पृथ्वी की आंतरिक संरचना

पृथ्वी की आंतरिक संरचना का अध्ययन भूगोल के अध्ययन क्षेत्र के अंतर्गत नहीं आता है बल्कि यह भूगर्भ विज्ञान का अध्ययन क्षेत्र के अंतर्गत आता है । पृथ्वी के भूपटल की संरचना पृथ्वी की आंतरिक संरचना पर निर्भर करता है इस कारण ,भूगोल में पृथ्वी की आंतरिक संरचना का अध्ययन करना अति आवश्यक है। पृथ्वी का भूगर्भ हमारे लिए दृश्य नहीं है फिर भी कई ऐसे माध्यम हैं जिसके द्वारा पृथ्वी की आंतरिक संरचना के बारे में हमें जानकारी प्राप्त होता हैं जिसे तीन वर्गों में रखा जा सकता है ।

1. अप्राकृतिक साधन
    - **A.** घनत्व **B.**तापमान **C.** दबाव
2. पृथ्वी की उत्पत्ति के सिद्धांत के साक्ष्य के आधार पर
3. प्राकृतिक कारक
    - **A.** ज्वालामुखी
    - **B.** भूकंप विज्ञान

1.अप्राकृतिक साधन

A. घनत्व -

पूरी पृथ्वी का औसत घनत्व लगभग **5.51** ग्राम/सेमी³ है, लेकिन सतह से केंद्र तक इसमें भारी बदलाव आता है।

घनत्व के मुख्य तीन स्तर और उनके पीछे के वैज्ञानिक कारण नीचे दिए गए हैं:

1. ऊपरी परत (भूपर्पटी) का घनत्व: सबसे हल्का भाग

पृथ्वी की सबसे बाहरी परत बहुत हल्की चट्टानों से बनी है।

- औसत घनत्व: लगभग **2.7** से **3.0** ग्राम/सेमी³।
- कारण: यह हिस्सा मुख्य रूप से सिलिका, एल्युमिनियम और ग्रेनाइट जैसी कम घनत्व वाली अम्लीय (acidic) चट्टानों से बना है।
- विशेषता: महासागरों की तली (बैसाल्ट चट्टानें) का घनत्व महाद्वीपों की तुलना में थोड़ा अधिक (3.0 ग्राम/सेमी³) होता है।

2. मध्यवर्ती परत (मैंटल) का घनत्व: मध्यम भार

जैसे ही हम मोहो असांतत्य रेखा को पार करते हैं, घनत्व तेजी से बढ़ता है।

- औसत घनत्व: लगभग **3.3** से **5.5** ग्राम/सेमी³।
- कारण: यहाँ की चट्टानें भारी सिलिकेट्स, मैग्नीशियम और ऑलिविन जैसे खनिजों से बनी हैं।

- दबाव का असर: ऊपरी मैंटल का घनत्व कम होता है, लेकिन 2,900 किमी की गहराई (निचले मैंटल) तक पहुँचते-पहुँचते अत्यधिक दबाव के कारण यह बढ़कर 5.5 ग्राम/सेमी³ हो जाता है।

3. केंद्रीय परत (कोर) का घनत्व: अत्यधिक भारी और सघन

पृथ्वी का केंद्र सबसे भारी और सघन धातुओं का भंडार है।

- औसत घनत्व: बाहरी कोर में यह **10** से **12.3** ग्राम/सेमी³ और बिल्कुल केंद्र (आंतरिक कोर) में **13** से **13.6** ग्राम/सेमी³ तक पहुँच जाता है।
- कारण: यहाँ दो मुख्य कारक काम करते हैं:
    1. धात्विक संरचना: यह भाग निकल (Ni) और लोहे (Fe) जैसी भारी धातुओं से बना है, जिनका प्राकृतिक वजन बहुत अधिक होता है।
    2. अत्यधिक दबाव **(Super Pressure):** ऊपर की सभी परतों का लाखों टन वजन इस केंद्र पर पड़ता है, जिससे परमाणु आपस में कस जाते हैं।

B.तापमान -

पृथ्वी के आंतरिक भाग का अधिकतम तापमान केंद्र (Core) में लगभग **5,000°C** से **6,000°C** तक पहुँच जाता है, जो सूर्य की सतह के तापमान के बराबर है।

