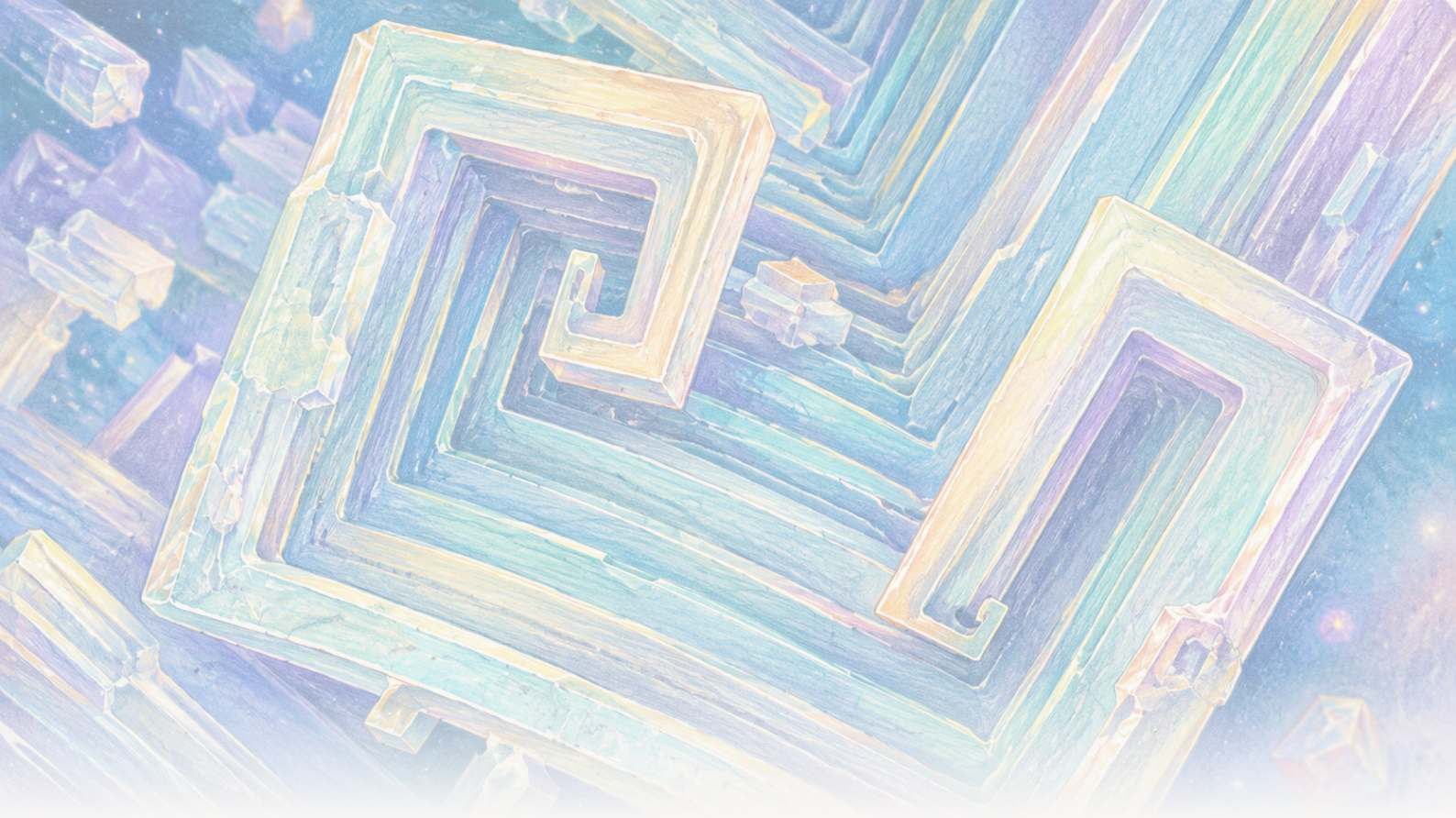


The Clean Paper

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

Katika obiti, chumvi ya mezani ilikua kuwa fuwele za mchemraba zenye mashimo. Graviti ilibadili maji ya chumvi, si chumvi yenyewe

Fuwele za kloridi ya sodiamu zilizokuzwa kwenye International Space Station zilijumuisha fuwele za mchemraba zenye mashimo na ngazi, zenye upana wa milimita 2 hadi 8. Makala zinaunga mkono maelezo ya usafirishaji: kutua chini kwa kawaida na mtiririko unaoendeshwa na nguvu ya ueleaji vilipunguzwa sana, huku usambaaji ikitawala ukuaji wa awali. Kimiani ya fuwele haikubadilika kuwa aina mpya ya chumvi, na majaribio hayathibitishi mchakato wa viwandani.

