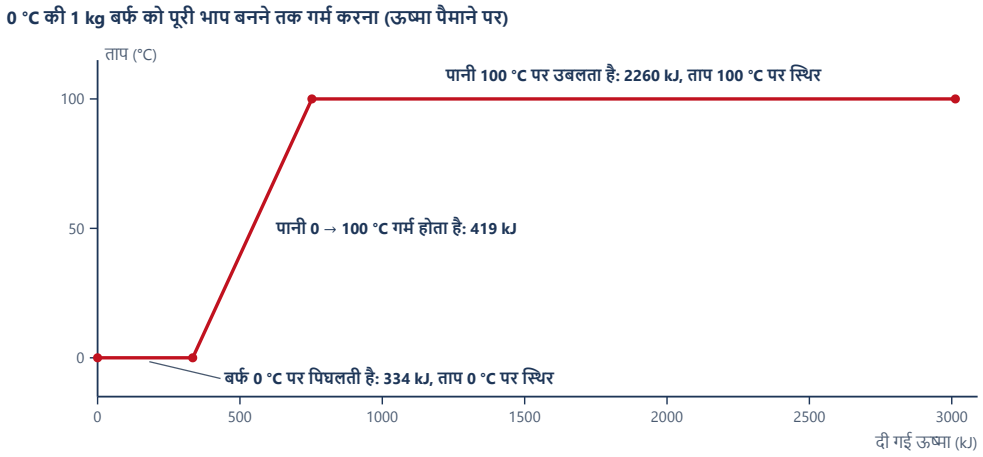
गलन: 80 cal/g

वाष्पन: 540 cal/g

भाप अधिक जलाती है

त्रिक बिंदु

बर्फ पिघलते या पानी उबलते समय, ऊष्मा देते रहने पर भी ताप स्थिर रहता है। यह 'छिपी' ऊष्मा अणुओं को तेज़ करने के बजाय उनके बीच के बंध तोड़ती है। इसे **गुप्त ऊष्मा (Latent heat)** कहते हैं, और परिवर्तन उलटने पर (पानी का जमना, भाप का संघनन) उतनी ही ऊष्मा वापस निकलती है।



1 kg बर्फ का तापन वक्र, ऊष्मा पैमाने पर। दोनों समतल भागों पर ऊष्मा जाती है पर ताप नहीं बढ़ता: पिघलने में 334 kJ, फिर उबलने में 2260 kJ, लगभग सात गुना।

★★★ **बर्फ के गलन की गुप्त ऊष्मा = 334 kJ/kg (80 cal/g)**: 0 °C की बर्फ को 0 °C के पानी में बदलने में अवशोषित होती है।

★★★ **जल के वाष्पन की गुप्त ऊष्मा = 2260 kJ/kg (540 cal/g)**: 100 °C के पानी को 100 °C की भाप में बदलने में अवशोषित होती है।

★★★ **100 °C की भाप अधिक जलाती है**, उबलते पानी या 100 °C की गर्म हवा से भी अधिक: त्वचा पर संघनित होते समय वह अपनी बड़ी वाष्पन गुप्त ऊष्मा भी छोड़ती है।

★★★ **0 °C की बर्फ, 0 °C के पानी से अधिक ठंडक देती है**: हर किलोग्राम बर्फ गर्म होने से पहले केवल पिघलने में 334 kJ सोख लेती है।

★★ **पिघलने और उबलने के दौरान ताप स्थिर रहता है**: सामान्य दाब पर उबलते पानी का बर्तन, आँच कितनी भी तेज़ हो, 100 °C पर ही रहता है।

★★ बर्फ का **गलनांक (Melting point)** = 0 °C और पानी का **क्वथनांक (Boiling point)** = 100 °C, 1 वायुमंडल दाब पर।

★★★ **त्रिक बिंदु (Triple point)**: वह एकमात्र ताप और दाब जहाँ ठोस, द्रव और गैस साथ-साथ रहते हैं। जल के लिए: **273.16 K (0.01 °C), लगभग 611 Pa पर**।

★ **क्रांतिक ताप (Critical temperature)**: इसके ऊपर किसी गैस को केवल दाब से द्रवित नहीं किया जा सकता।

याद रखें: 'पिघलने को 80, उबलने को 540': प्रति ग्राम पानी, पिघलने में 80 cal और उबलने में 540 cal लगती है। उबालना लगभग सात गुना महँगा है, इसीलिए भाप इतना जलाती है।

परीक्षा में सावधान: भाप से जलना अधिक गंभीर उसकी ऊँची गुप्त ऊष्मा के कारण है, कम के कारण नहीं। 'कम गुप्त ऊष्मा के कारण अधिक खतरनाक' वाला विकल्प सही प्रभाव को गलत कारण से जोड़ता है।

झटपट जाँच

1. जल के वाष्पन की गुप्त ऊष्मा cal/g में?
2. 100 °C की भाप 100 °C के पानी से अधिक क्यों जलाती है?
3. जल का त्रिक बिंदु?

उत्तर: 1. 540 cal/g (2260 kJ/kg) · 2. संघनित होते समय वह अपनी बड़ी गुप्त ऊष्मा भी छोड़ती है · 3. 273.16 K (0.01 °C)

क्वथनांक, गलनांक और दाब

दाब ↑ → क्वथनांक ↑

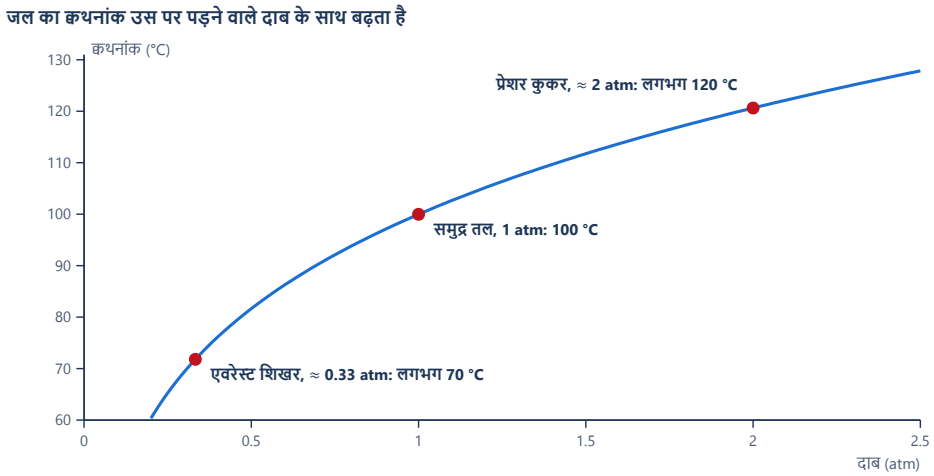
कुकर ≈ 120 °C

पहाड़: 100 °C से कम

पुनर्हिमायन

बर्फ पर नमक

कोई द्रव तब उबलता है जब उसका वाष्प दाब (Vapour pressure) ऊपर से पड़ रहे दाब के बराबर हो जाता है। दाब बढ़ाओ तो द्रव को उबलने से पहले और गर्म होना पड़ता है; दाब घटाओ तो वह जल्दी उबलता है। बर्फ विशेष है: दाब उसे पिघलने में मदद करता है, क्योंकि पानी बर्फ से कम जगह घेरता है।



दाब के साथ जल का क्वथनांक, भाप-सारणी के मानों से बना। दाब घटाएँ तो जल 100 °C से काफ़ी नीचे उबलता है (पहाड़); दोगुना करें तो लगभग 120 °C पर (प्रेशर कुकर)।

★★★ **अधिक दाब → ऊँचा क्वथनांक (Boiling point)**। **प्रेशर कुकर** दाब को लगभग 2 वायुमंडल तक बढ़ाता है, इसलिए पानी लगभग **120 °C** पर उबलता है और खाना जल्दी पकता है।

★★★ **कुकर में ताप क्या तय करता है**: सीटी उठाने के लिए आवश्यक भाप का दाब, अर्थात **छेद पर रखा भार और छेद का क्षेत्रफल** (दाब = भार ÷ क्षेत्रफल)। तेज़ आँच से सीटी बस जल्दी-जल्दी बजती है; ताप नहीं बढ़ता।

★★★ **कम दाब → निम्न क्वथनांक**। पहाड़ों पर पानी 100 °C से नीचे उबलता है (लगभग हर 300 m पर करीब 1 °C कम; एवरेस्ट की चोटी पर लगभग 70 °C), इसलिए दाल-चावल धीरे पकते हैं।

★★ **दाब बर्फ का गलनांक घटाता है**। तार या स्केट के ब्लेड के नीचे बर्फ पिघलती है; दाब हटते ही पानी फिर जम जाता है। यही **पुनर्हिमायन (Regelation)** है।

★★ **पुनर्हिमायन के उदाहरण**: भार लटका तार बर्फ की सिल्ली के आर-पार निकल जाता है और सिल्ली साबुत रहती है; दबाने पर बर्फ के गोले चिपक जाते हैं; स्केट ब्लेड के नीचे पानी की पतली परत उसे फिसलने में मदद करती है।

★★ **पिघलने पर फैलने वाले पदार्थ** (मोम, अधिकांश ठोस) उलटा व्यवहार दिखाते हैं: दाब उनका गलनांक बढ़ाता है।

★★★ **अशुद्धि गलनांक घटाती है**: बर्फ पिघलाने के लिए **बर्फीली सड़कों पर नमक डाला जाता है**; बर्फ + नमक से **हिम मिश्रण (Freezing mixture)** बनता है (लगभग −20 °C तक), जिससे कुल्फ़ी और आइसक्रीम बनती है।

★★ **अशुद्धि क्वथनांक बढ़ाती है**: नमकीन पानी 100 °C से थोड़ा ऊपर उबलता है।

★ **प्रतिहिम (Antifreeze)** (एथिलीन ग्लाइकॉल) ठंडे स्थानों में रेडिएटर के पानी का हिमांक घटाता है।

दाब और अशुद्धि: एक नज़र में ★★★

परिवर्तन	क्वथनांक	बर्फ का गलनांक
दाब बढ़ाया	बढ़ता है (प्रेशर कुकर)	घटता है (पुनर्हिमायन)
दाब घटाया	घटता है (पहाड़, पर्वत)	थोड़ा बढ़ता है
अशुद्धि मिलाई (नमक, चीनी)	बढ़ता है	घटता है (सड़कों पर नमक)

⚠ **परीक्षा में सावधान:** 'प्रेशर कुकर में खाना जल्दी पकता है क्योंकि पानी कम ताप पर उबलता है' सच को उलट देता है। अधिक दाब का अर्थ है ऊँचा क्वथनांक।

☑ **झटपट जाँच**

1. प्रेशर कुकर में खाना जल्दी क्यों पकता है?
2. कुकर का ताप क्या तय करता है: आँच या सीटी?
3. बर्फीली सड़क पर नमक गलनांक बढ़ाता है या घटाता है?

उत्तर: 1. अधिक दाब क्वथनांक को लगभग 120 °C तक बढ़ा देता है · 2. छेद पर रखा भार और छेद का क्षेत्रफल · 3. घटाता है

वाष्पन, आर्द्रता और ऊर्ध्वपातन

वाष्पन से ठंडक
मटका
पंखा और पसीना
आपेक्षिक आर्द्रता
ऊर्ध्वपातन

किसी भी द्रव में कुछ अणु इतनी तेज़ी से चलते हैं कि सतह से निकल जाते हैं। वे ऊर्जा साथ ले जाते हैं, इसलिए पीछे बचे अणु धीमे पड़ जाते हैं: द्रव ठंडा होता है। यही **वाष्पन (Evaporation)** है, जो हर ताप पर और केवल सतह से होता है। इसमें लगने वाली ऊष्मा वाष्पन की गुप्त ऊष्मा है।

वाष्पन बनाम क्वथन ★★

वाष्पन	क्वथन (उबलना)
किसी भी ताप पर	केवल क्वथनांक पर
केवल सतह से	पूरे द्रव में (बुलबुले)
धीमा, बिना आवाज़	तेज़, बुलबुलों के साथ
ठंडक पैदा करता है	ऊष्मा देते रहने पर भी ताप स्थिर रहता है

★★★ **वाष्पन से ठंडक होती है**: निकलते अणु जिस सतह को छोड़ते हैं, उससे गुप्त ऊष्मा ले लेते हैं।

★★★ **वाष्पन तेज़ होता है** ऊँचे ताप, बड़े पृष्ठ क्षेत्रफल, अधिक हवा और कम आर्द्रता से; वाष्पशील द्रव (स्पिरिट, ऐसीटोन, पेट्रोल) सबसे तेज़ वाष्पित होते हैं।

★★★ **पंखा हमें ठंडक देता है** क्योंकि चलती हवा त्वचा के पास की नम हवा हटा देती है और **पसीना तेज़ी से वाष्पित** होता है। पंखा हवा को ठंडा नहीं करता।

★★★ **मटका (मिट्टी का घड़ा)**: पानी बारीक छिद्रों से रिसकर बाहर की सतह से वाष्पित होता है और भीतर का पानी ठंडा करता है। सुराही पर लिपटा गीला कपड़ा भी यही करता है।

★★ **पसीना** शरीर को ठंडा करता है; **कुत्ते हाँफते हैं** ताकि जीभ से पानी वाष्पित हो, क्योंकि उनमें स्वेद ग्रंथियाँ कम होती हैं।

★★ हथेली पर **स्पिरिट या इत्र** ठंडा लगता है; गर्म छत या आँगन पर पानी छिड़कने से वह ठंडा होता है।

★★ **डेज़र्ट कूलर** शुष्क गर्मी में अच्छा ठंडा करता है, पर नम मानसून में कम, जब वाष्पन धीमा हो जाता है। AC हवा से नमी भी हटाता है।

★★ **आपेक्षिक आर्द्रता (Relative humidity, RH)** = (वास्तव में उपस्थित जलवाष्प ÷ उस ताप पर हवा जितनी अधिकतम जलवाष्प धारण कर सकती है) × 100। 100% RH पर हवा संतृप्त होती है और गीले कपड़े नहीं सूखते।

★★ **नम गर्मी अधिक कष्ट देती है**, उसी ताप की शुष्क गर्मी से भी (चेन्नई बनाम जयपुर): पसीना वाष्पित नहीं हो पाता।

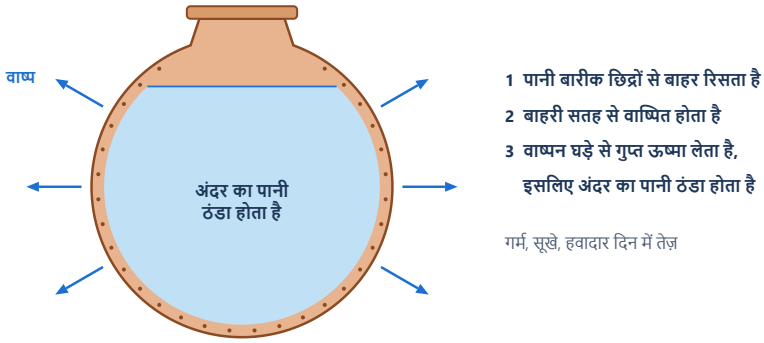
★★ **आर्द्रतामापी (Hygrometer)** आर्द्रता मापता है (शुष्क-आर्द्र बल्ब आर्द्रतामापी)।

★★ **ओसांक (Dew point)**: वह ताप जिस पर ठंडी होती हवा संतृप्त हो जाती है। इससे नीचे वाष्प ओस, कोहरा या धुंध बनकर संघनित होती है; 0 °C से नीचे पाला बनता है।

★★ **बर्फ़ीले पानी के गिलास के बाहर बूँदें**: हवा की जलवाष्प ठंडे गिलास पर ओसांक से नीचे ठंडी होकर संघनित (Condensation) होती है; गिलास रिसता नहीं है।

★★ **ऊर्ध्वपातन (Sublimation)**: ठोस बिना पिघले सीधे वाष्प बन जाता है: **कपूर, नेफ़्थलीन की गोलियाँ, आयोडीन, अमोनियम क्लोराइड, शुष्क बर्फ** (ठोस CO_2, −78.5 °C पर)। उलटी प्रक्रिया (वाष्प से ठोस, जैसे पाला) **निक्षेपण (Deposition)** है।

★ **फ़्रीज़-ड्राइंग** (इंस्टेंट कॉफ़ी) कम दाब पर ऊर्ध्वपातन द्वारा बर्फ हटाती है।



मटका पानी को कैसे ठंडा करता है। छिद्रों से रिसता पानी बाहर से वाष्पित होता है, और इसके लिए आवश्यक गुप्त ऊष्मा घड़े और अंदर के पानी से ली जाती है। पैमाने पर नहीं।

आसपास देखें: तार पर टँगे कपड़े मई के गर्म, हवादार, शुष्क दिन सबसे जल्दी सूखते हैं, और मानसून के ठहरे, नम दिन सबसे धीरे।

झटपट जाँच

1. पंखा हवा ठंडी नहीं करता, फिर हमें ठंडक कैसे देता है?
2. मानसून में डेज़र्ट कूलर कम ठंडक क्यों देता है?
3. कपूर ठोस से सीधे वाष्प बनता है। प्रक्रिया का नाम?

उत्तर: 1. पसीने को तेज़ी से वाष्पित कराकर · 2. नम हवा वाष्पन धीमा कर देती है · 3. ऊर्ध्वपातन

चालन

चाँदी > ताँबा

पारा: सबसे खराब धातु

फँसी हुई हवा

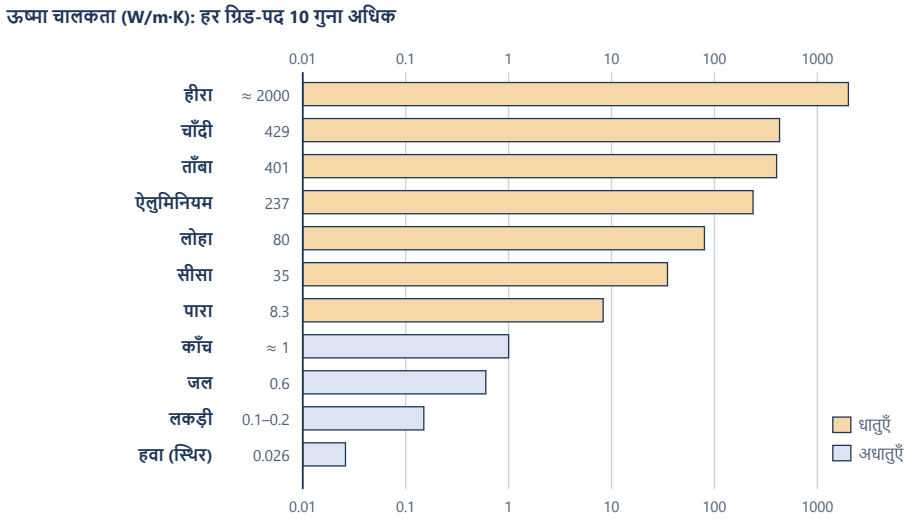
दो पतले कंबल

धातु ठंडी लगती है

चालन (Conduction) में ऊष्मा पदार्थ के हिले बिना कण-दर-कण आगे बढ़ती है: गर्म चाय में रखा स्टील का चम्मच हत्थे तक गर्म हो जाता है। धातुएँ सबसे अच्छी चालक हैं क्योंकि उनके मुक्त इलेक्ट्रॉन ऊर्जा को जल्दी ले जाते हैं। रुकी हुई हवा सबसे खराब चालकों में है, इसीलिए कई ऊष्मारोधी पदार्थ स्थिर हवा को रोककर काम करते हैं।

ऊष्मा चालकता (लगभग, W/m·K, कमरे के ताप पर) ★★★

पदार्थ	k	टिप्पणी
हीरा	≈ 2000	ऊष्मा का सबसे अच्छा प्राकृतिक चालक, यद्यपि विद्युत का कुचालक
चाँदी	429	सबसे अच्छी धातु
ताँबा	401	बर्तनों के तले, हीट सिंक
सोना	318	चाँदी और ताँबे के बाद तीसरा
ऐलुमिनियम	237	खाना पकाने के बर्तन
जस्ता	116	लोहे पर परत (गैल्वनीकरण)
लोहा	80	तवा, कढ़ाई
सीसा	35	धातु के हिसाब से खराब
पारा	8.3	सामान्य धातुओं में सबसे खराब चालक
काँच	≈ 1	ऊष्मारोधी
जल	0.6	कुचालक
लकड़ी	≈ 0.1–0.2	हत्थे
हवा (स्थिर)	0.026	उत्तम ऊष्मारोधी



ऊष्मा चालकता ऐसे पैमाने पर जहाँ हर ग्रिड-पद पिछले से दस गुना है। धातुएँ बहुत आगे हैं, पारा सामान्य धातुओं में सबसे खराब है, और स्थिर हवा ताँबे से दस हज़ार गुना से भी अधिक खराब चालक है।

★★★ **सबसे अच्छे चालक**: **चाँदी > ताँबा > सोना > ऐलुमिनियम**। **पारा** सामान्य धातुओं में ऊष्मा का सबसे खराब चालक है, सीसे या जस्ते से भी खराब।

★★ **ताँबे के तले वाले बर्तन** ऊष्मा तेज़ी से और बराबर फैलाते हैं; **हत्थे लकड़ी, प्लास्टिक या बैकेलाइट के** (कुचालक) होते हैं।

★★★ **ऊनी कपड़े हमें गर्म रखते हैं** क्योंकि ऊन हवा को रोक लेता है, जो बहुत खराब चालक है; ऊन स्वयं कोई ऊष्मा नहीं बनाता।

★★ समान भार के **एक मोटे कंबल से दो पतले कंबल अधिक गर्म** रहते हैं: उनके बीच हवा की परत फँसी रहती है। धुनी हुई रुई की रज़ाई दबी हुई रज़ाई से अधिक गर्म रखती है।

★★ **इग्लू**: दबी हुई बर्फ में हवा फँसी रहती है और वह कुचालक है, इसलिए शरीर की ऊष्मा भीतर रहती है।

★★ **बुरादे या जूट में लिपटी बर्फ** धीरे पिघलती है; बीच में हवा वाली **दोहरी काँच की खिड़कियाँ** ऊष्मा का बहाव घटाती हैं; पक्षी सर्दियों में पंख फुला लेते हैं।

★★ कमरे के एक ही ताप पर **धातु लकड़ी से अधिक ठंडी लगती है**: धातु हाथ से ऊष्मा तेज़ी से दूर ले जाती है।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** कंबल और स्वेटर 'ऊष्मा नहीं देते'। वे केवल शरीर की अपनी ऊष्मा को बाहर जाने से रोकते हैं। इसी तरह एक ही कमरे में धातु की कुर्सी लकड़ी की कुर्सी से ठंडी नहीं होती; केवल ठंडी लगती है।

☑ झटपट जाँच

1. ऊष्मा की सबसे अच्छी चालक धातु?
2. ऊनी कपड़े हमें गर्म क्यों रखते हैं?
3. एक ही कमरे में धातु की कुर्सी लकड़ी की कुर्सी से ठंडी क्यों लगती है?

उत्तर: 1. चाँदी (फिर ताँबा) · 2. ऊन हवा को फँसाती है, जो बहुत खराब चालक है · 3. धातु हाथ से ऊष्मा तेज़ी से दूर ले जाती है

संवहन

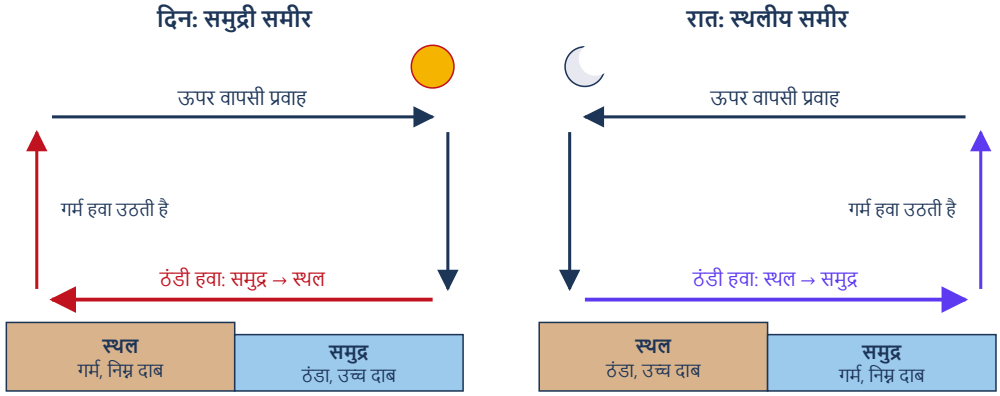
गर्म तरल ऊपर उठता है

समुद्री समीर: दिन

स्थलीय समीर: रात

रोशनदान ऊपर

द्रवों और गैसों में गर्म भाग स्वयं चलता है। गर्म तरल फैलकर हल्का होता है और ऊपर उठता है; ठंडा, घना तरल उसकी जगह लेने नीचे आता है। यह चक्राकार बहाव **संवहन (Convection)** है। इसके लिए तरल और गुरुत्व दोनों चाहिए: कक्षा में घूमते यान में मोमबत्ती की लौ गोल और मद्धिम होती है क्योंकि गर्म गैस ऊपर नहीं उठती।



कारण: स्थल जल्दी गर्म और ठंडा होता है (कम विशिष्ट ऊष्मा); जल का ताप धीरे बदलता है

दिन में स्थल अधिक गर्म होता है, उसके ऊपर हवा उठती है और समुद्र की हवा अंदर आती है (समुद्री समीर)। रात में यह क्रम उलट जाता है (स्थलीय समीर)।

★★★ **समुद्री समीर (Sea breeze, दिन)**: स्थल समुद्र से जल्दी गर्म होता है, स्थल के ऊपर की हवा उठती है, ठंडी हवा **समुद्र से स्थल की ओर** बहती है।

★★★ **स्थलीय समीर (Land breeze, रात)**: स्थल जल्दी ठंडा होता है, अपेक्षाकृत गर्म समुद्र के ऊपर हवा उठती है, हवा **स्थल से समुद्र की ओर** बहती है।

★★ **मानसून** महाद्वीप के पैमाने पर समुद्री समीर है: गर्मियों में भारतीय भू-भाग के गर्म होने से महासागर की नम हवा खिंची चली आती है।

★★ **रोशनदान छत के पास होते हैं** (गर्म दूषित हवा ऊपर उठकर निकलती है); **AC ऊँचाई पर** और रूम हीटर नीचे लगाए जाते हैं; रेफ्रिजरेटर में फ्रीज़र ऊपर होता है।

★★ **बर्तन में पानी संवहन धाराओं से गर्म होता है**; चिमनियाँ धुआँ ऊपर खींचती हैं; महासागरीय धाराएँ और पवनें पृथ्वी पर ऊष्मा फैलाती हैं।

★ **ठोसों में संवहन नहीं होता** और भारहीनता में यह दब जाता है।

याद रखें: 'Sea by Sun, Land by Luna': धूप में हवा समुद्र से आती है, और चाँद (Luna) के नीचे स्थल से।

झटपट जाँच

1. दिन में समीर समुद्र से स्थल की ओर बहती है या स्थल से समुद्र की ओर?
2. रोशनदान छत के पास क्यों होते हैं?
3. क्या ठोस में संवहन हो सकता है?

उत्तर: 1. समुद्र से स्थल की ओर (समुद्री समीर) · 2. गर्म, दूषित हवा ऊपर उठकर निकल जाती है · 3. नहीं: इसके लिए बहने वाला तरल चाहिए

विकिरण

माध्यम नहीं चाहिए

काला सोखता व छोड़ता है

वीन का नियम

स्टीफ़न: T^4

बादल वाली रात गर्म

हर गर्म वस्तु विद्युतचुंबकीय तरंगों के रूप में ऊर्जा देती है, सामान्य तापों पर अधिकतर **अवरक्त (Infrared)**। इस **विकिरण (Radiation)** को किसी माध्यम की ज़रूरत नहीं होती और यह प्रकाश की चाल से चलता है; इसी तरह सूर्य की ऊष्मा लगभग 15 करोड़ km खाली अंतरिक्ष पार करके पृथ्वी तक पहुँचती है।

★★★ **विकिरण को माध्यम नहीं चाहिए**; चालन और संवहन दोनों को चाहिए।

★★ ऊष्मा संचरण की **सबसे तेज़ विधि**: यह 3×10^8 m/s से चलता है।

★★★ **अच्छे अवशोषक अच्छे उत्सर्जक होते हैं** (किरचॉफ़ का नियम, Kirchhoff's law)। धुँधली काली सतहें सबसे अच्छा अवशोषण और उत्सर्जन करती हैं; सफ़ेद और चमकीली सतहें परावर्तित करती हैं।

★★★ **गर्मियों में सफ़ेद कपड़े** धूप को परावर्तित करते हैं; **सर्दियों में गहरे रंग के कपड़े** उसे सोखते हैं।

★★ ऊष्मा सोखने के लिए **खाना पकाने के बर्तनों के तले काले** किए जाते हैं; **सौर कुकर** अंदर से काला होता है, उस पर काँच का ढक्कन और एक दर्पण होता है; 'कूल रूफ़' सफ़ेद रंगी जाती हैं।

★★ **कृष्णिका (Black body)**: आदर्श सतह जो अपने ऊपर पड़ने वाला सारा विकिरण सोख लेती है और सबसे अच्छी संभव उत्सर्जक भी है। खोखले डिब्बे का छोटा छेद इसके निकट है; तारे लगभग कृष्णिका जैसा व्यवहार करते हैं।

★★ **न्यूटन का शीतलन नियम (Newton's law of cooling)**: ठंडा होने की दर ∝ वस्तु और परिवेश के ताप का अंतर (छोटे अंतरों के लिए)। गर्म चाय पहले तेज़ी से, फिर धीरे ठंडी होती है।

★★ **स्टीफ़न–बोल्ट्ज़मान नियम (Stefan–Boltzmann law)**: प्रति सेकंड प्रति इकाई क्षेत्रफल विकिरित ऊर्जा ∝ T^4 (परम ताप)। केल्विन ताप दोगुना, तो विकिरण सोलह गुना।

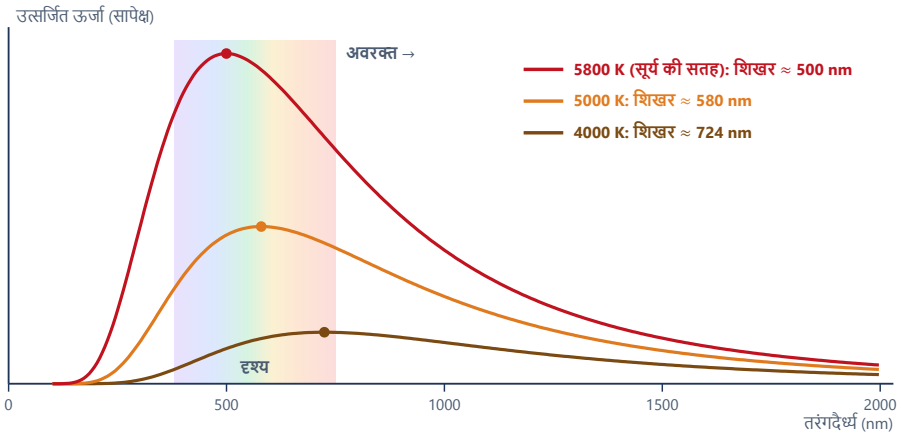
★★★ **वीन का नियम (Wien's law)**: $\lambda_{max} \times T$ = नियतांक ($\approx 2.9 \times 10^{-3}$ m·K)। अधिक गर्म वस्तुएँ छोटी तरंगदैर्ध्य पर चमकती हैं, इसलिए **गर्म तारे नीले-सफ़ेद और ठंडे तारे लाल दिखते हैं**; गर्म होता लोहा पहले लाल, फिर नारंगी, फिर सफ़ेद चमकता है।

★ **सूर्य** (सतह पर लगभग 5800 K) सबसे प्रबल रूप से दृश्य प्रकाश में विकिरण करता है; **पृथ्वी** (लगभग 288 K) अवरक्त में, लगभग 10 μm के आसपास।

★★★ **बादल वाली रातें साफ़ रातों से गर्म होती हैं**: बादल धरती से निकले अवरक्त को सोखकर वापस भेजते हैं। ओस और पाला साफ़, शांत रातों में बनते हैं।

★ **मेघनाद साहा (Meghnad Saha)** ने (1920) तारे के ताप को उसकी गैसों के आयनन से जोड़ा (साहा आयनन समीकरण), जिससे समझ आया कि तारों के स्पेक्ट्रम अलग क्यों होते हैं।

अधिक गर्म वस्तु कहीं अधिक विकिरण देती है, और उसका शिखर छोटी तरंगदैर्ध्य की ओर खिसकता है (वीन का नियम)



तीन तापों पर वस्तुओं का विकिरण, प्लांक के नियम से गणना करके। अधिक गर्म वस्तु हर तरंगदैर्ध्य पर कहीं अधिक विकिरण देती है, और उसका शिखर छोटी तरंगदैर्ध्य की ओर खिसकता है: सूर्य (लगभग 5800 K) का शिखर दृश्य प्रकाश में है, जबकि ठंडी वस्तुओं का शिखर लंबी, लाल तरंगदैर्ध्य पर होता है, इसीलिए ठंडे तारे लाल दिखते हैं।

तीनों विधियों की तुलना ★★★

	चालन	संवहन	विकिरण
माध्यम चाहिए?	हाँ	हाँ (तरल)	नहीं
मुख्यतः	ठोसों में	द्रवों और गैसों में	निर्वात, कोई भी पारदर्शी माध्यम
कैसे	कण-दर-कण, बिना बहाव	तरल का समग्र बहाव	विद्युतचुंबकीय (अवरक्त) तरंगें
चाल	धीमी	मध्यम	सबसे तेज़ (प्रकाश की चाल)
उदाहरण	चम्मच का हत्था गर्म होना	समुद्री समीर, उबलता पानी	सूर्य की ऊष्मा, अलाव की गर्मी

याद रखें: 'Conduction Touches, Convection Travels, Radiation Rays': चालन में कण छूते हैं, संवहन में तरल यात्रा करता है, विकिरण में किरणें अंतरिक्ष पार करती हैं।

झटपट जाँच

1. ऊष्मा संचरण की किस विधि को माध्यम नहीं चाहिए?
2. एक तारा नीला-सफ़ेद, दूसरा लाल दिखता है। कौन अधिक गर्म है?
3. बादल वाली रातें साफ़ रातों से गर्म क्यों होती हैं?

उत्तर: 1. विकिरण · 2. नीला-सफ़ेद (वीन का नियम) · 3. बादल ज़मीन का अवरक्त विकिरण सोखकर वापस भेजते हैं

थर्मस फ्लास्क और ग्रीनहाउस प्रभाव

निर्वात: चालन, संवहन

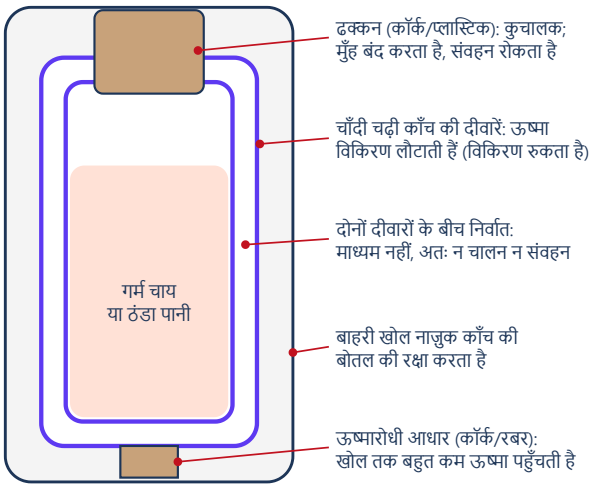
चाँदी की परत: विकिरण

ग्रीनहाउस गैसें

अवरक्त फँसता है

थर्मस फ्लास्क (आविष्कार **जेम्स डेवार (James Dewar)**, 1892) तीनों विधियों को एक साथ रोककर गर्म चीज़ को गर्म और ठंडी को ठंडा रखता है। ग्रीनहाउस प्रभाव (Greenhouse effect) उलटा काम करता है: यह धूप को अंदर आने देता है पर बाहर जाती ऊष्मा को रोक लेता है।

थर्मस (डेवार) फ्लास्क



थर्मस फ्लास्क का हर भाग ऊष्मा का एक मार्ग रोकता है: निर्वात चालन और संवहन को, चाँदी की परत विकिरण को, और कॉर्क मुँह व तले के मार्ग को।

★★★ दोहरी काँच की दीवारों के बीच **निर्वात चालन और संवहन** रोकता है।

★★★ **चाँदी चढ़ी दीवारें** ऊष्मा विकिरण को परावर्तित करती हैं और **विकिरण** से ऊष्मा का जाना या आना रोकती हैं।

★★ **कॉर्क या प्लास्टिक का ढक्कन और आधार** कुचालक हैं और बचे हुए रास्ते बंद करते हैं।

★★★ **ग्रीनहाउस प्रभाव**: सूर्य का प्रकाश (अधिकतर लघु तरंग दृश्य प्रकाश) हवा से गुज़रकर धरती को गर्म करता है; धरती दीर्घ तरंग **अवरक्त** विकिरण छोड़ती है, जिसे **CO_2, जलवाष्प, मीथेन और नाइट्रस ऑक्साइड** सोखकर वापस नीचे भेजती हैं।

★★ **प्राकृतिक ग्रीनहाउस प्रभाव के बिना** पृथ्वी का औसत सतही ताप लगभग 15 °C के बजाय लगभग −18 °C होता। जलवाष्प सबसे बड़ा प्राकृतिक योगदानकर्ता है; ईंधनों से निकली अतिरिक्त CO_2 इस प्रभाव को बढ़ाती है और भूमंडलीय तापन (Global warming) का कारण बनती है।

★★ **धूप में खड़ी कार** या काँच का ग्रीनहाउस गर्म हो जाता है: काँच दृश्य प्रकाश को अंदर आने देता है पर बाहर जाते अवरक्त का बड़ा भाग रोक लेता है।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** ग्रीनहाउस प्रभाव प्राकृतिक और आवश्यक है; केवल उसकी वृद्धि भूमंडलीय तापन लाती है। यह ओज़ोन क्षरण से भी अलग है, जिसका संबंध पराबैंगनी प्रकाश से है।

☑ झटपट जाँच

1. थर्मस फ्लास्क में विकिरण को क्या रोकता है?
2. ग्रीनहाउस गैसें बाहर जाते किस विकिरण को रोकती हैं?
3. प्राकृतिक ग्रीनहाउस प्रभाव के बिना पृथ्वी का औसत ताप?

उत्तर: 1. चाँदी चढ़ी दीवारें · 2. ज़मीन से निकला अवरक्त (दीर्घ-तरंग) · 3. लगभग −18 °C (लगभग 15 °C के बजाय)

गैसें और ताप

बॉयल: $P \propto 1/V$

चार्ल्स: $V \propto T$

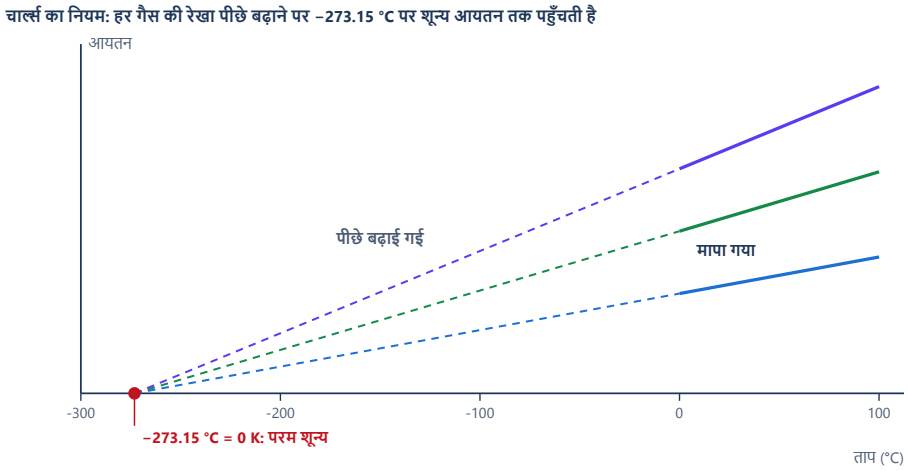
$PV = nRT$

परम शून्य

गैस के अणु इधर-उधर उड़ते हुए पात्र की दीवारों से टकराते हैं; यही टक्करें दाब हैं। गैस को गर्म करो तो अणु अधिक ज़ोर से और अधिक बार टकराते हैं, इसलिए या तो दाब बढ़ता है या गैस फैलती है।

गैस नियम ★★

नियम	स्थिर रहता है	कथन	उदाहरण
बॉयल (Boyle) का	ताप	$P \propto 1/V$	पानी में ऊपर उठता बुलबुला बड़ा होता जाता है; दबाया गुब्बारा फूट जाता है
चार्ल्स (Charles) का	दाब	$V \propto T$ (केल्विन)	गर्म हवा का गुब्बारा फूलकर ऊपर उठता है
गे-लुसैक (Gay-Lussac) का	आयतन	$P \propto T$ (केल्विन)	गर्मियों में टायर फटते हैं; आग में एरोसोल कैन फट जाता है
आवोगाद्रो (Avogadro) का	P और T	समान आयतन की गैसों में अणुओं की संख्या समान होती है	STP पर 1 मोल गैस ≈ 22.4 L



चार्ल्स का नियम, पैमाने पर। गैस के तीन नमूने, हर एक अपने नियत दाब पर: आयतन ताप के साथ सीधी रेखा में बढ़ता है, और हर रेखा पीछे बढ़ाने पर −273.15 °C, यानी परम शून्य, पर शून्य आयतन तक पहुँचती है।

★★ **आदर्श गैस समीकरण**: $PV = nRT$, T केल्विन में।

★ **ग्राहम का नियम (Graham's law)**: हल्की गैसें तेज़ी से विसरित होती हैं (दर $\propto 1/\sqrt{\text{घनत्व}}$); हाइड्रोजन ऑक्सीजन से तेज़ विसरित होती है।

★★ **परम शून्य (Absolute zero)** = **0 K = −273.15 °C = −459.67 °F**: न्यूनतम संभव ताप, जहाँ आणविक गति न्यूनतम संभव होती है। इसके निकट पहुँचा जा सकता है पर इसे कभी पाया नहीं जा सकता।

★ **बोस–आइंस्टीन संघनित (Bose–Einstein condensate)**: परम शून्य के निकट बनने वाली पदार्थ की अवस्था, जिसकी भविष्यवाणी **सत्येंद्र नाथ बोस (Satyendra Nath Bose)** और आइंस्टीन ने की (1924–25) और जो पहली बार 1995 में बनाई गई।

☑ झटपट जाँच

1. गर्मियों में टायर क्यों फटते हैं?
2. परम शून्य °C में?
3. पदार्थ की कौन-सी अवस्था एस.एन. बोस के नाम पर है?

उत्तर: 1. नियत आयतन पर गैस का दाब ताप के साथ बढ़ता है (गे-लुसैक) · 2. −273.15 °C (0 K) · 3. बोस–आइंस्टीन संघनित

ऊष्मागतिकी के नियम

शून्यवाँ: तापमापी

पहला: Q = ΔU + W

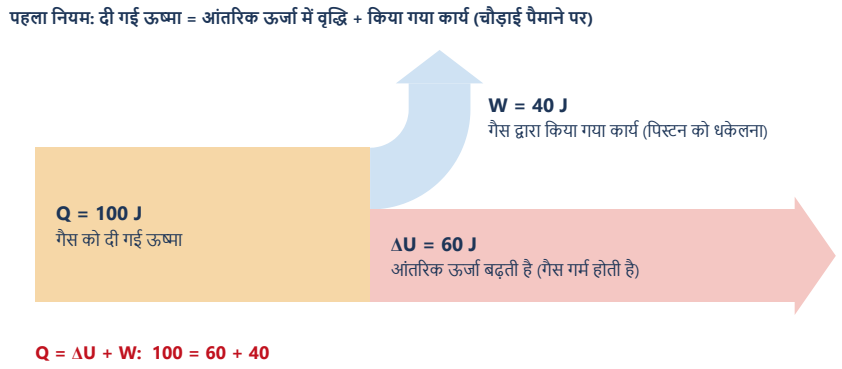
दूसरा: 100% इंजन नहीं

रुद्धोष्म

ऊष्मागतिकी (Thermodynamics) ऊष्मा और कार्य का लेखा-जोखा है। चार छोटे नियम इसे समेटते हैं: वस्तुएँ कब एक ही ताप पर होती हैं, ऊर्जा कभी नष्ट नहीं होती, ऊष्मा अपने-आप केवल ढलान की ओर (गर्म से ठंडे की ओर) बहती है, और परम शून्य पहुँच से बाहर है।

चारों नियम सरल शब्दों में ★★★

नियम	सरल शब्दों में	परिणाम
शून्यवाँ	यदि A और B दोनों C के साथ तापीय साम्य में हों, तो A और B भी आपस में साम्य में होते हैं	तापमापी का आधार (C तापमापी है)
पहला	ऊर्जा संरक्षित रहती है: दी गई ऊष्मा = आंतरिक ऊर्जा में वृद्धि + किया गया कार्य (Q = ΔU + W)	कोई मशीन बिना ऊर्जा लिए कार्य नहीं दे सकती
दूसरा	ऊष्मा अपने-आप केवल गर्म से ठंडे की ओर बहती है; कोई इंजन अपनी सारी ऊष्मा को कार्य में नहीं बदलता; ब्रह्मांड की एन्ट्रॉपी (अव्यवस्था) बढ़ती है	कोई इंजन 100% दक्ष नहीं; फ्रिज को बिजली चाहिए
तीसरा	परम शून्य को सीमित चरणों में नहीं पाया जा सकता; 0 K पर पूर्ण क्रिस्टल की एन्ट्रॉपी शून्य होती है	0 K एक सीमा है, लक्ष्य नहीं



ऊष्मागतिकी का पहला नियम ऊर्जा-प्रवाह के रूप में, चौड़ाई पैमाने पर: गैस को दी गई 100 J ऊष्मा में से 60 J उसकी आंतरिक ऊर्जा बढ़ाती है और 40 J पिस्टन पर कार्य के रूप में बाहर जाती है। कोई ऊर्जा नष्ट नहीं होती।

★★ **समतापी प्रक्रम (Isothermal process)**: ताप स्थिर रहता है; चालक दीवारों से ऊष्मा के आदान-प्रदान के साथ धीमा परिवर्तन।

★★ **रुद्धोष्म प्रक्रम (Adiabatic process)**: **न ऊष्मा अंदर आती है, न बाहर जाती है**; प्रायः तेज़ परिवर्तन या ऊष्मारोधी पात्र में। संपीडन से गैस गर्म होती है, प्रसार से ठंडी।

★★ **रुद्धोष्म उदाहरण**: साइकिल का पंप गर्म हो जाता है; फटे टायर से निकलती हवा ठंडी लगती है; CO_2 अग्निशामक पर पाला जम जाता है; ऊपर उठती हवा ठंडी होकर बादल बनाती है।

★ **समदाबी (Isobaric)** = स्थिर दाब (खुले बर्तन में उबलना); **समआयतनिक (Isochoric)** = स्थिर आयतन (बंद कठोर डिब्बे में गर्म की गई गैस)।

★ **सतत गति मशीन (Perpetual motion machine)** असंभव है: पहली तरह की मशीन पहला नियम तोड़ती है, दूसरी तरह की दूसरा नियम।

याद रखें: नियम एक ताश के खेल की तरह: शून्यवाँ, खेल है; पहला, तुम जीत नहीं सकते (जितना डालो उससे अधिक नहीं निकाल सकते); दूसरा, तुम बराबरी भी नहीं कर सकते (कुछ ऊष्मा हमेशा व्यर्थ जाती है); तीसरा, तुम खेल छोड़ नहीं सकते (0 K कभी नहीं मिलता)।

☑ झटपट जाँच

1. ऊष्मागतिकी का कौन-सा नियम तापमापी का आधार है?
2. फटे टायर से निकलती हवा ठंडी लगती है। कौन-सा प्रक्रम?
3. कौन-सा नियम 100% दक्ष ऊष्मा इंजन को असंभव बताता है?

उत्तर: 1. शून्यवाँ नियम · 2. रुद्धोष्म प्रसार · 3. दूसरा नियम

ऊष्मा इंजन, रेफ्रिजरेटर, AC और ऊष्मा पंप

दक्षता < 1

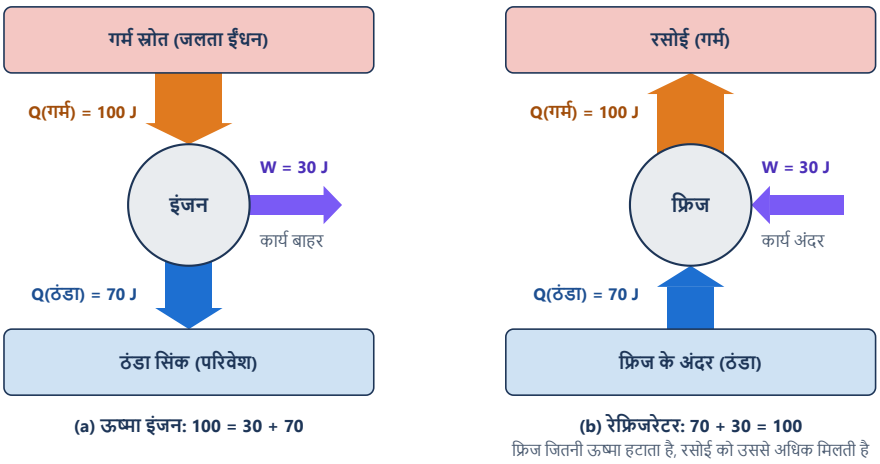
कार्नो: 1 − Tc/Th

फ्रिज ऊष्मा हटाता है

खुला फ्रिज गर्म करता है

किगाली संशोधन

ऊष्मा इंजन (Heat engine) गर्म स्रोत से ऊष्मा लेता है, उसका कुछ भाग कार्य में बदलता है और बाकी ठंडे सिंक में फेंक देता है। **रेफ्रिजरेटर (Refrigerator)** यही चक्र उलटा चलाता है: कार्य लगाकर ऊष्मा को ठंडी जगह से गर्म जगह पंप करता है, जैसे पंप पानी को ऊपर चढ़ाता है।



(a) ऊष्मा इंजन: 100 = 30 + 70

(b) रेफ्रिजरेटर: 70 + 30 = 100
फ्रिज जितनी ऊष्मा हटाता है, रसोई को उससे अधिक मिलती है

ऊष्मा इंजन और रेफ्रिजरेटर, तीरों की चौड़ाई पैमाने पर। (a) इंजन ऊष्मा का एक भाग कार्य में बदलता है और शेष छोड़ देता है (यहाँ 100 J में से 30 J, यानी 30% दक्षता)। (b) रेफ्रिजरेटर कार्य लगाकर अपने ठंडे भीतरी भाग से ऊष्मा बाहर पंप करता है, इसलिए रसोई को वह ऊष्मा और कार्य दोनों मिलते हैं: 70 + 30 = 100 J।

★★ ऊष्मा इंजन की **दक्षता (Efficiency)** = किया गया कार्य ÷ ली गई ऊष्मा = 1 − (छोड़ी गई ऊष्मा ÷ ली गई ऊष्मा)। हमेशा 1 से कम।

★★ **कार्नो इंजन (Carnot engine)**: दो तापों के बीच आदर्श, सबसे दक्ष इंजन; दक्षता = **1 − T(ठंडा)/T(गर्म)**, ताप केल्विन में।

★ **वास्तविक इंजन**: पेट्रोल कार इंजन ईंधन की ऊर्जा का मोटे तौर पर एक-चौथाई से एक-तिहाई भाग कार्य में बदलते हैं; डीज़ल इंजन बेहतर हैं क्योंकि वे हवा को अधिक संपीडित करते हैं।

★★ **भाप इंजन और पेट्रोल/डीज़ल इंजन** ऊष्मा इंजन हैं (क्रमशः बाह्य दहन और आंतरिक दहन)।

★★ **रेफ्रिजरेटर का चक्र**: द्रव प्रशीतक फ्रीज़र की कुंडलियों में **वाष्पित** होकर ऊष्मा (गुप्त ऊष्मा) सोखता है; **कंप्रेसर** वाष्प को दबाकर गर्म करता है; पीछे लगी **कंडेंसर कुंडलियाँ** वह ऊष्मा रसोई में छोड़ती हैं; **प्रसार वाल्व** दाब घटाता है और चक्र दोहराया जाता है।

★★★ **बंद कमरे में फ्रिज का दरवाज़ा खुला छोड़ने पर** कमरा ठंडा नहीं, **गर्म** होता है। फ्रिज ऊष्मा को केवल भीतर से बाहर की कुंडलियों तक ले जाता है, और अपनी मोटर के कार्य की ऊष्मा भी जोड़ देता है।

★★ **एयर कंडीशनर** कमरे का रेफ्रिजरेटर है: भीतरी इकाई ऊष्मा सोखती है, बाहरी इकाई उसे कंप्रेसर की ऊष्मा के साथ बाहर फेंकती है।

★★ **ऊष्मा पंप (Heat pump)**: यही मशीन, बाहर की ऊष्मा घर के अंदर पंप करने के लिए। यह जितनी बिजली लेता है उससे अधिक ऊष्मा देता है, इसलिए साधारण बिजली के हीटर से बेहतर है।

★★ **प्रशीतक (Refrigerants)**: CFC (फ़्रियॉन) ने ओज़ोन परत को नुकसान पहुँचाया और मॉन्ट्रियल प्रोटोकॉल के तहत हटाए गए; HFC (जैसे R-134a) **किगाली संशोधन (Kigali Amendment)** (2016) के तहत घटाए जा रहे हैं, भारत के लिए इनका स्थिरीकरण 2028 में होना है; नई इकाइयों में आइसोब्यूटेन (R-600a) या प्रोपेन (R-290) उपयोग होता है।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** AC या फ्रिज ऊष्मा नष्ट नहीं करता; वह उसे केवल एक जगह से दूसरी जगह ले जाता है, और कुछ ऊष्मा जोड़ता भी है। इसीलिए AC की बाहरी इकाई के आसपास गर्मी रहती है।

👁 **आसपास देखें:** चलते रेफ्रिजरेटर के पीछे हाथ लगाकर देखें: काली कुंडलियों की जाली गर्म है। यह आपके भोजन से ली गई ऊष्मा है, जो अब रसोई में छोड़ी जा रही है।

☑ **झटपट जाँच**

1. बंद कमरे में फ्रिज का दरवाज़ा खुला छोड़ दिया गया। कमरा _____ होगा।
2. प्रशीतक ऊष्मा कहाँ सोखता है: फ्रीज़र की कुंडलियों में या पीछे की कुंडलियों में?
3. कौन-सा संशोधन HFC प्रशीतकों को चरणबद्ध रूप से घटाता है?

उत्तर: 1. गर्म · 2. फ्रीज़र की कुंडलियों में, वाष्पित होते समय · 3. किगाली संशोधन (2016)

भारतीय संदर्भ

चास्टे (ChaSTE)

चंद्रयान-3

बोसॉन

साहा: तारों के स्पेक्ट्रम

★ **चास्टे (ChaSTE)** (Chandra's Surface Thermophysical Experiment) ने चंद्रयान (Chandrayaan)-3 के विक्रम (Vikram) लैंडर (2023) पर दक्षिणी ध्रुव के पास चंद्र मिट्टी में लगभग 10 cm गहरा प्रोब घुसाया। कुछ ही सेंटीमीटर में मिट्टी का ताप तेज़ी से गिरा, जिससे पता चला कि चंद्र मिट्टी ऊष्मा की बहुत खराब चालक है।

★ **एस.एन. बोस (S.N. Bose)** ने फ़ोटॉनों और सर्वसम कणों की सांख्यिकी दी; इसका पालन करने वाले कण **बोसॉन (Bosons)** कहलाते हैं।

★ **मेघनाद साहा (Meghnad Saha)** ने तारों के स्पेक्ट्रम को ताप (तापीय आयनन) से समझाया, जो तारों को ताप के आधार पर वर्गीकृत करने का आधार है।

सत्येंद्र नाथ बोस, 1925 में। फ़ोटॉनों की उनकी सांख्यिकी से बोसॉन को उनका नाम मिला, और आइंस्टीन के साथ उन्होंने बोस–आइंस्टीन संघनित की भविष्यवाणी की। चित्र: Unknown author, Wikimedia Commons, public domain

झटपट जाँच

1. चंद्रयान-3 के किस प्रयोग ने चंद्र मिट्टी का ताप मापा?
2. एस.एन. बोस के नाम पर कणों को _____ कहते हैं।

उत्तर: 1. चास्टे (ChaSTE), विक्रम लैंडर पर · 2. बोसॉन

पिछले वर्षों में पूछे गए प्रश्न (11)

UPSC 2011 कड़े जाड़े में झील की सतह हिमशीतित हो जाती है, किंतु उसके तल में जल द्रव अवस्था में बना रहता है । यह किस कारण से होता है ?
(a) बर्फ ऊष्मा की कुचालक है (b) झील की सतह और वायु का तापमान एक-सा होने के कारण ऊष्मा की कोई हानि नहीं होती
(c) जल की सघनता 4°C पर अधिकतम होती है (d) इस संदर्भ में उपर्युक्त (a), (b) तथा (c) कथनों में से कोई भी सही नहीं है
उत्तर: (c) जल की सघनता 4°C पर अधिकतम होती है. जल 4°C पर सबसे सघन होता है, इसलिए यह नीचे बैठता है और जमी झील में बर्फ के नीचे द्रव रहता है

BPSC 64th 40 डिग्री सेल्सियस का मान फारेनहाइट स्केल में है
(a) 104 °F (b) 100 °F (c) 102 °F (d) 75 °F (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (a) 104 °F. सेल्सियस से फारेनहाइट: °F = (9/5 × °C) + 32

BPSC 65th 50 °C का मान फारेनहाइट स्केल में है
(a) 104 °F (b) 122 °F (c) 100 °F (d) 75 °F (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (b) 122 °F. फारेनहाइट = सेल्सियस × 9/5 + 32

BPSC 66th निम्न में से कौन-सा ऊष्मा का सबसे अधिक कुचालक है?
(a) ताँबा (b) सीसा (c) पारा (d) जस्ता (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (c) पारा. सामान्य धातुओं में पारा ऊष्मा का सबसे कम चालक है; चाँदी और ताँबा सबसे अच्छे चालक हैं

UPSC 2021 किसी प्रेशर कुकर में, जिस तापमान पर खाद्य पकाए जाते हैं, वह मुख्यतः निम्नलिखित में से किन पर निर्भर करता है?
1. ढक्कन में स्थित छिद्र का क्षेत्रफल
2. ज्वाला का तापमान
3. ढक्कन का भार
नीचे दिए गए कूट का प्रयोग कर सही उत्तर चुनिए।
(a) केवल 1 और 2 (b) केवल 2 और 3 (c) केवल 1 और 3 (d) 1, 2 और 3
उत्तर: (c) केवल 1 और 3. दाब बढ़ने पर क्वथनांक बढ़ता है; कुकर का दाब छिद्र के क्षेत्रफल और भार से तय होता है

BPSC 67th एक पंखा गर्मी के मौसम में आराम की अनुभूति पैदा करता है, क्योंकि
(a) पंखा ठंडी हवा की आपूर्ति करता है (b) हमारा शरीर हवा में अधिक गर्मी विकिरित करता है (c) हवा की चालकता बढ़ जाती है
(d) हमारा पसीना तेजी से वाष्पित हो जाता है (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (d) हमारा पसीना तेजी से वाष्पित हो जाता है. वाष्पन सतह से गुप्त ऊष्मा लेता है, इसलिए इससे ठंडक होती है; बहती हवा नमी से भरी हवा को हटाकर वाष्पन की दर बढ़ाती है

BPSC 67th प्रेशर कुकर में खाना जल्दी पक जाता है, क्योंकि
(a) उच्च दाब के कारण पानी निम्न तापमान पर उबलने लगता है (b) उच्च दाब के कारण पानी उच्च तापमान पर उबलने लगता है
(c) कम दाब के कारण पानी कम तापमान पर उबलने लगता है (d) निम्न दाब के कारण पानी उच्च तापमान पर उबलने लगता है
(e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (b) उच्च दाब के कारण पानी उच्च तापमान पर उबलने लगता है. दाब बढ़ने पर पानी का क्वथनांक बढ़ जाता है

BPSC 67th यदि रेफ्रिजरेटर के दरवाजे कुछ घंटों के लिए खुले छोड़ दें, तो कमरे का तापमान
(a) कम हो जाएगा (b) बढ़ जाएगा (c) वही रहेगा (d) केवल रेफ्रिजरेटर के आसपास के क्षेत्र में घट जाएगा
(e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (b) बढ़ जाएगा. रेफ्रिजरेटर ऊष्मा बाहर निकालता है और मोटर का कार्य भी जोड़ता है, इसलिए कमरा गर्म होता है

BPSC 67th वह ताप बिंदु जिस पर ठोस, द्रव और गैसीय अवस्थाएँ एक-साथ रह सकती हैं, कहलाता है
(a) क्वथनांक (b) गलनांक (c) हिमांक (d) त्रिक बिंदु (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (d) त्रिक बिंदु. त्रिक बिंदु पर किसी पदार्थ की ठोस, द्रव और गैस अवस्थाएँ साम्य में एक साथ रहती हैं; पानी का त्रिक बिंदु लगभग 273.16 K (0.01 °C) और लगभग 611 पास्कल दाब पर है

BPSC 70th उष्मा स्थानांतरण जिसके लिए किसी माध्यम की आवश्यकता नहीं होती है, कहलाता है
(a) प्रतिबिंब (b) विकिरण (c) संवहन (d) संचालन
उत्तर: (b) विकिरण. विकिरण से ऊष्मा बिना माध्यम के पहुँचती है; चालन और संवहन के लिए माध्यम चाहिए

BPSC 70th re-exam 100°C ताप पर वायु में जलने की तुलना में 100°C पर स्थित वाष्प में जलना
(a) कम वाष्पीकरण की गुप्त उष्मा के कारण कम खतरनाक है (b) कम वाष्पीकरण की गुप्त उष्मा के कारण ज्यादा खतरनाक है
(c) ज्यादा वाष्पीकरण की गुप्त उष्मा के कारण ज्यादा खतरनाक है (d) ज्यादा वाष्पीकरण की गुप्त उष्मा के कारण कम खतरनाक है
उत्तर: (c) ज्यादा वाष्पीकरण की गुप्त उष्मा के कारण ज्यादा खतरनाक है. उच्च गुप्त ऊष्मा के कारण 100 °C की भाप से जलना उसी ताप के पानी या हवा से अधिक गंभीर होता है

स्वयं को परखें (13)

1. किसी रोगी का ताप 104 °F है। सेल्सियस में यह है
(a) 38 °C (b) 40 °C (c) 42 °C (d) 36 °C

2. 0 °C की बर्फ, उतने ही द्रव्यमान के 0 °C पानी की तुलना में पेय को अधिक ठंडा करती है, क्योंकि
(a) बर्फ पानी से अधिक घनी है और तल में बैठ जाती है (b) पिघलते समय बर्फ गुप्त ऊष्मा सोखती है
(c) बर्फ की विशिष्ट ऊष्मा पानी से अधिक है (d) बर्फ पेय से ऊष्मा को परावर्तित कर देती है

3. भट्ठी में पिघले लोहे का ताप मापने के लिए सबसे उपयुक्त तापमापी कौन-सा है?
(a) क्लिनिकल तापमापी (b) ऐल्कोहॉल तापमापी (c) पायरोमीटर (d) सिक्स का तापमापी

4. टेलीफ़ोन के तार सर्दियों की अपेक्षा गर्मियों में अधिक झूलते हैं। इसका कारण है
(a) तापीय प्रसार (b) सूर्य से विकिरण (c) गर्म हवा का संवहन (d) धातु का पुनर्हिमायन

5. मोटे काँच के गिलास में खौलता पानी डालने पर वह चटक जाता है, मुख्यतः क्योंकि
(a) काँच ऊष्मा का अच्छा चालक है (b) काँच 100 °C पर नरम हो जाता है (c) उसकी भीतरी परत पहले फैलती है
(d) भाप काँच के अंदर फँस जाती है

6. कथनों पर विचार करें: 1. बर्फ पर छिड़का नमक उसका गलनांक घटाता है। 2. दाब बढ़ाने से पानी का क्वथनांक बढ़ता है। 3. पर्वतीय स्थानों पर पानी 100 °C से ऊपर उबलता है। कौन-से सही हैं?
(a) केवल 1 और 2 (b) केवल 2 और 3 (c) केवल 1 और 3 (d) 1, 2 और 3

7. गर्म तारे नीले-सफ़ेद और ठंडे तारे लाल दिखते हैं। इसकी व्याख्या करता है
(a) न्यूटन का शीतलन नियम (b) वीन का विस्थापन नियम (c) चार्ल्स का नियम (d) किरचॉफ़ का धारा नियम

8. सर्दियों की साफ़ रातें बादल वाली रातों से अधिक ठंडी होती हैं, क्योंकि
(a) बादल स्वयं ऊष्मा पैदा करते हैं (b) बादल धरती का अवरक्त विकिरण लौटा देते हैं (c) साफ़ आसमान ध्रुवों से ठंडी हवाएँ लाता है
(d) साफ़ रातों में आर्द्रता हमेशा अधिक होती है

9. पंचर टायर से तेज़ी से निकलती हवा ठंडी लगती है। यह प्रक्रम है
(a) समतापी (b) समदाबी (c) समआयतनिक (d) रुद्धोष्म

10. निम्नलिखित में ऊष्मा का सबसे खराब चालक कौन है?
(a) ऐलुमिनियम (b) स्थिर हवा (c) काँच (d) जल

11. निम्नलिखित कथनों पर विचार कीजिए:
1. ऊष्मा संचरण की तीन विधियों में केवल विकिरण को माध्यम की आवश्यकता नहीं होती।
2. सामान्य धातुओं में पारा ऊष्मा का सबसे अच्छा चालक है।
3. थर्मस फ्लास्क में निर्वात चालन और संवहन को रोकता है, जबकि चाँदी चढ़ी दीवारें विकिरण को रोकती हैं।
उपर्युक्त कथनों में से कौन-सा/से सही है/हैं?
(a) केवल 1 (b) केवल 1 और 3 (c) केवल 2 और 3 (d) 1, 2 और 3

12. ऊष्मागतिकी के नियमों के बारे में निम्नलिखित कथनों पर विचार कीजिए:
1. शून्यवाँ नियम तापमापी से ताप मापने का आधार है।
2. पहला नियम कहता है कि कोई ऊष्मा इंजन ली गई पूरी ऊष्मा को कार्य में नहीं बदल सकता।
3. तीसरा नियम कहता है कि परम शून्य तक सीमित चरणों में पहुँचा जा सकता है।
उपर्युक्त में से कितने कथन सही हैं?
(a) केवल एक (b) केवल दो (c) सभी तीन (d) कोई भी नहीं

13. एक बंद, ऊष्मारोधी रसोई में रेफ्रिजरेटर को कई घंटों तक दरवाज़ा पूरा खुला रखकर चलाया जाता है। रसोई के ताप का क्या होगा?
(a) घटेगा, क्योंकि फ्रिज कमरे की हवा से ऊष्मा खींचता है (b) वही रहेगा, क्योंकि ली गई ऊष्मा दी गई ऊष्मा के बराबर है
(c) बढ़ेगा, क्योंकि मोटर का कार्य भी अंत में ऊष्मा बन जाता है (d) पहले घटेगा, फिर आरंभिक मान से नीचे स्थिर हो जाएगा

उत्तर: 1. (b) C = (104 − 32) × 5/9 = 72 × 5/9 = 40 °C. · 2. (b) हर ग्राम बर्फ गर्म होने से पहले केवल पिघलने में 80 cal लेती है। · 3. (c) पायरोमीटर उत्सर्जित विकिरण से, बिना संपर्क के, बहुत ऊँचे ताप पढ़ता है। · 4. (a) गर्म होने पर तार लंबे हो जाते हैं। · 5. (c) काँच कुचालक है, इसलिए असमान प्रसार से तनाव बनता है और वह चटक जाता है। · 6. (a) पहाड़ों पर दाब कम होता है, इसलिए पानी 100 °C से नीचे उबलता है। · 7. (b) शिखर तरंगदैर्ध्य × ताप नियत रहता है, इसलिए अधिक गर्म वस्तुओं का शिखर छोटी (अधिक नीली) तरंगदैर्ध्य पर होता है। · 8. (b) बादलों के बिना धरती का अवरक्त विकिरण अंतरिक्ष में निकल जाता है। · 9. (d) ऊष्मा के आदान-प्रदान का समय न मिलने पर तेज़ प्रसार गैस को ठंडा कर देता है। · 10. (b) स्थिर हवा (लगभग 0.026 W/m·K) जल (0.6) या काँच (लगभग 1) से कहीं कम चालन करती है। · 11. (b) सामान्य धातुओं में पारा ऊष्मा का सबसे खराब चालक है, जबकि चाँदी सबसे अच्छी; कथन 1 और 3 सही हैं। · 12. (a) केवल कथन 1 सही है: 'कोई इंजन अपनी पूरी ऊष्मा को कार्य में नहीं बदलता' दूसरा नियम है, और तीसरा नियम कहता है कि परम शून्य तक सीमित चरणों में नहीं पहुँचा जा सकता। · 13. (c) फ्रिज ऊष्मा को केवल भीतर से पीछे की कुंडलियों तक ले जाता है, और उसके कंप्रेसर का कार्य और ऊष्मा जोड़ देता है, इसलिए बंद रसोई गर्म होती है; वह पूरे कमरे को ठंडा नहीं कर सकता।

अध्याय 7

तरंगें और ध्वनि

विभिन्न माध्यमों में ध्वनि की चाल, ध्वनि की अनुदैर्ध्य प्रकृति, पराश्रव्य ध्वनि के उपयोग, तारत्व–प्रबलता–गुणता, प्रतिध्वनि, अनुनाद और डॉप्लर प्रभाव बार-बार पूछे जाने वाले प्रश्न हैं।

पिछले प्रश्नपत्रों में 4 बार पूछा गया: BPSC 4

≈ 51 min पढ़ने में ≈ 8 min ★★★ दोहराने में दोहराएँ: दिन 1 दिन 3 दिन 7 दिन 21

रिवीज़न कार्ड

1. वायु में ध्वनि एक यांत्रिक, अनुदैर्ध्य तरंग है (संपीडन और विरलन); इसे माध्यम चाहिए, इसलिए चंद्रमा पर ध्वनि नहीं होती।
2. ध्वनि की चाल: ठोस > द्रव > गैस। वायु ≈ 343 m/s, 20 °C पर (0 °C पर 331 m/s), जल ≈ 1500 m/s, स्टील ≈ 5960 m/s।
3. वायु में चाल ताप (≈ 0.6 m/s प्रति °C) और आर्द्रता के साथ बढ़ती है; केवल दाब का कोई प्रभाव नहीं।
4. $v = f \times \lambda$. आवृत्ति हर्ट्ज़ में। ध्वनि के दूसरे माध्यम में जाने पर आवृत्ति कभी नहीं बदलती; चाल और तरंगदैर्ध्य बदलते हैं।
5. श्रव्य परास 20 Hz–20 kHz। इससे नीचे: अवश्रव्य (भूकंप, हाथी, व्हेल)। इससे ऊपर: पराश्रव्य (चमगादड़, डॉल्फ़िन, सोनार, गर्भस्थ शिशु की जाँच)।
6. तारत्व ↔ आवृत्ति, प्रबलता ↔ आयाम, गुणता (टिम्बर) ↔ तरंग का रूप। महिलाओं और बच्चों की आवाज़ का तारत्व अधिक होता है।
7. प्रतिध्वनि के लिए कम से कम 0.1 s का अंतर चाहिए, अर्थात परावर्तक कम से कम लगभग 17 m दूर हो। अनुरणन = अनेक परावर्तन जो आपस में घुल-मिल जाते हैं।
8. बिजली की चमक और गरज का अंतर: हर 3 सेकंड ≈ 1 km।
9. अनुनाद: किसी वस्तु को उसकी प्राकृतिक आवृत्ति पर कंपित करने से बहुत बड़ा कंपन होता है (पुल पार करते सैनिक कदम तोड़ते हैं, रेडियो ट्यूनिंग, सितार मिलाना)।
10. डॉप्लर प्रभाव: पास आते स्रोत की ध्वनि ऊँची, दूर जाते की नीची; आकाशगंगाओं का अभिरक्त विस्थापन (रेड शिफ़्ट) बताता है कि ब्रह्मांड फैल रहा है।
11. मैक संख्या = वस्तु की चाल ÷ ध्वनि की चाल; मैक 1 से ऊपर ध्वनि बूम; मैक 5 से ऊपर अतिध्वनिक (हाइपरसोनिक)।
12. डेसिबल पैमाना लघुगणकीय है: +10 dB = 10 × तीव्रता। भारत में आवासीय सीमा: दिन में 55 dB(A), रात में 45।

तरंग क्या है

ऊर्जा, पदार्थ नहीं

अनुप्रस्थ

अनुदैर्ध्य

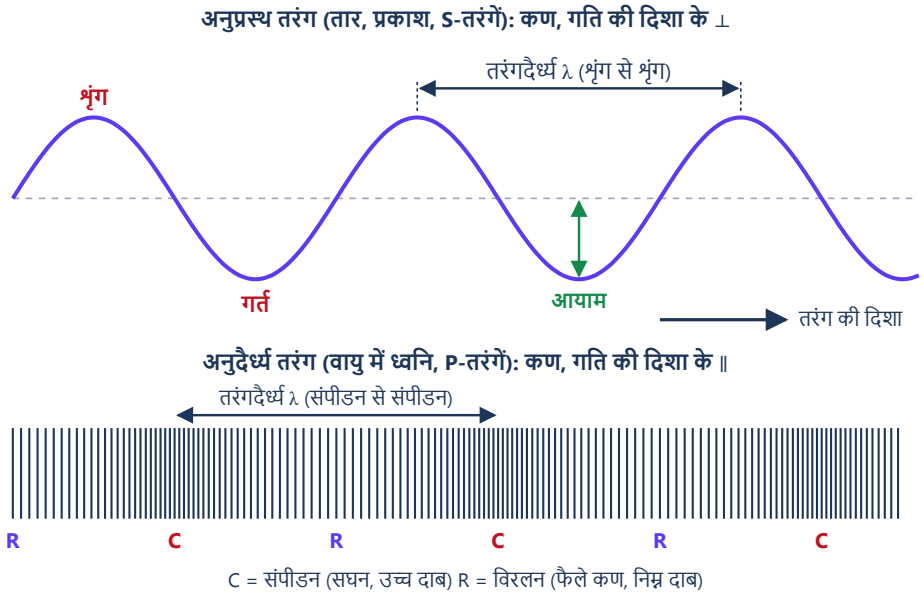
P और S तरंगें

ध्रुवण

तालाब में पत्थर डालिए: लहरें बाहर की ओर फैलती हैं, पर तैरता पत्ता केवल ऊपर-नीचे होता है। **तरंग (Wave)** एक जगह से दूसरी जगह **ऊर्जा** ले जाती है, पदार्थ नहीं। हर कण केवल अपनी जगह पर कंपन करता है और धक्का अपने पड़ोसी को सौंप देता है।

यांत्रिक बनाम विद्युतचुंबकीय तरंगें ★★★

	यांत्रिक (Mechanical)	विद्युतचुंबकीय (Electromagnetic)
माध्यम	आवश्यक (ठोस, द्रव या गैस)	आवश्यक नहीं; निर्वात में चलती हैं
चाल	माध्यम पर निर्भर; वायु में ध्वनि ≈ 343 m/s	निर्वात में 3×10^8 m/s, सबके लिए समान
प्रकृति	अनुप्रस्थ या अनुदैर्ध्य	सदा अनुप्रस्थ
उदाहरण	ध्वनि, भूकंपीय तरंगें, डोरी पर तरंगें, जल तरंगें	प्रकाश, रेडियो, सूक्ष्म तरंगें, X-किरणें, गामा किरणें



ऊपर: अनुप्रस्थ तरंग में कण चलने की दिशा के आर-पार ऊपर-नीचे चलते हैं (शृंग और गर्त)। नीचे: अनुदैर्ध्य तरंग में वे उसी दिशा में आगे-पीछे चलते हैं (संपीडन और विरलन)।

अनुप्रस्थ बनाम अनुदैर्ध्य ★★★

	अनुप्रस्थ (Transverse)	अनुदैर्ध्य (Longitudinal)
कणों की गति	चलने की दिशा के लंबवत	चलने की दिशा के समांतर
किससे बनी	शृंग (Crest) और गर्त (Trough)	संपीडन (Compression) और विरलन (Rarefaction)
कहाँ चलती है	ठोस, द्रवों की सतह; EM तरंगें निर्वात में	ठोस, द्रव और गैस
ध्रुवण	संभव	संभव नहीं
उदाहरण	प्रकाश, सितार के तार पर तरंगें, भूकंपीय S-तरंगें	वायु में ध्वनि, भूकंपीय P-तरंगें, धकेली गई स्लिंकी

★★★ **वायु में (और किसी भी द्रव या गैस में) ध्वनि अनुदैर्ध्य होती है**; ठोसों में ध्वनि अनुदैर्ध्य और अनुप्रस्थ दोनों रूपों में चल सकती है।

★★ **जल की सतह की तरंगें** मिश्रित होती हैं: जल के कण लगभग वृत्तों में घूमते हैं।

★★ **भूकंपीय P-तरंगें** (अनुदैर्ध्य) ठोस और द्रव दोनों से गुज़रती हैं और सबसे पहले पहुँचती हैं; **S-तरंगें** (अनुप्रस्थ) द्रव पार नहीं कर सकतीं, जिससे पता चला कि पृथ्वी का बाह्य क्रोड द्रव है।

★★★ **ध्रुवण (Polarisation)** केवल अनुप्रस्थ तरंगों में होता है; प्रकाश का ध्रुवण हो सकता है, यह सिद्ध करता है कि प्रकाश अनुप्रस्थ है। ध्वनि का ध्रुवण नहीं हो सकता।

याद रखें: 'Longitudinal = Lengthwise': कण चलने की लंबाई की दिशा में हिलते हैं। 'Transverse = Traverse across': वे उसके आर-पार चलते हैं।

झटपट जाँच

1. वायु में ध्वनि: अनुप्रस्थ तरंग या अनुदैर्ध्य?
2. कौन-सी भूकंपीय तरंगें द्रव बाहरी क्रोड को पार नहीं कर पातीं?
3. क्या ध्वनि का ध्रुवण हो सकता है?

उत्तर: 1. अनुदैर्ध्य (संपीडन और विरलन) · 2. S-तरंगें (अनुप्रस्थ) · 3. नहीं: केवल अनुप्रस्थ तरंगों का होता है

तरंग का वर्णन

v = f × λ

T = 1/f

आवृत्ति नहीं बदलती

ऊर्जा ∝ आयाम²

पाँच शब्द किसी भी तरंग का वर्णन करते हैं: एक तरंग कितनी लंबी है, हर सेकंड कितनी तरंगें गुज़रती हैं, एक तरंग में कितना समय लगता है, झूलन कितना बड़ा है, और तरंग कितनी तेज़ चलती है। एक समीकरण इन्हें जोड़ता है।

तरंग की राशियाँ ★★★

राशि	अर्थ	SI मात्रक
तरंगदैर्ध्य (Wavelength, λ)	दो शृंगों, या दो संपीडनों के बीच की दूरी	मीटर (m)
आवृत्ति (Frequency, f)	प्रति सेकंड तरंगों (कंपनों) की संख्या	हर्ट्ज़ (Hz) = 1 प्रति सेकंड
आवर्तकाल (Time period, T)	एक पूरे कंपन का समय; T = 1/f	सेकंड (s)
आयाम (Amplitude, A)	विराम स्थिति से अधिकतम विस्थापन; ऊर्जा और प्रबलता तय करता है	मीटर (m)
तरंग चाल (Wave speed, v)	कोई शृंग या संपीडन प्रति सेकंड जितनी दूरी तय करता है	m/s

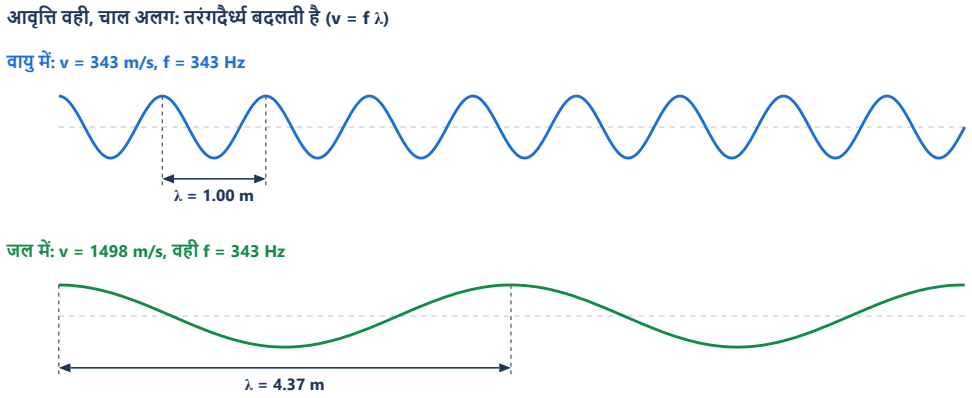
★★★ **तरंग समीकरण**: **v = f × λ**। 340 m/s की चाल और 340 Hz आवृत्ति वाली ध्वनि की तरंगदैर्ध्य 1 m होती है।

★★★ **आवृत्ति स्रोत तय करता है** और तरंग के दूसरे माध्यम में जाने पर यह नहीं बदलती; **चाल और तरंगदैर्ध्य बदलते हैं**।

★★ **हर्ट्ज़** का नाम **हाइनरिख हर्ट्ज़ (Heinrich Hertz)** पर है, जिन्होंने पहली बार रेडियो तरंगें उत्पन्न कीं और पहचानीं (1887)।

★ वायु में **श्रव्य तरंगदैर्ध्य** लगभग 17 m (20 Hz) से लगभग 1.7 cm (20 kHz) तक होती है।

★★ **तरंग की ऊर्जा (तीव्रता) ∝ आयाम²**: आयाम दोगुना, तो ऊर्जा चार गुनी।



वायु और जल में वही 343 Hz की ध्वनि, कंपन के ग्राफ़ के रूप में पैमाने पर। आवृत्ति नहीं बदलती, पर जल में ध्वनि लगभग 4.4 गुना तेज़ है, इसलिए हर तरंगदैर्ध्य लगभग 4.4 गुना लंबी है (v = f λ)।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** ध्वनि वायु से जल में जाने पर उसकी आवृत्ति (और इसलिए तारत्व) वही रहती है; उसकी चाल और तरंगदैर्ध्य दोनों लगभग चार गुना बढ़ जाते हैं।

☑ झटपट जाँच

1. 340 Hz की ध्वनि 340 m/s से चलती है। तरंगदैर्ध्य?
2. ध्वनि वायु से जल में जाती है। क्या नहीं बदलता?
3. आयाम दोगुना करें तो ऊर्जा कितने गुना होगी?

उत्तर: 1. 1 m (λ = v/f) · 2. आवृत्ति (और इसलिए तारत्व) · 3. चार गुना

ध्वनि और उसका माध्यम

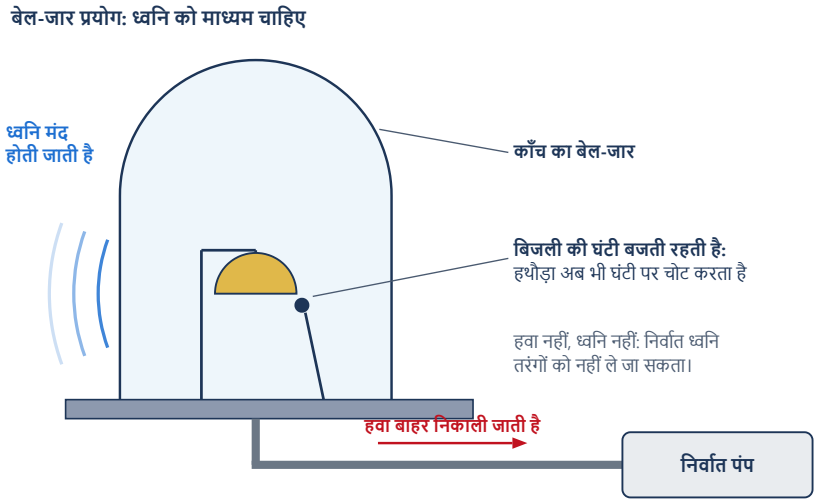
कंपित स्रोत

माध्यम चाहिए

बेल-जार

स्वरयंत्र

ध्वनि **कंपन करती वस्तुओं** से बनती है: स्वरयंत्र में वाक्-तंतु (Vocal cords), तबले की तनी खाल, सितार का तार, स्वरित्र (Tuning fork) की भुजाएँ। कंपन पास की वायु को दबाता और फैलाता है, और संपीडन व विरलन का यह क्रम कान तक पहुँचता है। दबाने के लिए कण न हों, तो ध्वनि भी नहीं।



बेल-जार प्रयोग। जैसे-जैसे पंप हवा निकालता है, हथौड़े के घंटी पर चोट करते रहने पर भी आवाज़ मंद होती जाती है: ध्वनि निर्वात में नहीं चल सकती।

★★★ **ध्वनि को माध्यम चाहिए**; यह निर्वात में नहीं चल सकती। **चंद्रमा पर** वायु नहीं है, इसलिए अंतरिक्ष यात्री रेडियो (विद्युतचुंबकीय तरंगों) से बात करते हैं।

★★ **बेल-जार प्रयोग**: बजती घंटी वाले जार से वायु निकालते जाने पर, घंटी हिलती रहने पर भी आवाज़ धीमी होती जाती है।

★★ **मानव आवाज़ स्वरयंत्र (Larynx, voice box)** में वाक्-तंतुओं से निकलती है। पुरुषों के वाक्-तंतु लगभग 20 mm लंबे होते हैं, महिलाओं के लगभग 15 mm; छोटे, पतले तंतु तेज़ी से कंपन करते हैं।

★ **कीट** तेज़ी से पंख फड़फड़ाकर ध्वनि करते हैं; मच्छर की भिनभिनाहट ऊँचे तारत्व की होती है क्योंकि उसके पंख एक सेकंड में कई सौ बार फड़कते हैं।

आसपास देखें: लकड़ी की लंबी मेज़ के एक सिरे पर कान लगाइए और दोस्त से दूसरे सिरे को हल्के से खुरचने को कहिए: आवाज़ लकड़ी से साफ़ सुनाई देती है, पर हवा से मुश्किल से।

झटपट जाँच

1. चंद्रमा पर अंतरिक्ष यात्री रेडियो से बात क्यों करते हैं?
2. बजती घंटी वाले जार से हवा निकाली जाती है। ध्वनि का क्या होता है?
3. मानव आवाज़ _____ में बनती है।

उत्तर: 1. वहाँ हवा नहीं है, और ध्वनि को माध्यम चाहिए · 2. घंटी बजती रहती है, पर ध्वनि मंद होती जाती है · 3. स्वरयंत्र में, वाक्-तंतुओं से

ध्वनि की चाल

ठोस > द्रव > गैस

20 °C पर 343 m/s

+0.6 m/s प्रति °C

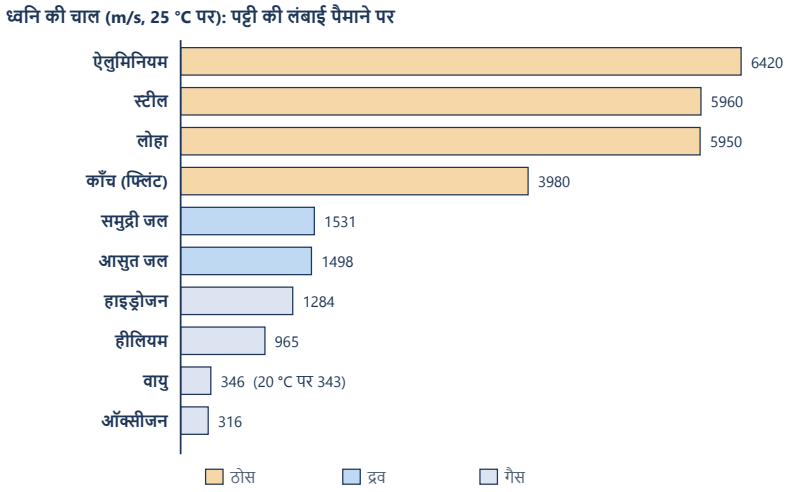
ध्वनि कण-दर-कण आगे बढ़ती है, इसलिए उसकी चाल (Speed of sound) वहाँ सबसे अधिक होती है जहाँ कण कसकर बँधे हों और जल्दी वापस लौटें। कठोरता (प्रत्यास्थता, Elasticity) ध्वनि को तेज़ करती है, घनत्व धीमा। ठोस इतने कठोर होते हैं कि घने होने के बावजूद आसानी से जीत जाते हैं।

नम हवा: तेज़

3 s ≈ 1 km

ध्वनि की चाल (लगभग, जब तक अलग न लिखा हो 25 °C पर) ★★★

माध्यम	चाल (m/s)	अवस्था
ऐलुमिनियम	6420	ठोस
स्टील	5960	ठोस
लोहा	5950	ठोस
काँच (फ्लिंट)	3980	ठोस
समुद्री जल	1531	द्रव
आसुत जल	1498	द्रव
हाइड्रोजन	1284	गैस (हल्की गैस, तेज़)
हीलियम	965	गैस
वायु	346 (20 °C पर 343, 0 °C पर 331)	गैस
ऑक्सीजन	316	गैस



25 °C पर ध्वनि की चाल, पैमाने पर। ठोस बहुत आगे हैं; गैसों में हल्की गैसें (हाइड्रोजन, हीलियम) सबसे तेज़ हैं; स्टील में ध्वनि वायु से लगभग 17 गुना तेज़ चलती है।

★★★ **क्रम**: **ठोस > द्रव > गैस**। ध्वनि **स्टील** जैसे ठोसों में सबसे तेज़ चलती है, वायु से लगभग 17 गुना तेज़।

★★★ **ताप**: वायु में चाल **हर 1 °C पर लगभग 0.6 m/s** बढ़ती है (0 °C पर 331 m/s, 20 °C पर 343 m/s)।

★★★ **आर्द्रता**: **नम वायु में ध्वनि तेज़** चलती है, क्योंकि समान ताप पर नम वायु शुष्क वायु से हल्की (कम घनी) होती है।

★★★ **दाब**: स्थिर ताप पर वायु का दाब बदलने से ध्वनि की चाल पर **कोई प्रभाव नहीं** पड़ता।

★★ **हल्की गैसों में ध्वनि तेज़ चलती है**: हाइड्रोजन > हीलियम > वायु > ऑक्सीजन > कार्बन डाइऑक्साइड।

★★ **गैस में $v \propto \sqrt{T}$** (T = केल्विन में परम ताप (Absolute temperature)); समान ताप पर $v \propto 1/\sqrt{}$(मोलर द्रव्यमान), इसलिए हाइड्रोजन में ध्वनि ऑक्सीजन की तुलना में लगभग चार गुना तेज़ चलती है।

★★ **हवा** ध्वनि को साथ ले जाती है: हवा की दिशा में ध्वनि अधिक दूर तक जाती है।

★★ वायु में **सभी आवृत्तियाँ एक ही चाल से चलती हैं**: ऑर्केस्ट्रा की बाँसुरी और ढोल की आवाज़ साथ-साथ पहुँचती है; प्रबलता से भी चाल नहीं बदलती।

★★★ **प्रकाश (3×10^8 m/s) ध्वनि से लगभग दस लाख गुना तेज़** है: हम गरज सुनने से पहले बिजली देखते हैं, पटाखे की आवाज़ से पहले उसका फटना देखते हैं, और दूर के बल्लेबाज़ का शॉट बल्ले की आवाज़ से पहले देखते हैं।

★★★ **तूफ़ान की दूरी**: चमक और गरज के बीच सेकंड गिनिए; **हर 3 सेकंड ≈ 1 km** (ध्वनि हर सेकंड लगभग 340 m चलती है)।

★ **रात में** ज़मीन के पास की हवा ठंडी होती है, इसलिए ध्वनि मुड़कर नीचे आती है और दूर तक सुनाई देती है; दिन में वह ऊपर मुड़ जाती है (ध्वनि का अपवर्तन, Refraction)।

★ **ध्वनि कोनों के पार मुड़ जाती है** (विवर्तन, Diffraction) क्योंकि उसकी तरंगदैर्ध्य बड़ी होती है; हम कोने के पार लोगों को सुन तो लेते हैं पर देख नहीं पाते।

याद रखें: 'Steel speaks soonest': घना दिखने वाला ठोस स्टील भी जीतता है, क्योंकि उसकी कठोरता बहुत अधिक है। और हर तूफ़ान के लिए: 'तीन सेकंड, एक किलोमीटर'।

⚠ परीक्षा में सावधान: 'सबसे तेज़ माध्यम' वाले प्रश्नों में हाइड्रोजन चारा है: ध्वनि वायु की अपेक्षा हाइड्रोजन में तेज़ है, पर स्टील (ठोस) हर गैस और द्रव से आगे है।

झटपट जाँच

1. स्टील, जल, वायु, हाइड्रोजन: ध्वनि सबसे तेज़ कहाँ?
2. नियत ताप पर वायु का दाब बढ़ाने से ध्वनि की चाल बदलती है?
3. चमक के 9 s बाद गड़गड़ाहट सुनाई दी। तूफ़ान कितनी दूर है?

उत्तर: 1. स्टील में · 2. नहीं · 3. लगभग 3 km

श्रव्य परास, अवश्रव्य और पराश्रव्य ध्वनि

20 Hz – 20 kHz

अवश्रव्य: हाथी

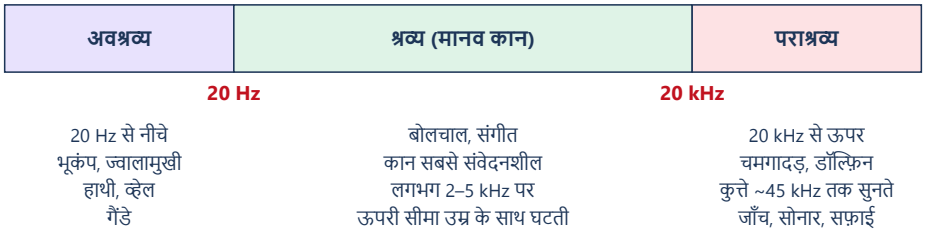
पराश्रव्य: चमगादड़

सोनार: d = vt/2

भ्रूण की जाँच

मानव कान केवल लगभग **20 से 20,000 प्रति सेकंड** के कंपनों पर प्रतिक्रिया करता है। इससे धीमे कंपन **अवश्रव्य ध्वनि (Infrasound)** हैं; इससे तेज़ कंपन **पराश्रव्य ध्वनि (Ultrasound)** हैं। कई जानवर हमारी सीमा के बाहर सुनते हैं, और पराश्रव्य ध्वनि की छोटी तरंगदैर्ध्य उसे शरीर के भीतर और समुद्र के नीचे देखने का सटीक साधन बनाती है।

हम क्या सुन सकते हैं और क्या नहीं



मानव कान केवल 20 Hz से 20 kHz तक सुनता है। देखिए कि किस ओर कौन-से जानवर और उपयोग हैं।

★★★ मनुष्य का **श्रव्य परास (Audible range)**: **20 Hz से 20 kHz**। ऊपरी सीमा उम्र के साथ घटती है; बच्चे और युवा सबसे ऊँचे स्वर सुनते हैं।

★★★ **अवश्रव्य ध्वनि** (20 Hz से नीचे): **भूकंप** (मुख्य झटके से पहले, इसीलिए कुछ जानवर बेचैन हो जाते हैं), ज्वालामुखी और झूलता लोलक इसे उत्पन्न करते हैं; **हाथी, व्हेल और गैंडे** इससे संचार करते हैं।

★★★ **पराश्रव्य ध्वनि** (20 kHz से ऊपर): **चमगादड़, डॉल्फ़िन, पॉरपॉइज़, कुत्ते** और चूहे इसे सुनते हैं। कुत्ते लगभग 45 kHz तक सुनते हैं, इसीलिए 'मूक' कुत्ता-सीटी काम करती है।

★★★ **अल्ट्रासाउंड जाँच (Ultrasonography)** से **गर्भ में भ्रूण**, पित्त और गुर्दे की पथरी और ट्यूमर दिखते हैं। पराश्रव्य ध्वनि आयनकारी नहीं है, इसलिए X-किरणों के विपरीत यह भ्रूण के लिए सुरक्षित है।

★★ **इकोकार्डियोग्राफ़ी (Echocardiography)**: धड़कते हृदय के पराश्रव्य चित्र; **डॉप्लर अल्ट्रासाउंड** रक्त प्रवाह मापता है।

★★ **लिथोट्रिप्सी (Lithotripsy)**: केंद्रित उच्च-ऊर्जा ध्वनि स्पंद **गुर्दे की पथरी** को बारीक कणों में तोड़ देते हैं जो मूत्र के साथ निकल जाते हैं।

★★ आभूषणों, इलेक्ट्रॉनिक पुर्ज़ों और सर्पिल नलियों की **पराश्रव्य सफ़ाई**; धातु के ब्लॉकों और वेल्ड में **दोष का पता लगाना**।

★★★ **सोनार (SONAR)** (**SO**und **N**avigation **A**nd **R**anging) जल में पराश्रव्य ध्वनि भेजकर प्रतिध्वनि का समय मापता है और **समुद्र की गहराई**, पनडुब्बियाँ, मछलियों के झुंड, हिमशैल और डूबे जहाज़ खोजता है। **गहराई = चाल × समय ÷ 2**।

★★★ **प्रतिध्वनि-निर्धारण (Echolocation)**: **चमगादड़** पराश्रव्य चीं-चीं निकालकर और उसकी प्रतिध्वनि सुनकर अंधेरे में उड़ते और शिकार करते हैं; **डॉल्फ़िन** जल में यही करती हैं।

★★ **चित्रण के लिए पराश्रव्य ध्वनि क्यों**: छोटी तरंगदैर्ध्य से पतला किरण-पुंज और बारीक विवरण मिलता है, और यह जल तथा ऊतकों में दूर तक जाती है।

★★ **PCPNDT अधिनियम, 1994** (गर्भधारण-पूर्व और प्रसव-पूर्व निदान तकनीक, Pre-Conception and Pre-Natal Diagnostic Techniques) भारत में भ्रूण का लिंग जानने के लिए अल्ट्रासाउंड के उपयोग पर रोक लगाता है।

★ **एनपीओएल, कोच्चि (NPOL, Kochi)** (डीआरडीओ, DRDO की एक प्रयोगशाला) भारतीय नौसेना के जहाज़ों और पनडुब्बियों के सोनार डिज़ाइन करती है।

आसपास देखें: किसी जहाज़ का सोनार स्पंद भेजने के 2 s बाद समुद्र तल से प्रतिध्वनि सुनता है। समुद्री जल में ध्वनि की चाल 1500 m/s लेने पर: गहराई = 1500 × 2 ÷ 2 = 1500 m।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** भ्रूण की जाँच में पराश्रव्य ध्वनि प्रयोग होती है, X-किरणें, सूक्ष्म तरंगें या पराबैंगनी नहीं। और चमगादड़ पराश्रव्य ध्वनि प्रयोग करते हैं जबकि हाथी अवश्रव्य; परीक्षक दोनों को आपस में बदल देते हैं।

झटपट जाँच

1. गर्भ में भ्रूण देखने के लिए कौन-सी तरंगें प्रयुक्त होती हैं?
2. हाथी और व्हेल अवश्रव्य से संवाद करते हैं या पराश्रव्य से?
3. समुद्री जल (1500 m/s) में सोनार की प्रतिध्वनि 2 s में लौटी। गहराई?

उत्तर: 1. पराश्रव्य (अल्ट्रासाउंड) · 2. अवश्रव्य (20 Hz से कम) · 3. 1500 m (v × t ÷ 2)

प्रतिध्वनि, अनुरणन और ध्वनिकी

0.1 s

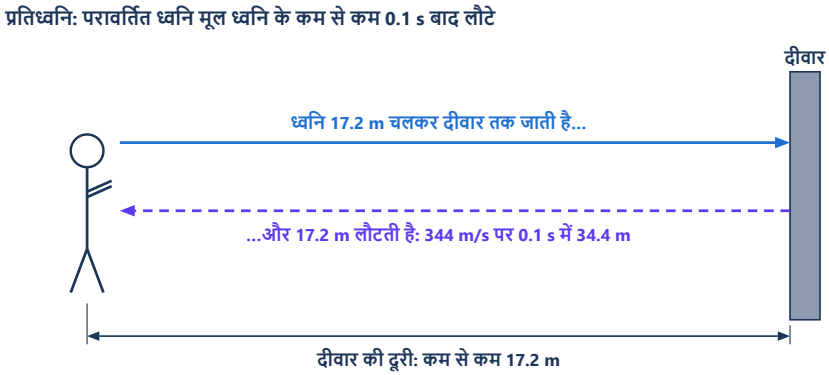
17.2 m

अनुरणन

ध्वनि पट्ट

गोल गुंबज

ध्वनि प्रकाश की तरह परावर्तित होती है, आपतन कोण परावर्तन कोण के बराबर, और सबसे अच्छी तरह बड़ी कठोर सतहों से। कान किसी ध्वनि की अनुभूति लगभग **0.1 s** तक बनाए रखता है (श्रवण-निर्बंध, Persistence of hearing)। इससे देर से पहुँचा परावर्तन अलग से **प्रतिध्वनि (Echo)** के रूप में सुनाई देता है; पहले पहुँचे परावर्तन मूल ध्वनि में मिलकर उसे केवल लंबा करते हैं।



प्रतिध्वनि, पैमाने पर (30 इकाई प्रति मीटर)। कान किसी ध्वनि को लगभग 0.1 s तक बनाए रखता है, इसलिए 344 m/s पर परावर्तित ध्वनि को आने-जाने में कम से कम 34.4 m चलना होगा: दीवार कम से कम 17.2 m दूर हो।

★★★ **प्रतिध्वनि** के लिए परावर्तन का मूल ध्वनि के **कम से कम 0.1 s** बाद पहुँचना ज़रूरी है।

★★★ **प्रतिध्वनि के लिए न्यूनतम दूरी** वायु में ≈ **17.2 m** (344 m/s पर ध्वनि 0.1 s में 34.4 m चलती है: जाना और लौटना)।

★★★ **अनुरणन (Reverberation)**: 0.1 s के भीतर पहुँचने वाले अनेक परावर्तनों से हॉल में ध्वनि का बने रहना; इसकी अधिकता से भाषण अस्पष्ट हो जाता है।

★★ **अनुरणन घटाना**: दीवारों और छत पर पर्दे, कालीन, गद्देदार सीटें, फ़ाइबरबोर्ड, खुरदुरा प्लास्टर और अन्य ध्वनि-अवशोषक पदार्थ।

★★ **हॉल की अच्छी ध्वनिकी (Acoustics)**: वक्र छतें और मंच के पीछे **ध्वनि पट्ट (Sound board)** ध्वनि को श्रोताओं तक समान रूप से परावर्तित करते हैं।

★★ **बहुल परावर्तन (Multiple reflection)** का उपयोग मेगाफ़ोन, भोंपू, शहनाई और तुरही, तथा **स्टेथोस्कोप** में होता है।

★★ **बादलों की गड़गड़ाहट** बादलों और धरती से बार-बार परावर्तित होती ध्वनि है।

★ **गोल गुंबज (Gol Gumbaz)** (विजयपुरा, कर्नाटक) के विशाल गुंबद के नीचे एक फुसफुसाहट दीर्घा है: एक ओर की फुसफुसाहट ठीक सामने की ओर साफ़ सुनाई देती है, और ताली की कई बार प्रतिध्वनि होती है।

गोल गुंबज, विजयपुरा (कर्नाटक)। इसके विशाल गुंबद के नीचे की फुसफुसाहट गैलरी में एक ओर की फुसफुसाहट दूसरी ओर साफ़ सुनाई देती है, जिसे घुमावदार दीवार से ध्वनि का बार-बार परावर्तन वहाँ तक ले जाता है। चित्र: Akshatha, Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0

याद रखें: 'Seventeen for an echo': दीवार से कम से कम 17 m दूर खड़े होकर ताली बजाइए; इससे पास हों तो प्रतिध्वनि ताली के भीतर ही छिप जाती है।

☑ झटपट जाँच

1. वायु में प्रतिध्वनि सुनने के लिए दीवार से न्यूनतम दूरी?
2. हॉल में बहुत-से त्वरित परावर्तनों से ध्वनि का बने रहना _____ कहलाता है।
3. किस भारतीय स्मारक में प्रसिद्ध फुसफुसाहट गैलरी है?

उत्तर: 1. लगभग 17.2 m · 2. अनुरणन · 3. गोल गुंबज, विजयपुरा

ध्वनि के लक्षण: तारत्व, प्रबलता, गुणता

तारत्व ↔ आवृत्ति

प्रबलता ↔ आयाम

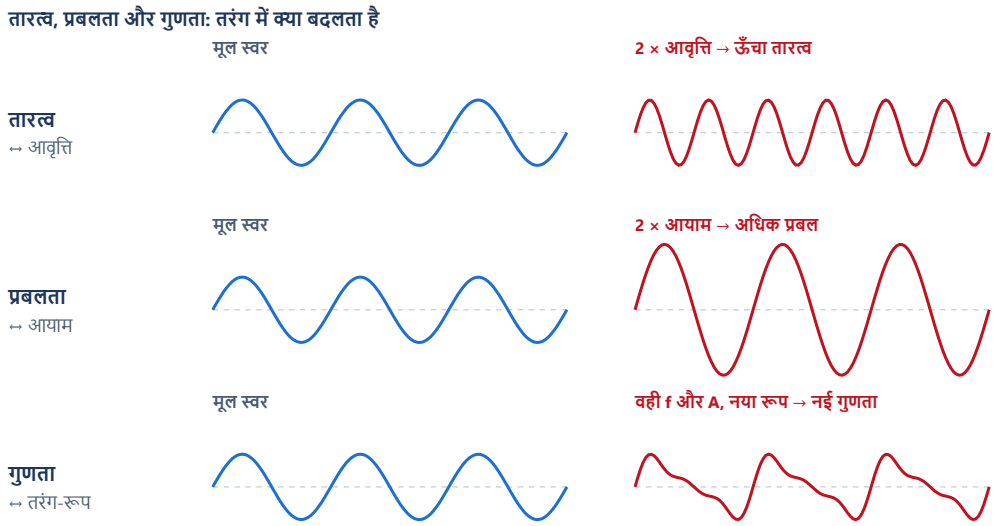
गुणता ↔ तरंग-रूप

टोन, स्वर, शोर

दो ध्वनियाँ केवल तीन तरह से भिन्न हो सकती हैं। एक अधिक तीखी हो (**तारत्व, Pitch**), एक अधिक तेज़ हो (**प्रबलता, Loudness**), या समान तारत्व और प्रबलता पर भी अलग सुनाई दें, जैसे एक ही स्वर बजाती बाँसुरी और वायलिन (**गुणता, Quality**)। हर लक्षण तरंग के एक गुण से जुड़ा है।

क्या किस पर निर्भर है ★★★

हम सुनते हैं	निर्भर करता है	उदाहरण
तारत्व (तीखापन)	आवृत्ति	महिलाओं और बच्चों की आवाज़ पुरुषों से तीखी; मच्छर की भिनभिनाहट बनाम शेर की दहाड़
प्रबलता	आयाम (तीव्रता ∝ आयाम^2); दूरी और कंपन करने वाला क्षेत्रफल भी	ढोल को ज़ोर से पीटना; सितार का ध्वनि-बक्सा आवाज़ तेज़ करता है
गुणता / टिम्बर	तरंग का रूप (अधिस्वरकों का मिश्रण)	फ़ोन पर दोस्त की आवाज़ पहचानना; एक ही स्वर पर बाँसुरी बनाम वायलिन



ध्वनि का हर लक्षण उसकी तरंग के एक गुण से जुड़ा है। आवृत्ति दोगुनी करने से तारत्व ऊँचा होता है; आयाम दोगुना करने से ध्वनि अधिक प्रबल होती है; उसी स्वर में अधिस्वरक जोड़ने से गुणता (टिम्बर) बदलती है, तारत्व या प्रबलता नहीं।

★★★ **अधिक आवृत्ति → ऊँचा तारत्व। महिलाओं और बच्चों की आवाज़ तीखी होती है** क्योंकि उनके वाक्-तंतु छोटे और पतले होते हैं और तेज़ी से कंपन करते हैं।

★★★ **प्रबलता आयाम पर निर्भर है**, आवृत्ति पर नहीं। शेर की दहाड़ प्रबल पर निम्न तारत्व की होती है; मच्छर की भिनभिनाहट धीमी पर ऊँचे तारत्व की।

★★ **गुणता (टिम्बर)** से हम वाद्यों और आवाज़ों में भेद करते हैं: हर स्रोत मुख्य स्वर में अपने अधिस्वरकों (Overtones) का अलग पैटर्न जोड़ता है।

★★ **टोन (Tone)** = एक ही आवृत्ति की ध्वनि; **स्वर (Note)** = आवृत्तियों का मिश्रण, सुनने में सुखद; **शोर (Noise)** = अनियमित, अप्रिय ध्वनि।

★★ **तीव्रता (Intensity)** (प्रति सेकंड प्रति इकाई क्षेत्रफल ऊर्जा, W/m^2) भौतिक राशि है; **प्रबलता** वह है जैसा कान उसे महसूस करता है। बिंदु स्रोत की तीव्रता $1/दूरी^2$ के अनुसार घटती है।

★ **सप्तक (Octave)**: दोगुनी आवृत्ति का स्वर 'वही' स्वर लगता है, बस ऊँचा।

याद रखें: 'P-F, L-A, Q-W': Pitch–Frequency (तारत्व–आवृत्ति), Loudness–Amplitude (प्रबलता–आयाम), Quality–Waveform (गुणता–तरंग रूप)। इसे रेडियो कॉल साइन की तरह बोलिए।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** सितार का तार कसने या ढीला करने से उसकी आवृत्ति (तारत्व) बदलती है, आयाम या तीव्रता नहीं। ज़ोर से छेड़ने पर प्रबलता बदलती है, तारत्व नहीं।

झटपट जाँच

1. तारत्व _____ पर और प्रबलता _____ पर निर्भर है।
2. फ़ोन पर दोस्त की आवाज़ कैसे पहचानते हैं?
3. महिलाओं की आवाज़ तीखी क्यों होती है?

उत्तर: 1. आवृत्ति; आयाम · 2. उसकी गुणता (टिम्बर) से, जो तरंग-रूप तय करता है · 3. छोटे, पतले वाक्-तंतु तेज़ी से कंपन करते हैं: अधिक आवृत्ति

डेसिबल और ध्वनि प्रदूषण

+10 dB = 10 × तीव्रता

85 dB हानिकारक

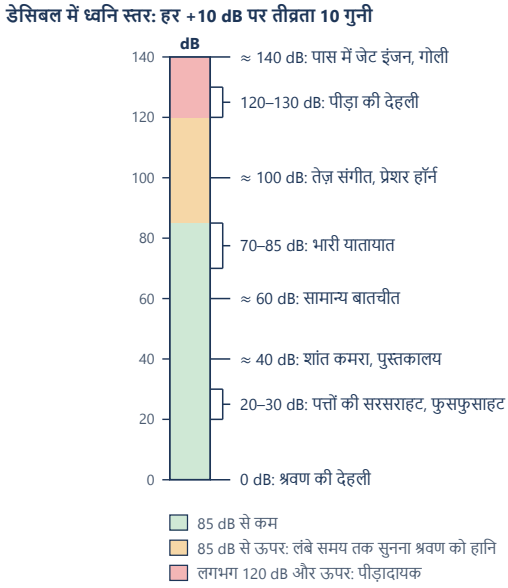
शांत क्षेत्र: 100 m

रात 10 – सुबह 6

कान बहुत बड़ी सीमा सँभालता है, पत्तों की सरसराहट से लेकर उससे दस खरब गुना तीव्र जेट इंजन तक। इसलिए प्रबलता **लघुगणकीय (Logarithmic)** पैमाने पर मापी जाती है, **डेसिबल (dB)** में, जो **बेल (Bel)** का दसवाँ भाग है (एलेक्ज़ेंडर ग्राहम बेल, Alexander Graham Bell, के नाम पर)। हर 10 dB का कदम तीव्रता को दस गुना करता है।

सामान्य ध्वनि स्तर ★★

ध्वनि	स्तर (लगभग)
श्रवण की देहली	0 dB
पत्तों की सरसराहट, फुसफुसाहट	20–30 dB
शांत कमरा, पुस्तकालय	लगभग 40 dB
सामान्य बातचीत	लगभग 60 dB
भारी यातायात	70–85 dB
तेज़ संगीत, प्रेशर हॉर्न	लगभग 100 dB
पीड़ा की देहली	लगभग 120–130 dB
पास में जेट इंजन, गोली चलना	लगभग 140 dB



डेसिबल पैमाने पर ध्वनि स्तर। हर 10 dB का पद तीव्रता को दस गुना करता है, इसलिए 100 dB का हॉर्न 40 dB के पुस्तकालय से दस लाख गुना तीव्र है। लगभग 85 dB से ऊपर लंबे समय तक रहना श्रवण को हानि पहुँचाता है।

★★★ **+10 dB = 10 गुनी तीव्रता**; +20 dB = 100 गुनी; +3 dB ≈ दोगुनी।

★★ **श्रवण क्षति**: लगभग **85 dB** से ऊपर लंबे समय तक रहने से सुनने की क्षमता को नुकसान होता है; लगभग 120 dB और उससे ऊपर ध्वनि पीड़ादायक हो जाती है।

★★ **शोर के प्रभाव**: श्रवण हानि, अनिद्रा, तनाव, उच्च रक्तचाप और एकाग्रता में कमी।

★★ **भारत में कानून**: पर्यावरण (संरक्षण) अधिनियम, 1986 के अंतर्गत **ध्वनि प्रदूषण (विनियमन और नियंत्रण) नियम, 2000** परिवेशी सीमाएँ तय करते हैं; वायु अधिनियम (1987 में संशोधित) में वायु प्रदूषक की परिभाषा में शोर को जोड़ा गया।

★★ **शांत क्षेत्र (Silence zone)**: **अस्पतालों, शिक्षण संस्थानों और न्यायालयों के चारों ओर कम से कम 100 m** का क्षेत्र, जिसे राज्य सरकार शांत क्षेत्र घोषित करती है।

★★ **लाउडस्पीकर** बंद परिसरों को छोड़कर **रात 10 बजे से सुबह 6 बजे** तक नहीं बजाए जा सकते; राज्य साल में सीमित संख्या के त्योहार-दिनों पर यह छूट आधी रात तक बढ़ा सकता है।

भारत में परिवेशी शोर सीमाएँ, Leq dB(A) में (दिन: सुबह 6 बजे–रात 10 बजे, रात: रात 10 बजे–सुबह 6 बजे) ★★★

क्षेत्र	दिन	रात
औद्योगिक	75	70
वाणिज्यिक	65	55
आवासीय	55	45
शांत क्षेत्र	50	40

याद रखें: कारखाने से अस्पताल की ओर सीमाएँ सीढ़ी की तरह घटती हैं: दिन में 75-65-55-50; रात में हर एक 10 घटता है, सिवाय औद्योगिक के, जो केवल 5 घटता है (70 तक)।

झटपट जाँच

1. ध्वनि 60 dB से 80 dB हो जाती है। तीव्रता कितने गुना होगी?
2. आवासीय क्षेत्र की दिन और रात की शोर सीमा?
3. अस्पताल के चारों ओर शांत क्षेत्र कम से कम कितनी दूरी तक होता है?

उत्तर: 1. 100 गुना · 2. 55 और 45 dB(A) · 3. 100 m

अनुनाद और प्राकृतिक आवृत्ति

प्राकृतिक आवृत्ति

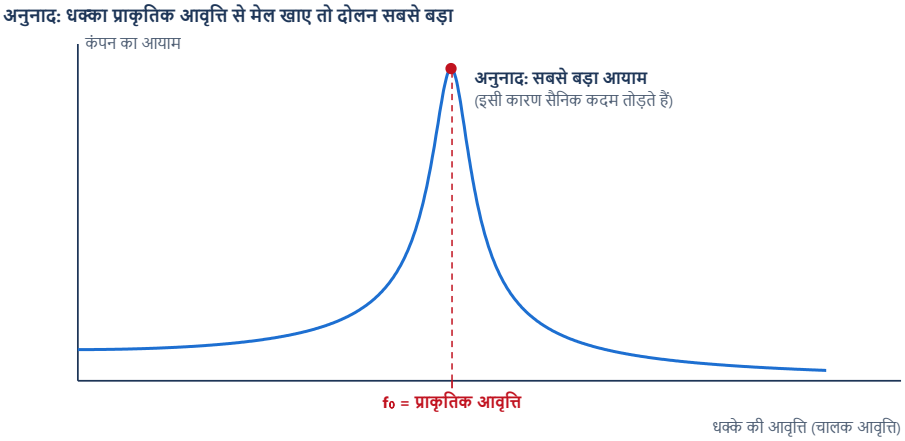
अधिकतम आयाम

सैनिक कदम तोड़ते हैं

रेडियो ट्यूनिंग

टैकोमा नैरोज़

हर वस्तु की एक **प्राकृतिक आवृत्ति (Natural frequency)** होती है जिस पर वह कंपन करना 'पसंद' करती है, जैसे झूले की अपनी लय। उसी लय में धक्का दें तो हर धक्का पिछले में जुड़ता है और झूला बहुत ऊँचा जाता है। यही **अनुनाद (Resonance)** है: प्राकृतिक आवृत्ति पर प्रणोदित कंपन अधिकतम आयाम देता है।



अलग-अलग आवृत्तियों पर धकेली गई वस्तु का आयाम, कम अवमंदन के लिए गणना करके। प्राकृतिक आवृत्ति f_0 से दूर दोलन छोटा रहता है और धक्का उससे मेल खाए तो सबसे बड़ा होता है: यही अनुनाद है।

★★★ पुल पार करते समय **सैनिक कदम तोड़ देते हैं**: कदम मिलाकर चलना पुल की प्राकृतिक आवृत्ति से मेल खा सकता है और खतरनाक अनुनाद पैदा कर सकता है।

★★ **टैकोमा नैरोज़ पुल (Tacoma Narrows Bridge)** (अमेरिका, 1940) हवा से उत्पन्न बढ़ते ऐंठन-दोलनों के बाद ढह गया; संरचनाओं में अनुनाद जैसे कंपन की यह क्लासिक चेतावनी है।

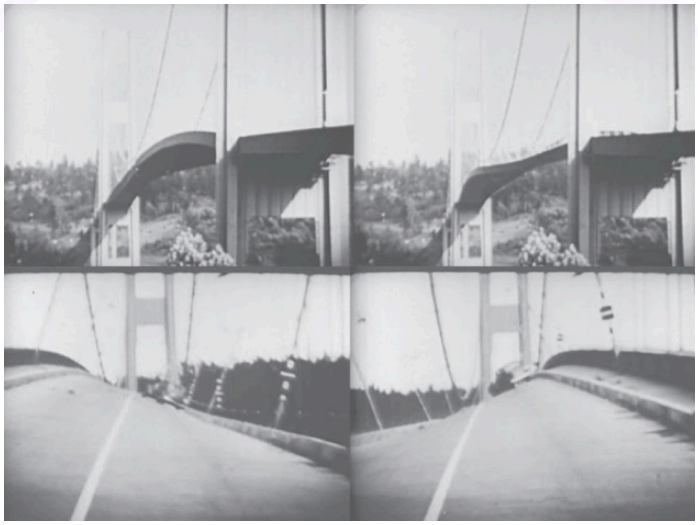
★★★ **रेडियो और टीवी ट्यूनिंग**: नॉब घुमाने से रिसीवर परिपथ की प्राकृतिक आवृत्ति तब तक बदलती है जब तक वह किसी एक स्टेशन की आवृत्ति से मेल न खा जाए, यानी उसके साथ अनुनाद न करे (विद्युत अनुनाद)।

★★ **गायक वाइन का गिलास तोड़ सकता है**, गिलास की प्राकृतिक आवृत्ति पर प्रबल स्वर देर तक साधकर।

★★ सितार (तुंबा), वीणा, वायलिन और तबले के **ध्वनि-बक्से** तारों या खाल के साथ अनुनाद करते हैं और ध्वनि को प्रबल और समृद्ध बनाते हैं।

★★ **दो स्वरित्र**: एक को बजाने पर पास रखा वैसा ही दूसरा स्वरित्र अपने-आप बजने लगता है।

★ **इमारतें और मशीनें** इस तरह बनाई जाती हैं कि उनकी प्राकृतिक आवृत्तियाँ भूकंप, हवा और इंजनों की आवृत्तियों से दूर रहें।



टैकोमा नैरोज़ पुल, अमेरिका, 1940: ढहने से कुछ पहले हवा में मरोड़ खाते पुल-तल की फ़िल्म से लिए गए चित्र। ऐसे बढ़ते दोलनों के कारण ही पुलों और इमारतों को अनुनाद से दूर रखकर बनाया जाता है। चित्र: Barney Elliot, Wikimedia Commons, CC0

आसपास देखें: झूले पर बच्चे को झुलाना: हर झोंके के साथ समय मिलाकर दिए छोटे धक्के बड़ा चाप बना देते हैं; वही धक्के बेतरतीब समय पर दें तो लगभग कुछ नहीं होता।

झटपट जाँच

1. पुल पर सैनिक कदम क्यों तोड़ देते हैं?
2. रेडियो को किसी एक स्टेशन पर मिलाना किस प्रभाव पर आधारित है?

