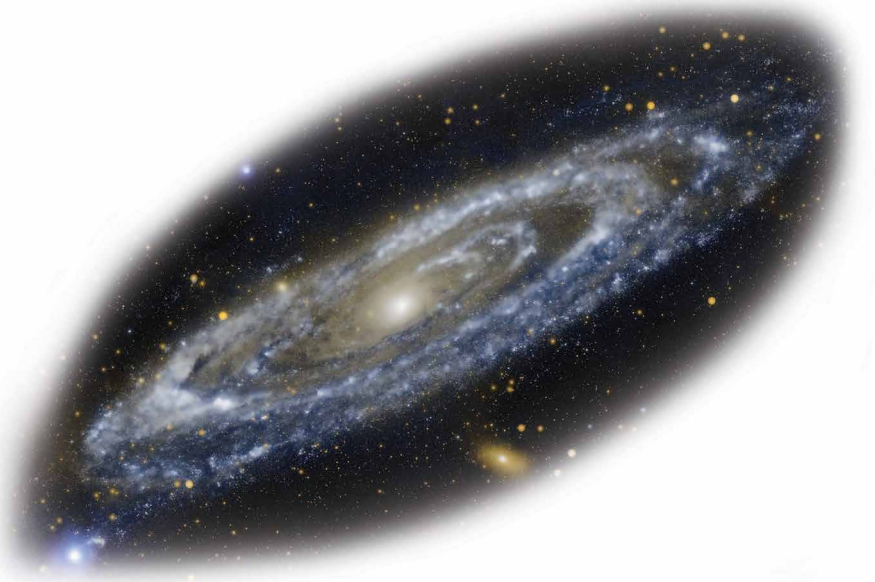
अदृश्य ऊर्जा का रहस्य

अमिताभ मुखर्जी

हमें यह बताया जाता है कि हम जिस ब्रह्माण्ड में रहते हैं वह डार्क एनर्जी (अदृश्य ऊर्जा) नामक एक रहस्यमयी वस्तु से भरा हुआ है। इस लेख में हम यह समझाने की कोशिश कर रहे हैं कि अदृश्य ऊर्जा से वैज्ञानिकों का आशय भला क्या है और हमें इसके होने का पता कैसे चलता है?

यह 1920 की बात है। यूएसए की राष्ट्रीय विज्ञान अकादमी (नेशनल एकेडमी ऑफ़ साइंसेस) की एक बैठक में उस ज़माने के प्रमुख खगोलविद 'ब्रह्माण्ड के पैमाने' पर बहस कर रहे थे। उनके तर्क ग्रेट एंड्रोमेडा नेब्युला (लातिनी में नेब्युला ~ नन्हा बादल) जैसे बादल-सदृश पिण्डों पर केन्द्रित थे। इसे M31 के नाम से भी जाना जाता है (**देखें चित्र-1क**)। एक विचारधारा के मुताबिक़, नेब्युला महज़ आकाशगंगा में भीतर के गैस व धूल के बादल थे। जबकि दूसरी विचारधारा, अंशतः ही इस तर्क का समर्थन करती थी – निश्चय ही, आकाशगंगा में कुछ गैसीय बादल तो थे। लेकिन उनकी दलील यह थी कि अनेक नेब्यूला तारों के समूह हैं जो इतनी दूर हैं कि वे हमारी मन्दाकिनी (आकाशगंगा) में नहीं हो सकते।



चित्र-1क : देवयानी (एंड्रोमेडा) मन्दाकिनी : आधुनिक तस्वीर
Credits: NASA/JPL-Caltech, Wikimedia Commons. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Andromeda_galaxy_2.jpg. License: CC-BY.

चित्र-1ख : इमैनुएल कांट

Credits: A photograph (http://www.philosovieth.de/kant-bilder/bilddaten.html) of a painting by Johann Gottlieb Becker uploaded by Daube aus Böblingen, Wikimedia Commons. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Kant_gemaelde_3.jpg. License: CC-BY.

यह बाद वाला ख़्याल कोई नया विचार नहीं था। 1775 में ही दार्शनिक इमेन्यूअल कांट (**चित्र-1ख**) ने अटकल लगाई थी कि नेब्यूला जिन्हें उन्होंने 'द्वीपीय ब्रह्माण्ड' कहा था, 'दूरस्थ' पिण्ड थे। 1925 आते-आते, विस्तृत अवलोकनों, ख़ासकर अमरीकी खगोलविद एडविन हबल द्वारा किए गए अवलोकनों ने इस बहस का पटाक्षेप कर दिया। हबल ने कैलिफोर्निया की माउंट विल्सन वेधशाला में हूकर टेलीस्कोप का इस्तेमाल करते हुए M31 के तारों को सफलतापूर्वक अलग-अलग करके देख लिया था (**देखें चित्र-2**)। जल्द ही, हबल और उनके साथियों ने इन तारों की दूरी के आकलन भी कर लिए। इन आकलनों से समझ आया कि न सिर्फ़ M31 इतनी दूर था कि हमारी आकाशगंगा में नहीं हो सकता था; बल्कि वह ख़ुद एक मन्दाकिनी थी, अरबों तारे समेटे। इससे यह सिद्ध हुआ कि ब्रह्माण्ड उससे भी कहीं ज़्यादा बड़ा था जितना कि पहले सोचा गया था। सो कोई अचरज नहीं कि M31 ऐसी वर्णक्रम रेखाएँ दर्शाती है जो तारों में विद्यमान विभिन्न रासायनिक तत्वों से मेल खाती हैं।

ब्रह्माण्ड फैल रहा है

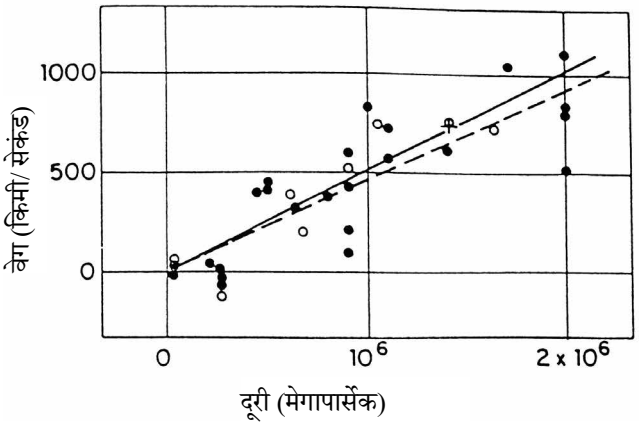
1916-1919 के दौरान पता चला कि एक ओर जहाँ एंड्रोमेडा (देवयानी) जैसे कुछ नेब्यूला अपनी वर्णक्रम रेखाओं में नीला विस्थापन (ब्लू शिफ्ट) दर्शाती हैं, वहीं अधिकांश नेब्यूला की वर्णक्रम रेखाओं में लाल विस्थापन (रेड शिफ्ट) दिखता है। अधिकांश दूरस्थ मन्दाकिनियों के मामले में यह बात ख़ासतौर पर सही पाई गई। डॉपलर प्रभाव (**देखें बॉक्स-1**) के चलते हम इस

चित्र-2 क : एडविन हबल

Credits: Johan Hagemeyer, Wikimedia Commons. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Studio_portrait_photograph_of_Edwin_Powell_Hubble.JPG. License: CC-BY.

