चपटी धरती

आनन्द नारायणन

हम भला कैसे जानते हैं कि हमारी पृथ्वी चपटी नहीं है? हमारे पास किस प्रकार के प्रमाण हैं? क्या बच्चे अपने अवलोकनों या सरल, सस्ते प्रयोगों के द्वारा इसे 'जान' सकते हैं?

एक लम्बे समय तक, कुछ सभ्यताओं में यह धारणा प्रचलित थी कि पृथ्वी एक सपाट डिस्क या तश्तरी है (**बॉक्स-1** देखें)। ज़मीन की सीध में अपनी नंगी आँखों से सबसे दूर जहाँ देख सकते थे (क्षितिज) वह पृथ्वी की सीमा थी (**चित्र-1**)।

पर अब हम इस धारणा को नहीं मानते (**बॉक्स-2 देखें**)। हममें से अधिकांश के लिए, पृथ्वी गोलाकार है। यह साधारण-सा तथ्य है जो हमने बचपन से सीखा है (**बॉक्स-3 देखें**)। हमने अन्तरिक्ष के विभिन्न स्थानों से ली गईं अनेक तस्वीरें भी देखी हैं जो इस तथ्य को निर्णायक रूप से स्थापित करती हैं (**चित्र-2**)। लेकिन, एक पल के लिए उस गोले को भूल जाएँ जिसे हमने इन तस्वीरों में देखा है। तो, कौन-से प्रयोग या अवलोकन यह निष्कर्ष निकालने में हमारी मदद करेंगे कि हमारी पृथ्वी समतल या चपटी नहीं है?

क्षितिज से परे वस्तुओं का ओझल हो जाना

यदि आप समुद्र तट पर या किसी ऐसे स्थान पर हैं जहाँ से पानी का विस्तार दिखाई देता है, तो किसी नाव या जहाज़ को दूर जाते हुए देखें। यदि पृथ्वी समतल होती, तो नाव या जहाज़ क्षितिज पर पहुँचते ही अचानक ओझल हो जाते। इसकी बजाय, आप देखेंगे कि नाव का निचला हिस्सा सबसे पहले ओझल होता है, जबकि मस्तूल या झण्डा सबसे बाद में (**चित्र-3 क-ख**)। ऐसा इसलिए क्योंकि पृथ्वी चपटी नहीं है। इसकी वक्रता के कारण जहाज़ के ज़मीन या सतह के सबसे क़रीब के हिस्से पहले हमारी दृष्टि से ओझल होते हैं।

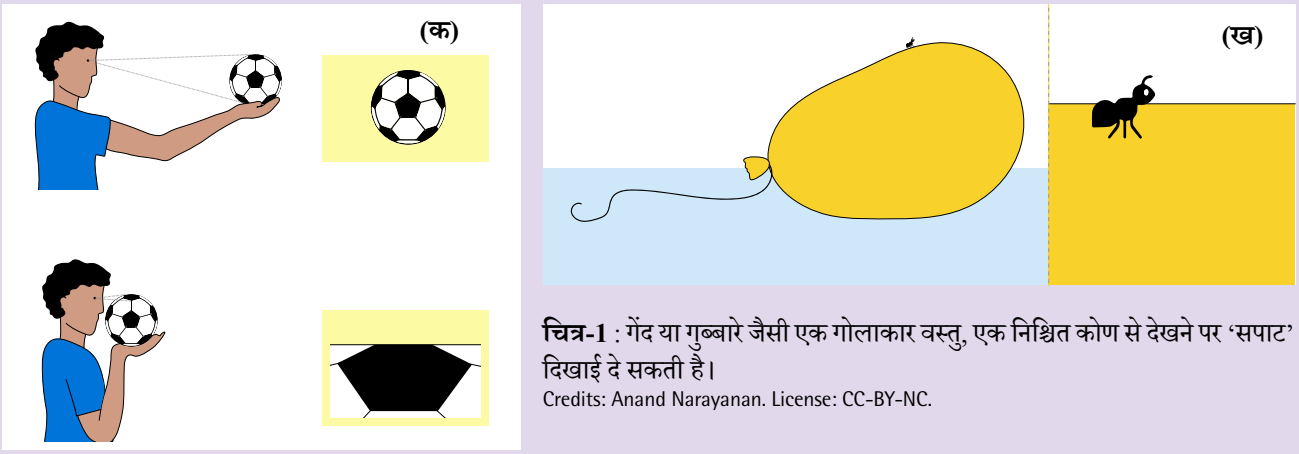
क्षितिज पर वस्तुएँ

फिर, अगली बार जब आप समुद्र तट पर हों, तो खड़े होकर दिखने वाले सूर्यास्त की तुलना उस सूर्यास्त से करें, जिसे आप लेटे

बॉक्स-1 : हमारी पृथ्वी चपटी क्यों दिखाई देती थी?

