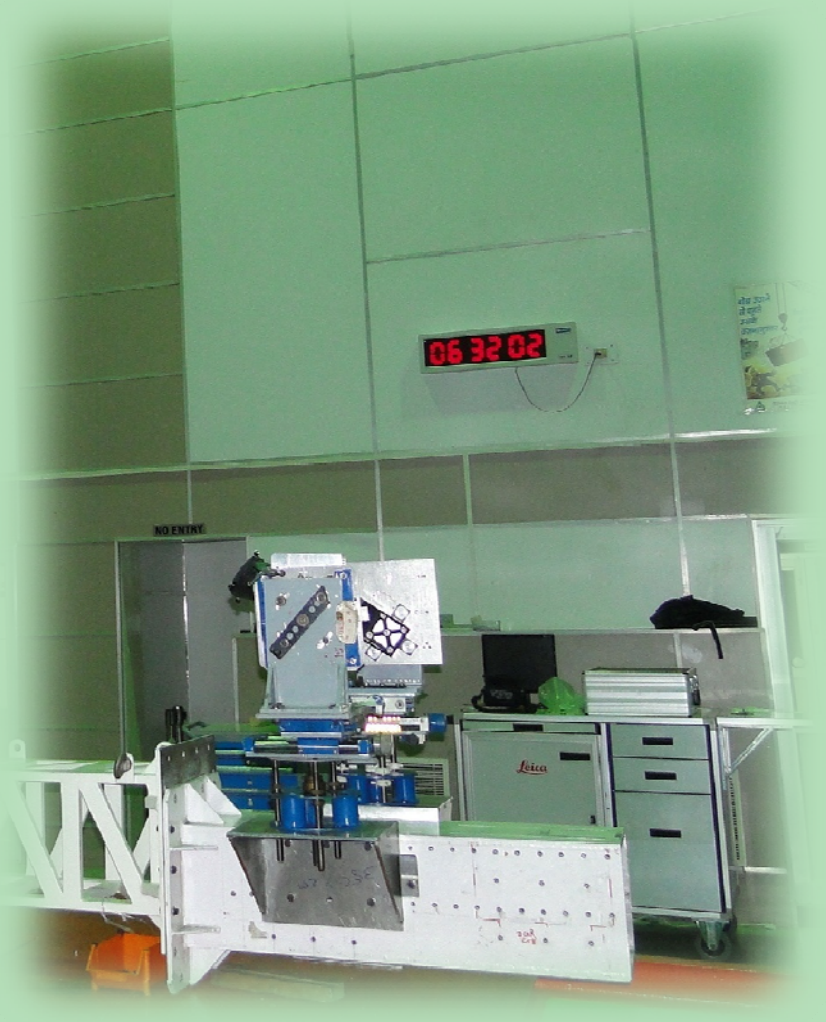
उपग्रह संचार के सिद्धांत एवं ऐन्टेना एक विहंगावलोकन



शीलेष ग.वैष्णव

उपग्रह संचार के सिद्धांत और ऐन्टेना
एक विहंगावलोकन

लेखक

शीलेष ग. वैष्णव

वैज्ञानिक/अभियंता – एसजी

एएमएफआईडी/एएमएसजी/एमईएसए

अंतरिक्ष उपयोग केंद्र

अहमदाबाद

पुस्तकालय एवं प्रलेख प्रभाग
अंतरिक्ष उपयोग केंद्र
अहमदाबाद

ISBN
9 789382 760115

आमुख

आधुनिक जगत में उपग्रहों का उपयोग अनिवार्य हो गया है । मौसम पूर्वानुमान, पृथ्वी के प्राकृतिक संसाधनों का प्रबंधन, दूरसंचार, दूरदर्शन जैसी अनेकों आवश्यकताऐं, अंतरिक्ष में स्थापित इन उपग्रहों के जरिये पूर्ण होती हैं । लेखक ने अंतरिक्ष विज्ञान का ज्ञान सरल शब्दों में छात्रों तक पहुँचाया है ।

इस पुस्तक में लेखक ने अंतरिक्ष के मूलभूत सिद्धांतों, एन्टेना के प्रसारण गुणधर्म, उपग्रह से संबंधित विभिन्न कक्षाओं और इनके प्रकार, प्रयोग और अनुप्रयोग इत्यादि विषयों पर संक्षिप्त में जानकारी दी है । इसके अलावा, लेखक ने वर्तमान में एन्टेना तकनीकों से जुड़े मुद्दों पर चर्चा की है तथा एन्टेना अभिकल्पना में चुनौतियों के विषय में उत्कृष्ट जानकारी प्रदान की है ।

मुझे आशा है कि इस पुस्तक के माध्यम से छात्रों की गणित, रेखागणित, भौतिक शास्त्र, अंतरिक्ष विज्ञान, यांत्रिकी इन्जीनियरिंग जैसे पूर्ण रूप से तकनीकी/वैज्ञानिक विषयों में रूचि बढ़ेगी और इन विषयों का व्यावहारिक एवम् यथार्थ उपयोग अभ्यास क्षेत्र से बाहर भी बहुत सही तरीके से होता है - यह बात इनकी समझ में गहराई से उतरेगी ।

पुस्तक की सफलता की आकांक्षा के साथ ।

(डी. सुब्रह्मण्यम)

उप निदेशक

यांत्रिकी अभियांत्रिकी प्रणाली क्षेत्र

अंतरिक्ष उपयोग केन्द्र (इसरो)

अहमदाबाद

संदेश

अंतरिक्ष में उपग्रहों के माध्यम से विभिन्न हेतुओं का कार्यान्वयन होता है । इन कार्यों की जानकारी के साथ आवश्यक है उपग्रह संचार प्रक्रिया के मूलभूत सिद्धांतों की जानकारी । लेखक ने संचार प्रक्रिया के इस विषय के अंतर्गत भिन्न-भिन्न पहलुओं को सम्मिलित करके विद्यार्थियों का ज्ञानवर्धन करने का सराहनीय प्रयास किया है । हिन्दी के माध्यम से उपग्रहों की कक्षाएं, इनसे संबंधित रेखागणित एवम् एन्टेना के विषय में लिखकर लेखक ने पाठकों को इन विषयों पर आधारभूत वास्तविकताओं का ब्यौरा देने का प्रयास किया है । मुझे आशा है कि यह पुस्तक पाठकों को पसंद आएगी और इन विषयों पर हिन्दी में कार्य करने के लिए प्रोत्साहित करेगी ।

(योगेश त्रिवेदी)
समूह निदेशक, एन्टेना यांत्रिक प्रणाली समूह
यांत्रिक अभियांत्रिकी प्रणाली क्षेत्र
अंतरिक्ष उपयोग केन्द्र(इसरो)
अहमदाबाद

संदेश

लेखक ने इस पुस्तिका में, सरल तरीके से उपग्रह, कक्षाएं, एन्टेना प्रणाली एवं संलग्न परियोजनाओं के बारे में उपयोगी जानकारी प्रदान की है । किसी भी उपग्रह प्रणाली में एन्टेना का योगदान महत्वपूर्ण है और वह एक संचार प्रणाली की ठोस कड़ी के रूप में अपना कार्य करता है । विद्यार्थियों के लिए उपग्रह से संबंधित इन विषयों पर जागृति बहुत आवश्यक है ताकि वे अंतरिक्ष विज्ञान की जानकारी, इससे संबंधित मूलभूत सिद्धांतों के जरिये प्राप्त कर सकें । लेखक का यह प्रयास अत्यंत सराहनीय है और मैं आशा करता हूँ कि इस पुस्तिका के पठन से पाठकों के तकनीकी, वैज्ञानिक एवं रेखागणित जैसे विषयों में ज्ञानवर्धन होगा ।

(अशोक आप्टे)
प्रधान, एन्टेना यांत्रिक संविरचन समाकलन प्रभाग
एन्टेना यांत्रिक प्रणाली समूह
यांत्रिक अभियांत्रिकी प्रणाली क्षेत्र
अंतरिक्ष उपयोग केन्द्र (इसरो)
अहमदाबाद

पुस्तक परिचय

इस पुस्तक में उपग्रह संचार के मूलभूत सिद्धांतों को प्रस्तुत करके अंतरिक्ष विज्ञान की जानकारी प्रदान करने का प्रयास किया है । इसके उपरांत, एन्टेना के विषय में विस्तृत जानकारी देकर संचार प्रक्रिया समझाने की कोशिश की है । उपग्रह संचार में सर्वप्रथम मूल प्रसारण सिद्धांत, भौतिक विज्ञान के ज्ञान के जरिये समझाया गया है । पावर गेईन, दिशा कुशलता, कार्यक्षमता एवम् समतुल्य ध्वनि तापमान जैसे महत्वपूर्ण गुणधर्मों के अध्ययन द्वारा विद्यार्थियों को एन्टेना की कार्यशैली की सूचना प्रदान की है। भू-केन्द्र तथा अंतरिक्ष एन्टेना का कार्यकलाप इन राशियों से संबंधित है । उपग्रहों की गति को वैज्ञानिक व गणितीय तरीकों से समझाने हेतु लेखक ने विभिन्न कक्षाओं, ग्रहीय गतियों, कक्षाओं के गुणधर्म, कक्षाओं के प्रकार इत्यादि पहलुओं पर विज्ञान के मूलभूत आयामों के साथ ज्ञानवर्धन करने का प्रयास किया है । उपग्रह और पृथ्वी का संबंध रेखागणित के माध्यम से समझा कर गहन विषय को सरल तरीके से बताया गया है ।

एन्टेना उपग्रह और पृथ्वी की कडी का एक प्रमुख अवयव है । लेखक ने इस विषय को थोड़ा विस्तार से पेश किया है । अंतरिक्ष से संबंधित विभिन्न परियोजनाएं, भारत के भावी मिशन, दूरसंचार इत्यादि परियोजनाओं का ब्यौरा देकर पाठक को वर्तमान एवम् भविष्य की परिस्थितियों के प्रति ध्यानाकर्षण करने का प्रयास किया गया है । एन्टेना में प्रगति के सोपान, भूस्थिर उपग्रह एन्टेना से संबंधित नई चुनौतियां और एन्टेना निर्माण व परिक्षण में लागू नये उपागम जैसे आधुनिक पहलुओं पर जानकारी प्रदान करके लेखक ने भारतवर्ष का अंतरिक्ष कार्यक्रम में योगदान समझाने का प्रयास किया है ।

विषय वस्तु कक्षा 11-12 एवं उच्चतर कक्षाओं के छात्रों को ध्यान में रखकर लिखी गयी है ।

(शीलेष ग. वैष्णव)

वैज्ञानिक अभियंता एसजी

एएमएफआईडी / एएसएमजी / मेसा

अंतरिक्ष उपयोग केंद्र

आभार

- श्री आ.सी. किरण कुमार, निदेशक, अंतरिक्ष उपयोग केन्द्र, अहमदाबाद जो हमेशा इस प्रकार के तकनीकी साहित्य में काम करने के लिए अभियंताओं को प्रोत्साहित करते हैं।

- श्री डी. सुब्रह्मण्यम, उप निदेशक, यांत्रिक अभियांत्रिक प्रणाली क्षेत्र, जो मुझे यह पुस्तक लेखन कार्य सौंपकर सतत मार्गदर्शन देते रहें ।

- श्री योगेश त्रिवेदी, समूह निदेशक, एन्टेना यांत्रिक प्रणाली समूह, जिन्होंने हमेशा मुझे मार्गदर्शन दिया और मेरा उत्साहवर्धन किया ।

- श्री अशोक आप्टे, प्रधान, एन्टेना यांत्रिक संविरचन समाकलन प्रभाग, जो प्रतिदिन मुझे प्रोत्साहित करते हैं ।

- मैं आभारी हूँ, राजभाषा कार्यान्वयन समिति के सदस्यों का जिन्होंने हमेशा मुझे पुस्तक लिखने के लिए प्रोत्साहित किया और मुझे यह अवसर दिया । उन्होंने कई बार हमसे विचार-विमर्श किया और पुस्तिका का सही स्वरूप प्राप्त करने में मुझे योगदान दिया ।

- मैं विशेष रूप से आभार व्यक्त करता हूँ श्री बी.आर. राजपूत का जो हमारे वरिष्ठ हिंदी अधिकारी है । इन्होंने न केवल हमें प्रोत्साहित किया अपितु इस पुस्तक निर्माण में महत्वपूर्ण कार्यशीलता का प्रदर्शन किया ।

- मैं आभार व्यक्त करता हूँ कु. चांदनी चौहाण का जिन्होंने अंग्रेजी, हिन्दी तथा चित्रों, सूत्रों इत्यादि का सही तालमेल करके टंकण कार्य में मदद की ।

- मैं हिंदी अनुभाग की श्रीमती नीलू सेठ, हिंदी अधिकारी, सुश्री रजनी सेमवाल, श्री सोनू जैन का भी आभार व्यक्त करता हूँ जिन्होंने मुझे हिंदी शब्द ज्ञान संबंधित सही सूचना दी । मैं हिंदी टंकण कार्य में योगदान प्रदान करने हेतु श्री गौतम त्रिवेदी का भी शुक्रिया अदा करता हूँ ।

विषय सूची

क्रम सं.	अध्याय		पृष्ठ
1.0	**उपग्रह संचार की मूलभूत जानकारी**		**1-6**
	1.1	प्रस्तावना	1
	1.2	मूल प्रसारण सिद्धांत	1
2.0	**उपग्रह कक्षाएं और कक्षीय प्राचल**		**7 - 16**
	2.1	प्रस्तावना	7
	2.2	ग्रहीय गतियाँ	8
	2.3	कक्षाओं के गुणधर्म	10
	2.4	कक्षाओं के प्रकार	12
3.0	**उपग्रह-पृथ्वी लिंक रेखा गणित**		**17 - 19**
	3.1	प्रस्तावना	17
	3.2	मूलभूत लिंक प्राचल राशियां	17
4.0	**एन्टेना-उपग्रह पृथ्वी लिंक का प्रमुख अवयव**		**20 - 32**
	4.1	प्रस्तावना	20
	4.2	परियोजनाएं	21
	4.3	एन्टेना में प्रगति के सोपान	25
	4.4	भू-स्थिर उपग्रह एन्टेना नई चुनौतियां	28
5.0	**सारांश**		**34**

1.0 उपग्रह संचार की मूलभूत जानकारी

1.1 प्रस्तावना

स्रोत और उपभोक्ता के बीच संचार का अर्थ है माध्यम द्वारा सूचना का आदान-प्रदान। इसमें अंतरिक्ष का माध्यम भी सम्मिलित है । दूरसंचार के मामले में सूचना का यह आदान-प्रदान उपग्रह और भू-केंद्र के बीच सूक्ष्मतंरगीय (माइक्रोवेव) कड़ी स्थापित करके संभव होता है । उपग्रह संचार दो भिन्न तकनीकों का मिश्रण है । वे हैं राकेट विज्ञान और सूक्ष्मतरंगीय अभियांत्रिकी। ये दो तकनीकी शास्त्रों का अधिकतर विकास द्वितीय विश्वयुद्ध के दौरान हुआ । व्यापारिक उपग्रह अर्ली बर्ड की संकल्पना जब सबसे पहले आर्थर सी. क्लार्क ने की थी, तब से 'उपग्रह द्वारा दूरसंचार' की प्रक्रिया 'संचार' शब्द का एक हिस्सा बनी । क्लार्क की इस संकल्पना का यथार्थता में परिवर्तन के लिए आवश्यक था, भू-समकालिक कक्षा में उपग्रहों को प्रक्षेपित करने हेतु राकेट तकनीक का विकास । क्लार्क की कल्पना को साकार करने, इसके उपरांत जरूरी था सौर ऊर्जा संचालित उपग्रह पर सवार उचित उपकरण ।

उपग्रह संचार के जरिये संभव भिन्न उपयोगों की जानकारी के लिये यह जरूरी है कि हम उपग्रह संचार प्रणाली के विभिन्न पहलूओं पर विचार करें । उपग्रह संचार के दो प्रमुख प्रकार हैः (i) अंतरिक्ष प्रभाग और (ii) भूमि-प्रभाग । अंतरिक्ष प्रभाग में समाविष्ट है उपग्रह तथा पृथ्वी पर के वे संसाधन जो उपग्रह को, निर्धारित कक्षीय स्थान पर अपने कार्यकाल तक स्थापित करते हैं अर्थात् उपग्रह, प्रक्षेपणयान एवम् प्रक्षेपक प्रणालियों से संबंधित विभिन्न उपकरण तथा प्रणाली प्रणाली अंतरिक्ष प्रभाग में शामिल है । भूमि प्रभाग में समाविष्ट है प्रेषित्र (ट्रान्समीटर), अभिग्राहक (रिसीवर) और एन्टेना प्रणाली । ये प्रणालियाँ मुख्य रूप से उपग्रह से पृथ्वी तक दोनों दिशाओं में सूक्ष्मतरंगीय संकेतों का वहन करने में उपयोगी है । एन्टेना एक ऐसा प्रमुख अंश है जो साधारणतः भूमि प्रभाग एवम् अंतरिक्ष प्रभाग दोनों में विद्यमान है । एन्टेना विषय के विस्तृत ज्ञान के लिये, हमें प्रसारण के मूल सिद्धांत को समझना होगा ।

1.2 मूल प्रसारण सिद्धांत

यहाँ पर वैद्युत क्षेत्र और ध्रुवणता की परिभाषा और प्रक्रिया से प्रारंभ करते हैं । उपग्रह संचार में भूमि द्वारा उपग्रह से प्राप्त संकेत

की ताकत की गिनती अत्यंत महत्वपूर्ण है । इस प्रक्रिया में शामिल है; (i) उपग्रह से खुले अंतरिक्ष में आता विकिरण, (ii) अंतरिक्ष के द्वारा विद्युत चुंबकीय तरंगों का प्रसार और (iii) भू-केंद्र द्वारा ऊर्जा का अभिग्रहण । विद्युत चुंबकीय तरंगों में ऊर्जा दो स्वरूपों में शामिल होती है । एक है विद्युत (E) और दूसरी चुंबकीय (H) । ये दो क्षेत्र एक दूसरे पर निर्भर है । कोई एक ऊर्जा के स्रोत की वजह से ये तरंगें अंतरिक्ष के माध्यम से प्रसारित होते हैं । ये दो क्षेत्र एक दूजे से समकोणीय यानि 90° के कोण से संबंधित है । पारंपरिक तौर पर, इन तरंगों के तल का ध्रुवण (पोलराईज़ेशन) विद्युत क्षेत्रीय सदिश (वेक्टर) से जुड़ा होता है ।

एन्टेना के माध्यम से, प्रेषित्र से संचार माध्यम और उससे विपरीत, माध्यम से अभिग्राहक तक का ऊर्जा का विनिमय कार्य परिपूर्ण होता है । अनिवार्य रूप से, एन्टेना एक ऐसा विद्युत यंत्र (ट्रान्स्डुसर) है जिसकी अभिकल्पना (डिजाइन) महत्तम ऊर्जा के स्थानांतरण हेतु की गई है । एन्टेना के अंतर्परिवर्तन क्षमता के गुणधर्म की वजह से, इसके गुणधर्मों की गिनती व विश्लेषण प्रसार अथवा ग्रहण इन दोनों प्रकारों में की जाती है । एन्टेना के सबसे महत्वपूर्ण गुणधर्मों की सूची इस प्रकार हैः

- पावर गेइन
- दिशा कुशलता
- कार्यक्षमता
- समतुल्य ध्वनि-तापमान

पावर गेइन

एन्टेना का पावर गेइन इस सूत्र से व्याख्यायित किया गया है ।

$$G(\theta,\Phi) = \frac{4\pi \text{ (दिशा } (\theta,\Phi) \text{ में इकाई ठोस कोण में फैली ऊर्जा)}}{\text{एन्टैना द्वारा स्रोत से स्वीकृत की गई कुल ऊर्जा}}$$

इस सूत्र को सरलता से समझने के लिए आवश्यक है कि आइसोट्रोपिक एन्टेना का मतलब समझें । आइसोट्रोपिक एन्टेना एक ऐसा परिकल्पित साधन है जो ऊर्जा का विकिरण प्रसार सभी दिशाओं में समान मात्रा में करता है । वास्तविकता में ऐसा साधन पाना नामुमकिन है, परंतु यह एक बहुमूल्य सैद्धांतिक संदर्भ का संसाधन है जो व्यावहारिक एन्टेनाओं के गुणधर्मों की तुलना करने

में उपयोगी है। अब हम इसी सूत्र को निम्नलिखित रूप से दर्शाकर बेहतर आकलन कर पाएंगें ।

$$G = \frac{\text{पंसदीदा दिशा में व्यावहारिक एन्टेना द्वारा प्रसारित ऊर्जा शक्ति}}{\text{इसी दिशा में आइसोट्रोपिक एन्टेना द्वारा प्रसारित ऊर्जा शक्ति}}$$

इसकी पूर्व शर्त यह है कि ये दोनों एन्टेना समान ऊर्जा शक्ति के हों ।

व्यापकअ (युनिवर्सल) एन्टेना अचल (स्थिर राशि) $G / A_e = 4 \pi / \lambda^2$

जहाँ G = एन्टेना का पावर गेइन

Ae = एन्टेना का प्रभावशाली क्षेत्रफल

A = एन्टेना का भौतिक क्षेत्रफल

η = कार्यक्षमता

λ = क्रियाशील तरंग लंबाई

$$G = \frac{4\pi Ae}{\lambda^2}$$

$$= \frac{\eta (4\pi A)}{\lambda^2}$$

व्यास D धारक वृत्तीय द्वारक (सर्क्युलर एपरचर) आकृति के लिए;

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$\Rightarrow G = \eta \left(\frac{\pi D}{\lambda}\right)^2$$

यह सूत्र निर्देश करता है कि गेइन दो राशियों पर निर्भर है । एन्टेना का व्यास एवं कार्यशील तरंग लंबाई ।

दिशा कुशलता

दिशा कुशलता वह क्षमता है जो या तो एन्टेना को प्रसार मोड में प्रसारित ऊर्जा को लक्ष्य दिशा में संकेन्द्रित करती है अथवा जो सिग्नल सामान्य या बोर साइट की अक्ष से हटकर प्राप्त किये जाते हैं उन्हें अस्वीकृत कराती हैं ।

सूत्र के रूप में;

दिशा कुशलता

$$D(\theta, \emptyset) = \frac{4\pi \text{ (पसंदीदा दिशा में व्यावहारिक एन्टेना द्वारा प्रसारित ऊर्जा शक्ति)}}{\text{एन्टेना द्वारा प्रसारित कुल ऊर्जा शक्ति}}$$

कार्यक्षमता

विकिरण कार्यक्षमता (η) जो मुख्य रूप से प्रसार मोड से संबंधित है, इसे निम्न सूत्र के जरिये व्याख्यायित किया गया है ।

$$\eta = \frac{\text{एन्टेना द्वारा प्रसारित कुल ऊर्जा शक्ति}}{\text{एन्टेना द्वारा स्रोत से स्वीकृत कुल ऊर्जा शक्ति}}$$

उपार्जन (रिसीव) मोड में आम तौर पर वैकल्पिक अनुपात, कुछ अलग तरीके से पेश आता है जिसे द्वारक कार्यक्षमता (एपरचर एफीशियन्सी) कहते हैं ।

$$\text{द्वारक कार्यक्षमता} = \frac{\text{एन्टेना का प्रभावशाली क्षेत्रफल}}{\text{एन्टेना का भौतिक क्षेत्रफल}}$$

इन दोनों अनुपातों की अनुमानित वास्तविक मात्रा या मूल्य 50 प्रतिशत से 75 प्रतिशत की मर्यादा में है ।

द्वारक कार्यक्षमता, आते हुए तरंगाग्र और एन्टेना के आउटपुट छोर के बीच समाविष्ट सभी प्रकार के व्ययों से प्रभावित होती है । इन व्ययों का व्योरा इस सूची के अनुसार हैः

- द्युति कार्यक्षमता (इल्युमिनेशन)(η_i)
- बाह्य विकिरण (स्पील ओवर) के कारण व्यय ($\eta_{S)}$
- बाधा के कारण व्यय (η_b)
- कोणीय अवस्था में विसंगतता (फेइस डिफरन्स) एवम् सतह तल में क्षति (η_{ps})
- संकेतों का विवर्तन (डिफ्रेक्शन) (η_d)
- ध्रुवीय व्यय (η_{pol})
- बेमेलपन के कारण व्यय (मीस मेच) ($\eta_{m)}$

अतः कुल मिलाकर द्वारक कार्यक्षमता यानि एपरचर एफिशियन्सी

$$\eta = (\eta_i) \times (\eta_{S)} \times (\eta_b) \times (\eta_{ps}) \times (\eta_d) \times (\eta_{pol}) \times (\eta_{m)}$$

