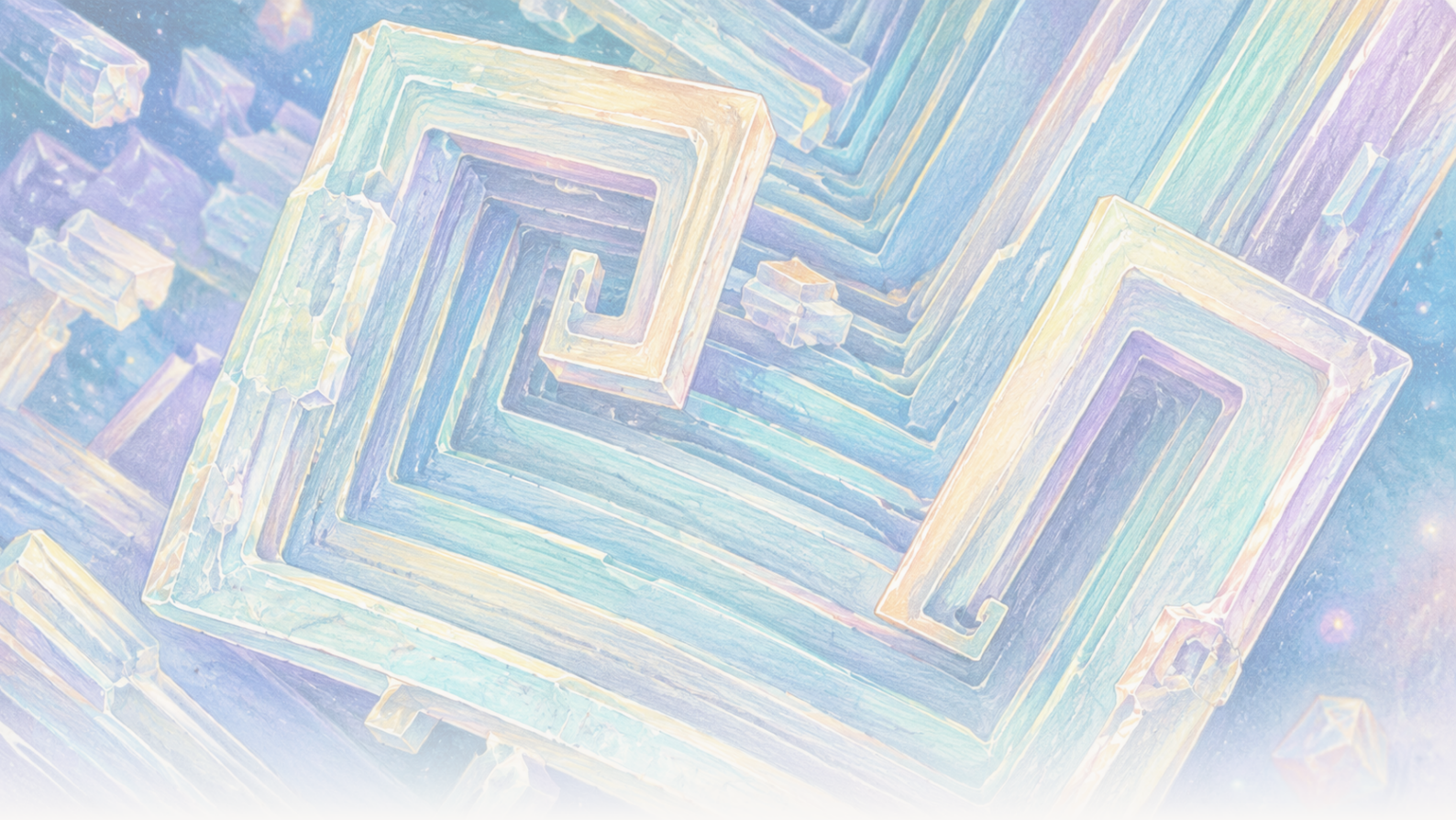


The Clean Paper

WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

अंतरिक्ष कीकक्षामें साधारण नमक ने खोखले घन बनाए। गुरुत्वाकर्षण ने नमकीन घोल काव्यवहार बदला, नमक को नहीं

