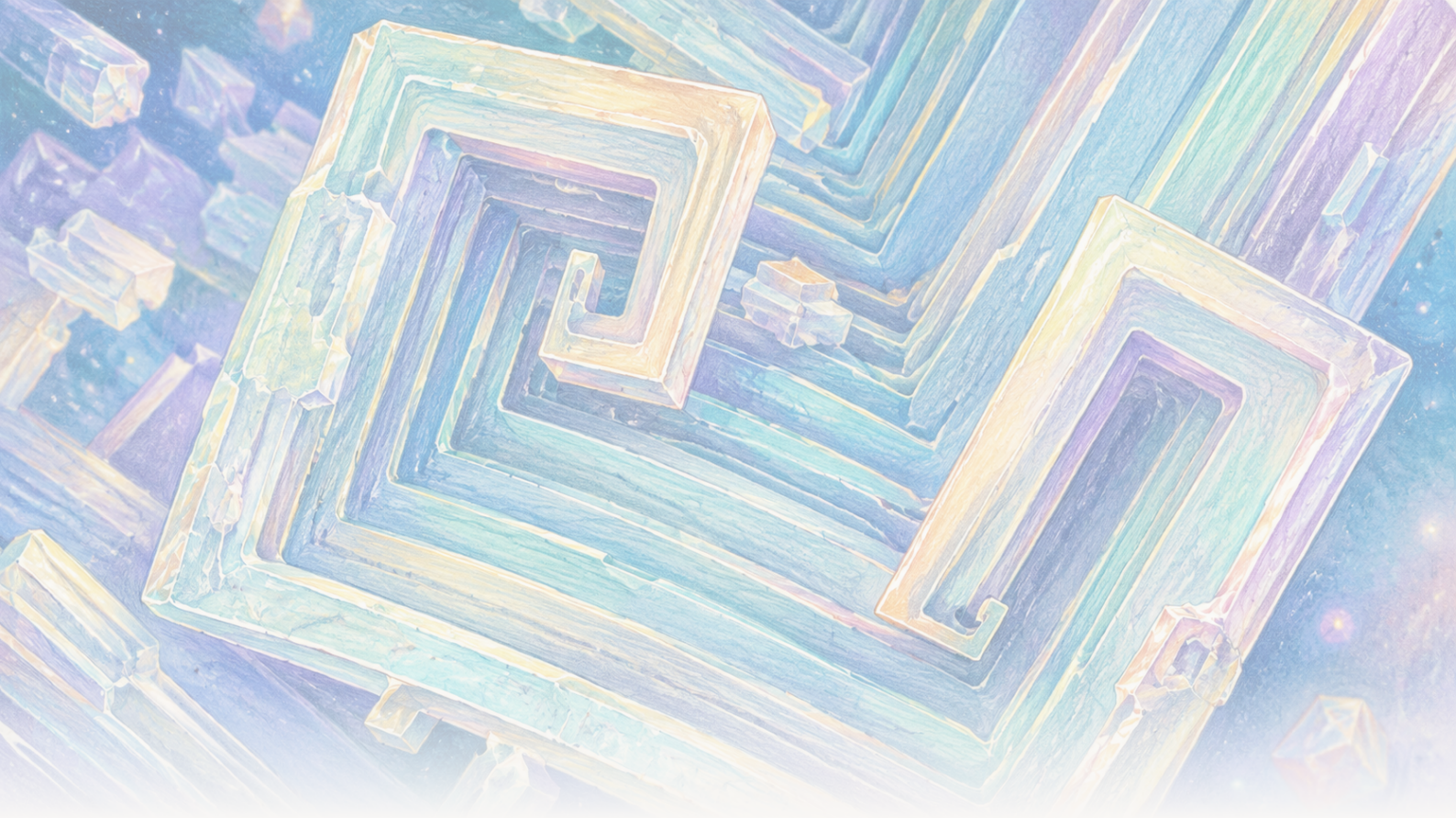


The Clean Paper

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

Á sporbraut óx borðsalt í hola teninga. Þyngdaraflið breytti saltlausninni, ekki saltinu

Natríumklóríðkristallar sem uxu um borð í Alþjóðlegu geimstöðinni innihéldu hola, þrepótta teninga 2 til 8 millimetra að stærð. Greinarnar styðja flutningsskýringu: venjulegt sig og flotknúið flæði voru mjög bæld, en sveimflæði réð snemma í vexti. Kristalgrindin varð ekki að nýrri tegund salts og tilraunirnar staðfesta ekki iðnaðarferli.

