बाह्य अन्तरिक्ष में

ब्रह्माण्ड स्वयं को कैसे प्रगट करता है

आनन्द नारायणन

अन्तरिक्ष की अन्तर्क्रियाएँ, अजनबी संसारों की खोज तथा आकाशगंगाओं के निर्माण और विकास से लेकर ब्रह्माण्ड के स्याह पहलू की हकीकत तक, ब्रह्माण्ड के अनेक रहस्यों को खोलने की स्वर्णिम चाबी जैसी रही हैं। यह लेख अलग-अलग उदाहरणों के माध्यम से इस बात को रेखांकित करता है कि किस तरह बाह्य अन्तरिक्ष के पिण्डों की अन्तर्क्रियाओं ने अपने आसपास की दुनिया को समझने की हमारी प्रबल आकांक्षा को निरन्तर पूरा किया है।

अन्तरिक्ष एक एकाकी जगह है। बहुत हद तक, निपट खालीपन ही तारों को एक-दूसरे से अलग किए हुए है। इस बात को समझने के लिए कि ब्रह्माण्ड में चीजें एक-दूसरे से कितनी दूर हैं, इस उदाहरण पर गौर करें। एक लगातार फैलते हुए गोले के केन्द्र के रूप में सूर्य की कल्पना करें। इस काल्पनिक गोले को 38,000,000,000,000 किलोमीटर की त्रिज्या तक फैलते जाना होगा, तब कहीं जाकर वह अपने सबसे **निकटतम** तारे को छू सकेगा। और यहाँ तक कि अगर इस गोले में प्रकाश की रफ्तार से विस्तार हो तो भी ऐसा होने में कम से कम लगभग 4 साल का समय लगेगा!

तारों के बीच में जो पदार्थ मौजूद है, वह बहुत बिखरा हुआ है। इंटरस्टैलर (तारों के बीच की जगह का) पदार्थ इतना बिखरा हुआ है कि इस पदार्थ में औसतन प्रति घन सेण्टीमीटर बमुश्किल लगभग 1 परमाणु होता है। यह धरती पर प्रयोगशालाओं में निर्मित किए जाने वाले सर्वश्रेष्ठ निर्वात से भी मोटे तौर पर हजार गुना ज्यादा महीन होता है। आश्चर्यचकित कर देने वाली इतनी छोटी संख्याओं के आधार पर यह आसानी से सोचा जा सकता है कि अन्तरिक्ष एक नितान्त शान्त दुनिया है जहाँ सब कुछ एक-दूसरे से पृथक है।

दिलचस्प बात यह है कि ब्रह्माण्ड भले ही कोई बड़ी खलबली की जगह न हो, लेकिन यह निष्क्रिय जगह भी नहीं है। इस उजाड़ लगने वाले अन्तरिक्ष में भी कई अन्तर्क्रियाएँ होती हैं, जो अक्सर बहुत महत्त्वपूर्ण होती हैं।

ये अन्तर्क्रियाएँ, ब्रह्माण्ड के सबसे व्यापक बलों में से एक के परिणामस्वरूप सम्भव होती हैं। यह आकर्षण बल पृथ्वी के साथ-साथ अन्तरिक्ष में भी मौजूद है। यह द्रव्यमान वाले किन्हीं भी दो पिण्डों के बीच काम कर सकता है फिर चाहे वे कण हों, लोग हों या ग्रह। कोई भी दो पिण्ड इस बल को महसूस करें इसके लिए यह जरूरी नहीं कि वे एक-दूसरे के भौतिक सम्पर्क में आएँ। यह बल चीजों के बीच में विराट दूरियाँ होने पर भी काम करता है। अब तक आपने अनुमान लगा लिया होगा कि हम गुरुत्वाकर्षण बल की बात कर रहे हैं, जो ब्रह्माण्ड के चार आधारभूत बलों में से एक है (**बॉक्स 1** देखें)। खगोलीय अन्तर्क्रियाएँ हमारे लिए ज्यादा स्पष्ट नहीं होतीं क्योंकि एक तो, वे अन्तरिक्ष की गहराइयों में, हमारी सामान्य नजर से बहुत दूर घटित होती हैं। दूसरे, समय के जिन पैमानों पर ये क्रियाएँ घटित होती हैं वे सैकण्ड, मिनिट, घण्टों या कुछ दिनों के क्रम वाले नहीं होते, जैसा कि हम बाद में देखेंगे। कुछ अन्तर्क्रियाएँ तो इतनी धीमी होती हैं कि उनका परिणाम जानने के लिए मनुष्यों के कई जीवनकाल लग जाएँगे। फिर भी वैज्ञानिकों ने इन अन्तर्क्रियाओं को समझने के लिए बहुत मशक्कत की है, न सिर्फ इसलिए कि इन्हें जानना बहुत रोचक है, बल्कि इसलिए भी कि इनसे हमें ऐसी बहुत उपयोगी अन्तर्दृष्टियाँ मिलती हैं जो दिखाती हैं कि हमारा ब्रह्माण्ड कैसे काम करता है। यह लेख ऐसी अन्तरिक्षीय अन्तर्क्रियाओं वाले कुछ अलग-अलग परिदृश्यों को उजागर करता है जो विभिन्न भौतिक पैमानों पर घटित होती हैं, खगोलीय रूप से बहुत छोटे से लेकर बहुत बड़े पैमाने पर, और बहुत नजदीक से लेकर बहुत दूर तक।

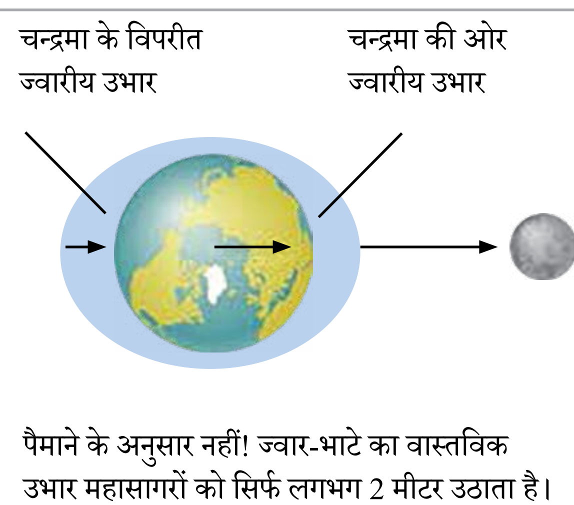
हमारे पड़ोस में ही होने वाली अन्तर्क्रियाएँ

आइए हम एक सरल और परिचित उदाहरण के साथ बात शुरू करें।

400,000 किलोमीटर की दूरी पर स्थित चन्द्रमा एक ऐसी जगह है जो हमसे बहुत दूर नहीं है। जिन खगोलीय पिण्डों से हम परिचित हैं, उनमें (सूर्य के साथ ही) चन्द्रमा का पृथ्वी के जीवन पर सबसे गहरा असर होता है। जो लोग समुद्रों के तटीय इलाकों में रहते हैं, वे इस बात को भलीभाँति जानते हैं कि किस तरह प्रतिदिन दो बार समुद्र में आने वाला ज्वार-भाटा प्रबल होता है और हर महीने अमावस्या के दिन बहुत आक्रामक रूप धारण कर लेता है। रोचक बात यह है कि लहरों के इस उतार-चढ़ाव का महासागर से जुड़ी किसी बात से कोई बहुत लेना-देना नहीं है। ज्वार और भाटे का संयोगवश चन्द्रमा की कुछ खास अवस्थाओं के दौरान होना यह दर्शाता है कि चन्द्रमा की पृथ्वी के साथ होने वाली अन्तर्क्रिया ही ज्वार-भाटों के अस्तित्व का आधार है (**चित्र 1** देखें)। यह अन्तर्क्रिया गुरुत्वाकर्षण बल के माध्यम से ही होती है।

