खगोलविज्ञान में दूरियाँ

आनन्द नारायणन

हम पृथ्वी से सूर्य की दूरी के बारे में कैसे जानते हैं? या अपनी निकटतम निहारिका की दूरी के बारे में? इस लेख में चार विधियों का वर्णन किया गया है जिनका उपयोग खगोलविज्ञानी अन्तरिक्ष में दूरियों के मापन में करते हैं।

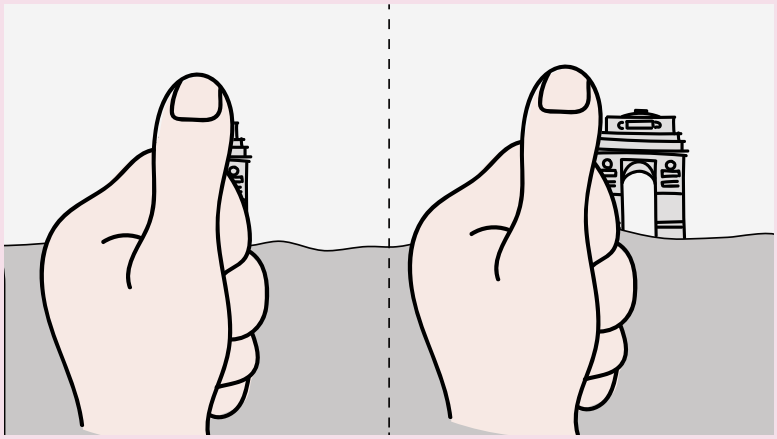
खगोलविज्ञान का हमारा अधिकांश ज्ञान इस बात पर आधारित है कि हम अन्तरिक्ष में दूरियों का मापन करने में कितने सक्षम हैं। कई अन्य उपयोगी जानकारियों के अलावा खगोलीय दूरियों का ज्ञान हमें यह समझने में मदद करता है कि अन्तरिक्ष में तारे, तारों के समूह (clusters), नेबुला, निहारिकाएँ आदि किस प्रकार फैले हुए हैं; या उनकी जो चमक हमें दिखती है, उसकी तुलना में वे वास्तव में कितने चमकीले हैं। अलबत्ता, उन दूरियों के पैमाने को देखते हुए बाह्य अन्तरिक्ष में स्थित पिण्डों की दूरियों को नापना कोई साधारण काम नहीं है।

समय के साथ खगोलविज्ञानियों ने कुछ रोचक विधियों की खोज की है जिनके द्वारा अपनी आकाशगंगा के साथ-साथ अन्य निहारिकाओं में स्थित तारों की दूरियों का पता लगाया गया। इन विधियों में कुछ निम्नलिखित हैं :

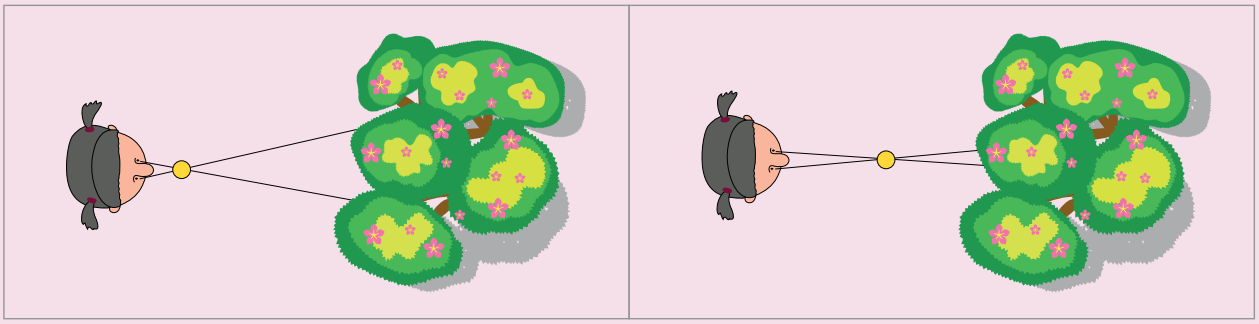
1. त्रिकोणमितीय विस्थापनाभास (parallax) : यह तकनीक उन तारों की दूरियों का आकलन करने में उपयोगी होती है जो हमसे कुछ सौ प्रकाश वर्ष दूर हैं (देखें **बॉक्स-1**)।
2. परिवर्ती तारों का प्रेक्षण : यह तकनीक अपनी आकाशगंगा एवं आस-पास की अन्य निहारिकाओं में उपस्थित परिवर्ती तारों और परिवर्ती तारों युक्त तारों के समूह की दूरियाँ ज्ञात करने में उपयोगी है (देखें **बॉक्स-2**)।
3. अन्धकार में मानक कैण्डल का प्रेक्षण : इस तकनीक का उपयोग ऐसी आकाशगंगाओं की दूरियों का आकलन करने में किया जाता है जिनमें सुपरनोवा विस्फोट (मानक कैण्डल) घटित हो रहे होते हैं (देखें **बॉक्स-3**)।
4. निहारिकाएँ जिस वेग से हमसे दूर जा रही हैं, उस वेग का आकलन : यह तकनीक उन निहारिकाओं की दूरियों का आकलन करने में उपयोगी है जो 10 करोड़ प्रकाश वर्ष से अधिक दूर हैं (देखें **बॉक्स-4**)।

