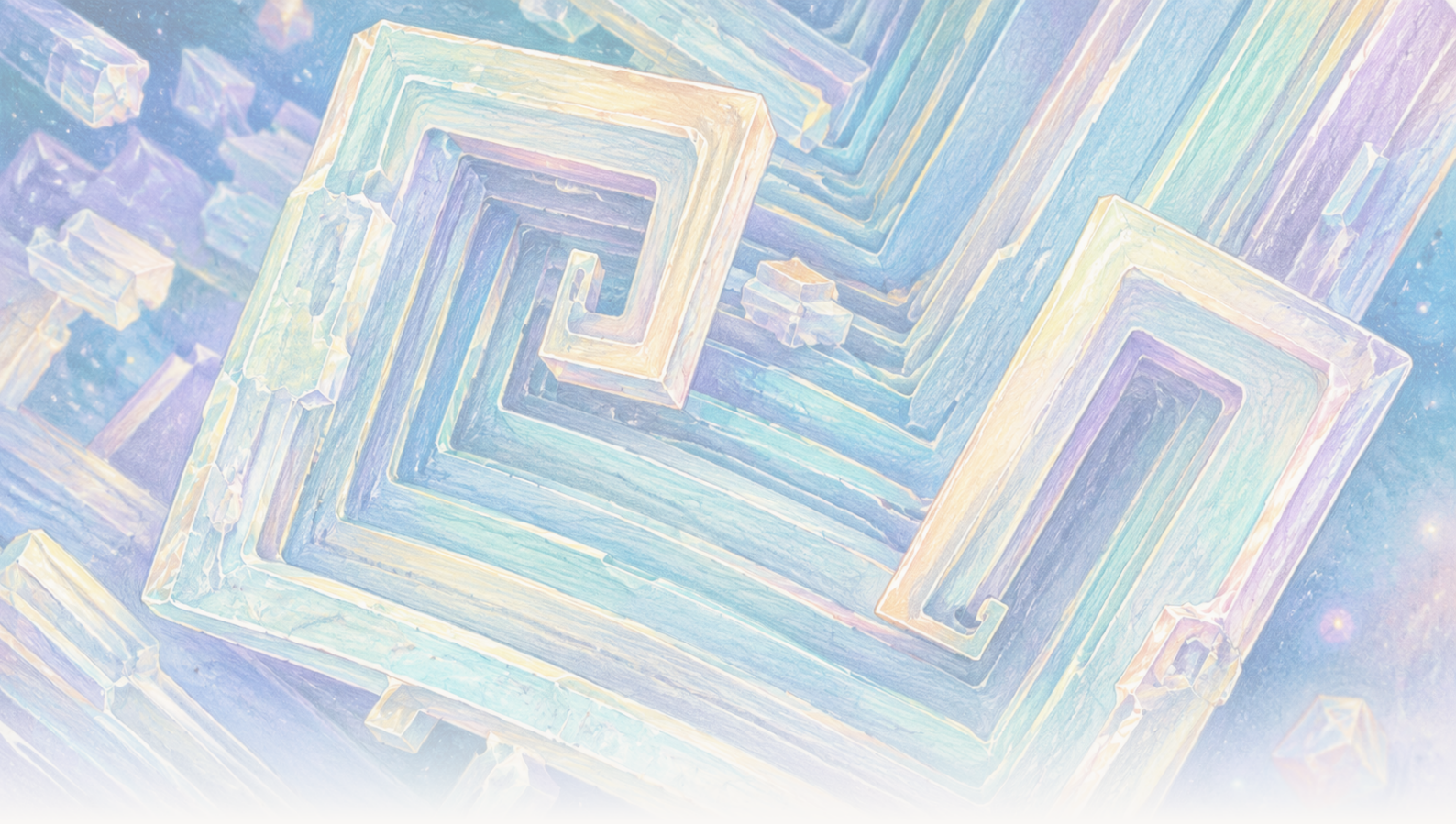




The CLEAN PAPER

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

अंतरिक्ष कीकक्षामें सघरण नमक ने खेखले घन बनाए। गुरुत्वकर्षण ने नमकीन घोल काव्यवहार बदला, नमक को नहीं