उत्तर: 1. ताकि पुल की प्राकृतिक आवृत्ति से मेल न हो (अनुनाद) · 2. विद्युत अनुनाद

डॉप्लर प्रभाव, मैक संख्या और ध्वनि बूम

पास आता: ऊँचा तारत्व

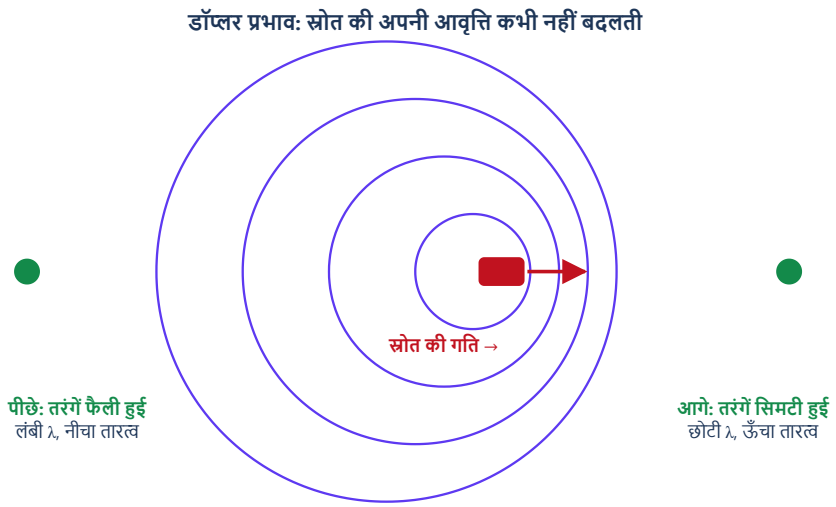
अभिरक्त विस्थापन

मैक संख्या

ध्वनि बूम

पराध्वनिक बनाम पराश्रव्य

जब स्रोत आपकी ओर आता है, तो हर नई तरंग थोड़ा पास से शुरू होती है, इसलिए तरंगें सिमटकर पहुँचती हैं: अधिक आवृत्ति, ऊँचा तारत्व। जब वह दूर जाता है, तो तरंगें खिंचकर पहुँचती हैं: नीचा तारत्व। सापेक्ष गति के कारण आवृत्ति में होने वाला यह आभासी परिवर्तन **डॉप्लर प्रभाव (Doppler effect)** है (क्रिश्चियन डॉप्लर, Christian Doppler, 1842)। यह प्रकाश के साथ भी होता है।



प्रकाश: पास आता तारा → नीला विस्थापन; दूर जाती आकाशगंगा → अभिरक्त विस्थापन

चलते स्रोत के आगे तरंगें सिमट जाती हैं और पीछे फैल जाती हैं, इसलिए आगे खड़ा श्रोता ऊँचा तारत्व सुनता है।

★★★ **पास आता** स्रोत या श्रोता → **ऊँचा** आभासी तारत्व; **दूर जाता** → **नीचा** तारत्व। स्रोत की वास्तविक आवृत्ति नहीं बदलती।

★★★ **ट्रेन का हॉर्न या एम्बुलेंस का सायरन** आपके पास से गुज़रते ही तारत्व में नीचे आ जाता है।

★★★ **अभिरक्त विस्थापन (Red shift)**: दूर की आकाशगंगाओं का प्रकाश लंबी (अधिक लाल) तरंगदैर्ध्य की ओर खिसका होता है, अतः वे दूर जा रही हैं; एडविन हबल (Edwin Hubble) ने (1929) इससे दिखाया कि **ब्रह्मांड फैल रहा है**।

★★ **नीला विस्थापन (Blue shift)**: पास आती वस्तु का प्रकाश छोटी तरंगदैर्ध्य की ओर खिसकता है; एंड्रोमेडा आकाशगंगा नीला-विस्थापित है, यानी हमारी ओर आ रही है।

★★ **उपयोग**: पुलिस की **रडार स्पीड गन**, **डॉप्लर मौसम रडार** (वर्षा और चक्रवातों पर नज़र), उपग्रह ट्रैकिंग, रक्त प्रवाह के लिए डॉप्लर अल्ट्रासाउंड, और चमगादड़ों द्वारा कीटों की गति का अनुमान।

★★★ **मैक संख्या (Mach number)** = वस्तु की चाल ÷ उसी माध्यम में ध्वनि की चाल। 1 से नीचे **अवध्वनिक (Subsonic)**, 1 से ऊपर **पराध्वनिक (Supersonic)**, 5 से ऊपर **अतिध्वनिक (Hypersonic)**।

★★★ **ध्वनि बूम (Sonic boom)**: पराध्वनिक विमान अपने पीछे शंकु के आकार की **आघात तरंग (Shock wave)** खींचता है; ज़मीन पर से गुज़रता यह शंकु तेज़ धमाके के रूप में सुनाई देता है, पूरे उड़ान-पथ के साथ, केवल उस क्षण नहीं जब विमान मैक 1 पार करता है।

★★ **रोज़मर्रा की आघात तरंगें**: गोली की तड़क और चाबुक की फटकार (उसकी नोक ध्वनि से तेज़ चलती है)।

★ **भारतीय उदाहरण**: ब्रह्मोस (BrahMos) एक पराध्वनिक क्रूज़ मिसाइल है (लगभग मैक 2.8); डीआरडीओ के **HSTDV** ने 2020 में वायु-श्वसन अतिध्वनिक उड़ान (स्क्रैमजेट) का प्रदर्शन किया।

याद रखें: 'Coming = Climbing, Going = Groaning': सायरन आते समय ऊपर चढ़ता है और जाते समय कराहकर नीचे आता है। प्रकाश के लिए: 'Blue Before, Red Retreating' (आती वस्तु नीली, जाती लाल)।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** डॉप्लर प्रभाव सुनाई देने वाली आवृत्ति बदलता है, ध्वनि की चाल नहीं। और ध्वनि बूम उस क्षण का एक बार का धमाका नहीं जब विमान 'अवरोध तोड़ता' है; जब तक विमान ध्वनि से तेज़ उड़ता है, यह उसके पीछे-पीछे चलता है। साथ ही, **पराध्वनिक (Supersonic)** चाल से जुड़ा है (ध्वनि से तेज़), जबकि **पराश्रव्य (Ultrasonic)** आवृत्ति से जुड़ा है (20 kHz से ऊपर)।

झटपट जाँच

1. एम्बुलेंस आपके पास से गुज़रती है। सायरन का तारत्व बढ़ता है या घटता है?
2. दूर की आकाशगंगाओं का अभिरक्त विस्थापन क्या दिखाता है?
3. किस मैक संख्या से ऊपर उड़ान अतिध्वनिक कहलाती है?

उत्तर: 1. घटता है, दूर जाते समय · 2. वे दूर जा रही हैं: ब्रह्मांड फैल रहा है · 3. मैक 5

विस्पंद और व्यतिकरण

विस्पंद = $f_1 - f_2$

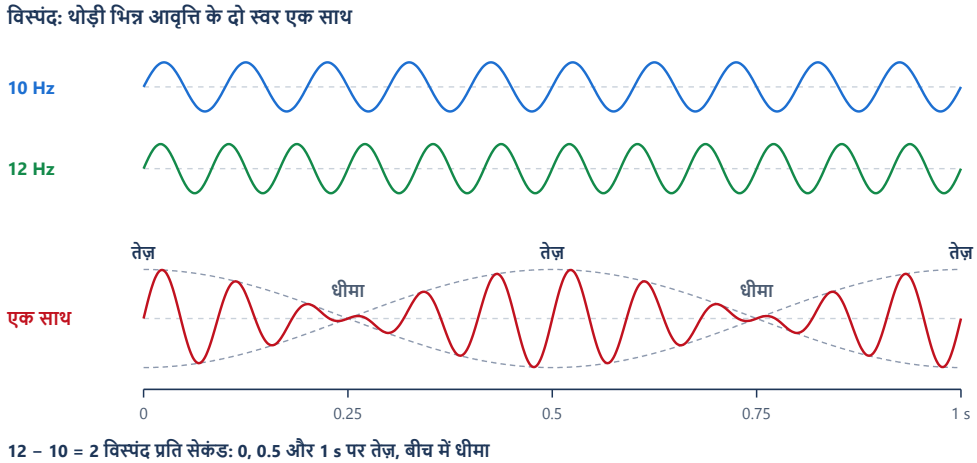
विस्पंद से मिलाना

संपोषी

विनाशी

नॉइज़-कैंसलिंग

जब दो ध्वनि तरंगें मिलती हैं तो वे जुड़ जाती हैं। शृंग पर शृंग पड़े तो ध्वनि तेज़ होती है (संपोषी व्यतिकरण, Constructive interference); शृंग पर गर्त पड़े तो वे एक-दूसरे को मिटा देती हैं (विनाशी व्यतिकरण, Destructive interference)। यदि दो स्वरों की आवृत्ति में थोड़ा अंतर हो, तो वे बारी-बारी से कदम मिलाते और बिगाड़ते हैं, जिससे प्रबलता नियमित रूप से घटती-बढ़ती है: ये **विस्पंद (Beats)** हैं।



विस्पंद। 10 Hz और 12 Hz की तरंगें बार-बार कदम से मिलती और बिछड़ती हैं, इसलिए मिली हुई ध्वनि प्रति सेकंड 12 − 10 = 2 बार तेज़ और धीमी होती है। तरंगें दिखाने के लिए आवृत्तियाँ कम रखी गई हैं; 256 Hz और 260 Hz के स्वर इसी तरह प्रति सेकंड 4 विस्पंद देते हैं।

★★ **विस्पंद आवृत्ति** = दोनों आवृत्तियों का अंतर ($f_1 - f_2$)। 256 Hz और 260 Hz के स्वर प्रति सेकंड 4 विस्पंद देते हैं।

★★ **संगीतकार विस्पंदों से वाद्य मिलाते हैं**: वे तब तक समायोजन करते हैं जब तक संदर्भ स्वर (तानपुरा या स्वरित्र) के साथ विस्पंद गायब न हो जाएँ।

★ **विस्पंद साफ़ सुनाई देते हैं** केवल तब जब अंतर छोटा हो, लगभग 10 प्रति सेकंड तक।

★★ **नॉइज़-कैंसलिंग हेडफ़ोन** बाहरी शोर की ठीक उलटी ध्वनि बजाते हैं और विनाशी व्यतिकरण से उसे मिटा देते हैं।

झटपट जाँच

1. 256 Hz और 260 Hz के स्वरित्र एक साथ बजते हैं। प्रति सेकंड विस्पंद?
2. नॉइज़-कैंसलिंग हेडफ़ोन किस प्रकार का व्यतिकरण उपयोग करते हैं?

उत्तर: 1. 4 · 2. विनाशी

अप्रगामी तरंगें और वाद्य यंत्र

निस्पंद, प्रस्पंद

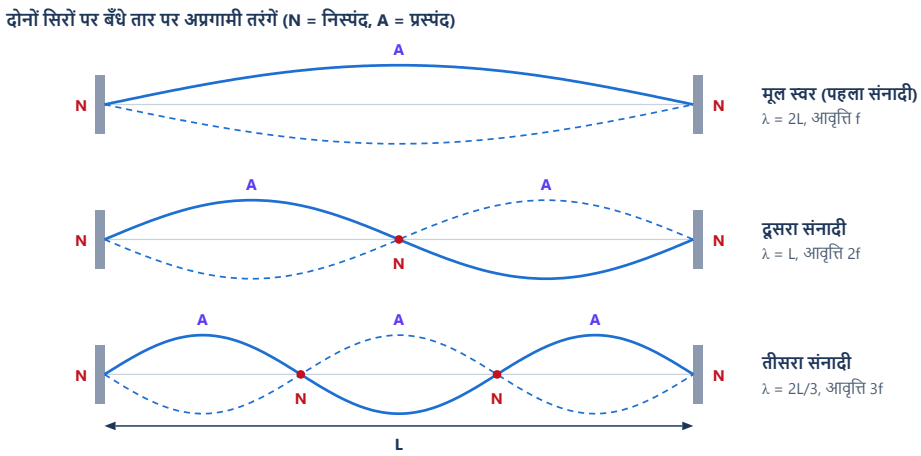
मूल स्वर

संनादी

तनाव ↑ → तारत्व ↑

छोटा वायु स्तंभ: ऊँचा

छेड़ा गया तार या फूँकी गई नली तरंगों को अपने सिरों के बीच आगे-पीछे परावर्तित करती है। केवल वे तरंगें बचती हैं जो ठीक-ठीक समा जाएँ; वे **अप्रगामी तरंगें (Standing waves)** बनाती हैं, जिनमें स्थिर बिंदु (**निस्पंद, Nodes**) और अधिकतम गति वाले बिंदु (**प्रस्पंद, Antinodes**) होते हैं। सबसे लंबी समाने वाली तरंग **मूल स्वर (Fundamental)** देती है; छोटी तरंगें **अधिस्वरक या संनादी (Overtones, Harmonics)** देती हैं, जो ध्वनि को रंग देते हैं।



तने हुए तार पर अप्रगामी तरंगें, ठीक-ठीक बनी। केवल वही तरंगें टिकती हैं जो बँधे सिरों के बीच ठीक बैठती हैं: मूल स्वर की λ = 2L, अगले संनादियों की λ = L और 2L/3, जिससे आवृत्तियाँ f, 2f और 3f मिलती हैं।

★★★ **तने हुए तार की आवृत्ति तनाव** के साथ बढ़ती है और **लंबाई** तथा **मोटाई (प्रति इकाई लंबाई द्रव्यमान)** के साथ घटती है: $f \propto (1/L)\sqrt{(T/m)}$।

★★★ खूँटियाँ घुमाकर **सितार या वायलिन मिलाना** तार का **तनाव**, और इसलिए उसकी **आवृत्ति**, बदलता है ताकि वह दूसरे वाद्यों से मेल खाए।

★★ **तार को परदे (फ्रेट) पर दबाने से** कंपन करने वाली लंबाई घटती है और ऊँचा स्वर मिलता है; मोटे तार नीचे स्वर देते हैं।

★★ **सुषिर (फूँक वाले) वाद्य**: कंपन करता वायु स्तंभ तारत्व तय करता है; छोटा स्तंभ ऊँचा स्वर देता है (बाँसुरी के छिद्र उसे छोटा करते हैं)।

★★ **बोतल में पानी भरते जाने पर** ध्वनि का तारत्व बढ़ता है, क्योंकि पानी के ऊपर का वायु स्तंभ छोटा होता जाता है।

★ **एक सिरे पर बंद नली** केवल विषम संनादी देती है; दोनों सिरों पर खुली नली सभी संनादी देती है, इसलिए दोनों की आवाज़ अलग होती है।

★★ **ताल वाद्य**: अधिक तनी ढोल की खाल ऊँचा तारत्व देती है; तबला वादक उसे मिलाने के लिए किनारे की बद्धियों पर ठोकते हैं।

★ **सी.वी. रमन (C.V. Raman)** ने वायलिन और भारतीय ढोलों का अध्ययन किया; उन्होंने दिखाया कि तबले और मृदंगम का काला भारित केंद्र (स्याही) उनके अधिस्वरकों को संनादी बना देता है, जिससे इन्हें स्पष्ट संगीतमय तारत्व मिलता है, जो ढोलों में असामान्य है।

किसमें क्या कंपन करता है ★★

प्रकार	क्या कंपन करता है	भारतीय उदाहरण	अन्य
तत् वाद्य (Chordophone)	तना हुआ तार	सितार, सरोद, वीणा, संतूर, इकतारा	वायलिन, गिटार
सुषिर वाद्य (Aerophone)	वायु स्तंभ	बाँसुरी, शहनाई, नादस्वरम, हारमोनियम (रीड)	फ़्लूट, ट्रम्पेट
अवनद्ध वाद्य (Membranophone)	तनी हुई खाल	तबला, मृदंगम, ढोलक, पखावज	ड्रम
घन वाद्य (Idiophone)	वाद्य का अपना शरीर	जलतरंग, घटम, मंजीरा, घुँघरू	झांझ (सिम्बल), ज़ाइलोफ़ोन

☑ झटपट जाँच

1. सितार का तार कसने से तारत्व बढ़ता है या घटता है?
2. बोतल में पानी भरते जाने पर ध्वनि का तारत्व _____ ।
3. अप्रगामी तरंग के जो बिंदु कभी नहीं हिलते, वे _____ कहलाते हैं।

उत्तर: 1. बढ़ता है (अधिक तनाव, अधिक आवृत्ति) · 2. बढ़ता है (वायु स्तंभ छोटा होता जाता है) · 3. निस्पंद

कान, स्टेथोस्कोप और रोज़मर्रा की पहेलियाँ

कर्णपटह

हथौड़ा, निहाई, रकाब

कर्णावर्त

स्टेथोस्कोप: परावर्तन

हीलियम से आवाज़

★★ **हम कैसे सुनते हैं**: बाहरी कान ध्वनि को **कर्णपटह (Eardrum)** तक पहुँचाता है, जो कंपन करता है; तीन छोटी हड्डियाँ (हथौड़ा, निहाई, रकाब) इसे प्रवर्धित करती हैं; **कर्णावर्त (Cochlea)** इसे मस्तिष्क के लिए तंत्रिका संकेतों में बदलता है।

★ मध्य कर्ण की **रकाब (Stirrup, स्टेपीज़)** मानव शरीर की सबसे छोटी हड्डी है।

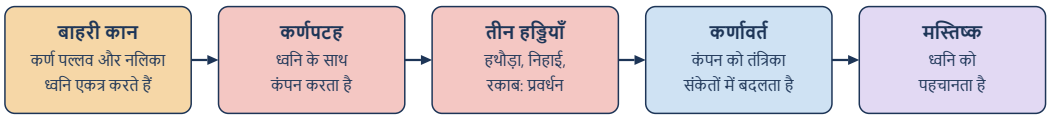
★★★ **स्टेथोस्कोप** (रेने लेनेक, René Laennec, 1816): छाती पर रखा भाग हृदय और फेफड़ों की ध्वनियाँ पकड़ता है, जो ध्वनि के **बहुल परावर्तन** से नलियों के रास्ते डॉक्टर के कानों तक पहुँचती हैं।

★★ **अपनी रिकॉर्ड की हुई आवाज़ आपको अजीब लगती है**: सामान्यतः आप खुद को कुछ हद तक खोपड़ी की हड्डियों के ज़रिए सुनते हैं, जो गहरे स्वर जोड़ती हैं; रिकॉर्डिंग केवल हवा से आई ध्वनि पकड़ती है।

★★ **हीलियम साँस में लेने के बाद आवाज़** पतली चीं-चीं जैसी हो जाती है: हीलियम में ध्वनि लगभग तीन गुना तेज़ चलती है, जिससे गले और मुँह की अनुनादी आवृत्तियाँ बढ़ जाती हैं और आवाज़ की गुणता बदल जाती है (वाक्-तंतुओं की अपनी कंपन दर लगभग नहीं बदलती)।

★★ **शंख में 'समुद्र की आवाज़'**: यह आसपास के पृष्ठभूमि शोर के साथ अनुनाद करता है।

हम कैसे सुनते हैं: ध्वनि का मार्ग (योजनात्मक)



रकाब: शरीर की सबसे छोटी हड्डी

कान में ध्वनि का मार्ग (योजनात्मक, शारीरिक बनावट नहीं)। कर्णपटह कंपन करता है, तीन छोटी हड्डियाँ कंपन को प्रवर्धित करती हैं, और कर्णावर्त उसे मस्तिष्क के लिए तंत्रिका संकेतों में बदलता है।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** स्टेथोस्कोप ध्वनि को इलेक्ट्रॉनिक रूप से प्रवर्धित नहीं करता; यह नलियों के भीतर बार-बार परावर्तन से उसे आगे ले जाता है।

☑ झटपट जाँच

1. मानव शरीर की सबसे छोटी हड्डी?
2. कान का कौन-सा भाग कंपन को तंत्रिका संकेतों में बदलता है?
3. स्टेथोस्कोप ध्वनि के _____ पर काम करता है।

उत्तर: 1. रकाब (स्टेपीज़), मध्य कर्ण में · 2. कर्णावर्त · 3. बहुल परावर्तन

पिछले वर्षों में पूछे गए प्रश्न (4)

BPSC 65th वायु में ध्वनि तरंग होती है
(a) तिरछी (b) अनुदैर्घ्य (c) विद्युत्-चुम्बकीय (d) ध्रुवीकृत (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (b) अनुदैर्घ्य. वायु में ध्वनि संपीडन और विरलन वाली अनुदैर्घ्य यांत्रिक तरंग है

BPSC 67th गर्भ में भ्रूण के विकास को जानने के लिए निम्नलिखित किरणों/तरंगों में से किसका उपयोग किया जाता है?
(a) एक्स-किरणें (b) सूक्ष्म-तरंगें (c) पराध्वनि तरंगें (d) पराबैंगनी किरणें (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (c) पराध्वनि तरंगें. पराध्वनि (20 kHz से ऊपर) अनायनकारी होने से भ्रूण की छवि बनाने में प्रयुक्त होती है

BPSC 68th एक संगीत कार्यक्रम में ऑर्केस्ट्रा बजाने से पहले, एक सितार-वादक तनाव को समायोजित करने की कोशिश करता है और स्ट्रिंग को उपयुक्त रूप से बाँधता है। ऐसा करके वह क्या ठीक करने की कोशिश करता है?
(a) ध्वनि का आयाम (b) ध्वनि की तीव्रता (c) अन्य वाद्य यंत्रों की आवृत्ति के साथ सितार स्ट्रिंग की आवृत्ति (d) उपर्युक्त में से एक से अधिक (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं
उत्तर: (c) अन्य वाद्य यंत्रों की आवृत्ति के साथ सितार स्ट्रिंग की आवृत्ति. तनी हुई डोरी की आवृत्ति उसके तनाव के साथ बढ़ती है; तारत्व आवृत्ति पर और प्रबलता आयाम पर निर्भर करती है

BPSC 71st किस माध्यम में ध्वनी की चाल अधिकतम होती है?
(a) स्टील (b) जल (c) वायू (d) हाइड्रोजन
उत्तर: (a) स्टील. ध्वनि ठोसों में सबसे तेज़, द्रवों में धीमी और गैसों में सबसे धीमी चलती है

स्वयं को परखें (13)

1. एक व्यक्ति बिजली की चमक देखता है और 6 सेकंड बाद गरज सुनता है। तूफ़ान लगभग कितनी दूर है?
(a) 1 km दूर (b) 2 km दूर (c) 6 km दूर (d) 500 m दूर

2. वायु में ध्वनि की चाल किसके बदलने से नहीं बदलती?
(a) वायु का ताप (b) वायु की आर्द्रता (c) दाब, यदि ताप स्थिर हो (d) वायु का घनत्व, स्थिर दाब पर

3. निम्नलिखित में से कौन-से जानवर अवश्रव्य ध्वनि से संचार करते हैं?
(a) चमगादड़ (b) डॉल्फ़िन (c) हाथी (d) मच्छर

4. ध्वनि की गुणता (टिम्बर) किस पर निर्भर करती है?
(a) आयाम (b) तरंग का रूप (c) आवृत्ति (d) चाल

5. ध्वनि वायु से जल में जाती है, तो इनमें से क्या नहीं बदलता?
(a) आवृत्ति (b) तरंगदैर्ध्य (c) चाल (d) चाल और तरंगदैर्ध्य दोनों

6. दूर की आकाशगंगाओं के प्रकाश में अभिरक्त विस्थापन किस बात का प्रमाण है?
(a) वे हमारी ओर आ रही हैं (b) ब्रह्मांड फैल रहा है (c) वे मुख्यतः हाइड्रोजन गैस से बनी हैं (d) उनकी सतहें अत्यधिक गर्म हैं

7. झूला पुल पार करते समय सैनिकों को कदम तोड़ने का आदेश दिया जाता है, ताकि बचा जा सके
(a) प्रतिध्वनि से (b) विस्पंद से (c) डॉप्लर प्रभाव से (d) अनुनाद से

8. ध्वनि स्तर में 20 dB की वृद्धि का अर्थ है कि तीव्रता हो गई है
(a) 2 गुनी (b) 20 गुनी (c) 100 गुनी (d) 200 गुनी

9. सोनार एक स्पंद भेजता है जो 4 s बाद समुद्र तल से लौटता है। यदि समुद्री जल में ध्वनि 1500 m/s से चलती है, तो गहराई है
(a) 1500 m (b) 3000 m (c) 6000 m (d) 750 m

10. वायु में स्पष्ट प्रतिध्वनि सुनने के लिए परावर्तक दीवार की न्यूनतम दूरी लगभग है
(a) 17 m (b) 34 m (c) 10 m (d) 100 m

11. निम्नलिखित कथनों पर विचार कीजिए:
1. ध्वनि का तारत्व उसकी आवृत्ति पर निर्भर करता है।
2. ध्वनि की प्रबलता उसकी आवृत्ति पर निर्भर करती है।
3. वायु में ध्वनि का ध्रुवण नहीं हो सकता क्योंकि वह अनुदैर्ध्य तरंग है।
उपर्युक्त कथनों में से कौन-सा/से सही है/हैं?
(a) केवल 1 और 2 (b) केवल 2 और 3 (c) केवल 1 और 3 (d) 1, 2 और 3

12. निम्नलिखित पर विचार कीजिए:
1. अंधेरे में चमगादड़ों का कीट पकड़ना
2. हाथियों का लंबी दूरी तक एक-दूसरे को पुकारना
3. जहाज़ के सोनार (SONAR) से समुद्र की गहराई मापना
उपर्युक्त में से कितनों में पराश्रव्य ध्वनि का उपयोग होता है?
(a) केवल एक (b) केवल दो (c) सभी तीन (d) कोई भी नहीं

13. आप रेलवे प्लेटफ़ॉर्म पर खड़े हैं और एक एक्सप्रेस ट्रेन लगातार हॉर्न बजाते हुए स्थिर चाल से बिना रुके गुज़रती है। आपको क्या सुनाई देगा?
(a) पास आते समय ऊँचा तारत्व, गुज़रने के बाद नीचा तारत्व (b) पास आते समय नीचा तारत्व, गुज़रने के बाद ऊँचा तारत्व
(c) पूरे समय एक जैसा तारत्व; केवल प्रबलता बदलती है (d) एक जैसा तारत्व, पर ट्रेन के पास आते समय ध्वनि तेज़ी से पहुँचती है

उत्तर: 1. (b) ध्वनि 3 s में लगभग 1 km चलती है, इसलिए 6 s ≈ 2 km। · 2. (c) स्थिर ताप पर वायु में ध्वनि की चाल पर दाब का कोई प्रभाव नहीं पड़ता। · 3. (c) हाथी और व्हेल अवश्रव्य ध्वनि प्रयोग करते हैं; चमगादड़ और डॉल्फ़िन पराश्रव्य। · 4. (b) तरंग का रूप (अधिस्वरक) गुणता देता है; आयाम प्रबलता देता है, आवृत्ति तारत्व। · 5. (a) आवृत्ति स्रोत तय करता है; जल में चाल और तरंगदैर्ध्य बढ़ जाते हैं। · 6. (b) अभिरक्त विस्थापन का अर्थ है कि आकाशगंगाएँ दूर जा रही हैं, जैसा प्रकाश के लिए डॉप्लर प्रभाव बताता है। · 7. (d) लयबद्ध मार्च पुल की प्राकृतिक आवृत्ति से मेल खा सकता है। · 8. (c) हर 10 dB, 10 का गुणक है, इसलिए 20 dB = 10 × 10। · 9. (b) गहराई = 1500 × 4 ÷ 2 = 3000 m। · 10. (a) प्रतिध्वनि 0.1 s बाद पहुँचनी चाहिए: 344 × 0.1 ÷ 2 ≈ 17.2 m। · 11. (c) प्रबलता आयाम पर निर्भर करती है, आवृत्ति पर नहीं (शेर की दहाड़ प्रबल होती है पर उसका तारत्व कम होता है); कथन 1 और 3 सही हैं। · 12. (b) चमगादड़ और सोनार पराश्रव्य ध्वनि (20 kHz से ऊपर) का उपयोग करते हैं; हाथी अवश्रव्य ध्वनि (20 Hz से नीचे) से संवाद करते हैं, यही जोड़ी परीक्षक अक्सर उलट देते हैं। · 13. (a) डॉप्लर प्रभाव (Doppler effect): पास आते स्रोत की तरंगें सिमटकर (अधिक आवृत्ति) और दूर जाते स्रोत की फैलकर (कम आवृत्ति) पहुँचती हैं; वायु में ध्वनि की चाल नहीं बदलती।

अध्याय 8

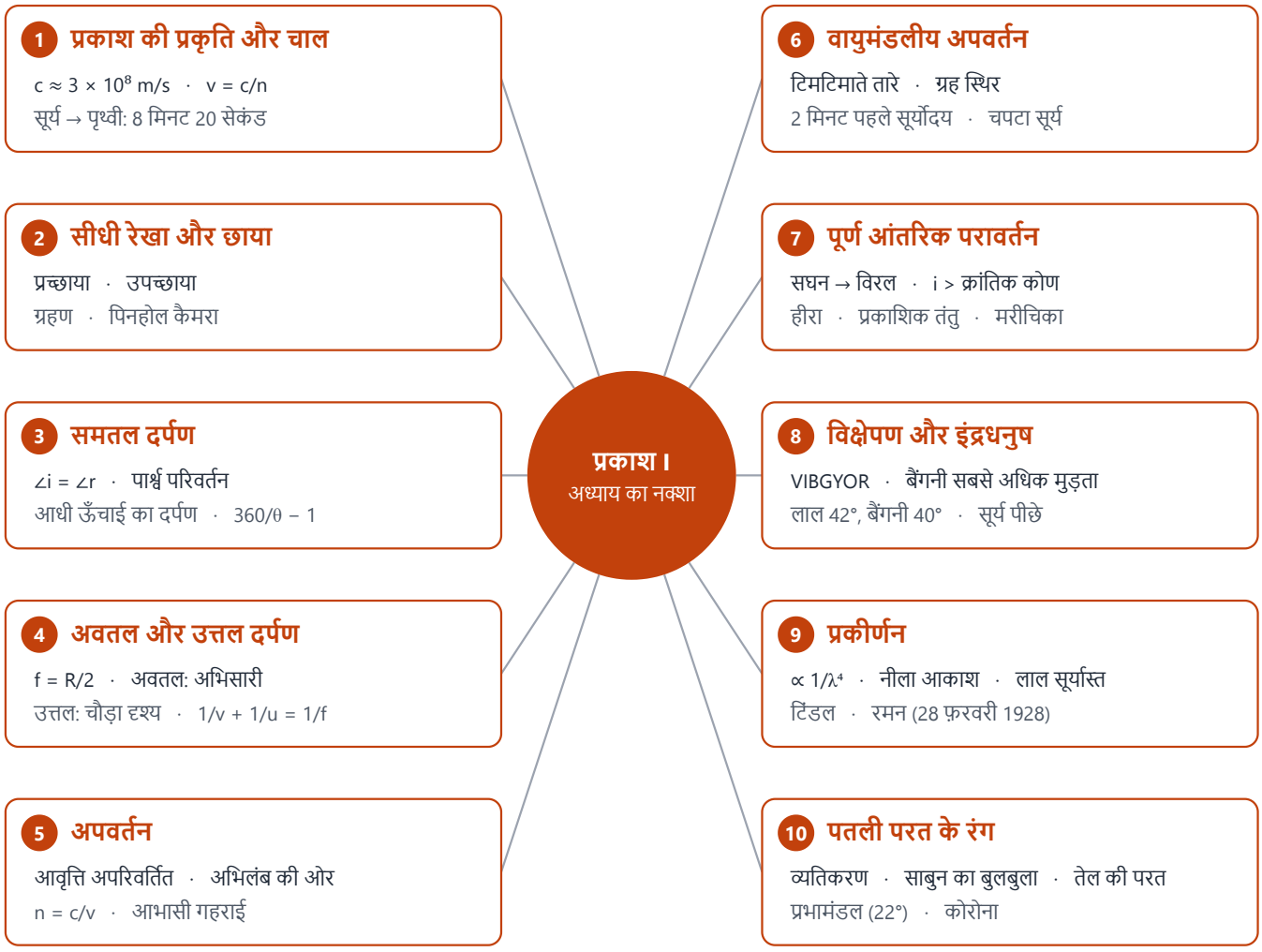
प्रकाश I: परावर्तन, अपवर्तन और प्रकाशीय परिघटनाएँ

दर्पण के प्रकार और वस्तु की स्थिति के अनुसार बनने वाला प्रतिबिंब, सबसे सघन माध्यम में प्रकाश की सबसे कम चाल, तारों का टिमटिमाना, पूर्ण आंतरिक परावर्तन, इंद्रधनुष, प्रकीर्णन (नीला आकाश, लाल सूर्यास्त) और रमन प्रभाव लगभग हर वर्ष पूछे जाते हैं।

पिछले प्रश्नपत्रों में 10 बार पूछा गया: UPSC 2 · BPSC 8

≈ 56 min पढ़ने में ≈ 10 min ★★★ दोहराने में

दोहराएँ: दिन 1 | दिन 3 | दिन 7 | दिन 21



रिवीज़न कार्ड

1. निर्वात में प्रकाश: $c \approx 3 \times 10^8$ m/s; जल में धीमा ($\approx 2.25 \times 10^8$) और काँच में ($\approx 2 \times 10^8$); हीरे में सबसे धीमा ($n = 2.42$)। सूर्य का प्रकाश पृथ्वी तक ≈ 8 मिनट 20 सेकंड में पहुँचता है।
2. अपवर्तन में **आवृत्ति कभी नहीं बदलती**; चाल और तरंगदैर्ध्य बदलते हैं। सघन माध्यम में प्रवेश करते समय प्रकाश **अभिलंब की ओर** मुड़ता है।
3. छाया और पिनहोल कैमरा (वास्तविक, उल्टा प्रतिबिंब) सिद्ध करते हैं कि प्रकाश सीधी रेखा में चलता है (ऋजुरेखीय संचरण)।
4. समतल दर्पण: आभासी, सीधा, समान आकार, पार्श्व उल्टा; फोकस दूरी अनंत; पूरा प्रतिबिंब देखने के लिए दर्पण आपकी ऊँचाई का केवल आधा चाहिए; दो दर्पणों के बीच प्रतिबिंब = $360/\theta - 1$।
5. अवतल दर्पण: वस्तु C पर → वास्तविक, उल्टा, समान आकार का प्रतिबिंब C पर; वस्तु F के भीतर → आभासी, सीधा, बड़ा (दाढ़ी बनाने का दर्पण)। उत्तल दर्पण: सदा आभासी, सीधा, छोटा, विस्तृत दृश्य (पीछे देखने का दर्पण)।
6. तारों का टिमटिमाना, सूर्योदय से ~2 मिनट पहले और सूर्यास्त के बाद सूर्य का दिखना, क्षितिज पर चपटा सूर्य, पानी में मुड़ी दिखती पेंसिल, तालाब का उथला दिखना: सब अपवर्तन।
7. पूर्ण आंतरिक परावर्तन के लिए सघन → विरल माध्यम और क्रांतिक कोण से बड़ा कोण चाहिए (काँच ≈ 42°, जल ≈ 49°, हीरा ≈ 24°): हीरे की चमक, प्रकाशिक तंतु, मरीचिका, लूमिंग।
8. प्रिज्म द्वारा विक्षेपण: VIBGYOR (बैं-जा-नी-ह-पी-ना-ला); बैंगनी सबसे अधिक, लाल सबसे कम मुड़ता है (न्यूटन)। इंद्रधनुष = अपवर्तन + विक्षेपण + आंतरिक परावर्तन; सूर्य आपके पीछे; प्राथमिक इंद्रधनुष में लाल बाहर।
9. रेले प्रकीर्णन $\propto 1/\lambda^4$: नीला आकाश, लाल सूर्योदय/सूर्यास्त, लाल खतरे के संकेत, अंतरिक्ष में काला आकाश; सफेद बादल सभी रंगों को बराबर प्रकीर्णित करते हैं।
10. टिंडल प्रभाव: कोलॉइडी कणों के कारण प्रकाश-पुंज का मार्ग दिखाई देना (धूल भरे कमरे में सूर्य की किरण, कोहरे में हेडलाइट)।
11. रमन प्रभाव: प्रकीर्णित प्रकाश की आवृत्ति बदल जाती है; सी.वी. रमन, 28 फ़रवरी 1928; नोबेल 1930; राष्ट्रीय विज्ञान दिवस 28 फ़रवरी।
12. साबुन के बुलबुलों और तेल की परतों के रंग व्यतिकरण से आते हैं, विक्षेपण से नहीं।

प्रकाश क्या है और कितनी तेज़ चलता है

द्वैत प्रकृति

$c = 3 \times 10^8$ m/s

$v = c/n$

8 मिनट 20 सेकंड

प्रकाश वर्ष

प्रकाश ऊर्जा है जो **विद्युतचुंबकीय तरंग (Electromagnetic wave)** के रूप में चलती है: इसे किसी माध्यम की ज़रूरत नहीं, इसलिए यह खाली अंतरिक्ष पार करके सूर्य से आता है। फिर भी पदार्थ से टकराने पर यह ऊर्जा के नन्हे पैकेटों की धारा जैसा व्यवहार भी करता है। दोनों चित्र सही हैं; कौन-सा दिखेगा, यह प्रयोग पर निर्भर है।

★★ **द्वैत प्रकृति (Dual nature)**: प्रकाश **तरंग** की तरह (परावर्तन, अपवर्तन, व्यतिकरण (Interference), विवर्तन (Diffraction), ध्रुवण (Polarisation)) और **कण** की तरह (प्रकाश-विद्युत प्रभाव (Photoelectric effect)) व्यवहार करता है।

★★ **फोटॉन (Photon)**: प्रकाश ऊर्जा का एक पैकेट (क्वांटम), $E = hf$। आइंस्टीन (Einstein) ने **1905** में प्रकाश-विद्युत प्रभाव समझाने के लिए प्रकाश-क्वांटा का उपयोग किया (नोबेल पुरस्कार **1921**)।

★ **सिद्धांतों का क्रम**: न्यूटन (Newton) के कणिका (कण) → हाइगेंस (Huygens) की तरंगें (1678) → यंग (Young) के द्वि-झिरी प्रयोग से तरंग का प्रमाण (1801) → मैक्सवेल (Maxwell): प्रकाश विद्युतचुंबकीय तरंग है (1860 का दशक) → आइंस्टीन के फोटॉन (1905)।

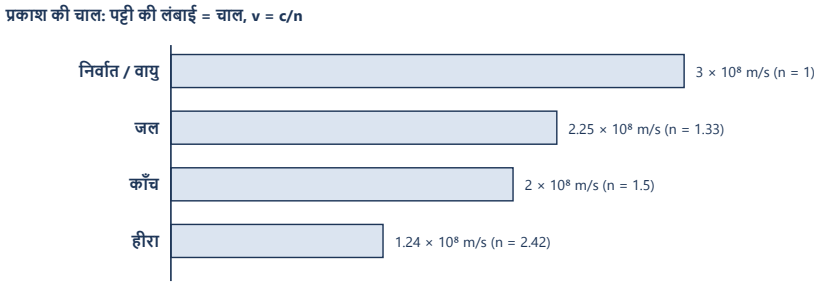
★★★ **निर्वात में प्रकाश की चाल (Speed of light)** $c = 299{,}792{,}458$ m/s सटीक ($\approx$ **3×10^8 m/s**)। इससे तेज़ कुछ नहीं चलता। मीटर की परिभाषा भी इसी मान से दी जाती है।

★★★ **पदार्थ में धीमा**: वायु ≈ c; जल $\approx 2.25 \times 10^8$ m/s; काँच $\approx 2 \times 10^8$ m/s; हीरा $\approx 1.24 \times 10^8$ m/s। अपवर्तनांक (Refractive index) जितना अधिक, प्रकाश उतना धीमा ($v = c/n$)।

★★★ **सूर्य से पृथ्वी**: 1 AU ($\approx 1.5 \times 10^8$ km) की दूरी तय करने में प्रकाश को ≈ **8 मिनट 20 सेकंड** (≈ 499 s) लगते हैं। चंद्रमा से पृथ्वी ≈ **1.3 s**।

★ **पहला मापन**: प्रकाश की चाल पहली बार ओले रोमर (Ole Rømer) ने (1676) बृहस्पति के उपग्रह आयो (Io) के ग्रहणों में होने वाली देरी से मापी।

★★ **प्रकाश वर्ष (Light year)** = प्रकाश द्वारा एक वर्ष में तय की गई दूरी ≈ 9.46×10^{15} m। यह **दूरी** की इकाई है, समय की नहीं।



पैमाने पर बनी प्रकाश की चाल: हर पट्टी c/n है। अपवर्तनांक जितना अधिक, पट्टी उतनी छोटी और प्रकाश उतना धीमा।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** 'प्रकाश की चाल न्यूनतम होगी: काँच / जल / निर्वात / वायु' → **काँच** (चारों में सबसे अधिक अपवर्तनांक)। निर्वात में चाल सबसे अधिक होती है, सबसे कम नहीं।

याद रखें: जो धूप आप देख रहे हैं, वह सूर्य से **8 मिनट 20 सेकंड पहले** चली थी: इसे 'सूर्य की 8:20 की खबर' समझिए। बिजली की चमक गरज सुनने से पहले दिखती है, क्योंकि प्रकाश ध्वनि से लगभग दस लाख गुना तेज़ है।

झटपट जाँच

1. सूर्य का प्रकाश पृथ्वी तक लगभग कितने समय में पहुँचता है?
2. वायु, जल, काँच, हीरा: किसमें प्रकाश सबसे धीमा है, और क्यों?
3. प्रकाश वर्ष _____ की इकाई है, समय की नहीं।

उत्तर: 1. ≈ 8 मिनट 20 सेकंड · 2. हीरा: n सबसे अधिक (2.42), और v = c/n · 3. दूरी (≈ 9.46×10^{15} m)

प्रकाश सीधी रेखा में चलता है: छाया, ग्रहण, पिनहोल कैमरा

ऋजुरेखीय संचरण
प्रच्छाया / उपच्छाया
सूर्य ग्रहण
चंद्र ग्रहण
पिनहोल कैमरा

एकसमान माध्यम में प्रकाश **सीधी रेखाओं** में चलता है (ऋजुरेखीय संचरण, Rectilinear propagation)। इसलिए अपारदर्शी वस्तु उन किरणों को रोक देती है जो उससे होकर जातीं, और पीछे एक अँधेरा क्षेत्र बन जाता है: **छाया (Shadow)**। विवर्तन, व्यतिकरण और ध्रुवण तरंग-प्रभाव हैं; ये छाया की व्याख्या नहीं करते।

★★★ **छाया** प्रकाश के **ऋजुरेखीय संचरण** के कारण बनती है: अपारदर्शी (Opaque) वस्तुएँ प्रकाश रोकती हैं, पारदर्शी (Transparent) उसे जाने देती हैं, पारभासी (Translucent) कुछ प्रकाश जाने देती हैं।

★★ **प्रच्छाया (Umbra)**: पूरी तरह अँधेरा केंद्रीय भाग, जहाँ स्रोत का कोई प्रकाश नहीं पहुँचता। **उपच्छाया (Penumbra)**: आंशिक रूप से प्रकाशित किनारा, जहाँ स्रोत का केवल कुछ भाग छिपा होता है। बिंदु स्रोत से केवल प्रच्छाया बनती है; बड़े स्रोत (सूर्य) से दोनों।

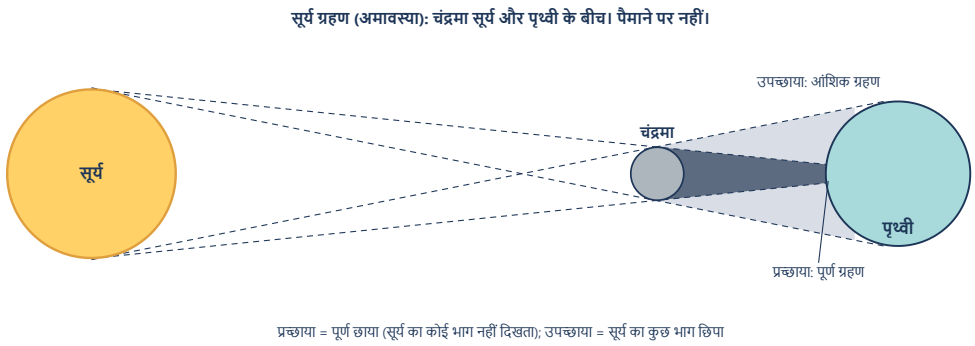
★★ **सूर्य ग्रहण (Solar eclipse)**: चंद्रमा सूर्य और पृथ्वी के बीच आता है, केवल **अमावस्या के दिन**। चंद्रमा की प्रच्छाया में: पूर्ण ग्रहण; उपच्छाया में: आंशिक ग्रहण। जब चंद्रमा दूर होता है (प्रच्छाया पृथ्वी तक नहीं पहुँचती), तब सूर्य का किनारा छल्ले की तरह दिखता है: **वलयाकार ग्रहण (Annular eclipse)** ('आग का छल्ला')।

★★ **चंद्र ग्रहण (Lunar eclipse)**: पृथ्वी सूर्य और चंद्रमा के बीच आती है, केवल **पूर्णिमा की रात**। पूर्ण चंद्र ग्रहण में चंद्रमा ताँबे जैसा लाल दिखता है ('ब्लड मून'), क्योंकि पृथ्वी का वायुमंडल सूर्य के लाल प्रकाश को मोड़कर और प्रकीर्णित करके छाया में भेज देता है।

★ **हर महीने नहीं**: चंद्रमा की कक्षा पृथ्वी की कक्षा से लगभग 5° झुकी है, इसलिए सूर्य, चंद्रमा और पृथ्वी वर्ष में केवल कुछ ही बार ठीक एक सीध में आते हैं।

★★ **पिनहोल कैमरा (Pinhole camera)**: छोटे छेद वाला एक बक्सा सामने के पर्दे पर **वास्तविक, उल्टा** प्रतिबिंब बनाता है, क्योंकि वस्तु के ऊपरी भाग की किरणें छेद से सीधी होकर पर्दे के निचले भाग पर पहुँचती हैं। छेद छोटा हो तो प्रतिबिंब अधिक स्पष्ट पर कम चमकीला होता है।

★ **सूर्य को कभी सीधे न देखें**: सूर्य ग्रहण के समय उचित सौर फ़िल्टर के बिना न देखें; पिनहोल से प्रक्षेपण सुरक्षित तरीका है।



सूर्य ग्रहण। चंद्रमा के पीछे का गहरा शंकु प्रच्छाया है (जहाँ यह पृथ्वी को छूता है वहाँ पूर्ण ग्रहण); हल्का क्षेत्र उपच्छाया है (आंशिक ग्रहण)। पैमाने पर नहीं।

आसपास देखें: धूप वाले दिन पेड़ के नीचे ज़मीन पर चमकीले धब्बे **गोल** होते हैं, पत्तियों के बीच की दरारों का आकार चाहे जैसा हो: हर दरार पिनहोल का काम करती है और गोल सूर्य का प्रतिबिंब बनाती है। आंशिक सूर्य ग्रहण के समय ये धब्बे अर्धचंद्राकार हो जाते हैं।

झटपट जाँच

1. छाया प्रकाश के किस गुण को सिद्ध करती है?
2. प्रच्छाया या उपच्छाया: सूर्य ग्रहण पूर्ण कहाँ दिखता है?
3. सूर्य ग्रहण केवल अमावस्या को हो सकता है या पूर्णिमा को?

उत्तर: 1. ऋजुरेखीय संचरण: प्रकाश सीधी रेखा में चलता है · 2. प्रच्छाया में (उपच्छाया में आंशिक ग्रहण) · 3. अमावस्या को; चंद्र ग्रहण पूर्णिमा को

परावर्तन और समतल दर्पण

परावर्तन के नियम

पार्श्व परिवर्तन

आधी ऊँचाई का दर्पण

360/θ − 1

बहुरूपदर्शी

जब प्रकाश किसी सतह से टकराकर उसी माध्यम में लौट आता है, तो वह **परावर्तित (Reflected)** होता है। चिकनी सतह सभी समांतर किरणों को एक ही दिशा में भेजती है (स्पष्ट प्रतिबिंब); खुरदरी सतह उन्हें सब दिशाओं में बिखेर देती है। यही बिखरा हुआ **विसरित परावर्तन (Diffuse reflection)** है, जिससे हम पन्ना, दीवार या चेहरा देख पाते हैं।

★★★ **परावर्तन के नियम (Laws of reflection)**: (1) आपतन कोण = परावर्तन कोण, दोनों **अभिलंब (Normal)** से मापे जाते हैं; (2) आपतित किरण, परावर्तित किरण और अभिलंब **एक ही तल** में होते हैं। ये समतल और वक्र दोनों प्रकार के दर्पणों पर लागू होते हैं।

★ **नियमित बनाम विसरित**: दर्पण, शांत जल → नियमित परावर्तन (Regular reflection) (प्रतिबिंब बनता है); कागज़, दीवार, कपड़ा → विसरित (प्रतिबिंब नहीं, पर वस्तु हर ओर से दिखाई देती है)।

★★★ **समतल दर्पण (Plane mirror) का प्रतिबिंब**: **आभासी, सीधा, समान आकार का**, दर्पण के पीछे उतनी ही दूरी पर जितनी दूरी पर वस्तु सामने है, और **पार्श्व उल्टा (Laterally inverted)** (बायाँ और दायाँ आपस में बदल जाते हैं)।

★★★ **AMBULANCE** शब्द गाड़ी के आगे उल्टे अक्षरों (दर्पण-लेखन) में लिखा जाता है, ताकि आगे चल रहा चालक उसे अपने पीछे देखने वाले दर्पण में सही पढ़ सके।

★★★ **समतल दर्पण की फोकस दूरी = अनंत** (इसकी वक्रता त्रिज्या अनंत है)। आवर्धन = +1।

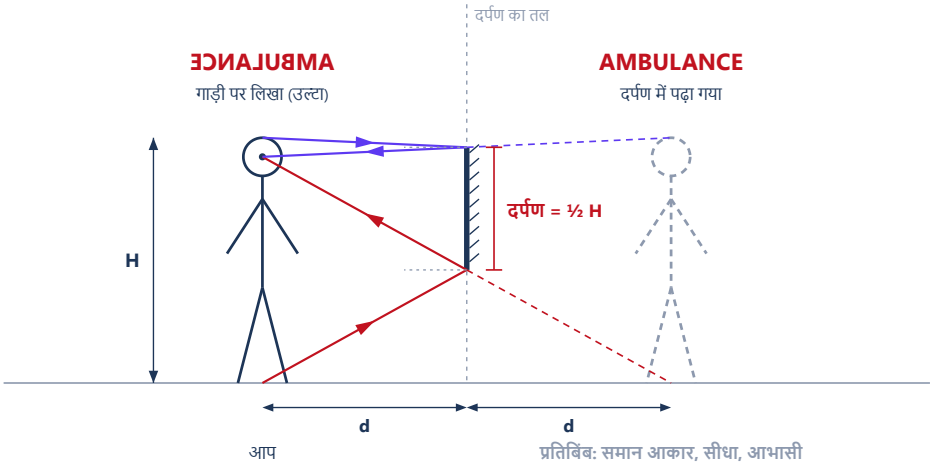
★★★ **पूरा प्रतिबिंब**: दर्पण की लंबाई आपकी **ऊँचाई की केवल आधी** होनी चाहिए, आप उससे कितनी भी दूरी पर हों (दर्पण का ऊपरी किनारा आँखों और सिर के शीर्ष के बीच के मध्य बिंदु के स्तर पर)।

★★ **दर्पण की ओर चलना**: आप v चाल से दर्पण की ओर चलें तो आपका प्रतिबिंब **आपकी** ओर 2v चाल से आता है। दर्पण को θ कोण घुमाने पर परावर्तित किरण 2θ घूम जाती है।

★★★ **θ कोण पर रखे दो दर्पण 360/θ − 1** प्रतिबिंब बनाते हैं (जब 360/θ सम संख्या हो तब सटीक): 90° → 3, 60° → 5, 45° → 7, 30° → 11। **समांतर दर्पण** (θ = 0, जैसे नाई की दुकान या लिफ़्ट में) **अनंत** प्रतिबिंब बनाते हैं।

★★ **बहुरूपदर्शी (Kaleidoscope)**: तीन लंबे समतल दर्पण एक-दूसरे से **60°** पर रखकर त्रिकोणीय नली बनती है; रंगीन टुकड़ों के बार-बार परावर्तन से सममित आकृतियाँ बनती हैं। **परिदर्शी (Periscope)**: 45° पर एक-दूसरे के आमने-सामने रखे दो समतल दर्पण, जिनसे बाधाओं के ऊपर से देखा जाता है।

याद रखें: आधी ऊँचाई का नियम: पैरों के अँगूठों से आया प्रकाश आँखों और अँगूठों के बीच **आधी दूरी नीचे** वाले बिंदु से परावर्तित होकर आँखों तक पहुँचता है; बालों से आया प्रकाश, आधी दूरी ऊपर वाले बिंदु से। इसलिए दर्पण का केवल आपकी आधी ऊँचाई जितना भाग ही काम आता है।



समतल दर्पण, पैमाने पर। पैरों और सिर के शीर्ष से आया प्रकाश उनके और आँखों के बीच के मध्य बिंदुओं से परावर्तित होता है, इसलिए दर्पण आपकी ऊँचाई का केवल आधा चाहिए (यहाँ 180 में से 90 इकाई)। प्रतिबिंब दर्पण के पीछे उतनी ही दूरी (d) पर है जितनी दूरी पर आप सामने हैं, और उल्टे अक्षरों में लिखा AMBULANCE दर्पण में सही पढ़ा जाता है।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** पार्श्व परिवर्तन **बाएँ–दाएँ** को बदलता है, **ऊपर–नीचे** को नहीं। आपका उठा हुआ दायाँ हाथ प्रतिबिंब का बायाँ हाथ दिखता है, पर सिर ऊपर ही रहता है।

☑ झटपट जाँच

1. सबसे छोटा समतल दर्पण जिसमें आप पूरा दिखें?
2. AMBULANCE उल्टे अक्षरों में क्यों लिखा जाता है?
3. 60° पर रखे दो दर्पण कितने प्रतिबिंब बनाते हैं?

उत्तर: 1. आपकी ऊँचाई का आधा, किसी भी दूरी पर · 2. पार्श्व परिवर्तन: पीछे देखने वाले दर्पण में सही पढ़ा जाता है · 3. 5 (360/60 − 1)

गोलीय दर्पण: अवतल और उत्तल

अवतल: अभिसारी

उत्तल: अपसारी

f = R/2

वस्तु C पर

गोलीय दर्पण (Spherical mirror) एक खोखली चमकदार गेंद का टुकड़ा है। यदि चमकदार सतह **भीतर** की ओर (धँसी हुई) हो, तो वह **अवतल (Concave)** है और समांतर किरणों को एक बिंदु पर मिलाता है: **अभिसारी (Converging)** दर्पण। यदि चमकदार सतह **बाहर उभरी** हो, तो वह **उत्तल (Convex)** है और किरणों को फैलाता है: **अपसारी (Diverging)** दर्पण।

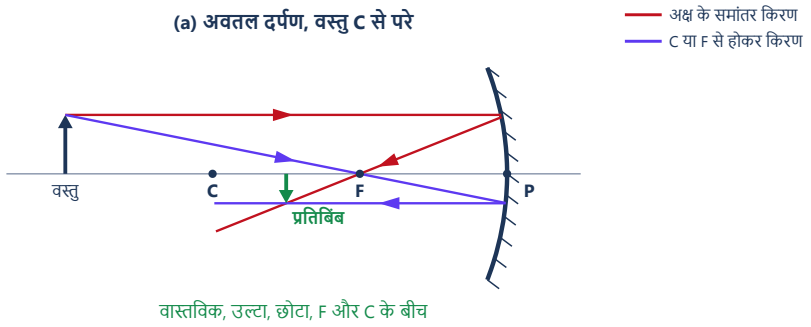
★★ **मुख्य बिंदु**: ध्रुव P (दर्पण का केंद्र), वक्रता केंद्र C (गोले का केंद्र), मुख्य फोकस F, त्रिज्या R = PC, **फोकस दूरी f = R/2**।

★★ **अवतल दर्पण** का फोकस वास्तविक (सामने) होता है; **उत्तल दर्पण** का फोकस आभासी (दर्पण के पीछे)।

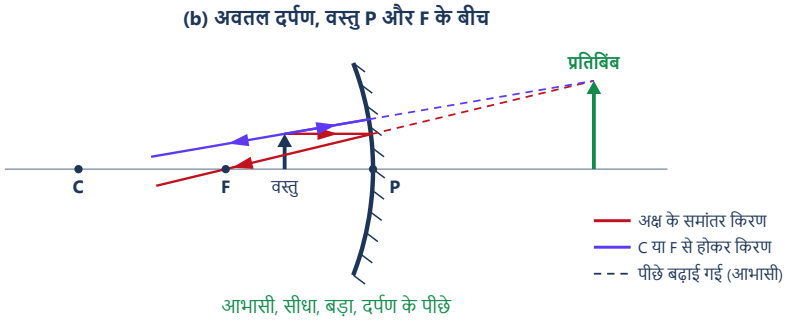
★ **तीन आसान किरणें** (चित्र बनाने के लिए): अक्ष के समांतर किरण परावर्तन के बाद F से गुज़रती है (उत्तल में F से आती प्रतीत होती है); F से होकर (या F की ओर) जाने वाली किरण समांतर लौटती है; C से होकर (या C की ओर) जाने वाली किरण उसी मार्ग से लौट आती है।

अवतल दर्पण: प्रतिबिंब कहाँ बनता है ★★★

वस्तु की स्थिति	प्रतिबिंब की स्थिति	आकार	प्रकृति	उपयोग
अनंत पर	F पर	बिंदु के आकार का	वास्तविक, उल्टा	सोलर कुकर, सौर भट्ठी
C से परे	F और C के बीच	छोटा	वास्तविक, उल्टा	प्रचलित उपयोग नहीं
C पर	**C पर**	**समान आकार**	**वास्तविक, उल्टा**	प्रचलित उपयोग नहीं
C और F के बीच	C से परे	बड़ा	वास्तविक, उल्टा	प्रचलित उपयोग नहीं
F पर	अनंत पर	अत्यधिक बड़ा	वास्तविक, उल्टा	टॉर्च, हेडलाइट (F पर रखा बल्ब समांतर किरण-पुंज देता है)
F और P के बीच	दर्पण के पीछे	**बड़ा**	**आभासी, सीधा**	दाढ़ी बनाने / मेकअप का दर्पण, दंत चिकित्सक का दर्पण



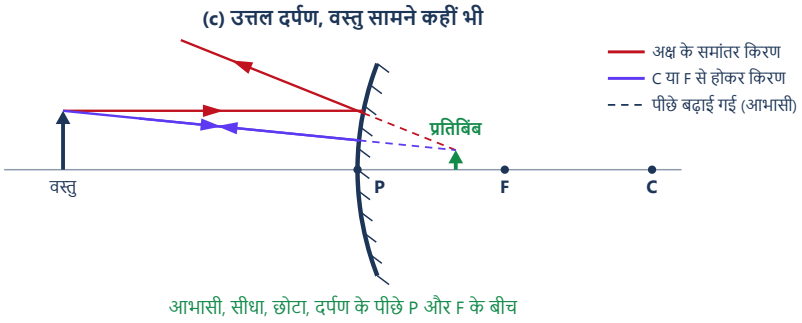
(a) अवतल दर्पण, वस्तु C से परे: वास्तविक, उल्टा, छोटा प्रतिबिंब F और C के बीच। पैमाने पर बना (R = 200 इकाई)।



(b) अवतल दर्पण, वस्तु P और F के बीच: आभासी, सीधा, बड़ा प्रतिबिंब दर्पण के पीछे, जैसे दाढ़ी बनाने के दर्पण में। पैमाने पर बना (R = 200 इकाई)।

उत्तल दर्पण ★★

वस्तु की स्थिति	प्रतिबिंब की स्थिति	आकार	प्रकृति
अनंत पर	F पर, दर्पण के पीछे	बिंदु के आकार का	आभासी, सीधा
सामने कहीं भी	P और F के बीच, पीछे	छोटा	आभासी, सीधा



(c) उत्तल दर्पण: वस्तु कहीं भी हो, प्रतिबिंब आभासी, सीधा और छोटा, दर्पण के पीछे P और F के बीच, जैसे पीछे देखने के दर्पण में। पैमाने पर बना (R = 200 इकाई)।

★★★ **अवतल दर्पण के उपयोग**: दाढ़ी बनाने और मेकअप के दर्पण, दंत चिकित्सक और ईएनटी (ENT) डॉक्टर के दर्पण (बड़ा, सीधा दृश्य), टॉर्च, वाहनों की हेडलाइट और सर्चलाइट के परावर्तक (बल्ब फोकस पर), सोलर कुकर और सौर भट्ठी (सूर्य का प्रकाश एक गर्म बिंदु पर केंद्रित), परावर्ती दूरदर्शी, डिश एंटीना।

★★★ **उत्तल दर्पण के उपयोग**: वाहनों के पीछे देखने वाले और साइड दर्पण, पहाड़ी सड़कों के अंधे मोड़ों पर लगे दर्पण, दुकानों और एटीएम (ATM) में सुरक्षा दर्पण: प्रतिबिंब सदा सीधा और **दृष्टि-क्षेत्र बहुत अधिक विस्तृत**।

★★ **दर्पण सूत्र (Mirror formula)**: $1/v + 1/u = 1/f$; आवर्धन $m = h'/h = -v/u$। चिह्न-परिपाटी एक पंक्ति में: दूरियाँ ध्रुव से मापी जाती हैं, आपतित प्रकाश की दिशा में धनात्मक और उसके विपरीत ऋणात्मक; इसलिए अवतल दर्पण का f ऋणात्मक और उत्तल दर्पण का f धनात्मक होता है।

★★ **प्रतिबिंब से तुरंत पहचान**: समान आकार और सीधा → समतल; बड़ा और सीधा → अवतल (वस्तु F के भीतर); हर दूरी पर छोटा और सीधा → उत्तल।

याद रखें: Con**cave** = एक **cave (गुफा)** जिसमें आप झाँकते हैं: यह प्रकाश को समेटता है (अभिसारी)। Con**vex** बाहर उभरा है, जैसे **vexed** (चिढ़े हुए) व्यक्ति का फूला गाल: यह प्रकाश फैलाता है और सड़क का अधिक भाग दिखाता है, पर छोटा। हिंदी में: **अवतल = अंदर धँसा, उत्तल = ऊपर उठा**।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** 'Objects in mirror are closer than they appear' (दर्पण में दिखती वस्तुएँ जितनी दूर लगती हैं, उससे पास हैं) **उत्तल** साइड दर्पणों पर लिखा होता है: छोटा प्रतिबिंब गाड़ियों को वास्तविकता से दूर दिखाता है। जो व्यक्ति अपना **बड़ा** प्रतिबिंब देखता है, वह **अवतल** दर्पण के सामने उसके फोकस के भीतर खड़ा है।

झटपट जाँच

1. अवतल दर्पण के C पर वस्तु: प्रतिबिंब कहाँ और कैसा बनता है?
2. वाहन में पीछे देखने के लिए कौन-सा दर्पण, और क्यों?
3. गोलीय दर्पण की फोकस दूरी R के पदों में?

उत्तर: 1. C पर: वास्तविक, उल्टा, समान आकार · 2. उत्तल: सदा सीधा प्रतिबिंब, बहुत अधिक दृष्टि-क्षेत्र · 3. f = R/2

अपवर्तन: प्रकाश क्यों मुड़ता है

आवृत्ति नहीं बदलती

अभिलंब की ओर

स्नेल का नियम

n = c/v

आभासी गहराई

एक माध्यम से दूसरे में जाते समय प्रकाश की **चाल बदल जाती है**; यदि वह तिरछा प्रवेश करे, तो किरण-पुंज का एक किनारा पहले धीमा होता है, इसलिए पुंज मुड़ जाता है: यही **अपवर्तन (Refraction)** है। सोचिए, किसी कार के बाएँ पहिए सड़क से उतरकर रेत में चले जाएँ: वे पहिए धीमे होते हैं और कार मुड़ जाती है। धीमे (प्रकाशतः सघन) माध्यम में जाते हुए प्रकाश **अभिलंब की ओर** मुड़ता है; बाहर निकलते हुए **अभिलंब से दूर**।

★★★ प्रकाश एक माध्यम से दूसरे में जाए तो **आवृत्ति (Frequency) वही रहती है**; **चाल और तरंगदैर्ध्य (Wavelength) बदलते हैं** (माध्यम में λ = निर्वात में λ / n)। रंग आवृत्ति पर निर्भर है, इसलिए लाल प्रकाश पानी के नीचे भी लाल ही दिखता है।

★★★ **मुड़ने का नियम**: विरल → सघन: अभिलंब की ओर; सघन → विरल: अभिलंब से दूर। अभिलंब के अनुदिश (सतह से 90° पर) आने वाली किरण बिना मुड़े सीधी निकल जाती है।

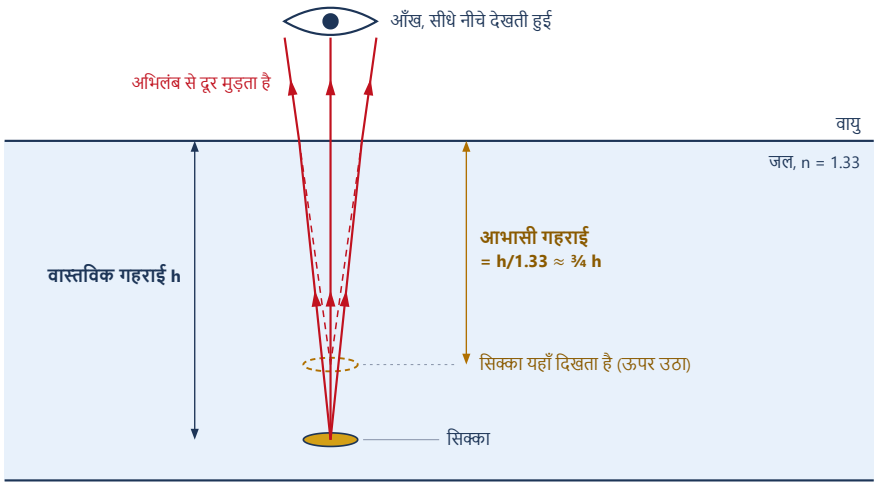
★★ **स्नेल का नियम (Snell's law)**: sin i / sin r = नियतांक = पहले माध्यम के सापेक्ष दूसरे माध्यम का अपवर्तनांक। आपतित किरण, अपवर्तित किरण और अभिलंब एक ही तल में होते हैं।

★★★ **अपवर्तनांक (Refractive index)** n = c / v (निर्वात में चाल ÷ माध्यम में चाल)। वायु 1.0003, बर्फ 1.31, **जल 1.33**, ऐल्कोहॉल 1.36, मिट्टी का तेल (केरोसिन) 1.44, **काँच ≈ 1.5**, सेंधा नमक 1.54, माणिक (रूबी) 1.71, **हीरा 2.42**।

★★ **n रंग पर निर्भर है**: काँच में यह बैंगनी के लिए सबसे अधिक और लाल के लिए सबसे कम होता है; इसीलिए प्रिज्म श्वेत प्रकाश को रंगों में बाँट देता है।

★★ **आभासी गहराई (Apparent depth)**: तालाब, बाल्टी या स्विमिंग पूल वास्तविकता से **उथला** दिखता है (आभासी गहराई = वास्तविक गहराई / n ≈ जल के लिए वास्तविक गहराई का ¾)।

★★ **रोज़मर्रा का अपवर्तन**: पानी में डूबी पेंसिल सतह पर मुड़ी दिखती है; कटोरे की तली में रखा सिक्का ऊपर उठा दिखता है और पानी डालने पर नज़र आने लगता है; मछली वास्तविकता से ऊपर दिखती है, इसलिए भाले से उसके नीचे निशाना लगाना पड़ता है; काँच की पट्टी के नीचे अक्षर ऊपर उठे दिखते हैं।



आभासी गहराई, जल (n = 1.33) के लिए स्नेल के नियम से बनी। सिक्के से आती किरणें पानी से निकलते समय अभिलंब से दूर मुड़ती हैं; पीछे बढ़ाने पर वे लगभग ¾ गहराई पर मिलती हैं, इसलिए सिक्का ऊपर उठा दिखता है। सीधे ऊपर से देखने पर आभासी गहराई = वास्तविक गहराई ÷ 1.33।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** प्रकाशिक घनत्व (Optical density) द्रव्यमान घनत्व **नहीं** है। केरोसिन (n = 1.44) पानी से हल्का है, पर प्रकाशतः अधिक सघन है; उसमें प्रकाश पानी से धीमा चलता है।

⚠ **परीक्षा में सावधान: पानी में हवा का बुलबुला** उत्तल लेंस जैसा आकार होने पर भी **अपसारी** (अवतल) लेंस की तरह काम करता है, क्योंकि बुलबुला विरल माध्यम है।

याद रखें: धीमा → अभिलंब की ओर मुड़ता है: जैसे कक्षा में घुसते समय छात्र धीमा होकर शिक्षक (अभिलंब) की ओर मुँह कर लेता है।

झटपट जाँच

1. प्रकाश जल में जाए तो क्या नहीं बदलता: चाल, तरंगदैर्ध्य या आवृत्ति?
2. वायु से काँच में जाता प्रकाश अभिलंब की ओर मुड़ता है या उससे दूर?
3. तालाब वास्तविकता से उथला क्यों दिखता है?

उत्तर: 1. आवृत्ति · 2. अभिलंब की ओर (सघन माध्यम में) · 3. अपवर्तन: आभासी गहराई = वास्तविक गहराई / n, जल में लगभग ¾

वायुमंडलीय अपवर्तन

टिमटिमाना

ग्रह स्थिर

अग्रिम सूर्योदय

चपटा सूर्य

वायु एकसमान नहीं है: निचली परतें ऊपरी परतों से सघन हैं, और गर्म व ठंडी हवा के झोंके लगातार चलते रहते हैं। इसलिए तारों और सूर्य का प्रकाश वायुमंडल से नीचे आते हुए धीरे-धीरे मुड़ता है, और यह मुड़ना लगातार झिलमिलाता रहता है।

★★★ **तारों का टिमटिमाना वायुमंडलीय अपवर्तन (Atmospheric refraction)** के कारण है। तारा इतना दूर है कि वह **बिंदु स्रोत** है; उसका प्रकाश बदलते अपवर्तनांक वाली गतिशील वायु परतों से गुज़रता है, इसलिए उसकी आभासी स्थिति और चमक लगातार बदलती रहती है।

★★★ **ग्रह नहीं टिमटिमाते**: वे इतने पास हैं कि छोटी **चकतियों (डिस्क)** जैसे दिखते हैं। एक चकती अनेक बिंदु स्रोतों का समूह है; उनकी झिलमिलाहटें औसत होकर मिट जाती हैं।

★★ **अंतरिक्ष में टिमटिमाना नहीं**: चंद्रमा से या अंतरिक्ष यात्री को तारे स्थिर चमकते दिखते हैं (वायुमंडल नहीं)। क्षितिज के पास के तारे सबसे अधिक टिमटिमाते हैं (वायु में सबसे लंबा मार्ग)।

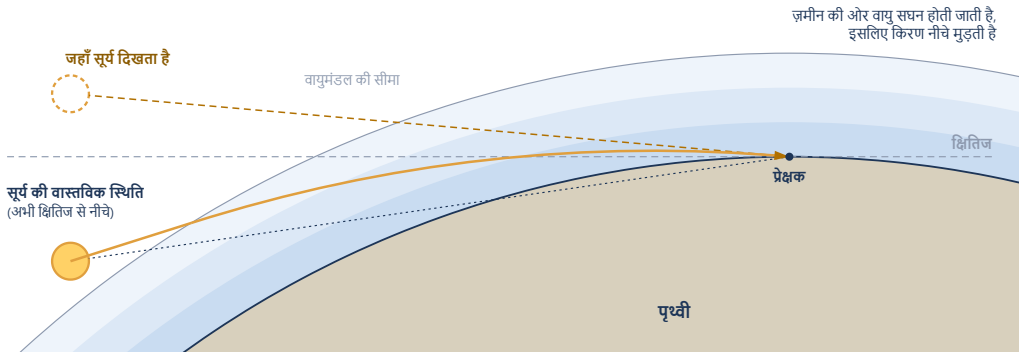
★★ **तारे अपनी वास्तविक स्थिति से थोड़ा ऊपर दिखते हैं**, क्योंकि सघन वायु में प्रवेश करते समय उनका प्रकाश अभिलंब की ओर मुड़ता है।

★★★ **अग्रिम सूर्योदय और विलंबित सूर्यास्त**: अपवर्तन के कारण सूर्य वास्तविक उदय से लगभग **2 मिनट पहले** और अस्त होने के **2 मिनट बाद** तक दिखता है; इससे दिन लगभग 4 मिनट लंबा हो जाता है।

★★ **क्षितिज पर चपटा (अंडाकार) सूर्य**: निचले किनारे का प्रकाश अधिक सघन वायु से गुज़रता है और ऊपरी किनारे के प्रकाश से अधिक ऊपर उठता है, इसलिए चकती ऊर्ध्वाधर दिशा में दबी दिखती है।

★★ **आकाश के दृष्टिभ्रम**: तारों का टिमटिमाना (अपवर्तन), भोर और साँझ में लाल सूर्य (प्रकीर्णन) और **क्षितिज के पास सूर्य या चंद्रमा का बड़ा दिखना** (देखने का भ्रम; अपवर्तन तो उसे ऊर्ध्वाधर दिशा में थोड़ा छोटा करता है)। भोर में दिखता चंद्रमा या आकाश में ध्रुव तारा वास्तविक दृश्य हैं, भ्रम नहीं।

★ **झिलमिलाना (Shimmering)**: आग, सड़क या तंदूर के ऊपर की गर्म हवा से देखने पर वस्तुएँ काँपती दिखती हैं; यह छोटे पैमाने पर वही प्रभाव है।



अग्रिम सूर्योदय। ज़मीन की ओर वायु सघन होती जाती है, इसलिए आता हुआ सूर्य का प्रकाश नीचे मुड़ता है और सूर्य के क्षितिज से नीचे रहते हुए भी हम तक क्षितिज से थोड़ा ऊपर से पहुँचता है। पैमाने पर नहीं: वायु की परत और मुड़ना बहुत बढ़ाकर दिखाए गए हैं।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** टिमटिमाना **अपवर्तन** है, परावर्तन, ध्रुवण या व्यतिकरण नहीं। और टिमटिमाते **तारे** हैं; ग्रह स्थिर चमकते हैं।

याद रखें: तारे नन्हे बिंदु हैं, ग्रह नन्ही थालियाँ: बिंदु आसानी से झिलमिलाता है, थाली नहीं।

झटपट जाँच

1. तारे टिमटिमाते हैं पर ग्रह नहीं, क्यों?
2. अपवर्तन के कारण सूर्य वास्तविक उदय से कितना पहले दिखता है?
3. क्षितिज पर सूर्य चपटा क्यों दिखता है?

उत्तर: 1. तारा बिंदु स्रोत है; ग्रह चकती है जिसकी झिलमिलाहटें औसत होकर मिट जाती हैं · 2. लगभग 2 मिनट (दिन ≈ 4 मिनट लंबा) · 3. नीचे की सघन वायु उसके निचले किनारे को अधिक ऊपर उठाती है

पूर्ण आंतरिक परावर्तन

सघन → विरल

क्रांतिक कोण

हीरे की चमक

प्रकाशिक तंतु

मरीचिका / लूमिंग

जब प्रकाश सघन माध्यम से विरल माध्यम में जाता है, तो अभिलंब से दूर मुड़ता है। किरण को और तिरछा करें तो अपवर्तित किरण और मुड़ती जाती है, यहाँ तक कि सतह को छूती हुई चलने लगती है: उस आपतन कोण को **क्रांतिक कोण (Critical angle)** कहते हैं। किरण को इससे भी अधिक तिरछा करें तो कोई प्रकाश बाहर नहीं निकल पाता: वह लगभग बिना किसी हानि के **पूरा परावर्तित** होकर लौट आता है। अच्छा से अच्छा दर्पण भी कुछ प्रकाश खोता है; पूर्ण आंतरिक परावर्तन (Total internal reflection, TIR) व्यावहारिक रूप से कुछ नहीं खोता।

★★★ **पूर्ण आंतरिक परावर्तन की दो शर्तें**: प्रकाश **सघन से विरल** माध्यम में जाए, और आपतन कोण **क्रांतिक कोण से बड़ा** हो।

★★ **क्रांतिक कोण** C: sin C = 1/n। जल ≈ **48.6°**, क्राउन काँच ≈ **42°**, हीरा ≈ **24.4°** (सबसे छोटा, क्योंकि n सबसे बड़ा है)।

★★★ **हीरा चमकता है** क्योंकि उसका क्रांतिक कोण बहुत छोटा है; अच्छी तरह तराशे गए हीरे में घुसा प्रकाश ऊपर से निकलने से पहले भीतर बार-बार पूर्ण परावर्तित होता है।

★★★ **प्रकाशिक तंतु (Optical fibre)**: अधिक n वाले काँच का पतला कोर (Core), कम n वाले आवरण (Cladding) के भीतर। प्रकाश सीमा पर क्रांतिक कोण से बड़े कोण पर टकराता रहता है और भीतर फँसा रहता है, मोड़ों पर भी तंतु के साथ चलता है। उपयोग: इंटरनेट और टेलीफ़ोन संपर्क, एंडोस्कोपी (शरीर के भीतर देखना) और सजावटी लैंप।

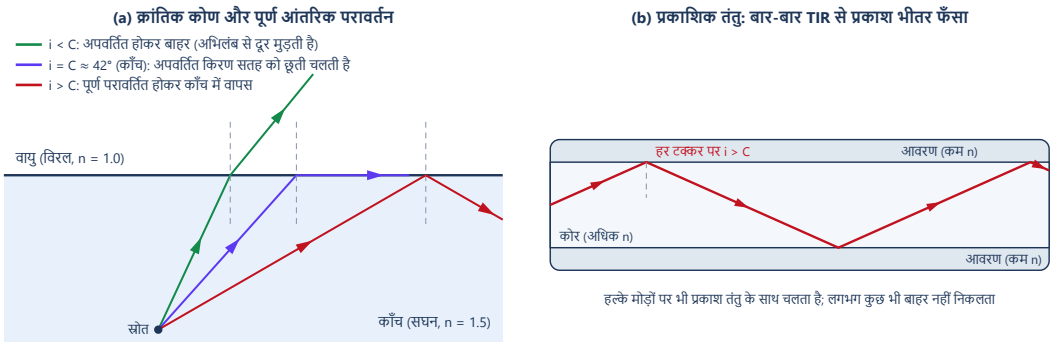
★ **भारतीय संबंध**: मोगा (पंजाब) में जन्मे नरिंदर सिंह कपानी (Narinder Singh Kapany) को फाइबर ऑप्टिक्स का जनक कहा जाता है; चार्ल्स काओ (Charles Kao) को यह दिखाने के लिए 2009 का नोबेल पुरस्कार मिला कि तंतु लंबी दूरी तक संकेत ले जा सकते हैं।

★★★ **मरीचिका (Mirage)** (रेगिस्तान और गर्मियों में गर्म सड़कें): गर्म ज़मीन के पास की हवा अधिक गर्म और **विरल** होती है। आकाश से आता प्रकाश परतों से गुज़रते हुए अधिकाधिक ऊपर की ओर मुड़ता है और अंत में पूर्ण परावर्तित हो जाता है, इसलिए आँख को ज़मीन पर आकाश का उल्टा प्रतिबिंब दिखता है, जो पानी के तालाब जैसा लगता है।

★★ **लूमिंग (Looming)** (ठंडे क्षेत्र, ध्रुवीय समुद्र): ठंडे समुद्र के पास की हवा ऊपर की हवा से **सघन** होती है, इसलिए दूर के जहाज़ का प्रकाश नीचे की ओर मुड़ता है और जहाज़ **ऊपर उठा, आकाश में तैरता** दिखता है।

★★ **चाँदी जैसी परखनली**: पानी में तिरछी डुबोई गई खाली परखनली ऊपर से देखने पर दर्पण जैसी चमकती है, क्योंकि भीतर काँच–वायु सतह पर प्रकाश पूर्ण परावर्तित होता है। परखनली में पानी भर दें तो चमक गायब हो जाती है। **पानी में हवा का बुलबुला** भी इसी कारण चमकता है।

★ **दर्पण की जगह प्रिज्म**: समकोण काँच प्रिज्म पूर्ण आंतरिक परावर्तन से प्रकाश को 90° या 180° मोड़ते हैं; ये दूरबीन (बाइनोक्युलर), परिदर्शी और कैमरों में लगते हैं और चाँदी चढ़े दर्पणों से अधिक चमकीले प्रतिबिंब देते हैं।



(a) काँच के भीतर से आता प्रकाश: क्रांतिक कोण से कम पर बाहर निकल जाता है, क्रांतिक कोण पर सतह को छूता हुआ चलता है, उससे अधिक पर पूर्ण परावर्तित होता है। (b) प्रकाशिक तंतु में हर टक्कर क्रांतिक कोण से बड़े कोण पर होती है, इसलिए प्रकाश भीतर ही रहता है।

गर्म राजमार्ग पर मरीचिका: आगे की सड़क गीली लगती है और गाड़ियाँ उसमें परावर्तित दिखती हैं। यह "पानी" आकाश का प्रतिबिंब है, जो सड़क के ठीक ऊपर की गर्म हवा में अपवर्तन और पूर्ण आंतरिक परावर्तन से बनता है। चित्र: Michael from Calgary, AB, Canada, Wikimedia Commons, CC BY 2.0

⚠ **परीक्षा में सावधान:** मरीचिका **न तो** मतिभ्रम है और न पानी से परावर्तन; यह गर्म हवा की परतों से होने वाला अपवर्तन है जो पूर्ण आंतरिक परावर्तन पर समाप्त होता है, और इसका फ़ोटो भी खींचा जा सकता है।

💡 **याद रखें: मरीचिका = नीचे गर्म (रेगिस्तान, सड़क), प्रतिबिंब नीचे। लूमिंग = नीचे ठंडा (समुद्री बर्फ़), प्रतिबिंब ऊपर।**

☑ झटपट जाँच

1. पूर्ण आंतरिक परावर्तन की दो शर्तें?
2. हीरा क्यों चमकता है?
3. मरीचिका: ज़मीन के पास की हवा ऊपर से गर्म होती है या ठंडी?

उत्तर: 1. सघन → विरल, और आपतन कोण > क्रांतिक कोण · 2. उसका क्रांतिक कोण बहुत छोटा (≈ 24.4°) है, इसलिए प्रकाश बार-बार पूर्ण परावर्तित होता है · 3. गर्म और विरल (लूमिंग में: ठंडी और सघन)

विक्षेपण और इंद्रधनुष

VIBGYOR

बैंगनी सबसे अधिक मुड़ता

श्वेत प्रकाश रंगों का मिश्रण है। काँच हर रंग को अलग-अलग मात्रा में धीमा करता है: बैंगनी को सबसे अधिक, लाल को सबसे कम। इसलिए प्रिज्म में हर रंग अलग कोण से मुड़ता है और रंग पंखे की तरह फैलकर **स्पेक्ट्रम (Spectrum)** बनाते हैं। रंगों का यह अलग होना **विक्षेपण (Dispersion)** है।

इंद्रधनुष: 3 प्रक्रियाएँ

लाल बाहर

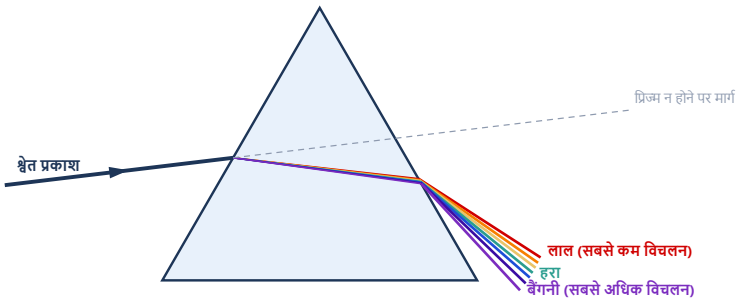
सूर्य पीछे

★★★ **विक्षेपण**: श्वेत प्रकाश का सात रंगों में बँटना, **VIBGYOR** (बैंगनी, जामुनी, नीला, हरा, पीला, नारंगी, लाल); हिंदी में याद रखें **बैं-जा-नी-ह-पी-ना-ला**। **आइज़क न्यूटन (Isaac Newton)** ने काँच के प्रिज्म से इसे दिखाया (1666)।

★★★ **बैंगनी सबसे अधिक, लाल सबसे कम विचलित**: काँच का अपवर्तनांक बैंगनी के लिए सबसे अधिक है, इसलिए बैंगनी काँच में सबसे धीमा चलता है और सबसे अधिक मुड़ता है। निर्वात में सभी रंग एक ही चाल से चलते हैं।

★★ **पुनर्संयोजन**: पहले प्रिज्म के बाद उल्टा रखा दूसरा प्रिज्म रंगों को फिर से मिलाकर श्वेत प्रकाश बना देता है (न्यूटन का प्रमाण कि रंग सूर्य के प्रकाश में ही थे, काँच ने नहीं बनाए)।

★★ **तरंगदैर्ध्य का क्रम**: लाल सबसे लंबी (~700 nm), बैंगनी सबसे छोटी (~400 nm); आवृत्ति का क्रम इसका उल्टा है।



काँच का प्रिज्म: हर रंग अलग मात्रा में मुड़ता है (फैलाव बढ़ाकर दिखाया गया)

हर रंग प्रिज्म से अलग दिशा में निकलता है। सभी रंग आधार की ओर मुड़ते हैं; बैंगनी सबसे अधिक, लाल सबसे कम। फैलाव बढ़ाकर दिखाया गया है।

इंद्रधनुष (Rainbow) वही विक्षेपण है, जिसे लाखों वर्षा-बूँदें मिलकर करती हैं। हर बूँद प्रवेश करते समय सूर्य के प्रकाश को **अपवर्तित** करती है, अपनी पिछली सतह से उसे एक बार **परावर्तित** करती है और बाहर निकलते समय फिर **अपवर्तित** करती है; दोनों अपवर्तन रंगों को फैलाते हैं। सूर्य को आपके सिर से मिलाने वाली रेखा से प्रकाश लगभग **लाल के लिए 42° और बैंगनी के लिए 40°** पर लौटता है।

★★★ **इंद्रधनुष = अपवर्तन + विक्षेपण + आंतरिक परावर्तन**, पानी की बूँदों के भीतर।

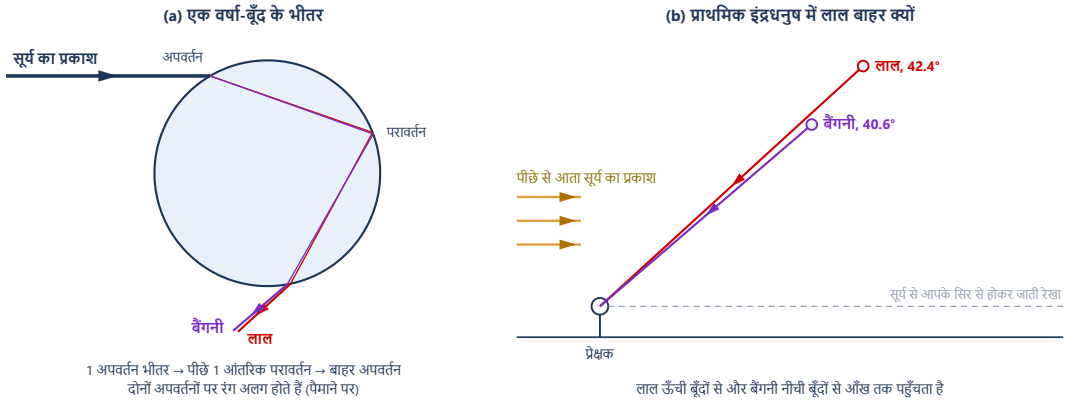
★★★ **सूर्य प्रेक्षक के पीछे**, वर्षा सामने: इंद्रधनुष सदा आकाश के उस भाग में दिखता है जो **सूर्य के विपरीत** हो: **सुबह पश्चिम में**, **शाम को पूर्व में**।

★★★ **प्राथमिक इंद्रधनुष (Primary rainbow)**: एक आंतरिक परावर्तन, अधिक चमकीला, **लाल बाहर (ऊपर)**, बैंगनी भीतर।

★★ **द्वितीयक इंद्रधनुष (Secondary rainbow)**: दो आंतरिक परावर्तन, अधिक धुँधला, अधिक ऊँचा (लगभग 51°), **रंग उल्टे क्रम में** (लाल भीतर)। दोनों धनुषों के बीच का गहरा आकाश ऐलेक्ज़ेंडर की पट्टी (Alexander's band) कहलाता है।

★ **दोपहर में इंद्रधनुष नीचा या अनुपस्थित क्यों**: धनुष सूर्य के ठीक विपरीत बिंदु से 42° पर होता है; जब सूर्य 42° से अधिक ऊँचा हो, तो पूरा धनुष क्षितिज के नीचे चला जाता है। विमान से इंद्रधनुष पूरा वृत्त दिख सकता है।

★ **हर व्यक्ति अपना निजी इंद्रधनुष देखता है**, जो बूँदों के अलग समूह से बनता है।



(a) एक बूँद के भीतर मार्ग: भीतर जाते समय अपवर्तन, पीछे एक परावर्तन, बाहर निकलते समय अपवर्तन; दोनों अपवर्तनों पर रंग अलग होते हैं। (b) लाल ऊँची बूँदों से और बैंगनी नीची बूँदों से आँख तक पहुँचता है, इसलिए प्राथमिक इंद्रधनुष में लाल बाहरी पट्टी है। दोनों भाग स्नेल के नियम से निकले न्यूनतम विचलन कोणों पर पैमाने पर बने हैं: लाल (n = 1.331) 42.4°, बैंगनी (n = 1.343) 40.6°, जिन्हें प्रायः 42° और 40° कहा जाता है।

दोहरा इंद्रधनुष। चमकीले प्राथमिक धनुष में लाल बाहर है; उसके ऊपर के धुँधले द्वितीयक धनुष में रंग उल्टे क्रम में हैं, और दोनों धनुषों के बीच का आकाश अधिक गहरा है (ऐलेक्ज़ेंडर की पट्टी)। चित्र: Eric Rolph, Wikimedia Commons, CC BY-SA 2.5

⚠ **परीक्षा में सावधान:** वर्षा-बूँद के भीतर के परावर्तन को आंतरिक परावर्तन कहते हैं; यह आंशिक परावर्तन है, क्योंकि बूँद के पिछले भाग पर कोण जल के क्रांतिक कोण से कम होता है। यदि किसी विकल्प में 'विक्षेपण, अपवर्तन और आंतरिक परावर्तन' हो, तो तीनों सही हैं।

💡 **याद रखें: सुबह का इंद्रधनुष पश्चिम में, शाम का पूर्व में**: सूर्य को अपनी पीठ पीछे रखिए। प्राथमिक धनुष: **R**ed **O**utside, जैसे **R**oof **O**n top (लाल बाहर, जैसे छत ऊपर)।

☑ झटपट जाँच

1. प्रिज्म में कौन-सा रंग सबसे अधिक और कौन-सा सबसे कम विचलित होता है?
2. इंद्रधनुष बनाने वाली तीन प्रक्रियाएँ बताइए।
3. शाम का इंद्रधनुष आकाश के किस भाग में दिखता है?

उत्तर: 1. बैंगनी सबसे अधिक, लाल सबसे कम · 2. अपवर्तन, विक्षेपण, आंतरिक परावर्तन · 3. पूर्व में, सूर्य के विपरीत

प्रकीर्णन: नीला आकाश, लाल सूर्यास्त, टिंडल और रमन

$1/\lambda^4$

नीला आकाश

जब प्रकाश अपनी तरंगदैर्ध्य से बहुत छोटे कणों (नाइट्रोजन और ऑक्सीजन के अणु) से टकराता है, तो वे उसे अवशोषित करके सभी दिशाओं में फिर से भेज देते हैं: **प्रकीर्णन (Scattering)**। लॉर्ड रेले (Lord Rayleigh) ने दिखाया कि

लाल सूर्यास्त

लाल संकेत

टिंडल प्रभाव

रमन प्रभाव

प्रकीर्णित प्रकाश की मात्रा **$1/\lambda^4$** के अनुपात में होती है, इसलिए कम तरंगदैर्ध्य वाला नीला प्रकाश लाल से कई गुना अधिक प्रकीर्णित होता है। बड़े कण (पानी की बूँदें, धूल) सभी रंगों को लगभग बराबर प्रकीर्णित करते हैं।

★★★ **नीला आकाश**: वायु के अणु नीले को लाल से कहीं अधिक प्रकीर्णित करते हैं; यह प्रकीर्णित नीला प्रकाश आकाश की हर दिशा से हमारी आँखों तक आता है। (बैंगनी और भी अधिक प्रकीर्णित होता है, पर सूर्य के प्रकाश में बैंगनी कम है और हमारी आँखें उसके प्रति कम संवेदनशील हैं।)

★★★ **सूर्योदय और सूर्यास्त पर लाल/नारंगी सूर्य**: क्षितिज के पास के सूर्य का प्रकाश वायु में बहुत लंबा मार्ग तय करता है; रास्ते में अधिकांश नीला प्रकीर्णित होकर निकल जाता है, लाल और नारंगी बचते हैं। दोपहर में मार्ग छोटा होता है और सूर्य सफेद दिखता है।

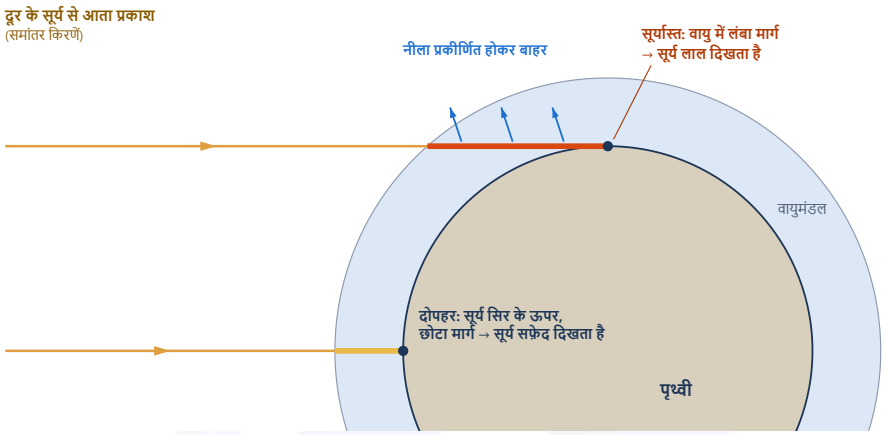
★★★ **खतरे और रुकने के संकेत लाल होते हैं**: लाल सबसे कम प्रकीर्णित होता है, इसलिए कोहरे, धुएँ और धूल में सबसे दूर तक जाता है और दूर से दिखता है।

★★★ **अंतरिक्ष में काला आकाश**: सूर्य के प्रकाश को प्रकीर्णित करने वाली वायु न होने से अंतरिक्ष यात्रियों को और चंद्रमा से आकाश दिन में भी काला दिखता है।

★★ **सफेद बादल**: बादलों की बूँदें प्रकाश की तरंगदैर्ध्य से बहुत बड़ी होती हैं और सभी रंगों को लगभग बराबर प्रकीर्णित करती हैं, जो मिलकर सफेद बनते हैं। काले वर्षा-बादल इतने घने होते हैं कि अधिकांश प्रकाश रोक लेते हैं।

★★ **नीलापन लिए धुआँ**: दोपहिया वाहन के धुएँ या सिगरेट के बहुत बारीक कण मुख्यतः नीला प्रकाश प्रकीर्णित करते हैं।

★ **नीला समुद्र**: कुछ हद तक नीले आकाश का परावर्तन और कुछ इसलिए कि जल लाल प्रकाश को अवशोषित करता है और नीले को प्रकीर्णित करता है (रमन ने 1921 में एक समुद्री यात्रा पर इसका अध्ययन किया)।



एक ही धूप, दो प्रेक्षक। दोपहर में प्रकाश वायु का छोटा मार्ग पार करता है और सूर्य सफ़ेद दिखता है; सूर्यास्त पर वह कहीं लंबे मार्ग से गुज़रता है, रास्ते में अधिकांश नीला प्रकीर्णित हो जाता है और सूर्य लाल दिखता है। पैमाने पर नहीं: वायु की परत वास्तविकता से कहीं मोटी दिखाई गई है।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** नीला आकाश **प्रकीर्णन** है, महासागरों का परावर्तन नहीं, और विक्षेपण भी नहीं। खतरे के संकेत लाल इसलिए चुने जाते हैं कि लाल **सबसे कम प्रकीर्णित** होता है, इसलिए नहीं कि वह 'आँख को सबसे अधिक दिखता है' (आँख पीले-हरे के प्रति सबसे संवेदनशील है)।

टिंडल प्रभाव (Tyndall effect): जब प्रकाश-पुंज किसी **कोलॉइड (Colloid)** (किसी माध्यम में निलंबित बारीक कण) से गुज़रता है, तो वह बगल से दिखाई देने लगता है, क्योंकि कण प्रकाश को प्रकीर्णित करते हैं। वास्तविक विलयन में ऐसा पुंज नहीं दिखता, इसलिए यह प्रभाव कोलॉइड को वास्तविक विलयन से अलग पहचानता है। यह नाम जॉन टिंडल (John Tyndall) के नाम पर है।

★★ **टिंडल प्रभाव के उदाहरण**: धूल भरे कमरे में या खिड़की की दरार से आती सूर्य की किरणें, घने धुंध भरे जंगल की छतरी से छनकर आती धूप, कोहरे में कार की हेडलाइट, सिनेमा हॉल में प्रोजेक्टर का पुंज, दूधिया पानी से गुज़रता टॉर्च का पुंज।

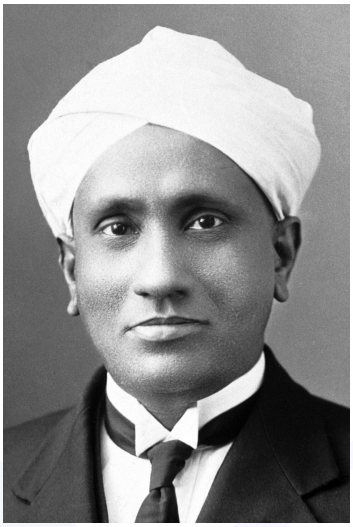
👁 **आसपास देखें:** अँधेरे कमरे में टॉर्च जलाइए, हवा में कुछ नहीं दिखता; पुंज के पास दो धूल भरे डस्टर झाड़िए और पुंज का मार्ग अचानक चमक उठता है। यही टिंडल प्रभाव है।

रमन प्रभाव (Raman effect): जब प्रकाश अणुओं से प्रकीर्णित होता है, तो उसका बहुत छोटा अंश **थोड़ी बदली हुई आवृत्ति (और तरंगदैर्ध्य)** के साथ निकलता है, क्योंकि अणु ने थोड़ी ऊर्जा ली या दी है। इन परिवर्तनों का पैटर्न अणु की 'उँगलियों की छाप' (फ़िंगरप्रिंट) होता है।

★★★ **सी.वी. रमन (C.V. Raman)** ने इसे **के.एस. कृष्णन (K.S. Krishnan)** के साथ कोलकाता में खोजा; घोषणा **28 फ़रवरी 1928** को हुई। रमन को **भौतिकी का नोबेल पुरस्कार, 1930** मिला; वे विज्ञान में नोबेल पाने वाले पहले एशियाई थे। उन्हें 1954 में भारत रत्न मिला।

★★★ **राष्ट्रीय विज्ञान दिवस** इस खोज की याद में हर वर्ष **28 फ़रवरी** को मनाया जाता है (1987 से)।

★★ **रमन स्पेक्ट्रोस्कोपी (Raman spectroscopy)** पदार्थों को नष्ट किए बिना पहचानती है: दवाएँ, रत्न, फ़ोरेंसिक नमूने, कलाकृतियों के रंगद्रव्य; मंगल पर पर्सिवियरेंस (Perseverance) रोवर में एक रमन उपकरण लगा है।



सी.वी. रमन, जिन्होंने के.एस. कृष्णन के साथ रमन प्रभाव खोजा (घोषणा 28 फ़रवरी 1928) और 1930 में भौतिकी का नोबेल पुरस्कार जीता।
चित्र: Nobel Foundation, Wikimedia Commons, public domain

प्रकीर्णन के तीन प्रकार ★★★

प्रभाव	कण	क्या होता है	उदाहरण
रेले (Rayleigh)	λ से बहुत छोटे (वायु के अणु)	कम λ (नीला) कहीं अधिक प्रकीर्णित ($\propto 1/\lambda^4$); आवृत्ति अपरिवर्तित	नीला आकाश, लाल सूर्यास्त
टिंडल	कोलॉइडी कण (धूल, धुआँ, कोहरे की बूँदें)	पुंज का मार्ग दिखाई देने लगता है	धूल भरे कमरे में सूर्य की किरण
रमन	अणु	प्रकाश का बहुत छोटा अंश बदली आवृत्ति के साथ निकलता है	रमन स्पेक्ट्रोस्कोपी

याद रखें: रमन: 28.2.28: फ़रवरी की **28** तारीख, 19**28**। विज्ञान दिवस भी इसी तारीख को है।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** रेले और टिंडल प्रकीर्णन में प्रकीर्णित प्रकाश का रंग (आवृत्ति) नहीं बदलता; केवल **रमन प्रभाव** में आवृत्ति बदलती है।

झटपट जाँच

1. रेले प्रकीर्णन _____ के अनुपात में होता है।
2. खतरे के संकेत लाल क्यों होते हैं?
3. कौन-सा प्रकीर्णन प्रकाश की आवृत्ति बदलता है, और उसकी घोषणा कब हुई?

उत्तर: 1. $1/\lambda^4$ (नीला लाल से कहीं अधिक प्रकीर्णित) · 2. लाल सबसे कम प्रकीर्णित होता है, इसलिए सबसे दूर से दिखता है · 3. रमन प्रभाव, 28 फ़रवरी 1928

दैनिक जीवन में अन्य रंगीन प्रभाव

व्यतिकरण

साबुन का बुलबुला, तेल की परत

मोर पंख

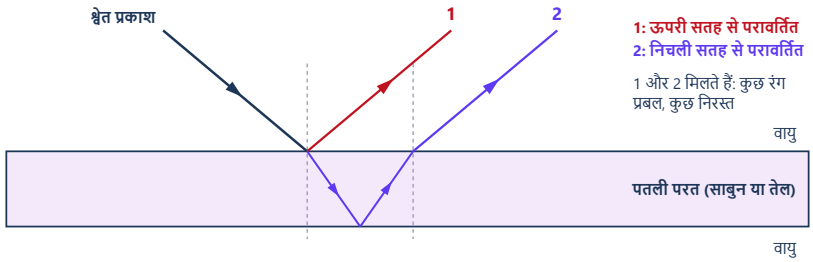
प्रभामंडल / कोरोना

रंगों का हर प्रदर्शन विक्षेपण नहीं होता। जब प्रकाश किसी बहुत पतली परत की ऊपरी और निचली सतहों से परावर्तित होता है, तो दोनों परावर्तित तरंगें आपस में मिलकर कुछ रंगों को प्रबल और कुछ को निरस्त कर देती हैं। यह **व्यतिकरण (Interference)** है (तरंग प्रकाशिकी वाले अध्याय में और विस्तार से)।

★★★ **साबुन के बुलबुले और गीली सड़क पर तेल की परतें** पतली परतों में प्रकाश के **व्यतिकरण** के कारण रंगीन दिखती हैं; परत की मोटाई बदलने पर रंग बदलते हैं।

★★ **मोर के पंखों और तितली के पंखों** के झिलमिलाते रंग सूक्ष्म संरचनाओं से होने वाले व्यतिकरण के कारण हैं, वर्णक (Pigment) के कारण नहीं।

★ **प्रभामंडल (Halo)**: सूर्य या चंद्रमा के चारों ओर एक वलय, जो ऊँचे पतले बादलों के बर्फ़ के क्रिस्टलों से अपवर्तन से बनता है (लगभग 22° त्रिज्या)। **कोरोना (Corona)**: चंद्रमा के पास छोटे रंगीन वलय, जो पानी की बूँदों से विवर्तन (Diffraction) द्वारा बनते हैं।



पतली परत में व्यतिकरण, कोण स्नेल के नियम से (n = 1.33)। ऊपरी सतह (1) और निचली सतह (2) से परावर्तित प्रकाश एक ही दिशा में निकलता है; दोनों मिलकर कुछ रंगों को प्रबल और कुछ को निरस्त करते हैं। परत की मोटाई बहुत बढ़ाकर दिखाई गई है।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** साबुन की परत के रंग: **व्यतिकरण** (विवर्तन, अपवर्तन या ध्रुवण नहीं)। प्रिज्म और इंद्रधनुष के रंग: **विक्षेपण**।

☑ झटपट जाँच

1. साबुन के बुलबुले के रंग _____ के कारण हैं।
2. प्रभामंडल या कोरोना: बर्फ़ के क्रिस्टलों से अपवर्तन से कौन बनता है?