तापमान के इस उतार-चढ़ाव और उसके आधार पर आंतरिक बनावट को निम्नलिखित तीन मुख्य भागों में समझा जा सकता है:

तापमान बढ़ने की दर (Geothermal Gradient)

सतह से नीचे जाने पर तापमान एक समान दर से नहीं बढ़ता, बल्कि गहराई के साथ इसके बढ़ने की रफ्तार धीमी हो जाती है:

- शुरुआती गहराई **(क्रस्ट):** ऊपरी सतह पर प्रति **32** मीटर की गहराई पर तापमान **1°C** बढ़ जाता है।
- **100** किमी की गहराई पर: यहाँ तापमान बढ़ने की दर प्रति किलोमीटर लगभग 12°C होती है।
- **300** किमी की गहराई पर: यहाँ यह दर घटकर प्रति किलोमीटर 2°C रह जाती है।
- अत्यधिक गहराई में: कोर के पास तापमान बढ़ने की दर केवल 1°C प्रति किलोमीटर या उससे भी कम हो जाती है।

तापमान के आधार पर भूगर्भ की भौतिक अवस्थाएँ

अत्यधिक तापमान और ऊपर से पड़ने वाले दबाव (Pressure) के आपसी संतुलन के कारण पृथ्वी के भीतर अलग-अलग भौतिक अवस्थाएँ बनती हैं:

- लिथोस्फीयर **(Lithosphere -** स्थलमंडल **0** से **100** किमी**):** यह सबसे ऊपरी ठंडी और ठोस परत है। यहाँ तापमान इतना कम होता है कि चट्टानें पूरी तरह ठोस और मजबूत बनी रहती हैं।
- एस्थेनोस्फीयर **(Asthenosphere -** दुर्बलता मंडल **| 100** से **400** किमी**):** ऊपरी मैंटल के इस भाग में तापमान लगभग **1,100°C** से **1,300°C** तक पहुँच जाता है। इस उच्च तापमान के कारण चट्टानें आंशिक रूप से पिघल जाती हैं और प्लास्टिक या गाढ़े गोंद **(Semi-fluid)** जैसी अवस्था में आ जाती हैं। ज्वालामुखी का मैग्मा इसी तप्त परत से आता है।
- लोअर मैंटल **(Lower Mantle -** निचला मैंटल **| 400** से **2900** किमी**):** यहाँ तापमान और बढ़ जाता है, लेकिन ऊपर की चट्टानों का भारी दबाव (Pressure) चट्टानों को पिघलने नहीं देता। इसलिए यह हिस्सा अत्यधिक गर्म होने के बावजूद ठोस व्यवहार करता है।
- बाहरी कोर **(Outer Core | 2900** से **5100** किमी**):** यहाँ तापमान लगभग **4,000°C** से **5,000°C** हो जाता है। यहाँ का प्रचंड तापमान ऊपरी दबाव पर भारी पड़ता है, जिससे लोहा और निकल पूरी तरह पिघलकर तरल **(Liquid)** अवस्था में आ जाते हैं।
- आंतरिक कोर **(Inner Core | 5100** से **6371** किमी**):** यहाँ तापमान सबसे अधिक **6,000°C** तक होता है। लेकिन पृथ्वी के केंद्र का दबाव इतना भयानक (लाखों गुना वायुमंडलीय दबाव) होता है कि तरल धातु के परमाणु हिल नहीं पाते और यह हिस्सा पूरी तरह ठोस **(Solid)** बन जाता है।

पृथ्वी के भीतर इस प्रचंड गर्मी के मुख्य स्रोत (Sources of Heat)

पृथ्वी के अंदर इतनी अधिक गर्मी उत्पन्न होने के दो प्रमुख कारण हैं:

- रेडियोधर्मी पदार्थों का विखंडन**:** क्रस्ट और मैंटल में यूरेनियम, थोरियम और पोटैशियम जैसे रेडियोधर्मी तत्व पाए जाते हैं। इनके लगातार टूटने से भारी मात्रा में तापीय ऊर्जा (Thermal Energy) निकलती है।
- आदिम ऊष्मा **(Primordial Heat):** जब लगभग 4.5 अरब वर्ष पहले पृथ्वी का निर्माण हो रहा था, तब विभिन्न खगोलीय पिंडों के आपस में टकराने से जो गर्मी पैदा हुई थी, उसका एक बड़ा हिस्सा आज भी पृथ्वी के केंद्र में कैद है।