एक गेंद लें और अपनी आँख को उसकी सतह के स्तर पर रखें। इस कोण से, गेंद की सतह सपाट दिखाई देने की सम्भावना है (**चित्र-1 क**)। अब, कल्पना करें कि एक चींटी पूरी तरह से फूले हुए गुब्बारे की सतह पर घूम रही है। चींटी के लिए, यह समझना मुश्किल होगा कि जिस सतह पर वह घूम रही है वह चपटी नहीं है (**चित्र-1 ख**)।

पृथ्वी पर हमारा हाल भी ठीक ऐसा ही है। चूँकि वह हमें चपटी 'दिखती' है, इसलिए हमारे लिए यह स्वीकार करना कठिन होता है कि पृथ्वी गोल है। लेकिन, जैसा कि इन उदाहरणों से पता चलता है, जो चीज़ चपटी दिखती है, ज़रूरी नहीं है कि वह वैसी ही हो। पृथ्वी हर जगह वक्राकार है। एक और बात, वो यह कि हमारे मुक़ाबले पृथ्वी इतनी बड़ी है कि इसकी सतह की वक्रता (जिस हद तक पृथ्वी एक सपाट सतह से भिन्न है) बहुत कम है और हम जहाँ खड़े हैं, वहाँ से बमुश्किल ही हमारा ध्यान इस पर जाता है। पृथ्वी की 'वक्रता' हमें अधिक ऊँचाई से ही स्पष्ट होती है, जैसे किसी बहुत ऊँची इमारत की चोटी से या हवाई जहाज़ में उड़ते समय।



चित्र-1 : गेंद या गुब्बारे जैसी एक गोलाकार वस्तु, एक निश्चित कोण से देखने पर 'सपाट' दिखाई दे सकती है।
Credits: Anand Narayanan. License: CC-BY-NC.

बॉक्स-2 : आर्यभट की गोलाकार पृथ्वी

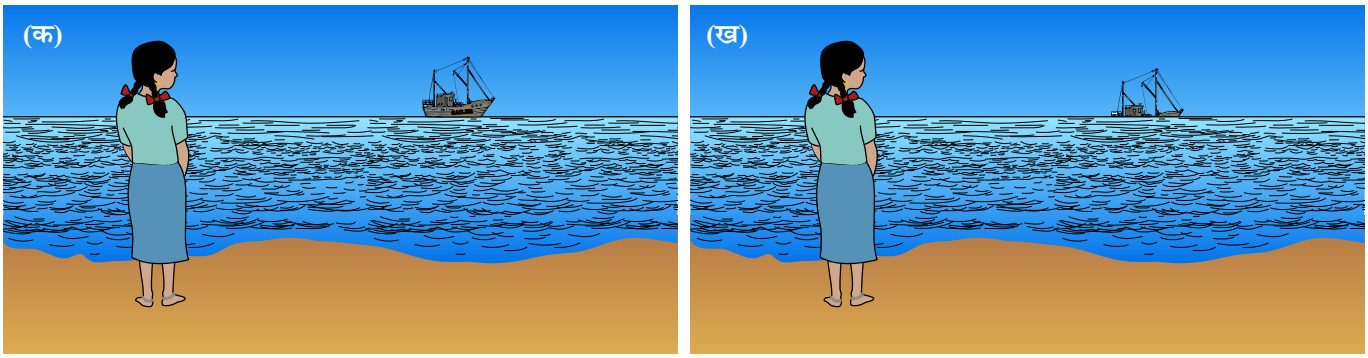
भारतीय गणितज्ञ-खगोलशास्त्री आर्यभट ने 1500 वर्ष पहले लिखे गए अपने ग्रन्थ *आर्यभटियम्* में पृथ्वी को एक गोले के रूप में वर्णित किया है। ग्रन्थ के 'गीतिकापाद' भाग (श्लोक-5) में, वे पृथ्वी के व्यास को दूरी की एक प्राचीन इकाई योजन में प्रस्तुत करते हैं। गणितीय स्थिरांक **π** सम्बन्धी स्वयं आर्यभट की गणना के आधार पर कोई पृथ्वी की परिधि का मान भी निकाल सकता है। दुर्भाग्य से, इन गणनाओं की तुलना आधुनिक गणनाओं से करना बहुत कठिन है क्योंकि सम्बद्ध विद्वानों के बीच इस बात पर मतैक्य नहीं है कि आज हम दूरी के लिए जिन इकाइयों का प्रयोग करते हैं उनमें एक योजन का मान क्या है। बहरहाल, यह एक तथ्य है कि आर्यभट के समय में भी, पृथ्वी को एक गोले के रूप में जाना जाता था।