उत्तर: 1. पतली परत में प्रकाश का व्यतिकरण · 2. प्रभामंडल (लगभग 22°); कोरोना विवर्तन से

पिछले वर्षों में पूछे गए प्रश्न (10)

UPSC 2013 निम्नलिखित परिघटनाओं पर विचार कीजिए :
1. गोधूलि में सूर्य का आमाप
2. ऊषाकाल में सूर्य का रंग
3. ऊषाकाल में चन्द्रमा का दिखना
4. आकाश में तारों का टिमटिमाना
5. आकाश में ध्रुवतारे का दिखना
उपर्युक्त में से कौन-से दृष्टिभ्रम हैं?
(a) 1, 2 और 3 (b) 3, 4 और 5 (c) 1, 2 और 4 (d) 2, 3 और 5
उत्तर: (c) 1, 2 और 4. तारे इसलिए टिमटिमाते हैं क्योंकि उनका प्रकाश वायु की बदलती परतों में अपवर्तित होता है; क्षितिज के पास सूर्य वायुमंडल और दृष्टि-बोध के कारण बड़ा और लाल दिखता है

UPSC 2013 जब धूप वर्षा की बूँदों पर गिरती है, तो इन्द्रधनुष बनता है। इसके लिए निम्नलिखित में से कौन-सी भौतिक परिघटनाएँ जिम्मेवार हैं?
1. परिक्षेपण
2. अपवर्तन
3. आन्तरिक परावर्तन
नीचे दिए गए कूट का प्रयोग कर सही उत्तर चुनिए।
(a) केवल 1 और 2 (b) केवल 2 और 3 (c) केवल 1 और 3 (d) 1, 2 और 3
उत्तर: (d) 1, 2 और 3. इंद्रधनुष वर्षा की बूँदों में अपवर्तन, परिक्षेपण और आंतरिक परावर्तन से बनता है

BPSC 66th जब प्रकाश एक माध्यम से दूसरे में जाता है, तो निम्न में से कौन-सी/सा नहीं बदलती/बदलता है?
(a) वेग/गति (b) तरंगदैर्ध्य (c) आवृत्ति (d) अपवर्तनांक (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (c) आवृत्ति. अपवर्तन में प्रकाश की आवृत्ति स्थिर रहती है; चाल और तरंगदैर्ध्य बदलते हैं

BPSC 67th दर्पण के सामने खड़े एक व्यक्ति को अपना प्रतिबिम्ब अपने से बड़ा लगता है। इसका तात्पर्य है कि दर्पण का प्रकार है
(a) अवतल (b) समतल (c) उत्तल (d) बेलनाकार के साथ बाहर की तरफ उभरे हुए
(e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (a) अवतल. वस्तु फोकस के भीतर हो तो अवतल दर्पण आवर्धित और सीधा प्रतिबिंब बनाता है; समतल दर्पण समान आकार का और उत्तल दर्पण छोटा प्रतिबिंब बनाता है

BPSC 67th रात के समय में खुले आकाश में तारों के टिमटिमाने को किससे समझाया जा सकता है?
(a) प्रकाश का अपवर्तन (b) प्रकाश का परावर्तन (c) प्रकाश का ध्रुवीकरण (d) प्रकाश का व्यतिकरण
(e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (a) प्रकाश का अपवर्तन. तारों का टिमटिमाना उनके प्रकाश के वायुमंडलीय अपवर्तन के कारण होता है

BPSC 67th जब दिन में पानी पर साबुन की फिल्म दिखाई देती है, तो यह सुंदर रंग दिखाती है। इस घटना का कारण है
(a) प्रकाश का विवर्तन (b) प्रकाश का अपवर्तन (c) प्रकाश का ध्रुवीकरण (d) प्रकाश का व्यतिकरण
(e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (d) प्रकाश का व्यतिकरण. साबुन के बुलबुले और पानी पर तेल जैसी पतली परतों के रंग व्यतिकरण से बनते हैं

BPSC 67th re-exam प्रकाश की गति निम्न में से किस माध्यम में न्यूनतम होगी?
(a) काँच (शीशा) (b) जल (c) निर्वात् (शून्य) (d) वायु (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (a) काँच (शीशा). जिस माध्यम का अपवर्तनांक सबसे अधिक हो, उसमें प्रकाश की चाल सबसे कम होती है ($v = c/n$)

BPSC 69th अवतल दर्पण द्वारा बनाया गया प्रतिबिम्ब वास्तविक, उल्टा और वस्तु के आकार के बराबर होता है। वस्तु की स्थिति कैसी होनी चाहिए?
(a) फोकस पर (b) वक्रता के केन्द्र पर (c) फोकस और वक्रता केन्द्र के बीच (d) वक्रता केन्द्र से परे
उत्तर: (b) वक्रता के केन्द्र पर. अवतल दर्पण: वस्तु C पर हो तो वास्तविक, उल्टा और समान आकार का प्रतिबिंब C पर ही बनता है

BPSC 70th re-exam निम्न में से कौन छाया की उत्पत्ति के लिए जिम्मेदार है ?
(a) विवर्तन (b) व्यतिकरण (c) प्रकाश का ऋजुरेखीय प्रसार (d) ध्रुवीकरण
उत्तर: (c) प्रकाश का ऋजुरेखीय प्रसार. प्रकाश सीधी रेखा में चलता है, इसलिए उसे रोकने वाली अपारदर्शी वस्तु छाया बनाती है; विवर्तन, व्यतिकरण और ध्रुवण प्रकाश की तरंग प्रकृति दर्शाते हैं

BPSC 71st समतल दर्पण की फोकस दूरी होती है :
(a) +1 सेमी (b) –1 सेमी (c) 2 सेमी (d) अनन्त
उत्तर: (d) अनन्त. समतल दर्पण की वक्रता त्रिज्या अनंत होती है, इसलिए उसकी फोकस दूरी भी अनंत होती है

स्वयं को परखें (12)

1. दो समतल दर्पण एक-दूसरे से 60° पर रखे हैं। उनके बीच रखी वस्तु के कितने प्रतिबिंब बनेंगे?
(a) 3 (b) 5 (c) 6 (d) अनंत

2. प्रकाश की एक किरण जल से वायु में जाती है। निम्नलिखित में से कौन-सा कथन सही है?
(a) यह अभिलंब की ओर मुड़ती है और इसकी आवृत्ति बढ़ जाती है (b) यह अभिलंब से दूर मुड़ती है और इसकी आवृत्ति अपरिवर्तित रहती है
(c) यह अभिलंब से दूर मुड़ती है और इसकी तरंगदैर्ध्य घट जाती है (d) कोण कुछ भी हो, यह सीधी चली जाती है

3. वाहनों में पीछे देखने के लिए कौन-सा दर्पण प्रयोग होता है, और क्यों?
(a) अवतल, क्योंकि यह बड़ा प्रतिबिंब देता है (b) समतल, क्योंकि यह समान आकार का प्रतिबिंब देता है
(c) उत्तल, क्योंकि यह सदा सीधा प्रतिबिंब और विस्तृत दृष्टि-क्षेत्र देता है (d) अवतल, क्योंकि यह वास्तविक प्रतिबिंब देता है

4. निम्नलिखित पर विचार कीजिए: 1. हीरे का चमकना 2. गर्म सड़क पर मरीचिका 3. प्रकाशिक तंतु की कार्यप्रणाली 4. आकाश का नीला रंग। इनमें से कौन-से पूर्ण आंतरिक परावर्तन के कारण हैं?
(a) केवल 1 और 2 (b) केवल 1, 2 और 3 (c) केवल 2, 3 और 4 (d) 1, 2, 3 और 4

5. वास्तविक सूर्योदय से थोड़ा पहले सूर्य दिखाई देने का कारण है
(a) प्रकाश का प्रकीर्णन (b) प्रकाश का विक्षेपण (c) वायुमंडलीय अपवर्तन (d) पूर्ण आंतरिक परावर्तन

6. प्राथमिक इंद्रधनुष के बाहरी किनारे पर कौन-सा रंग होता है और सूर्य कहाँ होता है?
(a) बैंगनी; प्रेक्षक के सामने (b) लाल; प्रेक्षक के पीछे (c) लाल; प्रेक्षक के सामने (d) बैंगनी; प्रेक्षक के पीछे

7. खतरे के संकेत लाल क्यों होते हैं?
(a) कोहरे और धुएँ द्वारा लाल प्रकाश सबसे कम प्रकीर्णित होता है (b) लाल प्रकाश की आवृत्ति सबसे अधिक होती है
(c) मानव आँख लाल के प्रति सबसे अधिक संवेदनशील है (d) लाल प्रकाश वायु में सबसे तेज़ चलता है

8. राष्ट्रीय विज्ञान दिवस (28 फ़रवरी) किसकी खोज की याद में मनाया जाता है?
(a) प्रकाश-विद्युत प्रभाव (b) बोस–आइंस्टीन सांख्यिकी (c) रमन प्रभाव (d) चंद्रशेखर सीमा

9. एक वस्तु अवतल दर्पण के फोकस और ध्रुव के बीच रखी है। प्रतिबिंब होगा
(a) वास्तविक, उल्टा और बड़ा (b) आभासी, सीधा और बड़ा (c) आभासी, सीधा और छोटा (d) वास्तविक, उल्टा और समान आकार का

10. निम्नलिखित कथनों पर विचार कीजिए:
1. समतल दर्पण में पार्श्व परिवर्तन प्रतिबिंब के ऊपर और नीचे को आपस में बदल देता है।
2. हीरे का क्रांतिक कोण काँच के क्रांतिक कोण से छोटा होता है।
3. केरोसिन पानी से हल्का है, पर प्रकाशिक रूप से पानी से सघन है।
उपर्युक्त कथनों में से कौन-सा/से सही है/हैं?
(a) केवल 1 (b) केवल 1 और 2 (c) केवल 1 और 3 (d) केवल 2 और 3

11. निम्नलिखित पर विचार कीजिए:
1. तारों का टिमटिमाना
2. वास्तविक उदय से लगभग 2 मिनट पहले सूर्य का दिखाई देना
3. क्षितिज के पास सूर्य का चपटा आकार
उपर्युक्त में से कितने वायुमंडलीय अपवर्तन के कारण होते हैं?
(a) केवल एक (b) केवल दो (c) सभी तीन (d) कोई भी नहीं

12. आंशिक सूर्य ग्रहण के समय घने पत्तों वाले पेड़ के नीचे ज़मीन पर धूप के धब्बे छोटे अर्धचंद्रों जैसे दिखते हैं। क्यों?
(a) पत्तियाँ धूप को विवर्तित करके अर्धचंद्र बना देती हैं (b) वायुमंडलीय अपवर्तन सूर्य की चकती को विकृत कर देता है
(c) चंद्रमा की छाया ज़मीन पर टुकड़ों में पड़ती है (d) पत्तियों के बीच की हर दरार पिनहोल कैमरे का काम करती है

उत्तर: 1. (b) प्रतिबिंबों की संख्या = 360/θ − 1 = 360/60 − 1 = 5। · 2. (b) सघन से विरल: अभिलंब से दूर मुड़ती है; चाल और तरंगदैर्ध्य बढ़ते हैं, आवृत्ति वही रहती है। · 3. (c) उत्तल दर्पण आभासी, सीधा, छोटा प्रतिबिंब बनाता है और पीछे का बड़ा क्षेत्र दिखाता है। · 4. (b) आकाश का नीला रंग प्रकीर्णन के कारण है; अन्य तीनों में पूर्ण आंतरिक परावर्तन होता है। · 5. (c) वायुमंडलीय अपवर्तन सूर्य के प्रकाश को क्षितिज के ऊपर मोड़ देता है, इसलिए सूर्य लगभग 2 मिनट पहले दिखता है। · 6. (b) प्राथमिक धनुष में लाल बाहर होता है और यह सूर्य के विपरीत दिखता है; सूर्य प्रेक्षक के पीछे होता है। · 7. (a) लाल की तरंगदैर्ध्य सबसे लंबी है और वह सबसे कम प्रकीर्णित होता है, इसलिए दूर से दिखता है। · 8. (c) सी.वी. रमन ने 28 फ़रवरी 1928 को रमन प्रभाव की घोषणा की। · 9. (b) F के भीतर अवतल दर्पण आवर्धक की तरह काम करता है: दर्पण के पीछे आभासी, सीधा, बड़ा प्रतिबिंब। · 10. (d) पार्श्व परिवर्तन बाएँ और दाएँ को बदलता है, ऊपर और नीचे को नहीं; हीरे का क्रांतिक कोण (लगभग 24.4°) काँच के (लगभग 42°) से छोटा है, और केरोसिन (n = 1.44) पानी (n = 1.33) से प्रकाशिक रूप से सघन है। · 11. (c) तीनों का कारण अलग-अलग घनत्व वाली वायु की परतों से गुज़रते प्रकाश का मुड़ना है; इसके विपरीत, उगते सूर्य का लाल रंग प्रकीर्णन के कारण होता है। · 12. (d) हर छोटी दरार पिनहोल की तरह सूर्य का प्रतिबिंब बनाती है, सामान्य दिन में गोल और जब चंद्रमा सूर्य का कुछ भाग ढक ले तब अर्धचंद्राकार; यह प्रकाश के सीधी रेखा में चलने का परिणाम है।

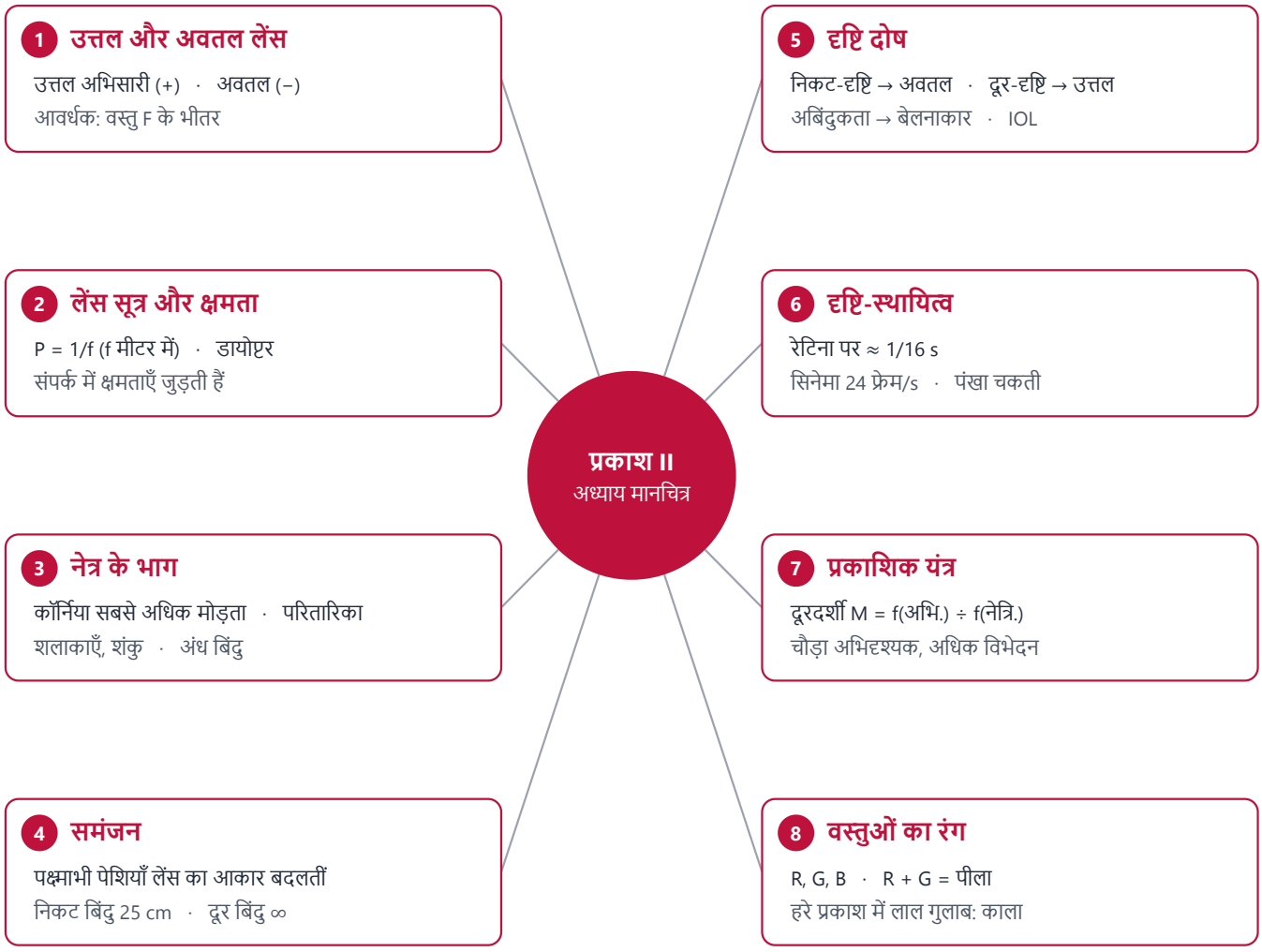
अध्याय 9

प्रकाश II: लेंस, मानव नेत्र और प्रकाशिक यंत्र

कौन-सा लेंस किस दृष्टि दोष को ठीक करता है, डायोप्टर में क्षमता, नेत्र के भाग, आवर्धक लेंस, दूरदर्शी की विभेदन क्षमता और रंगीन प्रकाश में वस्तुओं का रंग, यही सामान्य प्रश्न हैं।

पिछले प्रश्नपत्रों में 3 बार पूछा गया: BPSC 3

≈ 39 min पढ़ने में ≈ 5 min ★★★ दोहराने में दोहराएँ: दिन 1 · दिन 3 · दिन 7 · दिन 21



रिवीज़न कार्ड

1. उत्तल लेंस: बीच में मोटा, अभिसारी, f और क्षमता धनात्मक। अवतल लेंस: बीच में पतला, अपसारी, f और क्षमता ऋणात्मक।
2. आवर्धक लेंस = उत्तल लेंस, जिसकी फोकस दूरी के भीतर वस्तु रखी हो: आभासी, सीधा, बड़ा प्रतिबिंब।
3. अवतल लेंस सदा आभासी, सीधा, छोटा प्रतिबिंब बनाता है।
4. क्षमता P = 1/f (f मीटर में), मात्रक डायोप्टर (D)। f = 50 cm → +2 D। संपर्क में रखे लेंसों की क्षमताएँ सीधे जुड़ जाती हैं।
5. लेंस का कुछ भाग ढकने (या उस पर पट्टियाँ रँगने) पर भी पूरा प्रतिबिंब बनता है, केवल कम चमकीला।
6. नेत्र: कॉर्निया सबसे अधिक अपवर्तन करता है; परितारिका पुतली को नियंत्रित करती है; पक्ष्माभी पेशियाँ लेंस का आकार बदलती हैं (समंजन); रेटिना में शलाकाएँ (मंद प्रकाश) और शंकु (रंग) होते हैं; अंध बिंदु पर दोनों नहीं होते।
7. रेटिना पर प्रतिबिंब वास्तविक और उल्टा होता है। सामान्य नेत्र: निकट बिंदु 25 cm, दूर बिंदु अनंत।
8. निकट-दृष्टि दोष → अवतल लेंस; दूर-दृष्टि दोष → उत्तल लेंस; जरा-दूरदृष्टिता → द्विफोकसी/प्रोग्रेसिव लेंस; अबिंदुकता → बेलनाकार लेंस; मोतियाबिंद → शल्य-चिकित्सा से अंतःनेत्र लेंस।
9. रतौंधी: शलाकाओं में रोडॉप्सिन की कमी, जो विटामिन A से बनता है। वर्णांधता: दोषपूर्ण शंकु, वंशानुगत, पुरुषों में अधिक।
10. दृष्टि-स्थायित्व ≈ 1/16 s: सिनेमा, घूमता पंखा चकती जैसा दिखता है।
11. दूरदर्शी की विभेदन क्षमता अभिदृश्यक के व्यास के साथ बढ़ती है; सभी बड़े दूरदर्शी परावर्ती हैं। भारत का सबसे बड़ा प्रकाशिक दूरदर्शी: देवस्थल (नैनीताल) में 3.6 m।
12. प्रकाश के प्राथमिक रंग: लाल, हरा, नीला; R+G = पीला, G+B = सियान, B+R = मैजेंटा, तीनों मिलकर = सफेद।

उत्तल और अवतल लेंस

उत्तल: अभिसारी

अवतल: अपसारी

आवर्धक लेंस

आधा लेंस ढका

वस्तु $2F_1$ पर

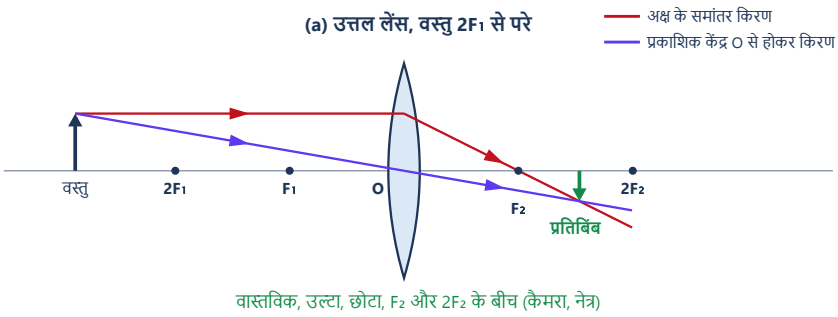
लेंस (Lens) वक्र सतहों वाला काँच का टुकड़ा है। प्रकाश दोनों सतहों पर मुड़ता है, इसलिए **बीच में मोटा** लेंस (उत्तल, Convex) किरणों को भीतर की ओर मोड़कर एक बिंदु पर मिलाता है: यह प्रकाश को **अभिसरित (Converge)** करता है। **बीच में पतला** लेंस (अवतल, Concave) उन्हें बाहर की ओर मोड़ता है: यह प्रकाश को **अपसरित (Diverge)** करता है, इसलिए किरणें उसके पीछे के एक बिंदु से आती हुई केवल प्रतीत होती हैं।

उत्तल बनाम अवतल लेंस ★★★

विशेषता	उत्तल लेंस	अवतल लेंस
आकार	केंद्र पर मोटा	केंद्र पर पतला
समांतर किरणों पर प्रभाव	उन्हें वास्तविक फोकस पर मिलाता है	उन्हें आभासी फोकस से फैलाता है
फोकस दूरी और क्षमता	धनात्मक (+)	ऋणात्मक (−)
प्रतिबिंब	वस्तु की स्थिति के अनुसार वास्तविक या आभासी	सदा आभासी, सीधा, छोटा
उपयोग	आवर्धक लेंस, कैमरा, प्रोजेक्टर, सूक्ष्मदर्शी, दूरदर्शी, दूर-दृष्टि दोष का चश्मा	निकट-दृष्टि दोष का चश्मा, दरवाज़े का झाँकने वाला छेद (पीपहोल), गैलीलियो दूरदर्शी की नेत्रिका

★★ **पद**: प्रकाशिक केंद्र (Optical centre) O (इससे गुज़रने वाली किरणें सीधी जाती हैं), दोनों ओर मुख्य फोकस F_1 और F_2, फोकस दूरी f = OF, फोकस दूरी की दोगुनी दूरी पर 2F।

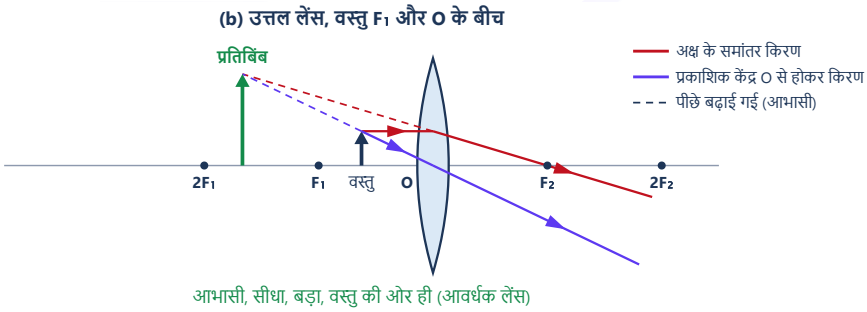
★ **तीन आसान किरणें**: अक्ष के समांतर किरण उत्तल लेंस के बाद F_2 से गुज़रती है (अवतल लेंस के बाद F_1 से आती प्रतीत होती है); O से होकर जाने वाली किरण सीधी जाती है; F_1 से होकर जाने वाली किरण समांतर निकलती है।



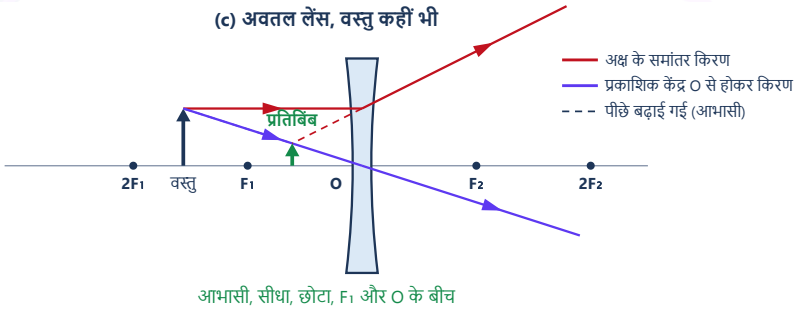
(a) उत्तल लेंस, वस्तु $2F_1$ से परे: वास्तविक, उल्टा, छोटा प्रतिबिंब F_2 और $2F_2$ के बीच, जैसे कैमरे और नेत्र में। पैमाने पर बना ($f = 80$ इकाई)।

उत्तल लेंस: प्रतिबिंब कहाँ बनता है ★★★

वस्तु की स्थिति	प्रतिबिंब की स्थिति	आकार	प्रकृति	उपयोग
अनंत पर	F_2 पर	बिंदु के आकार का	वास्तविक, उल्टा	धूप से कागज़ जलाना
$2F_1$ से परे	F_2 और $2F_2$ के बीच	छोटा	वास्तविक, उल्टा	कैमरा, मानव नेत्र
$2F_1$ पर	$2F_2$ पर	समान आकार	वास्तविक, उल्टा	फोटोकॉपी कैमरा
F_1 और $2F_1$ के बीच	$2F_2$ से परे	बड़ा	वास्तविक, उल्टा	प्रोजेक्टर, सूक्ष्मदर्शी का अभिदृश्यक
F_1 पर	अनंत पर	अत्यधिक बड़ा	वास्तविक, उल्टा	सर्चलाइट, समांतर किरण-पुंज
F_1 और O के बीच	वस्तु की ओर ही	बड़ा	आभासी, सीधा	आवर्धक लेंस, सरल सूक्ष्मदर्शी



(b) उत्तल लेंस, वस्तु F_1 और O के बीच: आभासी, सीधा, बड़ा प्रतिबिंब वस्तु की ओर ही बनता है; आवर्धक लेंस इसी तरह काम करता है। पैमाने पर बना ($f = 80$ इकाई)।



(c) अवतल लेंस: वस्तु कहीं भी हो, प्रतिबिंब आभासी, सीधा और छोटा, F_1 और O के बीच बनता है। पैमाने पर बना ($f = 80$ इकाई)।

★★★ **आवर्धक लेंस (Magnifying glass, पढ़ने का लेंस)** कम फोकस दूरी वाला **उत्तल लेंस** है, जिसे इस तरह पकड़ा जाता है कि वस्तु उसकी फोकस दूरी के भीतर रहे।

★★ **अवतल लेंस**: वस्तु कहीं भी हो, प्रतिबिंब आभासी, सीधा, छोटा और F_1 तथा O के बीच बनता है; अनंत पर रखी वस्तु का प्रतिबिंब F_1 पर बिंदु के रूप में बनता है।

★★★ **लेंस का कुछ भाग ढका हो**: लेंस का हर भाग वस्तु के हर बिंदु से प्रकाश पाता है, इसलिए लेंस का आधा भाग ढकने या उस पर काली पट्टियाँ रँगने पर भी **पूरा प्रतिबिंब** बनता है, केवल **कम चमकीला**।

★ **द्रव में रखा लेंस** कमज़ोर हो जाता है, क्योंकि अपवर्तनांक का अंतर घट जाता है; समान अपवर्तनांक वाले द्रव में यह प्रकाश को मोड़ना बंद कर देता है और लगभग अदृश्य हो जाता है।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** काली धारियाँ रँगे उत्तल लेंस से खींची गई सफेद घोड़े की फ़ोटो ज़ेबरा **नहीं** बनती। प्रतिबिंब पूरे घोड़े का ही बनता है, केवल धुँधला।

याद रखें: Convex = **con-verge** (अभिसरण), धन (+) चिह्न: यह प्रकाश को जोड़ता है। Concave = **cave** (गुफा) जो प्रकाश फैलाती है, ऋण (−) चिह्न। हिंदी में: **उत्तल = उभरा, अवतल = धँसा**।

झटपट जाँच

1. आवर्धक लेंस एक _____ लेंस है, जिसमें वस्तु उसकी फोकस दूरी के _____ रखी जाती है।
2. उत्तल लेंस का आधा भाग काले कागज़ से ढक दिया जाए तो प्रतिबिंब का क्या होगा?
3. अवतल लेंस सदा कैसा प्रतिबिंब बनाता है?

उत्तर: 1. उत्तल; भीतर (F_1 और O के बीच) · 2. पूरा प्रतिबिंब बनेगा, केवल कम चमकीला · 3. आभासी, सीधा, छोटा

लेंस सूत्र और क्षमता

लेंस सूत्र
P = 1/f
f मीटर में
डायोप्टर
क्षमताएँ जुड़ती हैं

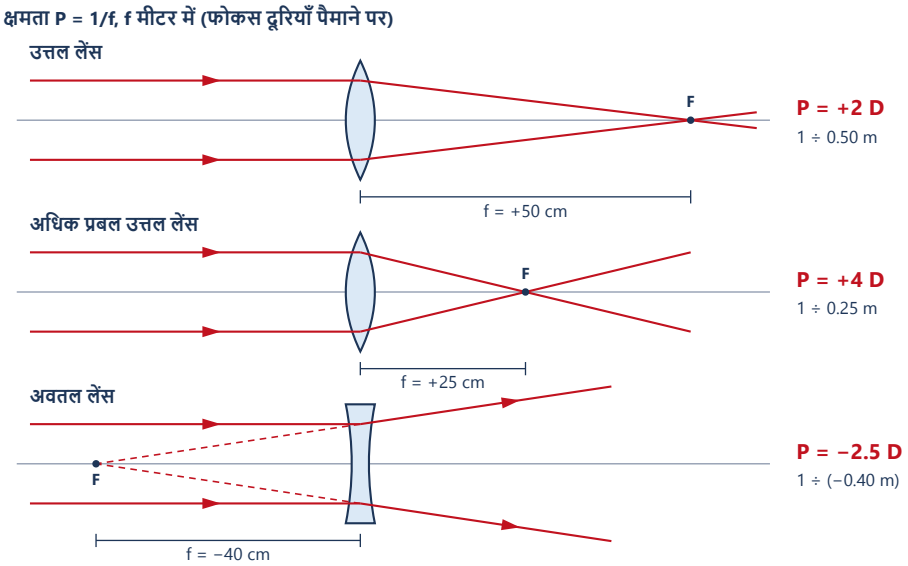
लेंस प्रकाश को जितना अधिक मोड़ता है, उसकी फोकस दूरी उतनी ही कम होती है। इसलिए मोड़ने की योग्यता, जिसे **क्षमता (Power)** कहते हैं, फोकस दूरी का व्युत्क्रम ही है। चश्मे के नंबर इसी मात्रक में लिखे जाते हैं।

★★ **लेंस सूत्र (Lens formula)**: $1/v - 1/u = 1/f$; आवर्धन $m = h'/h = v/u$। (चिह्न-परिपाटी दर्पण जैसी ही: दूरियाँ प्रकाशिक केंद्र से, प्रकाश के चलने की दिशा में धनात्मक।)

★★★ **क्षमता** $P = 1/f$, जिसमें f **मीटर** में हो। SI मात्रक: **डायोप्टर (Dioptre, D)** = m^{-1}। उत्तल लेंस: धनात्मक क्षमता; अवतल लेंस: ऋणात्मक क्षमता।

★★★ **उदाहरण**: f = +50 cm → P = +2 D; f = +25 cm → +4 D; −2.5 D का लेंस अवतल है और उसकी f = −40 cm है।

★★ **संपर्क में रखे लेंस**: कुल क्षमता = $P_1 + P_2 + \ldots$ उदाहरण के लिए, +2.0 D और −0.5 D साथ मिलकर +1.5 D लेंस की तरह काम करते हैं। कैमरा और सूक्ष्मदर्शी के अभिदृश्यक लेंसों को इसी तरह जोड़ते हैं।



क्षमता पैमाने पर (1 cm = 5 इकाई)। फोकस दूरी आधी करने पर क्षमता दुगुनी हो जाती है: f = 50 cm से +2 D, f = 25 cm से +4 D। f = −40 cm का अवतल लेंस किरणों को ऐसे फैलाता है मानो वे उसके सामने के F से आ रही हों: P = −2.5 D।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** क्षमता में फोकस दूरी **मीटर** में ली जाती है, सेंटीमीटर में नहीं। 20 cm के उत्तल लेंस की क्षमता +5 D है, +0.05 D नहीं।

☑ झटपट जाँच

1. 25 cm फोकस दूरी वाले उत्तल लेंस की क्षमता?
2. लेंस की क्षमता का SI मात्रक?
3. +2.0 D और −0.5 D के लेंस संपर्क में हैं। कुल क्षमता?

उत्तर: 1. +4 D (P = 1/0.25 m) · 2. डायोप्टर (D) = m^{-1} · 3. +1.5 D (क्षमताएँ जुड़ती हैं)

मानव नेत्र: भाग और उनके कार्य

कॉर्निया

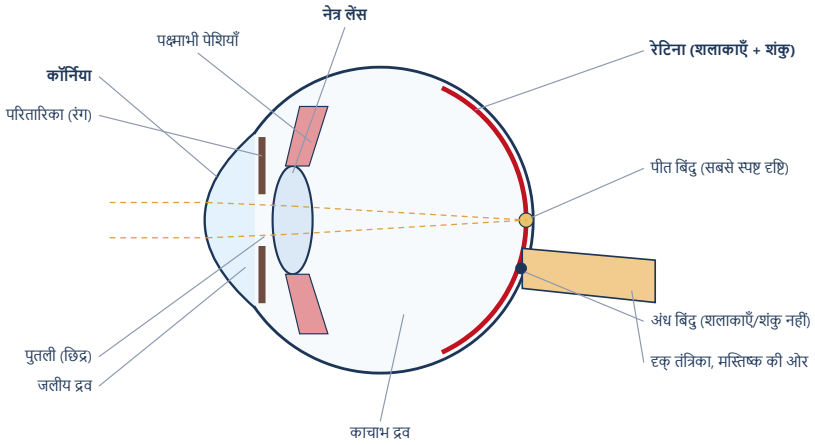
परितारिका और पुतली

शलाकाएँ और शंकु

अंध बिंदु

वास्तविक, उल्टा प्रतिबिंब

नेत्र एक जीवित कैमरा है। **कॉर्निया (Cornea) और लेंस** प्रकाश को मोड़कर पीछे **रेटिना (Retina)** पर स्पष्ट प्रतिबिंब बनाते हैं। रेटिना की प्रकाश-संवेदी कोशिकाएँ प्रतिबिंब को तंत्रिका संकेतों में बदलती हैं, और **दृक् तंत्रिका (Optic nerve)** उन्हें मस्तिष्क तक ले जाती है, जो उनका अर्थ समझता है।



रेटिना पर प्रतिबिंब वास्तविक, उल्टा और छोटा होता है; मस्तिष्क उसे सीधा कर देता है

मानव नेत्र का काट-चित्र। प्रकाश अधिकतर कॉर्निया पर मुड़ता है, लेंस उसे बारीकी से फोकस करता है और रेटिना पर प्रतिबिंब बनता है; अंध बिंदु वहाँ है जहाँ से दृक् तंत्रिका निकलती है।

नेत्र के भाग ★★★

भाग	यह क्या है	कार्य
कॉर्निया (Cornea)	पारदर्शी अग्र उभार	प्रकाश का **सबसे अधिक अपवर्तन** करता है; नेत्रदान के बाद यही भाग प्रत्यारोपित होता है
श्वेतपटल (Sclera)	मज़बूत सफेद बाहरी परत	नेत्र-गोलक की रक्षा करता है
परितारिका (Iris)	रंगीन पेशीय वलय	पुतली का आकार नियंत्रित करती है; आँख को उसका रंग देती है
पुतली (Pupil)	परितारिका के केंद्र में छेद	प्रकाश को भीतर आने देती है; तेज़ प्रकाश में सिकुड़ती, मंद प्रकाश में फैलती है
जलीय द्रव (Aqueous humour)	कॉर्निया के पीछे पानी जैसा द्रव	आकार बनाए रखता है, कॉर्निया और लेंस को पोषण देता है
नेत्र लेंस (Eye lens)	लचीला, पारदर्शी, उत्तल	अपनी वक्रता बदलकर सूक्ष्म फोकस करता है
पक्ष्माभी पेशियाँ (Ciliary muscles)	लेंस को थामने वाला पेशी-वलय	लेंस की मोटाई बदलती हैं (समंजन)
काचाभ द्रव (Vitreous humour)	नेत्र-गोलक को भरने वाली पारदर्शी जेली	नेत्र-गोलक को गोल बनाए रखता है
रेटिना (Retina)	पीछे की प्रकाश-संवेदी भीतरी परत	पर्दा, जिस पर प्रतिबिंब बनता है
शलाकाएँ (Rods)	रेटिना की कोशिकाएँ (लगभग 120 मिलियन)	मंद प्रकाश और श्वेत-श्याम दृष्टि; रोडॉप्सिन (Rhodopsin) वर्णक आवश्यक
शंकु (Cones)	रेटिना की कोशिकाएँ (लगभग 6 मिलियन)	तेज़ प्रकाश और रंगीन दृष्टि (तीन प्रकार: लाल, हरा, नीला)
पीत बिंदु (Yellow spot) (मैक्युला, फोविया)	लेंस के ठीक सामने का छोटा क्षेत्र	सबसे स्पष्ट दृष्टि; शंकुओं से भरा
अंध बिंदु (Blind spot)	जहाँ दृक् तंत्रिका रेटिना से निकलती है	शलाकाएँ या शंकु नहीं, इसलिए वहाँ दृष्टि नहीं
दृक् तंत्रिका (Optic nerve)	तंत्रिका तंतुओं का बंडल	संकेतों को मस्तिष्क तक ले जाती है

★★★ **रेटिना पर प्रतिबिंब वास्तविक, उल्टा और छोटा** होता है; मस्तिष्क उसे सीधा समझता है।

★★ **कॉर्निया** नेत्र की फोकस करने की क्षमता का लगभग दो-तिहाई भाग देता है; शेष, बदला जा सकने वाला भाग लेंस जोड़ता है।

★★ **पुतली प्रतिवर्त (Pupil reflex)**: तेज़ धूप से अँधेरे सिनेमा हॉल में जाने पर पहले कम दिखता है, जब तक पुतली फैल न जाए और शलाकाएँ अनुकूलित न हो जाएँ।

★ **दो आँखें** अधिक विस्तृत दृष्टि-क्षेत्र (एक आँख के लगभग 150° की तुलना में लगभग 180°) और **गहराई का बोध** देती हैं, क्योंकि हर आँख थोड़े अलग कोण से देखती है।

याद रखें: कैमरा ↔ नेत्र: **लेंस ↔ लेंस, डायाफ्राम ↔ परितारिका, द्वारक (एपर्चर) ↔ पुतली, फ़िल्म/सेंसर ↔ रेटिना, शटर ↔ पलक**।

झटपट जाँच

1. नेत्र का कौन-सा भाग प्रकाश को सबसे अधिक मोड़ता है?
2. पुतली का आकार कौन-सा भाग नियंत्रित करता है?
3. रेटिना पर बना प्रतिबिंब वास्तविक है या आभासी, सीधा या उल्टा?

उत्तर: 1. कॉर्निया (लगभग दो-तिहाई) · 2. परितारिका · 3. वास्तविक, उल्टा (और छोटा)

नेत्र फोकस कैसे करता है: समंजन

समंजन

पक्ष्माभी पेशियाँ

निकट बिंदु 25 cm

दूर बिंदु ∞

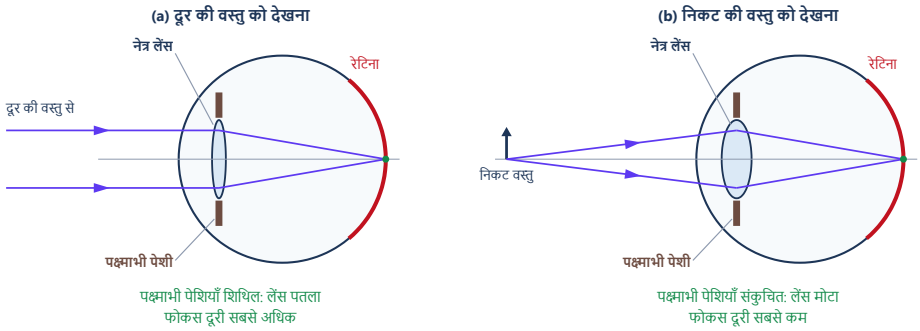
कैमरा अपना लेंस आगे-पीछे खिसकाकर फोकस करता है। नेत्र अपना लेंस खिसका नहीं सकता, इसलिए वह **लेंस का आकार बदलता है**। दूर देखते समय पक्ष्माभी पेशियाँ ढीली होती हैं और लेंस पतला हो जाता है (फोकस दूरी अधिक)। पास देखते समय वे सिकुड़ती हैं और लेंस मोटा हो जाता है (फोकस दूरी कम)। इस क्षमता को **समंजन (Accommodation)** कहते हैं।

★★★ **समंजन क्षमता**: पक्ष्माभी पेशियों (Ciliary muscles) की सहायता से नेत्र लेंस की फोकस दूरी बदलने की नेत्र की क्षमता, जिससे पास और दूर की दोनों वस्तुएँ रेटिना पर फोकस हों।

★★★ सामान्य वयस्क नेत्र का **निकट बिंदु (Near point)** = **25 cm** (स्पष्ट दृष्टि की न्यूनतम दूरी); **दूर बिंदु (Far point)** = **अनंत**। इसलिए सामान्य नेत्र 25 cm से अनंत तक स्पष्ट देखता है।

★★ **दूर की वस्तु**: पक्ष्माभी पेशियाँ **शिथिल**, लेंस पतला, फोकस दूरी अधिकतम। **पास की वस्तु**: पेशियाँ **संकुचित**, लेंस मोटा, फोकस दूरी न्यूनतम।

★ **आयु के साथ निकट बिंदु बदलता है**: छोटे बच्चे के लिए कुछ सेंटीमीटर, युवा वयस्क के लिए लगभग 25 cm, बुढ़ापे में एक मीटर या अधिक।



एक मॉडल नेत्र में समंजन: कॉर्निया और लेंस को एक पतले लेंस की तरह दिखाया गया है, और निकट वस्तु 25 cm से कहीं पास बनाई गई है (पैमाने पर नहीं)। (a) दूर की वस्तु: पक्ष्माभी पेशियाँ शिथिल होती हैं, लेंस पतला रहता है और समांतर किरणें रेटिना पर फोकस होती हैं। (b) निकट की वस्तु: पेशियाँ संकुचित होती हैं, लेंस मोटा हो जाता है और उसकी छोटी फोकस दूरी किरणों को उसी रेटिना पर ले आती है।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** दूर देखने के लिए पक्ष्माभी पेशियाँ **शिथिल** होती हैं (कसती नहीं)। घंटों पढ़ने से आँखें थकती हैं, क्योंकि पेशियाँ लगातार संकुचित रहती हैं।

☑ झटपट जाँच

1. सामान्य नेत्र के निकट बिंदु और दूर बिंदु?
2. दूर की वस्तु देखते समय पक्ष्माभी पेशियाँ शिथिल होती हैं या संकुचित?
3. नेत्र लेंस की फोकस दूरी बदलने की नेत्र की क्षमता _____ कहलाती है।

उत्तर: 1. 25 cm और अनंत · 2. शिथिल: लेंस पतला, फोकस दूरी सबसे अधिक · 3. समंजन

दृष्टि दोष और उनका निवारण

निकट-दृष्टि: अवतल

दूर-दृष्टि: उत्तल

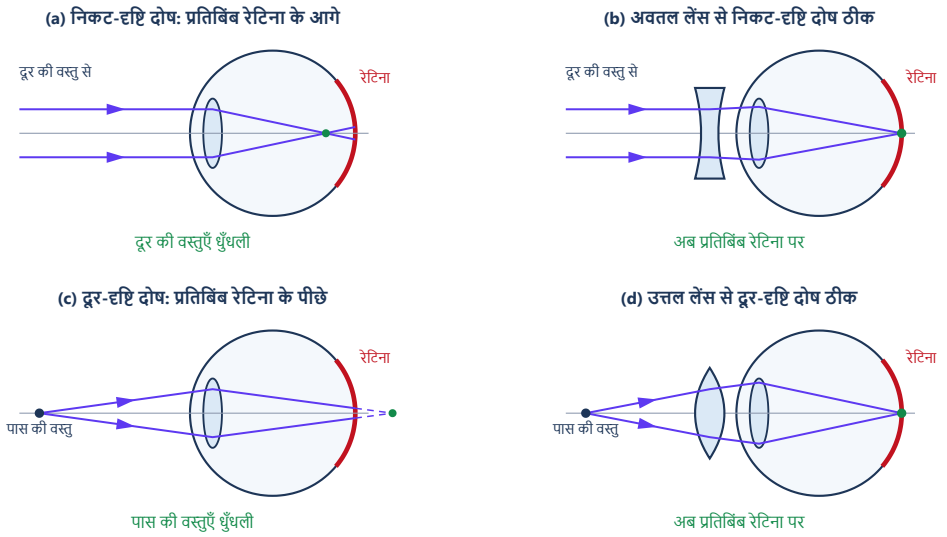
जरा-दूरदर्शिता: द्विफोकसी

अबिंदुकता: बेलनाकार

मोतियाबिंद: IOL

रतौंधी: विटामिन A

दोषपूर्ण नेत्र प्रतिबिंब को रेटिना के या तो **आगे** बनाता है या **पीछे**। चश्मा एक ऐसा लेंस जोड़ता है जो इस त्रुटि को मिटा दे: अवतल लेंस किरणों को थोड़ा फैलाता है ताकि वे और पीछे मिलें; उत्तल लेंस उन्हें अभिसरित करता है ताकि वे जल्दी मिलें।



एक मॉडल नेत्र के लिए गणना करके बनाए गए किरण-पथ। (a) निकट-दृष्टि दोष: समांतर किरणें रेटिना से पहले मिलती हैं। (b) अवतल लेंस उन्हें रेटिना पर मिलाता है। (c) दूर-दृष्टि दोष: पास की वस्तु की किरणें रेटिना के पीछे मिलतीं। (d) उत्तल लेंस उन्हें रेटिना पर ले आता है।

दृष्टि दोष ★★★

दोष	देख सकता है	नहीं देख सकता	कारण	प्रतिबिंब बनता है	निवारण
निकट-दृष्टि दोष (Myopia)	पास की वस्तुएँ	दूर की वस्तुएँ	नेत्र-गोलक बहुत लंबा, या लेंस की वक्रता बहुत अधिक	रेटिना के आगे	**अवतल** लेंस (ऋणात्मक क्षमता)
दूर-दृष्टि दोष (Hypermetropia)	दूर की वस्तुएँ	पास की वस्तुएँ (निकट बिंदु 25 cm से परे)	नेत्र-गोलक बहुत छोटा, या लेंस बहुत कमज़ोर	रेटिना के पीछे	**उत्तल** लेंस (धनात्मक क्षमता)
जरा-दूरदृष्टिता (Presbyopia, बुढ़ापे की दृष्टि)	सामान्यतः दूर की	पास की वस्तुएँ	आयु के साथ पक्ष्माभी पेशियाँ कमज़ोर, लेंस कठोर	पास की वस्तुओं के लिए रेटिना के पीछे	पढ़ने के लिए उत्तल चश्मा; **द्विफोकसी** (Bifocal) (ऊपरी भाग अवतल दूर के लिए, निचला भाग उत्तल पास के लिए) या **प्रोग्रेसिव** लेंस
अबिंदुकता (Astigmatism)	एक दिशा की रेखाएँ अन्य से अधिक स्पष्ट	सब कुछ पूरी तरह स्पष्ट	कॉर्निया की असमान वक्रता	एक बिंदु पर नहीं	**बेलनाकार** (Cylindrical) लेंस
मोतियाबिंद (Cataract)	धुँधला, बादल जैसा, फीका दृश्य	तीखा, चमकीला विवरण	नेत्र लेंस धुँधला हो जाता है (आयु, मधुमेह, UV)	धुँधला: धुँधला लेंस प्रकाश बिखेर देता है	**शल्य-चिकित्सा**: धुँधले लेंस की जगह कृत्रिम **अंतःनेत्र लेंस (IOL)** लगाया जाता है

★★ **लेसिक (LASIK)** पराबैंगनी (एक्साइमर) लेज़र से कॉर्निया का आकार बदलकर निकट-दृष्टि दोष, दूर-दृष्टि दोष और अबिंदुकता को बिना चश्मे के ठीक करता है।

★ **ग्लूकोमा (Glaucoma, काला मोतिया)**: आँख के भीतर द्रव का बढ़ता दबाव धीरे-धीरे दृक् तंत्रिका को क्षति पहुँचाता है; उपचार न हो तो स्थायी अंधापन हो जाता है।

★★★ **वर्णांधता (Colour blindness)**: कुछ **शंकु** अनुपस्थित या दोषपूर्ण होते हैं, प्रायः लाल-हरे का भ्रम। यह **वंशानुगत** है (जीन X गुणसूत्र पर), इसलिए **पुरुषों** में (लगभग 8%) महिलाओं से कहीं अधिक होती है; इसका कोई इलाज नहीं है और इसकी जाँच इशिहारा (Ishihara) बिंदु परीक्षण से होती है।

★★★ **रतौंधी (Night blindness)**: मंद प्रकाश में **शलाकाएँ** काम नहीं कर पातीं, क्योंकि **रोडॉप्सिन** वर्णक के लिए **विटामिन A** चाहिए; विटामिन A की कमी से यह होती है (गाजर, हरी पत्तेदार सब्ज़ियाँ, आम, पपीता, अंडे सहायक हैं)।

★★ **नेत्रदान**: **कॉर्निया** ही प्रत्यारोपित किया जाता है; इसे मृत्यु के कुछ घंटों के भीतर लिया जा सकता है।

याद रखें: Myopia → **M**inus (ऋण) लेंस; **Hyper**metropia → **H**igher, plus (धन) लेंस। निकट-दृष्टि (short-sighted) आँख का नेत्र-गोलक **लंबा** होता है; दूर-दृष्टि (long-sighted) आँख का **छोटा**, नामों के ठीक उल्टा।

परीक्षा में सावधान: द्विफोकसी लेंस जरा-दूरदृष्टिता (एक साथ दो दोष) के लिए हैं, अबिंदुकता के लिए नहीं। अबिंदुकता के लिए **बेलनाकार** लेंस चाहिए।

झटपट जाँच

1. निकट-दृष्टि दोष किस लेंस से ठीक होता है, और दूर-दृष्टि दोष किससे?
2. अबिंदुकता किस लेंस से ठीक होती है?
3. रतौंधी: किस विटामिन की कमी, और कौन-सी कोशिकाएँ काम नहीं करतीं?

उत्तर: 1. निकट-दृष्टि: अवतल; दूर-दृष्टि: उत्तल · 2. बेलनाकार · 3. विटामिन A; शलाकाएँ (रोडॉप्सिन)

दृष्टि-स्थायित्व

1/16 s

24 फ्रेम/s

पंखा चकती जैसा

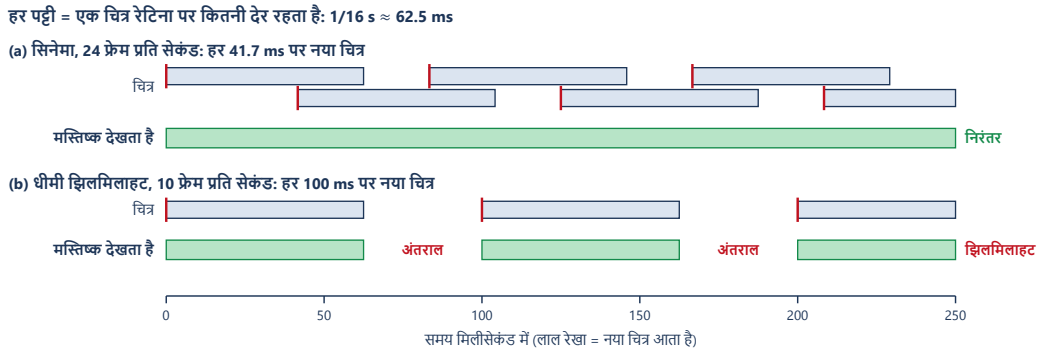
चकरी का घेरा

प्रकाश हट जाने के बाद भी रेटिना थोड़ी देर तक प्रतिबिंब को बनाए रखता है। यदि नए प्रतिबिंब इससे तेज़ी से आएँ, तो मस्तिष्क उन्हें मिलाकर सहज गति बना देता है।

★★★ **दृष्टि-स्थायित्व (Persistence of vision)**: रेटिना पर किसी दृश्य की छाप लगभग **1/16 सेकंड** तक बनी रहती है।

★★★ **सिनेमा** इसी पर चलता है: फ़िल्में **प्रति सेकंड 24 फ्रेम** दिखाती हैं, जो 16 से अधिक है, इसलिए अलग-अलग स्थिर चित्र लगातार गति जैसे दिखते हैं।

★★ **रोज़मर्रा के उदाहरण**: तेज़ घूमता छत का पंखा ठोस चकती जैसा दिखता है; घुमाई गई फुलझड़ी या घूमती चकरी प्रकाश का वलय बनाती है; तेज़ घुमाई गई न्यूटन की रंग-चकती लगभग सफेद दिखती है; गिरती वर्षा-बूँदें धारियों जैसी दिखती हैं।



दृष्टि-स्थायित्व, समय पैमाने पर। हर चित्र रेटिना पर लगभग 1/16 s (62.5 ms) तक रहता है। (a) 24 फ्रेम प्रति सेकंड पर हर 41.7 ms में नया चित्र पिछले के मिटने से पहले आ जाता है, इसलिए मस्तिष्क निरंतर गति देखता है। (b) 10 फ्रेम प्रति सेकंड पर चित्रों के बीच अंतराल आ जाते हैं और परदा झिलमिलाता दिखता है।

याद रखें: Sweet sixteen (स्वीट सिक्सटीन): 1/16 s। सिनेमा 24 फ्रेम चलाता है, जो प्रति सेकंड 16 से निश्चित रूप से अधिक है।

झटपट जाँच

1. कोई छवि रेटिना पर कितनी देर बनी रहती है?
2. 24 फ्रेम प्रति सेकंड पर दिखाई गई फ़िल्म निरंतर क्यों लगती है?

उत्तर: 1. लगभग 1/16 s · 2. हर फ्रेम पिछली छवि के मिटने से पहले आ जाता है (24 > 16 प्रति सेकंड)

प्रकाशिक यंत्र

सूक्ष्मदर्शी, दूरदर्शी

प्रकाशिक यंत्र (Optical instruments) या तो पास की छोटी वस्तु को बड़ा दिखाते हैं (सूक्ष्मदर्शी), या दूर की वस्तु को पास ले आते हैं (दूरदर्शी, दूरबीन), या बाधा के पार देखने देते हैं (परिदर्शी)। अधिकांश उत्तल लेंसों, अवतल दर्पणों और

M = f(अभि.) ÷ f(नेत्रि.)

विभेदन क्षमता

परावर्ती दूरदर्शी

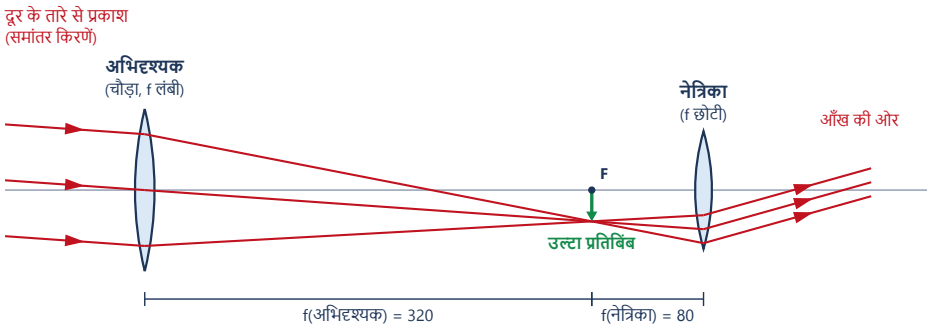
देवस्थल 3.6 m

कैमरा ↔ नेत्र

प्रिज्मों के संयोजन हैं।

यंत्र एक नज़र में ★★★

यंत्र	किससे बना है	अंतिम प्रतिबिंब	मुख्य तथ्य / उपयोग
सरल सूक्ष्मदर्शी (Simple microscope, आवर्धक)	कम फोकस दूरी का एक उत्तल लेंस	आभासी, सीधा, बड़ा	घड़ीसाज़, जौहरी, बारीक छपाई पढ़ना
संयुक्त सूक्ष्मदर्शी (Compound microscope)	दो उत्तल लेंस: अभिदृश्यक (Objective) (बहुत कम f) और नेत्रिका (Eyepiece)	आभासी, उल्टा, अत्यधिक बड़ा	कोशिकाएँ, जीवाणु; आवर्धन = अभिदृश्यक × नेत्रिका
खगोलीय (अपवर्ती) दूरदर्शी (Astronomical telescope)	दो उत्तल लेंस: अभिदृश्यक (अधिक f, चौड़ा) और नेत्रिका (कम f)	उल्टा	आवर्धन क्षमता = f(अभिदृश्यक) / f(नेत्रिका); तारों के लिए उल्टे प्रतिबिंब से कोई फ़र्क नहीं पड़ता
पार्थिव दूरदर्शी (Terrestrial telescope)	तीन उत्तल लेंस (एक अतिरिक्त सीधा करने वाला लेंस)	सीधा	ज़मीन पर दूर की वस्तुएँ देखना; लंबी नली
गैलीलियो दूरदर्शी (Galilean telescope)	उत्तल अभिदृश्यक + अवतल नेत्रिका	सीधा	गैलीलियो (Galileo), 1609; ऑपेरा ग्लास
परावर्ती दूरदर्शी (Reflecting telescope)	अभिदृश्यक के रूप में बड़ा अवतल दर्पण (न्यूटन, 1668)	डिज़ाइन पर निर्भर	सभी बड़े अनुसंधान दूरदर्शी
दूरबीन (Binoculars)	दो छोटे दूरदर्शी + समकोण प्रिज्म	सीधा	प्रिज्म पूर्ण आंतरिक परावर्तन से प्रतिबिंब को सीधा करते हैं और प्रकाश-पथ को मोड़कर छोटा करते हैं
परिदर्शी (Periscope)	45° पर दो समतल दर्पण (या प्रिज्म)	सीधा, समान आकार	पनडुब्बियाँ, टैंक, खाइयाँ
प्रोजेक्टर	उत्तल लेंस; स्लाइड F और 2F के बीच, उल्टी रखी जाती है	वास्तविक, उल्टा, पर्दे पर बड़ा	सिनेमा, कक्षा का प्रोजेक्टर
कैमरा	उत्तल लेंस तंत्र + सेंसर/फ़िल्म	वास्तविक, उल्टा, छोटा	नेत्र की तरह काम करता है



आवर्धन क्षमता = f(अभिदृश्यक) ÷ f(नेत्रिका) = 320 ÷ 80 = 4

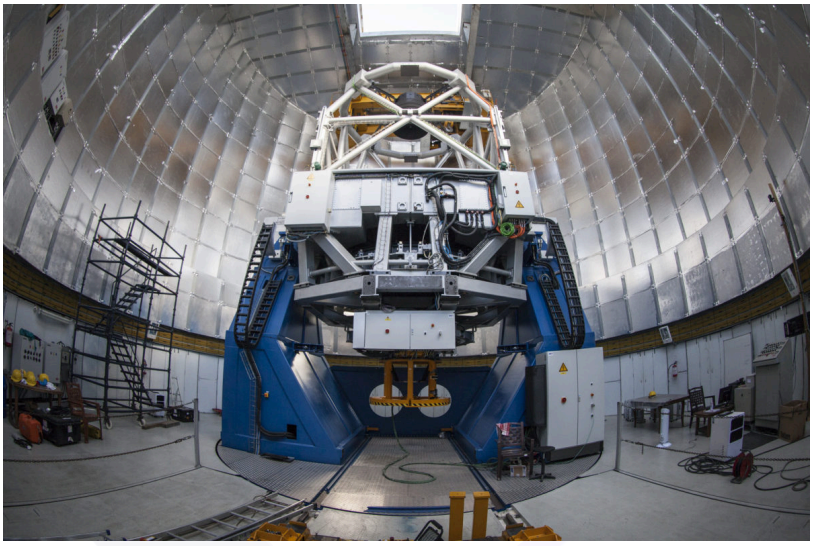
खगोलीय दूरदर्शी, पैमाने पर: फोकस दूरियाँ 320 और 80 इकाई, तारे का प्रकाश अक्ष से 4° झुका हुआ। अभिदृश्यक अपने फोकस पर वास्तविक, उल्टा प्रतिबिंब बनाता है; नेत्रिका, जिसका फोकस उसी बिंदु पर है, किरणों को फिर समांतर कर देती है, पर अब 4 गुना अधिक ढाल के साथ। आवर्धन क्षमता = f(अभिदृश्यक) ÷ f(नेत्रिका) = 4।

★★★ दूरदर्शी की **विभेदन क्षमता (Resolving power)** (दो पास-पास के तारों को अलग दिखाने की क्षमता) **अभिदृश्यक के व्यास के साथ बढ़ती है**; चौड़ा अभिदृश्यक अधिक प्रकाश भी एकत्र करता है, इसलिए मंद वस्तुएँ भी दिखने लगती हैं।

★★★ **बड़े दूरदर्शी परावर्ती क्यों होते हैं**: दर्पण में वर्ण विपथन (Chromatic aberration) नहीं होता (वह सभी रंगों को एक जैसा परावर्तित करता है), उसे पीछे से सहारा दिया जा सकता है, केवल एक सतह चमकानी होती है और उसे बहुत बड़ा बनाया जा सकता है; बड़े लेंस झुक जाते हैं और रंगों को अलग कर देते हैं। अनुसंधान के लिए बना अब तक का सबसे बड़ा अपवर्ती दूरदर्शी, यर्किस वेधशाला (Yerkes Observatory, अमेरिका, 1897) का, केवल लगभग 1 m (40 इंच) चौड़े लेंस वाला है।

★★ **सूक्ष्मदर्शी की विभेदन क्षमता** कम तरंगदैर्ध्य के साथ सुधरती है; **इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शी (Electron microscope)** प्रकाश से कहीं कम तरंगदैर्ध्य वाले इलेक्ट्रॉन-पुंज का उपयोग करते हैं और कहीं अधिक बारीक विवरण देखते हैं।

★ **दूरबीन पर अंकन** 7 × 50 का अर्थ है आवर्धन 7 और अभिदृश्यक लेंस 50 mm चौड़े।



नैनीताल के पास 3.6 m देवस्थल प्रकाशिक दूरदर्शी का गुंबद, भारत का सबसे बड़ा प्रकाशिक दूरदर्शी (2016 से कार्यरत)। हर बड़े अनुसंधान दूरदर्शी की तरह इसका अभिदृश्यक भी लेंस नहीं, दर्पण है। चित्र: Ajay Talwar, Wikimedia Commons, CC BY 4.0

जानने योग्य दूरदर्शी (नवंबर 2026 तक) ★★

दूरदर्शी	प्रकार	मुख्य तथ्य
हबल अंतरिक्ष दूरदर्शी (Hubble Space Telescope)	परावर्ती, 2.4 m दर्पण, पृथ्वी की कक्षा में	नासा–ईसा (NASA–ESA), 1990 में प्रक्षेपित; वायुमंडल के ऊपर, इसलिए टिमटिमाहट के बिना स्पष्ट चित्र
जेम्स वेब अंतरिक्ष दूरदर्शी (James Webb Space Telescope, JWST)	परावर्ती, 6.5 m सोने की परत वाला खंडित दर्पण, अवरक्त	नासा–ईसा–सीएसए (NASA–ESA–CSA), 25 दिसंबर 2021 को प्रक्षेपित; सूर्य–पृथ्वी L2 बिंदु पर काम करता है, पृथ्वी से लगभग 1.5 मिलियन km दूर
देवस्थल प्रकाशिक दूरदर्शी (Devasthal Optical Telescope, DOT)	परावर्ती, **3.6 m**	**भारत का सबसे बड़ा प्रकाशिक दूरदर्शी**; एरीज़ (ARIES), देवस्थल, नैनीताल के पास, उत्तराखंड; 2016 से कार्यरत, बेल्जियम के सहयोग से बना
अंतरराष्ट्रीय तरल दर्पण दूरदर्शी (International Liquid Mirror Telescope, ILMT)	तरल पारे का 4 m घूमता दर्पण	देवस्थल; भारत का पहला तरल-दर्पण दूरदर्शी, 2022 में प्रेक्षण शुरू
जायंट मीटरवेव रेडियो टेलीस्कोप (Giant Metrewave Radio Telescope, GMRT)	रेडियो: 30 डिश, प्रत्येक 45 m चौड़ी	नारायणगाँव, पुणे के पास; एनसीआरए-टीआईएफआर (NCRA-TIFR) द्वारा संचालित; मीटर-तरंगदैर्ध्य की रेडियो तरंगों का अध्ययन
हिमालयन चंद्र दूरदर्शी (Himalayan Chandra Telescope)	प्रकाशिक, 2 m	हानले, लद्दाख (भारतीय ताराभौतिकी संस्थान), विश्व की सबसे ऊँची वेधशालाओं में से एक
वेणु बापू दूरदर्शी (Vainu Bappu Telescope)	परावर्ती, 2.3 m	वेणु बापू वेधशाला, कावलूर (Kavalur), तमिलनाडु; भारतीय ताराभौतिकी संस्थान द्वारा संचालित; 1986 से कार्यरत
एस्ट्रोसैट (AstroSat)	अंतरिक्ष वेधशाला	भारत की पहली समर्पित बहु-तरंगदैर्ध्य अंतरिक्ष वेधशाला, इसरो (ISRO) ने 2015 में प्रक्षेपित की
एक्सट्रीमली लार्ज टेलीस्कोप (Extremely Large Telescope, ELT)	परावर्ती, 39 m	ईएसओ (ESO), चिली; निर्माणाधीन, पहला प्रकाश 2029 के लिए नियोजित। भारत अलग थर्टी मीटर टेलीस्कोप (Thirty Meter Telescope) परियोजना में साझेदार है

कैमरा और नेत्र की तुलना ★★

कैमरा	नेत्र
लेंस	कॉर्निया + नेत्र लेंस
डायाफ्राम	परितारिका
द्वारक (एपर्चर)	पुतली
फ़िल्म / सेंसर	रेटिना
शटर	पलक
लेंस को खिसकाकर फोकस करता है	लेंस का आकार बदलकर फोकस करता है (समंजन)
गहरी भीतरी परत	रक्तक पटल (Choroid) (भटके प्रकाश को रोकने वाली गहरी परत)

★★ **चश्मे**: दूर-दृष्टि दोष और पढ़ने के लिए उत्तल लेंस, निकट-दृष्टि दोष के लिए अवतल, अबिंदुकता के लिए बेलनाकार; फोटोक्रोमिक (Photochromic) लेंस धूप में गहरे हो जाते हैं, क्योंकि पराबैंगनी प्रकाश उनकी रासायनिक संरचना बदल देता है।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** दूरदर्शी की विभेदन क्षमता अभिदृश्यक के **व्यास** पर निर्भर है, उसकी फोकस दूरी या नेत्रिका पर नहीं। नेत्रिका का अधिक आवर्धन केवल धुँधलेपन को बड़ा करता है।

☑ झटपट जाँच

1. दूरदर्शी की विभेदन क्षमता उसके अभिदृश्यक के _____ के साथ बढ़ती है।
2. सभी बड़े अनुसंधान दूरदर्शी परावर्ती क्यों होते हैं?
3. भारत का सबसे बड़ा प्रकाशिक दूरदर्शी कौन-सा है, और कहाँ है?

उत्तर: 1. व्यास · 2. दर्पण में वर्ण विपथन नहीं होता और उसे बहुत बड़ा बनाया जा सकता है · 3. 3.6 m देवस्थल प्रकाशिक दूरदर्शी, नैनीताल के पास

हम वस्तुओं को रंगीन क्यों देखते हैं

परावर्तित रंग

प्राथमिक रंग R, G, B

R + G = पीला

पूरक जोड़े

पेंट घटाते हैं

अँधेरे में किसी वस्तु का अपना कोई रंग नहीं होता। वह उस प्रकाश का रंग दिखाती है जिसे वह **परावर्तित** करती है (या आर-पार जाने देती है), और बाकी को सोख लेती है। लाल गुलाब लाल को परावर्तित करता है और अन्य रंगों को अवशोषित करता है; यदि उस पर लाल प्रकाश न पड़े, तो उसके पास परावर्तित करने को कुछ नहीं होता और वह काला दिखता है।

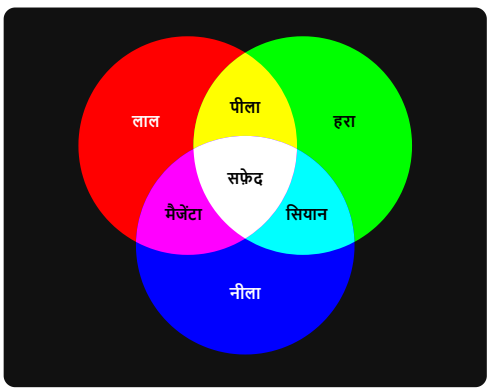
★★★ **अपारदर्शी वस्तु का रंग** = वह जिस प्रकाश को परावर्तित करती है उसका रंग। **सफेद** सभी रंगों को परावर्तित करता है; **काला** सभी को अवशोषित करता है (इसीलिए काले कपड़े धूप में अधिक गर्म होते हैं)। हरी पत्ती हरे को परावर्तित करती है और प्रकाश-संश्लेषण के लिए लाल और नीले को अवशोषित करती है।

★★ **पारदर्शी वस्तु का रंग** = वह रंग जिसे वह आर-पार जाने देती है: लाल काँच केवल लाल को पार जाने देता है।

★★★ **प्रकाश के प्राथमिक रंग (Primary colours)**: **लाल, हरा, नीला (RGB)**। प्रकाश मिलाने पर: लाल + हरा = **पीला**; हरा + नीला = **सियान (Cyan)**; नीला + लाल = **मैजेंटा (Magenta)**; लाल + हरा + नीला = **सफेद**। टीवी, मोबाइल और LED स्क्रीन नन्हे RGB बिंदुओं से हर रंग बनाती हैं।

★★ **पूरक रंग (Complementary colours)**: प्रकाश के वे दो रंग जो मिलकर सफेद बनाते हैं: लाल + सियान, हरा + मैजेंटा, नीला + पीला।

★★ **पेंट और स्याही अलग ढंग से मिलते हैं** (वे प्रकाश को घटाते हैं): प्रिंटर की स्याहियाँ सियान, मैजेंटा, पीला और काला (CMYK) उपयोग करती हैं; नीला पेंट + पीला पेंट हरा देता है, पर नीला प्रकाश + पीला प्रकाश सफेद देता है।



प्रकाश जोड़ना (प्राथमिक रंग R, G, B)

लाल + हरा = पीला
हरा + नीला = सियान
नीला + लाल = मैजेंटा
लाल + हरा + नीला = सफ़ेद

पूरक जोड़े मिलकर सफ़ेद देते हैं:

लाल + सियान
हरा + मैजेंटा
नीला + पीला

R G B
C M Y (हर एक के नीचे उसका जोड़ा)

अँधेरे परदे पर रंगीन प्रकाश जोड़ना। जहाँ दो प्राथमिक रंग मिलते हैं वहाँ द्वितीयक रंग दिखता है; जहाँ तीनों मिलते हैं वहाँ सफ़ेद। हर द्वितीयक रंग उस प्राथमिक रंग का पूरक है जो उसमें नहीं है: लाल–सियान, हरा–मैजेंटा, नीला–पीला।

रंगीन प्रकाश में दिखने वाला रंग ★★★

वस्तु (श्वेत प्रकाश में)	लाल प्रकाश में	हरे प्रकाश में	नीले प्रकाश में
सफेद कागज़	लाल	हरा	नीला
लाल गुलाब	लाल	काला	काला
हरी पत्ती	काला	हरा	काला
नीला कपड़ा	काला	काला	नीला
पीली वस्तु (लाल + हरा परावर्तित करती है)	लाल	हरा	काला
काली वस्तु	काला	काला	काला

रंगीन प्रकाशों को जोड़ना ★★

मिश्रण	परिणाम
लाल + हरा	पीला
हरा + नीला	सियान (मोरपंखी नीला)
नीला + लाल	मैजेंटा
लाल + हरा + नीला	सफेद
लाल + सियान / हरा + मैजेंटा / नीला + पीला	सफेद (पूरक जोड़े)

याद रखें: R G B लिखिए और उसके नीचे **C M Y**: हर अक्षर अपने पूरक साथी के नीचे बैठता है (Red–Cyan, Green–Magenta, Blue–Yellow, यानी लाल–सियान, हरा–मैजेंटा, नीला–पीला)। किसी अक्षर के नीचे वाला द्वितीयक रंग **बाकी दो** प्राथमिक रंगों से बनता है।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** 'नीला और पीला मिलकर हरा बनाते हैं' केवल **पेंट** के लिए सही है। **प्रकाश** के लिए नीला + पीला = सफेद।

झटपट जाँच

1. लाल प्रकाश + हरा प्रकाश = _____ ।
2. शुद्ध हरे प्रकाश में लाल गुलाब _____ दिखता है।
3. नीला + पीला प्रकाश = _____ ; नीला + पीला पेंट = _____ ।

उत्तर: 1. पीला · 2. काला · 3. सफ़ेद; हरा

पिछले वर्षों में पूछे गए प्रश्न (3)

BPSC 67th re-exam आवर्धक काँच में किस प्रकार का लेंस प्रयोग किया जाता है?
(a) उत्तल दर्पण (b) नतोदर (अवतल) (c) समतल-अवतल (d) उत्तल लेंस (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (d) उत्तल लेंस. आवर्धक काँच एक उत्तल लेंस है, जिसमें वस्तु फोकस दूरी के भीतर रखी जाती है

BPSC 68th 20 से० मी० फोकस दूरी के एक उत्तल लेंस की सतह पर सफेद घोड़े का प्रतिबिम्ब बनाने के लिए बड़ी संख्या में काले रंग की पतली पट्टियाँ बनाई जाती हैं। वह प्रतिबिम्ब कैसा होगा?
(a) काली पट्टियों का एक ज़ेबरा (b) काली पट्टियों का एक घोड़ा (c) कम चमक वाला एक घोड़ा (d) उपर्युक्त में से एक से अधिक
(e) उपर्युक्त में से कोई नहीं
उत्तर: (c) कम चमक वाला एक घोड़ा. लेंस का कुछ भाग ढकने पर भी पूरा प्रतिबिंब बनता है, केवल उसकी चमक कम हो जाती है

BPSC 70th re-exam जब एक टेलीस्कोप के अभिदृश्यक लेंस का व्यास बढ़ता है तब टेलीस्कोप की विभेदन क्षमता
(a) बढ़ती है (b) घटती है (c) लेंस की फोकस दूरी पर निर्भर करती है (d) अपरिवर्तित रहती है
उत्तर: (a) बढ़ती है. दूरदर्शी की विभेदन क्षमता उसके अभिदृश्यक के व्यास के साथ बढ़ती है

स्वयं को परखें (11)

1. एक व्यक्ति −2.0 D क्षमता का चश्मा पहनता है। लेंस और दोष हैं
(a) 50 cm फोकस दूरी का उत्तल लेंस; दूर-दृष्टि दोष (b) 50 cm फोकस दूरी का अवतल लेंस; निकट-दृष्टि दोष
(c) 2 m फोकस दूरी का अवतल लेंस; जरा-दूरदृष्टिता (d) 2 m फोकस दूरी का उत्तल लेंस; निकट-दृष्टि दोष

2. मानव नेत्र के रेटिना पर बनने वाला प्रतिबिंब होता है
(a) आभासी और सीधा (b) वास्तविक और सीधा (c) वास्तविक और उल्टा (d) आभासी और उल्टा

3. नेत्र का कौन-सा भाग उसमें प्रवेश करने वाले प्रकाश की मात्रा नियंत्रित करता है?
(a) कॉर्निया (b) परितारिका (आइरिस) (c) पक्ष्माभी पेशियाँ (d) रेटिना

4. सामान्य युवा वयस्क के नेत्र का निकट बिंदु लगभग होता है
(a) 2.5 cm (b) 25 cm (c) 2.5 m (d) अनंत

5. रतौंधी किसकी कमी से जुड़ी है?
(a) विटामिन A (b) विटामिन B12 (c) विटामिन C (d) विटामिन D

6. एक लाल गुलाब को शुद्ध हरे प्रकाश में देखा जाता है। वह दिखता है
(a) लाल (b) हरा (c) पीला (d) काला

7. बड़े खगोलीय दूरदर्शियों के बारे में निम्नलिखित में से कौन-सा सही है?
(a) वे विशाल लेंसों का उपयोग करते हैं, क्योंकि लेंसों में कोई रंग-दोष नहीं होता
(b) वे अवतल दर्पणों का उपयोग करते हैं, जिनमें वर्ण विपथन नहीं होता (c) वे अभिदृश्यक के रूप में अवतल लेंसों का उपयोग करते हैं
(d) अभिदृश्यक जितना चौड़ा होता है, उनकी विभेदन क्षमता उतनी घटती है

8. +3 D और −1 D क्षमता के दो पतले लेंस संपर्क में रखे हैं। संयोजन है
(a) 50 cm फोकस दूरी का अवतल लेंस (b) 25 cm फोकस दूरी का उत्तल लेंस (c) 50 cm फोकस दूरी का उत्तल लेंस
(d) 2 m फोकस दूरी का उत्तल लेंस

9. निम्नलिखित कथनों पर विचार कीजिए:
1. अवतल लेंस सदैव आभासी, सीधा और छोटा प्रतिबिंब बनाता है।
2. 20 cm फोकस दूरी वाले उत्तल लेंस की क्षमता +0.05 D होती है।
3. उत्तल लेंस का आधा भाग काले कागज़ से ढक देने पर वह वस्तु का केवल आधा प्रतिबिंब बनाता है।
उपर्युक्त कथनों में से कौन-सा/से सही है/हैं?
(a) केवल 1 (b) केवल 2 (c) केवल 1 और 3 (d) केवल 2 और 3

10. निम्नलिखित कथनों पर विचार कीजिए:
1. निकट-दृष्टि दोष उत्तल लेंस से ठीक किया जाता है।
2. अबिंदुकता द्विफोकसी लेंस से ठीक की जाती है।
3. रतौंधी रेटिना के दोषपूर्ण शंकुओं के कारण होती है।
उपर्युक्त में से कितने कथन सही हैं?
(a) केवल एक (b) केवल दो (c) सभी तीन (d) कोई भी नहीं

11. आवर्धक लेंस से देखने पर मोबाइल फ़ोन की स्क्रीन का एक शुद्ध पीला भाग नन्हे चमकते बिंदुओं से बना दिखता है। कौन-से बिंदु जल रहे हैं?
(a) केवल पीले बिंदु (b) लाल और हरे बिंदु (c) नीले और हरे बिंदु (d) लाल, हरे और नीले बिंदु

उत्तर: 1. (b) ऋणात्मक क्षमता का अर्थ है अवतल; f = 1/2 m = 50 cm; अवतल लेंस निकट-दृष्टि दोष ठीक करता है। · 2. (c) नेत्र का लेंस तंत्र रेटिना पर वास्तविक, उल्टा, छोटा प्रतिबिंब बनाता है। · 3. (b) परितारिका पुतली का आकार बदलती है। · 4. (b) स्पष्ट दृष्टि की न्यूनतम दूरी 25 cm है; दूर बिंदु अनंत है। · 5. (a) शलाकाओं में रोडॉप्सिन विटामिन A से बनता है। · 6. (d) गुलाब केवल लाल को परावर्तित करता है; उस पर लाल प्रकाश न पड़ने से वह कुछ भी परावर्तित नहीं करता। · 7. (b) बड़े अनुसंधान दूरदर्शी परावर्ती होते हैं; चौड़े अभिदृश्यक विभेदन क्षमता बढ़ाते हैं। · 8. (c) कुल क्षमता = +2 D, इसलिए f = +0.5 m: 50 cm का उत्तल लेंस। · 9. (a) क्षमता में फोकस दूरी मीटर में ली जाती है, इसलिए 20 cm से +5 D मिलता है; आधा ढका लेंस भी पूरा प्रतिबिंब बनाता है, केवल धुँधला। केवल कथन 1 सही है। · 10. (d) निकट-दृष्टि दोष के लिए अवतल लेंस और अबिंदुकता के लिए बेलनाकार लेंस चाहिए; रतौंधी शलाकाओं में रोडॉप्सिन (विटामिन A) की कमी से होती है, जबकि दोषपूर्ण शंकु वर्णांधता का कारण हैं। · 11. (b) स्क्रीन हर रंग लाल, हरे और नीले बिंदुओं से बनाती है, और लाल + हरा प्रकाश पीला देता है; तीनों एक साथ जलें तो सफेद दिखेगा।

अध्याय 10

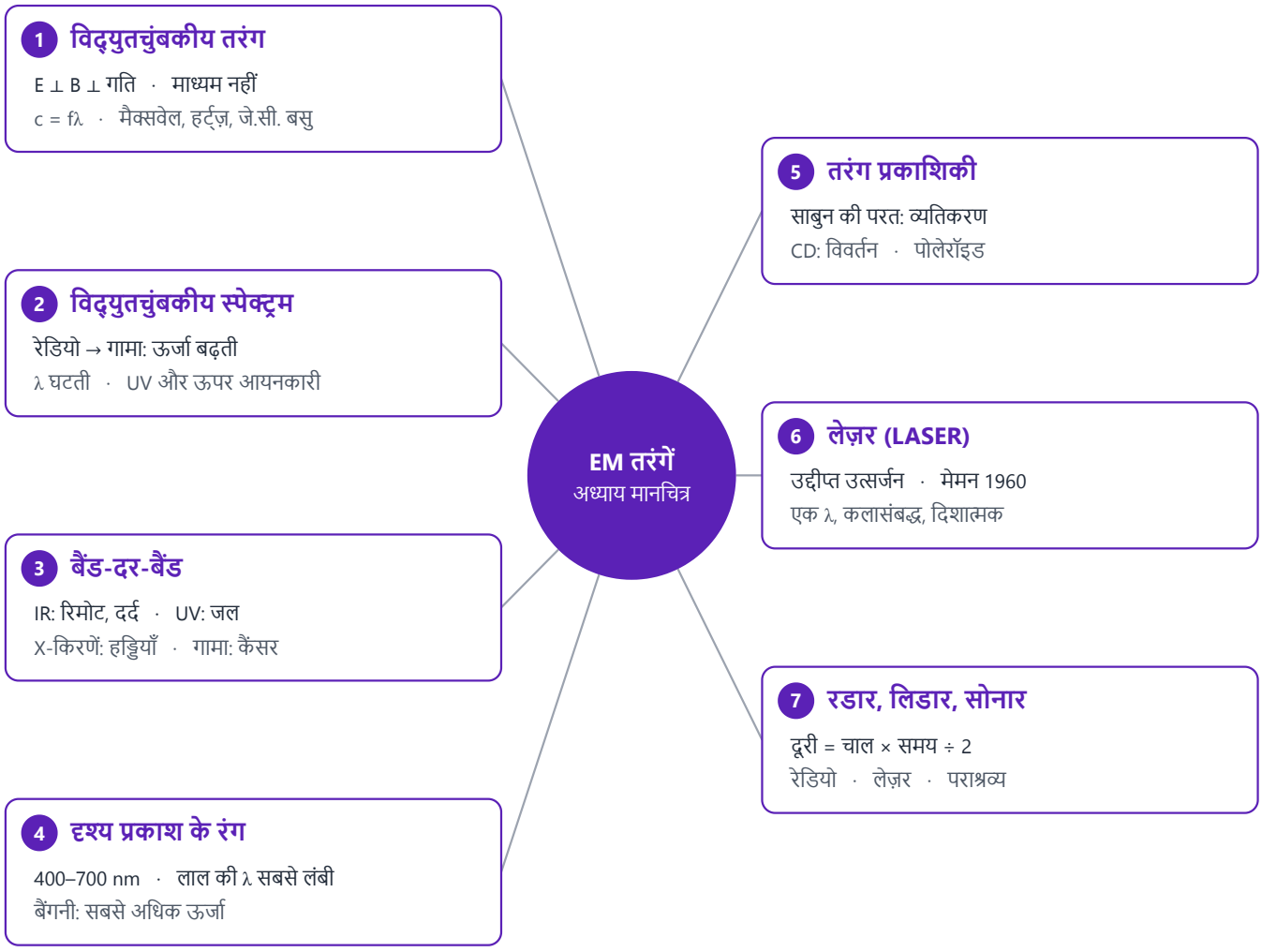
विद्युतचुंबकीय स्पेक्ट्रम और तरंग प्रकाशिकी

स्पेक्ट्रम का क्रम, दृश्य परास, हर बैंड का उपयोग (दर्द के लिए अवरक्त, जल शोधन के लिए UV, एक्स-किरणें, कैंसर के लिए गामा), विद्युतचुंबकीय तरंगों की चाल और रोज़मर्रा के रंगों के पीछे के तरंग-प्रभाव बार-बार पूछे जाते हैं।

पिछले प्रश्नपत्रों में 7 बार पूछा गया: UPSC 1 · BPSC 6

≈ 36 min पढ़ने में ≈ 7 min ★★★ दोहराने में

दोहराएँ: दिन 1 दिन 3 दिन 7 दिन 21



रिवीज़न कार्ड

1. विद्युतचुंबकीय तरंगें: परस्पर लंबवत दोलन करते विद्युत और चुंबकीय क्षेत्र; अनुप्रस्थ; माध्यम की आवश्यकता नहीं; निर्वात में सभी $c \approx 3 \times 10^8$ m/s से चलती हैं (मैक्सवेल ने भविष्यवाणी की, हर्ट्ज़ ने उत्पन्न कीं)।
2. बढ़ती आवृत्ति और ऊर्जा का क्रम: रेडियो → सूक्ष्म तरंग (माइक्रोवेव) → अवरक्त → दृश्य → पराबैंगनी → एक्स-किरणें → गामा। तरंगदैर्ध्य इसी क्रम में घटती है।
3. दृश्य प्रकाश ≈ 400–700 nm (व्यापक सीमाएँ लगभग 3900–7800 Å)। लाल की तरंगदैर्ध्य सबसे लंबी, बैंगनी की सबसे छोटी।
4. अवरक्त = ऊष्मा किरणें: टीवी रिमोट, रात्रि दृष्टि (नाइट विज़न), मांसपेशियों के दर्द के लिए फिज़ियोथेरेपी, हरितगृह प्रभाव।
5. जल शोधकों में UV सूक्ष्मजीवों का DNA क्षतिग्रस्त करके उन्हें मारती है; यह गंध, लवण या गंदलापन नहीं हटाती। UV-B विटामिन D बनाती है; ओज़ोन UV-C और अधिकांश UV-B को सोख लेती है।
6. एक्स-किरणें (रॉन्टजन, 1895): हड्डियाँ, CT स्कैन, हवाई अड्डे के स्कैनर, क्रिस्टलोग्राफी; आवेशरहित, इसलिए विद्युत और चुंबकीय क्षेत्र इन्हें विक्षेपित नहीं करते।
7. गामा किरणें: कैंसर की विकिरण चिकित्सा (कोबाल्ट-60), सिरिंज और शल्य उपकरणों का निर्जीवीकरण, खाद्य विकिरणन।
8. सूक्ष्म तरंगें: ओवन (2.45 GHz, ये जल के अणुओं को झकझोरती हैं), रडार, उपग्रह संपर्क, वाई-फ़ाई।
9. व्यतिकरण: साबुन के बुलबुले, तेल की परतें, मोर के पंख। विवर्तन: किनारों से मुड़ना, CD के रंग। ध्रुवण: पोलेरॉइड धूप के चश्मे, 3D चश्मे; यह सिद्ध करता है कि प्रकाश अनुप्रस्थ है।
10. LASER = Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (विकिरण के उद्दीपित उत्सर्जन द्वारा प्रकाश का प्रवर्धन): एकवर्णी, कलासंबद्ध, दिशात्मक, तीव्र।
11. रडार रेडियो/सूक्ष्म तरंगें, लिडार (LiDAR) लेज़र प्रकाश और सोनार पराश्रव्य ध्वनि का उपयोग करता है।

विद्युतचुंबकीय तरंग क्या है

E ⊥ B ⊥ गति

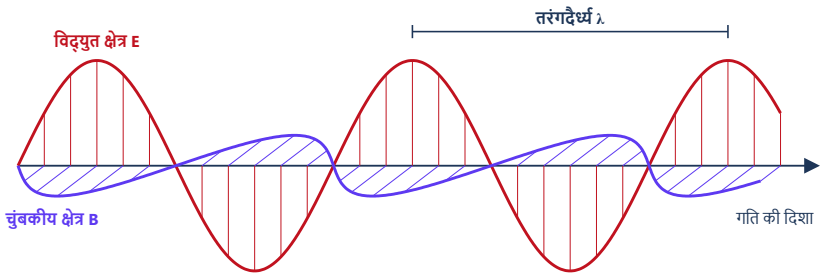
माध्यम आवश्यक नहीं

$c = 3 \times 10^8$ m/s

$c = f\lambda$, $E = hf$

मैक्सवेल, हर्ट्ज़, बसु

बदलता विद्युत क्षेत्र चुंबकीय क्षेत्र बनाता है, और बदलता चुंबकीय क्षेत्र विद्युत क्षेत्र बनाता है। इसलिए जब कोई आवेश दोलन करता है, तो ये दोनों क्षेत्र एक-दूसरे को लगातार पैदा करते हुए तरंग के रूप में तेज़ी से आगे बढ़ जाते हैं, **खाली अंतरिक्ष में भी**: यही **विद्युतचुंबकीय तरंग (Electromagnetic wave)** है। रेडियो, प्रकाश और एक्स-किरणें सब यही तरंग हैं; केवल तरंगदैर्ध्य अलग है।



E ⊥ B ⊥ गति की दिशा: अनुप्रस्थ तरंग, जिसे माध्यम की आवश्यकता नहीं

विद्युतचुंबकीय तरंग: विद्युत और चुंबकीय क्षेत्र एक साथ दोलन करते हैं, एक-दूसरे के और गति की दिशा के लंबवत।

★★★ **चाल**: हर विद्युतचुंबकीय तरंग **निर्वात में $c \approx 3 \times 10^8$ m/s** से चलती है, उसकी तरंगदैर्ध्य चाहे जो हो; पदार्थ के भीतर यह धीमी होती है।

★★★ **अनुप्रस्थ (Transverse)**: विद्युत और चुंबकीय क्षेत्र एक-दूसरे के और गति की दिशा के लंबवत कंपन करते हैं। इसीलिए प्रकाश का ध्रुवण (Polarisation) हो सकता है।

★★★ **माध्यम की आवश्यकता नहीं**: विद्युतचुंबकीय तरंगें खाली अंतरिक्ष पार कर लेती हैं (सूर्य का प्रकाश पृथ्वी तक पहुँचता है); ध्वनि ऐसा नहीं कर सकती।

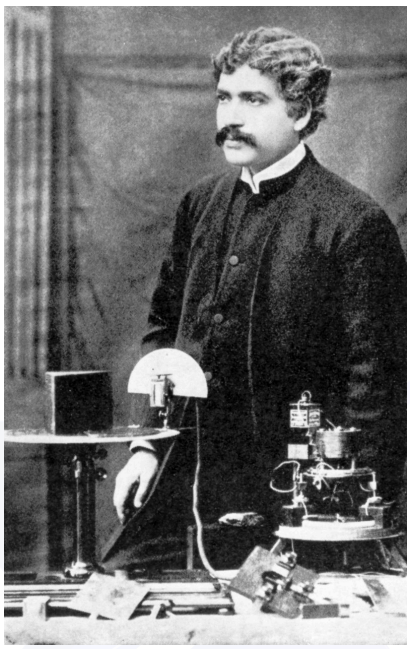
★★★ **आवेशरहित**: विद्युतचुंबकीय तरंगें विद्युत या चुंबकीय क्षेत्रों से विक्षेपित नहीं होतीं। एक्स-किरणें और गामा किरणें ऐसे क्षेत्रों से सीधी निकल जाती हैं।

★★ **त्वरित (दोलन करते) आवेशों से उत्पन्न होती हैं**; ये ऊर्जा और संवेग ले जाती हैं (प्रकाश बहुत छोटा दाब भी डालता है, जिसका उपयोग सौर पाल करते हैं)।

★★★ **तरंग संबंध**: $c = f \times \lambda$। फोटॉन ऊर्जा $E = h \times f$, इसलिए अधिक आवृत्ति का अर्थ अधिक ऊर्जा। 100 MHz पर FM की $\lambda = 3$ m; हरे प्रकाश (~500 nm) की $f \approx 6 \times 10^{14}$ Hz।

★★ **इतिहास**: **जेम्स क्लर्क मैक्सवेल (James Clerk Maxwell)** ने विद्युतचुंबकीय तरंगों की भविष्यवाणी की और दिखाया कि प्रकाश भी ऐसी ही तरंग है (1860 का दशक); **हाइनरिख हर्ट्ज़ (Heinrich Hertz)** ने प्रयोगशाला में रेडियो तरंगें उत्पन्न कीं और उनका पता लगाया (1887–88); आवृत्ति का मात्रक उन्हीं के नाम पर है।

★★ **भारतीय अग्रदूत**: **जगदीश चंद्र बसु (Jagadish Chandra Bose)** ने 1895 में कोलकाता में मिलीमीटर-तरंग (सूक्ष्म तरंग) विकिरण उत्पन्न किया और उसका पता लगाया, तथा आरंभिक हॉर्न एंटीना और संसूचक बनाए। **गुग्लिएल्मो मार्कोनी (Guglielmo Marconi)** ने रेडियो तरंगों से लंबी दूरी का बेतार टेलीग्राफ़ संभव किया (अटलांटिक के पार, 1901)।



जगदीश चंद्र बसु, कोलकाता में 1890 के दशक में सूक्ष्म तरंगें (मिलीमीटर तरंगें) उत्पन्न करने और पकड़ने के लिए बनाए गए अपने उपकरणों के साथ। चित्र: Birth Centenary Committee, Wikimedia Commons, public domain

विद्युतचुंबकीय है या नहीं? ★★★

विद्युतचुंबकीय तरंगें	विद्युतचुंबकीय नहीं
रेडियो, सूक्ष्म तरंग, अवरक्त, दृश्य प्रकाश	ध्वनि, पराश्रव्य, अवश्रव्य (यांत्रिक तरंगें, माध्यम चाहिए)
पराबैंगनी, एक्स-किरणें, गामा किरणें	कैथोड किरणें और बीटा किरणें (इलेक्ट्रॉन), अल्फा किरणें (हीलियम नाभिक), कैनाल किरणें (धनात्मक आयन)
कोई अन्य प्रकार नहीं	ब्रह्मांडीय किरणें (नाम के बावजूद, अधिकतर तीव्र गति वाले प्रोटॉन)

⚠ **परीक्षा में सावधान:** गामा किरणें विद्युतचुंबकीय तरंगें हैं, पर अल्फा और बीटा 'किरणें' आवेशित कण हैं और विद्युत तथा चुंबकीय क्षेत्रों से **मुड़ती हैं**। पराश्रव्य (Ultrasound) ध्वनि है, विद्युतचुंबकीय तरंग नहीं।

☑ झटपट जाँच

1. निर्वात में हर विद्युतचुंबकीय तरंग की चाल?
2. विद्युत और चुंबकीय क्षेत्र X-किरणों और गामा किरणों को क्यों नहीं मोड़ते?
3. विद्युतचुंबकीय तरंगों की भविष्यवाणी किसने की, और प्रयोगशाला में पहली बार किसने बनाईं?

उत्तर: 1. c ≈ 3 × 10^8 m/s, तरंगदैर्ध्य कुछ भी हो · 2. वे अनावेशित विद्युतचुंबकीय तरंगें हैं · 3. मैक्सवेल ने भविष्यवाणी की (1860s); हर्ट्ज़ ने बनाईं (1887–88)

विद्युतचुंबकीय स्पेक्ट्रम

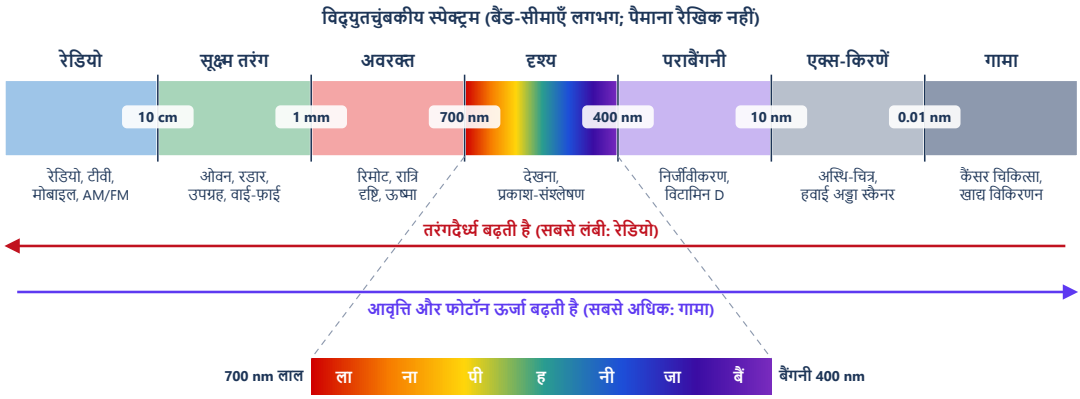
R M I V U X G

ऊर्जा बढ़ती →

तरंगदैर्ध्य घटती →

आयनकारी: UV, X, γ

विद्युतचुंबकीय तरंगों को तरंगदैर्ध्य के क्रम में रखें तो **स्पेक्ट्रम (Spectrum)** मिलता है: इमारतों या पहाड़ों जितनी लंबी रेडियो तरंगों से लेकर परमाणु के नाभिक से भी छोटी गामा किरणों तक। रेडियो से गामा की ओर जाने पर तरंगदैर्ध्य **घटती** है, आवृत्ति **बढ़ती** है, और इसलिए हर फोटॉन की ऊर्जा **बढ़ती** है। अधिक ऊर्जा का अर्थ है अधिक भेदन क्षमता और, पराबैंगनी से आगे, जीवित कोशिकाओं के लिए अधिक हानि।



दृश्य बैंड: लाल की तरंगदैर्ध्य सबसे लंबी, बैंगनी की सबसे छोटी। निर्वात में सभी बैंड c = 3 × 10^8 m/s से चलते हैं।

रेडियो से गामा तक स्पेक्ट्रम, बैंडों की लगभग सीमाओं और मुख्य उपयोगों के साथ। दृश्य बैंड एक बहुत पतली पट्टी है, लाल (700 nm) से बैंगनी (400 nm) तक। पैमाने पर नहीं।

स्पेक्ट्रम के बैंड ★★★

बैंड	तरंगदैर्ध्य (लगभग)	खोज / पहली बार किसने उत्पन्न किया	मुख्य उपयोग
रेडियो	> 10 cm (km तक)	हाइनरिख हर्ट्ज़, 1887 (मैक्सवेल ने भविष्यवाणी की)	AM रेडियो (~0.5–1.6 MHz), FM (88–108 MHz), टीवी, मोबाइल फ़ोन, रेडियो खगोलिकी
सूक्ष्म तरंग (Microwave)	1 mm – 10 cm	जे.सी. बसु का मिलीमीटर-तरंग कार्य, 1890 का दशक	माइक्रोवेव ओवन, रडार, उपग्रह और बिंदु-से-बिंदु संपर्क, वाई-फ़ाई, GPS
अवरक्त (Infrared, IR)	700 nm – 1 mm	विलियम हर्शेल (William Herschel), 1800	टीवी/एसी रिमोट, रात्रि दृष्टि और थर्मल कैमरे, फिज़ियोथेरेपी के ताप लैंप, सुदूर संवेदन, प्रकाशिक तंतु संकेत
दृश्य	400 – 700 nm	आइज़क न्यूटन का प्रिज्म स्पेक्ट्रम, 1666	देखना, फ़ोटोग्राफ़ी, प्रकाश-संश्लेषण
पराबैंगनी (Ultraviolet, UV)	10 – 400 nm	योहान रिटर (Johann Ritter), 1801	जल और उपकरणों का निर्जीवीकरण, विटामिन D, फ़ोरेंसिक और नोटों की जाँच, LASIK लेज़र
एक्स-किरणें (X-rays)	0.01 – 10 nm	विल्हेम रॉन्टजन (Wilhelm Röntgen), 1895	हड्डियों के चित्र, CT स्कैन, हवाई अड्डे के सामान स्कैनर, क्रिस्टलोग्राफी
गामा किरणें (Gamma rays)	< 0.01 nm	पॉल विलार्ड (Paul Villard), 1900 (रेडियम से)	कैंसर की विकिरण चिकित्सा, चिकित्सा उपकरणों का निर्जीवीकरण, खाद्य विकिरणन

★★★ **ऊर्जा और आवृत्ति का क्रम (कम → अधिक)**: रेडियो < सूक्ष्म तरंग < अवरक्त < दृश्य < पराबैंगनी < एक्स-किरणें < गामा। **तरंगदैर्ध्य का क्रम इसका उल्टा है**: रेडियो सबसे लंबी, गामा सबसे छोटी।

★★ **आयनकारी बनाम अनायनकारी (Ionising vs non-ionising)**: उच्च ऊर्जा वाली UV, एक्स-किरणें और गामा किरणें परमाणुओं से इलेक्ट्रॉन बाहर निकाल सकती हैं और DNA को क्षति पहुँचा सकती हैं; रेडियो, सूक्ष्म तरंगें, अवरक्त और दृश्य प्रकाश ऐसा नहीं कर सकते। मोबाइल फ़ोन के संकेत अनायनकारी हैं।

★ **बैंडों की सीमाएँ एक-दूसरे पर चढ़ी हैं**: रेडियो और सूक्ष्म तरंगों की सीमा 10 cm से 1 m के बीच कहीं भी मानी जाती है, इसलिए 2.45 GHz वाले ओवन और वाई-फ़ाई ($\lambda \approx 12$ cm) सूक्ष्म तरंगें ही गिने जाते हैं। एक्स-किरणों और गामा किरणों को वास्तव में उनके स्रोत से पहचाना जाता है (एक्स-किरणें इलेक्ट्रॉनों से, गामा परमाणु नाभिकों से), किसी निश्चित तरंगदैर्ध्य से नहीं।

याद रखें: **R**ohan's **M**ummy **I**s **V**ery **U**pset: e**X**tra **G**ames! (Radio, Microwave, Infrared, Visible, Ultraviolet, X-rays, Gamma.) वाक्य के साथ मम्मी का गुस्सा, ऊर्जा की तरह, **बढ़ता** जाता है। हिंदी में: **र**मेश **म**त **अ**ड़ो, **दौ**ड़ो **प**र **ए**क **ग**ति से (रेडियो, माइक्रोवेव, अवरक्त, दृश्य, पराबैंगनी, एक्स, गामा; 'एक गति' याद दिलाती है कि सबकी चाल c है)।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** कथन वाले प्रश्न प्रायः एक कड़ी उलट देते हैं: 'लाल प्रकाश की तरंगदैर्ध्य बैंगनी से कम है' **गलत** है; लाल की सबसे लंबी है। 'गामा किरणों की तरंगदैर्ध्य सबसे लंबी है' गलत है; उनकी सबसे छोटी है।

झटपट जाँच

1. बढ़ती आवृत्ति के क्रम में रखिए: X-किरणें, रेडियो, दृश्य, पराबैंगनी।
2. किसकी तरंगदैर्ध्य सबसे लंबी है: गामा किरणें, लाल प्रकाश या रेडियो तरंगें?
3. कौन-से बैंड आयनकारी हैं?

उत्तर: 1. रेडियो < दृश्य < पराबैंगनी < X-किरणें · 2. रेडियो तरंगें · 3. उच्च ऊर्जा UV, X-किरणें, गामा किरणें

बैंड-दर-बैंड: कौन क्या करता है

माइक्रोवेव ओवन 2.45 GHz

IR: रिमोट, दर्द

UV-A, UV-B, UV-C

UV जल शोधक

X-किरणें: हड्डियाँ, CT

गामा: कैंसर

★★ **रेडियो तरंगें (Radio waves)**: एंटीना में दोलन करती धाराओं से उत्पन्न। दीर्घ और मध्यम तरंगें पृथ्वी के चारों ओर मुड़ जाती हैं या **आयनमंडल (Ionosphere)** से परावर्तित हो जाती हैं, इसलिए AM/लघु-तरंग रेडियो दूर तक पहुँचता है; FM और टीवी को दृष्टि-रेखा चाहिए, इसलिए ऊँचे टावर लगते हैं।

★★ **मोबाइल फ़ोन और वाई-फ़ाई** रेडियो और सूक्ष्म तरंगों के मिलन-क्षेत्र का उपयोग करते हैं (लगभग 0.7–6 GHz; 5G लगभग 26 GHz भी उपयोग करता है)। वर्षा बहुत छोटी तरंगों को सोखती और प्रकीर्णित करती है और उपग्रह टीवी संकेतों को कमज़ोर करती है।

★★★ **माइक्रोवेव ओवन (Microwave oven) 2.45 GHz** पर काम करता है: जल (और वसा, शर्करा) के अणुओं में विद्युत आवेश असमान रूप से बँटा होता है, इसलिए वे तेज़ी से पलटते क्षेत्र के साथ आगे-पीछे मुड़ते हैं; यही धक्कामुक्की भोजन को गर्म करती है। काँच, चीनी मिट्टी और माइक्रोवेव-सुरक्षित प्लास्टिक सूक्ष्म तरंगों को आर-पार जाने देते हैं और ठंडे रहते हैं; **धातु उन्हें परावर्तित करती है** और चिंगारी निकल सकती है।

★★ **रडार (Radar)** (Radio Detection And Ranging) सूक्ष्म तरंग स्पंद भेजता है और प्रतिध्वनि लौटने का समय मापकर दूरी, और डॉप्लर विस्थापन (Doppler shift) से चाल ज्ञात करता है: विमान, जहाज़, तूफ़ान (IMD के डॉप्लर मौसम रडार) और तेज़ रफ़्तार कारें।

★★★ **अवरक्त (Infrared) = ऊष्मा किरणें**: हर गर्म वस्तु अवरक्त किरणें छोड़ती है। उपयोग: **टीवी और एसी के रिमोट**, **रात्रि दृष्टि और थर्मल कैमरे** (सेना, सीमा सुरक्षा, बुखार की जाँच), फिज़ियोथेरेपिस्ट द्वारा **मांसपेशियों के दर्द में ताप चिकित्सा**, पेंट सुखाना, फसलों और जंगल की आग का अवरक्त सुदूर संवेदन।

★★ **अवरक्त फ़ोटोग्राफ़ी (Infrared photography)** धुंध (haze), धुएँ और कुहासे के पार देख लेती है: लंबी तरंगदैर्ध्य वाली अवरक्त किरणें दृश्य प्रकाश से बहुत कम प्रकीर्णित होती हैं, इसलिए दूर तक और उपग्रह से चित्र लेने में इनका उपयोग होता है।

★★ **हरितगृह प्रभाव (Greenhouse effect)**: सूर्य का प्रकाश (मुख्यतः दृश्य) काँच या वायु से गुज़र जाता है; गर्म हुई ज़मीन दीर्घ-तरंग अवरक्त विकिरण छोड़ती है, जिसे काँच, कार्बन डाइऑक्साइड और जलवाष्प रोक लेते हैं।

★★ **प्रकाशिक तंतु (Optical fibres)** मुख्यतः **निकट-अवरक्त** प्रकाश (लगभग 1310 और 1550 nm) ले जाते हैं, जिसे काँच सबसे कम सोखता है।

★★★ **दृश्य प्रकाश (Visible light)**: **400–700 nm** (बाहरी सीमाएँ लगभग 380–780 nm, यानी लगभग **3900–7800 Å**)। आँख पीले-हरे प्रकाश (~555 nm) के प्रति सबसे संवेदनशील है।

★★★ **पराबैंगनी (Ultraviolet)**: सूर्य इसका मुख्य स्रोत है। **UV-A** (315–400 nm) अधिकतर ज़मीन तक पहुँचती है (त्वचा का साँवला होना, त्वचा का बूढ़ा होना); **UV-B** (280–315 nm) अधिकतर ओज़ोन द्वारा सोख ली जाती है (धूप से जलन, त्वचा कैंसर, पर यही त्वचा में **विटामिन D** भी बनाती है); **UV-C** (100–280 nm) ओज़ोन और ऑक्सीजन द्वारा पूरी तरह सोख ली जाती है।

★★★ **जल शोधकों में UV** जीवाणुओं और विषाणुओं का DNA क्षतिग्रस्त करके उन्हें मारती या निष्क्रिय करती है। यह गंध, घुले लवण या गंदलापन **नहीं** हटाती (उसके लिए फ़िल्टर या RO चाहिए)।

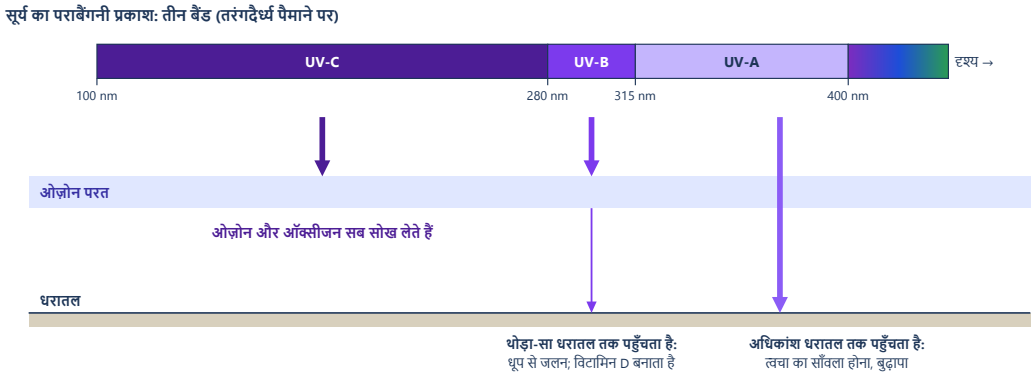
★★ **UV के अन्य उपयोग**: प्रयोगशालाओं और अस्पतालों में रोगाणुनाशी लैंप, **फ़ोरेंसिक** कार्य (शरीर के द्रव और उँगलियों के निशान चमकते हैं), **करेंसी नोटों** की जाँच (सुरक्षा चिह्न चमकते हैं), **सन-टैन** (त्वचा मेलेनिन वर्णक बनाती है)। वेल्डर आर्क की UV से बचने के लिए गहरे चश्मे पहनते हैं; बर्फ़ UV को परावर्तित करती है और हिम-अंधता (Snow blindness) कर सकती है।

★★★ **एक्स-किरणें (X-rays)**: एक्स-रे नली में तेज़ इलेक्ट्रॉनों के धातु लक्ष्य (टंगस्टन) से टकराने पर बनती हैं। ये मांस के पार निकल जाती हैं पर **हड्डियाँ** (कैल्शियम) इन्हें सोख लेती हैं, जिससे छाया-चित्र बनते हैं। उपयोग: हड्डी टूटना, दाँतों के एक्स-रे, **CT स्कैन**, मैमोग्राफ़ी, **हवाई अड्डों और सीमाओं पर सामान स्कैनर**, धातु की ढलाई में दरारें खोजना, **एक्स-रे क्रिस्टलोग्राफी** (DNA की संरचना एक एक्स-रे चित्र से ही समझी गई)।

★★ **रॉन्टजन (Röntgen)** को एक्स-किरणों के लिए भौतिकी का पहला नोबेल पुरस्कार (1901) मिला। अधिक संपर्क कोशिकाओं को क्षति पहुँचाता है, इसलिए रेडियोग्राफ़र सीसे की ढाल के पीछे खड़े होते हैं।

★★★ **गामा किरणें (Gamma rays)**: रेडियोधर्मी नाभिकों (कोबाल्ट-60, सीज़ियम-137) और नाभिकीय अभिक्रियाओं से निकलती हैं। उपयोग: कैंसर कोशिकाओं को मारने के लिए **विकिरण चिकित्सा (Radiotherapy)** (कोबाल्ट थेरेपी, गामा नाइफ़), सिरिंज, दस्तानों और शल्य उपकरणों का **निर्जीवीकरण**, प्याज़ और आलू का अंकुरण रोकने तथा मसालों और आमों में कीड़े मारने के लिए **खाद्य विकिरणन (Food irradiation)**।

★ **भारत में खाद्य विकिरणन**: भाभा परमाणु अनुसंधान केंद्र (BARC) ने यह तकनीक विकसित की; लासलगाँव (नासिक, महाराष्ट्र) का 'कृषक' (Krushak) संयंत्र प्याज़ का विकिरणन करता है।



सूर्य का पराबैंगनी प्रकाश, बैंड की सीमाएँ पैमाने पर (2.2 इकाई प्रति nm)। ओज़ोन और ऑक्सीजन सारा UV-C और अधिकांश UV-B सोख लेते हैं; थोड़ा-सा UV-B धरातल तक पहुँचता है (धूप से जलन, विटामिन D); अधिकांश UV-A पार आ जाता है (त्वचा का साँवला होना, बुढ़ापा)। परतों की ऊँचाई पैमाने पर नहीं।

विल्हेम रॉन्टजन द्वारा दिसंबर 1895 में बनाया गया एक आरंभिक X-किरण चित्र: उनकी पत्नी आना बर्था का हाथ। हड्डियाँ और धातु की अँगूठी X-किरणें सोखकर साफ़ दिखती हैं; मांस उनका अधिकांश भाग पार जाने देता है। चित्र: Wilhelm Röntgen, Wikimedia Commons, public domain

⚠ **परीक्षा में सावधान: MRI** एक शक्तिशाली चुंबक और **रेडियो तरंगों** का उपयोग करता है, एक्स-किरणों का नहीं; **अल्ट्रासाउंड स्कैन** उच्च आवृत्ति की ध्वनि का उपयोग करते हैं। केवल एक्स-रे और CT इमेजिंग में एक्स-किरणें प्रयुक्त होती हैं।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** मांसपेशियों के दर्द में राहत और रिमोट: **अवरक्त**, पराबैंगनी या सूक्ष्म तरंगें नहीं। जल का निर्जीवीकरण: **पराबैंगनी**। पैक किए गए चिकित्सा उपकरणों का निर्जीवीकरण और कैंसर चिकित्सा: **गामा**।

याद रखें: अस्पताल में किरणों की सीढ़ी: **I**nfrared **I**roned out aches, **U**V **U**ndoes germs, **X**-ray **eX**amines bones, **G**amma **G**oes for cancer (अवरक्त दर्द मिटाए, UV कीटाणु भगाए, एक्स-रे हड्डी दिखाए, गामा कैंसर पर वार करे)।

झटपट जाँच

1. टीवी रिमोट और मांसपेशियों के दर्द में राहत के लिए कौन-सा विकिरण?
2. पराबैंगनी का कौन-सा बैंड त्वचा में विटामिन D बनाता है?
3. पैक सिरिंजों को निर्जीवाणु करने और कैंसर के उपचार में कौन-सा विकिरण?

उत्तर: 1. अवरक्त · 2. UV-B · 3. गामा किरणें (कोबाल्ट-60)

दृश्य प्रकाश के रंग

VIBGYOR

लाल: सबसे लंबी λ

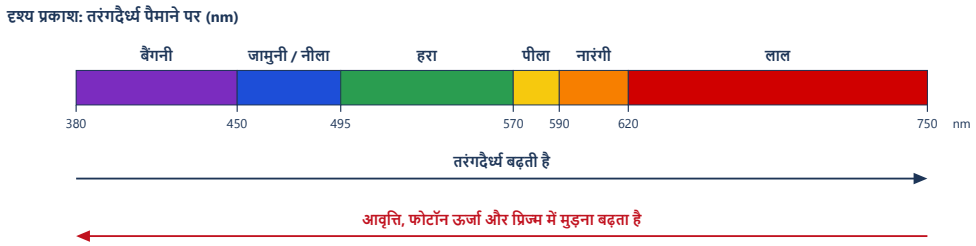
बैंगनी: सबसे अधिक ऊर्जा

1 Å = 0.1 nm

हर रंग एक विशेष तरंगदैर्ध्य (ठीक-ठीक कहें तो आवृत्ति) का प्रकाश है। बैंगनी से लाल की ओर जाने पर तरंगदैर्ध्य बढ़ती है और आवृत्ति तथा फोटॉन ऊर्जा घटती है। काँच में बैंगनी सबसे धीमा चलता है और सबसे अधिक मुड़ता है।

दृश्य रंग (लगभग) ★★★

रंग	तरंगदैर्ध्य (nm)	आवृत्ति	प्रिज्म में मुड़ना
बैंगनी	380–450	सबसे अधिक	सबसे अधिक
जामुनी / नीला	450–495	↓	↓
हरा	495–570	↓	↓
पीला	570–590	↓	↓
नारंगी	590–620	↓	↓
लाल	620–750	सबसे कम	सबसे कम



दृश्य बैंड पैमाने पर (2 इकाई प्रति nm), रंगों की सीमाएँ ऊपर की तालिका के अनुसार। तरंगदैर्ध्य बैंगनी से लाल की ओर बढ़ती है; आवृत्ति, फोटॉन ऊर्जा और प्रिज्म में मुड़ना उल्टी दिशा में बढ़ते हैं।

★★ **पौधे** प्रकाश-संश्लेषण के लिए मुख्यतः लाल और नीला प्रकाश सोखते हैं और हरे को परावर्तित करते हैं, इसीलिए पत्तियाँ हरी दिखती हैं।

★ **1 एंगस्ट्रॉम (ångström, Å) = 10^{-10} m = 0.1 nm**, इसलिए 400 nm = 4000 Å और 700 nm = 7000 Å।

याद रखें: VIBGYOR: शब्द को बाएँ से दाएँ पढ़ते हुए तरंगदैर्ध्य **बढ़ती** है; ऊर्जा **घटती** है। Violet 'Very energetic' (बहुत ऊर्जावान) सिरा है।

☑ झटपट जाँच

1. किस दृश्य रंग की तरंगदैर्ध्य सबसे लंबी है, और किसकी आवृत्ति सबसे अधिक?
2. 400 nm और 700 nm ऐंग्स्ट्रॉम में?

उत्तर: 1. लाल; बैंगनी · 2. 4000 Å और 7000 Å

तरंग प्रकाशिकी: व्यतिकरण, विवर्तन, ध्रुवण

व्यतिकरण

यंग 1801

विवर्तन: CD

ध्रुवण

अनुप्रस्थ

तीन प्रभाव बताते हैं कि प्रकाश एक तरंग है। जब दो तरंगें मिलती हैं तो वे जुड़ जाती हैं (व्यतिकरण, Interference); तरंगें किनारों के चारों ओर फैल जाती हैं (विवर्तन, Diffraction); और अनुप्रस्थ तरंग को ऐसे छाना जा सकता है कि वह केवल एक तल में कंपन करे (ध्रुवण, Polarisation)। प्रकाश की तरंगदैर्ध्य बहुत छोटी (लगभग आधा माइक्रोमीटर) है, इसलिए ये प्रभाव केवल पतली परतों, बारीक झिरियों और विशेष फ़िल्टरों से ही दिखते हैं।

★★★ **व्यतिकरण**: प्रकाश की दो तरंगें एक-दूसरे पर पड़ती हैं; शृंग पर शृंग पड़ने से चमक (संपोषी, Constructive), शृंग पर गर्त पड़ने से अँधेरा (विनाशी, Destructive)। इसके लिए **कलासंबद्ध (Coherent)** स्रोत चाहिए (समान आवृत्ति, स्थिर कला)। **थॉमस यंग (Thomas Young) के द्वि-झिरी प्रयोग (1801)** ने सिद्ध किया कि प्रकाश तरंग है।

★★★ **पतली परतों के रंग**: **साबुन के बुलबुले**, **गीली सड़कों पर तेल की परतें**, **मोर के पंख** और तितली के पंख बदलते रंगों में चमकते हैं, क्योंकि बहुत पतली परत की दोनों सतहों से परावर्तित प्रकाश में व्यतिकरण होता है।

★ **प्रति-परावर्तन लेपन (Anti-reflection coating)** चश्मों और कैमरा लेंसों पर विनाशी व्यतिकरण से चौंध घटाते हैं; शोर-रोधी हेडफ़ोन ध्वनि के साथ यही विचार अपनाते हैं।

★★★ **विवर्तन**: किसी बाधा के किनारों से या संकरे छेद से गुज़रते हुए तरंगों का मुड़ना; यह तभी प्रबल होता है जब छेद तरंगदैर्ध्य के बराबर क्रम का हो।

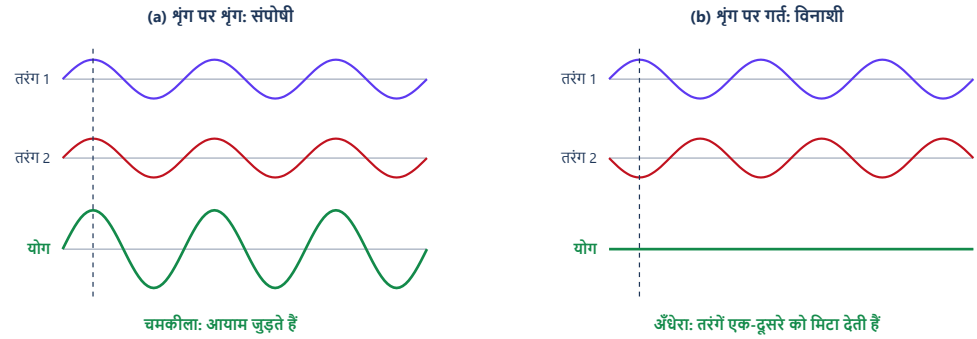
★★ **हम कोने के पार सुन सकते हैं पर देख नहीं सकते**: ध्वनि की तरंगदैर्ध्य (मीटरों में) दरवाज़ों और दीवारों के बराबर क्रम की है, प्रकाश की (~0.5 µm) कहीं छोटी है।

★★ **विवर्तन के उदाहरण**: **CD/DVD** पर इंद्रधनुषी रंग (उसकी पास-पास की पटरियाँ ग्रेटिंग का काम करती हैं), पतले बादलों के पार चंद्रमा के चारों ओर रंगीन वलय (कोरोना), छायाओं के थोड़े धुँधले किनारे। विवर्तन यह भी सीमित करता है कि दूरदर्शी या सूक्ष्मदर्शी कितना बारीक विवरण दिखा सकता है।

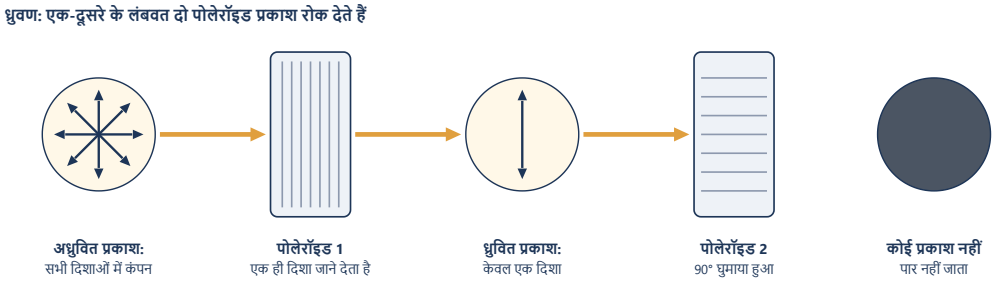
★★★ **ध्रुवण**: साधारण प्रकाश अपने पथ के आर-पार सभी दिशाओं में कंपन करता है; **पोलेरॉइड (Polaroid)** केवल एक दिशा को पार जाने देता है। केवल **अनुप्रस्थ** तरंगों का ध्रुवण हो सकता है, इसलिए ध्रुवण सिद्ध करता है कि प्रकाश अनुप्रस्थ है। वायु में ध्वनि (अनुदैर्ध्य, Longitudinal) का ध्रुवण नहीं हो सकता।

★★ **ध्रुवण के उपयोग**: **पोलेरॉइड धूप के चश्मे** पानी, बर्फ़ और सड़कों की चौंध घटाते हैं (परावर्तित प्रकाश आंशिक रूप से ध्रुवित होता है); **3D फ़िल्म के चश्मे** हर आँख को अलग ढंग से ध्रुवित चित्र देते हैं; **LCD स्क्रीन**, कैमरा फ़िल्टर, और प्लास्टिक मॉडलों में प्रतिबल (स्ट्रेस) की जाँच।

★ **मधुमक्खियाँ और कुछ पक्षी** नीले आकाश के ध्रुवण पैटर्न की सहायता से दिशा पहचानते हैं।



दो समान तरंगों का व्यतिकरण (λ = 100 इकाई, आयाम 16)। (a) कला में, शृंग पर शृंग: योग का आयाम दुगुना (32), चमकीली पट्टी। (b) आधी तरंगदैर्ध्य के अंतर से, शृंग पर गर्त: योग शून्य, अँधेरा।



किरण-पुंज की दिशा में देखने पर। साधारण प्रकाश अपने मार्ग के आर-पार हर दिशा में कंपन करता है; पहला पोलेरॉइड केवल एक दिशा जाने देता है; 90° घुमाया हुआ दूसरा पोलेरॉइड उसे भी रोक देता है, इसलिए कोई प्रकाश पार नहीं जाता। केवल अनुप्रस्थ तरंग को ही इस तरह छाना जा सकता है।

कौन-सा प्रभाव क्या सिद्ध करता है ★★★

परिघटना	किससे व्याख्या	रोज़मर्रा का उदाहरण
परावर्तन, अपवर्तन	तरंग और कण दोनों मॉडल	दर्पण, मुड़ी दिखती पेंसिल
व्यतिकरण	तरंग प्रकृति	साबुन के बुलबुले, तेल की परत के रंग
विवर्तन	तरंग प्रकृति	CD के रंग, कोने के पार सुनना (ध्वनि)
ध्रुवण	प्रकाश **अनुप्रस्थ** तरंग है	पोलेरॉइड धूप के चश्मे, 3D चश्मे
प्रकाश-विद्युत प्रभाव	कण (फोटॉन) प्रकृति	सौर सेल, स्वचालित दरवाज़े

⚠ **परीक्षा में सावधान:** साबुन की परत के रंग **व्यतिकरण** हैं, CD के रंग मुख्यतः **विवर्तन**, इंद्रधनुष और प्रिज्म के रंग **विक्षेपण**, नीला आकाश **प्रकीर्णन**। परीक्षक इन चारों को आपस में मिला देते हैं।

💡 **याद रखें:** **I**nterference **I**n films, **D**iffraction at **D**iscs and edges, **P**olarisation for **P**olaroids (व्यतिकरण पतली परतों में, विवर्तन डिस्क और किनारों पर, ध्रुवण पोलेरॉइड के लिए)।

☑ **झटपट जाँच**

1. साबुन के बुलबुलों और तेल की परतों के रंग _____ के कारण हैं।
2. CD पर दिखने वाले रंग मुख्यतः _____ के कारण हैं।
3. ध्रुवण सिद्ध करता है कि प्रकाश _____ तरंग है।

उत्तर: 1. व्यतिकरण · 2. विवर्तन · 3. अनुप्रस्थ

लेज़र (LASER)

उद्दीपित उत्सर्जन

मेमन 1960, रूबी

एकवर्णी, कलासंबद्ध

LASIK

CD, DVD, Blu-ray

लेज़र में परमाणुओं को उत्तेजित अवस्था में पहुँचाया जाता है; पास से गुज़रता एक फोटॉन उन्हें एक जैसे फोटॉन एक ही कला में छोड़ने को प्रेरित करता है (उद्दीपित उत्सर्जन, Stimulated emission), और दर्पण प्रकाश को आगे-पीछे परावर्तित करके उसे प्रबल बनाते हैं। परिणाम: एक ही रंग का प्रकाश, पूरी तरह एक कला में और एक संकरी दिशा में चलता हुआ।

★★★ **LASER** = **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation (विकिरण के उद्दीपित उत्सर्जन द्वारा प्रकाश का प्रवर्धन)। आइंस्टीन ने उद्दीपित उत्सर्जन का विचार दिया (1917); **थियोडोर मेमन (Theodore Maiman)** ने **1960** में पहला लेज़र, **रूबी लेज़र**, बनाया। इसका सूक्ष्म तरंग रूप (मेसर, Maser) पहले आया।

★★★ **गुण**: **एकवर्णी (Monochromatic)** (एक तरंगदैर्ध्य), **कलासंबद्ध (Coherent)** (सभी तरंगें एक कला में), **अत्यधिक दिशात्मक** (संकरा पुंज जो मुश्किल से फैलता है), और **तीव्र**।

★★★ **चिकित्सा**: **LASIK** नेत्र शल्य-चिकित्सा (पराबैंगनी एक्साइमर लेज़र कॉर्निया का आकार बदलता है), रक्तहीन शल्य-चिकित्सा, गुर्दे की पथरी तोड़ना, टैटू हटाना, रेटिना की मरम्मत।

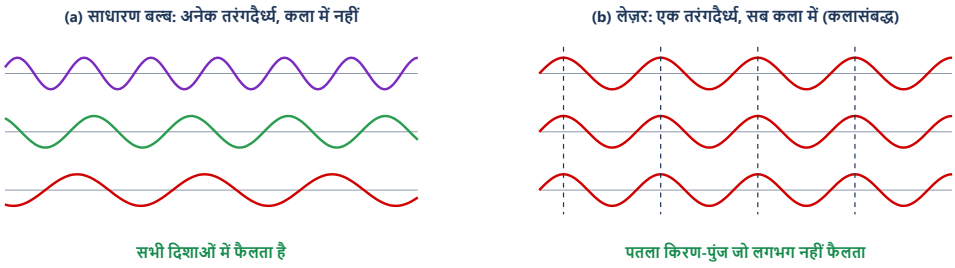
★★ **उद्योग और दैनिक जीवन**: **बारकोड** स्कैनर, धातु काटना, जोड़ना (वेल्डिंग) और छेद करना, लेज़र प्रिंटर, लेज़र पॉइंटर और लाइट शो।

★★ **संचार और संवेदन**: **प्रकाशिक तंतुओं** से डेटा, **लिडार (LiDAR)** मानचित्रण, दूरी-मापी (रेंज फ़ाइंडर), लेज़र-निर्देशित हथियार; चंद्रमा पर छोड़े गए परावर्तकों से लौटे लेज़र पुंज उसकी दूरी कुछ सेंटीमीटर की परिशुद्धता से मापते हैं।

★★ **डिस्क**: CD प्लेयर अवरक्त लेज़र (780 nm), DVD लाल लेज़र (650 nm), **ब्लू-रे (Blu-ray)** नीला-बैंगनी लेज़र (405 nm) उपयोग करते हैं। छोटी तरंगदैर्ध्य से छोटा बिंदु बनता है, इसलिए डिस्क पर अधिक डेटा समाता है।

★ **होलोग्राफ़ी (Holography)** (क्रेडिट कार्ड और नोटों की पट्टियों पर 3D चित्र) लेज़र प्रकाश का उपयोग करती है; डेनिस गाबोर (Dennis Gabor), नोबेल 1971।

★ **गुरुत्वीय तरंगों (Gravitational waves)** का पता लेज़र व्यतिकरणमापियों से लगाया जाता है (लाइगो, LIGO, पहली खोज 2015)। **लाइगो-इंडिया (LIGO-India)** को 2023 में हिंगोली ज़िले (महाराष्ट्र) के औंढा में स्वीकृति मिली।



(a) बल्ब अनेक तरंगदैर्ध्यों का मिश्रण देता है, जिनके बीच कोई निश्चित कला-संबंध नहीं होता। (b) लेज़र एक ही तरंगदैर्ध्य देता है और हर तरंग कला में होती है (कलासंबद्ध): हर डैश रेखा तीनों तरंगों के शृंगों से एक साथ गुज़रती है।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** लेज़र की विशेषता **कलासंबद्धता और एक तरंगदैर्ध्य** है, यह नहीं कि वह साधारण प्रकाश से तेज़ चलता है। निर्वात में सारा प्रकाश c से चलता है।

☑ झटपट जाँच

1. LASER का पूरा नाम क्या है?
2. लेज़र प्रकाश के चार गुण?
3. पहला लेज़र किसने, कब और किससे बनाया?

उत्तर: 1. Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (विकिरण के उद्दीपित उत्सर्जन द्वारा प्रकाश प्रवर्धन) · 2. एकवर्णी, कलासंबद्ध, दिशात्मक, तीव्र · 3. थियोडोर मेमन, 1960, रूबी

रडार, लिडार, सोनार और लाई-फ़ाई

प्रतिध्वनि: चाल × समय ÷ 2

रडार: रेडियो तरंगें

लिडार: लेज़र

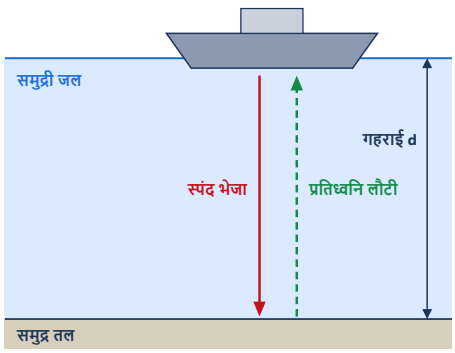
सोनार: पराश्रव्य

लाई-फ़ाई: LED प्रकाश

तीनों दूरी-मापक तंत्र प्रतिध्वनि की तरह काम करते हैं: एक तरंग भेजो, उसके परावर्तन के लौटने का समय मापो, और दूरी निकालो (दूरी = चाल × समय ÷ 2)। इनमें अंतर केवल प्रयुक्त तरंग के प्रकार का है।

रडार बनाम लिडार बनाम सोनार ★★★

	रडार (Radar)	लिडार (LiDAR)	सोनार (Sonar)
पूरा नाम	Radio Detection And Ranging (रेडियो द्वारा संसूचन और दूरी-मापन)	Light Detection And Ranging (प्रकाश द्वारा संसूचन और दूरी-मापन)	Sound Navigation And Ranging (ध्वनि द्वारा नौवहन और दूरी-मापन)
प्रयुक्त तरंग	रेडियो तरंगें / सूक्ष्म तरंगें (विद्युतचुंबकीय)	लेज़र प्रकाश, प्रायः निकट-अवरक्त (विद्युतचुंबकीय)	ध्वनि, प्रायः **पराश्रव्य** (यांत्रिक)
सबसे अच्छा काम करता है	वायु और अंतरिक्ष में; बादलों और अँधेरे के पार देखता है	वायु में; बहुत बारीक विवरण, पर कोहरा और वर्षा रोक देते हैं	**जल** में (ध्वनि जल में दूर तक जाती है; विद्युतचुंबकीय तरंगें नहीं)
उपयोग	हवाई यातायात नियंत्रण, मौसम (डॉप्लर) रडार, जहाज़ों का नौवहन, स्पीड गन	भूमि और वनों का 3D मानचित्रण, स्वचालित कारें, पुरातत्व, बाढ़-मैदान सर्वेक्षण	पनडुब्बी का पता लगाना, समुद्र तल का मानचित्रण, मछलियाँ खोजना
प्रकृति में	जीवों में नहीं	जीवों में नहीं	चमगादड़ और डॉल्फ़िन पराश्रव्य प्रतिध्वनि का उपयोग करते हैं (प्रतिध्वनि-निर्धारण, Echolocation)



दूरी = चाल × समय ÷ 2
तरंग नीचे जाती है और लौटकर आती है, इसलिए वह दूरी दो बार तय करती है।

उदाहरण: प्रतिध्वनि 2 s बाद सुनाई दी;
समुद्री जल में ध्वनि ≈ 1500 m/s
d = 1500 × 2 ÷ 2 = 1500 m

रडार और लिडार में भी यही नियम, $c = 3 \times 10^8$ m/s के साथ (रेडियो तरंगें, लेज़र)।

प्रतिध्वनि से दूरी मापना, जैसे जहाज़ के सोनार में (जहाज़ और गहराई पैमाने पर नहीं)। स्पंद नीचे जाता है और उसकी प्रतिध्वनि लौटती है, इसलिए दूरी = चाल × समय ÷ 2। रडार और लिडार भी इसी तरह प्रतिध्वनि का समय मापते हैं, ध्वनि की जगह रेडियो तरंगों या लेज़र प्रकाश से।

★ **लाई-फ़ाई (Li-Fi, Light Fidelity)** LED प्रकाश को आँख की पकड़ से भी तेज़ टिमटिमाकर डेटा भेजता है; रेडियो-आधारित वाई-फ़ाई के विपरीत यह दीवारों के पार नहीं जा सकता।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** पनडुब्बियाँ रडार नहीं, **सोनार** का उपयोग करती हैं, क्योंकि समुद्री जल रेडियो तरंगों को जल्दी सोख लेता है जबकि ध्वनि दूर तक जाती है।

झटपट जाँच

1. पानी के भीतर कौन-सी दूरी मापने की प्रणाली काम करती है, और क्यों?
2. प्रतिध्वनि से मिली दूरी = ?
3. इनमें से कौन लेज़र प्रकाश का उपयोग करता है: रडार, लिडार या सोनार?

