

मेजराना कण क्वांटम कंप्यूटरों को शोर से कैसे बचाएंगे?

हमारी रोजमर्रा की दुनिया में, दो संतरों की अदला-बदली से कुछ नहीं बदलता; क्वांटम दुनिया में, बोसॉन की अदला-बदली से उनकी तरंग-क्रिया में कोई परिवर्तन नहीं होता, फर्मिऑन में केवल ऋण चिह्न से परिवर्तन होता है; तथापि, यदि आप दो गैर-एबेलियन एनीऑन की अदला-बदली करते हैं, तो संयुक्त क्वांटम अवस्था में अधिक गहराई से परिवर्तन होता है।

Vasudevan Mukunth

क्वांटम कंप्यूटरों को व्यावहारिक बनाने की होड़ में, वैज्ञानिकों ने खुद को भौतिकी के कुछ सबसे अजीबोगरीब विचारों की ओर आकर्षित पाया है। सूचनाओं को संग्रहीत और उनमें हेरफेर करने के लिए अपने स्वयं के प्रतिकण होने वाले कणों का उपयोग करने की धारणा से ज़्यादा अजीब — लेकिन ज़्यादा आशाजनक — कुछ ही हैं। मेजराना कणों के पीछे यही अवधारणा है।

1930 के दशक में, इतालवी भौतिक विज्ञानी एटोर मेजराना ने एक ऐसा कण प्रस्तावित किया था जो इलेक्ट्रॉन या प्रोटॉन के विपरीत, अपने प्रतिपदार्थ से अप्रभेद्य होगा। ज़्यादातर मामलों में, पदार्थ और प्रतिपदार्थ बिल्कुल विपरीत होते हैं। अगर आप उन्हें एक साथ लाते हैं, तो वे ऊर्जा की एक चमक में नष्ट हो जाते हैं। लेकिन मेजराना कण स्वयं का एक आदर्श दर्पण है: अगर आप इसे उल्टा कर दें और हर आवेश और गुण को उलट दें, तो आपको वही चीज मिलती है जिससे आपने शुरुआत की थी। यह इलेक्ट्रॉनों या प्रोटॉन के लिए सही नहीं है।

दशकों तक, यह समरूपता केवल सिद्धांत की चीज़ लगती थी। उच्च-ऊर्जा भौतिकविदों ने ब्रह्मांडीय किरणों और कण त्वरक में मेजराना की खोज की, लेकिन कोई निर्णायक खोज नहीं की। फिर, हाल ही में, संघनित पदार्थ भौतिकविदों ने एक खामी खोज निकाली: विशेष रूप से डिज़ाइन किए गए पदार्थों के अंदर कुछ "क्वासिपार्टिकल्स" गणितीय रूप से मेजराना की तरह व्यवहार करते हैं। ये क्वासिपार्टिकल्स प्रकृति की सूची से मूल कण नहीं हैं, बल्कि सामूहिक उत्तेजनाएँ हैं - इलेक्ट्रॉन सागर में तरंगों की तरह - जो उन्हीं असामान्य नियमों का पालन करते हैं। उदाहरण के लिए, ये चुंबकीय क्षेत्र के प्रभाव में, लगभग परम शून्य तक ठंडे किए गए छोटे अतिचालक तारों के सिरों पर उभर सकते हैं।

यह तथ्य कि मेजराना जैसे ये मोड़ एक टेबलटॉप प्रयोग में मौजूद हो सकते हैं, क्वांटम कंप्यूटिंग समुदाय को रोमांचित कर गया। यह उत्साह इसलिए नहीं था कि वे दुर्लभ, सुंदर विचित्रताएँ हैं (वास्तव में वे हैं) बल्कि इस संभावना के कारण था कि वे क्वांटम कंप्यूटिंग की सबसे कठिन, सबसे जिद्दी समस्याओं में से एक को हल कर सकते हैं: क्वांटम सूचना को स्थिर रखना।