बॉक्स 1: भौतिकशास्त्रियों ने प्रकृति के बलों को चार आधारभूत श्रेणियों में बाँट दिया है। ये हैं कमजोर बल, शक्तिशाली बल, विद्युत चुम्बकीय बल और गुरुत्वाकर्षण बल। इनमें से कमजोर तथा सशक्त बलों का महत्त्व तभी है जब हम परमाणु से भी छोटे आकार के पैमानों वाली अन्तर्क्रियाओं की बात कर रहे हों। दूसरी तरफ, गुरुत्वाकर्षण (और विद्युत चुम्बकीय बल) विराट दूरियों पर भी काम करते हैं - बहुत पास से लेकर बहुत दूर तक, और सभी तरह के पिण्डों के बीच - परमाणविक कणों से लेकर विशाल आकाशगंगाओं तक। गुरुत्वाकर्षण की यह विशेषता उसे हमारे भौतिक ब्रह्माण्ड का स्वरूप तय करने वाला और उसके विकास के क्रम को तय करने वाला प्रमुख बल बनाती है। गुरुत्वाकर्षी अन्तर्क्रिया हमें ब्रह्माण्ड की विशेषताओं का बहुत विस्तार से अध्ययन करने का मौका देती है।

चार आधारभूत बलों के बारे में एक छोटा-सा वर्णन यहाँ देखें: http://www.quirkyscience.com/four-fundamental-forces/ या यहाँ पर http://shasthram.com/youngscientist/fundamental-forces-of-nature



चित्र 1: चन्द्रमा के गुरुत्वाकर्षण के परिणामस्वरूप पृथ्वी पर ज्वार-भाटे की उत्पत्ति। स्रोत: बैनेट एवं अन्य।

पृथ्वी के पास वाले भाग (यानी पृथ्वी का जो भाग अपेक्षाकृत चन्द्रमा के करीब है) पर स्थित महासागर का पानी चन्द्रमा के गुरुत्वाकर्षण के कारण खिंचता है, इसलिए महासागर में पानी का उभार आता है। लेकिन उसी समय इस पानी को पृथ्वी का गुरुत्वाकर्षण वापस अपनी तरफ खींचता है जिसके कारण यह पानी ऊँची-ऊँची लहरों के रूप में समुद्र तट पर प्रहार करता है।

दिलचस्प बात यह है, कि ऐसा ही उभार पृथ्वी के दूसरे भाग में भी पैदा होता है। पास वाले भाग के विपरीत, यह उभार इनर्शिया (जड़ता) के कारण पैदा होता है। ठोस पदार्थों की प्रकृति के विपरीत, पानी की गति मन्द होती है। अगर आप कभी पानी भरे कप के साथ खेले हैं तो आपने यह देखा होगा। जब आप कप को आगे लाते हैं तो उसमें रखा पानी पीछे रुके रहने की चेष्टा करता है। इसी प्रकार, गुरुत्वाकर्षण के कारण पृथ्वी चन्द्रमा की ओर खिंचाव महसूस करती है, पर महासागर का पानी अपने स्थान पर बने रहने की कोशिश करता है। इसके परिणामस्वरूप दूर वाले भाग (पृथ्वी का वह भाग जो चन्द्रमा के सम्मुख नहीं है) में भी ज्वारीय उभार आता है।

पृथ्वी के घूर्णन से यह सुनिश्चित हो जाता है कि सभी भौगोलिक स्थानों पर दिन-रात के चक्र में एक बार ये दो ज्वारीय उभार आते हैं (**चित्र 2** देखें)। इस प्रकार पृथ्वी की हर एक तटरेखा पर 24 घण्टे में दो बार ज्वार आता है। जाहिर है, सभी तटरेखाओं पर ज्वार की तीव्रता एक-सी तो नहीं होती। ज्वार की तीव्रता तटरेखा की आकृति, हवा की तीव्रता, महासागर में जल प्रवाह तथा अन्य स्थानीय कारकों पर निर्भर करती है। हमने ज्वार-भाटों की उत्पत्ति के इन कारकों में से केवल सबसे प्रभावी कारकों को ही समझाने का प्रयास किया है।

पृथ्वी और सूर्य के बीच होने वाली गुरुत्वाकर्षण क्रिया के बारे में क्या कहा जा सकता है? क्या पृथ्वी पर उठने वाले ज्वार-भाटे पर उसका असर नहीं होता? हमें पता चलता है कि ज्वार-भाटे के उतार-चढ़ाव में सूर्य की भूमिका अपेक्षाकृत कम होती है। हालाँकि सूर्य चन्द्रमा से लाख गुना बड़ा है, लेकिन पृथ्वी पर सूर्य का गुरुत्वाकर्षण खिंचाव चन्द्रमा की तुलना में सिर्फ एक तिहाई है जिसका कारण है सूर्य की हमसे अत्यधिक दूरी (**बॉक्स 2** देखें)।

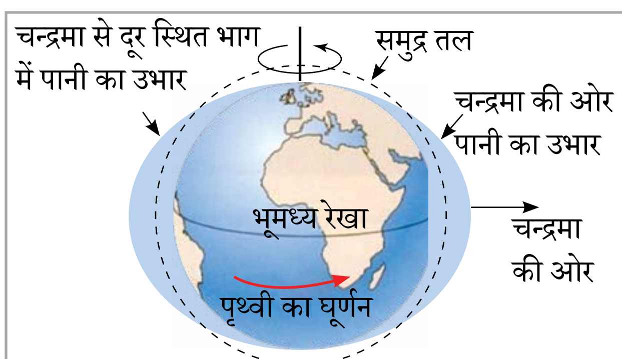
दिलचस्प बात है कि जब सूर्य और चन्द्रमा पृथ्वी के एक ही तरफ एक रेखा में होते हैं (जैसा कि **चित्र 3** में दिखाया गया है) तो ज्वार-भाटे ज्यादा तीव्र हो जाते हैं। ऐसा इसलिए है क्योंकि इस समय पृथ्वी पर एक ही दिशा से चन्द्रमा और सूर्य, दोनों के गुरुत्वाकर्षण बल लगते हैं। ऐसा हर अमावस्या पर होता है, इसलिए वर्ष के इन समयों पर आने वाले ज्वार-भाटे अधिकतम तीव्रता लिए होते हैं।

अनजान दुनियाओं की तलाश में मदद करने वाली अन्तर्क्रियाएँ

अपने सौर मण्डल के नजदीकी पहुँच वाले दायरों से आगे बढ़कर हम एक अलग उदाहरण, एक अलग भौतिक पैमाने की ओर अपना ध्यान करते हैं जहाँ खगोल-भौतिकीय पिण्डों के बीच गुरुत्वाकर्षण की अन्तर्क्रिया को देखने के द्वारा सौर मण्डल से बाहर की दुनियाओं की रोमांचक खोजें हुई हैं, इनमें से कुछ पृथ्वी के जैसी हैं और कुछ बहुत अलग हैं।

मानव जाति की हमेशा से ही जिन बड़े सवालों में रुचि रही है, उनमें सबसे रोचक सवाल यही है कि क्या हम इस ब्रह्माण्ड में अकेले हैं? क्या पृथ्वी की सीमाओं के बाहर भी जीवन की उत्पत्ति और विकास हो सकता है? क्या सौर मण्डल के बाहर जीवन से भरे दूसरे संसार हो सकते हैं? मनुष्यों की पीढ़ियों ने इस तरह के सवालों पर अटकलें लगाई हैं। पर पिछले 20 वर्षों में ही इन सवालों के जवाब देने के वैज्ञानिक प्रयास हुए हैं।

वर्तमान में, हमारे पास पृथ्वी के परे जीवन होने (या न होने) के कोई ठोस प्रमाण नहीं हैं। पर वैज्ञानिकों को इस बात का एहसास है कि जीवन का पहला संकेत पृथ्वी के बाहर ऐसा वातावरण खोज लेने से मिल सकता है जो कि जीवन के लिए उपयुक्त हो। जैसा कि हम जानते हैं जीवन के लिए किसी ग्रह के सुकून भरे परिवेश की जरूरत होती है - एक मोटी परत वाला वायुमण्डल, तरल पानी की उपलब्धता तथा किसी तारे से प्रकाश और ऊष्मा के रूप में ऊर्जा का कोई स्थाई स्रोत। इन आधारों को दिमाग में रखते हुए अन्यत्र स्थान पर जीवन की तलाश वर्तमान में तारों के आसपास स्थित ग्रहों की खोज करने पर केन्द्रित है।



