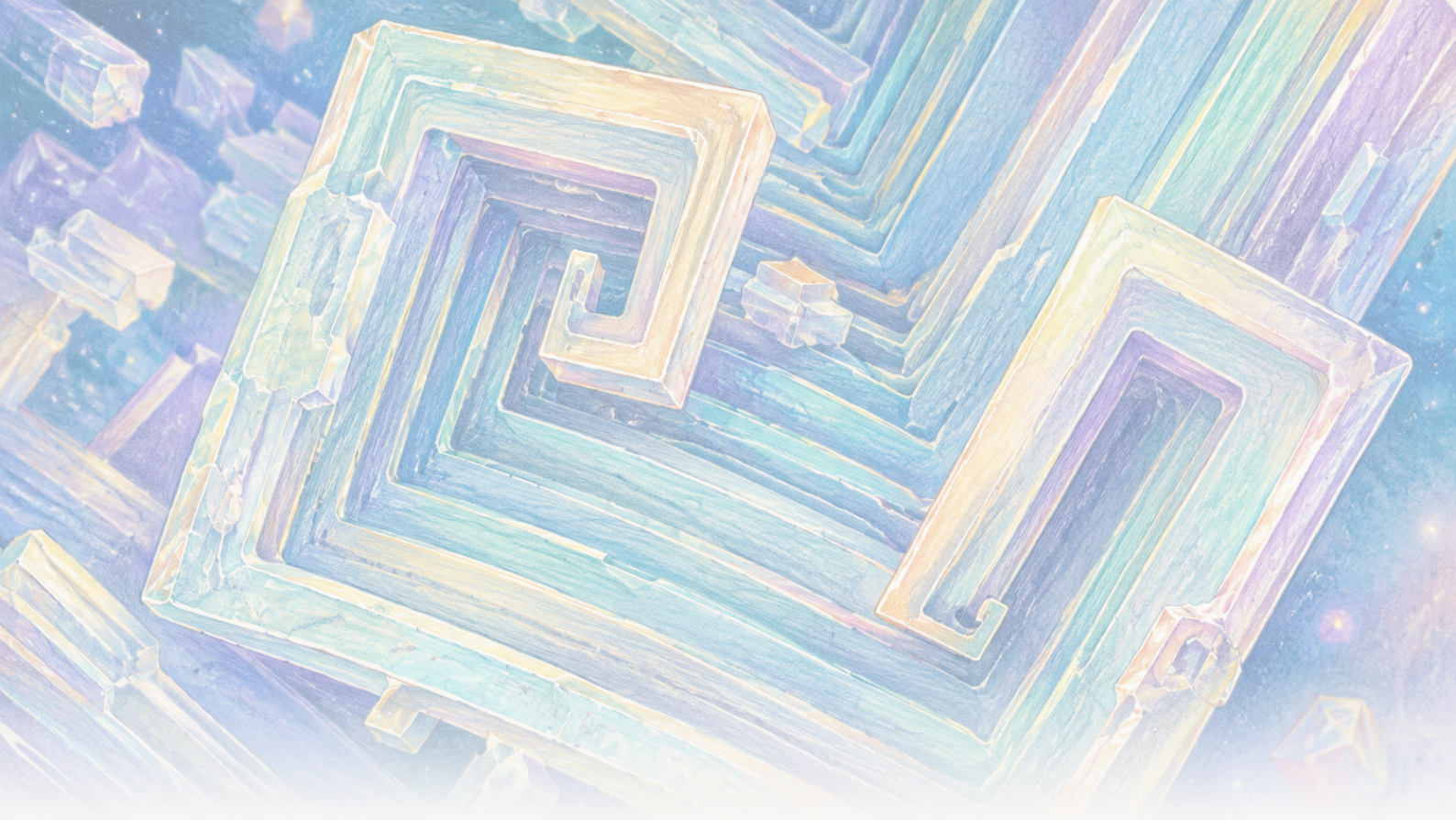


The Clean Paper

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

কক্ষপথে খাবার লবণ ফাঁপা ঘনক বানিয়েছিল। মাধ্যাকর্ষণ বদলেছিল brine-এর চলাচল, লবণের গঠন নয়

