

हम एक विद्युत सर्किट के अंदर रहते हैं

जब लोग **अंतरिक्ष मौसम** शब्द सुनते हैं, तो वे शायद सौर ज्वालाओं के बारे में सोचते हैं जो उपग्रहों को बाधित करते हैं या ध्रुवीय रात में चमकती हुई औरोराओं के बारे में। लेकिन इसके मूल में, अंतरिक्ष मौसम कुछ भी असामान्य नहीं है, बल्कि यह सूर्य से निकलने वाली आवेशित कणों का व्यवहार है।

सूर्य की बाहरी परतें एक उबलता हुआ प्लाज्मा हैं: इतनी गर्म कि इलेक्ट्रॉन और प्रोटॉन अब परमाणुओं में बंधे नहीं रहते, बल्कि स्वतंत्र रूप से घूमते हैं। एक विशाल वैक्यूम ट्यूब में एक विशाल फिलामेंट की तरह, सूर्य लगातार इस विद्युत रूप से प्रवाहकीय तरल को **सौर हवा** के रूप में उत्सर्जित करता है। यह सौर मंडल के माध्यम से सैकड़ों किलोमीटर प्रति सेकंड की गति से बहती है, जिसमें इलेक्ट्रॉन, प्रोटॉन, अल्फा कण और उलझे हुए चुंबकीय क्षेत्र शामिल होते हैं।

पृथ्वी से एक मिलियन किलोमीटर ऊपर की धारा में L1 बिंदु पर अंतरिक्ष यान सौर हवा को वास्तविक समय में मापते हैं। वे हमें बताते हैं कि कितने इलेक्ट्रॉन, प्रोटॉन और भारी आयन आ रहे हैं, और कितनी तेजी से। शांत परिस्थितियों में, हवा में आमतौर पर इलेक्ट्रॉनों की थोड़ी अधिकता होती है, इसलिए अंतरग्रहीय अंतरिक्ष में एक हल्का नकारात्मक आवेश पृष्ठभूमि होती है।

जब सूर्य से एक **कोरोनल मास इजेक्शन (सीएमई)** फटता है, तो संतुलन बदल जाता है। प्लाज्मा और चुंबकीय क्षेत्र की विशाल बुलबुले अंतरिक्ष में बहते हैं और पृथ्वी के चुंबकीय ढाल से टकराते हैं। ध्रुवों पर, इस ऊर्जा का कुछ हिस्सा चुंबकीय क्षेत्र की रेखाओं के साथ नीचे की ओर जाता है, ऑक्सीजन और नाइट्रोजन परमाणुओं को हरे और लाल रंग के चमकते पदों में उत्तेजित करता है: उत्तरी गोलार्ध में **उत्तरी औरोरा** और दक्षिणी गोलार्ध में **दक्षिणी औरोरा**।

पृथ्वी अरबों वर्षों से इस पर्यावरण में डूबी हुई है। प्लाज्मा में डूबे हुए प्रवाहकीय पिंड तटस्थ नहीं रहते; वे आवेश जमा करते हैं। भूवैज्ञानिक समय के दौरान, पृथ्वी अपने अंतरिक्ष पर्यावरण के सापेक्ष एक **थोड़ा नकारात्मक विद्युत पोटेंशियल** में स्थिर हो गई है।

यह समझ हमारा अंतरिक्ष से आकाश की ओर संक्रमण है: यदि पृथ्वी नकारात्मक है, और इसके ऊपर का अंतरिक्ष इलेक्ट्रॉनों और प्रोटॉनों से भरा है, तो वायुमंडल में ही आवेश का संतुलन कैसे होता है? इसका उत्तर है **आयनमंडल**।

आयनमंडल और शांत मौसम का क्षेत्र

आयनमंडल लगभग 50 किमी की ऊंचाई से शुरू होता है और सैकड़ों किलोमीटर तक फैलता है। वहां, सूर्य की पराबैंगनी किरणें और आने वाली कणों परमाणुओं से इलेक्ट्रॉनों को अलग करती हैं, जिससे आयनों का एक पतला गैस रह जाता है। हमारे लिए, जमीन पर, हवा एक इंसुलेटर की तरह लगती है। लेकिन ऊंचाई के साथ, आयनीकरण तेजी से बढ़ता है, और चालकता कई गुना बढ़ जाती है।

आयनमंडल की खोज 1920 के दशक में हुई थी, न कि भौतिकविदों द्वारा, बल्कि रेडियो इंजीनियरों द्वारा। एडवर्ड एप्पलटन और उनके सहयोगियों ने देखा कि रेडियो तरंगें कभी-कभी क्षितिज से बहुत आगे तक यात्रा करती थीं। सिग्नल एक ऊपरी प्रवाहकीय परत से उछल रहे थे – जिसे अब हम आयनमंडल की **ई और एफ परतें** कहते हैं। इस “आकाश में दर्पण” ने वैश्विक प्रसारण को संभव बनाया, और एप्पलटन के काम ने उन्हें नोबेल पुरस्कार दिलाया।

