रेडियो खगोलशास्त्र और वृहत मीटरवेव रेडियो दूरदर्शक

जयराम एन चेंगालूर

यह ब्रह्माण्ड एक अनोखी और सुन्दर जगह है, अनपेक्षित वस्तुओं से भरी हुई। इसे समझने का एक ही तरीक़ा है, इसे बारीक़ी से देखना - जितने अलग-अलग तरीक़ों से सम्भव हो। इस लेख में, हम भारत के पुणे शहर के नज़दीक स्थित वृहत मीटरवेव रेडियो दूरदर्शक (जीएमआरटी) के माध्यम से खगोलीय वस्तुओं द्वारा प्रसारित किए जाने वाले रेडियो उत्सर्जनों का प्रेक्षण करने पर सामने आए अचम्भों पर एक नज़र डाल रहे हैं।

दो दशकों से भी पहले, कार्ल सैगान के काल्पनिक विज्ञान उपन्यासों में से एक, कॉन्टैक्ट, पर एक बड़ी हॉलीवुड फ़िल्म बनाई गई थी, जिसमें जोडी फॉस्टर ने नायिका डॉक्टर ऐलैनॉर "ऐली" ऐरॉवे का किरदार निभाया था। परग्रही बुद्धिमत्ता की खोज (Search for Extra-terrestrial Intelligence or SETI) या सेटी, जैसा कि इसे लोकप्रिय रूप से जाना जाता है पर आधारित कॉन्टैक्ट कहानी है एक दृढ़निश्चयी खगोलविज्ञानी की, जो बेहद विपरीत परिस्थितियों के बावजूद एक परग्रही सभ्यता के साथ रेडियो सम्पर्क बनाती है। इस फ़िल्म की एक चिरस्थायी छवि है अपने कानों में हैडफोन लगाए, बहुत ध्यान से इस परग्रही संकेत को सुनती जोडी फॉस्टर की, और पृष्ठभूमि में है एंटीना का विशाल समूह। उस पीढ़ी के कई लोगों के लिए, यह रेडियो खगोलशास्त्र के साथ उनका पहला और सम्भवतया अकेला परिचय है। लेकिन कुछ तरीक़ों से ज़्यादा आश्चर्यजनक बात यह है कि आम जन को रेडियो खगोलशास्त्र के बारे में कुछ ज्ञान है, और इसमें किसी बड़ी हॉलीवुड फ़िल्म का योगदान नहीं है।

चित्र-1 : फिल्म कॉन्टैक्ट में डॉक्टर ऐलेनॉर ऐरॉवे का किरदार निभातीं जोडी फॉस्टर। पृष्ठभूमि में दिख रहा रेडियो दूरदर्शक अमरीका में स्थित वैरी लार्ज ऐरे। जैसा कि इस लेख में बहुत विस्तार से वर्णन किया गया है, रेडियो खगोलज्ञ आमतौर पर परग्रही संकेतों को 'सुनते' नहीं हैं, चाहे हैडफोनों से या किसी और तरीक़े से। यह तस्वीर फ़िल्म के एक चित्र पर आधारित है।

रेडियो खगोलज्ञों का समुदाय एक छोटा और गुप्त समुदाय है। अन्तर्राष्ट्रीय खगोलीय संघ के रेडियो खगोलशास्त्र आयोग में सिर्फ़ कुछ सौ सदस्य हैं। भारत में संख्या इससे भी कम है लेकिन भारतीय रेडियो खगोलज्ञों की भूमिका वाली एक कल्पित रचना जरूर है - मनु जोसेफ का पुरस्कृत उपन्यास, *सीरियस मैन*। इतने छोटे-से समुदाय के हिसाब से रेडियो खगोलशास्त्र को निश्चित ही लोकप्रिय संस्कृति में असंगत प्रतिनिधित्व मिला है! और ऐसा, कम-से-कम अंशतः तो अन्तरिक्ष की खोज तथा परग्रही बुद्धिमत्ता की खोज (सेटी) के आकर्षण के

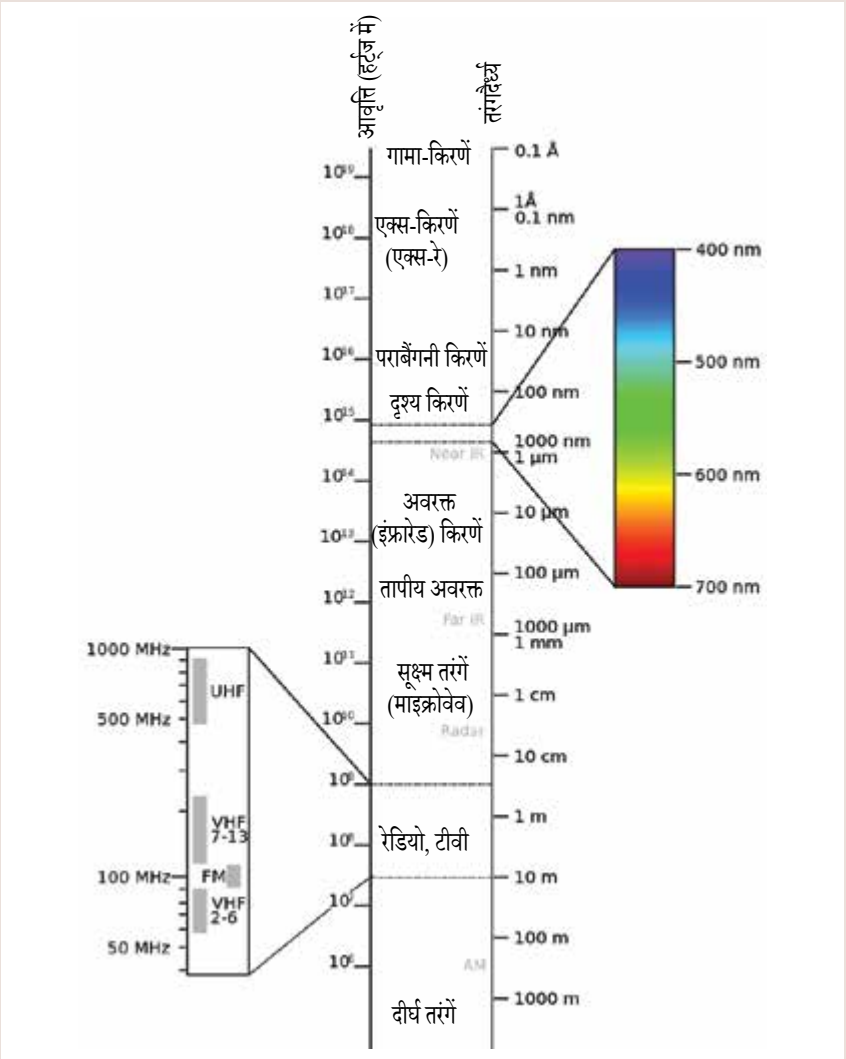
कारण होता है। पर रेडियो खगोलशास्त्र का सेटी से क्या वास्ता है? अगर आप सेटी से जुड़े हुए रेडियो खगोलज्ञों के छोटे-से हिस्से को देखें तो बहुत कुछ वास्ता नहीं लगता। लेकिन रेडियो खगोलशास्त्र को समझने के लिए सेटी के साथ इसके सम्बन्धों की पड़ताल करना शुरुआत करने के लिए सबसे सही जगह होगी।

रेडियो खगोलशास्त्र और परग्रही बुद्धिमत्ता की खोज

मोटेतौर पर बात करें तो रेडियो खगोलशास्त्र में खगोलीय वस्तुओं से आने वाली रेडियो तरंगों का प्रेक्षण किया जाता है। रेडियो तरंगें एक तरह की विद्युत चुम्बकीय तरंगें होती हैं। सबसे अधिक जानी-पहचानी विद्युत चुम्बकीय तरंगें हैं - प्रकाश की तरंगें (**बॉक्स-1** देखें)। हम सभी प्रतिदिन रेडियो तरंगों का इस्तेमाल करते हैं, भले ही इस बारे में सचेत न हों (**बॉक्स-2** देखें)। लेकिन इन तरंगों और खगोलशास्त्र के बीच क्या सम्बन्ध है?

बॉक्स-1 : विद्युत चुम्बकीय तरंगें कई प्रकार की होती हैं

ये कई मीटर लम्बी रेडियो तरंगों से लेकर बहुत छोटी गामा-किरणों तक कई प्रकार की होती हैं। प्रकाश (देखे जा सकने वाला वर्णक्रम), यानी वह विद्युत चुम्बकीय तरंग जिससे हम सबसे अधिक परिचित हैं, पूरे वर्णक्रम का बस एक छोटा-सा हिस्सा है।