International Space Station-এ জন্মানো sodium chloride স্ফটিক-এর মধ্যে 2 থেকে 8 millimetre মাপের ফাঁপা, ধাপওয়ালা ঘনক ছিল। গবেষণাপত্রগুলো পদার্থ-পরিবহনতত্ত্বকে ব্যাখ্যাকে সমর্থন করে: স্বাভাবিক অবক্ষেপণ ও ভাস্যতা-চালিত প্রবাহ খুব কমে গিয়েছিল, আর প্রাথমিক বৃদ্ধিতে বিসরণ প্রাধান্য পেয়েছিল। Crystal lattice নতুন ধরনের লবণে বদলায়নি, এবং পরীক্ষাগুলো কোনো শিল্পপ্রক্রিয়া প্রতিষ্ঠা করে না।

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

কক্ষপথে সাধারণ খাবার লবণ ফাঁপা, ধাপওয়ালা ঘনক তৈরি করছেলি

স্ফটিকগুলো দেখতে যেন ছোট স্থাপত্যকর্ম: একটি বর্গাকার ফ্রেমের ভেতরে আরেকটি, আর তাদের পৃষ্ঠ ধাপে ধাপে ভেতরে নেমে গেছে।

এগুলো ছিল সাধারণ সোডিয়াম ক্লোরাইড — খাবার লবণেরই সেই যৌগ। অস্বাভাবিক ছিল পদার্থটি নয়, তাকে ঘিরে থাকা লবণাক্ত দ্রবণ।

পৃথিবীতে সেন্টিমিটার-মাপের তরলের মধ্যে বেড়ে ওঠা একটি স্ফটিক নিচে বসে যেতে পারে, দেয়াল বা কোনো পৃষ্ঠে ঠেকতে পারে, এবং ঘনত্বের পার্থক্য তৈরি করে দ্রবণে সঞ্চালন ঘটাতে সাহায্য করতে পারে। International মহাকাশ Station-এ স্বাভাবিক অবক্ষেপণ এবং ভাস্যতা-চালিত প্রবাহ অনেকটাই দমে গিয়েছিল। কিছু লবণ স্ফটিক এত দীর্ঘ সময় ভাসমান ছিল যে তারা ধীরে এবং আরও সমমিতিভাবে বেড়ে **হপার ঘনক (হপার ঘনক)** তৈরি করে, যাদের প্রান্তরে দৈর্ঘ্য ছিল 2 থেকে 8 মিলিমিটার।

2011, 2015 এবং 2019-এ প্রকাশিত তিনটি গবেষণাপত্র এই পরীক্ষাগুলো বর্ণনা করে। একসঙ্গে তারা পদার্থ-পরিবহনের পদার্থবিদ্যা সম্পর্কে একটি পরিষ্কার শিক্ষা দেয়: দ্রবীভূত পদার্থ কীভাবে স্ফটিকের কাছে পৌঁছায়, তা বদলালে স্ফটিকের দৃশ্যমান আকৃতি বদলাতে পারে, অথচ তার পারমাণবিক গঠন একই থাকতে পারে।

এগুলো দেখায় না যে মহাকাশ নিখুঁত স্ফটিক বানায়, কোনো শিল্পপ্রক্রিয়া প্রতিষ্ঠা করে, বা নতুন ধরনের লবণ তৈরি করে।

একটি ঘনক কীভাবে হপার স্ফটিক হয়

সাধারণ সোডিয়াম ক্লোরাইড স্ফটিকের পারমাণবিক বিন্যাস ঘনাকার। **হপার স্ফটিক**ও মূলত ঘনাকারই, কিন্তু তার কোণ ও প্রান্তগুলো পৃষ্ঠের মাঝখানের অংশের চেয়ে আগে বাড়ে। ফলে প্রতিটি পৃষ্ঠে ফাঁপা, ধাপওয়ালা একটি অবনমন তৈরি হয় — যেন ঘনকটি দেয়াল ভরার আগে তার কাঠামো দাঁড় করাতে শুরু করেছে।

ISS-এর একটি পরবর্তী উদাহরণ এই বৃদ্ধির ধরনটি চোখে দেখা যায় এমনভাবে দেখায়, তবে সেটি এখানে আলোচিত তিনটি সোডিয়াম-ক্লোরাইড গবেষণাপত্রের প্রমাণ নয়, কেবল প্রেক্ষাপট। নিচে Donald Pettit-এর ছবি ও সময়-lapse-এ দেখা যায় **পটাশিয়াম ক্লোরাইড** — অন্য একটি লবণ — অণুমহাকর্ষ-তে ধাপওয়ালা হপার এবং scroll ধরনের আকৃতি তৈরি করছে।

[figure_pair pending]