चित्र 2 : पृथ्वी के घूमने से यह सुनिश्चित हो जाता है कि सभी भौगोलिक स्थानों पर ज्वार आता है।

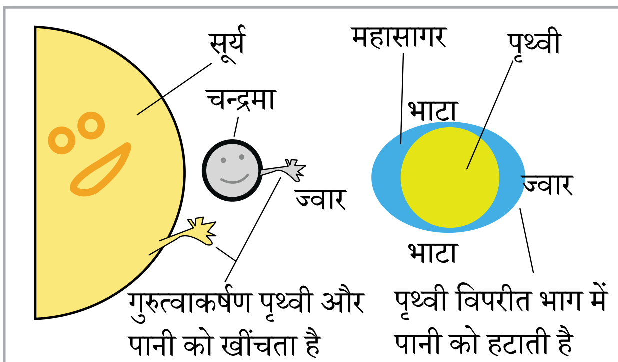
बॉक्स 2: गुरुत्वाकर्षण बल हमेशा ही आकर्षित करते हैं। दो या दो से अधिक वस्तुओं के बीच गुरुत्वाकर्षण का बल उनमें से प्रत्येक वस्तु के द्रव्यमान पर और उनके बीच की दूरी पर निर्भर करता है। इसे गणितीय रूप से इस प्रकार व्यक्त किया जाता है:

$$F = G M m/r^2$$

यहाँ M और m दोनों वस्तुओं के द्रव्यमान हैं और r उनके बीच की दूरी है। G एक नियतांक है जिसे सार्वभौमिक गुरुत्वाकर्षण नियतांक कहते हैं। इस समीकरण से यह स्पष्ट है कि दो वस्तुओं के बीच दूरी बढ़ने से उनके बीच का गुरुत्वाकर्षण बल कमजोर पड़ता है। इसी प्रकार, यदि वस्तुओं का द्रव्यमान कम है (उदाहरण के लिए, परमाणु) तो उनके एक-दूसरे के बहुत पास होने के बावजूद उनके बीच का गुरुत्वाकर्षण बल कमजोर होता है।

विद्यार्थियों के लिए प्रस्तावित कार्य: M और m को स्थायी मूल्यों के रूप में रखते हुए और G = 1 मानते हुए विद्यार्थियों से एक आलेख बनाने को कहें जो यह दर्शाता हो कि दो द्रव्यमानों के बीच दूरी बढ़ने से उनके बीच के गुरुत्वाकर्षण बल में किस प्रकार परिवर्तन होगा। इस कार्य को एक्सेल शीट पर किया जा सकता है।

सौर मण्डल से इतर ग्रहों (सौर मण्डल के बाहर के ग्रह जिन्हें गैर-सौरीय ग्रह भी कहा जाता है) को तलाशना बहुत चुनौतीपूर्ण कार्य है। पहले तो, सबसे नजदीकी तारे भी हमसे कई प्रकाश वर्ष की दूरी पर हैं (प्रकाश वर्ष वह दूरी है जो यात्रा करता हुआ प्रकाश एक वर्ष में पूरी करता है। खाली स्थान में प्रकाश प्रति सैकण्ड 300,000 किलोमीटर की रफ्तार से जाता है। हम आसानी से गणना कर सकते हैं कि एक प्रकाश वर्ष में कितने किलोमीटर होंगे)। इतनी दूरियों पर तारे ही, दूरबीनों से देखने पर भी, बिन्दुओं की तरह ही दिखते हैं, उनके ग्रहों की तो बात ही छोड़ दें, जो सामान्यतः उनसे कुछ सौ गुना से लेकर कुछ हजार गुना तक छोटे होते हैं। दूसरे, एक तारा किसी ग्रह से अरबों गुना ज्यादा चमकदार होता है। इसका अर्थ यह हुआ कि बहुत दूर स्थित किसी तारा-ग्रह मण्डल के किसी एक तारे से हमें मिलने वाले हर एक अरब फोटोनों (प्रकाश कणों) की अपेक्षा उसके किसी ग्रह से एक फोटोन प्राप्त होता है। इसमें आने वाली कठिनाइयों का फर्क वैसा ही है जैसे किसी फ्लड लाइट (तारे) के करीब किसी जुगनू (ग्रह) की तलाश करना।



चित्र 3 : सबसे तीव्र ज्वार अमावस्या के चरण के दौरान बनते हैं जब चन्द्रमा और सूर्य पृथ्वी के एक ही ओर स्थित होते हैं।

इसलिए दूरबीन और कैमरे से किसी गैर-सौरीय ग्रह की तस्वीर खींचना काफी मुश्किल होता है। क्या इसका यह मतलब है कि हम सौर मण्डल के परे कभी अन्य ग्रहों को नहीं खोज पाएँगे? सौभाग्य से ऐसा नहीं है! किसी ग्रह और उसके मेजबान तारे के बीच होने वाली अन्तर्क्रियाएँ हमें उन्हें खोजने के अन्य विकल्प देती हैं।

पृथ्वी के महासागरों पर चन्द्रमा और सूर्य के प्रभाव को समझने के लिए नेब्रास्का विश्वविद्यालय के द्वारा ज्वार-भाटों पर बनाए गए इस इन्टरैक्टिव एनिमेशन को देखें:
http://astro.unl.edu/classaction/animations/lunarcycles/tidesim.html.

हम किसी तारा-ग्रह मण्डल की यह विशेषता मानते हैं कि उसमें ग्रह तारे के चक्कर लगाता है। लेकिन गुरुत्वाकर्षण क्रिया दोनों तरफ होती है। ग्रह भी तारे पर कुछ गुरुत्वाकर्षण बल लगाएगा। यदि ग्रह पर्याप्त बड़ा हो और तारे के नजदीक हो, तो यह बल तारे को अपने स्थान से खिसकाने के लिए पर्याप्त होता है (**बॉक्स 2** देखें)।

यह इस तरह से होता है: किसी भी तारा-ग्रह मण्डल में, तारा और ग्रह एक साझे केन्द्र के इर्दगिर्द चक्कर लगाते हैं। यह साझा केन्द्र वह बिन्दु होता है जहाँ तारे और ग्रह के द्रव्यमान का सन्तुलन समान होगा जैसे कि वे किसी सी-सॉ झूले पर हों। यह

साझा केन्द्र द्रव्यमान का केन्द्र कहलाता है (**बॉक्स 3** देखें)। द्रव्यमान का केन्द्र तारे के केन्द्र से अलग हो सकता है। जैसे ग्रह तारे के चक्कर लगाता है, तारा एक नियत अवधि में द्रव्यमान के केन्द्र का चक्कर लगाता है। जब उसे पृथ्वी पर दूरबीन से देखा जाता है तब यह तारा आगे-पीछे डोलता नजर आता है। तारे के इस डगमगाने का ध्यान से आकलन करने पर खगोल विशेषज्ञ गैर-सौरीय ग्रहों की बुनियादी विशेषताओं, जैसे द्रव्यमान, तारे का पूरा चक्कर लगाने में उसे लगने वाला समय, तारे से उसकी कक्षीय दूरी इत्यादि का अनुमान लगाने में सफल हुए हैं। ध्यान रखने योग्य बात यह है कि हम गैर-सौरीय ग्रह को सीधे नहीं देख रहे हैं, बल्कि हम तारे के साथ उस ग्रह की गुरुत्वाकर्षण क्रिया के प्रभाव का अवलोकन करके उसकी उपस्थिति का अनुमान लगा रहे हैं।