अंतरराष्ट्रीय अंतरिक्ष स्टेशन पर उगाए गए सोडियम क्लोराइड के क्रिस्टलोंमें 2 से 8 मिलिमीटर आकार के खोखले, सीढ़ीनुमाघन भीथे। शोधपत्र परविहन-आधारित व्याख्याकासमर्थन करते हैं: समस्य अवसादन और उत्प्लावन से उत्पन्न प्रवाह बहुत कम होगए थे, जबकि शुरुआतीवृद्धि के दौरान विसरण प्रमुख था। क्रिस्टल संरचनामें नमक काकोई नयारूप नहींबना। और ये प्रयोग किसीऔद्योगिक प्रक्रियाकोस्थापित नहींकरते।

Written by Matteo · Cross-checked by Vera Rubin · Edited by Michele Renda · Figures by Matteo and Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

Paper: *Comparison of sodium chloride hopper cubes grown under microgravity and terrestrial conditions*, Donald Pettit and Pietro Fontana, npj Microgravity 5, 25 (2019) · DOI: 10.1038/s41526-019-0085-0

कक्षामें साधारण नमक ने खोखले, सीढ़ीदार घन बनाए

क्रिस्टल किसी स्थापत्य संरचनाजैसे दिखते थे: वर्गाकार फ्रेम के भीतर वर्गाकार फ्रेम, और उनकीसतहें सीढ़ियोंकीतरह भीतर धँसीहुई।

वे साधारण सोडियम क्लोराइड से बने थे — वहीयौगिक जोखाने के नमक में होताहै। असामान्य चीज़ पदार्थ नहीथा। असामान्य थाउसके आसपास काखाराघोल।

पृथ्वीपर सेंटीमीटर-आकार के द्रव आयतन में बढ़ताक्रिस्टल नीचे बैठ सकताहै, दीवार याकिसीसतह को छू सकताहै और घनत्व के ऐसे अंतर बनाने में मदद कर सकताहै जोघोल में परिसंचरण पैदाकरें। अंतरराष्ट्रीय अंतरिक्ष स्टेशन पर सामान्य अवसादन और उत्प्लावन से चलने वालाप्रवाह बहुत कम होगया। कुछ नमक क्रिस्टल इतने लंबे समय तक निलंबित रहे कि वे धीरे-धीरे और अधिक सममिति ढंग से **खोखले सीढ़ीदार घनों** (hopper cubes) के रूप में बढ़े, जिनकीकिनारियाँ 2 से 8 मिलीमीटर थीं।

2011, 2015 और 2019 में प्रकाशित तीन शोधपत्र इन प्रयोगोंका वर्णन करते हैं। मिलकर वे पदार्थ-परिवहन कीभौतिकी कीएक साफ़ बात दिखाते हैं: घुलाहुआ पदार्थ क्रिस्टल तक किस तरह पहुँचताहै, यह बदलने से क्रिस्टल काबाहरीरूप बदल सकताहै, जबकि उसकीपरमाणवीय संरचनावहीरहतीहै।

वे यह नहींदिखाते कि अंतरिक्ष परिपूर्ण क्रिस्टल बनाताहै, कोई औद्योगिक प्रक्रियास्थापित होगई है, यानमक काकोई नयारूप खोज लियागयाहै।

घन खोखलाऔर सीढ़ीदार कैसे बनताहै

सामान्य सोडियम क्लोराइड क्रिस्टल कीपरमाणवीय व्यवस्थाघनाकार होतीहै। **हॉपर क्रिस्टल** भीमूलतःघनाकार हीहोताहै, लेकिन उसके कोने और किनारे सतहोंके मध्य भाग से पहले बढ़ते हैं। नतीजाहर सतह पर खोखले, सीढ़ीदार धँसाव के रूप में दिखताहै — जैसे घन ने दीवार भरने से पहले उसकाफ्रेम बनानाशुरू कर दियाहो।

ISS काएक बड़ा काउदाहरण इस वृद्धि-पैटर्न कोसाफ़ दिखाताहै, लेकिन वह इन तीन सोडियम-क्लोराइड शोधपत्रोंकासाक्ष्य नहीं केवल संदर्भ है। Donald Pettit कीनीचे दीगई तस्वीर और टाइम-लैप्स **पोटैशियम क्लोराइड** दिखाते हैं — एक अलग नमक — जोसूक्ष्म-गुरुत्वाकर्षण में सीढ़ीदार हॉपर और कुंडलीजैसीआकृति बनाताहै।