अंतरराष्ट्रीय अंतरिक्ष स्टेशन पर उगाए गए सोडियम क्लोराइड के क्रिस्टलोंमें 2 से 8 मिलीमीटर आकार के खेखले, सिद्धिमुमाघन भीथे। शोधपत्र परविहन-आधारति व्याख्याकासमर्थन करते हैं: समस्य अवसदन और उत्पलघन से उत्पन्न प्रवह बहुत कम होगाए थे, जबकिशुरुआतीवृद्धिके दौरान वसिरण प्रमुख था। क्रिस्टल संरचनामें नमक काकई नयारूप नहींबना और ये प्रयोग किसीऔद्योगिक प्रक्रियाकोस्थपति 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 सघरण नमक ने खेवले, सीढ़ीर घन बनाए

क्रिस्टल कसीस्थपत्य संरचनाजैसे देखते थे: वर्गका फ्रेम के भीतर वर्गका फ्रेम, और उनकीसतहें सीढ़ियोंकीतरह भीतर धँसीहुई।

वे सघरण सोडियम क्लोराइड से बने थे — वहीयौगिक जोखमों के नमक में होताहै। असमम्य चीज़ पदार्थ नहींथा। असमम्य थाउसके आसपस काखराघोल।

पृथ्वीपर सेंटीमीटर-आकार के द्रव आयतन में बढ़ताक्रिस्टल नीचे बैठ सकताहै, दीवार याकसीसतह कोछू सकताहै और घनत्व के ऐसे अंतर बनने में मदद कर सकताहै जोघोल में परसंचरण पैदाकरें। अंतरराष्ट्रीय अंतरिक्ष स्टेशन पर समम्य अवसन्न और उत्पलन से चलने वलापरवह बहुत कम होगया। कुछ नमक क्रिस्टल इतने लंबे समय तक नलंबति रहे कि वे धीरे-धीरे और अधिक सममति ढंग से खेवले सीढ़ीर घनो(hopper cubes) के रूप में बढे, जिनकीकिनारियाँ 2 से 8 मल्लिमीटर थी।

2011, 2015 और 2019 में प्रकृति तीस शोधपत्र इन प्रयोगोकावरणन करते हैं। मलिकर वे पदार्थ-परविहन कीभौतिकी कीएक सफ़्त बत देखते हैं: घुलाहुआ पदार्थ क्रिस्टल तक किस तरह पहुँचताहै, यह बदलने से क्रिस्टल काबहरीरूप बदल सकताहै, जबकि उसकीपरमणवीय संरचनावहीरहतीहै।

वे यह नहींदेखते कि अंतरिक्ष परपूरण क्रिस्टल बनताहै, कई औद्योगिक प्रक्रियास्थपति होगई है, यानमक काकई नयारूप खोज लियागयाहै।

घन खेवलाऔर सीढ़ीर कैसे बनताहै

समम्य सोडियम क्लोराइड क्रिस्टल कीपरमणवीय व्यवस्थाघनका होतीहै। हॉपर क्रिस्टल भीमूलतःघनका हीहोताहै, लेकिन उसके कोने और कनोरे सतहोंके मध्य भाग से पहले बढ़ते हैं। नतीजाहर सतह पर खेवले, सीढ़ीर धँसने के रूप में देखताहै — जैसे घन ने दीवार भरने से पहले उसकाफ्रेम बनाशुरू कर दियाहो।

ISS काएक बढ काउदहरण इस वृद्धि-पैटर्न कोसफ़्ट देखताहै, लेकिन वह इन तीस सोडियम-क्लोराइड शोधपत्रोकासफ़्ट नहीं केवल संदर्भ है। Donald Pettit कीनीचे दीगई तस्वीर और टाइम-लैप्स पोटैशियम क्लोराइड देखते हैं — एक अलग नमक — जोसूक्ष्म-गुरुत्वक्षरण में सीढ़ीर हॉपर और कुंडलीजैसीआकृतिबनताहै।