समतुल्य ध्वनि तापमान

एन्टेना ध्वनि तापमान, एन्टेना के भिन्न-भिन्न स्वरूपों के व्ययों का योगदान दर्शाता है । तदुपरांत, एन्टेना में प्रवेश करते बाहरी तापध्वनि, ब्रह्माण्डीय ध्वनि, वायुमंडलीय ध्वनि और भूमिगत ध्वनि, इन सब ध्वनियों का प्रभाव भी एन्टेना ध्वनि तापमान को प्रभावित करता है । यहाँ पर ध्वनि शब्द का अर्थ है; सूक्ष्मतरंगीय प्रसारण में बाधा रूप विद्युत चुंबकीय विकिरणों में पाया जाता एक प्रकार का विद्युत आवाज जो आम तौर पर सिग्नल को कमजोर करता है । ब्रह्माण्डीय ध्वनि और वायुमंडलीय ध्वनि को आकाश ध्वनि भी कहा जाता है । आकाश ध्वनि, अभिग्राहक एन्टेना द्वारा ग्रहण किया गया पृष्ठभूमि ध्वनि है । इसका मूल्य अचल नहीं है, बल्कि यह, एन्टेना के एलिवेशन कोण और वायु मंडलीय परिस्थितियों पर निर्भर है । इसी कारण से एन्टेना का ध्वनि तापमान स्वच्छ आकाश वाली परिस्थितियों में, विशिष्ट एलिवेशन कोण में गिना या नापा जाता है । आकाश ध्वनि की वजह कुछ खास परिबलों से उत्पन्न क्षीणन (एटेन्युएशन) है । ये परिबल हैं; (i) वायुमंडल के विभिन्न वायुगण और (ii) वर्षा, बर्फ जैसी घटनाएं जिन्हें हाईड्रोमिटियोर कहते हैं । ये दो प्रवृत्तियां, इसलिये असर करती है कि तरंग अपनी यात्रा के दरमियान इन चीजों से गुजरता है और बदले में अपनी ताकत में कुछ कमियाँ पाता है, जिसे सही अर्थ में क्षीणन कहा गया है। सूक्ष्मतरंगीय आवृत्तियों पर आकाश ध्वनि का अंशदान लगभग 3 अंश केल्विन होता है। अपवाद रूप, रेडियोतारा की ओर जाते तरंगों की दिशाओं के किस्से में यह मात्रा लागू नहीं होती है । किन्तु, 1 GHz से कम आवृत्तियों पर इस ब्रह्माण्डीय ध्वनि का मूल्य अधिक महत्वपूर्ण है ।

इस प्रकार के पृष्ठभूमि ध्वनि (N_o) के ऊर्जा वर्णक्रम घनता (पावर स्पेक्ट्रल डेन्सिटी) और एन्टेना ध्वनि तापमान (T_A), निम्न लिखित सूत्र से संबंधित है ।

$N_o = KT_A$ जहाँ K = बोल्टजमेन अचलांक

भूकेन्द्र का एन्टेना ध्वनि तापमान

जब भू-केंद्र का अभिग्राहक एन्टेना उपग्रह की तरफ देखता है, तब ध्वनि के दो प्रमुख स्रोत असरकर्ता बनते हैं ।

- आकाश की ओर से आती पृष्ठभूमि ध्वनि

- पृथ्वी के अपने विकिरण से उत्पन्न ध्वनि

1 से 15 GHz आवृत्ति की सीमा परिसर में, 5° से अधिक एलिवेशन कोण के लिए, आम तौर पर आकाश से आता हुआ पृष्ठभूमि विकिरण 40 केल्विन से कम मात्रा में होता है । अतिरिक्त पुंज (साइड लोब) के द्वारा प्रवेश पाने वाले पृथ्वी के अपने विकिरण में से प्राप्त ध्वनि का व्यावहारिक मूल्य एन्टेना के नाप पर आधारित है । विशाल केसेग्रेइन परावर्तक एन्टेना में 10 केल्विन और छोटे डिश एन्टेना में अनुमानित 100 केल्विन ध्वनि तापमान हो सकते हैं ।

उपग्रह का ध्वनि तापमान

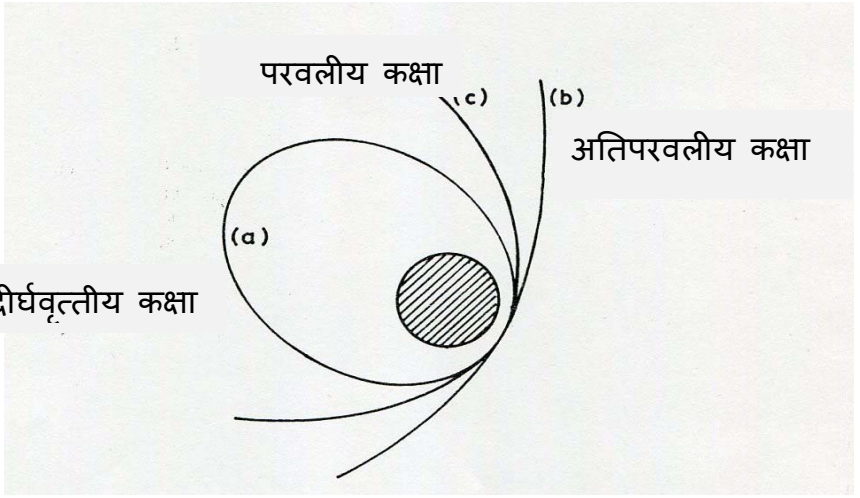
बीम-चौडाई, दृष्टि रेखा कोण तथा उपग्रह की कक्षा का प्रकार । ये तीन प्रमुख निर्णायक अंग है जो उपग्रह के ध्वनि तापमान पर प्रभाव डालते हैं । उपग्रह पर स्थापित अभिग्राहक एन्टेना की बीम चौडाई का मूल्य अगर कोण में नापा जाए, तो यह है; उपग्रह जिस कोण से पृथ्वी की ओर देखता है उस कोण का मूल्य अथवा इससे कम । भू-समकालिक उपग्रह की बीम-चौडाई 17.4° है । एन्टेना का ध्वनि तापमान और पृथ्वी का तापमान समान अर्थात 290 केल्विन हो सकता है । ये आंकड़े आदर्श स्थितियों के लिए हैं । व्यावहारिक मूल्यों में कुछ फर्क स्वाभाविक हैं ।

……..

2.0 उपग्रह कक्षाएं और कक्षीय प्राचल

2.1 प्रस्तावना

दूरसंचार और सुदूर संवेदन जैसे विविध उपयोग क्षेत्रों की परियोजनाओं में, उपग्रह की कार्यशैली के बारे में जानकारी प्राप्त करने के लिए, हमें विषयांकित अनुप्रयोग में समाविष्ट सरल ज्यामिति को समझना पड़ेगा । तब ही, एन्टेना में अंकित क्षति (भूल), झुकाव (टील्ट), पूर्वाग्रह (बायस) इत्यादि राशियों का महत्व आसानी से समझा जा सकता है । भू-अंतरिक्ष त्रिकोणमीति के सामान्य ज्ञान से; भू-केंद्र और उपग्रह एन्टेनाओं के बीच का संबंध, इन एन्टेनाओं के एझीमथ और एलीवेशन कोण और लक्ष्यकारी विशुद्धता (पोइन्टिंग एक्युरसी) के बारे में जानकारी प्राप्त हो सकती है । दूरसंचार प्रणाली में, उपग्रह का प्रयोग अंतरिक्ष के एक पदार्थ की तरह होता है जो पृथ्वी पर के दो बिन्दुओं के बीच संकेतों का आदान-प्रदान कराता है । अंतरिक्ष में यह पथ, दो पदार्थों के द्रव्यमानों के बीच न्यूटन के गुरुत्वाकर्षण सिद्धांतों के तहत निर्धारित होता है । खगोलीय भाषा में इस पदार्थ को पिण्ड भी कहते हैं। एक बिन्दु द्रव्य की गुरुत्वाकर्षण असर के कारण, अंतरिक्ष में दो सामान्य प्रकार के मार्ग संभव है । यह चित्र-1 में दर्शाया गया है । यहाँ (a) दीर्घवृत्ताकार (इलीप्टिक) कक्षा है । कृत्रिम उपग्रह अथवा सूर्य की प्रदक्षिणा करते ग्रहों की कक्षा दीर्घगोलाकार या दीर्घवृत्ताकार होती है । इसी प्रकार (b) एक अति-परवलीय कक्षा है । अन्तरग्राहिय उड़ानों में यह कक्षा विशिष्ट रूप से दिखाई पड़ती है ।



चित्र-1 विभिन्न प्रकार की कक्षाएं

दीर्घवृत्ताकार कक्षा बंद होती है और गतिमान पिण्ड उसे बारंबार पार करता है । अति-परवलीय कक्षा खुली होती है जो अनंत तक फैल सकती है । (c) चित्रित करती है परवलीय या अनुवृत्तीय कक्षा जो खुला वक्रपथ धारण करती है ।

2.2 ग्रहीय गतियाँ

अंतरिक्ष में ग्रहीय गतियाँ केप्लर के तीन मूलभूत नियमों से संचालित होती है । वे केप्लर के ग्रहीय नियमों से जाने जाते हैं । ये तीन नियम निम्नानुसार हैः

(i) प्रत्येक ग्रह, सूर्य की प्रदक्षिणा करते हुए दीर्घवृत्त आकृति अंकित करता है । दीर्घवृत्त में दो नाभिबिन्दु (फोकस) होते हैं । सूर्य इनमें से एक नाभिबिन्दु पर केन्द्रित है ।

(ii) त्रिज्या सदिश (वेक्टर) द्वारा अंकित वृतखण्डीय क्षेत्रफल के चित्रण का दर अचल है ।

(iii) सूर्य की प्रदक्षिणा करते ग्रह के एक परिभ्रमण के परिक्रमण काल के वर्ग का मूल्य, उसकी सूर्य से औसत दूरी के घन के अनुपात में होता है ।

पृथ्वी की प्रदक्षिणा करते उपग्रहों की गति ज्यादातर ग्रहीय गति के समान होती है । इसलिये, उपयुक्त तीन नियम आम तौर पर कृत्रिम उपग्रहों पर भी इतने ही वैध या मान्य है ।

विभिन्न कक्षाओं और उनके रेखागणित को समझने के लिये, हमें निम्नलिखित 6 स्वप्रणाली राशियों की जानकारी लेनी आवश्यक है। इन राशियों को केप्लर के अंश कहते हैं ।

(i) अर्ध गुरु अक्ष 'a' और अर्ध लघु अक्ष 'b' ।
ये दो अक्षों से कक्षा का नाप व्याख्यायित होता है ।

(ii) उत्केन्द्रता 'e' (एक्सेन्ट्रीसिटी)
यह नाप कक्षा का आकार दर्शाता है ।

(iii) झुकाव 'z' (इन्क्लीनेशन)
यह कक्षीय तल और भू-मध्यवर्ती तल के बीच का कोण है । दक्षिण से उत्तर में भू-मध्यरेखा को पार करने वाले बिन्दु पर यह उल्टी घड़ी की सुई की दिशा में नापा जाता है । पार करनेवाले बिन्दु को उदीयमान बिन्दु (एसेन्डींग नोड) कहा जाता है । इसकी सीमा 0° से 180° तक की है ।

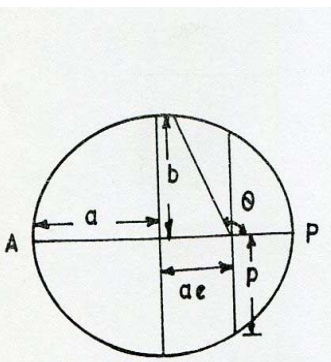
(iv) उदीयमान बिन्दु का देशांतर 'Ω' (लोन्गीट्युड ऑफ एसन्डींग नोड)
यह, महाविषुव (वर्नल इक्वीनोक्ष) की दिशा से उदीयमान बिन्दु की दिशा तक भू-मध्यवर्ती तल पर नापा गया कोण है । घड़ी की सुई की उल्टी दिशा में दर्शाया गया यह कोण 0° से 360° की सीमा में रहता है ।

(v) आर्ग्युमेन्ट ऑफ पेरीजी 'ω'
यह, उपग्रह की गति की दिशा में, उपग्रह के कक्षीय तल में नापा गया कोण है । यह कोण उदीयमान बिन्दु तथा पेरिजी की दिशा के बीच का है । इस कोण का मूल्य फैलाव 0° से 360° तक का है ।

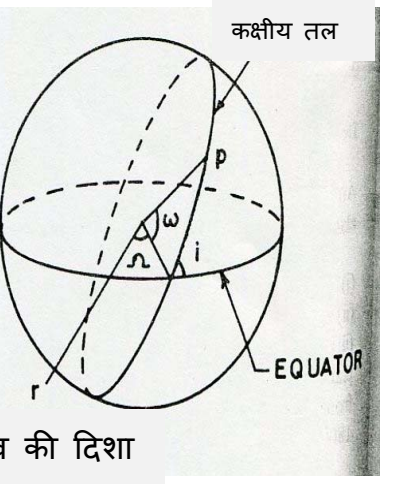
यहां पर पेरिजी और एपोजी शब्दों के अर्थ समझना अति आवश्यक है । पेरिजी का अर्थ है, कक्षा पर का वह बिन्दु जहां से पृथ्वी की दूरी न्यूनतम है । अर्थात् पेरिजी पर स्थित उपग्रह पृथ्वी से निकटतम है । इससे विपरित एपोजी का मतलब है कि वह बिन्दु पृथ्वी से अधिकतम अन्तर पर है ।

(v) पेरिजी गमन का समय 'tp'

पेरिजी गमन समय वह समय है जब उपग्रह निकटतम बिन्दु पर था । यह 6 राशियाँ चित्र 2 एवम् 3 में रेखित की है ।



चित्र -2 केप्लर के अंश



चित्र-3 केप्लर के अंश

2.3 कक्षाओं के गुणधर्म

अंतरिक्ष के संदर्भ में, कक्षा दो पिण्डीय गति का मार्ग है । जिसमें द्वितीयक (अप्रधान) पिण्ड सदैव प्रधान पिण्ड के प्रभाव में रहता है । द्वितीयक पिण्ड का द्रव्यमान प्रधान पदार्थ की तुलना में नगण्य (मामूली) होता है । साधारणतया, अंतरिक्ष में कक्षा निम्नलिखित विशेषताएं धारण करती है ।

1. संभव मार्ग सिर्फ शंकुरूप काट (कोनिक सेक्सन) है । शंकुरूप काट के चार उदाहरण है।
   वृत्त (परिधि), दीर्घवृत्त, अनुवृत्त (परवलय) और अति-परवलय ।
2. शंकुरूप काट का नाभि बिन्दु हमेशा केन्द्रस्थ पिण्ड के केन्द्रबिन्दु पर होना चाहिए ।
3. गति के दौरान कक्षा में, उपग्रह की कुल गतिज और स्थितिज शक्ति का मूल्य अपरिवर्तनशील होता है ।
4. कक्षीय गति हर हालत में समान तल में होती है ।
5. कक्षा में उपग्रह का कोणीय गतिबल अपरिवर्तनशील है ।

कक्षीय गति से संलग्न प्रयुक्त शब्दावली

कक्षीय कालः प्रधान पिण्ड की एक प्रदक्षिणा करने के लिए उपग्रह द्वारा लिया गया समय । यह अवधि मूल पदार्थ के द्रव्यमान तथा कक्षा के नाप पर निर्भर है ।

सूत्र के रूप में; $P = 2\pi\sqrt{\frac{a3}{GM}}$

जहाँ, a = कक्षा का अर्ध गुरू अक्ष

G = गुरुत्वाकर्षण अचलांक

M = प्रधान पिण्ड का द्रव्यमान (पृथ्वी का द्रव्यमान)

पृथ्वी के किस्से में, GM का मूल्य 398601 Km^3/Sec^2 है ।

इस सूत्र से स्पष्ट होता है कि कम ऊँचाई की कक्षा का कक्षीय काल कम है, हालांकि ऊँची कक्षा में कक्षीय अवधि अधिकतर है ।

कक्षीय वेगः अपने आपको कक्षा में बनाए रखने के लिए उपग्रह को चाहिये कि वह वेग में रहे । वृत्तीय कक्षा में वेग का मूल्य अपरिवर्तनशील है; और इसका मूल्य का अचल रहना निम्न दर्शित सूत्र से स्पष्ट होता है ।

$V = \frac{GM}{r}$ जहाँ V= कक्षीय वेग, r = कक्षा की त्रिज्या है ।

G, M और r अचलांक होने से, V भी अचलांक बन जाता है । इसी प्रकार यह भी स्पष्ट होता है कि, निचली कक्षा के लिए वेग ज्यादा होता है और ऊपरी कक्षा में कम । दीर्घवृत्तीय कक्षा में वेग की निर्भरता है पदार्थ की केन्द्र से दूरी पर । पेरिजी पर वेग महत्तम है और एपोजी पर न्यूनतम ।

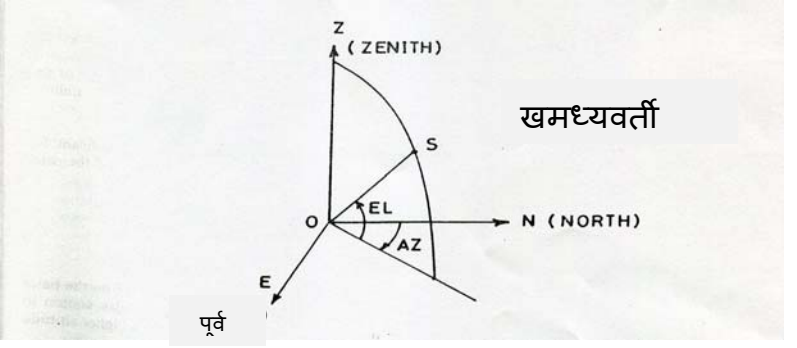
सब-सेटेलाइट पॉइन्टः अगर हम उपग्रह और पृथ्वी दोनों के केन्द्रों को जोडें और एक सुरेखा बनाएं तो पृथ्वी के जिस बिन्दु पर यह सुरेखा टकराती है उस बिन्दु को सब-सेटेलाइट पॉइन्ट कहते हैं । इसका नामकरण 'उप-उपग्रह बिन्दु' भी हो सकता है । यहाँ पर पृथ्वी को घन गोलाकार माना गया है ।

कक्षा का भू-अनुरेख (ग्राउन्ड ट्रैक): जैसे-जैसे उपग्रह अपनी कक्षा में आगे बढ़ता है, उप-उपग्रह बिन्दु भी अपना मार्ग पकड़ता है। इस मार्ग को कक्षा का भू-अनुरेख कह सकते हैं ।

उपग्रह की ओर के संकेत कोणः (एझीमथ एवम् एलीवेशन)

उपग्रह के जरिये संचार प्रक्रिया के लिये आवश्यक है इसकी तरफ की संकेत दिशा जानना । स्थल केन्द्रिक (टोपोसेन्ट्रीक) प्रणाली में, संकेत दिशा दो कोणों से निर्धारित होती है । ये संकेतकोण या लुक एंगल से जाने जाते हैं । क्षितिज पद्धति के अंतर्गत, ये दो कोण है;

एझीमथ और एलीवेशन । निरीक्षक के क्षितिज में, असली उत्तर की दिशा से क्षितिज पर लिये गये उपग्रह के लंबित प्रक्षेपण (प्रोजेक्शन) तक के कोण को एजीमथ कोण कहते हैं । इस कोण की सीमा 0° से 360° की है । एलीवेशन कोण, क्षितिज तल से उपग्रह की दिशा तक नापा गया कोण है । यहाँ पर उपग्रह को लम्बवत (वर्टिकल) तल में होने की पूर्वधारणा की गई है । एलीवेशन कोण की मर्यादा -90° से + 90°तक होती है ।



चित्र-4 उपग्रह तरफी कोण

2.4 कक्षाओं के प्रकार

अंतरिक्ष में प्रस्थापित प्रत्येक उपग्रह के साथ विशेष कार्य लक्ष्य (मिशन) जुड़ा होता है । इन कार्यलक्ष्यों की आवश्यकताओं के अनुरूप, विभिन्न कक्षाओं का चयन होता है । उदाहरण के तौर पर, दूरसंचार उपग्रह अंतरिक्ष में एक प्रसारण केंद्र की तरह कार्य करता है । इसलिये, यह जरूरी है कि उपग्रह एक ही समय पर पृथ्वी पर के भिन्न-भिन्न स्थानों से दृश्यमान हो। अतः यहाँ, अधिक ऊँचाईयुक्त कक्षा उचित है । इसी प्रकार, भूमि निरीक्षण उपग्रह को पृथ्वी के सभी ठिकानों पर से गुजरना आवश्यक है । अतः ज्यादा झुकाव क्षमता धारक, कम ऊँची कक्षा बेहतर है । कार्यलक्ष्य के अनुसार आवश्यकताओं के उपरांत, कुछ ओर घटक है जो कक्षा के चयन में महत्वपूर्ण योगदान देते हैं। ये घटक निम्नलिखित हैः

- वांछित कक्षा पर उपग्रह को प्रक्षेपित करने की तकनीक
- कक्षा को चलाने और इसके रखरखाव की क्षमता
- कक्षा संचालन में आर्थिक मितव्ययता (धन का कौशल्य से उपयोग)
- सामाजिक तथा राजनैतिक सरोकार

चंद जानी मानी कक्षाओं का ब्योरा यहाँ दिया हैः

भू-स्थिर कक्षा

भूस्थिर कक्षा की संकल्पना प्रथम बार ब्रिटेन के वैज्ञानिक आर्थर सी. क्लार्क ने 1945 में की थी । उसने पृथ्वी की सतह से 36000 कि.मी. ऊपर स्थित 3 उपग्रहों की एक व्यवस्था का प्रस्ताव रखा । प्रसारण केन्द्र समान ये तीन उपग्रह भू-मध्य रेखा पर समान अन्तर पर होने की परिकल्पना की थी । (चित्र-5) इस ऊँचाई पर, पृथ्वी का और उपग्रह का, दोनों का एक प्रदक्षिणा करने का समय समान होता है । अर्थात् कक्षीय काल समान होते हैं । इसी कारण से, पृथ्वी की सतह पर स्थित कोई भी बिन्दु पर से, उपग्रह स्थिर दिखाई पड़ता है । एक आदर्श भू-स्थिर कक्षा की प्रमुख आवश्यकताएं इस प्रकार हैः

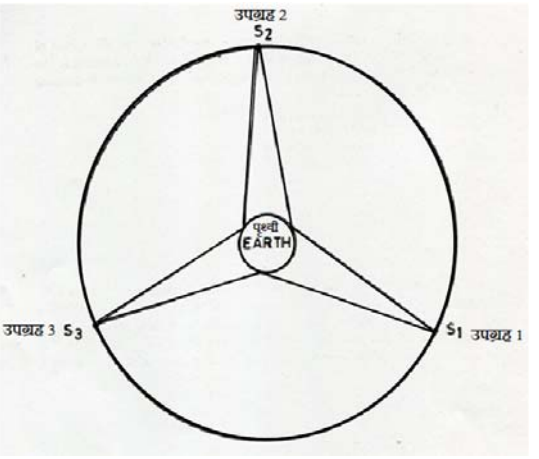
(i) कक्षा भू-मध्यवर्ती होनी चाहिए; यानि i = 0

(ii) कक्षा वृत्तीय होनी चाहिये; यानि e = 0

(iii) कक्षीय काल = एक ताराकीय दिवस (साइडीरीयल डे) = 23 घण्टा 56 मिनट 04 सेकेन्ड (23 Hr 56 Min 04 Sec.)

