आकाशीय पिण्डों की गति की व्याख्या

हम क्यों कहते हैं कि धरती एक गोला है जो हर 24 घण्टे में अपनी धुरी पर एक चक्कर लगाता है?

उमा सुधीर

यह लेखों की एक शृंखला का पहला भाग है। इसमें कुछ ऐसी अवधारणाओं की बात की गई है जिन्हें प्राथमिक स्कूल में सतही तौर पर पढ़ा दिया जाता है। इस शृंखला के अन्त में हम इस बात पर विचार करेंगे कि इस विषय को प्राथमिक स्कूलों में शुरू करके वहीं पूरा कर देने में कितनी अक्लमन्दी है। ये अवधारणाएँ, दरअसल, उस प्रक्रिया की अद्‌भुत मिसाल हैं जिनके ज़रिए विज्ञान की दुनिया में ज्ञान का निर्माण होता है और उसका सत्यापन किया जाता है। मेरा प्रयास होगा कि न सिर्फ कुछ विस्तार में यह दर्शाऊँ कि ये विचार सामने कैसे आए, बल्कि कुछ गतिविधियाँ करने के अनुभव भी साझा करूँ जिनका उपयोग अध्ययनकर्ता (विद्यार्थियों) को ये विचार सम्प्रेषित करने हेतु किया जा सकता है। ये गतिविधियाँ कदापि मौलिक नहीं हैं; इन्हें विभिन्न स्रोतों से संकलित किया गया है।[1] अलबत्ता, इन्हें सीखने वालों के विभिन्न समूहों के साथ आज़माया ज़रूर गया है। सीखने वालों (विद्यार्थियों और शिक्षकों) को इन अवधारणाओं से जूझने का मौका देने के दौरान मैंने एक प्रमुख सबक यह सीखा है कि इन्हें आत्मसात करने में समय लगता है और सबसे बढ़िया यही होगा कि इन गतिविधियों को एक लम्बी अवधि के दौरान और बीच-बीच में ब्रेक देकर किया जाए। याद रखने की एक और बात यह है कि कई अन्य विषयों व विषय-क्षेत्रों की अवधारणाओं का उपयोग करना होगा। इसलिए कभी-कभी यह मानकर आगे बढ़ना ज़रूरी होगा कि वे अवधारणाएँ सीखी जा चुकी हैं। स्पायरेलिंग यानी किसी अवधारणा को आगे चलकर उच्चतर स्तर पर पुनः दोहराने की बातें तो बहुत की जाती हैं, लेकिन इन विचारों को लेकर दरअसल ऐसा किया बहुत कम जाता है। यहाँ उच्चतर कक्षाओं में शामिल किए गए कुछ बिन्दुओं का ज़िक्र ज़रूर किया जाएगा हालाँकि उनकी विस्तार में चर्चा नहीं की जाएगी।

[1] *प्रयोगों का एक स्रोत तो स्वाभाविक रूप से बाल वैज्ञानिक है। यदि सम्भव हो तो बाल वैज्ञानिक के विभिन्न संस्करणों के खगोल शास्त्र सम्बन्धी अध्यायों के समस्त प्रयोग करना उपयोगी होगा।*

मेरा तरीका हमेशा यह रहा है कि सूर्य-केन्द्रित मॉडल के दावों को व्यक्त कर दूँ और समूह से कहूँ कि वे मानकर चलें कि यह मॉडल सही है। सार रूप में यह पाठ्यपुस्तकों में दिए गए प्रमुख वक्तव्यों को दोहराने जैसा है –

1. गोलाकार पृथ्वी अपनी धुरी पर (यह धुरी 23.5° पर झुकी हुई है[2]) 24 घण्टे में एक घूर्णन करती है और सूर्य के इर्द-गिर्द वर्ष में एक बार परिक्रमा करती है;
2. चन्द्रमा पृथ्वी की परिक्रमा करता है, और चन्द्रमा की कलाएँ;
3. शेष सारे ग्रह सूर्य की परिक्रमा करते हैं;
4. सूर्य के इर्द-गिर्द पृथ्वी की परिक्रमा और साथ में उसकी धुरी का झुका होना, मिलकर पृथ्वी के अलग-अलग हिस्सों पर अलग-अलग मौसम पैदा करते हैं, और
5. पृथ्वी का घूर्णन सारे आकाशीय पिण्डों की आभासी गति (24 घण्टों में) का कारण है, सिवाय ध्रुव तारे के क्योंकि पृथ्वी की धुरी ध्रुव तारे की दिशा को इंगित करती है।

तत्पश्चात्, इस सत्र का लक्ष्य यह समझना हो जाता है कि क्यों इस नज़रिए को सही मान लिया गया।