लेकिन रेडियो से परे, आयनमंडल का गहरा महत्व है। कल्पना करें कि पृथ्वी एक प्रवाहकीय गोला है जो नकारात्मक आवेश वहन करता है, और आयनमंडल एक सकारात्मक आवेशित खोल है जो दसियों किलोमीटर ऊपर है। उनके बीच वायुमंडल है: न तो पूर्ण वैक्यूम, न ही पूर्ण इंसुलेटर, बल्कि एक रिसने वाला डाइइलेक्ट्रिक। साथ में, वे एक **गोलाकार संधारित्र** बनाते हैं, जो लगभग **+250,000 वोल्ट** तक चार्ज होता है।

जमीन पर, यह पोटेंशियल **शांत मौसम के वायुमंडलीय विद्युत क्षेत्र** के रूप में प्रकट होता है: लगभग **+100 से +300 वोल्ट प्रति मीटर**, नीचे की ओर निर्देशित। दूसरे शब्दों में, सकारात्मक आयनमंडल इलेक्ट्रॉनों को ऊपर की ओर खींचता है, जिससे सतह अपेक्षाकृत नकारात्मक रह जाती है। चूंकि ऊंचाई के साथ हवा अधिक प्रवाहकीय हो जाती है, इसलिए इस वोल्टेज ड्रॉप का अधिकांश हिस्सा निचले 10-15 किमी में होता है – **ट्रोपोस्फीयर**, जहां सभी बादल और मौसम रहते हैं।

शांत परिस्थितियों में यह क्षेत्र स्थिर होता है, केवल विश्व की सभी तूफानों की वैश्विक लय द्वारा संनादित – एक दैनिक चक्र जिसे **कार्नेगी वक्र** के रूप में जाना जाता है। हालांकि, यह शांत आधार तूफानों के नाटक के लिए मंच तैयार करता है।

तूफान विद्युत मशीनों के रूप में

एक बढ़ते हुए क्यूमुलोनिम्बस बादल के अंदर, खरबों बर्फ के कण और बूंदें टकराती हैं। प्रत्येक में आयन होते हैं: H^+ और OH^- , जो पानी में हमेशा मौजूद रहते हैं। परिवेशी विद्युत क्षेत्र इस बात को प्रभावित करता है कि ये आवेश कैसे गति करते हैं। छोटे बर्फ के क्रिस्टल सकारात्मक आवेश प्राप्त करने की प्रवृत्ति रखते हैं और ऊपरी हवाओं द्वारा ऊपर ले जाए जाते हैं, जबकि भारी ग्रापेल नकारात्मक आवेश जमा करते हैं और मध्य स्तरों तक गिरते हैं।

परिणाम एक **त्रिध्रुवीय संरचना** है:

- लगभग 4-7 किमी पर एक **मुख्य नकारात्मक आवेश क्षेत्र**,
- बादल के शीर्ष पर (10-12 किमी) एक **सकारात्मक क्षेत्र**,
- कभी-कभी आधार के पास एक **माध्यमिक सकारात्मक परत**।

यह पृथक्करण 19वीं सदी के एक प्रसिद्ध प्रयोग को दर्शाता है। 1867 में, **लॉर्ड केल्विन** – जो थर्मोडायनामिक तापमान पैमाने के लिए सबसे अधिक जाना जाता है – ने केवल टपकते पानी, छल्लों और बाल्टियों का उपयोग करके एक उपकरण बनाया। **केल्विन का जल बूंद जनरेटर** गिरती हुई बूंदों में छोटे आयनिक असंतुलनों का शोषण करता था। चतुर प्रेरण के साथ, ये उतार-चढ़ाव तब तक बढ़े जब तक कि उपकरण से हजारों वोल्ट की चिंगारियां नहीं उछलीं।

केल्विन का टेबलटॉप उपकरण एक छोटा तूफान था। बादल उसी आवेश कारखाने के केवल बड़े संस्करण हैं, जो गुरुत्वाकर्षण, संवहन और टकरावों द्वारा संचालित होते हैं।

हम जो अधिकांश बिजलियां देखते हैं, वे नकारात्मक मध्य स्तर से जमीन तक डिस्चार्ज होने से आती हैं। लेकिन कभी-कभी ऊपरी सकारात्मक क्षेत्र अपना आवेश छोड़ देता है। ये **सकारात्मक बिजलियां** कहीं अधिक शक्तिशाली होती हैं, बड़ी धाराएं ले जाती हैं और दसियों किलोमीटर बगल में पहुंचती हैं – कुख्यात “नीले आसमान से बिजली”। दुर्लभ लेकिन घातक, ये शांत मौसम के क्षेत्र के विपरीत हैं: बादल का सकारात्मक शीर्ष सीधे पृथ्वी पर डिस्चार्ज होता है।

