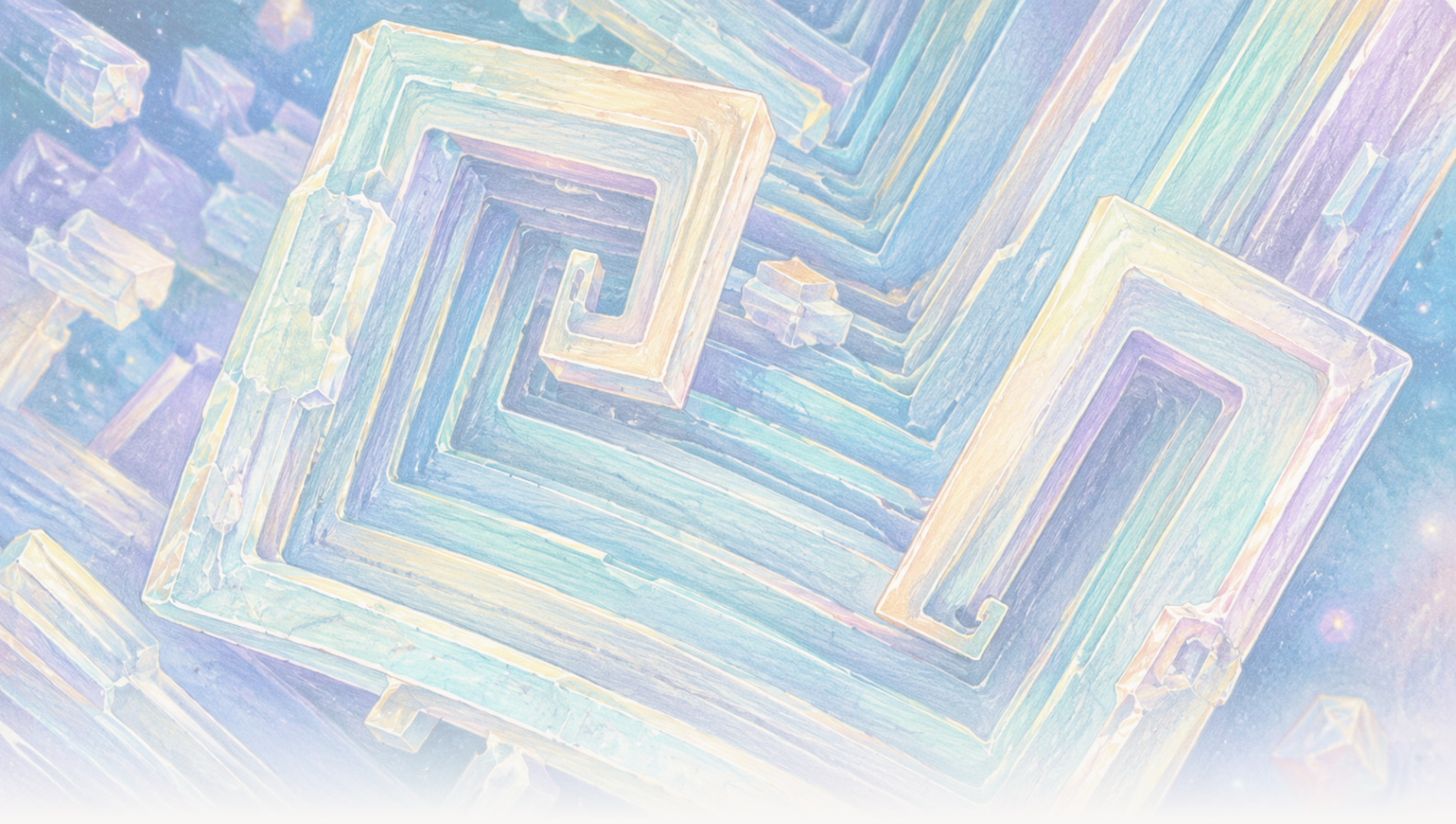




The CLEAN PAPER

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

در مدار، نمک خوراکی مکعب‌های توخالی ساخت. گرانش آب نمک را تغییر داد، نه خود نمک را

بلورهای سدیم کلرید رشد کرده در ایستگاه فضایی بین‌المللی شامل مکعب‌های توخالی و پله‌ای با اندازه 2 تا 8 میلی‌متر بودند. مقاله‌ها از توضیحی مبتنی بر انتقال پشتیبانی می‌کنند: ته‌نشینی معمول و جریان ناشی از شناوری به شدت سرکوب شدند و انتشار در مراحل اولیه رشد غالب بود. شبکه بلوری به شکل تازه‌ای از نمک تبدیل نشد و آزمایش‌های یک فرایند صنعتی را اثبات نمی‌کنند.