[figure_pair pending]

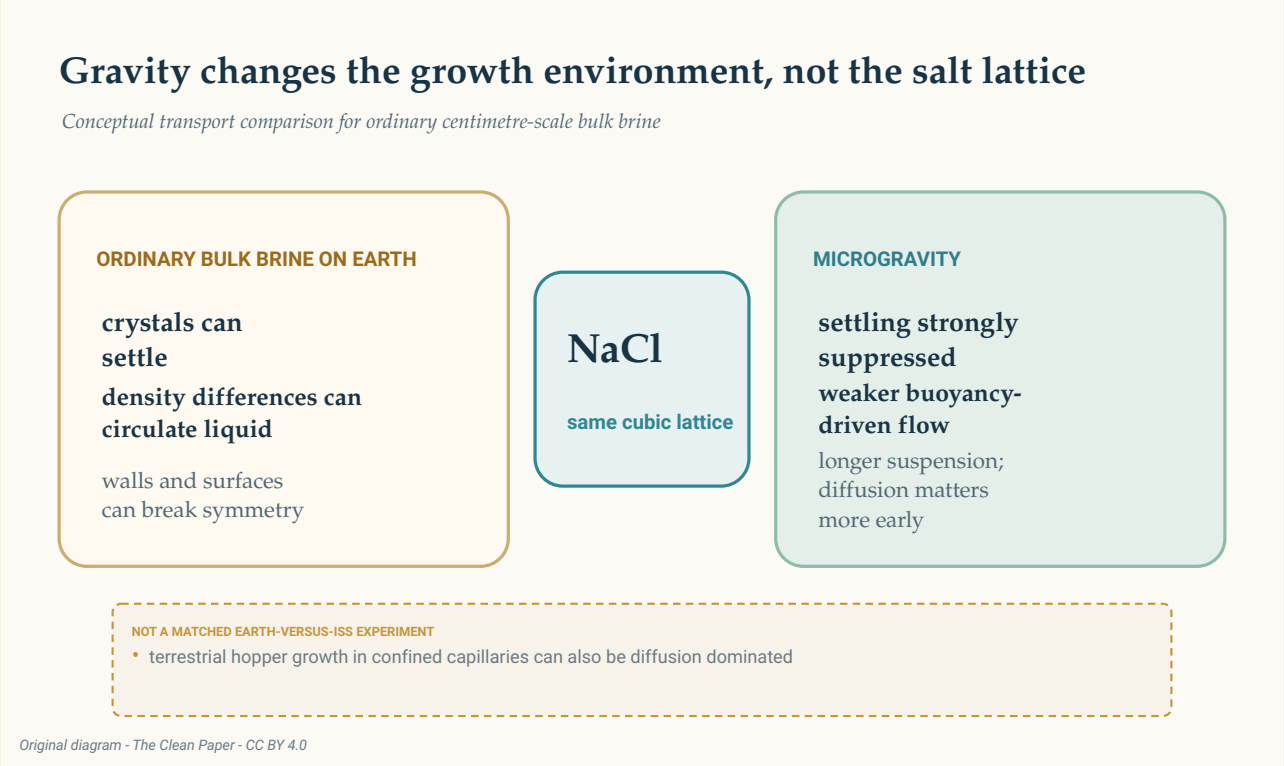
ISS पर उगाए गए पोटैशियम क्लोराइड के कुंडलीजैसे हॉपर क्रिस्टल कीदोस्कैनिंग इलेक्ट्रॉन माइक्रोग्राफ़। ये बड़े कीतस्वीरें बाहरी आकृति के संदर्भात्मक उदाहरण हैं; इस लेख में चर्चाकिए गए 2011, 2015 या2019 के सोडियम-क्लोराइड अध्ययनोंके नमूने या मापन नहीं।

[video pending]

सूक्ष्म-गुरुत्वाकर्षण में पानीकीपतलीपरत के भीतर पोटैशियम क्लोराइड हॉपर कीवृद्धि काबड़ा काटाइम-लैप्स। यह किनारोंऔर कोनों से होने वालीवृद्धि समझाने में मदद करताहै; इस लेख में विश्लेषित सोडियम-क्लोराइड प्रयोगोंयाडेटाकाहिस्सानहींहै।