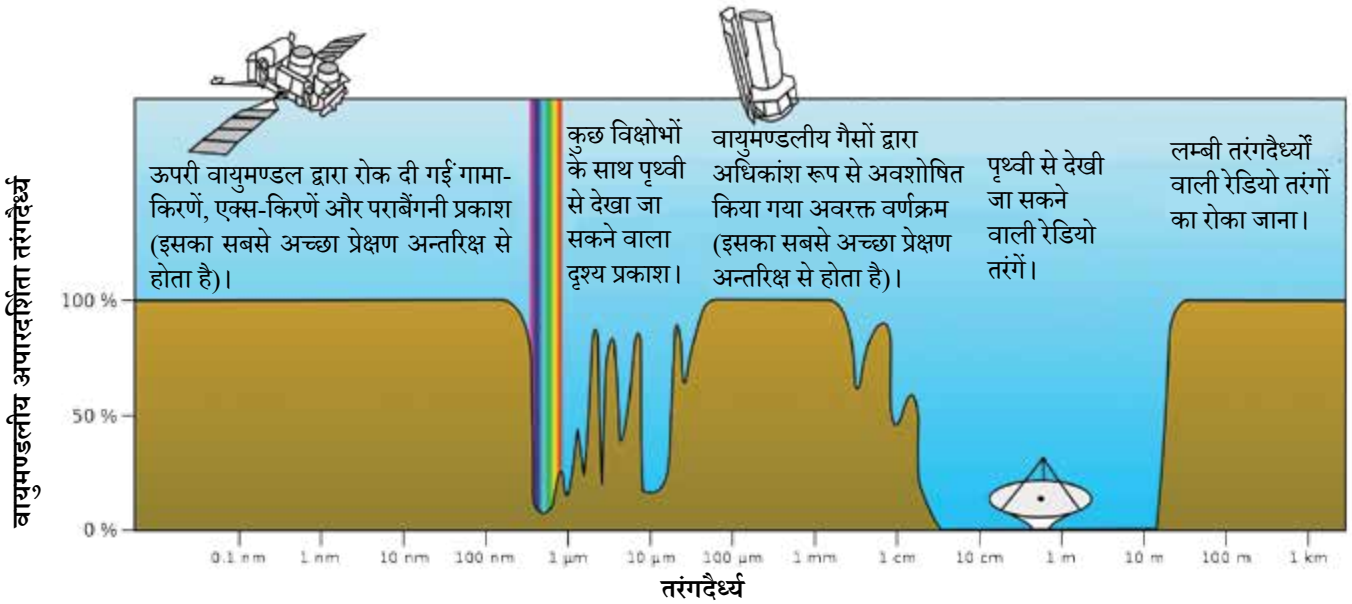
चित्र-2 : विद्युत चुम्बकीय वर्णक्रम। सभी विद्युत चुम्बकीय तरंगें प्रकाश की चाल से सफ़र करती हैं, लेकिन हर प्रकार की तरंग की ऊर्जा उसकी तरंगदैर्ध्य के बिलकुल विपरीत बदलती है। इसलिए, सबसे लम्बी तरंगदैर्ध्य वाली रेडियो तरंगें सबसे कम ऊर्जावान होती हैं, जबकि छोटी तरंगदैर्ध्यों वाली गामा-किरणें सबसे ऊर्जावान होती हैं। अपेक्षाकृत छोटी तरंगदैर्ध्य वाली एक्स-रे भी इतनी ऊर्जावान होती हैं कि वे मनुष्य की त्वचा और मांस को भेदकर निकल जाती हैं, लेकिन हड्डियों को नहीं भेद पातीं। इसीलिए एक्स-रे तस्वीर में हड्डियाँ फोटोग्राफ़िक प्लेट (एक्स-रे की प्लेट) पर अपनी छाया छोड़ती हैं।

Source: Victor Blacus, Wikimedia Commons. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electromagnetic-Spectrum.svg. License: CC-BY-SA.

बॉक्स-2 : हम अपनी रोज़मर्रा की ज़िन्दगी में रेडियो तरंगों का उपयोग करते हैं।

रेडियो तरंगों का उपयोग मुख्य रूप से संचार के लिए किया जाता है - एफएम रेडियो संकेतों (लगभग 3 मीटर की तरंगदैर्ध्य वाली तरंगों का प्रयोग करके) और मोबाइल फ़ोन के संकेतों (लगभग 30 सेंटीमीटर की तरंगदैर्ध्य वाली तरंगें) को ले जाने से लेकर टीवी के संकेतों (ज़मीन-आधारित टीवी स्टेशनों के लिए सामान्यतया लगभग 50 सेंटीमीटर की तरंगदैर्ध्य वाली तरंगों से लेकर सैटेलाइट/उपग्रह टीवी के लिए कुछ सेंटीमीटर की तरंगदैर्ध्य वाली तरंगों तक) को ले जाने तक। माइक्रोवेव ओवन भी खाना गर्म करने के लिए रेडियो तरंगों (कुछ सेंटीमीटर की तरंगदैर्ध्य वाली) का उपयोग करते हैं।

खगोलशास्त्र ने पारम्परिक रूप से दृश्य प्रकाश का उपयोग किया है, क्योंकि यह विद्युत चुम्बकीय तरंग का वह अकेला प्रकार है जिसके प्रति मनुष्य की आँख संवेदनशील होती है। लेकिन, तारे तथा अन्य प्रकार के खगोलीय पिण्ड गामा-किरणों से लेकर रेडियो तरंगों तक तमाम प्रकार के विद्युत चुम्बकीय विकिरण उत्सर्जित करते हैं। सिद्धान्त रूप में, पर्याप्त रूप से संवेदनशील उपकरणों की सहायता से हम इन सभी तरंगदैर्ध्यों पर आकाश का अध्ययन कर सकते हैं। लेकिन फिर वही सवाल उठता है



चित्र-3 : वायुमण्डलीय अपारदर्शिता तरंगदैर्ध्य का एक कार्य है। वायुमण्डल (और आयनमण्डल) विद्युत चुम्बकीय वर्णक्रम के अधिकांश हिस्सों में लगभग पूरी तरह से अपारदर्शी है। केवल प्रकाशीय (देखे जा सकने वाला सामान्य प्रकाश जिसके प्रति मनुष्य की आँखें संवेदनशील होती हैं) और रेडियो (जिस पर तरंगदैर्ध्य वाले रेडियो दूरदर्शक काम करते हैं) खिड़कियाँ ही ऐसी होती हैं जहाँ वायुमण्डल पारदर्शी होता है। चूँकि सुदूर स्थित खगोलीय स्रोतों से होने वाला विकिरण अन्य तरंगदैर्ध्यों पर पृथ्वी की सतह तक नहीं पहुँचता, उनका प्रेक्षण सिर्फ़ अन्तरिक्ष में प्रक्षेपित उपग्रहों द्वारा किया जा सकता है। यह, सामान्यतया, पृथ्वी पर दूरदर्शक तैयार करने से कहीं ज़्यादा ख़र्चीला होता है।
Source: Mysid, Wikimedia Commons. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Optical_window#/media/File:Atmospheric_electromagnetic_opacity.svg.
License: Public Domain.

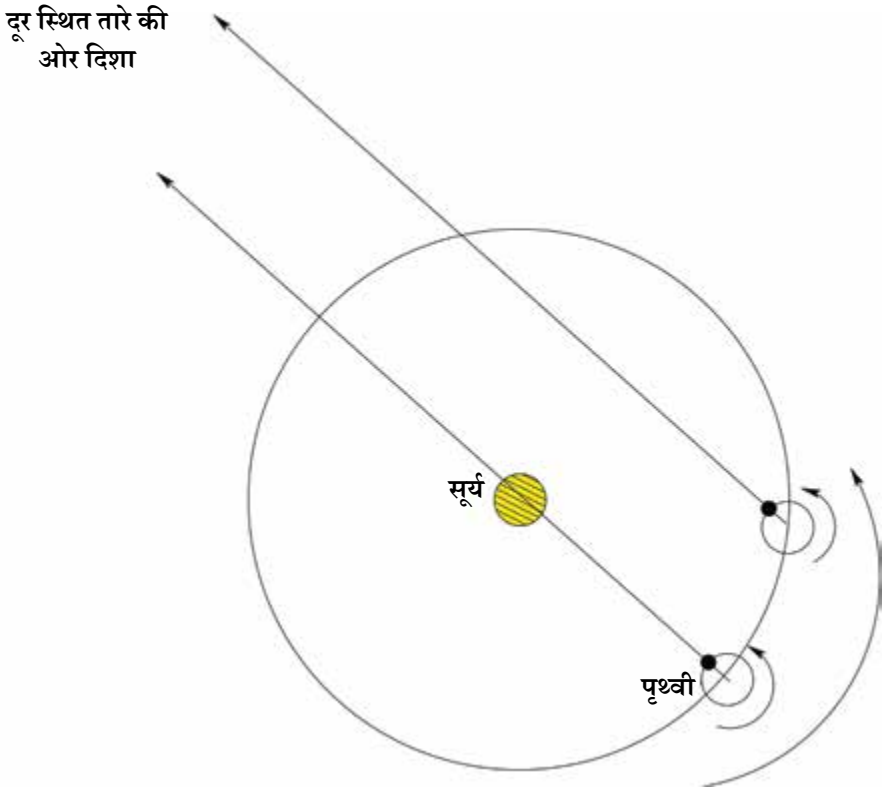
– आख़िर क्यों कोई (धरती पर) ऐसा करना चाहेगा? फिर हमें पता चलता है (जैसा कि हम आगे देखेंगे) कि सिर्फ़ प्रकाश तरंगों में ब्रह्माण्ड का अध्ययन करने से, ब्रह्माण्ड में जितनी तरह की वस्तुएँ और जानकारियाँ छिपी हैं, उनकी बहुत सीमित समझ हमें मिल पाती है। काफ़ी कुछ नेत्रहीन लोगों और हाथी की कहानी की तरह, इस तरह ब्रह्माण्ड का अध्ययन करने से हम ब्रह्माण्ड की बिलकुल ग़लत तस्वीर बना सकते हैं। ब्रह्माण्ड को उसकी पूरी समृद्धि और विविधता में समझने के लिए हमें उसे तमाम सम्भव तरीक़ों से समझना होगा। और इससे हमारे सामने अगला सवाल खड़ा हो जाता है - अगर सभी सम्भव तरंगदैर्ध्यों पर ब्रह्माण्ड का प्रेक्षण करना ज़रूरी है तो रेडियो खगोलशास्त्र के बारे में ख़ास बात क्या है?