इन तकनीक का इस्तेमाल करते हुए 1995 में खगोल विशेषज्ञों ने सौर मण्डल के बाहर पहला ग्रह खोजा। यह ग्रह 51 पेगासी नामक तारे के पास खोजा गया जो हमसे 50 प्रकाश वर्ष की दूरी पर स्थित है। तब से गैर-सौरीय ग्रहों की खोज में जबरदस्त इजाफा हुआ है। आज हमें सौर मण्डल की सीमाओं के बाहर के 2000 से अधिक ग्रहों के अस्तित्व के बारे में पता है, जो हमारी आकाशगंगा के विभिन्न तारों के चक्कर लगाते रहते हैं। इनमें से अधिकांश खोजें इसलिए हो पाईं क्योंकि हम आसपास के ग्रहों के साथ तारों की गुरुत्वाकर्षण क्रिया के कारण उनमें होने वाली डगमगाहट का अवलोकन कर पाए।

खगोल विशेषज्ञों की अब यह राय है कि हमारे ब्रह्माण्ड में ग्रह व्यापक रूप से फैले हैं। अधिकांश तारे ऐसे हैं जिनके चारों ओर एक या अधिक ग्रह चक्कर लगाते हैं। इन ग्रहों की खोज करना बस ध्यान से किए जाने वाले अवलोकनों पर निर्भर करता है।

गैर-सौरीय ग्रहों की वैज्ञानिक खोजों में हाल के समय में आई तेजी ने ब्रह्माण्ड के किसी अन्य कोने में जीवन को खोजने की सम्भावनाओं की आशाओं और उसके लोकप्रिय प्रचार को फिर से जिन्दा कर दिया है। अगर हमारे ब्रह्माण्ड में ग्रहों का अस्तित्व उतना ही आम है जितना कि तारों का तो क्या ऐसा नहीं हो सकता है कि उनमें से कोई एक ग्रह पृथ्वी जैसा हो जहाँ संरक्षित वायुमण्डल हो, सतह पर तरल पानी हो और जटिल जीवन के लिए जरूरी अन्य परिस्थितियाँ हों? अगर ऐसी मददगार परिस्थितियाँ हों तो क्या उन संसारों में जीवन स्वाभाविक रूप से विकसित हो सकता है? क्या इन अजनबी दुनियाओं में ऐसे संवेदनशील जीव हो सकते हैं जो हमारी तरह ऐसे गहरे प्रश्न पूछ रहे हों? अभी तो हम इस बारे में नहीं जानते लेकिन भला हो गुरुत्वाकर्षण की अन्तर्क्रियाओं का कि हम इतना तो जान गए हैं कि सौर मण्डल के परे भी ऐसे संसार हैं जिनमें जीवन की सम्भावना है। इस तरह हम अपने उत्तर के एक कदम और नजदीक तो पहुँचे हैं।

आकाशगंगाएँ और उनकी उग्र अन्तर्क्रियाएँ

गैर-सौरीय ग्रहों से आगे निकलकर आइए हम आकाशगंगाओं के पैमाने की यात्रा पर चलते हैं और बहुत ज्यादा बड़े पैमाने पर होने वाली और अधिक नाटकीय अन्तर्क्रियाओं को देखते हैं। आकाशगंगाएँ तारों का बहुत बड़ा संग्रह होती हैं। हमारी मिल्की वे आकाशगंगा जैसी आकाशगंगा में सामान्यतः कुछ सौ अरब तारे होते हैं। हमारे ब्रह्माण्ड में ऐसी असंख्य आकाशगंगाएँ हैं जो आकार, आकृति और चमक में एक-दूसरे से बहुत अलग हैं। खगोल विशेषज्ञ इस बात को समझने में बहुत-सा वक्त लगाते हैं कि विभिन्न आकाशगंगाओं ने अपनी आकृतियाँ किस तरह प्राप्त कीं (**बॉक्स 4** देखें)।

अन्तरिक्ष के विराट विस्तार में कुछ आकाशगंगाएँ अलग-थलग हैं जबकि अधिकांश आकाशगंगाएँ समूहों में सिमटी हुई रहती हैं। कुछ करोड़ प्रकाश वर्षों के विस्तार में कई हजार आकाशगंगाओं का एक साथ होना सामान्य बात है (**चित्र 5** देखें)। उनके आपस के गुरुत्वाकर्षण बल की वजह से ये आकाशगंगाएँ इस तरह एक साथ पाई जाती हैं। आकाशगंगाओं के ऐसे संग्रहों को आकाशगंगा क्लस्टर कहते हैं। हमारे ब्रह्माण्ड में ऐसे बहुत से क्लस्टर हैं।

एक क्लस्टर के भीतर मौजूद प्रत्येक आकाशगंगा को क्लस्टर में ही मौजूद दूसरी आकाशगंगाओं के द्वारा खींचा जाता है। इसका मतलब यह हुआ कि ये आकाशगंगाएँ स्थिर नहीं रह सकतीं। वे किसी भी दिशा में घूमती रहती हैं, और उन पर निरन्तर क्लस्टर की दूसरी आकाशगंगाओं का समेकित गुरुत्वाकर्षण बल लगता रहता है।

भीड़भाड़ वाले वातावरण में गति करने के परिणामस्वरूप कई बार अप्रिय परिदृश्य पैदा हो जाते हैं। जैसे दो या उससे अधिक आकाशगंगाएँ एक-दूसरे से टकरा सकती हैं। ऐसी 'मुठभेड़ों' का परिणाम अक्सर शानदार होता है। खगोल विशेषज्ञों को क्लस्टर के भीतर ऐसी अन्तर्क्रियाएँ करने वाली आकाशगंगाओं के कई उदाहरणों का पता चला है (**बॉक्स 5** देखें)। आकाशगंगाओं के बीच होने वाली ऐसी अन्तर्क्रियाओं को कभी-कभी टक्कर भी कह दिया जाता है, हालाँकि इन अन्तर्क्रियाओं को व्यक्त करने के लिए यह बहुत सही शब्द नहीं है। 'टक्कर' से दिमाग में बहुत ही उग्र और जल्दी घटित होने वाली घटना का चित्र उभरता है।

बॉक्स 3: दो पिण्डों के तंत्र में द्रव्यमान का केन्द्र कहाँ स्थित होता है, इसे समझने के लिए नीचे दिए गए उदाहरण पर गौर करें। एक से द्रव्यमान के दो गोले लें। यदि इन गोलों को किसी छड़ के दोनों सिरों पर टाँग दिया जाता तो आप दोनों गोलों के द्रव्यमान को समान रूप से सन्तुलित करने के लिए छड़ को कहाँ सहारा देते? सहज बुद्धि हमें बताती है कि यह सहारा हमें दोनों गोलों के बिलकुल बीच में, यानी कि छड़ के बीच में देना होता।

तब क्या होगा अगर एक गोले का द्रव्यमान दूसरे से 10 गुना अधिक हो? तब सन्तुलन बनाने के लिए आपको छड़ को, ज्यादा द्रव्यमान वाले गोले के 10 गुना ज्यादा करीब सहारा देना होगा। अगर आपने किसी अन्य बिन्दु पर सहारा दिया तो आपकी व्यवस्था स्थिर नहीं रहेगी।

गणितीय रूप से, द्रव्यमान का केन्द्र वह बिन्दु होता है जहाँ:

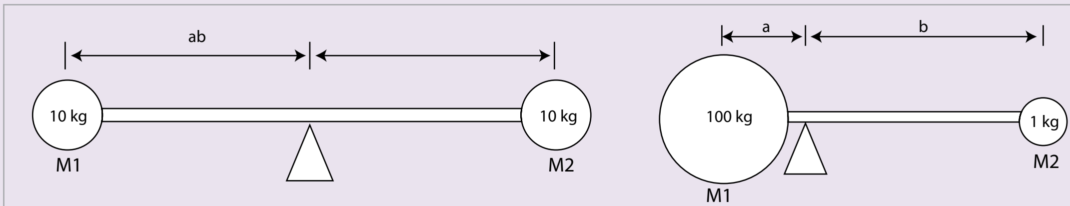
वस्तु 1 का द्रव्यमान × वस्तु 1 से द्रव्यमान के केन्द्र की दूरी = वस्तु 2 का द्रव्यमान × वस्तु 2 से द्रव्यमान के केन्द्र की दूरी

$$m \times a = M \times b$$

आइए अब हम एक तारा-ग्रह मण्डल को समझते हैं। एक सामान्य तारा-ग्रह मण्डल में तारे का द्रव्यमान ग्रहों से कई हजार गुना अधिक होगा। इसलिए द्रव्यमान के केन्द्र को कम द्रव्यमान वाले ग्रह की तुलना में तारे के नजदीक रहना होगा ताकि यह सन्तुलन बना रह सके।