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

Katika obiti, chumvi ya kawaida ya mezani ilikua kuwa cubes zenye mashimo na ngazi

Fuwele zilionekana kama usanifu: fremu za mraba ndani ya fremu za mraba, huku nyuso zake zikiwa zimechimbika kama ngazi.

Zilitengenezwa na kloridi ya sodiamu ya kawaida, kiwanja kilekile cha chumvi ya mezani. Jambo lisilo la kawaida halikuwa nyenzo. Lilikuwa brine iliyokuwa ikiizunguka.

Duniani, fuwele inayokua ndani ya ujazo wa kioevu wa kiwango cha sentimita inaweza kuzama, kugusa ukuta au uso, na kusaidia kuunda tofauti za msongamano zinazozungusha suluhisho. Kwenye International Space Station, kutua chini kwa kawaida na mtiririko unaoendeshwa na buoyancy vilipunguzwa sana. Baadhi ya fuwele za chumvi zilibaki zimesimamishwa kwa muda wa kutosha kukua polepole na kwa ulinganifu zaidi kuwa **cubes za hopper**, zenye kingo kati ya milimita 2 na 8.

Makala tatu, zilizochapishwa 2011, 2015 na 2019, zinaeleza majaribio haya. Kwa pamoja zinatoa somo safi katika fizikia ya usafirishaji: kubadilisha jinsi nyenzo iliyoyeyushwa inavyofikia fuwele kunaweza kubadilisha umbo lake linaloonekana bila kubadilisha muundo wake wa atomiki.

Hazionyeshi kwamba anga hutengeneza fuwele kamilifu, hazithibitishi mchakato wa viwandani, wala hazifichui aina mpya ya chumvi.

Ni nini kinachofanya cube iwe hopper

Fuwele ya kawaida ya kloridi ya sodiamu ina mpangilio wa atomiki wa cubic. **Fuwele ya hopper** bado ni cubic, lakini pembe na kingo zake hukua mbele ya katikati ya nyuso zake. Matokeo yake ni shimo la ngazi katika kila uso, kana kwamba cube imejaribu kujenga fremu yake kabla ya kujaza kuta.

Mfano wa baadaye kutoka ISS unaonyesha muundo huo wa ukuaji kwa uwazi, lakini ni muktadha, si ushahidi kutoka katika makala tatu za kloridi ya sodiamu. Picha na time-lapse ya Donald Pettit hapa chini zinaonyesha **kloridi ya potasiamu**, chumvi tofauti, ikitengeneza maumbo ya hopper yenye ngazi na maumbo ya scroll katika mikrograviti.

[figure_pair pending]