आकाश का प्रेक्षण करने के लिए रेडियो तरंगों का इस्तेमाल करने का एक बड़ा लाभ इस तथ्य से निकलता है कि पृथ्वी का वायुमण्डल इन तरंगों के लिए सुभेद्य होता है। इसका मतलब है कि परग्रही वस्तुओं से आने वाले रेडियो उत्सर्जन पृथ्वी की सतह पर बने दूरदर्शकों तक पहुँच सकते हैं। इसके विपरीत, एक्स-रे जैसी अन्य विद्युत चुम्बकीय तरंगें पृथ्वी की सतह पर पहुँचने के पहले ही अवशोषित कर ली जाती हैं (**चित्र-3** देखें)। यह हमारे लिए एक अच्छी बात है क्योंकि इनमें से कई किरणें जीवन के लिए हानिकारक होती हैं। दूसरी तरफ़, खगोलविज्ञानियों के लिए, यह एक मिश्रित वरदान है - पृथ्वी इन खगोलविज्ञानियों की मेज़बानी कर सकती है क्योंकि ऊर्जावान किरणें पृथ्वी की सतह तक नहीं पहुँच पातीं। लेकिन इन खगोलविज्ञानियों को अच्छे-ख़ासे महँगे उपग्रहों की आवश्यकता होती है और फिर उन्हें एहसास होता है कि वे कितने भाग्यशाली हैं कि उनके पास वायुमण्डल और आयनमण्डल का संरक्षण है!

फिर हमें पता लगता है कि सिर्फ़ पृथ्वी का वायुमण्डल ही ऐसा नहीं है जो रेडियो तरंगों के लिए सुभेद्य है। हमारी आकाशगंगा का अधिकांश हिस्सा भी रेडियो तरंगों के लिए सुभेद्य है। पर प्रकाश की तरंगों

बॉक्स-3 : पृथ्वी एक घूर्णन पूरा करने में एक दिन से थोड़ा कम समय लेती है।

हम दिन को 24 घण्टों का मानने के आदी हैं, और इस समय को हम पृथ्वी द्वारा अपना एक घूर्णन पूरा करने के लिए लगने वाला समय भी मानते हैं। पर अपनी धुरी के चारों ओर घूर्णन करने के अलावा, पृथ्वी सूर्य के चारों ओर भी चक्कर लगा रही है। इसलिए, वास्तव में तो एक दिन (या एक सौर दिन कहना ज़्यादा सही होगा) को, एक मध्याह्न (यानी वह समय जब सूर्य क्षितिज से अपनी सर्वाधिक ऊँचाई पर होता है) से अगले मध्याह्न तक की अवधि के रूप में परिभाषित किया जाता है। इसमें एक घूर्णन के लिए लगने वाले समय (**चित्र-4** देखें) से थोड़ा-सा अधिक समय (लगभग 4 मिनट) लगता है। इसलिए, 23 घण्टे और 56 मिनटों की आवधिकता (जिसे नक्षत्र दिवस कहा जाता है) तारों और अन्य खगोलीय वस्तुओं की विशेषता होती है।



चित्र-4 : पृथ्वी अपनी धुरी पर घूर्णन करने के साथ ही सूर्य के चारों ओर भी चक्कर लगा रही है।

हम देख सकते हैं कि दिखाए गए समय के दोनों क्षणों पर पृथ्वी ने अपना एक घूर्णन पूरा कर लिया है (चूँकि, चिह्नित किया गया स्थान पुनः मूल दिशा की ओर इशारा कर रहा है)। जहाँ पहले समय के क्षण की दिशा सूर्य की ओर है, दूसरे समय के क्षण में ऐसा नहीं है। यह अन्तर इसलिए है क्योंकि दूसरे समय वाले क्षण तक पृथ्वी सूर्य के चारों ओर चक्कर लगाती हुई अपनी कक्षा में आगे बढ़ चुकी है और सूर्य एकदम सिर के ऊपर हो, ऐसी स्थिति में आने के लिए उसे थोड़ा और घूमना पड़ेगा। इसलिए, एक सौर दिन, पृथ्वी के घूर्णन के समय से थोड़ा लम्बा होता है। यह तथ्य हमें सुदूर स्थित वस्तुओं (जिनकी आवधिकता पृथ्वी के घूर्णन के समय यानी, 23 घण्टे और 56 मिनट के बराबर होगी) से आने वाले उत्सर्जनों और पास की वस्तुओं से आने वाले उत्सर्जनों के बीच अन्तर करने का मौक़ा देता है।

Credits: Jayaram N Chengalur.
License: CC-BY-NC.

के लिए ऐसा नहीं कहा जा सकता। तारों के बीच की जगह में धूल के बारीक़ कण होते हैं, जो प्रकाश को बिखेर देते हैं और उसे अवशोषित कर लेते हैं, पर ये कण रेडियो तरंगों पर कोई असर नहीं डालते। इसका अर्थ हुआ कि रेडियो तरंगें हमें गहरे अन्तरिक्ष के उन क्षेत्रों में झाँकने का मौक़ा देती हैं जो तारे के प्रकाश के लिए पूरी तरह से अपारदर्शी होते हैं। यह एक बड़ा कारण है कि सेटी द्वारा रेडियो तरंगों का इस्तेमाल किया जाता है। ये हमें आकाश के उन क्षेत्रों में प्रौद्योगिकी का इस्तेमाल करने वाली किसी सभ्यता के संकेतों को तलाशने का मौक़ा दे सकती हैं जहाँ पड़ताल करने का मौक़ा अन्वेषण के किसी अन्य तरीक़े से नहीं मिल सकता। उदाहरण के लिए, अगर हमें किसी अन्य सभ्यता के आन्तरिक संवाद को छिपकर सुनना हो, तो ऐसा कुछ भी 'सुनने' का हमारा सबसे अच्छा मौक़ा रेडियो तरंगदैर्ध्यों पर ही होगा। विद्युत चुम्बकीय तरंगों में सबसे कम ऊर्जावान होने के कारण रेडियो तरंगें संचार संकेतों का सबसे सस्ता स्वरूप होती हैं। यह एक और कारण है कि सेटी रेडियो तरंगों पर अपना ध्यान केन्द्रित करता है। पृथ्वी पर लम्बी दूरी के संचार ने, सिर्फ़ रेडियो तरंगों की खोज के बाद ही वाकई में ज़ोर पकड़ा। इसलिए यह बहुत आश्चर्यजनक नहीं है कि रेडियो खगोलशास्त्र को स्थापित करने में संचार इंजीनियरिंग की केन्द्रीय भूमिका रही है।

रेडियो संचार और रेडियो खगोलशास्त्र का जन्म

1930 के दशक के दौरान, रेडियो तरंगों से होने वाला ट्रांसअटलांटिक (अटलांटिक के आर-पार होने वाला) संचार अपने शैशवकाल में था। ट्रांसअटलांटिक संचार से जुड़ी कम्पनियाँ रेडियो तरंगों द्वारा पकड़े गए 'शोर' (स्टैटिक) के विभिन्न स्रोतों की पहचान करने, और सम्भव हो तो उन्हें हटाने के तरीक़ों की तलाश कर रही थीं। इस क्षेत्र में अगुआ, बॅल टैलीफ़ोन कम्पनी ने रेडियो संचार में शोर के लक्षण बताने का काम अपने एक इंजीनियर कार्ल जैंस्की को सौंपा। जैंस्की ने इसका अत्यन्त व्यवस्थित ढंग से प्रेक्षण किया और बहुत ही संभलकर, और मेहनत से किए गए प्रयास से उन्होंने उन्हें प्राप्त हो रहे शोर को तीन अलग-अलग श्रेणियों में बाँटा। **(अ)** आस-पास होने वाले आँधी-तूफ़ान से पैदा होने वाला शोर

बॉक्स-4: तारों से होने वाले रेडियो उत्सर्जन सूर्य से होने वाले उत्सर्जनों की तुलना में बहुत कमज़ोर होते हैं।

यह अन्तर, सूर्य से हमारी दूरी बनाम अन्य तारों से हमारी दूरी से सम्बन्धित है। सबसे क़रीबी तारे की हमसे दूरी, सूर्य की हम से दूरी से भी लगभग 300,000 गुना है, जिसका मतलब यह हुआ कि यदि वह रेडियो तरंगों में आन्तरिक रूप से सूर्य के जितना ही प्रकाशमान हो, तो वह लगभग 9000 करोड़ गुना कम प्रकाशमान दिखाई देगा। यह उत्सर्जन इतना हल्का था कि प्रारम्भिक रेडियो दूरदर्शक इसे पकड़ नहीं पाते थे।

(ब) दूर-दराज़ के आँधी-तूफ़ान से पैदा होने वाला शोर, और **(स)** अज्ञात उत्पत्ति वाला शोर। इसके बाद ध्यान से आगे की पड़ताल करने पर उन्होंने पाया कि शोर की तीसरी श्रेणी की आवधिकता 23 घण्टे और 56 मिनट की है, यानी पृथ्वी को एक घूर्णन पूरा करने में लगने वाला समय। इससे समझ में आया कि इस तीसरी श्रेणी का स्रोत कहीं दूर है, सौर मण्डल से भी बहुत दूर (**बॉक्स-3** देखें)। बारीक़ी से किए गए और प्रेक्षण, तथा प्रकाशीय (ऑप्टिकल) प्रेक्षणों से ज्ञात जानकारी के साथ तुलना करने से जैंस्की को यह निर्धारित करने का मौक़ा मिला कि वह जिन रेडियो तरंगों को प्राप्त कर रहे थे वे आकाशगंगा के केन्द्र की दिशा में सबसे शक्तिशाली थीं।