इस समीकरण से हम समझ सकते हैं कि द्रव्यमान के केन्द्र की स्थिति ग्रह के द्रव्यमान के साथ तारे के द्रव्यमान के अनुपात पर निर्भर करेगी। वह यह अनुपात जितना अधिक होगा, द्रव्यमान का केन्द्र तारे के उतना ही नजदीक होगा। कुछ मामलों में, वह यह अनुपात ऐसा होगा कि द्रव्यमान का केन्द्र तारे के भीतर ही होगा।

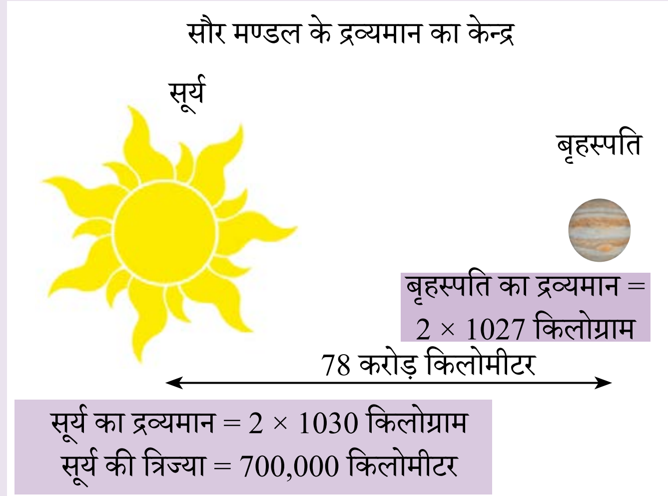
चूँकि तारे और ग्रह द्रव्यमान के केन्द्र के चारों ओर घूमते हैं इसलिए कम द्रव्यमान वाले ग्रह की कक्षा बड़ी होगी और अधिक द्रव्यमान वाले तारे की कक्षा छोटी। यह व्यवस्था गतिशील रहते हुए भी स्थिर रहे, इसके लिए जरूरी है कि तारा और ग्रह हर समय द्रव्यमान के केन्द्र की विपरीत दिशाओं में रहें (**चित्र 4** देखें)। ऐसा होने के लिए, यह जरूरी है कि द्रव्यमान के केन्द्र का एक चक्कर पूरा करने का उनका समय एक-सा हो। दूसरे शब्दों में, ग्रह को तेज गति से चक्कर लगाना होगा और तारे को धीमी गति से।



चित्र 4 : गतिशील स्थिरता के लिए क्या बातें होना चाहिए/नहीं होना चाहिए।

द्रव्यमान के केन्द्र के सिद्धान्त को समझने के लिए इस वेबसाइट पर दिए गए एक इंटरैक्टिव उपकरण की मदद लें : http://astro.unl.edu/naap/esp/centerofmass.html और तारे के डगमगाने को समझने के लिए तथा खगोल विशेषज्ञ किस तरह इसका उपयोग गैर-सौरीय ग्रहों को खोजने के लिए करते हैं, इसे समझने के लिए इस लिंक पर दिया हुआ एक व्याख्यात्मक वीडियो देखें: https://www.youtube.com/watch?v=rN7uuqLKv0I

प्रस्तावित गतिविधि : किसी भी मण्डल के द्रव्यमान के केन्द्र का पता लगाना आसान है। उदाहरण के तौर पर, सौर मण्डल के द्रव्यमान के केन्द्र का पता लगाने की कोशिश करें। इस गणना को सीधा-सरल रखने के लिए केवल सौर मण्डल के दो सबसे ज्यादा द्रव्यमान वाले पिण्डों के बारे में सोचें, अर्थात सूर्य और बृहस्पति (जुपीटर) ग्रह। बृहस्पति, जो पृथ्वी की तुलना में तो एक बहुत बड़ा ग्रह है, लेकिन फिर भी उसका द्रव्यमान सूर्य की तुलना में हजार गुना कम है। इसलिए हम यह अपेक्षा कर सकते हैं कि सौर मण्डल के द्रव्यमान का केन्द्र सूर्य के नजदीक होना चाहिए। ग्राफिक्स में दी गई जानकारी का उपयोग करते हुए पता लगाएँ कि सौर मण्डल के द्रव्यमान का केन्द्र कहाँ होगा।



जबकि वास्तविकता में, आकाशगंगाओं के बीच होने वाली अन्तर्क्रियाएँ धीमी और अधिकांशतः बहुत उग्र नहीं होतीं।

आकाशगंगाएँ एक बहुत बड़ा ढाँचा होती हैं जिसमें तारों के बीच बहुत-सी खाली जगह होती है। जब वे एक-दूसरे से टकराती हैं तो उनके तारों के एक-दूसरे से टकराने की सम्भावना कम ही रहती है। बल्कि पृथ्वी के महासागरों में आने वाले ज्वार-भाटों की तरह, गुरुत्वाकर्षण बल अन्तरतारकीय गैस के बादलों और तारों को उनके स्थान से खींच लेते हैं, जिसके कारण लम्बी पूँछों, धाराओं और कलगियों जैसी आकृतियाँ बन जाती हैं (याद रखें कि गुरुत्वाकर्षण बिना भौतिक सम्पर्क के लम्बी दूरियों तक काम कर सकता है)। यह एक गुरुत्वाकर्षणीय हाथापाई जैसा है, एक तरह से ज्वारीय अन्तर्क्रिया में शामिल किसी भी आकाशगंगा को धीरे-धीरे फाड़ने के जैसा।

इसलिए खगोल विशेषज्ञ इस तरह की अन्तर्क्रियाओं को विलय कहना पसन्द करते हैं। टाइडल टेल्स (जैसा कि **चित्र 6** में देखा जा सकता है) अन्तर्क्रियाशील आकाशगंगाओं की लाक्षणिक (टैल-टेल) विशेषता होते हैं।

ये अन्तर्क्रियाएँ अक्सर आकाशगंगाओं के ढाँचों में बहुत व्यापक विकृतियाँ पैदा कर देती हैं। जब दो सर्पिलाकार आकाशगंगाओं का एक-दूसरे में पूरी तरह विलय हो जाता है, तो उसके परिणामस्वरूप बनने वाली आकाशगंगा ज्यादा बड़ी, और ज्यादा द्रव्यमान वाली होगी जिसका कोई स्पष्ट उप-ढाँचा नहीं होगा (अण्डाकार आकाशगंगा की तरह)। तो क्या हमें ब्रह्माण्ड में जो अण्डाकार आकाशगंगाएँ दिखाई देती हैं वे सर्पिलाकार आकाशगंगाओं के विलय से बनी होंगी? अन्तरिक्ष के अवलोकन से जो साक्ष्य मिलते हैं वे इसी ओर इशारा करते हैं। आकाशगंगाओं की अन्तर्क्रियाओं का अध्ययन करके, खगोल विशेषज्ञ इस बारे में नए तथ्यों को जान रहे हैं कि किस प्रकार आकाशगंगाएँ अपने अनोखे आकार प्राप्त करती हैं, और किस प्रकार ये आकार बहुत लम्बी समयावधियों में विकसित होते हैं।