चित्र-2 ख : कैलिफोर्निया की लॉस एंजिल्स काउंटी स्थित माउंट विल्सन वेधशाला का 100 इंची हूकर टेलीस्कोप।

Credits: Ken Spencer, Wikimedia Commons. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:100_inch_Hooker_Telescope_900_px.jpg. License: CC-BY-SA.



चित्र-3 : हबल का ग्राफ़
Credits: Edwin Hubble, Proceedings of the National Academy of Sciences, vol. 15 no. 3, pp.168-173. URL: http://www.pnas.org/content/pnas/94/13/6579/F3.large.jpg. License: Copyright PNAS.

वर्णक्रम-विस्थापन का नाता पिण्ड की गतिशीलता से जोड़ पाते हैं और इस निष्कर्ष पर पहुँचते हैं कि अधिकांश मन्दाकिनियाँ हमसे दूर भाग रही हैं।

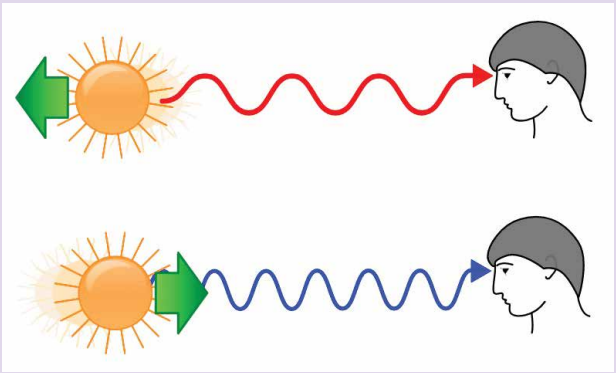
1920 के दशक के उत्तरार्ध में, हबल और उनके सहयोगियों ने उस समय ज्ञात अधिकांश मन्दाकिनियों के लाल विस्थापन की गणना कर ली थी। उनकी खोज थी कि जो मन्दाकिनियाँ हमसे ज़्यादा दूर थीं, उनमें लाल विस्थापन ज़्यादा था यानी वे ज़्यादा तेज़तर गतियों से हमसे दूर जा रही थीं। 1929 में हबल के प्रथम वैज्ञानिक शोधपत्र के मुताबिक़ किसी मन्दाकिनी के इस दूरगमन की गति हमसे उस मन्दाकिनी की दूरी के समानुपाती होती है (**देखें चित्र-3**)। आज इसे 'हबल का नियम' कहते हैं (**देखें बॉक्स-2**)।

और आँकड़े उपलब्ध होने के साथ, 1930 के दशक में हबल के नियम की पुष्टि हो गई। दरअसल आज किसी मन्दाकिनी का लाल विस्थापन उसकी दूरी का एक मापक माना जाता है। लेकिन हबल और उनके सहयोगी इस तथ्य का कोई कारण नहीं समझा सके।

आज हम इस प्राचीन धारणा को नहीं मानते कि हम मनुष्य कोई विशेषाधिकार प्राप्त प्रजाति हैं और ब्रह्माण्ड के केन्द्र में बसे हैं। हम यह मानते हैं कि हमारी आकाशगंगा

बॉक्स-1 : डॉपलर प्रभाव और मन्दाकिनियों के लाल विस्थापन

आपने कभी अपनी तरफ़ आती किसी मोटरसाइकिल की आवाज़ के तारत्व (पिच) में आते उस बदलाव पर कान दिया होगा जो मोटरसाइकिल के आपके पास से गुज़रते वक़्त होता है। तारत्व में यह बदलाव तब होता है जब तरंग (ध्वनि) पैदा करने वाला स्रोत (मोटरसाइकिल) हमारी ओर आता है या हमसे दूर जाता है। यही डॉपलर प्रभाव कहलाता है।



चित्र-4 : डॉपलर प्रभाव के द्वारा प्रकाश का लाल विस्थापन व नीला विस्थापन।
Credits: Aleš Tošovský, Wikimedia Commons. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Redshift_blueshift.svg. License: CC-BY-SA.

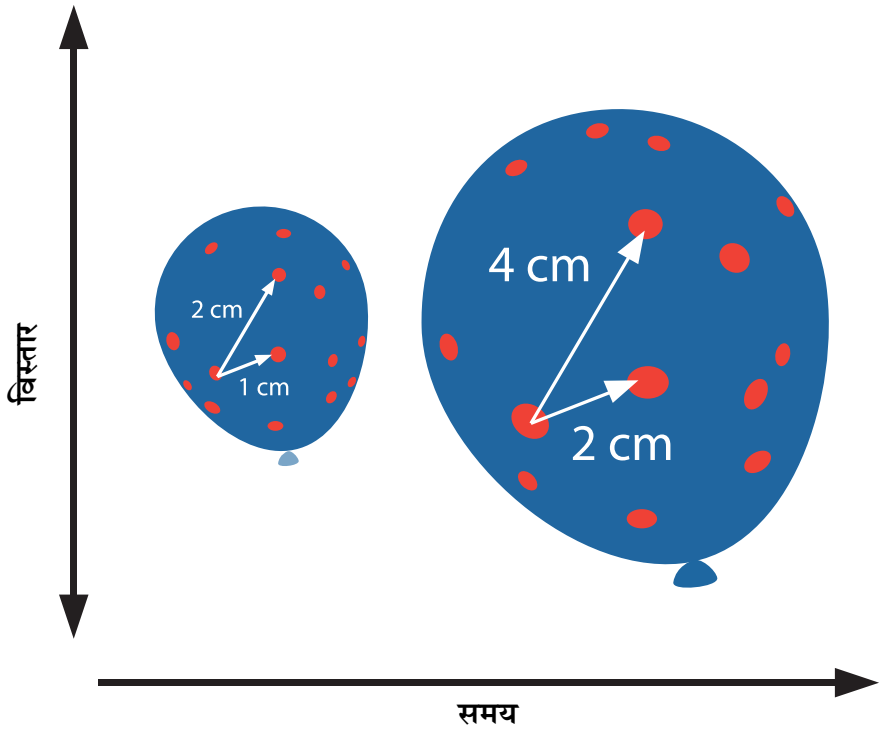
ब्रह्माण्ड में मौजूद अन्य प्रकाशमान पिण्डों की तरह, मन्दाकिनियाँ भी विद्युत-चुम्बकीय (गामा किरणें, एक्स-रे, पराबैंगनी, दृश्यमान प्रकाश, अवरक्त) तरंगें उत्सर्जित करती हैं। इनमें विभिन्न रासायनिक तत्वों के वर्णक्रम की रेखाएँ होती हैं। इसमें से कुछ प्रकाश धरती तक पहुँचता है। मोटरसाइकिल की तरह ही, डॉपलर प्रभाव के चलते हम अपने सापेक्ष मन्दाकिनियों की गति का अध्ययन कर पाते हैं। अगर कोई मन्दाकिनी हमारी तरफ़ आ रही है तो उसकी वर्णक्रम रेखाएँ छोटी तरंग लम्बाइयों (नीले) की ओर खिसकेंगी और जब मन्दाकिनी हमसे दूर जा रही होगी तो उसकी ये रेखाएँ लम्बी तरंग लम्बाइयों (लाल) की ओर सरकेंगी (**देखें चित्र-4**)।