C.दबाव **- (Pressure)** के आधार पर पृथ्वी के भीतर जाने पर ऊपर स्थित चट्टानों के भार के कारण दबाव लगातार बढ़ता जाता है। पृथ्वी के केंद्र (Core) तक पहुँचते-पहुँचते यह दाब सतह के मुकाबले लगभग **36** लाख गुना **(3.6 Million Atmospheric Pressure)** अधिक हो जाता है।

दाब के इस भारी अंतर के आधार पर पृथ्वी की आंतरिक बनावट और चट्टानों की अवस्थाओं को नीचे दिए गए विवरण से समझा जा सकता है:

1. दाब बढ़ने की दर और मात्रा

जैसे-जैसे हम पृथ्वी की गहराई में जाते हैं, दाब रैखिक (linearly) नहीं बल्कि गहराई के साथ बहुत तेजी से बढ़ता है:

- भूपर्पटी **(Crust):** सतह पर दाब न्यूनतम (1 वायुमंडलीय दाब) होता है। क्रस्ट के निचले हिस्से तक यह कुछ हजार गुना तक बढ़ता है।
- मैंटल और कोर की सीमा **(2,900** किमी**):** यहाँ दाब बढ़कर लगभग **14** लाख वायुमंडलीय दाब **(1.4 million atm)** हो जाता है।
- पृथ्वी का केंद्र **(6,371** किमी**):** केंद्र में दाब अपने चरम स्तर **33** से **36** लाख वायुमंडलीय दाब पर पहुँच जाता है।

दाब के आधार पर परतों की भौतिक अवस्था (Physical State)

दाब सीधे तौर पर चट्टानों के गलनांक (Melting Point) को प्रभावित करता है। अत्यधिक दाब के कारण ही पृथ्वी के भीतर का रूप बदलता है: [1, 2]

- भूपर्पटी **(Crust -** कम दाब**):** यहाँ दाब कम होने के कारण चट्टानें अपनी सामान्य ठोस और भंगुर **(brittle)** अवस्था में पाई जाती हैं।
- दुर्बलता मंडल **(Asthenosphere -** संतुलित दाब**):** लगभग 100 से 400 किमी की गहराई पर तापमान बहुत अधिक होता है, लेकिन दाब उसे रोकने के लिए पर्याप्त नहीं होता। इसलिए यहाँ तापमान जीत जाता है और चट्टानें आंशिक रूप से पिघलकर प्लास्टिक या अर्ध-तरल **(Semi-fluid)** रूप ले लेती हैं।
- निचला मैंटल **(Lower Mantle -** उच्च दाब**):** यहाँ तापमान और बढ़ता है, लेकिन ऊपर की परतों का दाब इतना अधिक हो जाता है कि वह चट्टानों के अणुओं को दूर नहीं जाने देता। नतीजतन, यह परत पूरी तरह ठोस **(Solid)** बनी रहती है।
- बाहरी कोर **(Outer Core -** तापमान का प्रभाव**):** 2,900 किमी के बाद अचानक चट्टानों की जगह लोहा और निकल आ जाते हैं। यहाँ तापमान (लगभग 4,000°C से 5,000°C) इतना प्रचंड होता है कि वह उस गहराई के दाब को हरा देता है। इस कारण बाहरी कोर तरल **(Liquid)** अवस्था में आ जाता है। [1, 2]
- आंतरिक कोर **(Inner Core -** चरम दाब का प्रभुत्व**):** 5,100 किमी से शुरू होने वाले इस भाग में तापमान 6,000°C तक होता है, जो लोहे को पिघलाने के लिए काफी है। लेकिन यहाँ **30** लाख से अधिक वायुमंडलीय दाब काम करता है। यह भयानक दाब लोहे और निकल के परमाणुओं को आपस में इतनी मजबूती से जकड़ देता है कि वे तरल नहीं बन पाते। इसी कारण आंतरिक कोर ठोस **(Solid)** अवस्था में रहता है।