यहाँ पर ताराकीय दिवस का अर्थघटन जरूरी है । यह एक समय का नाप है जो कोई एक तारे के संदर्भ में पृथ्वी को एक परिभ्रमण करने में लगता है । चूंकि कक्षीय काल, कक्षा की त्रिज्या से संबंधित है, त्रिज्या के मूल्य की जानकारी आवश्यक है । पृथ्वी के संदर्भ में यह त्रिज्या 42164 कि.मी. है । यह भू-समकालिक त्रिज्या के नाम से प्रचलित है ।

भू-स्थिर कक्षा के प्रयोग और उपयोग दूरसंचार, डाटासंचार, मौसमविज्ञान, उपग्रह लक्ष्यानुसारण (ट्रेकिंग) इत्यादि कार्यक्षेत्रों के लिए होते हैं । वर्तमान में, सैंकडों उपग्रह भू-स्थिर वृत्तांश में विद्यमान है और उक्त सेवाओं में मिशन अनुसार कार्य करते हैं । भारतीय उपग्रहों में इन्सेट और जीसेट श्रेणी के सेटेलाइट इस प्रकार की कक्षा वर्ग में सम्मिलित है । भू-स्थिर कक्षीय इन उपग्रहों का कक्षीय स्थान 74° पूर्व से 93.5° पूर्व के बीच में अलग-अलग जगहों पर है ।



चित्र-5: संपूर्ण भू-मंडलीय व्याप्ति के लिए आवश्यक तीन उपग्रह

सूर्य-तुल्यकालिक कक्षा

भूमि-निरीक्षण योजनाओं में, पृथ्वी स्थित स्थानों की फोटोग्राफी एक ही स्थानिय समय पर लेना जरूरी है ताकि बदलाव की तुलना प्रतिदिन हो सकती है । यह कार्य, उपग्रह को सूर्य-तुल्यकालिक कक्षा में प्रस्थापित करके किया जाता है । इस कक्षा में झुकाव 90° से थोड़ा ज्यादा होता है । कक्षा के तल में पृथ्वी और सूर्य दोनों समाविष्ट है । इस कक्षा में, सूर्य द्वारा प्रकाशित भुजा पर स्थानिय मध्याह्न के आसपास, और अंधेरी दिशा पर स्थानिय मध्य रात्रि के आसपास उपग्रह भू-मध्य रेखा को पार करता है । पृथ्वी 15° प्रति घण्टे के दर से प्रदक्षिणा करती है । उपग्रह की कक्षा अंतरिक्ष में स्थायी स्वरूप में है; इसका मतलब है कि, पृथ्वी का चित्रीकरण हर पल एक ही सूर्यकोण में हो सकता है । दूसरे तरीके से समझें तो सूर्य के सापेक्ष में, उपग्रह की कक्षीय गति शून्यवत् है । फिर भी, पृथ्वी सूर्य के आसपास एक पूरा चक्कर यानि 360° घूमने के लिए 365 दिन लगाती है । अर्थात्, हर एक समय, एक ही सूर्य कोण बनाए रखने के लिए कक्षीय तल को 360/365 = 0.9856° प्रतिदिन घूमना पडेगा । पृथ्वी की सपटता (ओब्लेइटनेस) नाभिओं की टेढी कताई (प्रेसीसन ऑफ नोड्स) जैसी प्रक्रिया को जन्म देती है । टेढ़ी कताई का सही अर्थघटन करें तो, जैसे एक लट्टू जमीन पर 90° न होते कुछ कोण बनाके टेढ़ा घूमता है । अगर उपग्रह एकदम सही कक्षा में है, तो भूमध्यवर्ती उभार (बल्ज) की वजह से, कक्षा में, नाभिकीय टेढ़ी कताई के मूल्य का मोड़ आएगा । कक्षा संबंधित दो महत्वपूर्ण मापदण्ड है; (i) अर्ध-गुरु अक्ष तथा (ii) झुकाव ।

सूर्य तुल्यकालिक कक्षा वाले मिशन के लिए सर्वोत्कृष्ट ऊँचाई लगभग 900 कि.मी. है । कक्षा गणित में एक सर्वमान्य नियम है कि अधिक ऊँचाई से विश्लेषण या विभेदन (रिज़ोल्यूशन) में कमजोरी जबकि निम्न कक्षा से उपग्रह की आयु में क्षीणन होती है। संचालक सूत्र है;

$$\frac{\Omega}{\text{दिवस}} = 0.9856^\circ$$

IRS सिरीज के सेटेलाइट्स और कार्टोसेट जैसे प्रचलित तथा कार्यशील भारतीय उपग्रह प्रणालियाँ, सूर्य तुल्यकालिक उपग्रहों की श्रेणियों में समाविष्ट है ।

ध्रुवीय कक्षाः

ये ऐसी कक्षाएं हैं जिनका झुकाव 90° है ताकि वे प्रत्येक बार ध्रुवों के ऊपर से गुजरती है । इस वर्ग की कक्षाएं दिशाज्ञान हेतु इस्तेमाल किये जाते संक्रमण (ट्रान्सीट) उपग्रहों में होती है। ध्रुवीय कक्षा की ऊँचाई 1100 कि.मी. और कक्षीय काल 108 मिनट है । भू-विज्ञान तथा मौसम विज्ञान संबंधित उपग्रह इस वर्ग में शामिल है ।

मध्यवर्ती वृत्तीय कक्षा (इन्टरमीडियेट सर्कयुलर ओरबीट – ICO):

मध्यवर्ती वृत्तीय कक्षा (ICO) अथवा मध्य-भूमि-कक्षा (MEO); अधिक ऊँचाई धारक झुकी हुई वृत्तीय कक्षाएं हैं जो दिशाज्ञान और दूरसंचार कार्यक्षेत्रों में इस्तेमाल होती है । इन सेवाओं को पाने के लिए विस्तृत क्षेत्र और पृथ्वी के दूरगामी भागों से दृष्टिगोचरता अतिआवश्यक है । ग्लोबल पोजिशनिंग सिस्टम यानि GPS, इस वर्ग में समाविष्ट है । 20,000 किमी तक की ऊँचाई की सीमा में प्रदक्षिणा करते उपग्रहों का एक समूह GPS प्रणाली का प्रमुख आयाम है । भारतीय अंतरिक्ष परियोजना के अंतर्गत IRNSS उपग्रह इस दिशाज्ञान हेतु का समाधान करते हैं । आइ.आर.एन.एस.एस. उपग्रह प्रणाली मध्यवर्ती वृत्तीय कक्षा द्वारा संचालित है । वर्तमान में, अन्तर-उपग्रह कडी प्रस्तावित करके, आने वाले दिनों में GPS तथा संपूर्ण दिशाज्ञान के चित्र को पुख्ता करने की दिशा में संशोधन कार्य जारी है ।

निम्न भू कक्षा

समकालिन व्यवस्था में, भूस्थिर कक्षा से हट कर, निम्न भू कक्षा का प्रयोग मोबाइल दूरसंचार के क्षेत्र में बढ़ चढ़ कर किया जाता है । इसका कारण है कि, तकनीक की तरक्की की वजह से, अब उपग्रह को ज्यादा जटिल या पैचीदा बनाना मुमकिन हुआ है । तदुपरांत भू-टर्मिनल अधिकतर सरल और सुवाह्य (पोर्टेबल) बन सकते हैं जो आर्थिक रूप से उचित है ।

इसके अलावा, निम्न भू कक्षा का उपयोग कूटनीतिक टोह (सैनिक सर्वेक्षण), भू-भाग प्रतिचित्रण (टेरेइन मेपींग), मानचित्रीकरण, वैज्ञानिक अनुसंधान तथा मानवयुक्त अंतरिक्ष मिशनों जैसे महत्वपूर्ण कार्यों में किया जाता है । इसमें आदर्श ऊँचाई 200 से 500 किमी के बीच होती है । मानवयुक्त अंतरिक्ष मिशनों के लिए आवश्यकता है सर्वाधिक सुरक्षा और संरक्षा की । इसके कारण अंतरिक्षयान का वजन और आर्थिक खर्च एकदम बढ़ जाते हैं । खर्च कम करने हेतु, इन कक्षाओं को कम अवधि की कार्ययोजनाओं में नियोजित की जाती है। हो सकता है कि ऐसे मिशन केवल थोड़े हफ्तों के लिए आयोजित हों ।

3.0 उपग्रह-पृथ्वी लिंक रेखागणित

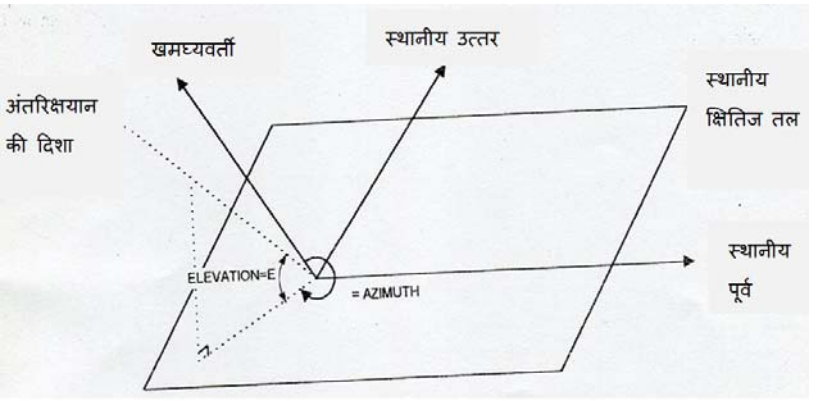
3.1 प्रस्तावना

उपग्रह और पृथ्वी के बीच साझेदारी में एक खास संबंध होता है । इस संबंध को महसूस करने के लिए कक्षा का ज्ञान अनिवार्य है । हालांकि अगले अध्याय में कक्षा के विषय में जानकारी प्रस्तुत की गई है, इतना ही महत्वपूर्ण है अक्ष प्रणाली और लिंक प्राचल राशि के विषयों में ज्ञान। इसका संज्ञान, इन दो ब्रह्माण्डीय पदार्थों के बीच संचार प्रक्रिया के मूलभूत सिद्धांतों को समझने में सहायक होगा । यहाँ पर 'संचार' शब्द का अर्थ व्यापक स्वरूप में है जिसका अर्थ है इस लिंक से अभिप्राप्त कोई भी उपयोग क्षेत्र । उदाहरण के तौर पर दूरसंचार, सुदूर संवेदन, दिशाज्ञान, अन्तरग्रहीय कार्रवाई इत्यादि में से एक या ज्यादा किसी भी उपयोग के प्रकार को मोटे तौर 'संचार' कह सकते हैं । मूलभूत लिंक प्राचलों (मापदण्डों) को समझना आवश्यक है। इन प्राचलों की सरल व्याख्या तथा रेखागणित के माध्यम से एझीमथ, एलीवेशन, भूमि उपग्रह दूरी इत्यादि शब्दावलियों की मजबूत दिमागी पकड आ सकती है ।

3.2 मूलभूत लिंक प्राचल (मापदण्ड)

दिशा कोण और भू-उपग्रह दूरी स्थल केन्द्रिक गोलाकार प्रणाली का प्रयोग, आम तौर पर उपग्रह की दूरी और एन्टेना के दिशाकोण एझीमथ तथा एलीवेशन का निर्धारण करने हेतु किया जाता है । भू-केंद्र उपग्रह को जोडती सुरेखा और क्षितिज तल के बीच के कोण को एलीवेशन कोण कहा जाता है । इसी प्रकार, भू-केंद्र-उपग्रह को जोडती सुरेखा का क्षितिज तल पर खींचे गये प्रोजेक्शन (लंबित रेखा) की दिशा सूचित करता है एझीमथ कोण । यह कोण स्थानिय उत्तर दिशा से घड़ी की सुई की दिशा में गिना जाता है ।

चित्र-6 में स्थल केन्द्रिक अक्ष व्यवस्था (टोपोसेन्ट्रीक को-ओर्डिनेट सिस्टम) में भू-केंद्र एझीमथ तथा एलीवेशन कोण प्रदर्शित किये हैं।



चित्र-6 – भू-केंद्र के एझीमथ एवम् एलीवेशन कोण

चित्र 7 की त्रिकोणमितीय आकृति की सहाय से भू-केंद्र एन्टेना और उपग्रह के बीच का अन्तर (भू-उपग्रह दूरी) मूल्यांकित किया जाता है । इस गिनती में पूर्वधारणा है कि भू-केंद्र तथा उप-उपग्रह बिंदु (सब-सेटेलाइट पोइन्ट) दोनों के देशान्तर एक समान है । भू-उपग्रह दूरी (स्लान्ट रेंज)

$R= [r_e^2 + (h + r_e)^2 – 2\ r_e\ (h + re)\ \cos\Theta]^{\frac{1}{2}}$

यहाँ पर

R= भू-उपग्रह दूरी

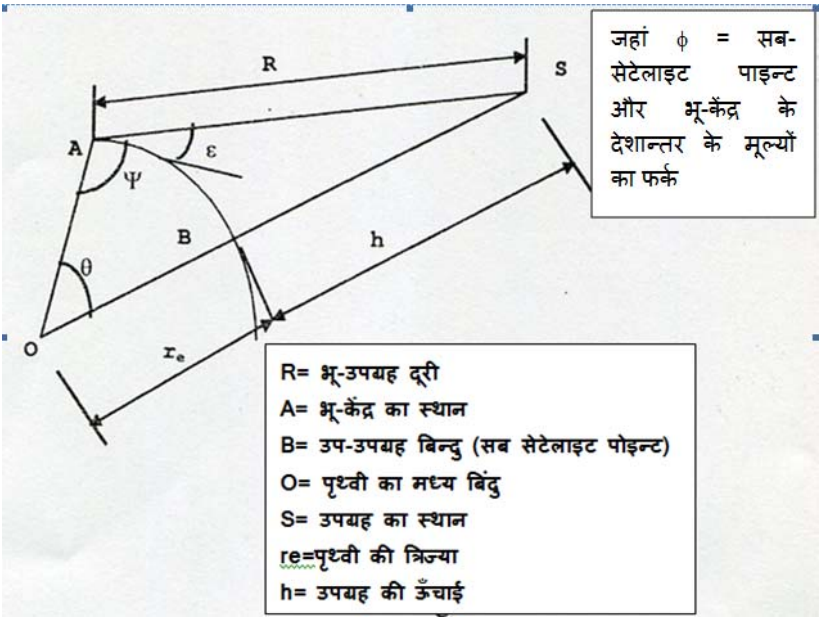
Re= पृथ्वी की त्रिज्या (6378 किमी)

h= उपग्रह की ऊँचाई = 37786 कि.मी.

(यहाँ पर ऊँचाई का अर्थ है, उप-उपग्रह बिंदु से उपग्रह का अन्तर)

θ = भू-केंद्र का अक्षांश

अगर भू-केंद्र और सब-सेटेलाइट पोइन्ट एक भू-मध्य रेखा (मेरिडियन) पर नहीं है अर्थात् अगर दोनों के देशान्तर भिन्न है, फिर भी इसी समीकरण से 'R' गिन सकते हैं । इस मामले में, COS θ के स्थान पर COSZ= cos θ x cos ϕ लग जाएगा ।



चित्र-7 – भू-केंद्र और सेटेलाइट की भू-उपग्रह दूरी का रेखा गणित

एलिवेशनः एलिवेशन कोण ε भू-केंद्र पर क्षितिज समांतर से उपग्रह तक का कोण है; ε का मूल्य हैं, $\varepsilon = \psi - 90$ । चित्र 7 की रेखागणित आकृति की सहाय से निम्नलिखित समीकरण से एलि वेशन कोण निकाला जा सकता है ।

$(h + r_e)^2 = R^2 + r_e^2 - 2r_eR.\cos\psi$ यहाँ पर h, r_e और R ज्ञात है, अतः ψ का मूल्य निकाल सकते हैं । और आगे (ψ – 90) = ε । इस प्रकार एलिवेशन कोण प्राप्त होता है ।

एझीमथः भू-अंतरिक्ष सुरेखा का एझीमथ कोण

$\cos \propto = \tan\theta \cot Z.$

सब-सेटेलाइट पोइन्ट की पूरब में स्थित भू-केंद्र का एझीमथ कोण $(180+\propto)°$ है जबकि, इससे विपरित, पश्चिम स्थित भू-केंद्र का एझीमथ कोण $(180-\propto)°$ है । जैसे कि आगे कहा गया है, एझीमथ कोण सदैव स्थानिय उत्तर दिशा में नापा जाता है ।

4.0 एन्टेना- उपग्रह-पृथ्वी की कड़ी का प्रमुख अवयव

4.1 प्रस्तावना

एन्टेना, मूल रूप से एक ऐसा साधन है जो दृष्टि रेखा को लक्ष्य की ओर जोड़ने में काम आता है । यह दृष्टि रेखा भू-प्रणाली से उपग्रह या इससे विपरित उपग्रह से भू-प्रणाली हो सकती है। दोनों प्रणालियों में एन्टेना सबसे अधिक स्पष्ट घटक है यानि दृश्यमान है । संयोग से वे दोनों ट्रान्समीट और रिसीव प्रणालियों में अंतिम घटक के रूप में जुड़े होते हैं । अर्थात् रिसीव और ट्रान्समीट श्रृंखलाओं का प्रारंभ और अंत एन्टेना परावर्तक (रिफ्लेक्टर) पर होता है । सरलता हेतु लोकप्रियता के कारण यहाँ पर रिफ्लेक्टर, ट्रान्समीट, रिसीव, फीड, एलाइनमेन्ट, आरएमएस, डिज़ाइन, डीश इत्यादि शब्दों का प्रयोग किया गया है । एन्टेना कितनी सरलता से और कितने सही ढंग से दृष्टि रेखा को लक्ष्य की ओर पथ दिखा सकता है, इसकी निर्भरता है एन्टेना प्रणाली में समाविष्ट व्यावहारिक आवश्यकताएं और रचना प्रणाली की डिज़ाइन पर । एन्टेना डीश की आरएमएस अंक में दर्शित सतह विशुद्धता (सरफेइस एक्युरसी) एन्टेना के उपलब्धि स्तरों को निर्धारित करती है । भूमि एवम् अंतरिक्ष एन्टेनाओं में निम्नलिखित राशियाँ इनकी उपलब्धि मापदण्डों के संचालन या नियंत्रण करने में प्रमुख भूमिका अदा करते हैं ।

- रिफ्लेक्टर डीश की सतह विशुद्धता आरएमएस अंक में
- फीड, सब डिश, मुख्य डिश इत्यादि की विशुद्धता
- एन्टेना एलाइनमेन्ट
- अचल पाथ संबंध
- एन्टेना का प्रकाश विज्ञान
- विक्षेपण, झुकाव इत्यादि वास्तविकताएं
- सूक्ष्म तरंगों में रूकावट
- गतिशील घटकों का गतिविज्ञान
- कन्ट्रोल यंत्र विन्यास...इत्यादि....

भू-केंद्र-उपग्रह की इस कड़ी में से, यहाँ पर अंतरिक्ष एन्टेना का विवरण, संलग्न मिशन के परिप्रेक्ष्य में दिया गया है ।

अंतरिक्ष एन्टेना उप-प्रणाली, कई विशिष्ट तकनीकों के साथ जुड़ी है और इनका प्रयोग विभिन्न कार्यक्षेत्रों के मिशनों में होता है । उदाहरण के तौर पर, भूमि-अवलोकन, टेली-संचार, दिशाज्ञान और

वैज्ञानिक संशोधन । तदुपरांत, एन्टेना उपप्रणाली, डाटा डाउन-लिंकिंग तथा टेलिमेट्री व टेलीकमान्ड जैसे कार्यों में महत्वपूर्ण योगदान करती है । किसी भी उपग्रह प्रणाली की डिज़ाइन में, एन्टेना के उपलब्धि प्रदर्शन में बेहतरी लाना, एक प्रमुख मुद्दा होना चाहिये । विभिन्न उपयोग और आवश्यकताओं की विविधताओं से कदम ताल मिलाने के लिए एन्टेना तकनीकों में निरन्तर विचार मंथन समय की मांग है ।

4.2 मिशन (परियोजनाएं)

भूमि अवलोकन (अर्थ ओब्जर्वेशन- EO):

विगत और वर्तमान के कई मिशनों का आशय, वैज्ञानिक, सामाजिक, कूटनीतिज्ञ और व्यापारिक उपभोक्ता समुदायों के लिये उच्च गुणतायुक्त डाटा मुहय्या कराना है । भारत वर्ष की कुछ चुनंदी भूमि-अवलोकन से जुड़ी परियोजनाओं में शामिल हैं; भास्कर, आइआरएस, एमएसएमआर, रीसेट-1, कार्टोसेट-1, मेघा-ट्रॉपिक्स इत्यादि । इन परियोजनाओं से प्राप्त उपयोगों की सूची कुछ इस प्रकार हैः मौसम पूर्वानुमान एवम् अवलोकन, वायुमंडलीय रसायन विज्ञान, समुद्रविज्ञान, ठोस भू-स्थलाकृति, प्रतिचित्रण तकनीक, समुद्री बर्फ का आकलन, कृषिविज्ञान, भू-संपदा सर्वेक्षण, पर्यावरण विज्ञान, वन अवलोकन, नवीकरणीय स्रोतों का अभ्यास, वैश्विक तापन समस्या विचार जैसे महत्वपूर्ण विषयों पर वैज्ञानिक प्रयोग होते हैं । परियोजनाओं की अपनी विशिष्टताओं के अनुसार इन विषयों पर कार्य होते हैं । उदाहरण के तौर पर कार्टोसेट परियोजना के अंतर्गत प्रतिचित्रण तकनीक, वन अवलोकन, ठोस भू-स्थलाकृति इत्यादि विषयों पर निरीक्षण, संशोधन, आकलन, संश्लेषण, विश्लेषण, अधिसूचन इत्यादि महत्वपूर्ण कार्य होते हैं । भूमि-अवलोकन मिशन (EO) के लिए आवश्यक है, i) विविधतापूर्ण अर्थात अनेक विकल्पों वाली एन्टेना संरूपण (कन्फीग्युरेशन), (ii) क्रियाकलाप के अनुसार तरंग-आवृत्तियों की विविधताओं का समाधान करते संसाधन/उपकरण और (iii) इन विविधताओं का अमल करने, तकनीकों का विकास । विविधताओं का कारण है कि ये एन्टेना या तो इलेक्ट्रानिक या ऑप्टिकल प्रणाली के घटक है, अथवा वे इन सिस्टमों के साथ समन्वित है । इलेक्ट्रानिक और ऑप्टिकल साधनों की सूची इस प्रकार है । प्रचलित रूप में दर्शाने हेतु, इनके अंग्रेजी नामों का शब्द प्रयोग

किया है । EO मिशन के प्रयोगों में उपयोगी भारत में डिज़ाइन किये गये कुछ इलेक्ट्रो-ऑप्टिकल उपकरण इस प्रकार हैः

आल्टिमीटर, साउन्डर्स, इमेजर्स, स्केट्रोमीटर्स, रेडियो मिटर्स, पैनकैमरा, सिन्थेटिक एपरचर रडार (SAR), एटमोस्फेरिक रडार, एयरबोर्न सेटेलाइट्स, इन्टरफेरोमिटर्स, माइक्रोवेईव ओकलटेशन इन्स्ट्रुमेन्ट्स इत्यादि । उपभोक्ता डाटा डाउन लिंक, खोज एवं बचाव कार्य (सर्च एंड रेस्क्यु), डाटा संग्रह प्रणाली इत्यादि कार्यक्षेत्रों में संतोषजनक प्रगति हुई है । इन उपलब्धियों का मुख्य कारण उच्च तकनीक से परिकल्पित एन्टेना प्रणालियाँ हैं जो आवश्यकताओं के साथ-साथ समयान्तर पर बदलती रहती है । उदाहरण के तौर पर L बैन्ड, UHF और VHF में कार्यरत क्वाड्री फीलर कुण्डलाकार (हेलिक्ष) एन्टेना । भारत में उपग्रह संचार में विभिन्न आवृत्ति बैन्डों में इस प्रकार के कुण्डलाकार तथा सपाट एन्टेना भी विकसित हो रहे हैं, जो परवलयाकार के एन्टेनाओं के साथ कदम मिलाते हुए इस क्षेत्र में क्रांति ला सकते हैं ।

वर्तमान में संश्लेषित द्वारक रडार (सिन्थेटिक एपरचर रडार – SAR) यानि एक प्रकार का रडार आल्टीमिटर है जो किरण बाधकता के सिद्धांत (इन्टरफेरोमिति) पर कार्य करता है, पर संशोधन कामकाज जारी है । ट्रैक के साथ-साथ में SAR गुणधर्मों के काम में लगाकर, तथा ट्रैक को पार करती दिशा में किरणबाधकता के सिद्धांत के जरिये इन साधनों में से अच्छी गुणवत्तायुक्त विशिष्ट विभेदन (स्पेशियल रिज़ोल्यूशन) हांसिल किया जाता है । SAR के माध्यम से इसी भौतिक विज्ञान का उपयोग करके समुद्र में तैरने वाले बर्फ की मोटाई नापी जा सकती है । किरण-बाधकता मापन कार्य के लिये, वास्तविक किरणबाधक आधाररेखा पद्धति का ठोस ज्ञान जरूरी है । 'इन्टरफेरोमेट्रिक' यानि किरण बाधकता के इस सिद्धान्त से एक चाप-सेकेन्ड के हजारों भाग के बराबर के मूल्य की मापन शुद्धता प्राप्त होती है ।

एन्टेना के प्राचलों (पेरामिटर्स) को क्षति रहित अवस्था में प्राप्त कर के, हम भूमि-अध्ययन के सभी आयामों पर सफलतापूर्वक संशोधन कार्य कर सकते हैं । अतः यह अति आवश्यक है कि एन्टेना पूर्ण रूप से संतुलित, विचलन रहित, विशुद्ध मापन क्षमता युक्त और कम से कम ताप-स्थीति स्थापक (थर्मो इलास्टिक) असरयुक्त