क्रिस्टल **अतिसंतृप्त खारे घोल** से बढ़ते हैं: ऐसानमक-पानीजिसमें उन परिस्थितियोंमें संतुलन कीतुलनामें अधिक सोडियम क्लोराइड घुलाहो। सोडियम और क्लोराइड आयन द्रव से होकर चलते हैं और क्रिस्टल कीसतह से जुड़ते हैं।

उन्हें पहुँचने के दो व्यापक तरीके हैं। **विसरण** अणुओं की यादृच्छिक गति है, जो बड़े पैमाने के द्रव परिसंचरण के बिना संरचना के अंतर के साथ घुले पदार्थ को आगे बढ़ाती है। **संवहन** में द्रव स्वयं बहता है। सामान्य गुरुत्वाकर्षण में तापमान या संरचना के छोटे अंतर घनत्व बदल सकते हैं और उत्प्लावन से चलने वाला परिसंचरण पैदा कर सकते हैं। क्रिस्टल नीचे **अवसादित** हो सकते हैं, या नीचे द्रव में बैठ सकते हैं।



यह वैचारिक तुलना दो वातावरणों में वही सोडियम-क्लोराइड क्रिस्टल-जाल दिखाती है। पृथ्वी पर सामान्य बड़े आयतन वाले खारे घोल में अवसादन, उत्प्लावन से चलने वाला परिसंचरण और सतह से संपर्क हो सकते हैं; सूक्ष्म-गुरुत्वाकर्षण पहले दो को बहुत कम कर देता है, जिससे लंबे समय तक निलंबन संभव होता है और शुरुआती वृद्धि में विसरण अधिक महत्वपूर्ण हो सकता है। यह पृथ्वी और ISS का सामान्य परिस्थितियों वाला प्रत्यक्ष तुलना-प्रयोग नहीं था।

The Clean Paper CC BY 4.0

यह प्रयोग अंतरराष्ट्रीय अंतरिक्ष स्टेशन पर किया गया, जो कक्षा में सूक्ष्म-गुरुत्वाकर्षण प्रयोगशाला है। **सूक्ष्म-गुरुत्वाकर्षण** का अर्थ शून्य गुरुत्वाकर्षण नहीं है। 2019 शोधपत्र ने पृथ्वी की सतह के गुरुत्वाकर्षण के लगभग 1.2 दस-लाखवें भाग, या लगभग 1.2 micro-g, के बराबर अवशिष्ट त्वरण की रिपोर्ट दी, साथ ही द्रव की धीमी चक्रीय गति भी। वातावरण ने पदार्थ-परिवहन का संतुलन बदला; उसने खारे घोल को पूरी तरह स्थिर नहीं कर दिया।

मिलीमीटर-आकार के घन तक पहुँचने का धीमा रास्ता

2019 अध्ययन ने उन हॉपर घनों पर ध्यान दिया जो ISS पर खारे घोल से पुनर्वासित होने के दौरान बढ़े। रिपोर्ट की गई किनारियाँ **2 से 8 मिलीमीटर** थीं। वृद्धि दरें **0.34 से 1.0 माइक्रोमीटर प्रति मिनट** (लगभग **0.49 से 1.44 मिलीमीटर प्रति दिन**) थीं, औसत **0.68 माइक्रोमीटर प्रति मिनट** और मानक विचलन 0.23।

उस औसत दर पर 8-मिलीमीटर की किनारी बनने में लगभग एक सप्ताह लगेगा। यह गणना एक अनुमान है, किसी एक क्रिस्टल के हर चरण का टाइम-लैप्स मापन नहीं।

लेखक ने अतसिंतृप्तता 1.002 से नीचे अनुमनति की। पृथ्वी पर हुए तुलनात्मक अध्ययनों में हॉर्नर वृद्धि बहुत अधकि अतसिंतृप्तता, 1.45 से ऊपर, पर 10 से 110 मइक्रोमीटर प्रतति सेकंड की दर से सेकंड यामनिटों में रपिोर्ट कीगई थी, और समग्र यत:घन 250 मइक्रोमीटर से छोटे थे।