बॉक्स-1 : त्रिकोणमितीय विस्थापनाभास (parallax)

अपनी मुट्ठी बन्द करके हाथ को सीधा करें, अँगूठा ऊपर की ओर रहना चाहिए। पहले अपने अँगूठे को बाईं आँख से देखने का प्रयास करें और उसके बाद दाईं आँख से। ऐसा करने पर काफ़ी दूर स्थित वस्तुओं की पृष्ठभूमि के सापेक्ष आपको अपने अँगूठे में कुछ विस्थापन दिखाई पड़ेगा। इस विस्थापन को त्रिकोणमितीय पैरेलक्स या विस्थापनाभास कहा जाता है। ऐसा इसलिए होता है क्योंकि आप अँगूठे को दो अलग-अलग दृष्टिकोण से देख रहे हैं।



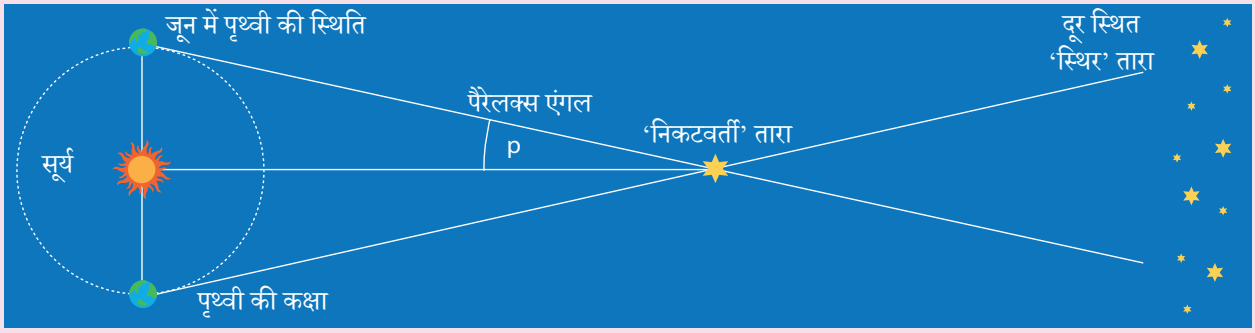
जब आप इस गतिविधि को अपने अँगूठे की बजाय किसी अन्य वस्तु (जैसे गेंद) के साथ दोहराएँगे जो आपसे थोड़ी ज़्यादा दूरी पर रखी है, तब भी गेंद में आप थोड़ा बहुत विस्थापन देख सकते हैं। परन्तु, अँगूठे की तुलना में इस बार विस्थापन कम होगा। दरअसल, यदि गेंद आपसे काफ़ी ज़्यादा दूर है तो आपको बिल्कुल भी विस्थापन नज़र नहीं आएगा। अतः वस्तुओं की स्थिति में विस्थापन की मात्रा हमें यह बताती हुई प्रतीत हो रही है कि वे अपेक्षाकृत कितनी दूर या कितनी पास स्थित हैं।



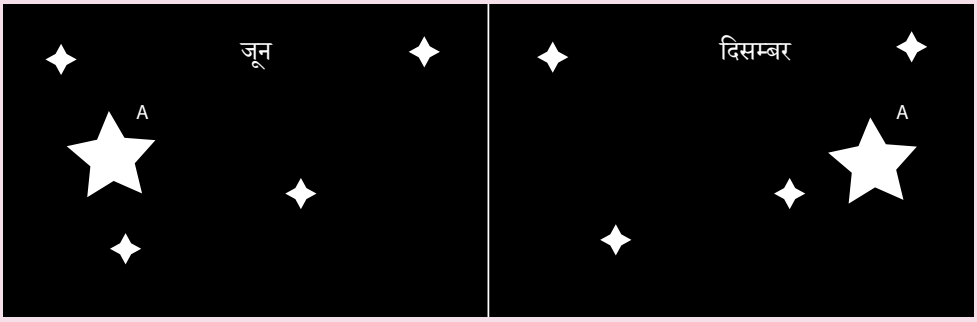
यदि हम कोण 'p' का मापन कर सकें, तो समकोण त्रिभुज के एक समीकरण का उपयोग करके हम आकलन कर सकते हैं कि वस्तु हमसे कितनी दूरी पर है :

$$\tan\theta = \frac{\text{दोनों आँखों के बीच की दूरी का आधा}}{\text{हमसे वस्तु की दूरी}}$$