मैंने पूरी बात को कई लेखों में इसलिए बाँटा है कि इतना कुछ कवर किया जाना है; लेकिन ये सारी अवधारणाएँ एक-दूसरे से जुड़ी हैं, इसलिए कई स्थानों पर मैं ऐसे विचारों की कड़ियों का ज़िक्र करूँगी, जिनकी विस्तृत चर्चा बाद में की जाएगी। ध्यान रखें कि अक्सर ये सवाल एक-साथ झुण्ड में उठेंगे, लेकिन हमें धैर्यपूर्वक एक-एक करके इन्हें सम्बोधित करना होगा।

यदि आप *बाल वैज्ञानिक* शृंखला के शुरुआती संस्करणों को देखेंगे, तो उनमें ऐसी गतिविधियाँ थीं, जिन्हें पूरे एक वर्ष की अवधि में किया जाना होता था। साल भर छायाओं (उनकी दिशा और लम्बाई) के अवलोकन, चन्द्रमा और उसकी कलाओं के अवलोकन नियमित रूप से लेना होते थे। आदर्श रूप में यह इस विषय को पढ़ाने का उपयुक्त तरीका होगा, लेकिन समय की दिक्कतों के चलते यह प्राय: कार्यशालाओं में भी सम्भव नहीं हो पाता। और उससे भी अहम बात यह है कि आजकल हरेक के हाथ में फोन और घर पर टीवी होने की वजह से अधिकांश लोगों ने देखा ही नहीं है कि आसमान में क्या हो रहा है।

क्या सचमुच पृथ्वी गोल है?

इस बात को लेकर बेशुमार अध्ययन हुए हैं कि बच्चों (और शायद वयस्कों तथा शिक्षकों में भी) पृथ्वी, और पृथ्वी के आसपास सूर्य, चन्द्रमा,

[2] *क्या हम कभी बात करते हैं कि इस कोण को किस आधार-रेखा से नापा जाता है?*

गोलाकार पृथ्वी का विचार प्रत्यक्ष अनुभव से कैसे मेल खाता है?

यह देखा गया है कि इसकी एक व्याख्या यह की जाती है कि हम एक खोखली, गोलाकार पृथ्वी के अन्दर रहते हैं और आकाश नाम का गुम्बद इसकी त्वचा है जिस पर सूर्य, चन्द्रमा वगैरह विचरते हैं। इस विचार को ललकारने का एक तरीका यह है कि उनसे पूछा जाए कि उन्होंने विभिन्न देशों में समय क्षेत्रों (टाइम ज़ोन्स) के बारे में क्या सुना है और यह उनकी 'विश्व-दृष्टि' में कैसे फिट बैठता है – जब सूर्य अस्त होता है, तो वह कहाँ चला जाता है और ऐसा कैसे होता है कि कैलिफोर्निया में देर शाम का समय होता है तब हम सुबह जाग ही रहे होते हैं। इसका मतलब यह नहीं है कि वे फौरन अपने विचार बदल लेंगे, लेकिन जब उन्हें दिखेगा कि उनका मनपसन्द मॉडल पर्याप्त नहीं है, तो हम एक नए खयाली मॉडल की ओर बढ़ सकेंगे।

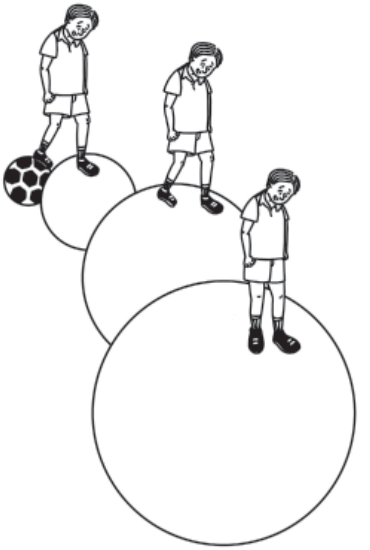
तारों, ग्रहों की गतियों के बारे में कितने तरह के वैकल्पिक विचार हैं। *संदर्भ* में प्रकाशित रश्मि पालीवाल और यमुना सन्नी (*संदर्भ* अंक 1 व 2) तथा दीपक वर्मा (*संदर्भ* अंक 13) के लेखों में इन वैकल्पिक संकल्पनाओं का सार प्रस्तुत हुआ है। लेकिन विषय को शुरू करने से पहले बेहतर यह होगा कि प्रशिक्षणार्थी समूह से उभारने का प्रयास किया जाए कि वे क्या सोचते हैं। अधिकांश लोग पाठ्यपुस्तक के रटे-रटाए वक्तव्यों को दोहरा देंगे। लिहाज़ा, उनसे अपने मॉडल को विस्तार से समझाने को कहना होगा। फिर इन मॉडल्स के उर्ज़े-पुर्ज़े खोलकर देखना होगा ताकि वे यह देख पाएँ कि उनके खयाली मॉडल्स में क्या खामियाँ हैं। उसके बाद हम वर्तमान में स्वीकृत गोलाकार पृथ्वी के मॉडल की ओर कैसे आगे बढ़ें?[3]