रक्षा की पहली पंक्ति

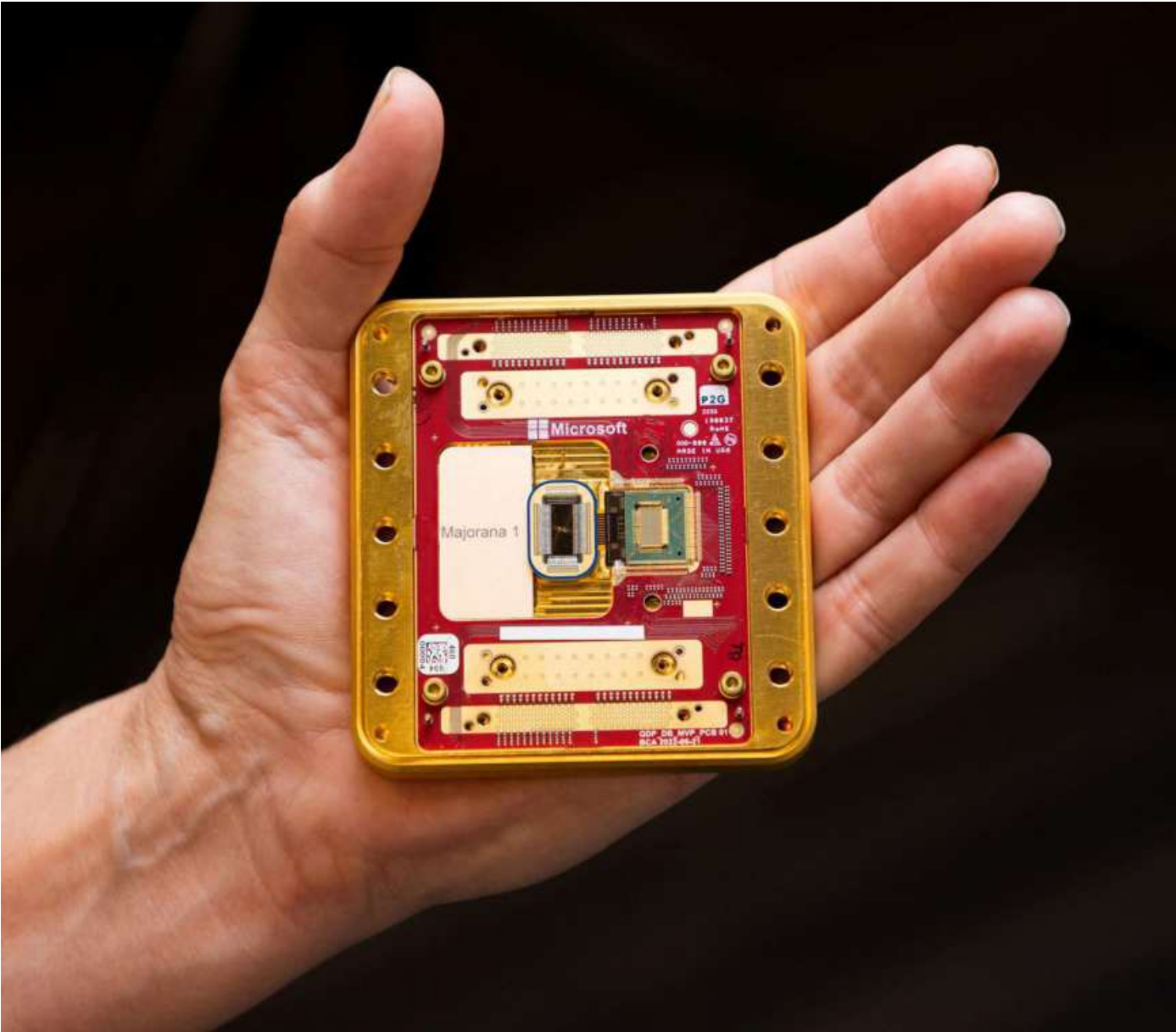
क्वांटम कंप्यूटर को क्या परेशान करता है? एक क्वाबिट, जो आपके लैपटॉप या स्मार्टफोन में बिट का क्वांटम समकक्ष है, एक ही समय में '0' और '1' के सुपरपोज़िशन या मिश्रण में मौजूद हो सकता है। यह विचित्र गुण, कई क्वाबिट्स के बीच उलझाव के साथ, क्वांटम कंप्यूटरों को उनकी संभावित शक्ति प्रदान करता है। लेकिन एक क्वाबिट की अवस्था लगभग बेतुकी रूप से नाजुक होती है। अगर कोई क्वाबिट आसपास की दुनिया से, जैसे कि कुछ भटकी हुई ऊष्मा या प्रकाश, संपर्क करता है, तो उसका सुपरपोज़िशन "ढह" सकता है, जिससे क्वाबिट एक निश्चित 0 या 1 में आ जाता है और उसमें मौजूद जानकारी मिट जाती है।