दाब का घनत्व और आयतन पर प्रभाव

- परमाणुओं का संपीड़न **(Compression):** अत्यधिक दाब के कारण आंतरिक कोर में पदार्थों का आयतन (Volume) सिकुड़ जाता है, जिससे वहाँ का घनत्व (Density) बढ़कर 13.6 ग्राम/सेमी³ तक पहुँच जाता है।

- चट्टानों का लचीलापन: बहुत गहरे मैंटल में उच्च दाब चट्टानों को भंगुर (टूटने वाली) बनाने के बजाय उन्हें लचीला (ductile) बना देता है, जिससे वे लाखों वर्षों की अवधि में धीरे-धीरे प्रवाहित हो सकती हैं

2. पृथ्वी की उत्पत्ति से सम्बन्धित सिद्धान्तों के साक्ष्य

विभिन्न विद्वानों ने पृथ्वी की उत्पत्ति की समस्या के निदान के लिए उसका मूल रूप ठोस, वायव्य अथवा तरल भाग माना है। ग्रहाणु परिकल्पना (planetesimal hypothesis) के अनुसार पृथ्वी का निर्माण ठोस ग्रहाणुओं के समूहन के कारण माना गया है। इस आधार पर पृथ्वी का अन्तरतम ठोस अवस्था में होना चाहिए। ज्वारीय परिकल्पना (tidal hypothesis) के अनुसार यदि पृथ्वी का निर्माण सूर्य से निस्सृत ज्वारीय पदार्थ से हुआ तो पृथ्वी का अन्तरतम तरल अवस्था में होना चाहिए।

लाप्लास महोदय भी, जो कि वायव्य निहारिका परिकल्पना के प्रतिपादक हैं, पृथ्वी के अन्तरतम को तरल मानते हैं। यदि यह तथ्य मान लिया जाय तो अनेक कठिनाइयाँ उपस्थित हो सकती हैं। निहारिका परिकल्पना (nebular hypothesis) के अनुसार पृथ्वी की उत्पत्ति गैस से बनी निहारिका से मानी जाती है। इस आधार पर पृथ्वी का अन्तरतम वायव्य अवस्था में होना चाहिए, वैसे लाप्लास अन्तरतम को तरल मानते हैं। जोयपरिज (Zoeppritz) तथा रित्तर (Ritter) नामक विद्वानों ने भी पृथ्वी के अन्तरतम (core) को गैस का बना हुआ माना है। परन्तु यह मत अत्यधिक भ्रामक है। केवल दो सम्भावनाएं हो सकती हैं—या तो अन्तरतम ठोस हो सकता है या तरल। इसका निराकरण आगे किया जायेगा।

3. प्राकृतिक साधन

(i) ज्वालामुखी क्रिया—ज्वालामुखी के उद्‌गार के समय पृथ्वी के आन्तरिक तथा ऊपरी भाग में गर्म तथा तरल मैगमा एवं लावा का विस्तार हो जाता है। इस आधार पर कुछ विद्वानों का यह विश्वास है कि पृथ्वी की गहराई में कम से कम एक ऐसी परत अवश्य है जो कि सदैव तरल अवस्था में रहती है। इसी को मैगमा भण्डार (magma-chamber) बताया गया है, जहां से ज्वालामुखी के उद्‌गार के समय तरल एवं तप्त मैगमा पृथ्वी के ऊपर प्रकट होता है। इस आधार पर पृथ्वी का कुछ भाग तरल अवश्य होना चाहिए। परन्तु जैसा कि ऊपर बताया जा चुका है कि आन्तरिक भाग में अत्यधिक दबाव चट्टानों को पिघली अवस्था में नहीं रहने देगा। इस प्रकार आन्तरिक भाग ठोस होगा न कि तरल। हाँ, यह सम्भव हो सकता है कि पृथ्वी के ऊपरी भाग पर दरार आदि पड़ने से चट्टान का दबाव कम हो जाता है, जिससे चट्टान का गलनांक बिन्दु गिर जाता है, जिस कारण चट्टान वहाँ पर अधिक ताप के कारण पिघल कर ज्वालामुखी के रूप में प्रकट हो जाती है। इस तरह ज्वालामुखी के उद्‌गार से भी पृथ्वी के अन्त:करण की बनावट के विषय