बॉक्स-2 : हबल का नियम

देखा जाए तो आज हम जिसे हबल के नियम के नाम से जानते हैं, शायद उसे लेमैत्रे-हबल नियम कहना ज़्यादा उपयुक्त होता। जॉर्ज लेमैत्रे एक बेल्जियन पादरी और भौतिकशास्त्री थे जिन्होंने यह नियम हबल से दो साल पहले 1927 में ही प्रकाशित कर दिया था (**चित्र-5**)।

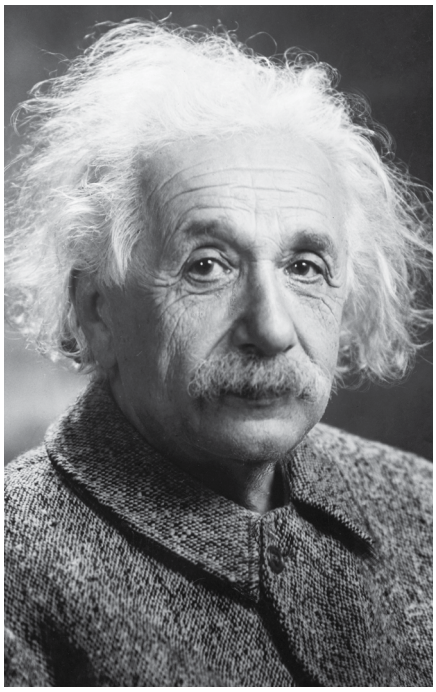
चित्र-5 : जॉर्ज लेमैत्रे
Credits: Adapted from Orion Blog, ESA. URL: http://blogs.esa.int/orion/2014/03/20/over-13-billion-years-after-the-big-bang-georges-lemaitre-heads-to-space/.

देखा जाए तो, लेमैत्रे ने न केवल यह भविष्यवाणी की थी कि ब्रह्माण्ड फैल रहा है बल्कि यह भी सुझाया था कि मन्दाकिनियों के लाल विस्थापनों की मदद से इस विस्तार की दर की गणना भी की जा सकती है। अब चूँकि ये परिणाम एक अल्प ज्ञात बेल्जियन जर्नल में छपे थे सो कुछ सालों बाद ही ये सबकी नज़रों में आ पाए।



चित्र-6 : किसी फूलते गुब्बारे की सतह पर बने चित्र अपने बीच की दूरी की समानुपाती दर से एक-दूसरे से दूर जाते हैं।

Credits: Adapted from an illustration by Yuen Pui-ho (translation by Wong Ka-lei) on Hong-Kong Physics World. URL: http://www.hk-phy.org/articles/univexpand/univexpand_e.html.



चित्र-7 : अल्बर्ट आइंस्टाइन

Credits: Photograph by Orren Jack Turner, Princeton, N.J.; modified with Photoshop by PM_Poon and later by Dantadd; uploaded on Wikimedia Commons. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Albert_Einstein_Head.jpg. License: Public Domain.

समूचे ब्रह्माण्ड की खरबों मन्दाकिनियों में से महज़ एक है। हम यह भी मानते हैं कि समूचा ब्रह्माण्ड सभी प्रेक्षकों को एक-जैसा दिखता है – फिर चाहे वे कहीं भी स्थित हों। यह गूढ़ दार्शनिक कथन 'ब्रह्माण्डीय सिद्धान्त' (कॉस्मॉजिकल प्रिंसिपल) कहलाता है। दूसरे शब्दों में, 'हबल के नियम' के अनुसार किसी अन्य मन्दाकिनी के बुद्धिमान प्राणी भी अन्य मन्दाकिनियों को अपने से दूर जाता हुआ देखेंगे। यानी, ब्रह्माण्ड की तमाम मन्दाकिनियाँ एक-दूसरे से दूर होती जा रही हैं और उनके इस दूर होने की गतियाँ उनकी परस्पर दूरियों के अनुपात में होती हैं। एक उपमा का सहारा लें तो एक ऐसे गुब्बारे की कल्पना करें जिस पर कुछ चित्र बने हों। जैसे ही हम इस गुब्बारे में हवा फूँकते हैं, यह फूलता है और उस पर बना हर चित्र बाक़ी सबसे दूर होता जाता है (**देखें चित्र-6**)। हालाँकि तकनीकी लिहाज़ से यह तुलना पूरी तरह ठीक नहीं है, लेकिन इससे हमें हबल के नियम के भौतिक अर्थ की कल्पना

बॉक्स-3 : सापेक्षता का सामान्य सिद्धान्त

1905 में आइंस्टाइन ने सापेक्षता का (विशेष) सिद्धान्त प्रस्तुत किया था। यह इस सोच पर आधारित था कि भौतिकशास्त्र के नियम सभी निश्चल (ग़ैर-त्वरणशील) प्रेक्षकों के लिए समान हैं और निर्वात में प्रकाश की गति एक-समान होती है; फिर स्रोत या प्रेक्षक की गति चाहे जो हो।