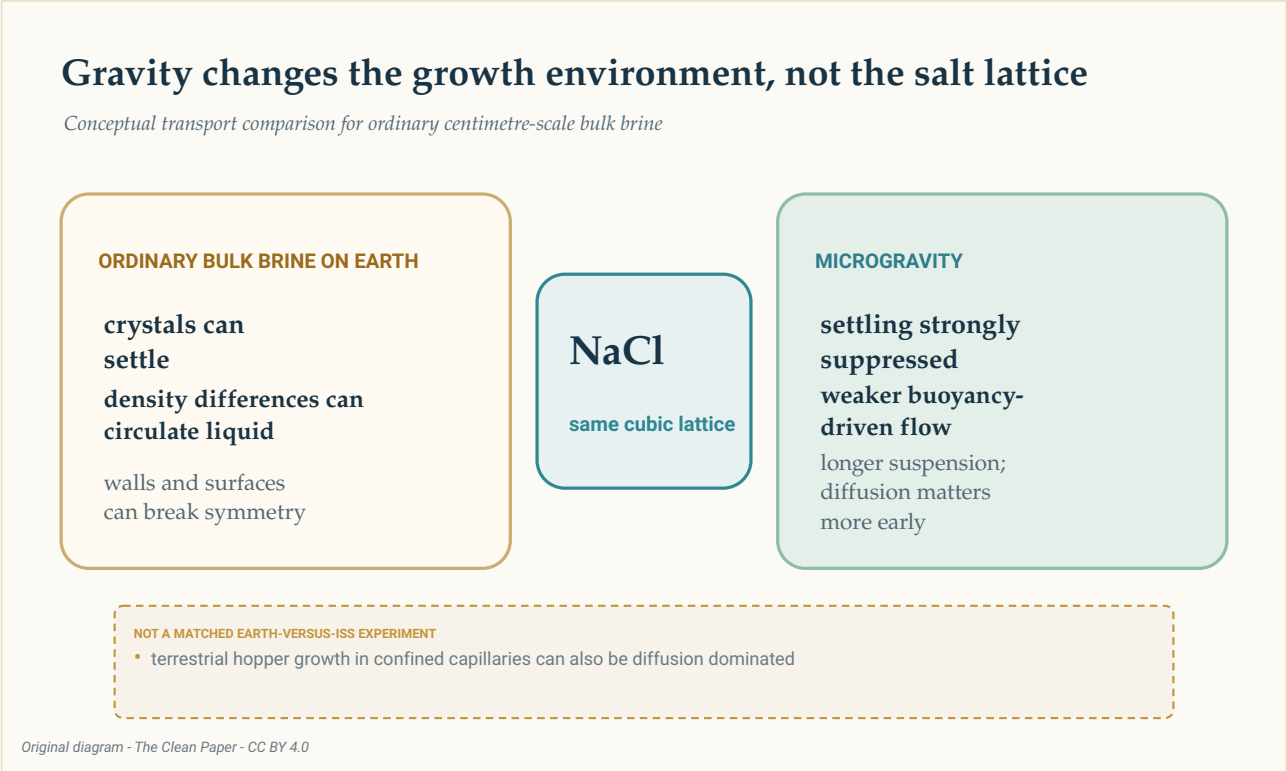
Mikrografu mbili za elektroni skani za fuwele za hopper za kloridi ya potasiamu zenye umbo la scroll zilizokuzwa ndani ya ISS. Picha hizi za baadaye ni mifano ya muktadha wa morfolojia, si sampuli za kloridi ya sodiamu wala vipimo kutoka tafiti za 2011, 2015 au 2019 zinazojadiliwa katika makala hii.

[video pending]

Mfululizo wa picha wa baadaye wa ukuaji wa fuwele ya mchemraba yenye mashimo ya ngazi wa kloridi ya potasiamu ndani ya filamu nyembamba ya maji katika mikrograviti. Inaonyesha ukuaji wa kingo na pembe, si majaribio au data za kloridi ya sodiamu zinazochambuliwa katika makala hii.

Fuwele hukua kutoka **brine iliyozidi usawaziko wa kuyeyuka (supersaturated brine)**: maji ya chumvi yenye kloridi ya sodiamu iliyoyeyushwa zaidi ya kiasi ambacho yangeshikilia katika usawaziko chini ya hali hizo. Ioni za sodiamu na kloridi lazima zisafiri kupitia kioevu na kujiunga na uso wa fuwele.

Kuna njia mbili pana za kuzihamisha. **Diffusion** ni mwendo wa nasibu wa molekuli unaobeba nyenzo iliyoyeyushwa kufuata tofauti ya mkusanyiko bila mzunguko wa kioevu kwa wingi. **Convection** ni mwendo wa kioevu chenyewe. Chini ya graviti ya kawaida, tofauti ndogo za joto au mkusanyiko zinaweza kubadilisha msongamano na kusababisha mzunguko wa buoyancy. Fuwele pia zinaweza **kusediment**, yaani kutua chini kupitia kioevu.