होना चाहिये । समकालिन संशोधनों में L-बैन्ड एन्टेना के उपयोग से दो प्रमुख परिस्थितियों पर अभ्यास जारी है । पृथ्वी की ये दो निरंतर परिवर्तनशील वास्तविकता है; जमीन पर मिट्टी में नमी और समुद्र में खारापन । इन अभ्यासों ने, प्रगति की इस पायदान को और उठाने की दिशा में, अग्रिम रहने के लिए अभियन्ताओं को बड़ी चुनौती दे रखी है । फलस्वरूप, रिसेट-1 की सफलता के बाद, कई नये मोडल और हार्डवेयर विकसित करके किरणबाधकता सिद्धांत आधारित उपग्रह प्रणाली तैयार हो रही है । व्यावहारिक, सामाजिक, औद्योगिक, व्यापारिक, कूटनीतिक जैसे उपयोगों के साथ-साथ सबसे महत्वपूर्ण उपयोग है; जलवायु विज्ञान, मौसम विज्ञान और जलविज्ञान जैसे शास्त्रों का पुख्ता उपभोग ।

भावि-मिशन

वायुमंडलीय घटनाओं के विषय में अधिक और गहरी जानकारी के लिये बादल, वायु विलय (एयरोसोल) तथा विकिरण अन्तरक्रियाओं से जुड़ी समस्याओं पर ध्यानाकर्षण आवश्यक है । अब, अंतरिक्षयान को सूक्ष्मतरंगीय तथा दृष्टि संबंधित क्षेत्रों में कार्यरत एक्टिव और पेसिव उपकरणों से लैस होना जरूरी है । इनमें से एक, बादल अंतर्वेधी रडार (क्लाउड पेनीट्रेटिंग रडार) नामक उपकरण पर हाल संशोधन कार्य जारी है ।

अति संवेदनशील अधोबिन्दु (नादिर) मुखी वर्षा रडार और रेडियोमीटर के जरिये, उच्च अक्षांश वाले भू-भाग पर अक्सर निर्माण होती पातन (अवक्षेपण) प्रक्रिया पर अध्ययन जारी है। ये उपकरण, आवृत्ति 54 से 118 GHz के साउन्डिंग चैनल्स तथा 18 से 157 GHz के बीच की कुल 5 आवृत्तियों के पारम्परिक इमेजिंग चैनल्स से लैस है । दो अलग आवृत्तियों में, लेकिन समान बीम चौडाई में और एक ही दिशा में देखते हुए विशाल बैन्ड चौडाई वाले द्विध्रुवीय बीम पैदा करने की आवश्यकता ही अपने आपमें एक बड़ी चुनौती है । इसी कारण से एन्टेना स्तर पर कड़े और बड़े डिज़ाइन नियंत्रण लगते हैं । इसके अलावा, एक ही परावर्तक डिश फिटिंग वाले रडार और रेडियोमीटर का सहअस्तित्व खास करके बैन्ड के बाहर कार्य संपादन के किस्से में काफी अडचनें लाते हैं ।

भूमि-अवलोकन इकाई (EO मोड्युल) में काम करने वाले अभियंताओं के लिए जिओ-साउन्डर की संकल्पना नया उत्साह

प्रदान करता है । इनके लिये यह साधन भूमि अवलोकन कार्य का सर्वाधिक समर्थ साधन है । इस प्रकार के उपकरण, तेजी से उभरती हुई संवहनशील (कन्वेक्टिव) सिस्टम, पातन प्रक्रिया तथा बादल पैटर्न जैसी मौसम विज्ञान से जुड़ी घटनाओं के अवलोकन के लिए वांछनीय है । भू निम्न कक्षा (लिओ) से विपरित, भू-स्थिर कक्षाओं में एक प्रमुख ठोस फायदा है । भू-स्थिर कक्षीय मिशन में एक ही क्षेत्र की लगातार सूचना मिल सकती है । लेकिन यह फायदा उठाने के लिये अभियन्ता को एन्टेना डीश की डिज़ाइन में बहुत कडे नियंत्रण लगाने होते हैं ताकि आवश्यक स्थानीय विभेदन प्राप्त हो सके । इसकी वजह यह है कि निम्न भू-कक्षा (लिओ) की तुलना में भू-स्थिर कक्षा का पृथ्वी से अन्तर 40 गुना ज्यादा होता है जो प्रत्यक्ष रूप से स्पष्टता पर असर डालता है। तदुपरांत, अंतरिक्षयान-पृथ्वी की सापेक्ष गति शून्य होने के कारण, द्वि-आयामी पर्यवेक्षण (टू-डायमेन्शनल स्कैनिंग) रचनाप्रणाली के सहारे छविकरण की भी खास आवश्यकता है ।

भावि 'इओ' अर्थात् भूमि-अवलोकन एन्टेनाओं में विशेष रूप से, उत्तम दर्जे की स्पष्टता क्षमता, सर्वश्रेष्ठ निशाना-विशुद्धता (पोइन्टिंग एक्युरसी) और विशाल क्षेत्र मर्यादा में घूमने की क्षमता यानि पर्यवेक्षण क्षमता अत्यन्त जरूरी है । इन गुणों को यथार्थ करने के लिये उच्च विशुद्धता धारक परावर्तक और क्षति रहित स्थिरता प्रदान करती संरचना डिज़ाइन करना अनिवार्य है । Ku और Ka जैसी उच्च बैन्ड की आवृत्तियों के एन्टेना की कार्यक्षमता और वांछित उपलब्धि हासिल करने में, एक मुख्य प्रतिबंधक बल है, रिफ्लेक्टर सतह की यांत्रिक एवम् संरचनात्मक स्थिरता । अर्थात् एन्टेना की यांत्रिकी तथा विद्युति पहलूओं के लिहाज से पूर्णतया आदर्श डिज़ाइन ही वांछित परिणाम प्रदान करेगी । ये परिणाम है, शुद्ध रूप से क्षति रहित प्राप्त छविकरण, संचार, स्कैनिंग इत्यादि कार्यफल । मिकेनिकल और इलेक्ट्रिकल अभिकल्पनाओं का समवर्ती होना और दोनों विद्याशाखाओं के पहलूओं को आवश्यकताओं के आधार पर संकलित करने की सोच और इसका अमलीकरण सर्वोत्कृष्ट एन्टेना डिज़ाइन पेश करने में अहम भूमिका अदा कर सकती हैं । अभियन्ताओं और संशोधकों के आपसी तालमेल के इस फलसफे से परंपरागत तकनीक की जगह कन्करन्ट इन्जीनियरिंग के माध्यम से अंतरिक्ष विज्ञान में आम

तौर पर और एन्टेना टेक्नोलॉजी में खास तौर पर कामकाज करना, यह वर्तमान विचारधारा है ।

दूरसंचार मिशन

दूरसंचार मिशनों के लिए परावर्तक प्रकार के एन्टेना सर्वाधिक प्रचलित है । सन् सत्तर के दशक के दौरान स्थायी वृत्तीय और दीर्घवृत्तीय बीम आकार देने वाले एन्टेनाओं की शोध के साथ 80 के दशक में C बैन्ड, 90 के दशक में Ku बैन्ड और सन् 2000 के दशक में Ka बैन्ड आवृत्ति में अंतरिक्ष और भूमि एन्टेना अभिकल्पित होते रहे हैं । विकास की इस रेखा को आगे बढ़ाते हुए अब बीम विस्तार के नजरिये से मंथन प्रक्रिया इस मिलेनियम के प्रारंभ से ही शुरू हो चुकी है । जैसे कि, गोलार्ध, सीमित क्षेत्रीय तथा निर्धारित रूपरेखा दर्शानेवाले बीम समूह से प्रकाशित परावर्तक जैसे कई एन्टेनाओं पर संशोधन कार्य चल रहे हैं । आज की बड़ी मांग है; 'वांछित भू-क्षेत्र में सर्वाधिक बीम कवरेज और न्यूनतम एन्टेना वजन' । इस मांग को पूरी करने के लिए CFRP, DGR, KFRP जैसी तकनीक विकसित हुई । DGR यानि डुअल ग्रीडेड रिफ्लेक्टर का भारतीय नाम है; द्वि ग्रीड परावर्तक । CFRP और KFRP के विस्तृत नाम है; कार्बन (अथवा केवलार) फाईबर रेइनफोर्स्ड प्लास्टिक । DGR, CFRP, C, Ku, Ka इत्यादि संज्ञाएं सरलता हेतु इनके मूल स्वरूप में दर्शाने का प्रयास किया है । हाल ही में, स्थायी एन्टेनाओं की जगह जोड़ने की क्षमता वाले (मुड़ने वाले) एन्टेना संशोधित हुए हैं जो ग्रेगोरियन समाकृति के हैं और द्वि-अक्षीय यांत्रिक चालन व्यवस्था से संचालित होते हैं । विकास की इस यात्रा में एक ओर मील का पत्थर है; ठोस अवस्था साधन (सोलिड स्टेइट डिवाइस) से लैस प्रत्यक्ष विकिरणकारी एन्टेना श्रृंखला समूह (एरे) । आज की तेजी से बढ़ती हुई सिग्नल ट्रैफिक की परिस्थितियों को मद्दे नजर, घुमंत (नोमेडिक) और मोबाइल उपभोक्ताओं के लिये, समकालिन विकास का लक्ष्य L बैन्ड के जरिये बहु-बीम विस्तार क्षेत्र है । बहु-माध्यम (मल्टीमीडिया) उपयोग के लिये अभियन्ताओं की सोच अब 'Ka' बैन्ड पर उतरी है।

4.3 एन्टेना में प्रगति के सौपान

दिन-प्रतिदिन बढ़ती हुई मोबाइल संचार तथा डिजिटल प्रसारण प्रणालियों की मांग को पूरा करने के लिये, एन्टेना सिस्टमों में

अनुकूल बदलाव आये हैं । क्योंकि इन मांगों का हल, भू-संचार में विविध आवृत्ति बैण्ड, विविध बीम-आकार और विविध समाकृतियों की सहाय से होता है । अतः इन विविधताओं के लिए एन्टेना में निरन्तर सुधार चाहिए । कुछ एन्टेना यहाँ पर चिह्नित किये गये हैं जो विकास की श्रेणी में अग्रिम स्थान पर है । ये C, X और S बैन्ड के विकसित हो चुके एन्टेनाओं के उपरांत है ।

- Ku बैन्ड में प्रतिसंतुलित (ऑफसेट) परवलय परावर्तक परिनियोजनशील (डिप्लोयेबल) तथा स्थायी एन्टेनाएं ।
- Ka बैन्ड में प्रतिसंतुलित एवम् स्थायी एन्टेना ।
- स्वदेशीय नवीन व आधुनिक ग्रीड डिज़ाइन के डी.जी.आर. एन्टेना ।
- ट्रान्समिट तथा रिसीव हेतुक 'Ka' बैन्ड बहु-बीम श्रृंखला समूह एन्टेना (एरे)
- पुनः समनुरूप क्षमता धारक (रीकन्फ्युगरेबल) एन्टेना ।
- खोल-बंद क्षमता धारक (अनफर्लेबल) एन्टेना ।

इन प्रगति सूचक एन्टेना वर्गों को विकसित करने के लिये अति आवश्यक है कि वर्तमान डिज़ाइन में नवीनतम संशोधन और सुधार प्रक्रिया निरंतर जारी रहे । इसके लिये प्रत्येक एन्टेना में विशिष्ट तकनीकों को सम्मिलित करना जरूरी है ।

अंतरिक्ष यान का कद किलोग्राम वजन से दर्शाया जाता है । 1K का अर्थ 1000 कि.ग्रा. अर्थात् 1 टन । आजकल सेटेलाइट का नाप या माप 1 टन से बढ़कर 5-6 टन तक पहुँच गया है । I1K, I2K, I3K से लेकर I6K तक का बड़ा व सुदृढ़ उपग्रह निर्माण आज की वास्तविकता है । इसका मुख्य कारण है विभिन्न आवृत्ति बैण्ड्स तथा बीम विस्तार की मांग। परिणामस्वरूप होता है सेटेलाइट प्रणाली तंत्रों में संख्या और कद का बदलाव जिनमें से एक है एन्टेना उप-प्रणाली प्रणाली । अतः अंतरिक्ष यान के संदर्भ में एन्टेना डिज़ाइन करने के लिये अभियन्ता को निम्न विषयों पर ध्यान केन्द्रित करना आवश्यक है।

- अंतरिक्षयान का द्रव्यमान, I2K, I3K .....इत्यादि ।
- साफ दृष्टि रेखा (फील्ड ऑफ व्यू-FOV)
- उष्मा या ताप नियंत्रण

- यांत्रिक संरचना
- फीड समायोजन (एकोमोडेशन)
- अपेक्षित विशुद्धताओं के मान्य स्तर
- तरंगपथक (वेइव गाईड) के पेचीदे तरंग मार्ग से अनुकूलन

विभिन्न अंतरापृष्ठों (इन्टरफेइसीस) का मानकीकरण एक प्रमुख मुद्दा है । वर्तमान की बहु-उत्पादकता तथा पुनरावर्तित संरचना की मांगों को ध्यान में रखते हुए, डिज़ाइन का मानकीकरण एक स्वागतयोग्य कदम है । विशेष कर फिक्सचरों, कनेक्टरों, फास्टनरों, स्विचों, कच्चे माल इत्यादि हार्डवेयरों कुछ हद तक मानकीकृत डिज़ाइनों में रचित होते हैं । खर्च पर अंकुश, समय का बचाव तथा सिद्ध परम्परा का उचित लाभ – ये हैं मानकीकरण के फायदे ।

- **फीड उपप्रणालीः**

  किसी भी एन्टेना प्रणाली में फीड का योगदान प्रमुख भूमिका अदा करता है । फीड की बदौलत, अधिक ऊर्जा वहन और असरकारक बीम विस्तार जैसी आवश्यकताएं परिपूर्ण होती है । इस लिहाज से फीड डिज़ाइन की ओर अधिक ध्यान देने की जरूरत है । समकालिन और भविष्य के मिशनों के लिए निम्नलिखित पहलूओं का खयाल रखकर फीड संरचना अभिकल्पित करनी चाहिए ।

- अधिक ऊर्जा वहन हेतु से यांत्रिकी, तापन तथा विकिरण आवृत्ति (रेडियो फ्रिक्वन्सी – RF) इन्जीनियरिंग बाबतों को लक्ष्य में लेते हुए फीड निर्माण कला ।
- मूल द्रव्य (रॉ-मटीरियल) का चयन ।
- धात्विकरण, धातुमिश्रण, धातु-चदर प्रक्रिया इत्यादि का RF तरंगों के साथ अनुकूलन हेतु कार्य कलाप ।
- फीड के भवन सांचों (बिल्डिंग ब्लोक्स) में उचित संशोधन। उचित ऊर्जा का वहन करते ये साधन है ओ.एम.टी. (ओर्थोमोड ट्रान्सड्युसर), फिल्टर्स, ध्रुवणकर्ता (पोलराइज़र), डाइप्लेक्सर इत्यादि ।
- बेहतर सतही गहराई (स्कीन डेप्थ), पारदर्शिता तथा पारगमनता की आवश्यकताओं के अनुसार विद्युत रासायनिक प्रक्रियाएं ।

- निश्चित विशुद्धता के स्तर को प्राप्त करने हेतु फीड और परावर्तक का सही एलाइनमेन्ट । इसमें शामिल है ऐसे फीक्सचर्स जो फीड को न केवल पकडें, पर उसको 6 डिग्री में सुगठित कर सके । तीन डिग्री रैखिक चालन (ट्रांसलेशन) x, y और z अक्ष में, और तीन डिग्री चापीय चालन (रोटेशन) Rx, Ry, और Rz ।

4.4 भूस्थिर उपग्रह एन्टेना – नयी चुनौतियाँ

जैसे कि आगे कहा गया, पारम्परिक C और Ku बैण्ड में वृद्धि करते हुए, अब विशाल आवृत्ति बैन्ड चौड़ाई के साथ Ka अर्थात् 'का' बैण्ड कार्यान्वित हो रहे हैं । इसके कारण, फीडींग सिस्टम में अतिरिक्त चुनौति पैदा होती है क्योंकि इसमें चाहिये उच्च कार्यक्षमता धारक और बहुत संख्यक फीड संरचना । तदुपरांत रिफ्लेक्टर यानि परावर्तक की डिज़ाइन में गंभीरता बरतनी पड़ती है । ये परावर्तक प्रणाली में गुणवत्ता के प्रमुख मापदण्डों में है; परावर्तक क्षमता, ध्रुवीकरणता (या प्रतिध्रुवीकरणता) तथा ताप-लचीलापन । रिफ्लेक्टर और फीड के इन गुणधर्मों को हासिल करने तथा इनकी सर्वोत्कृष्ट डिज़ाइन निष्पादित करने में क्या चाहिये ? उत्तर में, नवीनतम डिज़ाइन और मोडलिंग सोफ्टवेयर्स, डिज़ाइन विश्लेषण कम्प्युटर प्लेटफार्म, एन्टेना ऑप्टिक्स व गणितीय एलगोरिधम और मोडर्न टेस्ट संसाधन। बढ़ती हुई आवृत्तियों की संख्या के कारण अपेक्षित गुणवत्ता के अंक प्राप्त करना एक बड़ी चुनौती है । इन अपेक्षाओं को कार्यदक्षता में परिवर्तित करने या एन्टेनाओं की गुणवत्ताओं का सही आकलन करने के लिए, अत्यंत आधुनिक जाँच प्रणाली का प्रबंध महज एक आवश्यकता ही नहीं बल्कि चुनौती भी है । एन्टेना की कार्यक्षमता परखने हेतु, आज नई परीक्षण सुविधाएं प्रस्थापित हो रही है । कोम्पेक्ट एन्टेना टेस्ट फेसिलिटी (सीएटीएफ) के उपयोग में एन्टेना राशियों का मापन तथा अभिलक्षण (केरेक्टराइज़ेशन) किया जाता है । इस सुविधा के जरिये भू और अंतरिक्ष एन्टेना का ज्यॉमितीय संबंध, वैद्युत संबंध और तरंगों की आवागमन प्रक्रिया कैसी होगी इसका पूरा व्यौरा एक प्रतिकृति समान 2000 मिटर वर्ग के क्लीन रूम में होता है ।

इस CATF में ट्रान्समिट फीड, केसेग्रेइन मुख्य एवं सब रिफ्लेक्टर तथा टेस्ट पोज़िशनर प्रमुख साधन है । 'फीड से सब रिफ्लेक्टर, सब रिफ्लेक्टर से मुख्य रिफ्लेक्टर, मुख्य रिफ्लेक्टर से पोज़िशनर' इस प्रकार प्रकाशतरंगीय किरणों की गति होती है । पोज़िशनर में लगे एन्टेना की कल्पना उपग्रह पर स्थापित एन्टेना से करें तो प्रक्रिया की समझ स्पष्ट होगी।

वर्तमान में परिचालन तथा आकार परिवर्तन की क्षमता वाले बीम प्रसार एन्टेना में सिर्फ मर्यादित बीम विस्तार देने की क्षमता है । अब समय की मांग है कि फ्लाइट के दौरान बीम को पुनः गठित करके ऊपर के एन्टेना के माध्यम से नीचे के बीम को संचालित किया जाय । यह करने के लिये एन्टेना में सुनम्यता (फ्लेक्सीबिलिटी) होनी चाहिये । यह सुनम्यता या लचीलापन तीन तरीके से मिलता है । (i) परावर्तक आधारित रचना (ii) नाभीय श्रृंखला समूह संरचना (iii) प्रत्यक्ष विकिरण कारक श्रृंखला । इन तीनों में से समाधान करके जो प्रणाली खर्च, वजन और उपग्रह में उपलब्ध जगह सामंजस्य के मामलों में सबसे बेहतरीन हो, इसे अपनाना चाहिये । बीम विस्तार में लचीलापन प्रदान करते इन तीन विकल्पों के प्रचलित नाम है; (i) रिफ्लेक्टर्स (ii) रिफ्लेक्ट एरेज और (iii) डायरेक्ट रेडियेटिंग एरेज।

प्रत्येक मिशन की अपनी आवश्यकता होती है । इस पुस्तक में सूचित कुछ सुझावों को चुनकर मिशन जरूरत के आधार पर चुनाव कर सकते हैं । वजन और जगह की मर्यादाओं को देखते हुए, एन्टेना अभियन्ताओं ने परावर्तकों की संख्या सीमित करके 'एपरचर शेरींग' का खयाल अपनाया है । फलस्वरूप, एक ही एन्टेना अनेक ध्येयों और आवृत्तियों को मिश्रित करके अपना कार्य संपन्न कर देता है । यह एकल एपरचर एन्टेना सरल और बेहतर हार्डवेयर संरचना प्रदान करता है । इस प्रकार का एन्टेना, बैन्ड चौड़ाई, ध्रुवणता, अधिक ऊर्जा वहन, जगह उपलब्धता इत्यादि मांगों पर खरा उतरता है । इन पहलूओं के समाधान हेतु, एन्टेना अभियन्ता प्रयत्नशील हैं और इसके फलस्वरूप एन्टेना डिज़ाइन में नई क्रांति का संचार हुआ है ।

विशेष कर यांत्रिकी अभियन्ताओं को इन नवीन खोज की अभिकल्पना करने में और वास्तविकता में साकार करने के लिये कड़ी चुनौतियों का सामना करना पड़ता है । कुछ नमूने स्वरूप विचार यहाँ पर प्रस्तुत किए हैं । लेखक का उद्देश्य यह बताना है कि भले ही विश्व के फलक पर ये सुझाव आ चुके हों लेकिन हमारे देश में मिशन की आवश्यकताओं के अनुरूप, भारतीय अंतरिक्ष कार्यक्रम के तहत, वर्तमान में ये विचार कार्यान्वित हो रहे हैं । ये आधुनिक विचार कुछ इस प्रकार हैः

- बहु बीम एन्टेना (एक परावर्तक को अनेक फीड से रोशनी मिलती है) इस प्रकार के एन्टेनाओं में बीम एक दूसरे पर अतिव्याप्त (ओवर लेपिंग) होते हैं ।
- अधिक ऊर्जा वहन क्षमता धारक डी.जी.आर. (द्वि-ग्रीड परावर्तक)
- मिलीमिटर वेईव क्वाझी-ऑप्टीक्स पैकेज

इस प्रकार के साधन आवृत्ति और ध्रुवणता को अलग करने हेतु बनाये जाते हैं ।
इन उपकरणों का निर्माण करने के लिये विकसित डिज़ाइनों में खास करके कम्पोज़िट द्रव्यों का प्रयोग कारगर साबित हुआ है।

हमें ऐसे संसाधन चाहिये जो कम्पोज़िट द्रव्यों के इन परिबलों का समाधान करने में साधक बन सकें । उदाहरण के तौर पर,

- ताप लचीलापन गुणों पर अध्ययन
- सिद्ध कार्य का गुणांकलन
- परिनियोजन गतिविज्ञान (डिप्लोयमेन्ट डायनेमिक्स)
- यांत्रिकी तनाव का सही वितरण (स्ट्रेस डिस्ट्रिब्युशन)
- ध्वनिक (एकॉस्टिक)
- झटका (शोक)

परिक्षण और नये उपागम

अभिकल्पना और विकास (डिज़ाइन एण्ड डेवलपमेन्ट) एक सोच और इसका कार्यान्वयन है । इन दोनों को संतोष में तब्दील करना यह अंतिम ध्येय होना चाहिये । यह काम

परिक्षण करता है । एन्टेना के परिप्रेक्ष्य में परिक्षणों के माध्यम से, महत्वपूर्ण राशियों का जायजा लिया जाता है । यह राशियाँ हैं, G/T (गेईन बटा तापमान), विकिरण प्रतिरूप (रेडियेशन पैटर्न), गेईन, क्रोस ध्रुवणता (क्रोस-पोलराईज़ेशन) इत्यादि । इन राशियों के स्वीकार्य आंकड़े पाने में, निम्नलिखित यांत्रिक निरीक्षण प्रक्रियाएं सहायक होती हैः

- परावर्तक एसेम्बली जो गुरुत्वाकर्षण असर से मुक्त हो
- परावर्तक और फीड यांत्रिक तनाव से मुक्त हो
- परावर्तक विशुद्धता