एक गोले के रूप में पृथ्वी

गतिविधि 1: कल्पना कीजिए कि हम एक फुटबॉल पर खड़े हैं। ऐसे में क्या हम गेंद की गोलाई को देख पाएँगे? अब कल्पना कीजिए कि हम एक ऐसी गेंद पर खड़े हैं जिसकी त्रिज्या 1 मीटर है। क्या इस बार भी हम गेंद की वक्रता को देख पाएँगे? क्या इस मामले में वक्रता उतनी ही होगी जितनी फुटबॉल पर खड़े होकर दिखी थी? कल्पना कीजिए कि आप क्रमशः बड़ी गेंदों पर खड़े होते हैं – कमरे की साइज़ की गेंद, किसी इमारत की साइज़ की गेंद, गाँव या मोहल्ले की साइज़ की गेंद। समूह आसानी-से ताड़ लेगा कि गोले की साइज़ बढ़ने के साथ-साथ वक्रता कम होती जाएगी (चित्र-1)।

अर्थात् हम किसी आसान या प्रत्यक्ष अवलोकन की मदद से यह

[3] *पृथ्वी एकदम गोल नहीं है, लेकिन वह बात हम कभी और करेंगे। आइज़ैक एसिमोव का लेख (गलत, यानी कितना गलत?, संदर्भ अंक 84) एक उम्दा संसाधन है।*



चित्र: पूजा मैनन

चित्र-1: *जब त्रिज्या बढ़ती है तो हमें गेंद की गोलाई कम होते दिखेगी।*

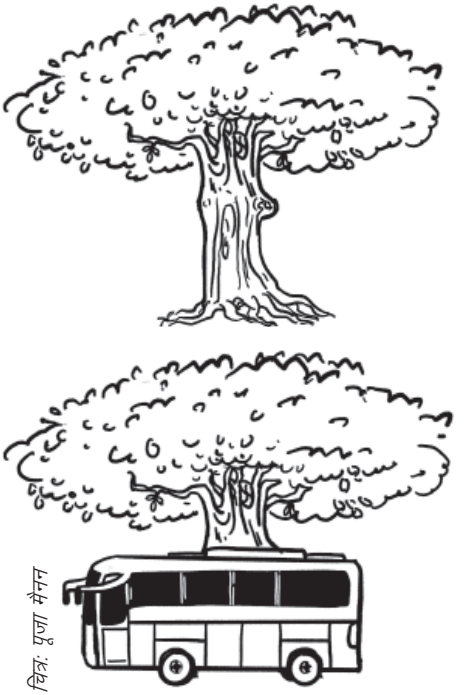
नहीं देख पाते हैं कि पृथ्वी एक गोला है। तो फिर वह क्या बात थी जिसने इस विचार को जन्म दिया? यूनानी विचार बताते हैं कि दो तरह के अवलोकनों के मिले-जुले उपयोग से हमारे रोज़मर्रा के अनुभव की चपटी पृथ्वी की बजाय गोलाकार धरती की बात को स्थापित किया था। आज हमारे पास कई अन्य प्रमाण हैं, लेकिन उनमें जाने से पहले हम कुछ ऐसे विचारों को देखेंगे जो आसान पहुँच में हैं।[4]

पहला, यूनान एक समुद्र-यात्री राष्ट्र था जिसमें कई द्वीप और मुहाने थे। लिहाज़ा, यूनानियों ने देखा था कि जब कोई जहाज़ दूर जाता है, तो उसके डेक्स पहले ओझल हो जाते हैं जबकि मस्तूल काफी देर तक दिखते रहते हैं। और जहाज़ किसी भी दिशा में जा रहा हो, स्थिति यही रहती थी। दूसरी ओर, यदि आप जहाज़ पर सवार हैं, तो धरती (किनारा या तट) का पहला संकेत ऊँचे पहाड़ होते थे, तट और बन्दरगाह काफी बाद में नज़र आने लगते थे।[5] यदि पृथ्वी को चपटा माना जाए, तो इस अवलोकन की व्याख्या नहीं की जा सकती क्योंकि यदि कोई बाधा न हो, तो हमें किसी ढाँचे का शिखर और आधार एक-साथ देखने से रोकने वाला कोई नहीं है। लिहाज़ा, इन अवलोकनों की व्याख्या के लिए पृथ्वी की वक्रता की मदद ली गई। इतना ही नहीं, यदि

---

[4] *इस सारे प्राचीन ज्ञान का श्रेय यूनानियों को देना उचित नहीं लगता। अधिकांश प्राचीन संस्कृतियों ने आकाशीय पिण्डों की गतियों को लेकर विस्तृत विवरण विकसित किए थे और यह भी प्रयास किए कि ग्रहण जैसी विशेष घटनाओं की भविष्यवाणी कैसे की जाए। यह संयोग की बात है कि यूनानी विचारों को लिपिबद्ध किया गया और विभिन्न मार्गों से संचारित किया गया। इसी वजह से ये आधुनिक समझ के विकास का आधार बने। इसीलिए मैं प्रमुखतः उनके विवरणों पर आश्रित हूँ।*