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

Á sporbraut óx venjulegt borðsalt í hol, þrepótt teningsform

Kristallarnir litu nánast út eins og byggingarlist: ferkantaðir rammar innan í öðrum ferköntuðum römmum, með flötum sem voru holir og stigu niður eins og tröppur.

Þeir voru úr venjulegu natríumklóríði, sama efnasambandi og borðsalt. Það óvenjulega var ekki efnið sjálft. Það var saltvatnið í kringum það.

Á jörðinni getur kristall sem vex í sentímetrastóru vökvamagni sokkið, snert vegg eða yfirborð og stuðlað að eðlismun sem kemur lausninni á hreyfingu. Um borð í Alþjóðlegu geimstöðinni voru venjulegt sig og flotknúið flæði mjög bæld. Sumir saltkristallar héldust svífandi nógu lengi til að vaxa hægt og samhverfar í **trektarlaga teninga** (*hopper cubes*) með brúnir 2 til 8 millimetra langar.

Þrjár greinar, birtar 2011, 2015 og 2019, lýsa þessum tilraunum. Saman gefa þær skýra kennslustund í flutningseðlisfræði: ef breytt er hvernig uppleyst efni berst að kristalli getur sýnilegt form hans breyst án þess að atómbyggingin breytist.

Þær sýna ekki að geimurinn framleiði fullkomna kristalla, staðfesta ekki iðnaðarferli og afhjúpa ekki nýja tegund salts.

Hvernig verður teningur að trektarkristalli?

Venjulegur natríumklóríðkristall hefur teningslaga atómröðun. **Trektarkristall** er enn teningslaga, en horn hans og brúnir vaxa hraðar en miðjur flatanna. Útkoman er hol, þrepótt dæld á hverjum fleti, líkt og teningurinn hafi fyrst byggt grindina og síðan ætlað að fylla inn veggina.

Seinna dæmi frá ISS gerir þetta vaxtarmynstur sýnilegt, en það er samhengi fremur en sönnunargagn úr natríumklóríðrannsóknunum þremur. Mynd og tímamyndskeið Donalds Pettit hér að neðan sýna **kalíumklóríð**, annað salt, mynda þrepótta trektar- og rúllulaga kristalla í örþyngd.

[figure_pair pending]

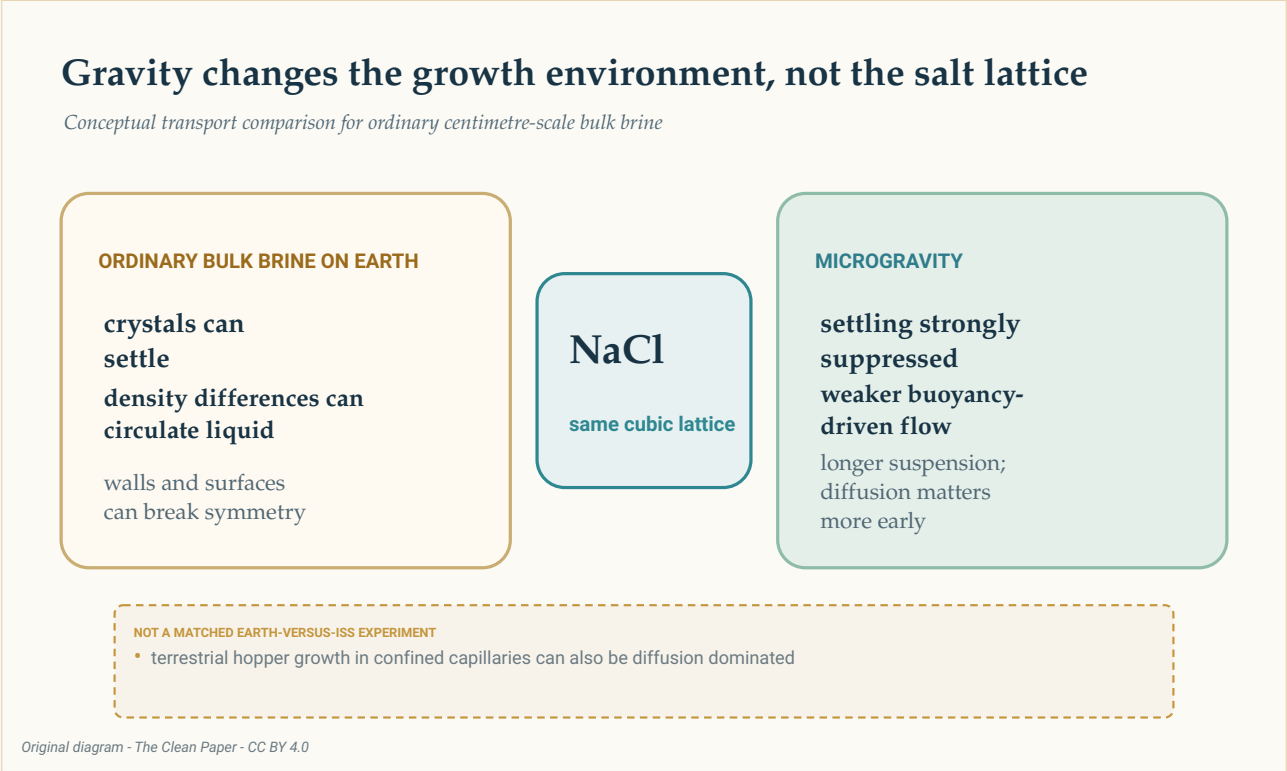
Tvær rafeindasmásjármyndir af rúllulaga trektarkristöllum úr kalíumklóríði sem ræktaðir voru um borð í ISS. Þessar síðari myndir eru aðeins dæmi um formgerðina; þær sýna ekki natríumklóríðsýni eða mælingar úr rannsóknunum frá 2011, 2015 eða 2019 sem fjallað er um hér.