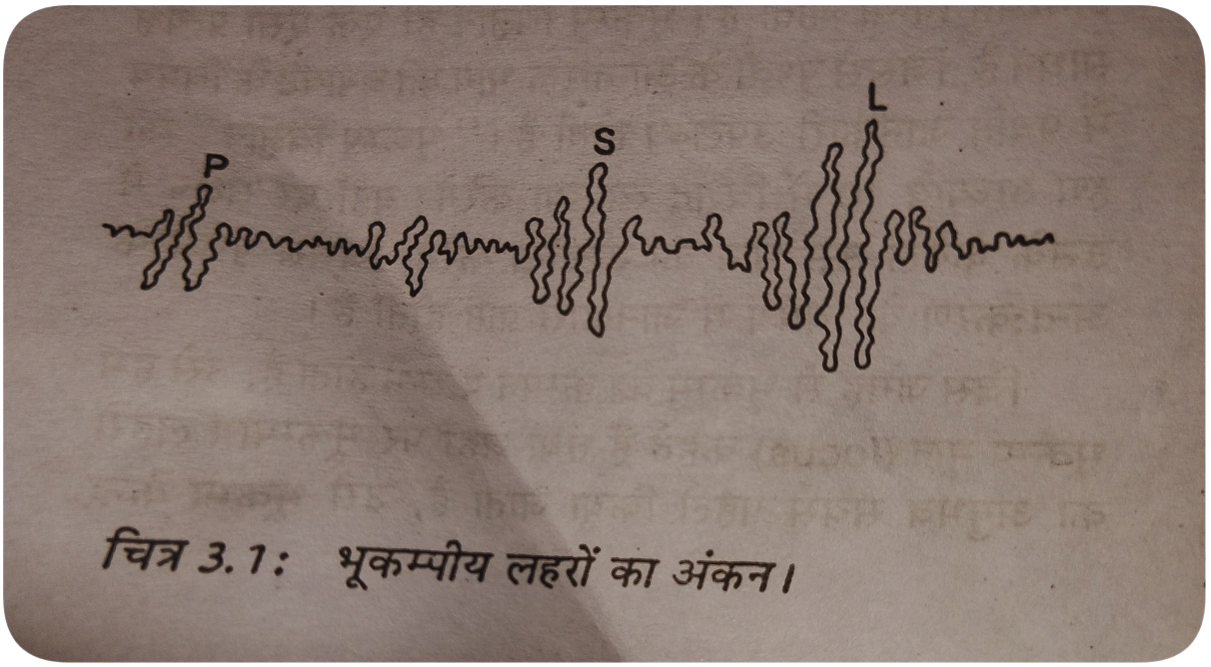
2. भूकंप विज्ञान के साक्ष्य-

पृथ्वी की आंतरिक संरचना को समझने का सबसे सटीक और वैज्ञानिक आधार हैं। क्योंकि हम पृथ्वी के भीतर केवल कुछ किलोमीटर तक ही ड्रिल कर पाए हैं, इसलिए वैज्ञानिकों ने भूकंप के समय निकलने वाली तरंगों के व्यवहार का अध्ययन करके पूरी आंतरिक बनावट का एक्स-रे (X-ray) तैयार किया है।

भूकंपीय साक्ष्यों के आधार पर पृथ्वी की आंतरिक संरचना को निम्नलिखित मुख्य बिंदुओं में समझा जा सकता है:

मुख्य भूकंपीय तरंगें और उनका स्वभाव

भूकंप के दौरान मुख्य रूप से दो प्रकार की भूगर्भिक तरंगें (Body Waves) निकलती हैं, जिनका व्यवहार अलग-अलग परतों में बदल जाता है:



