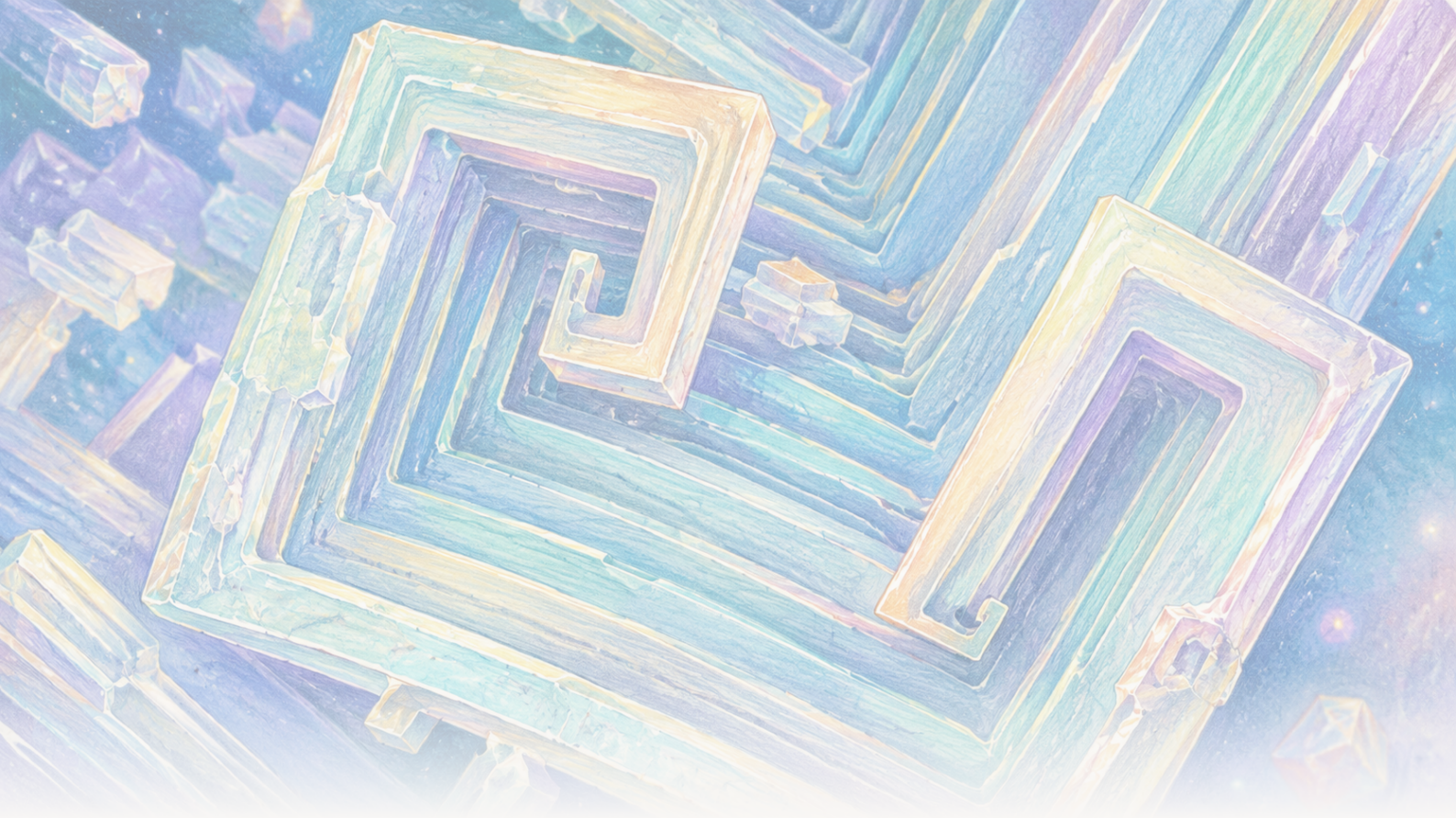


The Clean Paper

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

Në orbitë, kripa e tryezës u rrit në kube të zbrazëta. Graviteti ndryshoi shëllirën, jo kripën