यह प्रक्रिया, जिसे डिकोहेरेंस कहा जाता है, निरंतर चलती रहती है। आज के सबसे उन्नत सुपरकंडक्टिंग क्वांटम चिप्स में, क्वाबिट डिकोहेरिंग से पहले माइक्रोसेकंड से लेकर मिलीसेकंड तक चल सकते हैं। यह लंबा लग सकता है, लेकिन एक ऐसे कंप्यूटर के लिए जिसे क्रम में हजारों या लाखों ऑपरेशन करने होते हैं, यह बहुत छोटा है। इससे निपटने के लिए, इंजीनियर क्वांटम गेट्स सुधार का उपयोग करते हैं, जो एक तार्किक क्वाबिट को कई भौतिक क्वाबिट्स के बंडल में एनकोड करता है। यह अतिरिक्त कंप्यूटर को गेट्सों का तुरंत पता लगाने और उन्हें ठीक करने की अनुमति देता है, लेकिन इसकी एक कीमत चुकानी पड़ती है: केवल एक तार्किक क्वाबिट को बनाए रखने के लिए सैकड़ों या हजारों भौतिक क्वाबिट्स की आवश्यकता हो सकती है। यही अड़चन है। अगर क्वाबिट्स को स्वाभाविक रूप से गेट्सों के प्रति अधिक प्रतिरोधी बनाने और हार्डवेयर स्तर पर उनकी क्वांटम अवस्था की सुरक्षा करने का कोई तरीका होता, तो पूरा उद्यम कहीं अधिक कुशल हो जाता।

यही वह जगह है जहाँ मेजराना एक बिल्कुल अलग दृष्टिकोण प्रस्तुत करता है। क्वाबिट की कल्पना किसी एकल, नाजुक वस्तु में संग्रहीत वस्तु के रूप में न करें, बल्कि एक ऐसे गुण के रूप में करें जो दो दूर-दूर स्थित टुकड़ों में समान हो। मेजराना विधाओं के साथ यह संभव है। कुछ अतिचालकों में, इलेक्ट्रॉन बंधित युग्म बनाते हैं, लेकिन सही परिस्थितियों में, एक इलेक्ट्रॉन की क्वांटम अवस्था, वास्तव में, दो भागों में विभाजित हो सकती है। प्रत्येक भाग मेजराना विधा की तरह व्यवहार करता है।



1930 के दशक में, इतालवी भौतिक विज्ञानी एटोर मेजराना (यहाँ लगभग 1930 के दशक की तस्वीर) ने एक ऐसे कण का प्रस्ताव रखा, जो इलेक्ट्रॉन या प्रोटॉन के विपरीत, अपने प्रतिपदार्थ से अप्रभेद्य होगा। सार्वजनिक डोमेन