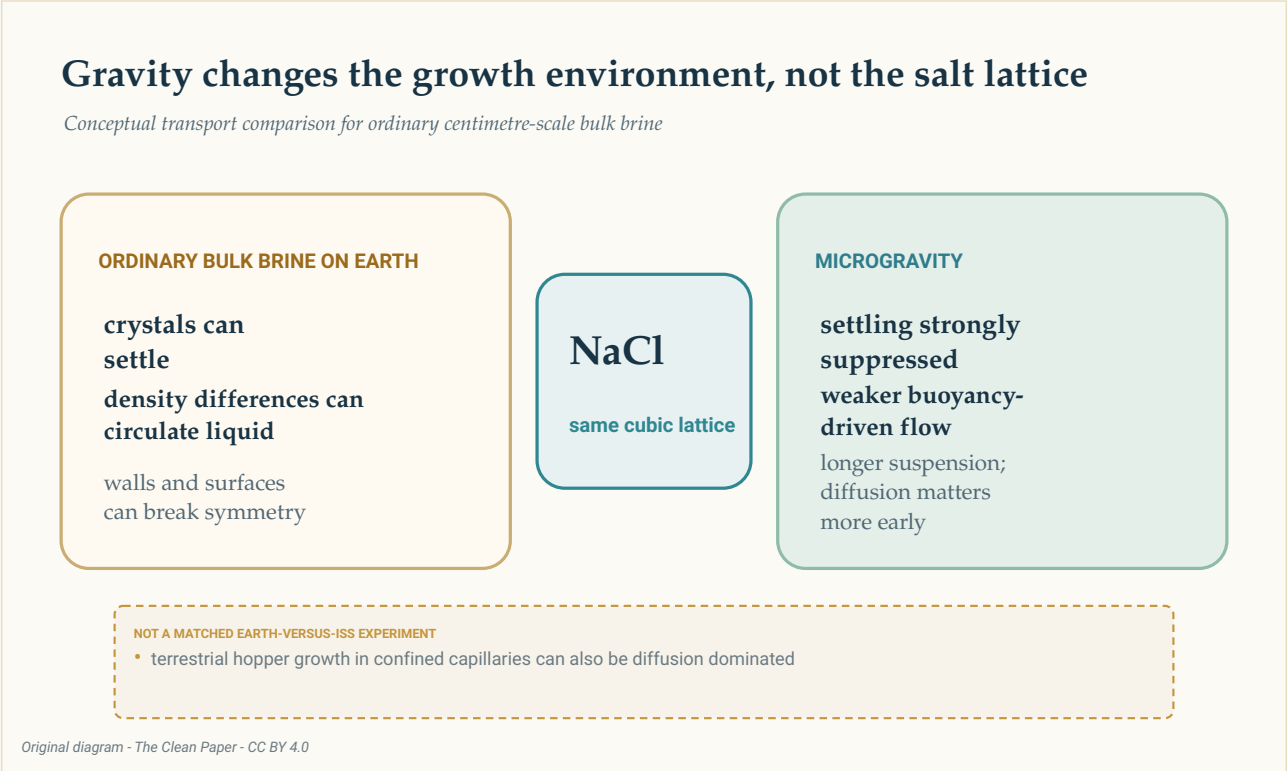
ISS-এ জন্মানো পটাশিয়াম ক্লোরাইডের scroll-আকৃতির হপার স্ফটিকের দুটি scanning ইলেকট্রন micrograph। এই পরবর্তী ছবিগুলো কেবল আকৃতির উদাহরণ; এই নিবন্ধে আলোচিত 2011, 2015 বা 2019 সালের সোডিয়াম-ক্লোরাইড গবেষণার নমুনা বা পরিমাপ নয়।

[video pending]

অণুমহাকর্ষ-তে পানির পাতলা স্তরের মধ্যে পটাশিয়াম ক্লোরাইড হপার স্ফটিক বৃদ্ধির একটি পরবর্তী সময়-lapse। এটি প্রান্ত ও কোণ থেকে বৃদ্ধি কীভাবে হয় তা দেখায়; এই নিবন্ধে বিশ্লেষিত সোডিয়াম-ক্লোরাইড পরীক্ষা বা তথ্যের অংশ নয়।

স্ফটিক জন্মায় **অতিসম্পৃক্ত লবণাক্ত দ্রবণ** থেকে: এমন লবণ-পানি, যাতে ওই অবস্থার সাম্যাবস্থায় যত সোডিয়াম ক্লোরাইড দ্রবীভূত থাকার কথা, তার চেয়ে বেশি দ্রবীভূত থাকে। সোডিয়াম ও ক্লোরাইড আয়নকে তরলের ভেতর দিয়ে চলতে চলতে স্ফটিকের পৃষ্ঠে পৌঁছে যুক্ত হতে হয়।