Ulinganisho wa dhana unaonyesha lattice ileile ya kloridi ya sodiamu katika mazingira yote mawili. Brine ya kawaida ya wingi Duniani inaweza kuhusisha kutua chini, mzunguko wa buoyancy na kugusa uso; mikrograviti hupunguza sana mambo mawili ya kwanza, na hivyo kuruhusu kusalia hewani kwa muda mrefu na kufanya diffusion iwe muhimu zaidi katika ukuaji wa mwanzo. Hili halikuwa jaribio lililolinganishwa moja kwa moja la Dunia dhidi ya ISS.

The Clean Paper CC BY 4.0

Jaribio hili lilifanywa ndani ya International Space Station, maabara ya mikrograviti inayozunguka Dunia. Neno **mikrograviti** halimaanishi kutokuwepo kwa graviti. Makala ya 2019 iliripoti kuongeza kasi iliyobaki ya takriban milioni 1.2 ya sehemu ya graviti ya uso wa Dunia, yaani 1.2 micro-g, pamoja na mwendo wa polepole wa kioevu wa mzunguko. Mazingira yalibadilisha uwiano wa taratibu za usafirishaji; hayakufanya brine isimame kabisa.

Njia ya polepole kuelekea cubes za kiwango cha milimita

Utafiti wa 2019 ulilenga cubes za hopper zilizokua wakati maji yalipovukiza kutoka brine ndani ya ISS. Kingo za cubes zilizoripotiwa zilikuwa kati ya **milimita 2 na 8**. Kasi za ukuaji zilikuwa kati ya **mikromita 0.34 na 1.0 kwa dakika** (takriban **milimita 0.49 hadi 1.44 kwa siku**), kwa wastani wa **mikromita 0.68 kwa dakika** na mkengeuko sanifu wa 0.23.

Kwa kasi hiyo ya wastani, kingo ya milimita 8 ingehitaji takriban wiki moja kuendelea. Hesabu hii ni makadirio, si kipimo cha time-lapse cha kila hatua ya fuwele moja.

Waandishi walikadiria supersaturation chini ya **1.002**. Fasihi yao ya kulinganisha ya Duniani ilieleza ukuaji wa hopper chini ya supersaturation kubwa zaidi, zaidi ya 1.45, kwa kasi za mikromita 10 hadi 110 kwa sekunde kwa sekunde au dakika chache, kwa kawaida ikitoa cubes ndogo kuliko mikromita 250.

Ulinganisho huo una taarifa, lakini haukulinganishwa moja kwa moja. Fuwele za ISS na fasihi ya Duniani hazikutoka katika mikono miwili ya majaribio ya Dunia na obiti yaliyofanywa kwa wakati mmoja, kwa hali zinazofanana, na timu ileile. Kontena, miingiliano na mbinu tofauti zinaweza kuwa muhimu pamoja na graviti.

Kwa hiyo tofauti yenye nguvu zaidi ni ya maelezo: katika uchunguzi huu wa ISS, cubes za hopper zilikua polepole, katika supersaturation ndogo, kwa siku hadi wiki, na zikafikia kiwango cha milimita.

Diffusion ilitawala mwanzoni; baadaye mtiririko uliendelea kuwa uwezekano

Makala ya 2019 ilitumia **nambari ya Peclet** kulinganisha usafirishaji unaotokana na mwendo wa kioevu na usafirishaji kwa diffusion. Thamani chini ya moja ina maana diffusion ni muhimu zaidi; thamani juu ya moja ina maana mwendo wa kioevu kwa wingi unaweza kutawala.

> **Uwiano, si swichi**
>
> Nambari ya Peclet ni ulinganisho kati ya kasi mbili za usafirishaji. Haigawanyi dunia kuwa kioevu kilichotulia kikamilifu chini ya moja na convection safi juu ya moja. Hapa thamani ilibadilika kulingana na ukubwa wa fuwele na makadirio ya kasi yaliyotumiwa kwa brine inayoizunguka. Fuwele ndogo zaidi zilikuwa wazi katika hali inayotawaliwa na diffusion; fuwele kubwa zaidi katika chombo kikubwa ingeweza kuingia katika hali ambayo mwendo wa polepole wa kioevu ulikuwa muhimu.