माइक्रोसॉफ्ट की मेजराना 1 क्वांटम कंप्यूटिंग चिप। रॉयटर्स

महत्वपूर्ण बात यह है कि इन दोनों हिस्सों को एक ही नैनोवायर पर या किसी उपकरण के अलग-अलग क्षेत्रों में दूर-दूर रखा जा सकता है। ये दोनों मिलकर एक ही क्वाबिट को परिभाषित करते हैं, लेकिन यह जानकारी कि वह क्वाबिट अवस्था 0, 1 या दोनों के अध्यारोपण में है, दोनों मेजराना की संयुक्त अवस्था में संग्रहीत होती है। यदि कोई विक्षोभ उनमें से किसी एक को प्रभावित करता है - मान लीजिए, थोड़ा सा स्थानीय शोर या पदार्थ में कोई दोष - तो यह स्वयं एन्कोडेड जानकारी को नष्ट नहीं कर सकता। दोनों हिस्सों को एक सहसंबद्ध तरीके से विकसुध करना होगा, और इसकी संभावना बहुत कम है।

यह गैर-स्थानीय एन्कोडिंग रक्षा की पहली पंक्ति है। यह ऐसा है जैसे आपने किसी रहस्य का पहला भाग पेरिस में रखी एक नोटबुक में और दूसरा भाग टोक्यो में बंद किसी अन्य नोटबुक में लिखा हो। एक नोटबुक चुराने से रहस्य का पता नहीं चलता: आपके पास दोनों होने चाहिए।

बुनाई की चोटियाँ

सुरक्षा यहीं समाप्त नहीं होती। मेजराना मोड क्वांटम वस्तुओं के एक दुर्लभ वर्ग से भी संबंधित हैं जिन्हें गैर-एबेलियन एनीऑन कहा जाता है। इसका अर्थ समझने के लिए, एक कदम पीछे हटकर यह सोचना उपयोगी होगा कि जब आप कणों की स्थिति बदलते हैं तो वे सामान्यतः कैसे व्यवहार करते हैं।

हमारी रोजमर्रा की दुनिया में, दो समान संतरों की अदला-बदली से कुछ भी नहीं बदलता। क्वांटम दुनिया में, समान कण दो प्रसिद्ध श्रेणियों में आते हैं। बोसॉन (जैसे, फोटॉन) अदला-बदली करने पर अपनी समग्र तरंग-क्रिया नहीं बदलते। फ़र्मियन (जैसे, इलेक्ट्रॉन) केवल एक ऋण चिह्न से बदलते हैं, एक गणितीय विचित्रता जो अभी भी अधिकांश प्रेक्षणीय गुणों को अछूता छोड़ देती है।

गैर-एबेलियन एनीऑन अलग होते हैं। यदि आप उनमें से दो की अदला-बदली करते हैं, या "ब्रेड" करते हैं, तो संयुक्त क्वांटम अवस्था बहुत गहरे तरीके से बदल जाती है। अदला-बदली केवल अवस्था को एक स्थिरांक से गुणा नहीं करती; यह उसे एक पूरी तरह से नई अवस्था में बदल देती है। इसके अलावा, आप जिस क्रम में ये अदला-बदली करते हैं वह भी मायने रखता है। कण A को कण B से बदलें, फिर B को C से बदलें, और आपको एक अलग अंतिम अवस्था प्राप्त होगी, जो पहले B को C से और फिर A को B से बदलने पर प्राप्त होने वाली अवस्था से भिन्न होगी।

यह सामान्य अंतर्ज्ञान से अलग है। एक मंच पर तीन नर्तकों की कल्पना कीजिए जो अपने पूरे प्रदर्शन की नृत्यकला को इस आधार पर बदलते हैं कि वे एक-दूसरे के पास से कैसे गुजरते हैं, न कि सिर्फ़ इस आधार पर कि वे एक-दूसरे के पास से गुजरते हैं या नहीं।

यह तथ्य कि मेजराना मोड गैर-एबेलियन हैं, क्वांटम कम्प्यूटेशन करने का एक नया तरीका खोलता है। एक उपयुक्त उपकरण में, आप इन मोड़्स को एक-दूसरे के चारों ओर भौतिक रूप से घुमा सकते हैं, स्थान और समय में पथों का पता लगा सकते हैं। इस प्रक्रिया को ब्रेडिंग कहा जाता है क्योंकि यदि आप पथ बनाते हैं, तो वे एक चोटी में धागों की तरह दिखते हैं।