এগুলো পরিবহনের দুটি প্রধান উপায় আছে। **বিসরণ (বিসরণ)** হলো অণুর এলোমেলো গতি, যা পুরো তরল সঞ্চালিত না হয়েও ঘনত্বের পার্থক্য বরাবর দ্রবীভূত পদার্থ সরিয়ে নিয়ে যায়। **পরিচলন (সংবহন)** হলো তরল নিজেই সরে যাওয়া। স্বাভাবিক মাধ্যাকর্ষণে তাপমাত্রা বা ঘনত্বের ছোট পার্থক্যও ঘনত্ব বদলে ভাস্যতা-চালিত সঞ্চালন তৈরি করতে পারে। স্ফটিক **অবক্ষেপিত**ও হতে পারে, অর্থাৎ তরলের মধ্যে নিচে বসে যেতে পারে।



একটি ধারণাগত তুলনায় দুই পরবিশেইে একই সোডয়িাম ক্লোরাইড স্ফটকি জালক দখোনো হয়ছে। পৃথবীতে সন্টেমিটির-মাপরে সাধারণ সামগ্রকি লবণাক্ত দ্রবণে অবক্ষপেণ, ভাস্যতা-চালতি সঞ্চালন এবং পৃষ্ঠরে সংস্পর্শ থাকতে পার; অণুমহাকর্ষ প্রথম দুটি প্রক্রয়িাকে খুব কময়িে দয়ে, ফলে স্ফটকি দীর্ঘ সময় ভাসমান থাকে এবং বৃদ্ধরি শুরুতে বসিরণ বশেি গুরুত্বপূর্ণ হয়। এটি একই শর্তে চালানো পৃথবী-versus-ISS তুলনামূলক পরীক্ষা ছলি না।

The Clean Paper CC BY 4.0

পরীক্ষাটি International মহাকাশ Station-এ, অর্থাৎ কক্ষপথে থাকা একটি অণুমহাকর্ষ পরীক্ষাগার-তে করা হয়ছেলি। **অণুমহাকর্ষ** মানে মাধ্যাকর্ষণ একবোরে নইে, তা নয়। 2019 সালরে গবষেণাপত্রটি পৃথবীর পৃষ্ঠরে মাধ্যাকর্ষণরে প্রায় 1.2 millionths, অর্থাৎ 1.2 micro-g সমান অবশষ্টি ত্বরণ এবং ধীর চক্রাকার তরলগতরি কথা জানায়। পরবিশেটি পদার্থ-পরবিহনরে ভারসাম্য বদলছেলি; লবণাক্ত দ্রবণকে পুরোপুরি স্থরি করে দয়েনি।

মলিমিটির-মাপরে ঘনকে পৌঁছানো র ধীর পথ

2019 সালরে গবষেণাটি ISS-এ লবণাক্ত দ্রবণ থকেে পানি বাষ্পীভূত হওয়ার সময় জন্মানো হপার ঘনকরে ওপর কন্দ্রেীভূত ছলি। ঘনকরে প্রান্তরে দর্ঘৈয **2 থকেে 8 মলিমিটির** ছলি বলে জানানো হয়। বৃদ্ধরি হার ছলি **0.34 থকেে 1.0 মাইক্রোমটিার প্রতি মনিটি** (প্রায় **0.49 থকেে 1.44 মলিমিটির প্রতি দনি**), গড় **0.68 মাইক্রোমটিার প্রতি মনিটি**, আর মানক বচ্যিুতি 0.23।

ওই গড় হারে 8-মলিমিটির প্রান্ত তরৈি হতে আনুমানকি এক সপ্তাহ লাগত। এটি একটি হসিাবি অনুমান, একটি স্ফটকিরে প্রতটিি পর্যায় সময়-lapse-এ মপেে পাওয়া সময় নয়।

লখেকরো অতসিম্পৃক্ততার মান **1.002-এর নচিে** অনুমান করছেলিনে। তাদরে উদ্ধৃত পৃথবীর গবষেণায় 1.45-এর বশেি অতসিম্পৃক্ততায়, প্রতি সকেন্ডে 10 থকেে 110 মাইক্রোমটিার হার, কয়কে সকেন্ড বা মনিটি ধরে হপার স্ফটকি বৃদ্ধরি কথা ছলি; সাধারণত তরৈি হতো 250 মাইক্রোমটিাররে চয়েে ছোট ঘনক।

তুলনাটি তথ্যবহুল, কন্তিু শর্ত-মলোনো নয়। ISS-এর স্ফটকি ও পৃথবীর পূর্বপ্রকাশতি গবষেণা একই দলরে একই সময়ে চালানো, একই