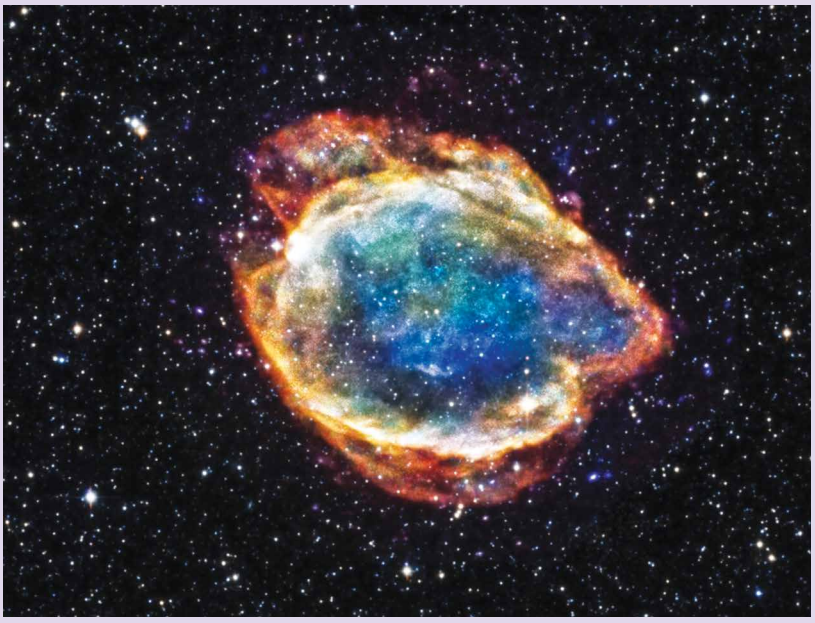
इसके चलते, दिक्-काल (स्पेस-टाइम) की अवधारणा बनी जिसमें दिक् व काल परस्पर जुड़ते थे।

आगे चलकर, त्वरणशील प्रेक्षकों के मद्देनज़र, उन्होंने अपने इस सिद्धान्त का सामान्यीकरण किया। उन्होंने कहा कि गुरुत्वाकर्षण का प्रभाव प्रेक्षक के त्वरण के तुल्य होता है और विशालकाय पिण्ड दिक्-काल को विकृत कर देते हैं। दूसरे शब्दों में, गुरुत्वाकर्षण महज़ विकृत दिक्-काल का एक प्रभाव है। 1915 में, आइंस्टाइन अपने इन विचारों को एक गणितीय रूप दे सके। सामान्य सापेक्षता के समीकरण दिक्-काल की वक्रता का सम्बन्ध उसमें उपस्थित पदार्थ (की मात्रा) से जोड़ते हैं। इसे 'मौजूद तमाम भौतिक सिद्धान्तों में सम्भवतः सबसे ख़ूबसूरत सिद्धान्त' कहा गया है।

सामान्य सापेक्षता का पहला प्रेक्षणी परीक्षण 1919 में हुआ जब एक पूर्ण सूर्यग्रहण के दौरान एक विशालकाय पिण्ड के चलते प्रकाश का मुड़ना देखा गया। तब से, सामान्य सापेक्षता अनेक खगोल-भौतिकीय परिस्थितियों में परखा जा चुका है। सबसे हालिया है, सामान्य सापेक्षता सिद्धान्त के शताब्दी वर्ष, 2015, में गुरुत्व तरंगों की खोज।

बॉक्स-4 : सुपरनोवा

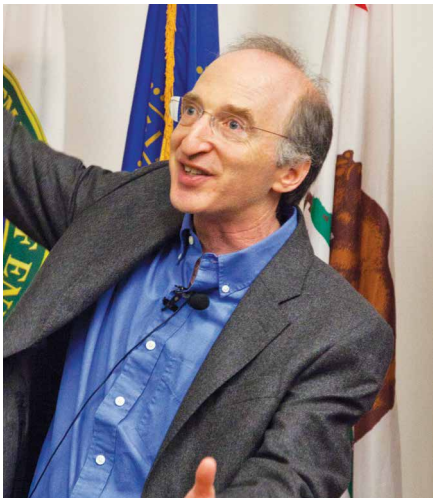
जब-तब हमारी गैलेक्सी का कोई तारा भभक सकता है और भभककर पहले से ज़्यादा चमकदार होकर कई दिनों तक उतना चमकदार बना रह सकता है। इस तरह बना 'नया' तारा नोवा कहलाता है। 1885 में, एंड्रोमेडा मन्दाकिनी में एक नोवा-सरीखी घटना देखी गई थी। एकबारगी जब यह स्पष्ट हो गया कि यह मन्दाकिनी हमसे बहुत दूर है, तब यह समझ में आया कि यह घटना तो एक सामान्य नोवा की तुलना में कहीं बहुत ज़्यादा चमकदार थी। सो, इसका विवरण देने के लिए एक नया शब्द 'सुपरनोवा' गढ़ा गया। यूँ तो सुपरनोवाओं की बहुतेरी क़िस्में हैं, परन्तु एक क़िस्म (टाइप 1ए सुपरनोवा) ब्रह्माण्ड विज्ञान में ख़ास महत्त्व रखती है। यह क़िस्म तभी बनती है जब कोई श्वेत बौना तारा किसी दूसरे तारे में जा मिलता है। इसके नतीजतन, एक बहुत तेज़ प्रतिक्रिया होती है जिसमें वह श्वेत बौना तारा छिन्न-भिन्न हो जाता है (**चित्र-8**)। चूँकि जो अधिकतम चमक ये घटनाएँ अर्जित करती हैं वह उल्लेखनीय रूप से नियत रहती है (सूर्य से कोई 5 अरब गुना चमकदार), उनकी अवलोकित दीप्ति उनकी हमसे दूरी की गणना करने में हमारी मदद करती है।



चित्र-8 : एक टाइप 1ए सुपरनोवा का अवशेष।
Credits: NASA/CXC/U.Texas (https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/g299.jpg), Wikimedia Commons. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:G299-Remnants-SuperNova-Type1a-20150218.jpg. License: CC-BY.