उत्तर: 1. सोनार: ध्वनि पानी में दूर तक जाती है, रेडियो तरंगें नहीं · 2. चाल × समय ÷ 2 · 3. लिडार

पिछले वर्षों में पूछे गए प्रश्न (7)

UPSC 2012 जल शुद्धीकरण प्रणालियों में पराबैंगनी (अल्ट्रा-वायलेट, UV) विकिरण की क्या भूमिका है?
1. यह जल में उपस्थित नुकसानदेह सूक्ष्मजीवों को निष्क्रिय/नष्ट कर देती है।
2. यह जल में उपस्थित सभी अवांछनीय गंधों को दूर कर देती है।
3. यह जल में उपस्थित ठोस कणों के अवसादन को तेज करती है, आविलता दूर करती है और जल की निर्मलता में सुधार लाती है।
उपर्युक्त में से कौन-सा/से कथन सही है/हैं?
(a) केवल 1 (b) केवल 2 और 3 (c) केवल 1 और 3 (d) 1, 2 और 3
उत्तर: (a) केवल 1. पराबैंगनी सूक्ष्मजीवों के डीएनए को क्षति पहुँचाकर जल को रोगाणुमुक्त करता है; यह गंध या आविलता दूर नहीं करता

BPSC 63rd दृश्य स्पेक्ट्रम के तरंगदैर्घ्य की सीमा है
(a) 1300 Å–3900 Å (b) 3900 Å–7600 Å (c) 7800 Å–8200 Å (d) 8500 Å–9800 Å
(e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (b) 3900 Å–7600 Å. दृश्य प्रकाश लगभग 3900 से 7800 Å (390 से 780 nm) तक फैला है

BPSC 64th सही कथन चुनिए।
(a) लाल प्रकाश का तरंगदैर्घ्य, बैंगनी प्रकाश से कम है। (b) लाल प्रकाश का तरंगदैर्घ्य, बैंगनी प्रकाश से ज्यादा है।
(c) बैंगनी प्रकाश का तरंगदैर्घ्य, हरे प्रकाश से ज्यादा है। (d) बैंगनी प्रकाश का तरंगदैर्घ्य, पीले प्रकाश से ज्यादा है।
(e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (b) लाल प्रकाश का तरंगदैर्घ्य, बैंगनी प्रकाश से ज्यादा है।. VIBGYOR में तरंगदैर्घ्य बैंगनी से लाल की ओर बढ़ता है

BPSC 66th मांसपेशियों में दर्द के उपचार में उपयोग किया जाने वाला विकिरण है
(a) इंफ्रारेड (b) माइक्रोवेव (c) यू॰ वी॰ (d) एक्स-रे (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (a) इंफ्रारेड. अवरक्त किरणें ऊष्मा ले जाती हैं और मांसपेशियों व शरीर के दर्द से राहत में प्रयुक्त होती हैं

BPSC 66th विद्युत्-चुम्बकीय तरंगों का वेग होता है
(a) 3×10^{8} m s^{-1} (b) 3×10^{7} m s^{-1} (c) 3×10^{6} m s^{-1} (d) 3×10^{5} m s^{-1} (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (a) 3×10^{8} m s^{-1}. सभी विद्युतचुंबकीय तरंगें निर्वात में लगभग 3×10^{8} मी/से की चाल से चलती हैं

BPSC 70th निम्नलिखित में से कौन-सी विकिरणें शरीर के दर्द से राहत पाने के लिए उपयोग की जाती है ?
(a) इन्फ्रारेड विकिरण (b) यूवी विकिरण (c) दृश्य विकिरण (d) इनमें से कोई नहीं
उत्तर: (a) इन्फ्रारेड विकिरण. अवरक्त किरणें ऊष्मा ले जाती हैं और मांसपेशियों व शरीर के दर्द से राहत में प्रयुक्त होती हैं

BPSC 70th re-exam एक्स-रे का एक गुण यह है कि उन्हें विक्षेपित किया जा सकता है
(a) केवल चुम्बकीय क्षेत्र से (b) विद्युत एवं चुम्बकीय दोनों क्षेत्र के साथ (c) केवल विद्युत क्षेत्र से (d) उपर्युक्त में से कोई नहीं
उत्तर: (d) उपर्युक्त में से कोई नहीं. एक्स-किरणें आवेशरहित होती हैं, इसलिए विद्युत और चुंबकीय क्षेत्र उन्हें विक्षेपित नहीं करते

स्वयं को परखें (11)

1. आवृत्ति के बढ़ते क्रम में व्यवस्थित कीजिए: 1. एक्स-किरणें 2. सूक्ष्म तरंगें 3. पराबैंगनी 4. अवरक्त
(a) 2, 4, 3, 1 (b) 4, 2, 3, 1 (c) 2, 3, 4, 1 (d) 1, 3, 4, 2

2. पैक की गई सिरिंजों के निर्जीवीकरण और कैंसर के उपचार में कौन-सा विकिरण प्रयुक्त होता है?
(a) अवरक्त (b) सूक्ष्म तरंगें (c) गामा किरणें (d) रेडियो तरंगें

3. निम्नलिखित में से कौन-सी विद्युतचुंबकीय तरंग नहीं है?
(a) गामा किरणें (b) पराश्रव्य तरंगें (c) अवरक्त किरणें (d) सूक्ष्म तरंगें

4. CD की सतह पर दिखने वाले रंग मुख्यतः किसके कारण हैं?
(a) विक्षेपण (b) विवर्तन (c) ध्रुवण (d) पूर्ण आंतरिक परावर्तन

5. प्रकाश का ध्रुवण दर्शाता है कि प्रकाश
(a) एक अनुदैर्ध्य तरंग है (b) एक अनुप्रस्थ तरंग है (c) आवेशित कणों की धारा है (d) एक यांत्रिक तरंग है

6. लेज़र के बारे में इन कथनों पर विचार कीजिए: 1. लेज़र प्रकाश एकवर्णी और कलासंबद्ध होता है। 2. निर्वात में लेज़र प्रकाश साधारण प्रकाश से तेज़ चलता है। 3. LASIK शल्य-चिकित्सा में कॉर्निया का आकार बदलने के लिए लेज़र प्रयुक्त होता है। कौन-से सही हैं?
(a) केवल 1 और 2 (b) केवल 1 और 3 (c) केवल 2 और 3 (d) 1, 2 और 3

7. त्वचा में विटामिन D बनाने के लिए सूर्य के प्रकाश का कौन-सा भाग उत्तरदायी है?
(a) अवरक्त (b) दृश्य प्रकाश (c) पराबैंगनी-B (d) एक्स-किरणें

8. कौन-सा उपकरण विद्युतचुंबकीय तरंगों के बजाय ध्वनि तरंगों का उपयोग करता है?
(a) रडार (b) लिडार (c) सोनार (d) लाई-फ़ाई

9. निम्नलिखित कथनों पर विचार कीजिए:
1. UV जल शोधक सूक्ष्मजीवों को मारता है और पानी से घुले लवण भी हटाता है।
2. एक्स-किरणें विद्युत या चुंबकीय क्षेत्रों से विक्षेपित नहीं होतीं।
3. MRI स्कैन शरीर के प्रतिबिंब बनाने के लिए एक्स-किरणों का उपयोग करता है।
उपर्युक्त कथनों में से कौन-सा/से सही है/हैं?
(a) केवल 1 (b) केवल 2 (c) केवल 3 (d) केवल 2 और 3

10. निम्नलिखित पर विचार कीजिए:
1. कैथोड किरणें
2. ब्रह्मांडीय किरणें
3. गामा किरणें
उपर्युक्त में से कितनी विद्युतचुंबकीय तरंगें हैं?
(a) केवल एक (b) केवल दो (c) सभी तीन (d) कोई भी नहीं

11. माइक्रोवेव ओवन में काँच के कटोरे में रखा सूप गर्म हो जाता है, जबकि कटोरा स्वयं काफ़ी ठंडा रहता है। क्यों?
(a) काँच सूक्ष्म तरंगों को वापस सूप पर परावर्तित करता है (b) सूक्ष्म तरंगें एक प्रकार की अवरक्त हैं जिन्हें केवल द्रव सोखते हैं
(c) सूक्ष्म तरंगें जल के अणुओं को झकझोरती हैं; काँच उन्हें गुज़रने देता है (d) ओवन पराबैंगनी किरणें देता है जो काँच से पार हो जाती हैं

उत्तर: 1. (a) सूक्ष्म तरंग < अवरक्त < पराबैंगनी < एक्स-किरणें। · 2. (c) कोबाल्ट-60 से निकली उच्च ऊर्जा वाली गामा किरणें सूक्ष्मजीवों और कैंसर कोशिकाओं को मारती हैं। · 3. (b) पराश्रव्य तरंगें ध्वनि तरंगें हैं और इन्हें माध्यम चाहिए। · 4. (b) पास-पास की पटरियाँ विवर्तन ग्रेटिंग का काम करती हैं। · 5. (b) केवल अनुप्रस्थ तरंगों का ध्रुवण हो सकता है। · 6. (b) निर्वात में सारा प्रकाश c से चलता है; कथन 1 और 3 सही हैं। · 7. (c) UV-B त्वचा में विटामिन D का संश्लेषण शुरू करती है। · 8. (c) सोनार (प्रायः पराश्रव्य) ध्वनि का उपयोग करता है; अन्य रेडियो, लेज़र या LED प्रकाश का उपयोग करते हैं। · 9. (b) UV केवल DNA क्षतिग्रस्त करके सूक्ष्मजीवों को मारती या निष्क्रिय करती है, लवण नहीं हटाती; MRI शक्तिशाली चुंबक और रेडियो तरंगों का उपयोग करता है, एक्स-किरणों का नहीं। केवल कथन 2 सही है। · 10. (a) केवल गामा किरणें विद्युतचुंबकीय तरंगें हैं; कैथोड किरणें इलेक्ट्रॉन हैं और ब्रह्मांडीय किरणें, नाम में 'किरण' होने के बावजूद, अधिकतर तीव्र गति वाले प्रोटॉन हैं। · 11. (c) 2.45 GHz पर क्षेत्र जल के असममित अणुओं को आगे-पीछे मोड़ता है, जिससे सूप गर्म होता है; काँच और चीनी मिट्टी सूक्ष्म तरंगों को गुज़रने देते हैं, जबकि धातु उन्हें परावर्तित करती है।

अध्याय 11

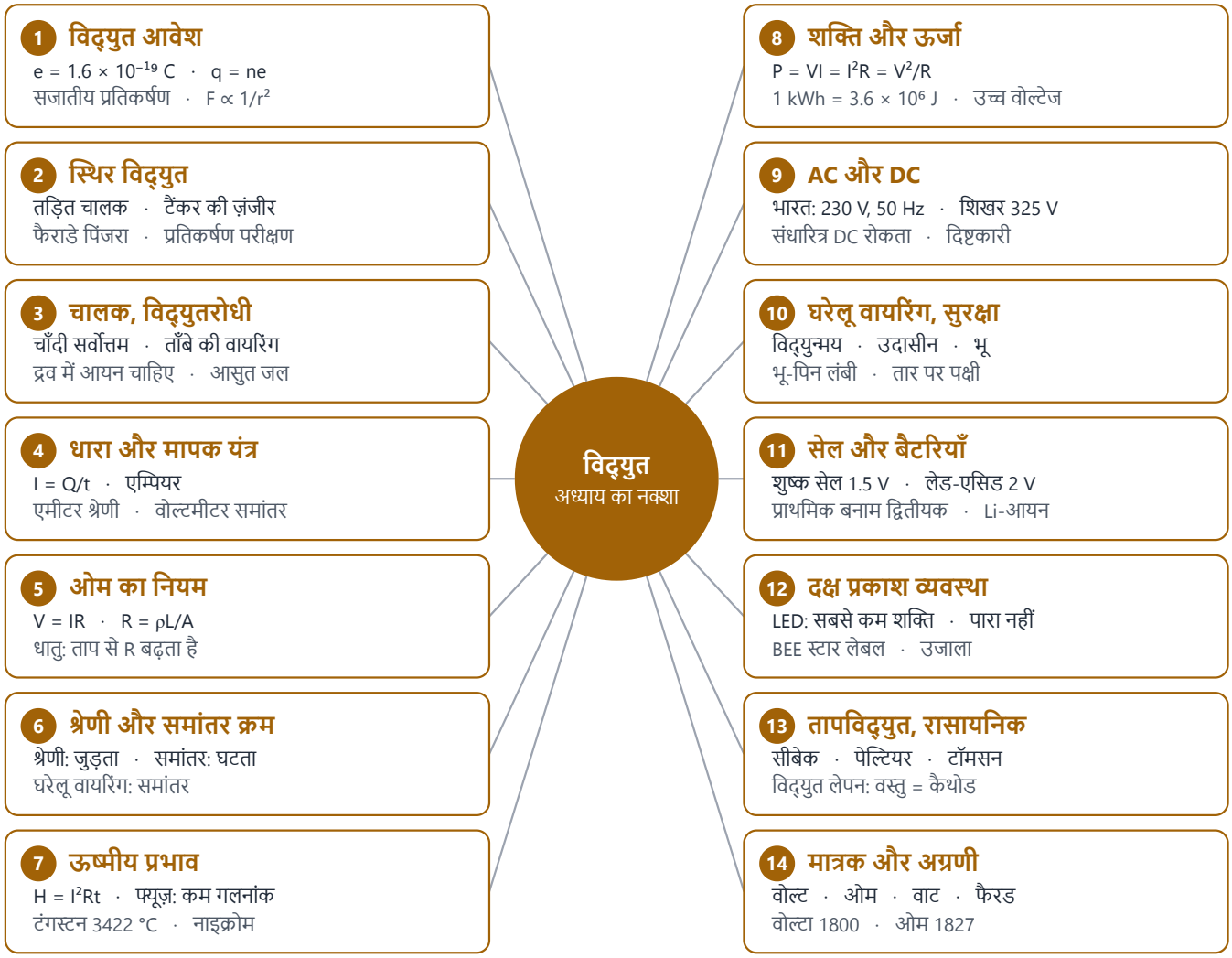
विद्युत: आवेश, धारा और परिपथ

मापक यंत्र, ओम का नियम, शक्ति के सूत्र, श्रेणीक्रम-समांतर क्रम प्रतिरोध, फ्यूज़ और घरेलू सुरक्षा लगभग हर वर्ष पूछे जाते हैं, विशेषकर BPSC में।

पिछले प्रश्नपत्रों में 12 बार पूछा गया: BPSC 12

≈ 1 h 07 min पढ़ने में ≈ 9 min ★★★ दोहराने में

दोहराएँ: दिन 1 | दिन 3 | दिन 7 | दिन 21



रिवीज़न कार्ड

1. आवेश क्वांटीकृत ($q = ne$) और संरक्षित होता है; $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C; 1 C ≈ 6.25×10^{18} इलेक्ट्रॉन।
2. अमीटर धारा मापता है: श्रेणीक्रम में, बहुत कम प्रतिरोध। वोल्टमीटर विभवांतर मापता है: समांतर क्रम में, बहुत अधिक प्रतिरोध।
3. गैल्वेनोमीटर (धारामापी) छोटी धाराओं का पता लगाता है; विभवमापी emf मापता है; ओममीटर प्रतिरोध मापता है; वोल्टामीटर विद्युत-अपघटनी सेल है, वोल्टमीटर नहीं।
4. ओम का नियम $V = IR$, अतः $R = V/I$; $R = \rho L/A$। धातुओं का प्रतिरोध ताप बढ़ने पर बढ़ता है; अर्धचालकों का घटता है।
5. श्रेणीक्रम: $R = R_1 + R_2$ (बड़ा)। समांतर क्रम: $1/R = 1/R_1 + 1/R_2$ (सबसे छोटे से भी छोटा)। घरेलू वायरिंग समांतर क्रम में होती है।
6. शक्ति $P = VI = I^2R = V^2/R$, वाट में। IR^2 शक्ति का सूत्र नहीं है।
7. 1 यूनिट = 1 kWh = 3.6×10^6 J। ऊष्मा $H = I^2Rt$ (जूल का नियम)।
8. फ्यूज़: टिन-लेड मिश्रधातु, कम गलनांक, विद्युन्मय तार पर श्रेणीक्रम में। तंतु: टंगस्टन (3422 °C पर पिघलता है), बल्ब में आर्गन/नाइट्रोजन भरी होती है। हीटर की कुंडली: नाइक्रोम।
9. लघुपथन (Short circuit): प्रतिरोध ≈ 0, अतः धारा बहुत अधिक हो जाती है; फ्यूज़ पिघल जाता है या MCB ट्रिप हो जाता है।
10. भारत: 230 V (प्रायः 220 V भी लिखा जाता है), 50 Hz AC (अमेरिका 120 V, 60 Hz)। धारा एक सेकंड में 100 बार दिशा बदलती है।
11. तारों के रंग: विद्युन्मय भूरा (पुराना लाल), उदासीन नीला (पुराना काला), भू-संपर्क हरा-पीला (पुराना हरा)। भू-संपर्क पिन सबसे लंबी और सबसे मोटी होती है।
12. धारितीय प्रतिघात $X_C = 1/(2\pi fC)$ आवृत्ति बढ़ने पर घटता है; प्रेरकीय प्रतिघात $X_L = 2\pi fL$ आवृत्ति के साथ बढ़ता है।
13. टॉमसन प्रभाव: ताप-प्रवणता वाले एक ही चालक में emf। सीबेक: दो धातुएँ, ऊष्मा → emf। पेल्टियर: धारा → संधि पर तापन/शीतलन।
14. वोल्टा ने पहली बैटरी बनाई (1800)। कारों में लेड-एसिड (प्रति सेल 2 V, 12 V); फ़ोन और EV में Li-ion (रसायन नोबेल 2019)।

विद्युत आवेश

सजातीय बनाम विजातीय

$e = 1.6 \times 10^{-19}$ C

$q = ne$

संरक्षण

कूलॉम का नियम

वोल्ट = J/C

हर परमाणु के नाभिक में धनावेशित प्रोटॉन और उसके चारों ओर ऋणावेशित इलेक्ट्रॉन होते हैं। सामान्यतः ये संतुलित रहते हैं, इसलिए पदार्थ उदासीन होता है। रगड़ने, छूने या गर्म करने से **इलेक्ट्रॉन** एक वस्तु से दूसरी में जा सकते हैं: इलेक्ट्रॉन पाने वाली वस्तु **ऋणावेशित** हो जाती है, खोने वाली **धनावेशित**। ऐसे आवेशन में प्रोटॉन कभी नहीं खिसकते।

★★★ आवेश **दो प्रकार** के होते हैं: धन और ऋण। **सजातीय आवेश एक-दूसरे को प्रतिकर्षित करते हैं, विजातीय आवेश आकर्षित करते हैं।**

★★★ **SI मात्रक**: कूलॉम (Coulomb, C)। एक इलेक्ट्रॉन का आवेश **$e = 1.6 \times 10^{-19}$ C** (ऋण); प्रोटॉन पर उतना ही आवेश होता है, धन।

★★ 2019 की SI पुनर्परिभाषा के बाद e का मान **ठीक** 1.602 176 634 × 10^{-19} C तय कर दिया गया है, और एम्पियर इसी से परिभाषित होता है।

★★★ **क्वांटीकरण (Quantisation)**: कोई भी आवेश e का पूर्ण-संख्या गुणज होता है ($q = ne$)। किसी वस्तु पर 1.5 e आवेश कभी नहीं हो सकता।

★★★ **संरक्षण (Conservation)**: आवेश न बनाया जा सकता है, न नष्ट किया जा सकता है; रगड़ने पर वह केवल एक वस्तु से दूसरी में जाता है। काँच और रेशम पर बराबर और विपरीत आवेश आ जाते हैं।

★★ **1 कूलॉम ≈ 6.25×10^{18} इलेक्ट्रॉनों** का आवेश।

★★ **मिलिकन का तेल-बूँद प्रयोग (Millikan's oil-drop experiment)** (1909) ने e का मान मापा और दिखाया कि आवेश निश्चित टुकड़ों में आता है।

★ जो वस्तु ऋणावेशित होती है वह इलेक्ट्रॉन पाती है, अतः उसका द्रव्यमान बहुत थोड़ा बढ़ जाता है; धनावेशित वस्तु का द्रव्यमान बहुत थोड़ा घटता है।

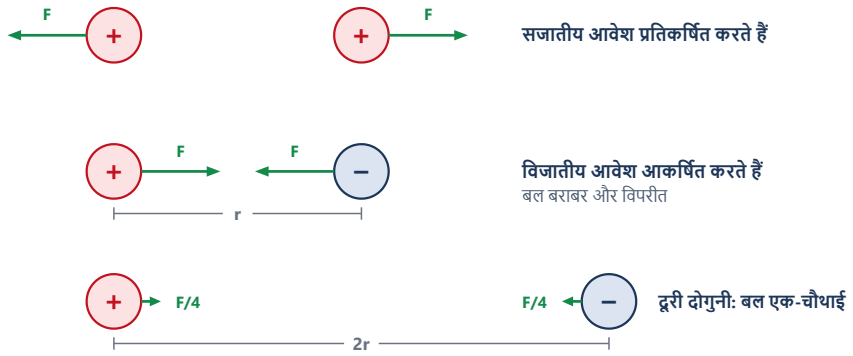
★★ **कूलॉम का नियम (Coulomb's law)** (1785): $F = k\, q_1 q_2 / r^2$, जहाँ $k \approx 9 \times 10^9$ N m² C^{-2}। एक आवेश दोगुना करने पर बल दोगुना होता है; दूरी दोगुनी करने पर बल एक-चौथाई रह जाता है (व्युत्क्रम वर्ग नियम)।

★ **माध्यम में** बल कमजोर हो जाता है: पानी में यह हवा की तुलना में लगभग 1/80 रह जाता है (पानी का परावैद्युतांक (Dielectric constant) ≈ 80)। इसीलिए पानी लवणों को इतनी आसानी से अलग कर देता है।

★ **विद्युत बल बनाम गुरुत्व**: दो प्रोटॉनों के बीच विद्युत बल गुरुत्वाकर्षण बल का लगभग 10^{36} गुना होता है।

★★ **विद्युत क्षेत्र (Electric field)** E = प्रति एकांक आवेश पर बल; मात्रक **N/C** (= V/m)। क्षेत्र रेखाएँ + आवेश से शुरू होकर − आवेश पर खत्म होती हैं और कभी एक-दूसरे को नहीं काटतीं।

★★ **विद्युत विभव (Electric potential)** = एकांक आवेश को बहुत दूर से लाने में किया गया कार्य; मात्रक **वोल्ट** (1 V = 1 J/C)। धन आवेश उच्च विभव से निम्न विभव की ओर बहता है, जैसे पानी ढलान पर नीचे बहता है।



आवेशों के बीच बल, तीर पैमाने पर। सजातीय आवेश प्रतिकर्षित और विजातीय आवेश आकर्षित करते हैं, बल सदा बराबर और विपरीत। आवेशों के बीच दूरी दोगुनी करें तो हर बल एक-चौथाई रह जाता है ($F \propto 1/r^2$)।

याद रखें: GSP: Glass rubbed with Silk turns Positive, यानी रेशम से रगड़ा गया काँच धनावेशित होता है। सूखे बालों में प्लास्टिक की कंघी, स्वेटर पर गुब्बारा और ऊन से रगड़ा गया एबोनाइट, सभी इलेक्ट्रॉन खींच लेते हैं और ऋणावेशित हो जाते हैं।

झटपट जाँच

1. काँच को रेशम से रगड़ा गया। इलेक्ट्रॉन किधर जाते हैं, और काँच पर कौन-सा आवेश आता है?
2. क्या किसी वस्तु पर 1.5 e आवेश हो सकता है? क्यों?
3. दो आवेशों के बीच दूरी दोगुनी करने पर बल _____ हो जाता है।

उत्तर: 1. इलेक्ट्रॉन काँच छोड़ते हैं; काँच धनावेशित होता है · 2. नहीं: आवेश क्वांटीकृत है, q = ne · 3. एक-चौथाई ($F \propto 1/r^2$)

दैनिक जीवन में स्थिर विद्युत

आवेशन की विधियाँ

प्रतिकर्षण परीक्षण

तड़ित चालक

टैंकर की ज़ंजीर

फैराडे पिंजरा

जो आवेश किसी वस्तु पर टिका रहता है, वह **स्थिर विद्युत (Static electricity)** है। यह दो सतहों के रगड़ने से जमा होता है और रास्ता मिलते ही अचानक **चिंगारी** के रूप में निकल जाता है। शुष्क हवा में यह जमा होता रहता है; नम हवा में धीरे-धीरे रिस जाता है। इसीलिए चिंगारियाँ सर्दियों की समस्या हैं, मानसून की नहीं।

किसी वस्तु को आवेशित करने के तीन तरीके ★★

विधि	क्या होता है	प्राप्त आवेश का चिह्न
घर्षण (Friction), यानी रगड़ना	इलेक्ट्रॉन एक सतह से दूसरी सतह पर चले जाते हैं	दोनों वस्तुओं पर विपरीत
चालन (Conduction), यानी छूना	आवेशित वस्तु संपर्क होने पर अपना आवेश बाँट देती है	आवेश देने वाली वस्तु जैसा ही
प्रेरण (Induction), बिना संपर्क	पास रखी आवेशित वस्तु मुक्त इलेक्ट्रॉनों को एक ओर धकेल देती है; दूर वाले सिरे को भू-संपर्कित करके फिर यह संपर्क हटा देने पर आवेश बचा रहता है	प्रेरित करने वाली वस्तु के विपरीत

★★ **आवेशित कंघी कागज़ के टुकड़े क्यों उठाती है**: वह कागज़ के पास वाले भाग पर विपरीत आवेश प्रेरित करती है, और आकर्षण जीत जाता है। केवल आकर्षण से यह सिद्ध नहीं होता कि वस्तु आवेशित है।

★★★ **प्रतिकर्षण ही आवेश की पक्की पहचान है**: केवल दो आवेशित वस्तुएँ ही एक-दूसरे को प्रतिकर्षित कर सकती हैं।

★★ **स्वर्ण-पत्र विद्युतदर्शी (Gold-leaf electroscope)** आवेश का पता लगाता है: दो पतली पत्तियों पर एक जैसा आवेश आता है और वे फैल जाती हैं। वे जितनी अधिक खुलें, आवेश उतना अधिक।

★★★ **तड़ित (Lightning)**: कपासी-वर्षी मेघ (Cumulonimbus) के भीतर बर्फ और पानी के कणों के घर्षण से आवेश अलग हो जाता है; जब क्षेत्र काफी प्रबल हो जाता है तो हवा की विद्युतरोधी क्षमता टूट जाती है और एक विशाल चिंगारी दूसरे बादल या धरती तक कूद जाती है। **बेंजामिन फ्रैंकलिन (Benjamin Franklin)** ने अपने पतंग प्रयोग (1752) से दिखाया कि तड़ित विद्युत ही है।

★★★ **तड़ित चालक (Lightning conductor)**: इमारत के सबसे ऊँचे बिंदु से ऊपर उठी नुकीली धातु (ताँबे) की छड़, जो एक मोटी पट्टी द्वारा नम मिट्टी में गड़ी प्लेट से जुड़ी होती है। आवेश नुकीले सिरों पर जमा होता है, इसलिए छड़ तड़ित को सुरक्षित रूप से धरती तक ले जाती है।

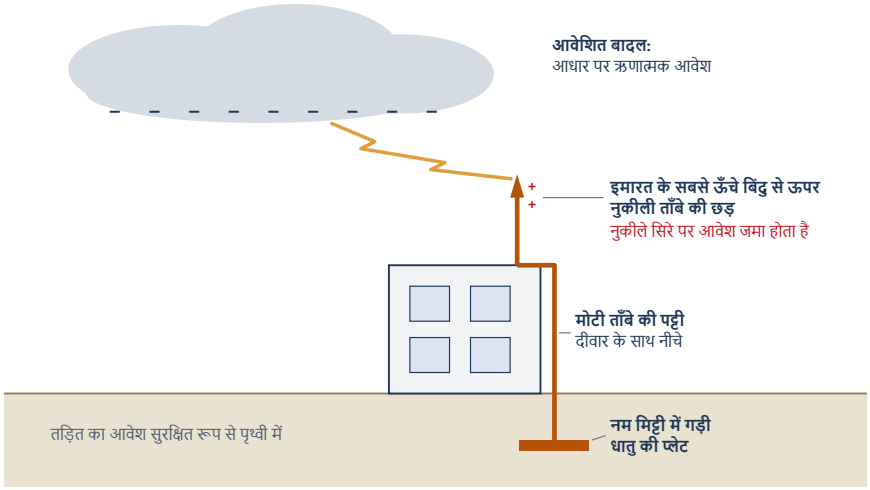
★★ **गर्जन (Thunder)** चमक के बाद सुनाई देता है, क्योंकि प्रकाश ध्वनि से कहीं अधिक तेज़ चलता है।

★★ **ईंधन टैंकरों** पर ईंधन के हिलने और टायरों के घूमने से आवेश जमा होता है। सड़क को छूती **धातु की ज़ंजीर या चालक पट्टी** इसे धरती में भेज देती है, ताकि कोई चिंगारी ईंधन की वाष्प को न सुलगाए।

★★ **ऊनी और सिंथेटिक कपड़े** शुष्क सर्दियों में चटकते हैं और छोटी चिंगारियाँ देते हैं: रगड़ से वे आवेशित होते हैं, और शुष्क हवा आवेश को रिसने नहीं देती।

★★ **आवेश चालक की बाहरी सतह पर रहता है** और बंद धातु के खोल के भीतर क्षेत्र शून्य होता है (**फैराडे पिंजरा (Faraday cage)**)। इसलिए तड़ित वाले तूफ़ान में बंद कार, बस या विमान सुरक्षित स्थान है।

★ **स्थिर विद्युत के उपयोग**: फोटोकॉपी मशीन और लेज़र प्रिंटर (आवेशित ड्रम टोनर उठाता है), ताप विद्युत संयंत्रों की चिमनियों से फ्लाई ऐश हटाने वाले स्थिरवैद्युत अवक्षेपित्र (Electrostatic precipitator), स्प्रे पेंटिंग।



तड़ित चालक। बादल का ऋणावेशित आधार छड़ में धनावेश प्रेरित करता है, जो नुकीले सिरे पर जमा होता है; तड़ित मोटी ताँबे की पट्टी से होकर नम मिट्टी में गड़ी प्लेट तक पहुँचती है और इमारत बच जाती है। पैमाने पर नहीं।

आसपास देखें: दिल्ली के दिसंबर में अँधेरे में स्वेटर उतारते समय चटचट की आवाज़ आती है और छोटी नीली चिंगारियाँ दिखती हैं। कालीन पर चलने के बाद धातु का दरवाज़े का हैंडल छूने पर हल्का झटका लगता है। दोनों में स्थिर आवेश निकल रहा होता है।

⚠ परीक्षा में सावधान: तड़ित वाले तूफ़ान में किसी अकेले ऊँचे पेड़ के नीचे या खुले मैदान में खड़े रहना खतरनाक है; बंद कार के भीतर बैठना सुरक्षित है। कार अपने धातु के खोल के कारण बचाती है, रबर के टायरों के कारण नहीं।

1902 में एफिल टावर पर गिरती तड़ित। तड़ित सबसे ऊँचे धातु बिंदु को चुनती है और लोहे का ढाँचा आवेश को सुरक्षित रूप से पृथ्वी तक ले जाता है: किसी इमारत के लिए तड़ित चालक यही काम करता है। चित्र: Gabriel Loppé, Wikimedia Commons, public domain

☑ झटपट जाँच

1. किसी वस्तु के आवेशित होने की पक्की पहचान क्या है: आकर्षण या प्रतिकर्षण?
2. ईंधन टैंकर में सड़क को छूती धातु की ज़ंजीर क्यों होती है?
3. आँधी-तूफ़ान में बंद कार सुरक्षित क्यों है?

उत्तर: 1. प्रतिकर्षण · 2. यह स्थिर आवेश को पृथ्वी में भेज देती है, ताकि चिंगारी ईंधन की वाष्प को न जलाए · 3. उसके धातु के खोल (फैराडे पिंजरा) के कारण, रबर के टायरों के कारण नहीं

चालक, विद्युतरोधी और अर्धचालक

मुक्त इलेक्ट्रॉन
चाँदी सर्वोत्तम
ताँबे की वायरिंग
एल्युमिनियम लाइनें
द्रवों में आयन
आसुत जल

कोई पदार्थ तभी चालन करता है जब उसमें गति करने को स्वतंत्र आवेश हों। धातुओं में मुक्त इलेक्ट्रॉनों का समुद्र होता है। द्रवों में आवेश-वाहक **आयन** होते हैं, इसलिए कोई द्रव तभी चालन करता है जब उसमें ऐसा पदार्थ घुला हो जो आयनों में टूट जाए।

कौन चालन करता है और कौन नहीं ★★★

प्रकार	कारण	उदाहरण
चालक (Conductor)	बहुत से मुक्त इलेक्ट्रॉन; कम प्रतिरोध	चाँदी (सर्वश्रेष्ठ), ताँबा, सोना, एल्युमिनियम, लोहा, ग्रेफाइट, मानव शरीर, पृथ्वी
विद्युतरोधी (Insulator)	लगभग कोई मुक्त आवेश नहीं; बहुत अधिक प्रतिरोध	रबर, प्लास्टिक, काँच, सूखी लकड़ी, पोर्सिलेन, अभ्रक, शुष्क वायु
अर्धचालक (Semiconductor)	बीच की स्थिति; ऊष्मा या अशुद्धि मिलाने पर चालन बढ़ता है	सिलिकॉन, जर्मेनियम (इलेक्ट्रॉनिकी वाले अध्याय में अधिक)
चालक द्रव (विद्युत-अपघट्य, Electrolytes)	घुले हुए आयन आवेश ले जाते हैं	नमक का पानी, नींबू का रस, संतरे का रस, सिरका, अम्ल, नल का पानी, पिघले लवण
कुचालक द्रव	आयन नहीं	आसुत जल, केरोसिन, पेट्रोल, वनस्पति तेल

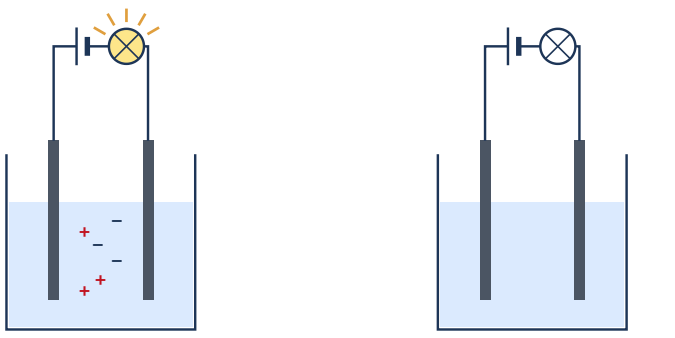
★★★ **चाँदी** सर्वश्रेष्ठ चालक है; घरेलू वायरिंग में **ताँबा** लगता है (लगभग उतना ही अच्छा, बहुत सस्ता); ऊपरी संचरण लाइनों में **एल्युमिनियम** (हल्का और सस्ता)।

★★ **ग्रेफाइट** अधातु होते हुए भी चालन करता है; इसका उपयोग इलेक्ट्रोडों में और शुष्क सेल की कार्बन छड़ में होता है।

★★ **पारा** द्रव धातु है और अच्छा चालक है; इसे आयनों की ज़रूरत नहीं।

★★ **शुद्ध (आसुत) जल** लगभग चालन नहीं करता; झटका देने वाला नल का पानी घुले लवणों के कारण चालन करता है।

★ बिजली के खंभों पर लगी **पोर्सिलेन की चकतियाँ** विद्युन्मय तारों को खंभे से विद्युतरोधित रखती हैं।



(a) नमक का पानी
आयन आवेश ले जाते हैं: बल्ब जलता है

(b) आसुत जल
लगभग कोई आयन नहीं: बल्ब नहीं जलता

एक ही परिपथ, दो द्रव। नमक के पानी में आयन आवेश ले जाते हैं, इसलिए बल्ब जलता है; आसुत जल में लगभग कोई आयन नहीं, इसलिए बल्ब नहीं जलता। नींबू का रस या सिरका भी बल्ब जला देगा।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** "कौन-सा द्रव कुचालक है: नमक का पानी, संतरे का रस या नींबू का रस?" इनमें से कोई नहीं। तीनों में आयन होते हैं और ये चालन करते हैं। विकल्प में हो तो कुचालक के रूप में आसुत जल, तेल या केरोसिन चुनें।

☑ झटपट जाँच

1. धातुओं में विद्युत का सबसे अच्छा चालक?
2. ऊपरी संचरण लाइनों में ताँबे के बजाय एल्युमिनियम क्यों लगता है?
3. नमक का पानी, नींबू का रस, केरोसिन: इनमें कुचालक कौन है?

उत्तर: 1. चाँदी · 2. वह हल्का और सस्ता है · 3. केरोसिन (आयन नहीं)

धारा, विभवांतर और उन्हें मापने वाले यंत्र

I = Q/t

इलेक्ट्रॉन अपवाह

एमीटर: श्रेणी

वोल्टमीटर: समांतर

गैल्वेनोमीटर

वोल्टामीटर ≠ वोल्टमीटर

पानी की टंकी की कल्पना करें: **ऊँचाई का अंतर** (विभवांतर) पानी को धकेलता है, **प्रवाह की दर** धारा है, और **पतला पाइप** प्रतिरोध है। बैटरी वह पंप है जो ऊँचाई के अंतर को बनाए रखता है।

★★★ **विद्युत धारा (Electric current)** I = प्रति सेकंड बहने वाला आवेश, I = Q/t। मात्रक **एम्पियर** (A), सात SI मूल मात्रकों में से एक; 1 A = 1 C/s।

★★★ **परंपरागत धारा (Conventional current)** सेल के बाहर + से − की ओर बहती है; **इलेक्ट्रॉन** वास्तव में उलटी दिशा में, − से + की ओर, अपवाहित होते हैं।

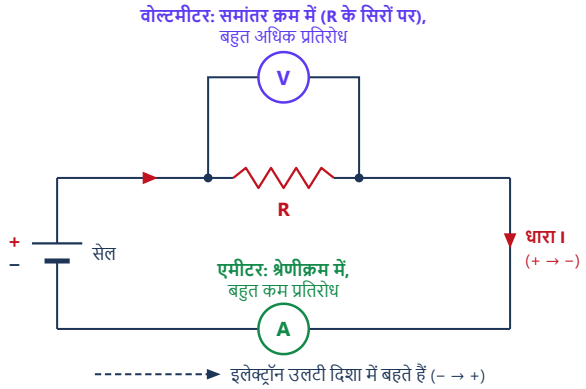
★★ तार में इलेक्ट्रॉनों का **अपवाह वेग (Drift speed)** बहुत छोटा होता है (एक मिलीमीटर प्रति सेकंड से भी काफी कम), फिर भी बल्ब तुरंत जल उठता है क्योंकि विद्युत क्षेत्र तार में लगभग प्रकाश की चाल से चलता है।

★★★ **विभवांतर (Potential difference)** (वोल्टेज) = दो बिंदुओं के बीच प्रति एकांक आवेश किया गया कार्य; मात्रक **वोल्ट** (V), जो अलेस्सांद्रो वोल्टा (Alessandro Volta) के नाम पर है।

★★ **विद्युत वाहक बल (EMF, Electromotive force)** = सेल द्वारा प्रत्येक कूलॉम को दी गई ऊर्जा; वोल्ट में मापा जाता है। यह बल नहीं है। धारा बहते समय टर्मिनल वोल्टेज emf से थोड़ा कम होता है, क्योंकि सेल का आंतरिक प्रतिरोध होता है।

यंत्र: कौन क्या मापता है ★★★

यंत्र	मापता है / काम	कैसे जोड़ा जाता है
अमीटर (Ammeter)	विद्युत धारा	श्रेणीक्रम में; बहुत कम प्रतिरोध
वोल्टमीटर (Voltmeter)	विभवांतर	समांतर क्रम में; बहुत अधिक प्रतिरोध
गैल्वेनोमीटर (Galvanometer, धारामापी)	छोटी धाराओं और उनकी दिशा का पता लगाता है	श्रेणीक्रम में; समांतर में कम प्रतिरोध (शंट) जोड़ने पर अमीटर, श्रेणी में उच्च प्रतिरोध जोड़ने पर वोल्टमीटर बन जाता है
विभवमापी (Potentiometer)	सेल का emf, सटीकता से (संतुलन पर कोई धारा नहीं लेता); emf की तुलना	लंबा समान तार और गैल्वनोमीटर (शून्य विक्षेप विधि)
ओममीटर (Ohmmeter)	प्रतिरोध	घटक के आर-पार, परिपथ की बिजली बंद करके
मल्टीमीटर	धारा, वोल्टेज और प्रतिरोध	धारा के लिए श्रेणी में, वोल्टता के लिए समांतर में
व्हीटस्टोन सेतु / मीटर सेतु	अज्ञात प्रतिरोध	चार प्रतिरोध और एक गैल्वनोमीटर (शून्य विक्षेप विधि)
धारा नियंत्रक (Rheostat)	प्रतिरोध बदलकर धारा नियंत्रित करता है	श्रेणीक्रम में
वोल्टामीटर (Voltameter)	विद्युत-अपघटनी सेल; विद्युत-अपघटन दिखाता है और प्रवाहित आवेश मापता है	श्रेणी में: पूरी धारा इससे गुज़रती है
ऊर्जा मीटर	kWh (यूनिट) में विद्युत ऊर्जा	घर के प्रवेश पर
विद्युतदर्शी (Electroscope)	स्थिर आवेश का पता लगाता है	परिपथ में नहीं: आवेशित वस्तु इसकी टोपी को छूती है



एमीटर A श्रेणीक्रम में, ताकि पूरी धारा उससे होकर जाए; वोल्टमीटर V समांतर क्रम में, उसी प्रतिरोधक के सिरों पर जिसका वोल्टेज मापना है। परंपरागत धारा + सिरे से निकलती है; इलेक्ट्रॉन उलटी दिशा में बहते हैं।

याद रखें: अमीटर कतार में खड़ा होता है (श्रेणीक्रम); वोल्टमीटर बगल में खड़ा होकर ऊँचाइयों की तुलना करता है (समांतर क्रम)। अमीटर को कतार धीमी नहीं करनी चाहिए, इसलिए उसका प्रतिरोध बहुत छोटा होता है; वोल्टमीटर को धारा नहीं चुरानी चाहिए, इसलिए उसका प्रतिरोध बहुत बड़ा होता है।

⚠ परीक्षा में सावधान: वोल्टामीटर ≠ वोल्टमीटर। और गैल्वेनोमीटर धारा का पता लगाता है; वह प्रतिरोध नहीं मापता। "गैल्वेनोमीटर: विद्युत प्रतिरोध" गलत सुमेलित युग्म है।

☑ झटपट जाँच

1. एमीटर कैसे जोड़ा जाता है, और उसका प्रतिरोध कैसा होता है?
2. सेल के बाहर तार में इलेक्ट्रॉन _____ से _____ की ओर बहते हैं; परंपरागत धारा उलटी दिशा में।
3. कौन-सा यंत्र संतुलन पर कोई धारा लिए बिना सेल का विद्युत वाहक बल सही-सही मापता है?

उत्तर: 1. श्रेणीक्रम में; बहुत कम · 2. − से + · 3. विभवमापी (Potentiometer)

ओम का नियम और प्रतिरोध

V = IR

R = ρL/A

प्रतिरोधकता (Ω m)

खींचा तार: 4R

ताप का प्रभाव

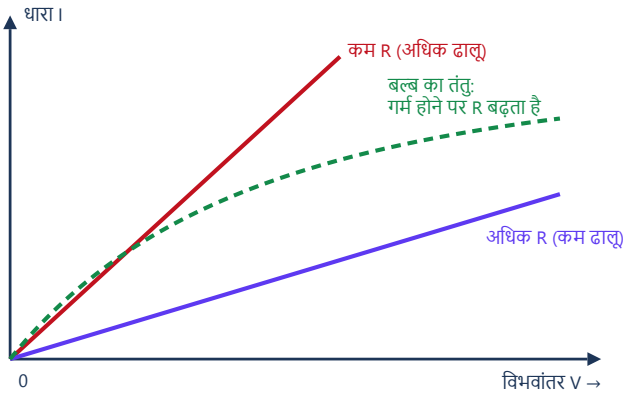
अधिक ज़ोर से धकेलें तो अधिक धारा बहती है। **जॉर्ज साइमन ओम (Georg Simon Ohm)** (1827) ने पाया कि स्थिर ताप पर धातु के तार में धारा वोल्टेज के ठीक समानुपाती होती है। उस तार के लिए V/I का अनुपात स्थिर रहता है और इसे उसका **प्रतिरोध (Resistance)** कहते हैं।

★★★ **ओम का नियम (Ohm's law)**: V = IR, अतः **R = V/I** और I = V/R। यह तब लागू होता है जब ताप और भौतिक दशाएँ समान रहें।

★★★ **प्रतिरोध का मात्रक**: ओम (Ω); 1 Ω = 1 V/A। **चालकत्व (Conductance)** G = 1/R, मात्रक सीमेंस (S), पुराना नाम म्हो (℧)।

★★ ओमीय चालक का **V–I ग्राफ** मूल बिंदु से होकर जाने वाली सीधी रेखा होता है। I-V रेखा जितनी अधिक ढालू, प्रतिरोध उतना कम।

★★ **अन-ओमीय (Non-ohmic)** युक्तियाँ: तंतु वाला बल्ब (गर्म होने पर प्रतिरोध बढ़ता है), डायोड, ट्रांजिस्टर, विद्युत-अपघट्य।



ओमीय चालक: मूल बिंदु से होकर सीधी रेखा; ढाल = 1/R

सीधी रेखा = ओम के नियम का पालन। अधिक ढालू रेखा = कम प्रतिरोध। बल्ब का तंतु गर्म होने पर उसका प्रतिरोध बढ़ता है, इसलिए उसका वक्र नीचे की ओर मुड़ जाता है।

★★★ **R = ρL/A**: प्रतिरोध **लंबाई** (L) के साथ बढ़ता है और **अनुप्रस्थ काट के क्षेत्रफल** (A) के साथ घटता है। ρ (रो) **प्रतिरोधकता (Resistivity)** है।

★★★ **प्रतिरोधकता** केवल पदार्थ और उसके ताप पर निर्भर करती है, आकार या माप पर नहीं। मात्रक **ओम-मीटर (Ω m)**।

★★ **20 °C पर मान**: चाँदी ≈ 1.6×10^{-8} Ω m, ताँबा ≈ 1.7×10^{-8} Ω m, नाइक्रोम ≈ 1.1×10^{-6} Ω m (ताँबे का लगभग 65 गुना)।

★★ **मोटा तार, कम प्रतिरोध**: व्यास दोगुना करने पर क्षेत्रफल 4 गुना हो जाता है, अतः प्रतिरोध एक-चौथाई रह जाता है।

★★ किसी तार को **खींचकर** दोगुनी लंबाई का करने पर (आयतन अपरिवर्तित) उसका क्षेत्रफल आधा हो जाता है, अतः प्रतिरोध **4 गुना** हो जाता है।

★★★ **ताप**: धातुओं में ताप बढ़ने पर प्रतिरोध **बढ़ता** है (कंपन करते परमाणु इलेक्ट्रॉनों का रास्ता रोकते हैं); **अर्धचालकों में यह घटता है** (ऊष्मा अधिक आवेश-वाहक मुक्त कर देती है)।

★ मैंगनिन और कॉन्स्टेंटन जैसी **मिश्रधातुओं** का प्रतिरोध ताप से लगभग नहीं बदलता, इसलिए मानक प्रतिरोधक इन्हीं से बनते हैं।

★★ **अतिचालक (Superconductors)** एक क्रांतिक ताप से नीचे अपना पूरा प्रतिरोध खो देते हैं: हाइके कामरलिंग ओनेस (Heike Kamerlingh Onnes) ने इसे पारे में 4.2 K पर देखा (1911)। MRI चुंबकों और मैग्लेव ट्रेनों में उपयोग (विस्तार इलेक्ट्रॉनिकी और पदार्थ वाले अध्याय में)।

याद रखें: VIR त्रिभुज: V को ऊपर, I और R को नीचे रखें। जो चाहिए उसे ढक दें: V = I × R, I = V/R, R = V/I। "Very Intelligent Rahul" ओम को कभी नहीं भूलता।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** प्रतिरोध R लंबाई और मोटाई के साथ बदलता है; प्रतिरोधकता ρ नहीं बदलती। ताँबे के लंबे पतले तार और छोटे मोटे तार का प्रतिरोध अलग होता है, पर प्रतिरोधकता एक ही।

झटपट जाँच

1. तार को खींचकर दोगुनी लंबाई का कर दिया गया। उसका प्रतिरोध कितना हो जाएगा?
2. गर्म करने पर धातु के तार का प्रतिरोध बढ़ता है। गर्म करने पर अर्धचालक का प्रतिरोध क्या होता है?
3. तार को आधा काट देने पर क्या प्रतिरोधकता बदलती है?

उत्तर: 1. 4 गुना · 2. घटता है · 3. नहीं: यह केवल पदार्थ और ताप पर निर्भर है

श्रेणीक्रम और समांतर क्रम परिपथ

श्रेणी: R जुड़ते

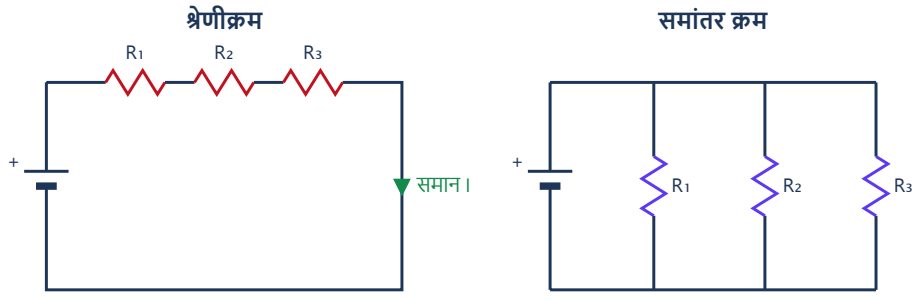
समांतर: 1/R जुड़ते

घरेलू वायरिंग समांतर

60 W बनाम 100 W

अनुपात n^2

श्रेणीक्रम (Series) में एक ही रास्ता होता है, इसलिए वही धारा हर प्रतिरोधक से एक के बाद एक गुज़रती है: प्रतिरोध जुड़ते जाते हैं। **समांतर क्रम (Parallel)** में हर प्रतिरोधक एक नया रास्ता देता है, जैसे टोल प्लाज़ा पर अधिक बूथ खोलना: कुल प्रतिरोध सबसे छोटे प्रतिरोध से भी कम हो जाता है।



$R = R_1 + R_2 + R_3$ (बढ़ता है)
समान धारा; वोल्टेज बँट जाता है
एक टूटन: सब कुछ रुक जाता है

$1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$ (घटता है)
समान वोल्टेज; धारा बँट जाती है
एक टूटन: बाकी चलते रहते हैं

श्रेणीक्रम: एक रास्ता, समान धारा, प्रतिरोध जुड़ते हैं। समांतर क्रम: कई रास्ते, समान वोल्टेज, कुल प्रतिरोध घटता है।

श्रेणीक्रम बनाम समांतर क्रम ★★★

विशेषता	श्रेणीक्रम	समांतर क्रम
तुल्य प्रतिरोध	$R = R_1 + R_2 + R_3$ (सबसे बड़े से भी अधिक)	$1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$ (सबसे छोटे से भी कम)
धारा	प्रत्येक में समान	बँट जाती है; छोटे प्रतिरोध में अधिक
वोल्टेज	इनमें बँट जाता है	प्रत्येक पर समान
एक घटक खराब होने पर	पूरा परिपथ रुक जाता है	बाकी चलते रहते हैं
n समान प्रतिरोधक R	nR	R/n
रोज़मर्रा का उपयोग	परिपथ के साथ फ्यूज़; सस्ती सजावटी बल्ब-लड़ियाँ	घरेलू वायरिंग; कार की हेडलाइटें

★★★ **घरेलू वायरिंग समांतर क्रम में होती है**: हर उपकरण को पूरा 230 V मिलता है, हर एक का अपना स्विच होता है, एक बल्ब फ्यूज़ होने से पूरा घर अँधेरा नहीं होता, और कुल प्रतिरोध कम रहता है।

★★ **समांतर क्रम में दो प्रतिरोधक**: $R = R_1R_2/(R_1 + R_2)$ ("गुणनफल बटा योग")।

★★ **हल किया गया उदाहरण**: समांतर क्रम में दो प्रतिरोधक 1.403 kΩ देते हैं; एक 2.0 kΩ है। तब $1/R_2 = 1/1.403 - 1/2.0 = 0.7128 - 0.5 = 0.2128$, अतः **$R_2 \approx 4.70$ kΩ**। जाँच: कुल (1.403) 2.0 और 4.70 दोनों से कम है।

★★ **n समान प्रतिरोधक**: श्रेणीक्रम का कुल ÷ समांतर क्रम का कुल = **n^2**। दो समान प्रतिरोधक: श्रेणीक्रम 2R, समांतर R/2, अनुपात 4।

★★ **सस्ती सजावटी बल्ब-लड़ियाँ** प्रायः श्रेणीक्रम में जुड़ी होती हैं: एक बल्ब खराब होते ही पूरी लड़ी बुझ जाती है।

★ **श्रेणीक्रम में सेल** अपने वोल्टेज जोड़ते हैं (1.5 V के चार सेल 6 V देते हैं); समांतर क्रम में सेल वही वोल्टेज देते हैं पर अधिक समय चलते हैं।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** 60 W और 100 W के बल्ब **श्रेणीक्रम** में: **60 W का बल्ब अधिक चमकता है** (उसका प्रतिरोध अधिक है, और समान धारा पर उसे अधिक I^2R मिलता है)। **समांतर क्रम** में (जैसा घर में होता है) 100 W का बल्ब अधिक चमकता है। परीक्षक इसे उलटकर पूछना पसंद करते हैं।

☑ **झटपट जाँच**

1. घरेलू वायरिंग समांतर क्रम में क्यों होती है? एक कारण बताइए।
2. 60 W और 100 W के बल्ब श्रेणीक्रम में जोड़े गए। कौन अधिक चमकेगा?
3. समांतर क्रम में दो समान प्रतिरोधक R का तुल्य प्रतिरोध?

उत्तर: 1. हर उपकरण को पूरा 230 V मिलता है (और एक के खराब होने पर बाकी चलते रहते हैं) · 2. 60 W वाला (अधिक प्रतिरोध) · 3. R/2

ऊष्मीय प्रभाव: फ्यूज़, तंतु और हीटर

$H = I^2Rt$

नाइक्रोम अवयव

टंगस्टन 3422 °C

फ्यूज़: टिन-लेड

MCB, RCCB

तार में चलते इलेक्ट्रॉन लगातार परमाणुओं से टकराते हैं और ऊर्जा ऊष्मा के रूप में दे देते हैं। **जेम्स प्रेस्कॉट जूल (James Prescott Joule)** ने इसे मापा: ऊष्मा धारा के वर्ग के साथ बढ़ती है, अतः धारा दोगुनी करने पर ऊष्मा चार गुना हो जाती है। कुछ उपकरणों को यह ऊष्मा चाहिए (इस्त्री, हीटर), कुछ को इसे सहना पड़ता है (बल्ब का तंतु), और एक को इसी से खत्म होने के लिए बनाया जाता है (फ्यूज़)।

★★★ **जूल का तापन नियम (Joule's law of heating)**: $H = I^2Rt$ (ऊष्मा जूल में, धारा A में, प्रतिरोध Ω में, समय s में)।

★★ **ऊष्मीय प्रभाव के उपयोग**: विद्युत इस्त्री, रूम हीटर, गीज़र, टोस्टर, केतली, हॉट प्लेट, तंतु वाला बल्ब, फ्यूज़।

★★★ **तापन अवयव (Heating element)**: **नाइक्रोम** (निकेल-क्रोमियम मिश्रधातु): उच्च प्रतिरोधकता, उच्च गलनांक (लगभग 1400 °C), लाल-तप्त होने पर भी आसानी से ऑक्सीकृत नहीं होता।

★★★ **बल्ब का तंतु (Filament)**: **टंगस्टन**, सबसे अधिक गलनांक वाली धातु (**3422 °C**)। यह लगभग 2500 °C पर श्वेत-तप्त होकर चमकता है।

★★★ **बल्ब की गैस**: इसमें अक्रिय **आर्गन और/या नाइट्रोजन** भरी होती है ताकि गर्म टंगस्टन ऑक्सीकृत न हो और धीरे वाष्पित हो। अधिक लंबाई समाने के लिए तंतु कुंडलित होता है।

★★★ **फ्यूज़ (Fuse)**: **टिन-लेड मिश्रधातु** का छोटा तार, जिसका **गलनांक कम** होता है (और प्रतिरोधकता ताँबे से अधिक), और जो **विद्युन्मय (Live) तार पर श्रेणीक्रम में** जोड़ा जाता है। धारा उसकी रेटिंग से अधिक होने पर यह पिघलकर परिपथ तोड़ देता है और वायरिंग व उपकरणों को बचाता है।

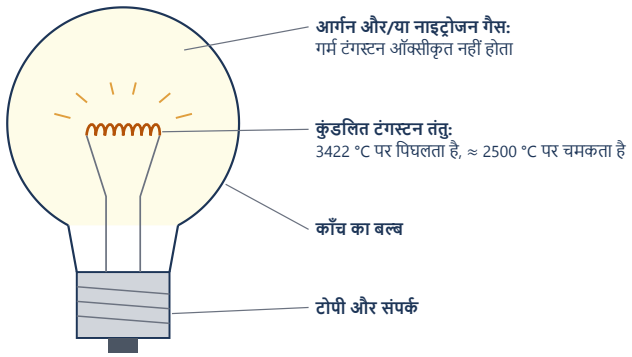
★★ **फ्यूज़ रेटिंग** एम्पियर में होती है (जैसे बत्तियों के लिए 5 A, भारी उपकरणों के लिए 15 A)। फ्यूज़ की जगह मोटा ताँबे का तार लगाने से फ्यूज़ बेकार हो जाता है और आग का खतरा होता है।

★★★ **लघुपथन (Short circuit)**: विद्युन्मय और उदासीन तार सीधे छू जाते हैं (विद्युतरोधन खराब होने पर)। प्रतिरोध लगभग शून्य हो जाता है, अतः **धारा बहुत अधिक हो जाती है**, तार गर्म होते हैं और आग लग सकती है।

★★ **अतिभारण (Overloading)**: एक ही सॉकेट पर बहुत सारे उपकरण तार की रेटिंग से अधिक धारा खींचते हैं।

★★★ **MCB** (मिनिएचर सर्किट ब्रेकर, Miniature circuit breaker): एक स्वचालित स्विच जो अतिभारण या लघुपथन पर ट्रिप हो जाता है और फिर बस स्विच ऑन करके चालू हो जाता है; यह फ्यूज़ की जगह ले रहा है।

★★★ **ELCB / RCCB** (अर्थ-लीकेज / रेज़िडुअल-करंट सर्किट ब्रेकर): विद्युन्मय और उदासीन तार की धारा की तुलना करता है। यदि कुछ धारा रिस जाए, जैसे किसी व्यक्ति के शरीर से होकर धरती में, तो यह सेकंड के एक अंश में ट्रिप हो जाता है (सामान्य सेटिंग 30 mA)। यह **लोगों** को झटके से बचाता है।



तंतु बल्ब। कुंडलित टंगस्टन तंतु लगभग 2500 °C पर सफ़ेद चमकता है पर पिघलता नहीं (गलनांक 3422 °C); भीतर भरी आर्गन और/या नाइट्रोजन उसे ऑक्सीकृत होने से बचाती है।

किस काम के लिए कौन-सा तार ★★

उपकरण	पदार्थ	आवश्यक गुण
फ्यूज़ तार	टिन-लेड मिश्रधातु	कम गलनांक
बल्ब का तंतु	टंगस्टन	बहुत उच्च गलनांक
हीटर, इस्त्री, टोस्टर की कुंडली	नाइक्रोम	उच्च प्रतिरोधकता, उच्च गलनांक, ऑक्सीकरण नहीं
घरेलू वायरिंग	ताँबा	बहुत कम प्रतिरोधकता
ऊपरी बिजली लाइनें	एल्युमिनियम (प्रायः इस्पात-प्रबलित)	कम प्रतिरोधकता, हल्का, सस्ता

याद रखें: Fuse is the Fragile hero: फ्यूज़ नाज़ुक नायक है, जो खुद मरता है ताकि घर बचा रहे। तंतु इसके उलट है: ऊष्मा को सबसे अधिक सहने वाला योद्धा (टंगस्टन, 3422 °C)।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** फ्यूज़ और MCB **वायरिंग और उपकरणों** को अधिक धारा से बचाते हैं; ELCB/RCCB **लोगों** को बचाता है। पर यदि प्रश्न पूछे कि कौन-सी युक्ति उपकरण को विद्युत झटके से बचाती है और विकल्प केवल फ्यूज़, जनित्र, मोटर और धारा नियंत्रक हों, तो उत्तर **फ्यूज़** है।

झटपट जाँच

1. उसी तार में, उतने ही समय के लिए, धारा दोगुनी कर दी गई। उत्पन्न ऊष्मा कितनी होगी?
2. फ्यूज़ तार का गलनांक _____ होना चाहिए; बल्ब के तंतु का _____ ।
3. कौन-सी युक्ति रिसाव धारा पर ट्रिप होकर लोगों को झटके से बचाती है?

उत्तर: 1. 4 गुना ($H = I^2Rt$) · 2. कम; बहुत अधिक (टंगस्टन) · 3. ELCB / RCCB

विद्युत शक्ति, ऊर्जा और आपका बिल

$P = VI = I^2R = V^2/R$

$1\ kWh = 3.6 \times 10^6\ J$

1 hp = 746 W

उच्च वोल्टेज संचरण

765 kV

शक्ति बताती है कि ऊर्जा कितनी तेज़ी से खर्च होती है। 1000 W की इस्त्री 100 W के पंखे से दस गुना तेज़ी से ऊर्जा खर्च करती है। बिजली बोर्ड आपसे शक्ति का नहीं, **ऊर्जा** का बिल लेता है: शक्ति × समय।

★★★ **विद्युत शक्ति (Electric power)** $P = VI = I^2R = V^2/R$। मात्रक **वाट** (W) = 1 J/s। 1 kW = 1000 W; 1 अश्वशक्ति (Horsepower) = 746 W।

★★★ **ऊर्जा** = शक्ति × समय। व्यावसायिक मात्रक: **किलोवाट-घंटा (kWh) = 1 यूनिट = 3.6×10^6 J** (1000 W × 3600 s)।

★★ **रेटिंग** "100 W, 230 V" का अर्थ है कि बल्ब 230 V पर 100 W लेता है: धारा = 100/230 ≈ 0.43 A, गर्म अवस्था में प्रतिरोध = $V^2/P = 230^2/100 \approx 529\ \Omega$।

★★ **समान वोल्टेज पर अधिक वाट = कम प्रतिरोध**: 1000 W के हीटर का प्रतिरोध 100 W के बल्ब से बहुत कम होता है ($R = V^2/P$)।

★★ **नमूना बिल**: 60 W के दो पंखे रोज़ 10 घंटे = 1.2 kWh; 1000 W का एक गीज़र 1 घंटा = 1 kWh। दैनिक कुल 2.2 यूनिट; 30 दिन में 66 यूनिट; ₹6 प्रति यूनिट की दर से **₹396**।

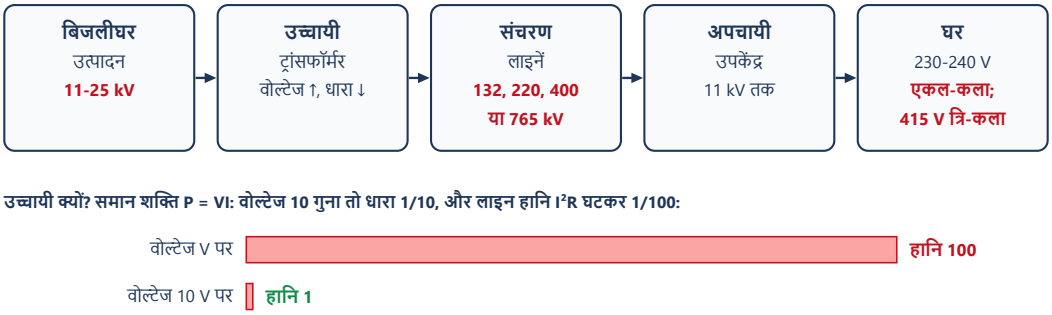
याद रखें: Power is VIP: P = V·I. शक्ति VIP है। फिर V = IR रखकर I^2R, या I = V/R रखकर V^2/R पाएँ। जिस सूत्र में R का वर्ग हो (जैसे IR^2), वह नकली है।

उच्च वोल्टेज पर संचरण क्यों? निश्चित शक्ति P = VI के लिए V बढ़ाने पर I घटती है। लाइनों में व्यर्थ होने वाली ऊष्मा I^2R है, अतः यह धारा के वर्ग के अनुपात में घटती है।

★★★ वोल्टेज **10 गुना बढ़ाने** पर → धारा 1/10 रह जाती है → लाइन-हानि **1/100** रह जाती है।

★★ **भारत में** बिजली लगभग 11-25 kV पर उत्पन्न होती है, संचरण के लिए 132, 220, 400 या 765 kV तक बढ़ाई जाती है, फिर चरणों में घटाकर 11 kV और अंत में उपभोक्ताओं के लिए **415 V (त्रि-कला) / 230–240 V (एकल-कला)** की जाती है। भारत में व्यावसायिक उपयोग में 765 kV सबसे ऊँचा AC संचरण वोल्टेज है।

★ **HVDC** लाइनें (भारत में ±800 kV तक की लिंक हैं) बहुत लंबी दूरी तक कम हानि के साथ भारी मात्रा में बिजली ले जाती हैं।



बिजलीघर से घर तक: लंबी दूरी के लिए वोल्टेज बढ़ाया जाता है और आपके पास घटाया जाता है। नीचे के बार पैमाने पर हैं: समान शक्ति पर 10 गुना वोल्टेज से लाइन हानि 1/100 रह जाती है।

☑ झटपट जाँच

1. 1 किलोवाट-घंटा कितने जूल के बराबर है?
2. समान शक्ति पर वोल्टेज 10 गुना कर दिया गया। लाइन हानि कितनी रह जाएगी?
3. समान 230 V आपूर्ति पर किसका प्रतिरोध कम है: 1000 W हीटर या 100 W बल्ब?

उत्तर: 1. 3.6×10^6 J · 2. 1/100 · 3. 1000 W हीटर ($R = V^2/P$)

AC और DC; संधारित्र और प्रेरक

230 V, 50 Hz

एक सेकंड में 100 बार उलटना

शिखर 325 V

दिष्टकारी बनाम इन्वर्टर

$X_C = 1/(2\pi fC)$

चोक कुंडली

दिष्ट धारा (Direct current, DC) एक ही दिशा में बहती है, जैसे बैटरी या सौर सेल से। **प्रत्यावर्ती धारा (Alternating current, AC)** एक सेकंड में कई बार दिशा बदलती है, जैसे बिजलीघर के जनित्र से। "धाराओं के युद्ध" (एडिसन (Edison) की DC के विरुद्ध टेस्ला (Tesla) और वेस्टिंगहाउस (Westinghouse)) में AC जीती, क्योंकि ट्रांसफॉर्मर AC वोल्टेज को सस्ते में बढ़ा-घटा सकते हैं।

AC बनाम DC ★★★

विशेषता	AC	DC
दिशा	आवर्ती रूप से बदलती है	एक ही दिशा
आवृत्ति	भारत में 50 Hz; अमेरिका में 60 Hz	शून्य
स्रोत	AC जनित्र (प्रत्यावर्तित्र, Alternator)	सेल, बैटरी, सौर सेल, DC डायनेमो
वोल्टेज बदलना	ट्रांसफॉर्मर से आसान	इलेक्ट्रॉनिक परिवर्तक चाहिए
उपयोग	मेन सप्लाई, ग्रिड, घर की मोटरें	फ़ोन, लैपटॉप, LED, EV बैटरी, विद्युत लेपन

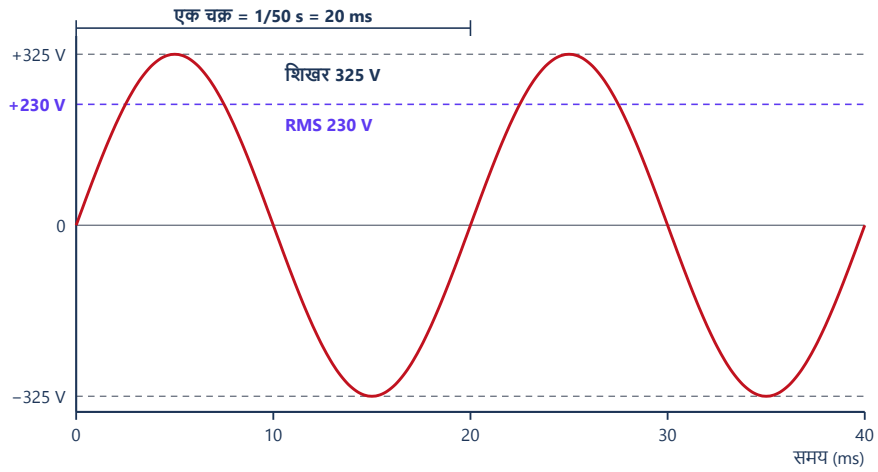
★★★ **भारत**: 230 V, 50 Hz एकल-कला आपूर्ति (त्रि-कला 415 V); भारतीय मानक में प्रणाली वोल्टेज 240/415 V है, और कई प्रश्न अब भी पुराना आँकड़ा **220 V** लिखते हैं। **अमेरिका**: 120 V, 60 Hz। जापान पूर्व में 50 Hz और पश्चिम में 60 Hz इस्तेमाल करता है।

★★ **50 Hz** का अर्थ है प्रति सेकंड 50 पूरे चक्र, अतः धारा **एक सेकंड में 100 बार दिशा बदलती है**।

★★ **230 V, RMS (वर्ग-माध्य-मूल) मान है**; शिखर वोल्टेज इसका √2 गुना, लगभग **325 V** होता है।

★★ **दिष्टकारी (Rectifier)** (डायोड) AC → DC बदलता है (फ़ोन चार्जर, एडैप्टर)। **इन्वर्टर (Inverter)** DC → AC बदलता है (घरेलू इन्वर्टर, सौर प्रणाली)।

★★ समान वोल्टेज पर **AC अधिक खतरनाक है**: इसके 50 Hz के स्पंदन मांसपेशियों को जकड़ देते हैं, इसलिए पीड़ित प्रायः तार छोड़ नहीं पाता।



भारतीय मुख्य आपूर्ति, पैमाने पर: 50 Hz, इसलिए एक चक्र 20 ms का है और धारा एक सेकंड में 100 बार दिशा बदलती है। वोल्टेज +325 V और −325 V के बीच झूलता है; 230 V इसका RMS मान है (325 ÷ √2)। DC एक सपाट रेखा होती।

★★ **संधारित्र (Capacitor)**: विद्युतरोधी (परावैद्युत, Dielectric) से अलग की गई दो चालक प्लेटें; यह विद्युत क्षेत्र में आवेश और ऊर्जा संचित करता है। धारिता C = Q/V; मात्रक **फैरड** (F)। व्यावहारिक मान µF और pF में होते हैं।

★★★ **धारितीय प्रतिघात (Capacitive reactance)** Xc = 1/(2πfC): **आवृत्ति के व्युत्क्रमानुपाती**। संधारित्र DC (f = 0) को रोकता है और उच्च आवृत्ति की AC को आसानी से जाने देता है।

★★ **प्रेरक (Inductor)** (कुंडली): धारा में किसी भी परिवर्तन का विरोध करता है; मात्रक **हेनरी** (H)। **प्रेरकीय प्रतिघात (Inductive reactance)** XL = 2πfL आवृत्ति के अनुपात में बढ़ता है: प्रेरक DC को आसानी से जाने देता है और उच्च आवृत्ति की AC को रोक देता है।

★★ **संधारित्र के उपयोग**: छत के पंखे की मोटर चालू करना, कैमरा फ़्लैश (संचित आवेश एक झटके में छोड़ता है), प्रेरक के साथ रेडियो ट्यूनिंग, मोटरों का शक्ति गुणांक सुधारना, DC को समतल करना।

★ **चोक कुंडली (Choke coil)**: AC धारा सीमित करने के लिए प्रयुक्त प्रेरक (पुरानी ट्यूबलाइटें, पुराने पंखा रेगुलेटर), जो प्रतिरोधक के विपरीत ऊष्मा के रूप में बहुत कम शक्ति व्यर्थ करता है।

याद रखें: "Capacitor Can't stand Calm DC; inductor Loves Lazy DC." संधारित्र शांत DC को सह नहीं सकता; प्रेरक सुस्त DC को पसंद करता है। आवृत्ति बढ़ने पर Xc घटता है; XL आवृत्ति के साथ बढ़ता है।

झटपट जाँच

1. भारत में और अमेरिका में मुख्य आपूर्ति की आवृत्ति?
2. 50 Hz की AC एक सेकंड में कितनी बार दिशा बदलती है?
3. कौन-सी युक्ति AC को DC में बदलती है, और कौन DC को AC में?

उत्तर: 1. 50 Hz; 60 Hz · 2. 100 · 3. दिष्टकारी; इन्वर्टर

घरेलू वायरिंग, भू-संपर्कण और विद्युत झटका

विद्युन्मय, उदासीन, भू

तारों के रंग

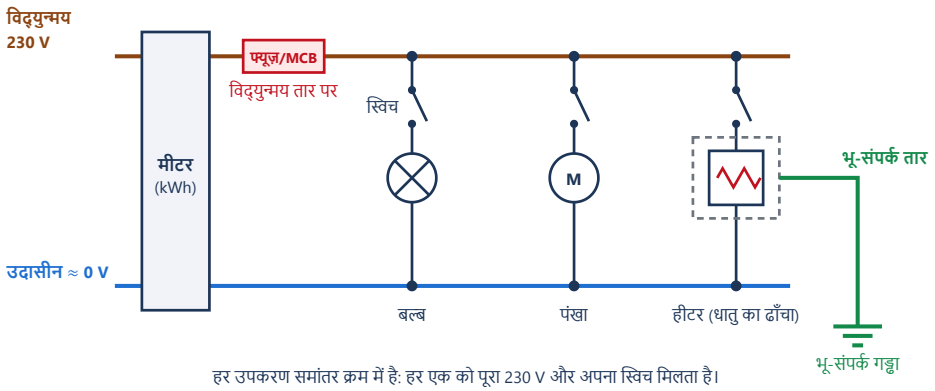
भू-संपर्कण

लंबी भू-पिन

तार पर पक्षी

खंभे से दो तार आते हैं: 230 V वाला **विद्युन्मय (Live, फेज़)** तार और लगभग 0 V वाला **उदासीन (Neutral)** तार। तीसरा, **भू-संपर्क (Earth)** तार, घर के पास नम मिट्टी में गहराई पर गड़ी धातु की प्लेट या पाइप से आता है। सामान्यतः इसमें कोई धारा नहीं बहती; यह सुरक्षा का निकास मार्ग है।

100 mA



हर उपकरण समांतर क्रम में है: हर एक को पूरा 230 V और अपना स्विच मिलता है।

फ्यूज़/MCB और हर स्विच विद्युन्मय तार पर होते हैं। उपकरण समांतर क्रम में हैं। हीटर का धातु का ढाँचा भू-संपर्कित है, इसलिए दोष-धारा आपके शरीर के बजाय भू-संपर्क गड्ढे में जाती है।

भारतीय घरों में तारों के रंग ★★★

तार	वर्तमान मानक	पुरानी वायरिंग	विभव
विद्युन्मय (फेज़)	भूरा	लाल	230 V
उदासीन	नीला	काला	≈ 0 V
भू-संपर्क	हरी-पीली धारियाँ	हरा	0 V (भूमि)

💡 **याद रखें: Brown = Bijli** (विद्युन्मय तार), **Blue = Back** (उदासीन, लौटने का रास्ता), **Green-yellow = Ground** (हरी धरती जैसा)। हिंदी में याद रखें: भूरा = बिजली, नीला = वापसी, हरा = धरती।

★★★ **भू-संपर्कण (Earthing)**: इस्त्री, फ्रिज, वॉशिंग मशीन, गीज़र या कूलर का धातु का ढाँचा भू-संपर्क तार से जुड़ा होता है। यदि विद्युन्मय तार ढाँचे को छू जाए, तो बड़ी धारा धरती में दौड़ती है, फ्यूज़ उड़ जाता है या MCB/RCCB ट्रिप हो जाता है, और ढाँचा कभी 230 V पर नहीं रहता।

★★★ **तीन-पिन प्लग**: **भू-संपर्क पिन अधिक लंबी और मोटी होती है**। लंबी, ताकि वह सबसे पहले जुड़े और सबसे बाद में हटे; मोटी, ताकि उसे विद्युन्मय या उदासीन छेद में न घुसाया जा सके।

★★★ **स्विच और फ्यूज़ विद्युन्मय तार पर लगते हैं**, ताकि स्विच बंद करते ही उपकरण 230 V से कट जाए।

★★★ **तार पर बैठा पक्षी सुरक्षित है**: उसके दोनों पैर एक ही तार पर, एक ही विभव पर होते हैं, इसलिए उसके शरीर में कोई विभवांतर नहीं होता और धारा नहीं बहती। जो पक्षी या बंदर दो तारों को, या तार और खंभे को छू ले, उसे घातक झटका लगता है।

★★ **विद्युत झटका**: शरीर से गुज़रने वाली धारा नुकसान करती है। लगभग 1 mA महसूस होती है; 10-20 mA से मांसपेशियाँ जकड़ जाती हैं; सीने से होकर लगभग **100 mA** धारा हृदय की लय बिगाड़कर जान ले सकती है।

★★ **गीली त्वचा** शरीर का प्रतिरोध लगभग 100 kΩ (सूखी) से घटाकर लगभग 1 kΩ कर देती है, इसलिए उसी वोल्टेज से कहीं अधिक धारा बहती है। गीले हाथों से स्विच कभी न छुएँ।

★★ **बचाव**: पहले मेन स्विच बंद करें, या सूखी लकड़ी की छड़ी से व्यक्ति को दूर धकेलें; जो व्यक्ति अभी भी संपर्क में है उसे कभी हाथ से न पकड़ें।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** जान केवल वोल्टेज से नहीं, बल्कि **शरीर से गुज़रने वाली धारा** से जाती है। 11 kV लाइन पर बैठा पक्षी सुरक्षित है; गीली ज़मीन पर नंगे पैर खड़े होकर 230 V का तार छूने वाला व्यक्ति सुरक्षित नहीं।

☑ झटपट जाँच

1. वर्तमान भारतीय मानक में विद्युन्मय, उदासीन और भू-तार के रंग?
2. तीन-पिन प्लग की भू-पिन लंबी क्यों होती है?
3. एक ही विद्युन्मय तार पर बैठा पक्षी सुरक्षित क्यों है?

उत्तर: 1. भूरा, नीला, हरा-पीला · 2. ताकि वह सबसे पहले जुड़े और सबसे बाद में हटे · 3. दोनों पैर एक ही विभव पर हैं, इसलिए उसके शरीर से धारा नहीं बहती

सेल और बैटरियाँ

रासायनिक → विद्युत

वोल्टीय पुंज 1800

शुष्क सेल 1.5 V

लेड-एसिड 2 V

प्राथमिक बनाम द्वितीयक

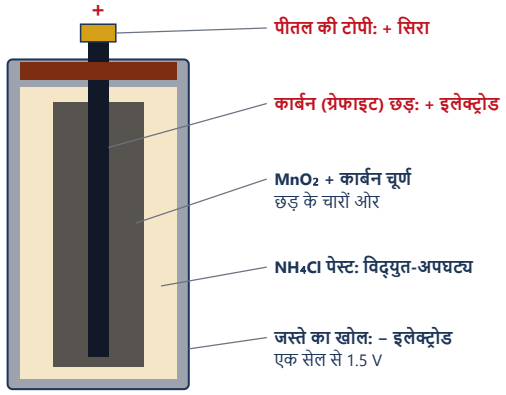
लिथियम-आयन

सेल दो अलग-अलग इलेक्ट्रोडों के बीच एक विद्युत-अपघट्य के माध्यम से अभिक्रिया कराकर **रासायनिक ऊर्जा को विद्युत ऊर्जा में** बदलता है। **लुइजी गैल्वानी (Luigi Galvani)** ने मेंढक की टाँगों को फड़कते देखा ("जंतु विद्युत", 1780 का दशक); **अलेस्सांद्रो वोल्टा** ने दिखाया कि असली स्रोत धातुएँ थीं और **वोल्टीय पुंज (Voltaic pile)** (1800) बनाया, जो पहली बैटरी थी: नमकीन पानी में भीगे कपड़े से अलग की गई जस्ते और ताँबे की चकतियाँ।

इटली के कोमो में वोल्टा के संग्रहालय टेम्पियो वोल्टियानो में रखा एक प्रारंभिक वोल्टीय पुंज: नमक के पानी में भीगे कपड़े से अलग की गई धातु की चकतियों का ढेर। वोल्टा का पुंज (1800) पहली बैटरी था। चित्र: GuidoB, Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0

रोज़ मिलने वाले सेल ★★★

सेल	प्रकार	प्रति सेल वोल्टेज	मुख्य तथ्य / उपयोग
शुष्क सेल (लेक्लांशे प्रकार, Leclanché)	प्राथमिक (प्रयोग करो और फेंको)	1.5 V	जस्ते का खोल (−), कार्बन छड़ (+), MnO_2 और NH_4Cl का लेप; टॉर्च, रिमोट, घड़ियाँ
क्षारीय सेल (Alkaline)	प्राथमिक	1.5 V	साधारण शुष्क सेल से अधिक लंबा जीवन
बटन सेल (सिल्वर ऑक्साइड, मरक्यूरी)	प्राथमिक	≈ 1.35-1.55 V	घड़ियाँ, श्रवण यंत्र, कैलकुलेटर
लेड-एसिड	द्वितीयक (पुनः आवेशनीय)	2 V (6 सेल = 12 V)	तनु सल्फ्यूरिक अम्ल में लेड और लेड डाइऑक्साइड की प्लेटें; कार बैटरी, इन्वर्टर; गैस्टन प्लांटे (Gaston Planté), 1859
निकेल-कैडमियम, निकेल-मेटल हाइड्राइड	द्वितीयक	1.2 V	पुनः आवेशनीय AA सेल, कॉर्डलेस औज़ार
लिथियम-आयन	द्वितीयक	≈ 3.6-3.7 V	प्रति kg सबसे अधिक ऊर्जा; फ़ोन, लैपटॉप, विद्युत वाहन
ईंधन सेल (हाइड्रोजन-ऑक्सीजन)	जब तक ईंधन मिलता रहे, चलता है	≈ 0.7-1 V (उपयोग में)	एकमात्र उप-उत्पाद पानी; अंतरिक्ष यान, ईंधन-सेल वाहन
सौर (प्रकाश-वोल्टीय) सेल	प्रकाश → विद्युत	≈ 0.5-0.6 V (सिलिकॉन)	DC देता है; छत पर सौर पैनल, उपग्रह



शुष्क (लेक्लांशे प्रकार का) सेल, काटकर दिखाया गया। जस्ते का खोल ऋण इलेक्ट्रोड है और पीतल की टोपी वाली कार्बन छड़ धन इलेक्ट्रोड; दोनों के बीच MnO_2 मिश्रण और NH_4Cl पेस्ट है। एक सेल से 1.5 V मिलता है।

★★★ **प्राथमिक सेल** पुनः आवेशित नहीं हो सकते (अभिक्रिया एकतरफा होती है); **द्वितीयक सेल** उलटी दिशा में धारा प्रवाहित करके पुनः आवेशित किए जा सकते हैं।

★★ **रसायन विज्ञान का नोबेल पुरस्कार 2019**: जॉन गुडइनफ (John Goodenough), एम. स्टैनली व्हिटिंगम (M. Stanley Whittingham) और अकीरा योशिनो (Akira Yoshino) को, **लिथियम-आयन बैटरी** के विकास के लिए।

★ **सोडियम-आयन बैटरियाँ** लिथियम की जगह सस्ता, प्रचुर सोडियम इस्तेमाल करती हैं: अधिक सुरक्षित और सस्ती, पर समान ऊर्जा के लिए भारी; ग्रिड भंडारण और कम लागत वाले वाहनों के लिए उपयुक्त।

★★ **बैटरी क्षमता** mAh या Ah (आवेश) में बताई जाती है; संचित ऊर्जा = वोल्टेज × क्षमता, Wh में।

★ **लेड-एसिड** बैटरियाँ सबसे अधिक पुनर्चक्रित होती हैं; उनका सल्फ्यूरिक अम्ल और लेड लापरवाही से फेंकने पर विषैले हैं।

याद रखें: Volta → volt; Galvani → galvanometer. वोल्टा से वोल्ट, गैल्वानी से गैल्वेनोमीटर। मेंढक गैल्वानी के लिए फड़का, पर बैटरी वोल्टा की है।

झटपट जाँच

1. एक शुष्क सेल और एक लेड-एसिड सेल का वोल्टेज?
2. शुष्क सेल में ऋण इलेक्ट्रोड कौन-सा भाग है?
3. प्राथमिक या द्वितीयक: कौन-सा सेल फिर से चार्ज हो सकता है?

उत्तर: 1. 1.5 V; 2 V · 2. जस्ते का खोल (कार्बन छड़ + है) · 3. द्वितीयक (लेड-एसिड, Li-आयन)

दक्ष प्रकाश व्यवस्था और स्टार लेबल

ल्यूमेन प्रति वाट

LED सबसे दक्ष

CFL: पारा

नीली LED नोबेल 2014

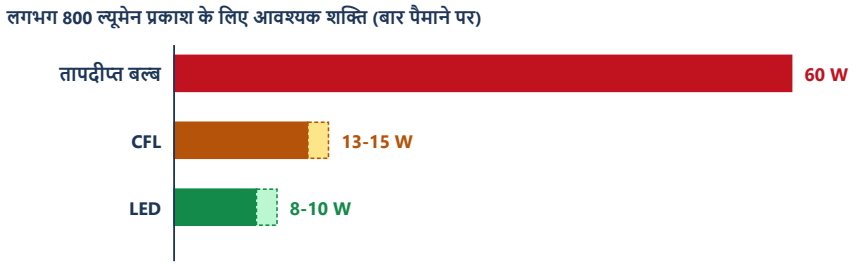
BEE स्टार

उजाला 2015

तंतु वाला बल्ब श्वेत-तप्त होकर प्रकाश देता है, इसलिए उसकी अधिकांश ऊर्जा ऊष्मा बनकर निकल जाती है। LED अर्धचालक संधि को पार करते इलेक्ट्रॉनों से सीधे प्रकाश बनाता है, इसलिए बहुत कम ऊर्जा व्यर्थ होती है। दक्षता **ल्यूमेन प्रति वाट** (प्रति वाट ऊर्जा पर मिलने वाला प्रकाश) में मापी जाती है।

बल्ब बनाम CFL बनाम LED (लगभग समान प्रकाश के लिए) ★★★

विशेषता	तापदीप्त (Incandescent)	CFL	LED
~800 ल्यूमेन के लिए शक्ति	60 W	13-15 W	8-10 W
दक्षता	≈ 10-17 lm/W; लगभग 90% ऊष्मा में व्यर्थ	≈ 50-70 lm/W	≈ 80-150 lm/W (सबसे दक्ष)
जीवनकाल	≈ 1000 घंटे	≈ 8000-10,000 घंटे	15,000-50,000 घंटे
खतरा	बहुत गर्म होता है	इसमें पारा होता है	पारा नहीं



गहरा भाग: परास का निचला मान; हल्का सिरा: ऊपरी मान। LED: सबसे कम शक्ति, सबसे लंबी आयु, पारा नहीं।

लगभग समान प्रकाश (≈ 800 ल्यूमेन) के लिए हर लैंप को चाहिए शक्ति, बार पैमाने पर। 60 W बल्ब का काम LED 8-10 W में कर देती है।

★★ **नीली LED** ने सफ़ेद LED प्रकाश संभव बनाया: **भौतिकी का नोबेल पुरस्कार 2014** इसामु अकासाकी (Isamu Akasaki), हिरोशी अमानो (Hiroshi Amano) और शूजी नाकामुरा (Shuji Nakamura) को।

★★ **उजाला (UJALA)** योजना (2015) ने पूरे भारत में कम दाम पर LED बल्ब बाँटे, जिससे घरेलू प्रकाश के बिल घटे।

★★ **BEE स्टार लेबल**: ऊर्जा दक्षता ब्यूरो (Bureau of Energy Efficiency; ऊर्जा संरक्षण अधिनियम 2001 के तहत गठित, विद्युत मंत्रालय) उपकरणों को 1 से 5 स्टार देता है; **अधिक स्टार = उसी काम के लिए कम बिजली**।

★ **थॉमस एडिसन** ने पहला लंबे समय तक चलने वाला व्यावहारिक तापदीप्त बल्ब बनाया (1879)।

☑ झटपट जाँच

1. लैंप की दक्षता _____ में मापी जाती है।
2. किस लैंप में पारा होता है: तापदीप्त, CFL या LED?
3. किसी उपकरण पर अधिक BEE स्टार का अर्थ?

उत्तर: 1. ल्यूमेन प्रति वाट · 2. CFL · 3. उसी काम के लिए कम बिजली

धारा के तापविद्युत और रासायनिक प्रभाव

सीबेक: ऊष्मा → विद्युत

पेल्टियर: शीतलन

टॉमसन: एक तार

विद्युत-अपघटन

वस्तु = कैथोड

दो अलग-अलग धातुओं की संधि पर, या एक सिरे पर गर्म किसी एक धातु में, ऊष्मा और विद्युत एक-दूसरे में बदल सकते हैं। ये तीन प्रभाव अपने खोजकर्ताओं के नाम से जाने जाते हैं, और परीक्षक जानबूझकर इन्हें मिला देते हैं।

तापविद्युत प्रभाव ★★★

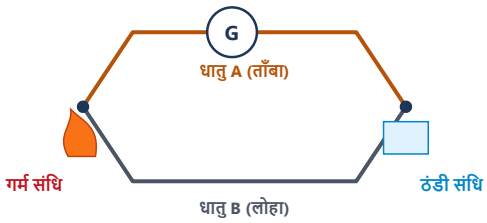
प्रभाव	क्या होता है	उपयोग
सीबेक प्रभाव (Seebeck effect) (1821)	दो भिन्न धातुएँ एक लूप में जुड़ी हों और संधियाँ अलग-अलग ताप पर हों, तो emf उत्पन्न होता है (ऊष्मा → विद्युत)	बहुत उच्च ताप के लिए तापयुग्म (Thermocouple) थर्मामीटर; सुदूर अंतरिक्ष यानों पर रेडियोआइसोटोप जनित्र
पेल्टियर प्रभाव (Peltier effect) (1834)	दो धातुओं की संधि से धारा गुज़रने पर एक संधि गर्म और दूसरी ठंडी होती है	तापविद्युत शीतलक: मिनी-फ्रिज, CPU और कैमरा-सेंसर का शीतलन
टॉमसन प्रभाव (Thomson effect)	एक ही चालक जिसके सिरे अलग-अलग ताप पर हों, उसमें ताप-प्रवणता विभवांतर पैदा करती है; उसमें बहती धारा ऊष्मा अवशोषित करती है या छोड़ती है	तापविद्युत युक्तियों का सिद्धांत और डिज़ाइन
जूल प्रभाव	किसी भी प्रतिरोध से धारा गुज़रने पर ऊष्मा I^2Rt उत्पन्न होती है; अनुत्क्रमणीय	हीटर, इस्त्री, फ्यूज़

याद रखें: Seebeck: "See" a voltage from heat (two metals). Peltier: "Pass" a current, heat moves. Thomson: one lonely wire ("Tom" is alone). सीबेक: ऊष्मा से वोल्टेज "देखो" (दो धातुएँ)। पेल्टियर: धारा "पास" करो, ऊष्मा खिसकती है। टॉमसन: एक अकेला तार ("टॉम" अकेला है)।

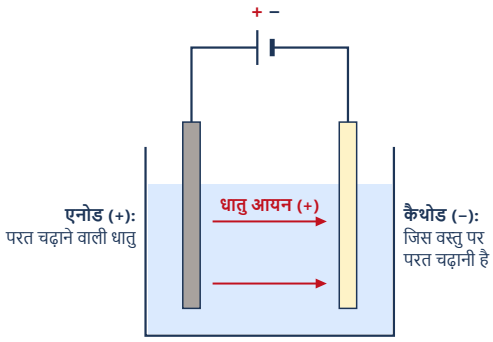
★★ **रासायनिक प्रभाव**: विद्युत-अपघट्य से धारा गुज़रने पर वह टूट जाता है (**विद्युत-अपघटन, Electrolysis**)। फैराडे के नियम: जमा हुआ द्रव्यमान ∝ प्रवाहित आवेश।

★★ **विद्युत लेपन (Electroplating)**: जिस वस्तु पर परत चढ़ानी है वह कैथोड (−) होती है; परत वाली धातु एनोड होती है। नलों और साइकिल के पुर्ज़ों पर क्रोमियम, गहनों पर चाँदी और सोना, खाद्य डिब्बों पर टिन।

★ ताँबे का **विद्युत-अपघटनी शोधन (Electrolytic refining)**: अशुद्ध ताँबा एनोड होता है, शुद्ध ताँबा कैथोड पर जमा होता है।



(a) सीबेक प्रभाव: ऊष्मा → विद्युत वाहक बल
(तापयुग्म तापमापी)



(b) विद्युत लेपन

(a) दो भिन्न धातुएँ एक लूप में जुड़ी हैं: एक संधि गर्म और दूसरी ठंडी रखें तो गैल्वेनोमीटर धारा दिखाता है (सीबेक प्रभाव)। (b) विद्युत लेपन: परत चढ़ाने वाली धातु एनोड (+) है, वस्तु कैथोड (−) है, और धातु आयन विद्युत-अपघट्य से होकर उस पर परत चढ़ाते हैं।

☑ झटपट जाँच

1. तापयुग्म तापमापी किस प्रभाव पर काम करते हैं?
2. किस प्रभाव से धारा एक संधि को ठंडा करती है, जैसे मिनी-फ्रिज में?
3. विद्युत लेपन में जिस वस्तु पर परत चढ़ानी है, वह एनोड होती है या कैथोड?

उत्तर: 1. सीबेक प्रभाव · 2. पेल्टियर प्रभाव · 3. कैथोड (−)

मात्रक और अग्रणी वैज्ञानिक एक नज़र में

कूलॉम, एम्पियर, वोल्ट

ओम, सीमेंस

वाट, kWh

फैरड, हेनरी

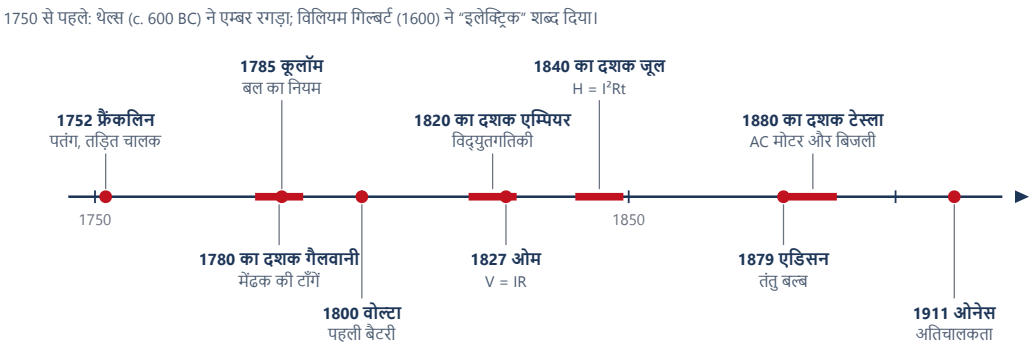
वोल्टा, ओम, जूल

राशियाँ और SI मात्रक ★★★

राशि	सूत्र	SI मात्रक
आवेश	$q = ne$	कूलॉम (C)
धारा	$I = Q/t$	एम्पियर (A), SI मूल मात्रक
विभवांतर, emf	$V = W/Q$	वोल्ट (V)
प्रतिरोध	$R = V/I$	ओम (Ω)
प्रतिरोधकता	$\rho = RA/L$	ओम-मीटर (Ω m)
चालकत्व	$G = 1/R$	सीमेंस (S) या म्हो
शक्ति	$P = VI = I^2R = V^2/R$	वाट (W)
ऊर्जा	$E = Pt$	जूल (J); व्यावसायिक: kWh
धारिता	$C = Q/V$	फैरड (F)
प्रेरकत्व	$L = \Phi/I$	हेनरी (H)
विद्युत क्षेत्र	$E = F/q$	N/C या V/m

किसने क्या किया ★★

वैज्ञानिक	योगदान
मिलेटस के थेल्स (Thales of Miletus) (लगभग 600 ई.पू.)	रगड़ा गया अंबर हल्की वस्तुओं को आकर्षित करता है
विलियम गिल्बर्ट (William Gilbert) (1600)	"इलेक्ट्रिक" शब्द गढ़ा; चुंबकत्व का अध्ययन किया
बेंजामिन फ्रैंकलिन (1752)	पतंग प्रयोग; तड़ित चालक; + और − आवेशों का नामकरण
चार्ल्स-ऑगस्टिन डी कूलॉम (Charles-Augustin de Coulomb) (1785)	आवेशों के बीच बल का नियम
लुइजी गैल्वानी (1780 का दशक)	जंतु विद्युत (मेंढक की टाँगें)
अलेस्सांद्रो वोल्टा (1800)	वोल्टीय पुंज, पहली बैटरी
आंद्रे-मैरी एम्पियर (André-Marie Ampère) (1820 का दशक)	विद्युतगतिकी; धारा का मात्रक
जॉर्ज साइमन ओम (1827)	ओम का नियम
जेम्स प्रेस्कॉट जूल (1840 का दशक)	ऊष्मीय प्रभाव $H = I^2Rt$
थॉमस एडिसन (1879)	व्यावहारिक तंतु बल्ब; DC बिजलीघर
निकोला टेस्ला (1880 का दशक)	AC मोटर और AC विद्युत प्रणाली
हाइके कामरलिंग ओनेस (1911)	अतिचालकता



किसने क्या किया, पैमाने पर बनी समय-रेखा पर: बिंदु एक वर्ष दिखाते हैं, पट्टियाँ एक दशक।

भारत में **CSIR-राष्ट्रीय भौतिक प्रयोगशाला (National Physical Laboratory)** (नई दिल्ली) विद्युत मात्रकों सहित माप के राष्ट्रीय मानक रखती है, और **भारतीय मानक ब्यूरो (Bureau of Indian Standards)** मानक आपूर्ति वोल्टेज और 50 Hz आवृत्ति तय करता है (IS 12360)।

☑ झटपट जाँच

1. चालकत्व का SI मात्रक?
2. पहली बैटरी किसने और किस वर्ष बनाई?
3. अतिचालकता (1911) की खोज किसने की?

उत्तर: 1. सीमेंस (S); पुराना नाम म्हो · 2. अलेस्सांद्रो वोल्टा, 1800 · 3. हाइके कामरलिंग ओनेस

पिछले वर्षों में पूछे गए प्रश्न (12)

BPSC 64th विद्युत्-धारा निम्न में से किस उपकरण से नापी जाती है?
(a) वोल्टमीटर (b) ऐमीटर (c) वोल्टामीटर (d) पोटेंशियोमीटर (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (b) ऐमीटर. ऐमीटर विद्युत-धारा मापता है; वोल्टमीटर विभवांतर मापता है

BPSC 65th विद्युत्-धारा किस उपकरण से नापी जाती है?
(a) वोल्टमीटर (b) ऐमीटर (c) वोल्टामीटर (d) पोटेंशियोमीटर (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (b) ऐमीटर. ऐमीटर विद्युत-धारा मापता है; वोल्टमीटर विभवांतर मापता है

BPSC 65th विद्युत् शक्ति की इकाई है
(a) ऐम्पियर (b) वोल्ट (c) कूलॉम (d) वाट (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (d) वाट. विद्युत शक्ति वाट में मापी जाती है; $P = V \times I$

BPSC 66th दो समानान्तर प्रतिरोध वाले सर्किट का कुल प्रतिरोध 1.403 किलो-ओम है। यदि एक प्रतिरोधक का मान 2.0 किलो-ओम है, तो दूसरे प्रतिरोधक का मान होगा
(a) 1.403 किलो-ओम (b) 2.0 किलो-ओम (c) 3.403 किलो-ओम (d) 4.70 किलो-ओम
(e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (d) 4.70 किलो-ओम. समानांतर क्रम में प्रतिरोधों के लिए $1/R = 1/R1 + 1/R2$; कुल प्रतिरोध सबसे छोटे प्रतिरोध से भी कम होता है

BPSC 67th निम्नलिखित में से कौन-सा सही सुमेलित नहीं है?
(a) वोल्टमीटर : विभवांतर (b) ऐमीटर : विद्युत् धारा (c) पोटेंशियोमीटर : विद्युत्-वाहक बल (d) गैल्वेनोमीटर : विद्युत् प्रतिरोध
(e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (d) गैल्वेनोमीटर : विद्युत् प्रतिरोध. ऐमीटर धारा, वोल्टमीटर विभवांतर और पोटेंशियोमीटर विद्युत्-वाहक बल मापता है; गैल्वेनोमीटर छोटी धाराओं का पता लगाता है; प्रतिरोध ओममीटर से मापा जाता है

BPSC 67th re-exam एक संवाहक के तापक्रम परिवर्तन के कारण इसमें विभव परिवर्तन होता है। इस घटना को कहते हैं
(a) पेल्टीयर प्रभाव (b) थॉमसन प्रभाव (c) जूल प्रभाव (d) सीबेक प्रभाव (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (b) थॉमसन प्रभाव. टॉमसन प्रभाव: एक ही चालक में ताप-प्रवणता होने पर उसमें विद्युत वाहक बल उत्पन्न होता है; सीबेक प्रभाव: भिन्न तापों पर रखी दो धातुओं की संधियों से विद्युत वाहक बल उत्पन्न होता है

BPSC 69th निम्नलिखित में से कौन-सा तरल बिजली का कुचालक है?
(a) नमकीन पानी (b) संतरे का रस (c) नींबू का रस (d) उपर्युक्त में से कोई नहीं
उत्तर: (d) उपर्युक्त में से कोई नहीं. घुले आयनों वाले द्रव, जैसे नमकीन पानी और फलों के रस, विद्युत का चालन करते हैं

BPSC 70th निम्नलिखित में से कौन-सा दिये गये तार का प्रतिरोध है ?
(a) $R = I/(2V)$ (b) $R = IV$ (c) $R = I/V$ (d) $R = V/I$
उत्तर: (d) $R = V/I$. ओम का नियम: $V = IR$, अतः प्रतिरोध $R = V/I$

BPSC 70th re-exam एक संधारित्र का प्रतिघात होता है
(a) आवृत्ति के व्युत्क्रमानुपाती (b) आवृत्ति के समानुपाती (c) आवृत्ति के वर्गमूल के व्युत्क्रमानुपाती (d) उपर्युक्त में से कोई नहीं
उत्तर: (a) आवृत्ति के व्युत्क्रमानुपाती. धारितीय प्रतिघात $Xc = 1/(2\pi fC)$ आवृत्ति बढ़ने पर घटता है; प्रेरकीय प्रतिघात $XL = 2\pi fL$ आवृत्ति के समानुपाती बढ़ता है

BPSC 71st निम्नलिखित में से कौन-सा पद विद्युत परिपथ में विद्युत शक्ति को निरूपित नही करता है?
(a) I^2R (b) IR^2 (c) VI (d) V^2/R
उत्तर: (b) IR^2. विद्युत शक्ति $P = VI = I^2R = V^2/R$, ओम के नियम $V = IR$ से

BPSC 71st लघु पाथन के समय परिपथ में विद्युत धारा का मान :
(a) बहुत कम हो जाता है (b) परिवर्तित नही होता है (c) बहुत अधिक बढ़ जाता है (d) निरन्तर परिवर्तित होता है
उत्तर: (c) बहुत अधिक बढ़ जाता है. लघुपथन में प्रतिरोध लगभग शून्य हो जाता है, इसलिए धारा बहुत अधिक हो जाती है

BPSC 71st उपकरणों को विद्युत आघात से बचाने वाली युक्ति है :
(a) फ्यूज (b) जनित्र (c) मोटर (d) धारा नियंत्रक
उत्तर: (a) फ्यूज. धारा सुरक्षित सीमा से अधिक होने पर फ्यूज़ पिघलकर परिपथ तोड़ देता है

स्वयं को परखें (13)

1. 6 Ω के तीन प्रतिरोधक समांतर क्रम में जुड़े हैं। तुल्य प्रतिरोध है
(a) 18 Ω (b) 2 Ω (c) 3 Ω (d) 6 Ω

2. 60 W का एक बल्ब और 100 W का एक बल्ब (दोनों 230 V के) मेन से श्रेणीक्रम में जोड़े गए हैं। कौन अधिक चमकेगा?
(a) 60 W वाला बल्ब (b) 100 W वाला बल्ब (c) दोनों बराबर (d) कोई नहीं चमकेगा

3. 1000 W की एक विद्युत इस्त्री 30 दिनों तक प्रतिदिन 30 मिनट चलाई जाती है। खर्च हुई ऊर्जा है
(a) 30 यूनिट (b) 15 यूनिट (c) 1.5 यूनिट (d) 300 यूनिट

4. तापदीप्त बल्ब का तंतु इनमें से किस पदार्थ का बनता है?
(a) नाइक्रोम (b) टिन-लेड मिश्रधातु (c) टंगस्टन (d) ताँबा

5. ताँबे के एक तार को आयतन बदले बिना खींचकर दोगुनी लंबाई का कर दिया जाता है। उसका प्रतिरोध हो जाता है
(a) आधा (b) दोगुना (c) अपरिवर्तित (d) चार गुना

6. कथनों पर विचार कीजिए: 1. ताप बढ़ने पर धातु का प्रतिरोध बढ़ता है। 2. ताप बढ़ने पर अर्धचालक का प्रतिरोध बढ़ता है। कौन-सा/से सही है/हैं?
(a) केवल 1 (b) केवल 2 (c) 1 और 2 दोनों (d) न तो 1, न ही 2

7. तीन-पिन प्लग की भू-संपर्क पिन लंबी बनाई जाती है ताकि वह
(a) उपकरण की पूरी लोड धारा ले जाए (b) सबसे पहले जुड़े और सबसे बाद में हटे (c) बिजली का बिल थोड़ा घटाए
(d) धारा बढ़ने पर फ्यूज़ का काम करे

8. AC को DC में बदलने वाली युक्ति कहलाती है
(a) दिष्टकारी (b) इन्वर्टर (c) ट्रांसफॉर्मर (d) धारा नियंत्रक

9. उच्च वोल्टेज के एक ही तार पर बैठे पक्षी को झटका नहीं लगता, क्योंकि
(a) उसके पैर और पंजे विद्युत के अच्छे विद्युतरोधी हैं (b) ऊपरी तार में धारा AC है, DC नहीं
(c) उसके शरीर के आर-पार कोई विभवांतर नहीं होता (d) तार में बहुत कम धारा बहती है

10. दो भिन्न धातुओं की दोनों संधियों को अलग-अलग ताप पर रखने पर कौन-सा प्रभाव emf उत्पन्न करता है?
(a) पेल्टियर प्रभाव (b) टॉमसन प्रभाव (c) जूल प्रभाव (d) सीबेक प्रभाव

11. निम्नलिखित कथनों पर विचार कीजिए:
1. अमीटर को किसी अवयव के समांतर क्रम में जोड़ा जाता है और उसका प्रतिरोध बहुत अधिक होता है।
2. वोल्टमीटर को किसी अवयव के समांतर क्रम में जोड़ा जाता है और उसका प्रतिरोध बहुत अधिक होता है।
3. विभवमापी किसी सेल का emf सटीक मापता है क्योंकि संतुलन की स्थिति में वह कोई धारा नहीं लेता।
उपर्युक्त कथनों में से कौन-सा/से सही है/हैं?
(a) केवल 1 (b) केवल 1 और 2 (c) केवल 2 और 3 (d) 1, 2 और 3

12. घरेलू बिजली के बारे में निम्नलिखित कथनों पर विचार कीजिए:
1. फ्यूज़ तार टिन-लेड मिश्रधातु का बनाया जाता है क्योंकि उसका गलनांक कम होता है।
2. विद्युत इस्त्री की तापन कुंडली टंगस्टन की बनी होती है।
3. फ्यूज़ और स्विच विद्युन्मय तार पर लगाए जाते हैं।
उपर्युक्त में से कितने कथन सही हैं?
(a) केवल एक (b) केवल दो (c) सभी तीन (d) कोई भी नहीं

13. एक दुकानदार 60 W के 10 तंतु बल्ब हटाकर 9 W के 10 LED बल्ब लगाता है, जो लगभग उतना ही प्रकाश देते हैं। हर बल्ब रोज़ 5 घंटे जलता है। 30 दिनों में वह कितनी बिजली बचाता है?
(a) 2.55 यूनिट (b) 13.5 यूनिट (c) 90 यूनिट (d) 76.5 यूनिट

उत्तर: 1. (b) समांतर क्रम में n समान प्रतिरोधक R/n देते हैं = 6/3 = 2 Ω। · 2. (a) 60 W बल्ब का प्रतिरोध अधिक है; समान धारा पर उसे अधिक शक्ति (I^2R) मिलती है। · 3. (b) 1 kW × 0.5 h × 30 = 15 kWh = 15 यूनिट। · 4. (c) धातुओं में टंगस्टन का गलनांक सबसे अधिक है (3422 °C)। · 5. (d) लंबाई दोगुनी और क्षेत्रफल आधा होता है, अतः $R = \rho L/A$, 2 × 2 = 4 गुना हो जाता है। · 6. (a) ऊष्मा से धातुओं का प्रतिरोध बढ़ता है; अर्धचालकों का घटता है क्योंकि ऊष्मा अधिक आवेश-वाहक मुक्त करती है। · 7. (b) लंबी पिन सुरक्षा वाला भू-संपर्क विद्युन्मय तार से पहले जोड़ती है और उसके बाद तोड़ती है। · 8. (a) दिष्टकारी (डायोड) AC को DC में बदलता है; इन्वर्टर इसका उल्टा करता है। · 9. (c) दोनों पैर एक ही विभव पर हैं, इसलिए पक्षी से होकर कोई धारा नहीं बहती। · 10. (d) सीबेक प्रभाव तापयुग्म का सिद्धांत है। · 11. (c) वोल्टमीटर उच्च प्रतिरोध के साथ समांतर क्रम में लगता है और विभवमापी संतुलन पर कोई धारा नहीं लेता; कथन 1 गलत है क्योंकि अमीटर बहुत कम प्रतिरोध के साथ श्रेणी क्रम में लगता है। · 12. (b) कथन 1 और 3 सही हैं; इस्त्री की कुंडली नाइक्रोम की होती है (उच्च प्रतिरोधकता, लाल-तप्त होने पर भी ऑक्सीकरण नहीं), जबकि टंगस्टन बल्ब के तंतु में लगता है। · 13. (d) बचत = 10 × (60 − 9) W × 5 h × 30 = 76.5 kWh; 90 यूनिट पुराने बल्बों की पूरी खपत है, 13.5 यूनिट LED बल्बों की खपत और 2.55 यूनिट केवल एक दिन की बचत।

अध्याय 12

चुंबकत्व और विद्युतचुंबकत्व

मोटर बनाम जनित्र, चुंबकीय पदार्थ (अनुचुंबकीय, प्रतिचुंबकीय, लौहचुंबकीय), पृथ्वी का चुंबकत्व, ट्रांसफॉर्मर और रोज़मर्रा की विद्युतचुंबकीय युक्तियाँ सबसे अधिक पूछी जाती हैं।

पिछले प्रश्नपत्रों में 3 बार पूछा गया: BPSC 3

≈ 51 min पढ़ने में ≈ 7 min ★★★ दोहराने में

दोहराएँ: दिन 1 दिन 3 दिन 7 दिन 21

रिवीज़न कार्ड

1. सजातीय ध्रुव प्रतिकर्षित करते हैं, विजातीय आकर्षित; प्रतिकर्षण चुंबक की पक्की पहचान है। चुंबक को तोड़ने पर दो पूर्ण चुंबक बनते हैं; अकेला ध्रुव नहीं होता।
2. क्षेत्र रेखाएँ चुंबक के बाहर N → S और भीतर S → N चलती हैं; वे कभी एक-दूसरे को नहीं काटतीं और जहाँ क्षेत्र प्रबल हो वहाँ पास-पास होती हैं।
3. लौहचुंबकीय: लोहा, कोबाल्ट, निकेल, गैडोलिनियम। अनुचुंबकीय: एल्युमिनियम, प्लैटिनम, ऑक्सीजन। प्रतिचुंबकीय: बिस्मथ, ताँबा, चाँदी, सोना, पारा, पानी।
4. क्यूरी ताप से ऊपर (लोहा 770 °C) लौहचुंबक अनुचुंबकीय हो जाता है।
5. विद्युत चुंबक और ट्रांसफॉर्मर की क्रोड के लिए नरम लोहा (आसानी से चुंबकित और विचुंबकित होता है); स्थायी चुंबक के लिए इस्पात (चुंबकत्व बनाए रखता है)।
6. पृथ्वी का चुंबकीय S ध्रुव भौगोलिक उत्तर के पास है। नमन कोण चुंबकीय ध्रुवों पर 90° और चुंबकीय विषुवत रेखा पर 0° होता है।
7. ओर्स्टेड (1820): धारा चुंबकीय क्षेत्र बनाती है। फैराडे (1831): बदलता चुंबकीय क्षेत्र धारा बनाता है (विद्युतचुंबकीय प्रेरण)।
8. मोटर: विद्युत → यांत्रिक, फ्लेमिंग का बाएँ हाथ का नियम। जनित्र/डायनेमो: यांत्रिक → विद्युत, फ्लेमिंग का दाएँ हाथ का नियम।
9. लेंज़ का नियम: प्रेरित धारा उस परिवर्तन का विरोध करती है जो उसे उत्पन्न करता है (ऊर्जा संरक्षण)।
10. डायनेमो/AC जनित्र AC उत्पन्न करता है (सर्पी वलय); DC डायनेमो में विभक्त वलय दिक्परिवर्तक होता है। ट्रांसफॉर्मर और चोक कुंडली धारा उत्पन्न नहीं कर सकते।
11. ट्रांसफॉर्मर केवल AC पर, अन्योन्य प्रेरण से काम करता है: Vs/Vp = Ns/Np। बिजलीघर पर उच्चायी, घरों के पास अपचायी।
12. भँवर धाराएँ: इंडक्शन कुकटॉप, धातु संसूचक, भँवर-धारा ब्रेक; ट्रांसफॉर्मर में पटलित क्रोड से घटाई जाती हैं।
13. ध्रुवीय ज्योति (ऑरोरा): पृथ्वी के क्षेत्र द्वारा ध्रुवीय आकाश में पहुँचाए गए सौर पवन के कण। वैन ऐलन पेटियाँ: फँसे हुए आवेशित कण (खोज 1958)।

चुंबक और उनके गुण

सजातीय ध्रुव प्रतिकर्षण

प्रतिकर्षण परीक्षण

एकल ध्रुव नहीं

क्षेत्र रेखाएँ N → S

1 T = 10^4 गॉस

लोहे के भीतर इलेक्ट्रॉनों के सूक्ष्म चुंबकीय प्रभाव छोटे-छोटे क्षेत्रों में एक सीध में आ जाते हैं, जिन्हें **डोमेन (Domains)** कहते हैं। साधारण लोहे में डोमेन अलग-अलग दिशाओं में होते हैं और एक-दूसरे को निरस्त कर देते हैं। चुंबकन बस उन्हें एक ही दिशा में घुमा देता है; गर्म करने या हथौड़े से पीटने पर वे फिर बिखर जाते हैं।

★★ **प्राकृतिक चुंबक**: लोडस्टोन (Lodestone), जो **मैग्नेटाइट (Fe_3O_4)** का एक रूप है। कृत्रिम चुंबक: छड़, नाल, सुई, वलय चुंबक और विद्युत चुंबक।

★★★ **हर चुंबक के दो ध्रुव होते हैं**, उत्तर (N) और दक्षिण (S); आकर्षण ध्रुवों पर सबसे प्रबल और बीच में सबसे दुर्बल होता है।

★★★ **सजातीय ध्रुव प्रतिकर्षित करते हैं, विजातीय ध्रुव आकर्षित करते हैं।**

★★★ **प्रतिकर्षण चुंबक की पक्की पहचान है**: चुंबक दूसरे चुंबक के विपरीत ध्रुव और लोहे के सादे टुकड़े, दोनों को आकर्षित करता है, पर प्रतिकर्षित केवल दूसरा चुंबक ही हो सकता है।

★★★ **चुंबक को तोड़ने** पर दो पूर्ण छोटे चुंबक बनते हैं, हर एक के अपने N और S। अकेला एक ध्रुव (**एकल ध्रुव, Monopole**) आज तक नहीं मिला।

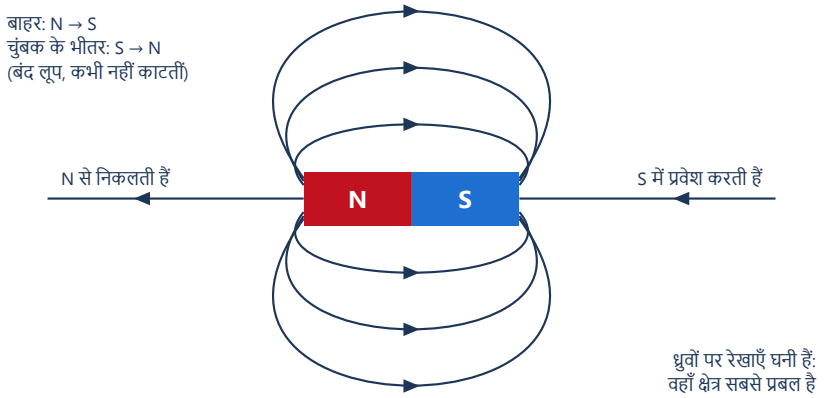
★★ **स्वतंत्र रूप से लटकाया गया चुंबक** उत्तर-दक्षिण दिशा में ठहरता है। यही दिक्सूचक (Compass) का सिद्धांत है।

★★ **प्रेरित चुंबकत्व (Induced magnetism)**: चुंबक के पास रखी लोहे की कील स्वयं चुंबक बन जाती है और दूसरी कील उठा सकती है।

★★ **चुंबकत्व नष्ट होता है** गर्म करने, हथौड़े से पीटने, बार-बार गिराने, या चुंबक को AC वाली कुंडली के भीतर रखने से।

★ **चुंबकों का भंडारण**: जोड़ों में, विपरीत ध्रुव आमने-सामने रखकर, सिरों पर नरम लोहे के **रक्षक (Keepers)** लगाकर, ताकि उनकी शक्ति बनी रहे।

★★ **चुंबकीय क्षेत्र** B को **टेस्ला (T)** में मापते हैं; 1 T = 10^4 गॉस। पृथ्वी की सतह पर उसका क्षेत्र केवल लगभग 25-65 μT (0.25-0.65 गॉस) है।



छड़ चुंबक की क्षेत्र रेखाएँ N ध्रुव से निकलकर S ध्रुव में प्रवेश करती हैं और चुंबक के भीतर से होकर बंद लूप पूरे करती हैं। वे कभी एक-दूसरे को नहीं काटतीं; जहाँ वे पास-पास होती हैं (ध्रुवों पर), क्षेत्र सबसे प्रबल होता है।

★★★ **क्षेत्र रेखाएँ (Field lines)** काल्पनिक वक्र हैं जो दिखाते हैं कि एक स्वतंत्र उत्तर ध्रुव किस दिशा में चलेगा। चुंबक के बाहर वे **N → S** चलती हैं; भीतर **S → N**। वे **बंद लूप** बनाती हैं।

★★ **दो क्षेत्र रेखाएँ कभी नहीं काटतीं**: कटान बिंदु पर दिक्सूचक को एक साथ दो दिशाओं में संकेत करना पड़ता।

★★ **पास-पास रेखाएँ = प्रबल क्षेत्र**; समान दूरी वाली समांतर रेखाएँ = एकसमान क्षेत्र (जैसे लंबी परिनालिका के भीतर)।

★ **उदासीन बिंदु (Neutral point)**: वह स्थान जहाँ चुंबक का क्षेत्र पृथ्वी के क्षैतिज क्षेत्र को ठीक निरस्त कर देता है; वहाँ दिक्सूचक किसी खास दिशा में नहीं ठहरता।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** "आकर्षण सिद्ध करता है कि वस्तु चुंबक है": गलत। लोहे की सादी छड़ भी आकर्षित होती है। फ़ैसला केवल प्रतिकर्षण से होता है।

☑ झटपट जाँच

1. छड़ चुंबक को दो टुकड़ों में तोड़ा गया। क्या मिलेगा?
2. लोहे की छड़ चुंबक की ओर आकर्षित होती है। क्या इससे सिद्ध होता है कि छड़ चुंबक है?
3. चुंबक के बाहर क्षेत्र रेखाएँ _____ से _____ की ओर जाती हैं; भीतर उलटी दिशा में।

उत्तर: 1. दो पूरे चुंबक, हर एक में N और S ध्रुव · 2. नहीं: केवल प्रतिकर्षण से सिद्ध होता है · 3. N से S

चुंबकीय पदार्थ

लौह: Fe, Co, Ni

अनु: Pt, Al, O_2

प्रति: Bi, Cu, जल

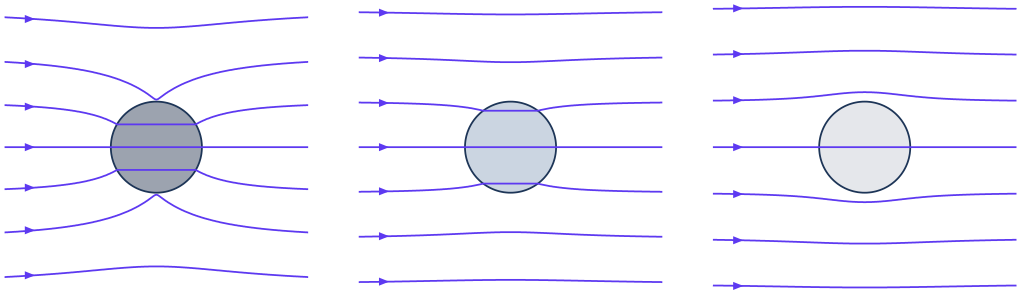
क्यूरी ताप

नरम लोहा बनाम इस्पात

सभी पदार्थ चुंबकीय क्षेत्र पर प्रतिक्रिया करते हैं, पर तीन बहुत अलग शक्तियों में। **लौहचुंबकों (Ferromagnets)** में डोमेन प्रबलता से एक सीध में आते हैं; **अनुचुंबकों (Paramagnets)** में अकेले परमाणु दुर्बलता से सीध में आते हैं; **प्रतिचुंबकों (Diamagnets)** में क्षेत्र एक दुर्बल विरोधी प्रभाव प्रेरित करता है, इसलिए वे दूर धकेले जाते हैं।

चुंबकीय व्यवहार के तीन प्रकार ★★★

प्रकार	चुंबकीय क्षेत्र में व्यवहार	उदाहरण
लौहचुंबकीय	प्रबलता से आकर्षित; स्थायी चुंबक बन सकते हैं; आपेक्षिक चुंबकशीलता बहुत अधिक	लोहा, कोबाल्ट, निकेल, गैडोलिनियम; एल्निको, इस्पात, नियोडिमियम (NdFeB) चुंबक जैसी मिश्रधातुएँ
अनुचुंबकीय	दुर्बलता से आकर्षित; क्षेत्र हटाने पर चुंबकत्व खो देते हैं; आपेक्षिक चुंबकशीलता 1 से थोड़ी अधिक	एल्युमिनियम, प्लैटिनम, सोडियम, मैग्नीशियम, मैंगनीज़, कैल्शियम, टंगस्टन, ऑक्सीजन (द्रव ऑक्सीजन चुंबक से चिपक जाती है)
प्रतिचुंबकीय	दुर्बलता से प्रतिकर्षित; आपेक्षिक चुंबकशीलता 1 से थोड़ी कम	बिस्मथ (सामान्य पदार्थों में सबसे प्रबल), ताँबा, चाँदी, सोना, पारा, सीसा, पानी, काँच, साधारण नमक, हाइड्रोजन; अतिचालक (पूर्ण प्रतिचुंबक)



एकसमान क्षेत्र (बाएँ से दाएँ) में रखा नमूना। अनु- और प्रतिचुंबकीय मुड़ाव बहुत बढ़ाकर दिखाया गया है।

एकसमान चुंबकीय क्षेत्र में रखा नमूना। लौहचुंबकीय नमूने में क्षेत्र रेखाएँ घनी हो जाती हैं, अनुचुंबकीय की ओर थोड़ी मुड़ती हैं और प्रतिचुंबकीय से दूर मुड़ जाती हैं। रेखाएँ गोल नमूने के लिए गणना से बनी हैं; अनु- और प्रतिचुंबकीय मुड़ाव बहुत बढ़ाकर दिखाया गया है।

याद रखें: Ferro = "Fe-Co-Ni" (नकली सिक्कों वाली तिकड़ी जिसे चुंबक पकड़ लेता है)। **Para = "PAO"**: Platinum, Aluminium, Oxygen, यानी प्लैटिनम, एल्युमिनियम, ऑक्सीजन। **Dia = "Bi-CuAgAu + water"**: बिस्मथ और सिक्का धातुएँ ताँबा, चाँदी, सोना (और पानी) चुंबक को दूर धकेलती हैं। सावधान: प्लैटिनम कीमती है पर अनुचुंबकीय है।

★★★ **क्यूरी ताप (Curie temperature)**: इससे ऊपर लौहचुंबक अपना लौहचुंबकत्व खोकर अनुचुंबकीय हो जाता है। **लोहा 770 °C**, निकेल ≈ 358 °C, कोबाल्ट ≈ 1115 °C, गैडोलिनियम ≈ 20 °C। यह **पियरे क्यूरी (Pierre Curie)** के नाम पर है।

★ **ताप बढ़ने पर अनुचुंबकत्व दुर्बल होता है** (क्यूरी का नियम); प्रतिचुंबकत्व ताप पर लगभग निर्भर नहीं करता।

★ **प्रतिचुंबकीय उत्तोलन (Diamagnetic levitation)**: पर्याप्त प्रबल क्षेत्र पानी-भरी वस्तुओं को हवा में तैरा सकता है; प्रसिद्ध उदाहरण 16 T के चुंबक में तैरता एक जीवित मेंढक है।

★ **फेराइट (Ferrites)** (आयरन-ऑक्साइड सिरेमिक) चुंबकीय हैं पर कुचालक, इसलिए उच्च आवृत्ति ट्रांसफॉर्मर की क्रोड और फ्रिज के दरवाज़े के चुंबकों में इनका उपयोग होता है।

नरम लोहा बनाम इस्पात ★★★

गुण	नरम लोहा	इस्पात
चुंबकित होना	आसानी से, प्रबलता से (उच्च चुंबकशीलता)	अधिक प्रयास से
चुंबकत्व बनाए रखना (धारणशीलता, Retentivity)	लगभग तुरंत खो देता है	बनाए रखता है
सबसे उपयुक्त	विद्युत चुंबक, ट्रांसफॉर्मर और मोटर की क्रोड, रिले, चुंबकीय परिरक्षक	स्थायी चुंबक (दिक्सूचक की सुई, लाउडस्पीकर का चुंबक)

★★ **चुंबकीय परिरक्षण (Magnetic shielding)**: यंत्र को नरम लोहे (या विशेष उच्च-चुंबकशीलता मिश्रधातु) के डिब्बे में बंद करें। क्षेत्र रेखाएँ डिब्बे की दीवारों से होकर जाना पसंद करती हैं, इसलिए भीतर का स्थान लगभग क्षेत्र-रहित रहता है। प्रति-चुंबकीय (एंटीमैग्नेटिक) घड़ियों में नरम लोहे का भीतरी खोल होता है।

★ **नियोडिमियम (NdFeB) चुंबक**, जो दुर्लभ मृदा तत्वों से बनते हैं, सबसे प्रबल स्थायी चुंबक हैं: EV मोटरों, पवन टर्बाइनों, ईयरफ़ोन और हार्ड-डिस्क ड्राइव में उपयोग।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** पारा, ताँबा, सोना और चाँदी **प्रतिचुंबकीय** हैं, अनुचुंबकीय नहीं। निकेल **लौहचुंबकीय** है। जब पूछा जाए कि अनुचुंबकीय सिद्धांत किस पर लागू होता है, तो **प्लैटिनम** या **एल्युमिनियम** चुनें।

☑ झटपट जाँच

1. ताँबा, सोना, बिस्मथ, जल: चुंबकीय रूप से ये क्या हैं?
2. किस ताप के ऊपर लोहा लौहचुंबकीय नहीं रहता?
3. नरम लोहा या इस्पात: विद्युत चुंबक की क्रोड में कौन, और स्थायी चुंबक में कौन?