[video pending]

Síðara tímamyndskeið af vexti kalíumklóríðs-trektarkristals í þunnri vatnsfilmu í örþyngd. Það sýnir hvernig brúnir og horn vaxa, en ekki natríumklóríðtilraunirnar eða gögnin sem greind eru í þessari grein.

Kristallar vaxa úr **yfirmettaðri saltlausn**: saltvatni sem inniheldur meira uppleyst natríumklóríð en það myndi halda í jafnvægi við viðkomandi aðstæður. Natríum- og klóríðjónir þurfa að ferðast í gegnum vökvann og tengjast yfirborði kristalsins.

Það eru í grófum dráttum tvær leiðir til að flytja þær. **Flæði með sveimi** (*diffusion*) er tilviljanakennd sameindahreyfing sem flytur uppleyst efni niður styrkhalla án þess að vökvinn í heild sé á hreyfingu. **Iðustreymi** (*convection*) er hreyfing vökvans sjálfs. Við venjulegt þyngdarafl geta litlar breytingar á hitastigi eða styrk breytt eðlismassa og knúið flotstreymi. Kristallar geta líka **sigið**, það er sest niður í vökvanum.



Hugtakslegur samanburður sýnir sama natríumklóríðgrindarmynstur í báðum umhverfum. Í venjulegu saltlögnumagni á jörðinni geta sig, flotstreymi og snerting við yfirborð haft áhrif; örþyngd bælir fyrstu tvo þættina mjög, þannig að kristallar geta svifið lengur og sveimflæði verður mikilvægara snemma í vexti. Þetta var ekki bein, samsvarandi jörð-á-móti-ISS tilraun.

The Clean Paper CC BY 4.0

Tilraunin fór fram um borð í Alþjóðlegu geimstöðinni, rannsóknarstofu á braut þar sem örþyngd ríkir. Orðið **örþyngd** þýðir ekki að þyngdarafl sé ekkert. Greinin frá 2019 greindi frá afgangshröðun sem nam um 1,2 milljónustu hlutum af þyngdarhröðun við yfirborð jarðar, eða 1,2 míkró-g, ásamt hægum lotubundnum vökvahreyfingum. Umhverfið breytti jafnvæginu milli flutningsferla; það gerði saltlausnina ekki fullkomlega kyrrstæða.

Hæg leið að millimetra stórum teningum

Rannsóknin frá 2019 beindist að trektarteningskristöllum sem uxu þegar vatn gufaði upp úr saltlausn um borð í ISS. Tilkynntar brúnarlengdir voru **2 til 8 millimetrar**. Vaxtarhraðinn var **0,34 til 1,0 míkrómetri á mínútu** (um **0,49 til 1,44 millimetrar á dag**), með meðaltalið **0,68 míkrómetrar á mínútu** og staðalfrávik 0,23.