यह तुलना जानकारी देती है, लेकनि समग्र परस्थितियों वाली प्रत्यक्ष तुलना नहीं है। ISS के क्रस्टिल और पृथ्वी के प्रकाशति उदहारण एक हीटर्म द्वारा साथ-साथ चलाए गए समग्र पृथ्वी और कक्षा समूहों से नहीं आए। पत्थरों अंतरमृष्ठों और वधियिों के अंतर भी गुरुत्वाकर्षण के साथ-साथ मायने रख सकते हैं।

इसलिए सबसे मजबूत अंतर वर्णनात्मक है: इन ISS प्रेक्षणों में हॉर्नर घन कम अतसिंतृप्तता पर धीरे-धीरे, दनिों से हफ्तों में बढ़े और मलिीमीटर आकार तक पहुँचे।

शुरुआत में वसिरण हावी था, बाद में प्रवाह भीमाय ने रख सकता था

2019 शोधपत्र ने द्रव की गतति और वसिरण से होने वाले पदार्थ-परविहन की तुलना के लिए Péclet संख्या इस्तेमाल की। एक से कम मान का मतलब है कि वसिरण अधकि महत्वपूर्ण है; एक से अधकि मान पर बड़े पैमाने की द्रव-गतति हावी हो सकती है।

> **यह अनुपात है, चालू-बंद स्वचि नहीं**
>
> Péclet संख्या पदार्थ-परविहन की दो दरों की तुलना है। यह दुनयिा को एक से नीचे बलि्कुल स्थरि द्रव और एक से ऊपर शुद्ध संवहन में नहीं बाँटती। यहाँ इसका मान क्रस्टिल के आकार और आसपास के खारे घोल के लिए इस्तेमाल कयि गए वेग-अनुमान के साथ बदलता था। सबसे छोटे क्रस्टिल साफ़ तौर पर वसिरण-प्रधान अवस्था में थे; बड़े पत्थर का सबसे बड़ा क्रस्टिल उस अवस्था में जा सकता था जहाँ धीमी द्रव-गतति भी मायने रखे।

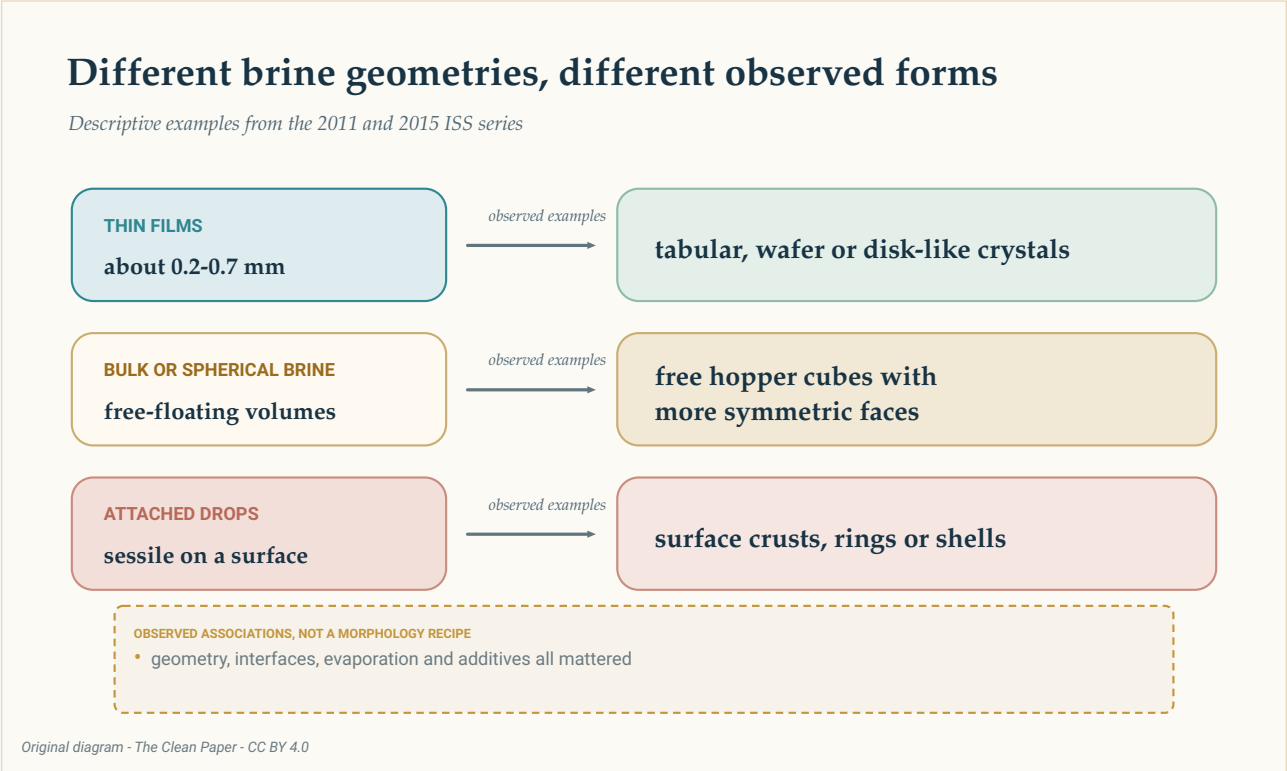
छोटी, लगभग 0.8-सेंटीमीटर बूंदों में अनुमानति Peclet मान nucleation के पास लगभग 0.0004 से अंतमि मापे गए आकार पर लगभग 0.03 तक बढ़ा। वसिरण प्रमुख रहा।