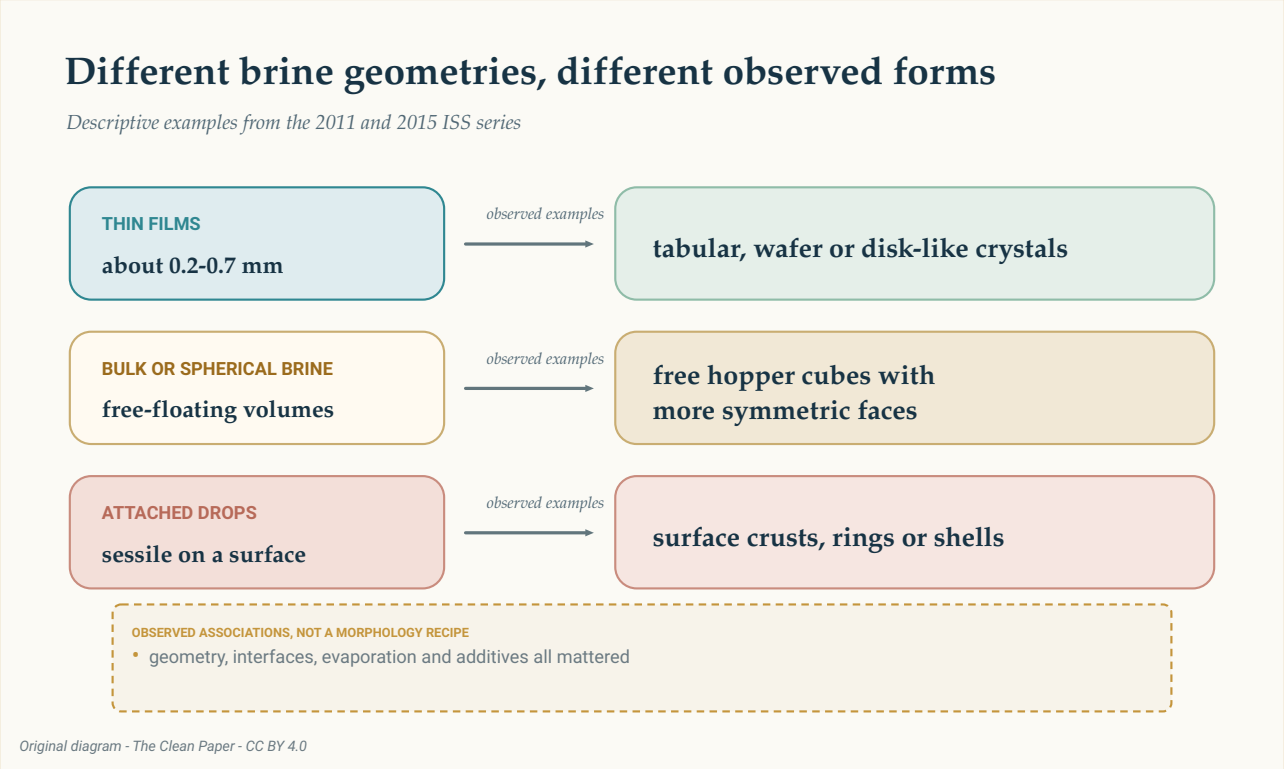
Katika matone madogo, yenye ukubwa wa takriban sentimita 0.8, thamani zilizokadiriwa za Peclet ziliongezeka kutoka karibu **0.0004** karibu na uanzishaji wa fuwele hadi karibu **0.03** katika ukubwa wa mwisho uliopimwa. Diffusion iliendelea kutawala.

Katika vyombo vya kukuza fuwele za sentimita 2 hadi 3, makadirio yaliongezeka kutoka karibu **0.05** kwa kiini cha mikromita 50 hadi karibu **4** kwa kingo ya milimita 4. Ukuaji wa mwanzo bado ulitawaliwa na diffusion, lakini mwendo wa polepole wa mzunguko ungeweza kuchangia baadaye.

Hii ndiyo sababu kusema “mikrograviti iliondoa convection” kungekuwa kosa. Mzunguko wa kawaida unaoendeshwa na buoyancy na kutua chini vilipunguzwa sana. Kuongeza kasi iliyobaki na mwendo unaopimika vilibaki.

