# पहिला प्रकाश

## सायकेमोहिमेने सुदूर अंतराळातून लेसरद्वारा पृथ्वीशी साधलेला दूर संवाद

काल्पनिक विज्ञान चित्रपट व टी.व्ही. सिरीयल्समध्ये पर ग्रहवासीय पृथ्वीवरील व्यक्तींशी दूरसंवाद साधताना दिसतात. त्यावेळी ते किती सोपे वाटते नाही! लक्षावधी प्रकाश वर्षे दूर असणाऱ्या दूरच्या ग्रहावरून हे पर ग्रहवासी पृथ्वीवासीयांशी व्हिडिओद्वारे जो दूर संवाद साधतात त्यातील चित्रांची व आवाजाची गुणवत्ता अप्रतिम असल्याचे जाणवते आणि या दूरसंवादात पर ग्रहवासीयांचे पृथ्वीवासीयांशी बोलणे व दिसणे क्षणाचाही विलंब न होता झालेले दिसते. या काल्पनिक दूरसंवादाची क्षमता वास्तवाशीमेळ खाते का? तर मुळीच नाही!!

पृथ्वीवरून अंतराळाकडे व अंतराळातून पृथ्वीकडे करण्यात येणारा दूरसंवाद ही एक आव्हानात्मक गोष्ट

आहे. सुदैवाने इस्रो, नासा व इतर अंतराळ संस्थांकडे अंतराळातून मिळालेला विदा पृथ्वीकडे आणण्याची क्षमता व कौशल्य आहे. इस्रोचे दुरमिती, अनुपथन आणि समादेश (ISRO Telemetry, Tracking and Command - ISTRAC) नेटवर्क व भारतीय सुदूर अंतराळ संपर्क व्यवस्था (Indian Deep Space Network - IDSN) तसेच नासाचा अंतराळ दूरसंवाद आणि दिक चलन कार्यक्रम (Space Communications and Navigation - SCaN) आणि सुदूर अंतरीक्ष संपर्क व्यवस्था (Deep Space Network-DSN) व इतर देशांच्याही या प्रकाराच्या प्रणाली यांमुळे चंद्रयानसारख्या मोहिमा, आंतरराष्ट्रीय अंतरीक्ष थांबा (international space station), चंद्र व मंगळावरील बग्ग्या (rovers) किंवा नासाची आर्टिमिस योजना यांचेबरोबर विदेचे अदान प्रदान करणे शक्य झाले आहे.

चला तर मग, अवकाशीय दूरसंवाद साधतांना येणारी आव्हाने व विविध देशांच्या अंतराळ संस्था या आव्हानांचा सामना करतांना सध्या कोणते तंत्रज्ञान वापरतात व भविष्यात कोणते तंत्रज्ञान वापरणार आहेत याचा आढावा घेऊया.

## १) मूलभूत माहिती :–

अगदी सोप्या भाषेत सांगायचे तर अवकाशीय दूरसंवाद दोन गोष्टींवर बेतला आहे. त्या म्हणजे प्रक्षेपक (transmeter) व ग्राहक किंवा प्राप्तकर्ता (receiver). प्रक्षेपक विद्युत चुंबकीय लहरींवर

मॉड्युलेटरच्या मदतीने संदेश (message) संकेतन (encode) करतो. संदेशानुसार किंवा पाठविल्या जाणाऱ्या विदेनुसार लहरींच्या गुणधर्मात बदल घडून येतो, ज्यामुळे पाठवल्या जाणाऱ्या विदेचा मतितार्थ कळून येतो. या लहरी मग अंतराळातून प्राप्तकर्त्याकडे जातात. प्राप्तकर्ता मग या विद्युत चुंबकीय लहरींचे ग्रहण करून त्या डिमॉड्युलेट करून संकेताचे उकलन किंवा विसंकेतन करतो. हे म्हणजे आपल्या घरातील वायफाय राऊटर व त्याच्याशी संलग्न उपकरणांसारखे आहे. राऊटरला इंटरनेटद्वारे मिळालेला विदा तो प्रत्येक उपकरणांकडे प्रक्षेपित करतो. अवकाशीय दूरसंचार हा साधारण याच धर्तीवर घडवून आणला जातो. फक्त त्याचा आवाका मोठा व अंतर खूपच जास्त म्हणजे काही प्रकाश वर्षांइतके असू शकते.