इसका उपयोग हम तारों की दूरियाँ मापने में कैसे करते हैं? चूँकि तारे हमसे बहुत ज़्यादा दूर स्थित हैं, इसलिए हम केवल अपनी आँखों से उनमें पैरेलक्स देखने में सक्षम नहीं हैं। हमें एक विशाल द्विनेत्री दृष्टि की आवश्यकता होगी। यह हमें सूर्य के चारों ओर अपनी कक्षा में परिक्रमा कर रही पृथ्वी का दृश्य प्रदान करेगी। यदि आप साल के किन्हीं भी दो दिनों का चयन करते हैं जिनमें 6 महीने का अन्तराल है, तो आप देखेंगे कि पृथ्वी अपनी कक्षा में दो बिल्कुल विपरीत बिन्दुओं पर होती है।



यदि आप जून एवं दिसम्बर में रात्रिकालीन आकाश की फोटो खींचते हैं तो समान दृष्टि क्षेत्र में अन्य तारों की तुलना में तारे 'A' की स्थिति में आपको विस्थापन नज़र आएगा।



इस विस्थापन का कारण पैरेलक्स है। इस प्रकार, गोलीय त्रिकोणमिती के कुछ मूलभूत सिद्धान्तों के द्वारा कोण p का आकलन करके हम तारे A की दूरी की गणना कर सकते हैं :

$$\tan(p) = \frac{\text{सूर्य एवं पृथ्वी के बीच की दूरी}}{\text{तारे की दूरी}}$$

सिद्धान्तत: तो सभी तारे कुछ-न-कुछ पैरेलक्स ज़रूर दर्शाते हैं। लेकिन, बहुत अधिक दूर स्थित तारों का पैरेलक्स इतना कम होता है कि हमारे टेलीस्कोप उनके लिए विश्वसनीय आँकड़े नहीं दे पाते। केवल वही तारे प्रेक्षण के लायक़ पैरेलक्स दर्शाते हैं, जो अपेक्षाकृत पास (कुछ सौ प्रकाश वर्ष दूर) हैं।

बॉक्स-2 : परिवर्ती तारों का प्रेक्षण :

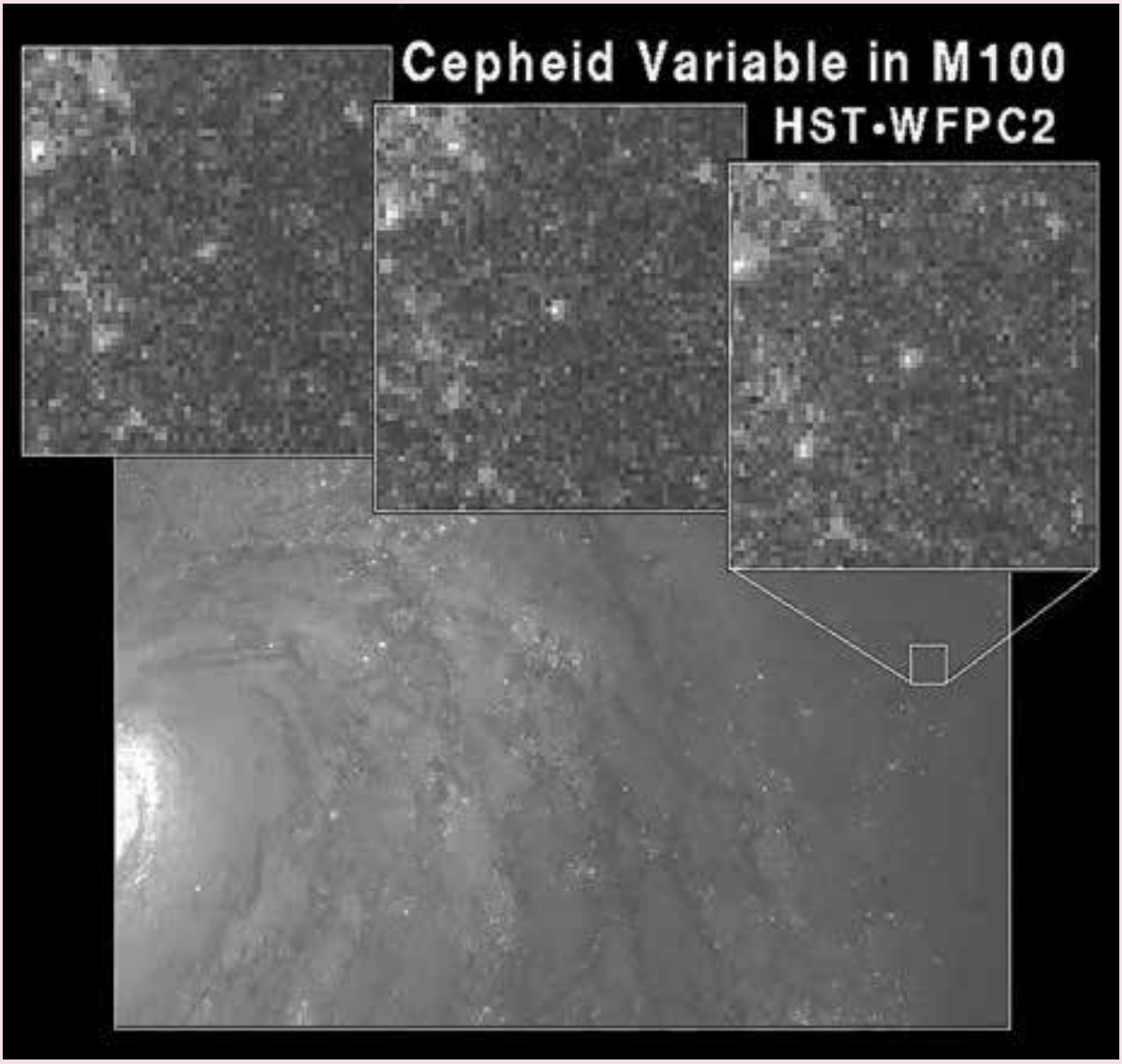
वे तारे जिनकी चमक परिवर्तनशील होती है (यानी एक निश्चित आवर्तकाल के साथ चमक तीव्र एवं मन्द होती रहती है) **परिवर्ती तारे** कहलाते हैं। इन उतार-चढ़ावों का आवर्तकाल तारे की औसत चमक से सम्बन्धित होता है। जिन तारों की चमक में परिवर्तन धीरे-धीरे होता है (यानी चमक में परिवर्तन का आवर्तकाल अधिक होता है) उनकी वास्तविक आन्तरिक चमक उन तारों से अधिक होती है जो तेज़ी से परिवर्तन दर्शाते हैं।