[figure_pair pending]

ISS पर उगाए गए पोटैशियम क्लोराइड के कुंडलीजैसे हॉपर क्रिस्टल कीदोस्कैनगि इलेक्ट्रॉन मइक्रोग्राफ़। ये बढ कीतस्वीरें बहरी आकृतिके संदर्भत्मक उदहरण हैं; इस लेख में चर्चाकिए गए 2011, 2015 या2019 के सोडियम-क्लोराइड अध्ययनोके नमूने या मपन नहीं।

[video pending]

सूक्ष्म-गुरुत्वक्षरण में पसीकीपतलीपरत के भीतर पोटैशियम क्लोराइड हॉपर कीवृद्धि काबढ काटाइम-लैप्स। यह कनोरेऔर कोनों से होने वालीवृद्धिसमझने में मदद करताहै; इस लेख में वश्लेषित सोडियम-क्लोराइड प्रयोगोयाडेटाकाहसिसानहीहै।

क्रिस्टल अतसंतृप्त खरे घोल से बढ़ते हैं: ऐसानमक-पसीजसिमें उन परस्थितियोंमें संतुलन कीतुलनामें अधिक सोडियम क्लोराइड घुलाहो। सोडियम और क्लोराइड आयन द्रव से होकर चलते हैं और क्रिस्टल कीसतह से जुड़ते हैं।

उन्हें पहुँचने के दोव्याप्तक तरीके हैं। वसिरण अणुओं कीयहृच्छकि गति है, जोबड़े पैमाने के द्रव परसिंचरण के बनिासंहरता के अंतर के सग घुले पदार्थ कोआगे बढ़ती है। संवहन में द्रव स्वयं बहता है। समस्य गुरुत्वकर्षण में तममन यासंहरताके छोटे अंतर घनत्व बदल सकते हैं और उत्प्लवन से चलने वलापरसिंचरण पैदाकर सकते हैं। क्रिस्टल नीचे अवसन्नति भीहोसकते हैं, यमीद्रव में बैठ सकते हैं।

Gravity changes the growth environment, not the salt lattice

Conceptual transport comparison for ordinary centimetre-scale bulk brine

ORDINARY BULK BRINE ON EARTH

crystals can settle
density differences can circulate liquid

walls and surfaces can break symmetry

NaCl

same cubic lattice

MICROGRAVITY

settling strongly suppressed
weaker buoyancy-driven flow

longer suspension;
diffusion matters more early

NOT A MATCHED EARTH-VERSUS-ISS EXPERIMENT

- terrestrial hopper growth in confined capillaries can also be diffusion dominated

Original diagram - The Clean Paper - CC BY 4.0

यह वैचारिक तुलनादेमोवसन्नरणोमें वहीसेडियम-क्लोराइड क्रिस्टल-जाल दखिती है। पृथ्वीपर समस्य बड़े आयतन वाले खरे घले में अवसन्नन, उत्प्लवन से चलने वलापरसिंचरण और सतह से संपर्क होसकते हैं; सूक्ष्म-गुरुत्वकर्षण पहले दोकोबहुत कम कर देता है, जिससे लंबे समय तक नलिनन संभव होता है और शुरुआतीवृद्धि में वसिरण अधिक महत्वपूर्ण होसकता है। यह पृथ्वीऔर ISS कासमन परस्थितियोंवलापरत्यक्ष तुलनाप्रयोग नहीं था।

The Clean Paper CC BY 4.0

यह प्रयोग अंतरराष्ट्रीय अंतरिक्ष स्टेशन पर किया गया जोकक्षामें सूक्ष्म-गुरुत्वकर्षण प्रयोगशाला है। सूक्ष्म-गुरुत्वकर्षण काअर्थ शून्य गुरुत्वकर्षण नहीं है। 2019 शोधपत्र ने पृथ्वीकीसतह के गुरुत्वकर्षण के लगभग 1.2 दस-लखवें भाग, यमी 1.2 micro-g, के बरबर अवशिष्ट त्वरण कीरिपोर्ट दी सग हीद्रव कीधमीचक्रीय गति भी वसन्नरण ने पदार्थ-परविहन कासंतुलन बदला उसने खरे घले कोपूरीतरह स्थिर नहीं कर दिया।