Við þennan meðalhraða tæki það um það bil viku að mynda 8 millimetra brún. Sú útreikningur er mat, ekki tímamæling á hverju stigi vaxtar eins einstaks kristals.

Höfundarnir mátu yfirmettun undir **1,002**. Í samanburðarbókmenntum þeirra um jarðbundinn vöxt var trektarkristallavexti lýst við mun meiri yfirmettun, yfir 1,45, og vaxtarhraða 10 til 110 míkrómetra á sekúndu í sekúndur eða mínútur, yfirleitt með teningum minni en 250 míkrómetra.

Samanburðurinn er upplýsandi en ekki samsvarandi tilraun. ISS-kristallarnir og jarðbundnu rannsóknirnar voru ekki samtímis, eins uppsettar jarðar- og sporbrautararmar sem sama teymi keyrði. Mismunandi ílát, snertiflötur og aðferðir geta skipt máli samhliða þyngdaraflinu.

Sterkasta andstæðan er því lýsandi: í þessum ISS-athugunum uxu trektarteningskristallar hægt, við litla yfirmettun, yfir daga til vikur og náðu millimetra stærð.

Sveimflæði réð snemma; síðar gat vökvahreyfing enn skipt máli

Greinin frá 2019 notaði **Péclet-töluna** til að bera saman flutning með vökvahreyfingu og flutning með sveimflæði. Gildi undir einum þýðir að sveimflæði er mikilvægara; gildi yfir einum þýðir að heildarhreyfing vökvans getur ráðið meira.

> **Hlutfall, ekki rofi**
>
> Péclet-talan ber saman tvo flutningshraða. Hún skiptir heiminum ekki í fullkomlega kyrran vökva undir einum og hreint iðustreymi yfir einum. Hér breyttist gildið með stærð kristalsins og með því hraðamati sem notað var fyrir saltlausnina í kring. Minnstu kristallarnir voru greinilega á svæði þar sem sveimflæði réð; stærsti kristallinn í stærra ílátinu gæti hafa komist á svæði þar sem hæg vökvahreyfing skipti máli.

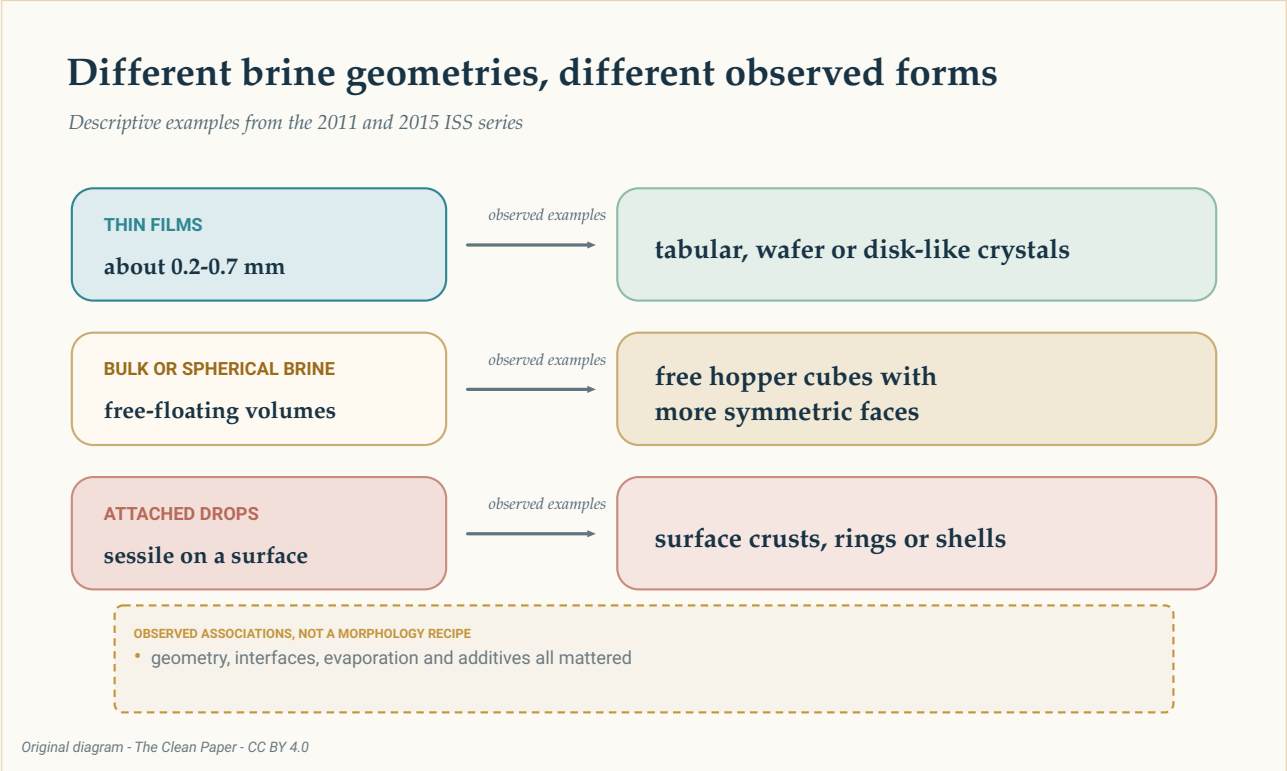
Í minni, um 0,8 sentimetra dropum hækkuðu áætluð Péclet-gildi úr um **0,0004** nálægt kjarnamyndun í um **0,03** við lokamælda stærð. Sveimflæði var áfram ráðandi.