तारों की वास्तविक चमक (**ल्यूमिनोसिटी**; जिसे सूर्य की चमक के सापेक्ष इकाई में मापा जाता है) और चमक-परिवर्तनशीलता के प्रेक्षित आवर्तकाल (पृथ्वी दिवस की इकाई में) के बीच धनात्मक सम्बन्ध होता है। इस सम्बन्ध का मतलब है कि यदि हम प्रेक्षणों द्वारा परिवर्ती तारों की चमक में परिवर्तन का आवर्तकाल ज्ञात कर लें तो हम तारे की ल्यूमिनोसिटी का आकलन कर सकते हैं।

तारे की ल्यूमिनोसिटी (यानी वास्तव में तारा कितना चमकीला है) का उसकी प्रेक्षित चमक से निम्न सम्बन्ध होता है :

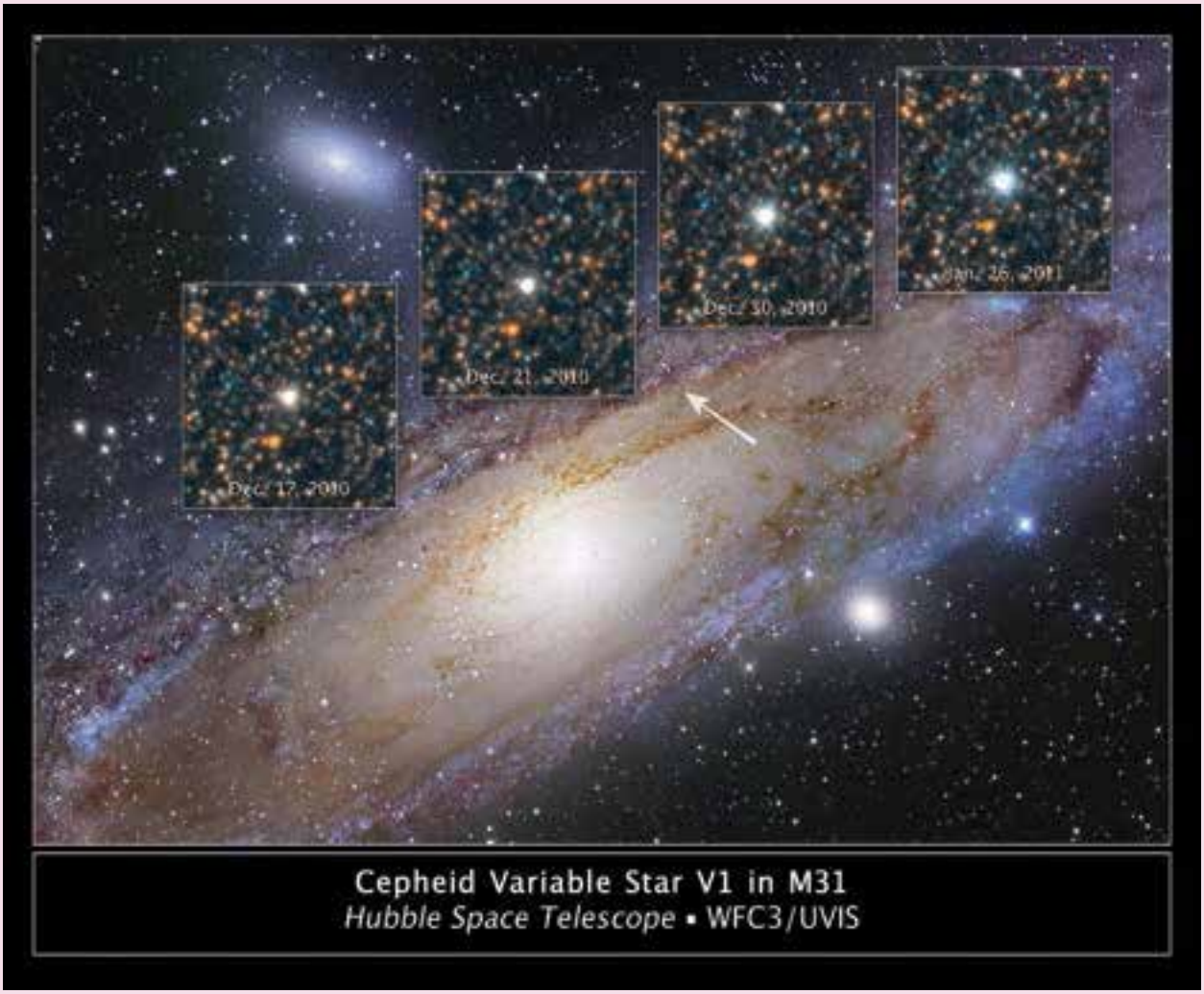
$$\text{आसमान में तारा कितना चमकदार नज़र आता है (प्रत्यक्ष प्रेक्षणीय)} = \frac{\text{चमक में परिवर्तन के आवर्तकाल द्वारा आकलित वास्तविक चमक}}{4 \times \pi \times (\text{तारे की दूरी, राशि जिसका आकलन करना है})^2}$$