करने में मदद मिलती है – समूचा ब्रह्माण्ड फैल रहा है।

हबल के नियम का सैद्धान्तिक आधार एक जर्मन सैद्धान्तिक भौतिकशास्त्री, अल्बर्ट आइंस्टाइन के काम से मिला (**देखें चित्र-7**)। ब्रह्माण्ड की संरचना (**सन्दर्भ बॉक्स-3**) का गणितीय मॉडल पाने के लिए 1917 में आइंस्टाइन ने सापेक्षता के अपने सामान्य सिद्धान्त के समीकरण हल कर दिए थे। मूल सिद्धान्त के द्वारा ऐसे हल मिले थे जो संकेत देते थे कि ब्रह्माण्ड की हर चीज़ समय के साथ बदली है। इससे आशय यह निकलता था कि ब्रह्माण्ड या तो फैल रहा है या सिकुड़ रहा है, लेकिन उस समय इन दोनों परिघटनाओं का कोई प्रेक्षणीय साक्ष्य नहीं था। नतीजतन, आइंस्टाइन को अपने समीकरणों में एक नया स्थिरांक (ब्रह्माण्डीय स्थिरांक) जोड़ना पड़ा – जिसका प्रभाव यह



चित्र-9 क : सॉल पर्लमटर
Credits: Berkeley Lab. URL: https://www.flickr.com/photos/berkeleylab/6211910121/. License: CC-BY-NC-ND.

चित्र-9 ख : ब्रायन श्मिट
Credits: Markus Pössel (User name: Mapos), Wikimedia Commons. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brian_Schmidt.jpg. License: CC-BY-SA.

चित्र-9 ग : ऍडम रीस
Credits: Adam.riess, Wikimedia Commons. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Agr_cover.png. License: CC-BY-SA.

पड़ा कि ब्रह्माण्ड अचल हो गया। कालान्तर में, यह पर्चा इतना प्रतिष्ठित हो गया कि माना जाता है कि इसके चलते समग्र ब्रह्माण्ड का अध्ययन करने वाले आधुनिक ब्रह्माण्ड विज्ञान की नींव पड़ी। लेकिन सालों बाद जब आइंस्टाइन ने हबल के लाल विस्थापनों के बारे में सुना तो उन्होंने इसे एक फैलते ब्रह्माण्ड के विचार का एक साक्ष्य माना। इसलिए उन्होंने अपने द्वारा प्रस्तावित ब्रह्माण्डीय स्थिरांक को अपने जीवन की 'सबसे बड़ी चूक' बताया था।

फैलाव तेज़ होता जा रहा है

भौतिक हिसाब से, हबल के ग्राफ़ का एक सीधी रेखा होना दर्शाता है कि समय के साथ ब्रह्माण्ड के फैलाव की गति स्थिर रहती है। लेकिन, 1930 के दशक में यह समझ आया कि किसी मन्दाकिनी की दूरी और उसके दूर जाने की गति का परस्पर रिश्ता इससे भी कहीं ज़्यादा जटिल हो सकता है। सो, ग्राफ़ का 'वास्तविक' आकार, ब्रह्माण्ड के गणितीय मॉडल पर निर्भर करेगा।

ब्रह्माण्ड के अधिकांश मॉडलों में फैलने की दर समय के साथ कमतर होती जाती है क्योंकि गुरुत्वाकर्षण बल तमाम पदार्थ को पास-पास लाता है। यहाँ तक कि ब्रह्माण्ड-विज्ञानियों ने गति में इस गिरावट को नापने के हिसाब से एक मन्दन मानक भी परिभाषित कर दिया। लेकिन, अगले कोई पचास सालों तक किए गए अवलोकन इस मन्दन-मानक का मान निर्धारित करने में विफल रहे। क्या यह शून्य था – जिसका मतलब होगा कि हबल ग्राफ़ सटीक सरल रेखा होगी? क्या यह धनात्मक था जैसा कि अधिकांश सैद्धान्तिक तर्कों से लगता है? या फिर, शायद यह एक ऋणात्मक संख्या हो? सालों तक, इस क्षेत्र में आने वाले विद्यार्थियों को कहा जाता रहा कि अवलोकन इन तीनों सम्भावनाओं के अनुकूल हैं।

साल 1998 में एक उल्लेखनीय सफलता मिली। सुपरनोवा **(देखें बॉक्स-4)** कहलाने वाले विस्फोटशील तारों पर स्वतंत्र रूप से काम करने वाले दो समूह एक आश्चर्यजनक निष्कर्ष पर पहुँचे – मन्दन मानक एक ऋणात्मक संख्या लगता है। उनके अवलोकनों में ऊँचे लाल विस्थापन वाले सुपरनोवाओं की दूरियाँ अपेक्षा से 10-15% ज़्यादा थीं। यह सम्भव है यदि आज के मुक़ाबले, अतीत में ब्रह्माण्ड अपेक्षाकृत धीमी गति से फैला हो। ऐसे में चूँकि प्रकाश को हम तक पहुँचने के लिए ज़्यादा लम्बी दूरी तय करना पड़ेगी, सुपरनोवा हमें अपेक्षाकृत धुँधले नज़र आएँगे। दूसरे शब्दों में, अपेक्षा के विपरीत, लगता है कि ब्रह्माण्ड के फैलने की गति बढ़ती जा रही है।

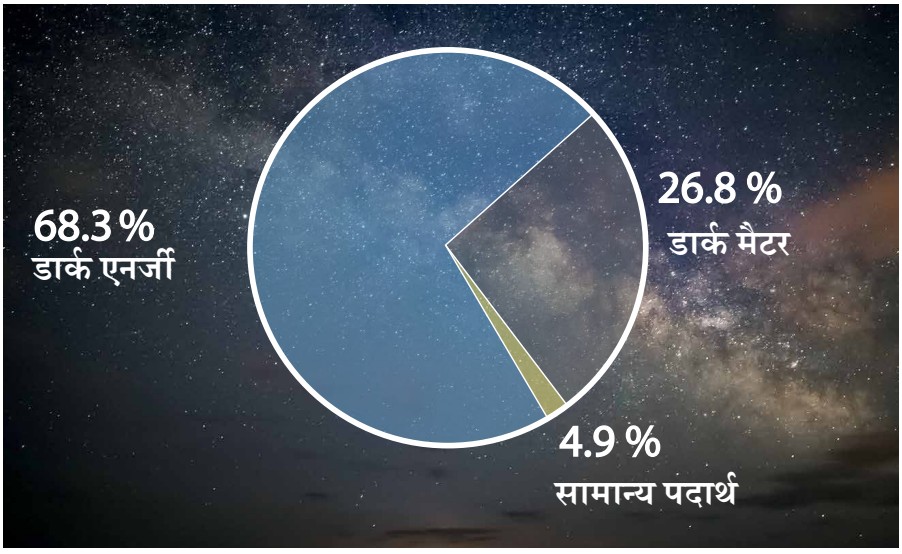
बॉक्स-5 : निर्वात ऊर्जा का ऋणात्मक दबाव

गैस से भरे एक ऐसे सिलेंडर की कल्पना करें जिसमें एक सरकता पिस्टन लगा है। गैस को दबाने लिए हमें पिस्टन को अन्दर को धकेलना होगा। हमारे द्वारा लगाई गई ऊर्जा का परिमाण गैस के दाब p X उसके आयतन में हुए बदलाव के बराबर होगा। अब इसी सिलेंडर की कल्पना करें जिसमें निर्वात है, जिसकी ऊर्जा का स्थिर घनत्व ρ है। जब हम पिस्टन को अन्दर की ओर दबाते हैं तो कुल ऊर्जा के परिमाण में होने वाली कमी आयतन में बदलाव X ρ जितनी होती है। अगर हम निर्वात का दबाव ऋणात्मक यानी $p = -\rho$ मानें तो ये दो समीकरण परस्पर तुल्य हैं।