उत्तर: 1. प्रतिचुंबकीय (दुर्बल प्रतिकर्षण) · 2. 770 °C (उसका क्यूरी ताप) · 3. क्रोड में नरम लोहा; स्थायी चुंबक में इस्पात

पृथ्वी का चुंबकत्व

भू-डायनेमो

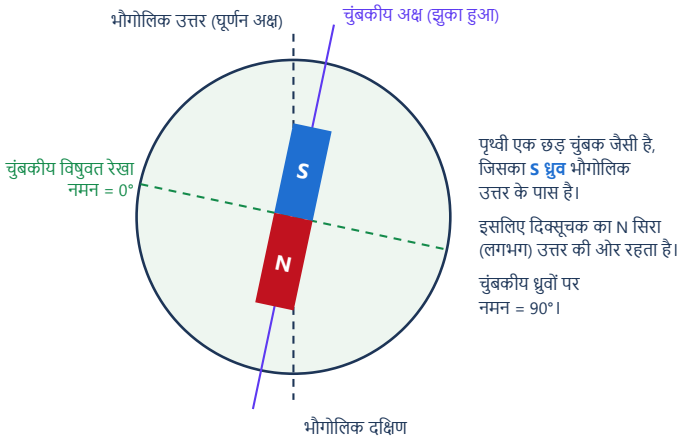
उत्तर में S ध्रुव

दिक्पात

नमन 0° से 90°

थुम्बा 1963

पृथ्वी ऐसे व्यवहार करती है मानो उसके भीतर एक विशाल छड़ चुंबक रखा हो। वास्तव में यह क्षेत्र **बाहरी क्रोड (Outer core)** के घूमते पिघले लोहे में बहने वाली विद्युत धाराओं से बनता है (**भू-डायनेमो, Geodynamo**)। इसका अक्ष घूर्णन अक्ष से झुका हुआ है, इसलिए चुंबकीय और भौगोलिक ध्रुव एक जगह नहीं हैं, और चुंबकीय ध्रुव धीरे-धीरे खिसकते रहते हैं।



पृथ्वी के काल्पनिक छड़ चुंबक का S ध्रुव भौगोलिक उत्तर के पास है, इसीलिए दिक्सूचक का N सिरा उत्तर की ओर संकेत करता है। चुंबकीय विषुवत रेखा (नमन 0°) चुंबकीय अक्ष के लंबवत है।

★★★ **भौगोलिक उत्तर के पास वाला चुंबकीय ध्रुव चुंबकीय रूप से दक्षिण ध्रुव है**: यह दिक्सूचक सुई के उत्तर-संकेती सिरे को आकर्षित करता है।

★★★ **चुंबकीय दिक्पात (Magnetic declination)**: किसी स्थान पर भौगोलिक उत्तर (वास्तविक उत्तर) और चुंबकीय उत्तर के बीच का कोण, यानी भौगोलिक और चुंबकीय याम्योत्तर के बीच का कोण।

★★★ **नमन कोण (Dip, Inclination)**: पृथ्वी का क्षेत्र क्षैतिज से जो कोण बनाता है। **चुंबकीय ध्रुवों पर 90°** (सुई ऊर्ध्वाधर खड़ी), **चुंबकीय विषुवत रेखा पर 0°** (सुई क्षैतिज)। इसे **नमन वृत्त (Dip circle)** से मापते हैं।

★★ पृथ्वी के क्षेत्र का **क्षैतिज घटक** चुंबकीय विषुवत रेखा पर सबसे अधिक और **चुंबकीय ध्रुवों पर शून्य** होता है, इसलिए चुंबकीय ध्रुवों के पास साधारण दिक्सूचक बेकार है।

★★ **मानचित्र रेखाएँ**: समदिक्पाती (Isogonic, समान दिक्पात), शून्य दिक्पाती (Agonic, शून्य दिक्पात), समनति (Isoclinic, समान नमन), शून्य नति (Aclinic, शून्य नमन = चुंबकीय विषुवत रेखा), समचुंबकीय तीव्रता रेखा (Isodynamic, समान क्षेत्र-तीव्रता)।

★★ **दिक्सूचक (Compass)**: स्वतंत्र रूप से घूमने के लिए धुरी पर टिकी हल्की चुंबकित सुई; प्राचीन चीनी काल से नौवहन में उपयोग। **घूर्णाक्षस्थापी दिक्सूचक (Gyrocompass)** वास्तविक उत्तर दिखाता है और चुंबकत्व से प्रभावित नहीं होता।

★★ तिरुवनंतपुरम के पास **थुम्बा (Thumba)** को भारत के पहले रॉकेट प्रक्षेपण (1963) के लिए इसलिए चुना गया क्योंकि यह **चुंबकीय विषुवत रेखा** के निकट है, जो विषुवतीय इलेक्ट्रोजेट के अध्ययन के लिए आदर्श है।

★ **ध्रुवों का खिसकना और उत्क्रमण**: उत्तरी चुंबकीय ध्रुव कनाडाई आर्कटिक से साइबेरिया की ओर खिसक रहा है। भूवैज्ञानिक समय में क्षेत्र कई बार पलटा है; अंतिम पूर्ण उत्क्रमण लगभग 780,000 वर्ष पहले हुआ था। चट्टानें इन उत्क्रमणों को दर्ज करती हैं (पुराचुंबकत्व, Palaeomagnetism), जो सागर-नितल प्रसरण का एक प्रमुख प्रमाण है।

★ **भारतीय भू-चुंबकत्व संस्थान (Indian Institute of Geomagnetism)** (नवी मुंबई) कोलाबा वेधशाला, मुंबई (1841 से चुंबकीय रिकॉर्ड) से विकसित हुआ। बंबई की बिजली वाली ट्रामों के व्यवधान से बचने के लिए 1904 में इसके मापन **अलीबाग** ले जाए गए।

★ **विलियम गिल्बर्ट (William Gilbert)** (De Magnete, 1600) ने सबसे पहले तर्क दिया कि पृथ्वी स्वयं एक विशाल चुंबक है।

याद रखें: नमन = सुई कितना "सिर झुकाती है": चुंबकीय ध्रुव पर पूरा झुकाती है (90°); चुंबकीय विषुवत रेखा पर सिर बिल्कुल सीधा रखती है (0°)।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** दिक्पात और नमन अलग-अलग कोण हैं। दिक्पात क्षैतिज तल में होता है (वास्तविक उत्तर बनाम चुंबकीय उत्तर); नमन ऊर्ध्वाधर तल में (क्षेत्र बनाम क्षैतिज)।

झटपट जाँच

1. चुंबकीय रूप से भौगोलिक उत्तर के पास वाला ध्रुव _____ ध्रुव है।
2. चुंबकीय ध्रुवों पर और चुंबकीय विषुवत रेखा पर नमन कोण?
3. भारत के पहले रॉकेट प्रक्षेपण (1963) के लिए थुम्बा को क्यों चुना गया?

उत्तर: 1. दक्षिण · 2. 90°; 0° · 3. वह चुंबकीय विषुवत रेखा के पास है

चुंबकमंडल, ध्रुवीय ज्योति और वैन ऐलन पेटियाँ

सौर पवन

चुंबकमंडल

सुमेरु / कुमेरु ज्योति

ऑक्सीजन: हरा

वैन ऐलन 1958

भीतर प्रोटॉन, बाहर इलेक्ट्रॉन

सूर्य लगातार आवेशित कणों की एक धारा छोड़ता है, जिसे **सौर पवन (Solar wind)** कहते हैं। पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र इसके अधिकांश भाग को मोड़ देता है और एक सुरक्षा-बुलबुला बनाता है, जिसे **चुंबकमंडल (Magnetosphere)** कहते हैं। आवेशित कण क्षेत्र रेखाओं को आसानी से पार नहीं कर पाते, इसलिए कुछ फँस जाते हैं और कुछ ध्रुवों के पास नीचे की ओर पहुँचा दिए जाते हैं।

अलास्का की बेयर झील के ऊपर सुमेरु ज्योति (Aurora borealis)। सूर्य से आए आवेशित कण पृथ्वी की क्षेत्र रेखाओं के सहारे ध्रुव के पास ऊपरी वायुमंडल में पहुँचते हैं और ऑक्सीजन परमाणुओं को हरे रंग में चमका देते हैं। चित्र: Joshua Strang, US Air Force, Wikimedia Commons, public domain

★★ **चुंबकमंडल**: पृथ्वी के चारों ओर का वह क्षेत्र जो उसके चुंबकीय क्षेत्र से नियंत्रित होता है; दिन वाली ओर दबा हुआ और रात वाली ओर एक लंबी पूँछ में खिंचा हुआ। यह जीवन और उपग्रहों को सौर पवन के बड़े भाग से बचाता है।

★★★ **ध्रुवीय ज्योति (Auroras)**: क्षेत्र रेखाओं के सहारे ध्रुवों के पास ऊपरी वायुमंडल में पहुँचे आवेशित कण गैस परमाणुओं से टकराते हैं, जो चमकने लगते हैं। **सुमेरु ज्योति (Aurora borealis)** (उत्तरी रोशनी) और **कुमेरु ज्योति (Aurora australis)** (दक्षिणी रोशनी)।

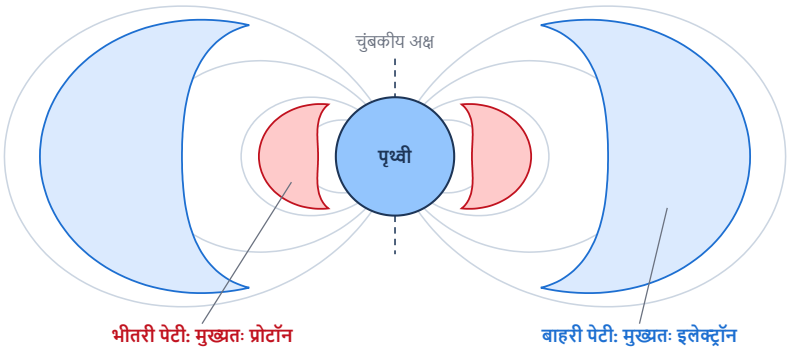
★★ **ध्रुवीय ज्योति के रंग**: ऑक्सीजन सामान्य हरा और दुर्लभ लाल रंग देती है; नाइट्रोजन नीला और बैंगनी।

★ **प्रबल सौर तूफ़ान** ध्रुवीय ज्योति को निचले अक्षांशों तक धकेल देते हैं: मई 2024 में लद्दाख के हानले (Hanle) से लाल ध्रुवीय ज्योति का फोटो लिया गया।

★★★ **वैन ऐलन विकिरण पेटियाँ (Van Allen radiation belts)**: पृथ्वी के क्षेत्र द्वारा फँसाए गए आवेशित कणों के दो डोनट-आकार के क्षेत्र; भीतरी पेटी ऊर्जावान प्रोटॉनों से भरपूर है, बाहरी पेटी मुख्यतः इलेक्ट्रॉनों से। **1958** में **जेम्स वैन ऐलन (James Van Allen)** ने एक्सप्लोरर (Explorer) 1 के आँकड़ों से इनकी खोज की।

★ **भू-चुंबकीय तूफ़ान (Geomagnetic storms)** GPS, रेडियो संचार और पावर ग्रिड में बाधा डाल सकते हैं, और उपग्रहों को नुकसान पहुँचा सकते हैं।

वैन ऐलन पेटियाँ (1958): पृथ्वी के क्षेत्र में फँसे आवेशित कण



धूसर वक्र: पृथ्वी की क्षेत्र रेखाएँ। आकार लगभग।

वैन ऐलन पेटियों का अनुप्रस्थ काट: पृथ्वी की क्षेत्र रेखाओं में फँसे आवेशित कणों के दो डोनट-आकार के क्षेत्र; भीतरी पेटी में मुख्यतः प्रोटॉन, बाहरी में मुख्यतः इलेक्ट्रॉन। आकार और माप लगभग।

याद रखें: Van Allen: "Protons Inside, Electrons Outside" (PI-EO): भीतर की पेटी में प्रोटॉन, बाहर की पेटी में इलेक्ट्रॉन।

झटपट जाँच

1. उत्तरी और दक्षिणी ध्रुवीय ज्योति को क्या कहते हैं?
2. ध्रुवीय ज्योति का सामान्य हरा रंग कौन-सी गैस देती है?
3. भीतरी और बाहरी वैन ऐलन पेटी: किसमें कौन-से कण अधिक हैं?

उत्तर: 1. सुमेरु ज्योति (Aurora borealis); कुमेरु ज्योति (Aurora australis) · 2. ऑक्सीजन · 3. भीतरी: प्रोटॉन; बाहरी: इलेक्ट्रॉन

धारा का चुंबकीय प्रभाव

ओर्स्टेड 1820

दक्षिण-हस्त अंगुष्ठ नियम

परिनालिका = छड़ चुंबक

वामावर्त = N

विद्युत चुंबक: नरम लोहा

1820 में **हैंस क्रिश्चियन ओर्स्टेड (Hans Christian Oersted)** ने देखा कि पास के तार में धारा बहने पर दिक्सूचक की सुई घूम गई। इस एक प्रेक्षण ने विद्युत और चुंबकत्व को जोड़ दिया: **गतिमान आवेश चुंबकीय क्षेत्र बनाते हैं**। तार को कुंडली में लपेटें तो सभी फेरों के क्षेत्र जुड़ जाते हैं, और ऐसा चुंबक मिलता है जिसे चालू-बंद किया जा सकता है।

★★★ **ओर्स्टेड का प्रयोग** (1820): धारावाही तार दिक्सूचक सुई को विक्षेपित करता है; धारा की दिशा उलटने पर विक्षेप भी उलट जाता है।

★★ **सीधे तार के चारों ओर क्षेत्र**: संकेंद्री वृत्त; अधिक धारा पर प्रबल, तार से दूर जाने पर दुर्बल ($B \propto I/r$)।

★★★ **दक्षिण-हस्त अंगुष्ठ नियम (Right-hand thumb rule)**: तार को दाहिने हाथ से पकड़ें, अँगूठा धारा की दिशा में; मुड़ी हुई उँगलियाँ चुंबकीय क्षेत्र की दिशा बताती हैं। (मैक्सवेल का कॉर्कस्क्रू नियम भी यही कहता है।)

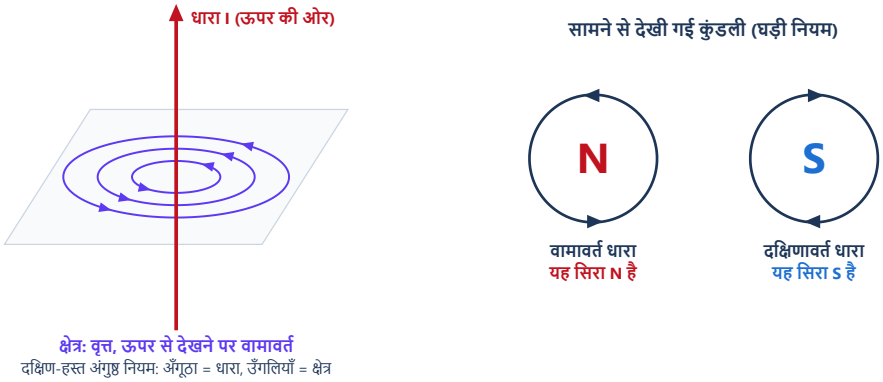
★★★ **परिनालिका (Solenoid)**: अनेक फेरों वाली लंबी कुंडली। धारा बहने पर यह **छड़ चुंबक** की तरह व्यवहार करती है; भीतर क्षेत्र प्रबल और लगभग एकसमान होता है।

★★ **कुंडली की ध्रुवता**: किसी सिरे से देखने पर यदि धारा **वामावर्त** बहे तो वह सिरा **N** है; दक्षिणावर्त हो तो **S**।

★★★ **विद्युत चुंबक (Electromagnet)**: **नरम लोहे की क्रोड** वाली परिनालिका। यह अस्थायी चुंबक है, जो धारा बहने तक प्रबल रहता है और धारा रुकते ही निष्क्रिय हो जाता है।

★★ **अधिक प्रबल विद्युत चुंबक**: अधिक फेरे, अधिक धारा, नरम लोहे की क्रोड।

★★ **दो समांतर तार**: एक ही दिशा में धाराएँ हों तो आकर्षित करते हैं; विपरीत दिशाओं में हों तो प्रतिकर्षित।



(बाएँ) सीधे तार में ऊपर की ओर बहती धारा: क्षेत्र उसके चारों ओर वृत्तों के रूप में है, ऊपर से देखने पर वामावर्त। दाएँ हाथ से तार पकड़ें, अँगूठा धारा की दिशा में, तो उँगलियाँ उसी दिशा में मुड़ती हैं। (दाएँ) कुंडली का घड़ी नियम: वामावर्त धारा से वह सिरा N, दक्षिणावर्त से S बनता है।

याद रखें: घड़ी नियम (Clock rule): N लिखकर उसके सिरों पर तीर बनाएँ तो वे वामावर्त चलते हैं; S के तीर दक्षिणावर्त चलते हैं। वामावर्त धारा = उत्तर (North) सिरा।

विद्युत चुंबक कहाँ काम आते हैं ★★

युक्ति	विद्युत चुंबक कैसे मदद करता है
कबाड़-घर की क्रेन	टनों लोहा उठाती है; स्विच बंद करते ही उसे गिरा देती है
विद्युत घंटी	विद्युत चुंबक हथौड़े की भुजा को खींचता है, जिससे परिपथ टूटता है, भुजा वापस आती है और यह दोहराता रहता है (संपर्क-विच्छेद)
रिले	कुंडली में छोटी धारा बड़ी धारा वाले परिपथ को चालू-बंद करती है (कारें, स्वचालन)
MRI स्कैनर	अतिचालक विद्युत चुंबक बहुत प्रबल स्थिर क्षेत्र बनाता है
मैग्लेव ट्रेन	चुंबकीय प्रतिकर्षण/आकर्षण ट्रेन को पटरी से ऊपर उठाता है; पहियों का घर्षण नहीं
लाउडस्पीकर, मोटर, जनित्र	कुंडली और चुंबक परस्पर क्रिया करके गति या धारा देते हैं
कण त्वरक	शक्तिशाली चुंबक किरण-पुंजों को मोड़ते और केंद्रित करते हैं (CERN का LHC अतिचालक चुंबकों का उपयोग करता है)

★★ **मानवयुक्त मैग्लेव ट्रेन का गति रिकॉर्ड**: जापान की अतिचालक SCMaglev ने 2015 में एक परीक्षण लाइन पर **603 km/h** की गति प्राप्त की।

☑ झटपट जाँच

1. सबसे पहले किसने दिखाया कि धारा दिक्सूचक की सुई को विक्षेपित करती है, और कब?
2. कुंडली के एक सिरे से देखने पर धारा वामावर्त बहती है। वह सिरा कौन-सा ध्रुव है?
3. दो समांतर तारों में एक ही दिशा में धारा है। वे आकर्षित करेंगे या प्रतिकर्षित?

उत्तर: 1. ओर्स्टेड, 1820 · 2. उत्तर (N) · 3. आकर्षित

धारा पर बल और विद्युत मोटर

F = BIL sin θ

समांतर पर शून्य

वामहस्त नियम

विद्युत → यांत्रिक

विभक्त वलय दिक्परिवर्तक

धारावाही तार स्वयं एक चुंबकीय क्षेत्र से घिरा होता है। उसे चुंबक के ध्रुवों के बीच रखें तो दोनों क्षेत्र एक-दूसरे पर बल लगाते हैं, और तार बगल की ओर धकेला जाता है। तार को लूप में मोड़ें तो उसकी दोनों भुजाएँ विपरीत दिशाओं में धकेली जाती हैं: लूप घूमने लगता है। यही विद्युत मोटर है।

★★ **चालक पर बल** F = BIL sin θ: तार क्षेत्र के लंबवत हो तो सबसे अधिक, **समांतर हो तो शून्य**।

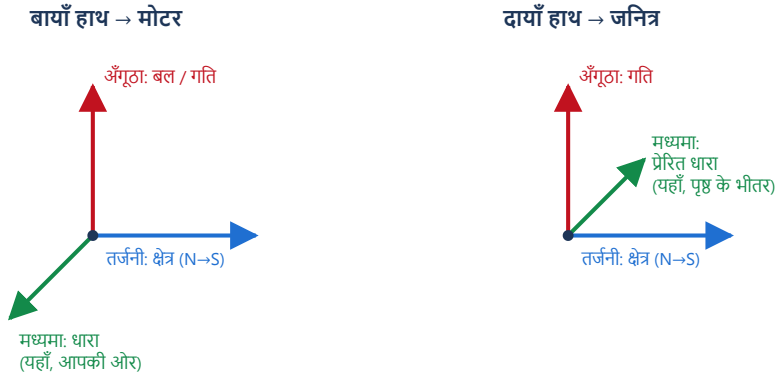
★★ चुंबकीय क्षेत्र में **गतिमान आवेश** एक बगली (लोरेंट्ज़, Lorentz) बल अनुभव करते हैं, इसलिए वे वृत्तों या सर्पिलों में चलते हैं। इसीलिए सौर पवन के कण पृथ्वी की क्षेत्र रेखाओं के साथ सर्पिल पथ पर चलते हैं।

★★★ **फ्लेमिंग का वामहस्त नियम (Fleming's left-hand rule)** (मोटर नियम): **बाएँ** हाथ का अँगूठा, तर्जनी और मध्यमा परस्पर लंबवत फैलाएँ। **तर्जनी (First finger) = क्षेत्र (Field)**, **मध्यमा (seCond finger) = धारा (Current)**, **अँगूठा (thuMb) = गति/बल (Motion)**।

★★★ **विद्युत मोटर विद्युत ऊर्जा को यांत्रिक ऊर्जा में** बदलती है।

★★ **DC मोटर के भाग**: आर्मेचर कुंडली, क्षेत्र चुंबक, **विभक्त वलय दिक्परिवर्तक (Split-ring commutator)** (हर आधे चक्कर पर धारा उलट देता है ताकि कुंडली एक ही दिशा में घूमती रहे), कार्बन **ब्रश**।

★ **उपयोग**: पंखे, मिक्सर, पंप, वॉशिंग मशीन, विद्युत वाहन, ट्रेनें, हार्ड-डिस्क स्पिंडल। अधिकांश पंखों और पंपों में लगने वाली AC प्रेरण मोटर का आविष्कार **निकोला टेस्ला (Nikola Tesla)** ने किया।



उँगलियाँ परस्पर लंबवत: ThuMb = Motion, First = Field, seCond = Current (अँगूठा = गति, तर्जनी = क्षेत्र, मध्यमा = धारा)

वही तीन उँगलियाँ, अलग-अलग हाथ। बायाँ हाथ धारा पर लगने वाला धक्का बताता है (मोटर); दायाँ हाथ गति से प्रेरित धारा बताता है (जनित्र)।

याद रखें: Motors drive on the LEFT, as on Indian roads → मोटर के लिए बाएँ हाथ का नियम
(भारतीय सड़कों पर गाड़ियाँ बाईं ओर चलती हैं)। GeneRatoR में दो R हैं → Right-hand rule, यानी जनित्र के लिए दायाँ हाथ। और उँगलियाँ अँगूठे से नीचे की ओर **F-B-I** बनाती हैं: अँगूठा Force (बल), तर्जनी B (क्षेत्र), मध्यमा I (धारा)।

झटपट जाँच

1. फ्लेमिंग का वामहस्त नियम: तर्जनी, मध्यमा और अँगूठा क्या दिखाते हैं?
2. क्षेत्र के समांतर रखे धारावाही तार पर बल?
3. DC मोटर का कौन-सा भाग हर आधे चक्कर पर धारा उलट देता है?

उत्तर: 1. क्षेत्र, धारा, गति (बल) · 2. शून्य · 3. विभक्त वलय दिक्परिवर्तक

विद्युतचुंबकीय प्रेरण

बदलता फ्लक्स

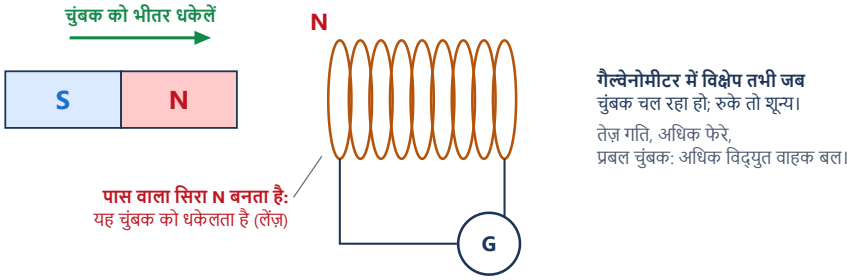
फैराडे 1831

लेंज़: परिवर्तन का विरोध

स्व / अन्योन्य प्रेरण

भँवर धाराएँ

यदि धारा चुंबकत्व बनाती है, तो क्या चुंबकत्व धारा बना सकता है? **माइकल फैराडे (Michael Faraday)** (1831) ने पाया कि हाँ, पर केवल तब जब कुंडली से गुज़रने वाला चुंबकीय क्षेत्र **बदल रहा हो**। कुंडली के भीतर स्थिर रखा चुंबक कुछ नहीं देता; उसे भीतर धकेलें या बाहर खींचें तो गैल्वेनोमीटर की सुई झटका देती है। जितनी तेज़ गति, उतना बड़ा झटका।



N ध्रुव को कुंडली में धकेलें तो गैल्वेनोमीटर में विक्षेप होता है; चुंबक को स्थिर रखें तो पाठ्यांक शून्य। कुंडली का पास वाला सिरा N बन जाता है और आते हुए चुंबक को पीछे धकेलता है (लेंज़ का नियम)।

★★★ **विद्युतचुंबकीय प्रेरण (Electromagnetic induction)**: किसी परिपथ से गुज़रने वाला बदलता चुंबकीय फ्लक्स एक emf प्रेरित करता है (और परिपथ बंद हो तो धारा)। खोज: **फैराडे (1831)**; जोसेफ हेनरी (Joseph Henry) ने इसे स्वतंत्र रूप से खोजा।

★★★ **फैराडे का नियम**: प्रेरित emf = चुंबकीय फ्लक्स में परिवर्तन की दर ($\varepsilon = -N\,\Delta\Phi/\Delta t$)। अधिक फेरे, प्रबल चुंबक या तेज़ गति से emf बड़ा होता है।

★★ **धारा प्रेरित करने के तरीके**: चुंबक को कुंडली के भीतर या बाहर ले जाना, क्षेत्र में कुंडली को चलाना या घुमाना, या पास की कुंडली में धारा बदलना।

★★★ **लेंज़ का नियम (Lenz's law)** (1834): प्रेरित धारा उस दिशा में बहती है जो उसे उत्पन्न करने वाले **परिवर्तन का विरोध करे**। यह **ऊर्जा संरक्षण** का परिणाम है: चुंबक को भीतर धकेलने के लिए आपको कार्य करना पड़ता है।

★★ **फ्लेमिंग का दक्षिणहस्त नियम (Fleming's right-hand rule)** (जनित्र नियम): अँगूठा = चालक की गति, तर्जनी = क्षेत्र, मध्यमा = प्रेरित धारा।

★★ **चुंबकीय फ्लक्स (Magnetic flux)** $\Phi = BA\cos\theta$; मात्रक **वेबर (Wb)** ($1\ \text{Wb} = 1\ \text{T m}^2$)।

★★ **स्वप्रेरण (Self-induction)**: किसी कुंडली में बदलती धारा उसी कुंडली में परिवर्तन का विरोध करने वाला emf प्रेरित करती है; इसे प्रेरकत्व के रूप में **हेनरी (H)** में मापते हैं। पंखा या मोटर बंद करते समय दिखने वाली चिंगारी इसी पश्च-emf (Back-emf) से आती है।

★★ **अन्योन्य प्रेरण (Mutual induction)**: एक कुंडली में बदलती धारा पास की कुंडली में emf प्रेरित करती है। यह ट्रांसफॉर्मरों और **वायरलेस (प्रेरण) फ़ोन चार्जरों** का आधार है।

★★ **चोक कुंडली (Choke coil)**: एक प्रेरक जो बहुत कम शक्ति-हानि के साथ AC को सीमित करता है; यह धारा उत्पन्न **नहीं** करता।

याद रखें: Lenz says "No!": लेंज़ कहता है "नहीं!"। फ्लक्स के साथ आप जो भी करें, प्रेरित धारा उसे पलटने की कोशिश करती है। उत्तर ध्रुव भीतर धकेलें, तो कुंडली सामने उत्तर सिरा दिखाती है।

आसपास देखें: एक प्रबल चुंबक को ताँबे के पाइप में गिराएँ: वह पंख की तरह धीरे-धीरे नीचे उतरता है। ताँबा चुंबकीय नहीं है, पर गिरता चुंबक पाइप में धाराएँ प्रेरित करता है जो लेंज़ के नियम के अनुसार उसके गिरने का विरोध करती हैं।

भँवर धाराएँ (Eddy currents) बदलते क्षेत्र में रखे धातु के ठोस टुकड़े के भीतर प्रेरित धारा के भँवर हैं। ये धातु को गर्म करती हैं और गति का विरोध करती हैं, जो व्यर्थ भी हो सकता है और उपयोगी भी।

भँवर धाराएँ: उपयोगी और व्यर्थ ★★

कहाँ	क्या होता है
इंडक्शन कुकटॉप	उच्च आवृत्ति की AC वाली कुंडली बर्तन के तले में भँवर धाराएँ प्रेरित करती है, जिससे वह गर्म होता है; बर्तन लोहे या इस्पात का (चुंबकीय तले वाला) होना चाहिए, सादे एल्युमिनियम, ताँबे या काँच का नहीं
धातु संसूचक (हवाई अड्डे, बारूदी सुरंग हटाना)	छिपी धातु में भँवर धाराएँ संसूचक कुंडली के क्षेत्र में विक्षोभ पैदा करती हैं
भँवर-धारा ब्रेक	तेज़ गति की ट्रेनें और रोलर कोस्टर बिना संपर्क के, सहजता से धीमे होते हैं
प्रेरण भट्ठी	भँवर-धारा तापन से धातुएँ पिघलाती है
गैल्वेनोमीटर अवमंदन	भँवर धाराएँ सुई का दोलन रोकती हैं, जिससे वह जल्दी ठहर जाती है
पुराना बिजली मीटर	भँवर धाराएँ एल्युमिनियम की चकती घुमाती हैं; उसके चक्कर यूनिट गिनते हैं
ट्रांसफॉर्मर और मोटर की क्रोड (व्यर्थ)	भँवर धाराएँ ऊर्जा को ऊष्मा के रूप में व्यर्थ करती हैं; इन्हें घटाने के लिए क्रोड पतली विद्युतरोधित परतों (पटलन, Laminations) से बनाई जाती है

झटपट जाँच

1. एक चुंबक कुंडली के भीतर स्थिर रखा है। क्या कोई धारा प्रेरित होती है?
2. लेंज़ का नियम किस संरक्षण नियम से निकलता है?
3. इंडक्शन कुकटॉप के बर्तन का तला लोहे या इस्पात का क्यों होना चाहिए?

उत्तर: 1. नहीं: केवल बदलता फ्लक्स विद्युत वाहक बल प्रेरित करता है · 2. ऊर्जा संरक्षण · 3. चुंबकीय तले में प्रेरित भँवर धाराएँ उसे गर्म करती हैं

जनित्र और डायनेमो

यांत्रिक → विद्युत

सर्पी वलय: AC

विभक्त वलय: DC

साइकिल डायनेमो: AC

3000 rpm

जनित्र (Generator) उल्टा चलाई गई मोटर है। चुंबकीय क्षेत्र में कुंडली घुमाएँ तो उससे गुज़रने वाला फ्लक्स लगातार बदलता है, इसलिए emf प्रेरित होता है। कुंडली घूमते समय उसकी हर भुजा क्षेत्र में पहले ऊपर फिर नीचे जाती है, इसलिए धारा स्वाभाविक रूप से **प्रत्यावर्ती** होती है।

मोटर बनाम जनित्र ★★★

विशेषता	विद्युत मोटर	जनित्र / डायनेमो
ऊर्जा परिवर्तन	विद्युत → यांत्रिक	यांत्रिक → विद्युत
सिद्धांत	चुंबकीय क्षेत्र में धारा पर बल	विद्युतचुंबकीय प्रेरण
फ्लेमिंग का नियम	बायाँ हाथ	दायाँ हाथ
मुख्य भाग	विभक्त वलय दिक्परिवर्तक (DC मोटर)	सर्पी वलय (AC जनित्र) या विभक्त वलय दिक्परिवर्तक (DC डायनेमो)
उदाहरण	पंखा, मिक्सर, पंप, EV	बिजलीघर का प्रत्यावर्तित्र, साइकिल डायनेमो, पवन टर्बाइन, डीज़ल जनरेटर सेट

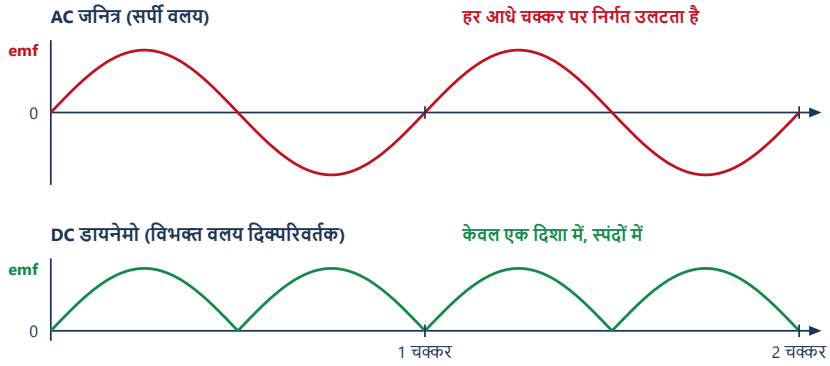
★★★ **AC जनित्र (प्रत्यावर्तित्र, Alternator)**: कुंडली के सिरे **सर्पी वलयों (Slip rings)** द्वारा ब्रशों से जुड़े होते हैं, इसलिए निर्गत कुंडली का अनुसरण करता है और **AC** होता है। सभी बिजलीघर (तापीय, जल, नाभिकीय, पवन) प्रत्यावर्तित्र का उपयोग करते हैं; टर्बाइन केवल उन्हें घुमाती हैं।

★★ **DC डायनेमो**: **विभक्त वलय दिक्परिवर्तक (Split-ring commutator)** हर आधे चक्कर पर संयोजन पलट देता है, इसलिए निर्गत हमेशा एक ही दिशा में बहता है (DC)।

★★ **साइकिल डायनेमो**: पहिये द्वारा कुंडली के भीतर घुमाया गया एक छोटा चुंबक; यह **AC** देता है, जो एक लैंप जलाने के लिए पर्याप्त है।

★★ **भारत में** ग्रिड 50 Hz पर चलता है, इसलिए दो-ध्रुवीय बिजलीघर प्रत्यावर्तित्र 3000 चक्कर प्रति मिनट पर घूमता है।

★ **फैराडे की चकती (Faraday's disc)** (1831) पहला जनित्र था: चुंबक के ध्रुवों के बीच घुमाई गई ताँबे की चकती।



चुंबकीय क्षेत्र में एकसमान घूमती कुंडली का निर्गत। सर्पी वलयों से विद्युत वाहक बल हर आधे चक्कर पर उलटता है (AC); विभक्त वलय दिक्परिवर्तक हर आधे चक्कर पर संबंध बदल देता है, इसलिए निर्गत केवल एक दिशा में, स्पंदों में बहता है (DC)।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** "AC धारा चोक कुंडली / डायनेमो / ट्रांसफॉर्मर से उत्पन्न की जा सकती है": केवल **डायनेमो** धारा उत्पन्न करता है। ट्रांसफॉर्मर केवल उसे दिए गए AC वोल्टेज को बदलता है; चोक केवल धारा सीमित करता है।

☑ झटपट जाँच

1. सर्पी वलय या विभक्त वलय: किससे AC निर्गत मिलता है?
2. साइकिल डायनेमो AC देता है या DC?
3. चोक कुंडली, डायनेमो, ट्रांसफॉर्मर: इनमें से कौन धारा उत्पन्न करता है?

उत्तर: 1. सर्पी वलय · 2. AC · 3. डायनेमो

ट्रांसफॉर्मर और विद्युत संचरण

अन्योन्य प्रेरण

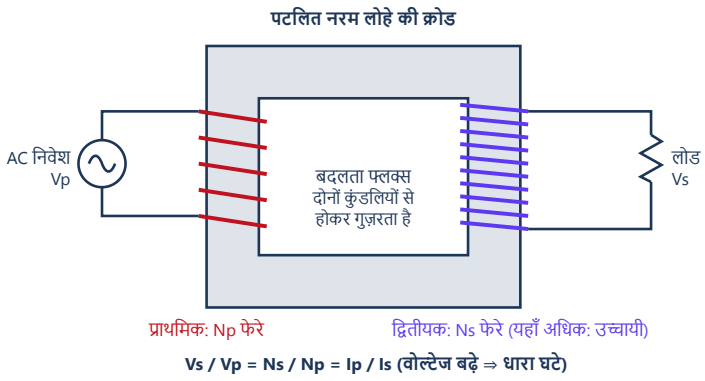
केवल AC

Vs/Vp = Ns/Np

बिजलीघर पर उच्चायी

पटलित क्रोड

ट्रांसफॉर्मर (Transformer) में नरम लोहे की एक क्रोड पर दो कुंडलियाँ लिपटी होती हैं। पहली (प्राथमिक) कुंडली में AC क्रोड में लगातार बदलता फ्लक्स बनाती है; यह फ्लक्स दूसरी (द्वितीयक) कुंडली से गुज़रकर उसमें AC वोल्टेज प्रेरित करता है। वोल्टेज का अनुपात बस फेरों के अनुपात के अनुसार होता है।



द्वितीयक पर अधिक फेरे होने से वोल्टेज अधिक (उच्चायी) पर धारा उसी अनुपात में कम मिलती है, इसलिए शक्ति लगभग समान रहती है।

★★★ **सिद्धांत**: **अन्योन्य प्रेरण (Mutual induction)**। **केवल AC पर** काम करता है: स्थिर DC से फ्लक्स स्थिर रहता है, इसलिए कुछ भी प्रेरित नहीं होता (और प्राथमिक कुंडली ज़्यादा गर्म हो सकती है)।

★★★ **फेरों का अनुपात**: Vs/Vp = Ns/Np = Ip/Is। वोल्टेज ठीक उतना बढ़ता है जितनी धारा घटती है।

★★★ **उच्चायी (Step-up)** (Ns > Np) वोल्टेज बढ़ाता और धारा घटाता है: **बिजलीघर** पर उपयोग। **अपचायी (Step-down)** (Ns < Np): उपकेंद्रों पर, **घरों के पास वितरण ट्रांसफॉर्मर** में, और चार्जरों व एडैप्टरों के भीतर उपयोग।

★★ **उदाहरण**: 230 V से 12 V पाने के लिए 1150 फेरों की प्राथमिक कुंडली के साथ 1150 × 12/230 = **60 फेरों** की द्वितीयक कुंडली चाहिए।

★★ **ट्रांसफॉर्मर आवृत्ति नहीं बदलता** और आदर्श रूप में शक्ति भी नहीं: निर्गत शक्ति ≈ निवेश शक्ति। बड़े ट्रांसफॉर्मर लगभग 95-99% दक्ष होते हैं।

★★ **हानियाँ**: ताम्र हानि (कुंडलियों का I^2R तापन), **भँवर धाराएँ** (**पटलित** क्रोड से घटाई जाती हैं), शैथिल्य (Hysteresis; नरम लोहे की क्रोड से घटाई जाती है), फ्लक्स क्षरण। ट्रांसफॉर्मरों को तेल से ठंडा किया जाता है।

★★★ **उच्च वोल्टेज संचरण क्यों**: समान शक्ति के लिए उच्च वोल्टेज का अर्थ है कम धारा, और लाइन-हानि I^2R धारा के वर्ग के अनुपात में घटती है। यही मुख्य कारण है कि AC, जिसे ट्रांसफॉर्मर बढ़ा-घटा सकते हैं, मानक बन गई।

★ **ट्रांसफॉर्मर की गुनगुनाहट (Hum)** मुख्यतः क्रोड के आपूर्ति आवृत्ति से दोगुनी आवृत्ति (भारत में 100 Hz) पर कंपन से होती है।

याद रखें: ट्रांसफॉर्मर = सी-सॉ (झूला): एक ओर (वोल्टेज) ऊपर जाता है, दूसरी ओर (धारा) उसी गुणक से नीचे; फेरों की संख्या तय करती है कि कौन-सी ओर उठेगी।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** उच्चायी ट्रांसफॉर्मर **वोल्टेज** बढ़ाता है, ऊर्जा या शक्ति नहीं। यह निवेश से अधिक शक्ति नहीं दे सकता, और बैटरी की DC पर काम नहीं कर सकता।

झटपट जाँच

1. ट्रांसफॉर्मर DC पर काम क्यों नहीं करता?
2. प्राथमिक में 1150 फेरे और 230 V। 12 V के लिए द्वितीयक में कितने फेरे?
3. ट्रांसफॉर्मर की क्रोड पटलित क्यों होती है?

उत्तर: 1. स्थिर DC से फ्लक्स स्थिर रहता है, इसलिए कुछ प्रेरित नहीं होता · 2. 60 · 3. भँवर धाराओं की हानि घटाने के लिए

चुंबकत्व का उपयोग करने वाली रोज़मर्रा की युक्तियाँ

लाउडस्पीकर: मोटर

माइक्रोफोन: जनित्र

इंडक्शन कुकटॉप

MRI: आयनकारी विकिरण नहीं

हार्ड डिस्क बनाम SSD

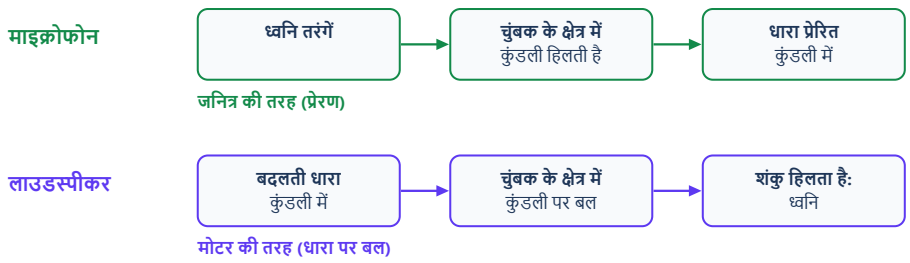
युक्तियाँ और उनके पीछे का सिद्धांत ★★★

युक्ति	सिद्धांत	मुख्य बात
विद्युत मोटर	क्षेत्र में धारा पर बल	विद्युत → यांत्रिक
जनित्र / डायनेमो	विद्युतचुंबकीय प्रेरण	यांत्रिक → विद्युत
ट्रांसफॉर्मर	अन्योन्य प्रेरण	AC वोल्टेज बदलता है; केवल AC
लाउडस्पीकर	धारा पर बल (मोटर प्रभाव)	वॉइस कॉइल में बदलती धारा शंकु को हिलाती है, जिससे ध्वनि बनती है
डायनेमिक माइक्रोफ़ोन	विद्युतचुंबकीय प्रेरण	ध्वनि चुंबक के क्षेत्र में एक कुंडली को हिलाती है, जिससे वैसी ही धारा प्रेरित होती है
बिजली (ऊर्जा) मीटर	पुराना: भँवर धाराएँ एल्युमिनियम की चकती घुमाती हैं; अब इलेक्ट्रॉनिक और स्मार्ट मीटर	kWh (यूनिट) दर्ज करता है
इंडक्शन कुकटॉप	भँवर धाराएँ	चुंबकीय (लोहे/इस्पात के) तले वाला बर्तन चाहिए
धातु संसूचक	भँवर धाराएँ / प्रेरण	छिपी धातु खोजता है
ऑडियो/वीडियो टेप, ATM कार्ड की पट्टी	चुंबकित कण (आयरन ऑक्साइड) एक पैटर्न संचित करते हैं	प्रबल चुंबकों से दूर रखें
हार्ड डिस्क ड्राइव	सूक्ष्म चुंबकित क्षेत्र बिट 0 और 1 संचित करते हैं; रीड हेड उन्हें पढ़ता है	पेन ड्राइव और SSD चुंबकीय नहीं हैं (फ़्लैश मेमोरी)
MRI स्कैनर	प्रबल चुंबकीय क्षेत्र + रेडियो तरंगें हाइड्रोजन नाभिकों पर क्रिया करती हैं	कोई आयनकारी विकिरण नहीं
वायरलेस फ़ोन चार्जर	दो चपटी कुंडलियों के बीच अन्योन्य प्रेरण	केवल बहुत कम दूरी पर काम करता है

★★ **MRI** (चुंबकीय अनुनाद प्रतिबिंबन, Magnetic resonance imaging) एक अतिचालक चुंबक (प्रायः 1.5-3 T) और रेडियो तरंगों का उपयोग करता है; यह कोमल ऊतकों (मस्तिष्क, जोड़) का अच्छा चित्र देता है और X-ray या CT के विपरीत **कोई आयनकारी विकिरण** उपयोग नहीं करता। धातु की वस्तुएँ कमरे से बाहर रहनी चाहिए।

★ **विशाल चुंबकप्रतिरोध (Giant magnetoresistance)** वाले रीड हेड से हार्ड डिस्क कहीं अधिक डेटा संचित कर पाती हैं: **भौतिकी का नोबेल पुरस्कार 2007** अल्बर्ट फ़र्ट (Albert Fert) और पीटर ग्रुनबर्ग (Peter Grünberg) को।

★ **क्रेडिट और डेबिट कार्ड** चुंबकीय पट्टियों से हटकर EMV चिप और संपर्क-रहित (NFC) भुगतान की ओर बढ़ गए हैं, जो चुंबकीय भंडारण नहीं हैं।



एक-दूसरे की उलटी युक्तियाँ। माइक्रोफोन में ध्वनि चुंबक के क्षेत्र में कुंडली को हिलाती है और धारा प्रेरित होती है (जनित्र)। लाउडस्पीकर में कुंडली की बदलती धारा पर क्षेत्र में बल लगता है और वह शंकु को चलाती है (मोटर)।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** माइक्रोफ़ोन और लाउडस्पीकर एक-दूसरे के दर्पण प्रतिबिंब हैं: **माइक्रोफ़ोन जनित्र की तरह काम करता है** (ध्वनि → धारा, प्रेरण); **लाउडस्पीकर मोटर की तरह काम करता है** (धारा → गति → ध्वनि)।

☑ झटपट जाँच

1. माइक्रोफोन _____ की तरह काम करता है; लाउडस्पीकर _____ की तरह।
2. क्या MRI जाँच में आयनकारी विकिरण होता है?
3. आँकड़े चुंबकीय रूप से कौन संग्रहीत करता है: हार्ड डिस्क या पेन ड्राइव?

उत्तर: 1. जनित्र; मोटर · 2. नहीं: प्रबल चुंबक और रेडियो तरंगें · 3. हार्ड डिस्क (पेन ड्राइव फ़्लैश मेमोरी है)

अग्रणी वैज्ञानिक और मात्रक

गिल्बर्ट: De Magnete

ओर्स्टेड 1820

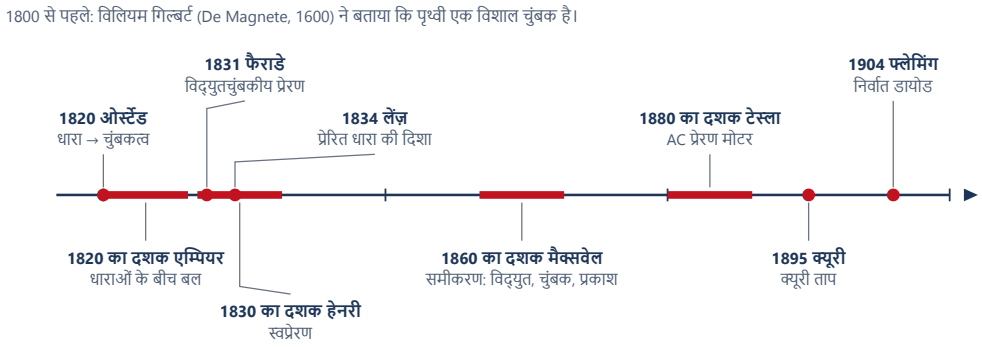
फैराडे: प्रेरण

टेस्ला, वेबर, हेनरी

1 Wb = 1 T m²

किसने क्या खोजा ★★

वैज्ञानिक	योगदान	किसमें याद किए जाते हैं
विलियम गिल्बर्ट (1600)	पृथ्वी एक विशाल चुंबक है (De Magnete)	गिल्बर्ट (पुराना मात्रक)
हैंस क्रिश्चियन ओर्स्टेड (1820)	धारा चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न करती है	ओर्स्टेड (पुराना मात्रक)
आंद्रे-मैरी एम्पियर (André-Marie Ampère) (1820 का दशक)	धाराओं के बीच बल; विद्युतगतिकी का सिद्धांत	एम्पियर
माइकल फैराडे (1831)	पहली विद्युत मोटर (विद्युतचुंबकीय घूर्णन, 1821); विद्युतचुंबकीय प्रेरण; पहला जनित्र (चकती); विद्युत-अपघटन के नियम	फैरड
जोसेफ हेनरी (1830 का दशक)	स्वप्रेरण; प्रेरण की स्वतंत्र खोज	हेनरी
हाइनरिख लेंज़ (Heinrich Lenz) (1834)	प्रेरित धारा की दिशा	लेंज़ का नियम
विल्हेम वेबर (Wilhelm Weber)	चुंबकीय मापन	वेबर
जेम्स क्लर्क मैक्सवेल (James Clerk Maxwell) (1860 का दशक)	विद्युत, चुंबकत्व और प्रकाश को जोड़ने वाले समीकरण	मैक्सवेल (पुराना मात्रक)
निकोला टेस्ला (1880 का दशक)	AC प्रेरण मोटर, AC विद्युत प्रणाली	टेस्ला
जॉन एम्ब्रोस फ्लेमिंग (John Ambrose Fleming)	वामहस्त और दक्षिणहस्त नियम; निर्वात डायोड (1904)	फ्लेमिंग के नियम
पियरे क्यूरी (1895)	एक क्रांतिक ताप से ऊपर चुंबकत्व लुप्त हो जाता है	क्यूरी ताप



किसने क्या खोजा, पैमाने पर बनी समय-रेखा पर: बिंदु एक वर्ष दिखाते हैं, पट्टियाँ एक दशक।

चुंबकीय राशियाँ ★★

राशि	SI मात्रक	टिप्पणी
चुंबकीय क्षेत्र (फ्लक्स घनत्व) B	टेस्ला (T)	1 T = 10^4 गॉस
चुंबकीय फ्लक्स Φ	वेबर (Wb)	1 Wb = 1 T m^2
प्रेरकत्व	हेनरी (H)	स्व और अन्योन्य प्रेरण
चुंबकीय क्षेत्र तीव्रता H	एम्पियर प्रति मीटर (A/m)	पुराना मात्रक: ओर्स्टेड

☑ झटपट जाँच

1. चुंबकीय फ्लक्स और चुंबकीय क्षेत्र के SI मात्रक?
2. प्रेरकत्व का मात्रक किसके नाम पर है?
3. सबसे पहले किसने कहा कि पृथ्वी स्वयं एक विशाल चुंबक है?

उत्तर: 1. वेबर (Wb); टेस्ला (T) · 2. जोसेफ हेनरी (हेनरी, H) · 3. विलियम गिल्बर्ट (De Magnete, 1600)

पिछले वर्षों में पूछे गए प्रश्न (3)

BPSC 64th विद्युत् मोटर में
(a) ऊष्मा को विद्युत् ऊर्जा में बदला जाता है (b) विद्युत् ऊर्जा को ऊष्मा में बदला जाता है (c) विद्युत् ऊर्जा को यांत्रिक ऊर्जा में बदला जाता है
(d) यांत्रिक ऊर्जा को विद्युत् ऊर्जा में बदला जाता है (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (c) विद्युत् ऊर्जा को यांत्रिक ऊर्जा में बदला जाता है. विद्युत मोटर विद्युत ऊर्जा को यांत्रिक ऊर्जा में बदलती है; जनित्र (जनरेटर) यांत्रिक ऊर्जा को विद्युत ऊर्जा में बदलता है

BPSC 67th re-exam चुम्बकत्व का अनुचुम्बकीय (समचुम्बक) सिद्धान्त निम्न में से किसके द्वारा प्रदर्शित होता है?
(a) प्लैटिनम (b) निकेल (c) पारा (d) लोहा (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (a) प्लैटिनम. प्लैटिनम और ऐलुमिनियम अनुचुंबकीय हैं; लोहा, निकेल और कोबाल्ट लौहचुंबकीय हैं

BPSC 69th AC करेन्ट को कैसे उत्पन्न करते हैं?
(a) चोक कुंडली द्वारा (b) डायनामो द्वारा (c) ट्रांसफॉर्मर द्वारा (d) उपर्युक्त में से कोई नहीं
उत्तर: (b) डायनामो द्वारा. डायनामो (AC जनित्र) विद्युतचुंबकीय प्रेरण से यांत्रिक ऊर्जा को AC में बदलता है; ट्रांसफॉर्मर AC की वोल्टता बदलता है, पर धारा उत्पन्न नहीं कर सकता

स्वयं को परखें (12)

1. निम्नलिखित में से कौन-सा प्रतिचुंबकीय है?
(a) एल्युमिनियम (b) निकेल (c) बिस्मथ (d) प्लैटिनम

2. चुंबकीय विषुवत रेखा पर नमन कोण होता है
(a) 0° (b) 45° (c) 90° (d) 180°

3. ट्रांसफॉर्मर की क्रोड मुख्यतः किसे घटाने के लिए पटलित बनाई जाती है?
(a) कुंडलियों में ताम्र हानि (b) भँवर-धारा हानि (c) कुंडलियों के बीच फ्लक्स संबंधन (d) आपूर्ति की आवृत्ति

4. एक उच्चायी ट्रांसफॉर्मर की प्राथमिक कुंडली में 100 और द्वितीयक में 2000 फेरे हैं। यदि 220 V AC लगाया जाए, तो निर्गत वोल्टेज है
(a) 11 V (b) 2200 V (c) 22,000 V (d) 4400 V

5. फ्लेमिंग के दक्षिणहस्त नियम का उपयोग किसकी दिशा जानने के लिए होता है?
(a) जनित्र में प्रेरित धारा (b) मोटर में चालक पर बल (c) सीधे तार के चारों ओर चुंबकीय क्षेत्र (d) संधारित्र पर आवेश

6. विद्युत चुंबकों के बारे में कौन-सा कथन सही नहीं है?
(a) इनकी कुंडली के भीतर प्रायः नरम लोहे की क्रोड होती है (b) अधिक फेरों और अधिक धारा से इनकी शक्ति बढ़ती है
(c) धारा रुकने के बाद भी ये अपना चुंबकत्व बनाए रखते हैं (d) इनका उपयोग विद्युत घंटी और कबाड़-घर की क्रेन में होता है

7. इंडक्शन कुकटॉप इस्पात के बर्तन को मुख्यतः किस प्रकार गर्म करता है?
(a) गर्म कुंडली से अवरक्त विकिरण द्वारा (b) बर्तन के तले में प्रेरित भँवर धाराओं द्वारा (c) लाल-तप्त प्लेट से चालन द्वारा
(d) भीतर रखे भोजन द्वारा सीधे अवशोषित सूक्ष्म तरंगों द्वारा

8. ध्रुवीय ज्योति मुख्यतः ध्रुवों के पास क्यों दिखाई देती है?
(a) ध्रुव अधिक ठंडे हैं, इसलिए विरल वायु आसानी से चमकती है (b) पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र सौर आवेशित कणों को वहाँ ले जाता है
(c) ध्रुवों के ऊपर ओज़ोन परत अन्य स्थानों से बहुत पतली है (d) ध्रुवीय बर्फ की चादरें सूर्य के प्रकाश को प्रबलता से वापस परावर्तित करती हैं

9. कौन-सी युक्ति मोटर प्रभाव (धारावाही चालक पर बल) के सिद्धांत पर काम करती है?
(a) डायनेमिक माइक्रोफ़ोन (b) ट्रांसफॉर्मर (c) साइकिल डायनेमो (d) लाउडस्पीकर

10. पृथ्वी के चुंबकत्व के बारे में निम्नलिखित कथनों पर विचार कीजिए:
1. भौगोलिक उत्तर के पास वाला चुंबकीय ध्रुव चुंबकीय रूप से दक्षिणी ध्रुव है।
2. पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक चुंबकीय ध्रुवों पर सबसे अधिक होता है।
3. चुंबकीय दिक्पात वह कोण है जो पृथ्वी का क्षेत्र क्षैतिज से बनाता है।
उपर्युक्त कथनों में से कौन-सा/से सही है/हैं?
(a) केवल 1 (b) केवल 1 और 2 (c) केवल 2 और 3 (d) 1, 2 और 3

11. निम्नलिखित कथनों पर विचार कीजिए:
1. लेंज़ का नियम ऊर्जा संरक्षण का परिणाम है।
2. ट्रांसफॉर्मर अन्योन्य प्रेरण पर काम करता है और आपूर्ति की आवृत्ति नहीं बदलता।
3. AC जनित्र में सर्पी वलय लगते हैं, जबकि DC डायनेमो में विभक्त वलय दिक्परिवर्तक लगता है।
उपर्युक्त में से कितने कथन सही हैं?
(a) केवल एक (b) केवल दो (c) सभी तीन (d) कोई भी नहीं

12. एक छात्र किसी प्रोजेक्ट के लिए अधिक वोल्टता पाने की आशा में उच्चायी ट्रांसफॉर्मर की प्राथमिक कुंडली को 12 V की कार बैटरी से जोड़ता है। स्विच बंद होने और धारा स्थिर हो जाने के बाद उसे द्वितीयक कुंडली पर क्या मिलता है?
(a) 12 V से अधिक स्थिर DC वोल्टता, फेरों के अनुपात में (b) कोई वोल्टता नहीं, क्योंकि स्थिर धारा अपरिवर्ती फ्लक्स बनाती है
(c) मेन्स आवृत्ति 50 Hz पर AC वोल्टता (d) बैटरी से अधिक वोल्टता और अधिक शक्ति

उत्तर: 1. (c) बिस्मथ चुंबक द्वारा दुर्बलता से प्रतिकर्षित होता है; एल्युमिनियम और प्लैटिनम अनुचुंबकीय हैं, निकेल लौहचुंबकीय। · 2. (a) चुंबकीय विषुवत रेखा पर पृथ्वी का क्षेत्र क्षैतिज होता है, इसलिए नमन सुई क्षैतिज रहती है। · 3. (b) पतली विद्युतरोधित परतें क्रोड में भँवर धाराओं के मार्ग तोड़ देती हैं। · 4. (d) $V_s = V_p \times N_s/N_p = 220 \times 20 = 4400$ V। · 5. (a) दायाँ हाथ: जनित्र (प्रेरित धारा)। बायाँ हाथ: मोटर (बल)। · 6. (c) नरम लोहे वाले विद्युत चुंबक धारा रुकते ही लगभग सारा चुंबकत्व खो देते हैं। · 7. (b) कुंडली का बदलता क्षेत्र बर्तन के चुंबकीय तले में भँवर धाराएँ प्रेरित करता है, जिससे वह गर्म होता है। · 8. (b) क्षेत्र रेखाएँ ध्रुवों पर अभिसरित होती हैं और सौर पवन के कणों को ऊपरी वायुमंडल में पहुँचा देती हैं। · 9. (d) धारा बहने पर लाउडस्पीकर की कुंडली को चुंबक का क्षेत्र धकेलता है; बाकी प्रेरण का उपयोग करते हैं। · 10. (a) भौगोलिक उत्तर के पास का ध्रुव दिक्सूचक के N सिरे को खींचता है, इसलिए वह दक्षिणी ध्रुव है; क्षैतिज घटक चुंबकीय ध्रुवों पर शून्य और चुंबकीय विषुवत रेखा पर सबसे अधिक होता है, और क्षैतिज से बना कोण नमन कोण है, दिक्पात नहीं। · 11. (c) तीनों सही हैं: प्रेरित धारा के विरुद्ध चुंबक धकेलने में कार्य लगता है, ट्रांसफॉर्मर जो आवृत्ति पाता है वही आगे देता है, और सर्पी वलय निर्गत को AC रखते हैं जबकि विभक्त वलय उसे DC बना देता है। · 12. (b) ट्रांसफॉर्मर को बदलता फ्लक्स चाहिए, इसलिए स्थिर DC द्वितीयक में कुछ प्रेरित नहीं करती (और प्राथमिक कुंडली गरम हो सकती है); कोई भी ट्रांसफॉर्मर जितनी शक्ति लेता है उससे अधिक नहीं देता।

अध्याय 13

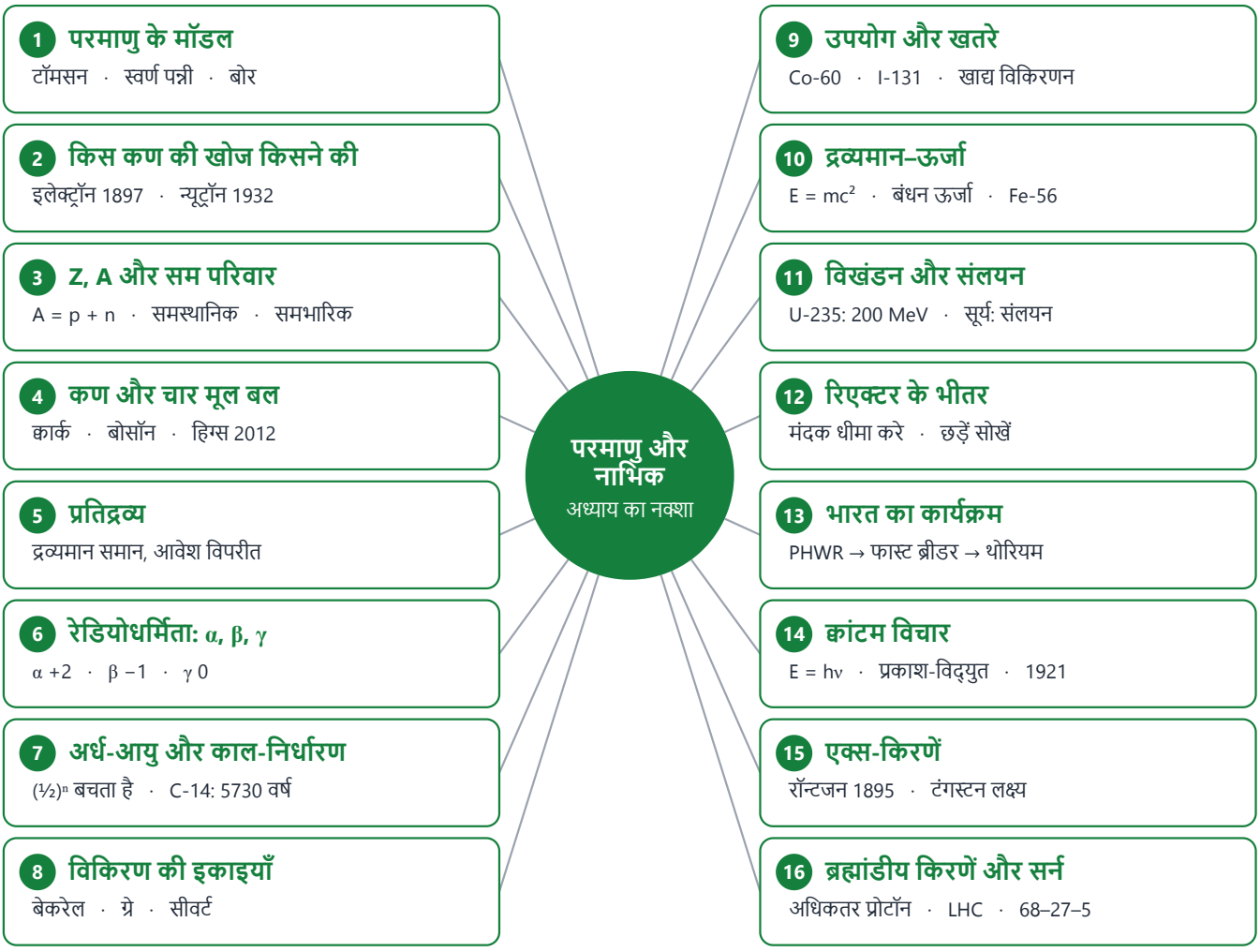
परमाणु, नाभिक और रेडियोधर्मिता

कणों के खोजकर्ता, α/β/γ किरणें, अर्ध-आयु और कार्बन डेटिंग, विखंडन बनाम संलयन, हिग्स बोसॉन, आइंस्टीन का प्रकाश-विद्युत नोबेल और भारत का नाभिकीय कार्यक्रम लगभग हर वर्ष पूछे जाते हैं।

पिछले प्रश्नपत्रों में 9 बार पूछा गया: UPSC 3 · BPSC 6

≈ 1 h 19 min पढ़ने में ≈ 10 min ★★★ दोहराने में

दोहराएँ: दिन 1 दिन 3 दिन 7 दिन 21



रिवीज़न कार्ड

1. **इलेक्ट्रॉन**: जे.जे. टॉमसन (1897); **प्रोटॉन**: गोल्डस्टीन की कैनाल किरणें (1886), पहचान रदरफोर्ड ने की (1917–19); **न्यूट्रॉन**: चैडविक (1932); **पॉज़िट्रॉन**: एंडरसन (1932); **नाभिक**: रदरफोर्ड (1911)।
2. **समस्थानिक (Isotopes)** = समान प्रोटॉन (Z); **समभारिक (Isobars)** = समान द्रव्यमान संख्या (A); **समन्यूट्रॉनिक (Isotones)** = समान न्यूट्रॉन; **सम-इलेक्ट्रॉनिक (Isoelectronic)** = इलेक्ट्रॉनों की समान संख्या।
3. **α** = हीलियम नाभिक (+2), **β** = नाभिक से निकला इलेक्ट्रॉन (−1), **γ** = फोटॉन (कोई आवेश नहीं)। भेदन क्षमता $\alpha < \beta < \gamma$; आयनन क्षमता $\alpha > \beta > \gamma$। क्रमशः कागज़, ऐलुमिनियम और सीसे से रुकती हैं।
4. **अर्ध-आयु (Half-life)**: n अर्ध-आयु के बाद $(½)^n$ बचता है। **कार्बन-14** की अर्ध-आयु ≈ **5730 वर्ष**; यह कभी जीवित रही वस्तुओं की आयु ~50,000 वर्ष तक बताती है; चट्टानों के लिए **यूरेनियम–सीसा** विधि।
5. **इकाइयाँ**: बेकरेल और क्यूरी (सक्रियता), ग्रे (अवशोषित खुराक), सीवर्ट और रेम (जैविक खुराक)।
6. **विखंडन (Fission)** भारी नाभिकों (U-235, Pu-239) को तोड़ता है: नियंत्रित = रिएक्टर, अनियंत्रित = परमाणु बम। **संलयन (Fusion)** हल्के नाभिकों को जोड़ता है: सूर्य और तारे; **हाइड्रोजन बम = अनियंत्रित संलयन**।
7. **रिएक्टर**: मंदक (Moderator) न्यूट्रॉनों को धीमा करता है (भारी जल, ग्रेफाइट, हल्का जल); नियंत्रक छड़ें (Control rods) उन्हें अवशोषित करती हैं (कैडमियम, बोरॉन, हैफ़्नियम)।
8. **चार मूल बल**, सबसे प्रबल से सबसे दुर्बल: प्रबल नाभिकीय > विद्युतचुंबकीय > दुर्बल > गुरुत्व। **बीटा क्षय दुर्बल बल से होता है**।
9. **हिग्स बोसॉन (Higgs boson)** ('गॉड पार्टिकल') **2012** में सर्न (CERN) के एलएचसी (LHC) में मिला; इसका क्षेत्र बताता है कि कणों में **द्रव्यमान** क्यों होता है। बोसॉन का नाम **एस.एन. बोस (S.N. Bose)** पर रखा गया है।
10. **आइंस्टीन का नोबेल (1921) प्रकाश-विद्युत प्रभाव** के लिए था, सापेक्षता के लिए नहीं। **प्लांक** ने क्वांटम सिद्धांत की शुरुआत की (1900)।
11. **ब्रह्मांडीय किरणें (Cosmic rays)** आवेशित कण हैं, अधिकतर **प्रोटॉन**। **एक्स-किरणें (X-rays)**: रॉन्टजन (1895), भौतिकी का पहला नोबेल (1901)।
12. **भारत**: भाभा के तीन चरण PHWR → फास्ट ब्रीडर → थोरियम; **अप्सरा** (1956) एशिया का पहला अनुसंधान रिएक्टर; **तारापुर** (1969) पहला बिजलीघर; **PFBR** कलपक्कम पहली बार **6 अप्रैल 2026** को क्रांतिक हुआ।
13. भारत में **24 पावर रिएक्टर, ≈ 8.78 GW** (2026) चल रहे हैं; लक्ष्य **2047 तक 100 GW**; शांति अधिनियम (SHANTI Act) 2025 निजी कंपनियों को नाभिकीय संयंत्र बनाने देता है।
14. **1 eV = 1.6 × 10^{-19} J**: V वोल्ट से त्वरित आवेश e को **eV** ऊर्जा मिलती है।

परमाणु की संकल्पना का विकास

डाल्टन → टॉमसन

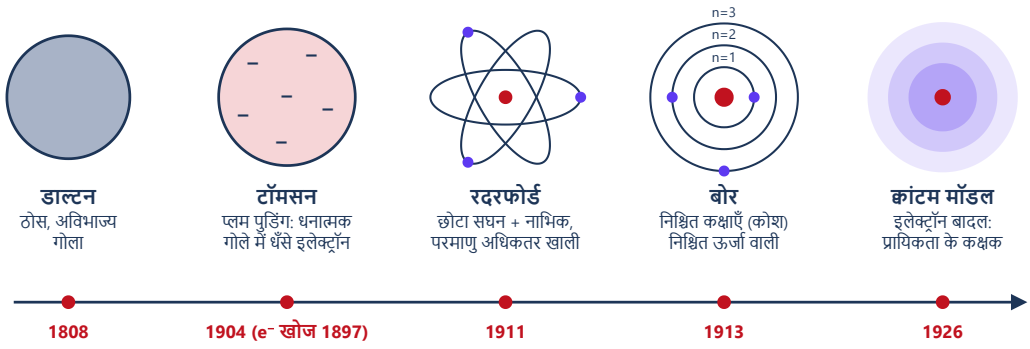
प्लम पुडिंग

स्वर्ण पन्नी

बोर की कक्षाएँ

इलेक्ट्रॉन बादल

हर परमाणु मॉडल किसी प्रयोग को समझाने के लिए बना और जब किसी नए प्रयोग ने उसे गलत साबित किया तो छोड़ दिया गया। इन मॉडलों को एक कहानी की तरह पढ़ें: **ठोस गोला → पुडिंग → छोटा नाभिक → निश्चित कोश → इलेक्ट्रॉन बादल**।



क्रम से पाँच मॉडल। देखें कि धनात्मक आवेश पूरे परमाणु (टॉमसन) से सिमटकर एक छोटे केंद्रीय नाभिक (रदरफोर्ड) में आ जाता है, और इलेक्ट्रॉन निश्चित कक्षाओं (बोर) से बादल (क्वांटम मॉडल) में बदल जाते हैं।

परमाणु मॉडल क्रम से ★★★

मॉडल (वर्ष)	चित्र	आधार	क्या नहीं समझा सका
डाल्टन (Dalton) (1808)	परमाणु छोटे, ठोस, अविभाज्य गोले हैं; एक तत्व के सभी परमाणु एक जैसे होते हैं	रासायनिक संयोजन के नियम	इलेक्ट्रॉन और नाभिक (परमाणु विभाज्य है)
टॉमसन (Thomson) (1904), 'प्लम पुडिंग'	धनात्मक गोला जिसमें इलेक्ट्रॉन धँसे हों, जैसे तरबूज़ में बीज	उनकी इलेक्ट्रॉन की खोज (1897)	सोने की पन्नी से कुछ अल्फा कण वापस क्यों लौटे
रदरफोर्ड (Rutherford) (1911), नाभिकीय मॉडल	केंद्र में छोटा, सघन, धनात्मक नाभिक; इलेक्ट्रॉन उसके चारों ओर घूमते हैं; परमाणु अधिकतर खाली है	गाइगर और मार्सडेन (Geiger and Marsden) का स्वर्ण पन्नी (अल्फा प्रकीर्णन) प्रयोग	परिक्रमा करता इलेक्ट्रॉन ऊर्जा खोकर नाभिक में क्यों नहीं गिरता
बोर (Bohr) (1913)	इलेक्ट्रॉन केवल निश्चित ऊर्जा वाली निश्चित कक्षाओं (कोश, n = 1, 2, 3...) में घूमते हैं; प्रकाश तभी उत्सर्जित या अवशोषित होता है जब इलेक्ट्रॉन एक कोश से दूसरे में कूदता है	हाइड्रोजन का रेखीय स्पेक्ट्रम	अनेक इलेक्ट्रॉनों वाले परमाणुओं के स्पेक्ट्रम
क्वांटम यांत्रिकीय (Quantum mechanical) (श्रोडिंगर 1926; हाइज़ेनबर्ग)	इलेक्ट्रॉन एक तरंग है; हम केवल उसके मिलने की प्रायिकता बता सकते हैं (कक्षक, इलेक्ट्रॉन बादल)	द्रव्य की तरंग प्रकृति (डी ब्रॉग्ली)	वर्तमान मॉडल

★★★ **स्वर्ण पन्नी (Gold foil) का परिणाम**: अधिकतर अल्फा कण सीधे निकल गए (परमाणु अधिकतर खाली है); कुछ विचलित हुए; लगभग 12,000 में से 1 सीधा वापस लौटा (छोटा, भारी, धनात्मक नाभिक)।

★★ **आकार**: परमाणु ≈ 10^{-10} m (1 ऐंग्स्ट्रॉम); नाभिक ≈ 10^{-15} m (1 फर्मी)। नाभिक ~100,000 गुना छोटा है, फिर भी उसमें 99.9% से अधिक द्रव्यमान होता है।

★★ **बोर** को **1922** में भौतिकी का नोबेल पुरस्कार मिला; उनका मॉडल हाइड्रोजन स्पेक्ट्रम समझाता है।

★ **रदरफोर्ड का नोबेल (1908) रसायन विज्ञान** में था, रेडियोधर्मी पदार्थों पर कार्य के लिए, नाभिकीय मॉडल से पहले।

याद रखें: परमाणु मॉडल भोजन की तरह: डाल्टन का **लड्डू** (ठोस गोला) → टॉमसन का **तरबूज़** (लाल गूदे में बीज = इलेक्ट्रॉन) → रदरफोर्ड का **क्रिकेट स्टेडियम** जिसके केंद्र में एक **कंचा** हो → बोर का **रनिंग ट्रैक** जिसमें निश्चित लेन हों → क्वांटम **मच्छरों का बादल** (पता है कि शायद कहाँ है, ठीक-ठीक कभी नहीं)।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** टॉमसन ने इलेक्ट्रॉन खोजा (1897), पर नाभिक या प्रोटॉन की खोज **नहीं** की। नाभिक रदरफोर्ड के स्वर्ण पन्नी प्रयोग से मिला। बोर ने **निश्चित कोश** दिए, इलेक्ट्रॉन बादल नहीं।

झटपट जाँच

1. किस प्रयोग ने दिखाया कि परमाणु में एक छोटा, सघन, धनात्मक नाभिक है?
2. अधिकतर अल्फा कण स्वर्ण पन्नी से सीधे निकल गए। इससे क्या पता चला?
3. किसके मॉडल ने इलेक्ट्रॉनों को निश्चित कोशों में रखा, और उसने क्या समझाया?

उत्तर: 1. रदरफोर्ड का स्वर्ण पन्नी (अल्फा प्रकीर्णन) प्रयोग, 1911 · 2. परमाणु अधिकतर खाली है · 3. बोर (1913): हाइड्रोजन का रेखीय स्पेक्ट्रम

किस कण की खोज किसने की

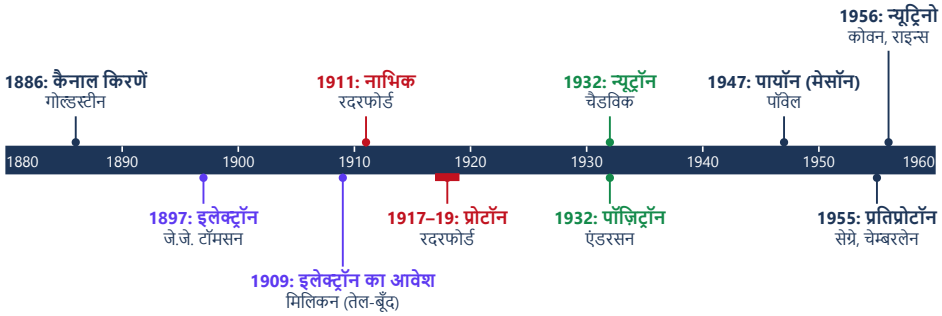
टॉमसन: इलेक्ट्रॉन

रदरफोर्ड: नाभिक, प्रोटॉन

चैडविक: न्यूट्रॉन

एंडरसन: पॉज़िट्रॉन

परमाणु के भीतर के कण 1897 से 1932 के बीच एक-एक करके मिले, अधिकतर नलियों और पन्नियों से किरण-पुंज गुज़ारकर। परीक्षक 'खोजकर्ता का मिलान करें' बहुत पसंद करते हैं।



खोजें पैमाने पर बनी समय-रेखा पर (एक खाना = 10 वर्ष)। मूल कण 1897 और 1932 के बीच मिले, और कोई निशान न छोड़ने वाला उदासीन न्यूट्रॉन सबसे बाद में आया।

खोजकर्ता ★★★

कण / विचार	खोजकर्ता	वर्ष	कैसे / टिप्पणी
इलेक्ट्रॉन (Electron)	जे.जे. टॉमसन (J.J. Thomson)	1897	कैथोड किरणें इलेक्ट्रॉनों की धाराएँ हैं; नोबेल 1906
इलेक्ट्रॉन का आवेश	आर.ए. मिलिकन (R.A. Millikan)	1909	तेल-बूँद प्रयोग
प्रोटॉन (Proton)	ई. गोल्डस्टीन (E. Goldstein) (कैनाल किरणें); ई. रदरफोर्ड	1886; 1917–19	गोल्डस्टीन ने धनात्मक 'कैनाल किरणें' देखीं; रदरफोर्ड ने हाइड्रोजन नाभिक को प्रोटॉन के रूप में पहचाना और नाम दिया (1920)
नाभिक (Nucleus)	ई. रदरफोर्ड (E. Rutherford)	1911	स्वर्ण पन्नी प्रयोग
न्यूट्रॉन (Neutron)	जेम्स चैडविक (James Chadwick)	1932	नोबेल 1935; इससे विखंडन अनुसंधान संभव हुआ
पॉज़िट्रॉन (Positron) (पहला प्रतिकण)	कार्ल एंडरसन (Carl Anderson)	1932	ब्रह्मांडीय किरणों में देखा गया; पॉल डिरैक (Paul Dirac) ने पूर्वानुमान किया (1928)
न्यूट्रिनो (Neutrino)	वुल्फगैंग पाउली (Wolfgang Pauli) ने पूर्वानुमान किया; कोवन और राइन्स (Cowan and Reines) ने संसूचित किया	1930; 1956	बीटा क्षय में लुप्त ऊर्जा की व्याख्या करता है
मेसॉन (Meson) (पायॉन)	हिदेकी युकावा (Hideki Yukawa) ने पूर्वानुमान किया; सेसिल पॉवेल (Cecil Powell) ने खोजा	1935; 1947	युकावा के सिद्धांत में न्यूक्लिऑनों के बीच बल का वाहक
प्रतिप्रोटॉन (Antiproton)	सेग्रे और चेम्बरलेन (Segrè and Chamberlain)	1955	त्वरित्र (accelerator) में बनाया गया

तीन मूल कण ★★

कण	आवेश	द्रव्यमान	कहाँ
प्रोटॉन (p)	$+1.6 \times 10^{-19}$ C	1.6726×10^{-27} kg (≈ 1 u)	नाभिक
न्यूट्रॉन (n)	0	1.6749×10^{-27} kg (≈ 1 u, प्रोटॉन से थोड़ा भारी)	नाभिक
इलेक्ट्रॉन (e^-)	-1.6×10^{-19} C	9.11×10^{-31} kg (≈ प्रोटॉन का 1/1836)	नाभिक के बाहर (कोश/बादल)

★★ **कैथोड किरणें (Cathode rays)** इलेक्ट्रॉन (ऋणात्मक) हैं; **कैनाल (एनोड) किरणें** धनात्मक आयन हैं। इनमें से कोई भी रेडियोधर्मी उत्सर्जन नहीं है।

★★ **न्यूट्रॉन तीनों में सबसे भारी** है; मुक्त न्यूट्रॉन अस्थायी है और प्रोटॉन, इलेक्ट्रॉन तथा प्रतिन्यूट्रिनो में क्षयित हो जाता है (अर्ध-आयु लगभग 10 मिनट)।

★ **परमाणु द्रव्यमान इकाई (Atomic mass unit, u)** = कार्बन-12 परमाणु के द्रव्यमान का 1/12 ≈ 1.66×10^{-27} kg।

याद रखें: 'TE, GRP, CN': **T**homson–**E**lectron (टॉमसन–इलेक्ट्रॉन); **G**oldstein + **R**utherford–**P**roton (गोल्डस्टीन + रदरफोर्ड–प्रोटॉन); **C**hadwick–**N**eutron (चैडविक–न्यूट्रॉन)। चैडविक सबसे बाद में आए क्योंकि न्यूट्रॉन पर कोई आवेश नहीं होता, इसलिए वह कोई निशान नहीं छोड़ता: शर्मीला मेहमान देर से पहुँचा (1932)।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** चैडविक ने **न्यूट्रॉन** खोजा, एंडरसन ने **पॉज़िट्रॉन**: दोनों **1932** में। विकल्प अक्सर इन्हें आपस में बदल देते हैं, या न्यूट्रॉन का श्रेय रदरफोर्ड को देते हैं (उन्होंने केवल इसका पूर्वानुमान किया था)।

झटपट जाँच

1. न्यूट्रॉन की खोज किसने और किस वर्ष की?
2. पहला प्रतिकण, पॉज़िट्रॉन, _____ ने खोजा।
3. प्रोटॉन, न्यूट्रॉन या इलेक्ट्रॉन: सबसे भारी कौन?

उत्तर: 1. जेम्स चैडविक, 1932 · 2. कार्ल एंडरसन (1932), ब्रह्मांडीय किरणों में · 3. न्यूट्रॉन (प्रोटॉन से थोड़ा भारी)

परमाणु संख्या, द्रव्यमान संख्या और 'सम' परिवार

Z = प्रोटॉन

A = p + n

समस्थानिक: समान Z

समभारिक: समान A

समन्यूट्रॉनिक: समान n

प्रोटॉनों की संख्या तय करती है कि परमाणु किस तत्व का है। न्यूट्रॉन केवल द्रव्यमान जोड़ते हैं। इसलिए परमाणुओं में प्रोटॉन, द्रव्यमान संख्या या न्यूट्रॉन समान हो सकते हैं, और हर प्रकार की समानता का अपना नाम है।

★★★ **परमाणु संख्या (Atomic number, Z)** = प्रोटॉनों की संख्या (= उदासीन परमाणु में इलेक्ट्रॉन)। यही तत्व और आवर्त सारणी में उसका स्थान तय करती है।

★★★ **द्रव्यमान संख्या (Mass number, A)** = प्रोटॉन + न्यूट्रॉन (इन्हें मिलाकर **न्यूक्लिऑन (Nucleons)** कहते हैं)। **न्यूट्रॉन = A − Z**। $^{12}_{6}C$ की तरह लिखते हैं: ऊपर A, नीचे Z।

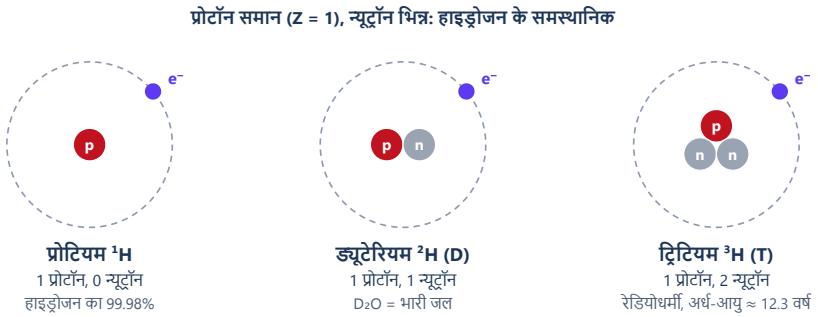
'सम' शब्द ★★★

शब्द	समान	भिन्न	उदाहरण
समस्थानिक (Isotopes)	प्रोटॉन (Z): एक ही तत्व	न्यूट्रॉन और द्रव्यमान संख्या	^{1}H, ^{2}H, ^{3}H; C-12, C-14; U-235, U-238
समभारिक (Isobars)	द्रव्यमान संख्या (A)	प्रोटॉन (भिन्न तत्व)	^{40}Ar, ^{40}K, ^{40}Ca
समन्यूट्रॉनिक (Isotones)	न्यूट्रॉन	प्रोटॉन और द्रव्यमान संख्या	^{14}C (6p, 8n), ^{15}N (7p, 8n), ^{16}O (8p, 8n)
सम-इलेक्ट्रॉनिक (Isoelectronic)	इलेक्ट्रॉनों की संख्या	प्रोटॉन	Ne, Na^{+}, Mg^{2+}, F^{-} (सभी में 10 इलेक्ट्रॉन)

याद रखें: छिपा अक्षर खोजें: isoto**P**es = समान **P**rotons (प्रोटॉन); isoto**N**es = समान **N**eutrons (न्यूट्रॉन); isob**A**rs = समान **A** (द्रव्यमान संख्या)। Isoelectronic के नाम में ही 'electron' है। हिंदी में: सम**स्थानिक** = आवर्त सारणी में एक ही **स्थान** (एक ही तत्व); सम**भारिक** = समान **भार** (द्रव्यमान संख्या)।

हाइड्रोजन के समस्थानिक ★★

समस्थानिक	प्रोटॉन	न्यूट्रॉन	टिप्पणी
प्रोटियम (^1H)	1	0	हाइड्रोजन का लगभग 99.98%; बिना न्यूट्रॉन वाला एकमात्र नाभिक
ड्यूटेरियम (^2H या D)	1	1	हेरोल्ड यूरी (Harold Urey) ने खोजा (1931); D_2O **भारी जल** है, मंदक के रूप में प्रयुक्त
ट्रिटियम (^3H या T)	1	2	रेडियोधर्मी (अर्ध-आयु ≈ 12.3 वर्ष); संलयन और H-बम का ईंधन



हाइड्रोजन के तीन समस्थानिक: हर एक में एक प्रोटॉन, इसलिए एक ही तत्व और एक ही रसायन; शून्य, एक या दो न्यूट्रॉन, इसलिए तीन भिन्न द्रव्यमान। पैमाने पर नहीं: असली नाभिक अपने परमाणु से लगभग 100,000 गुना छोटा होता है।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** समस्थानिकों के **रासायनिक** गुण **समान** (समान इलेक्ट्रॉन) पर **भौतिक** गुण **भिन्न** (द्रव्यमान, घनत्व, रेडियोधर्मिता) होते हैं। समभारिक **भिन्न तत्व** हैं, इसलिए उनका रसायन भिन्न होता है।

☑ झटपट जाँच

1. द्रव्यमान संख्या A = _____ ; न्यूट्रॉनों की संख्या = _____ ।
2. समान प्रोटॉन पर भिन्न न्यूट्रॉन वाले परमाणु _____ कहलाते हैं।
3. आर्गन-40, पोटैशियम-40 और कैल्शियम-40 में कौन-सी संख्या समान है, और ये क्या कहलाते हैं?

उत्तर: 1. प्रोटॉन + न्यूट्रॉन; A − Z · 2. समस्थानिक (एक ही तत्व, समान रसायन) · 3. द्रव्यमान संख्या 40: समभारिक

मूल कण और चार मूल बल

क्वार्क

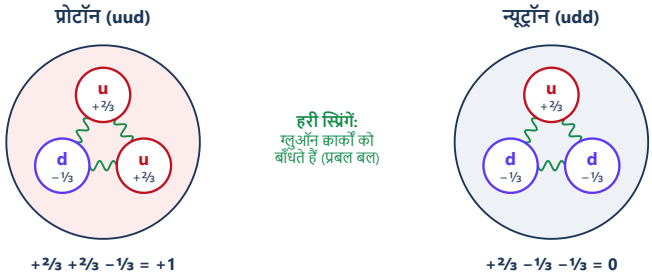
फर्मिऑन बनाम बोसॉन

एस.एन. बोस

हिग्स बोसॉन 2012

प्रबल > विद्युतचुंबकीय > दुर्बल > गुरुत्व

प्रोटॉन और न्यूट्रॉन सबसे छोटे टुकड़े नहीं हैं: हर एक तीन **क्वार्कों (Quarks)** से बना है। सारा द्रव्य क्वार्कों और लेप्टॉनों (जैसे इलेक्ट्रॉन) से बना है, और बल इनके बीच **बोसॉन (Bosons)** नामक बल-वाहक कणों द्वारा पहुँचाए जाते हैं।



प्रोटॉन दो अप क्वार्क और एक डाउन क्वार्क है (+⅔ +⅔ −⅓ = +1); न्यूट्रॉन एक अप और दो डाउन है (+⅔ −⅓ −⅓ = 0)। ग्लुऑन वह प्रबल बल पहुँचाते हैं जो क्वार्कों को बाँधे रखता है।

प्रारंभिक परीक्षा स्तर पर कण-संसार ★★

कण	प्रकार	आवेश	याद रखें
इलेक्ट्रॉन	लेप्टॉन (फर्मिऑन)	−1	सचमुच मूल कण; बिजली का वाहक
प्रोटॉन	बेरिऑन: 3 क्वार्क (अप, अप, डाउन)	+1	स्थायी; हाइड्रोजन नाभिक
न्यूट्रॉन	बेरिऑन: 3 क्वार्क (अप, डाउन, डाउन)	0	केवल नाभिक के भीतर स्थायी
पॉज़िट्रॉन	इलेक्ट्रॉन का प्रतिकण	+1	PET स्कैन में प्रयुक्त
न्यूट्रिनो	लेप्टॉन	0	लगभग द्रव्यमानहीन; पृथ्वी के आर-पार निकल जाता है; 3 प्रकार
क्वार्क	मूल (फर्मिऑन)	+⅔ या −⅓	6 फ्लेवर: अप, डाउन, चार्म, स्ट्रेंज, टॉप, बॉटम; कभी अकेले नहीं मिलते
मेसॉन	क्वार्क + प्रतिक्वार्क	+1, 0 या −1	अल्पजीवी (पायॉन, केऑन)
फोटॉन	बोसॉन	0	विद्युतचुंबकीय बल का वाहक; प्रकाश का कण; विराम द्रव्यमान नहीं
ग्लुऑन	बोसॉन	0	प्रबल बल का वाहक; क्वार्कों को 'चिपकाता' है
W^+, W^-, Z	बोसॉन	±1, 0	दुर्बल बल के वाहक; सर्न में मिले (1983)
हिग्स बोसॉन	बोसॉन	0	'गॉड पार्टिकल'; सर्न में 2012 में मिला; इसका क्षेत्र कणों को द्रव्यमान देता है
ग्रेविटॉन	बोसॉन (अभी नहीं मिला)	0	गुरुत्व का वाहक होगा

फर्मिऑन बनाम बोसॉन ★★★

	फर्मिऑन (Fermions)	बोसॉन (Bosons)
किसके नाम पर	एनरिको फर्मी (Enrico Fermi)	**सत्येंद्र नाथ बोस**
चक्रण (Spin)	अर्ध-पूर्णांक (½, 3/2...)	पूर्णांक (0, 1, 2...)
पाउली अपवर्जन सिद्धांत (Pauli exclusion principle)	पालन करते हैं: कोई दो एक ही अवस्था में नहीं	पालन नहीं करते: कितने भी एक अवस्था में रह सकते हैं
सांख्यिकी	फर्मी-डिरैक	**बोस-आइंस्टीन**
उदाहरण	इलेक्ट्रॉन, प्रोटॉन, न्यूट्रॉन, क्वार्क, न्यूट्रिनो	फोटॉन, ग्लुऑन, W/Z, हिग्स; हीलियम-4 परमाणु भी
भूमिका	द्रव्य बनाते हैं	बल वहन करते हैं (और द्रव्यमान देते हैं: हिग्स)

★★★ **एस.एन. बोस** (कोलकाता) ने फोटॉनों की गिनती पर अपना 1924 का शोधपत्र आइंस्टीन को भेजा, जिन्होंने उसका भाषांतर कर उसे आगे बढ़ाया: इसी से **बोस-आइंस्टीन सांख्यिकी** बनी। 'बोसॉन' शब्द पॉल डिरैक ने गढ़ा।

★★ **बोस-आइंस्टीन संघनित (Bose–Einstein condensate, BEC)**: जब कुछ परमाणुओं को परम शून्य से एक केल्विन के दस लाखवें भाग से भी कम ऊपर तक ठंडा किया जाता है, तो वे एक ही क्वांटम अवस्था में सिमट जाते हैं और एक 'महा-परमाणु' की तरह व्यवहार करते हैं; इसे प्रायः **द्रव्य की पाँचवीं अवस्था** कहते हैं। पहली बार **1995** में बनाया गया (कॉर्नेल, वीमन, केटरले; नोबेल 2001)।

★★★ **हिग्स बोसॉन (Higgs boson)**: **1964** में पूर्वानुमान (पीटर हिग्स और अन्य); खोज की घोषणा **4 जुलाई 2012** को सर्न (CERN) के **लार्ज हैड्रॉन कोलाइडर (Large Hadron Collider)** पर ATLAS और CMS प्रयोगों ने की; 2013 का नोबेल हिग्स और फ्रांस्वा एंगलर्ट को।

★★★ **महत्व क्यों**: हिग्स क्षेत्र मूल कणों को उनका **द्रव्यमान** देता है। इसका द्रव्य के टेलीपोर्टेशन या बेहतर विखंडन ईंधन से कोई संबंध नहीं।

★ **'गॉड पार्टिकल'** एक लोकप्रिय उपनाम है, जो भौतिकविद लियोन लेडरमैन (Leon Lederman) की 1993 की एक पुस्तक के शीर्षक से आया; भौतिकविद इसे कम ही प्रयोग करते हैं।

चार मूल बल ★★★

बल	सापेक्ष प्रबलता	परास	वाहक	क्या करता है
प्रबल नाभिकीय (Strong nuclear)	1 (सबसे प्रबल)	~10^{-15} m (नाभिक के भीतर)	ग्लुऑन	क्वार्कों को जोड़े रखता है और नाभिक में प्रोटॉन व न्यूट्रॉन को बाँधता है
विद्युतचुंबकीय (Electromagnetic)	~10^{-2} (≈ 1/137)	अनंत	फोटॉन	केवल आवेशित कणों पर कार्य करता है; परमाणुओं और अणुओं को जोड़े रखता है; प्रकाश, बिजली, घर्षण
दुर्बल नाभिकीय (Weak nuclear)	~10^{-13}	~10^{-16} m	W और Z बोसॉन	**बीटा क्षय** (रेडियोधर्मिता) कराता है; सूर्य को ऊर्जा देने में सहायक
गुरुत्व (Gravity)	~10^{-39} (सबसे दुर्बल)	अनंत	ग्रेविटॉन (नहीं मिला)	सभी द्रव्यमानों पर कार्य करता है; ग्रहों और आकाशगंगाओं को नियंत्रित करता है

याद रखें: 'Strong Elephants Walk Gently' = Strong > Electromagnetic > Weak > Gravity, यानी प्रबल > विद्युतचुंबकीय > दुर्बल > गुरुत्व। गुरुत्व प्रबल केवल इसलिए लगता है क्योंकि पृथ्वी का द्रव्यमान विशाल है: एक छोटा चुंबक पूरी पृथ्वी के खिंचाव के विरुद्ध पिन उठा लेता है।

⚠ **परीक्षा में सावधान: गुरुत्व सबसे दुर्बल** बल है, सबसे प्रबल नहीं। गुरुत्व और विद्युतचुंबकत्व का परास अनंत है; दोनों नाभिकीय बल केवल नाभिक के भीतर कार्य करते हैं।

झटपट जाँच

1. बोसॉन किस भारतीय भौतिकविद के नाम पर हैं?
2. हिग्स क्षेत्र मूल कणों को क्या देता है?
3. चार मूल बलों को क्रम से लिखें, सबसे प्रबल पहले।

उत्तर: 1. सत्येंद्र नाथ बोस · 2. उनका द्रव्यमान (हिग्स बोसॉन सर्न में मिला, 2012) · 3. प्रबल > विद्युतचुंबकीय > दुर्बल > गुरुत्व

प्रतिद्रव्य

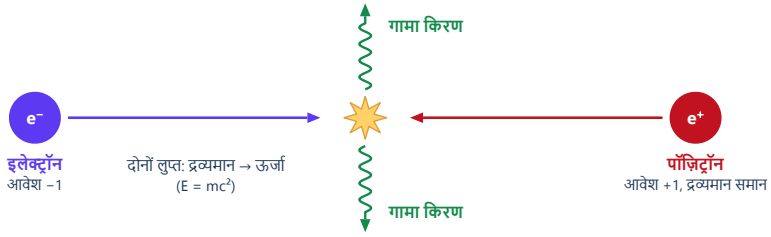
द्रव्यमान समान, आवेश विपरीत

पॉज़िट्रॉन 1932

विलोपन → गामा

PET स्कैन

हर कण का एक प्रतिकण होता है जिसका **द्रव्यमान समान पर आवेश विपरीत** होता है। जब द्रव्य और प्रतिद्रव्य (Antimatter) मिलते हैं, तो दोनों लुप्त हो जाते हैं और उनका पूरा द्रव्यमान ऊर्जा (गामा किरणें) में बदल जाता है, ठीक वैसे ही जैसा $E = mc^2$ बताता है।



विलोपन (Annihilation): इलेक्ट्रॉन और पॉज़िट्रॉन (द्रव्यमान समान, आवेश विपरीत) मिलते हैं और दोनों लुप्त हो जाते हैं; उनका द्रव्यमान दो गामा किरणों के रूप में लौटता है जो विपरीत दिशाओं में उड़ जाती हैं। पैमाने पर नहीं।

★★★ **पॉज़िट्रॉन (Positron)** (प्रति-इलेक्ट्रॉन) पहला खोजा गया प्रतिकण था (एंडरसन, 1932); **प्रतिप्रोटॉन** 1955 में मिला।

★★ **प्रति-हीलियम-4 (Anti-helium)**, उस समय तक ज्ञात सबसे भारी प्रतिद्रव्य नाभिक, 2011 में **ब्रुकहेवन (Brookhaven)** (अमेरिका) के रिलेटिविस्टिक हेवी आयन कोलाइडर में STAR टीम ने बनाया, जिसमें भारतीय वैज्ञानिक भी थे। 2024 में इसी STAR टीम ने इससे भारी एक विदेशी (exotic) प्रतिद्रव्य नाभिक, **प्रति-हाइपरहाइड्रोजन-4 (Antihyperhydrogen)**, खोजा।

★★★ **प्रतिद्रव्य क्यों बनाएँ**: यह जाँचने के लिए कि क्या प्रतिद्रव्य से बने तारे या आकाशगंगाएँ हो सकती हैं, और यह समझने के लिए कि ब्रह्मांड लगभग पूरी तरह द्रव्य से ही क्यों बना (उसका विकास)। खनिज या तेल की खोज में इसका कोई उपयोग नहीं।

★★ **PET स्कैन** (पॉज़िट्रॉन उत्सर्जन टोमोग्राफी, positron emission tomography): एक ट्रेसर पॉज़िट्रॉन छोड़ता है जो शरीर के इलेक्ट्रॉनों से मिलकर विलोपित (नष्ट) हो जाते हैं; निकली गामा किरणों से चित्र बनता है।

★ **प्रतिहाइड्रोजन (Antihydrogen)** परमाणु सर्न में बनाकर फँसाए जाते हैं, ताकि उनकी तुलना सामान्य हाइड्रोजन से की जा सके।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** प्रतिद्रव्य का **आवेश विपरीत, द्रव्यमान समान** होता है ('ऋणात्मक द्रव्यमान' नहीं)। प्रतिद्रव्य डार्क मैटर (अदृश्य द्रव्य) नहीं है।

☑ झटपट जाँच

1. प्रतिकण का _____ समान पर _____ विपरीत होता है।
2. इलेक्ट्रॉन और पॉज़िट्रॉन मिलें तो क्या होता है?
3. कौन-सा चिकित्सा स्कैन पॉज़िट्रॉन का उपयोग करता है?

उत्तर: 1. द्रव्यमान; आवेश · 2. दोनों लुप्त; उनका द्रव्यमान गामा किरणों में बदलता है ($E = mc^2$) · 3. PET (पॉज़िट्रॉन उत्सर्जन टोमोग्राफी)

रेडियोधर्मिता और तीन किरणें

बेकरेल 1896

क्यूरी दंपती: Po, Ra

α +2, β −1, γ 0

कागज़, ऐलुमिनियम, सीसा

नाभिक का गुण

कुछ नाभिकों में प्रोटॉन और न्यूट्रॉन का मेल गलत होता है, या वे बस बहुत बड़े होते हैं। वे अपने-आप कण या ऊर्जा बाहर फेंककर स्थायी बनते हैं: यही **रेडियोधर्मिता (Radioactivity)** है। यह **नाभिक** का गुण है, इसलिए ऊष्मा, दाब या रासायनिक अभिक्रियाएँ इसे तेज़ या धीमा नहीं कर सकतीं।

★★★ **हेनरी बेकरेल (Henri Becquerel)** ने **1896** में संयोग से रेडियोधर्मिता खोजी: यूरेनियम लवणों ने कागज़ में लिपटी फोटोग्राफिक प्लेट को धुँधला कर दिया।

★★★ **मैरी और पियरे क्यूरी (Marie and Pierre Curie)** ने 1898 में **पोलोनियम** (मैरी की मातृभूमि पोलैंड के नाम पर) और **रेडियम** खोजे; 'रेडियोधर्मिता' शब्द मैरी ने गढ़ा।

★★ **मैरी क्यूरी**: नोबेल पाने वाली पहली महिला और दो अलग-अलग विज्ञानों में नोबेल पाने वाली एकमात्र व्यक्ति: भौतिकी 1903 (पियरे क्यूरी और बेकरेल के साथ) और रसायन 1911।

★★ **रदरफोर्ड** ने अल्फा और बीटा किरणों का नाम रखा (1899); **पॉल विलार्ड (Paul Villard)** ने गामा किरणें खोजीं (1900)।

★ **कृत्रिम रेडियोधर्मिता**: आइरीन जोलियो-क्यूरी (Irène Joliot-Curie) और फ्रेडरिक जोलियो (Frédéric Joliot) (1934), रसायन नोबेल 1935।

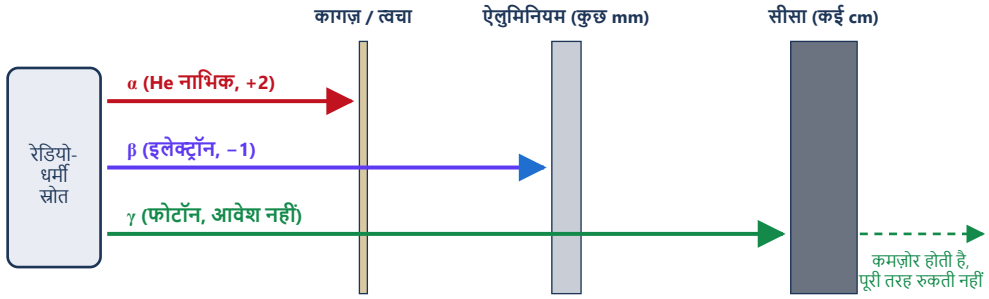
★★ **सीसे से भारी हर तत्व** (Z 82 से अधिक) रेडियोधर्मी है, जैसे यूरेनियम, थोरियम, रेडियम, रेडॉन, प्लूटोनियम।

★★ **गाइगर–मुलर काउंटर (Geiger–Müller counter)** विकिरण का पता लगाता और गिनता है; **डोज़ीमीटर** या फिल्म बैज किसी कर्मचारी को मिली खुराक दर्ज करता है।

मैरी क्यूरी। पियरे क्यूरी के साथ उन्होंने पोलोनियम और रेडियम खोजे (1898); 'रेडियोधर्मिता' शब्द उन्होंने गढ़ा और भौतिकी (1903) तथा रसायन (1911) के नोबेल पुरस्कार जीते। चित्र: Henri Manuel, Wikimedia Commons, public domain

अल्फा, बीटा और गामा ★★★

लक्षण	अल्फा (α)	बीटा (β^-)	गामा (γ)
प्रकृति	हीलियम-4 नाभिक (2 प्रोटॉन + 2 न्यूट्रॉन)	नाभिक में बना तेज़ इलेक्ट्रॉन ($n \rightarrow p + e^- +$ प्रतिन्यूट्रिनो)	विद्युतचुंबकीय तरंग (उच्च ऊर्जा फोटॉन)
आवेश	**+2** (धनात्मक)	−1	0
द्रव्यमान	≈ 4 u (सबसे भारी)	≈ 1/1836 u	विराम द्रव्यमान नहीं
चाल	प्रकाश की चाल का ~1/20	लगभग प्रकाश की चाल तक	प्रकाश की चाल
भेदन क्षमता	सबसे कम	मध्यम (~100 × α)	सबसे अधिक (~100 × β)
आयनन क्षमता	**सबसे अधिक**	मध्यम	सबसे कम
किससे रुकती है	कागज़ की शीट, त्वचा, कुछ cm वायु	कुछ mm ऐलुमिनियम	कई cm सीसा या मोटा कंक्रीट (केवल घटती है)
विद्युत/चुंबकीय क्षेत्र में	एक ओर मुड़ती है (थोड़ा)	दूसरी ओर मुड़ती है (अधिक, क्योंकि हल्की है)	विचलित नहीं होती
नाभिक में परिवर्तन	Z − 2, A − 4	Z + 1, A अपरिवर्तित	कोई नहीं (केवल ऊर्जा)



भेदन क्षमता: α < β < γ | आयनन क्षमता: α > β > γ
कण जितना भारी और अधिक आवेशित, उतनी जल्दी आयनन में ऊर्जा खर्च करता है और उतनी जल्दी रुकता है।

भेदन की सीढ़ी: कागज़ अल्फा को रोकता है, कुछ मिलीमीटर ऐलुमिनियम बीटा को, जबकि सीसा गामा को केवल कमज़ोर करता है।

याद रखें: 'Your PAL stops ABG': **P**aper stops **A**lpha (कागज़ रोकता है अल्फा), **A**luminium stops **B**eta (ऐलुमिनियम रोकता है बीटा), **L**ead tames **G**amma (सीसा कमज़ोर करता है गामा)। अल्फा को एक मोटा, धीमा पहलवान समझें: वह हर चीज़ से टकराता है (सबसे अधिक आयनन) और इसलिए सबसे जल्दी थकता है (सबसे कम भेदन)।

आसपास देखें: U-238 एक अल्फा कण छोड़कर थोरियम-234 बन जाता है (Z 92 → 90, A 238 → 234)। कार्बन-14 एक बीटा कण छोड़कर नाइट्रोजन-14 बन जाता है (Z 6 → 7, A 14 ही रहता है)।

परीक्षा में सावधान: धनावेशित किरण **अल्फा** है, बीटा नहीं। बीटा इलेक्ट्रॉन **नाभिक** से आते हैं (न्यूट्रॉन का प्रोटॉन में बदलना), इलेक्ट्रॉन कोशों से नहीं। गामा पर कोई आवेश नहीं होता और वह क्षेत्रों में नहीं मुड़ती। कैथोड किरणें इलेक्ट्रॉन हैं पर रेडियोधर्मी उत्सर्जन **नहीं** हैं।

झटपट जाँच

1. तीनों किरणों में कौन धनावेशित है?
2. α, β और γ को भेदन क्षमता के क्रम में लिखें, सबसे कम पहले।
3. रेडियोधर्मिता किसने और कैसे खोजी?