सी.एफ.आर.पी. रिफ्लेक्टर निर्माण करने के लिए मोल्ड चाहिये । मोल्ड की विशुद्धता से एन्टेना की विशुद्धता निर्देशित होती है । 40 माइक्रोन सतह क्षति के मोल्ड निर्माण करना और इसका मूल्यांकन करना एक बड़ी चुनौती है । आम तौर पर मोल्ड कास्ट आयर्न से बनती है । मोल्ड एक आकार प्रदान करती है जो रिफ्लेक्टर की सतह के बराबर है । एक सतह आंतर्गोल (रिफ्लेक्टर) तो एक बहिर्गोल (मोल्ड) होती है । अति आधुनिक तरीकों से मोल्ड की सतह के Z अक्षों को नाप के, क्षतिमूल्यों को लिख करके आर.एम.एस. (R.M.S.) मूल्य निकाला जाता है । आर.एम.एस. –का विस्तार है रूट मीन स्क्वेर्ड । यह सतह विशुद्धता का मापदण्ड है जो आवृत्तियों के परिमाण से निर्धारित होता है । आजकल Ka बैण्ड की आवश्यकताओं के मद्दे नज़र मोल्ड में 20 माइक्रोन तक RMS शुद्धता बरती जानी आवश्यक है ।

मशीनिंग विशुद्धता

Ka बैन्ड्स से भी बढ़ती चलती, आज के दौर की आवृत्तियों का अंक अब 100 GHz, 200 GHz के दायरे में जा रहा है । इन अत्याधिक मात्रा की आवृत्तियों के लिये अभिकल्पित प्रत्येक साधन, कम्पोनेन्ट इत्यादि में, इतनी ही अत्याधिक विशुद्धता चाहिये । तरंगपथक, फिल्टर्स तथा परावर्तकों के मशीनिंग में सतह विशुद्धता 5 से 10 माइक्रोन की सीमा में आवश्यक है । इसको प्राप्त करने, अति आधुनिक माइक्रोमशिनींग तकनीक का इस्तेमाल किया जाता है । तदुपरांत धातु कम्पोनेन्ट

(वेइवगाईड, फील्टर्स इत्यादि) में लेसर तकनीक से कटिंग प्रक्रिया भी विकसित हो रही है ।

एन्टेना एलाइनमेन्ट

इन विशुद्धता के उत्पादन से ताल मिलाने के लिये, आधुनिक मापन साधन तथा एलाइनमेन्ट तकनीकों पर संशोधन निरंतर जारी है ।

रिफ्लेक्टर और फिड का सही एलाइनमेन्ट करने के लिए अब परम्परागत थियोडोलाइट या इलेक्ट्रोनिक थियोडोलाइट काफी नहीं है । लेसरयुक्त ट्रेकर्स आज आम हो गये हैं । लेसर ट्रेकर किरणबाधकता के सिद्धांत पर कार्य करते हैं । इस साधन का उपयोग करने के मुख्य कारण है – कम मानवशक्ति की आवश्यकता और अधिक मापन विशुद्धता । लेकिन आज के युग में, इतनी उत्क्रान्ति हुई है कि इन साधनों का प्रयोग भी कुछ हद तक सीमित हो रहा है । अंतरिक्ष विज्ञान में तेजी से हो रही प्रगति के कारण, अब ओर मानवशक्ति का बचाव, समय का बचाव तथा परिक्षण स्तर में बेहतरी की मांगे जोर पकड़ रही है । इसके मद्देनज़र, अब फोटो-ग्रामेट्री जैसी स्पर्शरहित मापन तकनीक संशोधित हुई है । इस तकनीक के द्वारा, एक ही शोट में हजारों बिन्दुओं का सही स्थान निर्धारण (मापन) तथा विश्लेषण (मूल्य-आंकलन) होता है । एन्टेना परावर्तक कैमरा, फीड, अंतरिक्षयान पर स्थापित सेन्सर्स तथा किसी भी साधन जो विशेष रूप से विशुद्धता दृष्टिकोण से महत्वपूर्ण हो, इन सभी उपकरणों की एलाइनमेन्ट प्रक्रिया 'क्लोज़ रेइन्ज फोटोग्रामेट्री' (CRP) के सिद्धांत पर कार्यरत अत्यंत नवीनतम कैमरा सिस्टम से निष्पादित होती है । संपूर्ण भारतीय डिज़ाइन में, इस प्रणाली के सॉफ्टवेयर पर हाल ही में अनुसंधान कार्य प्रारंभ हुआ है ।

5.0 सारांश

लेखक का कार्य कुछ विषयों पर उपलब्ध वैज्ञानिक हकीकतों का संयोजन है । सर्वप्रथम उपग्रह संचार के मूलभूत सिद्धांत जिसमें चर्चित है प्रसारण से संबंधित भौतिकशास्त्र और गणित के नियमों का आधार । तत्पश्चात् कक्षा संबंधित रेखागणित का अध्ययन किया है जिसमें कक्षाओं के प्रकार और गुणधर्म तथा विभिन्न कक्षाओं का अंतरिक्ष विज्ञान के संदर्भ में अभ्यास जैसे आयामों पर चर्चा की है । इस ज्ञान को आधार बनाकर, उपग्रह और पृथ्वी की जुगलबंदी को, इनसे संलग्न रेखागणित के माध्यम द्वारा समझाने का प्रयास किया है। इस जोडी की एक महत्वपूर्ण कडी है एन्टेना । अंत में संचार के इस प्रमुख अवयव पर विस्तृत चर्चा की गई है । लेखक ने इस एन्टेना को केंद्र में रखते हुए विभिन्न अंतरिक्ष परियोजनाओं, प्रगति के सौपान तथा नई चुनौतियों की रूपरेखा प्रदर्शित की है ।

संक्षिप्त में कहा जाए तो, वर्तमान उपग्रह विज्ञान में क्रान्तिकारी विकास के निरन्तर बढ़ते हुए सौपानों की संख्या से, उपग्रह की ऊंचाई तो ठीक, परंतु अनुसंधान स्तर की ऊँचाई प्राप्त करना प्रत्येक तकनीकी सोच का ध्येय है । इसीके फलस्वरूप हम भारतवर्ष को अंतरिक्ष प्रौद्योगिकी के क्षेत्र में एक मिसाल के रूप में प्रस्तुत करने की क्षमता रखते हैं । लेखक ने केवल एन्टेना के उदाहरण से अभियन्ताओं की मनसा प्रकट की है किन्तु पूर्ण वास्तविकता यह है कि हर ऐसे घटकों पर उन्नति के शिखर पर हम पहुँचने की कोशिष में हैं । चाहे वे सेन्सर्स हो, या कैमरा, लान्चर्स हो या बुस्टर्स, चाहे वे क्रायोजेनिक इंजिन हो या जीएसएलवी श्रेणी के पूर्ण-भारतीय प्रक्षेपक हो । चंद्र की कक्षा की प्रदक्षिणा कराने के बाद हम, चाहें मंगल मिशन को मंगलमय बनाएं और समानव यान को अंतरिक्ष की सफर कराएं । कहने का तात्पर्य बहुत साफ है कि अंतरिक्ष विज्ञान की इस अनंत यात्रा में, हम प्रतिदिन एक नया मील का पत्थर जोड़ने में सक्षम है । अंततः इसी होश और जोश के फलस्वरूप, अंतरिक्ष प्रौद्योगिकी में

भारत का योगदान बेमिसाल निखार लाएगा और अंतरिक्ष में तिरंगा नई ऊचांइयों के साथ लहराएगा और चंद्र और मंगल जैसे ग्रहों में भारतवर्ष का यही तिरंगा ठहरेगा।

1.0 उपग्रह संचार की मूलभूत जानकारी

1.1 प्रस्तावना

स्रोत और उपभोक्ता के बीच संचार का अर्थ है माध्यम द्वारा सूचना का आदान-प्रदान। इसमें अंतरिक्ष का माध्यम भी सम्मिलित है । दूरसंचार के मामले में सूचना का यह आदान-प्रदान उपग्रह और भू-केंद्र के बीच सूक्ष्मतंरगीय (माइक्रोवेव) कड़ी स्थापित करके संभव होता है । उपग्रह संचार दो भिन्न तकनीकों का मिश्रण है । वे हैं राकेट विज्ञान और सूक्ष्मतरंगीय अभियांत्रिकी। ये दो तकनीकी शास्त्रों का अधिकतर विकास द्वितीय विश्वयुद्ध के दौरान हुआ । व्यापारिक उपग्रह अर्ली बर्ड की संकल्पना जब सबसे पहले आर्थर सी. क्लार्क ने की थी, तब से 'उपग्रह द्वारा दूरसंचार' की प्रक्रिया 'संचार' शब्द का एक हिस्सा बनी । क्लार्क की इस संकल्पना का यथार्थता में परिवर्तन के लिए आवश्यक था, भू-समकालिक कक्षा में उपग्रहों को प्रक्षेपित करने हेतु राकेट तकनीक का विकास । क्लार्क की कल्पना को साकार करने, इसके उपरांत जरूरी था सौर ऊर्जा संचालित उपग्रह पर सवार उचित उपकरण ।

उपग्रह संचार के जरिये संभव भिन्न उपयोगों की जानकारी के लिये यह जरूरी है कि हम उपग्रह संचार प्रणाली के विभिन्न पहलूओं पर विचार करें । उपग्रह संचार के दो प्रमुख प्रकार हैः (i) अंतरिक्ष प्रभाग और (ii) भूमि-प्रभाग । अंतरिक्ष प्रभाग में समाविष्ट है उपग्रह तथा पृथ्वी पर के वे संसाधन जो उपग्रह को, निर्धारित कक्षीय स्थान पर अपने कार्यकाल तक स्थापित करते हैं अर्थात् उपग्रह, प्रक्षेपणयान एवम् प्रक्षेपक प्रणालियों से संबंधित विभिन्न उपकरण तथा प्रणाली प्रणाली अंतरिक्ष प्रभाग में शामिल है । भूमि प्रभाग में समाविष्ट है प्रेषित्र (ट्रान्समीटर), अभिग्राहक (रिसीवर) और एन्टेना प्रणाली । ये प्रणालियाँ मुख्य रूप से उपग्रह से पृथ्वी तक दोनों दिशाओं में सूक्ष्मतरंगीय संकेतों का वहन करने में उपयोगी है । एन्टेना एक ऐसा प्रमुख अंश है जो साधारणतः भूमि प्रभाग एवम् अंतरिक्ष प्रभाग दोनों में विद्यमान है । एन्टेना विषय के विस्तृत ज्ञान के लिये, हमें प्रसारण के मूल सिद्धांत को समझना होगा ।

1.2 मूल प्रसारण सिद्धांत

यहाँ पर वैद्युत क्षेत्र और ध्रुवणता की परिभाषा और प्रक्रिया से प्रारंभ करते हैं । उपग्रह संचार में भूमि द्वारा उपग्रह से प्राप्त संकेत

की ताकत की गिनती अत्यंत महत्वपूर्ण है । इस प्रक्रिया में शामिल है; (i) उपग्रह से खुले अंतरिक्ष में आता विकिरण, (ii) अंतरिक्ष के द्वारा विद्युत चुंबकीय तरंगों का प्रसार और (iii) भू-केंद्र द्वारा ऊर्जा का अभिग्रहण । विद्युत चुंबकीय तरंगों में ऊर्जा दो स्वरूपों में शामिल होती है । एक है विद्युत (E) और दूसरी चुंबकीय (H) । ये दो क्षेत्र एक दूसरे पर निर्भर है । कोई एक ऊर्जा के स्रोत की वजह से ये तरंगें अंतरिक्ष के माध्यम से प्रसारित होते हैं । ये दो क्षेत्र एक दूजे से समकोणीय यानि 90° के कोण से संबंधित है । पारंपरिक तौर पर, इन तरंगों के तल का ध्रुवण (पोलराईज़ेशन) विद्युत क्षेत्रीय सदिश (वेक्टर) से जुड़ा होता है ।

एन्टेना के माध्यम से, प्रेषित्र से संचार माध्यम और उससे विपरीत, माध्यम से अभिग्राहक तक का ऊर्जा का विनिमय कार्य परिपूर्ण होता है । अनिवार्य रूप से, एन्टेना एक ऐसा विद्युत यंत्र (ट्रान्स्डुसर) है जिसकी अभिकल्पना (डिजाइन) महत्तम ऊर्जा के स्थानांतरण हेतु की गई है । एन्टेना के अंतर्परिवर्तन क्षमता के गुणधर्म की वजह से, इसके गुणधर्मों की गिनती व विश्लेषण प्रसार अथवा ग्रहण इन दोनों प्रकारों में की जाती है । एन्टेना के सबसे महत्वपूर्ण गुणधर्मों की सूची इस प्रकार हैः

- पावर गेइन
- दिशा कुशलता
- कार्यक्षमता
- समतुल्य ध्वनि-तापमान

पावर गेइन

एन्टेना का पावर गेइन इस सूत्र से व्याख्यायित किया गया है ।

$$G(\theta,\Phi) = \frac{4\pi \text{ (दिशा } (\theta,\Phi) \text{ में इकाई ठोस कोण में फैली ऊर्जा)}}{\text{एन्टैना द्वारा स्रोत से स्वीकृत की गई कुल ऊर्जा}}$$

इस सूत्र को सरलता से समझने के लिए आवश्यक है कि आइसोट्रोपिक एन्टेना का मतलब समझें । आइसोट्रोपिक एन्टेना एक ऐसा परिकल्पित साधन है जो ऊर्जा का विकिरण प्रसार सभी दिशाओं में समान मात्रा में करता है । वास्तविकता में ऐसा साधन पाना नामुमकिन है, परंतु यह एक बहुमूल्य सैद्धांतिक संदर्भ का संसाधन है जो व्यावहारिक एन्टेनाओं के गुणधर्मों की तुलना करने

में उपयोगी है। अब हम इसी सूत्र को निम्नलिखित रूप से दर्शाकर बेहतर आकलन कर पाएंगें ।

$$G = \frac{\text{पंसदीदा दिशा में व्यावहारिक एन्टेना द्वारा प्रसारित ऊर्जा शक्ति}}{\text{इसी दिशा में आइसोट्रोपिक एन्टेना द्वारा प्रसारित ऊर्जा शक्ति}}$$

इसकी पूर्व शर्त यह है कि ये दोनों एन्टेना समान ऊर्जा शक्ति के हों ।

व्यापकअ (युनिवर्सल) एन्टेना अचल (स्थिर राशि) $G / A_e = 4 \pi / \lambda^2$

जहाँ G = एन्टेना का पावर गेइन

Ae = एन्टेना का प्रभावशाली क्षेत्रफल

A = एन्टेना का भौतिक क्षेत्रफल

η = कार्यक्षमता

λ = क्रियाशील तरंग लंबाई

$$G = \frac{4\pi Ae}{\lambda^2}$$

$$= \frac{\eta (4\pi A)}{\lambda^2}$$

व्यास D धारक वृत्तीय द्वारक (सर्क्युलर एपरचर) आकृति के लिए;

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$\Rightarrow G = \eta \left(\frac{\pi D}{\lambda}\right)^2$$

यह सूत्र निर्देश करता है कि गेइन दो राशियों पर निर्भर है । एन्टेना का व्यास एवं कार्यशील तरंग लंबाई ।

दिशा कुशलता

दिशा कुशलता वह क्षमता है जो या तो एन्टेना को प्रसार मोड में प्रसारित ऊर्जा को लक्ष्य दिशा में संकेन्द्रित करती है अथवा जो सिग्नल सामान्य या बोर साइट की अक्ष से हटकर प्राप्त किये जाते हैं उन्हें अस्वीकृत कराती हैं ।

सूत्र के रूप में;

दिशा कुशलता

$$D(\theta, \emptyset) = \frac{4\pi \text{ (पसंदीदा दिशा में व्यावहारिक एन्टेना द्वारा प्रसारित ऊर्जा शक्ति)}}{\text{एन्टेना द्वारा प्रसारित कुल ऊर्जा शक्ति}}$$

कार्यक्षमता

विकिरण कार्यक्षमता (η) जो मुख्य रूप से प्रसार मोड से संबंधित है, इसे निम्न सूत्र के जरिये व्याख्यायित किया गया है ।

$$\eta = \frac{\text{एन्टेना द्वारा प्रसारित कुल ऊर्जा शक्ति}}{\text{एन्टेना द्वारा स्रोत से स्वीकृत कुल ऊर्जा शक्ति}}$$

उपार्जन (रिसीव) मोड में आम तौर पर वैकल्पिक अनुपात, कुछ अलग तरीके से पेश आता है जिसे द्वारक कार्यक्षमता (एपरचर एफीशियन्सी) कहते हैं ।

$$\text{द्वारक कार्यक्षमता} = \frac{\text{एन्टेना का प्रभावशाली क्षेत्रफल}}{\text{एन्टेना का भौतिक क्षेत्रफल}}$$

इन दोनों अनुपातों की अनुमानित वास्तविक मात्रा या मूल्य 50 प्रतिशत से 75 प्रतिशत की मर्यादा में है ।

द्वारक कार्यक्षमता, आते हुए तरंगाग्र और एन्टेना के आउटपुट छोर के बीच समाविष्ट सभी प्रकार के व्ययों से प्रभावित होती है । इन व्ययों का व्योरा इस सूची के अनुसार हैः

- द्युति कार्यक्षमता (इल्युमिनेशन)(η_i)
- बाह्य विकिरण (स्पील ओवर) के कारण व्यय ($\eta_{S)}$
- बाधा के कारण व्यय (η_b)
- कोणीय अवस्था में विसंगतता (फेइस डिफरन्स) एवम् सतह तल में क्षति (η_{ps})
- संकेतों का विवर्तन (डिफ्रेक्शन) (η_d)
- ध्रुवीय व्यय (η_{pol})
- बेमेलपन के कारण व्यय (मीस मेच) ($\eta_{m)}$

अतः कुल मिलाकर द्वारक कार्यक्षमता यानि एपरचर एफिशियन्सी

$$\eta = (\eta_i) \times (\eta_{S)} \times (\eta_b) \times (\eta_{ps}) \times (\eta_d) \times (\eta_{pol}) \times (\eta_{m)}$$

समतुल्य ध्वनि तापमान

एन्टेना ध्वनि तापमान, एन्टेना के भिन्न-भिन्न स्वरूपों के व्ययों का योगदान दर्शाता है । तदुपरांत, एन्टेना में प्रवेश करते बाहरी तापध्वनि, ब्रह्माण्डीय ध्वनि, वायुमंडलीय ध्वनि और भूमिगत ध्वनि, इन सब ध्वनियों का प्रभाव भी एन्टेना ध्वनि तापमान को प्रभावित करता है । यहाँ पर ध्वनि शब्द का अर्थ है; सूक्ष्मतरंगीय प्रसारण में बाधा रूप विद्युत चुंबकीय विकिरणों में पाया जाता एक प्रकार का विद्युत आवाज जो आम तौर पर सिग्नल को कमजोर करता है । ब्रह्माण्डीय ध्वनि और वायुमंडलीय ध्वनि को आकाश ध्वनि भी कहा जाता है । आकाश ध्वनि, अभिग्राहक एन्टेना द्वारा ग्रहण किया गया पृष्ठभूमि ध्वनि है । इसका मूल्य अचल नहीं है, बल्कि यह, एन्टेना के एलिवेशन कोण और वायु मंडलीय परिस्थितियों पर निर्भर है । इसी कारण से एन्टेना का ध्वनि तापमान स्वच्छ आकाश वाली परिस्थितियों में, विशिष्ट एलिवेशन कोण में गिना या नापा जाता है । आकाश ध्वनि की वजह कुछ खास परिबलों से उत्पन्न क्षीणन (एटेन्युएशन) है । ये परिबल हैं; (i) वायुमंडल के विभिन्न वायुगण और (ii) वर्षा, बर्फ जैसी घटनाएं जिन्हें हाईड्रोमिटियोर कहते हैं । ये दो प्रवृत्तियां, इसलिये असर करती है कि तरंग अपनी यात्रा के दरमियान इन चीजों से गुजरता है और बदले में अपनी ताकत में कुछ कमियाँ पाता है, जिसे सही अर्थ में क्षीणन कहा गया है। सूक्ष्मतरंगीय आवृत्तियों पर आकाश ध्वनि का अंशदान लगभग 3 अंश केल्विन होता है। अपवाद रूप, रेडियोतारा की ओर जाते तरंगों की दिशाओं के किस्से में यह मात्रा लागू नहीं होती है । किन्तु, 1 GHz से कम आवृत्तियों पर इस ब्रह्माण्डीय ध्वनि का मूल्य अधिक महत्वपूर्ण है ।

इस प्रकार के पृष्ठभूमि ध्वनि (N_o) के ऊर्जा वर्णक्रम घनता (पावर स्पेक्ट्रल डेन्सिटी) और एन्टेना ध्वनि तापमान (T_A), निम्न लिखित सूत्र से संबंधित है ।

$N_o = KT_A$ जहाँ K = बोल्टजमेन अचलांक

भूकेन्द्र का एन्टेना ध्वनि तापमान

जब भू-केंद्र का अभिग्राहक एन्टेना उपग्रह की तरफ देखता है, तब ध्वनि के दो प्रमुख स्रोत असरकर्ता बनते हैं ।

- आकाश की ओर से आती पृष्ठभूमि ध्वनि

- पृथ्वी के अपने विकिरण से उत्पन्न ध्वनि

1 से 15 GHz आवृत्ति की सीमा परिसर में, 5° से अधिक एलिवेशन कोण के लिए, आम तौर पर आकाश से आता हुआ पृष्ठभूमि विकिरण 40 केल्विन से कम मात्रा में होता है । अतिरिक्त पुंज (साइड लोब) के द्वारा प्रवेश पाने वाले पृथ्वी के अपने विकिरण में से प्राप्त ध्वनि का व्यावहारिक मूल्य एन्टेना के नाप पर आधारित है । विशाल केसेग्रेइन परावर्तक एन्टेना में 10 केल्विन और छोटे डिश एन्टेना में अनुमानित 100 केल्विन ध्वनि तापमान हो सकते हैं ।

उपग्रह का ध्वनि तापमान

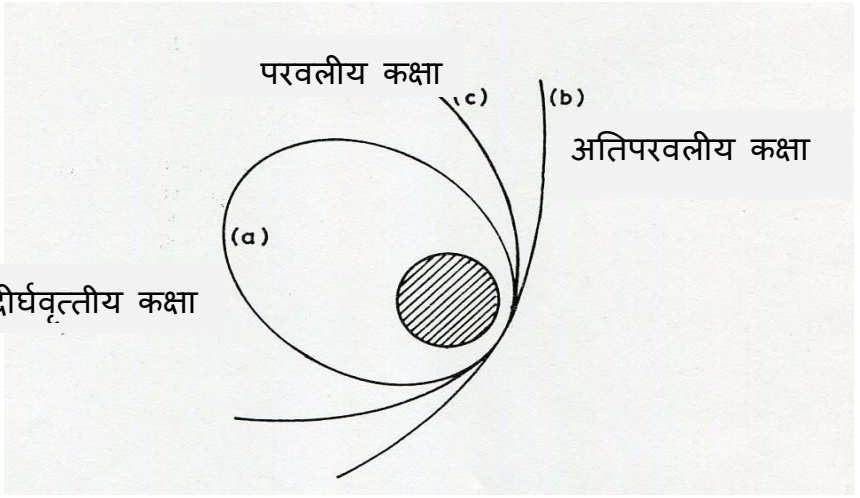
बीम-चौडाई, दृष्टि रेखा कोण तथा उपग्रह की कक्षा का प्रकार । ये तीन प्रमुख निर्णायक अंग है जो उपग्रह के ध्वनि तापमान पर प्रभाव डालते हैं । उपग्रह पर स्थापित अभिग्राहक एन्टेना की बीम चौडाई का मूल्य अगर कोण में नापा जाए, तो यह है; उपग्रह जिस कोण से पृथ्वी की ओर देखता है उस कोण का मूल्य अथवा इससे कम । भू-समकालिक उपग्रह की बीम-चौडाई 17.4° है । एन्टेना का ध्वनि तापमान और पृथ्वी का तापमान समान अर्थात 290 केल्विन हो सकता है । ये आंकड़े आदर्श स्थितियों के लिए हैं । व्यावहारिक मूल्यों में कुछ फर्क स्वाभाविक हैं ।

……..