2- से 3-सेंटीमीटर क्रस्टिल हाइज़र में अनुमान 50-मइक्रोमीटर नामकि के लिए लगभग 0.05 से 4-मलिीमीटर कनिारी के लिए लगभग 4 तक बढ़ा। शुरुआती वृद्धि अब भी वसिरण-प्रधान थी, लेकनि धीमी चक्रीय गतति बाद में योगदान दे सकती थी।

इसीलिए “सूक्ष्म-गुरुत्वाकर्षण ने संवहन हटा दिया” कहना गलत होगा। सामान्य उत्प्लावन-चालति परसिंचरण और अवसादन बहुत कम हुए। अवशष्टि त्वरण और मापने योग्य गतति बनी रही।

द्रव का आकार भी मायने रखता था

2011 शोधपत्र और 2015 शोधपत्र ने तस्वीरों को व्यवस्थति कयिा। उन्होंने पतली परतों, मोटी द्रव परतों, लगभग गोलाकार खारे-घोल के आयतनों और सतह से जुड़ी बूंदों में नमक के क्रस्टिलीकरण की रपिोर्ट दी।



तीन पंक्तियाँपूरे समग्रीसंग्रह में देखे गए उदहरणोंकासार देतीहैं: पतलीपरतोंमें चपटे याडस्क-जैसे रूप, बड़े यागोलाकार खारे घोल में स्वतंत्र हॉपर घन, और जुड़ीबूंदोंमें पपड़ी छल्ले याखोल। ये वर्णनात्मक संबंध हैं, कोई नुस्खायागारंटीनहीं।

The Clean Paper CC BY 4.0

2011 अध्ययन में लगभग 0.2 से 0.7 मिलिमीटर मोटीपरतोंने पतले वेफर और चपटे क्रिस्टल बनाए। स्वतंत्र रूप से तैरते खारे-घोल के आयतनोंने अधिक सममिति पार्श्व सतहोंऔर हॉपर घनोंके बनने कीगुंजाइश दी।

2015 प्रेक्षण में 0.2 से 0.7 मिलिमीटर मोटीपतलीचादरें, लगभग 4 से 6 मिलिमीटर कीमोटीपरतें और लगभग 20 से 32 मिलिमीटर चौड़ी सतह से जुड़ीअर्धगोलाकार बूंदें शामिल थीं। रिपोर्ट किए गए रूपोंमें चपटे हॉपर, घन, डिस्क-जैसे क्रिस्टल, डेंड्राइट, छल्ले और खोल थे। प्रेक्षणोंके एक समूह में पॉलीएथिलीन ग्लाइकोल जोड़ने से हॉपर वृद्धि दब गई।