ধরনরে পৃথবিী এবং কক্ষপথ পরীক্ষার দুই শাখা ছলি না। মাধ্যাকর্ষণরে পাশাপাশি পাত্র, সংযোগস্থল এবং পদ্ধতরি পার্থক্যও গুরুত্বপূর্ণ হতে পারে।

তাই সবচয়েে শক্তশিালী তুলনাটি বর্ণনামূলক: ISS-এর এই পর্যবক্ষেণে হপার ঘনক কম অতসিম্পৃক্ততায় ধীরে, দনি থকেে সপ্তাহ ধরে বড়েছে এবং মলিমিটিার মাপে পৌঁছছে।

শুরুতে বসিরণ প্রাধান্য পয়েছেলি; পরে ধীর প্রবাহরে ভূমকিা থাকতে পারে

2019 সালরে গবষেণায় তরলরে গতিতে পরবিহন আর বসিরণরে মাধ্যমে পরবিহন তুলনা করতে **পকেলে সংখ্যা** ব্যবহার করা হয়। মান একরে নচিে হলে বসিরণ বশেি গুরুত্বপূর্ণ; একরে ওপরে হলে সামগ্রকি গতি প্রাধান্য পতেে পারে।

> **অনুপাত, কোনো চালু-বন্ধ সুইচ নয়**
>
> পকেলে সংখ্যা দুটি পরবিহনহাররে তুলনা। একরে নচিে মানইে তরল সম্পূর্ণ স্থরি এবং একরে ওপরে মানইে শুধু সংবহন — এমন বভিাজন এটি করে না। এখানে স্ফটকিরে আকার এবং চারপাশরে লবণাক্ত দ্রবণরে গতি কীভাবে অনুমান করা হয়ছে, তার সঙ্গে মান বদলছে। সবচয়েে ছোট স্ফটকি স্পষ্টতই বসিরণ-প্রধান অবস্থায় ছলি; বড় পাত্ররে সবচয়েে বড় স্ফটকিে এমন পর্যায় আসতে পারে, যখোনে ধীর তরলগতি গুরুত্বপূর্ণ হয়ে উঠছেলি।

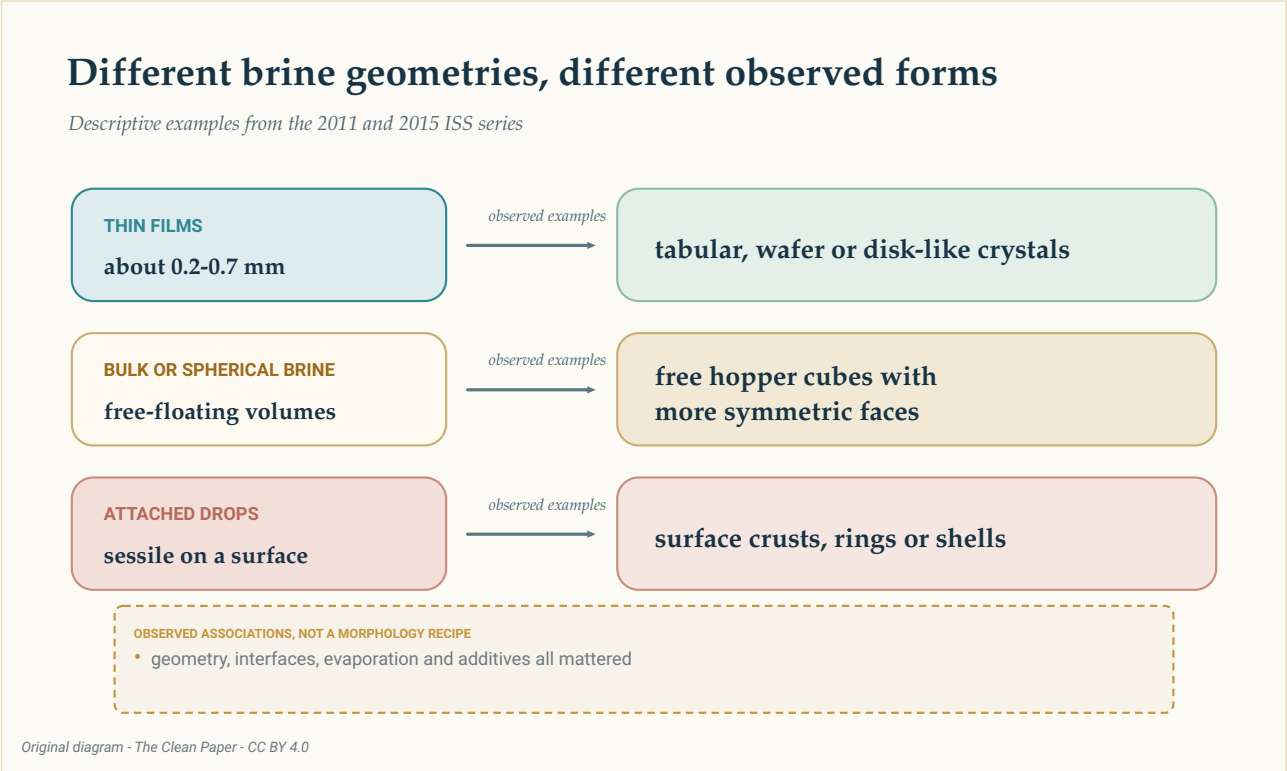
ছোট, প্রায় 0.8-সন্টেমিটিার ফোঁটাগুলোতে অনুমতি পকেলে মান nucleation-এর কাছাকাছি প্রায় **0.0004** থকেে শষে মাপা আকারে প্রায় **0.03**-এ উঠছেলি। বসিরণই প্রাধান্য ধরে রাখে।