2.0 उपग्रह कक्षाएं और कक्षीय प्राचल

2.1 प्रस्तावना

दूरसंचार और सुदूर संवेदन जैसे विविध उपयोग क्षेत्रों की परियोजनाओं में, उपग्रह की कार्यशैली के बारे में जानकारी प्राप्त करने के लिए, हमें विषयांकित अनुप्रयोग में समाविष्ट सरल ज्यामिति को समझना पड़ेगा । तब ही, एन्टेना में अंकित क्षति (भूल), झुकाव (टील्ट), पूर्वाग्रह (बायस) इत्यादि राशियों का महत्व आसानी से समझा जा सकता है । भू-अंतरिक्ष त्रिकोणमीति के सामान्य ज्ञान से; भू-केंद्र और उपग्रह एन्टेनाओं के बीच का संबंध, इन एन्टेनाओं के एझीमथ और एलीवेशन कोण और लक्ष्यकारी विशुद्धता (पोइन्टिंग एक्युरसी) के बारे में जानकारी प्राप्त हो सकती है । दूरसंचार प्रणाली में, उपग्रह का प्रयोग अंतरिक्ष के एक पदार्थ की तरह होता है जो पृथ्वी पर के दो बिन्दुओं के बीच संकेतों का आदान-प्रदान कराता है । अंतरिक्ष में यह पथ, दो पदार्थों के द्रव्यमानों के बीच न्यूटन के गुरुत्वाकर्षण सिद्धांतों के तहत निर्धारित होता है । खगोलीय भाषा में इस पदार्थ को पिण्ड भी कहते हैं। एक बिन्दु द्रव्य की गुरुत्वाकर्षण असर के कारण, अंतरिक्ष में दो सामान्य प्रकार के मार्ग संभव है । यह चित्र-1 में दर्शाया गया है । यहाँ (a) दीर्घवृत्ताकार (इलीप्टिक) कक्षा है । कृत्रिम उपग्रह अथवा सूर्य की प्रदक्षिणा करते ग्रहों की कक्षा दीर्घगोलाकार या दीर्घवृत्ताकार होती है । इसी प्रकार (b) एक अति-परवलीय कक्षा है । अन्तरग्राहिय उड़ानों में यह कक्षा विशिष्ट रूप से दिखाई पड़ती है ।



चित्र-1 विभिन्न प्रकार की कक्षाएं

दीर्घवृत्ताकार कक्षा बंद होती है और गतिमान पिण्ड उसे बारंबार पार करता है । अति-परवलीय कक्षा खुली होती है जो अनंत तक फैल सकती है । (c) चित्रित करती है परवलीय या अनुवृत्तीय कक्षा जो खुला वक्रपथ धारण करती है ।

2.2 ग्रहीय गतियाँ

अंतरिक्ष में ग्रहीय गतियाँ केप्लर के तीन मूलभूत नियमों से संचालित होती है । वे केप्लर के ग्रहीय नियमों से जाने जाते हैं । ये तीन नियम निम्नानुसार हैः

(i) प्रत्येक ग्रह, सूर्य की प्रदक्षिणा करते हुए दीर्घवृत्त आकृति अंकित करता है । दीर्घवृत्त में दो नाभिबिन्दु (फोकस) होते हैं । सूर्य इनमें से एक नाभिबिन्दु पर केन्द्रित है ।

(ii) त्रिज्या सदिश (वेक्टर) द्वारा अंकित वृतखण्डीय क्षेत्रफल के चित्रण का दर अचल है ।

(iii) सूर्य की प्रदक्षिणा करते ग्रह के एक परिभ्रमण के परिक्रमण काल के वर्ग का मूल्य, उसकी सूर्य से औसत दूरी के घन के अनुपात में होता है ।

पृथ्वी की प्रदक्षिणा करते उपग्रहों की गति ज्यादातर ग्रहीय गति के समान होती है । इसलिये, उपयुक्त तीन नियम आम तौर पर कृत्रिम उपग्रहों पर भी इतने ही वैध या मान्य है ।

विभिन्न कक्षाओं और उनके रेखागणित को समझने के लिये, हमें निम्नलिखित 6 स्वप्रणाली राशियों की जानकारी लेनी आवश्यक है। इन राशियों को केप्लर के अंश कहते हैं ।

(i) अर्ध गुरु अक्ष 'a' और अर्ध लघु अक्ष 'b' ।
ये दो अक्षों से कक्षा का नाप व्याख्यायित होता है ।

(ii) उत्केन्द्रता 'e' (एक्सेन्ट्रीसिटी)
यह नाप कक्षा का आकार दर्शाता है ।

(iii) झुकाव 'z' (इन्क्लीनेशन)
यह कक्षीय तल और भू-मध्यवर्ती तल के बीच का कोण है । दक्षिण से उत्तर में भू-मध्यरेखा को पार करने वाले बिन्दु पर यह उल्टी घड़ी की सुई की दिशा में नापा जाता है । पार करनेवाले बिन्दु को उदीयमान बिन्दु (एसेन्डींग नोड) कहा जाता है । इसकी सीमा 0° से 180° तक की है ।

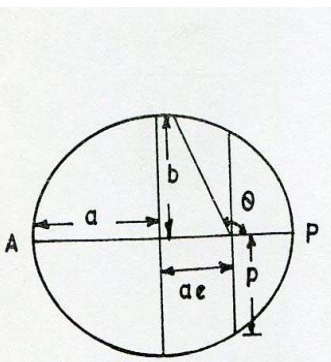
(iv) उदीयमान बिन्दु का देशांतर 'Ω' (लोन्गीट्युड ऑफ एसन्डींग नोड)
यह, महाविषुव (वर्नल इक्वीनोक्ष) की दिशा से उदीयमान बिन्दु की दिशा तक भू-मध्यवर्ती तल पर नापा गया कोण है । घड़ी की सुई की उल्टी दिशा में दर्शाया गया यह कोण 0° से 360° की सीमा में रहता है ।

(v) आर्ग्युमेन्ट ऑफ पेरीजी 'ω'
यह, उपग्रह की गति की दिशा में, उपग्रह के कक्षीय तल में नापा गया कोण है । यह कोण उदीयमान बिन्दु तथा पेरिजी की दिशा के बीच का है । इस कोण का मूल्य फैलाव 0° से 360° तक का है ।

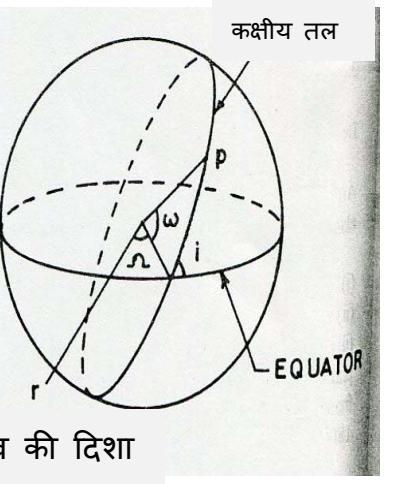
यहां पर पेरिजी और एपोजी शब्दों के अर्थ समझना अति आवश्यक है । पेरिजी का अर्थ है, कक्षा पर का वह बिन्दु जहां से पृथ्वी की दूरी न्यूनतम है । अर्थात् पेरिजी पर स्थित उपग्रह पृथ्वी से निकटतम है । इससे विपरित एपोजी का मतलब है कि वह बिन्दु पृथ्वी से अधिकतम अन्तर पर है ।

(v) पेरिजी गमन का समय 'tp'

पेरिजी गमन समय वह समय है जब उपग्रह निकटतम बिन्दु पर था । यह 6 राशियाँ चित्र 2 एवम् 3 में रेखित की है ।



चित्र -2 केप्लर के अंश



चित्र-3 केप्लर के अंश

2.3 कक्षाओं के गुणधर्म

अंतरिक्ष के संदर्भ में, कक्षा दो पिण्डीय गति का मार्ग है । जिसमें द्वितीयक (अप्रधान) पिण्ड सदैव प्रधान पिण्ड के प्रभाव में रहता है । द्वितीयक पिण्ड का द्रव्यमान प्रधान पदार्थ की तुलना में नगण्य (मामूली) होता है । साधारणतया, अंतरिक्ष में कक्षा निम्नलिखित विशेषताएं धारण करती है ।

1. संभव मार्ग सिर्फ शंकुरूप काट (कोनिक सेक्सन) है । शंकुरूप काट के चार उदाहरण है।
   वृत्त (परिधि), दीर्घवृत्त, अनुवृत्त (परवलय) और अति-परवलय ।
2. शंकुरूप काट का नाभि बिन्दु हमेशा केन्द्रस्थ पिण्ड के केन्द्रबिन्दु पर होना चाहिए ।
3. गति के दौरान कक्षा में, उपग्रह की कुल गतिज और स्थितिज शक्ति का मूल्य अपरिवर्तनशील होता है ।
4. कक्षीय गति हर हालत में समान तल में होती है ।
5. कक्षा में उपग्रह का कोणीय गतिबल अपरिवर्तनशील है ।

कक्षीय गति से संलग्न प्रयुक्त शब्दावली

कक्षीय कालः प्रधान पिण्ड की एक प्रदक्षिणा करने के लिए उपग्रह द्वारा लिया गया समय । यह अवधि मूल पदार्थ के द्रव्यमान तथा कक्षा के नाप पर निर्भर है ।

सूत्र के रूप में; $P = 2\pi\sqrt{\frac{a3}{GM}}$

जहाँ, a = कक्षा का अर्ध गुरू अक्ष

G = गुरुत्वाकर्षण अचलांक

M = प्रधान पिण्ड का द्रव्यमान (पृथ्वी का द्रव्यमान)

पृथ्वी के किस्से में, GM का मूल्य 398601 Km^3/Sec^2 है ।

इस सूत्र से स्पष्ट होता है कि कम ऊँचाई की कक्षा का कक्षीय काल कम है, हालांकि ऊँची कक्षा में कक्षीय अवधि अधिकतर है ।

कक्षीय वेगः अपने आपको कक्षा में बनाए रखने के लिए उपग्रह को चाहिये कि वह वेग में रहे । वृत्तीय कक्षा में वेग का मूल्य अपरिवर्तनशील है; और इसका मूल्य का अचल रहना निम्न दर्शित सूत्र से स्पष्ट होता है ।

$V = \frac{GM}{r}$ जहाँ V= कक्षीय वेग, r = कक्षा की त्रिज्या है ।

G, M और r अचलांक होने से, V भी अचलांक बन जाता है । इसी प्रकार यह भी स्पष्ट होता है कि, निचली कक्षा के लिए वेग ज्यादा होता है और ऊपरी कक्षा में कम । दीर्घवृत्तीय कक्षा में वेग की निर्भरता है पदार्थ की केन्द्र से दूरी पर । पेरिजी पर वेग महत्तम है और एपोजी पर न्यूनतम ।

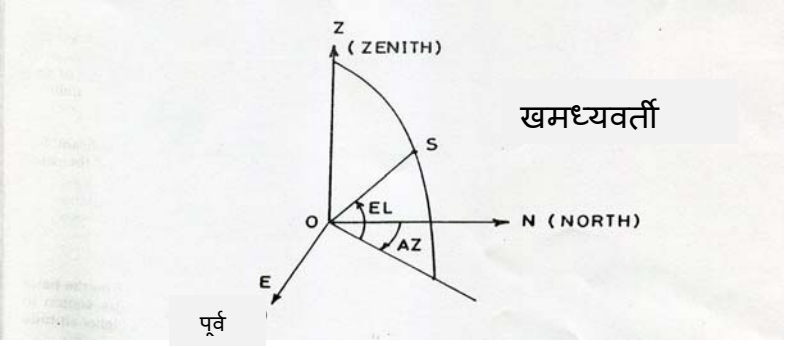
सब-सेटेलाइट पॉइन्टः अगर हम उपग्रह और पृथ्वी दोनों के केन्द्रों को जोडें और एक सुरेखा बनाएं तो पृथ्वी के जिस बिन्दु पर यह सुरेखा टकराती है उस बिन्दु को सब-सेटेलाइट पॉइन्ट कहते हैं । इसका नामकरण 'उप-उपग्रह बिन्दु' भी हो सकता है । यहाँ पर पृथ्वी को घन गोलाकार माना गया है ।

कक्षा का भू-अनुरेख (ग्राउन्ड ट्रैक): जैसे-जैसे उपग्रह अपनी कक्षा में आगे बढ़ता है, उप-उपग्रह बिन्दु भी अपना मार्ग पकड़ता है। इस मार्ग को कक्षा का भू-अनुरेख कह सकते हैं ।

उपग्रह की ओर के संकेत कोणः (एझीमथ एवम् एलीवेशन)

उपग्रह के जरिये संचार प्रक्रिया के लिये आवश्यक है इसकी तरफ की संकेत दिशा जानना । स्थल केन्द्रिक (टोपोसेन्ट्रीक) प्रणाली में, संकेत दिशा दो कोणों से निर्धारित होती है । ये संकेतकोण या लुक एंगल से जाने जाते हैं । क्षितिज पद्धति के अंतर्गत, ये दो कोण है;

एझीमथ और एलीवेशन । निरीक्षक के क्षितिज में, असली उत्तर की दिशा से क्षितिज पर लिये गये उपग्रह के लंबित प्रक्षेपण (प्रोजेक्शन) तक के कोण को एजीमथ कोण कहते हैं । इस कोण की सीमा 0° से 360° की है । एलीवेशन कोण, क्षितिज तल से उपग्रह की दिशा तक नापा गया कोण है । यहाँ पर उपग्रह को लम्बवत (वर्टिकल) तल में होने की पूर्वधारणा की गई है । एलीवेशन कोण की मर्यादा -90° से + 90°तक होती है ।



चित्र-4 उपग्रह तरफी कोण

2.4 कक्षाओं के प्रकार

अंतरिक्ष में प्रस्थापित प्रत्येक उपग्रह के साथ विशेष कार्य लक्ष्य (मिशन) जुड़ा होता है । इन कार्यलक्ष्यों की आवश्यकताओं के अनुरूप, विभिन्न कक्षाओं का चयन होता है । उदाहरण के तौर पर, दूरसंचार उपग्रह अंतरिक्ष में एक प्रसारण केंद्र की तरह कार्य करता है । इसलिये, यह जरूरी है कि उपग्रह एक ही समय पर पृथ्वी पर के भिन्न-भिन्न स्थानों से दृश्यमान हो। अतः यहाँ, अधिक ऊँचाईयुक्त कक्षा उचित है । इसी प्रकार, भूमि निरीक्षण उपग्रह को पृथ्वी के सभी ठिकानों पर से गुजरना आवश्यक है । अतः ज्यादा झुकाव क्षमता धारक, कम ऊँची कक्षा बेहतर है । कार्यलक्ष्य के अनुसार आवश्यकताओं के उपरांत, कुछ ओर घटक है जो कक्षा के चयन में महत्वपूर्ण योगदान देते हैं। ये घटक निम्नलिखित हैः

- वांछित कक्षा पर उपग्रह को प्रक्षेपित करने की तकनीक
- कक्षा को चलाने और इसके रखरखाव की क्षमता
- कक्षा संचालन में आर्थिक मितव्ययता (धन का कौशल्य से उपयोग)
- सामाजिक तथा राजनैतिक सरोकार

चंद जानी मानी कक्षाओं का ब्योरा यहाँ दिया हैः

भू-स्थिर कक्षा

भूस्थिर कक्षा की संकल्पना प्रथम बार ब्रिटेन के वैज्ञानिक आर्थर सी. क्लार्क ने 1945 में की थी । उसने पृथ्वी की सतह से 36000 कि.मी. ऊपर स्थित 3 उपग्रहों की एक व्यवस्था का प्रस्ताव रखा । प्रसारण केन्द्र समान ये तीन उपग्रह भू-मध्य रेखा पर समान अन्तर पर होने की परिकल्पना की थी । (चित्र-5) इस ऊँचाई पर, पृथ्वी का और उपग्रह का, दोनों का एक प्रदक्षिणा करने का समय समान होता है । अर्थात् कक्षीय काल समान होते हैं । इसी कारण से, पृथ्वी की सतह पर स्थित कोई भी बिन्दु पर से, उपग्रह स्थिर दिखाई पड़ता है । एक आदर्श भू-स्थिर कक्षा की प्रमुख आवश्यकताएं इस प्रकार हैः

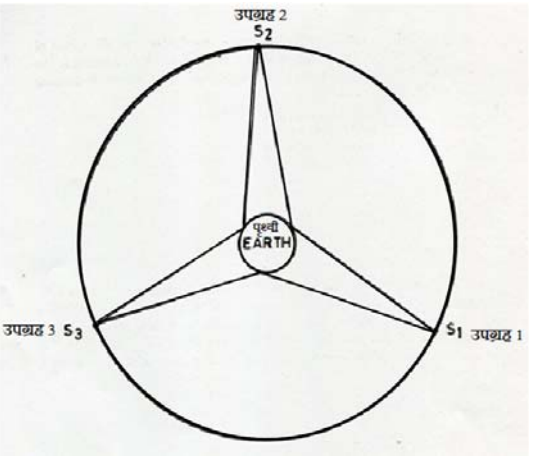
(i) कक्षा भू-मध्यवर्ती होनी चाहिए; यानि i = 0

(ii) कक्षा वृत्तीय होनी चाहिये; यानि e = 0

(iii) कक्षीय काल = एक ताराकीय दिवस (साइडीरीयल डे) = 23 घण्टा 56 मिनट 04 सेकेन्ड (23 Hr 56 Min 04 Sec.)

यहाँ पर ताराकीय दिवस का अर्थघटन जरूरी है । यह एक समय का नाप है जो कोई एक तारे के संदर्भ में पृथ्वी को एक परिभ्रमण करने में लगता है । चूंकि कक्षीय काल, कक्षा की त्रिज्या से संबंधित है, त्रिज्या के मूल्य की जानकारी आवश्यक है । पृथ्वी के संदर्भ में यह त्रिज्या 42164 कि.मी. है । यह भू-समकालिक त्रिज्या के नाम से प्रचलित है ।

भू-स्थिर कक्षा के प्रयोग और उपयोग दूरसंचार, डाटासंचार, मौसमविज्ञान, उपग्रह लक्ष्यानुसारण (ट्रेकिंग) इत्यादि कार्यक्षेत्रों के लिए होते हैं । वर्तमान में, सैंकडों उपग्रह भू-स्थिर वृत्तांश में विद्यमान है और उक्त सेवाओं में मिशन अनुसार कार्य करते हैं । भारतीय उपग्रहों में इन्सेट और जीसेट श्रेणी के सेटेलाइट इस प्रकार की कक्षा वर्ग में सम्मिलित है । भू-स्थिर कक्षीय इन उपग्रहों का कक्षीय स्थान 74° पूर्व से 93.5° पूर्व के बीच में अलग-अलग जगहों पर है ।



चित्र-5: संपूर्ण भू-मंडलीय व्याप्ति के लिए आवश्यक तीन उपग्रह

सूर्य-तुल्यकालिक कक्षा

भूमि-निरीक्षण योजनाओं में, पृथ्वी स्थित स्थानों की फोटोग्राफी एक ही स्थानिय समय पर लेना जरूरी है ताकि बदलाव की तुलना प्रतिदिन हो सकती है । यह कार्य, उपग्रह को सूर्य-तुल्यकालिक कक्षा में प्रस्थापित करके किया जाता है । इस कक्षा में झुकाव 90° से थोड़ा ज्यादा होता है । कक्षा के तल में पृथ्वी और सूर्य दोनों समाविष्ट है । इस कक्षा में, सूर्य द्वारा प्रकाशित भुजा पर स्थानिय मध्याह्न के आसपास, और अंधेरी दिशा पर स्थानिय मध्य रात्रि के आसपास उपग्रह भू-मध्य रेखा को पार करता है । पृथ्वी 15° प्रति घण्टे के दर से प्रदक्षिणा करती है । उपग्रह की कक्षा अंतरिक्ष में स्थायी स्वरूप में है; इसका मतलब है कि, पृथ्वी का चित्रीकरण हर पल एक ही सूर्यकोण में हो सकता है । दूसरे तरीके से समझें तो सूर्य के सापेक्ष में, उपग्रह की कक्षीय गति शून्यवत् है । फिर भी, पृथ्वी सूर्य के आसपास एक पूरा चक्कर यानि 360° घूमने के लिए 365 दिन लगाती है । अर्थात्, हर एक समय, एक ही सूर्य कोण बनाए रखने के लिए कक्षीय तल को 360/365 = 0.9856° प्रतिदिन घूमना पडेगा । पृथ्वी की सपटता (ओब्लेइटनेस) नाभिओं की टेढी कताई (प्रेसीसन ऑफ नोड्स) जैसी प्रक्रिया को जन्म देती है । टेढ़ी कताई का सही अर्थघटन करें तो, जैसे एक लट्टू जमीन पर 90° न होते कुछ कोण बनाके टेढ़ा घूमता है । अगर उपग्रह एकदम सही कक्षा में है, तो भूमध्यवर्ती उभार (बल्ज) की वजह से, कक्षा में, नाभिकीय टेढ़ी कताई के मूल्य का मोड़ आएगा । कक्षा संबंधित दो महत्वपूर्ण मापदण्ड है; (i) अर्ध-गुरु अक्ष तथा (ii) झुकाव ।

सूर्य तुल्यकालिक कक्षा वाले मिशन के लिए सर्वोत्कृष्ट ऊँचाई लगभग 900 कि.मी. है । कक्षा गणित में एक सर्वमान्य नियम है कि अधिक ऊँचाई से विश्लेषण या विभेदन (रिज़ोल्यूशन) में कमजोरी जबकि निम्न कक्षा से उपग्रह की आयु में क्षीणन होती है। संचालक सूत्र है;

$$\frac{\Omega}{\text{दिवस}} = 0.9856^\circ$$

IRS सिरीज के सेटेलाइट्स और कार्टोसेट जैसे प्रचलित तथा कार्यशील भारतीय उपग्रह प्रणालियाँ, सूर्य तुल्यकालिक उपग्रहों की श्रेणियों में समाविष्ट है ।

ध्रुवीय कक्षाः

ये ऐसी कक्षाएं हैं जिनका झुकाव 90° है ताकि वे प्रत्येक बार ध्रुवों के ऊपर से गुजरती है । इस वर्ग की कक्षाएं दिशाज्ञान हेतु इस्तेमाल किये जाते संक्रमण (ट्रान्सीट) उपग्रहों में होती है। ध्रुवीय कक्षा की ऊँचाई 1100 कि.मी. और कक्षीय काल 108 मिनट है । भू-विज्ञान तथा मौसम विज्ञान संबंधित उपग्रह इस वर्ग में शामिल है ।

मध्यवर्ती वृत्तीय कक्षा (इन्टरमीडियेट सर्कयुलर ओरबीट – ICO):

मध्यवर्ती वृत्तीय कक्षा (ICO) अथवा मध्य-भूमि-कक्षा (MEO); अधिक ऊँचाई धारक झुकी हुई वृत्तीय कक्षाएं हैं जो दिशाज्ञान और दूरसंचार कार्यक्षेत्रों में इस्तेमाल होती है । इन सेवाओं को पाने के लिए विस्तृत क्षेत्र और पृथ्वी के दूरगामी भागों से दृष्टिगोचरता अतिआवश्यक है । ग्लोबल पोजिशनिंग सिस्टम यानि GPS, इस वर्ग में समाविष्ट है । 20,000 किमी तक की ऊँचाई की सीमा में प्रदक्षिणा करते उपग्रहों का एक समूह GPS प्रणाली का प्रमुख आयाम है । भारतीय अंतरिक्ष परियोजना के अंतर्गत IRNSS उपग्रह इस दिशाज्ञान हेतु का समाधान करते हैं । आइ.आर.एन.एस.एस. उपग्रह प्रणाली मध्यवर्ती वृत्तीय कक्षा द्वारा संचालित है । वर्तमान में, अन्तर-उपग्रह कडी प्रस्तावित करके, आने वाले दिनों में GPS तथा संपूर्ण दिशाज्ञान के चित्र को पुख्ता करने की दिशा में संशोधन कार्य जारी है ।

निम्न भू कक्षा

समकालिन व्यवस्था में, भूस्थिर कक्षा से हट कर, निम्न भू कक्षा का प्रयोग मोबाइल दूरसंचार के क्षेत्र में बढ़ चढ़ कर किया जाता है । इसका कारण है कि, तकनीक की तरक्की की वजह से, अब उपग्रह को ज्यादा जटिल या पैचीदा बनाना मुमकिन हुआ है । तदुपरांत भू-टर्मिनल अधिकतर सरल और सुवाह्य (पोर्टेबल) बन सकते हैं जो आर्थिक रूप से उचित है ।

इसके अलावा, निम्न भू कक्षा का उपयोग कूटनीतिक टोह (सैनिक सर्वेक्षण), भू-भाग प्रतिचित्रण (टेरेइन मेपींग), मानचित्रीकरण, वैज्ञानिक अनुसंधान तथा मानवयुक्त अंतरिक्ष मिशनों जैसे महत्वपूर्ण कार्यों में किया जाता है । इसमें आदर्श ऊँचाई 200 से 500 किमी के बीच होती है । मानवयुक्त अंतरिक्ष मिशनों के लिए आवश्यकता है सर्वाधिक सुरक्षा और संरक्षा की । इसके कारण अंतरिक्षयान का वजन और आर्थिक खर्च एकदम बढ़ जाते हैं । खर्च कम करने हेतु, इन कक्षाओं को कम अवधि की कार्ययोजनाओं में नियोजित की जाती है। हो सकता है कि ऐसे मिशन केवल थोड़े हफ्तों के लिए आयोजित हों ।