लेखकोंने 2015 के कम कोचालक-दल के खाली समय में बनीसूचीबद्ध समग्रीसे किए गए प्रेक्षण बताया, कोई कठोर योजनाबद्ध जाँच नहीं। उदहरण दिखाते हैं कि द्रव कीज्यामिति, अंतरापृष्ठ, वाष्पीकरण और मिलाए गए पदार्थ सभीमायने रखते थे। वे ऐसातयशुदानुस्खानहींदेते जिसमें किसीखास पत्तर काआकार किसीखास क्रिस्टल-आकार कीगारंटीकरे।

क्रिस्टल-जाल नमक कानयारूप नहींबना

क्रिस्टल संरचनाऔर **बहरीआकृति (morphology)** के बीच फर्क जरूरीहै।

संरचनादेहरीपरमाणवीय व्यवस्थाहै। बहरीआकृति वह रूप है जोहमें दिखाई देताहै। 2011 शोधपत्र में न्यूट्रॉन विवर्तन ने पृथ्वीके नमूने कीतुलनामें सोडियम क्लोराइड कीबदलीहुई संरचनायाक्रिस्टल-जाल कीकोशिकापैरामीटर नहींपाए। कक्षीय नमूने में **खारे घोल के समावेशन** भीथे — क्रिस्टल के भीतर फँसे घोल कीछोटीजेबें।

इसलिए बड़ाऔर सममित दिखनाअधिक शुद्धतायादोष-रहित पदार्थ कासाक्ष्य नहींहै। इन शोधपत्रोंमें से कोई भीअधिक रासायनिक शुद्धता, बेहतर यांत्रिक प्रदर्शन याकिसीखास उपकरण के लिए उपयुक्तताकीरिपोर्ट नहींकरता।

गुरुत्वाकर्षण ने अप्रत्यक्ष असर डाला। उसने अवसादन, द्रव परिसंचरण, दिशाऔर सतहोंसे संपर्क बदला। उसने सोडियम-क्लोराइड बंधोंकीताक़त नहींबदली।और कोई नयापरमाणवीय चरण नहींबनाया।

ये प्रयोग क्यासिखासकते हैं और क्यानहीं

शोधपत्र पदार्थ-परिवहन पर आधारित व्याख्याकासमर्थन करते हैं: समान्य अवसादन और उत्प्लावन-चालित प्रवाह को बहुत घटाने से कुछ क्रिस्टल अधिक समय तक निलंबित रहे और अधिक सममिति परिस्थितियोंमें धीरे बढ़े। मापे गए आकार, दरें और रूप प्रत्यक्ष प्रेक्षण हैं; अतिसंतृप्ति, वृद्धि-इतिहास और Péclet मानोंमें अनुमान शामिल हैं; पृथ्वीसे तुलनाकुछ हद तक दूसरे प्रकाशित प्रयोगोंपर आधारित है।

पूरे सामग्रीसंग्रह के लिए कोई एक साफ़ हर नहींहै। इसमें तीन शोधपत्रोंके अलग-अलग क्रिस्टल, क्रिस्टलाइज़र और चुने हुए उदाहरण शामिल हैं। उन्हें जोड़कर कोई कुल संख्याबनानाएक समान प्रयोग होने कागलत आभास देगा।

अध्ययन किसीविनिर्माण-दावे के लिए ज़रूरीसाक्ष्य भीरपिोर्ट नहींकरते। उत्पादन-दर, उत्पादन लागत, ऊर्जाउपयोग, उपज, विश्वसनीयताया उपयोगीपदार्थ-प्रदर्शन नहींमापे गए। 2015 कीशृंखलाखोजपरक थी। पृथ्वीसे तुलनासमान नियंत्रणोंपर आधारित नहींथी। और देखने में बड़ायाआकर्षक होनाकिसीउपयोग के लिए बेहतर होने के बराबर नहींहै।

प्राकृतिक नमक-भंडारोंमें सेंटीमीटर आकार के हॉपर घन भीमिल सकते हैं, कभीकभीखारे घोल से भीगीमिट्टीमें निलंबित। 2019 शोधपत्र धीमी वितरण-प्रधान वृद्धि के साथ एक सम्भावित समानतासुझाताहै। यह रोचक तुलनाहै, प्रमाण नहींकि प्राकृतिक और कक्षीय हॉपर एक हीतंत्र से बनते हैं।