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: 0-0085-019-s41526/1038.10

در مدار، نمک خوراکی معمولی به مکعب‌های توخالی و پله‌ای تبدیل شد

بلورها ظاهری معماری گونه داشتند: قاب‌های مربعی تو در تو که سطح‌هایشان مانند پلکان به درون فرو رفته بود.

آن‌ها از سدیم کلرید معمولی ساخته شده بودند، همان ترکیبی که نمک خوراکی را تشکیل می‌دهد. بخش غیرعادی خود ماده نبود؛ آب نمک پیرامون آن بود.

روی زمین، بلوری که در حجمی چند سانتی‌متری از مایع رشد می‌کند می‌تواند ته‌نشین شود، به دیواره یا سطح برخورد کند و به ایجاد اختلاف چگالی کمک کند که محلول را به گردش درمی‌آورد. در ایستگاه فضایی بین‌المللی، ته‌نشینی معمول و جریان ناشی از شناوری به شدت سرکوب شد. بعضی بلورهای نمک به اندازه کافی معلق ماندند تا آهسته‌تر و متقارن‌تر رشد کنند و به مکعب‌های قیفی با لبه‌هایی بین 2 تا 8 میلی‌متر برسند.

سه مقاله که در 2011، 2015 و 2019 منتشر شدند این آزمایش‌ها را شرح می‌دهند. در کنار هم، یک درس روشن از فیزیک انتقال ارائه می‌کنند: تغییر نحوه رسیدن ماده حل شده به بلور می‌تواند شکل ظاهری آن را عوض کند، بدون آن که ساختار اتمی‌اش تغییر کند.

این پژوهش‌ها نشان نمی‌دهند که فضا بلورهای بی‌نقص می‌سازد، یک فرایند صنعتی را تثبیت نمی‌کنند و نوع تازه‌ای از نمک را نیز آشکار نمی‌سازند.

چه چیزی یک مکعب را «قیفی» می‌کند؟

یک بلور معمولی سدیم کلرید آرایش اتمی مکعبی دارد. بلور قیفی همچنان مکعبی است، اما گوشه‌ها و لبه‌های آن سریع‌تر از مرکز سطح‌ها رشد می‌کنند. نتیجه، فرورفتگی توخالی و پله‌پله‌ای روی هر سطح است؛ انگار مکعب ابتدا قاب خود را ساخته و پر کردن دیواره‌ها را به بعد موکول کرده باشد.

نمونه‌ای متأخرتر از ISS این الگوی رشد را به خوبی نشان می‌دهد، اما فقط زمینه بصری است و نه مدرکی از سه مقاله سدیم کلرید مورد بحث. تصویر و ویدیوی تایم‌لپس Pettit Donald در زیر پتاسیم کلرید را نشان می‌دهد، یعنی نمکی متفاوت که در ریزگرایش شکل‌های قیفی پله‌ای و طوماری ایجاد کرده است.

[figure_pair pending]

دو میکروگراف الکترونی روبشی از بلورهای قیفی طوماری پتاسیم کلرید که در ISS رشد کرده‌اند. این تصاویر متأخر فقط نمونه‌های زمینه‌ای از این مورفولوژی هستند، نه نمونه‌های سدیم کلرید یا اندازه‌گیری‌های مطالعات 2011، 2015 یا 2019 که در این مقاله بررسی می‌شوند.

[video pending]

تایم‌لپسی متأخر از رشد قیفی پتاسیم کلرید در یک لایه نازک آب در ریزگرایش. این ویدیو رشد لبه‌ها و گوشه‌ها را نشان می‌دهد، نه آزمایش‌ها یا داده‌های سدیم کلرید تحلیل شده در این مقاله را.

بلورها از آب نمک فوق‌اشباع رشد می‌کنند: آب نمکی که در شرایط مورد نظر بیش از مقدار تعادلی سدیم کلرید حل شده در خود دارد. یون‌های سدیم و کلرید باید در مایع حرکت کنند و به سطح بلور برسند.