2 থকেে 3-সন্টেমিটিার crystallizer-এ 50-মাইক্রোমটিার নউিক্লয়িাসরে জন্য হসিাবটি ছলি প্রায় **0.05**, আর 4-মলিমিটিার প্রান্তরে জন্য প্রায় **4**। প্রাথমকি বৃদ্ধি তখনও বসিরণ-প্রধান ছলি, কন্তিু পরে ধীর চক্রাকার তরলগতি অবদান রাখতে পারে।

এই কারণইে “অণুমহাকর্ষ সংবহন সরয়িে দয়িছেলি” বলা ভুল হবে। স্বাভাবকি ভাস্যতা-চালতি সঞ্চালন ও অবক্ষপেণ অনকেটাই কমছেলি। কন্তিু অবশষ্টি ত্বরণ ও পরমিাপযোগ্য তরলগতি রয়ে গয়িছেলি।

তরলরে আকৃতওি গুরুত্বপূর্ণ ছলি

2011 সালরে গবষেণাপত্র এবং 2015 সালরে গবষেণাপত্র ছবটিকিে আরও বস্তিৃত করে। সখোনে পাতলা ফলি্ম, তুলনামূলক মোটা তরলস্তর, প্রায় গোলাকার লবণাক্ত দ্রবণ volume এবং পৃষ্ঠে লগেে থাকা ফোঁটায় লবণরে স্ফটকিায়ন বর্ণনা করা হয়ছে।



তনিটি সারতিে পুরো নথসিমষ্টরি পর্যবক্ষেতি উদাহরণগুলো সংক্ষপেে দখোনো হয়ছে: পাতলা ফলি্মে টবেলি-সদৃশ বা ডস্কিরে মতো আকৃতি, সামগ্রকি বা গোলাকার লবণাক্ত দ্রবণে মুক্ত হপার ঘনক, এবং পৃষ্ঠে লগেে থাকা ফোঁটায় ভূত্বক, বলয় বা খোলস। এগুলো বর্ণনামূলক সম্পর্ক, কোনো পদ্ধতি বা নশি্চয়তা নয়।

The Clean Paper CC BY 4.0

2011 সালরে গবষেণায় প্রায় 0.2 থকেে 0.7 মলিমিটিার পুরু পাতলা ফলি্ম থকেে পাতলা wafer ও টবেলি-সদৃশ স্ফটকি তরৈরি হয়ছেলি। মুক্তভাবে ভাসমান লবণাক্ত দ্রবণ volume-এ আরও সমমতি পার্শ্বপৃষ্ঠ এবং হপার ঘনক তরৈরি হতে পরেছেলি।

2015 সালরে পর্যবক্ষেণে 0.2 থকেে 0.7 মলিমিটিার পুরু পাতলা নর্দিশেনাপত্র, প্রায় 4 থকেে 6 মলিমিটিার মোটা স্তর এবং পৃষ্ঠে লগেে থাকা প্রায় 20 থকেে 32 মলিমিটিার ব্যাসরে অর্ধগোলাকার ফোঁটা ছলি। জানানো আকৃতরি মধ্যে ছলি টবেলি-সদৃশ হপার, ঘনক, ডস্কিরে মতো স্ফটকি, dendrite, বলয় এবং খোলস। এক পর্যবক্ষেণ-সটেে polyethylene গ্লাইকোল যোগ করলে হপার বৃদ্ধি দমে যায়।