यदि परिवर्ती तारा किसी समूह का हिस्सा है तब उस तारे की दूरी का आकलन करके हम उस समूह की दूरी का भी आकलन कर लेते हैं। इसी तरह यदि परिवर्ती तारे की पहचान किसी अन्य निहारिका में उपस्थित तारे के रूप में होती है तो हम न केवल उस तारे की दूरी का आकलन कर सकते हैं बल्कि उस निहारिका की दूरी का आकलन भी कर सकते हैं। उदाहरण के लिए, स्पाइरल गैलेक्सी M100 के बाह्य भाग में स्थित एक परिवर्ती तारे की तीन तस्वीरें हबल टेलिस्कोप द्वारा कुछ सप्ताह के अन्तराल में ली गईं, ये तस्वीरें तारे की चमक में धीरे-धीरे वृद्धि को दर्शाती हैं। इस तारे एवं निहारिका के अन्य परिवर्ती तारों के प्रेक्षणों के आधार पर खगोलविज्ञानियों ने आकलन किया कि M100 हमसे 5.6 करोड़ प्रकाश वर्ष दूर है।



Credits: © Dr. Wendy L. Freedman, Observatories of the Carnegie Institution ofWashington, and NASA/ESA. URL: https://hubblesite.org/image/222/news/37-spiral-galaxies.

इसी तरीक़े से एण्ड्रोमेडा निहारिका (जिसे M31 भी कहा जाता है, आकाशगंगा की निकटतम बड़ी गैलेक्सी) में उपस्थित तारे V1 की तस्वीरें कुछ दिनों के समय अन्तराल में ली गईं, इन तस्वीरों में समय के साथ तारे V1 की चमक बढ़ रही है। इससे पता चलता है कि यह एक परिवर्ती तारा है एवं इसका इस्तेमाल इस निहारिका की दूरी का निर्धारण करने में किया जा सकता है।



Credits: NASA, ESA and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA), and R. Gendler. URL: https://hubblesite.org/image/2847/news/37-spiral-galaxies.

यह तकनीक स्थानीय ब्रह्माण्ड तक ही सीमित है। क्योंकि कुछ करोड़ प्रकाश वर्ष (खगोलविज्ञान में इसे 'आस-पास' माना जाता है) से अधिक दूर स्थित आकाशगंगाओं के तारों की अलग-अलग पहचान कर पाना सम्भव नहीं है।

बॉक्स-3 : अन्धकार में मानक कैण्डल का प्रेक्षण

सुपरनोवा एक विस्फोट होता है जो किसी तारे की मृत्यु का संकेत होता है। एक प्रकार के सुपरनोवा जिन्हें **टाइप Ia सुपरनोवा** कहते हैं, श्वेत वामन तारे के विस्फोट से उत्पन्न होते हैं, जब वह एक निश्चित द्रव्यमान-सीमा को पार कर लेता है। इस द्रव्यमान सीमा को **चन्द्रशेखर सीमा** कहते हैं जो एक सटीक संख्या होती है। दूसरे शब्दों में, प्रत्येक टाइप Ia सुपरनोवा, जिन भी तारों के विस्फोट का परिणाम होता है, उन सबका द्रव्यमान समान होता है।