[5] *यह बात उस स्थिति से एकदम अलग थी, जब आप आसमान को देखें। जब आप पूर्व या पश्चिम की ओर यात्रा करते, तो तारों की स्थिति में कोई आभासी परिवर्तन नहीं होता था; लेकिन उत्तर या दक्षिण दिशा में यात्रा करते हुए तारे विपरीत दिशा में सरकते प्रतीत होते थे। अर्थात्, यदि आप दक्षिण की ओर काफी दूर निकल जाएँ, तो जो तारे आपके गृहनगर में सिर के ऊपर थे, वे उत्तर की ओर खिसकते जाएँगे। इसके बारे में अगले लेखों में और बात करेंगे।*



चित्र: पूजा मैनन

चित्र-2: *जब बस पेड़ के सामने है तो हमें पेड़ की सिर्फ ऊपर की टहनियाँ दिखती हैं, और नीचे का हिस्सा छुपाने वाली बस भी नज़र आती है। लेकिन जब क्षितिज पर पहाड़ का ऊपरी हिस्सा दिखता है तब नीचे का हिस्सा छुपाने का काम पृथ्वी की गोलाई करती है।*

हम क्षितिज को बगैर किसी रुकावट के देख पाएँ, तो यह क्षितिज एक वृत्त होता है (यह अवलोकन हम मैदानी इलाकों में कर सकते हैं, यदि हम किसी खेत के बीच में खड़े हों, और आसपास कोई पेड़ और इमारत न हो)।

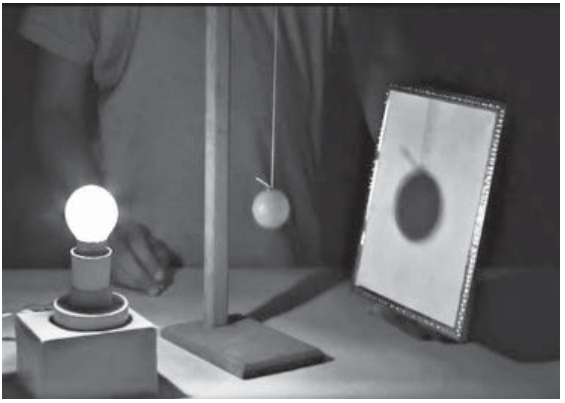
दृष्टि में रुकावट न होने की स्थिति के मामले में समुद्र से बेहतर कौन-सी जगह होगी (या कोई विशाल झील या ब्रह्मपुत्र जैसे चौड़ी नदी)। लेकिन धरती पर यात्रा करते हुए भी ऐसे अवलोकन सम्भव हैं। उदाहरण के लिए, यदि हम पहाड़ों की ओर (खास तौर से हिमालय की ओर) यात्रा करें तो हमें तराइयों से पहले पर्वत श्रृंखलाएँ दिखने लगती हैं (चित्र-2)। या यदि हम किसी शहर की ओर जाएँ, तो ऊँची-ऊँची इमारतें काफी दूर से ही दिखने लगती हैं। यदि आप देवास जाएँगे तो काफी दूर रहते ही आपको देवी की पहाड़ी दिखने लगेगी और आप सामान समेटकर उतरने की तैयारी करने लगेंगे।

दूसरा, सैकड़ों वर्षों तक चन्द्र ग्रहण के अनगिनत अवलोकनों से यूनानियों ने न सिर्फ यह निष्कर्ष निकाल लिया था कि ये ग्रहण चांद की सतह पर पृथ्वी की छाया[6] पड़ने के कारण होते हैं बल्कि यह भी समझ लिया था कि चूँकि यह छाया सदैव एक वृत्त का चाप होती है, इसलिए लाज़मी है कि पृथ्वी एक गोला है। यहाँ, ज्यामिति में उनका बेहतर ज्ञान काम में आया क्योंकि वे जानते थे कि गोला ही एकमात्र ठोस आकार है जिसकी परछाई हमेशा एक वृत्त या वृत्त का अंश होती है। वस्तु पर प्रकाश चाहे जिस दिशा से पड़े और पर्दे को किसी भी कोण पर

[6] *सूर्य व चन्द्र, दोनों ग्रहणों की बात आगे किसी लेख में की जाएगी।*

रखा जाए (अर्थात् चाहे वह प्रकाश की किरणों से एकदम लम्बवत न हो तब भी), स्थिति यही रहेगी।