मिलीमीटर-आकार के घन तक पहुँचने काधमिरस्ता

2019 अध्ययन ने उन हॉपर घनोपर ध्यान दिया जो ISS पर खरे घले से पमीवसन्नति होने के दौरान बढ़े। रिपोर्ट की गई कनिहयियाँ 2 से 8 मिलीमीटर थीं। वृद्धिदरें 0.34 से 1.0 मइक्रेमीटर प्रतिमिनट (लगभग 0.49 से 1.44 मिलीमीटर प्रतिदिन) थीं औसत 0.68 मइक्रेमीटर प्रतिमिनट और मसक वचिलन 0.23।

उस औसत दर पर 8-मिलीमीटर कीकनिरीबनने में लगभग एक सप्तह लगेगा। यह गणनाएक अनुमान है, किसीएक क्रिस्टल के हर चरण काटइम-लैप्स मसन नहीं।

लेखक ने अतसिंतृप्ति 1.002 से नीचे अनुमति की। पृथ्वी पर हुए तुलनाअध्ययनों में हॉपर वृद्धि बहुत अधिक अतसिंतृप्ति, 1.45 से ऊपर, पर 10 से 110 मइक्रेमीटर प्रति सेकंड की दर से सेकंड यामिनटों में रिपोर्ट की गई थी और समस्यतः घन 250 मइक्रेमीटर से छोटे थे।

यह तुलना जप्त कर देती है, लेकिन समस्य परस्थितियों वाली प्रत्यक्ष तुलना नहीं है। ISS के क्रिस्टल और पृथ्वी के प्रकृति उदहरण एक हीटम द्वारा सस्य-सस्य चलाए गए समस्य पृथ्वी और कक्षासमूहों से नहीं आए। पत्तों अंतरमृष्टों और वधियों के अंतर भी गुरुत्वक्षरण के सस्य-सस्य मस्यने रख सकते हैं।

इसलिए सबसे मजबूत अंतर वर्णनसमक है: इन ISS प्रेक्षणों में हॉपर घन कम अतसिंतृप्ति पर धीरे-धीरे, दनों से हफ्तों में बड़े और मलिमीटर आकार तक पहुंचे।

शुरुआत में वसिरण हसीथा, बस में प्रवह भी मस्यने रख सकता था

2019 शेषपत्र ने द्रव की गति और वसिरण से हमें वाले पदार्थ-परविहन की तुलना के लिए Peclet संख्या इस्तेमाल की। एक से कम मस्य कामतलब है कि वसिरण अधिक महत्वपूर्ण है; एक से अधिक मस्य पर बड़े पैमाने की द्रव-गति हसी हो सकती है।

यह अनुपस है, चालू-बंद स्वचि नहीं

Peclet संख्या पदार्थ-परविहन की दो दों की तुलना है। यह दुनिया को एक से नीचे बलिकुल स्थिर द्रव और एक से ऊपर शुद्ध संवहन में नहीं बाँटती। यहाँ इस कामस्य क्रिस्टल के आकार और आसपस के खरे घोल के लिए इस्तेमाल किए गए वेग-अनुमति के सस्य बदलता था। सबसे छोटे क्रिस्टल सस्य तौर पर वसिरण-प्रधस्य अवस्थामें थे; बड़े पत्तों का सबसे बड़ा क्रिस्टल उस अवस्थामें जा सकता था जहाँ धीमी द्रव-गति भी मस्यने रखे।

छोटी लगभग 0.8-सेंटीमीटर बूंदों में अनुमति Peclet मस्य nucleation के पस लगभग 0.0004 से अंतमि मस्ये गए आकार पर लगभग 0.03 तक बढ़ा वसिरण प्रमुख रहा।