चूँकि तारे का द्रव्यमान ही ऊर्जा में परिवर्तित होता है, इसलिए सभी टाइप Ia सुपरनोवा विस्फोट समान तीव्रता से चमकते हैं, यानी उन सबकी ल्यूमिनोसिटी समान होती है। ये विस्फोट इतने ज़्यादा ऊर्जावान होते हैं कि इस घटना के बाद कुछ दिनों तक वे लगातार अपनी निहारिका के अन्य तारों की अपेक्षा ज़्यादा तीव्रता से चमकते हैं और उनके सामने अन्य तारों का प्रकाश कुछ दिनों तक फीका पड़ जाता है। इनकी ल्यूमिनोसिटी के कारण हमारे टेलिस्कोप इन विस्फोटों को उन दूरियों से भी पहचान लेते हैं जो इतनी ज़्यादा होती हैं कि उन दूरियों पर निहारिकाओं को ढूँढ़ना हमारे लिए अकसर मुश्किल होता है।

उदाहरण के लिए, स्पाइरल गैलेक्सी NGC 4526 के बाह्य क्षेत्र में एक टाइप Ia सुपरनोवा (जिसे 1994 में पृथ्वी से देखा गया) की सतत अधिकतम तीव्रता की चमक के आधार पर खगोलविज्ञानियों ने ठीक-ठीक आकलन किया कि NGC 4526 की दूरी 5 करोड़ प्रकाश वर्ष है।

Credits: © NASA/ESA, The Hubble Key Project Team and The High-Z Supernova Search Team.

इसी प्रकार, 2014 में निहारिका M82 में एक अत्यधिक चमकीले टाइप I सुपरनोवा को धूल व गैस के गहरे बादलों के पार देखा जा सकता था, जिसने अन्य तारों की चमक को ओझल कर दिया था। खगोलविज्ञानियों ने इस अवलोकन का उपयोग M82 की सटीक दूरी पता करने के लिए किया था।

Credits: © ASA, ESA, A. Goobar (Stockholm University), and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA).

ये सुपरनोवा दूरी आकलन में किस प्रकार मदद करते हैं? चूँकि सभी टाइप Ia सुपरनोवा एक समान चमक के साथ चमकते हैं, इसलिए पास की किसी

निहारिका में सुपरनोवा, दूर की किसी निहारिका के सुपरनोवा की तुलना में अधिक चमकीला प्रतीत होगा। अतः सुपरनोवा की दूरी का आकलन निम्नलिखित सम्बन्ध से किया जा सकता है :

$$\text{आसमान में तारा कितना चमकदार नज़र आता है (प्रत्यक्ष प्रेक्षणीय)} = \frac{\text{चमक में परिवर्तन के आवर्तकाल द्वारा आकलित शुद्ध आन्तरिक चमक}}{4 \times \pi \times (\text{तारे की दूरी ,राशि जिसका आकलन करना है})^2}$$

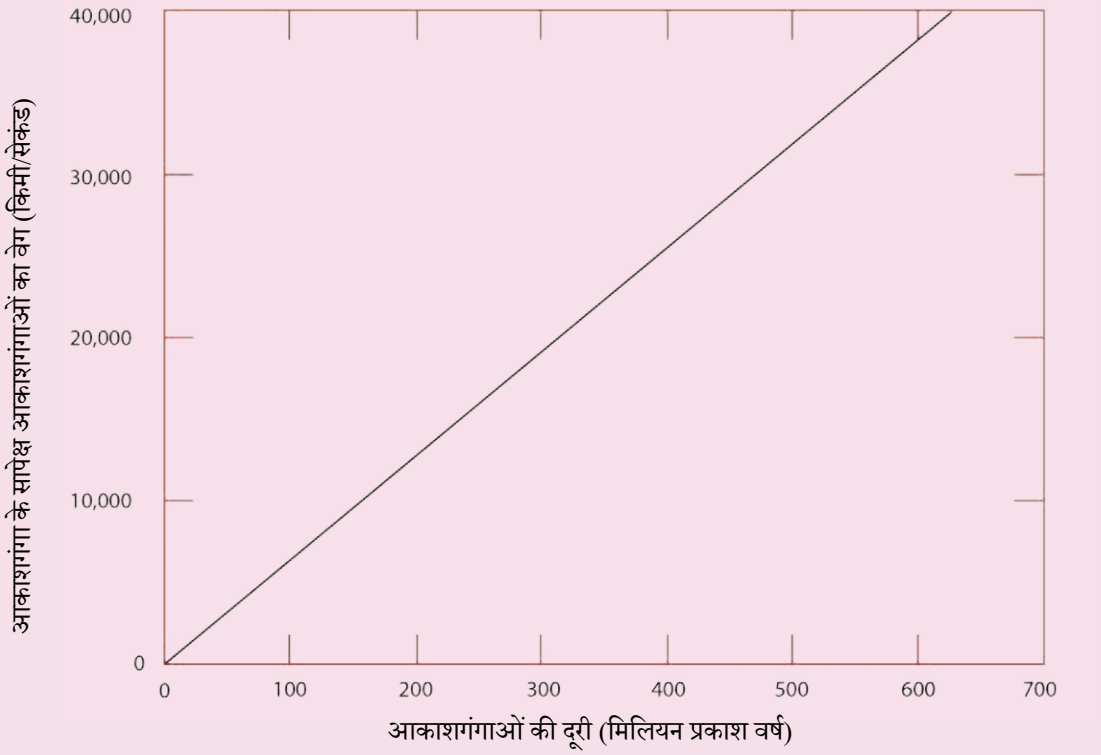
इस सम्बन्ध से हम उन 'निहारिकाओं' की दूरी ज्ञात कर सकते हैं जिनमें विस्फोट घटित हो रहा होता है। इस प्रकार टाइप Ia सुपरनोवा मानक कैण्डल की तरह काम में आते हैं। भौतिकविज्ञानियों द्वारा 'मानक कैण्डल' शब्द का उपयोग एक समान निहित चमक वाली वस्तुओं के लिए किया जाता है।