Kristalet e klorurit të natriumit të rritura në International Space Station përfshinin kube të zbrazëta e me shkallë 2 deri në 8 milimetra. Punimet mbështesin një shpjegim transporti: sedimentimi i zakonshëm dhe rrjedhja e drejtuar nga lundrueshmëria u shtypën fort, ndërsa difuzioni dominoi rritjen e hershme. Rrjeta kristalore nuk u bë një formë e re kripe dhe eksperimentet nuk vendosin një proces industrial.

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

Në orbitë, kripa e zakonshme e tryezës u rrit në kube të zbrazëta me shkallë

Kristalet dukeshin arkitekturore: korniza katrore brenda kornizave katrore, me faqet e gërryera në forma shkallësh.

Ato ishin prej kloruri natriumi të zakonshëm, i njëjti përbërës si kripa e tryezës. Pjesa e pazakontë nuk ishte materiali. Ishte shëllira përreth tij.

Në Tokë, një kristal që rritet në një vëllim lëngu në shkallë centimetrash mund të fundoset, të prekë një mur ose sipërfaqe dhe të ndihmojë në krijimin e ndryshimeve të dendësisë që qarkullojnë tretësirën. Në International Space Station, sedimentimi i zakonshëm dhe rrjedhja e nxitur nga lundrueshmëria u shtypën fort. Disa kristale kripe mbetën pezull mjaftueshëm gjatë sa të rriteshin ngadalë dhe më simetrikisht në **kube hopper** me brinjë nga 2 deri në 8 milimetra.

Tri punime, të botuara në 2011, 2015 dhe 2019, përshkruajnë këto eksperimente. Së bashku japin një mësim të pastër në fizikën e transportit: ndryshimi i mënyrës si materiali i tretur arrin te një kristal mund të ndryshojë formën e dukshme pa ndryshuar strukturën atomike.

Ato nuk tregojnë se hapësira prodhon kristale perfekte, nuk vendosin një proces industrial dhe nuk zbulojnë një lloj të ri kripe.

Çfarë e bën një kub "hopper"

Një kristal normal kloruri natriumi ka renditje atomike kubike. Një **kristal hopper** është ende kubik, por cepat dhe skajet rriten përpara qendrave të faqeve. Rezultati është një gropëzim i zbrazët e me shkallë në çdo faqe, sikur kubi të përpiqej të ndërtonte fillimisht kornizën para se të mbushte muret.

Një shembull i mëvonshëm nga ISS e bën të dukshëm këtë model rritjeje, por është kontekst dhe jo provë nga tri punimet mbi klorurin e natriumit. Imazhi dhe time-lapse-i i Donald Pettit më poshtë tregojnë **klorur kaliumi**, një kripë tjetër, që formon morfologji hopper dhe scroll me shkallë në mikrogravitet.

[figure_pair pending]