आर्यभट इस विचार को प्रस्तुत करने वाले पहले व्यक्ति भी थे कि पृथ्वी अपनी धुरी पर घूमती है और आकाश में पिण्डों के 'उदय' और 'अस्त' का सम्बन्ध पृथ्वी के घूर्णन से है। हम इसे एक खुले अभ्यास के रूप में छोड़ रहे हैं कि कोई यह जाँचने के लिए क्या-क्या अवलोकन कर सकता है कि पृथ्वी वाकई घूम रही है। यह उन निष्कर्षों में से एक है जो वास्तविकता की हमारी रोज़मर्रा की धारणा के विरोधाभासी लगते हैं और इसलिए, उन तक पहुँचना इतना आसान भी नहीं है!

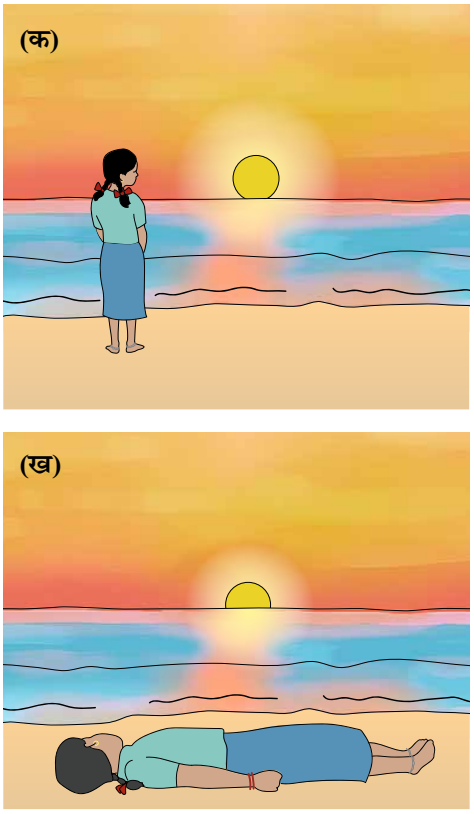
बॉक्स-3 : लेकिन पृथ्वी एक पूर्ण गोला भी नहीं

संयोगवश यह भी पता चला कि हमारी पृथ्वी कोई आदर्श गोलाकार पिण्ड भी नहीं है। इसकी बजाय, यह एक थोड़ी पिचकी हुई गोलाकार आकृति (oblate spheroid) है, यानी ध्रुवों पर थोड़ी चपटी और भूमध्य रेखा पर उभरी हुई (उन्नतोदर) है, गोया दो विपरीत तरफ़ों से दबाई हुई गेंद। यह आकृति पृथ्वी के घूर्णन का परिणाम है, जिसके कारण भूमध्यरेखीय क्षेत्रों में एक अपकेन्द्री बल का अनुभव होता है जो पदार्थ को बाहर की ओर धकेलता है और पृथ्वी को एक उभार देता है।

चित्र-2 : पृथ्वी की वह पहली पूरी तस्वीर जिससे पता चला कि यह चपटी नहीं है। 'द ब्लू मार्बल' के नाम से मशहूर यह तस्वीर 7 दिसम्बर 1972 को अपोलो-17 अन्तरिक्ष यान के अमरीकी चालक दल द्वारा ली गई थी।
Credits: Harrison Schmitt or Ron Evans. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/File:The_Earth_seen_from_Apollo_17.jpg. License: Copyright NASA.