به طور کلی دو راه برای جابه جایی آن‌ها وجود دارد. انتشار حرکت تصادفی مولکولی است که بدون گردش توده‌ای مایع، ماده حل شده را در امتداد اختلاف غلظت جابه جا می‌کند. همرفت حرکت خود مایع است. در گرانش معمولی، اختلاف‌های کوچک دما یا غلظت می‌توانند چگالی را تغییر دهند و گردش ناشی از شناوری ایجاد کنند. بلورها همچنین می‌توانند ته‌نشین شوند، یعنی در مایع پایین بروند.

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

یک مقایسه مفهومی، همان شبکه سدیم کلرید را در هر دو محیط نشان می‌دهد. آب نمک حجم معمولی روی زمین می‌تواند شامل ته‌نشینی، گردش ناشی از شناوری و تماس با سطح باشد؛ ریزگرانش دو مورد نخست را به شدت سرکوب می‌کند، تعلیق طولانی‌تری ممکن می‌سازد و در مراحل اولیه رشد نقش انتشار را پررنگ‌تر می‌کند. این یک آزمایش هسان و هم‌زمان زمین در برابر ISS نبود.

The Clean Paper CC BY 0.4

این آزمایش در ایستگاه فضایی بین‌المللی، یک آزمایشگاه مداری با ریزگرانش، انجام شد. اصطلاح ریزگرانش به معنی نبودن گرانش نیست. مقاله 2019 شتاب باقی‌مانده‌ای حدود 2.1 میلیونیم گرانش سطح زمین، یا 2.1 میکرو-g، همراه با حرکت چرخه‌ای آهسته مایع گزارش کرد. این محیط توازن سازوکارهای انتقال را تغییر داد؛ آب نمک را کاملاً بی‌حرکت نکرد.

مسیری آهسته تا مکعب‌های میلی‌متری

مطالعه 2019 بر مکعب‌های قیفی تمرکز داشت که با بتخیر آب از آب نمک در ISS رشد کردند. طول لبه‌های گزارش شده بین 2 تا 8 میلی‌متر بود. سرعت رشد بین 0.1 تا 34.0 میکرومتر در دقیقه (حدود 49.0 تا 44.1 میلی‌متر در روز) قرار داشت؛ میانگین 68.0 میکرومتر در دقیقه و انحراف معیار 23.0 بود.

با آن سرعت متوسط، شکل‌گیری لبه‌ای 8 میلی‌متری تقریباً یک هفته طول می‌کشد. این محاسبه یک برآورد است، نه اندازه‌گیری تایم‌پس از تمام مراحل رشد یک بلور واحد.

نویسندگان فوق‌اشباع را کمتر از 002.1 برآورد کردند. در ادبیات مقایسه‌ای زمینی که آن‌ها ذکر کردند، رشد قیفی در فوق‌اشباع بسیار

بالا تر، بیش از 45.1، با سرعت 10 تا 110 میکرومتر بر ثانیه و طی چند ثانیه یا دقیقه رخ می‌داد و معمولاً مکعب‌هایی کوچک‌تر از 250 میکرومتر ایجاد می‌کرد.

این مقایسه آموزنده است اما همسان‌سازی شده نیست. بلورهای ISS و داده‌های زمینی از دو بازوی هم‌زمان و کاملاً یکسان که یک تیم روی زمین و در مدار اجرا کرده باشد به دست نیامده‌اند. تفاوت ظرف‌ها، فصل مشترک‌ها و روش‌ها در کنار گرانش می‌تواند مهم باشد. بنابراین قوی‌ترین تفاوت، توصیفی است: در این مشاهدات، ISS مکعب‌های قیفی آهسته، در فوق‌اشباع پایین، طی روزها تا هفته‌ها رشد کردند و به مقیاس میلی‌متری رسیدند.

در آغاز انتشار غالب بود؛ در ادامه جریان همچنان ممکن بود

مقاله 2019 از عدد پکله برای مقایسه انتقال به وسیله حرکت مایع با انتقال از راه انتشار استفاده کرد. مقدار کمتر از یک یعنی انتشار مهم‌تر است؛ مقدار بیشتر از یک یعنی حرکت توده‌ای مایع ممکن است غالب شود.