Í 2 til 3 sentimetra kristöllunarílátum hækkaði matið úr um **0,05** fyrir 50 míkrómetra kjarna í um **4** fyrir 4 millimetra brún. Snemma í vexti réð sveimflæði enn, en hæg lotubundin hreyfing gæti hafa haft áhrif síðar.

Þess vegna væri rangt að segja að „örþyngd hafi fjarlægt iðustreymi“. Venjulegt flotknúið flæði og sig voru mjög minnkuð. Afgangshröðun og mælanleg hreyfing voru áfram til staðar.

Lögun vökvans skipti líka máli

Greinin frá 2011 og greinin frá 2015 víkkuðu myndina. Þar var lýst saltkristöllun í þunnum filmum, þykkari vökvalögum, nær kúlulaga saltlausnarmagni og dropum sem sátu á yfirborði.



Þrjár raðir draga saman dæmi úr rannsóknunum: þunnar filmur með plötulaga eða skífulaga formum, mikið eða kúlulaga saltvatn með frjálsum trektarteningskristöllum og föstum dropum með skorpum, hringjum eða skeljum. Þetta eru lýsandi tengsl, ekki uppskrift eða trygging.

The Clean Paper CC BY 4.0

Í rannsókninni frá 2011 mynduðu þunnar filmur, um 0,2 til 0,7 millimetrar að þykkt, þunnar flögur og plötukristalla. Frjáls saltlausnarmagn leyfði samhverfari hliðarfleti og trektarteningskristalla.

Athuganirnar frá 2015 náðu yfir þunnar himnur 0,2 til 0,7 millimetra þykkar, þykkari lög um 4 til 6 millimetra og fasta hálfkúlulaga dropa, um 20 til 32 millimetra í þvermál. Lýst var meðal annars plötulaga trektarkristöllum, teningum, skífulaga kristöllum, trjágreinóttum kristöllum, hringjum og skeljum. Viðbót pólýetýlenglýkóls bældi trektarkristallavöxt í einni athugunarseríu.

Höfundarnir lýstu vinnunni frá 2015 sem athugunum með birgðum sem ekki voru sérstaklega skráðar fyrir tilraunina og sem áhöfnin framkvæmdi í frítíma, ekki sem ströngu, fyrirfram skipulögðu rannsóknarverkefni. Dæmin sýna að lögun vökvans, snertifletir, uppgufun og íblöndunarefni skiptu öll máli. Þau skilgreina ekki ákveðna uppskrift þar sem eitt ílátsform tryggir eitt kristalsform.

Kristalgrindin varð ekki að nýrri tegund salts

Munurinn á **kristalbyggingu** og **formgerð** er grundvallaratriði.

Bygging er endurtekið atómmynstur. Formgerð er sýnilegt ytra form. Nifteindadreifing í greininni frá 2011 sýndi hvorki breytta natríumklóríðbyggingu né breyttar grindarfrumustærðir miðað við sýni frá jörðu. Sýnin af sporbraut innihéldu einnig **saltvatnsinnlyksur**, litla vökvavasa sem lokast inni í kristalli.

Stórt og samhverft útlit er því ekki sönnun fyrir hreinna eða gallalausu efni. Engin grein í þessu gagnasafni greinir frá meiri efnafræðilegum hreinleika, betri vélrænum eiginleikum eða hentugleika fyrir ákveðið tæki.