प्रत्येक ब्रेड मेजराना द्वारा साझा की गई क्वांटम अवस्था के एक विशिष्ट परिवर्तन से मेल खाती है। ख़ूबसूरती यह है कि परिणाम केवल ब्रेड की टोपोलॉजी - अमूर्त ऊपर-नीचे पैटर्न - पर निर्भर करता है, न कि गति के सटीक भौतिक विवरणों पर। आप उन्हें धीरे या तेज़ी से घुमा सकते हैं, सामग्री में किसी अशुद्धि के चारों ओर चक्कर लगा सकते हैं, या चलते समय उन्हें धीरे से हिला सकते हैं।

मेजोराना-आधारित टोपोलॉजिकल क्यूबिट के साथ, उम्मीद है कि उस जटिलता का अधिकांश भाग अनावश्यक है। चूंकि जानकारी गैर-स्थानीय रूप से संग्रहीत होती है और ब्रेडिंग द्वारा नियंत्रित होती है, इसलिए क्यूबिट के आवश्यक गुण छोटे पैमाने के शोर से सुरक्षित रहते हैं। यह उन्हें अजेय नहीं बनाता है - अभी भी ऐसे तरीके हैं जिनसे गेट्सों आ सकती हैं, जैसे कि अर्ध-कण विषाक्तता या अपूर्ण पृथक्करण के माध्यम से - लेकिन आधारभूत स्थिरता कई गुना बेहतर हो सकती है।

mukunth.v@thehindu.co.in

पाँच किस्में गूँथने की एक विधि। स्टिलफ़ेलर (CC BY-SA)

To Read UPSC Edition on daily basis with MCQ's so please message at 8168305050

बात यह है कि यह वादा अभी भी ज़्यादातर सैद्धांतिक है। पिछले दशक के प्रयोगों ने मेजराना मोड़्स की मौजूदगी के अनुरूप आकर्षक संकेत उत्पन्न किए हैं - चुंबकीय क्षेत्र के अंतर्गत, इंडियम एंटीमोनाइड जैसे पदार्थों से बने नैनोवायरों में, जो सुपरकंडक्टरों से जुड़े होते हैं। तार के सिरों पर विद्युत चालकता के मापन ने ऐसे पैटर्न दिखाए हैं जो मेजराना मोड़्स की भविष्यवाणियों से मेल खाते हैं। लेकिन संशयवादी बताते हैं कि अन्य, अधिक सामान्य प्रभाव भी इन पैटर्न्स की नकल कर सकते हैं।

अंतिम प्रमाण ब्रेडिंग का प्रदर्शन होगा: मोड़्स को एक-दूसरे के चारों ओर घुमाना और यह दिखाना कि सिस्टम की क्वांटम अवस्था ठीक उसी तरह बदलती है जिस तरह गैर-एबेलियन सांख्यिकी भविष्यवाणी करती है। यह एक नाजुक काम है। मोड़्स को उनकी पहचान खोए बिना घुमाया जाना चाहिए, सामान्य इलेक्ट्रॉन अवस्थाओं से अच्छी तरह अलग रखा जाना चाहिए, और दो आयामों में हेरफेर किया जाना चाहिए, भले ही अधिकांश वर्तमान उपकरण प्रभावी रूप से एक-आयामी तार हैं। शोधकर्ता वर्तमान में ब्रेडिंग को व्यवहार्य बनाने के लिए अधिक जटिल ज्यामिति डिज़ाइन कर रहे हैं।