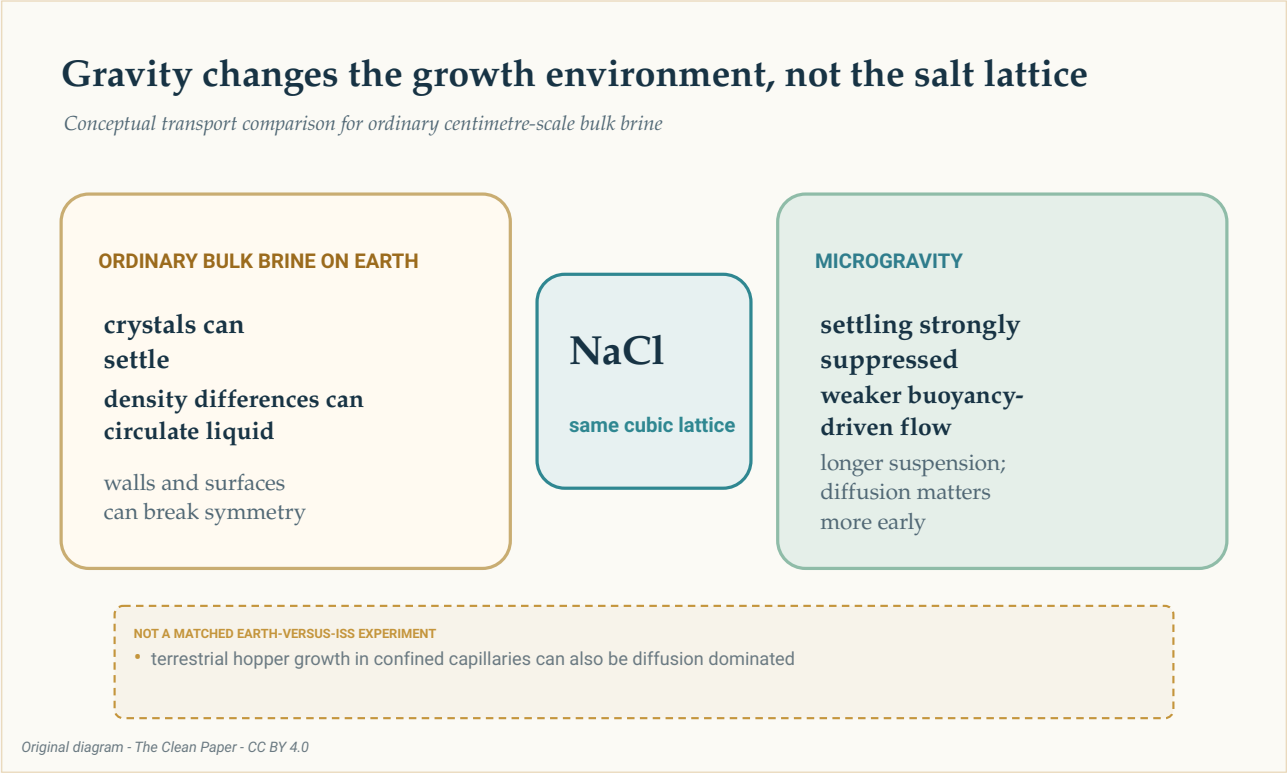
Dy mikrografi elektronike skanuese të kristaleve hopper të klorurit të kaliumit me formë scroll, të rritura në ISS. Këto imazhe të mëvonshme janë shembuj kontekstualë të morfologjisë, jo kampione kloruri natriumi ose matje nga studimet e viteve 2011, 2015 ose 2019 të diskutuara në këtë artikull.

[video pending]

Një time-lapse i mëvonshëm i rritjes hopper të klorurit të kaliumit brenda një filmi të hollë uji në mikrogravitet. Ai ilustron rritjen e skajeve dhe cepave, jo eksperimentet ose të dhënat e klorurit të natriumit të analizuara në këtë artikull.

Kristalet rriten nga **shëllirë e mbingopur**: ujë i kripur që përmban më shumë klorur natriumi të tretur sesa do të mbante në ekuilibër në ato kushte. Jonet e natriumit dhe klorurit duhet të udhëtojnë nëpër lëng dhe t'i bashkohen sipërfaqes së kristalit.

Ka dy mënyra të gjera për t'i lëvizur. **Difuzioni** është lëvizja molekulare e rastësishme që bart materialin e tretur poshtë një ndryshimi përqendrimi pa qarkullim të përgjithshëm të lëngut. **Konveksioni** është lëvizja e vetë lëngut. Nën gravitetin e zakonshëm, ndryshime të vogla temperature ose përqendrimi mund të ndryshojnë dendësinë dhe të nxisin qarkullim nga lundrueshmëria. Kristalet gjithashtu mund të **sedimentojnë**, ose të fundosen nëpër lëng.