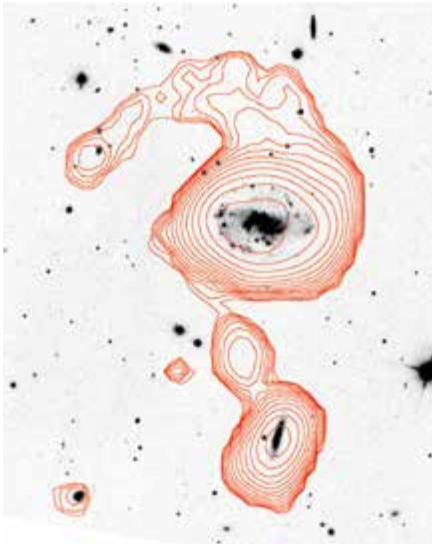
यह किसी परग्रही वस्तु से आने वाली रेडियो तरंगों की पहली खोज थी, और इसने लोगों का बहुत अधिक ध्यान अपनी तरफ़ खींचा। न्यूयॉर्क टाइम्स व अन्य अख़बारों ने अपने मुखपृष्ठ पर इसे छापा। लेकिन इसके कई साल बीत जाने के बाद ही पेशेवर खगोलविज्ञानियों ने इस खोज पर ध्यान दिया। कुछ इसलिए भी क्योंकि रेडियो खगोलशास्त्र के लिए ज़रूरी प्रौद्योगिकी, प्रकाशीय खगोलविज्ञानियों द्वारा उपयोग की जाने वाली प्रौद्योगिकी से बिलकुल अलग थी। प्रकाशीय खगोलविज्ञानियों के समुदाय को अपने आपको रेडियो खगौलविज्ञानियों के तौर पर पुनर्प्रशिक्षित करने के लिए कड़े प्रयास करने पड़े होंगे। (दरअसल, प्रकाशीय और रेडियो खगोलविज्ञानियों के बीच की खाई आज तक मौजूद है, और रेडियो खगोलशास्त्र अभी भी खगोलशास्त्र का एक अत्यन्त विशिष्ट उप-विषय बना हुआ है)। लेकिन, ऐसा होने का एक कारण यह भी था कि जैंस्की की खोज उस समय हुई जब अमरीका में महामन्दी का दौर था, जब नए और जोखिम भरे प्रयत्नों के लिए धनराशि जुटाना काफ़ी मुश्किल काम था। लेकिन, दूसरे विश्वयुद्ध के दौरान रेडियो प्रौद्योगिकी के विकास में अचानक एक विस्तार हुआ, जो मुख्य रूप से शक्तिशाली रक्षा रडार तंत्रों की आवश्यकता के कारण हुआ था। युद्ध के बाद, इनमें से कुछ रडार सुविधाओं का इस्तेमाल रेडियो इंजीनियरों द्वारा खगोलशास्त्र के लिए किया गया था। बहुत जल्दी ही इससे यह खोज हुई कि सूर्य खगोलीय रेडियो तरंगों के सबसे

बॉक्स-5 : चमकदार वस्तुओं को उनके द्वारा पैदा किए जाने वाले वर्णक्रम के प्रकार के द्वारा पहचाना जा सकता है।

सफ़ेद प्रकाश में अलग-अलग रंगों के प्रकाश का मिश्रण है, जिसे हम प्रिज्म का इस्तेमाल कर उसके संघटक रंगों में तोड़कर देख सकते हैं (आपने सीडी या डीवीडी को चलाते समय यह देखा होगा)। प्रकाश को उसके संघटक रंगों में वियोजित करना (या तरंगदैर्ध्यों में वियोजित करना क्योंकि अलग-अलग रंगों का प्रकाश अलग-अलग तरंगदैर्ध्यों के प्रकाश के सदृश होता है) ही वर्णक्रम कहलाता है। किसी चमकदार वस्तु का वर्णक्रम उसकी संरचना के बारे में तमाम जानकारी लिए रहता है। उदाहरण के लिए, आतिशबाज़ी में जो विभिन्न रंग हम देखते हैं वे दरअसल उन तमाम तत्वों से निकलते हैं जो उसके चूरे में घुले हुए रहते हैं, और हर तत्व अलग तरंगदैर्ध्य का प्रकाश उत्सर्जित करता है।

बॉक्स-6 : खगोलीय स्रोतों की तरंगदैर्ध्यों में बदलाव ब्रह्माण्ड के विस्तार के कारण होते हैं।

ब्रह्माण्ड के विस्तृत होने पर, दूरस्थ स्रोतों से उत्सर्जित होने वाले प्रकाश की तरंगदैर्ध्य भी उसके साथ प्रसार करती हैं। इसलिए, अन्त में पृथ्वी पर जो हमें प्राप्त होती है, वह मूल रूप से उत्सर्जित हुई तरंगदैर्ध्य की तुलना में लम्बी तरंगदैर्ध्य होती है। इसे ही रैडशिफ्ट कहा जाता है, क्योंकि इसमें लम्बी तरंगदैर्ध्यों या विद्युत चुम्बकीय वर्णक्रम में लाल-से रंगों की ओर स्थानान्तरण होता है।



चित्र-5 : प्रकाशीय और रेडियो दूरदर्शक हमें ब्रह्माण्ड के अलग-अलग पहलू दिखाते हैं। काली और सफ़ेद तस्वीर एक प्रकाशीय (दृश्य प्रकाश) छवि है। दृश्य प्रकाश में तारे चमकदार दिख रहे हैं, इसलिए हम इस तस्वीर में पास की दो आकाशगंगाओं में तारों की स्थिति को देख रहे हैं। इस तस्वीर को उलटा कर दिया गया है (किसी तस्वीर के नेगेटिव की तरह) इसलिए तस्वीर में दिखने वाले अँधेरे-से क्षेत्र दरअसल चमकदार हैं। दृश्य प्रकाश में ये दोनों आकाशगंगाएँ काफ़ी सामान्य दिखाई देती हैं, और ऐसा लगता है कि उनका एक-दूसरे से कोई परस्पर सम्बन्ध नहीं है। इसके विपरीत, अध्यारोपित लाल रेखाएँ जीएमआरटी का इस्तेमाल करके रेडियो तरंगदैर्ध्यों पर बनाई गई एक तस्वीर की हैं। ये लाल रेखाएँ जो इन आकाशगंगाओं के इर्द-गिर्द गैस (हाइड्रोजन) के जमाव को दिखाती हैं, एक बहुत अलग ही कहानी कहती हैं। हर आकाशगंगा के इर्द-गिर्द जमा होने के अलावा, यह गैस दोनों आकाशगंगाओं को जोड़ने वाला सेतु, और बड़ी आकाशगंगा में से निकली एक लम्बी पूँछ बनाती है। यह दिखाता है कि ये दो आकाशगंगाएँ साफ़ तौर पर एक-दूसरे को परस्पर प्रभावित कर रही हैं, और सम्भवतया भविष्य में ये एक-दूसरे में समा जाएँ (उदाहरण के लिए, जून 2016 के **आई वंडर...** के अंक में आनन्द नारायणन का लेख, 'बाह्य अन्तरिक्ष में होने वाली अन्तर्क्रियाएँ' देखें)

Credits: Jayaram N Chengalur. License: CC-BY-NC.

प्रकाशमान स्रोतों में से एक है, और आकाश दरअसल रेडियो स्रोतों से भरा पड़ा है।

ब्रह्माण्ड के रहस्य खोलना - रेडियो दूरदर्शक क्या 'देखते' हैं?

रात के आकाश की सबसे आकर्षक बात उसके चारों तरफ़ बिखरे तारों का चित्रपट है। इसके साथ ही यह तथ्य सामने आने से कि सूर्य रेडियो तरंगों का एक शक्तिशाली स्रोत है, ऐसी सम्भावना लगने लगी कि ये नए प्रेक्षण कुछ नए क़िस्म के तारों को खोज रहे थे, जिन्हें रेडियो तारे कहा गया। लेकिन, पता चला कि तारों से होने वाला रेडियो उत्सर्जन बहुत कमज़ोर होता है (**बॉक्स-4** देखें)। और इन शुरुआती प्रेक्षणों में खोजे गए स्रोतों में से लगभग कोई ऐसा नहीं था जो ज्ञात तारों के अनुरूप हो। तो फिर तारों के अलावा वे ऐसी कौन-सी खगोलीय वस्तुएँ थीं जिनकी खोज रेडियो दूरदर्शक कर रहे थे?