Umbo la kioevu pia lilikuwa muhimu

Makala ya 2011 na makala ya 2015 zilipanua picha. Ziliripoti uundaji wa fuwele za chumvi katika filamu nyembamba, tabaka nene zaidi za kioevu, ujazo wa brine wa karibu mviringo na matone yaliyoshikamana na uso.



Safu tatu zinafupisha mifano iliyozingatiwa katika jalada: filamu nyembamba zenye maumbo bapa au kama diski, brine ya wingi au ya mviringo yenye cubes huru za hopper, na matone yaliyoshikamana yenye maganda, pete au vifuniko. Haya ni mahusiano ya maelezo, si kichocheo wala dhamana.

The Clean Paper CC BY 4.0

Katika utafiti wa 2011, filamu nyembamba zenye unene wa takriban milimita 0.2 hadi 0.7 zilitoa vipande vyembamba kama wafers na fuwele bapa. Ujazo wa brine uliokuwa huru uliruhusu nyuso za pembeni zenye ulinganifu zaidi na cubes za hopper.

Uchunguzi wa 2015 ulijumuisha tabaka nyembamba zenye unene wa milimita 0.2 hadi 0.7, tabaka

nene zaidi karibu milimita 4 hadi 6 na matone ya nusu-duara yaliyoshikamana yenye upana wa takriban milimita 20 hadi 32. Maumbo yaliyoripotiwa yalijumuisha hopper bapa, cubes, fuwele kama diski, dendrites, pete na maganda. Kuongeza polyethylene glycol kulizuia ukuaji wa hopper katika kundi moja la uchunguzi.

Waandishi walieleza kazi ya 2015 kama uchunguzi uliofanywa kwa vifaa ambavyo havikuwa vimeorodheshwa rasmi wakati wa muda wa mapumziko wa wafanyakazi, si mpango madhubuti wa uchunguzi uliopangwa. Mifano inaonyesha kwamba jiometri ya kioevu, miingiliano, uvukizi na viungio vyote vilikuwa muhimu. Haifafanui kichocheo cha lazima ambacho umbo fulani la chombo linahakikisha umbo fulani la fuwele.

Lattice haikubadilika kuwa aina mpya ya chumvi

Tofauti kati ya **muundo wa fuwele** na **morfolojia** ni muhimu.

Muundo ni mpangilio wa atomiki unaojirudia. Morfolojia ni umbo la nje linaloonekana. Diffraction ya neutroni katika makala ya 2011 haikutambua mabadiliko katika muundo wa kloridi ya sodiamu au katika vigezo vya seli ya lattice ikilinganishwa na sampuli za Duniani. Sampuli za obiti pia zilikuwa na **mifuko ya brine**, yaani vijisehemu vya suluhisho vilivyonaswa ndani ya fuwele.

Kwa hiyo mwonekano mkubwa na wenye ulinganifu si ushahidi wa nyenzo safi zaidi au isiyo na kasoro. Hakuna makala katika jalada inayoripoti usafi mkubwa wa kikemia, utendaji bora wa kimakanika au kufaa kwa kifaa mahususi.

Graviti ilifanya kazi kwa njia isiyo ya moja kwa moja. Ilibadilisha kutua chini, mzunguko wa kioevu, mwelekeo na kugusa nyuso. Haikubadilisha nguvu ya vifungo vya kloridi ya sodiamu wala kuunda awamu mpya ya atomiki.

Majaribio haya yanaweza na hayawezi kutufundisha nini

Makala zinaunga mkono maelezo ya usafirishaji: kupunguza sana kutua chini kwa kawaida na mtiririko wa buoyancy kuliruhusu baadhi ya fuwele kubaki zimesimamishwa na kukua polepole chini ya hali zenye ulinganifu zaidi. Ukubwa, kasi na maumbo yaliyopimwa ni uchunguzi wa moja kwa moja; supersaturation, historia ya ukuaji na thamani za Peclet zinajumuisha makadirio; ulinganisho na Dunia kwa sehemu unatokana na majaribio mengine yaliyochapishwa.