Një krahasim konceptual tregon të njëjtën rrjetë kloruri natriumi në të dy mjediset. Shëllira e zakonshme në vëllim të madh në Tokë mund të përfshijë sedimentim, qarkullim nga lundrueshmëria dhe kontakt me sipërfaqe; mikrograviteti i shtyp fort dy të parat, duke lejuar pezullim më të gjatë dhe duke e bërë difuzionin më të rëndësishëm në fillim të rritjes. Ky nuk ishte një eksperiment i përputhur Tokë–ISS.

The Clean Paper CC BY 4.0

Ky eksperiment u krye në International Space Station, një laborator orbital në mikrogravitet. Fjala **mikrogravitet** nuk do të thotë mungesë graviteti. Punimi i vitit 2019 raportoi përshpejtim të mbetur rreth 1.2 miliontat e gravitetit në sipërfaqen e Tokës, ose 1.2 mikro-g, së bashku me lëvizje të ngadalta ciklike të lëngut. Mjedisi ndryshoi ekuilibrin e transportit; nuk e bëri shëllirën krejtësisht të palëvizshme.

Një rrugë e ngadaltë drejt kubeve në shkallë milimetrash

Studimi i vitit 2019 u përqendrua në kube hopper të rritura ndërsa uji avullonte nga shëllira në ISS. Brinjët e raportuara të kubeve varionin nga **2 deri në 8 milimetra**. Ritmet e rritjes varionin nga **0.34 deri në 1.0 mikrometra në minutë** (rreth **0.49 deri në 1.44 milimetra në ditë**), me mesatare **0.68 mikrometra në minutë** dhe devijim standard 0.23.

Me atë ritëm mesatar, një brinjë 8-milimetërshe do të merrte afërsisht një javë për t'u zhvilluar. Llogaritja është vlerësim, jo matje time-lapse e çdo etape të një kristali të vetëm.

Autorët vlerësuan mbingopjen nën **1.002**. Literatura krahasuese tokësore që përdorën përshkruante rritje hopper në mbingopje shumë më të lartë, mbi 1.45, me ritme 10 deri në 110 mikrometra në sekondë për sekonda ose minuta, zakonisht duke prodhuar kube më të vogla se 250 mikrometra.

Ky krahasim është informues, por jo i përputhur. Kristalet e ISS dhe literatura tokësore nuk vinin nga degë identike, të njëkohshme në Tokë dhe orbitë të drejtuara nga i njëjti ekip. Enë, ndërfaqe dhe metoda të ndryshme mund të kenë rëndësi krahas gravitetit.

Kontrasti më i fortë është pra përshkrues: në këto vëzhgime të ISS, kubet hopper u rritën ngadalë, në mbingopje të ulët, gjatë ditëve deri javëve dhe arritën shkallë milimetrash.

Difuzioni dominoi herët; rrjedhja e mëvonshme mbeti e mundur

Punimi i vitit 2019 përdori **numrin Peclet** për të krahasuar transportin nga lëvizja e lëngut me transportin nga difuzioni. Një vlerë nën një do të thotë se difuzioni është më i rëndësishëm; një vlerë mbi një do të thotë se lëvizja e masës së lëngut mund të dominojë.

> **Një raport, jo një çelës**
>
> Numri Peclet është krahasim midis dy ritmeve të transportit. Nuk e ndan botën në lëng krejtësisht të palëvizshëm nën një dhe konveksion të pastër mbi një. Këtu vlera ndryshoi me madhësinë e kristalit dhe me vlerësimin e shpejtësisë së shëllirës përreth. Kristalet më të vogla ishin qartësisht në regjim të dominuar nga difuzioni; kristali më i madh në enën më të madhe mund të ketë hyrë në një regjim ku lëvizja e ngadaltë e lëngut kishte rëndësi.