লখেকেরা 2015 সালরে কাজটকিে crew-দরে বন্ধ-duty সময়ে, তালকিাভুক্ত নয় এমন উপকরণ দয়িে করা পর্যবক্ষেণ হসিবেে বর্ণনা করছেনে; এটি কঠোর পরকিল্পতি গবষেণা-কার্যক্রম ছলি না। উদাহরণগুলো দখোয়, তরলরে জ্যামতি, সংযোগস্থল, বাষ্পীভবন এবং additive — সবই গুরুত্বপূর্ণ ছলি। এগুলো এমন কোনো নর্ধিারতি পদ্ধতি দয়ে না, যখোনে একটি নর্দিষ্টি পাত্ররে আকৃতি নশি্চতিভাবে একটি নর্দিষ্টি স্ফটকি আকৃতি তরৈরি করব।ে

স্ফটকি জালক নতুন ধরনরে লবণে বদলে যায়নি

স্ফটকিরে গঠন এবং **বাহ্যকি আকৃতি**র পার্থক্য এখানে অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ।

গঠন হলো পরমাণুর পুনরাবৃত্ত বন্যিাস। বাহ্যকি আকৃতি হলো চোখে দখো রূপ। 2011 সালরে গবষেণায় নউিট্রন diffraction পৃথবিীর নমুনার তুলনায় সোডয়িাম ক্লোরাইডরে গঠন বা স্ফটকি জালক-কোষ প্যারামটিার বদলছে বলে দখোয়নি। কক্ষপথরে নমুনায় **লবণাক্ত দ্রবণ inclusion**-ও ছলি — স্ফটকিরে ভতেরে আটকে থাকা দ্রবণরে ছোট পকটে।

তাই বড় ও সমমতি দেখতে হওয়া মানে পদার্থটি বেশি বিশুদ্ধ বা defect-মুক্ত — এমন নয়। এই নথসিমষ্টরি কোনো গবেষণাপত্রই বেশি রাসায়নিক বিশুদ্ধতা, উন্নত যান্ত্রিক কর্মক্ষমতা বা নির্দিষ্ট যন্ত্রে ব্যবহারের উপযোগিতা জানায় না।

মাধ্যাকর্ষণের প্রভাব ছিল পরোক্ষ। এটি অবক্ষেপণ, তরল সঞ্চালন, অভিমুখ এবং পৃষ্ঠের সংস্পর্শ বদলেছে। সোডিয়াম-ক্লোরাইড বন্ধনের শক্তি বদলায়নি, নতুন কোনো পারমাণবিক পর্যায়-ও তৈরি করেনি।

এই পরীক্ষাগুলো কী শেখাতে পারে, আর কী পারে না

গবেষণাপত্রগুলো পদার্থ-পরিবহনতত্ত্বিক ব্যাখ্যাকে সমর্থন করে: স্বাভাবিক অবক্ষেপণ ও ভাস্যতা-চালিত প্রবাহকে শক্তভাবে কমিয়ে দিলে কিছু স্ফটিক দীর্ঘ সময় ভাসমান থেকে আরও সমমতি পরিবেশে ধীরে বেড়েছে। মাপা আকার, বৃদ্ধির হার ও আকৃতি সরাসরি পর্যবেক্ষণ; অতিসিমৃক্ততা, বৃদ্ধির ইতিহাস এবং পেকেলে মানের মধ্যে অনুমান রয়েছে; পৃথিবীর সঙ্গে তুলনাও আংশিকভাবে অন্য প্রকাশিত পরীক্ষার ওপর নির্ভর করে।

পুরো নথসিমষ্টরি জন্য একটিমাত্র পরিষ্কার হর নেই। তিনটি গবেষণাপত্রে আলাদা স্ফটিক, crystallizer এবং নির্বাচিত উদাহরণ একসঙ্গে এসেছে। সবকিছুকে যোগ করে একটি মোটা সংখ্যা বানালে এমন একটি একরূপ পরীক্ষার ধারণা তৈরি হবে, যা আসলে ছিল না।

উৎপাদন-সংক্রান্ত কোনো দাবির জন্য যে প্রমাণ দরকার, গবেষণাগুলো তার কিছুই জানায় না। প্রক্রিয়াকরণ হার, উৎপাদন খরচ, শক্তি ব্যবহার, ফলন, নির্ভরযোগ্যতা বা ব্যবহারযোগ্য উপাদান কর্মক্ষমতা মাপা হয়নি। 2015 সালের সিরিজিটি ছিল exploratory। পৃথিবীর তুলনাগুলো মিলিযুক্ত নিয়ন্ত্রণ ছিল না। আর বড় বা দৃষ্টিনন্দন হওয়া মানেই কোনো কাজে ভালো — এমন নয়।