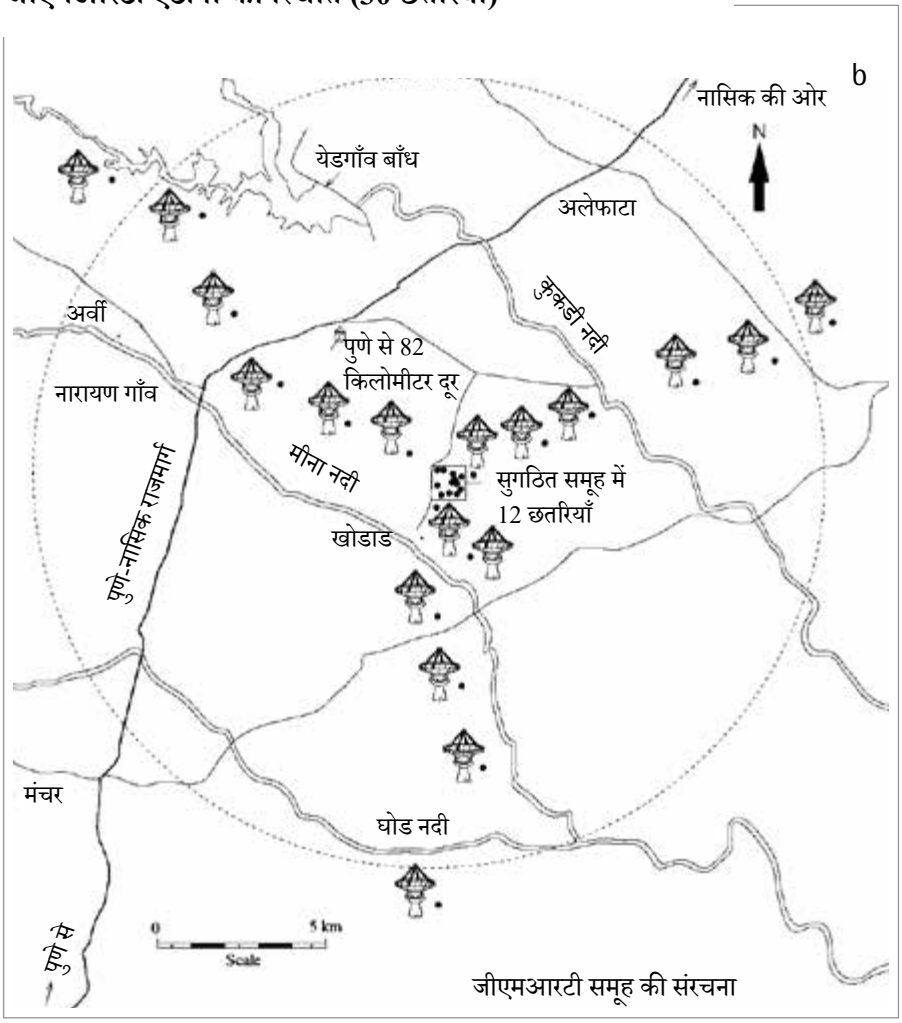
इस सवाल का जवाब लम्बे समय तक स्पष्ट नहीं हो सका। शुरुआती रेडियो दूरदर्शकों का कोणीय विभेदन (angular resolution) बहुत ख़राब था (**बॉक्स-7** देखें), जिसके कारण रेडियो स्रोतों को प्रकाशीय तस्वीरों में दिखने वाले स्रोतों से मिलाकर उनकी पक्की पहचान करना बहुत मुश्किल था। लेकिन, 1962 में, पार्क्स रेडियो दूरदर्शक के रेडियो प्रेक्षणों का इस्तेमाल करके सबसे प्रकाशमान रेडियो स्रोतों में से एक, 3सी273 की सही-सही स्थिति का पता लगाया गया। उस युग के सभी दूरदर्शकों की तरह पार्क्स रेडियो दूरदर्शक का रैजोल्यूशन भी बहुत साधारण था। लेकिन, बाद में पता चला कि 3सी273 को कभी-कभी चन्द्रमा द्वारा ढँक दिया (छिपा दिया) जाता है। इस ग्रहण के दौरान 3सी273 की रेडियो चमक जिस तरह से बदली, उसका बारीक़ी से प्रेक्षण करने पर खगोलज्ञों ने ठीक-ठीक उस समय का पता लगा लिया जब चाँद का सिरा इस स्रोत के पार गया। इससे पुरानी प्रकाशीय छवियों की रहस्यमयी रेडियो तरंगों के स्रोत की भी पहचान हो सकी। आश्चर्यजनक रूप से, यह स्रोत कोई अवर्गीकृत, और काफ़ी कुछ तारे जैसे दिखने वाला पिण्ड प्रतीत हुआ। तो क्या रेडियो दूरदर्शक, आख़िरकार, किस तरह के तारों की खोज कर रहे थे?

इस सवाल का जवाब देने के लिए, मार्टीन श्मिड्ट नाम के खगोलविज्ञानी ने तारे जैसे 3सी273 के वर्णक्रम (**बॉक्स-5** देखें) का प्रेक्षण किया। कोई तारा जिस तरह के वर्णक्रम को पैदा करता है, वह उसकी संरचना को निर्धारित करने में मदद करता है। उदाहरण के लिए, सूर्य के वर्णक्रम में एक विशेष तेज़ रंग है (जिसे वर्णक्रम रेखा कहते हैं) जो हीलियम नामक तत्व (जिसका यह नाम, सबसे पहले सौर वर्णक्रम के प्रेक्षणों के कारण पहचान में आने से पड़ा है) की वजह से उभरता है। 3सी273 के वर्णक्रम में कई वर्णक्रम रेखाएँ भी थीं, लेकिन उनकी तरंगदैर्ध्य, हमें ज्ञात किन्हीं भी तत्वों के लिए प्रत्याशित तरंगदैर्ध्यों से मेल नहीं खाती थी।

इन्हीं सब बातों पर माथापच्ची करते हुए, मार्टीन श्मिड्ट को अचानक से यह एहसास हुआ कि वर्णक्रम रेखाएँ दरअसल ज्ञात तत्वों की तरंगदैर्ध्यों के सदृश ही थीं, लेकिन वे सभी 15.8 प्रतिशत ज़्यादा लम्बी तरंगदैर्ध्यों पर पहुँचा दी गई थीं! खगोलीय स्रोतों से आने वाले प्रकाश के ज़्यादा लम्बी तरंगदैर्ध्यों (जिन्हें रैडशिफ्ट कहा जाता है) की ओर स्थानान्तरण का प्रेक्षण भी तब तक कई दशकों से हो रहा था, और यह समझा जाता था कि ये परिवर्तन ब्रह्माण्ड के विस्तार के कारण हो रहे होंगे। लेकिन, चूँकि 3सी273 के वर्णक्रम की तरंगदैर्ध्यों में हुआ बदलाव, पहले देखे गए किसी भी रैडशिफ्ट की तुलना में इतना बड़ा था कि उसकी वर्णक्रम रेखाओं को रैडशिफ्ट हुए तंत्र की रेखाओं के रूप में पहचानने में कुछ समय लगा। यह 1962 तक खोजी गई सबसे दूरदराज़ की वस्तु थी, और इसलिए हमें पता चली सबसे चमकदार वस्तुओं में से एक भी थी। दरअसल यह किसी भी ज्ञात तारे से कहीं ज़्यादा चमकदार थी। अब हम जानते हैं कि 3सी273 कोई तारा नहीं है, बल्कि एक ब्लैक होल है, और इसका द्रव्यमान सूर्य के द्रव्यमान से अरबों गुना अधिक है! किसी ब्लैक होल के इर्द-गिर्द घूमने वाला पदार्थ, ब्लैक होल द्वारा उसे निगले जाने के पहले अत्यधिक तापमानों तक पहुँच जाता है, और लगभग प्रकाश की चाल से चमकीली फुहारें जैसी छोड़ता रहता है। इन फुहारों में जो पदार्थ होता है, यही पदार्थ वह रेडियो उत्सर्जन पैदा करता है जिसे दूरदर्शकों द्वारा पकड़ा जाता है। इसलिए, रेडियो खगोलज्ञों ने एक बिलकुल ही नए प्रकार की वस्तु की खोज की थी जिसे अब सामान्य रूप से रेडियो गैलेक्सी के नाम से जाना जाता है। यह इस बात का सिर्फ़ एक उदाहरण है कि किस तरह अलग-अलग तरंगदैर्ध्यों पर ब्रह्माण्ड को देखने से कई नई चौंका देने वाली खोजें सामने आ सकती हैं। और वाकई में अक्सर ऐसा ही होता रहा है, और प्रेक्षण के नए झरोखों के खुलने से सामान्यतया नई अनोखी वस्तुओं की खोज होती रही है।

रेडियो गैलेक्सियों के केन्द्र में होने वाले भीमकाय ब्लैक होल, रेडियो खगोलशास्त्र द्वारा खोजे जाने वाली अकेली खगोलीय वस्तुएँ नहीं हैं। प्रारम्भिक खोजों में पल्सर तारे (ऐसे पिण्ड जिनका घनत्व परमाणु नाभिकों के समान होता है, लेकिन उनकी त्रिज्याएँ कुछ किलोमीटर की होती हैं, और द्रव्यमान सूर्य के द्रव्यमान जितने होते हैं) और खगोलीय पार्श्व सूक्ष्मतरंगी विकिरण (बिग बैंग या महाविस्फोट के बाद के समय के बचे हुए विकिरण, जब ब्रह्माण्ड पर्याप्त रूप से इतना ठण्डा हो चुका था कि इलेक्ट्रॉनों और प्रोटॉनों ने मिलकर न्यूट्रल परमाणु बनाए थे) भी शामिल हैं। तारों के बीच पाई जाने वाली विसरित गैस भी रेडियो तरंगों की शक्तिशाली उत्सर्जक है। आमतौर पर, प्रकाशीय दूरदर्शक हमें दिखाते हैं कि

जीएमआरटी ऐंटीना की स्थिति (30 छतरियाँ)



तारे कहाँ हैं, जबकि रेडियो दूरदर्शक हमें इस गैस का वितरण दिखाते हैं। ये बहुत अलग हो सकते हैं (**चित्र-5** देखें), जिससे फिर यह बात सिद्ध होती है कि अपने आस-पास के संसार को समझने के लिए हमें कई प्रकार के प्रेक्षणों की ज़रूरत होती है।

वृहत मीटरवेव रेडियो दूरदर्शक (जीएमआरटी)

1960 का दशक - भारत रेडियो खगोलशास्त्र में दख़ल रखने वाले राष्ट्रों की मण्डली में शामिल हो गया।

ऊधगमण्डलम के पास की पहाड़ियों पर स्थित, 1960 के दशक में बना, ऊटी रेडियो दूरदर्शक (ओआरटी) भारत का पहला बड़ा दूरदर्शक है। यह बेलनाकार दूरदर्शक 530 मीटर लम्बा और 30 मीटर चौड़ा है। इसे टाटा मूलभूत अनुसंधान संस्थान (टीआईएफआर), मुम्बई के प्रोफ़ेसर गोविन्द स्वरूप के नेतृत्व वाले एक समूह द्वारा सोचा और बनाया गया था।

चित्र-6 : पुणे के पास खोडाड गाँव में स्थित वृहत मीटरवेव रेडियो दूरदर्शक (जीएमआरटी) के ऐंटीना। जीएमआरटी दुनिया के विशालतम रेडियो इंटरफेरोमीटर में से एक है, और अपने संचालन की तरंगदैर्ध्यों पर भी सबसे संवेदनशील दूरदर्शकों में से एक है। 25 किलोमीटर के क्षेत्रफल में फैले हुए जीएमआरटी के ऐंटीना पूरे तालमेल के साथ तस्वीरें बनाते हैं जिनका कोणीय विभेदन 25 किलोमीटर आकार वाले किसी दर्पण जैसा होता है। **(अ)** इसके कुछ ऐंटीना। जीएमआरटी में ऐसे 30 ऐंटीना हैं और इनमें से हर एक का व्यास 45 मीटर है। **(ब)** जीएमआरटी ऐंटीना की स्थिति। एक सुसंगत समूह में स्थापित की गईं 12 छतरियाँ पुणे के पास खोडाड गाँव में हैं। बाक़ी के ऐंटीना लगभग Y जैसी आकार वाली 3 भुजाओं से लगकर फैले हैं, और इनमें से हर एक भुजा लगभग 14 किलोमीटर लम्बी है। एक-दूसरे से सबसे ज़्यादा दूर स्थित ऐंटीना के बीच की दूरी लगभग 25 किलोमीटर है।
Credits: B. Premkumar, NCRA-TIFR.