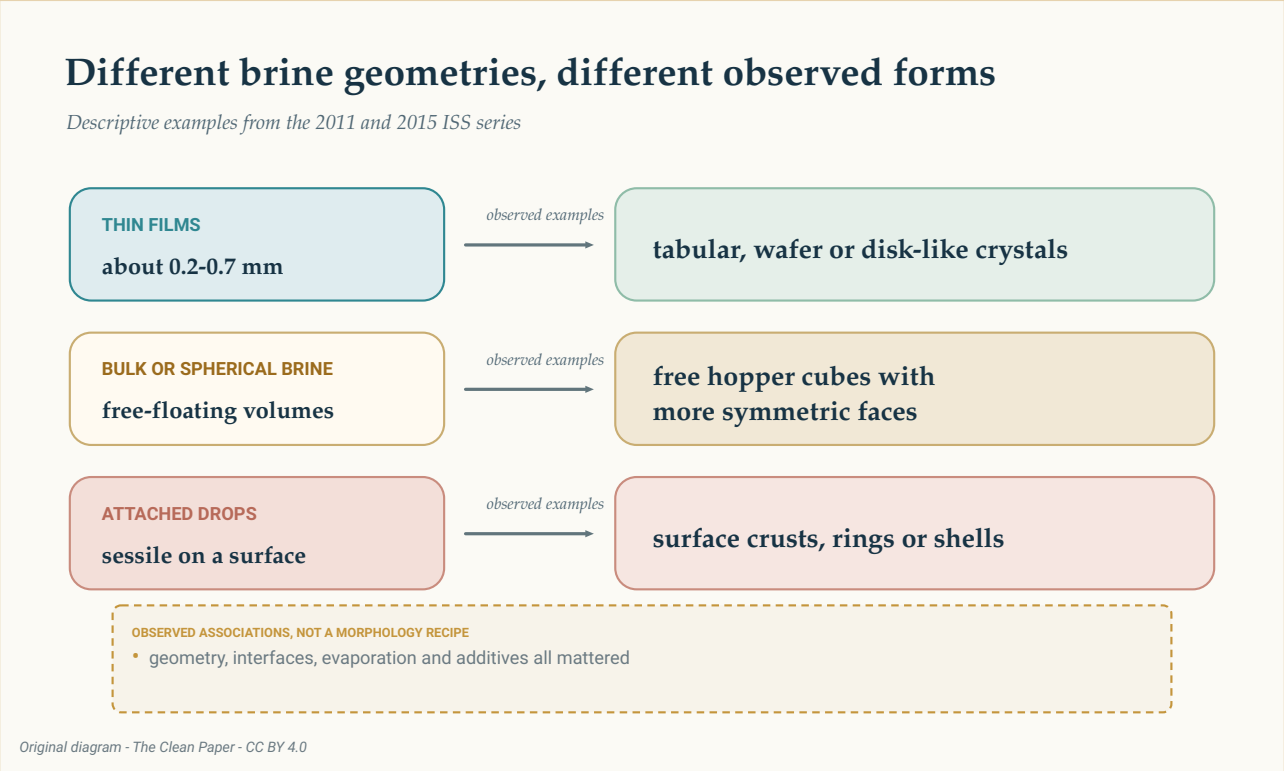
Në pikat më të vogla, afërsisht 0.8 centimetra, vlerat e llogaritura Peclet u rritën nga rreth **0.0004** pranë nukleimit në rreth **0.03** në madhësinë përfundimtare të matur. Difuzioni mbeti dominues.

Në kristalizues 2 deri në 3 centimetra, vlerësimi u rrit nga rreth **0.05** për një bërthamë 50-mikrometrëshe në rreth **4** për një brinjë 4-milimetërshe. Rritja e hershme ishte ende e dominuar nga difuzioni, por lëvizja e ngadaltë ciklike mund të ketë kontribuar më vonë.