प्रत्येक तूफान इस प्रकार एक **जनरेटर** के रूप में कार्य करता है, सकारात्मक आवेश को आयनमंडल की ओर और नकारात्मक आवेश को जमीन की ओर पंप करता है। सामूहिक रूप से, पृथ्वी के लगभग 2,000 सक्रिय तूफान वैश्विक 250 किलोवोल्ट पोटेंशियल को बनाए रखते हैं, जो अन्यथा रिसाव के कारण खत्म हो जाता। तूफान केवल मौसम की घटनाएं नहीं हैं; वे **ग्रह के विद्युत सर्किट की पावर स्टेशन** हैं।

अंतरिक्ष तक पहुंचने वाले तूफान

सदियों तक यह माना जाता था कि बिजलियां बादल के आधार के नीचे तक सीमित थीं। लेकिन सर्किट दोनों दिशाओं में काम करता है। तूफान **ऊपर की ओर** भी आयनमंडल में डिस्चार्ज करते हैं, कभी-कभी निकट अंतरिक्ष तक।

1990 के दशक में, ब्रह्मांडीय गामा किरण विस्फोटों की तलाश में लगे उपग्रहों ने कुछ अप्रत्याशित खोजा: पृथ्वी से ही मिलीसेकंड के गामा किरण चमक। ये **टेरेस्ट्रियल गामा रे फ्लैशज (TGFs)** तब उत्पन्न होते हैं जब तूफान के शीर्ष पर विद्युत क्षेत्र इलेक्ट्रॉनों को लगभग प्रकाश की गति तक त्वरित करते हैं, जो हवा के अणुओं से टकराते हैं और गामा किरणें उत्सर्जित करते हैं। एक तूफान **प्राकृतिक कण त्वरक** बन जाता है, जो मानव-निर्मित मशीनों के साथ प्रतिस्पर्धा करता है।

इससे बहुत पहले कि उपग्रहों ने इसकी पुष्टि की, उच्च ऊंचाई वाले पायलट अजीब रोशनी के बारे में फुसफुसाते थे: लाल चमक, नीले शंकु, तूफानों के ऊपर हेलो जैसे छल्ले। 1950 के दशक में यू-2 पायलट शायद पहले लोगों में से थे जिन्होंने इन्हें देखा, लेकिन उनकी रिपोर्टों को ऑप्टिकल भ्रम के रूप में खारिज कर दिया गया। केवल 20वीं सदी के अंत में कैमरों ने इन्हें कैद किया:

- **लाल स्पाइट्स:** जेलीफिश के आकार की विशाल डिस्चार्ज, जो 80-90 किमी तक पहुंचती हैं।
- **नीले जेट्स:** तूफान के शीर्ष से 50 किमी तक संकीर्ण नीले शंकु।
- **एल्क्स:** 90 किमी पर फैलते लाल छल्ले, जो बिजली के विद्युत चुम्बकीय दलों के कारण होते हैं।

ये एक साथ **क्षणिक चमकदार घटनाएं (TLEs)** हैं – आकाश की छिपी हुई बिजलियां, जो तूफानों को आयनमंडल से जोड़ती हैं। ये साबित करते हैं कि तूफान स्थानीय नहीं बल्कि वैश्विक खिलाड़ी हैं, ऊपर की ओर ऊर्जा और कणों को इंजेक्ट करते हैं, रेडियो प्रसार, उपग्रह कक्षा, और यहां तक कि विकिरण बेल्ट को भी बाधित करते हैं।

हमने अंतरिक्ष मौसम को कुछ ऐसा माना जो पृथ्वी पर थोपा गया था। अब हम इसके विपरीत देखते हैं: **पृथ्वी स्वयं अंतरिक्ष मौसम उत्पन्न करती है**, अपने तूफानों के काम के माध्यम से।

सर्किट के अंदर रहना

अब रूपरेखा स्पष्ट है: पृथ्वी, आयनमंडल और अंतरिक्ष एक वैश्विक विद्युत सर्किट में बंधे हुए हैं। फिर भी यह विषय विभिन्न विषयों के बीच अजीब तरह से पड़ता है।

- **खगोलविद और अंतरिक्ष भौतिकविद** सौर तूफानों और मैग्नेटोस्फीयर पर ध्यान केंद्रित करते हैं।
- **मौसम विज्ञानी** बादलों, वर्षा और जमीन पर बिजली का अध्ययन करते हैं।
- **भू-भौतिकविद** भूकंप और ज्वालामुखियों की जांच करते हैं, जो विद्युत क्षेत्रों को भी बाधित करते हैं।

परिणाम यह है कि वायुमंडलीय बिजली दरारों से फिसल जाती है। मानक मौसम रिपोर्ट तापमान, दबाव, हवा और आर्द्रता देती हैं – लेकिन **स्थिर वायुमंडलीय क्षेत्र** नहीं, भले ही इसे एक साधारण फील्ड मिल के साथ मापा जा सकता है।

इसे क्यों मापें?