चित्र-3 : ज़मीन से दूर जाते जहाज़ धीरे-धीरे हमारी नज़रों से ओझल हो जाते हैं।
Credits: Anand Narayanan. License: CC-BY-NC.



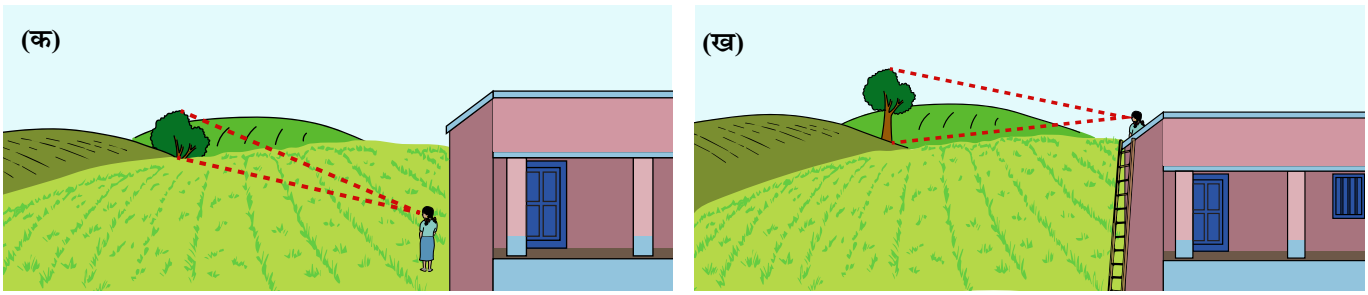
चित्र-4 : लेटे हुए की तुलना में हम खड़े होकर डूबते सूरज का अधिक हिस्सा देख सकते हैं।
Credits: Anand Narayanan. License: CC-BY-NC.

हुए देखते हैं। यदि पृथ्वी चपटी होती तो दोनों स्थितियों में सूर्य का दृश्य एक जैसा होता। आप देखेंगे कि लेटे हुए की तुलना में खड़े होकर आप डूबते सूरज का ज़्यादा हिस्से देख सकते हैं। ऐसा इसलिए कि पृथ्वी एक गोले की सतह की तरह वक्राकार है, इसलिए पर्यवेक्षक की ऊँचाई धरातल की उस दूरी को निर्धारित करती है जहाँ तक वे देख सकते हैं (**चित्र-4 क-ख**)।

आप एक खुले मैदान में खड़े होकर क्षितिज की दिशा में किसी वस्तु को देखते हुए भी ऐसा कर सकते हैं, जैसे कि कोई दूर का पेड़ या आँशिक रूप से दिखाई देती कोई इमारत। जैसे-जैसे आप किसी ऊँची जगह, जैसे पास के किसी पेड़ पर चढ़ जाते हैं, आप उसी वस्तु को और अधिक देख पाएँगे। आप इसके पार उन अन्य वस्तुओं को भी देखने में सक्षम हो सकते हैं जो आपको पहले दिखाई नहीं देती थीं। दूसरी ओर, यदि पृथ्वी चपटी होती, तो फिर चाहे आप नीचे ज़मीन पर खड़े हों या किसी पेड़ की शाखा पर बैठे हों, आपको अपनी दृष्टि के विस्तार/ फैलाव में कोई अन्तर नहीं दिखता। अब चूँकि पृथ्वी वक्राकार है, सो आप जितना ऊपर चढ़ते जाते हैं आपकी दृष्टि-रेखा क्षितिज में उतनी ही आगे बढ़ती जाती है। दूसरे शब्दों में, पृथ्वी के वे हिस्से जो पहले इसकी वक्रता के कारण छिपे हुए थे, अब आपके प्रेक्षण बिन्दु में परिवर्तन के कारण दिखाई देने लगेंगे (**चित्र-5 क-ख**)।