2- से 3-सेंटीमीटर क्रिस्टल इज़र में अनुमति 50-मइक्रेमीटर नस्य के लिए लगभग 0.05 से 4-मलिमीटर कनिरी के लिए लगभग 4 तक बढ़ा शुरुआती वृद्धि अब भी वसिरण-प्रधस्य थी लेकिन धीमी चक्ष गति बस में योगस्य दे सकती थी।

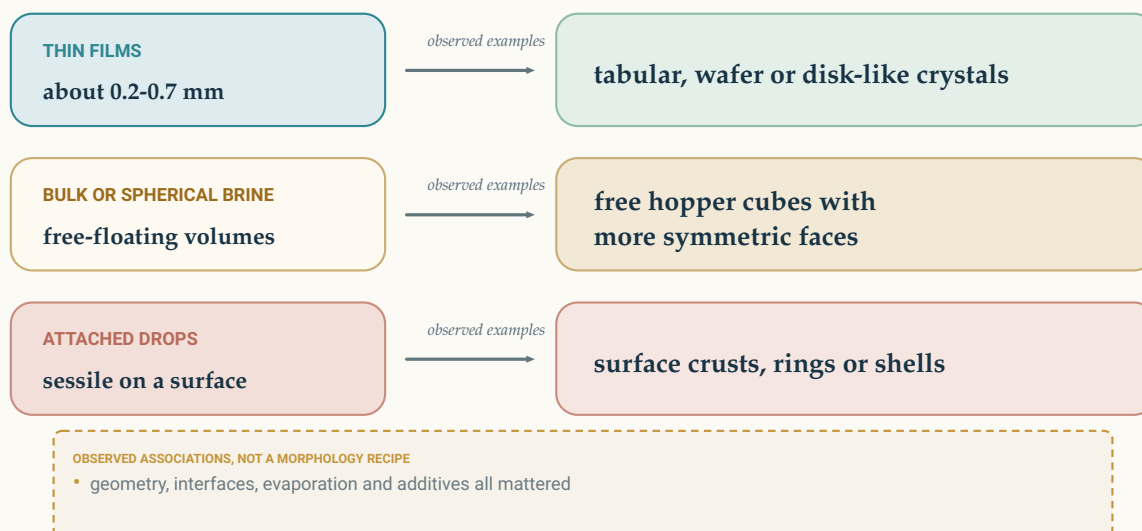
इसलिए “सूक्ष्म-गुरुत्वक्षरण ने संवहन हटा दिया” कहना गलत होगा। समस्य उत्पलन-चलति परसिंचरण और अवसदन बहुत कम हुए। अवशिष्ट त्वरण और मस्यने योग्य गति बनी रही।

द्रव का आकार भी मस्यने रखता था

2011 शेषपत्र और 2015 शेषपत्र ने तस्वीर को व्यस्यक किया। उन्हें पतली परतों, मोटी द्रव परतों लगभग गोलाकार खरे-घोल के आयतनों और सतह से जुड़ी बूंदों में नस्य के क्रिस्टल क्षरण की रिपोर्ट दी।

Different brine geometries, different observed forms

Descriptive examples from the 2011 and 2015 ISS series



Original diagram - The Clean Paper - CC BY 4.0

तीस पंक्तियाँ पूरे समग्र संग्रह में देखे गए उदहरणों का सारा देती हैं: पतली परतों में चपटे या डिस्क-जैसे रूप, बड़े या गोले का सारा खोले घोल में स्वतंत्र होकर घन, और जुड़ी हुई वृद्धों में पपड़ी छल्ले या खोल। ये वर्णन समक संबंध हैं, कोई नुस्खा या गारंटी नहीं।

The Clean Paper CC BY 4.0

2011 अध्ययन में लगभग 0.2 से 0.7 मिलीमीटर मोटी परतों ने पतले वेफर और चपटे क्रिस्टल बनाए। स्वतंत्र रूप से तैरते खोले घोल के आयतनों में अधिक सममिति पार्श्व सतहों और होकर घनों के बनने की गंजी दिखा दी।