तीन दशकों में ब्रह्माण्ड विज्ञान के क्षेत्र में यह सबसे बड़ी खोज थी। इस सन्दर्भ में उनके योगदान के लिए अमरीकी खगोल विज्ञानियों सॉल पर्लमटर, ब्रायन श्मिट और ऍडम रीस को संयुक्त रूप से 2011 में भौतिकी का नोबेल पुरस्कार दिया गया (**देखें चित्र-9**)। उस समय तक अनेक अवलोकनों से, जो सुपरनोवाओं से सम्बन्धित नहीं थे, ब्रह्माण्ड के तेज़ होते विस्तार की पुष्टि हो चुकी थी।

त्वरित विस्तार की गुत्थी

जैसा कि ऊपर कहा जा चुका है, किसी भी क़िस्म के पदार्थ द्वारा ब्रह्माण्ड के विस्तार की दर को कमतर करने की अपेक्षा रहती है। सो, विस्तार की गति के त्वरित होने का आभास देने वाले अवलोकन उलझाने वाले हैं – आख़िर सामान्य पदार्थ एवं विकिरण से भरे ब्रह्माण्ड में यह परिघटना कैसे सम्भव है? यहाँ तक कि बड़ी मात्रा में अदृश्य पदार्थ की उपस्थिति (देखें 'डार्क मैटर पर प्रकाश', आई वंडर..., फरवरी 2017 https://anuvadasampada.azimpremjiuniversity.edu.in/3534/) भी इस घटना की व्याख्या में मददगार नहीं होती।



चित्र-10 : प्लैंक प्रोब मापन के अनुसार ब्रह्माण्ड में ऊर्जा का वितरण, मार्च 2013।

Credits: Adapted from an image by Szczureq, Wikimedia Commons. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DMPie_2013.svg. License: CC-BY-SA.

सिद्धान्तकारों ने परिकल्पना विकसित की कि यह तेज़ होता प्रसार, ऊर्जा के किसी तब तक अज्ञात रूप की उस मौजूदगी की वजह से होता है, जो मन्दाकिनियों को दूर धकेलती है। अदृश्य पदार्थ (डार्क मैटर – डीएम) की तरह ऊर्जा के उस 'रहस्यमयी' रूप के लिए 'अदृश्य ऊर्जा' (डार्क एनर्जी – डीई) का शब्द गढ़ा गया। देखा जाए तो यह एक भ्रामक नाम है। डीएम और डीई के बीच बस एक ही चीज़ समान है, वह है कि इन दोनों को ही दूरदर्शी के द्वारा देखा नहीं जा सकता। गुरुत्व बल के प्रभाव में अदृश्य पदार्थ साधारण पदार्थ की तरह ही काम करता है – यह साथ आकर ब्रह्माण्ड के फैलने की गति को धीमा करता है। जबकि इसके उलट, अदृश्य ऊर्जा तो बस उस चीज़ का एक संक्षिप्त नाम है जो 'ब्रह्माण्ड के विस्तार की गति को बढ़ा रही है।' इससे कोई व्याख्या तो नहीं होती।

अदृश्य ऊर्जा की प्रकृति पिछले बीस सालों से अटकलों का विषय रही है। इस 'समस्या' के प्रति एक दृष्टिकोण यह तो मानता है कि आइंस्टाइन का सापेक्षता का सामान्य सिद्धान्त सही है, लेकिन यह भी मानता है कि ब्रह्माण्ड में ऐसी कोई चीज़ व्याप्त है जो पदार्थ की भाँति व्यवहार नहीं करती। इस समूह में फिट बैठने वाले मॉडल्स, जिन्हें सामूहिक रूप से डीई मॉडल्स कहते हैं, में इस समय सबसे प्रचलित मॉडल ब्रह्माण्डीय स्थिरांक सम्बन्धी आइंस्टाइन के सिद्धान्त पर आधारित है। इस मॉडल के मुताबिक़ यह कल्पना की जा सकती है कि पूरे ब्रह्माण्ड के रिक्त स्थान की पूर्ति अदृश्य ऊर्जा के द्वारा होती है। इसलिए इसे निर्वात ऊर्जा कहते हैं जिसका घनत्व, दिक् और काल के हिसाब से बदलता नहीं है। ऊष्मागतिकी के आधार पर यह देखना आसान है कि अगर एक ख़ाली स्थान या निर्वात में ऊर्जा है तो निश्चित ही उस जगह का दबाव ऋणात्मक होगा (**देखें बॉक्स-5**)। सो अगर ब्रह्माण्ड का थोड़ा भी विस्तार हुआ तो ख़ाली स्थान भी फैलेगा। नतीजतन, अदृश्य ऊर्जा की मात्रा बढ़ेगी, जिसके चलते और फैलाव होगा। सुनने में अजीब लगता है लेकिन यह ब्रह्माण्ड के तेज़ होते विस्तार की सरलतम व्याख्या करता है (**देखें चित्र-10**)। अन्य डीई मॉडल्स, जिनमें अदृश्य ऊर्जा का नाम 'क्विंटएसेंस' या 'फैंटम' होता है, की कल्पना निर्वात ऊर्जा के गतिशील मॉडलों के बतौर की जा सकती है। वैसे तो हम यहाँ पर इन मॉडलों के वर्णन में नहीं जाएँगे, लेकिन इन सिद्धान्तविदों के अनुसार अदृश्य ऊर्जा का घनत्व स्थिर नहीं है बल्कि दिक् व काल के हिसाब से बदलता है।