उत्तर: 1. अल्फा (हीलियम नाभिक, +2) · 2. α < β < γ (आयनन क्षमता उल्टे क्रम में) · 3. हेनरी बेकरेल, 1896: यूरेनियम लवणों ने लिपटी फोटोग्राफिक प्लेट धुँधली कर दी

अर्ध-आयु और रेडियोधर्मी काल-निर्धारण

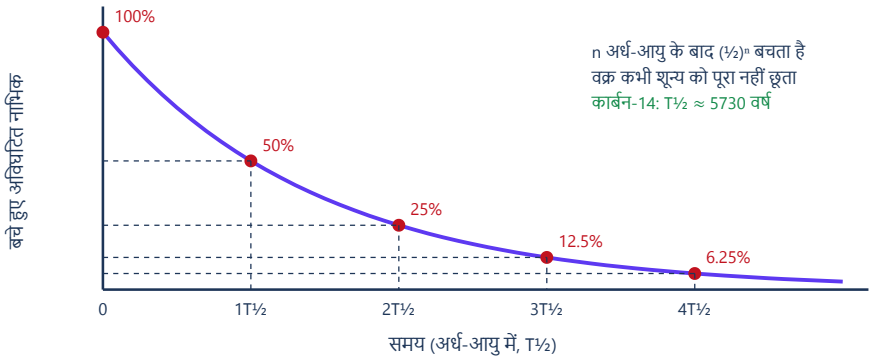
$(½)^n$ बचता है

C-14: 5730 वर्ष

50,000 वर्ष तक

चट्टानों के लिए यूरेनियम-सीसा

आप नहीं बता सकते कि कोई एक नाभिक कब क्षयित होगा, पर विशाल समूह में एक निश्चित समय में एक निश्चित अंश क्षयित होता है। **आधे** नाभिकों के क्षयित होने का समय **अर्ध-आयु (Half-life)** है; यह हर समस्थानिक की पहचान (फिंगरप्रिंट) है।



क्षय वक्र: हर अर्ध-आयु बचे हुए भाग को आधा कर देती है (100% → 50% → 25% → 12.5%)। यह कभी पूरी तरह शून्य तक नहीं पहुँचता।

★★★ **n अर्ध-आयु के बाद बची मात्रा** = मूल मात्रा × $(½)^n$। 3 अर्ध-आयु के बाद 1/8 बचता है; 10 के बाद लगभग 1/1000।

★★ **अर्ध-आयु नहीं बदली जा सकती**: ताप, दाब, प्रकाश या रासायनिक संयोजन से इस पर कोई असर नहीं पड़ता।

आसपास देखें: आयोडीन-131 की अर्ध-आयु 8 दिन है। एक अस्पताल को 80 mg मिलता है: 8 दिन बाद 40 mg, 16 दिन बाद 20 mg, 24 दिन बाद 10 mg बचता है।

जानने योग्य अर्ध-आयु ★★

समस्थानिक	अर्ध-आयु	किसके लिए प्रसिद्ध
टेक्नीशियम-99m	6 घंटे	चिकित्सा इमेजिंग में सबसे अधिक प्रयुक्त ट्रेसर
रेडॉन-222	3.8 दिन	चट्टानों से घरों में रिसने वाली रेडियोधर्मी गैस
आयोडीन-131	8 दिन	थायरॉइड उपचार; रिएक्टर दुर्घटनाओं में निकलता है
कोबाल्ट-60	5.3 वर्ष	कैंसर चिकित्सा, खाद्य विकिरणन
ट्रिटियम (H-3)	12.3 वर्ष	संलयन ईंधन; अंधेरे में चमकने वाले संकेत-पट
स्ट्रॉन्शियम-90, सीज़ियम-137	≈ 29 और 30 वर्ष	बम और दुर्घटनाओं से खतरनाक रेडियोधर्मी अवपात (फॉलआउट)
रेडियम-226	1600 वर्ष	क्यूरी दंपति ने खोजा
कार्बन-14	**≈ 5730 वर्ष**	कभी जीवित रही वस्तुओं का काल-निर्धारण
प्लूटोनियम-239	≈ 24,100 वर्ष	बम और ब्रीडर रिएक्टर का ईंधन
यूरेनियम-235	≈ 704 मिलियन वर्ष	रिएक्टर ईंधन
यूरेनियम-238	≈ 4.5 अरब वर्ष	चट्टानों का काल-निर्धारण; लगभग पृथ्वी की आयु

★★★ **कार्बन-14 काल-निर्धारण (Carbon dating)** (विलार्ड लिबी (Willard Libby), 1949; रसायन नोबेल 1960): ब्रह्मांडीय किरणों के न्यूट्रॉन वायु में नाइट्रोजन-14 को C-14 में बदलते हैं; पौधे इसे CO_2 के रूप में लेते हैं और जंतु पौधे खाते हैं। जीवित रहते C-14 : C-12 अनुपात स्थिर रहता है; मृत्यु के बाद नया C-14 नहीं आता और पुराना क्षयित होता जाता है।

★★★ **कार्बन डेटिंग केवल कभी जीवित रहे पदार्थ पर काम करती है** (लकड़ी, हड्डी, चारकोल, कपड़ा, कागज़, सीपियाँ) और केवल लगभग **50,000 वर्ष** तक।

★★★ **चट्टानों और पृथ्वी की आयु** का निर्धारण लंबी अर्ध-आयु वाले समस्थानिकों से होता है: **यूरेनियम–सीसा** (पृथ्वी की आयु ≈ 4.54 अरब वर्ष), **पोटैशियम–आर्गन** (ज्वालामुखीय चट्टान), रुबिडियम–स्ट्रॉन्शियम।

★ **तापदीप्ति (Thermoluminescence)** से मिट्टी के बर्तनों और पकी ईंटों का काल-निर्धारण होता है; **ट्रिटियम** से नए भूजल का।

याद रखें: Carbon for Creatures, Uranium for the Unliving (जीवों के लिए कार्बन, निर्जीव के लिए यूरेनियम)। C-14 की अर्ध-आयु ≈ 5730: इसे '**5-7-3-0**: पाँच उँगलियाँ, सात दिन, तीन भोजन, शून्य बहाने' की तरह पढ़ें।

परीक्षा में सावधान: दो अर्ध-आयु के बाद नमूना खत्म नहीं होता: **एक-चौथाई** बचता है। कार्बन डेटिंग से पत्थर के औज़ार, 65 मिलियन वर्ष पुराने डायनासोर जीवाश्म या उल्कापिंड की आयु नहीं निकाली जा सकती।

झटपट जाँच

1. 3 अर्ध-आयु के बाद नमूने का कितना भाग बचता है?
2. कार्बन-14 की अर्ध-आयु?
3. क्या कार्बन डेटिंग ग्रेनाइट चट्टान की आयु बता सकती है?

उत्तर: 1. 1/8 · 2. ≈ 5730 वर्ष · 3. नहीं: केवल कभी जीवित रहे पदार्थ की, लगभग 50,000 वर्ष तक; चट्टानों के लिए यूरेनियम–सीसा

विकिरण का मापन: इकाइयाँ

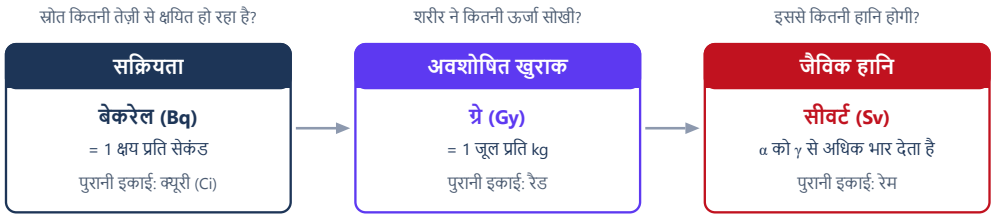
बेकरेल: सक्रियता

ग्रे: अवशोषित खुराक

सीवर्ट: हानि

क्यूरी, रैड, रेम

तीन अलग प्रश्नों के लिए तीन अलग इकाइयाँ चाहिए: स्रोत कितनी तेज़ी से क्षयित हो रहा है (**सक्रियता, Activity**), शरीर ने कितनी ऊर्जा अवशोषित की (**अवशोषित खुराक, Absorbed dose**), और इससे कितनी हानि होगी (**तुल्य खुराक, Equivalent dose**)।



बेकरेल गिनता है, ग्रे सोखता है, सीवर्ट हानि बताता है

तीन प्रश्न, तीन इकाइयाँ: स्रोत कितनी तेज़ी से क्षयित होता है (बेकरेल), शरीर कितनी ऊर्जा सोखता है (ग्रे) और उससे कितनी हानि होती है (सीवर्ट)।

विकिरण की इकाइयाँ ★★★

राशि	SI इकाई	पुरानी इकाई	अर्थ
सक्रियता	**बेकरेल (Bq)** = 1 क्षय प्रति सेकंड	**क्यूरी (Ci)** = 3.7×10^{10} Bq; रदरफोर्ड = 10^6 Bq	स्रोत कितना रेडियोधर्मी है; 1 Ci ≈ 1 g रेडियम की सक्रियता
अवशोषित खुराक	**ग्रे (Gy)** = 1 जूल प्रति kg	रैड (Rad) = 0.01 Gy	पदार्थ में जमा ऊर्जा
तुल्य / प्रभावी खुराक	**सीवर्ट (Sv)**	**रेम (Rem)** = 0.01 Sv	जैविक हानि (अल्फा को गामा से अधिक भार देती है)
अनावरण (Exposure)	कूलॉम प्रति kg	रॉन्टजन (R)	वायु में एक्स-किरणों और गामा किरणों द्वारा आयनन

★★ **प्राकृतिक पृष्ठभूमि खुराक** विश्व में औसतन लगभग **2.4 mSv प्रति वर्ष** है; रेडॉन गैस सबसे बड़ा प्राकृतिक स्रोत है।

★ **सुरक्षा नियम**: कम समय, अधिक दूरी, अधिक परिरक्षण।

याद रखें: Becquerel Counts, Gray Absorbs, Sievert Suffers (बेकरेल गिनता है, ग्रे सोखता है, सीवर्ट हानि बताता है)। 'पुराने साथी': बेकरेल के साथ क्यूरी, ग्रे के साथ रैड, सीवर्ट के साथ रेम।

⚠ **परीक्षा में सावधान: बेकरेल** सक्रियता मापता है, खुराक नहीं; जैविक क्षति का हिसाब **सीवर्ट** (ग्रे नहीं) रखता है।

झटपट जाँच

1. विकिरण खुराक की जैविक हानि कौन-सी SI इकाई मापती है?
2. एक बेकरेल = _____ ।
3. ग्रे _____ मापता है।

उत्तर: 1. सीवर्ट (Sv); पुरानी इकाई रेम · 2. प्रति सेकंड एक क्षय · 3. अवशोषित खुराक: 1 जूल प्रति kg

काम में विकिरण: उपयोग और खतरे

Co-60: कैंसर चिकित्सा

I-131: थायरॉइड

ट्रेसर

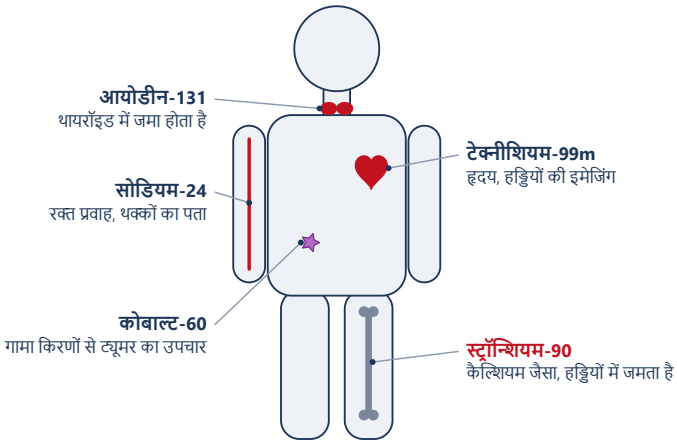
खाद्य विकिरणन

ल्यूकेमिया

विकिरण उसी कारण उपयोगी है जिस कारण खतरनाक: इसमें परमाणुओं से इलेक्ट्रॉन हटाने और DNA तोड़ने लायक ऊर्जा होती है। इसे ट्यूमर या रोगाणु पर साधें तो यह उपचार करता है; स्वस्थ कोशिकाओं पर पड़े तो हानि करता है।

समस्थानिक और उनके उपयोग ★★★

समस्थानिक	उपयोग
कोबाल्ट-60	कैंसर की विकिरण चिकित्सा ('कोबाल्ट थेरेपी'); सिरिंज और चिकित्सा किट का निर्जीवीकरण; खाद्य विकिरणन
आयोडीन-131	थायरॉइड विकारों का निदान और उपचार (थायरॉइड आयोडीन सोखता है)
टेक्नीशियम-99m	हड्डियों, हृदय और अन्य अंगों की इमेजिंग (सबसे अधिक प्रयुक्त निदान ट्रेसर)
सोडियम-24	रक्त परिसंचरण और थक्कों का पता लगाना; ज़मीन में दबी पाइपों में रिसाव खोजना
फॉस्फोरस-32	पौधे उर्वरक कैसे लेते हैं, इसका ट्रेसर; कुछ रक्त विकार
कार्बन-14	काल-निर्धारण; प्रकाश-संश्लेषण के चरणों का पता लगाना
आयरन-59	लौह अवशोषण और रक्ताल्पता (एनीमिया) का अध्ययन
अमेरिशियम-241	घरेलू धुआँ संसूचक (स्मोक डिटेक्टर)
इरिडियम-192	औद्योगिक रेडियोग्राफी: वेल्ड में दरारें खोजना
प्लूटोनियम-238	गहन अंतरिक्ष यानों के लिए रेडियोसमस्थानिक बैटरियाँ (वॉयेजर, मंगल रोवर)
यूरेनियम-235, प्लूटोनियम-239	नाभिकीय ईंधन और हथियार



शरीर में कुछ समस्थानिक कहाँ काम करते हैं। रेडियो-समस्थानिक रासायनिक रूप से सामान्य तत्व जैसा ही व्यवहार करता है, इसलिए वहीं जाता है जहाँ वह तत्व जाता है: आयोडीन थायरॉइड में, स्ट्रॉन्शियम (कैल्शियम की तरह) हड्डियों में। पैमाने पर नहीं।

★★ **ट्रेसर (Tracers)**: रेडियोसमस्थानिक की बहुत थोड़ी मात्रा मिलाकर संसूचक से उसका पीछा किया जाता है, क्योंकि रासायनिक रूप से वह सामान्य तत्व जैसा ही व्यवहार करता है।

★★ **खाद्य विकिरणन (Food irradiation)** (Co-60 से गामा किरणें) प्याज़ और आलू का अंकुरण रोकता है, कीड़ों और रोगाणुओं को मारता है और भंडारण अवधि बढ़ाता है; भोजन रेडियोधर्मी **नहीं** होता। लासलगाँव (नासिक) में BARC की कृषक (KRUSHAK) इकाई प्याज़ का विकिरणन करती है।

★ **उत्परिवर्तन प्रजनन (Mutation breeding)**: BARC ने विकिरण से कई फसल किस्में विकसित कीं, जैसे ट्रॉम्बे मूँगफली।

★★★ **खतरे**: आयनकारी विकिरण कोशिकाओं और DNA को क्षति पहुँचाता है, जिससे जलन, **विकिरण रोग**, **ल्यूकेमिया** जैसे कैंसर और आनुवंशिक उत्परिवर्तन होते हैं।

★★ **अस्थि-खोजी और थायरॉइड-खोजी**: स्ट्रॉन्शियम-90 कैल्शियम जैसा व्यवहार करता है और हड्डियों में जम जाता है; आयोडीन-131 थायरॉइड में इकट्ठा होता है, इसलिए रिसाव के बाद पोटैशियम आयोडाइड की गोलियाँ दी जाती हैं।

★★ **बड़ी दुर्घटनाएँ**: थ्री माइल आइलैंड (Three Mile Island) (अमेरिका, 1979), **चेर्नोबिल (Chernobyl)** (यूक्रेन, तब USSR, 26 अप्रैल 1986; अब तक की सबसे भीषण) और **फुकुशिमा दाइची (Fukushima Daiichi)** (जापान, मार्च 2011, भूकंप और सुनामी के बाद)।

★ **उच्च प्राकृतिक पृष्ठभूमि**: केरल (करुनागप्पल्ली) की मोनाज़ाइट तटीय रेत विश्व के कुछ सबसे ऊँचे प्राकृतिक विकिरण स्तर देती है।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** विकिरणित भोजन **रेडियोधर्मी नहीं** होता, जैसे एक्स-रे से गुज़रा बैग चमकने नहीं लगता। निर्जीवीकरण में प्रयुक्त गामा किरणें कोई अवशेष नहीं छोड़तीं।

☑ झटपट जाँच

1. कैंसर विकिरण चिकित्सा और सिरिंजों के निर्जीवीकरण में कौन-सा समस्थानिक प्रयुक्त होता है?
2. रिएक्टर रिसाव के बाद आयोडीन-131 खतरनाक क्यों है?
3. क्या विकिरणित भोजन रेडियोधर्मी हो जाता है?

उत्तर: 1. कोबाल्ट-60 · 2. यह थायरॉइड में जमा होता है (पोटैशियम आयोडाइड की गोलियाँ दी जाती हैं) · 3. नहीं

द्रव्यमान–ऊर्जा, द्रव्यमान क्षति और बंधन ऊर्जा

$E = mc^2$

द्रव्यमान क्षति

किसी नाभिक को तौलें तो वह अपने प्रोटॉनों और न्यूट्रॉनों के अलग-अलग भार के योग से हमेशा थोड़ा **हल्का** निकलता है। यह लुप्त द्रव्यमान वह ऊर्जा बन गया है जो उन्हें बाँधे रखती है। आइंस्टीन का **$E = mc^2$** विनिमय दर बताता है, और c^2

बंधन ऊर्जा

आयरन-56 शिखर

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

बहुत विशाल होने के कारण थोड़ा-सा द्रव्यमान भी अपार ऊर्जा के बराबर होता है।

★★★ **$E = mc^2$** (आइंस्टीन, 1905, विशिष्ट सापेक्षता): 1 ग्राम द्रव्यमान ≡ 9×10^{13} J, मोटे तौर पर 20,000 टन TNT की ऊर्जा।

★★★ **द्रव्यमान क्षति (Mass defect)** = (अलग-अलग न्यूक्लिऑनों का द्रव्यमान) − (नाभिक का द्रव्यमान)। **बंधन ऊर्जा (Binding energy)** = द्रव्यमान क्षति × c^2: नाभिक को अलग-अलग करने के लिए आवश्यक ऊर्जा।

★★ **1 u द्रव्यमान ≡ 931.5 MeV** ऊर्जा।

★★ **प्रति न्यूक्लिऑन बंधन ऊर्जा आयरन-56** के पास सबसे अधिक होती है (लगभग 8.8 MeV)। भारी नाभिक **टूटकर** (विखंडन) और हल्के नाभिक **जुड़कर** (संलयन) स्थायित्व पाते हैं। दोनों में ऊर्जा निकलती है।

★★★ **इलेक्ट्रॉन-वोल्ट (Electron-volt, eV)**: 1 वोल्ट से त्वरित एक इलेक्ट्रॉन को मिली ऊर्जा = **1.6×10^{-19} J**। सामान्यतः आवेश q विभवांतर V से गुज़रकर **qV** ऊर्जा पाता है, इसलिए एक इलेक्ट्रॉन (आवेश e) V वोल्ट से **eV** जूल पाता है, उसका द्रव्यमान चाहे जो हो।

मापे गए मानों से बना ग्राफ़: द्रव्यमान संख्या के साथ प्रति न्यूक्लिऑन बंधन ऊर्जा। आयरन-56 शिखर पर है (लगभग 8.8 MeV), इसलिए भारी नाभिक टूटकर (विखंडन) और हल्के नाभिक जुड़कर (संलयन) ऊर्जा देते हैं।

💡 **याद रखें:** आयरन **स्थायित्व की पहाड़ी की चोटी** पर बैठा है: भारी यूरेनियम एक ओर टूटकर नीचे लुढ़कता है, हल्का हाइड्रोजन दूसरी ओर जुड़कर। दोनों तरह ऊर्जा निकलती है।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** नाभिकीय अभिक्रिया में **द्रव्यमान संख्या और आवेश संरक्षित** रहते हैं, पर **द्रव्यमान नहीं**: थोड़ा द्रव्यमान ऊर्जा बनकर लुप्त हो जाता है। सूर्य, रिएक्टरों और बमों की ऊर्जा इसी लुप्त द्रव्यमान से आती है।

☑ झटपट जाँच

1. नाभिक अपने प्रोटॉनों और न्यूट्रॉनों के अलग-अलग भार से हल्का क्यों होता है?
2. प्रति न्यूक्लिऑन बंधन ऊर्जा किस नाभिक के पास सबसे अधिक होती है?
3. V वोल्ट से त्वरित आवेश e को मिली ऊर्जा?

उत्तर: 1. लुप्त द्रव्यमान (द्रव्यमान क्षति) बंधन ऊर्जा बन गया है, $E = mc^2$ · 2. आयरन-56 (लगभग 8.8 MeV) · 3. eV जूल ($1\ eV = 1.6 \times 10^{-19}$ J)

नाभिकीय विखंडन और संलयन

U-235 + धीमा न्यूट्रॉन

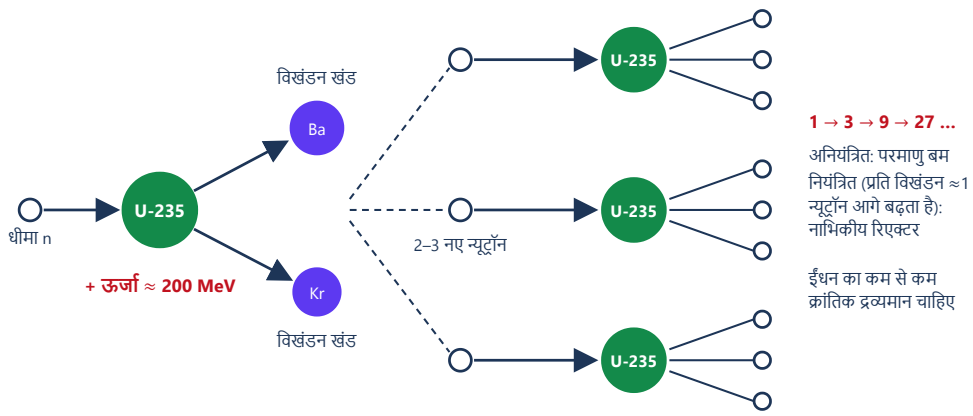
≈ 200 MeV

क्रांतिक द्रव्यमान

विखंडन (Fission) एक बड़े, अस्थिर नाभिक को दो मध्यम आकार के नाभिकों में तोड़ता है; **संलयन (Fusion)** दो छोटे नाभिकों को दबाकर एक कर देता है। विखंडन शुरू करने के लिए केवल एक धीमा न्यूट्रॉन चाहिए, इसलिए हम 1942 से इसका उपयोग कर रहे हैं। संलयन के लिए धनात्मक नाभिकों के प्रतिकर्षण को हराने हेतु लाखों डिग्री ताप चाहिए, इसलिए यह तारों को तो चलाता है पर अभी हमारे बिजलीघरों को नहीं।

सूर्य: संलयन

H-बम: संलयन



श्रृंखला अभिक्रिया (Chain reaction): एक न्यूट्रॉन U-235 को दो खंडों में तोड़ता है, साथ में ऊर्जा और 2-3 नए न्यूट्रॉन निकलते हैं, जिनमें से हर एक दूसरा नाभिक तोड़ सकता है। अनियंत्रित होने पर संख्या विस्फोटक रूप से बढ़ती है (बम); नियंत्रित होने पर प्रति विखंडन एक न्यूट्रॉन आगे बढ़ता है (रिएक्टर)।

★★★ **विखंडन की खोज**: ओटो हान (Otto Hahn) और फ्रिट्ज़ स्ट्रासमान (Fritz Strassmann) (1938); व्याख्या लीज़ माइटनर (Lise Meitner) और ओटो फ्रिश (Otto Frisch) ने की।

★★★ **सामान्य विखंडन**: U-235 + धीमा न्यूट्रॉन → बेरियम + क्रिप्टॉन + 2-3 न्यूट्रॉन + लगभग **200 MeV**।

★★★ **श्रृंखला अभिक्रिया**: एक विखंडन से निकले न्यूट्रॉन और विखंडन कराते हैं। **क्रांतिक द्रव्यमान (Critical mass)** विखंडनीय पदार्थ की वह न्यूनतम मात्रा है जो इसे जारी रख सके।

★★ **विखंडनीय (Fissile)** (धीमे न्यूट्रॉनों से टूटने वाले): U-235, Pu-239, U-233। **उर्वर (Fertile)** (न्यूट्रॉन सोखकर विखंडनीय ईंधन में बदलने वाले): U-238 → Pu-239; Th-232 → U-233।

★★ **प्राकृतिक यूरेनियम** में लगभग 99.3% U-238 और केवल **0.7% U-235** होता है। हल्के जल वाले पावर रिएक्टरों को इसे 3–5% U-235 तक संवर्धित चाहिए; हथियारों के लिए लगभग 90%।

★★★ **सूर्य और तारे** अपने क्रोड में हाइड्रोजन के हीलियम में **संलयन** से चमकते हैं (सूर्य के क्रोड में लगभग 15 मिलियन °C); इसकी व्याख्या हांस बेथे (Hans Bethe) ने की (नोबेल 1967)। सूर्य हर सेकंड लगभग 4 मिलियन टन द्रव्यमान को ऊर्जा में बदलता है।

★★ **D–T संलयन**: ड्यूटेरियम + ट्रिटियम → हीलियम-4 + न्यूट्रॉन + 17.6 MeV। प्रति किलोग्राम ईंधन, संलयन विखंडन से कई गुना अधिक ऊर्जा देता है और दीर्घजीवी अपशिष्ट कम छोड़ता है।

विखंडन बनाम संलयन ★★★

	विखंडन	संलयन
प्रक्रिया	भारी नाभिक टूटता है	हल्के नाभिक जुड़ते हैं
ईंधन	U-235, Pu-239, U-233	हाइड्रोजन के समस्थानिक (ड्यूटेरियम, ट्रिटियम)
आवश्यकता	धीमा न्यूट्रॉन; क्रांतिक द्रव्यमान	अत्यधिक ऊँचा ताप और दाब
प्रति kg ऊर्जा	बहुत अधिक	और भी अधिक (कई गुना)
अपशिष्ट	दीर्घजीवी रेडियोधर्मी अपशिष्ट	कम; मुख्यतः अल्पजीवी सक्रियण
प्रकृति में	दुर्लभ (ओक्लो, गैबॉन, 2 अरब वर्ष पहले)	सूर्य और सभी तारे
बम	**परमाणु बम** (अनियंत्रित विखंडन)	**हाइड्रोजन / तापनाभिकीय बम** (अनियंत्रित संलयन, विखंडन बम से प्रज्वलित)
आज शांतिपूर्ण उपयोग	सभी नाभिकीय बिजलीघर (नियंत्रित विखंडन)	केवल प्रायोगिक: ITER, टोकामक

★★ **युद्ध में प्रयुक्त परमाणु बम**: 'लिटिल बॉय' (U-235) **हिरोशिमा** पर, 6 अगस्त 1945; 'फैट मैन' (Pu-239) **नागासाकी** पर, 9 अगस्त 1945। पहला परीक्षण: ट्रिनिटी, न्यू मैक्सिको, 16 जुलाई 1945।

★ **पहला हाइड्रोजन बम**: अमेरिका, 1952; विखंडन बमों से कहीं अधिक शक्तिशाली।

★★ **भारत के परीक्षण** पोखरण (राजस्थान) में: **पोखरण-I** 'स्माइलिंग बुद्धा', 18 मई 1974; **पोखरण-II** 'ऑपरेशन शक्ति', 11 और 13 मई 1998 (11 मई राष्ट्रीय प्रौद्योगिकी दिवस है)।

★★ **ITER** (अंतरराष्ट्रीय तापनाभिकीय प्रायोगिक रिएक्टर, International Thermonuclear Experimental Reactor), दक्षिणी फ्रांस के कादाराश (Cadarache) में सात सदस्य (यूरोपीय संघ, चीन, **भारत**, जापान, दक्षिण कोरिया, रूस, अमेरिका) बना रहे हैं। भारत 2005 में जुड़ा और इसका विशाल **क्रायोस्टैट** बनाया, जो विश्व का सबसे बड़ा स्टेनलेस-स्टील निर्वात कक्ष है।

★★ **टोकामक (Tokamak)** (एक रूसी संक्षिप्त नाम): डोनट के आकार की मशीन जो प्रबल चुंबकीय क्षेत्रों से गर्म प्लाज़्मा को थामे रखती है। भारत के **आदित्य (Aditya)** (1989) और **SST-1** (स्टेडी-स्टेट सुपरकंडक्टिंग टोकामक) गांधीनगर के प्लाज़्मा अनुसंधान संस्थान (Institute for Plasma Research) में हैं।

★ **लेज़र संलयन**: अमेरिका की नेशनल इग्निशन फ़ैसिलिटी (National Ignition Facility) ने पहली बार लेज़र से डाली गई ऊर्जा से अधिक संलयन ऊर्जा प्राप्त की (दिसंबर 2022)।

याद रखें: Fission = Fissure (दरार: नाभिक टूटता है)। **Fusion = Fuse** (चीज़ें जुड़ती हैं, जैसे दो तारों को फ्यूज़ करना)। H-बम में **H** हाइड्रोजन का है: यह हाइड्रोजन को जोड़ता है, इसलिए यह **संलयन** बम है। हिंदी में: वि**खंडन** = **खंड**-खंड होना; सं**लयन** = एक में **लय** (मिल) जाना।

⚠ **परीक्षा में सावधान: हाइड्रोजन बम = अनियंत्रित संलयन; परमाणु बम = अनियंत्रित विखंडन; रिएक्टर = नियंत्रित विखंडन**। विश्व में कहीं भी अभी कोई बिजलीघर संलयन से नहीं चलता। सूर्य 'जलता' नहीं (कोई रासायनिक दहन नहीं) और विखंडन का उपयोग नहीं करता।

झटपट जाँच

1. एक U-235 विखंडन से कितनी ऊर्जा निकलती है?
2. हाइड्रोजन बम _____ से चलता है; परमाणु बम _____ से।
3. क्रांतिक द्रव्यमान क्या है?

उत्तर: 1. लगभग 200 MeV · 2. अनियंत्रित संलयन; अनियंत्रित विखंडन · 3. विखंडनीय पदार्थ की वह न्यूनतम मात्रा जो श्रृंखला अभिक्रिया जारी रख सके

नाभिकीय रिएक्टर के भीतर

मंदक धीमा करता है

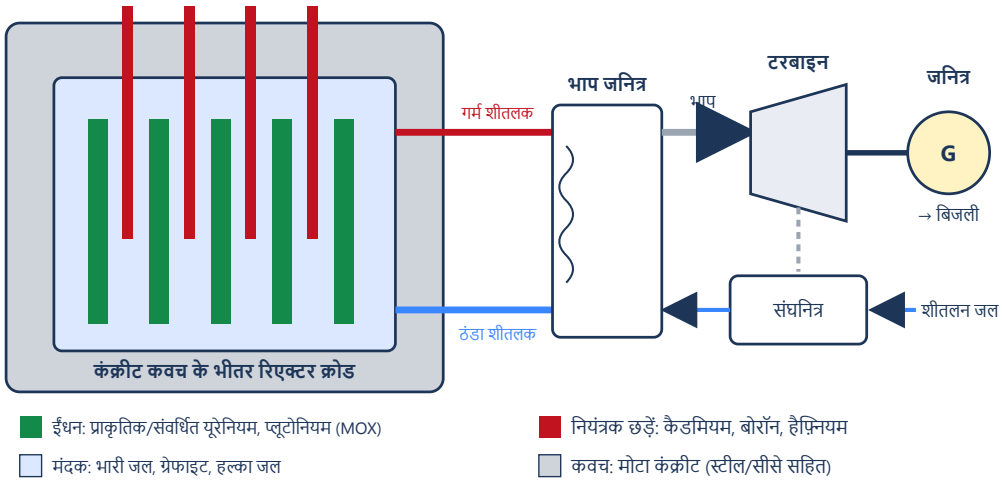
नियंत्रक छड़ें सोखती हैं

भारी जल D_2O

कैडमियम, बोरॉन, हैफ़्नियम

शीतलक

रिएक्टर एक विखंडन श्रृंखला अभिक्रिया है जिसे ठीक सीमा पर थामा गया है: औसतन हर विखंडन से **एक** न्यूट्रॉन अगला विखंडन कराता है। ऊष्मा पानी उबालती है, भाप टरबाइन घुमाती है, और उसके बाद यह एक सामान्य बिजलीघर ही है।



रिएक्टर संयंत्र: ईंधन छड़ें शीतलक को गर्म करती हैं, जो भाप जनित्र में भाप बनाता है; भाप टरबाइन और जनित्र को घुमाती है। अभिक्रिया धीमी करने के लिए नियंत्रक छड़ें भीतर सरकाई जाती हैं।

रिएक्टर के भाग ★★★

भाग	कार्य	पदार्थ
ईंधन	विखंडित होकर ऊष्मा देता है	प्राकृतिक यूरेनियम (भारत के PHWR), संवर्धित यूरेनियम (LWR), प्लूटोनियम/MOX (फास्ट ब्रीडर); भविष्य में थोरियम
मंदक (Moderator)	तेज़ न्यूट्रॉनों को **धीमा** करता है ताकि U-235 उन्हें पकड़ सके	**भारी जल (D_2O)**, ग्रेफाइट, हल्का जल, बेरिलियम
नियंत्रक छड़ें (Control rods)	अतिरिक्त न्यूट्रॉनों को **अवशोषित** कर अभिक्रिया धीमी या बंद करती हैं	**कैडमियम, बोरॉन** (बोरॉन कार्बाइड), **हैफ़्नियम**
शीतलक (Coolant)	क्रोड से ऊष्मा भाप जनित्र तक ले जाता है	भारी जल, हल्का जल, द्रव सोडियम (फास्ट रिएक्टर), CO_2 या हीलियम (गैस-शीतित)
परावर्तक (Reflector)	बाहर निकलते न्यूट्रॉनों को वापस क्रोड में भेजता है	ग्रेफाइट, बेरिलियम, जल
परिरक्षण (Shielding)	लोगों को विकिरण से बचाता है	मोटा कंक्रीट, स्टील, सीसा

भारत में रिएक्टरों के प्रकार ★★

प्रकार	ईंधन	मंदक / शीतलक	भारतीय उदाहरण
PHWR (दाबित भारी जल रिएक्टर, pressurised heavy water)	प्राकृतिक यूरेनियम	भारी जल / भारी जल	अधिकतर भारतीय रिएक्टर: रावतभाटा (राजस्थान), कैगा (कर्नाटक), काकरापार (गुजरात), **नरोरा (उ.प्र.)**, कलपक्कम (तमिलनाडु), तारापुर 3 और 4
BWR (क्वथन जल रिएक्टर, boiling water)	संवर्धित यूरेनियम	हल्का जल / हल्का जल	तारापुर 1 और 2 (महाराष्ट्र), भारत के सबसे पुराने
PWR / VVER (दाबित जल रिएक्टर, pressurised water)	संवर्धित यूरेनियम	हल्का जल / हल्का जल	कुडनकुलम (तमिलनाडु), रूस के सहयोग से
फास्ट ब्रीडर	प्लूटोनियम-यूरेनियम (MOX या कार्बाइड)	मंदक नहीं / द्रव सोडियम	FBTR और PFBR, कलपक्कम

★★ **पहला रिएक्टर**: शिकागो पाइल-1 (Chicago Pile), 2 दिसंबर 1942, **एनरिको फर्मी** की टीम ने एक फुटबॉल स्टैंड के नीचे बनाया।

★★ **फास्ट ब्रीडर रिएक्टर (Fast breeder reactors)** मंदक का उपयोग नहीं करते (उन्हें तेज़ न्यूट्रॉन चाहिए) और U-238 को Pu-239 में बदलकर जितना ईंधन जलाते हैं उससे अधिक विखंडनीय ईंधन बनाते हैं।

★ **भारी जल बोर्ड (Heavy Water Board)** भारी जल बनाता है; भारत विश्व के सबसे बड़े उत्पादकों में है।

याद रखें: Moderator moderates (मंदक मंद करता है: तेज़ न्यूट्रॉन को स्पीड-ब्रेकर की तरह धीमा करता है); **control rods Can Block Him**: **C**admium, **B**oron, **H**afnium (कैडमियम, बोरॉन, हैफ़्नियम) न्यूट्रॉन को सोख लेते हैं।

⚠ **परीक्षा में सावधान: मंदक** न्यूट्रॉनों को **धीमा** करता है; उन्हें **अवशोषित नहीं** करता (यह नियंत्रक छड़ों का काम है)। भारी जल **D_2O** (ड्यूटेरियम ऑक्साइड) है, कठोर जल नहीं।

झटपट जाँच

1. मंदक क्या करता है? दो मंदकों के नाम बताएँ।
2. कौन-सा भाग अतिरिक्त न्यूट्रॉन सोखता है, और वह किससे बनता है?
3. कौन-से रिएक्टर कोई मंदक उपयोग नहीं करते?

उत्तर: 1. न्यूट्रॉनों को धीमा करता है: भारी जल, ग्रेफाइट · 2. नियंत्रक छड़ें: कैडमियम, बोरॉन, हैफ़्नियम · 3. फास्ट ब्रीडर रिएक्टर

भारत का नाभिकीय कार्यक्रम

भाभा: तीन चरण

PHWR → FBR → थोरियम

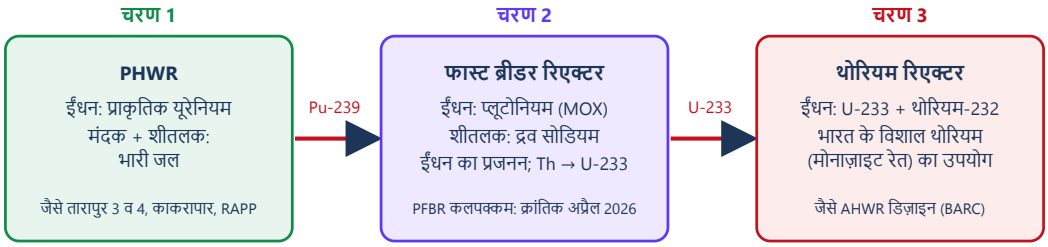
अप्सरा 1956

तारापुर 1969

PFBR 2026

शांति अधिनियम 2025

भारत में यूरेनियम कम है पर **थोरियम** के भंडार विश्व के सबसे बड़े भंडारों में हैं। थोरियम अकेले रिएक्टर नहीं चला सकता, इसलिए **होमी जे. भाभा (Homi J. Bhabha)** ने (1954) तीन चरणों की सीढ़ी बनाई: यूरेनियम से प्लूटोनियम बनाओ, प्लूटोनियम से थोरियम को U-233 में बदलो, फिर रिएक्टर थोरियम पर चलाओ।



होमी जे. भाभा की योजना (1954): यूरेनियम → प्लूटोनियम → थोरियम

त्रि-चरणीय कार्यक्रम: हर चरण अगले चरण का ईंधन बनाता है। चरण 2 अप्रैल 2026 में PFBR की पहली क्रांतिकता के साथ शुरू हुआ।

महत्त्वपूर्ण पड़ाव ★★★

वर्ष	पड़ाव
1945	भाभा ने मुंबई में **टाटा मूलभूत अनुसंधान संस्थान (TIFR)** की स्थापना की
1948	**परमाणु ऊर्जा आयोग (Atomic Energy Commission)** गठित (भाभा अध्यक्ष)
1954	**परमाणु ऊर्जा विभाग**; परमाणु ऊर्जा प्रतिष्ठान, ट्रॉम्बे (1966 में भाभा की मृत्यु के बाद 1967 में **BARC** नाम दिया गया)
1956	ट्रॉम्बे में **अप्सरा (Apsara)** क्रांतिक हुआ (4 अगस्त): भारत का और **एशिया का पहला अनुसंधान रिएक्टर**; अप्सरा-U के रूप में पुनर्निर्मित (2018)
1960	**CIRUS** अनुसंधान रिएक्टर (कनाडा के साथ)
1969	**तारापुर (Tarapur)** (महाराष्ट्र): भारत का **पहला नाभिकीय बिजलीघर** (दो BWR, अमेरिका के सहयोग से)
1973	रावतभाटा (RAPS-1, राजस्थान): पहला PHWR
1974	पोखरण-I परीक्षण
1985	**ध्रुव** अनुसंधान रिएक्टर; **FBTR** (फास्ट ब्रीडर टेस्ट रिएक्टर), कलपक्कम
1996	**कामिनी (KAMINI)**, कलपक्कम: विश्व का एकमात्र रिएक्टर जो **U-233** ईंधन पर चलता है
2013	**कुडनकुलम-1 (Kudankulam)** (तमिलनाडु, 1000 MWe, रूसी VVER) क्रांतिक; भारत की सबसे बड़ी इकाइयाँ
2020	**काकरापार-3 (Kakrapar)** (गुजरात): पहला स्वदेशी 700 MWe PHWR क्रांतिक
2026	**PFBR** (500 MWe, कलपक्कम) की पहली क्रांतिकता **6 अप्रैल 2026** को: चरण 2 आरंभ

★★★ **चरण 1 – PHWR** भारी जल के साथ **प्राकृतिक यूरेनियम** जलाते हैं; इनके प्रयुक्त ईंधन का पुनर्संसाधन कर **प्लूटोनियम** निकाला जाता है।

★★★ **चरण 2 – फास्ट ब्रीडर रिएक्टर** प्लूटोनियम जलाते हैं (MOX ईंधन, द्रव सोडियम शीतलक) और अधिक ईंधन का प्रजनन करते हैं; थोरियम का आवरण (ब्लैंकेट) **U-233** में बदल जाता है। **PFBR** का डिज़ाइन **IGCAR** ने किया और निर्माण **भाविनी (BHAVINI)** ने, लगभग 90% भारत-निर्मित उपकरणों के साथ।

★★★ **चरण 3 – थोरियम रिएक्टर** U-233 और थोरियम-232 पर चलते हैं; BARC का **उन्नत भारी जल रिएक्टर (AHWR)** इसका डिज़ाइन है।

★★ **थोरियम** केरल, तमिलनाडु, ओडिशा और आंध्र प्रदेश (साथ ही पश्चिम बंगाल, झारखंड) के तटों की **मोनाज़ाइट** रेत से आता है। यूरेनियम **जादूगोड़ा** (झारखंड, पहली खदान) और तुम्मलपल्ले (आंध्र प्रदेश) में खनन होता है।

★★★ **2026 में बेड़ा**: **24 पावर रिएक्टर**, **≈ 8.78 GW** स्थापित क्षमता, संचालक **NPCIL**; नौ और इकाइयाँ (≈ 7.5 GW) निर्माणाधीन, और दस 700 MWe PHWR 'फ्लीट मोड' में बनाने के लिए स्वीकृत।

★★ **कुडनकुलम** (तिरुनेलवेली, तमिलनाडु), रूस के सहयोग से बना: इकाई 1 और 2 (प्रत्येक 1000 MWe) चल रही हैं; इकाई 3 से 6 निर्माणाधीन हैं, जिनसे यह भारत का सबसे बड़ा नाभिकीय संयंत्र बनेगा।

★★★ **लक्ष्य**: **2047 तक 100 GW नाभिकीय बिजली** (विकसित भारत लक्ष्य); 2031–32 तक क्षमता लगभग 22 GW पहुँचाने की योजना है।

★★ **नाभिकीय ऊर्जा मिशन (Nuclear Energy Mission)** (केंद्रीय बजट 2025–26): स्वदेशी **छोटे मॉड्यूलर रिएक्टरों** (SMR, 300 MWe तक) के लिए **₹20,000 करोड़**; **2033 तक कम से कम पाँच SMR चालू**। डिज़ाइन: BSMR-200 (BARC–NPCIL), SMR-55, और हाइड्रोजन के लिए एक उच्च-ताप गैस-शीतित रिएक्टर।

★★ **भारत स्मॉल रिएक्टर (Bharat Small Reactors, BSR)**: निजी उद्योग को कैप्टिव बिजली के लिए 220 MWe PHWR की पेशकश (बजट 2024–25 में घोषित)।

★★★ **शांति अधिनियम, 2025 (SHANTI Act)** (Sustainable Harnessing and Advancement of Nuclear Energy for Transforming India; स्वीकृति 20 दिसंबर 2025): इसने परमाणु ऊर्जा अधिनियम 1962 और नाभिकीय क्षति के लिए नागरिक दायित्व अधिनियम 2010 का स्थान लिया और **निजी कंपनियों** को नाभिकीय संयंत्र बनाने, रखने और चलाने की अनुमति दी; संवेदनशील ईंधन-चक्र कार्य सरकार के पास रहता है।

★ **नियामक**: परमाणु ऊर्जा नियामक बोर्ड (**AERB**, 1983), जिसे शांति अधिनियम 2025 ने वैधानिक (statutory) दर्जा दिया। भारत–अमेरिका असैन्य नाभिकीय समझौता और NSG छूट: 2008।

★ **काचन (Vitrification)**: भारत उच्च-स्तरीय अपशिष्ट को भंडारण हेतु स्थिर काँच में बदलता है और **बंद ईंधन चक्र** अपनाता है (प्रयुक्त ईंधन का पुनर्संसाधन होता है)।

कुडनकुलम (तमिलनाडु), रूस के सहयोग से बना: इकाई 1 और 2, प्रत्येक 1000 MWe की। गुंबद रिएक्टरों के चारों ओर के रोधी भवन (containment) हैं। चित्र: Reetesh Chaurasia, Wikimedia Commons, CC BY-SA 4.0

याद रखें: 'U → Pu → Th', तीन मंज़िल चढ़ने जैसा: भूतल (प्राकृतिक **U**ranium, यूरेनियम) पहली मंज़िल (**P**lutonium, प्लूटोनियम) का खर्च उठाता है, जो सबसे ऊपरी मंज़िल (**Th**orium, थोरियम) बनाती है। और रिएक्टर तिथियाँ एक साफ़ सीढ़ी में: **अप्सरा 1956 → तारापुर 1969 → PFBR 2026**।

⚠ **परीक्षा में सावधान: अप्सरा** एक **अनुसंधान** रिएक्टर था (एशिया का पहला); **तारापुर** पहला **बिजली** संयंत्र था। तारापुर 1 और 2 **क्वथन जल** रिएक्टर हैं, PHWR नहीं। PFBR **चरण 2** का है, चरण 3 का नहीं; थोरियम चरण अभी आगे है।

झटपट जाँच

1. भारत के तीन नाभिकीय चरण क्रम से बताएँ।
2. एशिया का पहला अनुसंधान रिएक्टर, और भारत का पहला नाभिकीय बिजलीघर?
3. कौन-सा 2025 का कानून निजी कंपनियों को नाभिकीय संयंत्र बनाने और चलाने देता है?

उत्तर: 1. PHWR (प्राकृतिक यूरेनियम) → फास्ट ब्रीडर (प्लूटोनियम) → थोरियम रिएक्टर · 2. अप्सरा (1956); तारापुर (1969) · 3. शांति अधिनियम, 2025

क्वांटम विचार: प्लांक, आइंस्टीन, डी ब्रॉग्ली

E = hν

प्रकाश-विद्युत प्रभाव

देहली आवृत्ति

आइंस्टीन नोबेल 1921

लगभग 1900 में भौतिकविदों ने पाया कि प्रकाश और ऊर्जा एकसमान प्रवाह में नहीं, बल्कि **पैकेटों** (क्वांटा) में आते हैं। यही एक विचार बताता है कि प्रकाश धातु से इलेक्ट्रॉन क्यों निकाल सकता है, परमाणु तीखी स्पेक्ट्रमी रेखाएँ क्यों देते हैं और इलेक्ट्रॉन तरंगों जैसा व्यवहार क्यों करते हैं।

λ = h/mv

★★★ **मैक्स प्लांक (Max Planck)** (1900): ऊर्जा पैकेटों में उत्सर्जित होती है, **E = hν** (h = प्लांक नियतांक ≈ 6.63×10^{-34} J s, ν = आवृत्ति)। क्वांटम सिद्धांत के जनक; नोबेल 1918।

★★★ **प्रकाश-विद्युत प्रभाव (Photoelectric effect)**: पर्याप्त ऊँची आवृत्ति का प्रकाश धातु पर पड़कर इलेक्ट्रॉन बाहर निकालता है। हर्ट्ज़ (Hertz) ने देखा (1887); **आइंस्टीन (1905)** ने प्रकाश-कणों (फोटॉन) के आधार पर समझाया।

★★★ **आइंस्टीन का भौतिकी नोबेल (1921) प्रकाश-विद्युत प्रभाव** के लिए था, सापेक्षता या $E = mc^2$ के लिए नहीं।

★★★ **देहली आवृत्ति (Threshold frequency)**: इससे कम आवृत्ति पर प्रकाश कितना भी तेज़ हो, कोई इलेक्ट्रॉन नहीं निकलता। इससे ऊपर उत्सर्जन तुरंत होता है।

★★★ **आवृत्ति ऊर्जा तय करती है, तीव्रता संख्या**: हर निकले इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा आवृत्ति के साथ बढ़ती है; तेज़ प्रकाश केवल **अधिक** इलेक्ट्रॉन निकालता है।

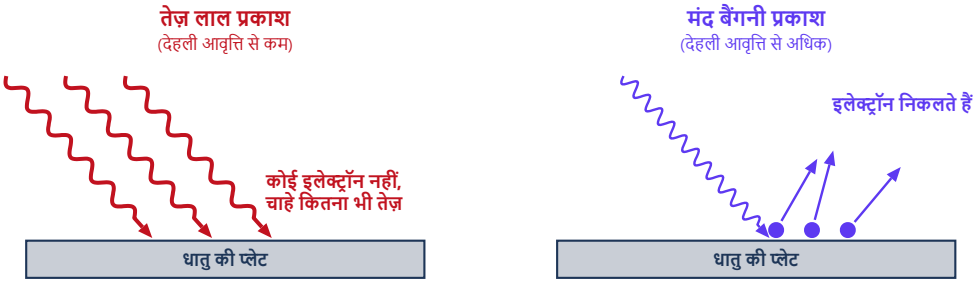
★★ **उपयोग**: स्वचालित दरवाज़ों, चोर-अलार्म, प्रकाश मीटर और पुरानी फ़िल्मों के ध्वनि-पथ में फोटोसेल; छवि संवेदकों का आधार भी यही है। सौर सेल इससे संबंधित **प्रकाश-वोल्टीय (Photovoltaic)** प्रभाव का उपयोग करते हैं।

★★ **डी ब्रॉग्ली (de Broglie)** (1924): हर गतिशील कण एक तरंग भी है, **λ = h / (mv)** (नोबेल 1929)। इलेक्ट्रॉनों की इसी तरंग प्रकृति का उपयोग **इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शी** में होता है।

★★ **हाइज़ेनबर्ग का अनिश्चितता सिद्धांत (Uncertainty principle)** (1927): किसी कण की स्थिति और संवेग, दोनों को एक साथ ठीक-ठीक नहीं जाना जा सकता (नोबेल 1932)।

★ **कॉम्पटन प्रभाव (Compton effect)** (1923): एक्स-किरणें इलेक्ट्रॉनों से बिलियर्ड गेंदों की तरह टकराकर उछलती हैं; यह इस बात का और प्रमाण है कि प्रकाश कणों की तरह व्यवहार करता है।

★★ **रमन प्रभाव (Raman effect)** (सी.वी. रमन (C.V. Raman), 28 फ़रवरी 1928): अणुओं द्वारा प्रकीर्णित प्रकाश का रंग थोड़ा बदल जाता है; नोबेल 1930, विज्ञान में पहला एशियाई नोबेल। **राष्ट्रीय विज्ञान दिवस** 28 फ़रवरी को है।



आवृत्ति हर इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा तय करती है; तीव्रता केवल यह कि कितने निकलें।

प्रकाश-विद्युत प्रभाव। कितना भी तेज़ लाल प्रकाश इस धातु से इलेक्ट्रॉन नहीं निकालता क्योंकि उसकी आवृत्ति देहली से कम है; मंद बैंगनी प्रकाश भी उन्हें निकाल देता है। लाल तरंग की तरंगदैर्ध्य बैंगनी की 1.75 गुना बनाई गई है (लगभग 700 nm बनाम 400 nm)।

प्रकाश: तरंग या कण? ★★

तरंग प्रकृति दर्शाते हैं	कण प्रकृति दर्शाते हैं
व्यतिकरण, विवर्तन, ध्रुवण	प्रकाश-विद्युत प्रभाव, कॉम्पटन प्रभाव
यंग का द्वि-झिरी प्रयोग	कृष्णिका विकिरण (प्लांक)

याद रखें: पिता और पुत्र ने इसे सुलझाया: **जे.जे. टॉमसन** को इलेक्ट्रॉन को **कण** सिद्ध करने पर नोबेल (1906) मिला; उनके पुत्र **जी.पी. टॉमसन (G.P. Thomson)** को उसे **तरंग** सिद्ध करने पर (1937)। दोनों सही थे: यही तरंग–कण द्वैत है।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** तेज़ प्रकाश इलेक्ट्रॉनों को **तेज़ नहीं** करता; केवल उनकी संख्या बढ़ाता है। मंद बैंगनी प्रकाश वे इलेक्ट्रॉन निकाल सकता है जो चकाचौंध करने वाला लाल प्रकाश नहीं निकाल सकता।

☑ झटपट जाँच

1. आइंस्टीन का 1921 का नोबेल पुरस्कार _____ के लिए था।
2. धातु पर अधिक तेज़ प्रकाश: अधिक इलेक्ट्रॉन या तेज़ इलेक्ट्रॉन?
3. देहली आवृत्ति से कम आवृत्ति का प्रकाश कितने इलेक्ट्रॉन निकालता है?

उत्तर: 1. प्रकाश-विद्युत प्रभाव (सापेक्षता नहीं) · 2. अधिक इलेक्ट्रॉन; उनकी ऊर्जा आवृत्ति पर निर्भर है · 3. एक भी नहीं, चाहे कितना भी तेज़ हो

एक्स-किरणें

रॉन्टजन 1895

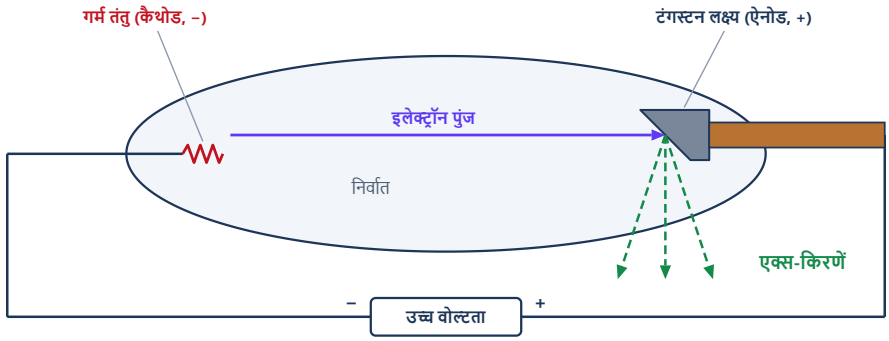
पहला भौतिकी नोबेल 1901

टंगस्टन लक्ष्य

इलेक्ट्रॉनों से, नाभिक से नहीं

MRI: एक्स-किरण नहीं

तेज़ इलेक्ट्रॉनों को किसी भारी धातु पर दागें तो वे अचानक रुकते हैं; खोई ऊर्जा बहुत छोटी तरंगदैर्ध्य वाले प्रकाश के रूप में निकलती है, जो मांस के आर-पार चला जाता है पर हड्डी के नहीं। यही एक्स-किरण (X-ray) है।



एक्स-किरण नली (कूलिज नली): गर्म तंतु से निकले इलेक्ट्रॉन उच्च वोल्टता से निर्वात के पार खिंचते हैं और टंगस्टन लक्ष्य पर रुकते हैं; उनकी खोई ऊर्जा एक्स-किरणों के रूप में निकलती है। पैमाने पर नहीं।

★★★ **विल्हेम रॉन्टजन (Wilhelm Röntgen)** ने **8 नवंबर 1895** को (जर्मनी में) एक्स-किरणें खोजीं; उन्हें **भौतिकी का पहला नोबेल पुरस्कार (1901)** मिला। तत्व 111, रॉन्टजेनियम, उन्हीं के नाम पर है।

★★★ **उत्पादन**: गर्म तंतु से निकले इलेक्ट्रॉन उच्च वोल्टता से त्वरित होकर निर्वात नली (कूलिज नली) में **टंगस्टन** लक्ष्य (उच्च परमाणु संख्या और बहुत ऊँचा गलनांक) से टकराते हैं।

★★ **प्रकृति**: विद्युतचुंबकीय तरंगें, तरंगदैर्ध्य ≈ **0.01–10 nm** (पराबैंगनी और गामा के बीच), प्रकाश की चाल से चलती हैं, कोई आवेश नहीं, और विद्युत या चुंबकीय क्षेत्रों में नहीं मुड़तीं।

★★ **कठोर एक्स-किरणें** (उच्च ऊर्जा) अधिक भेदती हैं और इमेजिंग में प्रयुक्त होती हैं; **मृदु एक्स-किरणें** आसानी से अवशोषित हो जाती हैं।

★★ **एक्स-किरण क्रिस्टलोग्राफी** (ब्रैग (the Braggs), नोबेल 1915) परमाणुओं की व्यवस्था बताती है; रोज़लिंड फ्रैंकलिन (Rosalind Franklin) के एक्स-किरण चित्रों ने DNA की द्वि-कुंडली दिखाने में मदद की।

★ **एक्स-किरण खगोलिकी**: भारत का **एस्ट्रोसैट (AstroSat)** (2015) और **एक्सपोसैट (XPoSat)** (1 जनवरी 2024 को प्रक्षेपित, भारत का पहला एक्स-किरण ध्रुवणमापी उपग्रह)।

एक्स-किरणों के उपयोग ★★

क्षेत्र	उपयोग
चिकित्सा	अस्थि-भंग, दाँतों की जाँच, छाती (TB) का एक्स-रे, **CT स्कैन** (घूमता एक्स-किरण पुंज), मैमोग्राफी
उपचार	कैंसर कोशिकाओं को नष्ट करने के लिए विकिरण चिकित्सा
सुरक्षा	हवाई अड्डों पर सामान स्कैनर
उद्योग	वेल्ड और ढलाई में दरारें और दोष खोजना
विज्ञान और कला	क्रिस्टल संरचनाएँ; चित्रों के नीचे छिपी परतें

⚠ **परीक्षा में सावधान: एक्स-किरणें इलेक्ट्रॉनों** के नाभिक के बाहर धीमा होने से बनती हैं; **गामा किरणें नाभिक से** आती हैं। सीसे के एप्रन इसलिए बचाते हैं क्योंकि सीसा (सघन, उच्च परमाणु संख्या) इन्हें अवशोषित कर लेता है। MRI में चुंबक और रेडियो तरंगें प्रयुक्त होती हैं, एक्स-किरणें **नहीं**।

☑ **झटपट जाँच**

1. एक्स-किरणें किसने खोजीं, और कौन-सा पुरस्कार मिला?
2. एक्स-किरण नली का लक्ष्य टंगस्टन का क्यों होता है?
3. एक्स-किरणें या गामा किरणें: नाभिक से कौन आती हैं?

उत्तर: 1. विल्हेम रॉन्टजन (1895); भौतिकी का पहला नोबेल पुरस्कार (1901) · 2. उच्च परमाणु संख्या और बहुत ऊँचा गलनांक · 3. गामा किरणें; एक्स-किरणें धीमे होते इलेक्ट्रॉनों से बनती हैं

ब्रह्मांडीय किरणें, सर्न और ब्रह्मांड

ब्रह्मांडीय किरणें: प्रोटॉन

LHC: 27 km, जिनेवा

भारत: सहयोगी 2017

डार्क एनर्जी 68%

बिग बैंग 13.8 अरब वर्ष

पृथ्वी पर अंतरिक्ष से तेज़ कण लगातार टकराते रहते हैं, और सर्न के कोलाइडर जैसी बड़ी मशीनें ऐसी टक्करें जानबूझकर दोहराती हैं। दोनों से यह जानने में मदद मिलती है कि ब्रह्मांड किससे बना है, और आश्चर्यजनक रूप से उसका अधिकांश भाग अदृश्य (डार्क) निकलता है।

★★★ **ब्रह्मांडीय किरणें (Cosmic rays)** अंतरिक्ष से आने वाले **उच्च ऊर्जा के आवेशित कण** हैं: लगभग 90% **प्रोटॉन**, लगभग 9% अल्फा कण (हीलियम नाभिक), शेष भारी नाभिक और इलेक्ट्रॉन।

★★ **विक्टर हेस (Victor Hess)** ने 1912 में गुब्बारा उड़ानों से इन्हें खोजा (नोबेल 1936)। वायु से टकराकर ये **म्यूऑन** जैसे द्वितीयक कणों की बौछारें बनाती हैं, और कार्बन-14 बनाती हैं।

★★ **होमी भाभा** ने ब्रह्मांडीय किरण बौछारों (कैस्केड) का सिद्धांत दिया (भाभा–हाइटलर, 1937)। ऊटी (TIFR) में **GRAPES-3** प्रयोग आज ब्रह्मांडीय किरणों का अध्ययन करता है।

★ **न्यूट्रिनो**: वायुमंडलीय न्यूट्रिनो सबसे पहले संसूचित न्यूट्रिनो में थे, गहरी **कोलार गोल्ड फील्ड्स (Kolar Gold Fields)** खदानों में (1965); भारत-स्थित न्यूट्रिनो वेधशाला (INO) बोडी वेस्ट हिल्स, थेनी (तमिलनाडु) में प्रस्तावित है।

★★★ **सर्न (CERN)** (यूरोपीय नाभिकीय अनुसंधान संगठन, 1954) फ्रांस-स्विट्ज़रलैंड सीमा पर **जिनेवा** के पास **लार्ज हैड्रॉन कोलाइडर (LHC)** चलाता है: लगभग 100 m भूमिगत **27 km** का वलय, जिसमें प्रोटॉन लगभग प्रकाश की चाल से टकराते हैं; इसके अतिचालक चुंबक 1.9 K तक ठंडे किए जाते हैं।

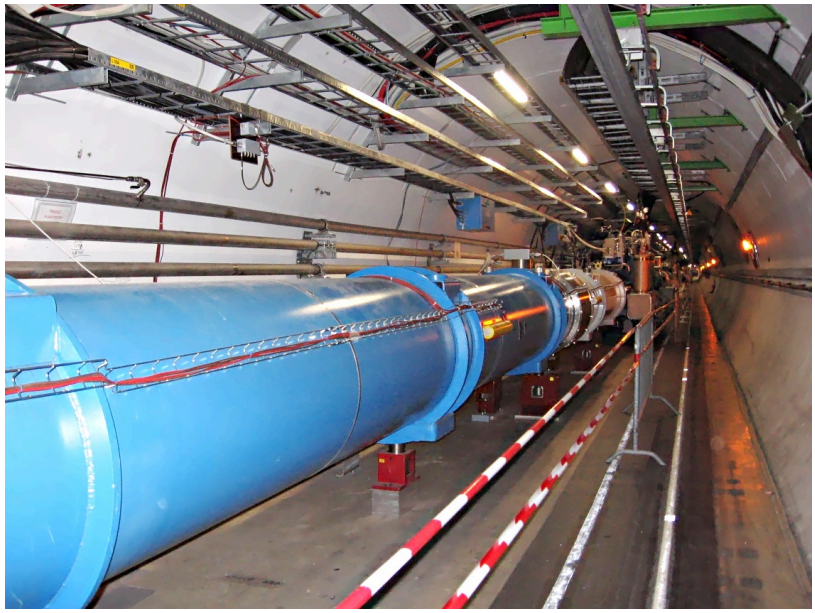
★★ **भारत 2017 से सर्न का सहयोगी सदस्य** है; भारतीय वैज्ञानिक CMS और ALICE प्रयोगों में कार्य करते हैं।

★ **वर्ल्ड वाइड वेब** का आविष्कार सर्न में टिम बर्नर्स-ली (Tim Berners-Lee) ने किया (1989)।

★★ **डार्क मैटर (Dark matter)** (ब्रह्मांड का ~27%): अदृश्य द्रव्य जो केवल अपने गुरुत्व से पहचाना जाता है, जैसे आकाशगंगा के किनारे के तारे दृश्य द्रव्यमान के हिसाब से बहुत तेज़ परिक्रमा करते हैं।

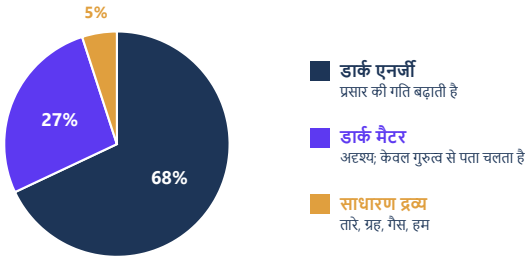
★★ **डार्क एनर्जी (Dark energy)** (~68%): अज्ञात ऊर्जा जो ब्रह्मांड के प्रसार को **तेज़** कर रही है (1998 में मिली; नोबेल 2011)। सामान्य द्रव्य केवल लगभग **5%** है।

★★ **बिग बैंग (Big Bang)**: ब्रह्मांड लगभग **13.8 अरब वर्ष** पहले अत्यंत गर्म, सघन अवस्था से शुरू हुआ; उसकी बची चमक **ब्रह्मांडीय सूक्ष्मतरंग पृष्ठभूमि (cosmic microwave background)** (≈ 2.7 K) है, जिसे पेंज़ियास और विल्सन ने 1964 में खोजा (नोबेल 1978)।



सर्न में LHC सुरंग के भीतर: नीली नली में अतिचालक चुंबक हैं, जो 1.9 K तक ठंडे रखे जाते हैं और प्रोटॉनों को 27 km के वलय में घुमाते हैं।

चित्र: Julian Herzog, Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0



ब्रह्मांड किससे बना है: डार्क एनर्जी लगभग 68%, डार्क मैटर लगभग 27%, और जो कुछ हम देख सकते हैं वह केवल लगभग 5%। हर टुकड़ा अपने हिस्से के अनुपात में बना है।

याद रखें: 68–27–5: ब्रह्मांड एक थाली है जिसमें डार्क एनर्जी चावल (68) है, डार्क मैटर दाल (27), और जो कुछ हम देख सकते हैं, तारे, ग्रह और हम, बस अचार (5) है।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** नाम में 'किरणें' होने के बावजूद ब्रह्मांडीय किरणें **कण हैं, विद्युतचुंबकीय किरणें नहीं**, और ये **आवेशित** (अधिकतर प्रोटॉन) होती हैं। LHC **प्रोटॉनों** (और सीसा आयनों) को टकराता है, इलेक्ट्रॉनों को नहीं।

☑ झटपट जाँच

1. ब्रह्मांडीय किरणें अधिकतर _____ होती हैं।
2. सर्न का लार्ज हैड्रॉन कोलाइडर कहाँ है, और उसका वलय कितना लंबा है?
3. ब्रह्मांड में डार्क एनर्जी, डार्क मैटर और साधारण द्रव्य का हिस्सा?

उत्तर: 1. प्रोटॉन (आवेशित कण, विद्युतचुंबकीय किरणें नहीं) · 2. जिनेवा के पास, फ्रांस-स्विट्ज़रलैंड सीमा पर; 27 km · 3. लगभग 68%, 27% और 5%

पिछले वर्षों में पूछे गए प्रश्न (9)

UPSC 2012 ब्रुकहेवन नेशनल लेबोरेटरी के वैज्ञानिक दल, जिसमें भारतीय वैज्ञानिक भी सम्मिलित थे, ने ऐंटि-हीलियम केन्द्रक के रूप में सबसे भारी ऐंटि-द्रव्य उत्पन्न किया। ऐंटि-द्रव्य उत्पन्न करने की क्या/क्या-क्या विवक्षा/विवक्षाएँ है/हैं?
1. यह खनिज पूर्वेक्षण और तेल की खोज को अधिक आसान और कम महँगा बना देगा।
2. यह ऐंटि-द्रव्य से निर्मित तारों और आकाशगंगाओं के होने की सम्भावना की जाँच करने में सहायक होगा।
3. यह ब्रह्माण्ड के विकास की समझ विकसित करने में सहायक होगा।
निम्नलिखित कूटों के आधार पर सही उत्तर चुनिए :
(a) केवल 1 (b) केवल 2 और 3 (c) केवल 3 (d) 1, 2 और 3
उत्तर: (b) केवल 2 और 3. प्रतिद्रव्य कणों का द्रव्यमान उनके द्रव्य कणों जितना पर आवेश विपरीत होता है; प्रतिद्रव्य बनाना यह समझने में मदद करता है कि ब्रह्मांड मुख्यतः द्रव्य से क्यों बना है

UPSC 2013 प्रकृति के ज्ञात बलों को चार वर्गों में विभाजित किया जा सकता है, जैसे कि गुरुत्व, विद्युत्-चुम्बकत्व, दुर्बल नाभिकीय बल और प्रबल नाभिकीय बल। उनके सन्दर्भ में, निम्नलिखित कथनों में से कौन-सा एक सही नहीं है?
(a) गुरुत्व, चारों में सबसे प्रबल है (b) विद्युत्-चुम्बकत्व सिर्फ विद्युत् आवेश वाले कणों पर क्रिया करता है
(c) दुर्बल नाभिकीय बल विघटनाभिकता का कारण है (d) प्रबल नाभिकीय बल परमाणु के केन्द्रक में प्रोटॉनों और न्यूट्रॉनों को धारित किये रखता है
उत्तर: (a) गुरुत्व, चारों में सबसे प्रबल है. चार मूल बलों में प्रबल नाभिकीय बल सबसे प्रबल और गुरुत्व सबसे दुर्बल है; दुर्बल नाभिकीय बल बीटा क्षय का कारण है; प्रबल बल नाभिक को बाँधे रखता है

UPSC 2013 निकट अतीत में हिग्स बोसॉन कण के अस्तित्व के संसूचन के लिए किये गये प्रयत्न लगातार समाचारों में रहे हैं। इस कण की खोज का क्या महत्त्व है?
1. यह हमें यह समझने में मदद करेगा कि मूल कणों में संहति क्यों होती है।
2. यह निकट भविष्य में हमें दो बिन्दुओं के बीच के भौतिक अन्तराल को पार किये बिना एक बिन्दु से दूसरे बिन्दु तक पदार्थ स्थानान्तरित करने की प्रौद्योगिकी विकसित करने में मदद करेगा।
3. यह हमें नाभिकीय विखण्डन के लिए बेहतर ईंधन उत्पन्न करने में मदद करेगा।
नीचे दिए गए कूट का प्रयोग कर सही उत्तर चुनिए।
(a) केवल 1 (b) केवल 2 और 3 (c) केवल 1 और 3 (d) 1, 2 और 3
उत्तर: (a) केवल 1. हिग्स क्षेत्र मूल कणों को द्रव्यमान देता है; इसका बोसॉन 2012 में खोजा गया

BPSC 56th-59th कॉस्मिक किरणें
(a) आवेशित कण हैं (b) अनावेशित कण हैं (c) आवेशित तथा अनावेशित दोनों हो सकती हैं (d) उपर्युक्त में से कोई नहीं
उत्तर: (a) आवेशित कण हैं. प्राथमिक कॉस्मिक किरणें उच्च ऊर्जा वाले आवेशित कण हैं, अधिकतर प्रोटॉन

BPSC 60th-62nd 'गॉड पार्टिकल' है :
(a) न्यूट्रिनो (b) हिग्स बोसॉन (c) मेसॉन (d) पॉजिट्रॉन (e) उपरोक्त में से कोई नहीं/ उपरोक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (b) हिग्स बोसॉन. हिग्स बोसॉन को लोकप्रिय रूप से 'गॉड पार्टिकल' कहा जाता है; हिग्स क्षेत्र मूल कणों को द्रव्यमान देता है; इसका बोसॉन 2012 में खोजा गया

BPSC 64th आइंस्टीन को 'नोबेल प्राइज' किस कार्य पर मिला?
(a) आपेक्षिकता (b) बोस-आइंस्टीन संघनन (c) संहति एवं ऊर्जा की तुल्यता (d) प्रकाश-विद्युत् प्रभाव
(e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (d) प्रकाश-विद्युत् प्रभाव. आइंस्टीन को प्रकाश-विद्युत प्रभाव की व्याख्या के लिए 1921 का भौतिकी नोबेल मिला

BPSC 67th हाइड्रोजन बम किसके सिद्धांत पर आधारित है?
(a) नियंत्रित संलयन प्रतिक्रिया (b) अनियंत्रित संलयन प्रतिक्रिया (c) नियंत्रित विखंडन प्रतिक्रिया (d) अनियंत्रित विखंडन प्रतिक्रिया
(e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (b) अनियंत्रित संलयन प्रतिक्रिया. हाइड्रोजन बम हल्के नाभिकों के अनियंत्रित संलयन से ऊर्जा मुक्त करता है; नियंत्रित विखंडन से परमाणु रिएक्टर चलते हैं; अनियंत्रित विखंडन परमाणु बम है

BPSC 68th निम्नलिखित में से कौन-सा एक रेडियोधर्मी तत्त्व द्वारा उत्सर्जित धनात्मक रूप से आवेशित कण है?
(a) बीटा किरण (b) अल्फा किरण (c) कैथोड किरण (d) उपर्युक्त में से एक से अधिक (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं
उत्तर: (b) अल्फा किरण. अल्फा कण +2 आवेश वाले हीलियम नाभिक हैं; बीटा कण इलेक्ट्रॉन हैं

BPSC 70th re-exam एक M कि. ग्रा. भार एवं e कूलम्ब आवेश वाला इलेक्ट्रान स्थिर अवस्था से V वोल्ट के विभवान्तर से गति करता है तब उसकी अन्तिम ऊर्जा जूल में होगी
(a) e/V (b) MeV (c) eV/M (d) eV
उत्तर: (d) eV. विभवांतर V से त्वरित आवेश q को qV गतिज ऊर्जा मिलती है; एक इलेक्ट्रॉन-वोल्ट (eV) वह ऊर्जा है जो इलेक्ट्रॉन 1 वोल्ट पार करने पर पाता है: 1.6×10^{-19} J

स्वयं को परखें (13)

1. कण और खोजकर्ता का कौन-सा युग्म सही सुमेलित है?
(a) न्यूट्रॉन – जे.जे. टॉमसन (b) पॉज़िट्रॉन – कार्ल एंडरसन (c) प्रोटॉन – जेम्स चैडविक (d) इलेक्ट्रॉन – अर्नेस्ट रदरफोर्ड

2. आयोडीन-131 की अर्ध-आयु 8 दिन है। 24 दिन बाद नमूने का कितना भाग बचेगा?
(a) 1/3 (b) 1/6 (c) 1/8 (d) 1/4

3. कार्बन-14 (6 प्रोटॉन) और नाइट्रोजन-15 (7 प्रोटॉन) हैं
(a) समन्यूट्रॉनिक (b) समभारिक (c) समस्थानिक (d) सम-इलेक्ट्रॉनिक

4. नाभिकीय रिएक्टर में मंदक
(a) अभिक्रिया रोकने के लिए अतिरिक्त न्यूट्रॉन अवशोषित करता है (b) तेज़ न्यूट्रॉनों को धीमा करता है (c) ऊष्मा को भाप जनित्र तक ले जाता है
(d) कर्मचारियों को विकिरण से बचाता है

5. प्रकाश-विद्युत प्रभाव के बारे में कौन-सा कथन सही है?
(a) तेज़ प्रकाश हर निकले इलेक्ट्रॉन को अधिक गतिज ऊर्जा देता है (b) देहली आवृत्ति से कम पर कोई इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित नहीं होता
(c) किसी भी रंग का प्रकाश, पर्याप्त तेज़ हो तो, किसी भी धातु से इलेक्ट्रॉन निकाल देता है (d) यह प्रकाश की तरंग प्रकृति का प्रमाण है

6. रेडियोकार्बन काल-निर्धारण से किसकी आयु ज्ञात नहीं की जा सकती?
(a) लकड़ी की नाव (b) किसी जंतु की हड्डी (c) ग्रेनाइट चट्टान (d) पुराने चूल्हे का चारकोल

7. भारत के त्रि-चरणीय नाभिकीय कार्यक्रम का दूसरा चरण किस पर आधारित है?
(a) प्राकृतिक यूरेनियम से चलने वाले PHWR (b) थोरियम-ईंधन वाले उन्नत भारी जल रिएक्टर (c) संलयन टोकामक
(d) प्लूटोनियम-ईंधन वाले फास्ट ब्रीडर रिएक्टर

8. विचार कीजिए: 1. गामा किरणें चुंबकीय क्षेत्र से विचलित होती हैं। 2. अल्फा कणों की आयनन क्षमता सबसे अधिक होती है। 3. बीटा कण नाभिक से उत्पन्न होते हैं। कौन-से सही हैं?
(a) केवल 1 और 2 (b) केवल 2 और 3 (c) केवल 1 और 3 (d) 1, 2 और 3

9. विकिरण की खुराक से होने वाली जैविक हानि कौन-सी इकाई मापती है?
(a) बेकरेल (b) ग्रे (c) क्यूरी (d) सीवर्ट

10. हाइड्रोजन बम मुख्यतः किसके द्वारा ऊर्जा मुक्त करता है?
(a) हल्के नाभिकों का अनियंत्रित संलयन (b) हल्के नाभिकों का नियंत्रित संलयन (c) यूरेनियम का अनियंत्रित विखंडन
(d) हाइड्रोजन का रासायनिक दहन

11. निम्नलिखित कथनों पर विचार कीजिए:
1. किसी तत्व के समस्थानिकों के रासायनिक गुण समान पर भौतिक गुण भिन्न होते हैं।
2. समभारिकों में प्रोटॉनों की संख्या समान पर द्रव्यमान संख्या भिन्न होती है।
3. Ne और Na^+ सम-इलेक्ट्रॉनिक हैं।
उपर्युक्त कथनों में से कौन-सा/से सही है/हैं?
(a) केवल 1 (b) केवल 2 और 3 (c) 1, 2 और 3 (d) केवल 1 और 3

12. निम्नलिखित कथनों पर विचार कीजिए:
1. कोबाल्ट-60 की गामा किरणों से विकिरणित प्याज रेडियोधर्मी हो जाते हैं।
2. बेकरेल वह मात्रक है जो विकिरण से होने वाली जैविक हानि मापता है।
3. किसी रेडियोधर्मी नमूने को गरम करने से उसकी अर्ध-आयु नहीं बदलती।
उपर्युक्त में से कितने कथन सही हैं?
(a) केवल एक (b) केवल दो (c) सभी तीन (d) कोई भी नहीं

13. एक खुदाई में पुरातत्वविदों को एक साथ पड़े चूल्हे का चारकोल, पत्थर की हस्त-कुल्हाड़ी और मिट्टी के बर्तन का टुकड़ा मिलते हैं। इनमें से किसकी आयु सीधे कार्बन-14 डेटिंग से निकाली जा सकती है?
(a) केवल पत्थर की हस्त-कुल्हाड़ी (b) केवल मिट्टी के बर्तन का टुकड़ा (c) केवल चारकोल (d) तीनों की

उत्तर: 1. (b) एंडरसन ने 1932 में ब्रह्मांडीय किरणों में पॉज़िट्रॉन खोजा; चैडविक ने न्यूट्रॉन और टॉमसन ने इलेक्ट्रॉन खोजा। · 2. (c) 24 दिन = 3 अर्ध-आयु, इसलिए $(½)^3 = 1/8$ बचता है। · 3. (a) दोनों में 8 न्यूट्रॉन हैं (14 − 6 = 15 − 7 = 8): समान न्यूट्रॉन = समन्यूट्रॉनिक। · 4. (b) भारी जल या ग्रेफाइट जैसे मंदक न्यूट्रॉनों को धीमा करते हैं; नियंत्रक छड़ें उन्हें अवशोषित करती हैं; शीतलक ऊष्मा ले जाता है। · 5. (b) उत्सर्जन के लिए आवृत्ति देहली से ऊपर होनी चाहिए; तीव्रता केवल निकलने वाले इलेक्ट्रॉनों की संख्या बदलती है; यह प्रभाव प्रकाश की कण प्रकृति दर्शाता है। · 6. (c) कार्बन-14 काल-निर्धारण के लिए कभी जीवित रहा पदार्थ चाहिए; चट्टानों की आयु यूरेनियम–सीसा या पोटैशियम–आर्गन से निकाली जाती है। · 7. (d) चरण 1 PHWR (प्राकृतिक U) → चरण 2 फास्ट ब्रीडर (Pu; PFBR अप्रैल 2026 में क्रांतिक) → चरण 3 थोरियम। · 8. (b) गामा किरणों पर कोई आवेश नहीं होता और वे विचलित नहीं होतीं; अल्फा सबसे अधिक आयनन करता है; बीटा इलेक्ट्रॉन नाभिक में न्यूट्रॉनों के क्षय से आते हैं। · 9. (d) सीवर्ट (और पुरानी इकाई रेम) खुराक को जैविक प्रभाव के अनुसार भार देता है; बेकरेल और क्यूरी सक्रियता मापते हैं, ग्रे अवशोषित ऊर्जा मापता है। · 10. (a) तापनाभिकीय (हाइड्रोजन) बम अनियंत्रित संलयन का उपयोग करता है, जिसे एक विखंडन ट्रिगर प्रज्वलित करता है। · 11. (d) समस्थानिकों में इलेक्ट्रॉन समान होते हैं, इसलिए उनका रसायन समान और द्रव्यमान भिन्न होता है, और Ne तथा Na^+ दोनों में 10 इलेक्ट्रॉन हैं; कथन 2 समस्थानिकों का वर्णन है, क्योंकि समभारिकों में द्रव्यमान संख्या समान और प्रोटॉन भिन्न होते हैं। · 12. (a) केवल कथन 3 सही है; विकिरणित भोजन रेडियोधर्मी नहीं होता, और बेकरेल सक्रियता (प्रति सेकंड क्षय) मापता है, जबकि सीवर्ट जैविक हानि मापता है। · 13. (c) कार्बन-14 डेटिंग केवल कभी जीवित रहे पदार्थ, जैसे चारकोल, पर काम करती है (लगभग 50,000 वर्ष तक); मिट्टी के बर्तन की आयु तापदीप्ति से निकलती है, और पत्थर ने कभी वायु से कार्बन नहीं लिया।

अध्याय 14

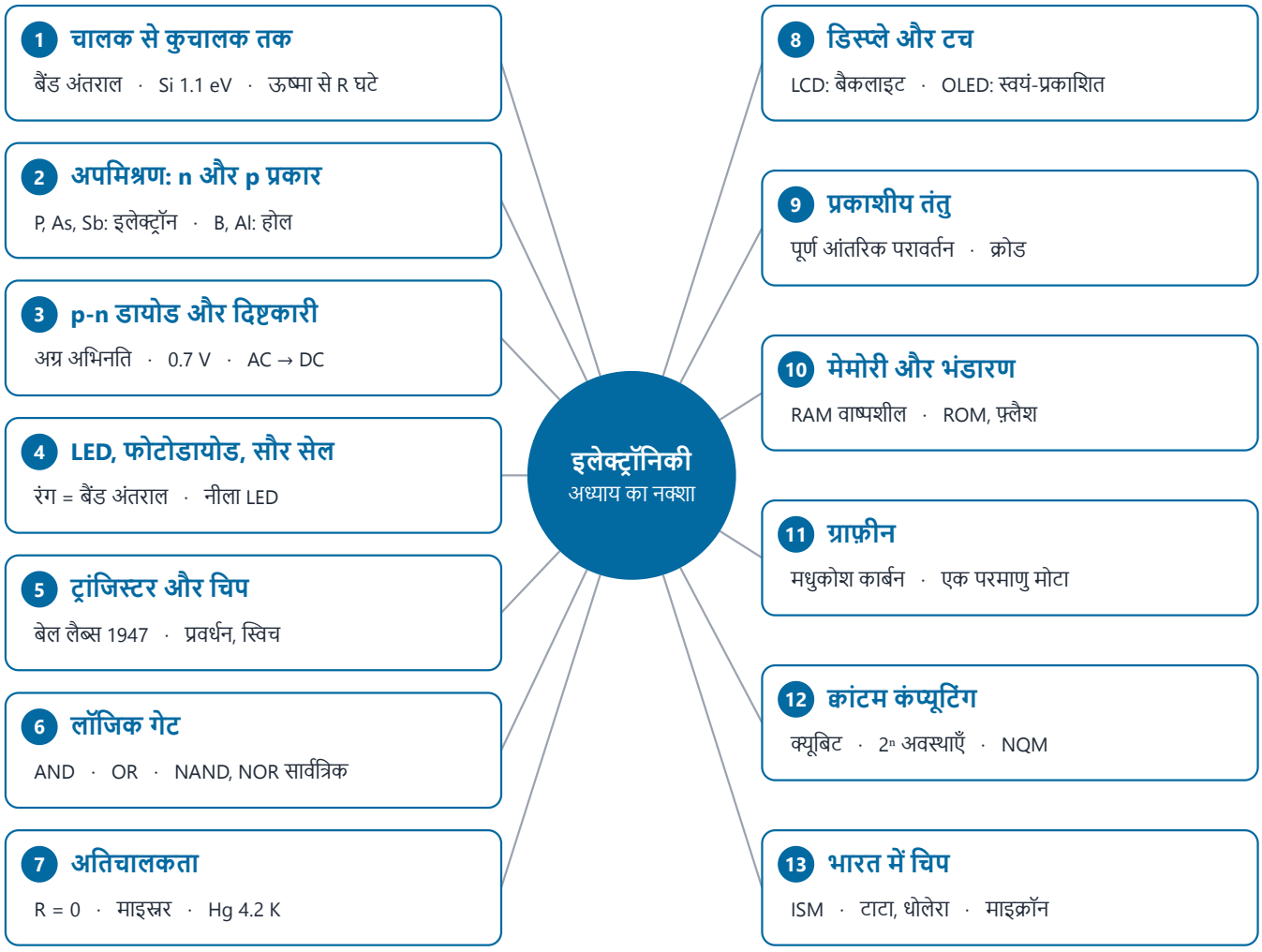
अर्धचालक, इलेक्ट्रॉनिकी और आधुनिक उपकरण

गर्म करने पर अर्धचालक का प्रतिरोध कैसे बदलता है, n-प्रकार बनाम p-प्रकार अपमिश्रण, डायोड, LED, फोटोडायोड और सौर सेल क्या करते हैं, और LED बनाम CFL, सोडियम लैंप या OLED बनाम LCD की तुलना नियमित रूप से पूछी जाती है।

पिछले प्रश्नपत्रों में 6 बार पूछा गया: UPSC 3 · BPSC 3

≈ 54 min पढ़ने में ≈ 7 min ★★★ दोहराने में

दोहराएँ: दिन 1 दिन 3 दिन 7 दिन 21



रिवीज़न कार्ड

1. **अर्धचालक को गर्म करने पर उसका प्रतिरोध घटता है** (अधिक मुक्त इलेक्ट्रॉन); धातु को गर्म करने पर बढ़ता है।
2. **बैंड अंतराल (Band gap)**: चालकों में नहीं होता (बैंड एक-दूसरे पर चढ़े होते हैं); सिलिकॉन ≈ 1.1 eV, जर्मेनियम ≈ 0.7 eV; कुचालकों में 3 eV से अधिक (हीरा ≈ 5.5 eV)।
3. **n-प्रकार**: पंचसंयोजी अपमिश्रक (P, As, Sb) → इलेक्ट्रॉन बहुसंख्यक। **p-प्रकार**: त्रिसंयोजी अपमिश्रक (B, Al, Ga, In) → होल बहुसंख्यक। दोनों विद्युत रूप से उदासीन रहते हैं।
4. **p-n डायोड** केवल **अग्र अभिनति (Forward bias)** (p को +) में चालन करता है। **दिष्टकारी (Rectifier)** AC को DC में बदलता है; **इन्वर्टर (Inverter)** DC को AC में।
5. **LED**: अग्र अभिनत संधि प्रकाश देती है; रंग बैंड अंतराल से तय होता है। **नीले LED** (नोबेल 2014) ने सफ़ेद LED लैंप संभव बनाए।
6. **CFL** = पारद वाष्प + फॉस्फर; **LED** = अर्धचालक; LED अधिक समय चलता है और कम बिजली लेता है।
7. **सोडियम स्ट्रीट लैंप**: लगभग एकवर्णी पीला प्रकाश, सभी दिशाओं में (360°) फैलता है; LED स्ट्रीट लाइट दिशात्मक, अधिक टिकाऊ है और वास्तविक रंग दिखाती है।
8. **फोटोडायोड (Photodiode)** (पश्च अभिनत, तेज़) डिजिटल और प्रकाशीय तंतु संकेतों के लिए उपयुक्त; **प्रकाश-विद्युत / सौर (प्रकाश-वोल्टीय) सेल** प्रकाश ऊर्जा को विद्युत ऊर्जा में बदलता है।
9. **ट्रांजिस्टर (Transistor)** (बार्डीन, ब्रैटेन, शॉकले, 1947) प्रवर्धन और स्विचिंग करता है; **एकीकृत परिपथ (Integrated circuit)**: जैक किल्बी (1958) और रॉबर्ट नॉयस।
10. **NAND और NOR** सार्वत्रिक गेट हैं।
11. **अतिचालक (Superconductor)**: क्रांतिक ताप से नीचे शून्य प्रतिरोध और **माइस्नर प्रभाव (Meissner effect)** (चुंबकीय क्षेत्र को बाहर धकेलता है) → MRI, मैगलेव, LHC चुंबक।
12. **OLED** पिक्सेल स्वयं प्रकाश बनाते हैं (बैकलाइट नहीं): लचीली, मोड़ी जा सकने वाली और पारदर्शी स्क्रीन; **LCD** को बैकलाइट चाहिए।
13. **प्रकाशीय तंतु (Optical fibre)** प्रकाश को **पूर्ण आंतरिक परावर्तन** से आगे ले जाता है; विशाल बैंडविड्थ, कोई विद्युत व्यतिकरण नहीं।
14. **भारत सेमीकंडक्टर मिशन**: माइक्रॉन (Micron) के साणंद (गुजरात) चिप पैकेजिंग संयंत्र ने फ़रवरी 2026 में उत्पादन शुरू किया; भारत का पहला वाणिज्यिक फ़ैब (टाटा, धोलेरा) बन रहा है।

चालक, कुचालक और अर्धचालक

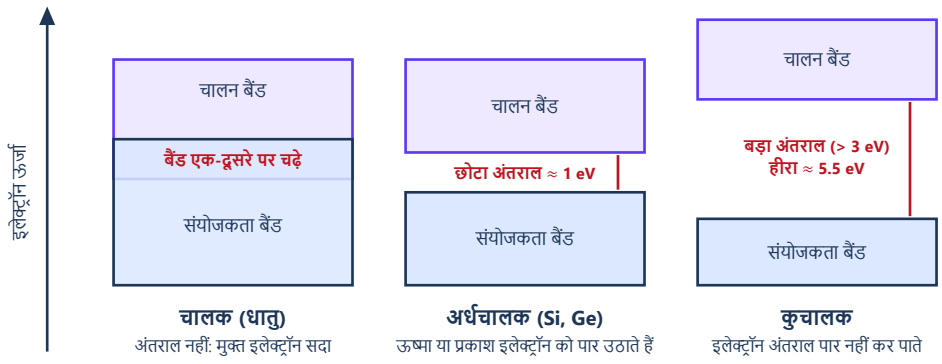
बैंड अंतराल

Si 1.1 eV, Ge 0.7 eV

ऊष्मा से प्रतिरोध घटे

थर्मिस्टर

किसी ठोस में इलेक्ट्रॉनों की ऊर्जा केवल कुछ निश्चित **बैंडों** के भीतर हो सकती है। निचले **संयोजकता बैंड (Valence band)** के इलेक्ट्रॉन परमाणुओं से बँधे रहते हैं; केवल ऊपरी **चालन बैंड (Conduction band)** तक उठे इलेक्ट्रॉन धारा ले जा सकते हैं। दोनों के बीच खाली **बैंड अंतराल (Band gap)** की चौड़ाई तय करती है कि पदार्थ चालन करेगा या नहीं।



Si अंतराल ≈ 1.1 eV, Ge ≈ 0.7 eV। बड़ा अंतराल → कम मुक्त इलेक्ट्रॉन → कमज़ोर चालक।

बैंड चित्र (पैमाने पर नहीं): धातु में बैंड एक-दूसरे पर चढ़े होते हैं; अर्धचालक में अंतराल इतना छोटा है कि ऊष्मा या प्रकाश इलेक्ट्रॉनों को पार उठा सकें; कुचालक में यह बहुत चौड़ा है।

तीन प्रकार के ठोस ★★★

गुण	चालक	अर्धचालक	कुचालक
बैंड अंतराल	नहीं (बैंड एक-दूसरे पर चढ़े)	छोटा (≈ 1 eV)	बड़ा (3 eV से अधिक)
कमरे के ताप पर मुक्त इलेक्ट्रॉन	बहुत अधिक	थोड़े	लगभग नहीं
उदाहरण	चाँदी, ताँबा, ऐलुमिनियम, ग्रेफाइट	सिलिकॉन, जर्मेनियम, गैलियम आर्सेनाइड	काँच, रबर, लकड़ी, हीरा, अभ्रक
गर्म करने पर	**प्रतिरोध बढ़ता है**	**प्रतिरोध घटता है**	बहुत ऊँचा बना रहता है
परम शून्य (0 K) पर	फिर भी चालन करता है	पूर्ण कुचालक की तरह व्यवहार करता है	कुचालक

★★★ **अर्धचालक + ऊष्मा**: अतिरिक्त ऊष्मा बंधों से अधिक इलेक्ट्रॉन मुक्त करती है, इसलिए इसका **प्रतिरोध घटता है** (ऋणात्मक ताप गुणांक)। धातुओं में ऊष्मा से परमाणु अधिक कंपन करते हैं और इलेक्ट्रॉनों का रास्ता रोकते हैं, इसलिए प्रतिरोध **बढ़ता है**।

★★ **थर्मिस्टर (Thermistor)**: ऐसा अर्धचालक जिसका प्रतिरोध ताप बढ़ने पर तेज़ी से घटता है; डिजिटल थर्मामीटर और अग्नि अलार्म में प्रयुक्त।

★★★ **सिलिकॉन (Si)** और **जर्मेनियम (Ge)** समूह-14 के तत्व हैं, जिनमें **4 संयोजकता इलेक्ट्रॉन** होते हैं। बैंड अंतराल: Si ≈ **1.1 eV**, Ge ≈ **0.7 eV**।

★★ **सिलिकॉन का दबदबा क्यों**: यह भूपर्पटी में दूसरा सबसे प्रचुर तत्व है (रेत SiO_2 है), जर्मेनियम से ऊँचे ताप पर काम करता है (चौड़ा अंतराल) और एक सुरक्षात्मक ऑक्साइड परत बनाता है जो चिप के लिए आदर्श है।

★ **यौगिक अर्धचालक**: गैलियम आर्सेनाइड (LED, अंतरिक्ष सौर सेल), गैलियम नाइट्राइड (नीले LED, तेज़ फ़ोन चार्जर), सिलिकॉन कार्बाइड (इलेक्ट्रिक वाहनों की पावर इलेक्ट्रॉनिकी), कैडमियम टेल्यूराइड (पतली-परत सौर सेल)।

याद रखें: ऊष्मा **धातु को सुस्त** बनाती है (भीड़, धक्कामुक्की करते परमाणु → अधिक प्रतिरोध) पर **अर्धचालक को जगा** देती है (मुक्त इलेक्ट्रॉन → कम प्रतिरोध)। सोचिए: गर्म दिन मेट्रो (धातु) में जाम लगा देता है, पर गाँव (अर्धचालक) में अधिक लोगों को सड़क पर ले आता है।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** गर्म करने पर अर्धचालक का प्रतिरोध **घटता** है, बढ़ता नहीं। इसकी चालकता धातुओं और कुचालकों के बीच होती है, पर ताप के साथ इसका व्यवहार धातु के **उलट** होता है।

झटपट जाँच

1. अर्धचालक को गर्म करें: उसका प्रतिरोध बढ़ता है या घटता है?
2. सिलिकॉन और जर्मेनियम का बैंड अंतराल?
3. सिलिकॉन और जर्मेनियम में कितने संयोजकता इलेक्ट्रॉन होते हैं?

उत्तर: 1. घटता है (अधिक मुक्त इलेक्ट्रॉन); धातु का बढ़ता है · 2. Si ≈ 1.1 eV; Ge ≈ 0.7 eV · 3. 4 (समूह 14)

नैज और बाह्य अर्धचालक: अपमिश्रण

अपमिश्रण

होल

n-प्रकार: P, As, Sb

p-प्रकार: B, Al, Ga, In

शुद्ध सिलिकॉन कमज़ोर चालक है। लगभग दस लाख में से एक परमाणु को ऐसे परमाणु से बदल दें जिसमें **एक इलेक्ट्रॉन अधिक या एक कम** हो, तो चालकता हज़ार गुना या उससे भी अधिक बढ़ जाती है। यह जानबूझकर मिलाई गई अशुद्धि **अपमिश्रण (Doping)** है।

★★ **नैज (Intrinsic)** अर्धचालक = शुद्ध Si या Ge। ऊष्मा कुछ बंध तोड़ती है, जिससे **मुक्त इलेक्ट्रॉन और होल बराबर संख्या में** बनते हैं।

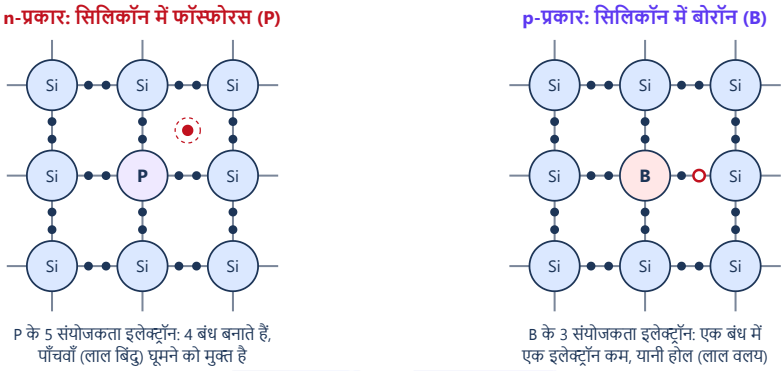
क्रिस्टल उदासीन रहता है

★★★ **होल (Hole)**: किसी इलेक्ट्रॉन के बंध छोड़ने पर बचा खाली स्थान। पड़ोसी इलेक्ट्रॉन उसमें कूदते हैं, इसलिए होल एक **धनात्मक आवेश** की तरह चलता है।

★★ **बाह्य (Extrinsic)** अर्धचालक = अपमिश्रित अर्धचालक; अपमिश्रण से एक प्रकार के वाहक दूसरे से अधिक हो जाते हैं (बहुसंख्यक बनाम अल्पसंख्यक वाहक)।

n-प्रकार बनाम p-प्रकार ★★★

	n-प्रकार	p-प्रकार
अपमिश्रक	**पंचसंयोजी** (5 संयोजकता इलेक्ट्रॉन): फॉस्फोरस, आर्सेनिक, ऐंटिमनी	**त्रिसंयोजी** (3 संयोजकता इलेक्ट्रॉन): बोरॉन, ऐलुमिनियम, गैलियम, इंडियम
अपमिश्रक का नाम	दाता (Donor) (इलेक्ट्रॉन देता है)	ग्राही (Acceptor) (इलेक्ट्रॉन लेता है, होल छोड़ता है)
बहुसंख्यक वाहक	**इलेक्ट्रॉन**	**होल**
अल्पसंख्यक वाहक	होल	इलेक्ट्रॉन
कुल आवेश	उदासीन	उदासीन



सिलिकॉन का अपमिश्रण, 3D क्रिस्टल का समतल चित्र। हर रेखा एक बंध है जिसमें दो साझा इलेक्ट्रॉन (बिंदु) हैं। फॉस्फोरस एक पाँचवाँ इलेक्ट्रॉन लाता है जिसके लिए कोई बंध नहीं, इसलिए वह धारा ले जाने को मुक्त है (n-प्रकार); बोरॉन केवल तीन लाता है, जिससे एक बंध में एक इलेक्ट्रॉन कम रह जाता है, यानी होल (p-प्रकार)।

याद रखें: 'PAS' passes an electron: **P**, **A**s, **S**b (5 संयोजकता) एक अतिरिक्त इलेक्ट्रॉन देते हैं → **n**-प्रकार (**n**egative, ऋणात्मक वाहक)। **'BAGI' baggy pants have holes**: **B**, **A**l, **G**a, **I**n (3 संयोजकता) होल छोड़ते हैं → **p**-प्रकार (**p**ositive, धनात्मक होल)। हिंदी में: 'बगी' की ढीली पैंट में छेद (होल)।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** n-प्रकार का क्रिस्टल **ऋणावेशित नहीं** होता और p-प्रकार का **धनावेशित नहीं**: हर अपमिश्रक परमाणु बराबर प्रोटॉन और इलेक्ट्रॉन लाता है। 'n' और 'p' केवल बहुसंख्यक वाहक का नाम बताते हैं।

झटपट जाँच

1. पंचसंयोजी तत्व से अपमिश्रित सिलिकॉन: कौन-सा प्रकार, और बहुसंख्यक वाहक कौन?
2. एक त्रिसंयोजी अपमिश्रक और उससे बनने वाला प्रकार बताएँ।
3. क्या n-प्रकार का क्रिस्टल ऋणावेशित होता है?

उत्तर: 1. n-प्रकार; इलेक्ट्रॉन · 2. बोरॉन (या ऐलुमिनियम, गैलियम, इंडियम): p-प्रकार · 3. नहीं: यह विद्युत रूप से उदासीन रहता है

p-n संधि डायोड और दिष्टकारी

अवक्षय परत

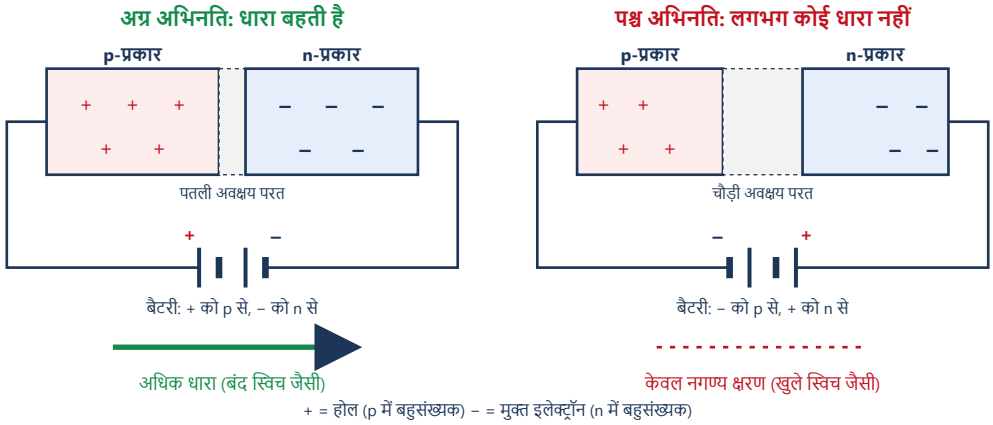
अग्र अभिनति: p को +

सिलिकॉन के लिए 0.7 V

दिष्टकारी: AC → DC

ज़ेनर: वोल्टता नियंत्रक

p-प्रकार और n-प्रकार सिलिकॉन को जोड़ें तो सीमा के पास के इलेक्ट्रॉन और होल एक-दूसरे को निरस्त कर देते हैं, और एक पतली **अवक्षय परत (Depletion layer)** बचती है जिस पर छोटा वोल्टता अवरोध होता है। सही दिशा में धकेलें तो अवरोध घटता है और धारा बहती है; गलत दिशा में धकेलें तो यह चौड़ा होता है और धारा रुक जाती है। डायोड धारा के लिए **एकतरफ़ा वाल्व** है।



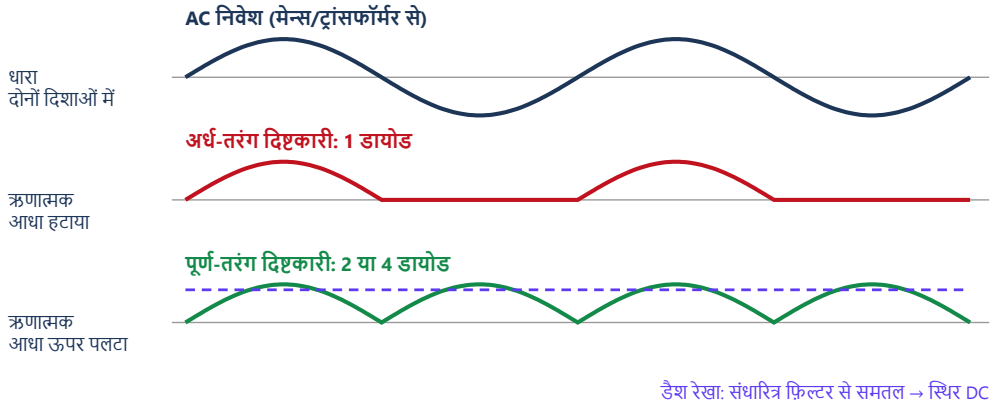
अग्र अभिनति (p को +) अवक्षय परत को पतला करती है और धारा बहती है; पश्च अभिनति (p को −) उसे चौड़ा करती है और केवल बहुत छोटी क्षरण धारा बहती है।

★★★ **अग्र अभिनति (Forward bias)**: p-सिरा **+** से, n-सिरा **−** से: अवरोध घटता है, **अधिक धारा** (बंद स्विच जैसा)। सिलिकॉन को चालन शुरू करने के लिए लगभग **0.7 V** चाहिए (जर्मेनियम को लगभग 0.3 V)।

★★★ **पश्च अभिनति (Reverse bias)**: p-सिरा − से, n-सिरा + से: अवक्षय परत चौड़ी होती है, **लगभग कोई धारा नहीं**। पर्याप्त बड़ी पश्च वोल्टता पर यह **भंजित (breakdown)** हो जाता है।

★★ **ज़ेनर डायोड (Zener diode)**: भारी अपमिश्रित डायोड जो पश्च भंजन में काम करने के लिए बना है; यह स्थिर वोल्टता बनाए रखता है, इसलिए **वोल्टता नियंत्रक (Voltage regulator)** के रूप में प्रयुक्त होता है।

आसपास देखें: डायोड पानी की टंकी के पाइप में लगे नॉन-रिटर्न वाल्व, या मेट्रो निकास के एकतरफ़ा टर्नस्टाइल की तरह काम करता है: एक ओर आसान, दूसरी ओर बंद।



दिष्टकरण: अर्ध-तरंग दिष्टकारी ऋणात्मक आधा भाग हटा देता है; पूर्ण-तरंग दिष्टकारी उसे पलटकर ऊपर कर देता है। फिर एक संधारित्र उतार-चढ़ाव को समतल कर स्थिर DC बनाता है।

★★★ **दिष्टकारी (Rectifier)** डायोडों की सहायता से **AC को DC में** बदलता है। **अर्ध-तरंग**: एक डायोड, हर चक्र का केवल आधा भाग उपयोग करता है। **पूर्ण-तरंग**: केंद्र-टैप ट्रांसफॉर्मर के साथ दो डायोड, या **सेतु (bridge) में चार डायोड**; दोनों आधे भाग उपयोग करता है।

★★ **फ़िल्टर (Filter)**: दिष्टकारी के बाद लगा संधारित्र स्पंदित निर्गत को लगभग स्थिर DC में समतल करता है। फ़ोन चार्जर = ट्रांसफॉर्मर (या स्विचिंग परिपथ) + दिष्टकारी + फ़िल्टर + नियंत्रक।

कौन-सा उपकरण क्या करता है ★★

उपकरण	कार्य
दिष्टकारी	AC → DC
इन्वर्टर	DC → AC (घरेलू इन्वर्टर बैटरी से पंखे चलाता है)
ट्रांसफॉर्मर	**AC** वोल्टता बढ़ाता या घटाता है; स्थिर DC पर काम नहीं करता
ज़ेनर / नियंत्रक	निर्गत वोल्टता स्थिर रखता है
संधारित्र फ़िल्टर	तरंगिकाएँ (ripples) समतल करता है

⚠ **परीक्षा में सावधान: दिष्टकारी = AC से DC; इन्वर्टर = DC से AC।** विकल्प अक्सर इन्हें आपस में बदल देते हैं। डायोड **अग्र** अभिनति में चालन करता है, पश्च में नहीं।

☑ झटपट जाँच

1. अग्र अभिनति में p-सिरा किस टर्मिनल से जुड़ता है?
2. दिष्टकारी या इन्वर्टर: AC को DC में कौन बदलता है?
3. वोल्टता नियंत्रक के रूप में कौन-सा डायोड प्रयुक्त होता है?

उत्तर: 1. धनात्मक (+) टर्मिनल से · 2. दिष्टकारी (इन्वर्टर DC को AC में बदलता है) · 3. ज़ेनर डायोड

अर्धचालक और प्रकाश: LED, फोटोडायोड और सौर सेल

LED: अग्र अभिनत

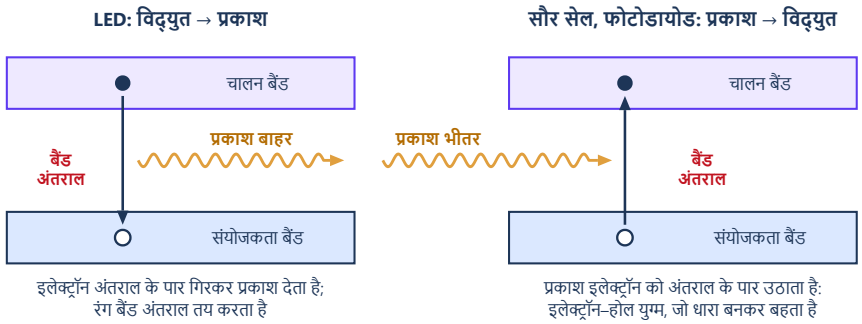
फोटोडायोड: पश्च अभिनत

सौर सेल: प्रकाश → शक्ति

रंग = बैंड अंतराल

नीला LED, नोबेल 2014

अर्धचालक में प्रकाश और बिजली की अदला-बदली हो सकती है। संधि से धारा भेजें तो बैंड अंतराल के पार गिरते इलेक्ट्रॉन **प्रकाश देते हैं** (LED, प्रकाश उत्सर्जक डायोड)। संधि पर प्रकाश डालें तो फोटॉन **इलेक्ट्रॉन–होल युग्म बनाते हैं**, जिससे धारा मिलती है (फोटोडायोड, सौर सेल)।



बड़ा अंतराल → नीला प्रकाश (गैलियम नाइट्राइड); छोटा अंतराल → लाल या अवरक्त (गैलियम आर्सेनाइड)

प्रकाश और बैंड अंतराल। LED में इलेक्ट्रॉन चालन बैंड से गिरकर एक होल में आता है और प्रकाश देता है; सौर सेल या फोटोडायोड में प्रकाश इलेक्ट्रॉन को अंतराल के पार उठाता है, जिससे इलेक्ट्रॉन–होल युग्म बनता है जो धारा के रूप में बहता है।

प्रकाश से जुड़े अर्धचालक उपकरण ★★★

उपकरण	कैसे प्रयुक्त	ऊर्जा परिवर्तन	किसके लिए सर्वोत्तम
LED	अग्र अभिनत	विद्युत → प्रकाश	लैंप, डिस्प्ले, सूचक, टीवी रिमोट (अवरक्त LED)
फोटोडायोड (Photodiode)	**पश्च अभिनत**	प्रकाश → विद्युत **संकेत**; बहुत तेज़ और प्रकाश के समानुपाती	**डिजिटल/प्रकाशीय संकेत**: प्रकाशीय तंतु रिसीवर, रिमोट-कंट्रोल रिसीवर, बारकोड रीडर, प्रकाश मीटर
सौर (प्रकाश-वोल्टीय) सेल (Solar cell)	कोई बाहरी बैटरी नहीं; बड़े क्षेत्रफल की संधि	**प्रकाश → विद्युत शक्ति**	सौर पैनल, कैलकुलेटर, उपग्रह
LDR (प्रकाश-निर्भर प्रतिरोधक, light-dependent resistor; प्रकाश-चालक)	प्रकाश में प्रतिरोध घटता है	प्रकाश धारा को नियंत्रित करता है	स्वचालित स्ट्रीट लाइट, कैमरा एक्सपोज़र
प्रकाश-उत्सर्जी सेल (Photoemissive cell)	निर्वात नली; प्रकाश धातु से इलेक्ट्रॉन निकालता है (प्रकाश-विद्युत प्रभाव)	प्रकाश → धारा	पुराने स्वचालित दरवाज़े, चोर-अलार्म, फ़िल्म ध्वनि-पथ

★★★ **प्रकाश-विद्युत सेल (Photoelectric cell)** (इनमें से कोई भी प्रकाश-संवेदी सेल) **प्रकाश ऊर्जा को विद्युत ऊर्जा में बदलता है**।

★★★ **LED का रंग उसके पदार्थ के बैंड अंतराल पर निर्भर करता है**: गैलियम आर्सेनाइड → अवरक्त (टीवी रिमोट), गैलियम आर्सेनाइड फॉस्फाइड → लाल, नारंगी, पीला; गैलियम नाइट्राइड / इंडियम गैलियम नाइट्राइड → **नीला** और हरा।

★★★ **नीला LED (Blue LED)**: इसामु अकासाकी, हिरोशी अमानो और शुजी नाकामुरा, **भौतिकी नोबेल 2014**। पीले फॉस्फर से लेपित नीला LED **सफ़ेद प्रकाश** देता है, इसलिए इसी से LED बल्ब संभव हुए।

★ **पहला दृश्य (लाल) LED**: निक होलोन्याक (Nick Holonyak), 1962।

★★ **सौर सेल** प्रायः **सिलिकॉन** का होता है; सूर्य का प्रकाश इलेक्ट्रॉन मुक्त करता है जिन्हें संधि का आंतरिक क्षेत्र परिपथ में धकेलता है (प्रकाश-वोल्टीय प्रभाव)। सामान्य पैनल सूर्य के प्रकाश का लगभग **20%** बदलते हैं; एकल सिलिकॉन संधि लगभग एक-तिहाई (≈ 33%) से अधिक नहीं बदल सकती।

★ कैमरों के **CCD और CMOS छवि संवेदक** छोटे-छोटे प्रकाश-संवेदी तत्वों की सरणियाँ हैं; CCD को 2009 का भौतिकी नोबेल मिला (बॉयल और स्मिथ)।

लैंपों की तुलना ★★★

लैंप	प्रकाश कैसे बनता है	प्रति वाट प्रकाश	आयु (लगभग)	टिप्पणी
तापदीप्त बल्ब	टंगस्टन तंतु श्वेत-तप्त होकर चमकता है	≈ 10–15 lm/W	≈ 1,000 h	लगभग 90% बिजली ऊष्मा के रूप में व्यर्थ
CFL	**पारद वाष्प** UV देती है; **फॉस्फर** लेप उसे दृश्य प्रकाश में बदलता है	≈ 50–70 lm/W	≈ 8,000–10,000 h	पारा होता है: खतरनाक अपशिष्ट
LED	**अर्धचालक** संधि	≈ 80–150 lm/W	≈ 25,000–50,000 h	**सबसे दक्ष**, पारा नहीं, **दिशात्मक** प्रकाश, अच्छे रंग
सोडियम वाष्प (स्ट्रीट)	सोडियम वाष्प में विद्युत विसर्जन	अधिक	LED से कम	लगभग **एकवर्णी पीला** (≈ 589 nm), रंग ठीक नहीं दिखते; **सभी दिशाओं (360°)** में चमकता है

★★ **उजाला (UJALA)** (2015) ने घरों तक सस्ते LED बल्ब पहुँचाए और **स्ट्रीट लाइटिंग राष्ट्रीय कार्यक्रम** ने स्ट्रीट लैंपों को LED से बदला; दोनों EESL चलाता है।

याद रखें: LED = 'Light Emitted when Driven forward' (आगे धकेलने पर प्रकाश); **photodiode = 'Photo-Detector'**, जिसे प्रकाश जल्दी पकड़ने के लिए **उल्टा** (पश्च अभिनति) खड़ा होना पसंद है। सौर सेल **किसान** है: यह बिजली की फ़सल काटता है, संकेत नहीं।

⚠ **परीक्षा में सावधान: CFL, LED से अधिक नहीं चलता**; LED कई गुना अधिक चलता है और कम बिजली लेता है। **सोडियम लैंप** चारों ओर प्रकाश फैलाते हैं और पीले दिखते हैं; LED स्ट्रीट लाइटें प्रकाश नीचे की ओर डालती हैं और रंग सही दिखाती हैं। **डिजिटल** उपयोगों के लिए प्रकाश-वोल्टीय सेल नहीं, फोटोडायोड सही विकल्प है।

झटपट जाँच

1. LED के प्रकाश का रंग क्या तय करता है?
2. तेज़ डिजिटल या प्रकाशीय-तंतु संकेत के लिए: फोटोडायोड या सौर सेल?
3. नीले LED को 2014 का भौतिकी नोबेल क्यों मिला?

उत्तर: 1. उसके अर्धचालक का बैंड अंतराल · 2. फोटोडायोड (पश्च अभिनत, तेज़) · 3. पीले फॉस्फर के साथ यह सफ़ेद प्रकाश देता है, जिससे LED लैंप संभव हुए

ट्रांजिस्टर, चिप और मूर का नियम

बेल लैब्स 1947

बार्डीन, ब्रैटेन, शॉकले

उत्सर्जक, आधार, संग्राहक

प्रवर्धक और स्विच

IC: किल्बी, नॉयस

1947 से पहले रेडियो और कंप्यूटर गर्म, भारी **निर्वात नलियों (Vacuum tubes)** से चलते थे। ट्रांजिस्टर ने वही काम (प्रवर्धन और स्विचिंग) ठोस पदार्थ के एक छोटे टुकड़े में कर दिखाया, और एक चिप पर इनमें से लाखों लगाने से आधुनिक इलेक्ट्रॉनिकी बनी।

★ **निर्वात नलियाँ**: जॉन फ्लेमिंग (John Fleming) का डायोड वाल्व (1904) और ली डी फॉरेस्ट (Lee de Forest) का ट्रायोड (1906)। ENIAC (1945–46), एक प्रारंभिक कंप्यूटर, में लगभग 18,000 नलियाँ थीं।

★★★ **ट्रांजिस्टर (Transistor)**: **1947** में **बेल लैब्स (Bell Labs)** (अमेरिका) में **जॉन बार्डीन, वॉल्टर ब्रैटेन और विलियम शॉकले (John Bardeen, Walter Brattain and William Shockley)** ने आविष्कार किया; भौतिकी नोबेल **1956**। पहला ट्रांजिस्टर जर्मेनियम का बना था।

★★ **बार्डीन** भौतिकी के दो नोबेल पाने वाले एकमात्र व्यक्ति हैं (1956 ट्रांजिस्टर; 1972 अतिचालकता का सिद्धांत)।

★★★ **संरचना**: तीन परतें, **npn** या **pnp**, और तीन टर्मिनल: **उत्सर्जक (emitter), आधार (base), संग्राहक (collector)**। छोटी आधार धारा बड़ी संग्राहक धारा को नियंत्रित करती है।

★★★ **दो कार्य**: **प्रवर्धक (Amplifier)** (कमज़ोर संकेतों को प्रबल बनाता है: रेडियो, माइक्रोफ़ोन, श्रवण यंत्र) और **स्विच** (डिजिटल परिपथों में ऑन/ऑफ़ = 1/0)।

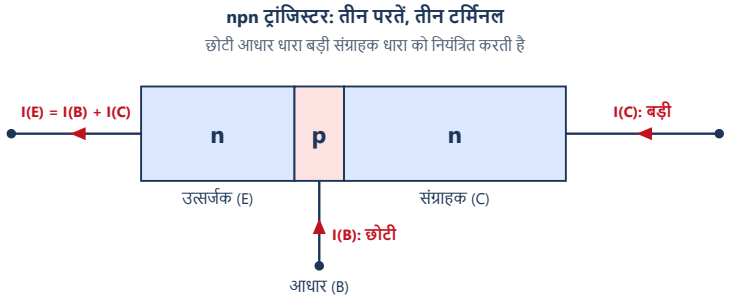
★ **MOSFET** (क्षेत्र-प्रभाव ट्रांजिस्टर) लगभग सभी चिपों में प्रयुक्त प्रकार है; यह इतिहास में सबसे अधिक बनाया गया उपकरण है।

★★★ **एकीकृत परिपथ (Integrated circuit, IC/चिप)**: सिलिकॉन के एक छोटे टुकड़े पर अनेक ट्रांजिस्टर, प्रतिरोधक और संधारित्र। **जैक किल्बी (Jack Kilby)** (टेक्सास इंस्ट्रूमेंट्स, 1958; नोबेल 2000) और **रॉबर्ट नॉयस (Robert Noyce)** (फेयरचाइल्ड, 1959, सिलिकॉन IC; बाद में इंटेल के सह-संस्थापक) ने स्वतंत्र रूप से इसका आविष्कार किया।

★★ **मूर का नियम (Moore's law)** (गॉर्डन मूर, 1965): एक चिप पर ट्रांजिस्टरों की संख्या **लगभग हर दो वर्ष में दोगुनी** हो जाती है।

★★ **चिप निर्माण**: पतले सिलिकॉन **वेफ़रों** पर **फोटोलिथोग्राफी (Photolithography)** (मास्क से होकर प्रकाश) द्वारा पैटर्न छापे जाते हैं; 'nm नोड' का आकार बताता है कि संरचनाएँ कितनी छोटी हैं।

★ **पहला माइक्रोप्रोसेसर**: इंटेल (Intel) 4004 (1971)। भारत के अपने प्रोसेसर डिज़ाइनों में **शक्ति (SHAKTI)** (IIT मद्रास, RISC-V आधारित) और **वेगा (VEGA)** (C-DAC) शामिल हैं।



npn ट्रांजिस्टर: दो n-प्रकार की परतों के बीच पतला p-प्रकार का आधार। आधार में छोटी धारा संग्राहक से उत्सर्जक तक बड़ी धारा बहने देती है, इसीलिए ट्रांजिस्टर प्रवर्धन और स्विचिंग कर सकता है। तीर पारंपरिक धारा दिखाते हैं।

याद रखें: Transistor = TRANSfer + resISTOR: यह कमज़ोर संकेत को प्रबल संकेत में स्थानांतरित करता है। आविष्कारकों के आद्याक्षर **B-B-S** (बार्डीन, ब्रैटेन, शॉकले) **B**ell लैब्स में: **1947** में तीन B और एक S।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** ट्रांजिस्टर (1947) एकीकृत परिपथ (1958) नहीं है। शॉकले ट्रांजिस्टर के सह-आविष्कारक थे, IC के नहीं; IC किल्बी और नॉयस ने बनाया।

झटपट जाँच

1. ट्रांजिस्टर का आविष्कार किसने, कहाँ और कब किया?
2. ट्रांजिस्टर के दो कार्य?
3. एकीकृत परिपथ का आविष्कार किसने किया?