## २) दूरसंवाद उपकरणांचे जमिनीवरील जाळे :–

अंतराळाशी दूरसंवाद म्हणजे फक्त अंतराळ यानाचा अँटीना जमिनीकडे रोखणे एव्हढेच नाही. नासाच्या दूरसंवाद अँटीनांचे जाळे जगभरात – सर्व सात खंडामध्ये– पसरलेले आहे. या अँटीना

अंतराळयानांकडून येणारे प्रक्षेपण ग्रहण करतात. जमिनीवरील स्थानके आणि अंतराळयाने यांच्यातील दूरसंवादाची योजना नेटवर्क अभियंते काळजीपूर्वक आखतात. अंतराळयान अँटीनावरून जात असतांना अँटीना विदा ग्रहण करण्यासाठी सज्ज आहे याची ते खात्री करतात.

भूस्थित अँटीना विविध आकार व क्षमतेच्या असतात. अंतरीक्ष स्थानकला बॅकअप दूरसंवाद पुरविणाऱ्या अतिउच्च वारंवारीतेच्या लहान अँटीना ते ११ अब्ज मैल अंतरावर असणाऱ्या व्हॉयेजर अंतराळयांनांसारख्या सुदूर मोहिमांशी दूरसंवाद साधणाऱ्या २३० फुटी अँटीनांएवढ्या अजस्त्र!!

**३) अंतराळसहक्षेपक (space relays):-**

थेट जमिनीबरोबर दूर संवाद साधण्या बरोबरच अनेक मोहिमासह क्षेपक उपग्रहांद्वारा पृथ्वीशी संवाद साधतात. उदाहरणार्थ अंतराळ स्थानक अनुपथन आणि विदासह क्षेपक उपग्रहांकडे (Tracking and

Data Relay Satellites - TDRS) विदा पाठविते. नंतर हे उपग्रह न्यू मेक्सिको व गुआम येथील भूस्थानकांकडे हा विदा सहक्षेपित करतात. चंद्रयान ३ चा लॅन्डर चंद्रयान दोनच्या ऑर्बिटरकडे विदा पाठवायचा, नंतर हा ऑर्बिटर पृथ्वीकडे विदा सहक्षेपित करायचा. सहक्षेपकांमुळे दूरसंवाद उपलब्धतेसाठी खास फायदा मिळतो. उदाहरणार्थ पृथ्वी भोवतालच्या अंतराळात तीन वेगवेगळ्या ठिकाणी प्रस्थापित करण्यात आले

आहेत. त्यामुळे पृथ्वी समिप कक्षेतील अंतराळयाने आणि जमीन यांच्यातील संवाद अखंडित राहतो आणि आपणास पूर्ण पृथ्वीचा विदा प्राप्त होतो. अंतराळयान भूस्थीत स्थानकावरून जाण्याची वाट बघत बसण्यापेक्षा टीडीआरएस दिवसाचे २४ तास व आठवड्याचे सातही दिवस विदा सहक्षेपित करतात.

**४)बँडविड्थ :-**

नासा व इस्रो विद्युत चुंबकीय वारंवारितेच्या (frequency) विविध बँड्समध्ये विदा संकेतन करीत असतात. या वारंवारितांच्या श्रेणी म्हणजेच बँडविड्थसच्या वेगवेगळ्या क्षमता असतात. मोठ्या बँडविड्थस प्रत्येक सेकंदाला जास्त विदा वाहून नेतात, त्यामुळे अंतराळयान जमिनीकडे विदेचे प्रक्षेपण जास्त त्वरेने करू शकते. सध्या सर्वच अंतराळ संस्था दुरसंवादासाठी प्रामुख्याने रेडिओ तरंगांचा वापर करतात. पण आता नासा आवरक्त समीप लेसरचा वापर संप्रेषणासाठी करायचा प्रयोग करीत आहे. याविषयीची माहिती पुढे येईलच. या प्रकारच्या संप्रेषण पद्धतीमुळे - ज्याला प्रकाशकीय दूरसंवाद असे