बॉक्स-4 : निहारिकाएँ जिस वेग से हमसे दूर जा रही हैं, उस वेग का आकलन

हम एक ऐसे ब्रह्माण्ड में रहते हैं जो लगातार फैल रहा है। इस रोचक तथ्य का अनुभव हमें इस प्रेक्षण से होता है कि निहारिकाएँ (सभी नहीं तो भी अधिकांश निहारिकाएँ) एक-दूसरे से दूर जा रही हैं। हम यह भी जानते हैं कि कोई निहारिका हमसे जितनी ज़्यादा दूर होती है, उसकी हमसे दूर जाने की दर उतनी ही ज़्यादा होती है।

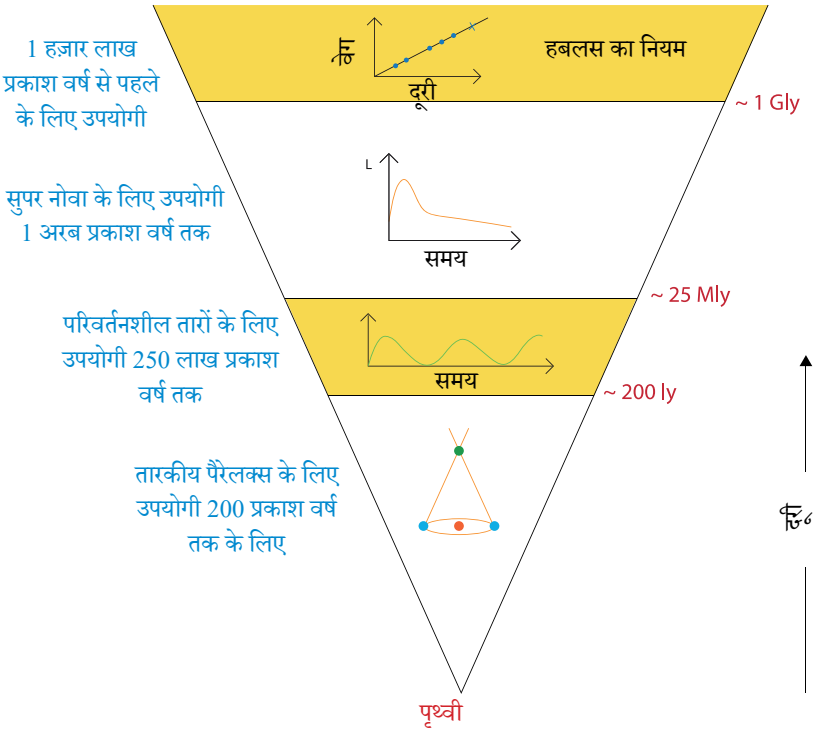
इस प्रकार एक निहारिका की दूरी का आकलन उससे आने वाले प्रकाश को वर्णक्रम के रूप में रिकॉर्ड करके किया जा सकता है। यह वर्णक्रम आकाशगंगा के सापेक्ष उस निहारिका के वेग को प्रकट करता है (ग्राफ़ में ऊर्ध्वाधर अक्ष)। हम इस सहसम्बन्ध के आधार पर उस निहारिका की दूरी (ग्राफ़ में क्षैतिज अक्ष) का निर्धारण कर सकते हैं।

इस सम्बन्ध को गणितीय रूप में निम्न प्रकार व्यक्त किया जा सकता है :



इस तकनीक का उपयोग उन निहारिकाओं की दूरी ज्ञात करने में किया जाता है जो हमसे 10 करोड़ प्रकाश वर्ष से भी अधिक दूर हैं। दूरी के इस पैमाने पर ब्रह्माण्ड के फैलने की प्रवृति स्पष्ट रूप से समझ में आती है।

$$\text{आसमान में तारा कितना चमकदार नज़र आता है (प्रत्यक्ष प्रेक्षणीय)} = \frac{\text{चमक में परिवर्तन के आवर्तकाल द्वारा आकलित शुद्ध आन्तरिक चमक}}{4 \times \pi \times (\text{तारे की दूरी, राशि जिसका आकलन करना है})^2}$$



चित्र : कॉस्मिक डिस्टेंस लैडर का एक सरलीकृत संस्करण।

Credits: Adapted from an image owned by Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Addison-Wesley.
License: CC-BY-NC.