Hakuna kigawanyo kimoja rahisi kwa jalada hili. Linachanganya fuwele binafsi, vyombo vya kukuza fuwele na mifano iliyochaguliwa katika makala tatu. Kuzijumlisha kuwa jumla moja kungeashiria jaribio moja la aina ileile ambalo halikuwepo.

Tafiti pia haziripoti ushahidi wowote unaohitajika kwa dai la utengenezaji. Hazipimi throughput, gharama ya uzalishaji, matumizi ya nishati, yield, uaminifu au utendaji muhimu wa nyenzo. Mfululizo wa 2015 ulikuwa wa uchunguzi. Ulinganisho wa Duniani haukuwa vidhibiti vilivyolinganishwa.

Na kuwa kubwa au kuvutia kwa macho si sawa na kuwa bora kwa matumizi fulani.

Amana za asili za chumvi zinaweza kuwa na cubes za hopper zenye ukubwa wa sentimita, wakati mwingine zikiwa zimesimamishwa katika matope yaliyolowekwa brine. Makala ya 2019 inapendekeza ulinganisho unaowezekana na ukuaji wa polepole unaotawaliwa na diffusion. Ni ulinganisho wa kuvutia, si uthibitisho kwamba hopper za asili na za obiti zina utaratibu mmoja.

Muhtasari safi

Fuwele za chumvi zilizokuzwa kutoka brine inayovukiza ndani ya International Space Station zilijumuisha cubes za hopper zenye mashimo na ngazi, zenye upana wa milimita 2 hadi 8. Makala zinaunga mkono maelezo ya usafirishaji: mikrograviti ilipunguza sana kutua chini kwa kawaida na mtiririko unaoendeshwa na buoyancy, ikiruhusu ukuaji wa polepole na kusalia hewani kwa muda mrefu huku diffusion ikitawala mwanzoni. Jiometri ya kioevu, miingiliano, uvukizi na viungio pia viliathiri morfolojia. Diffraction ya neutroni haikuonyesha muundo mpya wa kloridi ya sodiamu, na mifuko ya brine ilibaki. Kazi hii ni uchunguzi wenye mipaka wa sayansi ya nyenzo, si uthibitisho kwamba anga hutengeneza fuwele kamilifu au kuwezesha mchakato wa viwandani.

Ukaguzi bila chumvi

Kile makala zinaonyesha: Cubes za hopper za kloridi ya sodiamu za kiwango cha milimita na morfolojia nyingine zilikua katika jiometri kadhaa za brine ndani ya ISS. Cubes za hopper za 2019 zilikua polepole katika supersaturation iliyokadiriwa kuwa ndogo, huku diffusion ikitawala mwanzoni.

Kile kinachotafsiriwa: Kupungua sana kwa kutua chini na mtiririko wa buoyancy kuliruhusu kusalia hewani kwa muda mrefu na ukuaji wenye ulinganifu zaidi. Mwendo wa polepole wa kioevu huenda ulikuwa muhimu mwishoni katika crystallizer kubwa zaidi.

Kile ambacho hazionyeshi: Aina mpya ya atomiki ya chumvi, fuwele safi zaidi au zisizo na kasoro, jaribio lililolinganishwa la Dunia dhidi ya ISS, faida ya jumla ya mikrograviti au njia ya utengenezaji wa kibiashara.

Vikwazo vikuu: Tafiti tatu tofauti zenye jiometri na mifano iliyochaguliwa tofauti; ulinganisho wa Duniani kutoka tafiti tofauti; kiasi cha usafirishaji kilichokadiriwa; sehemu za uchunguzi zisizo za mpango rasmi; na kutokuwepo kwa uchumi wa mchakato au vipimo vya utendaji.

Msomaji wa kawaida awe na imani kiasi gani? Imani kubwa kwamba morfolojia zilizoripotiwa katika obiti na ukuaji wa polepole ni halisi. Imani ya wastani katika maelezo ya usafirishaji kama maelezo bora yanayounganisha uchunguzi. Imani ndogo sana katika dai lolote linalogeuza majaribio haya ya chumvi kuwa ahadi ya jumla kuhusu utengenezaji angani.

Vyanzo

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