चित्र 3.1: भूकम्पीय लहरों का अंकन।

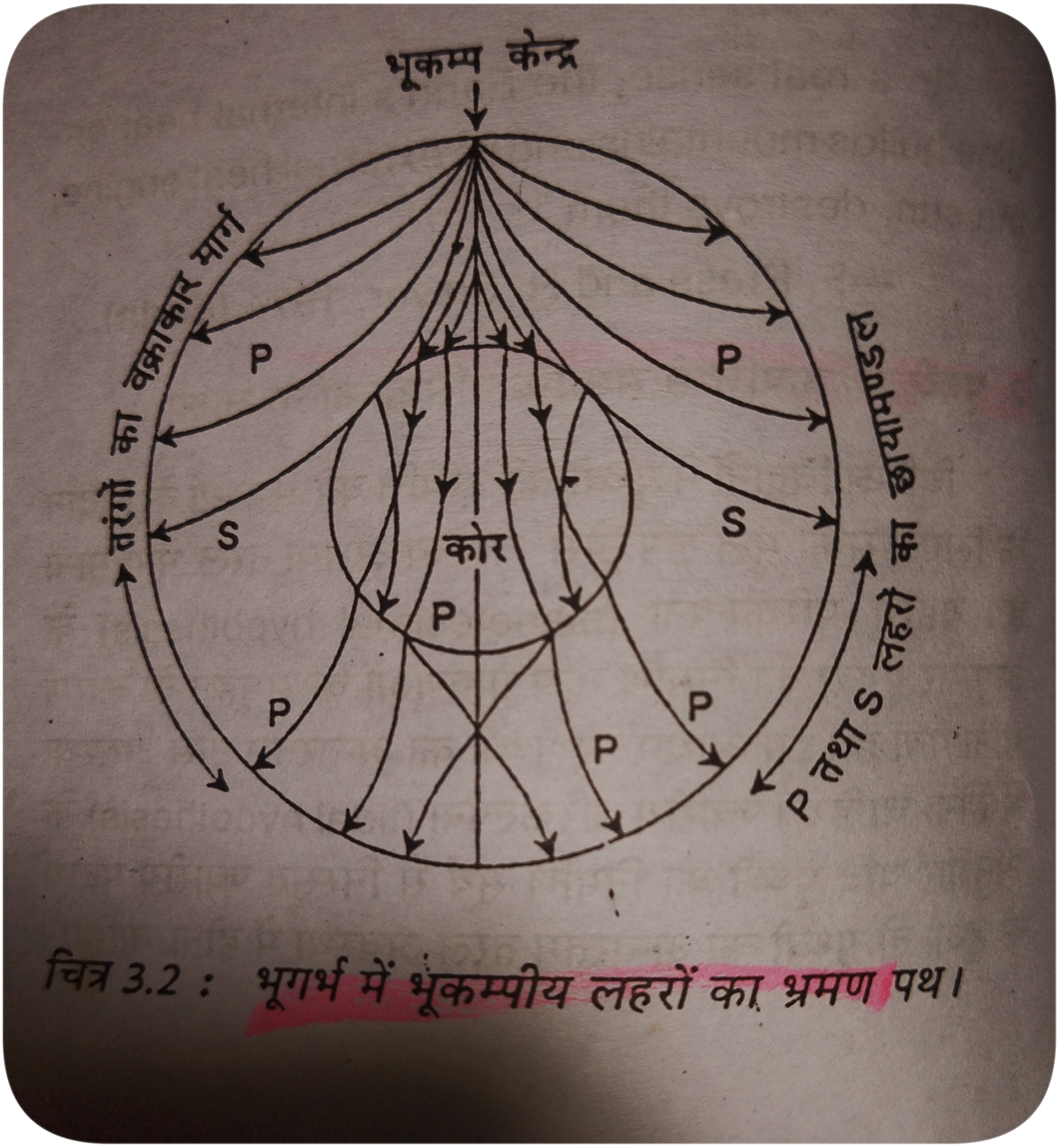
- **P-**तरंगें **(Primary Waves):** ये अनुदैर्ध्य (longitudinal) तरंगें होती हैं ये ध्वनि की लहर के समान होती है और ठोस, तरल तथा गैस तीनों माध्यमों से गुजर सकती हैं। माध्यम का घनत्व (Density) जितना अधिक होगा, इनकी गति उतनी ही तेज़ होगी।
- **S-**तरंगें **(Secondary Waves):** ये अनुप्रस्थ (transverse) तरंगें होती हैं ये प्रकाश के तरंगों के समान होती है और केवल ठोस **(Solid)** माध्यम से ही गुजर सकती हैं। ये तरल (Liquid) माध्यम में पूरी तरह लुप्त या गायब हो जाती हैं।