समेकन

ब्रह्माण्ड विशाल है। अन्तरिक्ष में उपस्थित पिण्डों की दूरियों को मापने की प्रत्येक तकनीक की अपनी एक इष्टतम सीमा होती है। कुछ तकनीकें उन पिण्डों की दूरियाँ ज्ञात करने के लिए उपयुक्त होती हैं जो हमारे काफ़ी क़रीब स्थित हैं, जबकि कुछ तकनीकें बहुत दूर स्थित पिण्डों के लिए उपयुक्त होती हैं। दूरी की इस सीमा को सोपानों के रूप में निरूपित किया जाता है जिसे खगोलविज्ञानी अकसर "कॉस्मिक डिस्टेंस लैडर" कहते हैं।

अन्तरिक्ष में दूरियों के आकलन करने की तकनीकें, ब्रह्माण्ड के कुछ मूलभूत प्रश्नों के उत्तर ढूँढ़ने में मदद कर सकती हैं। उदाहरण के लिए ब्रह्माण्ड की वर्तमान उम्र का हमारा आकलन 13.8 अरब वर्ष है। हम कैसे जानते हैं कि यह आँकड़ा सही है? क्या हम ब्रह्माण्ड को इसके शुरुआती दिनों में देख सकते हैं? आज हम उन निहारिकाओं की दूरियों का मापन कर सकते हैं जो हमसे 10 करोड़ प्रकाश वर्ष से अधिक दूर हैं। इसका मतलब यह हुआ कि हम उन निहारिकाओं को आज उस रूप में देख सकते हैं जैसी वे 10 करोड़ प्रकाश वर्ष पहले हुआ करती थीं। क्या हम किसी दिन इससे भी अधिक अतीत में देख पाने में सक्षम हो पाएँगे? यह तो केवल आने वाला समय ही बता पाएगा।

मुख्य बिन्दु

- खगोल विज्ञान का हमारा अधिकांश ज्ञान अन्तरिक्ष में दूरियों का मापन करने की हमारी क्षमता पर आधारित है।
- पृथ्वी से अन्तरिक्ष में दूरियों को कई विधियों से मापा जा सकता है :
  - छह माह के अन्तराल पर एक ही तारे की अलग-अलग तस्वीरों से, ताकि विस्थापनाभास ज्ञात किया जा सके।
  - किसी परिवर्ती तारे की चमक में परिवर्तन होने में लगने वाले समय का मापन करना, ताकि तारे की ल्यूमिनोसिटी ज्ञात कर सकें और उसके आधार पर उसकी दूरी।
  - टाइप Ia सुपरनोवा की चमक का मापन करना – जितनी ज़्यादा तारे की चमक होगी, वह उतना ही पास होगा, एवं दूर होगा यदि चमक कम होगी।
  - हमारी अपनी निहारिका (आकाशगंगा) से दूर जाती हुई किसी निहारिका के वेग का निर्धारण (उसके वर्णक्रम में विचलन के प्रेक्षण द्वारा) करके।
- खगोलीय दूरियों का ज्ञान हमें यह समझने में मदद करता है कि अन्तरिक्ष में तारे, तारों के क्लस्टर, नेबुला, निहारिकाएँ आदि किस प्रकार फैले हैं; या उनकी जो चमक हमें दिखती है, उसकी तुलना में वे वास्तव में कितने चमकीले हैं; इससे हमें ब्रह्माण्ड की उम्र जैसे मूलभूत प्रश्नों का उत्तर ढूँढ़ने में भी मदद मिलती है।

आनन्द नारायणन भारतीय अन्तरिक्ष विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी संस्थान (IIST) में खगोल भौतिकी पढ़ाते हैं। उनका शोध कार्य यह समझने पर है कि निहारिकाओं के बाहर बड़े पैमाने पर बेरयॉनिक द्रव्य किस प्रकार फैले हैं। वे खगोलविज्ञान सम्बन्धी शैक्षणिक एवं पब्लिक आउटरीच गतिविधियों में नियमित रूप से योगदान देते हैं। दक्षिणी भारत के सांस्कृतिक इतिहास को जानने के लिए वे अकसर यात्राएँ करना पसन्द करते हैं।

अनुवाद : कान्हाराम **पुनरीक्षण :** सुशील जोशी **कॉपी एडिटर :** कामिनी उपाध्याय