Þyngdaraflið hafði óbein áhrif. Það breytti sigi, vökvastreymi, stefnu og snertingu við yfirborð. Það breytti ekki styrk tengja í natríumklóríði og skapaði ekki nýjan atómafas.

Hvað þessar tilraunir geta — og geta ekki — kennt okkur

Greinarnar styðja flutningsskýringu: með því að bæla mjög venjulegt sig og flotknúið flæði gátu sumir kristallar svifið lengur og vaxið hægt við samhverfari skilyrði. Mældar stærðir, hraðar og form eru beinar athuganir; yfirmettun, vaxtarsaga og Péclet-gildi innihalda mat; samanburðurinn við jörðina byggir að hluta á öðrum birtum tilraunum.

Það er enginn einn hreinn nefnari fyrir allt gagnasafnið. Það sameinar einstaka kristalla, kristöllunarílát og valin dæmi úr þremur greinum. Að leggja þau saman í eina heildartölu myndi gefa í skyn samræmda tilraun sem var aldrei framkvæmd.

Rannsóknirnar leggja heldur ekki fram þau gögn sem þyrfti til að halda fram framleiðslukosti. Þær mæla ekki afköst, framleiðslukostnað, orkunotkun, nýtni, áreiðanleika eða gagnlega efniseiginleika. Rannsóknarserían frá 2015 var könnunarvinna. Jarðbundni samanburðurinn var ekki samsvarandi viðmið. Og stórt eða sjónrænt áberandi er ekki það sama og betra fyrir ákveðna notkun.

Náttúrulegar saltútfellingar geta innihaldið trektarteningskristalla sem mælast í sentimetrum, stundum svífandi í saltvatnsmettuðum leir. Greinin frá 2019 bendir á mögulega hliðstæðu við hægan, sveimflæðisráðinn vöxt. Það er áhugaverður samanburður, ekki sönnun þess að náttúrulegir og sporbrautar-trektarkristallar deili einu og sama ferli.

Í stuttu máli

Saltkristallar sem uxu úr uppgufandi saltlausn um borð í Alþjóðlegu geimstöðinni innihéldu hola, þrepótta trektarteningskristalla 2 til 8 millimetra að stærð. Greinarnar styðja skýringu byggða á flutningi: örþyngd bældi mjög venjulegt sig og flotknúið flæði, sem leyfði hægan vöxt og lengri sviftíma

meðan sveimflæði réð snemma. Lögun vökvans, snertifletir, uppgufun og íblöndunarefni höfðu einnig áhrif á formgerðina. Nifteindadreifing sýndi ekki nýja natríumklóríðbyggingu og saltvatnsinnlyksur voru enn til staðar. Þetta er afmarkað dæmi úr efnisfræði, ekki sönnun þess að geimurinn búi til fullkomna kristalla eða geri iðnaðarferli mögulegt.

Raunsætt mat

Það sem greinarnar sýna: Millimetra stórir trektarteningskristallar úr natríumklóríði og önnur form uxu í nokkrum saltlausnaruppsetningum um borð í ISS. Trektarteningskristallarnir frá 2019 uxu hægt við litla áætlaða yfirmettun, þar sem sveimflæði réð snemma.

Það sem er túlkað: Mikið minni sig og flotknúið flæði leyfði lengri sviftíma og samhverfari vöxt. Hæg vökvahreyfing gæti hafa skipt máli seint í stærra kristöllunarílátinu.

Það sem þær sýna ekki: Nýtt atómform salts, hreinni eða gallalausa kristalla, samsvarandi jarðar-á-móti-ISS tilraun, almennan kost örþyngdar eða viðskiptalega framleiðsluleið.

Helstu takmarkanir: Þrjár aðskildar rannsóknir með mismunandi rúmfræði og völdum dæmum; samanburður milli rannsókna við jarðbundnar tilraunir; áætlaðar flutningsstærðir; könnunarvinna sem að hluta var ekki skipulögð rannsóknaráætlun; og engin gögn um ferlishagfræði eða framistöðu efnis.

Hversu mikið traust ætti almennur lesandi að hafa? Mikið traust á því að lýst form og hægur vöxtur á sporbraut séu raunveruleg. Hóflegt traust á flutningsskýringu sem bestu heildarskýringu athugananna. Mjög lítið traust á fullyrðingum sem breyta þessum salttilraunum í almennt loforð um geimframleiðslu.

Heimildir

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