Kjo është arsyeja pse “mikrograviteti e hoqi konveksionin” do të ishte gabim. Qarkullimi i zakonshëm i drejtuar nga lundrueshmëria dhe sedimentimi u reduktuan fort. Përshpejtimi i mbetur dhe lëvizja e matshme mbetën.

Edhe forma e lëngut kishte rëndësi

Punimi i vitit 2011 dhe punimi i vitit 2015 e zgjeruan tablonë. Ata raportuan kristalizim kripe në filma të hollë, shtresa më të trasha lëngu, vëllime shëllire afërsisht sferike dhe pika të ngjitura në një sipërfaqe.



Tri rreshta përmbledhin shembujt e vëzhguar në dosje: filma të hollë me forma tabelare ose si disqe, shëllirë në vëllim ose sferike me kube hopper të lira dhe pika të ngjitura me kore, unaza ose guaska. Këto janë lidhje përshkruese, jo recetë apo garanci.

The Clean Paper CC BY 4.0

Në studimin e vitit 2011, filma të hollë afërsisht 0.2 deri në 0.7 milimetra prodhuan pllaka të holla dhe kristale tabelare. Vëllimet e lira të shëllirës lejuan faqe anësore më simetrike dhe kube hopper.

Vëzhgimet e vitit 2015 përfshinin fletë të holla 0.2 deri në 0.7 milimetra, shtresa më të trasha rreth 4 deri në 6 milimetra dhe pika hemisferike të ngjitura afërsisht 20 deri në 32 milimetra. Format e raportuara përfshinin hopper tabelarë, kube, kristale si disqe, dendrite, unaza dhe guaska. Shtimi i polietilen glikolit e shtypi rritjen hopper në një grup vëzhgimesh.

Autorët e përshkruan punën e vitit 2015 si vëzhgime të bëra me furnizime jo të inventarizuara gjatë

kohës së lirë të ekuipazhit, jo si një hetim rigoroz programatik. Shembujt tregojnë se gjeometria e lëngut, ndërfaqet, avullimi dhe aditivët kishin të gjitha rëndësi. Nuk përkufizojnë një recetë përcaktuese ku një formë e caktuar ene garanton një formë kristali.

Rrjeta kristalore nuk u bë një formë e re kripe

Dallimi midis **strukturës kristalore** dhe **morfologjisë** është thelbësor.

Struktura është renditja atomike që përsëritet. Morfologjia është forma e jashtme e dukshme. Difraksioni i neutroneve në punimin e vitit 2011 nuk identifikoi ndryshim të strukturës së klorurit të natriumit ose të parametrave të qelizës së rrjetës krahasuar me kampionet tokësore. Kampionet orbitale gjithashtu përmbanin **inkluzione shëllire**, xhepa të vegjël tretësire të bllokuar brenda kristalit.

Pra pamja e madhe dhe simetrike nuk është provë e një materiali më të pastër ose pa defekte. Asnjë punim në dosje nuk raporton pastërti kimike më të lartë, performancë mekanike më të mirë ose përshtatshmëri për një pajisje të caktuar.

Graviteti veproi në mënyrë të tërthortë. Ndryshoi sedimentimin, qarkullimin e lëngut, orientimin dhe kontaktin me sipërfaqet. Nuk ndryshoi forcën e lidhjeve natrium–klorur dhe nuk krijoi një fazë të re atomike.

Çfarë mund dhe nuk mund të na mësojnë këto eksperimente

Punimet mbështesin një shpjegim transporti: shtypja e fortë e sedimentimit të zakonshëm dhe rrjedhjes së drejtuar nga lundrueshmëria lejoi që disa kristale të mbeteshin pezull dhe të rriteshin ngadalë në kushte më simetrike. Madhësitë, ritmet dhe format e matura janë vëzhgime të drejtpërdrejta; mbingopja, historia e rritjes dhe vlerat Peclet përfshijnë vlerësime; krahasimi me Tokën mbështetet pjesërisht në eksperimente të tjera të botuara.