یک نسبت است، نه یک کلید روشن/خاموش

یک بالای در خالص «همرفت و یک زیر در ساکن» کاملاً «مایع به را جهان است. انتقال نرخ دو میان مقایسه‌ای پکله عدد بلورها کوچک‌ترین می‌کرد. تغییر اطراف آب‌نمک سرعت برآورد با و بلور اندازه با آن مقدار آزمایش این در نمی‌کند. تقسیم مایع آهسته حرکت که شود رژیمی وارد می‌توانست بزرگ تر ظرف در بلور بزرگ‌ترین بودند؛ انتشار غالب شدن رژیم در به وضوح دارد. اهمیت نیز

در قطره‌های کوچک‌تر، با اندازه‌ای حدود 8.0 سانتی‌متر، مقادیر برآوردی پکله از حدود 0004.0 نزدیک جوانه‌زنی تا حدود 03.0 در اندازه نهایی اندازه‌گیری شده افزایش یافت. انتشار همچنان غالب بود.

در بلورسازهای 2 تا 3 سانتی‌متری، برآورد از حدود 05.0 برای هسته‌ای 50 میکرومتری تا حدود 4 برای لبه‌ای 4 میلی‌متری افزایش یافت. رشد اولیه هنوز انتشارمحور بود، اما حرکت چرخه‌ای آهسته می‌توانست در مراحل بعدی سهم داشته باشد.

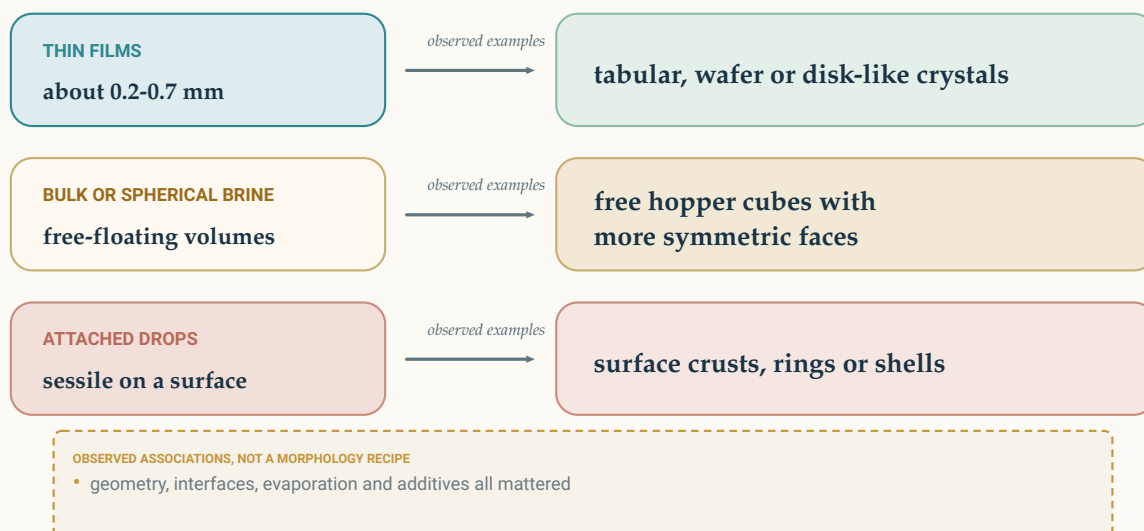
به همین دلیل جمله «ریزگراش همرفت را حذف کرد» نادرست است. گردش معمول ناشی از شناوری و ته‌نشینی به شدت کاهش یافتند، اما شتاب باقی‌مانده و حرکت قابل اندازه‌گیری همچنان وجود داشت.

شکل مایع هم اهمیت داشت

مقاله 2011 و مقاله 2015 تصویر گسترده‌تری ارائه کردند. آن‌ها تبلور نمک را در لایه‌های نازک، لایه‌های مایع ضخیم‌تر، حجم‌های تقریباً کروی آب‌نمک و قطره‌های چسبیده به سطح گزارش کردند.

Different brine geometries, different observed forms

Descriptive examples from the 2011 and 2015 ISS series



Original diagram - The Clean Paper - CC BY 4.0

سه ردیف، نمونه‌های مشاهده‌شده در مجموعه مطالعات را خلاصه می‌کند: لایه‌های نازک با شکل‌های صفحه‌ای یا دیسک‌مانند؛ آب‌نمک حجیم با کروی با مکعب‌های قیفی آزاد؛ و قطره‌های چسبیده با پوسته‌ها، حلقه‌ها یا پوسته‌های کروی. این‌ها ارتباط‌های توصیفی‌اند، نه دستورالعمل یا تضمین.