गतिविधि 2: सूर्य के प्रकाश या टॉर्च की मदद से विभिन्न वस्तुओं द्वारा बनी परछाइयों के साथ प्रयोग करें। प्रत्येक वस्तु को घुमाकर देखें कि परछाई की आकृति पर क्या असर होता है। आसानी-से देखा जा सकता है कि किसी तश्तरी को घुमाया जाए तो उसकी परछाई एक पूरे वृत्त से बदलते-बदलते एक मोटी रेखा हो जाती है। दूसरी ओर, गेंद के मामले में परछाई की आकृति बिलकुल नहीं बदलती (चित्र-3)। यदि एक ऐसी गेंद का उपयोग किया जाए जिसमें एक ताड़ी घुसा दी गई हो, तो उसे आसानी-से घुमाकर परछाई को साफ तौर पर देखा जा सकेगा। हाथों से गेंद को घुमाएँ तो हाथ की वजह से परछाई देखने में बाधा आती है।



चित्र इंटरनेट से साभार।

चित्र-3: *सिर्फ एक गोले की परछाई सदैव गोलाकार बनती है, चाहे रोशनी किसी भी तरफ से आए और पर्दा किसी भी कोण पर झुका हो।*

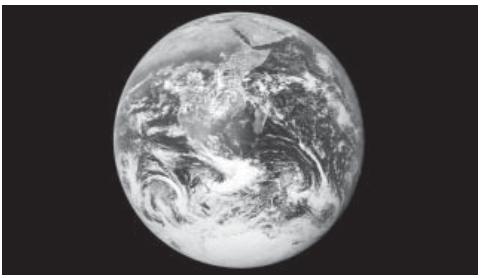
पृथ्वी एक गोले के रूप में, जो अपनी धुरी पर घूमता है

अब हम एक और सहजबोध-विपरीत विचार की ओर बढ़ते हैं – कि पृथ्वी जो इतनी स्थिर है (भूकम्प के समय की बात छोड़ दें), वह वास्तव में स्थिर नहीं है। यहाँ भी, एक बार फिर हमारी इन्द्रियाँ हमें दगा दे देती हैं, जैसा चपटी धरती के सन्दर्भ में हुआ था जबकि वास्तव में वह गोलाकार है। और अब कहा जा रहा है कि वह स्थिर नहीं है बल्कि घूर्णन कर रही है (सूर्य के आसपास परिक्रमा की बात तो बाद में करेंगे)। और सारे आकाशीय पिण्डों की आभासी गति[7] की व्याख्या पृथ्वी के अपनी धुरी पर प्रतिदिन एक घूर्णन तथा सूर्य के आसपास वार्षिक परिक्रमा के आधार पर की जा सकती है। इसमें चन्द्रमा और ग्रहों की अपनी गति और उसकी

[7] आभासी गति से तात्पर्य क्या है? हम ट्रेन में बैठकर महसूस करते हैं कि पेड़ पीछे की ओर जा रहे हैं – यह आभासी गति है क्योंकि वास्तव में चल तो हम रहे हैं।

पृथ्वी के गोलाकार होने के आधुनिक प्रमाण

वैसे तो आजकल हमारे पास उपग्रह से लिए गए चित्र हैं जो हर कोण से और पृथ्वी के अलग-अलग स्थानों के ऊपर से लिए गए हैं। और तो और, चन्द्रमा से ली गई तस्वीरें भी हैं। चूँकि गोला ही एकमात्र आकार है जो किसी भी कोण से देखे जाने पर एक तश्तरी जैसा ही दिखेगा, इसलिए पृथ्वी को अब एक गोला माना जा सकता है – हम प्रत्यक्ष देख सकते हैं!



चित्र-4: *यह तस्वीर अपोलो-17 द्वारा 1972 में ली गई थी – इसे 'ब्लू मार्बल' नाम दिया गया है।*
(चित्र इंटरनेट से साभार)

लेकिन करीब डेढ़ सौ साल पहले इंग्लैंड में एक नदी (या उसकी नहर) के तकरीबन 10 कि.मी. लम्बे सीधे टुकड़े का उपयोग करके पृथ्वी की वक्रता नापने का प्रयास किया गया था। प्रयोग कुछ इस तरह किया गया था – एक सीधी रेखा में तीन खम्भे बराबर-बराबर दूरी पर रखे गए थे। तीनों खम्भों की पानी के ऊपर ऊँचाई बराबर थी। यह काफी शान्त नदी थी, इसलिए लहरें वगैरह मापन में बाधा नहीं बन रही थीं। लेकिन जब दूर से देखा जाता तो बीच वाला खम्भा बाजू वाले खम्भों से थोड़ा ऊँचा दिखता था। या यदि खम्भों को एक तरफ से देखा जाता तो सबसे नज़दीक वाला बाकी दोनों से ऊँचा दिखता था। इस प्रयोग को कई अलग-अलग तरह से दोहराया गया और वायुमण्डलीय अपवर्तनांक के हिसाब से संशोधन भी किए गए थे।