उत्तर: 1. बार्डीन, ब्रैटेन और शॉकले, बेल लैब्स में, 1947 · 2. प्रवर्धक और स्विच · 3. जैक किल्बी (1958) और रॉबर्ट नॉयस, अलग-अलग

लॉजिक गेट

AND: सभी निवेश 1

OR: कोई भी निवेश 1

NAND, NOR: सार्वत्रिक

XOR: निवेश भिन्न

डिजिटल परिपथ केवल दो मानों, **1 (ऑन/उच्च)** और **0 (ऑफ़/निम्न)**, के साथ जॉर्ज बूल (George Boole) के बीजगणित के अनुसार काम करते हैं। लॉजिक गेट (Logic gate) एक छोटा ट्रांजिस्टर परिपथ है जो एक निश्चित नियम के अनुसार निर्गत देता है।

सत्यता सारणी (निवेश A और B) ★★★

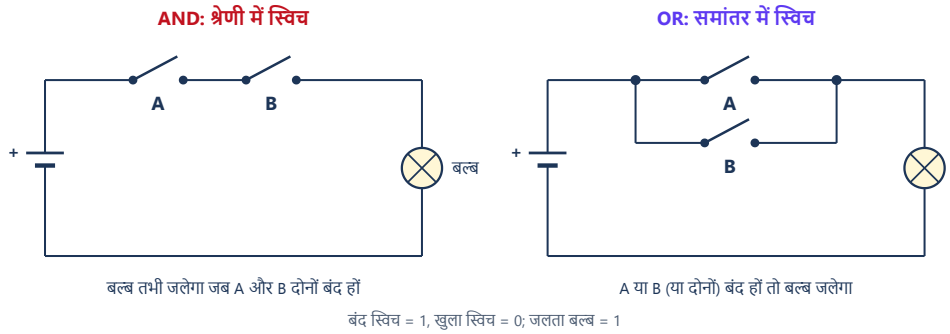
A	B	AND	OR	NAND	NOR	XOR	NOT A
0	0	0	0	1	1	0	1
0	1	0	1	1	0	1	1
1	0	0	1	1	0	1	0
1	1	1	1	0	0	0	0

★★ **AND**: निर्गत 1 केवल तब जब **सभी** निवेश 1 हों (श्रेणी में दो स्विच)। **OR**: निर्गत 1 यदि **कोई भी** निवेश 1 हो (समांतर में स्विच)। **NOT**: एक निवेश, उसे उलट देता है।

★★ **NAND = NOT + AND**, **NOR = NOT + OR**: ये AND और OR का उल्टा परिणाम देते हैं।

★★★ **सार्वत्रिक गेट (Universal gates)**: **NAND** और **NOR**। कोई भी अन्य गेट, और इसलिए कोई भी डिजिटल परिपथ, केवल NAND गेटों से या केवल NOR गेटों से बनाया जा सकता है।

★ **XOR** (एक्सक्लूसिव OR): निवेश **भिन्न** हों तो 1; द्विआधारी संख्याओं को जोड़ने में प्रयुक्त।



स्विच के रूप में गेट। AND श्रेणी में दो स्विच है: बल्ब तभी जलता है जब दोनों बंद हों। OR समांतर में दो स्विच है: कोई एक ही काफ़ी है। बंद = 1, खुला = 0।

याद रखें: AND सख़्त अभिभावक है: दोनों 'हाँ' चाहिए। **OR नरम अभिभावक है**: कोई एक 'हाँ' काफ़ी है। आगे **N** लगा दें तो बच्चा बागी हो जाता है: हर उत्तर उलट जाता है।

आसपास देखें: लिफ़्ट का दरवाज़ा तभी बंद होता है जब दरवाज़ा सेंसर AND ओवरलोड सेंसर दोनों साफ़ हों (AND)। कार की अंदर की बत्ती तब जलती है जब कोई भी (ANY) दरवाज़ा खुला हो (OR)।

झटपट जाँच

1. कौन-से दो गेट सार्वत्रिक हैं?
2. निवेश 1 और 0 पर AND गेट का निर्गत?
3. निवेश 1 और 0 पर OR गेट का निर्गत?

उत्तर: 1. NAND और NOR · 2. 0 · 3. 1

अतिचालकता

शून्य प्रतिरोध

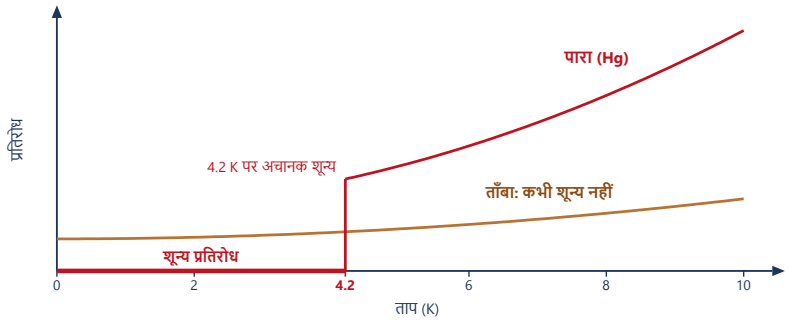
माइस्नर प्रभाव

पारा 4.2 K

YBCO 92 K

MRI, मैगलेव, LHC

कुछ पदार्थों को एक निश्चित **क्रांतिक ताप (Critical temperature)** से नीचे ठंडा करें तो उनका विद्युत प्रतिरोध पूरी तरह समाप्त हो जाता है; अतिचालक (Superconducting) वलय में शुरू की गई धारा वर्षों तक बहती रहती है। ये चुंबकीय क्षेत्रों को भी बाहर धकेलते हैं, इसलिए इनके ऊपर चुंबक तैर सकता है।



ताप के साथ प्रतिरोध (केवल आकार, प्रतिरोध पैमाने पर नहीं)। ठंडा होने पर पारे का प्रतिरोध घटता है, फिर 4.2 K पर अचानक ठीक शून्य हो जाता है; ताँबे का प्रतिरोध कितना भी ठंडा करें, शून्य नहीं होता।

★★★ **खोज**: हाइके कामरलिंग ओन्स (Heike Kamerlingh Onnes), **1911**: द्रव हीलियम से ठंडा करने पर पारे ने **4.2 K** (−269 °C) पर पूरा प्रतिरोध खो दिया (नोबेल 1913)।

★★★ **दो पहचान**: (1) क्रांतिक ताप से नीचे **शून्य विद्युत प्रतिरोध**; (2) **माइस्नर प्रभाव (Meissner effect)** (1933): पदार्थ **चुंबकीय क्षेत्र रेखाओं को बाहर निकाल देता है** (पूर्ण प्रतिचुंबकत्व), जिससे **चुंबकीय उत्तोलन (Magnetic levitation)** संभव होता है।

★★ **BCS सिद्धांत** (बार्डीन, कूपर, श्रीफ़र, 1957; नोबेल 1972): इलेक्ट्रॉन जोड़े बनाते हैं (कूपर युग्म) और बिना प्रकीर्णन के बहते हैं।

★★ **उच्च-ताप अतिचालक**: कॉपर-ऑक्साइड सिरैमिक (बेडनॉर्ज़ और मुलर, 1986; नोबेल 1987)। **YBCO** लगभग **92 K** पर काम करता है, जो सस्ते **द्रव नाइट्रोजन (77 K)** के क्वथनांक से ऊपर है।

★ **कोई भी पदार्थ कमरे के ताप और सामान्य दाब पर** अभी तक अतिचालक नहीं बना। ताँबा, चाँदी और सोना जैसे अच्छे सामान्य चालक परम शून्य के पास भी अतिचालक नहीं बनते।

माइस्नर प्रभाव: द्रव नाइट्रोजन (77 K) से ठंडे किए गए YBCO अतिचालक के ऊपर एक चुंबक तैरता है, क्योंकि अतिचालक चुंबकीय क्षेत्र को बाहर धकेल देता है। चित्र: Julien Bobroff and Frédéric Bouquet (LPS, Orsay), Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0

अतिचालकों के उपयोग ★★

उपयोग	अतिचालक क्यों
MRI स्कैनर	नायोबियम-टाइटेनियम कुंडलियों से बहुत प्रबल, स्थिर चुंबकीय क्षेत्र, बिना ऊर्जा हानि
मैगलेव ट्रेनें	प्रबल चुंबक बिना पहिया घर्षण के ट्रेन को उठाते और आगे धकेलते हैं (जैसे जापान की SCMaglev)
कण त्वरित्र और संलयन	सर्न का **LHC** और **ITER** टोकामक के चुंबक
SQUID	अत्यंत दुर्बल चुंबकीय क्षेत्रों (जैसे मस्तिष्क से) का पता लगाते हैं
बिजली केबल, फ़ॉल्ट-करंट लिमिटर	लगभग बिना हानि के धारा ले जाते हैं
क्वांटम कंप्यूटर	अतिचालक परिपथ क्यूबिट बनाते हैं

⚠ **परीक्षा में सावधान:** अतिचालक केवल 'बहुत अच्छा चालक' नहीं है: इसका प्रतिरोध **ठीक शून्य** होता है **और** यह चुंबकीय क्षेत्र बाहर निकालता है। यह केवल अपने क्रांतिक ताप से **नीचे** काम करता है, जो सभी ज्ञात पदार्थों के लिए सामान्य दाब पर कमरे के ताप से बहुत नीचे है।

☑ **झटपट जाँच**

1. अतिचालकता किसने, किस धातु में और किस ताप पर खोजी?
2. अतिचालक की दो पहचान?
3. YBCO पारे से अधिक सुविधाजनक क्यों है?

उत्तर: 1. कामरलिंग ओन्स, 1911: पारा, 4.2 K पर · 2. शून्य प्रतिरोध, और माइस्नर प्रभाव (चुंबकीय क्षेत्र बाहर धकेला जाता है) · 3. यह लगभग 92 K पर अतिचालक है, सस्ती द्रव नाइट्रोजन के 77 K से ऊपर

डिस्प्ले और टचस्क्रीन

LCD को बैकलाइट चाहिए

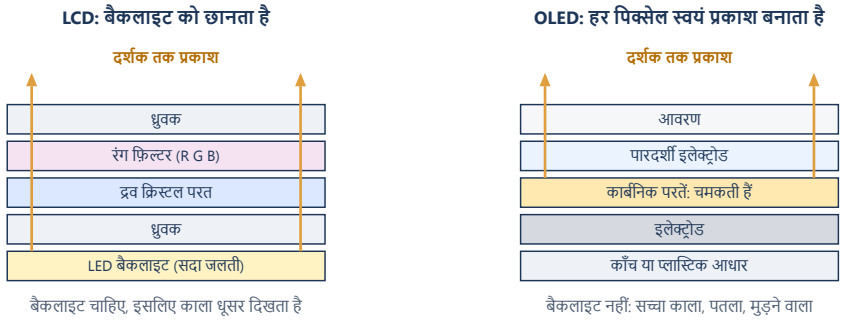
'LED TV' = LCD

OLED: स्वयं-प्रकाशित पिक्सेल

लचीला, रोल होने वाला

धारितीय: उँगली का आवेश

स्क्रीन या तो हर पिक्सेल पर **स्वयं प्रकाश बनाती है** (OLED, प्लाज़्मा, पुराना CRT) या **बैकलाइट को छानती है** (LCD)। स्वयं-प्रकाशित पिक्सेल पूरी तरह बंद हो सकते हैं, जिससे सच्चा काला रंग मिलता है और पतली, मुड़ने वाली स्क्रीन बन सकती हैं।



LCD और OLED का अनुप्रस्थ काट (परतों की मोटाई पैमाने पर नहीं)। LCD की बैकलाइट सदा जलती है और द्रव क्रिस्टल उसके प्रकाश को केवल रोकता या जाने देता है; OLED की कार्बनिक परतें स्वयं चमकती हैं, इसलिए उसे बैकलाइट नहीं चाहिए।

डिस्प्ले तकनीकें ★★★

प्रकार	कैसे काम करता है	बैकलाइट?	गुण	कमियाँ
CRT (पुराना टीवी)	इलेक्ट्रॉन पुंज फॉस्फर बिंदुओं से टकराता है	नहीं	अच्छे रंग	भारी, बड़ा
LCD	**द्रव क्रिस्टल (Liquid crystals)** ध्रुवित प्रकाश को मोड़कर बैकलाइट को रोकते या जाने देते हैं	**हाँ**	सस्ता, टिकाऊ	सच्चे काले के बजाय धूसर; कठोर; संकरा दृश्य कोण
'LED TV'	**LED बैकलाइट से प्रकाशित LCD**	हाँ (LED)	पतला, अधिक चमकीला, दक्ष	फिर भी LCD ही है
QLED	शुद्ध रंगों के लिए **क्वांटम-डॉट** परत वाला LCD	हाँ	चमकीला, जीवंत	फिर भी बैकलाइट चाहिए
OLED	धारा बहने पर हर पिक्सेल पर **कार्बनिक** यौगिक चमकते हैं	**नहीं** (स्व-उत्सर्जी)	सच्चा काला, बहुत पतला, चौड़ा कोण, **लचीली, मोड़ी जा सकने वाली, पारदर्शी** स्क्रीन	महँगा; बर्न-इन का जोखिम

★★★ **LCD पर OLED के लाभ**: इसे **लचीले प्लास्टिक** पर बनाया जा सकता है, इसलिए **रोल होने वाले डिस्प्ले** (कपड़ों में भी) और **पारदर्शी डिस्प्ले** संभव हैं; फ़ोन (AMOLED), स्मार्टवॉच और फ़ोल्डेबल में प्रयुक्त।

★ **क्वांटम डॉट (Quantum dots)** (छोटे अर्धचालक क्रिस्टल जिनका रंग आकार पर निर्भर करता है) को 2023 का रसायन नोबेल मिला।

★ **ई-इंक (E-ink)** (ई-रीडर) कागज़ की तरह कमरे का प्रकाश परावर्तित करता है और केवल पेज बदलने पर बिजली लेता है।

टचस्क्रीन ★★

	प्रतिरोधी (Resistive)	धारितीय (Capacitive)
क्या महसूस करता है	**दाब**: दो लचीली चालक परतें छूती हैं	उँगली का **विद्युत आवेश** एक पारदर्शी चालक लेप (इंडियम टिन ऑक्साइड) का क्षेत्र बदल देता है
किससे काम करता है	उँगली, स्टाइलस, दस्ताने वाला हाथ, नाखून	नंगी उँगली या विशेष स्टाइलस; सामान्य दस्ताने नहीं
मल्टी-टच	प्रायः नहीं	हाँ (पिंच-ज़ूम)
कहाँ दिखता है	पुराने ATM, POS मशीनें, फ़ैक्टरी पैनल	स्मार्टफ़ोन, टैबलेट

⚠ **परीक्षा में सावधान:** अधिकतर 'LED TV' वास्तव में LED बैकलाइट वाले **LCD** हैं; केवल **OLED** (और माइक्रो-LED) पिक्सेल स्वयं प्रकाश देते हैं। धारितीय फ़ोन स्क्रीन दस्ताने वाली उँगली को अनदेखा करती है क्योंकि कपड़ा चालक नहीं है।

☑ झटपट जाँच

1. किसे बैकलाइट चाहिए: LCD या OLED?
2. OLED स्क्रीन रोल होने वाली या पारदर्शी क्यों बन सकती हैं?
3. धारितीय स्क्रीन दस्ताने वाली उँगली को क्यों नहीं पहचानती?

उत्तर: 1. LCD · 2. हर पिक्सेल स्वयं प्रकाश बनाता है, और इसे लचीले प्लास्टिक पर बनाया जा सकता है · 3. यह उँगली का विद्युत आवेश महसूस करती है, और कपड़ा चालक नहीं है

प्रकाशीय तंतु संचार

पूर्ण आंतरिक परावर्तन

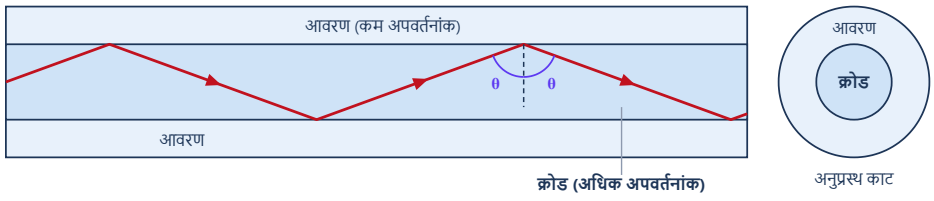
क्रोड n > आवरण n

अवरक्त प्रकाश

एन.एस. कपानी

चार्ल्स काओ

प्रकाशीय तंतु (Optical fibre) बाल जितना पतला, बहुत शुद्ध काँच का धागा है। इसमें घुसा प्रकाश दीवार से बड़े कोण पर बार-बार टकराता है और हर बार उसका **पूर्ण आंतरिक परावर्तन (Total internal reflection)** होता है, इसलिए वह मोड़ों के बावजूद बहुत कम हानि के साथ किलोमीटरों तक चलता है।



हर टक्कर पर आपतन कोण θ > क्रांतिक कोण → पूर्ण आंतरिक परावर्तन

प्रकाशीय तंतु में प्रकाश हर बार क्रोड–आवरण सीमा से क्रांतिक कोण से अधिक कोण पर टकराता है, इसलिए बार-बार पूर्ण परावर्तित होता है। पैमाने पर नहीं: क्रोड असली तंतु से कहीं चौड़ा और टक्करें कहीं अधिक तीखी बनाई गई हैं।

★★★ **सिद्धांत**: **पूर्ण आंतरिक परावर्तन**। भीतरी **क्रोड (core)** का **अपवर्तनांक** चारों ओर के **आवरण (cladding)** से **अधिक** होता है; क्रांतिक कोण से अधिक कोण पर सीमा से टकराने वाला प्रकाश पूरा परावर्तित होता है।

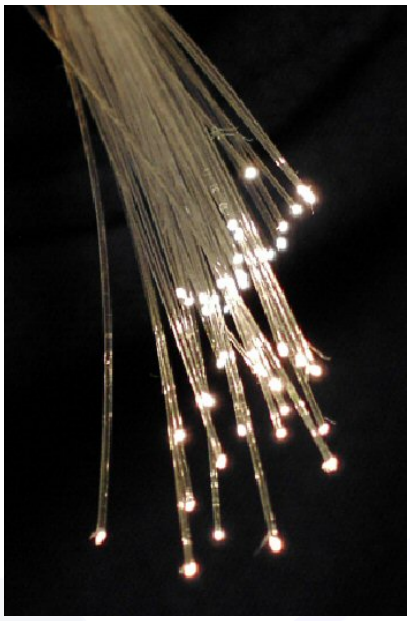
★★ **पदार्थ और प्रकाश**: सिलिका काँच (छोटी दूरी के लिए प्लास्टिक); लंबी दूरी के लिंक लेज़र या LED से **अवरक्त** प्रकाश (लगभग 1310 और 1550 nm) उपयोग करते हैं।

★★★ **लाभ**: विशाल **बैंडविड्थ**, लंबी दूरी पर बहुत कम हानि, **विद्युतचुंबकीय व्यतिकरण** और बिजली गिरने से **अप्रभावित**, टैप करना कठिन (सुरक्षित), पतला और हल्का, कोई क्रॉस-टॉक नहीं, चिंगारी का जोखिम नहीं।

★★ **उपयोग**: इंटरनेट की रीढ़ और **समुद्र के नीचे के केबल**, 4G/5G टावर, **भारतनेट (BharatNet)** (ग्राम पंचायतों तक ब्रॉडबैंड), चिकित्सा **एंडोस्कोप**, सजावटी लैंप।

★★ **नरिंदर सिंह कपानी (Narinder Singh Kapany)** (मोगा, पंजाब में जन्मे) ने 'फ़ाइबर ऑप्टिक्स' शब्द गढ़ा (1960) और उन्हें फ़ाइबर ऑप्टिक्स का जनक कहा जाता है; **चार्ल्स काओ (Charles Kao)** ने दिखाया कि कम-हानि वाले काँच के तंतु संकेत ले जा सकते हैं (नोबेल 2009)।

आसपास देखें: बोतल से गिरती पानी की धार में टॉर्च चमकाएँ: प्रकाश मुड़ी हुई धार के साथ-साथ चलता है। यही पूर्ण आंतरिक परावर्तन है, वही युक्ति जो तंतु में होती है।



दूसरे सिरे से प्रकाशित काँच के तंतुओं का गुच्छा: प्रकाश केवल कटे सिरों से निकलता है, क्योंकि पूर्ण आंतरिक परावर्तन उसे हर धागे के भीतर रखता है। चित्र: BigRiz, Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0

⚠ **परीक्षा में सावधान:** तंतु में संकेत **प्रकाश** है, विद्युत धारा नहीं, और सिद्धांत **पूर्ण आंतरिक परावर्तन** है, सामान्य अपवर्तन या विवर्तन नहीं।

झटपट जाँच

1. प्रकाशीय तंतु किस सिद्धांत पर काम करते हैं?
2. किसका अपवर्तनांक अधिक है: क्रोड या आवरण?
3. फ़ाइबर ऑप्टिक्स का जनक किसे कहा जाता है?

उत्तर: 1. पूर्ण आंतरिक परावर्तन · 2. क्रोड का · 3. नरिंदर सिंह कपानी

मेमोरी और भंडारण

वाष्पशील: RAM

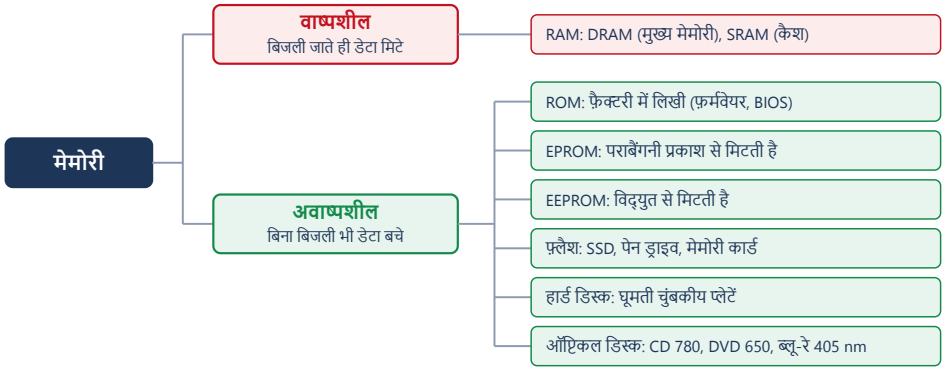
अवाष्पशील: ROM, फ़्लैश

EPROM: पराबैंगनी से मिटे

SSD = फ़्लैश

ब्लू-रे 405 nm

कंप्यूटर को तेज़, मिटाई जा सकने वाली कार्य-जगह (**RAM**) और बिजली जाने पर भी बचा रहने वाला स्थायी भंडारण (**ROM**, फ़्लैश, डिस्क) चाहिए। मुख्य शब्द है **वाष्पशील (Volatile)**: बिजली जाते ही डेटा मिट जाता है।



मेमोरी को उसी एक प्रश्न से छाँटें जो परीक्षक पूछते हैं: बिजली जाने पर डेटा मिट जाता है (वाष्पशील) या बचा रहता है (अवाष्पशील)?

मेमोरी के प्रकार ★★

प्रकार	वाष्पशील?	टिप्पणी	उदाहरण उपयोग
RAM (रैंडम ऐक्सेस मेमोरी)	**हाँ**	तेज़ कार्य-मेमोरी; DRAM (सस्ती, मुख्य मेमोरी) और SRAM (अधिक तेज़, कैश)	अभी खुले प्रोग्राम
ROM (रीड-ओनली मेमोरी)	नहीं	फ़ैक्टरी में लिखी जाती है	फ़र्मवेयर, BIOS
EPROM	नहीं	**पराबैंगनी** प्रकाश से मिटाकर दोबारा लिखी जाती है	पुराने फ़र्मवेयर चिप
EEPROM	नहीं	**विद्युत** से मिटाई जाती है	उपकरणों की सेटिंग
फ़्लैश मेमोरी	नहीं	एक तेज़ EEPROM; कोई गतिशील भाग नहीं	**SSD**, पेन ड्राइव, मेमोरी कार्ड, फ़ोन स्टोरेज
हार्ड डिस्क (HDD)	नहीं	घूमती चुंबकीय प्लेटें; प्रति GB सस्ती, धीमी	बड़ा भंडारण
ऑप्टिकल डिस्क	नहीं	लेज़र गड्ढों को पढ़ता है: CD 780 nm (अवरक्त), DVD 650 nm (लाल), **ब्लू-रे 405 nm (नीला-बैंगनी)**	फ़िल्में, अभिलेखागार

★ **1 बाइट = 8 बिट**; कंप्यूटर मेमोरी में 1 KB = 1024 बाइट, फिर MB, GB, TB।

★ **SSD बनाम HDD**: SSD (फ़्लैश) तेज़, शांत और झटका-रोधी है क्योंकि इसमें कुछ भी नहीं घूमता।

याद रखें: RAM = 'Remembers As long as Mains is on' (जब तक बिजली है, तभी तक याद)। ब्लू-रे अधिक संग्रह करता है क्योंकि **नीले** प्रकाश की **तरंगदैर्ध्य छोटी** होती है, इसलिए वह छोटे गड्ढे पढ़ सकता है।

⚠ परीक्षा में सावधान: RAM **वाष्पशील** है, ROM और फ़्लैश नहीं। SSD फ़्लैश मेमोरी है, तेज़ हार्ड डिस्क नहीं।

☑ झटपट जाँच

1. बिजली जाने पर कौन-सी मेमोरी अपना डेटा खो देती है?
2. EPROM को कैसे मिटाया जाता है?
3. ब्लू-रे डिस्क DVD से अधिक क्यों रखती है?

उत्तर: 1. RAM (वाष्पशील) · 2. पराबैंगनी प्रकाश से · 3. इसके नीले-बैंगनी लेज़र (405 nm) की तरंगदैर्ध्य छोटी है, इसलिए यह छोटे गड्ढे पढ़ता है

ग्राफ़ीन और 2D पदार्थ

एक परमाणु मोटा

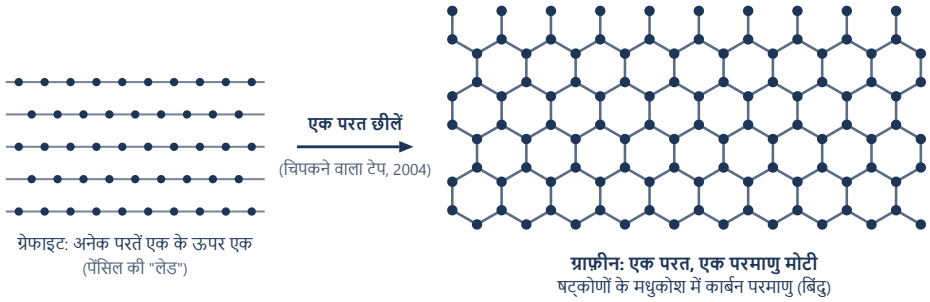
कार्बन का मधुकोश

गाइम, नोवोसेलोव 2010

स्टील से 200 गुना

बैंड अंतराल नहीं

ग्रेफाइट (पेंसिल की 'लेड') को छीलकर कार्बन परमाणुओं की एक अकेली परत तक ले आएँ तो **ग्राफ़ीन (Graphene)** मिलता है, पहला सचमुच द्वि-आयामी पदार्थ। एक परमाणु मोटा होने से इसमें विचित्र, रिकॉर्ड तोड़ने वाले गुण आते हैं।



ग्रेफाइट कार्बन की अनेक परतों का ढेर है; एक परत छील लें तो ग्राफ़ीन मिलता है, एक परमाणु मोटा। परत का हर बंध बराबर लंबा है, इसलिए षट्कोण नियमित हैं।

★★★ **ग्राफ़ीन** = **षट्कोणीय (मधुकोश) जालक में कार्बन परमाणुओं** की एक अकेली परत; हीरा, ग्रेफाइट, फुलरीन और कार्बन नैनोट्यूब की तरह कार्बन का एक अपरूप।

★★ **खोज**: आंद्रे गाइम (Andre Geim) और कॉन्स्टेंटिन नोवोसेलोव (Konstantin Novoselov) (मैनचेस्टर विश्वविद्यालय) ने 2004 में **चिपकने वाले टेप** से इसे ग्रेफाइट से अलग किया; भौतिकी नोबेल **2010**।

★★★ **गुण**: ज्ञात सबसे पतला पदार्थ, समान मोटाई के **स्टील से लगभग 200 गुना मज़बूत**, **ऊष्मा और बिजली** का उत्कृष्ट चालक, लगभग **पारदर्शी** (लगभग 2.3% प्रकाश सोखता है), लचीला और गैसों के लिए अभेद्य।

★★ **विकसित हो रहे उपयोग**: लचीली इलेक्ट्रॉनिकी और टचस्क्रीन, तेज़ बैटरियाँ और सुपरकैपेसिटर, संवेदक, जल शोधन झिल्लियाँ, मज़बूत हल्के मिश्रित पदार्थ।

★ **अन्य 2D पदार्थ**: षट्कोणीय बोरॉन नाइट्राइड ('सफ़ेद ग्राफ़ीन', एक कुचालक), **मॉलिब्डेनम डाइसल्फ़ाइड** (MoS_2, बैंड अंतराल वाला अर्धचालक), फॉस्फोरीन।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** ग्राफ़ीन में **कोई बैंड अंतराल नहीं** होता, इसलिए अकेले यह सिलिकॉन की तरह बंद (switch off) नहीं हो सकता; इसीलिए ट्रांजिस्टरों के लिए MoS_2 और अन्य 2D अर्धचालकों का अध्ययन होता है। ग्राफ़ीन कार्बन है, सिलिकॉन नहीं।

☑ झटपट जाँच

1. ग्राफ़ीन किन परमाणुओं की, किस पैटर्न वाली एक परत है?
2. ग्राफ़ीन पहली बार कैसे और किसने अलग किया?
3. अकेला ग्राफ़ीन ट्रांजिस्टरों में सिलिकॉन की जगह क्यों नहीं ले सकता?

उत्तर: 1. कार्बन परमाणुओं की, षट्कोणीय (मधुकोश) जालक में · 2. गाइम और नोवोसेलोव ने चिपकने वाले टेप से ग्रेफाइट से छीलकर (2004; नोबेल 2010) · 3. इसमें बैंड अंतराल नहीं है, इसलिए यह बंद (ऑफ़) नहीं हो सकता

क्वांटम कंप्यूटिंग और क्यूबिट

अध्यारोपण

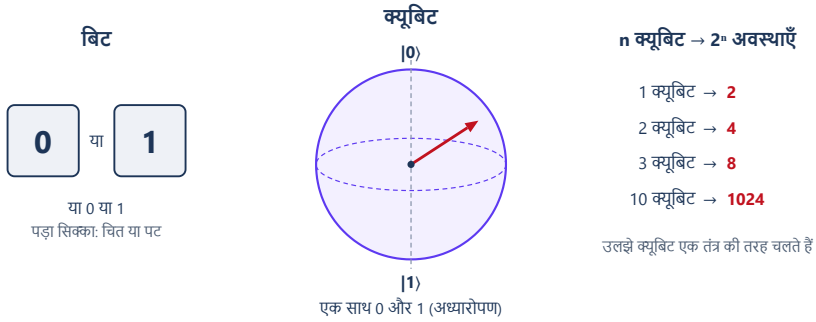
उलझाव

n क्यूबिट → 2^n अवस्थाएँ

विसंबद्धता

सामान्य बिट या तो 0 होता है या 1। एक **क्यूबिट (Qubit)** एक साथ 0 और 1 के **अध्यारोपण (Superposition)** में रह सकता है, और क्यूबिट **उलझे (Entangled)** हो सकते हैं ताकि वे एक ही तंत्र की तरह व्यवहार करें। इससे कुछ समस्याएँ किसी भी सामान्य कंप्यूटर से कहीं तेज़ हल हो सकती हैं।

NQM: DST



बिट या तो 0 है या 1। क्यूबिट एक साथ दोनों का मिश्रण हो सकता है, जिसे |0⟩ और |1⟩ के बीच गोले पर कहीं भी इशारा करते तीर से दिखाते हैं। हर अतिरिक्त क्यूबिट एक साथ रखी अवस्थाओं की संख्या दोगुनी कर देता है।

★★★ **क्यूबिट**: अध्यारोपण + उलझाव। **n क्यूबिट** एक साथ **2^n** अवस्थाएँ दर्शा सकते हैं (10 क्यूबिट → 1024)।

★★ **समस्या: विसंबद्धता (Decoherence)**: ऊष्मा, कंपन या भटके क्षेत्र नाज़ुक क्वांटम अवस्था नष्ट कर देते हैं, इसलिए अधिकतर क्यूबिट **परम शून्य** के पास (केल्विन के हज़ारवें भाग) रखे और परिरक्षित किए जाते हैं।

★★ **क्यूबिट के प्रकार**: अतिचालक परिपथ, फँसाए गए आयन, फोटॉन, उदासीन परमाणु।

★★ **उपयोग**: दवा और पदार्थ डिज़ाइन, इष्टतमीकरण, मौसम और जलवायु मॉडल। एक बड़ा क्वांटम कंप्यूटर आज का सार्वजनिक-कुंजी कूटलेखन तोड़ सकता है, इसलिए सुरक्षित लिंक के लिए **पोस्ट-क्वांटम क्रिप्टोग्राफी (Post-quantum cryptography)** और **क्वांटम कुंजी वितरण (QKD)**।

★ **नोबेल**: 2022 (आस्पे, क्लॉज़र, ज़ाइलिंगर) उलझे फोटॉनों के प्रयोगों के लिए; 2025 (क्लार्क, देवोरे, मार्टिनिस) विद्युत परिपथों में क्वांटम सुरंगन के लिए, जो अतिचालक क्यूबिट का आधार है।

★★★ **राष्ट्रीय क्वांटम मिशन (National Quantum Mission, NQM)**: अप्रैल 2023 में स्वीकृत, 2023–24 से 2030–31 के लिए **₹6,003.65 करोड़**, संचालन **विज्ञान और प्रौद्योगिकी विभाग** द्वारा। लक्ष्य: **8 वर्षों में 50–1000 भौतिक क्यूबिट** वाले क्वांटम कंप्यूटर, **2000 km** तक उपग्रह-आधारित सुरक्षित क्वांटम संचार, क्वांटम संवेदक और परमाणु घड़ियाँ, क्वांटम पदार्थ।

★★ **चार विषयगत हब (T-Hubs)**: **IISc बेंगलुरु** (क्वांटम कंप्यूटिंग), C-DOT के साथ **IIT मद्रास** (संचार), **IIT बॉम्बे** (संवेदन और मापिकी), **IIT दिल्ली** (पदार्थ और उपकरण)। 2026 में सरकार ने बताया कि तीन वर्षों में मिशन के आधे से अधिक लक्ष्य पूरे हो गए, जिनमें 1,000 km से अधिक क्वांटम-सुरक्षित संचार लिंक शामिल हैं।

याद रखें: बिट **मेज़ पर पड़ा सिक्का** है (चित या पट); क्यूबिट **घूमता सिक्का** है (देखने तक दोनों)। उलझे क्यूबिट **जुड़वाँ सिक्के** हैं: एक को रोकें तो दूसरे का हाल तुरंत पता चल जाता है।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** क्वांटम कंप्यूटर रोज़मर्रा के काम के लिए लैपटॉप की जगह नहीं लेंगे; वे केवल कुछ विशेष समस्याओं को तेज़ करते हैं। भारत का NQM **DST** के अधीन है, ISRO या MeitY के नहीं।

झटपट जाँच

1. 10 क्यूबिट एक साथ कितनी अवस्थाएँ दर्शा सकते हैं?
2. भारत का राष्ट्रीय क्वांटम मिशन कौन-सा विभाग चलाता है?
3. अधिकतर क्यूबिट परम शून्य के पास क्यों रखे जाते हैं?

उत्तर: 1. 1024 (2 को 10 बार गुणा) · 2. विज्ञान और प्रौद्योगिकी विभाग (DST) · 3. ऊष्मा और भटके क्षेत्र नाज़ुक क्वांटम अवस्था नष्ट कर देते हैं (विसंबद्धता)

भारत में चिप निर्माण

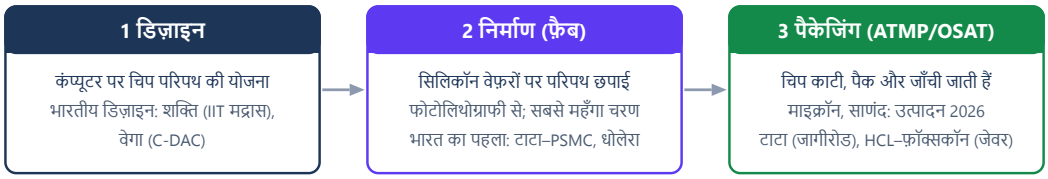
फ़ैब बनाम ATMP/OSAT

ISM: 2021, MeitY

टाटा–PSMC, धोलेरा

माइक्रॉन, साणंद

एक चिप दो बड़े चरणों से गुज़रती है: **निर्माण (Fabrication)** (एक 'फ़ैब' सिलिकॉन वेफ़रों पर परिपथ छापता है, सबसे महँगा चरण) और **संयोजन, परीक्षण और पैकेजिंग** (ATMP/OSAT इकाइयाँ चिपों को काटती, पैक करती और जाँचती हैं)। भारत ने पैकेजिंग इकाइयों और अपने पहले वाणिज्यिक फ़ैब से शुरुआत की।



भारत सेमीकंडक्टर मिशन (दिसंबर 2021, MeitY): 2026 के मध्य तक 12 परियोजनाएँ स्वीकृत
1 सिलिकॉन फ़ैब, 2 यौगिक-अर्धचालक फ़ैब, 9 पैकेजिंग (ATMP/OSAT) इकाइयाँ

चिप की यात्रा: डिज़ाइन, फिर सिलिकॉन वेफ़रों पर निर्माण (सबसे महँगा चरण), फिर संयोजन, परीक्षण और पैकेजिंग। भारत ने पैकेजिंग संयंत्रों से शुरुआत की है और अपना पहला वाणिज्यिक फ़ैब बना रहा है।

★★ **भारत सेमीकंडक्टर मिशन (India Semiconductor Mission, ISM)**: दिसंबर 2021 में ₹76,000 करोड़ के सेमीकॉन इंडिया कार्यक्रम के अंतर्गत, इलेक्ट्रॉनिकी और सूचना प्रौद्योगिकी मंत्रालय (MeitY) के भीतर शुरू।

★★ **2026 के मध्य तक स्वीकृत**: छह राज्यों में लगभग **₹1.64 लाख करोड़** की **12 परियोजनाएँ**: एक सिलिकॉन फ़ैब, दो यौगिक-अर्धचालक फ़ैब और नौ पैकेजिंग (ATMP/OSAT) इकाइयाँ।

★★★ **पहला वाणिज्यिक फ़ैब**: ताइवान की PSMC के साथ **टाटा इलेक्ट्रॉनिक्स**, **धोलेरा, गुजरात** में (निर्माणाधीन)। पैकेजिंग इकाइयों में टाटा (जागीरोड, असम), CG पावर–रेनेसास और केन्स (साणंद, गुजरात) तथा **जेवर (उत्तर प्रदेश)** के पास एक HCL–फ़ॉक्सकॉन इकाई शामिल हैं।

★★★ **साणंद (गुजरात) में माइक्रॉन का ATMP संयंत्र**, ISM के अंतर्गत स्वीकृत पहली परियोजना, का उद्घाटन **28 फ़रवरी 2026** को हुआ और इसने मेमोरी मॉड्यूल का वाणिज्यिक उत्पादन शुरू किया; साणंद की अन्य पैकेजिंग इकाइयाँ 2026 के दौरान आईं।

★ केंद्रीय बजट 2026–27 में घोषित और 2026 में **₹1,27,500 करोड़** के परिव्यय के साथ स्वीकृत **ISM 2.0** चिप बनाने के उपकरणों, पदार्थों, भारतीय चिप डिज़ाइनों और आपूर्ति शृंखलाओं पर केंद्रित है।

⚠ **परीक्षा में सावधान: OSAT/ATMP फ़ैब नहीं है**: पैकेजिंग संयंत्र स्वयं सिलिकॉन वेफ़र नहीं बनाते। भारत का पहला वाणिज्यिक सिलिकॉन फ़ैब **धोलेरा** में टाटा–PSMC संयंत्र है, माइक्रॉन का साणंद संयंत्र नहीं।

☑ झटपट जाँच

1. भारत का पहला वाणिज्यिक सिलिकॉन फ़ैब कौन-सा है, और कहाँ?
2. क्या माइक्रॉन का साणंद संयंत्र एक फ़ैब है?
3. भारत सेमीकंडक्टर मिशन किस मंत्रालय के अधीन है?

उत्तर: 1. PSMC के साथ टाटा इलेक्ट्रॉनिक्स, धोलेरा (गुजरात) में · 2. नहीं: यह संयोजन, परीक्षण और पैकेजिंग (ATMP) संयंत्र है · 3. इलेक्ट्रॉनिकी और सूचना प्रौद्योगिकी मंत्रालय (MeitY)

पिछले वर्षों में पूछे गए प्रश्न (6)

UPSC 2011 सीएफएल (CFL) तथा एलइडी (LED) लैंप में क्या अंतर है ?
1. प्रकाश उत्पन्न करने के लिए सीएफएल पारा-वाष्प और संदीपक का प्रयोग करता है, जबकि एलइडी लैंप अर्द्धचालक पदार्थों का प्रयोग करता है ।
2. सीएफएल की औसत जीवन-अवधि एलईडी लैंप से बहुत अधिक होती है ।
3. एलईडी लैंप की तुलना में सीएफएल कम ऊर्जा-सक्षम है ।
उपर्युक्त में से कौन-सा/कौन-से कथन सही है/हैं ?
(a) केवल 1 (b) केवल 2 और 3 (c) केवल 1 और 3 (d) 1, 2 और 3
उत्तर: (c) केवल 1 और 3. सीएफएल पारा-वाष्प और फॉस्फर का, जबकि एलईडी अर्धचालक संधि का उपयोग करता है; एलईडी लैंप सीएफएल से अधिक टिकाऊ और अधिक ऊर्जा-दक्ष होते हैं

UPSC 2017 कार्बनिक प्रकाश उत्सर्जी डायोड (ऑर्गेनिक लाइट एमिटिंग डायोड/OLED) का उपयोग बहुत से साधनों में अंकीय प्रदर्श (डिजिटल डिस्प्ले) सर्जित करने के लिए किया जाता है । द्रव क्रिस्टल प्रदर्शों की तुलना में OLED प्रदर्श किस प्रकार लाभकारी हैं ?
1. OLED प्रदर्श नम्य प्लास्टिक अवस्तरों पर संविरचित किए जा सकते हैं ।
2. OLED के प्रयोग से, वस्त्र में अंतःस्थापित उपरिवेल्लनीय प्रदर्श (रोल्ड-अप डिस्प्ले) बनाए जा सकते हैं ।
3. OLED के प्रयोग से, पारदर्शी प्रदर्श संभव हैं ।
नीचे दिए गए कूट का प्रयोग कर सही उत्तर चुनिए :
(a) केवल 1 और 3 (b) केवल 2 (c) 1, 2 और 3 (d) उपर्युक्त कथनों में से कोई भी सही नहीं है
उत्तर: (c) 1, 2 और 3. OLED पिक्सेल स्वयं प्रकाश उत्सर्जित करते हैं, इसलिए उन्हें बैकलाइट की ज़रूरत नहीं होती; बैकलाइट वाले LCD के विपरीत, OLED से लचीले, लपेटे जा सकने वाले और पारदर्शी डिस्प्ले बनते हैं

BPSC 66th गर्म करने पर एक अर्धचालक का प्रतिरोध
(a) बढ़ता है (b) घटता है (c) वही रहता है (d) पहले बढ़ता है फिर घटता है (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं/उपर्युक्त में से एक से अधिक
उत्तर: (b) घटता है. ताप बढ़ने पर अर्धचालक का प्रतिरोध घटता है

UPSC 2021 सड़क प्रकाश व्यवस्था के संदर्भ में, सोडियम बत्तियाँ, एल० ई० डी० बत्तियों से किस तरह भिन्न हैं?
1. सोडियम बत्तियाँ प्रकाश को 360 डिग्री में उत्पन्न करती हैं, किन्तु एल० ई० डी० बत्तियों में ऐसा नहीं होता है।
2. सड़क की बत्तियों के रूप में, एल० ई० डी० बत्तियों की तुलना में सोडियम बत्तियों की उपयोगिता अवधि अधिक होती है।
3. सोडियम बत्ती के दृश्य प्रकाश का स्पेक्ट्रम लगभग एकवर्णी होता है, जबकि एल० ई० डी० बत्तियाँ सड़क प्रकाश व्यवस्था में सार्थक वर्ण सुविधाएँ (कलर अडवैंटेज) प्रदान करती हैं।
नीचे दिए गए कूट का प्रयोग कर सही उत्तर चुनिए।
(a) केवल 3 (b) केवल 2 (c) केवल 1 और 3 (d) 1, 2 और 3
उत्तर: (c) केवल 1 और 3. सोडियम वाष्प लैंप सभी दिशाओं में लगभग एकवर्णी पीला प्रकाश देते हैं; LED सड़क बत्तियाँ दिशात्मक, अधिक टिकाऊ होती हैं और रंग बेहतर दिखाती हैं

BPSC 68th निम्नलिखित में से कौन-सा फोटो-इलेक्ट्रिक उपकरण डिजिटल अनुप्रयोगों के लिए सबसे उपयुक्त है?
(a) फोटो-वोल्टिक सेल (b) फोटो-उत्सर्जक (c) फोटो-डायोड (d) उपर्युक्त में से एक से अधिक (e) उपर्युक्त में से कोई नहीं
उत्तर: (c) फोटो-डायोड. पश्च अभिनत (रिवर्स बायस) फोटोडायोड प्रकाश पर तेज़ी से चालू-बंद होने वाली धारा देता है; फोटोवोल्टिक (सौर) सेल प्रकाश को विद्युत शक्ति में बदलने के लिए बनाया जाता है

BPSC 69th फोटोइलेक्ट्रिक सेल एक ऐसा उपकरण है, जो कि
(a) प्रकाश ऊर्जा को विद्युत् ऊर्जा में बदलता है (b) विद्युत् ऊर्जा को प्रकाश ऊर्जा में बदलता है (c) प्रकाश ऊर्जा का भंडारण करता है
(d) उपर्युक्त में से कोई नहीं
उत्तर: (a) प्रकाश ऊर्जा को विद्युत् ऊर्जा में बदलता है. प्रकाश-विद्युत सेल प्रकाश ऊर्जा को विद्युत ऊर्जा में बदलता है

स्वयं को परखें (12)

1. शुद्ध सिलिकॉन में थोड़ी मात्रा में आर्सेनिक का अपमिश्रण करने से बनता है
(a) होल बहुसंख्यक वाहक वाला p-प्रकार अर्धचालक (b) इलेक्ट्रॉन बहुसंख्यक वाहक वाला n-प्रकार अर्धचालक (c) एक नैज अर्धचालक
(d) एक कुचालक

2. प्रत्यावर्ती धारा को दिष्ट धारा में बदलने वाला उपकरण है
(a) इन्वर्टर (b) ट्रांसफॉर्मर (c) दिष्टकारी (d) दोलित्र

3. किस युग्म में सार्वत्रिक लॉजिक गेट हैं?
(a) NAND और NOR (b) AND और OR (c) NOT और XOR (d) OR और NOT

4. माइस्नर प्रभाव का संबंध है
(a) गर्म करने पर अर्धचालक के प्रतिरोध में कमी से (b) अतिचालक से चुंबकीय क्षेत्र के निष्कासन से (c) अग्र अभिनत संधि से प्रकाश उत्सर्जन से (d) प्रकाश द्वारा धातु से इलेक्ट्रॉनों के निकलने से

5. LED से निकलने वाले प्रकाश का रंग मुख्यतः निर्भर करता है
(a) आपूर्ति वोल्टता पर (b) LED चिप के आकार पर (c) अर्धचालक के बैंड अंतराल पर (d) उसके तारों की लंबाई पर

6. विचार कीजिए: 1. OLED स्क्रीन को बैकलाइट चाहिए। 2. सामान्य 'LED TV' LED से प्रकाशित LCD होता है। 3. धारितीय टचस्क्रीन उँगली के विद्युत आवेश को महसूस करती है। कौन-से सही हैं?
(a) केवल 1 (b) केवल 1 और 3 (c) केवल 2 (d) केवल 2 और 3

7. प्रकाशीय तंतु किस सिद्धांत से संकेत ले जाते हैं?
(a) पूर्ण आंतरिक परावर्तन (b) विवर्तन (c) वर्ण-विक्षेपण (d) ध्रुवण

8. बिजली बंद करने पर कौन-सी मेमोरी अपना डेटा खो देती है?
(a) ROM (b) SSD की फ़्लैश मेमोरी (c) RAM (d) EPROM

9. ग्राफ़ीन है
(a) चिपों में प्रयुक्त सिलिकॉन का एक अपरूप (b) मधुकोश जालक में व्यवस्थित कार्बन परमाणुओं की एक अकेली परत
(c) कमरे के ताप पर अतिचालक (d) OLED स्क्रीन में प्रयुक्त एक कार्बनिक रंजक

10. निम्नलिखित कथनों पर विचार कीजिए:
1. गरम करने पर अर्धचालक का प्रतिरोध घटता है।
2. p-प्रकार के अर्धचालक में होल बहुसंख्यक वाहक होते हैं, इसलिए क्रिस्टल पर कुल धनात्मक आवेश होता है।
3. ज़ेनर डायोड को पश्च भंजन में चलाकर वोल्टता नियंत्रक के रूप में प्रयोग किया जाता है।
उपर्युक्त कथनों में से कौन-सा/से सही है/हैं?
(a) केवल 1 (b) केवल 1 और 3 (c) केवल 2 और 3 (d) 1, 2 और 3

11. निम्नलिखित कथनों पर विचार कीजिए:
1. फोटोडायोड को सामान्यतः अग्र अभिनति में चलाया जाता है।
2. समान प्रकाश देने वाले LED लैंप से CFL अधिक समय तक चलता है।
3. परम शून्य के निकट ठंडा करने पर ताँबा अतिचालक बन जाता है।
उपर्युक्त में से कितने कथन सही हैं?
(a) केवल एक (b) केवल दो (c) सभी तीन (d) कोई भी नहीं

12. बैंक का लॉकर तभी खुलता है जब प्रबंधक की चाबी और ग्राहक की चाबी दोनों घुमाई जाएँ। घुमाई गई चाबी को 1 और न घुमाई गई चाबी को 0 मानें, तो ताला किस लॉजिक गेट के नियम पर चलता है?
(a) AND (b) OR (c) NOR (d) XOR

उत्तर: 1. (b) आर्सेनिक पंचसंयोजी है और एक अतिरिक्त इलेक्ट्रॉन देता है, जिससे n-प्रकार सिलिकॉन बनता है। · 2. (c) डायोड दिष्टकारी AC को DC में बदलते हैं; इन्वर्टर इसका उल्टा करते हैं; ट्रांसफॉर्मर केवल AC वोल्टता बदलते हैं। · 3. (a) कोई भी डिजिटल परिपथ केवल NAND गेटों से या केवल NOR गेटों से बनाया जा सकता है। · 4. (b) अपने क्रांतिक ताप से नीचे अतिचालक चुंबकीय क्षेत्र रेखाओं को बाहर धकेलता है, जिससे उत्तोलन संभव होता है। · 5. (c) फोटॉन की ऊर्जा लगभग बैंड अंतराल के बराबर होती है: GaN नीला, GaAsP लाल, GaAs अवरक्त देता है। · 6. (d) OLED पिक्सेल स्वयं प्रकाश देते हैं; अधिकतर 'LED TV' LED बैकलाइट वाले LCD हैं; धारितीय स्क्रीन उँगली के आवेश पर प्रतिक्रिया करती हैं। · 7. (a) प्रकाश क्रांतिक कोण से अधिक कोण पर क्रोड–आवरण सीमा से टकराता है और तंतु के साथ-साथ पूरा परावर्तित होता है। · 8. (c) RAM वाष्पशील है; ROM, EPROM और फ़्लैश बिना बिजली के भी डेटा रखते हैं। · 9. (b) ग्राफ़ीन एक परमाणु मोटा कार्बन है, जिसे 2004 में गाइम और नोवोसेलोव ने अलग किया (नोबेल 2010)। · 10. (b) ऊष्मा अधिक वाहक मुक्त करती है, इसलिए अर्धचालक का प्रतिरोध घटता है, और ज़ेनर डायोड पश्च भंजन में स्थिर वोल्टता बनाए रखता है; p-प्रकार का क्रिस्टल उदासीन रहता है, क्योंकि 'p' केवल बहुसंख्यक वाहक का नाम बताता है। · 11. (d) कोई भी सही नहीं है: फोटोडायोड पश्च अभिनति में काम करता है, LED लैंप CFL से कई गुना अधिक चलता है, और ताँबे जैसे अच्छे साधारण चालक कितना भी ठंडा करने पर अतिचालक नहीं बनते। · 12. (a) AND तभी 1 देता है जब सभी निवेश 1 हों; OR में कोई एक चाबी ही लॉकर खोल देती, और XOR दोनों चाबियाँ घुमाने पर उसे बंद रखता।

अध्याय 15

वैज्ञानिक, खोजें, नियम और नियतांक: त्वरित सारणियाँ

राज्य परीक्षाएँ और SSC पूछते हैं 'किसने आविष्कार/खोज की या कौन-सा नियम दिया' और 'कौन-सा भारतीय वैज्ञानिक किससे जुड़ा है'; UPSC इन्हीं नामों को कथन वाले प्रश्नों में प्रयोग करता है। यह अध्याय पुनरावृत्ति के लिए इन्हें एक जगह रखता है।

≈ 40 min पढ़ने में ≈ 2 min ★★★ दोहराने में

दोहराएँ: दिन 1 दिन 3 दिन 7 दिन 21

रिवीज़न कार्ड

1. 1895-96-97: एक्स-किरणें (रॉन्टजन, Röntgen), रेडियोधर्मिता (बेकरेल, Becquerel), इलेक्ट्रॉन (जे.जे. थॉमसन, J.J. Thomson)। प्रोटॉन: रदरफोर्ड (Rutherford) (1919)। न्यूट्रॉन: चैडविक (Chadwick) (1932)।
2. खगोल के लिए दूरबीन का प्रयोग: गैलीलियो (Galileo) (1609); बैरोमीटर: टॉरिसेली (Torricelli) (1643); लोलक घड़ी: हाइगेन्स (Huygens) (1656); विद्युत सेल: वोल्टा (Volta) (1800)।
3. प्रेरण और डायनेमो: फैराडे (Faraday) (1831); टेलीफ़ोन: बेल (Bell) (1876); रेडियो: मार्कोनी (Marconi) (1895); ट्रांजिस्टर: बार्डीन, ब्रैटेन, शॉकली (Bardeen, Brattain, Shockley) (1947); लेज़र: मेमन (Maiman) (1960)।
4. रमन प्रभाव की घोषणा 28 फ़रवरी 1928 (राष्ट्रीय विज्ञान दिवस); नोबेल 1930, विज्ञान में पहला एशियाई नोबेल।
5. एस. चंद्रशेखर (S. Chandrasekhar): नोबेल 1983; श्वेत वामन के लिए चंद्रशेखर सीमा ≈ 1.4 सौर द्रव्यमान।
6. एस.एन. बोस (S.N. Bose): बोस–आइंस्टीन सांख्यिकी (1924); 'बोसॉन' उन्हीं के नाम पर हैं; उन्हें नोबेल नहीं मिला।
7. होमी भाभा (Homi Bhabha): TIFR (1945), परमाणु ऊर्जा आयोग (1948), तीन-चरणीय नाभिकीय योजना। विक्रम साराभाई (Vikram Sarabhai): PRL (1947), इसरो (ISRO) (1969)।
8. मेघनाद साहा (Meghnad Saha): तापीय आयनन समीकरण (तारे)। जे.सी. बोस (J.C. Bose): क्रेस्कोग्राफ और आरंभिक माइक्रोवेव रेडियो (1895)।
9. भौतिकी नोबेल 2024: हॉपफ़ील्ड और हिंटन (Hopfield, Hinton) (मशीन लर्निंग); 2025: क्लार्क, देवोरे, मार्टिनिस (Clarke, Devoret, Martinis) (परिपथों में क्वांटम सुरंगन); 2026: फ्रांसिस हाल्ज़ेन (Francis Halzen) (आइसक्यूब न्यूट्रिनो)।
10. आइंस्टीन का 1921 का नोबेल प्रकाश-विद्युत प्रभाव के लिए था, सापेक्षता के लिए नहीं। बार्डीन ही एकमात्र व्यक्ति हैं जिन्हें भौतिकी के दो नोबेल मिले।
11. $c \approx 3 \times 10^{8}$ m/s; $h = 6.626 \times 10^{-34}$ J s; $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C; $N_A = 6.022 \times 10^{23}$ mol^{-1}; $G = 6.674 \times 10^{-11}$ N m^2 kg^{-2}।
12. परम शून्य = 0 K = −273.15 °C; 20 °C पर वायु में ध्वनि ≈ 343 m/s; पृथ्वी से पलायन वेग = 11.2 km/s।

1900 तक की खोजें और आविष्कार

दूरबीन: गैलीलियो 1609

बैरोमीटर: टॉरिसेली

डायनेमो: फैराडे 1831

टेलीफ़ोन: बेल 1876

एक्स-किरणें 1895

आरंभिक भौतिकी उपकरणों से बढ़ी: जब लोग दूर तक देखने (दूरबीन), वायुदाब मापने (बैरोमीटर) और सटीक समय रखने (लोलक घड़ी) लगे, तो नियम भी सामने आए। फिर 1800 के दशक ने बिजली को एक कौतूहल से बदलकर सेल, मोटर, जनित्र और टेलीफ़ोन बना दिया।

उपकरण और मशीनें ★★★

आविष्कार / खोज	किसने	वर्ष
संयुक्त सूक्ष्मदर्शी (Compound microscope)	ज़कारियास जानसेन (Zacharias Janssen) (श्रेय दिया जाता है)	लगभग 1590
थर्मोस्कोप (पहला तापमापी)	गैलीलियो गैलिली (Galileo Galilei)	लगभग 1593
दूरबीन (Telescope)	हैंस लिपरशे (Hans Lippershey) (पहला पेटेंट दावा); गैलीलियो ने पहली बार इसे आकाश की ओर मोड़ा	1608; 1609
बैरोमीटर (Barometer)	इवांजेलिस्ता टॉरिसेली (Evangelista Torricelli)	1643
वायु (निर्वात) पंप	ओटो वॉन गुएरिक (Otto von Guericke)	1650
लोलक घड़ी (Pendulum clock)	क्रिस्टियान हाइगेन्स (Christiaan Huygens)	1656
भाप इंजन (Steam engine)	थॉमस न्यूकॉमेन (Thomas Newcomen) (पहला चालू इंजन); जेम्स वाट (James Watt) (अलग संघनित्र, दक्ष इंजन)	1712; 1769
पारा तापमापी, फ़ारेनहाइट पैमाना	डेनियल गेब्रियल फ़ारेनहाइट (Daniel Gabriel Fahrenheit)	1714; 1724
सेल्सियस (सेंटीग्रेड) पैमाना	एंडर्स सेल्सियस (Anders Celsius)	1742
तड़ित चालक (Lightning conductor)	बेंजामिन फ्रैंकलिन (Benjamin Franklin)	1752
विद्युत सेल (वोल्टीय पुंज, Voltaic pile)	एलेसांद्रो वोल्टा (Alessandro Volta)	1800
खनिकों का सुरक्षा लैंप	हम्फ्री डेवी (Humphry Davy)	1815
विद्युत मोटर (सिद्धांत)	माइकल फैराडे (Michael Faraday)	1821
विद्युतचुंबकीय प्रेरण, डायनेमो (जनित्र)	माइकल फैराडे	1831
विद्युत तार (टेलीग्राफ), मोर्स कोड	सैमुअल मोर्स (Samuel Morse)	1837
लेड-अम्ल (रिचार्ज होने वाली) बैटरी	गैस्टन प्लांते (Gaston Planté)	1859
टेलीफ़ोन	अलेक्ज़ेंडर ग्राहम बेल (Alexander Graham Bell)	1876
फोनोग्राफ (Phonograph)	थॉमस अल्वा एडिसन (Thomas Alva Edison)	1877
व्यावहारिक तापदीप्त बल्ब	थॉमस एडिसन (जोसेफ़ स्वान, Joseph Swan भी)	1879
रेडियो तरंगें उत्पन्न और संसूचित कीं	हाइनरिख हर्ट्ज़ (Heinrich Hertz)	1887
माइक्रोवेव से बेतार संकेत	जे.सी. बोस (कोलकाता)	1895
रेडियो (बेतार टेलीग्राफी)	गुग्लिएल्मो मार्कोनी (Guglielmo Marconi)	1895
डीज़ल इंजन	रुडोल्फ डीज़ल (Rudolf Diesel)	1890 का दशक

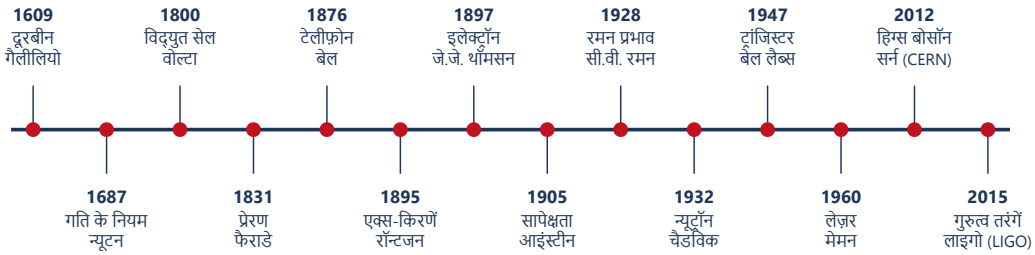
19वीं सदी के अंत की खोजें ★★★

खोज	किसने	वर्ष
एक्स-किरणें (X-rays)	विल्हेम कॉनराड रॉन्टजन (Wilhelm Conrad Röntgen) (जर्मनी)	1895
रेडियोधर्मिता (Radioactivity) (यूरेनियम लवणों में)	हेनरी बेकरेल (Henri Becquerel) (फ्रांस)	1896
इलेक्ट्रॉन (कैथोड किरणें कण हैं)	जे.जे. थॉमसन (ब्रिटेन)	1897
पोलोनियम और रेडियम	मैरी और पियरे क्यूरी (Marie and Pierre Curie)	1898

याद रखें: 95-96-97 में X-R-E: X-rays (एक्स-किरणें), Radioactivity (रेडियोधर्मिता), Electron (इलेक्ट्रॉन) लगातार तीन वर्षों में आए, जैसे 5-6-7 गिनना। संचार की कड़ी: 'Morning Bell Makes Breakfast': मोर्स का टेलीग्राफ (1837) → बेल का टेलीफ़ोन (1876) → मार्कोनी का रेडियो (1895) → बेयर्ड का टेलीविज़न (1926)।

⚠ परीक्षा में सावधान: गैलीलियो ने दूरबीन का आविष्कार नहीं किया; उन्होंने उसे सुधारा और सबसे पहले खगोल में प्रयोग किया। पहला भाप इंजन जेम्स वाट ने नहीं, न्यूकॉमेन ने बनाया; वाट ने उसे दक्ष बनाया। फैराडे का डायनेमो बिजली बनाता है; वोल्टा का सेल रासायनिक ऊर्जा संचित रखता है।

भौतिकी की प्रमुख उपलब्धियाँ क्रम से (द्वरी पैमाने पर नहीं)



1895-96-97: एक्स-किरणें, रेडियोधर्मिता, इलेक्ट्रॉन लगातार तीन वर्षों में

चौदह प्रमुख उपलब्धियाँ क्रम से। 'कालक्रम में व्यवस्थित कीजिए' वाले प्रश्नों में इसका प्रयोग करें।

☑ झटपट जाँच

1. क्या गैलीलियो ने दूरबीन का आविष्कार किया?
2. एक्स-किरणें, रेडियोधर्मिता, इलेक्ट्रॉन: किसने, कब खोजे?
3. पहला चालू भाप इंजन किसने बनाया, और वाट ने क्या जोड़ा?

उत्तर: 1. नहीं: उन्होंने उसे सुधारा और सबसे पहले आकाश की ओर मोड़ा (1609) · 2. रॉन्टजन 1895, बेकरेल 1896, जे.जे. थॉमसन 1897 · 3. न्यूकॉमेन (1712); वाट ने अलग संघनित्र जोड़ा (1769)

इलेक्ट्रॉन → प्रोटॉन → न्यूट्रॉन

न्यूट्रॉन: चैडविक 1932

ट्रांजिस्टर 1947

लेज़र: मेमन 1960

विखंडन: हान

आधुनिक भौतिकी और इलेक्ट्रॉनिकी ★★★

आविष्कार / खोज	किसने	वर्ष
क्वांटम सिद्धांत (ऊर्जा पैकेटों में)	मैक्स प्लांक (Max Planck)	1900
वायुयान (इंजन चालित उड़ान)	राइट बंधु (Wright brothers)	1903
विशिष्ट सापेक्षता, $E = mc^2$, प्रकाश-विद्युत प्रभाव की व्याख्या	अल्बर्ट आइंस्टीन (Albert Einstein)	1905
अतिचालकता (Superconductivity)	हाइके कामरलिंग ओनेस (Heike Kamerlingh Onnes)	1911
परमाणु नाभिक (स्वर्ण-पन्नी प्रयोग)	अर्नेस्ट रदरफोर्ड (Ernest Rutherford)	1911
कॉस्मिक किरणें (Cosmic rays)	विक्टर हेस (Victor Hess)	1912
निश्चित कक्षाओं वाला परमाणु मॉडल	नील्स बोर (Niels Bohr)	1913
व्यापक सापेक्षता (General relativity)	अल्बर्ट आइंस्टीन	1915
प्रोटॉन	अर्नेस्ट रदरफोर्ड	1919
द्रव्य की तरंग प्रकृति	लुई डी ब्रॉग्ली (Louis de Broglie)	1924
टेलीविज़न (पहला सार्वजनिक प्रदर्शन)	जॉन लोगी बेयर्ड (John Logie Baird)	1926
अनिश्चितता सिद्धांत (Uncertainty principle)	वर्नर हाइज़ेनबर्ग (Werner Heisenberg)	1927
रमन प्रभाव (Raman effect)	सी.वी. रमन (C.V. Raman) (के.एस. कृष्णन, K.S. Krishnan के साथ)	1928
फैलता ब्रह्मांड (हबल का नियम)	एडविन हबल (Edwin Hubble)	1929
न्यूट्रॉन	जेम्स चैडविक (James Chadwick)	1932
पॉज़िट्रॉन (पहला प्रतिकण)	कार्ल डी. एंडरसन (Carl D. Anderson)	1932
साइक्लोट्रॉन (कण त्वरक)	अर्नेस्ट ओ. लॉरेंस (Ernest O. Lawrence)	1931
रडार (Radar)	रॉबर्ट वॉटसन-वॉट (Robert Watson-Watt)	1935
नाभिकीय विखंडन (Nuclear fission)	ओटो हान (Otto Hahn) और फ्रिट्ज़ स्ट्रासमैन (Fritz Strassmann) (व्याख्या: लीज़ माइटनर, Lise Meitner और ओटो फ्रिश, Otto Frisch)	1938
पहला नाभिकीय रिएक्टर (शिकागो पाइल-1)	एनरिको फर्मी (Enrico Fermi)	1942
ट्रांजिस्टर (Transistor)	जॉन बार्डीन, वॉल्टर ब्रैटेन, विलियम शॉकली (बेल लैब्स, Bell Labs)	1947
मेसर (Maser)	चार्ल्स टाउन्स (Charles Townes)	1954
एकीकृत परिपथ (IC)	जैक किल्बी (Jack Kilby) (1958); रॉबर्ट नॉयस (Robert Noyce) (1959)	1958–59
लेज़र (रूबी)	थियोडोर मेमन (Theodore Maiman)	1960
दृश्य प्रकाश वाली LED	निक होलोनियक (Nick Holonyak)	1962
पल्सर (Pulsar)	जॉसलिन बेल बर्नेल (Jocelyn Bell Burnell)	1967
वर्ल्ड वाइड वेब (सर्न, CERN में)	टिम बर्नर्स-ली (Tim Berners-Lee)	1989
हिग्स बोसॉन मिला (LHC, सर्न)	ATLAS और CMS टीमें	2012

गुरुत्वीय तरंगें संसूचित	लाइगो (LIGO) (अमेरिका)	2015

★★★ **परमाणु के कणों का क्रम**: इलेक्ट्रॉन (थॉमसन, 1897) → प्रोटॉन (रदरफोर्ड, 1919) → न्यूट्रॉन (चैडविक, 1932)।

★★ **कैनाल किरणें (Canal rays)** (धन किरणें) **यूजेन गोल्डस्टीन (Eugen Goldstein)** ने खोजीं (1886); इनसे प्रोटॉन की राह खुली।

★★ **गामा किरणें (Gamma rays) पॉल विलार्ड (Paul Villard)** ने पहचानीं (1900); **अल्फ़ा और बीटा किरणों** के नाम **रदरफोर्ड** ने रखे।

★★ **प्रकाशिक तंतु (Optical fibre)**: **नरिंदर सिंह कपानी (Narinder Singh Kapany)** (भारत में जन्मे) ने 1950 के दशक में काँच के तंतुओं से प्रकाश भेजने की शुरुआत की; **चार्ल्स काओ (Charles Kao)** ने दिखाया कि कम हानि वाले तंतु संकेत ले जा सकते हैं (नोबेल 2009)।

★ **नीली LED** (जिससे सफ़ेद LED लैंप संभव हुए): अकासाकी, अमानो और नाकामुरा (Akasaki, Amano, Nakamura), नोबेल 2014।

★ **हाइड्रोजन बम**: एडवर्ड टेलर (Edward Teller) (स्तानिस्लाव उलम, Stanislaw Ulam के साथ), परीक्षण 1952। **परमाणु बम**: मैनहट्टन परियोजना (Manhattan Project), जिसका वैज्ञानिक नेतृत्व जे. रॉबर्ट ओपेनहाइमर (J. Robert Oppenheimer) ने किया, 1945।

याद रखें: परमाणु का नाश्ता क्रम: Tea → Rusk → Chai (टी → रस्क → चाय) = थॉमसन (इलेक्ट्रॉन) → रदरफोर्ड (प्रोटॉन) → चैडविक (न्यूट्रॉन)। 1932 'नए कणों का वर्ष' था: न्यूट्रॉन और पॉज़िट्रॉन एक साथ।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** रदरफोर्ड ने नाभिक (1911) और प्रोटॉन (1919) खोजे, न्यूट्रॉन नहीं। हान और स्ट्रासमैन ने विखंडन खोजा, फर्मी ने पहला रिएक्टर बनाया। ट्रांजिस्टर बेल लैब्स से आया, एडिसन से नहीं।

झटपट जाँच

1. प्रोटॉन किसने खोजा, और न्यूट्रॉन किसने?
2. ट्रांजिस्टर (1947) किस प्रयोगशाला से आया?
3. नाभिकीय विखंडन किसने खोजा, और पहला रिएक्टर किसने बनाया?

उत्तर: 1. रदरफोर्ड (1919); चैडविक (1932) · 2. बेल लैब्स (बार्डीन, ब्रैटेन, शॉकली) · 3. हान और स्ट्रासमैन (1938); फर्मी (1942)

प्रसिद्ध नियम और उन्हें देने वाले

आर्किमिडीज़: उत्प्लावन

गैस नियम: क्या स्थिर

हाइगेन्स: तरंग

लेंज़: दिशा

फ्लेमिंग: LM-RG

नियम (Law) इस बात का छोटा कथन है कि प्रकृति सदा कैसे व्यवहार करती है। परीक्षाएँ 'नियम – वैज्ञानिक – क्या कहता है' का मिलान पूछती हैं, इसलिए हर नियम को एक पंक्ति में उसके रोज़मर्रा के प्रयोग के साथ याद करें।

नियम और सिद्धांत ★★★

नियम / सिद्धांत	किसने दिया	एक पंक्ति में
उत्प्लावन (प्लवन) का सिद्धांत	आर्किमिडीज़ (Archimedes)	उत्क्षेप = हटाए गए द्रव का भार; जहाज़ तैरते हैं, हाइड्रोमीटर काम करते हैं
उत्तोलक का नियम	आर्किमिडीज़	आयास × आयास भुजा = भार × भार भुजा
ग्रहीय गति के नियम	योहानेस केप्लर (Johannes Kepler)	दीर्घवृत्ताकार कक्षाएँ; समान समय में समान क्षेत्रफल; $T^2 \propto r^3$
गिरती वस्तुओं का नियम	गैलीलियो गैलिली	वायु के बिना सभी वस्तुएँ समान त्वरण से गिरती हैं
अपवर्तन का नियम	विलेब्रोर्ड स्नेल (Willebrord Snell)	sin i ÷ sin r = नियतांक (अपवर्तनांक)
पास्कल का नियम	ब्लेज़ पास्कल (Blaise Pascal)	बंद द्रव पर लगा दाब सब ओर बराबर फैलता है; हाइड्रॉलिक लिफ्ट, ब्रेक
बॉयल का नियम	रॉबर्ट बॉयल (Robert Boyle)	स्थिर ताप पर PV = नियतांक
हुक का नियम	रॉबर्ट हुक (Robert Hooke)	प्रत्यास्थता सीमा के भीतर प्रतिबल ∝ विकृति; कमानीदार तुला
प्रकाश का तरंग सिद्धांत	क्रिस्टियान हाइगेन्स	प्रकाश तरंगों के रूप में चलता है
गति के नियम; सार्वत्रिक गुरुत्वाकर्षण	आइज़क न्यूटन (Isaac Newton) (1687)	जड़त्व, F = ma, क्रिया-प्रतिक्रिया; $F = Gm_1m_2/r^2$
शीतलन का नियम	आइज़क न्यूटन	ठंडा होने की दर ∝ परिवेश से ताप का अंतर
बर्नूली का सिद्धांत	डेनियल बर्नूली (Daniel Bernoulli)	प्रवाह तेज़, दाब कम; वायुयान का उत्थापन, कणित्र (एटमाइज़र)
चार्ल्स का नियम	जैक्स चार्ल्स (Jacques Charles)	स्थिर दाब पर V ∝ T
गे-लुसैक का (दाब) नियम	जोसेफ़ गे-लुसैक (Joseph Gay-Lussac)	स्थिर आयतन पर P ∝ T
कूलॉम का नियम	चार्ल्स-ऑगस्टिन द कूलॉम (Charles-Augustin de Coulomb)	आवेशों के बीच बल ∝ q_1q_2/r^2
आवोगाद्रो का नियम	आमेदेओ आवोगाद्रो (Amedeo Avogadro)	समान T, P पर गैसों के समान आयतनों में अणुओं की संख्या समान
डाल्टन का आंशिक दाब नियम	जॉन डाल्टन (John Dalton)	कुल दाब = आंशिक दाबों का योग
ओम का नियम	जॉर्ज साइमन ओम (Georg Simon Ohm)	स्थिर ताप पर V = IR
विद्युतचुंबकीय प्रेरण के नियम; विद्युत अपघटन के नियम	माइकल फैराडे	बदलता चुंबकीय फ्लक्स emf प्रेरित करता है
लेंज़ का नियम	हाइनरिख लेंज़ (Heinrich Lenz)	प्रेरित धारा उस परिवर्तन का विरोध करती है जो उसे उत्पन्न करता है
ग्राहम का विसरण नियम	थॉमस ग्राहम (Thomas Graham)	विसरण की दर ∝ 1/√घनत्व
डॉप्लर प्रभाव	क्रिश्चियन डॉप्लर (Christian Doppler)	स्रोत पास आए तो तारत्व बढ़ता है, दूर जाए तो घटता है
जूल का तापन नियम	जेम्स प्रेस्कॉट जूल (James Prescott Joule)	ऊष्मा = I^2Rt
किरचॉफ के नियम	गुस्ताव किरचॉफ (Gustav Kirchhoff)	संधियों पर धारा नियम, लूप में वोल्टता नियम

स्टोक्स का नियम	जॉर्ज गेब्रियल स्टोक्स (George Gabriel Stokes)	गिरते गोले पर श्यान कर्षण ∝ त्रिज्या × चाल
विद्युतचुंबकीय सिद्धांत (मैक्सवेल के समीकरण)	जेम्स क्लर्क मैक्सवेल (James Clerk Maxwell)	प्रकाश एक विद्युतचुंबकीय तरंग है
स्टीफ़न–बोल्ट्ज़मान नियम	जोसेफ़ स्टीफ़न (Josef Stefan), लुडविग बोल्ट्ज़मान (Ludwig Boltzmann)	विकिरित शक्ति ∝ T^4
वीन का विस्थापन नियम	विल्हेम वीन (Wilhelm Wien)	अधिक गरम वस्तु छोटी तरंगदैर्ध्य पर चमकती है (लाल → सफ़ेद → नीला)
वाम-हस्त (मोटर) और दक्षिण-हस्त (जनित्र) नियम	जॉन एम्ब्रोज़ फ्लेमिंग (John Ambrose Fleming)	बल / प्रेरित धारा की दिशा
द्रव्यमान–ऊर्जा तुल्यता	अल्बर्ट आइंस्टीन	$E = mc^2$
अपवर्जन सिद्धांत (Exclusion principle)	वोल्फगैंग पाउली (Wolfgang Pauli)	किन्हीं दो इलेक्ट्रॉनों की चारों क्वांटम संख्याएँ समान नहीं हो सकतीं
अनिश्चितता सिद्धांत	वर्नर हाइज़ेनबर्ग	स्थिति और संवेग दोनों एक साथ बिल्कुल सटीक नहीं जाने जा सकते
हबल का नियम	एडविन हबल	आकाशगंगाओं के दूर जाने की चाल ∝ उनकी दूरी

याद रखें: गैस नियम, जो स्थिर रखा जाता है उसके अनुसार: 'Boys Take, Children Play, Girls Vote' → बॉयल T स्थिर रखता है, चार्ल्स P स्थिर रखता है, गे-लुसैक V स्थिर रखता है। फ्लेमिंग: Left = Motor, Right = Generator ('LM-RG': बायाँ हाथ = मोटर, दायाँ हाथ = जनित्र)।

⚠ परीक्षा में सावधान: न्यूटन ने प्रकाश का कणिका (Corpuscular) सिद्धांत दिया; हाइगेन्स ने तरंग सिद्धांत। केप्लर ने ग्रहों की कक्षाओं का वर्णन किया; न्यूटन ने गुरुत्वाकर्षण से उनकी व्याख्या की। लेंज़ का नियम प्रेरित emf की दिशा बताता है, फैराडे का नियम उसका परिमाण।

☑ झटपट जाँच

1. बॉयल के नियम में क्या स्थिर रहता है?
2. प्रकाश का तरंग सिद्धांत: न्यूटन या हाइगेन्स?
3. लेंज़ का नियम या फैराडे का नियम: प्रेरित धारा की दिशा कौन बताता है?

उत्तर: 1. ताप (PV = नियतांक) · 2. हाइगेन्स (न्यूटन ने कणिका सिद्धांत दिया) · 3. लेंज़ का नियम

भारतीय भौतिकविद् और उनका कार्य

रमन प्रभाव 1928

एस.एन. बोस: बोसॉन

जे.सी. बोस: क्रेस्कोग्राफ

साहा: गरम तारे

भाभा: TIFR, BARC

साराभाई: इसरो

आधुनिक भारतीय भौतिकी लगभग 1900 में कोलकाता की प्रयोगशालाओं से शुरू हुई और ऐसी संस्थाओं में बढ़ी जो आज भी भारत के नाभिकीय और अंतरिक्ष कार्यक्रम चलाती हैं। हर नाम को एक विचार और एक संस्था से जोड़ें।

किसने क्या किया ★★★

वैज्ञानिक	किसके लिए प्रसिद्ध	संस्था / सम्मान
सी.वी. रमन	रमन प्रभाव: प्रकीर्णित प्रकाश की तरंगदैर्ध्य बदल जाती है (1928); तबला और मृदंग की ध्वनिकी भी, समुद्र नीला क्यों है	IACS कोलकाता; नोबेल 1930; भारत रत्न 1954; रमन अनुसंधान संस्थान, बेंगलुरु की स्थापना (1948)
जे.सी. बोस	बेतार माइक्रोवेव संकेत (1895), क्रिस्टल संसूचक; दिखाया कि पौधे उद्दीपनों पर प्रतिक्रिया करते हैं; क्रेस्कोग्राफ का आविष्कार	बोस संस्थान, कोलकाता की स्थापना (1917)
एस.एन. बोस	बोस-आइंस्टीन सांख्यिकी (1924); इसका पालन करने वाले कण 'बोसॉन' हैं	ढाका विश्वविद्यालय; पद्म विभूषण 1954; राष्ट्रीय प्रोफ़ेसर
मेघनाद साहा	साहा आयनन समीकरण (1920): तारों के स्पेक्ट्रम और ताप की व्याख्या करता है	साहा नाभिकीय भौतिकी संस्थान, कोलकाता की स्थापना; कैलेंडर सुधार समिति (1952) के अध्यक्ष
होमी जे. भाभा	कॉस्मिक किरण बौछारें, भाभा प्रकीर्णन; भारत के नाभिकीय कार्यक्रम के जनक; तीन-चरणीय योजना	TIFR की स्थापना (1945); परमाणु ऊर्जा आयोग के पहले अध्यक्ष (1948); BARC उन्हीं के नाम पर
विक्रम साराभाई	कॉस्मिक किरणें; भारत के अंतरिक्ष कार्यक्रम के जनक	PRL अहमदाबाद (1947), INCOSPAR (1962), इसरो (1969) की स्थापना; थुंबा प्रक्षेपण केंद्र
एस. चंद्रशेखर	चंद्रशेखर सीमा: ≈ 1.4 सौर द्रव्यमान से भारी श्वेत वामन को ढहना ही होगा	शिकागो विश्वविद्यालय; नोबेल 1983; नासा (NASA) की चंद्रा एक्स-रे वेधशाला उन्हीं के नाम पर
जी.एन. रामचंद्रन (G.N. Ramachandran)	जैवभौतिकी: प्रोटीन आकृतियों का रामचंद्रन प्लॉट; कोलेजन की त्रिक कुंडली	मद्रास विश्वविद्यालय
ई.सी.जी. सुदर्शन (E.C.G. Sudarshan)	क्वांटम प्रकाशिकी (सुदर्शन-ग्लॉबर निरूपण); दुर्बल बल का V-A सिद्धांत; टैकियॉन का विचार	-
सतीश धवन (Satish Dhawan)	तरल गतिकी; 1972-84 तक इसरो का नेतृत्व	सतीश धवन अंतरिक्ष केंद्र, श्रीहरिकोटा
राजा रमन्ना (Raja Ramanna)	भारत के पहले नाभिकीय परीक्षण, पोखरण (1974) का नेतृत्व	BARC
ए.पी.जे. अब्दुल कलाम (A.P.J. Abdul Kalam)	SLV-3 (1980) के परियोजना निदेशक; निर्देशित प्रक्षेपास्त्र कार्यक्रम	'मिसाइल मैन'; भारत रत्न 1997; राष्ट्रपति 2002-07
जयंत नार्लीकर (Jayant Narlikar)	हॉयल-नार्लीकर गुरुत्व सिद्धांत (ब्रह्मांड विज्ञान)	IUCAA पुणे के संस्थापक निदेशक
अन्ना मणि (Anna Mani)	मौसम उपकरण: सौर विकिरण, ओज़ोन, पवन	भारत मौसम विज्ञान विभाग
नरिंदर सिंह कपानी	प्रकाशिक तंतु (फाइबर ऑप्टिक्स) के अग्रणी	-

1937 से पहले कोलकाता के वैज्ञानिक। बैठे हुए, बाएँ से दाएँ: मेघनाद साहा, जे.सी. बोस, जे.सी. घोष। खड़े हुए, बाएँ से दूसरे: एस.एन. बोस। दोनों बोस अलग व्यक्ति हैं: जे.सी. बोस ने क्रेस्कोग्राफ बनाया; बोसॉन एस.एन. बोस के नाम पर हैं। चित्र: Unknown photographer (S.N. Bose National Centre archive), Wikimedia Commons, public domain

★★★ **राष्ट्रीय विज्ञान दिवस, 28 फ़रवरी**, 1928 में रमन प्रभाव की घोषणा की याद में मनाया जाता है (1987 से)।

★★★ **रमन का नोबेल (1930)** किसी भी विज्ञान में किसी एशियाई को मिला पहला नोबेल था; किसी भी प्रकार का पहला एशियाई नोबेल रवींद्रनाथ टैगोर (Rabindranath Tagore) को मिला (साहित्य, 1913)।

★★ **रमन प्रभाव के उपयोग**: रमन स्पेक्ट्रमिकी प्रकीर्णित प्रकाश के रंग में सूक्ष्म बदलाव से अणुओं की पहचान करती है (दवा जाँच, रत्न जाँच, ग्रहों पर रोवर)।

★★ **'बोसॉन'** शब्द पॉल डिरैक (Paul Dirac) ने एस.एन. बोस के सम्मान में गढ़ा; हिग्स बोसॉन ('गॉड पार्टिकल') उनका नाम धारण करता है।

★★ **चंद्रशेखर** का जन्म लाहौर (1910) में हुआ, वे सी.वी. रमन के भतीजे थे और अमेरिकी नागरिक बने; उनका नोबेल (विलियम फाउलर, William Fowler के साथ साझा) तारों की संरचना और विकास के लिए था।

★★ **भाभा की तीन-चरणीय योजना**: प्राकृतिक यूरेनियम रिएक्टर → फास्ट ब्रीडर रिएक्टर (प्लूटोनियम) → थोरियम आधारित रिएक्टर, ताकि भारत के विशाल थोरियम भंडार का उपयोग हो।

★★ **अप्सरा (1956)**, भारत का पहला अनुसंधान रिएक्टर और एशिया का भी पहला, भाभा के नेतृत्व में ट्रॉम्बे में बना; ट्रॉम्बे प्रतिष्ठान का नाम 1967 में BARC रखा गया।

★★ **साराभाई और थुंबा**: भारत का पहला रॉकेट (नाइकी-अपाची, Nike-Apache) 21 नवंबर 1963 को थुंबा, केरल से उड़ा; चंद्रयान के लैंडरों का नाम उन्हीं के नाम पर विक्रम है।

★ **प्राचीन जड़ें**: कणाद (वैशेषिक दर्शन) ने अविभाज्य कणों (परमाणु) का विचार दिया; आर्यभट ने माना कि पृथ्वी अपनी धुरी पर घूमती है।

निर्माता जोड़ी: होमी जे. भाभा (बाएँ, 1955), जिन्होंने TIFR की स्थापना की और भारत के परमाणु ऊर्जा कार्यक्रम का नेतृत्व किया, और विक्रम साराभाई (दाएँ, 1969), इसरो के संस्थापक। चित्र: Bhabha: IAEA Imagebank, CC BY-SA 2.0; Sarabhai: NASA, public domain; both Wikimedia Commons, cropped

याद रखें: कोलकाता की तिकड़ी: रमन ने प्रकाश बिखेरा, साहा ने तारों को गरम किया, एस.एन. बोस ने कण गिने। निर्माता जोड़ी: भाभा ने परमाणु कार्यक्रम बनाया (TIFR, BARC), साराभाई ने अंतरिक्ष कार्यक्रम (PRL, इसरो)। 'Bhabha = Bomb-free power; Sarabhai = Satellites' (भाभा = शांतिपूर्ण परमाणु बिजली; साराभाई = उपग्रह)।

⚠ परीक्षा में सावधान: क्रेस्कोग्राफ जे.सी. बोस का है, एस.एन. बोस का नहीं; बोसॉन एस.एन. बोस के हैं, जे.सी. बोस के नहीं। इसरो के संस्थापक साराभाई हैं, भाभा नहीं; TIFR के संस्थापक भाभा हैं, साराभाई नहीं।

झटपट जाँच

1. राष्ट्रीय विज्ञान दिवस, 28 फ़रवरी, किसकी याद में है?
2. क्रेस्कोग्राफ या बोसॉन: जे.सी. बोस से कौन जुड़ा है?
3. TIFR की स्थापना किसने की, और इसरो की किसने?

उत्तर: 1. रमन प्रभाव की घोषणा (1928) · 2. क्रेस्कोग्राफ (बोसॉन एस.एन. बोस के नाम पर) · 3. होमी भाभा (1945); विक्रम साराभाई (1969)

भारत से जुड़े भौतिकी नोबेल पुरस्कार

रमन 1930

सलाम 1979

चंद्रशेखर 1983

लाइगो-इंडिया: हिंगोली

भौतिकी नोबेल से भारतीय संबंध ★★★

वर्ष	पुरस्कार विजेता	किसके लिए	भारतीय संबंध
1930	सी.वी. रमन	प्रकाश का प्रकीर्णन; रमन प्रभाव	भारतीय नागरिक; कार्य कोलकाता में हुआ
1979	अब्दुस सलाम (Abdus Salam) (ग्लैशो, वाइनबर्ग के साथ)	विद्युत-दुर्बल एकीकरण	अविभाजित पंजाब, ब्रिटिश भारत में जन्म
1983	एस. चंद्रशेखर (विलियम फाउलर के साथ)	तारों की संरचना और विकास की भौतिकी	लाहौर, ब्रिटिश भारत में जन्म; अमेरिकी नागरिक
2001	कॉर्नेल, केटरले, वीमैन (Cornell, Ketterle, Wieman)	बोस-आइंस्टीन संघनित (condensate) बनाना	यह अवस्था एस.एन. बोस की सांख्यिकी से पूर्वानुमानित थी
2013	एंगलर्ट, हिग्स (Englert, Higgs)	हिग्स बोसॉन का सिद्धांत	'बोसॉन' एस.एन. बोस का सम्मान है
2017	वाइस, बैरिश, थॉर्न (Weiss, Barish, Thorne)	गुरुत्वीय तरंगों का संसूचन (लाइगो)	भारतीय वैज्ञानिक लाइगो सहयोग का हिस्सा थे; लाइगो-इंडिया बन रहा है

★★★ **केवल एक भारतीय नागरिक** को भौतिकी का नोबेल मिला है: **सी.वी. रमन (1930)**।

★★ **लाइगो-इंडिया (LIGO-India)**: गुरुत्वीय तरंग संसूचक, जिसे केंद्रीय मंत्रिमंडल ने 2023 में स्वीकृति दी; यह DAE और DST के साथ **औंढा, हिंगोली ज़िला, महाराष्ट्र** में बन रहा है।

★ **भारत और सर्न**: भारत 2017 में सर्न का सहयोगी सदस्य देश (Associate Member State) बना; भारतीय भौतिकविदों ने LHC के CMS और ALICE प्रयोगों में काम किया।

⚠ **परीक्षा में सावधान:** भारत से जुड़े अन्य विज्ञान नोबेल भौतिकी में नहीं हैं: रोनाल्ड रॉस (Ronald Ross) (चिकित्सा 1902, अल्मोड़ा में जन्म), हरगोबिंद खुराना (Har Gobind Khorana) (चिकित्सा 1968), वेंकटरमन रामकृष्णन (Venkatraman Ramakrishnan) (रसायन 2009)। एस.एन. बोस और जे.सी. बोस को कभी नोबेल नहीं मिला।

☑ झटपट जाँच

1. कितने भारतीय नागरिकों को भौतिकी का नोबेल मिला है?
2. एस. चंद्रशेखर का 1983 का नोबेल किसके लिए था?
3. लाइगो-इंडिया कहाँ बन रहा है?

उत्तर: 1. एक: सी.वी. रमन (1930) · 2. तारों की संरचना और विकास · 3. औंढा, हिंगोली ज़िला, महाराष्ट्र

भौतिकी नोबेल: प्रमुख तथ्य और हाल के विजेता

रॉन्टजन 1901

आइंस्टीन: प्रकाश-विद्युत

बार्डीन: दो भौतिकी नोबेल

मैरी क्यूरी

2024: तंत्रिका नेटवर्क

2026: आइसक्यूब

नोबेल पुरस्कार अल्फ्रेड नोबेल (Alfred Nobel) की वसीयत से दिए जाते हैं; भौतिकी पुरस्कार रॉयल स्वीडिश एकेडमी ऑफ साइंसेज़ (Royal Swedish Academy of Sciences) चुनती है और 10 दिसंबर, नोबेल की पुण्यतिथि, को प्रदान किया जाता है। पहला भौतिकी पुरस्कार 1901 में दिया गया।

★★★ **पहला भौतिकी नोबेल (1901)**: विल्हेम रॉन्टजन, एक्स-किरणों के लिए।

★★★ **आइंस्टीन (1921)**: सैद्धांतिक भौतिकी में योगदान और **प्रकाश-विद्युत प्रभाव के नियम** के लिए, सापेक्षता के लिए नहीं।

★★ **मैरी क्यूरी**: पहली महिला नोबेल विजेता (भौतिकी 1903, पियरे क्यूरी और बेकरेल के साथ) और दो अलग विज्ञानों में जीतने वाली एकमात्र व्यक्ति (रसायन 1911)।

★★ **जॉन बार्डीन**: भौतिकी के दो नोबेल पाने वाले एकमात्र व्यक्ति (1956 ट्रांजिस्टर; 1972 अतिचालकता का सिद्धांत)।

★ **सबसे कम उम्र के भौतिकी विजेता**: लॉरेंस ब्रैग (Lawrence Bragg), 25 वर्ष, जिन्होंने 1915 का पुरस्कार अपने पिता विलियम हेनरी ब्रैग (William Henry Bragg) के साथ साझा किया (एक्स-किरणों से क्रिस्टल विश्लेषण)।

★ **पिता और पुत्र विजेता**: जे.जे. थॉमसन (1906, इलेक्ट्रॉन कण के रूप में) और जी.पी. थॉमसन (G.P. Thomson) (1937, इलेक्ट्रॉन तरंग के रूप में); नील्स बोर (1922) और आगे बोर (Aage Bohr) (1975)।

★ **भौतिकी की महिला विजेता (5)**: मैरी क्यूरी 1903, मारिया गोपर्ट मेयर (Maria Goeppert Mayer) 1963, डोना स्ट्रिकलैंड (Donna Strickland) 2018, एंड्रिया गेज़ (Andrea Ghez) 2020, एन ल'उइलिए (Anne L'Huillier) 2023।

भौतिकी के प्रसिद्ध नोबेल ★★

वर्ष	विजेता	किसके लिए
1903	बेकरेल; पियरे और मैरी क्यूरी	रेडियोधर्मिता
1909	मार्कोनी, ब्राउन (Braun)	बेतार टेलीग्राफी
1918	मैक्स प्लांक	ऊर्जा क्वांटा
1922	नील्स बोर	परमाणुओं की संरचना
1935	जेम्स चैडविक	न्यूट्रॉन
1956	शॉकली, बार्डीन, ब्रैटेन	ट्रांजिस्टर
1964	टाउन्स, बासोव, प्रोखोरोव (Basov, Prokhorov)	मेसर-लेज़र सिद्धांत
1971	डेनिस गैबर (Dennis Gabor)	होलोग्राफी
2000	जैक किल्बी (अल्फ़ेरोव, क्रोमर, Alferov, Kroemer के साथ)	एकीकृत परिपथ
2009	चार्ल्स काओ; बॉयल और स्मिथ (Boyle, Smith)	प्रकाशिक तंतु; CCD इमेज सेंसर
2014	अकासाकी, अमानो, नाकामुरा	नीली LED
2015	काजिता, मैकडोनाल्ड (Kajita, McDonald)	न्यूट्रिनो दोलन (न्यूट्रिनो में द्रव्यमान है)
2019	पीबल्स (Peebles); मेयर और क्वेलोज़ (Mayor, Queloz)	ब्रह्मांड विज्ञान; सूर्य जैसे तारे के चारों ओर पहला बाह्यग्रह

भौतिकी नोबेल 2020–2026 ★★★

वर्ष	विजेता	किसके लिए
2020	रोजर पेनरोज़ (Roger Penrose); राइनहार्ड गेंज़ेल (Reinhard Genzel), एंड्रिया गेज़	व्यापक सापेक्षता में ब्लैक होल का बनना; आकाशगंगा (मिल्की वे) के केंद्र में अतिविशाल सघन पिंड
2021	स्युकुरो मनाबे (Syukuro Manabe), क्लाउस हैसलमैन (Klaus Hasselmann); जॉर्जियो पारिसी (Giorgio Parisi)	पृथ्वी की जलवायु और वैश्विक तापन का भौतिक मॉडल; जटिल तंत्रों में अव्यवस्था और उतार-चढ़ाव
2022	एलेन आस्पेक्ट (Alain Aspect), जॉन क्लॉज़र (John Clauser), एंटन ज़ाइलिंगर (Anton Zeilinger)	उलझे (entangled) फोटॉनों के प्रयोग; क्वांटम सूचना विज्ञान की नींव
2023	पियरे अगोस्टिनी (Pierre Agostini), फ़ेरेंत्स क्राउस (Ferenc Krausz), एन ल'उइलिए	इलेक्ट्रॉन की गति के अध्ययन के लिए प्रकाश के एटोसेकंड स्पंद
2024	जॉन हॉपफ़ील्ड, जेफ़्री हिंटन (Geoffrey Hinton)	कृत्रिम तंत्रिका नेटवर्क से मशीन लर्निंग को संभव बनाने वाला आधारभूत कार्य
2025	जॉन क्लार्क (John Clarke), मिशेल देवोरे (Michel Devoret), जॉन मार्टिनिस (John Martinis)	विद्युत परिपथ में स्थूल क्वांटम सुरंगन और ऊर्जा क्वांटीकरण (अतिचालक क्यूबिट का आधार)
2026	फ्रांसिस हाल्ज़ेन (एकमात्र विजेता)	आइसक्यूब न्यूट्रिनो वेधशाला (IceCube Neutrino Observatory) में निर्णायक योगदान और अंतरिक्ष से आने वाले उच्च-ऊर्जा न्यूट्रिनो की खोज

याद रखें: हाल का क्रम एक कहानी की तरह: Climate, जलवायु (2021) → Quantum links, क्वांटम उलझाव (2022) → Flash of light, एटोसेकंड प्रकाश-चमक (2023) → AI brains, कृत्रिम दिमाग (2024) → Quantum circuits, क्वांटम परिपथ (2025) → Ice catching ghosts, बर्फ़ में पकड़े 'भूत' कण (2026)। 'C-Q-F-A-Q-I'। आइसक्यूब दक्षिणी ध्रुव पर अंटार्कटिका की एक घन किलोमीटर बर्फ़ में स्थित है।

⚠ परीक्षा में सावधान: 2024 का भौतिकी पुरस्कार (हॉपफ़ील्ड, हिंटन) तंत्रिका नेटवर्क के लिए था; 2024 का रसायन पुरस्कार प्रोटीन संरचना (अल्फाफोल्ड, AlphaFold) के लिए था। एटोसेकंड = 10^{-18} s, न कि 10^{-15} s (वह फेम्टोसेकंड है)।

झटपट जाँच

1. आइंस्टीन का 1921 का नोबेल: सापेक्षता के लिए या प्रकाश-विद्युत प्रभाव के लिए?
2. पहला भौतिकी नोबेल (1901) किसे और किसलिए मिला?
3. 2024 का भौतिकी नोबेल (हॉपफ़ील्ड, हिंटन) किसके लिए था?

उत्तर: 1. प्रकाश-विद्युत प्रभाव · 2. रॉन्टजन को, एक्स-किरणों के लिए · 3. कृत्रिम तंत्रिका नेटवर्क से मशीन लर्निंग

महत्वपूर्ण भौतिक नियतांक और मान

$c \approx 3 \times 10^8$ m/s

$h = 6.626 \times 10^{-34}$ J s

G बनाम g

पलायन वेग 11.2 km/s

ध्वनि 343 m/s

2019 से सात नियतांकों (Constants) के मान सटीक और निश्चित हैं (वे SI मात्रकों को परिभाषित करते हैं); G जैसे अन्य मापे जाते हैं। गोल किया हुआ मान, उसका मात्रक और वह शर्त जिसमें वह लागू होता है, साथ याद करें।

सार्वत्रिक नियतांक ★★★

नियतांक	प्रतीक	मान	टिप्पणी
निर्वात में प्रकाश की चाल	c	299 792 458 m/s ≈ 3×10^8 m/s	सटीक; प्रकृति की सर्वोच्च चाल
प्लांक नियतांक	h	6.626×10^{-34} J s	सटीक; किलोग्राम को परिभाषित करता है
मूल आवेश	e	1.602×10^{-19} C	सटीक; प्रोटॉन का आवेश (इलेक्ट्रॉन −e)
आवोगाद्रो नियतांक	N_A	6.022×10^{23} mol^{-1}	सटीक; एक मोल में कणों की संख्या
बोल्ट्ज़मान नियतांक	k	1.381×10^{-23} J/K	सटीक
सार्वत्रिक गैस नियतांक	R	8.314 J mol^{-1} K^{-1}	$R = N_A \times k$
सार्वत्रिक गुरुत्वीय नियतांक	G	6.674×10^{-11} N m^2 kg^{-2}	मापा गया (सबसे पहले हेनरी कैवेंडिश (Henry Cavendish) ने, 1798); पूरे ब्रह्मांड में एक समान
स्टीफ़न-बोल्ट्ज़मान नियतांक	σ	5.67×10^{-8} W m^{-2} K^{-4}	विकिरण ∝ T^4
मुक्त आकाश की विद्युतशीलता	ε_0	8.854×10^{-12} F/m	-
इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान	m_e	9.11×10^{-31} kg	-
प्रोटॉन का द्रव्यमान	m_p	1.673×10^{-27} kg	≈ 1836 इलेक्ट्रॉन द्रव्यमान
न्यूट्रॉन का द्रव्यमान	m_n	1.675×10^{-27} kg	प्रोटॉन से थोड़ा भारी
परमाणु द्रव्यमान मात्रक	u	1.66×10^{-27} kg	कार्बन-12 परमाणु का 1/12

रोज़मर्रा के भौतिक मान ★★★

राशि	मान	शर्त / टिप्पणी
गुरुत्वीय त्वरण g	9.8 m/s^2 (मानक 9.806 65)	समुद्र तल पर; ध्रुवों पर सबसे अधिक, विषुवत रेखा पर सबसे कम, पृथ्वी के केंद्र पर शून्य
चंद्रमा पर g	≈ 1.6 m/s^2 (पृथ्वी का लगभग 1/6)	-
परम शून्य	0 K = −273.15 °C = −459.67 °F	न्यूनतम संभव ताप
वायु में ध्वनि की चाल	0 °C पर ≈ 331 m/s; 20 °C पर ≈ 343 m/s	प्रति °C लगभग 0.6 m/s बढ़ती है
जल में ध्वनि की चाल	≈ 1480 m/s	वायु से लगभग 4 गुनी
स्टील में ध्वनि की चाल	≈ 5000–6000 m/s	ठोसों में सबसे तेज़
मानक वायुमंडलीय दाब	101 325 Pa = 760 mm Hg	समुद्र तल पर
ऊष्मा का यांत्रिक तुल्यांक J	4.186 J प्रति कैलोरी	जूल का प्रयोग
जल का घनत्व	1000 kg/m^3	4 °C पर अधिकतम
अपवर्तनांक	जल 1.33; काँच ≈ 1.5; हीरा 2.42	पीले प्रकाश के लिए
सौर नियतांक	≈ 1361 W/m^2 (≈ 1.36 kW/m^2)	वायुमंडल के शीर्ष पर सूर्य का प्रकाश
सूर्य के प्रकाश को पृथ्वी तक पहुँचने का समय	≈ 8 मिनट 20 सेकंड	1 AU ÷ c
पृथ्वी से पलायन वेग	11.2 km/s	वस्तु के द्रव्यमान पर निर्भर नहीं
पृथ्वी की सतह के निकट कक्षीय वेग	≈ 7.9 km/s	सतह को छूते हुए घूमते उपग्रह के लिए
पृथ्वी की माध्य त्रिज्या	≈ 6371 km	-

याद रखें: चार '6's को अलग रखें: $h = 6.6 \times 10^{-34}$ (बहुत छोटा, क्वांटम), $N_A = 6.0 \times 10^{23}$ (बहुत बड़ा, गिनती), $G = 6.67 \times 10^{-11}$ (गुरुत्व, दुर्बल), $e = 1.6 \times 10^{-19}$ (आवेश)। घातांक 'जितनी अजीब चीज़, उतना छोटा' होते जाते हैं: गुरुत्व −11, आवेश −19, बोल्ट्ज़मान −23, प्लांक −34।

⚠ परीक्षा में सावधान: g (9.8 m/s^2) स्थान-स्थान पर बदलता है; G (6.674×10^{-11}) हर जगह समान है। पलायन वेग 11.2 km/s कक्षा में उपग्रह की चाल नहीं है (सतह के निकट ≈ 7.9 km/s)। जल या काँच में प्रकाश c से धीमा चलता है।

☑ झटपट जाँच

1. G या g: कौन हर जगह समान है?
2. पृथ्वी से पलायन वेग, और सतह के निकट कक्षीय वेग?
3. परम शून्य डिग्री सेल्सियस में?

उत्तर: 1. G = 6.674×10^{-11} $N\,m^2\,kg^{-2}$ · 2. 11.2 km/s; ≈ 7.9 km/s · 3. −273.15 °C

स्वयं को परखें (13)

1. न्यूट्रॉन की खोज किसने की?
(a) अर्नेस्ट रदरफोर्ड (b) जेम्स चैडविक (c) जे.जे. थॉमसन (d) नील्स बोर

2. रमन प्रभाव का संबंध है
(a) प्रकाश के प्रकीर्णन से (b) प्रकाश-विद्युत उत्सर्जन से (c) रेडियोधर्मी क्षय से (d) अतिचालकता से

3. चंद्रशेखर सीमा, यानी स्थायी श्वेत वामन का अधिकतम द्रव्यमान, लगभग है
(a) 1.4 सौर द्रव्यमान (b) 3.2 सौर द्रव्यमान (c) 0.5 सौर द्रव्यमान (d) 10 सौर द्रव्यमान

4. 2024 का भौतिकी का नोबेल पुरस्कार किसके लिए दिया गया?
(a) प्रकाश के एटोसेकंड स्पंद (b) विद्युत परिपथों में क्वांटम सुरंगन (c) उलझे फोटॉनों के प्रयोग (d) कृत्रिम तंत्रिका नेटवर्क से मशीन लर्निंग

5. पारा बैरोमीटर का आविष्कार किसने किया?
(a) गैलीलियो गैलिली (b) ब्लेज़ पास्कल (c) इवांजेलिस्ता टॉरिसेली (d) रॉबर्ट बॉयल

6. टाटा मूलभूत अनुसंधान संस्थान (TIFR) की स्थापना किसने की?
(a) होमी जे. भाभा (b) विक्रम साराभाई (c) मेघनाद साहा (d) सी.वी. रमन

7. कौन-सा युग्म सही सुमेलित नहीं है?
(a) टेलीफ़ोन – अलेक्ज़ेंडर ग्राहम बेल (b) विद्युत सेल – एलेसांद्रो वोल्टा (c) एक्स-किरणें – विल्हेम रॉन्टजन (d) ट्रांजिस्टर – थॉमस एडिसन

8. आवोगाद्रो नियतांक का मान लगभग है
(a) $6.626 \times 10^{-34}\ mol^{-1}$ (b) $1.602 \times 10^{-19}\ mol^{-1}$ (c) $6.022 \times 10^{23}\ mol^{-1}$ (d) $6.674 \times 10^{-11}\ mol^{-1}$

9. 2026 का भौतिकी नोबेल पुरस्कार फ्रांसिस हाल्ज़ेन को किस कार्य के लिए मिला?
(a) हिग्स बोसॉन (b) गुरुत्वीय तरंगें (c) आइसक्यूब द्वारा संसूचित उच्च-ऊर्जा न्यूट्रिनो (d) सूर्य जैसे तारों के चारों ओर बाह्यग्रह

10. ग्रहीय गति के नियम किसने दिए?
(a) निकोलस कोपरनिकस (b) योहानेस केप्लर (c) गैलीलियो गैलिली (d) आइज़क न्यूटन

11. निम्नलिखित कथनों पर विचार कीजिए:
1. जेम्स वाट ने पहला कार्यशील भाप इंजन बनाया।
2. गैलीलियो ने दूरबीन का आविष्कार नहीं किया; उन्होंने उसे सुधारा और आकाश के अध्ययन में लगाया।
3. सी.वी. रमन भौतिकी का नोबेल पुरस्कार जीतने वाले एकमात्र भारतीय नागरिक हैं।
उपर्युक्त कथनों में से कौन-सा/से सही है/हैं?
(a) केवल 1 (b) केवल 1 और 2 (c) केवल 2 और 3 (d) 1, 2 और 3

12. निम्नलिखित युग्मों पर विचार कीजिए:
गैस नियम : स्थिर रखी गई राशि
1. बॉयल का नियम : ताप
2. चार्ल्स का नियम : आयतन
3. गे-लुसैक का नियम : आयतन
उपर्युक्त में से कितने युग्म सही सुमेलित हैं?
(a) केवल एक (b) केवल दो (c) सभी तीन (d) कोई भी नहीं

13. तूफ़ानी शाम में एक क्रिकेट मैच के दौरान (वायु लगभग 20 °C पर) एक दर्शक बिजली की चमक देखता है और उसकी गड़गड़ाहट 3 सेकंड बाद सुनता है। बिजली लगभग कितनी दूर गिरी?
(a) लगभग 1 km (b) लगभग 3 km (c) लगभग 100 m (d) लगभग 4.4 km

उत्तर: 1. (b) चैडविक ने 1932 में न्यूट्रॉन खोजा और 1935 का नोबेल पाया; रदरफोर्ड ने नाभिक और प्रोटॉन खोजे। · 2. (a) अणुओं से प्रकीर्णित प्रकाश की तरंगदैर्ध्य थोड़ी बदल जाती है; घोषणा 28 फ़रवरी 1928 को हुई। · 3. (a) लगभग 1.4 सौर द्रव्यमान से अधिक होने पर श्वेत वामन और ढहकर न्यूट्रॉन तारा या ब्लैक होल बन जाता है। · 4. (d) हॉपफ़ील्ड और हिंटन ने 2024 में जीता; एटोसेकंड स्पंद 2023, उलझे फोटॉन 2022, परिपथ 2025। · 5. (c) टॉरिसेली ने 1643 में पहला पारा बैरोमीटर बनाया। · 6. (a) भाभा ने 1945 में TIFR स्थापित किया; साराभाई ने PRL, साहा ने साहा संस्थान, रमन ने रमन अनुसंधान संस्थान स्थापित किया। · 7. (d) ट्रांजिस्टर 1947 में बेल लैब्स में बार्डीन, ब्रैटेन और शॉकली ने बनाया। · 8. (c) $N_A = 6.022 \times 10^{23}$ प्रति मोल; बाकी संख्याएँ h, e और G की हैं। · 9. (c) हाल्ज़ेन ने दक्षिणी ध्रुव पर आइसक्यूब न्यूट्रिनो वेधशाला का नेतृत्व किया, जिसने अंतरिक्ष से आने वाले उच्च-ऊर्जा न्यूट्रिनो खोजे। · 10. (b) केप्लर के तीन नियम (1609, 1619) कक्षाओं का वर्णन करते हैं; बाद में न्यूटन ने गुरुत्वाकर्षण से उनकी व्याख्या की। · 11. (c) गैलीलियो ने दूरबीन को सुधारकर (1609) आकाश की ओर मोड़ा, और रमन (1930) भौतिकी नोबेल पाने वाले एकमात्र भारतीय नागरिक हैं; पहला कार्यशील भाप इंजन थॉमस न्यूकॉमेन ने बनाया (1712), वाट ने उसे

दक्ष बनाया। · 12. (b) बॉयल का नियम ताप और गे-लुसैक का नियम आयतन स्थिर रखता है; चार्ल्स का नियम दाब स्थिर रखता है, इसीलिए $V \propto T$। · 13. (a) प्रकाश लगभग तुरंत पहुँचता है, इसलिए दूरी ≈ 343 m/s × 3 s ≈ 1 km; 4.4 km में गलती से जल में ध्वनि की चाल (≈ 1480 m/s) ली गई है।

सभी ★★★ तथ्य एक जगह

वे तथ्य जिन पर परीक्षक बार-बार लौटते हैं, अध्याय के क्रम में। इन्हें परीक्षा से पहले की रात और परीक्षा की सुबह पढ़ें।

1. मात्रक, मापन और मापक यंत्र

★ **मूल राशियाँ (7)**: लंबाई, द्रव्यमान, समय, विद्युत धारा, ताप, पदार्थ की मात्रा, ज्योति तीव्रता। बल, वेग, कार्य और दाब व्युत्पन्न हैं।

★ **अदिश (Scalar)**: केवल परिमाण होता है। द्रव्यमान, लंबाई, समय, चाल, दूरी, ताप, कार्य, ऊर्जा, शक्ति, दाब, घनत्व, आयतन, आवेश, विभव, आवृत्ति।

★ **सदिश (Vector)**: परिमाण और दिशा दोनों होते हैं और यह त्रिभुज (समांतर चतुर्भुज) नियम से जुड़ता है। विस्थापन, वेग, त्वरण, बल, भार, संवेग, आवेग, बल-आघूर्ण, कोणीय संवेग, विद्युत क्षेत्र, चुंबकीय क्षेत्र।

★ **विद्युत धारा अदिश है**, भले ही वह किसी दिशा में 'बहती' है: किसी संधि पर मिलने वाली दो धाराएँ सीधे जुड़ जाती हैं, सदिश योग का पालन नहीं करतीं।

★ **धारा घनत्व (Current density)** (प्रति एकांक क्षेत्रफल धारा) **सदिश है**; हर बिंदु पर यह प्रवाह की दिशा में होता है।

★ **दाब अदिश है**: द्रव के किसी बिंदु पर यह सभी दिशाओं में बराबर लगता है। इससे किसी सतह पर लगने वाला बल सदिश है।

★ **2019 की पुनर्परिभाषा (Redefinition)**: नवंबर 2018 में 26वें CGPM ने स्वीकार की, **20 मई 2019** (विश्व माप-विज्ञान दिवस) से लागू। h, e, k और N_A के मान सटीक रूप से निश्चित कर दिए गए।

★ **किलोग्राम** अब **प्लांक नियतांक (Planck constant) h = 6.626 070 15 × 10^{-34} J s** से परिभाषित है। पेरिस के पास सेव्र (Sèvres) में रखा प्लैटिनम-इरिडियम का पुराना बेलन (अंतरराष्ट्रीय प्रोटोटाइप किलोग्राम, 1889) हटा दिया गया।

★ **सेकंड** = **सीज़ियम-133** परमाणु के विकिरण के **9 192 631 770** दोलनों का समय (1967 से परमाणु घड़ी वाली परिभाषा)।

★ **F = BIL से टेस्ला**: तार पर बल = क्षेत्र × धारा × लंबाई, अतः B = F/(IL) और **1 T = 1 N A^{-1} m^{-1}** (न्यूटन प्रति ऐम्पियर-मीटर)। साथ ही 1 T = 1 Wb/m^2 = **10^4 गॉस**।

★ **वाट** हर प्रकार की शक्ति का मात्रक है, विद्युत शक्ति का भी: P = VI, अतः 1 W = 1 V × 1 A।

★ **हर्ट्ज़** = एक चक्र प्रति सेकंड; यह किसी भी तरंग या कंपन की आवृत्ति मापता है (ध्वनि, भारत में 50 Hz की AC मेन्स, रेडियो)।

★ **बिना मात्रक वाली (विमाहीन) राशियाँ**: **विकृति (Strain)** (लंबाई में परिवर्तन ÷ मूल लंबाई), अपवर्तनांक, आपेक्षिक घनत्व (विशिष्ट गुरुत्व), घर्षण गुणांक, पॉयसन अनुपात, आपेक्षिक विद्युतशीलता (परावैद्युतांक), मैक संख्या, दक्षता।

★ **प्रतिबल और दाब** दोनों बल प्रति क्षेत्रफल हैं, इसलिए दोनों **पास्कल** में मापे जाते हैं। विकृति का कोई मात्रक नहीं क्योंकि वह दो लंबाइयों का अनुपात है।

★ **रोज़मर्रा के उपसर्ग**: किलो 10^3, मेगा 10^6, गीगा 10^9, टेरा 10^{12}; मिली 10^{-3}, माइक्रो 10^{-6}, नैनो 10^{-9}, पिको 10^{-12}।

★ **प्रकाश-वर्ष दूरी मापता है, समय नहीं।** प्रकाश हर सेकंड लगभग 3 × 10^5 km चलता है; एक वर्ष में यह लगभग 9.46 × 10^{12} km हो जाता है।

★ **खगोलविद प्रकाश-वर्ष क्यों प्रयोग करते हैं**: **निर्वात में प्रकाश की चाल हर जगह और हमेशा समान** रहती है, इसलिए यह विशाल दूरियों के लिए एक आदर्श, न बदलने वाला पैमाना है।

★ **आकार का क्रम**: AU < प्रकाश-वर्ष < पारसेक। 1 ly ≈ 63 000 AU; 1 pc ≈ 3.26 ly।

★ **kWh से जूल**: 1 kWh = 1000 W × 3600 s = **3.6 × 10^6 J**। उदाहरण: 250 यूनिट = 250 × 3.6 × 10^6 = **9 × 10^8 J**।

★ **kWh ऊर्जा है, kW शक्ति।** मीटर खर्च हुई ऊर्जा गिनता है; हीटर पर लिखी रेटिंग (2 kW) उसकी शक्ति है।