संबोधण्यात येते- पूर्वी कधीही मिळाला नव्हता एवढा विदा पाठवण्याचा वेग प्राप्त होणार आहे. लेसर दूरसंवाद सहक्षेपक प्रक्षेपण प्रात्यक्षिकांमुळे (Laser Communication Relay Demonstretion- LCRD) प्रकाशकीय दूरसंवादाचे फायदे समोर आलेच आहेत. या मोहिमेत कॅलिफोर्निया आणि हवाई स्थित

भूस्थानकांमध्ये प्रकाशकीय दुव्याद्वारे (optical link) पृथ्वी समीप कक्षेतील उपग्रह वापरून विदेचे सहक्षेपण करण्यात आले. नासा लवकरच अंतराळ स्थानकावर प्रकाशिय अग्र (optical terminal) बसविणार आहे. यामुळे अंतराळ स्थानक एलसीआरडी द्वारा जमिनीकडे विदा सहक्षेपित करू शकेल.

### ५) विदा पाठविण्याचा वेग :–

जास्त बँडविड्थ्स म्हणजे मोहिमेसाठी विदेचा जास्त वेग. अपोलो ११ ज्यावेळी चंद्रावर उतरले त्यावेळी त्यांनी पाठविलेले व्हिडिओ कृष्णधवल रंगात व अस्पष्ट होते. तुमच्यापैकी जर कोणी ते बघितले तर तुम्हाला आढळेल की त्यात आपण ज्याला मुंग्या म्हणतो तशा दिसायच्या. अगदी नजीकच्या काळात आयोजिलेल्या आर्टीमिस–२ मोहिमेमध्ये यानावर प्रकाशीय अग्र असतील, त्यामुळे चंद्राच्या कक्षेतून मिळणारे व्हिडिओ ४ के अल्ट्रा हाय डेफिनेशनचे असतील. विदेच्या वेगवान देवाण घेवाणीसाठी बँडविड्थ हा एकमेव अडथळा नाही. विदेच्या वेगावर परिणाम करणाऱ्या इतर घटकांमध्ये प्रक्षेपक व प्राप्तकर्ता यांच्यातील अंतर, अँटिनाचा किंवा प्रकाशीय अग्र यांचा आकार, दोन्ही बाजूकडे उपलब्ध असणारी ऊर्जा क्षमता यांचा समावेश होतो. विविध देशांच्या अंतरिक्ष संस्थांमधील अभियंत्यांना विदेचे वेगवान आदान प्रदान करण्यासाठी या सर्व गोष्टींचा समतोल साधावा लागेल.

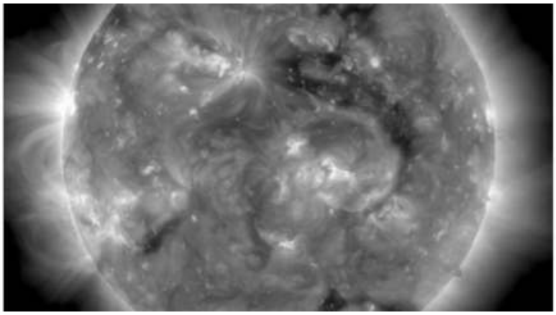
### ६)विलंब (Latency):–

अंतराळाशी दूर संवाद विनाविलंब होत नसतो. या दूर संवादाच्या वेगावर एक वैश्विक मर्यादा असते, ती म्हणजे प्रकाशाचा वेग जो १,८६,००० मैल प्रती सेकंद एवढा असतो. पृथ्वी समीप कक्षांमधील अंतराळयाने पृथ्वीशी माहितीची जी देवाण–घेवाण करतात त्यामध्ये होणारा विलंब नगण्य असतो. पण जसजसे आपण पृथ्वीपासून दूर जाऊ त्यावेळी होणारा विलंब हे एक आव्हान बनते. जेव्हा मंगळ पृथ्वीच्या अगदी जवळ असतो – साधारण ३५ दशलक्ष मैल– त्यावेळी होणारा विलंब चार मिनिटांचा असतो. ज्यावेळी मंगळ व पृथ्वी यांच्यातील अंतर जास्तीत जास्त असते – साधारण २५० दशलक्ष मैल– त्यावेळी होणारा विलंब २४ मिनिटांचा असतो. म्हणजेच अंतराळवीरांना पृथ्वीकडे पाठविलेला संदेश मिशन कंट्रोलला पोहोचायला ४ ते २४ मिनिटे वाट बघावी लागेल आणि आणखीन ४ ते २४ मिनिटे मिशन कंट्रोलने त्यांना दिलेले उत्तर मिळण्यासाठी वाट बघावी लागेल. ज्यावेळी माणूस मंगळावर वसाहत करेल, त्यावेळी पृथ्वीशी त्यांनी