यदि सफल रहे, तो मेजराना-आधारित क्वाबिट क्वांटम कंप्यूटिंग के अर्थशास्त्र को बदल सकते हैं। कुछ हजार तार्किक क्वाबिट प्राप्त करने के लिए बस लाख भौतिक क्वाबिट की आवश्यकता के बजाय, एक मशीन बहुत कम क्वाबिट के साथ काम कर सकती है, जिनमें से प्रत्येक स्वाभाविक रूप से मजबूत होगा। हार्डवेयर सरल हो सकता है, गेट्स-सुधार का ओवरहेड कम हो सकता है, और गणनाएँ तेज़ और अधिक विश्वसनीय हो सकती हैं। इससे न केवल व्यावहारिक क्वांटम कंप्यूटरों के आगमन में तेज़ी आएगी, बल्कि उन गणनाओं के द्वार भी खुल सकते हैं जो वर्तमान में शोर और अस्थिरता के कारण पहुँच से बाहर हैं।

यह भी ध्यान देने योग्य है कि मेजरानास की खोज ने संघनित पदार्थ भौतिकी की सीमाओं को पहले ही आगे बढ़ा दिया है। इन कणों को अस्तित्व में लाने की कोशिश में, शोधकर्ताओं ने स्वच्छ नैनोवायर विकसित करना, बेहतर अतिचालक संपर्क बनाना और परमाणु स्तर पर पदार्थों को नियंत्रित करना सीख लिया है। भले ही अंतिम लक्ष्य अभी भी अप्राप्य बना रहे, लेकिन तकनीकी उप-उत्पाद क्वांटम सेंसिंग से लेकर नए प्रकार के इलेक्ट्रॉनिक्स तक, अन्य क्षेत्रों में उपयोगी साबित हो सकते हैं।



बादलों के बीच से छनकर आती सूरज की रोशनी, स्वीडिश जंगल में स्थित एस्सेंज स्पेस सेंटर को रोशन कर रही है। यह सेंटर 19 अगस्त, 2025 को स्वीडन के किरुना में होने वाली अंतरिक्ष दौड़ में यूरोप की उम्मीद का एक हिस्सा है। एपी

स्वीडन का वन आधार अंतरिक्ष दौड़ में यूरोप के प्रवेश के लिए महत्वपूर्ण है

Associated Press

स्वीडन के घने जंगलों में, जहाँ हिरन विचरण करते हैं और वैज्ञानिक सर्दियों में स्कीइंग करते हैं, यूरोप की एक उम्मीद एक ऐसे अंतरिक्ष बंदरगाह की है जो अंततः संयुक्त राज्य अमेरिका, चीन और रूस से मुकाबला कर सके।

दशकों से, यूरोप अपनी सुरक्षा के लिए अमेरिका पर निर्भर रहा है। लेकिन ट्रम्प प्रशासन की "अमेरिका फ़र्स्ट" नीतियों और तेज़ी से बढ़ते वाणिज्यिक बाज़ार ने यूरोपीय लोगों को अपने दृष्टिकोण पर पुनर्विचार करने के लिए प्रेरित किया है।

स्वीडन के किरुना में सरकारी स्वामित्व वाला एस्सेंज स्पेस सेंटर, उन स्थलों में से एक है जहाँ कक्षीय रॉकेट कार्यक्रम विकसित किए जा रहे हैं ताकि यूरोप वैश्विक अंतरिक्ष दौड़ में आगे बढ़ सके और महाद्वीप की मुख्य भूमि से उपग्रहों का प्रक्षेपण कर सके। वर्तमान में, यूरोप का एकमात्र अंतरिक्ष अड्डा जो रॉकेट और उपग्रहों को कक्षा में प्रक्षेपित करने में सक्षम है, फ्रेंच गुयाना में है, जो दक्षिण अमेरिका में फ्रांस का एक विदेशी विभाग है और भूमध्य रेखा से लगभग 500 किमी उत्तर में स्थित है। अन्यथा, यूरोप प्लोरिडा में नासा के केप कैनावेरल का सहारा लेता है।

फरवरी में म्यूनिख सुरक्षा सम्मेलन में एक भाषण के दौरान, अमेरिकी उपराष्ट्रपति जे.डी. वेंस ने यूरोप को अमेरिका पर निर्भर रहने के खिलाफ चेतावनी दी और अधिकारियों से महाद्वीप की रक्षा के लिए "बड़े पैमाने पर कदम उठाने" का आग्रह किया।