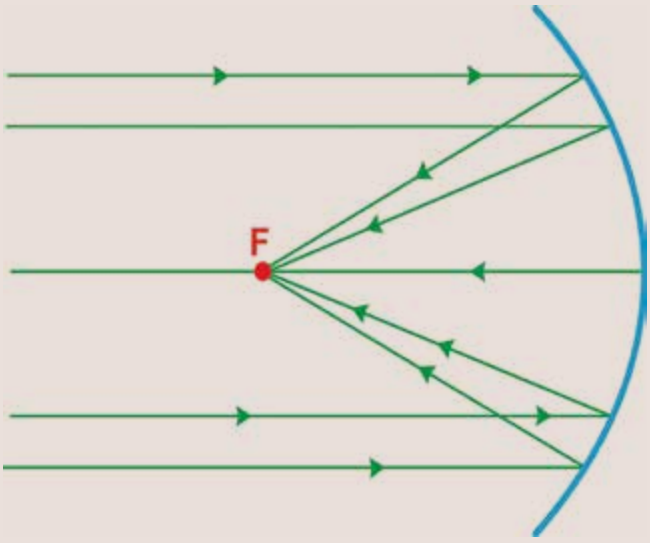
बॉक्स-7 : जीएमआरटी के 30 ऐंटीना से मिलने वाले संकेतों को द्वारक संयोजन (Aperture Synthesis) नामक प्रक्रिया द्वारा एक-दूसरे से जोड़ा जाता है।

यह सोचना स्वाभाविक लग सकता है कि बड़ा दूरदर्शक छोटे दूरदर्शक से बेहतर होगा। पर बड़ा दूरदर्शक किन बातों में बेहतर होगा?

किसी दूरदर्शक के प्रदर्शन को आँकने के लिए दो अलग-अलग कसौटियाँ हैं। पहली है, किसी दूरस्थ वस्तु की बहुत बारीक़ जानकारियों को भी देख पाने की क्षमता (उदाहरण के लिए, हम दो पास स्थित तारों के बीच भेद कर सकें, या फिर दूरदर्शक की तस्वीर इतनी धुँधली है कि वे दो की बजाय एक ही तारे के रूप में दिख रहे हैं)। इसे ही दूरदर्शक का विभेदन (resolution of the telescope) कहते हैं। दूसरी क्षमता है, मद्धिम वस्तुओं को भी खोज पाने की क्षमता। कोई स्रोत जितना दूर होता है, उतना ही मद्धिम प्रतीत होता है, तो दरअसल यह क्षमता है किसी रेडियो स्रोत के दूर, और दूर जाते जाने पर भी उसका प्रेक्षण कर पाने की। इस कसौटी को सामान्य तौर पर दूरदर्शक की संवेदनशीलता कहा जाता है।

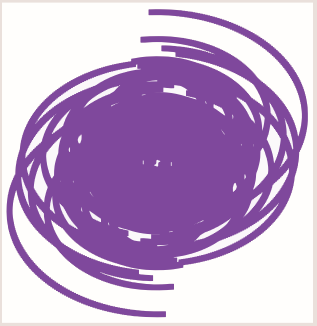
परवलयिक दूरदर्शकों में, द्वार पर गिरने वाला सारा प्रकाश फोकस पर संकेन्द्रित रहता है (**चित्र-7** देखें)। स्पष्ट है, कि जितना बड़ा दूरदर्शक होगा, उतना अधिक प्रकाश वह बटोरेगा, यानी दूरदर्शक प्रकाश को भरने वाली एक विराट बाल्टी की तरह काम करेंगे। आसानी से देखा जा सकता है कि जितना बड़ा दूरदर्शक होगा, उतना ही अधिक प्रकाश वह बटोरेगा, और उतना ही अधिक संवेदनशील होगा। जो बात इतनी स्पष्ट नहीं है वह यह कि बड़े दूरदर्शकों का रैजोल्यूशन भी बेहतर होता है। यह विवर्तन (diffraction) के माध्यम से होता है (सभी प्रकार की तरंगों में देखा गया), जो किसी निर्धारित तरंगदैर्ध्य पर दूरदर्शक के रैजोल्यूशन को उसके दर्पण के आकार के बढ़ने के साथ-साथ बेहतर करता जाता है। इसी प्रकार, परावर्तक के किसी निर्धारित आकार के लिए, तरंगदैर्ध्य के घटने के साथ रैजोल्यूशन बेहतर होता जाता है (इससे मिलता-जुलता एक तथ्य जिससे पाठक ज़्यादा परिचित होंगे, वह यह कि ब्लू रे डीवीडी जो अपेक्षाकृत छोटी तरंगदैर्ध्य वाले नीले प्रकाश के साथ काम करती हैं, वे समान ज्यामितीय क्षेत्रफल में सामान्य डीवीडी की तुलना में कहीं अधिक जानकारी संग्रह कर सकती हैं)।

दृश्य प्रकाश की तरंगदैर्ध्य उन रेडियो तरंगों से कोई करोड़ों गुना छोटी होती है जिनके प्रति जीएमआरटी संवेदनशील है। कुछ सेंटीमीटर आकार के प्रकाशीय दूरदर्शक के रैजोल्यूशन जितने ही रैजोल्यूशन वाला रेडियो दूरदर्शक बनाने के लिए तो उसका आकार लम्बाई में दसियों किलोमीटर होना पड़ेगा - यह तो एक विकट चुनौती है! हम ऐसा दूरदर्शक कैसे बनाएँ जिसका रैजोल्यूशन दसियों किलोमीटर आकार वाले दर्पण के जैसा हो?



चित्र-7 : परवलयिक दर्पण पर गिरती प्रकाश की किरणें फोकस पर जाकर इकट्ठा हो जाती हैं। परवलयिक दर्पण प्रकाश की बाल्टियों के रूप में काम करते हैं। वे अपनी सतह पर गिरने वाली तमाम ऊर्जा का संग्रह करके उसे अपने केन्द्र बिन्दु (फोकल पॉइंट) पर इकट्ठा कर देते हैं। स्पष्ट है, कि बड़े दूरदर्शक ज़्यादा प्रकाश एकत्र करेंगे, या वे ज़्यादा संवेदनशील होंगे, ज़्यादा धुँधली वस्तुओं को भी खोज पाएँगे। और यह पाया जाता है कि बड़े दूरदर्शकों का रैजोल्यूशन भी बेहतर होता है, या स्रोत की बारीक़ जानकारियों को पकड़ पाने की उनकी क्षमता बेहतर होती है।
Credits: S. Meshra, NCRA-TIFR. License: CC-BY-NC.

ज़रा कुछ समय रुककर, पहले हम यह समझ लें कि दरअसल दर्पण उस पर गिरने वाले प्रकाश का क्या



चित्र-8 : किसी स्रोत का उदय से अस्त होने तक प्रेक्षण करते समय जीएमआरटी के ऐंटीना द्वारा अपने समूह के केन्द्रीय भाग में खींचे गए मार्ग। जैसा कि इस चित्र से देखा जा सकता है, थोड़े-से ऐंटीना के साथ भी, पृथ्वी के घूर्णन से उस 'दर्पण' का काफ़ी अच्छा दायरा बन जाता है जिसके समन्वय की कोशिश की जा रही है।

इस वर्णन में जिस एक मुद्दे की अनदेखी की गई है, वह यह है कि किस तरह हम छोटे दर्पणों के संकेतों को 'साथ मिलाते' हैं कि हमें आकाश को बारीक़ी से देखने वाले एक बड़े दर्पण का संकेत प्राप्त हो जाता है। दरअसल, यह एक बेहद विस्तृत तकनीकी विषय है, और इस पर चर्चा करने से हम अपने विषय से बहुत आगे चले जाएँगे। लेकिन, एक बात जिसे स्पष्ट किया जाना शायद ज़रूरी है वह यह कि इस प्रक्रिया में बहुत परिष्कृत डिजिटल इलैक्ट्रॉनिक्स और सॉफ्टवेयर अल्गोरिद्म (कलन) का प्रयोग किया जाता है - रेडियो खगोलविज्ञानी उनके दूरदर्शकों में से निकलने वाले संकेतों को हैडफोन लगाकर नहीं सुनते!

Credits: Jayaram N Chengalur.
License: CC-BY-NC.