केलेल्या संभाषणात, विलंब हा एक घटक आहे हे गृहीत धरून दूरसंवाद अभियंत्यांना दूरसंवाद प्रणालीचे नियोजन करावे लागेल.

### ७)अडथळा /हस्तक्षेप (Interferance):–

आपण जसजसे अंतराळात दूर दूर जाऊ तसतशी अंतराळ यानाने पाठविलेल्या विदेची व अंतराळ यानाकडे पाठवलेल्या विदेची गुणवत्ता ढासळत जाते. त्यामुळे पाठविलेल्या संदेशांमध्ये चुका उत्पन्न होऊ शकतात. दुसऱ्या मोहिमांकडून व सूर्याकडून येणारी प्रारणे, तसेच आपण सूर्यमाले बाहेर गेल्यास अंतराळातील इतर गोलकांकडून (celestial bodies) येणारी प्रारणे यांचा संदेशाच्या गुणवत्तेमध्ये हस्तक्षेप होतो. मिशन ऑपरेशन व कंट्रोलला अचूक विदा प्राप्त व्हावी म्हणून अंतराळ संशोधन संस्था हस्तक्षेप पकडणे



व तो दूर करणे यासाठी विविध उपाय योजतात. यांमध्ये कॉम्प्युटरला अशी आज्ञावली दिली जाते जेणेकरून तो हस्तक्षेप विरहित माहिती (वापरण्यायोग्य विदा) अभियंत्यांना देतो.

हॉलिवूड सिनेमांमध्ये परग्रहवासीय विनासायास पृथ्वीवासीयांशी संवाद साधू शकतात असे स्वप्नरंजन दाखविले जाते. नासा, इस्रो अशा अंतराळ संस्थांमधील अभियंते हे स्वप्न वास्तवात आणण्याचा प्रयत करीत आहेत. यातीलच एक टप्पा म्हणजे लेसर आधारित दूरसंभाषण होय.