कलाओं को शामिल करना होगा। इस अवधारणा को पूरी तरह समझने के लिए हमें कई-कई वर्षों तक अवलोकन करने होंगे। लेकिन यहाँ हम 'औकेम का उस्तरा' निकाल लेते हैं और कहते हैं कि हालाँकि हम एक मॉडल बना सकते हैं जिसमें सचमुच वह दिखता है जो सूर्य, चन्द्रमा, तारों और ग्रहों के दैनिक उदय और अस्त के साथ वास्तव में हो रहा है (हाँ, कई सालों में थोड़ी-बहुत कमी बेशी इन पिण्डों की अपनी गति के कारण हो सकती है)। लेकिन एक कहीं अधिक सरल विचार यह होगा कि-

क) पृथ्वी के दैनिक घूर्णन का उपयोग दैनिक परिवर्तनों की व्याख्या के लिए किया जाए, और

ख) सूर्य के आसपास पृथ्वी तथा अन्य ग्रहों की गति के आधार पर साल

औकेम का उस्तरा

इसे सरल शब्दों में किफायत का सिद्धान्त कहते हैं। तेरहवीं-चौदहवीं शताब्दी में औकेम के एक दार्शनिक विलियम ने कहा था - pluralitas non est ponenda sine necessitate – जिसका सरल शब्दों में अर्थ है कि ज़रूरत से ज़्यादा मान्यताओं का इस्तेमाल नहीं किया जाना चाहिए।

व्यावहारिक रूप से विज्ञान में इसका उपयोग प्रतिस्पर्धी व्याख्याओं के बीच फैसला करने के लिए किया जाता है। माना जाता है कि जिस व्याख्या में न्यूनतम अपुष्ट मान्यताएँ हों, उसके सही होने की सम्भावना ज़्यादा है। स्पष्ट है कि 'किफायत का सिद्धान्त' विभिन्न व्याख्याओं के बीच सही-गलत का फैसला नहीं करता बल्कि सिर्फ यह बताता है कि किस व्याख्या को बेहतर माना जाए, और किसे अपनाने से सही रास्ता पकड़ने की सम्भावना ज़्यादा है।

वर्तमान सन्दर्भ में हमारे सामने तारों-ग्रहों की आभासी गति की दो व्याख्याएँ थीं – एक जिसमें पृथ्वी को केन्द्र में स्थिर रखकर बाकी सारे ग्रहों और तारों को उसके इर्द-गिर्द घुमाने की ज़रूरत होती थी। इसमें मानना होता था कि सारे ग्रह और तारे किसी प्रकार से इस तरह गति करते हैं कि वे एक-सी रफ्तार से और एक-सी दिशा में चलते दिखते हैं। दूसरी व्याख्या यह प्रस्तुत हुई थी कि सारे तारे वगैरह तो स्थिर हैं और पृथ्वी अपनी धुरी पर घूम रही है और पृथ्वी की इस गति के कारण सब चलते हुए दिखते हैं। यह बात ज़्यादा सरल है क्योंकि इसमें एकमात्र मान्यता यह है कि पृथ्वी एकरूप गति से घूमती है जबकि पहली वाली व्याख्या के लिए आपको हरेक आकाशीय पिण्ड के बारे में मानना होगा कि येन-केन-प्रकारेण वे एक ही दिशा में, एक ही चाल से घूम रहे हैं।

किफायत के सिद्धान्त या औकेम के उस्तरे को लागू करें तो दूसरी व्याख्या ज़्यादा मान्य है।

भर में (सालों में) होने वाले परिवर्तनों को समझा जाए।[8]

इस पहली किश्त में हम सिर्फ पृथ्वी के अपने अक्ष पर घूर्णन की बात करेंगे।

गतिविधि 3: तो हम शुरू करते हैं पृथ्वी के मॉडल से (ग्लोब का इस्तेमाल करना सबसे बढ़िया होगा लेकिन एक गेंद से भी काम चल जाएगा; यदि ग्लोब का उपयोग कर रहे हैं, तो बेहतर होगा कि उसे उसके स्टैंड पर से निकाल लिया जाए और उसके अक्ष के झुकाव की जटिलता को कुछ समय के लिए भुला दिया जाए) और यह कहते हैं कि इसके घूर्णन की वजह से ही