परछाईं की लम्बाई

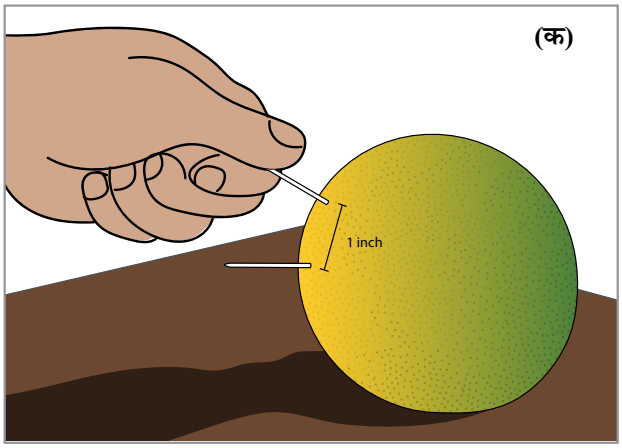
क्या पृथ्वी का चपटापन या गोलाई हमारी छाया की लम्बाई भी बदल देगी? इसका परीक्षण घर के अन्दर एक साधारण प्रयोग के द्वारा किया जा सकता है। गेंद या सन्तरे जैसी कोई गोलाकार वस्तु लें। इसमें बराबर लम्बाई की दो टूथपिक इस तरह डालें कि वे लगभग एक इंच की दूरी पर हों (**चित्र-6 क**)। कमरे में अँधेरा रखते हुए, एक टॉर्च से गेंद पर रोशनी डालें और टूथपिक्स की छाया

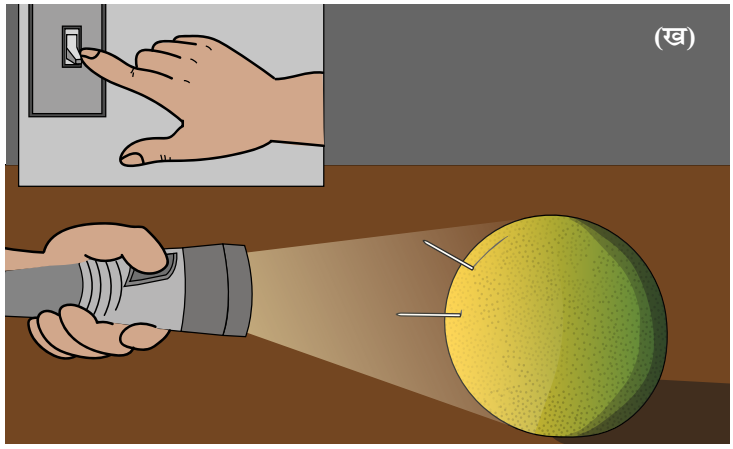


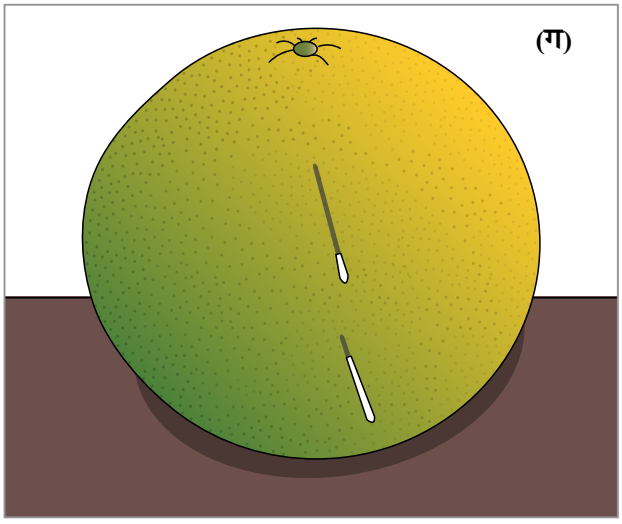
चित्र-5 : हमारा प्रेक्षण-बिन्दु जितना ज़्यादा ऊँचा होगा, हमारी दृष्टि-रेखा क्षितिज में उतनी ही दूर तलक जाएगी।
Credits: Anand Narayanan. License: CC-BY-NC.