2015 प्रेक्षण में 0.2 से 0.7 मिलीमीटर मोटी पतली चदरें, लगभग 4 से 6 मिलीमीटर की मोटी परतें और लगभग 20 से 32 मिलीमीटर चौड़ी सतह से जुड़ी अर्धगोले का बूंदें शामिल थीं। रिपोर्ट किए गए रूपों में चपटे होकर, घन, डिस्क-जैसे क्रिस्टल, डेंड्राइट, छल्ले और खोल थे। प्रेक्षणों के एक समूह में पॉलीएथिलीन ग्लाइकोल जोड़ने से होकर वृद्धि दिव गई।

लेखकों ने 2015 के कम कोचलक-दल के खली समय में बना सूचिबद्ध समग्र से किए गए प्रेक्षण बताया कि कोई कठोर योजनाबद्ध ज्ञ नहीं। उदहरण दिखाते हैं कि द्रव की ज्यामिति, अंतरापृष्ठ, वष्पिकरण और मिलाए गए पदार्थ सभी मयने रखते थे। वे ऐसा तयशुदानुस्खानही देते जसमें कसिसखस पत्र का आकार कसिसखस क्रिस्टल-आकार की गारंटी करे।

क्रिस्टल-जल नमक कानयारूप नहीं बना

क्रिस्टल संरचना और बहरी आकृति (morphology) के बीच फरक जरूरी है।

संरचना देहरती परमणवीय व्यवस्था है। बहरी आकृति वह रूप है जो हमें दिखाई देता है। 2011 शोधपत्र में न्यूट्रॉन विवर्तन ने पृथ्वी के नमूने की तुलना में सोडियम क्लोराइड की बदली हुई संरचना या क्रिस्टल-जल की कोशिका पैरामीटर नहीं पाए। कक्षीय नमूने में खोले घोल के समन्वय भी थे — क्रिस्टल के भीतर फंसे घोल की छोटी जेबें।

इसलिए बड़ा और सममिति दिखना अधिक शुद्धता या दोष-रहित पदार्थ का संकेत नहीं है। इन शोधपत्रों में से कोई भी अधिक रसायनिक शुद्धता बेहतर यंत्रिक प्रदर्शन या कसिसखस उपकरण के लिए उपयुक्तता की रिपोर्ट नहीं करता।

गुरुत्वकर्षण ने अप्रत्यक्ष असर डाला। उसने अवसदन, द्रव परसंचरण, दशा और सतहों से संपर्क बदला। उसने सोडियम-क्लोराइड बंधो की तन्त्र नही बदली और कोई नया परमाणवीय चरण नही बनया।

ये प्रयोग क्या सिखा सकते हैं और क्या नहीं

शोधपत्र पदार्थ-परविहन पर आधारित व्याख्या का समर्थन करते हैं: समस्त अवसदन और उत्प्लवन-चलति प्रवह को बहुत घटने से कुछ क्रिस्टल अधिक समय तक नलंबित रहे और अधिक सममति परस्थितियों में धीरे बढ़े। मने गए आकार, दरें और रूप प्रत्यक्ष प्रेक्षण हैं; अतिसंतृप्ति, वृद्धि-इतिहास और Péclet मनों में अनुमति शामिल हैं; पृथ्वी से तुलना कुछ हद तक दूसरे प्रकृति प्रयोगों पर आधारित है।

पूरे समग्रिसंग्रह के लिए कोई एक साफ़ हर नहीं है। इसमें तीन शोधपत्रों के अलग-अलग क्रिस्टल, क्रिस्टल इज़र और चुने हुए उदहरण शामिल हैं। उन्हें जोड़कर कोई कुल संख्या बनना एक समस्त प्रयोग हमें कागलत आभास देगा।

अध्ययन किसी निर्माण-दश के लिए जरूरी सक्षम भीरपिष्ट नहीं करते। उत्पन्न-दर, उत्पन्न लगात, ऊर्जा उपयोग, उपज, विश्वसनीयता या उपयोगी पदार्थ-प्रदर्शन नहीं मने गए। 2015 की शुक्ला खोज परक थी। पृथ्वी से तुलना समस्त नियंत्रणों पर आधारित नहीं थी। और देखने में बढ़ाया आकर्षक होना किसी उपयोग के लिए बेहतर हमें के बरबर नहीं है।