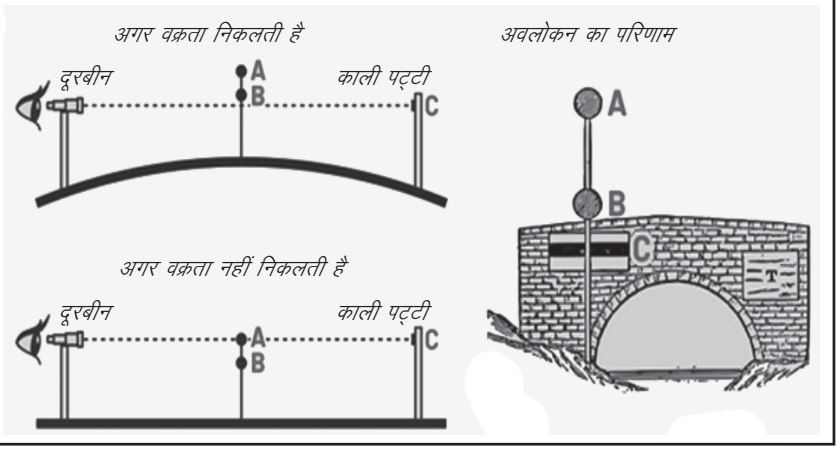
[8] *दरअसल, सूर्य-केन्द्रित मॉडल की ज़रूरत तारों की पृष्ठभूमि में अन्य ग्रहों की स्थिति में महीनों से लेकर सालों तक की अवधि में होने वाले परिवर्तनों की व्याख्या के लिए पड़ती है, लेकिन उन सब पेचीदगियों को अन्तिम लेख के लिए रखा गया है।*

पृथ्वी के गोलाकार होने का प्रमाण - एक अन्य प्रयोग

यह साबित करने के लिए एक और प्रयोग किया गया।

वॉलेस ने यह प्रयोग बेडफोर्ड कैनाल में किया था - यह इंग्लैंड में एक लम्बी नहर है और यहाँ हवा के झोंके वगैरह से पानी में लहरें नहीं उठती हैं। वॉलेस ने किया यह था कि नहर की एक तरफ बने एक पुल (ओल्ड बेडफोर्ड ब्रिज) पर एक काली पट्टी चिपका दी। इससे करीब 9 किलोमीटर दूर एक और पुल था। वहाँ से उन्होंने इस पट्टी का अवलोकन एक दूरबीन की मदद से किया। दोनों पुलों के बीच एक खम्भा लगाया गया था जिस पर दो तश्तरियाँ मढ़ी थीं। दूरबीन, ऊपर वाली तश्तरी और ओल्ड बेडफोर्ड पुल पर लगी पट्टी की पानी की सतह से ऊँचाई बराबर थी।

अवलोकन में बीच वाले खम्भे की दोनों तश्तरियाँ काली पट्टी के ऊपर नज़र आईं। इससे साफ हो गया कि पानी की सतह में वक्रता थी।



प्रतीत होता है कि सूर्य पूर्व में उदय होता है और पश्चिम में अस्त हो जाता है। कमरे में किसी एक बिन्दु (जैसे किसी पंखे) या किसी व्यक्ति को सूर्य बना दीजिए और सहभागियों से कहिए (बेहतर होगा कि वे चार या पाँच की टोलियों में काम करें) कि वे पृथ्वी को घुमाएँ ताकि सूर्य पूर्व में उदय और पश्चिम में अस्त होता दिखे[9]। यदि भूमध्य रेखा के स्तर से

[9] *अपेक्षाकृत कम उम्र के छात्रों के लिए, बेहतर होगा कि उन्हें भारत पर रखा जाए (यदि ग्लोब है) या गेंद पर एक बिन्दु अंकित कर दिया जाए और पूछा जाए कि इस जगह से 'सूर्य' कब दिखेगा। इसके बाद उनसे 'पृथ्वी' को घुमाने को कहिए ताकि 'सूर्य' उपयुक्त ढंग से उदय व अस्त हो।*

पृथ्वी के घूर्णन की दिशा

आम तौर पर कहा यह जाता है कि सूर्य पूर्व में उदय होता और पश्चिम में अस्त होता दिखता है क्योंकि पृथ्वी पश्चिम से पूर्व की ओर घूमती है। यह पृथ्वी के घूर्णन को बताने का एक तरीका है। लेकिन यह याद रखना ज़रूरी है कि हम जिन दिशाओं को सर्वत्र लागू मानते हैं, वे दरअसल सिर्फ पृथ्वी पर लागू होती हैं। ऐतिहासिक रूप से, दिशाओं को सर्वप्रथम पहचाना और नाम इसी आधार पर दिया गया था कि सूर्य किस दिशा में उगता है (पूर्व) और किस दिशा में अस्त होता है (पश्चिम) और आगे चलकर एक ऐसे तारे की खोज हुई जो रात में अपनी स्थिति नहीं बदलता और इसने हमें उत्तर दिशा दी जब सूर्य नज़र न आ रहा हो।

लेकिन घूर्णन की गति के लिए क्लॉकवाइस या एंटी-क्लॉकवाइस विवरण किसी भी घूर्णन के लिए लागू किया जा सकता है। याद सिर्फ इतना रखना होगा कि आपको बताना पड़ेगा कि अवलोकन किस बिन्दु से किया जा रहा है। पहले-पहल यह थोड़ा भ्रामक लग सकता है लेकिन किसी ऐसी घड़ी की कल्पना कीजिए जिसकी क्रियाविधि पारदर्शी हो और हम उसके काँटों को उल्टी तरफ से भी देख सकें - तब वही गति एंटी-क्लॉकवाइस हो जाएगी।