की लम्बाई देखें (**चित्र-6 ख**)। आप किसी भी कोण से रोशनी डालें, परछाइयाँ समान लम्बाई की नहीं होंगी (**चित्र-6 ग**)। इस प्रयोग में, प्रकाश स्रोत सूर्य का प्रतिनिधित्व करता है और गेंद पृथ्वी का प्रतिनिधित्व करती है।

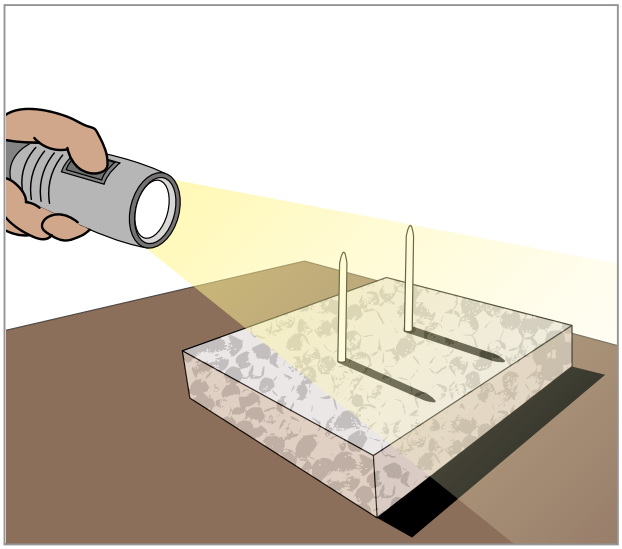
यदि आप गेंद की जगह थर्मोकोल के टुकड़े जैसी कोई सपाट सतह लें और इसी प्रयोग को दोहराएँ, तो आप पाएँगे कि छायाएँ







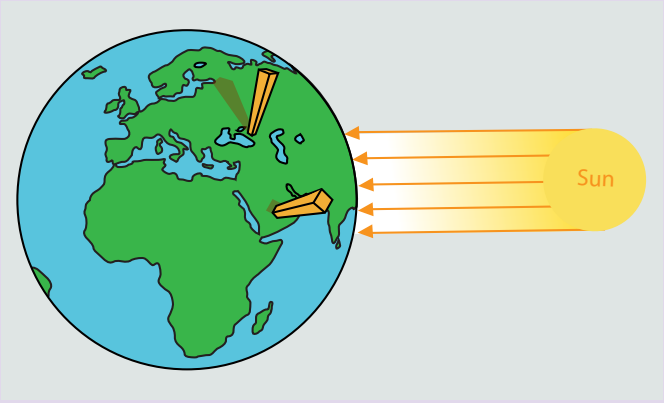
चित्र-6 : जब समान लम्बाई की दो वस्तुएँ एक वक्राकार सतह पर खड़ी होती हैं, तो उनके द्वारा डाली गई छायाएँ असमान लम्बाई की होती हैं।
Credits: Anand Narayanan. License: CC-BY-NC.



चित्र-7 : जब समान लम्बाई की दो वस्तुएँ एक चपटी सतह पर खड़ी होती हैं, तो उनके द्वारा डाली गई छायाएँ भी समान लम्बाई की होती हैं।
Credits: Anand Narayanan. License: CC-BY-NC.

बॉक्स-4 : एराटोस्थनीज़ का मापन

एराटोस्थनीज़ को पता था कि मिस्र के प्राचीन शहर स्येन में कोई भी ऊँची वस्तु (जैसे खम्भे) किसी विशेष दिन पर दोपहर के समय ज़मीन पर कोई छाया नहीं डालती। उन्होंने अनुमान लगाया कि ऐसा इसलिए था क्योंकि इस समय सूर्य ठीक स्येन के ऊपर था। इसके विपरीत, स्येन के उत्तर में स्थित एक अन्य प्रसिद्ध प्राचीन शहर अलेक्ज़ेंड्रिया में ऊँची इमारतें प्रेक्षणीय परछाइयाँ छोड़ती थीं (**चित्र-8**)।



चित्र-8 : एराटोस्थनीज़ ने एक ही दिन दोपहर के समय दो स्थानों पर छायाओं की लम्बाई के अन्तर के आधार पर निष्कर्ष निकाला कि पृथ्वी चपटी नहीं है।
Credits: Anand Narayanan. License: CC-BY-NC.