नासाच्या सायके (psyche) अंतराळ यानाने १४ नोव्हेंबर २०२३ च्या पहाटे पृथ्वीकडे १६ दशलक्ष किलोमीटर अंतरावरून यशस्वीरित्या लेसर संकेत पाठविला व अंतराळ क्षेत्रात दूरसंभाषणाचे एक नवीन दालन उघडले. ५ ऑक्टोबर २०२३ रोजी प्रक्षेपित केलेले सायके हे अंतराळयान मंगळ व गुरु या ग्रहांदरम्यान असणाऱ्या व विविध खनिज द्रव्याने परिपूर्ण अशा सायके याच नावाच्या लघुग्रहाकडे प्रवास करीत आहे. या लघुग्रहाचा अभ्यास केल्याने पृथ्वीच्या लोहयुक्त गाभ्याविषयी अधिक माहिती मिळेल. हे अंतराळयान आणखी एक प्रयोग करणार आहे, यामुळे सुदूर अंतराळाच्या अन्वेषणास नवीन आयाम मिळणार आहे. या प्रयोगा अंतर्गत १४ नोव्हेंबर २०२३ रोजी यानाने पृथ्वीकडे लेसरद्वारे प्रायोगिक तत्वावर विदेचे प्रक्षेपण केले. सुदूर अंतराळातून अतिवेगाने प्रवास करत असताना अंतराळयान त्याने प्राप्त केलेला विदा कसा बरे पाठवीत असेल? पृथ्वीवर ज्याप्रमाणे आपण बिनतारी संदेश पाठवितो, अंतराळयान विद्युत चुंबकीय वारंवारितेच्या विविध बॅन्डविथस् वर विदेचे सांकेतन करते. सध्याचा विचार केला तर बहुतेक सर्व अंतरिक्ष संदेशन रेडिओ लहरी वापरून केले जाते. विद्युत चुंबकीय वर्णपटात रेडिओ लहरींची तरंग लांबी सर्वात जास्त असते पण वारंवारिता सर्वात कमी असते. ज्यावेळी सर्व घटक समान असतात तेव्हा जास्त बँडविड्थ असणारा संकेत  घट्ट तरंगांमध्ये जास्त विदा सामावून एका सेकंदाला जास्त विदा वाहूननेतो. त्याामुळे वैज्ञानिक विदा पाठवण्यासाठी जास्त बँडविड्थ वापराण्याला प्राधान्य देतात आणि हे काम आव्हानात्मक आहे. संप्रेषणासाठी इतर विद्युत चुंबकीय लहरींपेक्षा रेडियो लहरी जास्तकरून वापरल्या जातात, कारण त्याचे सुयोग्य प्रसारण (propagation) होय. कोणत्याही हवामानात, झाडाझुडपांच्या अडथळ्यांमधून आणि जवळजवळ सर्व बांधकाम साहित्यातून अडथळ्यांना वळसा घालून त्यापुढे जातात. कमी तरंग लांबींच्या लहरी अडथळ्यांवर आपटून विखुरल्या जातात. विदेच्या वेगवान संप्रेक्षणासाठी अमेरिकेच्या नासा या अंतराळ संशोधन विषयक संस्थेने एक अनोखा प्रयोग करायचे ठरविले. याला सुदूर अंतरिक्ष प्रकाशीय संप्रेषण (Deep Space Optical Communication- DSOC) असे संबोधण्यात आले. यात अंतराळयानाशी संपर्क साधण्यासाठी आवरक्त समीप (near infrared) लेसर संकेतांचा वापर करण्यात आला आहे.

नासाच्यामते DSOC च्या वापरामुळे विदा संप्रेषणाचा वेग तेवढ्याच आकार व क्षमता असणाऱ्या रेडिओ संप्रेषण प्रणालीच्या वेगापेक्षा किमान दहापट वाढेल. त्यामुळे व्हिडिओंसह विदेचा मोठा साठा संप्रेषित करता येईल.

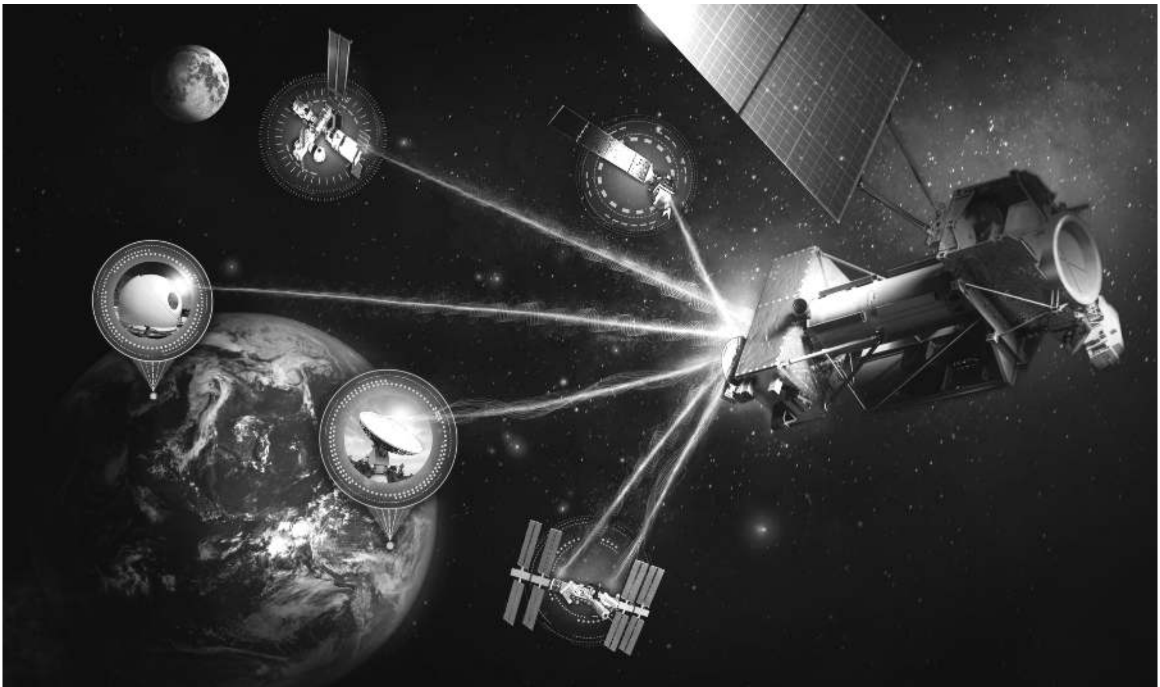
DSOC पारेषग्राही (transcevier) असणारे सायके हे पहिलेच अंतराळयान आहे. याचा वापर करून हे यान पहिली दोन वर्षे पृथ्वीशी उच्चपट्टरुंदी (high band