इसका दूसरा दृष्टिकोण इस सम्भावना पर आधारित है कि गुरुत्व का वर्णन करने वाला आइंस्टाइन का सामान्य सापेक्षता सिद्धान्त अधूरा भी हो सकता है। तेज़ होते ब्रह्माण्ड विस्तार का कोई वैकल्पिक विवरण हो सकता है जो अदृश्य ऊर्जा के अस्तित्व को सिरे से ख़ारिज कर दे। और अगर यह सही निकले तो हमें इस महत्त्वपूर्ण सवाल पर विचार करना होगा – क्या ऐसा वैकल्पिक मॉडल अवलोकन सम्बन्धी उन तमाम परीक्षणों पर भी खरा उतरेगा जिन्हें आइंस्टाइन का सिद्धान्त सन्तुष्ट करता है? वैसे तो गुरुत्वाकर्षण को लेकर अनेक वैकल्पिक सिद्धान्त हैं, पर अब तक तो इनमें से एक भी पर्याप्त विश्वसनीय नहीं लगता।

ऐसे में सहज ही यह सवाल उठता है – ब्रह्माण्ड की ख़ाली जगह में ऐसी कितनी ऊर्जा होनी चाहिए कि वह उसके तेज़ होते विस्तार की व्याख्या कर सके? प्लैंक उपग्रह से मिले आँकड़े बताते हैं कि ब्रह्माण्ड की कुल ऊर्जा में 68 प्रतिशत से भी ज़्यादा का योगदान इस अदृश्य ऊर्जा का है। सामान्य पदार्थ – हम ख़ुद, पृथ्वी का अन्य जीवन, पृथ्वी, सौर मण्डल और मन्दाकिनियों के दृश्य हिस्सों में मौजूद सारे तारे – सब मिलकर 5% से भी कम है।

भविष्य में

हालाँकि ब्रह्माण्ड सम्बन्धी सारे अवलोकन ब्रह्माण्डीय स्थिरांक पर आधारित मॉडल की पुष्टि करते हैं, लेकिन पिक्चर अभी बाक़ी है दोस्त! मूलभूत कणों और उनके पारस्परिक बलों से जुड़ी हमारी समझ क्वान्टम फ़ील्ड थ्योरी नामक ढाँचे पर आधारित है। इस ढाँचे का उपयोग करके यह गणना की गई है कि इस ख़ाली जगह में कितनी ऊर्जा होनी चाहिए। इसका अनुमानित मान, त्वरणशील ब्रह्माण्डीय विस्तार सम्बन्धी अवलोकनों से निष्कर्षित ब्रह्माण्डीय स्थिरांक से कई गुना ज़्यादा ($\sim 10^{120}$) है। सो, वर्तमान चुनौती सिर्फ़ निर्वात ऊर्जा के अस्तित्व की व्याख्या ही नहीं बल्कि यह भी है कि इसका प्रेक्षित परिमाण इतना क्यों है। भविष्य के लिए यह एक रोमांचक विषय है जिसमें वर्तमान अवलोकनों को बेहतर बनाने और मौजूदा सिद्धान्तों का परिष्कार करने की असीम सम्भावनाएँ हैं।

Note: Credits for the image used in the background of the article title: Dark Energy Survey – distant galaxies by UCL Mathematical and Physical Sciences, Flickr. URL: https://www.flickr.com/photos/uclmaps/14958324522. License: CC-BY.

अमिताभ मुखर्जी दिल्ली विश्वविद्यालय के भौतिकशास्त्र व खगोल-भौतिकी विभाग से प्रोफ़ेसर के पद से सेवा-निवृत्त हुए। उनसे amimukh@gmail.com पर सम्पर्क किया जा सकता है।

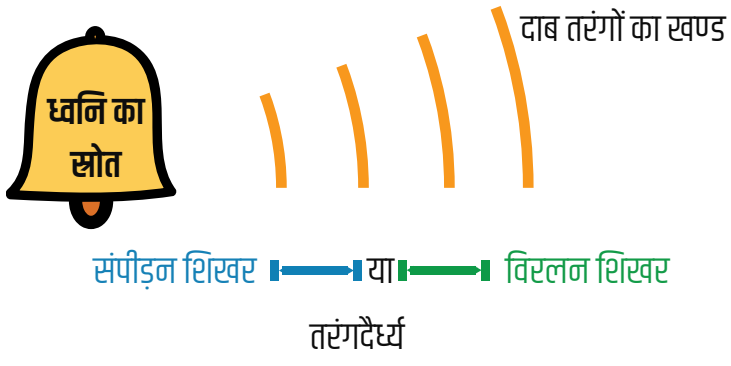
अनुवाद : मनोहर नोतानी **पुनरीक्षण :** सुशील जोशी **कॉपी एडिटर :** अनुज उपाध्याय

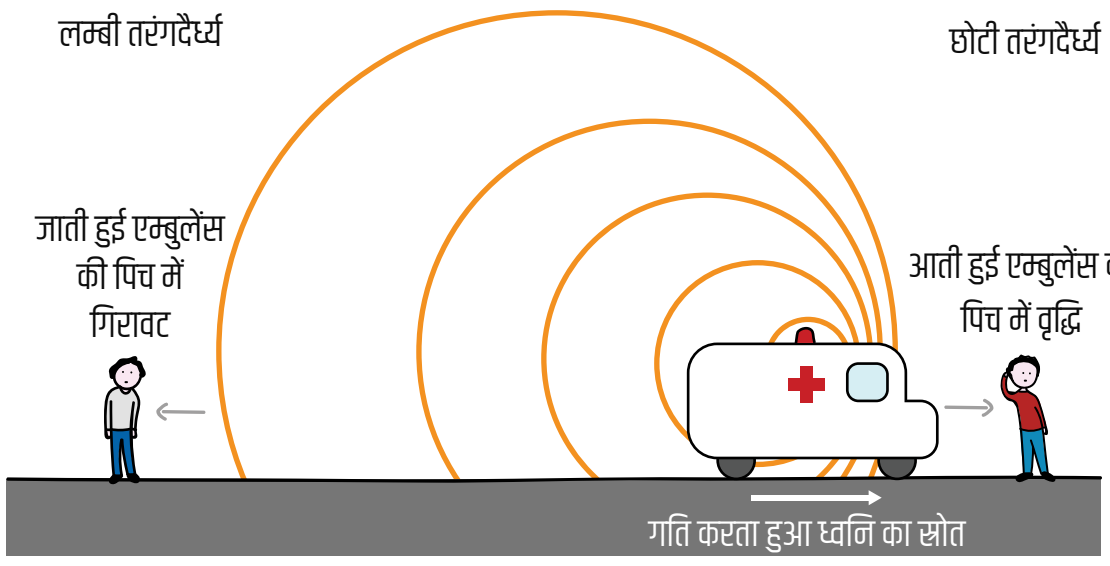
डॉप्लर प्रभाव को खोजना

रामगोपाल (रामजी) वल्लत

क्या हमारे पास से गुज़रती हुई एक मोटरसाइकिल की ध्वनि की पिच में होने वाले बदलाव और हमसे दूर जाते समय दूरस्थ सितारों द्वारा उत्सर्जित प्रकाश के बीच कुछ समानता हो सकती है? हाँ! यह दोनों ही डॉप्लर प्रभाव पर निर्भर होते हैं।