वेंस की टिप्पणियों के साथ-साथ टेक अरबपति एलन मस्क की राजनीति से रूस के साथ युद्ध में यूक्रेन की स्टारलिन उपग्रह प्रणाली पर निर्भरता पर पड़ने वाले संभावित प्रभाव को लेकर यूरोपीय नेताओं में चिंता व्याप्त हो गई।

यूरोपीय अंतरिक्ष नीति संस्थान के निदेशक हरमन लुडविग मोलर ने कहा कि यह उनके लिए स्पष्ट हो

फरवरी में अमेरिकी उपराष्ट्रपति जे.डी. वेंस ने यूरोप को अमेरिका पर निर्भर रहने के खिलाफ चेतावनी दी थी और अधिकारियों से महाद्वीप की रक्षा के लिए बड़े पैमाने पर कदम उठाने का आग्रह किया था।

गया कि महाद्वीप का अपना अंतरिक्ष पारिस्थितिकी तंत्र होना चाहिए, जिसमें "अपने साधनों से और अपने नियंत्रण में प्रतिक्रिया करने की अपनी क्षमताएँ हों।"

मार्च में, इसार एयरोस्पेस ने उत्तरी नॉर्वे के एक द्वीप पर स्थित एंडोया स्पेसपोर्ट से अपने कक्षीय प्रक्षेपण यान की पहली परीक्षण उड़ान भरी। मोलर का मानना ​​है कि महाद्वीपीय यूरोप से रूस के साथ कक्षीय प्रक्षेपण अगले वर्ष के भीतर हो सकता है, हालांकि वह यह अनुमान नहीं लगा पाएंगे कि यह कहाँ होगा। पुर्तगाल, स्पेन, इटली, जर्मनी और यूनाइटेड किंगडम भी उन देशों में शामिल हैं जो यूरोप के स्पेसपोर्ट पोर्टफोलियो का हिस्सा बनना चाहते हैं।

एस्सांज और एंडोया 1960 के दशक के हैं, और उनका अंतरिक्ष-संबंधी आकर्षण पृथ्वी पर उनके सुदूर-उत्तरी भूगोल से उपजा है।

एस्सांज का स्वामित्व और संचालन स्वीडिश स्पेस कॉर्पोरेशन के पास है और यह आर्कटिक सर्कल से 200 किलोमीटर से भी अधिक उत्तर में स्थित है। इस अंतरिक्ष केंद्र के 30 से अधिक एंटेना भूमध्य रेखा के पास स्थित बुनियादी ढाँचे की तुलना में उत्तरी ध्रुव की प्रतिक्रमा कर रहे उपग्रहों के साथ अधिक आसानी से संचार कर सकते हैं।

शायद सबसे महत्वपूर्ण बात इसका आकार है। यह बेस स्वयं 6 वर्ग किलोमीटर में फैला है, जहाँ विशेषज्ञ मंगल ग्रह के लैंडर पैराशूट परीक्षण, उप-कक्षीय रॉकेट प्रक्षेपण और समताप मंडलीय गुब्बारों पर प्रयोग करते हैं।

लेकिन इसका मुख्य आकर्षण एस्सेंज का रॉकेट लैंडिंग क्षेत्र है: 5,200 वर्ग किलोमीटर में फैला बर्च, चीड़ और स्प्रूस के पेड़ स्वीडिश टुंड्रा के उत्तर में, लगभग नॉर्वेजियन और फ़िनिश सीमाओं तक फैले हुए हैं।

यह क्षेत्र सामी मूल के बारहसिंगा चरवाहों के अलावा निर्जन है। वहीं, नॉर्वे के एक द्वीप पर एंडोया का दूरस्थ स्थान होने का अर्थ है कि रॉकेट मनुष्यों को नुकसान पहुँचाए बिना सुरक्षित रूप से समुद्र में गिर सकते हैं।

For feedback and suggestions for 'Science',please write to **science@thehindu.co.in** with the subject 'Daily page'