The Clean Paper CC BY 0.4

در مطالعه 2011، لایه‌های نازکی با ضخامت تقریباً 2.0 تا 7.0 میلی‌متر بلورهای نازک و صفحه‌ای ایجاد کردند. حجم‌های آزاد و شناور آب‌نمک امکان ایجاد وجه‌های جانبی متقارن‌تر و مکعب‌های قیفی را فراهم کردند.

مشاهدات 2015 شامل ورقه‌های نازک 2.0 تا 7.0 میلی‌متری، لایه‌های ضخیم‌تر حدود 4 تا 6 میلی‌متری و قطره‌های نیم‌کروی چسبیده با قطر تقریباً 20 تا 32 میلی‌متر بود. شکل‌های گزارش‌شده شامل قیف‌های صفحه‌ای، مکعب‌ها، بلورهای دیسک‌مانند، دندریت‌ها، حلقه‌ها و پوسته‌ها بود. افزودن پلی‌اتیلن گلیکول در یک مجموعه از مشاهدات رشد قیفی را سرکوب کرد.

نویسندگان کار 2015 را به‌عنوان مجموعه مشاهداتی توصیف کردند که با تجهیزات ثبت‌نشده و در زمان استراحت خدمه انجام شده بود، نه یک پژوهش برنامه‌ریزی‌شده و سخت‌گیرانه. نمونه‌ها نشان می‌دهند که هندسه مایع، فصل مشترک‌ها، تبخیر و افزودنی‌ها همگی اهمیت داشتند. آن‌ها یک دستورالعمل قطعی تعریف نمی‌کنند که در آن یک شکل خاص ظرف حتماً یک شکل خاص بلور ایجاد کند.

شبکه بلوری به شکل تازه‌ای از نمک تبدیل نشد

تمایز میان ساختار بلوری و مورفولوژی اساسی است.

ساختار یعنی آرایش تکرارشونده اتم‌ها. مورفولوژی یعنی شکل خارجی قابل مشاهده. پراش نوترونی در مقاله 2011 نسبت به نمونه‌های زمینی هیچ ساختار متفاوت سدیم کلرید یا تغییر در پارامترهای سلول شبکه شناسایی نکرد. نمونه‌های مداری همچنین دارای درون‌گیرهای آب‌نمک بودند، یعنی حفره‌های کوچکی از محلول که داخل بلور گیر افتاده بودند.

بنابراین ظاهر بزرگ و متقارن، مدرکی بر خلوص بیشتر یا بی‌نقص بودن ماده نیست. هیچ‌یک از مقاله‌های این مجموعه خلوص شیمیایی بالاتر،

عملکرد مکانیکی بهتر یا مناسب بودن برای دستگاهی مشخص را گزارش نمی کند.

گرایش به طور غیرمستقیم اثر گذاشت. ته نشینی، گردش مایع، جهت گیری و تماس با سطح ها را تغییر داد. استحکام پیوندهای سدیم-کلرید را عوض نکرد و فاز اتمی تازه ای ایجاد نکرد.

این آزمایش ها چه چیزی می توانند و نمی توانند به ما بیاموزند؟

مقاله ها از یک توضیح مبتنی بر انتقال پشتیبانی می کنند: سرکوب شدید ته نشینی معمول و جریان ناشی از شناوری اجازه داد بعضی بلورها مدت بیشتری معلق بمانند و در شرایط متقارن تر آهسته رشد کنند. اندازه ها، سرعت ها و شکل های اندازه گیری شده مشاهدات مستقیم اند؛ فوق اشباع، تاریخچه رشد و اعداد پکله شامل برآورد هستند؛ و مقایسه با زمین تا حدی بر آزمایش های منتشر شده دیگر تکیه دارد.

برای کل این مجموعه یک مخرج آماری تمیز و واحد وجود ندارد. مطالعات، بلورهای منفرد، بلورسازها و نمونه های منتخب را در سه مقاله متفاوت کنار هم قرار می دهند. جمع زدن آن ها در یک عدد کلی، به اشتباه چنین القا می کند که یک آزمایش یکنواخت وجود داشته است.