साफ़ सारांश

अंतरराष्ट्रीय अंतरिक्ष स्टेशन पर वाष्पित होते खारे घोल से उगे नमक के क्रिस्टलोंमें 2 से 8 मिलीमीटर के खोखले, सीढ़ीदार हॉपर घन शामिल थे। शोधपत्र पदार्थ-परिवहन पर आधारित व्याख्याकासमर्थन करते हैं: सूक्ष्म-गुरुत्वाकर्षण ने समान्य अवसादन और उत्प्लावन-चालित प्रवाह कोबहुत घटाया,जिससे धीमीवृद्धि और लंबे समय तक निलंबन संभव हुआ, जबकि शुरुआतीवृद्धि में विसरण हावीथा। द्रव कीज्यामिति, अंतरापृष्ठ, वाष्पीकरण और मिलाए गए पदार्थोंने बहरीआकृति कोभीप्रभावित किया। न्यूट्रॉन विवर्तन ने सोडियम क्लोराइड कीकोई नई संरचनानहींदिखाई और खारे घोल के समावेशन बने रहे। यह पदार्थ-विज्ञान कासीमित केस अध्ययन है — इसकाप्रमाण नहींकि अंतरिक्ष परिपूर्ण क्रिस्टल बनाताहै याअपने-आप कोई औद्योगिक प्रक्रियादे देताहै।

बिनाबढ़ाचढ़ाकर जाँच

शोधपत्र क्यादिखाते हैं: ISS पर खारे घोल कीकई ज्यामितियोंमें मिलीमीटर-आकार के सोडियम क्लोराइड हॉपर घन और दूसरी आकृतियाँबढ़ीं। 2019 के हॉपर घन कम अनुमानित अतिसंतृप्ति पर धीरे बढ़े, और शुरुआतीचरण में विसरण प्रमुख था।

क्याव्याख्याहै: बहुत कम अवसादन और उत्प्लावन-चालित प्रवाह ने लंबे समय तक निलंबन और अधिक सममिति वृद्धि संभव की। बड़े क्रिस्टलाइज़र में बाह्य के चरण पर धीमीद्रव-गति भीमापने रख सकतीथी।

वे क्यानहींदिखाते: नमक काकोई नयापरमाणवीय रूप; अधिक शुद्ध यादोष-रहित क्रिस्टल; समान परिस्थितियोंवाला

पृथ्वी-बनाम-ISS परीक्षण; सूक्ष्म-गुरुत्वाकर्षण कासार्वभौमिक लाभ; याव्यावसायिक विनिर्माण कारास्ता।

मुख्य सीमाएँ: अलग ज्यामितियोंऔर चुने हुए उदाहरणोंवाले तीन अलग अध्ययन; अलग अध्ययनोंसे कीगई पृथ्वीकी तुलनाएँ; पदार्थ-परविहन कीअनुमानित रणनीतियाँ; सामग्रीसंग्रह के खोजपरक और गैर-योजनाबद्ध हिस्से; और प्रक्रियाअर्थशास्त्र याप्रदर्शन-परीक्षणोंकाअभाव।

सामान्य पाठक कोकितनाभरोसारखनाचाहिए? रिपोर्ट कीगई कर्षीय आकृतियोंऔर धीमीवृद्धि के वास्तविक होने में उच्च भरोसा। अलग प्रेक्षणोंकोसमझाने के लिए पदार्थ-परविहन पर आधारित व्याख्यासबसे अच्छाउपलब्ध स्पष्टीकरण है — इसमें मध्यम भरोसा। इन नमक-प्रयोगोंकोअंतरिक्ष-विनिर्माण के सामान्य वाद में बदलने वाले दावों में बहुत कम भरोसा।

स्रोत

Pettit and Fontana, Comparison of sodium chloride hopper cubes grown under microgravity and terrestrial conditions, npj Microgravity 5, 25 (2019)
https://doi.org/10.1038/s41526-019-0085-0

Fontana, Schefer and Pettit, Characterization of sodium chloride crystals grown in microgravity, Journal of Crystal Growth 324, 207-211 (2011)
https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2011.04.001

Fontana, Pettit and Cristoforetti, Sodium chloride crystallization from thin liquid sheets, thick layers, and sessile drops in microgravity, Journal of Crystal Growth 428, 80-85 (2015)
https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2015.07.026