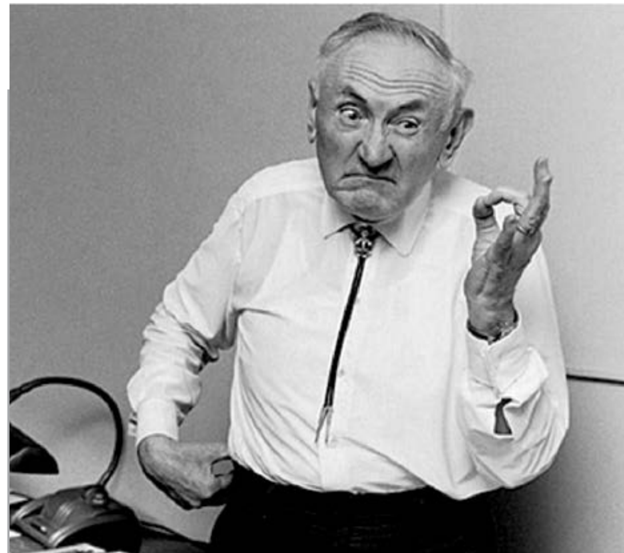
ब्रह्माण्ड का स्याह पहलू

अब हम अन्तरिक्षीय अन्तर्क्रियाओं के आखिरी उदाहरण पर आते हैं। यह खगोल विज्ञान के वर्तमान में चर्चित एक बड़े रहस्य की कहानी भी है। इस बात के प्रमाण बढ़ते जा रहे हैं कि हमारा अधिकांश ब्रह्माण्ड किसी किस्म के ऐसे अनोखे पदार्थ से बना है जो न चमकता है और न ही अपनी कोई छाया बनाता है। वह गुरुत्वाकर्षण के अलावा ब्रह्माण्ड के साथ कोई अन्य अन्तर्क्रिया नहीं करता। किसी को इस बात की ठीक-ठीक जानकारी नहीं है कि यह पदार्थ दरअसल है क्या, लेकिन हमें यह जरूर पता है कि यह पदार्थ हर जगह मौजूद है। खगोल विशेषज्ञों को ब्रह्माण्ड के इस रहस्यमय घटक के बारे में किस तरह पता चला इसे जानने के लिए हमें आकाशगंगाओं के उन समूहों पर वापस जाना पड़ेगा जिनकी चर्चा हमने पिछले उदाहरण में की थी।

20वीं सदी में खगोल विशेषज्ञ फ्रिट्ज ज्विकी (**चित्र 7** देखें) ने, किसी क्लस्टर के भीतर आकाशगंगाएँ किस रफ्तार से गति करती हैं, इसके बारे में बड़ी सावधानी और परिश्रम के साथ

कुछ गणनाएँ कीं। इस अध्ययन के लिए, ज़्विकी ने पास ही के एक आकाशगंगा क्लस्टर, कोमा क्लस्टर (**चित्र 5** देखें), को चुना।

ज़्विकी यह जानते थे कि हर एक आकाशगंगा की गति क्लस्टर के कुल द्रव्यमान के कारण उसे महसूस होने वाले गुरुत्वाकर्षण खिंचाव के कारण होती है। इसलिए, उन्होंने यह निष्कर्ष निकाला कि विभिन्न आकाशगंगाओं की गति को मापकर वे क्लस्टर की सारी आकाशगंगाओं के कुल द्रव्यमान का आकलन कर पाएँगे। ज़्विकी ने बहुत बारीकी से अवलोकन किए। आकाशगंगाओं की बेतरतीब गति से उन्होंने कोमा क्लस्टर के भीतर स्थित कुल द्रव्यमान का आकलन किया (तथाकथित **गतिशील द्रव्यमान - डायनेमिक मास**)। उन्हें तब बड़ा आश्चर्य हुआ जब उनकी गणना से द्रव्यमान की जो संख्या सामने आई वह उस संख्या से बहुत बड़ी थी जो हम क्लस्टर में शामिल सभी आकाशगंगाओं के सभी तारों के अलग-अलग द्रव्यमानों को जोड़कर प्राप्त करते (दूसरे शब्दों में, वह द्रव्यमान जिससे प्रकाश पैदा हो रहा था, या तथाकथित **प्रकाशमान द्रव्यमान - ल्यूमिनस मास**)। इस मामले में, गतिशील द्रव्यमान, प्रकाशमान द्रव्यमान से 200 गुना ज़्यादा था।



चित्र 7 : फ्रिट्ज़ ज़्विकी स्विट्ज़रलैण्ड में पैदा हुए एक प्रसिद्ध अमेरिकी खगोल विशेषज्ञ थे जिन्होंने कई उत्कृष्ट खोजें कीं और अनुमान लगाए जिनमें डार्क मैटर (स्याह पदार्थ) के गुरुत्वाकर्षणीय प्रभाव भी शामिल हैं। अपने कैरियर के अधिकांश समय में उन्होंने कैलिफोर्निया इंस्टीट्यूट ऑफ टेक्नॉलोजी में प्राध्यापक की तरह काम किया। ज़्विकी के संक्षिप्त जीवन विवरण के लिए यह लिंक देखें : http://www.slac.stanford.edu/pubs/beamline/31/1/31-1-maurer.pdf

बॉक्स 4 : आकाशगंगाओं की आकृतियाँ और आकार : किसी आकाशगंगा के भीतर तारों का वितरण किस तरह होता है यही बात उस आकाशगंगा को उसकी खास आकृति देती है। बीते वर्षों में खगोलशास्त्रियों ने आकाशगंगाओं को उनकी देखी गई आकृतियों के आधार पर श्रेणीबद्ध करने के कई प्रयास किए हैं। उनके प्रयासों के आधार पर आकाशगंगाओं की दो प्रमुख श्रेणियाँ ये हैं :

अ. सर्पिल (स्पायरल) आकाशगंगाएँ : वे आकाशगंगाएँ जिनका आकार एक चक्र के समान होता है और चक्र से जुड़ा सर्पिलाकार उप-ढाँचा होता है।

सर्पिलाकार आकाशगंगाओं की सुन्दर तस्वीरें देखने के लिए इस साइट पर जाएँ :

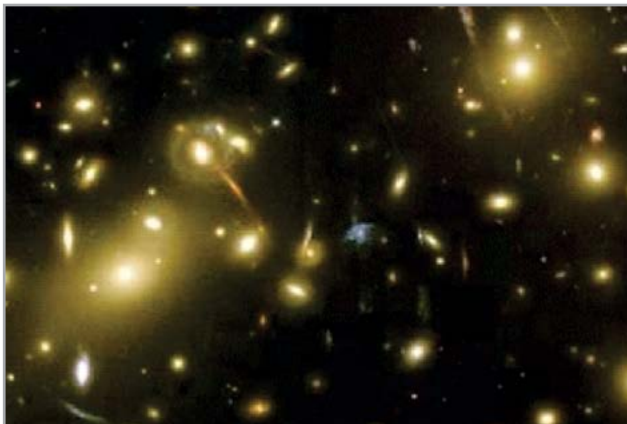
https://www.noao.edu/image_gallery/spiral_galaxies.html

ब. अण्डाकार (इलिप्टिकल) आकाशगंगाएँ : वे आकाशगंगाएँ जिनका आकार अण्डाकार या गोलाकार होता है। सर्पिलाकार आकाशगंगाओं के विपरीत अण्डाकार आकाशगंगाओं को देखने में विशिष्ट बनाने वाली कोई खास विशेषता नहीं होती। वे तारों की गेंद की तरह दिखती हैं।

यहाँ पर अण्डाकार आकाशगंगाओं की बहुत-सी तस्वीरें देखी जा सकती हैं :

https://www.noao.edu/image_gallery/elliptical_galaxies.html

अपने हासिल किए गए आकारों के अलावा, सर्पिलाकार और अण्डाकार आकाशगंगाओं के बीच में अन्य बहुत से अन्तर भी होते हैं। खगोल विशेषज्ञ इन अन्तरों को समझने के लिए अभी भी प्रयासरत हैं। बहुत सारी आकाशगंगाओं और उनके बीच होने वाली गुरुत्वाकर्षण क्रियाओं को देखकर खगोल विशेषज्ञ इस निष्कर्ष पर पहुँचे हैं कि आकाशगंगाओं के बीच घटने वाली अन्तर्क्रियाएँ उनके आकारों को तय करने में महत्त्वपूर्ण भूमिका निभाती हैं।