प्रकृतिक नमक-भंडारों में सेंटीमीटर आकार के हमें घन भी मिल सकते हैं, कभी कभी खरे घोल से भी मिट्टी में नलंबित। 2019 शोधपत्र धीमी वसिरण-प्रथम वृद्धि के साथ एक सम्भवति समस्तता सुझता है। यह खेक तुलना है, प्रमाण नहीं कि प्रकृतिक और कक्षीय हमें एक ही तंत्र से बनते हैं।

साफ़ संश्लेष

अंतरराष्ट्रीय अंतरिक्ष स्टेशन पर वषपति होते खरे घोल से उगे नमक के क्रिस्टलों में 2 से 8 मिलीमीटर के खेखले, सीढ़ी हमें घन शामिल थे। शोधपत्र पदार्थ-परविहन पर आधारित व्याख्या का समर्थन करते हैं: सूक्ष्म-गुरुत्वकर्षण ने समस्त अवसदन और उत्प्लवन-चलति प्रवह को बहुत घटया जिससे धीमी वृद्धि और लंबे समय तक नलंबन संभव हुआ, जबकि शुरुआती वृद्धि में वसिरण हथी था। द्रव की ज्यमति, अंतरमृष्ट, वषपिकरण और मलिए गए पदार्थों ने बहरी आकृति को भी प्रभावित किया। न्यूट्रॉन विवर्तन ने सोडियम क्लोराइड की कोई नई संरचना नहीं दिखाई और खरे घोल के सममेशन बने रहे। यह पदार्थ-वज्जित का समिति के अध्ययन है — इसका प्रमाण नहीं कि अंतरिक्ष परपूरण क्रिस्टल बनता है या अपने-आप कोई औद्योगिक प्रक्रिया देता है।

बनाबदाचदकर जँघ

शोधपत्र क्या देखते हैं: ISS पर खरे घोल की कोई ज्यमतियों में मिलीमीटर-आकार के सोडियम क्लोराइड हमें घन और दूसरी आकृतियाँ बदी। 2019 के हमें घन कम अनुमति अतिसंतृप्ति पर धीरे बढ़े, और शुरुआती चरण में वसिरण प्रमुख था।

क्या व्याख्या है: बहुत कम अवसदन और उत्प्लवन-चलति प्रवह ने लंबे समय तक नलंबन और अधिक सममति वृद्धि संभव की। बड़े क्रिस्टल इज़र में बन्न के चरण पर धीमी द्रव-गत भीमने रख सकती थी।

वे क्या नहीं देखते: नमक का कोई नया परमाणवीय रूप; अधिक शुद्ध या दोष-रहित क्रिस्टल; समस्त परस्थितियों वला

पृथ्वीबनम-ISS परीक्षण; सूक्ष्म-गुरुत्वक्षरण कासाह्वभैमिक लभ; याव्यसस्यकि वनिर्मण कारस्ता

मुख्य सीमाएँ: अलग ज्यमत्तियोऔर चुने हुए उदहरणोवले तमि अलग अध्ययन; अलग अध्ययनोसे कीगई पृथ्वीकी तुलनाएँ; पदार्थ-परविहन कीअनुमति रसायिँ समग्रीसंग्रह के खोजपरक और गैर-योजनबद्ध हसिसे; और प्रक्रिया अर्थशस्त्र याप्रदर्शन-परीक्षणोकाअभम ।

समस्य पठक कोकतिनाभरेसारखनाचहएि? रिपोर्ट कीगई कक्षीय आकृतियोऔर धमीवृद्धि के वस्तवकि हमें में उच्च भरेसा। अलग परेक्षणोकोसमझने के लिए पदार्थ-परविहन पर आधारति व्याख्यासबसे अच्छाउपलब्ध स्पष्टीकरण है — इसमें मध्यम भरेसा। इन नमक-प्रयोगोकोअंतरिक्ष-वनिर्मण के समस्य वढे में बदलने वले दमोमें बहुत कम भरेसा।

स्रोते

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>