करता है। जैसा कि **चित्र-7** में देखा जा सकता है, पूरा परावर्तित प्रकाश फोकस पर संकेन्द्रित रहता है। यही प्रभाव हम छोटे-छोटे दर्पणों का संग्रह बनाकर भी ला सकते हैं। उनमें से प्रत्येक के फोकस पर संकेन्द्रित विकिरण को समेटकर, और इन सारे संकेतों को एक साथ मिलाकर ऐसा किया जा सकता है। यह संयुक्त संकेत वैसा ही होगा जैसे किसी विराट दर्पण (ऐसा दर्पण जिसका आकार छोटे दर्पणों के बीच के सबसे बड़े विभाजन के बराबर हो) से मिला संकेत। बस अन्तर यही होगा कि यह दर्पण पूर्ण नहीं होगा, इसमें बड़े-बड़े छिद्र होंगे।

ऐसा इसलिए क्योंकि प्रकाश का संग्रह सिर्फ़ छोटे दर्पणों के दायरे में आने वाले क्षेत्रों से ही किया जाता है, और बीच के क्षेत्रों (यानी 'छिद्रों') पर पड़ने वाला प्रकाश खो जाता है। इसलिए, छोटे दर्पणों के संग्रह से मिलने वाले संकेतों को उपयुक्त रूप से साथ मिलाकर बनाए गए दूरदर्शक का रैजोल्यूशन ऐसे दर्पण के रैजोल्यूशन जितना होगा जिसका आकार दर्पणों के बीच के सबसे बड़े विभाजन के सदृश हो, लेकिन उसकी संवेदनशीलता ऐसे दर्पण के सदृश होगी जिसका क्षेत्रफल छोटे दर्पणों के क्षेत्रफलों के योग के बराबर हो।

अगर हम एक क़दम और आगे बढ़ें, तो हम यह देख सकते हैं कि किसी रेडियो स्रोत पर उसके उदय होने से लेकर अस्त होने तक नज़र रखने पर क्या होता है। इस सुदूरवर्ती स्रोत के दृष्टिकोण से हो यह रहा है कि पृथ्वी के घूर्णन के कारण ये छोटे दर्पण भी अन्तरिक्ष में घूम रहे हैं। समान रूप से, जब हम किसी स्रोत का उसके उदय से अस्त होने तक प्रेक्षण करते हैं तो पाते हैं कि ये छोटे दर्पण, उस काल्पनिक विशाल दर्पण के बड़े दायरों को समाविष्ट कर लेते हैं। परिणामस्वरूप जो दर्पण बनता है (यानी, जिस अपर्चर को संयोजित किया गया है) वह विभिन्न छोटे-छोटे दर्पणों से निकले स्नैपशॉट से बने दर्पण की तुलना में एक परिपूर्ण दर्पण के काफ़ी ज़्यादा नज़दीक होता है (**चित्र-8** देखें)। इसे ही पृथ्वी के घूर्णन का द्वारक संयोजन कहा जाता है, और यही वह तकनीक है जिसे जीएमआरटी और ऐसे ही अन्य दूरदर्शक आकाश की हाई रैजोल्यूशन तस्वीरें लेने के लिए अपनाते हैं।

ओआरटी को कई महत्त्वपूर्ण अध्ययनों के लिए उपयोग किया गया है, जैसे चन्द्रमा द्वारा होने वाले ग्रहणों का उपयोग करके रेडियो स्रोतों के आकार का पता लगाना, हमारी आकाशगंगा में आयनीकृत गैस से निकलने वाले वर्णक्रम रेखा वाले उत्सर्जनों का प्रेक्षण, और सूर्य द्वारा उत्सर्जित शक्तिशाली प्लाज्मा के प्रसार की माप आदि। प्लाज्मा के ये प्रेक्षण (जिन्हें सामान्य रूप से 'अन्तरिक्ष के मौसम' का अध्ययन कहते हैं) ऐसे युग में लगातार और महत्त्वपूर्ण होते जा रहे हैं जहाँ हमारा अधिकांश संचार उपग्रहों पर निर्भर करता है, और शक्तिशाली सौर घटनाओं द्वारा इसे बुरी तरह से प्रभावित किया जा सकता है। 30 वर्ष से भी ज़्यादा पुराना होने के बावजूद, आज भी ओआरटी, जिन आवृत्तियों पर यह काम करता है, उन पर काम करने वाले दुनिया के सबसे संवेदनशील दूरदर्शकों में से यह एक है। इसके अलावा, ओआरटी को बनाने, उसका रखरखाव करने, और उसका इस्तेमाल करने के अनुभव ने भारत में एक स्वस्थ रेडियो खगोलीय समुदाय के विकास में मदद की है।

1990 का दशक और एक 'वाकई में' बड़ा दूरदर्शक

1980 के दशक के मध्य में, यह बात स्पष्ट होने लगी थी, कि हालाँकि ओआरटी अभी भी एक संवेदनशील दूरदर्शक था, लेकिन यह अमरीका की वेरी लार्ज ऐरे (वीएलए) और ऑस्ट्रेलिया स्थित ऑस्ट्रेलिया टेलिस्कोप कॉम्पैक्ट ऐरे (एटीसीए) जैसे रेडियो दूरदर्शकों की अगली पीढ़ी की भाँति बहुमुखी नहीं था। ऊटी स्थित टीआईएफआर के रेडियो खगोलशास्त्र समूह, जिसका नेतृत्व भी प्रोफ़ेसर गोविन्द स्वरूप कर रहे थे, ने कहीं बड़े रेडियो दूरदर्शक की संरचना पर काम करना शुरू किया जिसका नाम वृहत मीटरवेव रेडियो दूरदर्शक (या जीएमआरटी) रखा गया।

बड़े दूरदर्शकों को बनाना बहुत महँगा होता है, और परिणामस्वरूप, दुनिया के बहुत कम देश इन्हें बनाने में निवेश करते हैं। प्रकाशीय दूरदर्शक के सामने यह समस्या भी होती है कि उसे एक ऐसा स्थान चाहिए होता है जहाँ अँधेरा हो, जो काफ़ी ऊँचाई पर हो, जितना सम्भव हो बारिश से मुक्त रहे। पृथ्वी पर ऐसे बहुत कम स्थान हैं जो इन कसौटियों को पूरा करते हैं, इनके अपवाद हैं हवाई में मौना किआ, और चिली के ऊँचे पर्वत। परिणामस्वरूप, दुनिया के कई देश अन्त में इन स्थानों पर प्रकाशीय दूरदर्शक बनाते हैं।

दूसरी तरफ़, रेडियो दूरदर्शकों (ख़ासतौर से वे जो लम्बी तरंगदैर्ध्यों पर काम करते हैं) का ऐसी ऊँचाई वाले स्थानों पर स्थित होना ज़रूरी नहीं है, और इसलिए इन्हें दुनिया के कई और हिस्सों में लगाया जा सकता है। रेडियो दूरदर्शक के लिए किसी स्थान को चुनने की मुख्य कसौटी यह सुनिश्चित करना है कि वह मानव द्वारा निर्मित व्यवधानों (जैसे मोबाइल फ़ोन व टॉवर, टीवी और रेडियो स्टेशन, आदि) से सुरक्षित रहे। टीआईएफआर समूह ने भारत में ऐसे कई स्थानों का निर्धारण किया, जिनमें से एक पुणे से क़रीब 80 किलोमीटर दूर, खोडाड गाँव के पास स्थित है। यह जगह बड़े शहर पुणे के पास होने से एक बड़े दूरदर्शक को बनाने के लिए ज़रूरी निर्माण सामग्री आसानी से उपलब्ध हो सकती थी। साथ ही, प्रस्तावित स्थान इतना दूर भी था (और चारों ओर से घिरी हुई पहाड़ियों द्वारा संरक्षित भी) कि यह पुणे और मुम्बई में उद्योग, टीवी और रेडियो द्वारा पैदा किए जाने वाले व्यवधान से भी सुरक्षित था। लेकिन इस दूरदर्शक को बनाने का ख़र्चा अभी भी एक चुनौती बना हुआ था।

मितव्ययी इंजीनियरिंग और 'स्मार्ट' डिज़ाइन

आखिरकार प्रोफ़ेसर गोविन्द स्वरूप ने एक नूतन डिज़ाइन प्रस्ताव सामने रखकर ख़र्च

की समस्या को भी हल कर दिया। उन्होंने पारम्परिक रूप से रेडियो खगोलविज्ञान में उपयोग में आते रहे ऐंटीना से कहीं सस्ते प्रकार का ऐंटीना बनाने का प्रस्ताव रखा।

अधिकांश रेडियो दूरदर्शक, यहाँ तक कि पूर्व में उल्लेखित वीएलए और एटीसीए जैसे नए दूरदर्शक भी ऐसी छोटी रेडियो तरंगदैर्ध्यों पर काम करते हैं जिन्हें महँगी ठोस परावर्ती सतहों की आवश्यकता होती है। लेकिन, चूँकि भारतीय रेडियो खगोलशास्त्र समूह मुख्य रूप से लम्बी रेडियो आवृत्तियों पर ही काम करता रहा है, इसलिए यह उचित ही था कि एक बड़ी, लम्बी तरंगदैर्ध्य वाला रेडियो दूरदर्शक बनाया जाए जो अपना एक अलग वैश्विक स्थान बनाए। प्रोफ़ेसर स्वरूप के डिज़ाइन के प्रस्ताव में ठीक इसी भेद का लाभ उठाया गया। उनके इस डिज़ाइन का आधार यह तथ्य था कि किसी दर्पण की वे त्रुटियाँ जो उसके कार्य करने की तरंगदैर्ध्य से छोटी होती हैं, उनका उस दर्पण के प्रदर्शन पर न के बराबर असर पड़ता है। उदाहरण के लिए, ऊबड़-खाबड़ खड़ी चट्टानों में आवाज़ (जिसकी तरंगदैर्ध्य काफ़ी लम्बी होती है) काफ़ी अच्छे से गूँजती (प्रतिध्वनित होती) है, लेकिन यही चट्टानें प्रकाश (जिसकी तरंगदैर्ध्य छोटी होती है) का तनिक भी परावर्तन नहीं कर पातीं। इसलिए, लम्बी तरंगदैर्ध्यों वाले रेडियो दूरदर्शकों को बहुत बारीक़ी से चमकाई गई परावर्ती सतहों की आवश्यकता नहीं थी जिनकी ज़रूरत छोटी तरंगदैर्ध्यों में पड़ती।