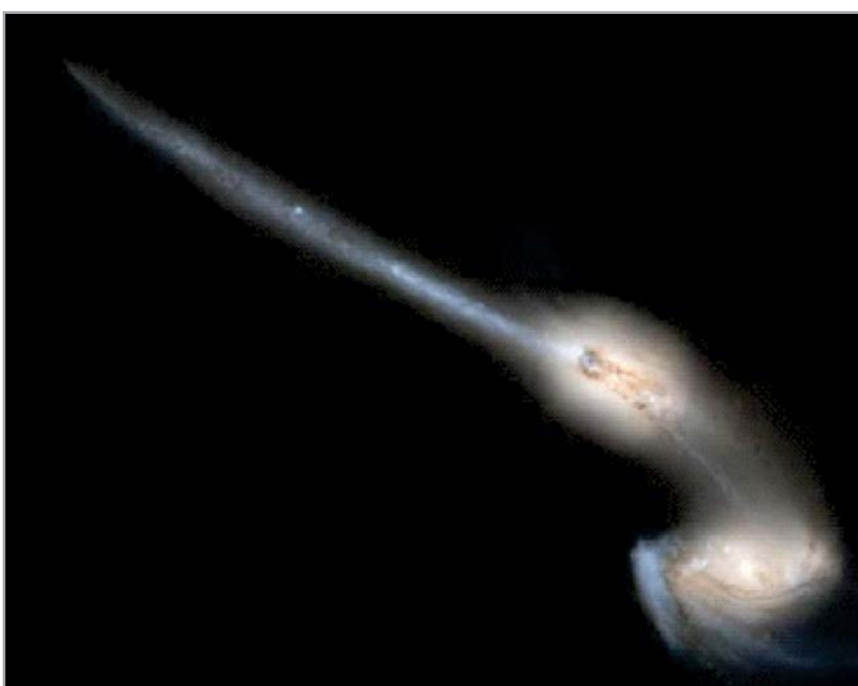


चित्र 5: यह हबल अन्तरिक्ष टेलिस्कोप से लिया गया कोमा क्लस्टर का चित्र है, जो आकाशगंगाओं का ऐसा क्लस्टर है जो हमसे लगभग 32 करोड़ प्रकाश वर्ष की दूरी पर स्थित है। हम इस तस्वीर में प्रकाश के जो भी लम्बे स्रोत देख रहे हैं वे दरअसल आकाशगंगाएँ हैं और एक-एक आकाशगंगा के अन्दर अरबों तारे हैं। इस आकाशगंगा क्लस्टर में जो आकाशगंगाएँ हैं वे अन्तरिक्ष में, अपेक्षाकृत एक-दूसरे के नजदीक हैं (खगोलीय रूप से बात करें तो) और इसलिए वे एक-दूसरे के गुरुत्वाकर्षण बल के प्रभाव में गति करती हैं।

द्रव्यमानों में इस विसंगति ने खगोल विशेषज्ञों को बड़ी उलझन में डाल दिया। इस अन्तर को केवल इसी तरह से समझाया जा सकता था कि क्लस्टर में बहुत-सा ऐसा अतिरिक्त पदार्थ मौजूद था जो क्लस्टर की सभी आकाशगंगाओं के साथ गुरुत्वाकर्षणीय अन्तर्क्रिया कर रहा था। पर निश्चित ही इस अतिरिक्त पदार्थ से प्रकाश नहीं निकल रहा होगा, और दूरबीनों से दिखाई नहीं दे रहा होगा, अन्यथा वह हमें पहले ही मिल जाता। इसी अदृश्य पदार्थ को अब 'डार्क मैटर' (स्याह पदार्थ) कहा जाता है। हम अब यह जानते हैं कि बहुत तेजी से गति करने के बावजूद, किसी क्लस्टर की आकाशगंगाएँ सिर्फ डार्क मैटर की उपस्थिति के कारण ही उस क्लस्टर तक सीमित रहती हैं। डार्क मैटर द्वारा लगने वाला अतिरिक्त गुरुत्वाकर्षण बल ही आकाशगंगाओं को एक-दूसरे से दूर जाने से रोकता है। यह बात सिर्फ कोमा क्लस्टर के लिए ही लागू नहीं होती बल्कि हर उस क्लस्टर के लिए होती है जिसे खगोल विशेषज्ञों ने देखा है।

ज्विकी के पथप्रदर्शक अवलोकनों के बाद से और भी कई ऐसे साक्ष्य सामने आए हैं जो यह बताते हैं कि डार्क मैटर सर्वत्र व्याप्त है। यह डार्क मैटर ही आकाशगंगाओं को चारों ओर से घेरे हुए है और उन्हें बाँधे रखता है। बहुत बारीकी से किए गए आकलन यह भी दिखाते हैं कि ब्रह्माण्ड में दिखने वाले साधारण पदार्थ से इस डार्क मैटर की मात्रा बहुत ज्यादा है। इसलिए, हम जब भी दूरबीन से रात के आसमान को देखें तो हमें खुद को यह याद दिलाना होगा कि आसमान में जितनी भी चमकती चीजें हम देख रहे हैं वे कुल पदार्थ का बहुत छोटा-सा हिस्सा हैं। दरअसल आकाशगंगाएँ तो बड़े-बड़े पेड़ों पर लटकते छोटे-छोटे प्रकाश बल्बों की तरह हैं। अँधेरे में हमें प्रकाश बल्ब तो दिखाई देते हैं पर पेड़ दिखाई नहीं देते।

तो यह डार्क मैटर है क्या? हमें अभी तक इस सवाल का जवाब पता नहीं है। वैज्ञानिक अभी भी इस बात पर अटकलें लगा रहे



चित्र 6 : यह चित्र दो सर्पिलाकार आकाशगंगाओं को दिखाता है जो एक-दूसरे से अन्तर्क्रिया के किसी चरण में हैं। ऐसी अन्तर्क्रिया का परिणाम अक्सर पूँछ जैसे लक्षणों का निर्माण होता है जैसा कि इस चित्र में देखा जा सकता है। ये लक्षण अपने परस्पर गुरुत्वाकर्षण बल के कारण दोनों आकाशगंगाओं से बाहर खींच ली गई तारों की धाराओं और अन्तरतारकीय गैसों से मिलकर बनते हैं। यद्यपि दोनों आकाशगंगाएँ हर सैकण्ड कई हजार किलोमीटर की गति से बढ़ रही होती हैं, पर उनके बहुत बड़े आकारों, और उनके बीच की विशाल दूरियों के कारण यह पूरी अन्तर्क्रिया कई करोड़ वर्षों के सामयिक पैमाने पर होती है। आभार : हबल अन्तरिक्ष टेलिस्कोप।

बॉक्स 5 : यहाँ प्रस्तुत किए गए हर पैनल में अपनी गुरुत्वाकर्षण अन्तर्क्रिया के किसी चरण के दौरान दो सर्पिलाकार आकाशगंगाओं की स्थिति को दिखाया गया है। पैनलों में दिखाई गई तस्वीरें आकाशगंगाओं के एक ही जोड़े की नहीं हैं। इन छह तस्वीरों को एक बड़े चित्र-संग्रह में से लिया गया है और इस क्रम में दिखाया गया है ताकि दो आकाशगंगाओं के एक-दूसरे के निकट आने के समय जो स्थिति बनती है उसका एक दृश्यात्मक अनुभव दिया जा सके। चित्रों में हम देख सकते हैं कि विलय से पहले भी आकाशगंगाओं के आकार बिगड़ना शुरू हो जाते हैं। और ऐसा बहुत लम्बी दूरी से काम कर रहे गुरुत्वाकर्षण बल के कारण होता है (काफी कुछ ज्वार-भाटे के बल की भाँति)। आखिरी पैनल में अन्तर्क्रिया कर रही दोनों आकाशगंगाओं के पदार्थ एक-दूसरे में विलीन होकर एक आकाशगंगा के एक अनिश्चित आकार वाले, या आकार-रहित ढाँचे में विलीन हो जाते हैं। समय बीतने के साथ, यही द्रव्यमान एक बड़ी अण्डाकार आकाशगंगा के रूप में विकसित हो सकता है।