Nuk ka një emërues të vetëm të pastër për dosjen. Ajo kombinon kristale individuale, kristalizues dhe shembuj të zgjedhur në tri punime. T'i shtosh në një total të vetëm do të nënkuptonte një eksperiment uniform që nuk ekzistoi.

Studimet gjithashtu nuk raportojnë asnjë nga provat e nevojshme për një pretendim prodhimi. Nuk matin throughput-in, koston e prodhimit, përdorimin e energjisë, rendimentin, besueshmërinë ose performancën e dobishme të materialit. Seria e vitit 2015 ishte eksploruese. Krahasimet tokësore nuk ishin kontrolle të përputhura. Dhe "i madh" ose "vizualisht mbresëlënës" nuk është e njëjta gjë me "më i mirë për një aplikim".

Depozitat natyrore të kripës mund të përmbajnë kube hopper të matur në centimetra, ndonjëherë të pezulluara në baltë të ngopur me shëllirë. Punimi i vitit 2019 sugjeron një analogji të mundshme

me rritjen e ngadaltë të dominuar nga difuzioni. Është krahasim interesant, jo provë se hopper-at natyrorë dhe orbitalë ndajnë të njëjtin mekanizëm.

Përmbledhje e shkurtër

Kristalet e kripës të rritura nga shëllira që avullonte në International Space Station përfshinin kube hopper të zbrazëta e me shkallë, 2 deri në 8 milimetra. Punimet mbështesin një shpjegim të bazuar në transport: mikrograviteti shtypi fort sedimentimin e zakonshëm dhe rrjedhjen e drejtuar nga lundrueshmëria, duke lejuar rritje të ngadaltë dhe pezullim më të gjatë ndërsa difuzioni dominonte herët. Gjeometria e lëngut, ndërfaqet, avullimi dhe aditivët gjithashtu ndikuan morfologjinë. Difraksioni i neutroneve nuk tregoi një strukturë të re të klorurit të natriumit dhe inkluzionet e shëllirës mbetën. Puna është një rast studimor i kufizuar i shkencës së materialeve, jo provë se hapësira krijon kristale perfekte ose mundëson një proces industrial.

Kontroll pa teprime

Çfarë tregojnë punimet: Kube hopper të klorurit të natriumit në shkallë milimetrash dhe morfologji të tjera u rritën në disa gjeometri shëllire në ISS. Kubet hopper të vitit 2019 u rritën ngadalë në mbingopje të ulët të vlerësuar, me difuzion dominues në fillim.

Çfarë interpretohet: Sedimentimi dhe rrjedhja e drejtuar nga lundrueshmëria, të reduktuara fort, lejuan pezullim më të gjatë dhe rritje më simetrike. Lëvizja e ngadaltë e lëngut mund të ketë pasur rëndësi në fund në kristalizuesin më të madh.

Çfarë nuk tregojnë: Një formë të re atomike të kripës, kristale më të pastra ose pa defekte, një provë të përputhur Tokë–ISS, një avantazh universal të mikrogravitetit ose një rrugë prodhimi komercial.

Kufizimet kryesore: Tri studime të veçanta me gjeometri dhe shembuj të zgjedhur të ndryshëm; krahasime tokësore ndërmjet studimeve; madhësi transporti të vlerësuara; pjesë eksploruese, jo programatike, të dosjes; dhe mungesë ekonomie procesi ose testesh performance.

Sa besim duhet të ketë një lexues i përgjithshëm? Besim të lartë se morfologjitë orbitale dhe rritja e ngadaltë e raportuar janë reale. Besim të moderuar se shpjegimi i transportit është llogaria më e mirë në të gjitha vëzhgimet. Besim shumë të ulët te çdo pretendim që i kthen këto eksperimente me kripë në një premtim të përgjithshëm për prodhimin në hapësirë.

Burimet

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