- L तरंगे - धरतलीय लहरें पृथ्वी की ऊपरी भाग को ही प्रभावित करती है यह अत्यधिक प्रभावशाली लहरें होती है इन लहरों को सबसे अधिक लंबा मार्ग तय करना पड़ता है तथा यद्यपि उनकी गति सबसे कम होती है तथा का सबसे अधिक प्रचंड होती है।

भूकंपीय तरंगों के आधार पर परतों की खोज

वैज्ञानिकों ने देखा कि पृथ्वी के भीतर जाने पर इन तरंगों की गति और दिशा में अचानक बदलाव आता है, जिससे तीन मुख्य परतों और उनके व्यवहार का पता चला

- भूपर्पटी **(Crust)** में व्यवहार**:** ऊपरी सतह पर P और S तरंगों की गति काफी धीमी होती है क्योंकि यहाँ की चट्टानें कम घनत्व वाली होती हैं। जैसे ही ये तरंगें लगभग 30-50 किमी की गहराई पर पहुँचती हैं, इनकी गति अचानक बढ़ जाती है, जिससे **'**मोहो असांतत्य रेखा**'** और मैंटल की शुरुआत का पता चलता है।
- मैंटल **(Mantle)** और एस्थेनोस्फीयर**:** 100 से 200 किमी की गहराई के बीच P और S दोनों तरंगों की गति अचानक थोड़ी धीमी हो जाती है। इस हिस्से को **'**कम गति का क्षेत्र**' (Zone of Low Velocity)** या एस्थेनोस्फीयर कहा जाता है। इससे साबित हुआ कि यह परत पूरी तरह ठोस नहीं बल्कि अर्ध-तरल **(Semi-fluid)** अवस्था में है। इसके नीचे निचले मैंटल में बढ़ते घनत्व के कारण तरंगों की गति लगातार बढ़ती है।
- बाहरी कोर **(Outer Core -** तरल अवस्था का प्रमाण**):** 2,900 किमी की गहराई पर एक बहुत बड़ा बदलाव आता है (गुटेनबर्ग असांतत्य)। यहाँ पहुँचते ही **S-**तरंगें पूरी तरह गायब हो जाती हैं और P-तरंगों की गति अचानक बहुत कम हो जाती है। चूंकि S-तरंगें तरल में नहीं चल सकतीं, इसलिए इस साक्ष्य से यह शत-प्रतिशत प्रमाणित हुआ कि बाहरी कोर पूरी तरह तरल **(Liquid)** अवस्था में है।
- आंतरिक कोर **(Inner Core -** ठोस अवस्था का प्रमाण**):** 5,100 किमी की गहराई (लेहमैन असांतत्य) पर P-तरंगों की गति अचानक फिर से बहुत तेज़ हो जाती है। गति में यह अचानक वृद्धि दर्शाती है कि अत्यधिक दबाव के कारण पृथ्वी का बिल्कुल केंद्रीय भाग **(**आंतरिक कोर**)** पूरी तरह ठोस **(Solid)** है।



चित्र 3.2 : भूगर्भ में भूकम्पीय लहरों का भ्रमण पथ।

भूकंपीय छाया क्षेत्र (Seismic Shadow Zones) का साक्ष्य

तरंगों के मुड़ने (Refraction) और गायब होने के कारण पृथ्वी पर कुछ ऐसे क्षेत्र बनते हैं जहाँ भूकंप के बाद कोई तरंग रिकॉर्ड नहीं होती। इन्हें 'छाया क्षेत्र' कहते हैं।

- **P-**तरंग छाया क्षेत्र**:** यह प्रत्येक भूकंप के केंद्र (Epicenter) से **103°** से **142°** के बीच बनता है। यह कोर द्वारा P-तरंगों को अत्यधिक मोड़ने (refract) के कारण बनता है।

- **S-**तरंग छाया क्षेत्र**:** यह **103°** के बाद पूरी पृथ्वी पर (103° से 180° तक) बनता है। यह बहुत बड़ा छाया क्षेत्र इस बात का सबसे बड़ा सबूत है कि पृथ्वी का कोर तरल है, जिसने आधी पृथ्वी के पार S-तरंगों को जाने ही नहीं दिया।