उन्होंने निष्कर्ष निकाला कि ऐसा तभी हो सकता है जब पृथ्वी गोलाकार हो। अपनी वक्रता के कारण, सूर्य अलग-अलग अक्षांशों पर स्थित दो स्थानों पर ऐन सिर के ऊपर नहीं होगा। इसलिए, इन स्थानों पर एक जैसे खम्भों द्वारा डाली गई छाया की लम्बाई अलग-अलग होगी। एराटोस्थनीज़ ने पृथ्वी की परिधि का अनुमान लगाने के लिए इन मापों का उपयोग किया।

समान लम्बाई की हैं (**चित्र-7**)।

यदि कोई व्यक्ति कई किलोमीटर की दूरी पर स्थित समान ऊँचाई वाले दो खम्भों की छाया का निरीक्षण करे तो वह धरातल पर भी वही प्रयोग दोहरा सकता है। परछाइयों की लम्बाई को लगभग एक ही समय पर मापना होगा।

दिलचस्प बात यह है कि ऐसा प्रयोग कोई 2000 साल से भी पहले यूनानी गणितज्ञ एराटोस्थनीज़ द्वारा किया गया था (**बॉक्स-4 देखें**)।

चलते-चलते

हमारी इन्द्रियाँ हमें दुनिया की समझ प्रदान करने में दक्ष हैं। हालाँकि, ऐसे उदाहरण हैं, जहाँ इन इन्द्रियों के माध्यम से ग्राह्य वास्तविकता की हमारी तत्काल धारणा थोड़ी विकृत, बल्कि एकदम ग़लत भी हो सकती है। इसीलिए यह ज़रूरी है कि हम वैज्ञानिक प्रक्रिया पर भरोसा करें जिसमें अवलोकन, प्रयोग और सभी सम्भावनाओं पर विचार करने के बाद निष्कर्ष तक पहुँचा जाता है।

मुख्य बिन्दु

- यह बात कोई आधुनिक खोज नहीं है कि पृथ्वी वास्तव में चपटी नहीं है।
- पृथ्वी चपटी दिखाई देती है क्योंकि इसकी सतह की वक्रता इतनी कम है कि यह अक्सर हमें अधिक ऊँचाई से ही दिखाई देती है।
- हम कई सरल अवलोकनों के माध्यम से पृथ्वी की वक्रता का अनुमान लगा सकते हैं, जैसे कि वस्तुएँ क्षितिज से कैसे ओझल हो जाती हैं या विभिन्न ऊँचाइयों से वे हमें कैसी दिखती हैं।
- एक अन्य तरीक़े से हम यह अनुमान लगा सकते हैं कि पृथ्वी वक्राकार है, वह एक सरल प्रयोग है जिसमें एक समतल सतह पर स्थित समान लम्बाई की दो वस्तुओं द्वारा डाली गई छायाओं की लम्बाई की तुलना एक वक्राकार सतह पर पड़ने वाली इन्हीं की छायाओं से की जाती है।

Note: Source of the image used in the background of the article title: Flat earth. Credits: Flatearthgifts, Wikimedia Commons. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Flat_Earth_model.jpg. License: CC-BY-SA.

For further reading:

1. Brown, Cynthia Stokes. 'Eratosthenes of Cyrene'. Big History Project. Khan Academy. URL: https://www.khanacademy.org/humanities/big-history-project/solar-system-and-earth/knowing-solar-system-earth/a/eratosthenes-of-cyrene.
2. Kate, Amol Anandrao. 'Measuring Earth's Size'. i wonder... pg. 22-26. ISSN 2582-1636. URL: https://publications.azimpremjiuniversity.edu.in/3390/.

आनन्द नारायणन इंडियन इंस्टिट्यूट ऑफ़ स्पेस साइंस एंड टेक्नॉलॉजी, तिरुवनन्तपुरम में खगोल-भौतिकी (ऍस्ट्रोफिज़िक्स) पढ़ाते हैं। उनका शोध निहारिकाओं के बाहर बड़े पैमाने पर बैरिऑनिक पदार्थ (baryonic matter) के वितरण को समझने पर है। वे नियमित रूप से खगोल विज्ञान से सम्बन्धित शैक्षिक व जनसम्पर्क गतिविधियों में योगदान देते रहते हैं और अक्सर दक्षिण भारत के सांस्कृतिक इतिहास की खोज में यात्राएँ करना पसन्द करते हैं।

अनुवाद : मनोहर नोतानी **पुनरीक्षण :** सुशील जोशी **कॉपी एडिटर** : अनुज उपाध्याय