हमारे पास पहले से ही मॉडल हैं। बिजली नेटवर्क (Blitzortung, ALDIS, EUCLID) बिजली के रेडियो दलों, **स्फेरिक्स** को ट्रैक करके वास्तविक समय में तूफान गतिविधि दिखाते हैं। **स्थिर विद्युत क्षेत्रों** के लिए वही क्यों नहीं बनाया जाता?

ऐसा नेटवर्क:

- **सकारात्मक बिजलियों की जल्दी चेतावनी** दे सकता है, जो सबसे खतरनाक प्रहार हैं।
- **तूफान विकास को ट्रैक** कर सकता है: क्षेत्र की वृद्धि संवहन को दर्शाती है; ध्रुवीयता परिवर्तन विघटन को दर्शाते हैं।
- **अंतरिक्ष मौसम के साथ युग्मन** दिखा सकता है, सीएमई और कॉस्मिक किरणों को जमीन के स्तर के क्षेत्रों से जोड़कर।
- उन कई लोगों के लिए वैज्ञानिक आधार प्रदान कर सकता है जो कहते हैं कि वे अपने शरीर में “मौसम महसूस” कर सकते हैं।

वेधशालाओं का आह्वान

कई वेधशालाएं पहले से ही वायुमंडलीय बिजली को मापती हैं, लेकिन डेटा बिखरा हुआ और छिपा हुआ है। कुछ साल पहले ही **GLOCAEM** (वायुमंडलीय बिजली मापन का वैश्विक समन्वय) नामक एक समन्वित वैश्विक प्रयास शुरू किया गया था, जो यूरोप, एशिया, अफ्रीका और अमेरिका से लगभग 20-30 स्टेशनों को जोड़ता है। इनमें से कुछ साइटें – जैसे ऑस्ट्रिया में कॉनराड व Acknowledgements, स्लोवाकिया में लॉम्निकी स्टिट और स्कॉटलैंड में एस्कडेलमुइर – में संभावित ढाल के निरंतर निगरानी का लंबा इतिहास है।

लेकिन Blitzortung जैसे बिजली नेटवर्कों के विपरीत, ये डेटा प्रवाह ज्यादातर शोधकर्ताओं के हाथों में रहते हैं। वास्तविक समय के ग्राफ मौजूद हैं, लेकिन वे व्यापक रूप से प्रचारित नहीं हैं या सार्वजनिक उपयोग के लिए डिज़ाइन नहीं किए गए हैं। अधिकांश लोगों के लिए – यहां तक कि भौतिकी के छात्रों के लिए भी – वायुमंडलीय क्षेत्र अभी भी अदृश्य है।

यही अंतर है: मापन नहीं, बल्कि पहुंच। जो चाहिए वह है **वैज्ञानिक अभिलेखों का सार्वजनिक डैशबोर्ड और खुले API में अनुवाद**, उसी तरह जैसे स्फेरिक्स नेटवर्क ने तूफान गतिविधि को कुछ ऐसा बना दिया जिसे कोई भी लाइव देख सकता है। मौजूदा अनुसंधान नेटवर्कों के ऊपर एक नागरिक-विज्ञान परत लूप को बंद कर सकती है – वेधशालाओं के छिपे हुए ग्राफ को एक जीवंत “पांचवीं मौसम चर” में बदल सकती है।

चित्र को पूरा करना

हम एक विद्युत सर्किट के अंदर रहते हैं। पृथ्वी नकारात्मक प्लेट है, आयनमंडल सकारात्मक है, और तूफान जनरेटर हैं। बिजली केवल सबसे दृश्यमान लक्षण है। स्प्राइट्स, जेट्स, गामा किरणें और शांत मौसम की धाराएं बाकी हैं।

मौसम के इस छिपे हुए आयाम को सार्वजनिक दृष्टिकोण में लाना – डेटा खोलकर और नेटवर्क बनाकर – आकाश की हमारी समझ को पूरा करेगा। यह हमें बेहतर पूर्वानुमान उपकरण, जलवायु और स्वास्थ्य में नई अंतर्दृष्टि देगा, और आश्चर्य की भावना को बहाल करेगा: यह समझ कि जिस दुनिया में हम चलते हैं, वह न केवल अंतरिक्ष में घूमती है, बल्कि एक ग्रह-स्तरीय विद्युत मशीन के अंदर चमकती, गुनगुनाती और चिंगारी करती है।