★ **दाब (Pressure)** = बल ÷ क्षेत्रफल; SI मात्रक **पास्कल (N/m^2)**। 'kg/cm^2' वस्तुतः द्रव्यमान प्रति क्षेत्रफल है; दाब का मात्रक **kgf/cm^2** (किलोग्राम-भार प्रति वर्ग सेंटीमीटर) है। अतः यदि विकल्प केवल kg/cm^2, kg/cm, kg/mm और kg/cm^3 हों, तो उत्तर **इनमें से कोई नहीं** है: हर एक द्रव्यमान का मात्रक है जिसे लंबाई, क्षेत्रफल या आयतन से भाग दिया गया है।

★ **डेसिबल (Decibel)** (**बेल** का दसवाँ भाग, अलेक्ज़ेंडर ग्राहम बेल (Alexander Graham Bell) के नाम पर): 0 dB = सबसे धीमी सुनाई देने वाली ध्वनि; फुसफुसाहट ≈ 30 dB; बातचीत ≈ 60 dB; लगभग 85 dB से ऊपर लंबे समय तक रहने से सुनने की क्षमता को हानि; दर्द लगभग 120–130 dB पर।

★ **ओडोमीटर बनाम स्पीडोमीटर**: ओडोमीटर = तय की गई दूरी (km); स्पीडोमीटर = इस समय की चाल (km/h)। **क्रोनोमीटर** सटीक समय रखता है; **ऐमीटर** धारा मापता है।

★ **हाइग्रोमीटर बनाम हाइड्रोमीटर**: hygro = वायु में नमी (आर्द्रता); hydro = जल, अर्थात द्रवों का घनत्व। **लैक्टोमीटर** दूध के लिए हाइड्रोमीटर है।

★ **CSIR-NPL, नई दिल्ली** SI मात्रकों (द्रव्यमान, लंबाई, समय, ताप, धारा, प्रकाश आदि) के भारत के राष्ट्रीय मानकों को साकार करती और बनाए रखती है तथा उनसे यंत्रों का अंशांकन करती है।

★ **CSIR-NPL भारतीय मानक समय (Indian Standard Time, IST)** को **परमाणु घड़ियों (सीज़ियम मानकों)** के एक समूह से रखती है, जो BIPM के माध्यम से विश्व समय (UTC) से जुड़ा है।

★ **IST = UTC + 5 घंटे 30 मिनट**, जो **82.5° E (82°30′ E) देशांतर रेखा** पर आधारित है; यह रेखा **मिर्ज़ापुर (Mirzapur) (उत्तर प्रदेश)** के पास से गुज़रती है; भारत एक ही समय क्षेत्र प्रयोग करता है।

★ **82.5° E** देशांतर रेखा **पाँच राज्यों** से गुज़रती है: **उत्तर प्रदेश, मध्य प्रदेश, छत्तीसगढ़, ओडिशा और आंध्र प्रदेश** (उत्तर से दक्षिण)। ट्रिक: 'U-M-C-O-A'।

2. गति, बल और न्यूटन के नियम

★ **गैलीलियो गैलिली (Galileo Galilei)** ने सबसे पहले **चाल** को प्रति इकाई समय में तय की गई दूरी के रूप में परिभाषित किया।

★ **दूरी** = पथ की कुल लंबाई; सदा धनात्मक। **विस्थापन** = आरंभ से अंत तक की सीधी-रेखा दूरी, दिशा सहित; यह धनात्मक, ऋणात्मक या शून्य हो सकता है।

★ **त्वरण (Acceleration)** = वेग परिवर्तन की दर, a = (v − u)/t, मात्रक **m/s^2**। ऋणात्मक त्वरण को **मंदन (Retardation)** या अवत्वरण कहते हैं।

★ **एकसमान त्वरित गति के समीकरण (Equations of motion)**: v = u + at; s = ut + ½at^2; v^2 = u^2 + 2as (u = प्रारंभिक वेग, v = अंतिम वेग, a = त्वरण, s = विस्थापन, t = समय)।

★ **दूरी–समय ग्राफ का ढाल (Slope) = चाल**; सीधी तिरछी रेखा का अर्थ है एकसमान चाल, क्षैतिज रेखा का अर्थ है वस्तु विराम में है, ऊपर की ओर मुड़ते वक्र का अर्थ है चाल बढ़ रही है।

★ **वेग–समय ग्राफ का ढाल = त्वरण**; **उसके नीचे का क्षेत्रफल = विस्थापन** (गति एक ही दिशा में हो तो दूरी)।

★ **मुक्त पतन (Free fall)**: केवल गुरुत्व के अधीन गति। **निर्वात (Vacuum)** में एक साथ गिराए गए पंख, रबर की गेंद और लकड़ी की गेंद **एक साथ ज़मीन पर पहुँचते हैं**; त्वरण g ≈ **9.8 m/s^2** द्रव्यमान पर निर्भर नहीं करता।

★ **क्षैतिज से 45° पर परास (Range) अधिकतम** होता है (वायु प्रतिरोध की उपेक्षा करने पर)।

★ **अभिकेंद्र बल** केंद्र की ओर लगता है और वस्तु को वृत्तीय पथ पर बनाए रखता है: F = mv^2/r = $m\omega^2 r$।

★ **अपकेंद्रण (Centrifugation)** में मिश्रण को तेज़ी से घुमाया जाता है ताकि सघन भाग बाहर की ओर जाकर अलग हो जाएँ: **क्रीम सेपरेटर** (दूध), **वॉशिंग मशीन का स्पिन ड्रायर** (पानी ड्रम के छेदों से निकल जाता है), रक्त सेंट्रीफ्यूज (लाल रक्त कोशिकाएँ नली की तली में बैठ जाती हैं)।

★ **सड़कों का बंकन (Banking of roads)**: मोड़ का बाहरी किनारा ऊँचा रखा जाता है ताकि झुकाव स्वयं अभिकेंद्र बल दे और घर्षण पर निर्भर हुए बिना मोड़ सुरक्षित हो। रेल के मोड़ों पर **बाहरी पटरी ऊँची** रखी जाती है (कैंट)।

★ **पहला नियम (जड़त्व का नियम)**: कोई वस्तु अपनी विराम की अवस्था या सीधी रेखा में एकसमान गति की अवस्था में तब तक बनी रहती है जब तक उस पर कोई बाहरी असंतुलित बल न लगे।

★ **संवेग** p = द्रव्यमान × वेग, एक सदिश; मात्रक **kg·m/s** (= N·s)।

★ **दूसरा नियम**: बल **संवेग परिवर्तन की दर** के बराबर होता है, F = Δp/Δt = ma, और परिवर्तन की दिशा में लगता है।

★ **आवेग (Impulse)** = बल × समय = संवेग में परिवर्तन; मात्रक N·s। संवेग में किसी निश्चित परिवर्तन के लिए **रुकने का समय जितना लंबा, बल उतना छोटा**।

★ **तीसरा नियम**: प्रत्येक क्रिया (Action) की **बराबर और विपरीत प्रतिक्रिया (Reaction)** होती है। दोनों बल **अलग-अलग वस्तुओं** पर लगते हैं, इसलिए कभी एक-दूसरे को निरस्त नहीं करते।

★ **संवेग संरक्षण का नियम (Law of conservation of momentum)**: यदि कोई बाहरी बल न लगे तो किसी निकाय का कुल संवेग स्थिर रहता है। यह दूसरे और तीसरे नियम से निकलता है।

★ **बंदूक का प्रतिक्षेप (Recoil)**: गोली चलाने से पहले कुल संवेग शून्य है, अतः बाद में m(गोली) × v(गोली) = M(बंदूक) × V(बंदूक)। बंदूक बहुत भारी है, इसलिए धीरे पीछे हटती है। 4 kg की बंदूक से 400 m/s पर चली 10 g की गोली 1 m/s का प्रतिक्षेप देती है।

★ **रॉकेट** संवेग संरक्षण से काम करता है: पीछे फेंकी गई निकास गैस रॉकेट को आगे की ओर बराबर संवेग देती है। यह अपना ऑक्सीकारक साथ ले जाता है और इसे **धकेलने के लिए हवा की ज़रूरत नहीं** होती, इसलिए यह अंतरिक्ष में भी काम करता है।

★ **स्थैतिक घर्षण (Static friction)** गति शुरू होने से पहले लगता है और लगाए गए बल के बराबर होने के लिए **स्वयं को समायोजित** कर लेता है; इसका अधिकतम मान **सीमांत घर्षण (Limiting friction)** है।

★ **लोटनिक घर्षण (Rolling friction) सर्पी घर्षण से बहुत कम** होता है। क्रम: **सीमांत स्थैतिक > गतिज (सर्पी) > लोटनिक**।

★ **नियत वेग** पर कुल बल शून्य होता है, इसलिए घर्षण ठीक लगाए गए बल के बराबर होता है: किसी बक्से को 200 N से एकसमान धकेलने का अर्थ है घर्षण 200 N है।

★ **बॉल बेयरिंग (Ball bearings)** पहिए और धुरी के बीच **प्रभावी संपर्क क्षेत्रफल घटाकर सर्पी घर्षण को लोटनिक घर्षण में बदलते हैं**; साइकिल, कार, पंखे, मोटर में प्रयुक्त।

★ **बल-आघूर्ण (Torque / moment of force)** = बल × अक्ष से लंबवत दूरी; मात्रक **N·m**; यह सदिश है। कब्ज़ों के पास दरवाज़ा धकेलने पर वह मुश्किल से हिलता है।

★ **गुरुत्व केंद्र (Centre of gravity, CG)**: वह बिंदु जिससे होकर वस्तु का पूरा भार लगता है। यह पदार्थ के बाहर भी हो सकता है, जैसे छल्ले या चूड़ी के केंद्र पर।

★ **स्थायित्व (Stability) नीचे गुरुत्व केंद्र** और **चौड़े आधार** से बढ़ता है। वस्तु तभी पलटती है जब उसके गुरुत्व केंद्र से जाने वाली ऊर्ध्वाधर रेखा **आधार के बाहर** पड़े।

★ **कोणीय संवेग** L = Iω बाहरी बल-आघूर्ण (Torque) न होने पर **संरक्षित** रहता है: I घटे तो ω बढ़ता है।

★ **आइस स्केटर या बैले नर्तकी** बाँहें भीतर खींचने पर तेज़ और फैलाने पर धीमी घूमती है।

3. कार्य, ऊर्जा, शक्ति और सरल मशीनें

★ **कार्य** = बल × बल की दिशा में विस्थापन (Displacement): **W = F s cos θ**। SI मात्रक **जूल (Joule)** (1 J = 1 N × 1 m); यह **अदिश (Scalar)** राशि है।

★ **शून्य कार्य** तब होता है जब बल और विस्थापन के बीच **90°** का कोण हो या विस्थापन ही न हो।

★ **गतिज ऊर्जा** KE = ½mv²। चूँकि संवेग (Momentum) p = mv, इसलिए **KE = p²/2m**। KE कभी ऋणात्मक नहीं होती।

★ **वेग दुगुना → KE 4 गुनी** (KE ∝ v²)। यदि **संवेग दुगुना** हो (द्रव्यमान वही), तो KE भी **4 गुनी** हो जाती है।

★ **गुरुत्वीय स्थितिज ऊर्जा** PE = mgh; इसे किसी चुने हुए संदर्भ तल से मापा जाता है।

★ **ऊर्जा संरक्षण का नियम (Law of conservation of energy)**: ऊर्जा न तो उत्पन्न की जा सकती है न नष्ट, केवल एक रूप से दूसरे रूप में बदली जा सकती है; विलगित निकाय की कुल ऊर्जा स्थिर रहती है।

★ **मुक्त पतन (Free fall)** में PE लगातार घटती है और KE उतनी ही बढ़ती है; कुल यांत्रिक ऊर्जा (KE + PE) वही रहती है, इसलिए नियम का **उल्लंघन नहीं** होता।

★ **घर्षण (Friction) गतिज ऊर्जा को ऊष्मा में बदलता है**; इसी कारण यांत्रिक ऊर्जा खोती लगती है और ब्रेक, टायर और उल्काएँ गरम हो जाते हैं।

★ **शक्ति** P = कार्य ÷ समय = ऊर्जा ÷ समय; साथ ही P = बल × वेग। SI मात्रक **वाट (Watt)** (1 W = 1 J/s), जेम्स वाट (James Watt) के नाम पर।

★ **1 अश्वशक्ति (hp) = 746 W** (≈ 0.75 kW)।

★ **किलोवाट-घंटा (kWh) ऊर्जा का** व्यावसायिक **मात्रक** है: 1 kWh = 1000 W × 3600 s = **3.6 × 10⁶ J**। बिजली के बिल की एक यूनिट यही एक kWh है।

★ **दक्षता (Efficiency)** = उपयोगी निर्गत ÷ निवेश × 100%। वास्तविक मशीनों में यह सदा **100% से कम** होती है, क्योंकि कुछ ऊर्जा ऊष्मा, ध्वनि और घर्षण में खो जाती है।

★ **यांत्रिक लाभ (Mechanical advantage, MA)** = भार ÷ आयास। MA > 1 का अर्थ है मशीन बल को बढ़ाती है।

★ **उत्तोलक (Lever)** एक दृढ़ छड़ है जो एक स्थिर बिंदु, **आलंब (Fulcrum, F)**, के चारों ओर घूमती है। उत्तोलक का नियम: भार × भार भुजा = आयास × आयास भुजा। इसका वर्ग इस पर निर्भर करता है कि बीच में क्या है।

★ **एकल स्थिर घिरनी (Fixed pulley)**: MA = 1 (आदर्श)। यह बल में लाभ नहीं देती पर आयास की **दिशा बदल** देती है ताकि खींचना सुविधाजनक हो: झंडा फहराना, कुएँ से पानी खींचना।

4. गुरुत्वाकर्षण और उपग्रह

★ **गुरुत्वाकर्षण का सार्वत्रिक नियम (Universal law of gravitation)** (न्यूटन, प्रिंसिपिया, 1687): $F = G\,m_1m_2 / r^2$: बल द्रव्यमानों के गुणनफल के अनुक्रमानुपाती और उनके केंद्रों के बीच की दूरी के **वर्ग** के व्युत्क्रमानुपाती होता है।

★ **G** (सार्वत्रिक गुरुत्वाकर्षण नियतांक) = $\mathbf{6.67 \times 10^{-11}\ N\cdot m^2/kg^2}$; ब्रह्मांड में हर जगह समान और वस्तुओं के बीच के माध्यम से अप्रभावित। हेनरी कैवेंडिश (Henry Cavendish) ने इसे पहली बार 1798 में मापा।

★ सतह पर $\mathbf{g \approx 9.8\ m/s^2}$ (विषुवत रेखा पर लगभग 9.78, ध्रुवों पर 9.83)। यह गिरती वस्तु के **द्रव्यमान पर निर्भर नहीं करता**।

★ **अक्षांश (Latitude)**: पृथ्वी एक लघ्वक्ष गोलाभ (Oblate spheroid) है, जो विषुवत रेखा पर उभरी हुई है, इसलिए ध्रुव केंद्र के अधिक पास हैं। **g ध्रुवों पर अधिकतम और विषुवत रेखा पर न्यूनतम होता है**; वस्तु का भार ध्रुवों पर सबसे अधिक होता है।

★ **ऊँचाई (Altitude)**: ऊपर जाने पर g **घटता** है (कम ऊँचाई के लिए $g' \approx g(1 - 2h/R)$)। पहाड़ की चोटी पर भार थोड़ा कम होता है।

★ **गहराई (Depth)**: खदान में नीचे जाने पर भी g **घटता** है ($g' = g(1 - d/R)$) और **पृथ्वी के केंद्र पर शून्य** हो जाता है।

★ यदि **पृथ्वी तेज़ घूमने लगे**, तो विषुवत रेखा पर भार **घटेगा**; यदि **घूमना बंद कर दे**, तो विषुवत रेखा पर भार बढ़ेगा; ध्रुवों पर दोनों स्थितियों में भार वही रहेगा।

★ **चंद्रमा का गुरुत्व ≈ पृथ्वी का 1/6** (1.62 m/s²): 60 kg के व्यक्ति का भार पृथ्वी पर लगभग 588 N और चंद्रमा पर लगभग 98 N होता है; द्रव्यमान 60 kg ही रहता है।

★ **भारहीनता (Weightlessness) मुक्त पतन** में शून्य आभासी भार की अनुभूति है। कक्षा में घूमते स्टेशन में अंतरिक्ष यात्री इसलिए तैरते हैं कि वे और स्टेशन साथ-साथ पृथ्वी के चारों ओर गिर रहे हैं; अंतरराष्ट्रीय अंतरिक्ष स्टेशन (ISS) (~400 km ऊपर) पर गुरुत्व अब भी **सतही g का लगभग 90%** है।

★ निर्वात (Vacuum) में एक साथ गिराए गए **पंख, रबर की गेंद और लकड़ी की गेंद एक साथ ज़मीन पर पहुँचते हैं**।

★ उपग्रह नीचे नहीं गिरता क्योंकि **पृथ्वी का गुरुत्व ठीक उतना अभिकेंद्र त्वरण (Centripetal acceleration) देता है** जितना उसकी वृत्तीय गति के लिए चाहिए; वह पृथ्वी के चारों ओर लगातार मुक्त पतन में है।

★ पृथ्वी की सतह के पास **कक्षीय वेग (Orbital velocity) ≈ 7.9 km/s** ($v_0 = \sqrt{(gR)}$); ऊँची कक्षाओं के लिए यह कम होता है (~400 km पर ISS लगभग 7.7 km/s से चलता है और लगभग 92 मिनट में पृथ्वी का चक्कर लगाता है)।

★ **पलायन वेग (Escape velocity)** = वह न्यूनतम चाल जिससे कोई वस्तु किसी ग्रह के गुरुत्व से सदा के लिए निकल जाए: $v_e = \sqrt{(2GM/R)} = \sqrt{(2gR)}$। **पृथ्वी के लिए = 11.2 km/s**; **चंद्रमा के लिए ≈ 2.4 km/s**।

★ पलायन वेग और कक्षीय वेग प्रक्षेपित वस्तु के **द्रव्यमान पर निर्भर नहीं करते** (और पलायन वेग प्रक्षेपण की दिशा पर भी नहीं)। **$v_e = \sqrt{2} \times v_0 \approx 1.41 \times$** कक्षीय वेग।

★ **चंद्रमा पर वायुमंडल नहीं है**: उसका पलायन वेग (≈ 2.4 km/s) इतना कम है कि गर्म दिन में तेज़ चलते गैस अणु (उनकी rms चाल) निकल भागते हैं। 11.2 km/s वाली पृथ्वी अपनी हवा को थामे रखती है।

★ **हर भूस्थिर कक्षा भू-तुल्यकालिक है, पर हर भू-तुल्यकालिक कक्षा भूस्थिर नहीं**: भूस्थिर के लिए ठीक विषुवत रेखा के ऊपर वृत्तीय कक्षा चाहिए।

★ **आदित्य-L1**, सूर्य के अध्ययन के लिए भारत का पहला अंतरिक्ष मिशन, **2 सितंबर 2023 को PSLV-C57** से प्रक्षेपित हुआ और **6 जनवरी 2024 को L1 के चारों ओर हेलो कक्षा (Halo orbit)** में स्थापित हुआ; इसमें सात उपकरण हैं, जिनमें कोरोना के अध्ययन के लिए VELC शामिल है।

★ ज्वार-भाटा (Tides) मुख्यतः **चंद्रमा के गुरुत्व** से आता है; सूर्य का ज्वार उठाने वाला प्रभाव चंद्रमा के प्रभाव के **आधे** से थोड़ा कम है, क्योंकि ज्वारीय बल पृथ्वी के आर-पार खिंचाव के **अंतर** पर निर्भर करता है, जो दूरी के घन के साथ घटता है।

★ **वृहत् ज्वार (Spring tides)** (सबसे ऊँचे ज्वार): **अमावस्या और पूर्णिमा** को, जब सूर्य, पृथ्वी और चंद्रमा एक रेखा में होते हैं। **निम्न ज्वार (Neap tides)** (सबसे कमज़ोर): **शुक्ल और कृष्ण पक्ष की अष्टमी** (First and last quarter) को, जब सूर्य और चंद्रमा समकोण पर खींचते हैं।

★ **चंद्रशेखर सीमा (Chandrasekhar limit) ≈ 1.4 सौर द्रव्यमान** (1.44): **श्वेत वामन (White dwarf)** का अधिकतम द्रव्यमान। इससे भारी मृत क्रोड और सिकुड़कर **न्यूट्रॉन तारा (Neutron star)** या **ब्लैक होल (Black hole)** बन जाता है। हमारा सूर्य अंत में श्वेत वामन बनेगा।

★ **सुब्रह्मण्यन चंद्रशेखर (Subrahmanyan Chandrasekhar)** ने 1930 में यह सीमा निकाली और **1983 का भौतिकी का नोबेल पुरस्कार** साझा किया; नासा (NASA) की **चंद्रा एक्स-रे वेधशाला (Chandra X-ray Observatory)** उन्हीं के नाम पर है।

★ **ब्लैक होल**: ऐसा क्षेत्र जहाँ गुरुत्व इतना प्रबल है कि उसकी सीमा, **घटना क्षितिज (Event horizon)**, के भीतर से कुछ भी, प्रकाश भी, नहीं निकल सकता; इसका पलायन वेग प्रकाश की चाल से अधिक है। यह नाम जॉन व्हीलर (John Wheeler) ने 1967 में लोकप्रिय बनाया।

★ पहली प्रत्यक्ष पहचान: **14 सितंबर 2015** (GW150914), अमेरिका में जुड़वाँ **लाइगो (LIGO)** डिटेक्टरों (हैनफ़ोर्ड और लिविंगस्टन) द्वारा, लगभग 1.3 अरब प्रकाश-वर्ष दूर दो ब्लैक होलों के विलय से। **2017 का भौतिकी का नोबेल पुरस्कार** राइनर वाइस (Rainer Weiss), बैरी बैरिश (Barry Barish) और किप थॉर्न (Kip Thorne) को मिला।

★ **लाइगो-इंडिया (LIGO-India)**: **महाराष्ट्र के हिंगोली ज़िले के औंढा** में 4 km भुजाओं वाला डिटेक्टर, जिसे **परमाणु ऊर्जा विभाग और विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी विभाग** अमेरिकी लाइगो प्रयोगशाला (NSF) के साथ बना रहे हैं। केंद्रीय मंत्रिमंडल ने इसे अप्रैल 2023 में लगभग ₹2,600 करोड़ की लागत पर मंज़ूरी दी; **23 अप्रैल 2026 को निर्माण की नींव रखी गई**, और पहले प्रेक्षणों का **लक्ष्य 2030** है।

5. पदार्थ के गुण: ठोस और तरल

★ **बोस–आइंस्टीन संघनित (Bose–Einstein condensate, BEC)**, **पाँचवीं अवस्था**, की भविष्यवाणी 1924-25 में **सत्येंद्र नाथ बोस (Satyendra Nath Bose)** और **अल्बर्ट आइंस्टीन (Albert Einstein)** ने की थी; इसे पहली बार 1995 में एरिक कॉर्नेल (Eric Cornell) और कार्ल वीमैन (Carl Wieman) ने बनाया (वोल्फ़गैंग केटरले, Wolfgang Ketterle, के साथ 2001 का नोबेल पुरस्कार)।

★ **हुक का नियम (Hooke's law)** (रॉबर्ट हुक, Robert Hooke, 17वीं सदी): **प्रत्यास्थता सीमा (Elastic limit)** के भीतर **प्रतिबल विकृति के अनुक्रमानुपाती होता है**। **कमानीदार तुला (Spring balance)** इसी नियम पर काम करती है।

★ **यंग प्रत्यास्थता गुणांक (Young's modulus)** Y = अनुदैर्ध्य प्रतिबल ÷ अनुदैर्ध्य विकृति; मात्रक पास्कल। **स्टील (~200 GPa) रबर (कुछ MPa) से कहीं अधिक प्रत्यास्थ है**।

★ **दाब (Pressure)** = बल ÷ क्षेत्रफल (P = F/A); एक अदिश। SI मात्रक **पास्कल (Pa) = N/m²**।

★ **अधिक क्षेत्रफल, कम दाब**: स्कूल बैग के चौड़े पट्टे, रेत पर **ऊँट के चौड़े पैर**, चौड़ी चेन-पटरियों पर चलते ट्रैक्टर और टैंक, इमारतों की चौड़ी नींव, रेल पटरियों के नीचे स्लीपर, बर्फ़ पर चलने के जूते।

★ **द्रव का दाब** P = **hρg** (गहराई × घनत्व × g); यह गहराई के साथ बढ़ता है, **सभी दिशाओं में बराबर** लगता है, और बर्तन के आकार पर निर्भर नहीं करता।

★ **बाँध की दीवारें नीचे मोटी बनाई जाती हैं** क्योंकि सबसे अधिक गहराई पर पानी का दाब सबसे अधिक होता है।

★ समुद्र तल पर **सामान्य वायुमंडलीय दाब (Atmospheric pressure) ≈ 1.013×10^5 Pa** = पारे का 76 cm = लगभग **10.3 m** ऊँचा पानी का स्तंभ। यह **ऊँचाई के साथ घटता** है।

★ **पीने की स्ट्रॉ, सिरिंज, ड्रॉपर, सक्शन हुक**: आप भीतर का दाब घटाते हैं, और **बाहर का वायु दाब** द्रव को भीतर धकेलता है या हुक को दीवार से दबाए रखता है।

★ **विमान में फ़ाउंटेन पेन का रिसना**: केबिन का दाब स्याही की नली में फँसी हवा के दाब से कम होता है, इसलिए फँसी हवा फैलकर स्याही को बाहर धकेलती है।

★ **पास्कल का नियम (Pascal's law)** (ब्लेज़ पास्कल, Blaise Pascal): **बंद द्रव** पर लगाया गया दाब **सभी दिशाओं में बिना घटे** संचरित होता है।

★ हाइड्रोलिक मशीन में $F_1/A_1 = F_2/A_2$, अतः **$F_2 = F_1 \times (A_2/A_1)$**: छोटे पिस्टन पर छोटा बल बड़े पिस्टन पर भारी बोझ उठा देता है। बल गुणित होता है; **कार्य नहीं** (बड़ा पिस्टन कम दूरी चलता है)।

★ उपयोग: **हाइड्रोलिक लिफ्ट** (कार सर्विस स्टेशन), **हाइड्रोलिक ब्रेक** (एक पैडल चारों पहियों तक बराबर दाब भेजता है), **हाइड्रोलिक प्रेस** (ब्रामा प्रेस, कपास की गाँठें बाँधने और धातु दबाने के लिए), हाइड्रोलिक जैक, JCB खुदाई मशीन की भुजाएँ, दंत चिकित्सक और नाई की कुर्सियाँ।

★ **आर्किमिडीज़ का सिद्धांत (Archimedes' principle)**: किसी तरल में पूरी या आंशिक रूप से डूबी वस्तु पर **हटाए गए तरल के भार के बराबर ऊपर की ओर उत्प्लावन बल** लगता है; उसका भार उतना ही घटा हुआ प्रतीत होता है।

★ **प्लवन का नियम (Law of flotation)**: वस्तु तब तैरती है जब उसका भार उसके द्वारा हटाए गए द्रव के भार के बराबर हो। **द्रव से कम सघन वस्तु तैरती है**, अधिक सघन डूब जाती है।

★ **किनारे तक भरे गिलास में तैरती बर्फ़**: पिघलने पर पानी का **स्तर नहीं बदलता** और कुछ नहीं छलकता, क्योंकि तैरती बर्फ़ पहले ही ठीक अपने भार के बराबर पानी हटा चुकी थी।

★ **हिमशैल (Iceberg)**: समुद्री पानी (लगभग 1025 kg/m³) में बर्फ़ (917 kg/m³) **लगभग 9/10 भाग सतह के नीचे** रखकर तैरती है, इसीलिए कहते हैं 'हिमशैल का सिरा' (tip of the iceberg)।

★ **जहाज़ नदी की तुलना में समुद्र में अधिक ऊपर तैरता है**: सघन समुद्री पानी में कम आयतन हटाना पड़ता है। नदी से समुद्र में जाता जहाज़ **थोड़ा ऊपर उठ जाता है**। जहाज़ों पर **भार रेखा (प्लिमसोल रेखा, Plimsoll line)** बनी होती है, जो अलग-अलग पानी में सुरक्षित लदान दिखाती है।

★ **पृष्ठ तनाव (Surface tension)**: द्रव की सतह पर प्रति इकाई लंबाई बल; मात्रक **N/m** (J/m² भी)। 25 °C पर पानी ≈ 0.072 N/m; पारे का कहीं अधिक (लगभग 0.48 N/m)।

★ **वर्षा की बूँदें, पारे की बूँदें और साबुन के बुलबुले गोल होते हैं** क्योंकि पृष्ठ तनाव क्षेत्रफल को न्यूनतम करता है।

★ **रुके हुए पानी पर मिट्टी का तेल या तेल** उसका पृष्ठ तनाव घटाता है; **मच्छरों के लार्वा**, जो साँस लेने के लिए सतह की झिल्ली से लटके रहते हैं, अब टिक नहीं पाते, डूबकर मर जाते हैं।

★ **काँच में पानी**: आसंजन > संसंजन, इसलिए पानी **काँच को भिगोता है**, **अवतल नवचंद्रक (Concave meniscus)** बनाता है (स्पर्श कोण लगभग 0°, न्यून कोण) और केशिका नली में **ऊपर चढ़ता है**।

★ **काँच में पारा**: संसंजन > आसंजन, इसलिए पारा **काँच को नहीं भिगोता**, **उत्तल नवचंद्रक (Convex meniscus)** बनाता है (स्पर्श कोण लगभग 140°, अधिक कोण) और केशिका में **नीचे दब जाता है**।

★ **केशिकत्व (Capillarity)**: पृष्ठ तनाव के कारण पतली नली या बारीक छिद्रों में द्रव का ऊपर चढ़ना या नीचे उतरना। **नली जितनी पतली, चढ़ाव उतना अधिक** ($h = 2T\cos\theta / \rho g r$; ऊँचाई ∝ 1/त्रिज्या)।

★ ऊपरी मिट्टी की **गुड़ाई या जुताई बारीक केशिकाओं को तोड़ देती है**, इसलिए भूजल सतह तक चढ़कर वाष्पित नहीं हो पाता; मिट्टी **नमी बनाए रखती है**। मिट्टी पर **रोलर चलाना** (दबाना) उलटा काम करता है और पानी ऊपर लाता है।

★ **श्यानता**: तरल का आंतरिक घर्षण, परतों के बीच **प्रवाह का प्रतिरोध**। श्यानता गुणांक का SI मात्रक: **पास्कल-सेकंड (Pa·s)**; CGS मात्रक **पॉइज़ (poise)** (1 Pa·s = 10 पॉइज़)।

★ श्यानता का क्रम: **शहद > ग्लिसरीन > रक्त > पानी > वायु**। रक्त पानी से लगभग 3–4 गुना श्यान है।

★ **ताप**: गर्म करने पर **द्रवों की श्यानता घटती है** (गर्म शहद और इंजन ऑयल आसानी से बहते हैं) पर **गैसों की श्यानता बढ़ती है**।

★ **सीमांत वेग (Terminal velocity)**: गिरती वस्तु की चाल तब तक बढ़ती है जब तक कर्षण और उत्प्लावन मिलकर उसके भार के बराबर न हो जाएँ; तब कुल बल शून्य होता है और वह **नियत चाल** से गिरती है।

★ **वर्षा की बूँदें** केवल कुछ मीटर प्रति सेकंड का सीमांत वेग पाती हैं, इसलिए चोट नहीं पहुँचातीं; **बड़ी बूँदें तेज़ गिरती हैं** (छोटी बूँदों के लिए सीमांत वेग ∝ r^2)। बादलों की नन्ही बूँदें इतनी धीरे गिरती हैं कि बादल तैरते हुए लगते हैं।

★ **बरनौली का सिद्धांत (Bernoulli's principle)**: आदर्श तरल के स्थायी प्रवाह में प्रति इकाई आयतन दाब ऊर्जा + गतिज ऊर्जा + स्थितिज ऊर्जा स्थिर रहती है, इसलिए **जहाँ चाल बढ़ती है, वहाँ दाब घटता है**। यह तरलों पर लागू ऊर्जा संरक्षण है।

★ **वायुयान का उत्थापन (Lift)**: पंख (एयरोफ़ॉइल) का आकार और झुकाव ऐसा होता है कि हवा **ऊपर से तेज़** बहती है; ऊपर का दाब नीचे के दाब से कम हो जाता है, जिससे पंख ऊपर धकेला जाता है।

★ **आँधी में छतें उड़ना**: छत के ऊपर तेज़ हवा वहाँ का दाब घटा देती है जबकि भीतर की स्थिर हवा ऊपर धकेलती है; हल्की टिन की छतें उखड़ जाती हैं।

★ **एटमाइज़र, इत्र स्प्रे, कीटनाशक पंप (फ़्लिट गन), पेंट स्प्रे गन, कार्बुरेटर**: नली के ऊपर से गुज़रती तेज़ हवा की धार वहाँ दाब घटाती है, जिससे द्रव ऊपर खिंचकर महीन फुहार में टूट जाता है।

6. ऊष्मा और ऊष्मागतिकी

★ **ऊष्मा के बहाव की दिशा**: ऊष्मा **ऊँचे ताप से निम्न ताप** की ओर बहती है, अपने-आप कभी 'अधिक ऊष्मा' से 'कम ऊष्मा' की ओर नहीं। दोनों का ताप बराबर होते ही बहाव रुक जाता है (तापीय साम्य, Thermal equilibrium)।

★ **मुख्य सूत्र**: C/5 = (F − 32)/9 = (K − 273.15)/5 = R/4.

★ **सेल्सियस → फ़ारेनहाइट**: F = (9/5) × C + 32. अतः **40 °C = 104 °F**, **50 °C = 122 °F**, 30 °C = 86 °F, 100 °C = 212 °F.

★ **फ़ारेनहाइट → सेल्सियस**: C = (F − 32) × 5/9. अतः 212 °F = 100 °C, 68 °F = 20 °C.

★ **−40** ही एकमात्र ताप है जहाँ **सेल्सियस और फ़ारेनहाइट एक ही संख्या** दिखाते हैं।

★ **शरीर का सामान्य ताप ≈ 37 °C = 98.6 °F = 310 K**.

★ **पायरोमीटर** गर्म वस्तु से निकलने वाले विकिरण से बहुत ऊँचे ताप को दूर से मापता है।

★ **रेल की पटरियों** के बीच छोटे अंतराल (प्रसार जोड़) छोड़े जाते हैं ताकि गर्मियों में पटरियाँ बिना मुड़े लंबी हो सकें।

★ **टेलीफ़ोन और बिजली के तार गर्मियों में झूल जाते हैं** (लंबे हो जाते हैं) और सर्दियों में तन जाते हैं; इसीलिए इन्हें ढीला बाँधा जाता है।

★ **द्विधात्विक पट्टी (Bimetallic strip)**: भिन्न प्रसार वाली दो धातुएँ (पीतल और लोहा) एक साथ रिवेट की हुई। गर्म करने पर यह मुड़ जाती है, और अधिक फैलने वाला पीतल बाहरी (उत्तल) ओर रहता है। यह बिजली की इस्त्री, गीज़र, रेफ्रिजरेटर, AC और फ़ायर अलार्म में **थर्मोस्टेट** का स्विच चलाती है।

★ **जल का अधिकतम घनत्व 4 °C पर** (लगभग 1000 kg/m³)। 4 °C और 0 °C के बीच जल ठंडा होने पर फैलता है।

★ **तालाब और झीलें ऊपर से नीचे की ओर जमती हैं**: 4 °C तक ठंडा जल सबसे घना होता है और नीचे बैठ जाता है; उससे ठंडा जल ऊपर रहकर जमता है। तल का जल लगभग 4 °C पर द्रव रहता है, इसलिए **मछलियाँ और पौधे जीवित रहते हैं**।

★ **बर्फ तैरती है**: बर्फ (लगभग 917 kg/m³) जल से कम घनी है; हिमशैल का लगभग नौ-दसवाँ भाग पानी के नीचे रहता है।

★ **जल की विशिष्ट ऊष्मा** सामान्य पदार्थों में **सबसे अधिक** है, लगभग **4186 J/kg·K**।

★ **तटीय जलवायु सम रहती है** (मुंबई, चेन्नई), जबकि भीतरी स्थान (दिल्ली, राजस्थान) चरम ताप झेलते हैं: समुद्र धीरे गर्म और धीरे ठंडा होता है।

★ **बर्फ के गलन की गुप्त ऊष्मा = 334 kJ/kg (80 cal/g)**: 0 °C की बर्फ को 0 °C के पानी में बदलने में अवशोषित होती है।

★ **जल के वाष्पन की गुप्त ऊष्मा = 2260 kJ/kg (540 cal/g)**: 100 °C के पानी को 100 °C की भाप में बदलने में अवशोषित होती है।

★ **100 °C की भाप अधिक जलाती है**, उबलते पानी या 100 °C की गर्म हवा से भी अधिक: त्वचा पर संघनित होते समय वह अपनी बड़ी वाष्पन गुप्त ऊष्मा भी छोड़ती है।

★ **0 °C की बर्फ, 0 °C के पानी से अधिक ठंडक देती है**: हर किलोग्राम बर्फ गर्म होने से पहले केवल पिघलने में 334 kJ सोख लेती है।

★ **त्रिक बिंदु (Triple point)**: वह एकमात्र ताप और दाब जहाँ ठोस, द्रव और गैस साथ-साथ रहते हैं। जल के लिए: **273.16 K (0.01 °C), लगभग 611 Pa पर**।

★ **अधिक दाब → ऊँचा क्वथनांक (Boiling point)**। **प्रेशर कुकर** दाब को लगभग 2 वायुमंडल तक बढ़ाता है, इसलिए पानी लगभग **120 °C** पर उबलता है और खाना जल्दी पकता है।

★ **कुकर में ताप क्या तय करता है**: सीटी उठाने के लिए आवश्यक भाप का दाब, अर्थात **छेद पर रखा भार और छेद का क्षेत्रफल** (दाब = भार ÷ क्षेत्रफल)। तेज़ आँच से सीटी बस जल्दी-जल्दी बजती है; ताप नहीं बढ़ता।

★ **कम दाब → निम्न क्वथनांक**। पहाड़ों पर पानी 100 °C से नीचे उबलता है (लगभग हर 300 m पर करीब 1 °C कम; एवरेस्ट की चोटी पर लगभग 70 °C), इसलिए दाल-चावल धीरे पकते हैं।

★ **अशुद्धि गलनांक घटाती है**: बर्फ पिघलाने के लिए **बर्फीली सड़कों पर नमक डाला जाता है**; बर्फ + नमक से **हिम मिश्रण (Freezing mixture)** बनता है (लगभग −20 °C तक), जिससे कुल्फ़ी और आइसक्रीम बनती है।

★ **वाष्पन से ठंडक होती है**: निकलते अणु जिस सतह को छोड़ते हैं, उससे गुप्त ऊष्मा ले लेते हैं।

★ **वाष्पन तेज़ होता है** ऊँचे ताप, बड़े पृष्ठ क्षेत्रफल, अधिक हवा और कम आर्द्रता से; वाष्पशील द्रव (स्पिरिट, ऐसीटोन, पेट्रोल) सबसे तेज़ वाष्पित होते हैं।

★ **पंखा हमें ठंडक देता है** क्योंकि चलती हवा त्वचा के पास की नम हवा हटा देती है और **पसीना तेज़ी से वाष्पित** होता है। पंखा हवा को ठंडा नहीं करता।

★ **मटका (मिट्टी का घड़ा)**: पानी बारीक छिद्रों से रिसकर बाहर की सतह से वाष्पित होता है और भीतर का पानी ठंडा करता है। सुराही पर लिपटा गीला कपड़ा भी यही करता है।

★ **सबसे अच्छे चालक**: **चाँदी > ताँबा > सोना > ऐलुमिनियम**। **पारा** सामान्य धातुओं में ऊष्मा का सबसे खराब चालक है, सीसे या जस्ते से भी खराब।

★ **ऊनी कपड़े हमें गर्म रखते हैं** क्योंकि ऊन हवा को रोक लेता है, जो बहुत खराब चालक है; ऊन स्वयं कोई ऊष्मा नहीं बनाता।

★ **समुद्री समीर (Sea breeze, दिन)**: स्थल समुद्र से जल्दी गर्म होता है, स्थल के ऊपर की हवा उठती है, ठंडी हवा **समुद्र से स्थल की ओर** बहती है।

★ **स्थलीय समीर (Land breeze, रात)**: स्थल जल्दी ठंडा होता है, अपेक्षाकृत गर्म समुद्र के ऊपर हवा उठती है, हवा **स्थल से समुद्र की ओर** बहती है।

★ **विकिरण को माध्यम नहीं चाहिए**; चालन और संवहन दोनों को चाहिए।

★ **अच्छे अवशोषक अच्छे उत्सर्जक होते हैं** (किरचॉफ़ का नियम, Kirchhoff's law)। धुँधली काली सतहें सबसे अच्छा अवशोषण और उत्सर्जन करती हैं; सफ़ेद और चमकीली सतहें परावर्तित करती हैं।

★ **गर्मियों में सफ़ेद कपड़े** धूप को परावर्तित करते हैं; **सर्दियों में गहरे रंग के कपड़े** उसे सोखते हैं।

★ **वीन का नियम (Wien's law)**: $\lambda_{max} \times T$ = नियतांक ($\approx 2.9 \times 10^{-3}$ m·K)। अधिक गर्म वस्तुएँ छोटी तरंगदैर्ध्य पर चमकती हैं, इसलिए **गर्म तारे नीले-सफ़ेद और ठंडे तारे लाल दिखते हैं**; गर्म होता लोहा पहले लाल, फिर नारंगी, फिर सफ़ेद चमकता है।

★ **बादल वाली रातें साफ़ रातों से गर्म होती हैं**: बादल धरती से निकले अवरक्त को सोखकर वापस भेजते हैं। ओस और पाला साफ़, शांत रातों में बनते हैं।

★ दोहरी काँच की दीवारों के बीच **निर्वात चालन और संवहन** रोकता है।

★ **चाँदी चढ़ी दीवारें** ऊष्मा विकिरण को परावर्तित करती हैं और **विकिरण** से ऊष्मा का जाना या आना रोकती हैं।

★ **ग्रीनहाउस प्रभाव**: सूर्य का प्रकाश (अधिकतर लघु तरंग दृश्य प्रकाश) हवा से गुज़रकर धरती को गर्म करता है; धरती दीर्घ तरंग **अवरक्त** विकिरण छोड़ती है, जिसे **CO_2, जलवाष्प, मीथेन और नाइट्रस ऑक्साइड** सोखकर वापस नीचे भेजती हैं।

★ **बंद कमरे में फ़्रिज का दरवाज़ा खुला छोड़ने पर** कमरा ठंडा नहीं, **गर्म** होता है। फ़्रिज ऊष्मा को केवल भीतर से बाहर की कुंडलियों तक ले जाता है, और अपनी मोटर के कार्य की ऊष्मा भी जोड़ देता है।

7. तरंगें और ध्वनि

★ **वायु में (और किसी भी द्रव या गैस में) ध्वनि अनुदैर्ध्य होती है**; ठोसों में ध्वनि अनुदैर्ध्य और अनुप्रस्थ दोनों रूपों में चल सकती है।

★ **ध्रुवण (Polarisation)** केवल अनुप्रस्थ तरंगों में होता है; प्रकाश का ध्रुवण हो सकता है, यह सिद्ध करता है कि प्रकाश अनुप्रस्थ है। ध्वनि का ध्रुवण नहीं हो सकता।

★ **तरंग समीकरण**: **$v = f \times \lambda$**। 340 m/s की चाल और 340 Hz आवृत्ति वाली ध्वनि की तरंगदैर्ध्य 1 m होती है।

★ **आवृत्ति स्रोत तय करता है** और तरंग के दूसरे माध्यम में जाने पर यह नहीं बदलती; **चाल और तरंगदैर्ध्य बदलते हैं**।

★ **ध्वनि को माध्यम चाहिए**; यह निर्वात में नहीं चल सकती। **चंद्रमा पर** वायु नहीं है, इसलिए अंतरिक्ष यात्री रेडियो (विद्युतचुंबकीय तरंगों) से बात करते हैं।

★ **क्रम**: **ठोस > द्रव > गैस**। ध्वनि **स्टील** जैसे ठोसों में सबसे तेज़ चलती है, वायु से लगभग 17 गुना तेज़।

★ **ताप**: वायु में चाल **हर 1 °C पर लगभग 0.6 m/s** बढ़ती है (0 °C पर 331 m/s, 20 °C पर 343 m/s)।

★ **आर्द्रता**: **नम वायु में ध्वनि तेज़** चलती है, क्योंकि समान ताप पर नम वायु शुष्क वायु से हल्की (कम घनी) होती है।

★ **दाब**: स्थिर ताप पर वायु का दाब बदलने से ध्वनि की चाल पर **कोई प्रभाव नहीं** पड़ता।

★ **प्रकाश (3×10^8 m/s) ध्वनि से लगभग दस लाख गुना तेज़** है: हम गरज सुनने से पहले बिजली देखते हैं, पटाखे की आवाज़ से पहले उसका फटना देखते हैं, और दूर के बल्लेबाज़ का शॉट बल्ले की आवाज़ से पहले देखते हैं।

★ **तूफ़ान की दूरी**: चमक और गरज के बीच सेकंड गिनिए; **हर 3 सेकंड ≈ 1 km** (ध्वनि हर सेकंड लगभग 340 m चलती है)।

★ मनुष्य का **श्रव्य परास (Audible range)**: **20 Hz से 20 kHz**। ऊपरी सीमा उम्र के साथ घटती है; बच्चे और युवा सबसे ऊँचे स्वर सुनते हैं।

★ **अवश्रव्य ध्वनि** (20 Hz से नीचे): **भूकंप** (मुख्य झटके से पहले, इसीलिए कुछ जानवर बेचैन हो जाते हैं), ज्वालामुखी और झूलता लोलक इसे उत्पन्न करते हैं; **हाथी, व्हेल और गैंडे** इससे संचार करते हैं।

★ **पराश्रव्य ध्वनि** (20 kHz से ऊपर): **चमगादड़, डॉल्फ़िन, पॉरपॉइज़, कुत्ते** और चूहे इसे सुनते हैं। कुत्ते लगभग 45 kHz तक सुनते हैं, इसीलिए 'मूक' कुत्ता-सीटी काम करती है।

★ **अल्ट्रासाउंड जाँच (Ultrasonography)** से **गर्भ में भ्रूण**, पित्त और गुर्दे की पथरी और ट्यूमर दिखते हैं। पराश्रव्य ध्वनि आयनकारी नहीं है, इसलिए X-किरणों के विपरीत यह भ्रूण के लिए सुरक्षित है।

★ **सोनार (SONAR)** (**SO**und **N**avigation **A**nd **R**anging) जल में पराश्रव्य ध्वनि भेजकर प्रतिध्वनि का समय मापता है और **समुद्र की गहराई**, पनडुब्बियाँ, मछलियों के झुंड, हिमशैल और डूबे जहाज़ खोजता है। **गहराई = चाल × समय ÷ 2**।

★ **प्रतिध्वनि-निर्धारण (Echolocation)**: **चमगादड़** पराश्रव्य चीं-चीं निकालकर और उसकी प्रतिध्वनि सुनकर अंधेरे में उड़ते और शिकार करते हैं; **डॉल्फ़िन** जल में यही करती हैं।

★ **प्रतिध्वनि** के लिए परावर्तन का मूल ध्वनि के **कम से कम 0.1 s** बाद पहुँचना ज़रूरी है।

★ **प्रतिध्वनि के लिए न्यूनतम दूरी** वायु में ≈ **17.2 m** (344 m/s पर ध्वनि 0.1 s में 34.4 m चलती है: जाना और लौटना)।

★ **अनुरणन (Reverberation)**: 0.1 s के भीतर पहुँचने वाले अनेक परावर्तनों से हॉल में ध्वनि का बने रहना; इसकी अधिकता से भाषण अस्पष्ट हो जाता है।

★ **अधिक आवृत्ति → ऊँचा तारत्व**। **महिलाओं और बच्चों की आवाज़ तीखी होती है** क्योंकि उनके वाक्-तंतु छोटे और पतले होते हैं और तेज़ी से कंपन करते हैं।

★ **प्रबलता आयाम पर निर्भर है**, आवृत्ति पर नहीं। शेर की दहाड़ प्रबल पर निम्न तारत्व की होती है; मच्छर की भिनभिनाहट धीमी पर ऊँचे तारत्व की।

★ **+10 dB = 10 गुनी तीव्रता**; +20 dB = 100 गुनी; +3 dB ≈ दोगुनी।

★ पुल पार करते समय **सैनिक कदम तोड़ देते हैं**: कदम मिलाकर चलना पुल की प्राकृतिक आवृत्ति से मेल खा सकता है और खतरनाक अनुनाद पैदा कर सकता है।

★ **रेडियो और टीवी ट्यूनिंग**: नॉब घुमाने से रिसीवर परिपथ की प्राकृतिक आवृत्ति तब तक बदलती है जब तक वह किसी एक स्टेशन की आवृत्ति से मेल न खा जाए, यानी उसके साथ अनुनाद न करे (विद्युत अनुनाद)।

★ **पास आता** स्रोत या श्रोता → **ऊँचा** आभासी तारत्व; **दूर जाता → नीचा** तारत्व। स्रोत की वास्तविक आवृत्ति नहीं बदलती।

★ **ट्रेन का हॉर्न या एम्बुलेंस का सायरन** आपके पास से गुज़रते ही तारत्व में नीचे आ जाता है।

★ **अभिरक्त विस्थापन (Red shift)**: दूर की आकाशगंगाओं का प्रकाश लंबी (अधिक लाल) तरंगदैर्ध्य की ओर खिसका होता है, अतः वे दूर जा रही हैं; एडविन हबल (Edwin Hubble) ने (1929) इससे दिखाया कि **ब्रह्मांड फैल रहा है**।

★ **मैक संख्या (Mach number)** = वस्तु की चाल ÷ उसी माध्यम में ध्वनि की चाल। 1 से नीचे **अवध्वनिक (Subsonic)**, 1 से ऊपर **पराध्वनिक (Supersonic)**, 5 से ऊपर **अतिध्वनिक (Hypersonic)**।

★ **ध्वनि बूम (Sonic boom)**: पराध्वनिक विमान अपने पीछे शंकु के आकार की **आघात तरंग (Shock wave)** खींचता है; ज़मीन पर से गुज़रता यह शंकु तेज़ धमाके के रूप में सुनाई देता है, पूरे उड़ान-पथ के साथ, केवल उस क्षण नहीं जब विमान मैक 1 पार करता है।

★ **तने हुए तार की आवृत्ति तनाव** के साथ बढ़ती है और **लंबाई** तथा **मोटाई (प्रति इकाई लंबाई द्रव्यमान)** के साथ घटती है: $f \propto (1/L)\sqrt{(T/m)}$।

★ खूँटियाँ घुमाकर **सितार या वायलिन मिलाना** तार का **तनाव**, और इसलिए उसकी **आवृत्ति**, बदलता है ताकि वह दूसरे वाद्यों से मेल खाए।

★ **स्टेथोस्कोप** (रेने लेनेक, René Laennec, 1816): छाती पर रखा भाग हृदय और फेफड़ों की ध्वनियाँ पकड़ता है, जो ध्वनि के **बहुल परावर्तन** से नलियों के रास्ते डॉक्टर के कानों तक पहुँचती हैं।

8. प्रकाश I: परावर्तन, अपवर्तन और प्रकाशीय परिघटनाएँ

★ **निर्वात में प्रकाश की चाल (Speed of light)** $c = 299{,}792{,}458$ m/s सटीक (≈ **3×10^8 m/s**)। इससे तेज़ कुछ नहीं चलता। मीटर की परिभाषा भी इसी मान से दी जाती है।

★ **पदार्थ में धीमा**: वायु ≈ c; जल ≈ 2.25×10^8 m/s; काँच ≈ 2×10^8 m/s; हीरा ≈ 1.24×10^8 m/s। अपवर्तनांक (Refractive index) जितना अधिक, प्रकाश उतना धीमा ($v = c/n$)।

★ **सूर्य से पृथ्वी**: 1 AU (≈ 1.5×10^8 km) की दूरी तय करने में प्रकाश को ≈ **8 मिनट 20 सेकंड** (≈ 499 s) लगते हैं। चंद्रमा से पृथ्वी ≈ **1.3 s**।

★ **छाया** प्रकाश के **ऋजुरेखीय संचरण** के कारण बनती है: अपारदर्शी (Opaque) वस्तुएँ प्रकाश रोकती हैं, पारदर्शी (Transparent) उसे जाने देती हैं, पारभासी (Translucent) कुछ प्रकाश जाने देती हैं।

★ **परावर्तन के नियम (Laws of reflection)**: (1) आपतन कोण = परावर्तन कोण, दोनों **अभिलंब (Normal)** से मापे जाते हैं; (2) आपतित किरण, परावर्तित किरण और अभिलंब **एक ही तल** में होते हैं। ये समतल और वक्र दोनों प्रकार के दर्पणों पर लागू होते हैं।

★ **समतल दर्पण (Plane mirror) का प्रतिबिंब**: **आभासी, सीधा, समान आकार का**, दर्पण के पीछे उतनी ही दूरी पर जितनी दूरी पर वस्तु सामने है, और **पार्श्व उल्टा (Laterally inverted)** (बायाँ और दायाँ आपस में बदल जाते हैं)।

★ **AMBULANCE** शब्द गाड़ी के आगे उल्टे अक्षरों (दर्पण-लेखन) में लिखा जाता है, ताकि आगे चल रहा चालक उसे अपने पीछे देखने वाले दर्पण में सही पढ़ सके।

★ **समतल दर्पण की फोकस दूरी = अनंत** (इसकी वक्रता त्रिज्या अनंत है)। आवर्धन = +1।

★ **पूरा प्रतिबिंब**: दर्पण की लंबाई आपकी **ऊँचाई की केवल आधी** होनी चाहिए, आप उससे कितनी भी दूरी पर हों (दर्पण का ऊपरी किनारा आँखों और सिर के शीर्ष के बीच के मध्य बिंदु के स्तर पर)।

★ **θ कोण पर रखे दो दर्पण $360/\theta - 1$** प्रतिबिंब बनाते हैं (जब $360/\theta$ सम संख्या हो तब सटीक): 90° → 3, 60° → 5, 45° → 7, 30° → 11। **समांतर दर्पण** (θ = 0, जैसे नाई की दुकान या लिफ़्ट में) **अनंत** प्रतिबिंब बनाते हैं।

★ **अवतल दर्पण के उपयोग**: दाढ़ी बनाने और मेकअप के दर्पण, दंत चिकित्सक और ईएनटी (ENT) डॉक्टर के दर्पण (बड़ा, सीधा दृश्य), टॉर्च, वाहनों की हेडलाइट और सर्चलाइट के परावर्तक (बल्ब फोकस पर), सोलर कुकर और सौर भट्ठी (सूर्य का प्रकाश एक गर्म बिंदु पर केंद्रित), परावर्ती दूरदर्शी, डिश एंटीना।

★ **उत्तल दर्पण के उपयोग**: वाहनों के पीछे देखने वाले और साइड दर्पण, पहाड़ी सड़कों के अंधे मोड़ों पर लगे दर्पण, दुकानों और एटीएम (ATM) में सुरक्षा दर्पण: प्रतिबिंब सदा सीधा और **दृष्टि-क्षेत्र बहुत अधिक विस्तृत**।

★ प्रकाश एक माध्यम से दूसरे में जाए तो **आवृत्ति (Frequency) वही रहती है**; **चाल और तरंगदैर्ध्य (Wavelength) बदलते हैं** (माध्यम में λ = निर्वात में λ / n)। रंग आवृत्ति पर निर्भर है, इसलिए लाल प्रकाश पानी के नीचे भी लाल ही दिखता है।

★ **मुड़ने का नियम**: विरल → सघन: अभिलंब की ओर; सघन → विरल: अभिलंब से दूर। अभिलंब के अनुदिश (सतह से 90° पर) आने वाली किरण बिना मुड़े सीधी निकल जाती है।

★ **अपवर्तनांक (Refractive index)** $n = c / v$ (निर्वात में चाल ÷ माध्यम में चाल)। वायु 1.0003, बर्फ 1.31, **जल 1.33**, ऐल्कोहॉल 1.36, मिट्टी का तेल (केरोसिन) 1.44, **काँच ≈ 1.5**, सेंधा नमक 1.54, माणिक (रूबी) 1.71, **हीरा 2.42**।

★ **तारों का टिमटिमाना वायुमंडलीय अपवर्तन (Atmospheric refraction)** के कारण है। तारा इतना दूर है कि वह **बिंदु स्रोत** है; उसका प्रकाश बदलते अपवर्तनांक वाली गतिशील वायु परतों से गुज़रता है, इसलिए उसकी आभासी स्थिति और चमक लगातार बदलती रहती है।

★ **ग्रह नहीं टिमटिमाते**: वे इतने पास हैं कि छोटी **चकतियों (डिस्क)** जैसे दिखते हैं। एक चकती अनेक बिंदु स्रोतों का समूह है; उनकी झिलमिलाहटें औसत होकर मिट जाती हैं।

★ **अग्रिम सूर्योदय और विलंबित सूर्यास्त**: अपवर्तन के कारण सूर्य वास्तविक उदय से लगभग **2 मिनट पहले** और अस्त होने के **2 मिनट बाद** तक दिखता है; इससे दिन लगभग 4 मिनट लंबा हो जाता है।

★ **पूर्ण आंतरिक परावर्तन की दो शर्तें**: प्रकाश **सघन से विरल** माध्यम में जाए, और आपतन कोण **क्रांतिक कोण से बड़ा** हो।

★ **हीरा चमकता है** क्योंकि उसका क्रांतिक कोण बहुत छोटा है; अच्छी तरह तराशे गए हीरे में घुसा प्रकाश ऊपर से निकलने से पहले भीतर बार-बार पूर्ण परावर्तित होता है।

★ **प्रकाशिक तंतु (Optical fibre)**: अधिक n वाले काँच का पतला कोर (Core), कम n वाले आवरण (Cladding) के भीतर। प्रकाश सीमा पर क्रांतिक कोण से बड़े कोण पर टकराता रहता है और भीतर फँसा रहता है, मोड़ों पर भी तंतु के साथ चलता है। उपयोग: इंटरनेट और टेलीफ़ोन संपर्क, एंडोस्कोपी (शरीर के भीतर देखना) और सजावटी लैंप।

★ **मरीचिका (Mirage)** (रेगिस्तान और गर्मियों में गर्म सड़कें): गर्म ज़मीन के पास की हवा अधिक गर्म और **विरल** होती है। आकाश से आता प्रकाश परतों से गुज़रते हुए अधिकाधिक ऊपर की ओर मुड़ता है और अंत में पूर्ण परावर्तित हो जाता है, इसलिए आँख को ज़मीन पर आकाश का उल्टा प्रतिबिंब दिखता है, जो पानी के तालाब जैसा लगता है।

★ **विक्षेपण**: श्वेत प्रकाश का सात रंगों में बँटना, **VIBGYOR** (बैंगनी, जामुनी, नीला, हरा, पीला, नारंगी, लाल); हिंदी में याद रखें **बैं-जा-नी-ह-पी-ना-ला**। **आइज़क न्यूटन (Isaac Newton)** ने काँच के प्रिज्म से इसे दिखाया (1666)।

★ **बैंगनी सबसे अधिक, लाल सबसे कम विचलित**: काँच का अपवर्तनांक बैंगनी के लिए सबसे अधिक है, इसलिए बैंगनी काँच में सबसे धीमा चलता है और सबसे अधिक मुड़ता है। निर्वात में सभी रंग एक ही चाल से चलते हैं।

★ **इंद्रधनुष = अपवर्तन + विक्षेपण + आंतरिक परावर्तन**, पानी की बूँदों के भीतर।

★ **सूर्य प्रेक्षक के पीछे**, वर्षा सामने: इंद्रधनुष सदा आकाश के उस भाग में दिखता है जो **सूर्य के विपरीत** हो: **सुबह पश्चिम में**, **शाम को पूर्व में**।

★ **प्राथमिक इंद्रधनुष (Primary rainbow)**: एक आंतरिक परावर्तन, अधिक चमकीला, **लाल बाहर (ऊपर)**, बैंगनी भीतर।

★ **नीला आकाश**: वायु के अणु नीले को लाल से कहीं अधिक प्रकीर्णित करते हैं; यह प्रकीर्णित नीला प्रकाश आकाश की हर दिशा से हमारी आँखों तक आता है। (बैंगनी और भी अधिक प्रकीर्णित होता है, पर सूर्य के प्रकाश में बैंगनी कम है और हमारी आँखें उसके प्रति कम संवेदनशील हैं।)

★ **सूर्योदय और सूर्यास्त पर लाल/नारंगी सूर्य**: क्षितिज के पास के सूर्य का प्रकाश वायु में बहुत लंबा मार्ग तय करता है; रास्ते में अधिकांश नीला प्रकीर्णित होकर निकल जाता है, लाल और नारंगी बचते हैं। दोपहर में मार्ग छोटा होता है और सूर्य सफेद दिखता है।

★ **खतरे और रुकने के संकेत लाल होते हैं**: लाल सबसे कम प्रकीर्णित होता है, इसलिए कोहरे, धुएँ और धूल में सबसे दूर तक जाता है और दूर से दिखता है।

★ **अंतरिक्ष में काला आकाश**: सूर्य के प्रकाश को प्रकीर्णित करने वाली वायु न होने से अंतरिक्ष यात्रियों को और चंद्रमा से आकाश दिन में भी काला दिखता है।

★ **सी.वी. रमन (C.V. Raman)** ने इसे **के.एस. कृष्णन (K.S. Krishnan)** के साथ कोलकाता में खोजा; घोषणा **28 फ़रवरी 1928** को हुई। रमन को **भौतिकी का नोबेल पुरस्कार, 1930** मिला; वे विज्ञान में नोबेल पाने वाले पहले एशियाई थे। उन्हें 1954 में भारत रत्न मिला।

★ **राष्ट्रीय विज्ञान दिवस** इस खोज की याद में हर वर्ष **28 फ़रवरी** को मनाया जाता है (1987 से)।

★ **साबुन के बुलबुले और गीली सड़क पर तेल की परतें** पतली परतों में प्रकाश के **व्यतिकरण** के कारण रंगीन दिखती हैं; परत की मोटाई बदलने पर रंग बदलते हैं।

9. प्रकाश II: लेंस, मानव नेत्र और प्रकाशिक यंत्र

★ **आवर्धक लेंस (Magnifying glass, पढ़ने का लेंस)** कम फोकस दूरी वाला **उत्तल लेंस** है, जिसे इस तरह पकड़ा जाता है कि वस्तु उसकी फोकस दूरी के भीतर रहे।

★ **लेंस का कुछ भाग ढका हो**: लेंस का हर भाग वस्तु के हर बिंदु से प्रकाश पाता है, इसलिए लेंस का आधा भाग ढकने या उस पर काली पट्टियाँ रँगने पर भी **पूरा प्रतिबिंब** बनता है, केवल **कम चमकीला**।

★ **क्षमता** P = 1/f, जिसमें f **मीटर** में हो। SI मात्रक: **डायोप्टर (Dioptre, D)** = m^{-1}। उत्तल लेंस: धनात्मक क्षमता; अवतल लेंस: ऋणात्मक क्षमता।

★ **उदाहरण**: f = +50 cm → P = +2 D; f = +25 cm → +4 D; −2.5 D का लेंस अवतल है और उसकी f = −40 cm है।

★ **रेटिना पर प्रतिबिंब वास्तविक, उल्टा और छोटा** होता है; मस्तिष्क उसे सीधा समझता है।

★ **समंजन क्षमता**: पक्ष्माभी पेशियों (Ciliary muscles) की सहायता से नेत्र लेंस की फोकस दूरी बदलने की नेत्र की क्षमता, जिससे पास और दूर की दोनों वस्तुएँ रेटिना पर फोकस हों।

★ सामान्य वयस्क नेत्र का **निकट बिंदु (Near point)** = **25 cm** (स्पष्ट दृष्टि की न्यूनतम दूरी); **दूर बिंदु (Far point)** = **अनंत**। इसलिए सामान्य नेत्र 25 cm से अनंत तक स्पष्ट देखता है।

★ **वर्णांधता (Colour blindness)**: कुछ **शंकु** अनुपस्थित या दोषपूर्ण होते हैं, प्रायः लाल-हरे का भ्रम। यह **वंशानुगत** है (जीन X गुणसूत्र पर), इसलिए **पुरुषों** में (लगभग 8%) महिलाओं से कहीं अधिक होती है; इसका कोई इलाज नहीं है और इसकी जाँच इशिहारा (Ishihara) बिंदु परीक्षण से होती है।

★ **रतौंधी (Night blindness)**: मंद प्रकाश में **शलाकाएँ** काम नहीं कर पातीं, क्योंकि **रोडॉप्सिन** वर्णक के लिए **विटामिन A** चाहिए; विटामिन A की कमी से यह होती है (गाजर, हरी पत्तेदार सब्ज़ियाँ, आम, पपीता, अंडे सहायक हैं)।

★ **दृष्टि-स्थायित्व (Persistence of vision)**: रेटिना पर किसी दृश्य की छाप लगभग **1/16 सेकंड** तक बनी रहती है।

★ **सिनेमा** इसी पर चलता है: फ़िल्में **प्रति सेकंड 24 फ्रेम** दिखाती हैं, जो 16 से अधिक है, इसलिए अलग-अलग स्थिर चित्र लगातार गति जैसे दिखते हैं।

★ दूरदर्शी की **विभेदन क्षमता (Resolving power)** (दो पास-पास के तारों को अलग दिखाने की क्षमता) **अभिदृश्यक के व्यास के साथ बढ़ती है**; चौड़ा अभिदृश्यक अधिक प्रकाश भी एकत्र करता है, इसलिए मंद वस्तुएँ भी दिखने लगती हैं।

★ **बड़े दूरदर्शी परावर्ती क्यों होते हैं**: दर्पण में वर्ण विपथन (Chromatic aberration) नहीं होता (वह सभी रंगों को एक जैसा परावर्तित करता है), उसे पीछे से सहारा दिया जा सकता है, केवल एक सतह चमकानी होती है और उसे बहुत बड़ा बनाया जा सकता है; बड़े लेंस झुक जाते हैं और रंगों को अलग कर देते हैं। अनुसंधान के लिए बना अब तक का सबसे बड़ा अपवर्ती दूरदर्शी, यर्किस वेधशाला (Yerkes Observatory, अमेरिका, 1897) का, केवल लगभग 1 m (40 इंच) चौड़े लेंस वाला है।

★ **अपारदर्शी वस्तु का रंग** = वह जिस प्रकाश को परावर्तित करती है उसका रंग। **सफेद** सभी रंगों को परावर्तित करता है; **काला** सभी को अवशोषित करता है (इसीलिए काले कपड़े धूप में अधिक गर्म होते हैं)। हरी पत्ती हरे को परावर्तित करती है और प्रकाश-संश्लेषण के लिए लाल और नीले को अवशोषित करती है।

★ **प्रकाश के प्राथमिक रंग (Primary colours)**: **लाल, हरा, नीला (RGB)**। प्रकाश मिलाने पर: लाल + हरा = **पीला**; हरा + नीला = **सियान (Cyan)**; नीला + लाल = **मैजेंटा (Magenta)**; लाल + हरा + नीला = **सफेद**। टीवी, मोबाइल और LED स्क्रीन नन्हे RGB बिंदुओं से हर रंग बनाती हैं।

10. विद्युतचुंबकीय स्पेक्ट्रम और तरंग प्रकाशिकी

★ **चाल**: हर विद्युतचुंबकीय तरंग **निर्वात में c ≈ 3 × 10^8 m/s** से चलती है, उसकी तरंगदैर्ध्य चाहे जो हो; पदार्थ के भीतर यह धीमी होती है।

★ **अनुप्रस्थ (Transverse)**: विद्युत और चुंबकीय क्षेत्र एक-दूसरे के और गति की दिशा के लंबवत कंपन करते हैं। इसीलिए प्रकाश का ध्रुवण (Polarisation) हो सकता है।

★ **माध्यम की आवश्यकता नहीं**: विद्युतचुंबकीय तरंगें खाली अंतरिक्ष पार कर लेती हैं (सूर्य का प्रकाश पृथ्वी तक पहुँचता है); ध्वनि ऐसा नहीं कर सकती।

★ **आवेशरहित**: विद्युतचुंबकीय तरंगें विद्युत या चुंबकीय क्षेत्रों से विक्षेपित नहीं होतीं। एक्स-किरणें और गामा किरणें ऐसे क्षेत्रों से सीधी निकल जाती हैं।

★ **तरंग संबंध**: c = f × λ। फोटॉन ऊर्जा E = h × f, इसलिए अधिक आवृत्ति का अर्थ अधिक ऊर्जा। 100 MHz पर FM की λ = 3 m; हरे प्रकाश (~500 nm) की f ≈ 6 × 10^{14} Hz।

★ **ऊर्जा और आवृत्ति का क्रम (कम → अधिक)**: रेडियो < सूक्ष्म तरंग < अवरक्त < दृश्य < पराबैंगनी < एक्स-किरणें < गामा। **तरंगदैर्ध्य का क्रम इसका उल्टा है**: रेडियो सबसे लंबी, गामा सबसे छोटी।

★ **माइक्रोवेव ओवन (Microwave oven) 2.45 GHz** पर काम करता है: जल (और वसा, शर्करा) के अणुओं में विद्युत आवेश असमान रूप से बँटा होता है, इसलिए वे तेज़ी से पलटते क्षेत्र के साथ आगे-पीछे मुड़ते हैं; यही धक्कामुक्की भोजन को गर्म करती है। काँच, चीनी मिट्टी और माइक्रोवेव-सुरक्षित प्लास्टिक सूक्ष्म तरंगों को आर-पार जाने देते हैं और ठंडे रहते हैं; **धातु उन्हें परावर्तित करती है** और चिंगारी निकल सकती है।

★ **अवरक्त (Infrared) = ऊष्मा किरणें**: हर गर्म वस्तु अवरक्त किरणें छोड़ती है। उपयोग: **टीवी और एसी के रिमोट**, **रात्रि दृष्टि और थर्मल कैमरे** (सेना, सीमा सुरक्षा, बुखार की जाँच), फिज़ियोथेरेपिस्ट द्वारा **मांसपेशियों के दर्द में ताप चिकित्सा**, पेंट सुखाना, फसलों और जंगल की आग का अवरक्त सुदूर संवेदन।

★ **दृश्य प्रकाश (Visible light)**: **400–700 nm** (बाहरी सीमाएँ लगभग 380–780 nm, यानी लगभग **3900–7800 Å**)। आँख पीले-हरे प्रकाश (~555 nm) के प्रति सबसे संवेदनशील है।

★ **पराबैंगनी (Ultraviolet)**: सूर्य इसका मुख्य स्रोत है। **UV-A** (315–400 nm) अधिकतर ज़मीन तक पहुँचती है (त्वचा का साँवला होना, त्वचा का बूढ़ा होना); **UV-B** (280–315 nm) अधिकतर ओज़ोन द्वारा सोख ली जाती है (धूप से जलन, त्वचा कैंसर, पर यही त्वचा में **विटामिन D** भी बनाती है); **UV-C** (100–280 nm) ओज़ोन और ऑक्सीजन द्वारा पूरी तरह सोख ली जाती है।

★ **जल शोधकों में UV** जीवाणुओं और विषाणुओं का DNA क्षतिग्रस्त करके उन्हें मारती या निष्क्रिय करती है। यह गंध, घुले लवण या गंदलापन **नहीं** हटाती (उसके लिए फ़िल्टर या RO चाहिए)।

★ **एक्स-किरणें (X-rays)**: एक्स-रे नली में तेज़ इलेक्ट्रॉनों के धातु लक्ष्य (टंगस्टन) से टकराने पर बनती हैं। ये मांस के पार निकल जाती हैं पर **हड्डियाँ** (कैल्शियम) इन्हें सोख लेती हैं, जिससे छाया-चित्र बनते हैं। उपयोग: हड्डी टूटना, दाँतों के एक्स-रे, **CT स्कैन**, मैमोग्राफ़ी, **हवाई अड्डों और सीमाओं पर सामान स्कैनर**, धातु की ढलाई में दरारें खोजना, **एक्स-रे क्रिस्टलोग्राफी** (DNA की संरचना एक एक्स-रे चित्र से ही समझी गई)।

★ **गामा किरणें (Gamma rays)**: रेडियोधर्मी नाभिकों (कोबाल्ट-60, सीज़ियम-137) और नाभिकीय अभिक्रियाओं से निकलती हैं। उपयोग: कैंसर कोशिकाओं को मारने के लिए **विकिरण चिकित्सा (Radiotherapy)** (कोबाल्ट थेरेपी, गामा नाइफ़), सिरिंज, दस्तानों और शल्य उपकरणों का **निर्जीवीकरण**, प्याज़ और आलू का अंकुरण रोकने तथा मसालों और आमों में कीड़े मारने के लिए **खाद्य विकिरणन (Food irradiation)**।

★ **व्यतिकरण**: प्रकाश की दो तरंगें एक-दूसरे पर पड़ती हैं; शृंग पर शृंग पड़ने से चमक (संपोषी, Constructive), शृंग पर गर्त पड़ने से अँधेरा (विनाशी, Destructive)। इसके लिए **कलासंबद्ध (Coherent)** स्रोत चाहिए (समान आवृत्ति, स्थिर कला)। **थॉमस यंग (Thomas Young) के द्वि-झिरी प्रयोग (1801)** ने सिद्ध किया कि प्रकाश तरंग है।

★ **पतली परतों के रंग**: **साबुन के बुलबुले**, **गीली सड़कों पर तेल की परतें**, **मोर के पंख** और तितली के पंख बदलते रंगों में चमकते हैं, क्योंकि बहुत पतली परत की दोनों सतहों से परावर्तित प्रकाश में व्यतिकरण होता है।

★ **विवर्तन**: किसी बाधा के किनारों से या संकरे छेद से गुज़रते हुए तरंगों का मुड़ना; यह तभी प्रबल होता है जब छेद तरंगदैर्ध्य के बराबर क्रम का हो।

★ **ध्रुवण**: साधारण प्रकाश अपने पथ के आर-पार सभी दिशाओं में कंपन करता है; **पोलेरॉइड (Polaroid)** केवल एक दिशा को पार जाने देता है। केवल **अनुप्रस्थ** तरंगों का ध्रुवण हो सकता है, इसलिए ध्रुवण सिद्ध करता है कि प्रकाश अनुप्रस्थ है। वायु में ध्वनि (अनुदैर्ध्य, Longitudinal) का ध्रुवण नहीं हो सकता।

★ **LASER** = **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation (विकिरण के उद्दीपित उत्सर्जन द्वारा प्रकाश का प्रवर्धन)। आइंस्टीन ने उद्दीपित उत्सर्जन का विचार दिया (1917); **थियोडोर मेमन (Theodore Maiman)** ने **1960** में पहला लेज़र, **रूबी लेज़र**, बनाया। इसका सूक्ष्म तरंग रूप (मेसर, Maser) पहले आया।

★ **गुण**: **एकवर्णी (Monochromatic)** (एक तरंगदैर्ध्य), **कलासंबद्ध (Coherent)** (सभी तरंगें एक कला में), **अत्यधिक दिशात्मक** (संकरा पुंज जो मुश्किल से फैलता है), और **तीव्र**।

★ **चिकित्सा**: **LASIK** नेत्र शल्य-चिकित्सा (पराबैंगनी एक्साइमर लेज़र कॉर्निया का आकार बदलता है), रक्तहीन शल्य-चिकित्सा, गुर्दे की पथरी तोड़ना, टैटू हटाना, रेटिना की मरम्मत।

11. विद्युत: आवेश, धारा और परिपथ

★ आवेश **दो प्रकार** के होते हैं: धन और ऋण। **सजातीय आवेश एक-दूसरे को प्रतिकर्षित करते हैं, विजातीय आवेश आकर्षित करते हैं।**

★ **SI मात्रक**: कूलॉम (Coulomb, C)। एक इलेक्ट्रॉन का आवेश **$e = 1.6 \times 10^{-19}$ C** (ऋण); प्रोटॉन पर उतना ही आवेश होता है, धन।

★ **क्वांटीकरण (Quantisation)**: कोई भी आवेश e का पूर्ण-संख्या गुणज होता है ($q = ne$)। किसी वस्तु पर 1.5 e आवेश कभी नहीं हो सकता।

★ **संरक्षण (Conservation)**: आवेश न बनाया जा सकता है, न नष्ट किया जा सकता है; रगड़ने पर वह केवल एक वस्तु से दूसरी में जाता है। काँच और रेशम पर बराबर और विपरीत आवेश आ जाते हैं।

★ **प्रतिकर्षण ही आवेश की पक्की पहचान है**: केवल दो आवेशित वस्तुएँ ही एक-दूसरे को प्रतिकर्षित कर सकती हैं।

★ **तड़ित (Lightning)**: कपासी-वर्षी मेघ (Cumulonimbus) के भीतर बर्फ और पानी के कणों के घर्षण से आवेश अलग हो जाता है; जब क्षेत्र काफी प्रबल हो जाता है तो हवा की विद्युतरोधी क्षमता टूट जाती है और एक विशाल चिंगारी दूसरे बादल या धरती तक कूद जाती है। **बेंजामिन फ्रैंकलिन (Benjamin Franklin)** ने अपने पतंग प्रयोग (1752) से दिखाया कि तड़ित विद्युत ही है।

★ **तड़ित चालक (Lightning conductor)**: इमारत के सबसे ऊँचे बिंदु से ऊपर उठी नुकीली धातु (ताँबे) की छड़, जो एक मोटी पट्टी द्वारा नम मिट्टी में गड़ी प्लेट से जुड़ी होती है। आवेश नुकीले सिरों पर जमा होता है, इसलिए छड़ तड़ित को सुरक्षित रूप से धरती तक ले जाती है।

★ **चाँदी** सर्वश्रेष्ठ चालक है; घरेलू वायरिंग में **ताँबा** लगता है (लगभग उतना ही अच्छा, बहुत सस्ता); ऊपरी संचरण लाइनों में **एल्युमिनियम** (हल्का और सस्ता)।

★ **विद्युत धारा (Electric current)** I = प्रति सेकंड बहने वाला आवेश, $I = Q/t$। मात्रक **एम्पियर** (A), सात SI मूल मात्रकों में से एक; 1 A = 1 C/s।

★ **परंपरागत धारा (Conventional current)** सेल के बाहर + से − की ओर बहती है; **इलेक्ट्रॉन** वास्तव में उलटी दिशा में, − से + की ओर, अपवाहित होते हैं।

★ **विभवांतर (Potential difference)** (वोल्टेज) = दो बिंदुओं के बीच प्रति एकांक आवेश किया गया कार्य; मात्रक **वोल्ट** (V), जो अलेस्सांद्रो वोल्टा (Alessandro Volta) के नाम पर है।

★ **ओम का नियम (Ohm's law)**: $V = IR$, अतः **$R = V/I$** और $I = V/R$। यह तब लागू होता है जब ताप और भौतिक दशाएँ समान रहें।

★ **प्रतिरोध का मात्रक**: ओम (Ω); 1 Ω = 1 V/A। **चालकत्व (Conductance)** $G = 1/R$, मात्रक सीमेंस (S), पुराना नाम म्हो (℧)।

★ **$R = \rho L/A$**: प्रतिरोध **लंबाई** (L) के साथ बढ़ता है और **अनुप्रस्थ काट के क्षेत्रफल** (A) के साथ घटता है। ρ (रो) **प्रतिरोधकता (Resistivity)** है।

★ **प्रतिरोधकता** केवल पदार्थ और उसके ताप पर निर्भर करती है, आकार या माप पर नहीं। मात्रक **ओम-मीटर (Ω m)**।

★ **ताप**: धातुओं में ताप बढ़ने पर प्रतिरोध **बढ़ता** है (कंपन करते परमाणु इलेक्ट्रॉनों का रास्ता रोकते हैं); **अर्धचालकों में यह घटता है** (ऊष्मा अधिक आवेश-वाहक मुक्त कर देती है)।

★ **घरेलू वायरिंग समांतर क्रम में होती है**: हर उपकरण को पूरा 230 V मिलता है, हर एक का अपना स्विच होता है, एक बल्ब फ्यूज़ होने से पूरा घर अँधेरा नहीं होता, और कुल प्रतिरोध कम रहता है।

★ **जूल का तापन नियम (Joule's law of heating)**: $H = I^2Rt$ (ऊष्मा जूल में, धारा A में, प्रतिरोध Ω में, समय s में)।

★ **तापन अवयव (Heating element)**: **नाइक्रोम** (निकेल-क्रोमियम मिश्रधातु): उच्च प्रतिरोधकता, उच्च गलनांक (लगभग 1400 °C), लाल-तप्त होने पर भी आसानी से ऑक्सीकृत नहीं होता।

★ **बल्ब का तंतु (Filament)**: **टंगस्टन**, सबसे अधिक गलनांक वाली धातु (**3422 °C**)। यह लगभग 2500 °C पर श्वेत-तप्त होकर चमकता है।

★ **बल्ब की गैस**: इसमें अक्रिय **आर्गन और/या नाइट्रोजन** भरी होती है ताकि गर्म टंगस्टन ऑक्सीकृत न हो और धीरे वाष्पित हो। अधिक लंबाई समाने के लिए तंतु कुंडलित होता है।

★ **फ्यूज़ (Fuse)**: **टिन-लेड मिश्रधातु** का छोटा तार, जिसका **गलनांक कम** होता है (और प्रतिरोधकता ताँबे से अधिक), और जो **विद्युन्मय (Live) तार पर श्रेणीक्रम में** जोड़ा जाता है। धारा उसकी रेटिंग से अधिक होने पर यह पिघलकर परिपथ तोड़ देता है और वायरिंग व उपकरणों को बचाता है।

★ **लघुपथन (Short circuit)**: विद्युन्मय और उदासीन तार सीधे छू जाते हैं (विद्युतरोधन खराब होने पर)। प्रतिरोध लगभग शून्य हो जाता है, अतः **धारा बहुत अधिक हो जाती है**, तार गर्म होते हैं और आग लग सकती है।

★ **MCB** (मिनिएचर सर्किट ब्रेकर, Miniature circuit breaker): एक स्वचालित स्विच जो अतिभारण या लघुपथन पर ट्रिप हो जाता है और फिर बस स्विच ऑन करके चालू हो जाता है; यह फ्यूज़ की जगह ले रहा है।

★ **ELCB / RCCB** (अर्थ-लीकेज / रेज़िडुअल-करंट सर्किट ब्रेकर): विद्युन्मय और उदासीन तार की धारा की तुलना करता है। यदि कुछ धारा रिस जाए, जैसे किसी व्यक्ति के शरीर से होकर धरती में, तो यह सेकंड के एक अंश में ट्रिप हो जाता है (सामान्य सेटिंग 30 mA)। यह **लोगों** को झटके से बचाता है।

★ **विद्युत शक्ति (Electric power)** $P = VI = I^2R = V^2/R$। मात्रक **वाट** (W) = 1 J/s। 1 kW = 1000 W; 1 अश्वशक्ति (Horsepower) = 746 W।

★ **ऊर्जा** = शक्ति × समय। व्यावसायिक मात्रक: **किलोवाट-घंटा (kWh) = 1 यूनिट = 3.6×10^6 J** (1000 W × 3600 s)।

★ वोल्टेज **10 गुना बढ़ाने** पर → धारा 1/10 रह जाती है → लाइन-हानि **1/100** रह जाती है।

★ **भारत**: 230 V, 50 Hz एकल-कला आपूर्ति (त्रि-कला 415 V); भारतीय मानक में प्रणाली वोल्टेज 240/415 V है, और कई प्रश्न अब भी पुराना आँकड़ा **220 V** लिखते हैं। **अमेरिका**: 120 V, 60 Hz। जापान पूर्व में 50 Hz और पश्चिम में 60 Hz इस्तेमाल करता है।

★ **धारितीय प्रतिघात (Capacitive reactance)** $X_C = 1/(2\pi fC)$: **आवृत्ति के व्युत्क्रमानुपाती**। संधारित्र DC (f = 0) को रोकता है और उच्च आवृत्ति की AC को आसानी से जाने देता है।

★ **भू-संपर्कण (Earthing)**: इस्त्री, फ्रिज, वॉशिंग मशीन, गीज़र या कूलर का धातु का ढाँचा भू-संपर्क तार से जुड़ा होता है। यदि विद्युन्मय तार ढाँचे को छू जाए, तो बड़ी धारा धरती में दौड़ती है, फ्यूज़ उड़ जाता है या MCB/RCCB ट्रिप हो जाता है, और ढाँचा कभी 230 V पर नहीं रहता।

★ **तीन-पिन प्लग**: **भू-संपर्क पिन अधिक लंबी और मोटी होती है**। लंबी, ताकि वह सबसे पहले जुड़े और सबसे बाद में हटे; मोटी, ताकि उसे विद्युन्मय या उदासीन छेद में न घुसाया जा सके।

★ **स्विच और फ्यूज़ विद्युन्मय तार पर लगते हैं**, ताकि स्विच बंद करते ही उपकरण 230 V से कट जाए।

★ **तार पर बैठा पक्षी सुरक्षित है**: उसके दोनों पैर एक ही तार पर, एक ही विभव पर होते हैं, इसलिए उसके शरीर में कोई विभवांतर नहीं होता और धारा नहीं बहती। जो पक्षी या बंदर दो तारों को, या तार और खंभे को छू ले, उसे घातक झटका लगता है।

★ **प्राथमिक सेल** पुनः आवेशित नहीं हो सकते (अभिक्रिया एकतरफा होती है); **द्वितीयक सेल** उलटी दिशा में धारा प्रवाहित करके पुनः आवेशित किए जा सकते हैं।

12. चुंबकत्व और विद्युतचुंबकत्व

★ **हर चुंबक के दो ध्रुव होते हैं**, उत्तर (N) और दक्षिण (S); आकर्षण ध्रुवों पर सबसे प्रबल और बीच में सबसे दुर्बल होता है।

★ **सजातीय ध्रुव प्रतिकर्षित करते हैं, विजातीय ध्रुव आकर्षित करते हैं।**

★ **प्रतिकर्षण चुंबक की पक्की पहचान है**: चुंबक दूसरे चुंबक के विपरीत ध्रुव और लोहे के सादे टुकड़े, दोनों को आकर्षित करता है, पर प्रतिकर्षित केवल दूसरा चुंबक ही हो सकता है।

★ **चुंबक को तोड़ने** पर दो पूर्ण छोटे चुंबक बनते हैं, हर एक के अपने N और S। अकेला एक ध्रुव (**एकल ध्रुव, Monopole**) आज तक नहीं मिला।

★ **क्षेत्र रेखाएँ (Field lines)** काल्पनिक वक्र हैं जो दिखाते हैं कि एक स्वतंत्र उत्तर ध्रुव किस दिशा में चलेगा। चुंबक के बाहर वे **N → S** चलती हैं; भीतर **S → N**। वे **बंद लूप** बनाती हैं।

★ **क्यूरी ताप (Curie temperature)**: इससे ऊपर लौहचुंबक अपना लौहचुंबकत्व खोकर अनुचुंबकीय हो जाता है। **लोहा 770 °C**, निकेल ≈ 358 °C, कोबाल्ट ≈ 1115 °C, गैडोलिनियम ≈ 20 °C। यह **पियरे क्यूरी (Pierre Curie)** के नाम पर है।

★ **भौगोलिक उत्तर के पास वाला चुंबकीय ध्रुव चुंबकीय रूप से दक्षिण ध्रुव है**: यह दिक्सूचक सुई के उत्तर-संकेती सिरे को आकर्षित करता है।

★ **चुंबकीय दिक्पात (Magnetic declination)**: किसी स्थान पर भौगोलिक उत्तर (वास्तविक उत्तर) और चुंबकीय उत्तर के बीच का कोण, यानी भौगोलिक और चुंबकीय याम्योत्तर के बीच का कोण।

★ **नमन कोण (Dip, Inclination)**: पृथ्वी का क्षेत्र क्षैतिज से जो कोण बनाता है। **चुंबकीय ध्रुवों पर 90°** (सुई ऊर्ध्वाधर खड़ी), **चुंबकीय विषुवत रेखा पर 0°** (सुई क्षैतिज)। इसे **नमन वृत्त (Dip circle)** से मापते हैं।

★ **ध्रुवीय ज्योति (Auroras)**: क्षेत्र रेखाओं के सहारे ध्रुवों के पास ऊपरी वायुमंडल में पहुँचे आवेशित कण गैस परमाणुओं से टकराते हैं, जो चमकने लगते हैं। **सुमेरु ज्योति (Aurora borealis)** (उत्तरी रोशनी) और **कुमेरु ज्योति (Aurora australis)** (दक्षिणी रोशनी)।

★ **वैन ऐलन विकिरण पेटियाँ (Van Allen radiation belts)**: पृथ्वी के क्षेत्र द्वारा फँसाए गए आवेशित कणों के दो डोनट-आकार के क्षेत्र; भीतरी पेटी ऊर्जावान प्रोटॉनों से भरपूर है, बाहरी पेटी मुख्यतः इलेक्ट्रॉनों से। **1958** में **जेम्स वैन ऐलन (James Van Allen)** ने एक्सप्लोरर (Explorer) 1 के आँकड़ों से इनकी खोज की।

★ **ओर्स्टेड का प्रयोग** (1820): धारावाही तार दिक्सूचक सुई को विक्षेपित करता है; धारा की दिशा उलटने पर विक्षेप भी उलट जाता है।

★ **दक्षिण-हस्त अंगुष्ठ नियम (Right-hand thumb rule)**: तार को दाहिने हाथ से पकड़ें, अँगूठा धारा की दिशा में; मुड़ी हुई उँगलियाँ चुंबकीय क्षेत्र की दिशा बताती हैं। (मैक्सवेल का कॉर्कस्क्रू नियम भी यही कहता है।)

★ **परिनालिका (Solenoid)**: अनेक फेरों वाली लंबी कुंडली। धारा बहने पर यह **छड़ चुंबक** की तरह व्यवहार करती है; भीतर क्षेत्र प्रबल और लगभग एकसमान होता है।

★ **विद्युत चुंबक (Electromagnet)**: **नरम लोहे की क्रोड** वाली परिनालिका। यह अस्थायी चुंबक है, जो धारा बहने तक प्रबल रहता है और धारा रुकते ही निष्क्रिय हो जाता है।

★ **फ्लेमिंग का वामहस्त नियम (Fleming's left-hand rule)** (मोटर नियम): **बाएँ** हाथ का अँगूठा, तर्जनी और मध्यमा परस्पर लंबवत फैलाएँ। **तर्जनी (First finger) = क्षेत्र (Field)**, **मध्यमा (seCond finger) = धारा (Current)**, **अँगूठा (thuMb) = गति/बल (Motion)**।

★ **विद्युत मोटर विद्युत ऊर्जा को यांत्रिक ऊर्जा में** बदलती है।

★ **विद्युतचुंबकीय प्रेरण (Electromagnetic induction)**: किसी परिपथ से गुज़रने वाला बदलता चुंबकीय फ्लक्स एक emf प्रेरित करता है (और परिपथ बंद हो तो धारा)। खोज: **फैराडे (1831)**; जोसेफ हेनरी (Joseph Henry) ने इसे स्वतंत्र रूप से खोजा।

★ **फैराडे का नियम**: प्रेरित emf = चुंबकीय फ्लक्स में परिवर्तन की दर ($\varepsilon = -N\,\Delta\Phi/\Delta t$)। अधिक फेरे, प्रबल चुंबक या तेज़ गति से emf बड़ा होता है।

★ **लेंज़ का नियम (Lenz's law)** (1834): प्रेरित धारा उस दिशा में बहती है जो उसे उत्पन्न करने वाले **परिवर्तन का विरोध करे**। यह **ऊर्जा संरक्षण** का परिणाम है: चुंबक को भीतर धकेलने के लिए आपको कार्य करना पड़ता है।

★ **AC जनित्र (प्रत्यावर्तित्र, Alternator)**: कुंडली के सिरे **सर्पी वलयों (Slip rings)** द्वारा ब्रशों से जुड़े होते हैं, इसलिए निर्गत कुंडली का अनुसरण करता है और **AC** होता है। सभी बिजलीघर (तापीय, जल, नाभिकीय, पवन) प्रत्यावर्तित्र का उपयोग करते हैं; टर्बाइन केवल उन्हें घुमाती हैं।

★ **सिद्धांत**: **अन्योन्य प्रेरण (Mutual induction)**। **केवल AC पर** काम करता है: स्थिर DC से फ्लक्स स्थिर रहता है, इसलिए कुछ भी प्रेरित नहीं होता (और प्राथमिक कुंडली ज़्यादा गर्म हो सकती है)।

★ **फेरों का अनुपात**: $V_s/V_p = N_s/N_p = I_p/I_s$। वोल्टेज ठीक उतना बढ़ता है जितनी धारा घटती है।

★ **उच्चायी (Step-up)** ($N_s > N_p$) वोल्टेज बढ़ाता और धारा घटाता है: **बिजलीघर** पर उपयोग। **अपचायी (Step-down)** ($N_s < N_p$): उपकेंद्रों पर, **घरों के पास वितरण ट्रांसफॉर्मर** में, और चार्जरों व एडैप्टरों के भीतर उपयोग।

★ **उच्च वोल्टेज संचरण क्यों**: समान शक्ति के लिए उच्च वोल्टेज का अर्थ है कम धारा, और लाइन-हानि I^2R धारा के वर्ग के अनुपात में घटती है। यही मुख्य कारण है कि AC, जिसे ट्रांसफॉर्मर बढ़ा-घटा सकते हैं, मानक बन गई।

13. परमाणु, नाभिक और रेडियोधर्मिता

★ **स्वर्ण पन्नी (Gold foil) का परिणाम**: अधिकतर अल्फा कण सीधे निकल गए (परमाणु अधिकतर खाली है); कुछ विचलित हुए; लगभग 12,000 में से 1 सीधा वापस लौटा (छोटा, भारी, धनात्मक नाभिक)।

★ **परमाणु संख्या (Atomic number, Z)** = प्रोटॉनों की संख्या (= उदासीन परमाणु में इलेक्ट्रॉन)। यही तत्व और आवर्त सारणी में उसका स्थान तय करती है।

★ **द्रव्यमान संख्या (Mass number, A)** = प्रोटॉन + न्यूट्रॉन (इन्हें मिलाकर **न्यूक्लिऑन (Nucleons)** कहते हैं)। **न्यूट्रॉन = A − Z**। $^{12}_{6}C$ की तरह लिखते हैं: ऊपर A, नीचे Z।

★ **एस.एन. बोस** (कोलकाता) ने फोटॉनों की गिनती पर अपना 1924 का शोधपत्र आइंस्टीन को भेजा, जिन्होंने उसका भाषांतर कर उसे आगे बढ़ाया: इसी से **बोस-आइंस्टीन सांख्यिकी** बनी। 'बोसॉन' शब्द पॉल डिरैक ने गढ़ा।

★ **हिग्स बोसॉन (Higgs boson)**: **1964** में पूर्वानुमान (पीटर हिग्स और अन्य); खोज की घोषणा **4 जुलाई 2012** को सर्न (CERN) के **लार्ज हैड्रॉन कोलाइडर (Large Hadron Collider)** पर ATLAS और CMS प्रयोगों ने की; 2013 का नोबेल हिग्स और फ्रांस्वा एंगलर्ट को।

★ **महत्व क्यों**: हिग्स क्षेत्र मूल कणों को उनका **द्रव्यमान** देता है। इसका द्रव्य के टेलीपोर्टेशन या बेहतर विखंडन ईंधन से कोई संबंध नहीं।

★ **पॉज़िट्रॉन (Positron)** (प्रति-इलेक्ट्रॉन) पहला खोजा गया प्रतिकण था (एंडरसन, 1932); **प्रतिप्रोटॉन** 1955 में मिला।

★ **प्रतिद्रव्य क्यों बनाएँ**: यह जाँचने के लिए कि क्या प्रतिद्रव्य से बने तारे या आकाशगंगाएँ हो सकती हैं, और यह समझने के लिए कि ब्रह्मांड लगभग पूरी तरह द्रव्य से ही क्यों बना (उसका विकास)। खनिज या तेल की खोज में इसका कोई उपयोग नहीं।

★ **हेनरी बेकरेल (Henri Becquerel)** ने **1896** में संयोग से रेडियोधर्मिता खोजी: यूरेनियम लवणों ने कागज़ में लिपटी फोटोग्राफिक प्लेट को धुँधला कर दिया।

★ **मैरी और पियरे क्यूरी (Marie and Pierre Curie)** ने 1898 में **पोलोनियम** (मैरी की मातृभूमि पोलैंड के नाम पर) और **रेडियम** खोजे; 'रेडियोधर्मिता' शब्द मैरी ने गढ़ा।

★ **n अर्ध-आयु के बाद बची मात्रा** = मूल मात्रा × $(\tfrac{1}{2})^n$। 3 अर्ध-आयु के बाद 1/8 बचता है; 10 के बाद लगभग 1/1000।

★ **कार्बन-14 काल-निर्धारण (Carbon dating)** (विलार्ड लिबी (Willard Libby), 1949; रसायन नोबेल 1960): ब्रह्मांडीय किरणों के न्यूट्रॉन वायु में नाइट्रोजन-14 को C-14 में बदलते हैं; पौधे इसे CO_2 के रूप में लेते हैं और जंतु पौधे खाते हैं। जीवित रहते C-14 : C-12 अनुपात स्थिर रहता है; मृत्यु के बाद नया C-14 नहीं आता और पुराना क्षयित होता जाता है।

★ **कार्बन डेटिंग केवल कभी जीवित रहे पदार्थ पर काम करती है** (लकड़ी, हड्डी, चारकोल, कपड़ा, कागज़, सीपियाँ) और केवल लगभग **50,000 वर्ष** तक।

★ **चट्टानों और पृथ्वी की आयु** का निर्धारण लंबी अर्ध-आयु वाले समस्थानिकों से होता है: **यूरेनियम–सीसा** (पृथ्वी की आयु ≈ 4.54 अरब वर्ष), **पोटैशियम–आर्गन** (ज्वालामुखीय चट्टान), रुबिडियम–स्ट्रॉन्शियम।

★ **खतरे**: आयनकारी विकिरण कोशिकाओं और DNA को क्षति पहुँचाता है, जिससे जलन, **विकिरण रोग**, **ल्यूकेमिया** जैसे कैंसर और आनुवंशिक उत्परिवर्तन होते हैं।

★ **$E = mc^2$** (आइंस्टीन, 1905, विशिष्ट सापेक्षता): 1 ग्राम द्रव्यमान ≡ 9×10^{13} J, मोटे तौर पर 20,000 टन TNT की ऊर्जा।

★ **द्रव्यमान क्षति (Mass defect)** = (अलग-अलग न्यूक्लिऑनों का द्रव्यमान) − (नाभिक का द्रव्यमान)। **बंधन ऊर्जा (Binding energy)** = द्रव्यमान क्षति × c^2: नाभिक को अलग-अलग करने के लिए आवश्यक ऊर्जा।

★ **इलेक्ट्रॉन-वोल्ट (Electron-volt, eV)**: 1 वोल्ट से त्वरित एक इलेक्ट्रॉन को मिली ऊर्जा = **1.6×10^{-19} J**। सामान्यतः आवेश q विभवांतर V से गुज़रकर **qV** ऊर्जा पाता है, इसलिए एक इलेक्ट्रॉन (आवेश e) V वोल्ट से **eV** जूल पाता है, उसका द्रव्यमान चाहे जो हो।

★ **विखंडन की खोज**: ओटो हान (Otto Hahn) और फ्रिट्ज़ स्ट्रासमान (Fritz Strassmann) (1938); व्याख्या लीज़ माइटनर (Lise Meitner) और ओटो फ्रिश (Otto Frisch) ने की।

★ **सामान्य विखंडन**: U-235 + धीमा न्यूट्रॉन → बेरियम + क्रिप्टॉन + 2-3 न्यूट्रॉन + लगभग **200 MeV**।

★ **श्रृंखला अभिक्रिया**: एक विखंडन से निकले न्यूट्रॉन और विखंडन कराते हैं। **क्रांतिक द्रव्यमान (Critical mass)** विखंडनीय पदार्थ की वह न्यूनतम मात्रा है जो इसे जारी रख सके।

★ **सूर्य और तारे** अपने क्रोड में हाइड्रोजन के हीलियम में **संलयन** से चमकते हैं (सूर्य के क्रोड में लगभग 15 मिलियन °C); इसकी व्याख्या हांस बेथे (Hans Bethe) ने की (नोबेल 1967)। सूर्य हर सेकंड लगभग 4 मिलियन टन द्रव्यमान को ऊर्जा में बदलता है।

★ **चरण 1 – PHWR** भारी जल के साथ **प्राकृतिक यूरेनियम** जलाते हैं; इनके प्रयुक्त ईंधन का पुनर्संसाधन कर **प्लूटोनियम** निकाला जाता है।

★ **चरण 2 – फास्ट ब्रीडर रिएक्टर** प्लूटोनियम जलाते हैं (MOX ईंधन, द्रव सोडियम शीतलक) और अधिक ईंधन का प्रजनन करते हैं; थोरियम का आवरण (ब्लैंकेट) **U-233** में बदल जाता है। **PFBR** का डिज़ाइन **IGCAR** ने किया और निर्माण **भाविनी (BHAVINI)** ने, लगभग 90% भारत-निर्मित उपकरणों के साथ।

★ **चरण 3 – थोरियम रिएक्टर** U-233 और थोरियम-232 पर चलते हैं; BARC का **उन्नत भारी जल रिएक्टर (AHWR)** इसका डिज़ाइन है।

★ **2026 में बेड़ा**: **24 पावर रिएक्टर**, **≈ 8.78 GW** स्थापित क्षमता, संचालक **NPCIL**; नौ और इकाइयाँ (≈ 7.5 GW) निर्माणाधीन, और दस 700 MWe PHWR 'फ्लीट मोड' में बनाने के लिए स्वीकृत।

★ **लक्ष्य**: **2047 तक 100 GW नाभिकीय बिजली** (विकसित भारत लक्ष्य); 2031-32 तक क्षमता लगभग 22 GW पहुँचाने की योजना है।

★ **शांति अधिनियम, 2025 (SHANTI Act)** (Sustainable Harnessing and Advancement of Nuclear Energy for Transforming India; स्वीकृति 20 दिसंबर 2025): इसने परमाणु ऊर्जा अधिनियम 1962 और नाभिकीय क्षति के लिए नागरिक दायित्व अधिनियम 2010 का स्थान लिया और **निजी कंपनियों** को नाभिकीय संयंत्र बनाने, रखने और चलाने की अनुमति दी; संवेदनशील ईंधन-चक्र कार्य सरकार के पास रहता है।

★ **मैक्स प्लांक (Max Planck)** (1900): ऊर्जा पैकेटों में उत्सर्जित होती है, **$E = h\nu$** (h = प्लांक नियतांक ≈ 6.63×10^{-34} J s, ν = आवृत्ति)। क्वांटम सिद्धांत के जनक; नोबेल 1918।

★ **प्रकाश-विद्युत प्रभाव (Photoelectric effect)**: पर्याप्त ऊँची आवृत्ति का प्रकाश धातु पर पड़कर इलेक्ट्रॉन बाहर निकालता है। हर्ट्ज़ (Hertz) ने देखा (1887); **आइंस्टीन (1905)** ने प्रकाश-कणों (फोटॉन) के आधार पर समझाया।

★ **आइंस्टीन का भौतिकी नोबेल (1921) प्रकाश-विद्युत प्रभाव** के लिए था, सापेक्षता या $E = mc^2$ के लिए नहीं।

★ **देहली आवृत्ति (Threshold frequency)**: इससे कम आवृत्ति पर प्रकाश कितना भी तेज़ हो, कोई इलेक्ट्रॉन नहीं निकलता। इससे ऊपर उत्सर्जन तुरंत होता है।

★ **आवृत्ति ऊर्जा तय करती है, तीव्रता संख्या**: हर निकले इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा आवृत्ति के साथ बढ़ती है; तेज़ प्रकाश केवल **अधिक** इलेक्ट्रॉन निकालता है।

★ **विल्हेम रॉन्टजन (Wilhelm Röntgen)** ने **8 नवंबर 1895** को (जर्मनी में) एक्स-किरणें खोजीं; उन्हें **भौतिकी का पहला नोबेल पुरस्कार (1901)** मिला। तत्व 111, रॉन्टजेनियम, उन्हीं के नाम पर है।

★ **उत्पादन**: गर्म तंतु से निकले इलेक्ट्रॉन उच्च वोल्टता से त्वरित होकर निर्वात नली (कूलिज नली) में **टंगस्टन** लक्ष्य (उच्च परमाणु संख्या और बहुत ऊँचा गलनांक) से टकराते हैं।

★ **ब्रह्मांडीय किरणें (Cosmic rays)** अंतरिक्ष से आने वाले **उच्च ऊर्जा के आवेशित कण** हैं: लगभग 90% **प्रोटॉन**, लगभग 9% अल्फा कण (हीलियम नाभिक), शेष भारी नाभिक और इलेक्ट्रॉन।

★ **सर्न (CERN)** (यूरोपीय नाभिकीय अनुसंधान संगठन, 1954) फ्रांस–स्विट्ज़रलैंड सीमा पर **जिनेवा** के पास **लार्ज हैड्रॉन कोलाइडर (LHC)** चलाता है: लगभग 100 m भूमिगत **27 km** का वलय, जिसमें प्रोटॉन लगभग प्रकाश की चाल से टकराते हैं; इसके अतिचालक चुंबक 1.9 K तक ठंडे किए जाते हैं।

14. अर्धचालक, इलेक्ट्रॉनिकी और आधुनिक उपकरण

★ **अर्धचालक + ऊष्मा**: अतिरिक्त ऊष्मा बंधों से अधिक इलेक्ट्रॉन मुक्त करती है, इसलिए इसका **प्रतिरोध घटता है** (ऋणात्मक ताप गुणांक)। धातुओं में ऊष्मा से परमाणु अधिक कंपन करते हैं और इलेक्ट्रॉनों का रास्ता रोकते हैं, इसलिए प्रतिरोध **बढ़ता है**।

★ **सिलिकॉन (Si)** और **जर्मेनियम (Ge)** समूह-14 के तत्व हैं, जिनमें **4 संयोजकता इलेक्ट्रॉन** होते हैं। बैंड अंतराल: Si ≈ **1.1 eV**, Ge ≈ **0.7 eV**।

★ **होल (Hole)**: किसी इलेक्ट्रॉन के बंध छोड़ने पर बचा खाली स्थान। पड़ोसी इलेक्ट्रॉन उसमें कूदते हैं, इसलिए होल एक **धनात्मक आवेश** की तरह चलता है।

★ **अग्र अभिनति (Forward bias)**: p-सिरा **+** से, n-सिरा **−** से: अवरोध घटता है, **अधिक धारा** (बंद स्विच जैसा)। सिलिकॉन को चालन शुरू करने के लिए लगभग **0.7 V** चाहिए (जर्मेनियम को लगभग 0.3 V)।

★ **पश्च अभिनति (Reverse bias)**: p-सिरा − से, n-सिरा + से: अवक्षय परत चौड़ी होती है, **लगभग कोई धारा नहीं**। पर्याप्त बड़ी पश्च वोल्टता पर यह **भंजित (breakdown)** हो जाता है।

★ **दिष्टकारी (Rectifier)** डायोडों की सहायता से **AC को DC में** बदलता है। **अर्ध-तरंग**: एक डायोड, हर चक्र का केवल आधा भाग उपयोग करता है। **पूर्ण-तरंग**: केंद्र-टैप ट्रांसफॉर्मर के साथ दो डायोड, या **सेतु (bridge) में चार डायोड**; दोनों आधे भाग उपयोग करता है।

★ **प्रकाश-विद्युत सेल (Photoelectric cell)** (इनमें से कोई भी प्रकाश-संवेदी सेल) **प्रकाश ऊर्जा को विद्युत ऊर्जा में बदलता है**।

★ **LED का रंग उसके पदार्थ के बैंड अंतराल पर निर्भर करता है**: गैलियम आर्सेनाइड → अवरक्त (टीवी रिमोट), गैलियम आर्सेनाइड फॉस्फाइड → लाल, नारंगी, पीला; गैलियम नाइट्राइड / इंडियम गैलियम नाइट्राइड → **नीला** और हरा।

★ **नीला LED (Blue LED)**: इसामु अकासाकी, हिरोशी अमानो और शुजी नाकामुरा, **भौतिकी नोबेल 2014**। पीले फॉस्फर से लेपित नीला LED **सफ़ेद प्रकाश** देता है, इसलिए इसी से LED बल्ब संभव हुए।

★ **ट्रांजिस्टर (Transistor)**: **1947** में **बेल लैब्स (Bell Labs)** (अमेरिका) में **जॉन बार्डीन, वॉल्टर ब्रैटेन और विलियम शॉकले (John Bardeen, Walter Brattain and William Shockley)** ने आविष्कार किया; भौतिकी नोबेल **1956**। पहला ट्रांजिस्टर जर्मेनियम का बना था।

★ **संरचना**: तीन परतें, **npn** या **pnp**, और तीन टर्मिनल: **उत्सर्जक (emitter), आधार (base), संग्राहक (collector)**। छोटी आधार धारा बड़ी संग्राहक धारा को नियंत्रित करती है।

★ **दो कार्य**: **प्रवर्धक (Amplifier)** (कमज़ोर संकेतों को प्रबल बनाता है: रेडियो, माइक्रोफ़ोन, श्रवण यंत्र) और **स्विच** (डिजिटल परिपथों में ऑन/ऑफ़ = 1/0)।

★ **एकीकृत परिपथ (Integrated circuit, IC/चिप)**: सिलिकॉन के एक छोटे टुकड़े पर अनेक ट्रांजिस्टर, प्रतिरोधक और संधारित्र। **जैक किल्बी (Jack Kilby)** (टेक्सास इंस्ट्रूमेंट्स, 1958; नोबेल 2000) और **रॉबर्ट नॉयस (Robert Noyce)** (फेयरचाइल्ड, 1959, सिलिकॉन IC; बाद में इंटेल के सह-संस्थापक) ने स्वतंत्र रूप से इसका आविष्कार किया।

★ **सार्वत्रिक गेट (Universal gates)**: **NAND** और **NOR**। कोई भी अन्य गेट, और इसलिए कोई भी डिजिटल परिपथ, केवल NAND गेटों से या केवल NOR गेटों से बनाया जा सकता है।

★ **खोज**: हाइके कामरलिंग ओन्स (Heike Kamerlingh Onnes), **1911**: द्रव हीलियम से ठंडा करने पर पारे ने **4.2 K** (−269 °C) पर पूरा प्रतिरोध खो दिया (नोबेल 1913)।

★ **दो पहचान**: (1) क्रांतिक ताप से नीचे **शून्य विद्युत प्रतिरोध**; (2) **माइस्नर प्रभाव (Meissner effect)** (1933): पदार्थ **चुंबकीय क्षेत्र रेखाओं को बाहर निकाल देता है** (पूर्ण प्रतिचुंबकत्व), जिससे **चुंबकीय उत्तोलन (Magnetic levitation)** संभव होता है।

★ **LCD पर OLED के लाभ**: इसे **लचीले प्लास्टिक** पर बनाया जा सकता है, इसलिए **रोल होने वाले डिस्प्ले** (कपड़ों में भी) और **पारदर्शी डिस्प्ले** संभव हैं; फ़ोन (AMOLED), स्मार्टवॉच और फ़ोल्डेबल में प्रयुक्त।

★ **सिद्धांत**: **पूर्ण आंतरिक परावर्तन**। भीतरी **क्रोड (core)** का **अपवर्तनांक** चारों ओर के **आवरण (cladding)** से **अधिक** होता है; क्रांतिक कोण से अधिक कोण पर सीमा से टकराने वाला प्रकाश पूरा परावर्तित होता है।

★ **लाभ**: विशाल **बैंडविड्थ**, लंबी दूरी पर बहुत कम हानि, **विद्युतचुंबकीय व्यतिकरण** और बिजली गिरने से **अप्रभावित**, टैप करना कठिन (सुरक्षित), पतला और हल्का, कोई क्रॉस-टॉक नहीं, चिंगारी का जोखिम नहीं।

★ **ग्राफ़ीन** = **षट्कोणीय (मधुकोश) जालक में कार्बन परमाणुओं** की एक अकेली परत; हीरा, ग्रेफाइट, फुलरीन और कार्बन नैनोट्यूब की तरह कार्बन का एक अपरूप।

★ **गुण**: ज्ञात सबसे पतला पदार्थ, समान मोटाई के **स्टील से लगभग 200 गुना मज़बूत**, **ऊष्मा और बिजली** का उत्कृष्ट चालक, लगभग **पारदर्शी** (लगभग 2.3% प्रकाश सोखता है), लचीला और गैसों के लिए अभेद्य।

★ **क्यूबिट**: अध्यारोपण + उलझाव। **n क्यूबिट** एक साथ 2^n अवस्थाएँ दर्शा सकते हैं (10 क्यूबिट → 1024)।

★ **राष्ट्रीय क्वांटम मिशन (National Quantum Mission, NQM)**: अप्रैल 2023 में स्वीकृत, 2023–24 से 2030–31 के लिए **₹6,003.65 करोड़**, संचालन **विज्ञान और प्रौद्योगिकी विभाग** द्वारा। लक्ष्य: **8 वर्षों में 50–1000 भौतिक क्यूबिट** वाले क्वांटम कंप्यूटर, **2000 km** तक उपग्रह-आधारित सुरक्षित क्वांटम संचार, क्वांटम संवेदक और परमाणु घड़ियाँ, क्वांटम पदार्थ।

★ **पहला वाणिज्यिक फ़ैब**: ताइवान की PSMC के साथ **टाटा इलेक्ट्रॉनिक्स, धोलेरा, गुजरात** में (निर्माणाधीन)। पैकेजिंग इकाइयों में टाटा (जागीरोड, असम), CG पावर–रेनेसास और केन्स (साणंद, गुजरात) तथा **जेवर (उत्तर प्रदेश)** के पास एक HCL–फ़ॉक्सकॉन इकाई शामिल हैं।

★ **साणंद (गुजरात) में माइक्रॉन का ATMP संयंत्र**, ISM के अंतर्गत स्वीकृत पहली परियोजना, का उद्घाटन **28 फ़रवरी 2026** को हुआ और इसने मेमोरी मॉड्यूल का वाणिज्यिक उत्पादन शुरू किया; साणंद की अन्य पैकेजिंग इकाइयाँ 2026 के दौरान आईं।

15. वैज्ञानिक, खोजें, नियम और नियतांक: त्वरित सारणियाँ

★ **परमाणु के कणों का क्रम**: इलेक्ट्रॉन (थॉमसन, 1897) → प्रोटॉन (रदरफोर्ड, 1919) → न्यूट्रॉन (चैडविक, 1932)।

★ **राष्ट्रीय विज्ञान दिवस, 28 फ़रवरी**, 1928 में रमन प्रभाव की घोषणा की याद में मनाया जाता है (1987 से)।

★ **रमन का नोबेल (1930)** किसी भी विज्ञान में किसी एशियाई को मिला पहला नोबेल था; किसी भी प्रकार का पहला एशियाई नोबेल रवींद्रनाथ टैगोर (Rabindranath Tagore) को मिला (साहित्य, 1913)।

★ **केवल एक भारतीय नागरिक** को भौतिकी का नोबेल मिला है: **सी.वी. रमन (1930)**।

★ **पहला भौतिकी नोबेल (1901)**: विल्हेम रॉन्टजन, एक्स-किरणों के लिए।

★ **आइंस्टीन (1921)**: सैद्धांतिक भौतिकी में योगदान और **प्रकाश-विद्युत प्रभाव के नियम** के लिए, सापेक्षता के लिए नहीं।

बदलने वाले तथ्य

इन्हें कहाँ जाँचें

रिकॉर्ड, मिशन, क़ानून, पदधारी और पुरस्कार इस पुस्तक के छपने के बाद बदल सकते हैं। यहाँ ये नवंबर 2026 की स्थिति के अनुसार दिए गए हैं। हर तथ्य नीचे बताई गई आधिकारिक संस्था प्रकाशित करती है: ताज़ा स्थिति के लिए उसकी वेबसाइट देखें।

अध्याय	तथ्य	प्रकाशक	वेबसाइट
1	SI इकाइयाँ और उनकी परिभाषाएँ; 28वें CGPM (अक्टूबर 2026) के निर्णय	अंतरराष्ट्रीय माप-तौल ब्यूरो (BIPM)	bipm.org
1	भारतीय मानक समय और भारत के राष्ट्रीय माप मानक	CSIR-राष्ट्रीय भौतिक प्रयोगशाला	nplindia.in
1	विधिक माप-विज्ञान (भारतीय मानक समय) नियम, 2026	उपभोक्ता मामले विभाग	consumeraffairs.nic.in
4	आदित्य-L1 और भारत के अन्य अंतरिक्ष मिशन	भारतीय अंतरिक्ष अनुसंधान संगठन (ISRO)	isro.gov.in
4	LIGO-India: निर्माण और प्रेक्षण की तिथियाँ	परमाणु ऊर्जा विभाग; LIGO प्रयोगशाला	dae.gov.in · ligo.caltech.edu
7	शोर की सीमाएँ और शांत क्षेत्र (ध्वनि प्रदूषण नियम, 2000)	केंद्रीय प्रदूषण नियंत्रण बोर्ड	cpcb.nic.in
9	भारत की दूरबीनें: देवस्थल, वेणु बापू, GMRT	ARIES; भारतीय ताराभौतिकी संस्थान; NCRA-TIFR	aries.res.in · iiap.res.in · ncra.tifr.res.in
9	एक्सट्रीमली लार्ज टेलीस्कोप (ELT): पहली रोशनी की तिथि	यूरोपीय दक्षिणी वेधशाला (ESO)	eso.org
11	आपूर्ति वोल्टता और विद्युत मानक	भारतीय मानक ब्यूरो	bis.gov.in
13	चालू रिएक्टर, PFBR और तीन-चरणीय कार्यक्रम	परमाणु ऊर्जा विभाग	dae.gov.in
13	SHANTI अधिनियम, 2025 और संसद के अन्य अधिनियम	इंडिया कोड (विधायी विभाग)	indiacode.nic.in
13	विकिरण सुरक्षा का नियमन	परमाणु ऊर्जा नियामक बोर्ड	aerb.gov.in
14	भारत सेमीकंडक्टर मिशन: स्वीकृत परियोजनाएँ और परिव्यय	भारत सेमीकंडक्टर मिशन (MeitY)	ism.gov.in
14	राष्ट्रीय क्वांटम मिशन	विज्ञान और प्रौद्योगिकी विभाग	dst.gov.in
14, 15	भौतिकी के नोबेल पुरस्कार	नोबेल पुरस्कार (आधिकारिक साइट)	nobelprize.org
सभी	सरकार के निर्णय, स्वीकृतियाँ और बजट घोषणाएँ	पत्र सूचना कार्यालय (PIB)	pib.gov.in

एक बार पढ़ें। परीक्षा के दिन याद रहे।

रात के 11 बजे हैं, प्रारंभिक परीक्षा में तीन हफ़्ते बाकी हैं। आप तीन किताबें पढ़ चुके हैं, फिर भी विखंडन या संलयन, अवतल या उत्तल, समस्थानिक या समभारिक पर अटक जाते हैं। यह किताब उसी पल के लिए लिखी गई है। हर विचार के साथ उसका कारण है, एक चित्र है, और एक ट्रिक है जो उसे याद रखवाती है। एक बार अध्याय पढ़िए, परीक्षा के दिन भी वह याद रहेगा।

16
वर्षों के UPSC और BPSC प्रश्नपत्र, हर प्रश्न शामिल

400
ज़रूरी ★★★ तथ्य

189
इस किताब के लिए बने चित्र

105
याद रखने की ट्रिक

122
परीक्षा-जाल चिह्नित

183
अभ्यास MCQ

दो रफ़्तार: एक बार पढ़ने में लगभग 13 घंटे; परीक्षा से पहले की रात रिवीज़न कार्ड और सभी ★★★ तथ्य दोहराने में लगभग 2 घंटे।

UPSC 2011–2026 और BPSC 56वीं–71वीं · नवंबर 2026 तक अद्यतन

PYQ-PROOF

2011 से UPSC और BPSC का भौतिकी का हर प्रश्न ऐसे पाठक को दिया गया जिसके पास केवल यह किताब थी, उत्तर-कुंजी नहीं। हर प्रश्न का उत्तर इन्हीं पन्नों से मिला। PYQ-PROOF का यही अर्थ है।