این مطالعات همچنین هیچ یک از شواهد لازم برای ادعای تولید صنعتی را گزارش نمی کنند. نرخ تولید، هزینه ساخت، مصرف انرژی، بازده، قابلیت اعتماد یا عملکرد مفید ماده اندازه گیری نشده است. مجموعه 2015 اکتشافی بود. مقایسه های زمینی کنترل های همسان نبودند. و بزرگ یا از نظر بصری چشمگیر بودن، مساوی با بهتر بودن برای یک کاربرد نیست.

رسوبات طبیعی نمک می توانند مکعب های قیفی سانتی متری داشته باشند که گاهی در گل اشباع از آب نمک معلق اند. مقاله 2019 شباهتی احتمالی با رشد آهسته و انتشار محور پیشنهاد می کند. این مقایسه جالب است، اما اثبات نمی کند قیف های طبیعی و مداری یک سازوکار مشترک دارند.

خلاصه روشن

بلورهای نمکی که از آب نمک در حال تبخیر در ایستگاه فضایی بین المللی رشد کردند شامل مکعب های قیفی توخالی و پله ای با اندازه 2 تا 8 میلی متر بودند. مقاله ها از توضیحی مبتنی بر انتقال پشتیبانی می کنند: ریزگرایش ته نشینی معمول و جریان ناشی از شناوری را به شدت کاهش داد، در حالی که انتشار در مراحل اولیه غالب بود و تعلیق طولانی تر و رشد آهسته تر ممکن شد. هندسه مایع، فصل مشترک ها، تبخیر و افزودنی ها نیز بر مورفولوژی اثر گذاشتند. پراش نوترونی ساختار تازه ای از سدیم کلرید نشان نداد و درون گیرهای آب نمک نیز باقی ماندند. این یک مطالعه موردی محدود در علم مواد است، نه مدرکی که فضا بلورهای بی نقص می سازد یا یک فرایند صنعتی را ممکن می کند.

بررسی بدون اغراق

مقاله ها چه چیزی نشان می دهند: مکعب های قیفی میلی متری سدیم کلرید و چند مورفولوژی دیگر در هندسه های مختلف آب نمک روی ISS رشد کردند. مکعب های قیفی مطالعه 2019 در فوق اشباع برآوردی پایین و با سرعت کم رشد کردند و انتشار در مراحل اولیه غالب بود.

چه چیزی تفسیری است: کاهش شدید ته نشینی و جریان ناشی از شناوری امکان تعلیق طولانی تر و رشد متقارن تر را فراهم کرد. در مراحل پایانی، حرکت آهسته مایع ممکن است در بلورساز بزرگ تر اثر داشته باشد.

چه چیزی نشان داده نشده است: شکل اتمی تازه‌ای از نمک، بلورهای خالص تر یا بی‌نقص‌تر، آزمایش همسان زمین در برابر ISS برتری عمومی ریزگراش یا یک مسیر تولید تجاری.

محدودیت‌های اصلی: سه مطالعه جداگانه با هندسه‌ها و نمونه‌های منتخب متفاوت؛ مقایسه‌های زمینی میان مطالعاتی؛ کمیت‌های انتقالی برآوردی؛ بخش‌هایی اکتشافی و غیربرنامه‌ای؛ و نبود داده درباره اقتصاد فرایند یا آزمون‌های عملکرد.

یک خواننده عمومی تا چه حد باید اطمینان داشته باشد؟ اطمینان بالا که مورفولوژی‌های مداری و رشد آهسته گزارش شده واقعی‌اند. اطمینان متوسط به توضیح انتقال به‌عنوان بهترین تبیین مشترک برای مشاهدات. اطمینان بسیار پایین به هر ادعایی که این آزمایش‌های نمک را به وعده‌ای عمومی درباره تولید در فضا تبدیل کند.

منابع

- conditions, terrestrial and microgravity under grown cubes hopper chloride sodium of Comparison Fontana, and Pettit (2019) 25, 5 Microgravity npj
<https://doi.org/10.1038/s41526-019-0085-0>
- Crystal of Journal microgravity, in grown crystals chloride sodium of Characterization Pettit, and Schefer Fontana, (2011) 211-207, 324 Growth
<https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2011.04.001>
- drops sessile and layers, thick sheets, liquid thin from crystallization chloride Sodium Cristoforetti, and Pettit Fontana, (2015) 85-80, 428 Growth Crystal of Journal microgravity, in
<https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2015.07.026>