रेडियो दूरदर्शक में परावर्ती सतह की गुणवत्ता का उसकी लागत पर गुणात्मक प्रभाव पड़ता है। चिकनी सतहों के लिए ऐसी सामग्री की आवश्यकता होती है जिसे बारीक़ी से आकार दिया जा सकता है और चमकाया जा सकता है, जिसका मतलब कि ये सतहें सामान्यतया ठोस होती हैं। इन सतहों को ठण्डे देशों में प्राथमिकता दी जाती है, जहाँ इन सतहों का ऐसा होना इसलिए ज़रूरी है ताकि ये ठण्ड के मौसम में बर्फ़ के भारी बोझ को झेल सकें। परिणामस्वरूप परावर्ती दूरदर्शक को सहारा देने के लिए शक्तिशाली सहायक ढाँचों की ज़रूरत पड़ती है, और इसलिए इसे बनाने की लागत बहुत बढ़ जाती है। निम्न आवृत्तियों पर और पुणे जैसे अर्ध-कटिबन्धीय स्थान पर ये सभी स्थितियाँ अप्रासंगिक हो जाती हैं। प्रोफ़ेसर स्वरूप ने ऐसा डिज़ाइन ईजाद किया, जहाँ परावर्ती सतह एक साधारण तार की जाली थी, फिर हजारों तारों को एक हल्के सहायक ढाँचे से जोड़कर एक परवलयिक (पैराबॉलिक) ढाँचा बनाया गया, और हर तार को बिलकुल सही मात्रा में ताना गया ताकि पूरी जाली वांछित आकार ले सके। उन्होंने इस नए डिज़ाइन को स्मार्ट (Stretched Mesh Attached to Rope Trusses) नाम दिया। स्मार्ट डिज़ाइन ने इस पूरी संरचना को बनाने की लागत में ज़बरदस्त कमी कर दी, जिससे अपेक्षाकृत कम पैसों में एक बड़ा दूरदर्शक बनाने के बारे में सोचा जा सका।

जीएमआरटी, टीआईएफआर के रेडियो खगोलशास्त्र समूह के लिए आगे की ओर उठाया गया एक निर्भीक क़दम था, और इसमें रेडियो खगोलशास्त्र से जुड़े शोध में भारत को एक अगुआ देश के रूप में स्थापित करने का वादा भी था। नब्बे के पूरे दशक के दौरान बने जीएमआरटी को, 2001 में श्री रतन टाटा ने राष्ट्र को समर्पित कर दिया। इस दूरदर्शक का डिज़ाइन और इसका निर्माण पूरी तरह से देशी हाथों द्वारा हुआ है। इसके अधिकांश तंत्रों को तो टीआईएफआर के राष्ट्रीय रेडियो खगोल भौतिक केन्द्र (जिसे ख़ासतौर पर जीएमआरटी के सन्दर्भ में ही स्थापित किया गया था) में ही तैयार किया गया और कुछ उप-प्रणालियों को बेंगलूरु के रमन अनुसंधान संस्थान (आरआरआई) में डिज़ाइन और निर्मित किया गया।

इस दूरदर्शक में 30 अलग-अलग ऐंटीना हैं - इनमें से हर एक ऐंटीना 45 मीटर व्यास वाली एक परवलयिक छतरी (parabolic dish) है। जीएमआरटी की 30 छतरियाँ 25 किलोमीटर व्यास वाले क्षेत्रफल में फैली हुई हैं। ये सभी ऐंटीना ऑप्टिकल फाइबर द्वारा एक-दूसरे से जुड़े हुए हैं, और सामंजस्यपूर्ण ढंग से काम करते हुए, सामने की ओर 25 किलोमीटर के रैजोल्यूशन वाले दूरदर्शक जैसे रैजोल्यूशन की तस्वीरें पैदा करते हैं (**चित्र-6** देखें)। इन ऐंटीना से निकलने वाले संकेतों को जिस तकनीक के द्वारा जोड़ा जाता है, उसे सामान्य रूप से व्यतिकरणमिति (interferometers) या द्वारक संयोजन (Aperture Synthesis) कहा जाता है (**बॉक्स-7** देखें)। जीएमआरटी दुनिया के सबसे विशाल क्रियाशील इंटरफैरोमेट्री समूहों में से एक है, और भारत उन चन्द देशों में से एक है जिनमें ऐसी सुविधा क्रियाशील है। वीएलए और एटीसीए (जो क्रमशः अमरीका और ऑस्ट्रेलिया द्वारा संचालित होते हैं) जैसी इस तरह की अन्य सुविधाओं की तरह यहाँ भी जीएमआरटी में प्रेक्षण समय का आवंटन प्रस्तावक की राष्ट्रीयता से स्वतंत्र होता है। सारे प्रस्ताव अन्तर्राष्ट्रीय समकक्ष समीक्षा की प्रक्रिया से गुज़रते हैं, और सबसे ऊँचे दर्जे वाले प्रस्तावों को समय आवंटित किया जाता है। जीएमआरटी हर साल क़रीब सौ अलग-अलग परियोजनाओं पर काम करता है और विभिन्न तरह की खगोलीय वस्तुओं का प्रेक्षण करता है जिनमें हमारे सौर मण्डल के ग्रहों से लेकर ब्रह्माण्ड के अत्यन्त दूरदराज़ के क्षेत्रों से विसरित गैस से निकलने वाले उत्सर्जन तक शामिल हैं। पिछले कई सालों में जीएमआरटी में प्रेक्षण के कुल समय का क़रीब आधा समय भारत के खगोलज्ञों को आवंटित किया गया है, जबकि बाक़ी आधा दुनिया भर के खगोलज्ञों को आवंटित किया जाता है।

निष्कर्ष

द्वितीय विश्वयुद्ध के बाद उपयोग में आने वाले पहले उपकरणों से लगाकर अब तक रेडियो दूरदर्शकों ने बहुत लम्बा सफ़र तय

किया है। जीएमआरटी सहित आज के सबसे संवेदनशील दूरदर्शकों की संवेदनशीलता पहली पीढ़ी के दूरदर्शकों की तुलना में कहीं अधिक है। आधुनिक दूरदर्शक बहुमुखी होते हैं। उदाहरण के लिए, जीएमआरटी का उपयोग कई तरह के उत्सर्जनों के बारे में खोज करने के लिए किया गया है - 1200 करोड़ साल पहले (यानी सबसे पहले तारों और ब्लैक होल्स द्वारा पूरी अन्तरगैलेक्सीय गैस को एक गर्म प्लाज्मा में बदल देने के बिलकुल पहले) पूरे ब्रह्माण्ड को भरने वाली हाइड्रोजन के उत्सर्जनों से लगाकर सौर मण्डल के अन्य ग्रहों से होने वाले उत्सर्जनों तक। अभी तक, रेडियो खगोलविज्ञानियों द्वारा की गई खोजों के लिए तीन नोबेल पुरस्कार दिए जा चुके हैं। हालाँकि रेडियो खगोलविज्ञान का समुदाय छोटा है, लेकिन यह स्पष्ट है कि समाज पर इसका असंगत प्रभाव रहा है, और ऐसा सिर्फ़ फ़िल्मों और उपन्यासों के कारण नहीं है। एक छोटा समुदाय होने के कारण इन लोगों का रवैया भी सहयोगपूर्ण और भविष्यवादी रहा है। उदाहरण के लिए, रेडियो खगोलविज्ञानियों का समुदाय, ऐसे कुछ थोड़े-से शोध समुदायों में से एक है जो अपने दूरदर्शकों का निशुल्क इस्तेमाल करने देता है। जैसा कि पहले भी वर्णन किया गया है, जीएमआरटी का उपयोग दुनिया का हर वह व्यक्ति कर सकता है जिसके प्रस्ताव को बेहतर पाया जाता है (विशेषज्ञों के एक अन्तर्राष्ट्रीय पैनल द्वारा)। इसी प्रकार, भारतीय खगोलविज्ञानी अन्य देशों द्वारा बनाए गए रेडियो दूरदर्शकों का उपयोग कर सकते हैं। बढ़ती संकीर्णता और पृथकतावाद के परिवेश में, रेडियो खगोलविज्ञानी न सिर्फ़ ब्रह्माण्ड में अपनी स्थिति को देखने का एक वृहत दृष्टिकोण प्रदान करते हैं, बल्कि मिलकर काम करने के फ़ायदों का एक व्यावहारिक उदाहरण भी प्रस्तुत करते हैं।

Note: Credits for the image used in the background of the article title: One of the antennae of GMRT telescope, Pune, India. Photographer: Rohit Gowaika. URL: https://www.flickr.com/photos/18419987@N00/3119728744. License: CC-BY-SA.

Further Reading and useful links:

1. A brief introduction to radio astronomy and SETI can be found at: http://www.bigear.org/guide.htm.
2. The Australia Telescope National Facility has some interesting material on radio astronomy and radio telescopes: http://www.atnf.csiro.au/outreach/education/everyone/radio-astronomy/index.html.
3. More about the GMRT at Pune can be found at: http://www.ncra.tifr.res.in/ncra/.
4. A very readable account of the discovery of pulsars can be found at: http://www-outreach.phy.cam.ac.uk/camphy/pulsars/pulsars_index.htm.
5. More about galactic interactions and mergers can be found in the article titled – Interactions in Outer Space, by Anand Narayan, **i wonder...**, Issue 2, June 2016, Page 4.
6. A popular account of radio astronomy can be found in the book, The Invisible Universe, by Gerrit Verschuur, Springer Publishing.

जयराम एन. चेंगालूर एक रेडियो खगोलविज्ञानी हैं और टाटा मूलभूत अनुसंधान संस्थान, मुम्बई स्थित राष्ट्रीय रेडियो खगोलभौतिकी केन्द्र में काम करते हैं। वे शिक्षित तो इंजीनियर के रूप में हुए, और अकस्मात इस क्षेत्र में आ गए, और फिर इसी में बने रहे क्योंकि यह उन्हें मज़ेदार-सा लगा।
अनुवाद : भरत त्रिपाठी