अत: यहाँ और आगे के सभी लेखों में ध्यान रखें कि पृथ्वी की घूर्णन की गति अन्तरिक्ष से उत्तरी ध्रुव की दिशा से देखने पर एंटी-क्लॉकवाइस होगी। यदि हम दक्षिणी ध्रुव की दिशा से देखेंगे तो पृथ्वी क्लॉकवाइस घूमती दिखेगी।

देखा जाए, तो पृथ्वी को बाएँ से दाएँ अथवा दाएँ से बाएँ घुमाया जा सकता है (यदि उत्तरी ध्रुव से देखेंगे तो यही गति एंटी-क्लॉकवाइस और क्लॉकवाइस हो जाएगी; इस बात को पचाना थोड़ा मुश्किल है लेकिन इसी गति को दक्षिणी ध्रुव की ओर से देखने पर यह क्लॉकवाइस और एंटीक्लॉकवाइस कहलाएगी; इसीलिए यह बताना ज़रूरी है कि आपका दृष्टिकोण क्या है)। सहभागियों से पृथ्वी के घूर्णन की सही दिशा पता करने को कहिए।

एक दिन से दूसरे दिन सूर्योदय और सूर्यास्त के समय बहुत ज़्यादा नहीं बदलते, इसलिए दो सूर्योदयों के बीच की अवधि को 24 घण्टे माना जा सकता है। दिन की अवधियों में होने वाली इन्तहाई विविधता को अनदेखा कर दें, तो कह सकते हैं कि पूर्व में प्रकट होने से लेकर पश्चिम में अस्त होने के बीच की अवधि 12 घण्टे है। तो सूर्य मध्यान्ह के समय ऐन सिर के ऊपर सूर्योदय के लगभग 6 घण्टे बाद होगा।[10] इससे हमें क्या पता चलता है कि पृथ्वी कितनी तेज़ घूमती है? वह एक घूर्णन 24 घण्टे में पूरा करती है। एक पूरा गोला 360 अंश का होता है, तो इसका मतलब यह हुआ कि पृथ्वी प्रति घण्टे 15 अंश घूम जाती है। इस जानकारी का

उपयोग हम रात में विभिन्न नक्षत्रों (तारामण्डलों) को देखकर यह पता करने के लिए कर सकते हैं कि क्या वे भी एक घण्टे में इतना ही घूमते हैं। कोण को एकदम सही-सही नापना ज़रूरी नहीं है; मोटे-मोटे अन्दाज़ से काम चल जाएगा। चूँकि एक दिन की अवधि में सारे आकाशीय पिण्ड लगभग इसी एक गति से चलते नज़र आते हैं (चन्द्रमा के मामले में यह थोड़ी अलग होती है, लेकिन उसकी बात बाद में करेंगे), ओकैम का उस्तरा प्रकट हो जाता है और कहता है कि यह मान लेना अपेक्षाकृत आसान है कि पृथ्वी एकरूप घूर्णन करती है और बाकी सारे आकाशीय पिण्ड स्थिर हैं, बजाय यह सोचने के कि सारे पिण्ड पृथ्वी के आसपास एक-समान गति से चक्कर लगाते हैं।

लिहाज़ा, सूर्य व अन्य तारों (जो लगभग सिर पर हैं; यदि आप बहुत अधिक उत्तर या दक्षिण के तारामण्डलों को चुनेंगे, तो भ्रमित हो जाएँगे) की गति की व्याख्या एक गोलाकार पृथ्वी के अपनी धुरी पर घूर्णन के आधार पर की जा सकती है। जैसा कि पहले ज़िक्र किया गया था, चन्द्रमा की गति को इतनी आसानी-से नहीं समझा जा सकता और उसकी कलाएँ अतिरिक्त जटिलता पैदा करती हैं। इनकी चर्चा हम अगले लेख में करेंगे।

[10] एक बार फिर, पूरी चर्चा आगे की जाएगी। जब हम पृथ्वी की धुरी के झुके होने का साल भर में दिन की लम्बाई पर असर की बात करेंगे, हम यह भी चर्चा करेंगे कि आकाश में सूर्य की स्थिति दिन भर में और पूरे साल बदलती रहती है। अर्थात् सूर्य हमेशा (और शायद कभी भी) मध्यान्ह के समय ठीक सिर पर नहीं होता (और यह सम्भव है कि स्थानीय मध्यान्ह और घड़ी के अनुसार मध्यान्ह अलग-अलग हों), लेकिन अभी हम यह मानकर चल रहे हैं।

उमा सुधीर: *एकलव्य* के साथ जुड़ी हैं। विज्ञान शिक्षण के क्षेत्र में काम कर रही हैं।
अँग्रेज़ी से अनुवाद: सुशील जोशी: *एकलव्य* द्वारा संचालित स्रोत फीचर सेवा से जुड़े हैं। विज्ञान शिक्षण व लेखन में गहरी रुचि।