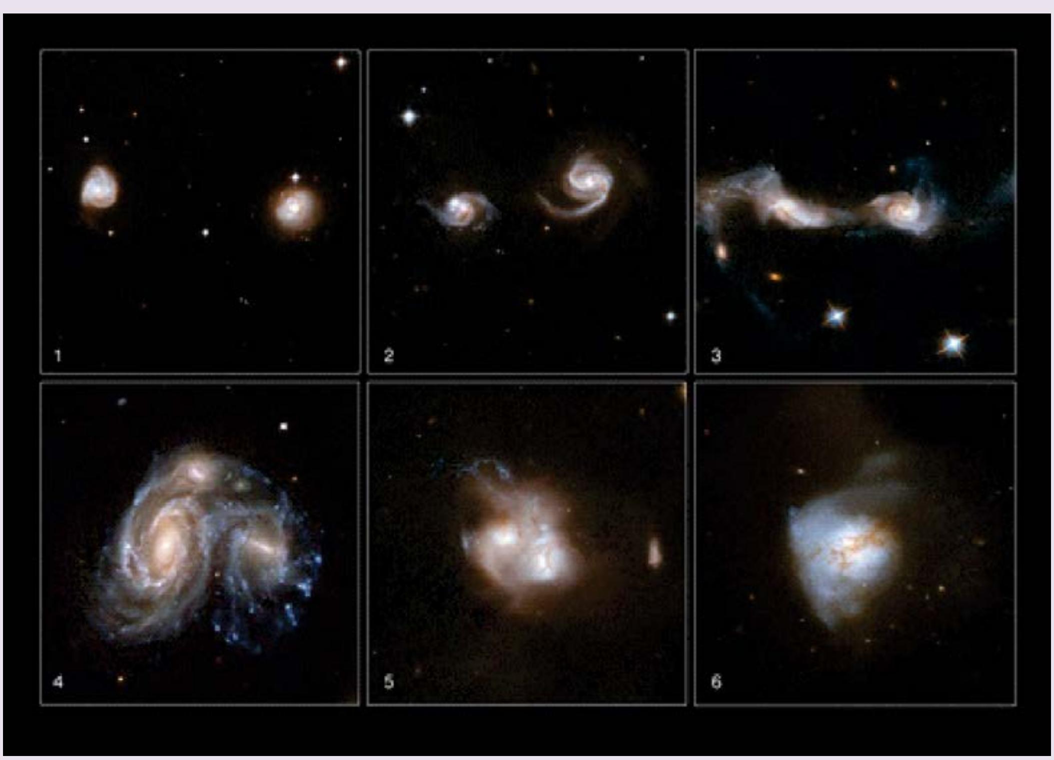
आकाशगंगाओं के बीच की अन्तर्क्रियाएँ, जैसी कि यहाँ दिखाई गई है, बहुत धीमी प्रक्रियाएँ होती हैं जो कई करोड़ सालों में आकार लेती हैं। इस प्रक्रिया को खड़े होकर ताकने का समय किसी को नहीं मिलता! जब हम ब्रह्माण्ड में विभिन्न स्थानों पर आकाशगंगाओं के समूहों का सर्वेक्षण करते हैं तो हम आकाशगंगाओं को उनके विलय के विभिन्न चरणों में देखते हैं। किसी आड़े-तिरछे टुकड़ों वाली पहेली (जिग-सा पजल) की तरह खगोल विशेषज्ञ ब्रह्माण्ड के विभिन्न भागों से जानकारियों के ऐसे टुकड़ों को एकत्रित करके उन्हें एक साथ बैठाते हैं ताकि ब्रह्माण्ड में आकाशगंगाओं की अन्तर्क्रियाएँ किस प्रकार घटित होती हैं इसका एक व्यावहारिक प्रतिरूप बनाया जा सके। खगोल विशेषज्ञ आकाशगंगाओं की अन्तर्क्रियाओं की प्रतिकृति बनाने के लिए सुपरकम्प्यूटरों की क्षमता का इस्तेमाल भी करते हैं। नेट पर आकाशगंगाओं के विलय के कई अद्भुत ऐनिमेशन उपलब्ध हैं। यहाँ ऐसे ही कुछ उदाहरण दिए जा रहे हैं :

http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/2002/11/video/a/

http://www.ifa.hawaii.edu/~barnes/transform.html

https://www.youtube.com/watch?v=HP3x7TgvgR8

यह आखिरी वाला लिंक इस बात के लिए खासतौर से रोचक है कि इसमें हमारी मिल्की वे आकाशगंगा और हमारे सबसे करीब स्थित बड़ी आकाशगंगा, ऐण्ड्रोमीडा का विलय होने पर क्या स्थितियाँ हो सकती हैं इसके बारे में कम्प्यूटर से रोचक दृश्य बनाए गए हैं।



हैं कि यह डार्क मैटर क्या हो सकता है। यह आधुनिक विज्ञान के सबसे बड़े अनसुलझे रहस्यों में से एक है। और यह कोई गड़बड़ बात भी नहीं है क्योंकि विज्ञान का मतलब हमेशा त्वरित उत्तर पाना नहीं होता। विज्ञान का अर्थ नए सवालों की खोज करना भी होता है। डार्क मैटर की खोज ने बहुत से नए सवाल खड़े कर दिए हैं, जिनके जवाब पाना, ऐसा लगता है, आसान नहीं होगा। पर वैज्ञानिक इसे लेकर बहुत उत्साहित हैं क्योंकि इसने भौतिकशास्त्र में शोध के नए मार्ग प्रशस्त कर दिए हैं।

डार्क मैटर के बारे में एक बात निश्चित है कि यह प्रोटॉन, न्यूट्रॉन और इलेक्ट्रॉन जैसे कणों से बना पदार्थ नहीं हो सकता जिनसे आप, मैं, और हमें अपने चारों ओर दिखने वाले पदार्थ बने होते हैं। यह कुछ और ही है, शायद कोई नए तरह का पदार्थ। बस इसके बाद इसके बारे में ज्यादा कुछ नहीं कहा जा सकता है और कम से कम अभी के लिए तो यह एक रहस्यमय पदार्थ ही है। पर साधारण पदार्थ के साथ अपनी गुरुत्वाकर्षण आधारित अन्तर्क्रियाओं के कारण हम कम से कम यह तो जान गए हैं कि जितना हमें अपनी आँखों से दिखाई देता है ब्रह्माण्ड बस उसी तक सीमित नहीं है, उससे कहीं अधिक है।

References and useful links

1. An interactive tool that explains and demonstrates the formation of tides: http://www.pbs.org/wgbh/nova/earth/what-causes-the-tides.html.
2. An online application that simulates the working principle behind the detection of extra-solar planets: http://astro.unl.edu/naap/esp/detection.html.
3. Galaxy Collider is an interactive tool that allows you to run toy models of galaxy merges with different starting conditions: http://viz.adrian.pw/galaxy/. Clicking and dragging on a blank area starts this simulation. Understanding how this tool works may require a bit of exploring.
4. The Cosmic Cocktail – Three Parts Dark Matter, by Katherine Fresse, Princeton University Press, ISBN 978-0691153353, is a recent popular science book that describes the fascinating story behind the discovery of Dark Matter and the our recent search to understand them.
5. The Crowded Universe, by Alan Boss, Basic Books, ISBN 978-0465009367, is a popular science book on extra-solar planets and the possibility of finding other Earths.

आनन्द नारायणन भारतीय अन्तरिक्ष विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी संस्थान में एस्ट्रोफिजिक्स (खगोल भौतिकी) पढ़ाते हैं। उनके शोध का विषय यह समझना है कि बैरिऑनिक मैटर आकाशगंगाओं के बाहर बड़े पैमाने पर किस तरह वितरित होता है। वे खगोलशास्त्र से सम्बन्धित शैक्षणिक और सार्वजनिक पहुँच की गतिविधियों में निरन्तर अपना योगदान देते रहते हैं। समय-समय पर उन्हें घूमना भी अच्छा लगता है। दक्षिण भारत के सांस्कृतिक इतिहास को जानने-समझने में उनकी दिलचस्पी है। **अनुवाद :** भरत त्रिपाठी