3.0 उपग्रह-पृथ्वी लिंक रेखागणित

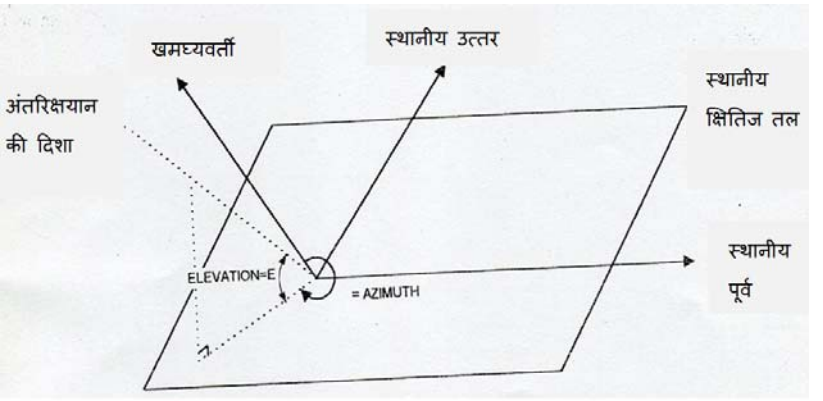
3.1 प्रस्तावना

उपग्रह और पृथ्वी के बीच साझेदारी में एक खास संबंध होता है । इस संबंध को महसूस करने के लिए कक्षा का ज्ञान अनिवार्य है । हालांकि अगले अध्याय में कक्षा के विषय में जानकारी प्रस्तुत की गई है, इतना ही महत्वपूर्ण है अक्ष प्रणाली और लिंक प्राचल राशि के विषयों में ज्ञान। इसका संज्ञान, इन दो ब्रह्माण्डीय पदार्थों के बीच संचार प्रक्रिया के मूलभूत सिद्धांतों को समझने में सहायक होगा । यहाँ पर 'संचार' शब्द का अर्थ व्यापक स्वरूप में है जिसका अर्थ है इस लिंक से अभिप्राप्त कोई भी उपयोग क्षेत्र । उदाहरण के तौर पर दूरसंचार, सुदूर संवेदन, दिशाज्ञान, अन्तरग्रहीय कार्रवाई इत्यादि में से एक या ज्यादा किसी भी उपयोग के प्रकार को मोटे तौर 'संचार' कह सकते हैं । मूलभूत लिंक प्राचलों (मापदण्डों) को समझना आवश्यक है। इन प्राचलों की सरल व्याख्या तथा रेखागणित के माध्यम से एझीमथ, एलीवेशन, भूमि उपग्रह दूरी इत्यादि शब्दावलियों की मजबूत दिमागी पकड आ सकती है ।

3.2 मूलभूत लिंक प्राचल (मापदण्ड)

दिशा कोण और भू-उपग्रह दूरी स्थल केन्द्रिक गोलाकार प्रणाली का प्रयोग, आम तौर पर उपग्रह की दूरी और एन्टेना के दिशाकोण एझीमथ तथा एलीवेशन का निर्धारण करने हेतु किया जाता है । भू-केंद्र उपग्रह को जोडती सुरेखा और क्षितिज तल के बीच के कोण को एलीवेशन कोण कहा जाता है । इसी प्रकार, भू-केंद्र-उपग्रह को जोडती सुरेखा का क्षितिज तल पर खींचे गये प्रोजेक्शन (लंबित रेखा) की दिशा सूचित करता है एझीमथ कोण । यह कोण स्थानिय उत्तर दिशा से घड़ी की सुई की दिशा में गिना जाता है ।

चित्र-6 में स्थल केन्द्रिक अक्ष व्यवस्था (टोपोसेन्ट्रीक को-ओर्डिनेट सिस्टम) में भू-केंद्र एझीमथ तथा एलीवेशन कोण प्रदर्शित किये हैं।



चित्र-6 – भू-केंद्र के एझीमथ एवम् एलीवेशन कोण

चित्र 7 की त्रिकोणमितीय आकृति की सहाय से भू-केंद्र एन्टेना और उपग्रह के बीच का अन्तर (भू-उपग्रह दूरी) मूल्यांकित किया जाता है । इस गिनती में पूर्वधारणा है कि भू-केंद्र तथा उप-उपग्रह बिंदु (सब-सेटेलाइट पोइन्ट) दोनों के देशान्तर एक समान है । भू-उपग्रह दूरी (स्लान्ट रेंज)

$R= [r_e^2 + (h + r_e)^2 – 2\ r_e\ (h + re)\ \cos\Theta]^{\frac{1}{2}}$

यहाँ पर

R= भू-उपग्रह दूरी

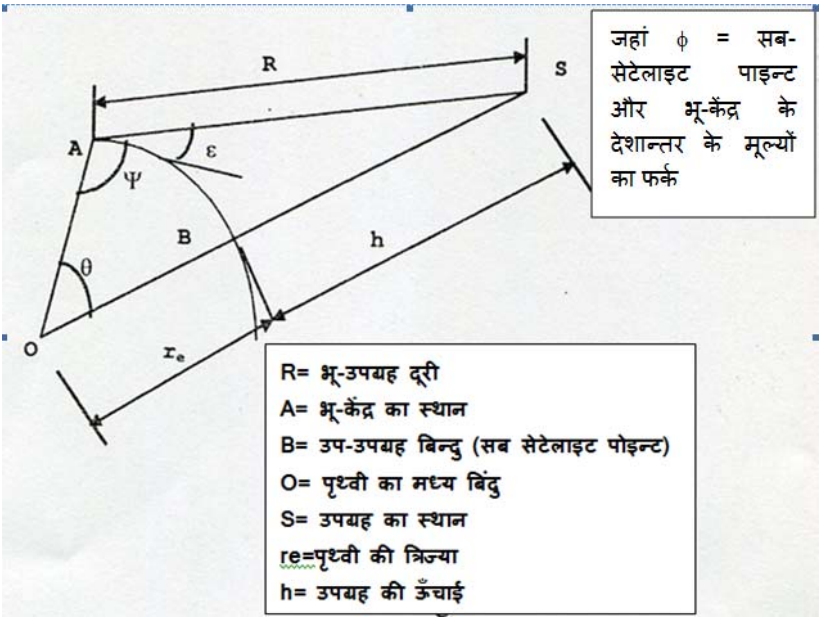
Re= पृथ्वी की त्रिज्या (6378 किमी)

h= उपग्रह की ऊँचाई = 37786 कि.मी.

(यहाँ पर ऊँचाई का अर्थ है, उप-उपग्रह बिंदु से उपग्रह का अन्तर)

θ = भू-केंद्र का अक्षांश

अगर भू-केंद्र और सब-सेटेलाइट पोइन्ट एक भू-मध्य रेखा (मेरिडियन) पर नहीं है अर्थात् अगर दोनों के देशान्तर भिन्न है, फिर भी इसी समीकरण से 'R' गिन सकते हैं । इस मामले में, COS θ के स्थान पर COSZ= cos θ x cos ϕ लग जाएगा ।



चित्र-7 – भू-केंद्र और सेटेलाइट की भू-उपग्रह दूरी का रेखा गणित

एलिवेशनः एलिवेशन कोण ε भू-केंद्र पर क्षितिज समांतर से उपग्रह तक का कोण है; ε का मूल्य हैं, $\varepsilon = \psi - 90$ । चित्र 7 की रेखागणित आकृति की सहाय से निम्नलिखित समीकरण से एलि वेशन कोण निकाला जा सकता है ।

$(h + r_e)^2 = R^2 + r_e^2 - 2r_eR.\cos\psi$ यहाँ पर h, r_e और R ज्ञात है, अतः ψ का मूल्य निकाल सकते हैं । और आगे (ψ – 90) = ε । इस प्रकार एलिवेशन कोण प्राप्त होता है ।

एझीमथः भू-अंतरिक्ष सुरेखा का एझीमथ कोण

$\text{Cos}\ \propto\ =\ \tan\theta\cot Z.$

सब-सेटेलाइट पोइन्ट की पूरब में स्थित भू-केंद्र का एझीमथ कोण (180+∝)° है जबकि, इससे विपरित, पश्चिम स्थित भू-केंद्र का एझीमथ कोण (180-∝)° है । जैसे कि आगे कहा गया है, एझीमथ कोण सदैव स्थानिय उत्तर दिशा में नापा जाता है ।

4.0 एन्टेना- उपग्रह-पृथ्वी की कड़ी का प्रमुख अवयव

4.1 प्रस्तावना

एन्टेना, मूल रूप से एक ऐसा साधन है जो दृष्टि रेखा को लक्ष्य की ओर जोड़ने में काम आता है । यह दृष्टि रेखा भू-प्रणाली से उपग्रह या इससे विपरित उपग्रह से भू-प्रणाली हो सकती है। दोनों प्रणालियों में एन्टेना सबसे अधिक स्पष्ट घटक है यानि दृश्यमान है । संयोग से वे दोनों ट्रान्समीट और रिसीव प्रणालियों में अंतिम घटक के रूप में जुड़े होते हैं । अर्थात् रिसीव और ट्रान्समीट श्रृंखलाओं का प्रारंभ और अंत एन्टेना परावर्तक (रिफ्लेक्टर) पर होता है । सरलता हेतु लोकप्रियता के कारण यहाँ पर रिफ्लेक्टर, ट्रान्समीट, रिसीव, फीड, एलाइनमेन्ट, आरएमएस, डिज़ाइन, डीश इत्यादि शब्दों का प्रयोग किया गया है । एन्टेना कितनी सरलता से और कितने सही ढंग से दृष्टि रेखा को लक्ष्य की ओर पथ दिखा सकता है, इसकी निर्भरता है एन्टेना प्रणाली में समाविष्ट व्यावहारिक आवश्यकताएं और रचना प्रणाली की डिज़ाइन पर । एन्टेना डीश की आरएमएस अंक में दर्शित सतह विशुद्धता (सरफेइस एक्युरसी) एन्टेना के उपलब्धि स्तरों को निर्धारित करती है । भूमि एवम् अंतरिक्ष एन्टेनाओं में निम्नलिखित राशियाँ इनकी उपलब्धि मापदण्डों के संचालन या नियंत्रण करने में प्रमुख भूमिका अदा करते हैं ।

- रिफ्लेक्टर डीश की सतह विशुद्धता आरएमएस अंक में
- फीड, सब डिश, मुख्य डिश इत्यादि की विशुद्धता
- एन्टेना एलाइनमेन्ट
- अचल पाथ संबंध
- एन्टेना का प्रकाश विज्ञान
- विक्षेपण, झुकाव इत्यादि वास्तविकताएं
- सूक्ष्म तरंगों में रूकावट
- गतिशील घटकों का गतिविज्ञान
- कन्ट्रोल यंत्र विन्यास...इत्यादि....

भू-केंद्र-उपग्रह की इस कड़ी में से, यहाँ पर अंतरिक्ष एन्टेना का विवरण, संलग्न मिशन के परिप्रेक्ष्य में दिया गया है ।

अंतरिक्ष एन्टेना उप-प्रणाली, कई विशिष्ट तकनीकों के साथ जुड़ी है और इनका प्रयोग विभिन्न कार्यक्षेत्रों के मिशनों में होता है । उदाहरण के तौर पर, भूमि-अवलोकन, टेली-संचार, दिशाज्ञान और

वैज्ञानिक संशोधन । तदुपरांत, एन्टेना उपप्रणाली, डाटा डाउन-लिंकिंग तथा टेलिमेट्री व टेलीकमान्ड जैसे कार्यों में महत्वपूर्ण योगदान करती है । किसी भी उपग्रह प्रणाली की डिज़ाइन में, एन्टेना के उपलब्धि प्रदर्शन में बेहतरी लाना, एक प्रमुख मुद्दा होना चाहिये । विभिन्न उपयोग और आवश्यकताओं की विविधताओं से कदम ताल मिलाने के लिए एन्टेना तकनीकों में निरन्तर विचार मंथन समय की मांग है ।

4.2 मिशन (परियोजनाएं)

भूमि अवलोकन (अर्थ ओब्जर्वेशन- EO):

विगत और वर्तमान के कई मिशनों का आशय, वैज्ञानिक, सामाजिक, कूटनीतिज्ञ और व्यापारिक उपभोक्ता समुदायों के लिये उच्च गुणतायुक्त डाटा मुहय्या कराना है । भारत वर्ष की कुछ चुनंदी भूमि-अवलोकन से जुड़ी परियोजनाओं में शामिल हैं; भास्कर, आइआरएस, एमएसएमआर, रीसेट-1, कार्टोसेट-1, मेघा-ट्रॉपिक्स इत्यादि । इन परियोजनाओं से प्राप्त उपयोगों की सूची कुछ इस प्रकार हैः मौसम पूर्वानुमान एवम् अवलोकन, वायुमंडलीय रसायन विज्ञान, समुद्रविज्ञान, ठोस भू-स्थलाकृति, प्रतिचित्रण तकनीक, समुद्री बर्फ का आकलन, कृषिविज्ञान, भू-संपदा सर्वेक्षण, पर्यावरण विज्ञान, वन अवलोकन, नवीकरणीय स्रोतों का अभ्यास, वैश्विक तापन समस्या विचार जैसे महत्वपूर्ण विषयों पर वैज्ञानिक प्रयोग होते हैं । परियोजनाओं की अपनी विशिष्टताओं के अनुसार इन विषयों पर कार्य होते हैं । उदाहरण के तौर पर कार्टोसेट परियोजना के अंतर्गत प्रतिचित्रण तकनीक, वन अवलोकन, ठोस भू-स्थलाकृति इत्यादि विषयों पर निरीक्षण, संशोधन, आकलन, संश्लेषण, विश्लेषण, अधिसूचन इत्यादि महत्वपूर्ण कार्य होते हैं । भूमि-अवलोकन मिशन (EO) के लिए आवश्यक है, i) विविधतापूर्ण अर्थात अनेक विकल्पों वाली एन्टेना संरूपण (कन्फीग्युरेशन), (ii) क्रियाकलाप के अनुसार तरंग-आवृत्तियों की विविधताओं का समाधान करते संसाधन/उपकरण और (iii) इन विविधताओं का अमल करने, तकनीकों का विकास । विविधताओं का कारण है कि ये एन्टेना या तो इलेक्ट्रानिक या ऑप्टिकल प्रणाली के घटक है, अथवा वे इन सिस्टमों के साथ समन्वित है । इलेक्ट्रानिक और ऑप्टिकल साधनों की सूची इस प्रकार है । प्रचलित रूप में दर्शाने हेतु, इनके अंग्रेजी नामों का शब्द प्रयोग

किया है । EO मिशन के प्रयोगों में उपयोगी भारत में डिज़ाइन किये गये कुछ इलेक्ट्रो-ऑप्टिकल उपकरण इस प्रकार हैः

आल्टिमीटर, साउन्डर्स, इमेजर्स, स्केट्रोमीटर्स, रेडियो मिटर्स, पैनकैमरा, सिन्थेटिक एपरचर रडार (SAR), एटमोस्फेरिक रडार, एयरबोर्न सेटेलाइट्स, इन्टरफेरोमिटर्स, माइक्रोवेईव ओकलटेशन इन्स्ट्रुमेन्ट्स इत्यादि । उपभोक्ता डाटा डाउन लिंक, खोज एवं बचाव कार्य (सर्च एंड रेस्क्यु), डाटा संग्रह प्रणाली इत्यादि कार्यक्षेत्रों में संतोषजनक प्रगति हुई है । इन उपलब्धियों का मुख्य कारण उच्च तकनीक से परिकल्पित एन्टेना प्रणालियाँ हैं जो आवश्यकताओं के साथ-साथ समयान्तर पर बदलती रहती है । उदाहरण के तौर पर L बैन्ड, UHF और VHF में कार्यरत क्वाड्री फीलर कुण्डलाकार (हेलिक्ष) एन्टेना । भारत में उपग्रह संचार में विभिन्न आवृत्ति बैन्डों में इस प्रकार के कुण्डलाकार तथा सपाट एन्टेना भी विकसित हो रहे हैं, जो परवलयाकार के एन्टेनाओं के साथ कदम मिलाते हुए इस क्षेत्र में क्रांति ला सकते हैं ।

वर्तमान में संश्लेषित द्वारक रडार (सिन्थेटिक एपरचर रडार – SAR) यानि एक प्रकार का रडार आल्टीमिटर है जो किरण बाधकता के सिद्धांत (इन्टरफेरोमिति) पर कार्य करता है, पर संशोधन कामकाज जारी है । ट्रैक के साथ-साथ में SAR गुणधर्मों के काम में लगाकर, तथा ट्रैक को पार करती दिशा में किरणबाधकता के सिद्धांत के जरिये इन साधनों में से अच्छी गुणवत्तायुक्त विशिष्ट विभेदन (स्पेशियल रिज़ोल्यूशन) हांसिल किया जाता है । SAR के माध्यम से इसी भौतिक विज्ञान का उपयोग करके समुद्र में तैरने वाले बर्फ की मोटाई नापी जा सकती है । किरण-बाधकता मापन कार्य के लिये, वास्तविक किरणबाधक आधाररेखा पद्धति का ठोस ज्ञान जरूरी है । 'इन्टरफेरोमेट्रिक' यानि किरण बाधकता के इस सिद्धान्त से एक चाप-सेकेन्ड के हजारों भाग के बराबर के मूल्य की मापन शुद्धता प्राप्त होती है ।

एन्टेना के प्राचलों (पेरामिटर्स) को क्षति रहित अवस्था में प्राप्त कर के, हम भूमि-अध्ययन के सभी आयामों पर सफलतापूर्वक संशोधन कार्य कर सकते हैं । अतः यह अति आवश्यक है कि एन्टेना पूर्ण रूप से संतुलित, विचलन रहित, विशुद्ध मापन क्षमता युक्त और कम से कम ताप-स्थीति स्थापक (थर्मो इलास्टिक) असरयुक्त

होना चाहिये । समकालिन संशोधनों में L-बैन्ड एन्टेना के उपयोग से दो प्रमुख परिस्थितियों पर अभ्यास जारी है । पृथ्वी की ये दो निरंतर परिवर्तनशील वास्तविकता है; जमीन पर मिट्टी में नमी और समुद्र में खारापन । इन अभ्यासों ने, प्रगति की इस पायदान को और उठाने की दिशा में, अग्रिम रहने के लिए अभियन्ताओं को बड़ी चुनौती दे रखी है । फलस्वरूप, रिसेट-1 की सफलता के बाद, कई नये मोडल और हार्डवेयर विकसित करके किरणबाधकता सिद्धांत आधारित उपग्रह प्रणाली तैयार हो रही है । व्यावहारिक, सामाजिक, औद्योगिक, व्यापारिक, कूटनीतिक जैसे उपयोगों के साथ-साथ सबसे महत्वपूर्ण उपयोग है; जलवायु विज्ञान, मौसम विज्ञान और जलविज्ञान जैसे शास्त्रों का पुख्ता उपभोग ।

भावि-मिशन

वायुमंडलीय घटनाओं के विषय में अधिक और गहरी जानकारी के लिये बादल, वायु विलय (एयरोसोल) तथा विकिरण अन्तरक्रियाओं से जुड़ी समस्याओं पर ध्यानाकर्षण आवश्यक है । अब, अंतरिक्षयान को सूक्ष्मतरंगीय तथा दृष्टि संबंधित क्षेत्रों में कार्यरत एक्टिव और पेसिव उपकरणों से लैस होना जरूरी है । इनमें से एक, बादल अंतर्वेधी रडार (क्लाउड पेनीट्रेटिंग रडार) नामक उपकरण पर हाल संशोधन कार्य जारी है ।

अति संवेदनशील अधोबिन्दु (नादिर) मुखी वर्षा रडार और रेडियोमीटर के जरिये, उच्च अक्षांश वाले भू-भाग पर अक्सर निर्माण होती पातन (अवक्षेपण) प्रक्रिया पर अध्ययन जारी है। ये उपकरण, आवृत्ति 54 से 118 GHz के साउन्डिंग चैनल्स तथा 18 से 157 GHz के बीच की कुल 5 आवृत्तियों के पारम्परिक इमेजिंग चैनल्स से लैस है । दो अलग आवृत्तियों में, लेकिन समान बीम चौडाई में और एक ही दिशा में देखते हुए विशाल बैन्ड चौडाई वाले द्विध्रुवीय बीम पैदा करने की आवश्यकता ही अपने आपमें एक बड़ी चुनौती है । इसी कारण से एन्टेना स्तर पर कड़े और बड़े डिज़ाइन नियंत्रण लगते हैं । इसके अलावा, एक ही परावर्तक डिश फिटिंग वाले रडार और रेडियोमीटर का सहअस्तित्व खास करके बैन्ड के बाहर कार्य संपादन के किस्से में काफी अडचनें लाते हैं ।

भूमि-अवलोकन इकाई (EO मोड्युल) में काम करने वाले अभियंताओं के लिए जिओ-साउन्डर की संकल्पना नया उत्साह

प्रदान करता है । इनके लिये यह साधन भूमि अवलोकन कार्य का सर्वाधिक समर्थ साधन है । इस प्रकार के उपकरण, तेजी से उभरती हुई संवहनशील (कन्वेक्टिव) सिस्टम, पातन प्रक्रिया तथा बादल पैटर्न जैसी मौसम विज्ञान से जुड़ी घटनाओं के अवलोकन के लिए वांछनीय है । भू निम्न कक्षा (लिओ) से विपरित, भू-स्थिर कक्षाओं में एक प्रमुख ठोस फायदा है । भू-स्थिर कक्षीय मिशन में एक ही क्षेत्र की लगातार सूचना मिल सकती है । लेकिन यह फायदा उठाने के लिये अभियन्ता को एन्टेना डीश की डिज़ाइन में बहुत कडे नियंत्रण लगाने होते हैं ताकि आवश्यक स्थानीय विभेदन प्राप्त हो सके । इसकी वजह यह है कि निम्न भू-कक्षा (लिओ) की तुलना में भू-स्थिर कक्षा का पृथ्वी से अन्तर 40 गुना ज्यादा होता है जो प्रत्यक्ष रूप से स्पष्टता पर असर डालता है। तदुपरांत, अंतरिक्षयान-पृथ्वी की सापेक्ष गति शून्य होने के कारण, द्वि-आयामी पर्यवेक्षण (टू-डायमेन्शनल स्कैनिंग) रचनाप्रणाली के सहारे छविकरण की भी खास आवश्यकता है ।

भावि 'इओ' अर्थात् भूमि-अवलोकन एन्टेनाओं में विशेष रूप से, उत्तम दर्जे की स्पष्टता क्षमता, सर्वश्रेष्ठ निशाना-विशुद्धता (पोइन्टिंग एक्युरसी) और विशाल क्षेत्र मर्यादा में घूमने की क्षमता यानि पर्यवेक्षण क्षमता अत्यन्त जरूरी है । इन गुणों को यथार्थ करने के लिये उच्च विशुद्धता धारक परावर्तक और क्षति रहित स्थिरता प्रदान करती संरचना डिज़ाइन करना अनिवार्य है । Ku और Ka जैसी उच्च बैन्ड की आवृत्तियों के एन्टेना की कार्यक्षमता और वांछित उपलब्धि हासिल करने में, एक मुख्य प्रतिबंधक बल है, रिफ्लेक्टर सतह की यांत्रिक एवम् संरचनात्मक स्थिरता । अर्थात् एन्टेना की यांत्रिकी तथा विद्युति पहलूओं के लिहाज से पूर्णतया आदर्श डिज़ाइन ही वांछित परिणाम प्रदान करेगी । ये परिणाम है, शुद्ध रूप से क्षति रहित प्राप्त छविकरण, संचार, स्कैनिंग इत्यादि कार्यफल । मिकेनिकल और इलेक्ट्रिकल अभिकल्पनाओं का समवर्ती होना और दोनों विद्याशाखाओं के पहलूओं को आवश्यकताओं के आधार पर संकलित करने की सोच और इसका अमलीकरण सर्वोत्कृष्ट एन्टेना डिज़ाइन पेश करने में अहम भूमिका अदा कर सकती हैं । अभियन्ताओं और संशोधकों के आपसी तालमेल के इस फलसफे से परंपरागत तकनीक की जगह कन्करन्ट इन्जीनियरिंग के माध्यम से अंतरिक्ष विज्ञान में आम

तौर पर और एन्टेना टेक्नोलॉजी में खास तौर पर कामकाज करना, यह वर्तमान विचारधारा है ।