ध्वनि तब संचरण करती है जब उसका स्रोत अपने आस-पास के माध्यम में दाब तरंगें उत्पन्न करता है। यह तरंगें स्रोत से बाहर की ओर उच्च और निम्न दाब के विभिन्न क्षेत्रों– जिन्हें **सम्पीड़न (compression)** और **विरलन (rarefaction)** कहा जाता है –के बारी-बारी से दोहराए जाने वाले पैटर्नों में चलती हैं। दो क्रमागत संपीड़न या विरलन के शिखरों के बीच की दूरी को तरंग की **तरंगदैर्ध्य** कहा जाता है। किसी बिन्दु से एक सेकंड में गुज़रने वाले संपीड़न या विरलन शिखरों की संख्या को उसकी **आवृत्ति** कहा जाता है।





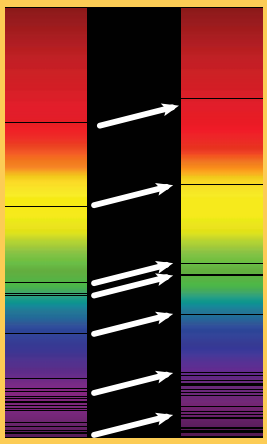
जब ध्वनि का स्रोत (जैसे कि एम्बुलेंस) किसी प्रेक्षक की ओर बढ़ता है, तो प्रत्येक क्रमागत सम्पीड़न या विरलन शिखर प्रेक्षक के और क़रीब होते जाते हैं। फलस्वरूप, तरंग सम्पीड़ित हो जाती है, जिससे इसकी आवृत्ति बढ़ जाती है और तरंगदैर्ध्य घट जाती है। यह प्रभाव तब भी देखा जाता है जब प्रेक्षक स्रोत की ओर बढ़ता है। इस स्थिति में प्रत्येक क्रमागत शिखर उसके कान के पर्दों से जल्दी-जल्दी टकराता है। इससे उलट, जब स्रोत प्रेक्षक से दूर जाता है या प्रेक्षक स्रोत से दूर जाता है, तो तरंग लम्बी हो जाती है और उसकी आवृत्ति घट जाती है।

जब कोई वाहन तेज़ी-से हमारी ओर आता है, हमारे पास से गुज़रता है, और हमसे दूर चला जाता है, तो उस वाहन की ध्वनि की पिच में अचानक से होने वाली गिरावट में इसे देखा जा सकता है। इस परिघटना को डॉप्लर प्रभाव कहा जाता है। इसका नाम भौतिक विज्ञानी क्रिश्चियन डॉप्लर के नाम पर रखा गया है। उन्होंने ही इसे सबसे पहले 1842 में प्रस्तावित किया था।

यदि हमें ध्वनि का वेग (हवा में स्थिर 343 मीटर/सेकंड), वह आवृत्ति जिससे ध्वनि उत्सर्जित हो रही है और प्रेक्षित आवृत्ति पता हो तो हम इस प्रभाव का उपयोग करके यह गणना कर सकते हैं कि स्रोत किस गति से प्रेक्षक की ओर आ रहा है या उससे दूर जा रहा है। वास्तव में, यही वह तरीक़ा है जो पुलिस को स्पीडगन का उपयोग करके यह निर्धारित करने में मदद करता है कि कोई वाहन तयशुदा गति सीमा से तेज़ चल रहा है या नहीं। इसके विपरीत, यदि हमें तरंग का वेग, ध्वनि के स्रोत का वेग और प्रेक्षक का वेग पता हो तो हम ध्वनि की प्रेक्षित आवृत्ति की गणना कर सकते हैं।

यह बात सभी विद्युतचुम्बकीय विकिरणों जैसे दृश्य प्रकाश, एक्स-रे, गामा किरणों, अवरक्त किरणों, पराबैंगनी किरणों और रेडियो तरंगों के लिए भी सही है। हम तारों द्वारा उत्सर्जित विकिरणों की विशिष्ट आवृत्तियों को जानते हैं। हम यह भी जानते हैं कि इनमें से कुछ आवृत्तियाँ तारों की बाहरी परतों में रासायनिक तत्वों द्वारा अवशोषित हो जाती हैं। यह अवशोषित आवृत्तियाँ तारों के विकिरण पैटर्न (जिसे **स्पेक्ट्रम** कहते हैं) में अन्तराल (जिसे **अवशोषित रेखाएँ** कहते हैं) के रूप में दिखाई देती हैं।

यदि हम किसी तारे के स्पेक्ट्रम की अवशोषित रेखाओं में उच्च आवृत्तियों की ओर विस्थापन, जिसे नीला विस्थापन **(blueshift)** कहा जाता है, देखते हैं तो यह संकेत देता है कि तारा हमारी ओर आ रहा है। इससे उलट, निम्न आवृत्तियों की ओर विस्थापन, जिसे **अभिरक्त विस्थापन (redshift)** कहा जाता है, यह इंगित करता है कि तारा हमसे दूर जा रहा है। इस विस्थापन की मात्रा से हमें उस गति की गणना करने में मदद मिलती है जिस गति से यह गतिविधि होती है।



सूर्य के प्रकाशीय स्पेक्ट्रम (बाईं ओर) की तुलना में, दूरस्थ आकाशगंगाओं (BAS11) (दाईं ओर) के एक सुपरक्लस्टर के प्रकाशीय स्पेक्ट्रम में अवशोषित रेखाएँ। तीर अभिरक्त विस्थापन (redshift) को दर्शा रहे हैं।

रामगोपाल (रामजी) वल्लत एक प्रेरक वक्ता हैं। वह बच्चों की विज्ञान कथा की किताब *ऊप्स दि माइटी गर्गल* के बेस्टसेलिंग लेखक भी हैं। वह स्कूलों में प्रेरक बातचीत करते हैं और विज्ञान कार्यशालाएँ भी आयोजित करते हैं। उनसे ramgopal.vallath@gmail.com पर सम्पर्क किया जा सकता है। **अनुवाद :** कविता तिवारी

Azim Premji University
i wonder...
Rediscovering school science