প্রাকৃতিক লবণভাণ্ডারেও সেন্টিমিটার-মাপের হপার ঘনক পাওয়া যায়, কখনো লবণাক্ত দ্রবণ-ভেজা কাদায় ভাসমান অবস্থায়। 2019 সালের গবেষণাটি ধীর, বিসরণ-প্রধান বৃদ্ধির সঙ্গে একটি সম্ভাব্য সাদৃশ্যের কথা বলে। এটি আকর্ষণীয় তুলনা, কিন্তু প্রাকৃতিক ও কক্ষপথের হপার একই প্রক্রিয়ায় তৈরি হয় — তার প্রমাণ নয়।

পরিষ্কার সারাংশ

International Space Station-এ বাষ্পীভূত brine থেকে জন্মানো salt crystal-এর মধ্যে 2 থেকে 8 millimetre মাপের ফাঁপা, ধাপওয়ালা hopper cube ছিল। গবেষণাপত্রগুলো পদার্থ-পরিবহনতত্ত্বিক ব্যাখ্যাকে সমর্থন করে: microgravity স্বাভাবিক sedimentation ও buoyancy-driven flow অনেকে কমিয়ে দেয়, ফলে crystal দীর্ঘ সময় ভাসমান থেকে ধীরে বাড়তে পারে; প্রাথমিক বৃদ্ধিতে diffusion প্রাধান্য পায়। তরলের geometry, সংযোগস্থল, evaporation ও additive-ও crystal shape বদলেছে। Neutron diffraction নতুন কোনো sodium-chloride crystal structure দেখায়নি, এবং brine inclusion রয়ে গিয়েছিল। এটি সীমিত material-science case study; মহাকাশ নখুঁত crystal বানায় বা কোনো শিল্পপ্রক্রিয়া প্রমাণ করে—এমন নয়।

সোজাসাপটা যাচাই

গবেষণাপত্রগুলো যা দেখায়: ISS-এর বিভিন্ন brine geometry-তে millimetre-মাপের sodium chloride hopper cube ও অন্য shape তৈরি হয়েছে। 2019 সালের hopper cube কম অনুমতি supersaturation-এ ধীরে বেড়েছে, এবং বৃদ্ধির শুরুতে diffusion প্রাধান্য পেয়েছে।

যা ব্যাখ্যা করা হয়েছে: অবক্ষেপণ ও ভাস্যতা-চালিত প্রবাহ খুব কমে যাওয়ায় স্ফটিক দীর্ঘ সময় ভাসমান থেকে আরও সমমতিভাবে বাড়তে

পরেছে। বড় crystallizer-এ শষে পর্যায়ে ধীর তরলগতরি ভূমকিা থাকতে পারে।

যা এগুলো দখোয় না: নতুন কোনো পারমাণবকি লবণ-গঠন, বশেি বশিুদ্ধ বা defect-মুক্ত স্ফটকি, মলিযুক্ত পৃথবিী-versus-ISS ট্রায়াল, অণুমহাকর্ষরে সর্বজনীন সুবধিা বা বাণজ্যকি উৎপাদনরে পথ।

প্রধান সীমাবদ্ধতা: ভন্নি geometry ও নর্িবাচতি উদাহরণসহ তনিটি পৃথক গবষেণা; অন্য গবষেণার সঙ্গে Earth-based comparison; transport quantity-এর আনুমানকি হসিাব; নথসিমষ্টরি কছিু exploratory ও পূর্বপরকিল্পনাহীন অংশ; এবং process economics বা engineering performance-এর কোনো পরীক্ষা নইে।

সাধারণ পাঠকরে কতটা আস্থা রাখা উচতি? কক্ষপথে জানানো স্ফটকি আকৃতবিদ্যা এবং ধীর বৃদ্ধি বাস্তব — এ বষিয়ে উচ্চ আস্থা। পর্যবক্ষেণগুলো মলিয়িে পরবিহন ব্যাখ্যা-টকিে সরো ব্যাখ্যা হসিবেে মাঝারি আস্থা। কন্তিু এই লবণ পরীক্ষাগুলোকে মহাকাশ-উৎপাদন সম্পর্কে সাধারণ প্রতশ্রিুতিতে বদলে দওেয়া কোনো দাবরি ওপর খুব কম আস্থা রাখা উচতি।

উৎস

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