दूरसंचार मिशन

दूरसंचार मिशनों के लिए परावर्तक प्रकार के एन्टेना सर्वाधिक प्रचलित है । सन् सत्तर के दशक के दौरान स्थायी वृत्तीय और दीर्घवृत्तीय बीम आकार देने वाले एन्टेनाओं की शोध के साथ 80 के दशक में C बैन्ड, 90 के दशक में Ku बैन्ड और सन् 2000 के दशक में Ka बैन्ड आवृत्ति में अंतरिक्ष और भूमि एन्टेना अभिकल्पित होते रहे हैं । विकास की इस रेखा को आगे बढ़ाते हुए अब बीम विस्तार के नजरिये से मंथन प्रक्रिया इस मिलेनियम के प्रारंभ से ही शुरू हो चुकी है । जैसे कि, गोलार्ध, सीमित क्षेत्रीय तथा निर्धारित रूपरेखा दर्शानेवाले बीम समूह से प्रकाशित परावर्तक जैसे कई एन्टेनाओं पर संशोधन कार्य चल रहे हैं । आज की बड़ी मांग है; 'वांछित भू-क्षेत्र में सर्वाधिक बीम कवरेज और न्यूनतम एन्टेना वजन' । इस मांग को पूरी करने के लिए CFRP, DGR, KFRP जैसी तकनीक विकसित हुई । DGR यानि डुअल ग्रीडेड रिफ्लेक्टर का भारतीय नाम है; द्वि ग्रीड परावर्तक । CFRP और KFRP के विस्तृत नाम है; कार्बन (अथवा केवलार) फाईबर रेइनफोर्स्ड प्लास्टिक । DGR, CFRP, C, Ku, Ka इत्यादि संज्ञाएं सरलता हेतु इनके मूल स्वरूप में दर्शाने का प्रयास किया है । हाल ही में, स्थायी एन्टेनाओं की जगह जोड़ने की क्षमता वाले (मुड़ने वाले) एन्टेना संशोधित हुए हैं जो ग्रेगोरियन समाकृति के हैं और द्वि-अक्षीय यांत्रिक चालन व्यवस्था से संचालित होते हैं । विकास की इस यात्रा में एक ओर मील का पत्थर है; ठोस अवस्था साधन (सोलिड स्टेइट डिवाइस) से लैस प्रत्यक्ष विकिरणकारी एन्टेना श्रृंखला समूह (एरे) । आज की तेजी से बढ़ती हुई सिग्नल ट्रैफिक की परिस्थितियों को मद्दे नजर, घुमंत (नोमेडिक) और मोबाइल उपभोक्ताओं के लिये, समकालिन विकास का लक्ष्य L बैन्ड के जरिये बहु-बीम विस्तार क्षेत्र है । बहु-माध्यम (मल्टीमीडिया) उपयोग के लिये अभियन्ताओं की सोच अब 'Ka' बैन्ड पर उतरी है।

4.3 एन्टेना में प्रगति के सौपान

दिन-प्रतिदिन बढ़ती हुई मोबाइल संचार तथा डिजिटल प्रसारण प्रणालियों की मांग को पूरा करने के लिये, एन्टेना सिस्टमों में

अनुकूल बदलाव आये हैं । क्योंकि इन मांगों का हल, भू-संचार में विविध आवृत्ति बैण्ड, विविध बीम-आकार और विविध समाकृतियों की सहाय से होता है । अतः इन विविधताओं के लिए एन्टेना में निरन्तर सुधार चाहिए । कुछ एन्टेना यहाँ पर चिह्नित किये गये हैं जो विकास की श्रेणी में अग्रिम स्थान पर है । ये C, X और S बैन्ड के विकसित हो चुके एन्टेनाओं के उपरांत है ।

- Ku बैन्ड में प्रतिसंतुलित (ऑफसेट) परवलय परावर्तक परिनियोजनशील (डिप्लोयेबल) तथा स्थायी एन्टेनाएं ।
- Ka बैन्ड में प्रतिसंतुलित एवम् स्थायी एन्टेना ।
- स्वदेशीय नवीन व आधुनिक ग्रीड डिज़ाइन के डी.जी.आर. एन्टेना ।
- ट्रान्समिट तथा रिसीव हेतुक 'Ka' बैन्ड बहु-बीम श्रृंखला समूह एन्टेना (एरे)
- पुनः समनुरूप क्षमता धारक (रीकन्फ्युगरेबल) एन्टेना ।
- खोल-बंद क्षमता धारक (अनफर्लेबल) एन्टेना ।

इन प्रगति सूचक एन्टेना वर्गों को विकसित करने के लिये अति आवश्यक है कि वर्तमान डिज़ाइन में नवीनतम संशोधन और सुधार प्रक्रिया निरंतर जारी रहे । इसके लिये प्रत्येक एन्टेना में विशिष्ट तकनीकों को सम्मिलित करना जरूरी है ।

अंतरिक्ष यान का कद किलोग्राम वजन से दर्शाया जाता है । 1K का अर्थ 1000 कि.ग्रा. अर्थात् 1 टन । आजकल सेटेलाइट का नाप या माप 1 टन से बढ़कर 5-6 टन तक पहुँच गया है । I1K, I2K, I3K से लेकर I6K तक का बड़ा व सुदृढ़ उपग्रह निर्माण आज की वास्तविकता है । इसका मुख्य कारण है विभिन्न आवृत्ति बैण्ड्स तथा बीम विस्तार की मांग। परिणामस्वरूप होता है सेटेलाइट प्रणाली तंत्रों में संख्या और कद का बदलाव जिनमें से एक है एन्टेना उप-प्रणाली प्रणाली । अतः अंतरिक्ष यान के संदर्भ में एन्टेना डिज़ाइन करने के लिये अभियन्ता को निम्न विषयों पर ध्यान केन्द्रित करना आवश्यक है।

- अंतरिक्षयान का द्रव्यमान, I2K, I3K .....इत्यादि ।
- साफ दृष्टि रेखा (फील्ड ऑफ व्यू-FOV)
- उष्मा या ताप नियंत्रण

- यांत्रिक संरचना
- फीड समायोजन (एकोमोडेशन)
- अपेक्षित विशुद्धताओं के मान्य स्तर
- तरंगपथक (वेइव गाईड) के पेचीदे तरंग मार्ग से अनुकूलन

विभिन्न अंतरापृष्ठों (इन्टरफेइसीस) का मानकीकरण एक प्रमुख मुद्दा है । वर्तमान की बहु-उत्पादकता तथा पुनरावर्तित संरचना की मांगों को ध्यान में रखते हुए, डिज़ाइन का मानकीकरण एक स्वागतयोग्य कदम है । विशेष कर फिक्सचरों, कनेक्टरों, फास्टनरों, स्विचों, कच्चे माल इत्यादि हार्डवेयरों कुछ हद तक मानकीकृत डिज़ाइनों में रचित होते हैं । खर्च पर अंकुश, समय का बचाव तथा सिद्ध परम्परा का उचित लाभ – ये हैं मानकीकरण के फायदे ।

- **फीड उपप्रणालीः**

  किसी भी एन्टेना प्रणाली में फीड का योगदान प्रमुख भूमिका अदा करता है । फीड की बदौलत, अधिक ऊर्जा वहन और असरकारक बीम विस्तार जैसी आवश्यकताएं परिपूर्ण होती है । इस लिहाज से फीड डिज़ाइन की ओर अधिक ध्यान देने की जरूरत है । समकालिन और भविष्य के मिशनों के लिए निम्नलिखित पहलूओं का खयाल रखकर फीड संरचना अभिकल्पित करनी चाहिए ।

- अधिक ऊर्जा वहन हेतु से यांत्रिकी, तापन तथा विकिरण आवृत्ति (रेडियो फ्रिक्वन्सी – RF) इन्जीनियरिंग बाबतों को लक्ष्य में लेते हुए फीड निर्माण कला ।
- मूल द्रव्य (रॉ-मटीरियल) का चयन ।
- धात्विकरण, धातुमिश्रण, धातु-चदर प्रक्रिया इत्यादि का RF तरंगों के साथ अनुकूलन हेतु कार्य कलाप ।
- फीड के भवन सांचों (बिल्डिंग ब्लोक्स) में उचित संशोधन। उचित ऊर्जा का वहन करते ये साधन है ओ.एम.टी. (ओर्थोमोड ट्रान्सड्युसर), फिल्टर्स, ध्रुवणकर्ता (पोलराइज़र), डाइप्लेक्सर इत्यादि ।
- बेहतर सतही गहराई (स्कीन डेप्थ), पारदर्शिता तथा पारगमनता की आवश्यकताओं के अनुसार विद्युत रासायनिक प्रक्रियाएं ।

- निश्चित विशुद्धता के स्तर को प्राप्त करने हेतु फीड और परावर्तक का सही एलाइनमेन्ट । इसमें शामिल है ऐसे फीक्सचर्स जो फीड को न केवल पकडें, पर उसको 6 डिग्री में सुगठित कर सके । तीन डिग्री रैखिक चालन (ट्रांसलेशन) x, y और z अक्ष में, और तीन डिग्री चापीय चालन (रोटेशन) Rx, Ry, और Rz ।

4.4 भूस्थिर उपग्रह एन्टेना – नयी चुनौतियाँ

जैसे कि आगे कहा गया, पारम्परिक C और Ku बैण्ड में वृद्धि करते हुए, अब विशाल आवृत्ति बैन्ड चौड़ाई के साथ Ka अर्थात् 'का' बैण्ड कार्यान्वित हो रहे हैं । इसके कारण, फीडींग सिस्टम में अतिरिक्त चुनौति पैदा होती है क्योंकि इसमें चाहिये उच्च कार्यक्षमता धारक और बहुत संख्यक फीड संरचना । तदुपरांत रिफ्लेक्टर यानि परावर्तक की डिज़ाइन में गंभीरता बरतनी पड़ती है । ये परावर्तक प्रणाली में गुणवत्ता के प्रमुख मापदण्डों में है; परावर्तक क्षमता, ध्रुवीकरणता (या प्रतिध्रुवीकरणता) तथा ताप-लचीलापन । रिफ्लेक्टर और फीड के इन गुणधर्मों को हासिल करने तथा इनकी सर्वोत्कृष्ट डिज़ाइन निष्पादित करने में क्या चाहिये ? उत्तर में, नवीनतम डिज़ाइन और मोडलिंग सोफ्टवेयर्स, डिज़ाइन विश्लेषण कम्प्युटर प्लेटफार्म, एन्टेना ऑप्टिक्स व गणितीय एलगोरिधम और मोडर्न टेस्ट संसाधन। बढ़ती हुई आवृत्तियों की संख्या के कारण अपेक्षित गुणवत्ता के अंक प्राप्त करना एक बड़ी चुनौती है । इन अपेक्षाओं को कार्यदक्षता में परिवर्तित करने या एन्टेनाओं की गुणवत्ताओं का सही आकलन करने के लिए, अत्यंत आधुनिक जाँच प्रणाली का प्रबंध महज एक आवश्यकता ही नहीं बल्कि चुनौती भी है । एन्टेना की कार्यक्षमता परखने हेतु, आज नई परीक्षण सुविधाएं प्रस्थापित हो रही है । कोम्पेक्ट एन्टेना टेस्ट फेसिलिटी (सीएटीएफ) के उपयोग में एन्टेना राशियों का मापन तथा अभिलक्षण (केरेक्टराइज़ेशन) किया जाता है । इस सुविधा के जरिये भू और अंतरिक्ष एन्टेना का ज्यॉमितीय संबंध, वैद्युत संबंध और तरंगों की आवागमन प्रक्रिया कैसी होगी इसका पूरा व्यौरा एक प्रतिकृति समान 2000 मिटर वर्ग के क्लीन रूम में होता है ।

इस CATF में ट्रान्समिट फीड, केसेग्रेइन मुख्य एवं सब रिफ्लेक्टर तथा टेस्ट पोज़िशनर प्रमुख साधन है । 'फीड से सब रिफ्लेक्टर, सब रिफ्लेक्टर से मुख्य रिफ्लेक्टर, मुख्य रिफ्लेक्टर से पोज़िशनर' इस प्रकार प्रकाशतरंगीय किरणों की गति होती है । पोज़िशनर में लगे एन्टेना की कल्पना उपग्रह पर स्थापित एन्टेना से करें तो प्रक्रिया की समझ स्पष्ट होगी।

वर्तमान में परिचालन तथा आकार परिवर्तन की क्षमता वाले बीम प्रसार एन्टेना में सिर्फ मर्यादित बीम विस्तार देने की क्षमता है । अब समय की मांग है कि फ्लाइट के दौरान बीम को पुनः गठित करके ऊपर के एन्टेना के माध्यम से नीचे के बीम को संचालित किया जाय । यह करने के लिये एन्टेना में सुनम्यता (फ्लेक्सीबिलिटी) होनी चाहिये । यह सुनम्यता या लचीलापन तीन तरीके से मिलता है । (i) परावर्तक आधारित रचना (ii) नाभीय श्रृंखला समूह संरचना (iii) प्रत्यक्ष विकिरण कारक श्रृंखला । इन तीनों में से समाधान करके जो प्रणाली खर्च, वजन और उपग्रह में उपलब्ध जगह सामंजस्य के मामलों में सबसे बेहतरीन हो, इसे अपनाना चाहिये । बीम विस्तार में लचीलापन प्रदान करते इन तीन विकल्पों के प्रचलित नाम है; (i) रिफ्लेक्टर्स (ii) रिफ्लेक्ट एरेज और (iii) डायरेक्ट रेडियेटिंग एरेज।

प्रत्येक मिशन की अपनी आवश्यकता होती है । इस पुस्तक में सूचित कुछ सुझावों को चुनकर मिशन जरूरत के आधार पर चुनाव कर सकते हैं । वजन और जगह की मर्यादाओं को देखते हुए, एन्टेना अभियन्ताओं ने परावर्तकों की संख्या सीमित करके 'एपरचर शेरींग' का खयाल अपनाया है । फलस्वरूप, एक ही एन्टेना अनेक ध्येयों और आवृत्तियों को मिश्रित करके अपना कार्य संपन्न कर देता है । यह एकल एपरचर एन्टेना सरल और बेहतर हार्डवेयर संरचना प्रदान करता है । इस प्रकार का एन्टेना, बैन्ड चौड़ाई, ध्रुवणता, अधिक ऊर्जा वहन, जगह उपलब्धता इत्यादि मांगों पर खरा उतरता है । इन पहलूओं के समाधान हेतु, एन्टेना अभियन्ता प्रयत्नशील हैं और इसके फलस्वरूप एन्टेना डिज़ाइन में नई क्रांति का संचार हुआ है ।

विशेष कर यांत्रिकी अभियन्ताओं को इन नवीन खोज की अभिकल्पना करने में और वास्तविकता में साकार करने के लिये कड़ी चुनौतियों का सामना करना पड़ता है । कुछ नमूने स्वरूप विचार यहाँ पर प्रस्तुत किए हैं । लेखक का उद्देश्य यह बताना है कि भले ही विश्व के फलक पर ये सुझाव आ चुके हों लेकिन हमारे देश में मिशन की आवश्यकताओं के अनुरूप, भारतीय अंतरिक्ष कार्यक्रम के तहत, वर्तमान में ये विचार कार्यान्वित हो रहे हैं । ये आधुनिक विचार कुछ इस प्रकार हैः

- बहु बीम एन्टेना (एक परावर्तक को अनेक फीड से रोशनी मिलती है) इस प्रकार के एन्टेनाओं में बीम एक दूसरे पर अतिव्याप्त (ओवर लेपिंग) होते हैं ।
- अधिक ऊर्जा वहन क्षमता धारक डी.जी.आर. (द्वि-ग्रीड परावर्तक)
- मिलीमिटर वेईव क्वाझी-ऑप्टीक्स पैकेज

इस प्रकार के साधन आवृत्ति और ध्रुवणता को अलग करने हेतु बनाये जाते हैं ।
इन उपकरणों का निर्माण करने के लिये विकसित डिज़ाइनों में खास करके कम्पोज़िट द्रव्यों का प्रयोग कारगर साबित हुआ है।

हमें ऐसे संसाधन चाहिये जो कम्पोज़िट द्रव्यों के इन परिबलों का समाधान करने में साधक बन सकें । उदाहरण के तौर पर,

- ताप लचीलापन गुणों पर अध्ययन
- सिद्ध कार्य का गुणांकलन
- परिनियोजन गतिविज्ञान (डिप्लोयमेन्ट डायनेमिक्स)
- यांत्रिकी तनाव का सही वितरण (स्ट्रेस डिस्ट्रिब्युशन)
- ध्वनिक (एकॉस्टिक)
- झटका (शोक)

परिक्षण और नये उपागम

अभिकल्पना और विकास (डिज़ाइन एण्ड डेवलपमेन्ट) एक सोच और इसका कार्यान्वयन है । इन दोनों को संतोष में तब्दील करना यह अंतिम ध्येय होना चाहिये । यह काम

परिक्षण करता है । एन्टेना के परिप्रेक्ष्य में परिक्षणों के माध्यम से, महत्वपूर्ण राशियों का जायजा लिया जाता है । यह राशियाँ हैं, G/T (गेईन बटा तापमान), विकिरण प्रतिरूप (रेडियेशन पैटर्न), गेईन, क्रोस ध्रुवणता (क्रोस-पोलराईज़ेशन) इत्यादि । इन राशियों के स्वीकार्य आंकड़े पाने में, निम्नलिखित यांत्रिक निरीक्षण प्रक्रियाएं सहायक होती हैः

- परावर्तक एसेम्बली जो गुरुत्वाकर्षण असर से मुक्त हो
- परावर्तक और फीड यांत्रिक तनाव से मुक्त हो
- परावर्तक विशुद्धता

सी.एफ.आर.पी. रिफ्लेक्टर निर्माण करने के लिए मोल्ड चाहिये । मोल्ड की विशुद्धता से एन्टेना की विशुद्धता निर्देशित होती है । 40 माइक्रोन सतह क्षति के मोल्ड निर्माण करना और इसका मूल्यांकन करना एक बड़ी चुनौती है । आम तौर पर मोल्ड कास्ट आयर्न से बनती है । मोल्ड एक आकार प्रदान करती है जो रिफ्लेक्टर की सतह के बराबर है । एक सतह आंतर्गोल (रिफ्लेक्टर) तो एक बहिर्गोल (मोल्ड) होती है । अति आधुनिक तरीकों से मोल्ड की सतह के Z अक्षों को नाप के, क्षतिमूल्यों को लिख करके आर.एम.एस. (R.M.S.) मूल्य निकाला जाता है । आर.एम.एस. –का विस्तार है रूट मीन स्क्वेर्ड । यह सतह विशुद्धता का मापदण्ड है जो आवृत्तियों के परिमाण से निर्धारित होता है । आजकल Ka बैण्ड की आवश्यकताओं के मद्दे नज़र मोल्ड में 20 माइक्रोन तक RMS शुद्धता बरती जानी आवश्यक है ।

मशीनिंग विशुद्धता

Ka बैन्ड्स से भी बढ़ती चलती, आज के दौर की आवृत्तियों का अंक अब 100 GHz, 200 GHz के दायरे में जा रहा है । इन अत्याधिक मात्रा की आवृत्तियों के लिये अभिकल्पित प्रत्येक साधन, कम्पोनेन्ट इत्यादि में, इतनी ही अत्याधिक विशुद्धता चाहिये । तरंगपथक, फिल्टर्स तथा परावर्तकों के मशीनिंग में सतह विशुद्धता 5 से 10 माइक्रोन की सीमा में आवश्यक है । इसको प्राप्त करने, अति आधुनिक माइक्रोमशिनींग तकनीक का इस्तेमाल किया जाता है । तदुपरांत धातु कम्पोनेन्ट

(वेइवगाईड, फील्टर्स इत्यादि) में लेसर तकनीक से कटिंग प्रक्रिया भी विकसित हो रही है ।

एन्टेना एलाइनमेन्ट

इन विशुद्धता के उत्पादन से ताल मिलाने के लिये, आधुनिक मापन साधन तथा एलाइनमेन्ट तकनीकों पर संशोधन निरंतर जारी है ।

रिफ्लेक्टर और फिड का सही एलाइनमेन्ट करने के लिए अब परम्परागत थियोडोलाइट या इलेक्ट्रोनिक थियोडोलाइट काफी नहीं है । लेसरयुक्त ट्रेकर्स आज आम हो गये हैं । लेसर ट्रेकर किरणबाधकता के सिद्धांत पर कार्य करते हैं । इस साधन का उपयोग करने के मुख्य कारण है – कम मानवशक्ति की आवश्यकता और अधिक मापन विशुद्धता । लेकिन आज के युग में, इतनी उत्क्रान्ति हुई है कि इन साधनों का प्रयोग भी कुछ हद तक सीमित हो रहा है । अंतरिक्ष विज्ञान में तेजी से हो रही प्रगति के कारण, अब ओर मानवशक्ति का बचाव, समय का बचाव तथा परिक्षण स्तर में बेहतरी की मांगे जोर पकड़ रही है । इसके मद्देनज़र, अब फोटो-ग्रामेट्री जैसी स्पर्शरहित मापन तकनीक संशोधित हुई है । इस तकनीक के द्वारा, एक ही शोट में हजारों बिन्दुओं का सही स्थान निर्धारण (मापन) तथा विश्लेषण (मूल्य-आंकलन) होता है । एन्टेना परावर्तक कैमरा, फीड, अंतरिक्षयान पर स्थापित सेन्सर्स तथा किसी भी साधन जो विशेष रूप से विशुद्धता दृष्टिकोण से महत्वपूर्ण हो, इन सभी उपकरणों की एलाइनमेन्ट प्रक्रिया 'क्लोज़ रेइन्ज फोटोग्रामेट्री' (CRP) के सिद्धांत पर कार्यरत अत्यंत नवीनतम कैमरा सिस्टम से निष्पादित होती है । संपूर्ण भारतीय डिज़ाइन में, इस प्रणाली के सॉफ्टवेयर पर हाल ही में अनुसंधान कार्य प्रारंभ हुआ है ।

5.0 सारांश

लेखक का कार्य कुछ विषयों पर उपलब्ध वैज्ञानिक हकीकतों का संयोजन है । सर्वप्रथम उपग्रह संचार के मूलभूत सिद्धांत जिसमें चर्चित है प्रसारण से संबंधित भौतिकशास्त्र और गणित के नियमों का आधार । तत्पश्चात् कक्षा संबंधित रेखागणित का अध्ययन किया है जिसमें कक्षाओं के प्रकार और गुणधर्म तथा विभिन्न कक्षाओं का अंतरिक्ष विज्ञान के संदर्भ में अभ्यास जैसे आयामों पर चर्चा की है । इस ज्ञान को आधार बनाकर, उपग्रह और पृथ्वी की जुगलबंदी को, इनसे संलग्न रेखागणित के माध्यम द्वारा समझाने का प्रयास किया है। इस जोडी की एक महत्वपूर्ण कडी है एन्टेना । अंत में संचार के इस प्रमुख अवयव पर विस्तृत चर्चा की गई है । लेखक ने इस एन्टेना को केंद्र में रखते हुए विभिन्न अंतरिक्ष परियोजनाओं, प्रगति के सौपान तथा नई चुनौतियों की रूपरेखा प्रदर्शित की है ।

संक्षिप्त में कहा जाए तो, वर्तमान उपग्रह विज्ञान में क्रान्तिकारी विकास के निरन्तर बढ़ते हुए सौपानों की संख्या से, उपग्रह की ऊंचाई तो ठीक, परंतु अनुसंधान स्तर की ऊँचाई प्राप्त करना प्रत्येक तकनीकी सोच का ध्येय है । इसीके फलस्वरूप हम भारतवर्ष को अंतरिक्ष प्रौद्योगिकी के क्षेत्र में एक मिसाल के रूप में प्रस्तुत करने की क्षमता रखते हैं । लेखक ने केवल एन्टेना के उदाहरण से अभियन्ताओं की मनसा प्रकट की है किन्तु पूर्ण वास्तविकता यह है कि हर ऐसे घटकों पर उन्नति के शिखर पर हम पहुँचने की कोशिष में हैं । चाहे वे सेन्सर्स हो, या कैमरा, लान्चर्स हो या बुस्टर्स, चाहे वे क्रायोजेनिक इंजिन हो या जीएसएलवी श्रेणी के पूर्ण-भारतीय प्रक्षेपक हो । चंद्र की कक्षा की प्रदक्षिणा कराने के बाद हम, चाहें मंगल मिशन को मंगलमय बनाएं और समानव यान को अंतरिक्ष की सफर कराएं । कहने का तात्पर्य बहुत साफ है कि अंतरिक्ष विज्ञान की इस अनंत यात्रा में, हम प्रतिदिन एक नया मील का पत्थर जोड़ने में सक्षम है । अंततः इसी होश और जोश के फलस्वरूप, अंतरिक्ष प्रौद्योगिकी में

भारत का योगदान बेमिसाल निखार लाएगा और अंतरिक्ष में तिरंगा नई ऊचांइयों के साथ लहराएगा और चंद्र और मंगल जैसे ग्रहों में भारतवर्ष का यही तिरंगा ठहरेगा।

पुस्तकालय एवं प्रलेखन प्रभाग
अंतरिक्ष उपयोग केंद्र
अहमदाबाद

ISBN