width) प्रकाशकीय दूरसंवाद साधेल.

कॅलिफोर्निया राज्यामधील राईट वूडजवळ असणाऱ्या नासाच्या टेबलमाउंटन फॅसिलिटी येथील प्रकाशकीय संप्रेषण दुर्बीण प्रयोग शाळेतून (optical communications telescope laboratiry)१४ नोव्हेंबर २०२३ रोजी लेसर शलाके द्वारा प्रक्षेपित केलेला संकेत सायकेवरील पारेषग्राहीने टिपला व या तंत्रज्ञान प्रात्यक्षिकाने प्रथम प्रकाश साध्य केला. उच्चपट्ट रुंदीच्या प्रसारणाला असणाऱ्या मर्यादा लक्षात घेतल्या तर हे तंत्रज्ञान कसे काम करते हे समजून घेणे खूप मनोरंजक आहे. नासाच्या अहवालानुसार 'अचूक वेध' हे याचे उत्तर आहे. यानावर असणारा लेसर पारेषग्राही आणि जमिनीवरील लेसर प्रक्षेपक या दोघांनी अचूक वेध घेणे आवश्यक आहे. हे म्हणजे हलत्या डाईमचा (२सें.मि. आकाराचे एक नाणे) एक मैल अंतरावरून वेध घेण्यासारखे आहे. यानावरील पारेषग्राही यानाच्या कंपनांपासून विलग करणे, यान व पृथ्वी यांच्या सतत बदलणाऱ्या स्थितीशी जमवून घेणे आणि कमकुवत लेसर संकेतांमधून विदा प्राप्त करणाऱ्या नवीन संकेत प्रक्रियेच्या तंत्रज्ञानामुळे हे साध्य झाले आहे. पृथ्वीभोवती फिरणाऱ्या उपग्रहांमध्ये या तंत्रज्ञानाचे पूर्वी प्रात्यक्षिक झाले आहे. पण DSOC मुळे सुदूर अंतराळातदेखील हे तंज्ञज्ञान वापरता येणे शक्य आहे यावर शिक्कामोर्तब झाले आहे. चंद्रापेक्षाही सुदूर अंतराळात प्रवास करण्याची मानवाची महत्वाकांक्षा आहे. त्यावेळी वेगवान दूरसंभाषण ही काळाची गरज आहे. नासाच्या अंतरिक्ष तंत्रज्ञान मोहिमेच्या निदेशालयाचे टूडी कोर्टीज म्हणतात, ''पहिला प्रकाश मिळविणे हा DSOC च्या अनेक महत्वाच्या टप्प्यांपैकी एक आहे. मानवाच्या मंगळावर मानव पाठविणे या उत्तुंग झेपेला पाठिंबा देणारी ही घटना आहे.''

◆

**राजीव पुजारी**
मोबा. ९५२७५४७६२९



*या लेखामधील सर्व प्रतिमा तसेच मुखपृष्ठावरील चित्र NASA च्या सौजन्याने*