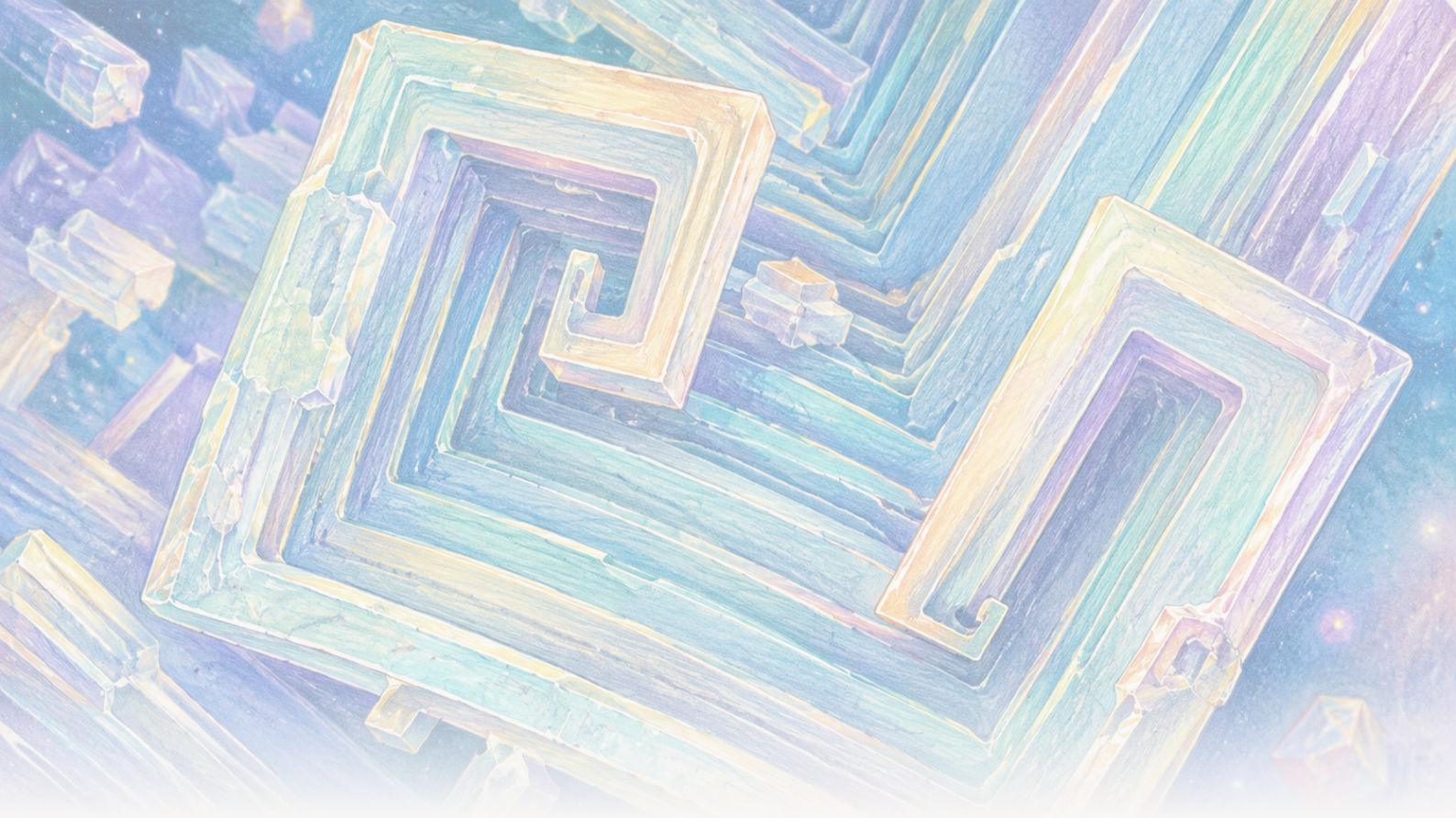


The Clean Paper

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

ในวงโคจร เกลือแกงเติบโตเป็นลูกบาศก์กลวง แรงโน้มถ่วงเปลี่ยนน้ำเกลือ ไม่ได้เปลี่ยนเกลือ

ผลึกโซเดียมคลอไรด์ที่เติบโตบนสถานีอวกาศนานาชาติรวมถึงลูกบาศก์กลวงเป็นชั้นบันไดขนาด 2 ถึง 8 มิลลิเมตร บทความสนับสนุนคำอธิบายด้านการขนส่ง: การตกตะกอนตามปกติและการไหลจากแรงลอยตัวถูกกดลงอย่างมาก ขณะที่การแพร่เป็นตัวหลักในช่วงต้น โครงผลึกไม่ได้กลายเป็นเกลือรูปแบบใหม่ และการทดลองไม่ได้พิสูจน์กระบวนการอุตสาหกรรม

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

ในวงโคจร เกลือแกงธรรมดาเติบโตเป็นลูกบาศก์กลวงแบบขั้นบันได

ผลึกดูเหมือนงานสถาปัตยกรรม: กรอบสี่เหลี่ยมซ้อนอยู่ในกรอบสี่เหลี่ยมอีกชั้น ขณะที่ผิวแต่ละหน้ากลวงลึกลงไปเป็นขั้นบันได

มันทำจากโซเดียมคลอไรด์ธรรมดา ซึ่งเป็นสารชนิดเดียวกับเกลือแกง สิ่งที่ผิดปกติไม่ใช่วัสดุ แต่คือน้ำเกลือรอบ ๆ มัน

บนโลก ผลึกที่กำลังเติบโตในของเหลวระดับเซนติเมตรสามารถจม สัมผัสผนังหรือพื้นผิว และช่วยสร้างความแตกต่างของความหนาแน่นที่ทำให้สารละลายไหลเวียนได้ บนสถานีอวกาศนานาชาติ การตกตะกอนตามแรงโน้มถ่วงและการไหลจากแรงลอยตัวแบบปกติถูกกดลงอย่างมาก ผลึกเกลือบางส่วนจึงแขวนลอยอยู่นานพอที่จะค่อย ๆ เติบโตอย่างสมมาตรมากขึ้นเป็น **ลูกบาศก์ฮอปเปอร์ (hopper cubes)** ที่มีความยาวขอบระหว่าง 2 ถึง 8 มิลลิเมตร

บทความสามชิ้นที่ตีพิมพ์ใน ปี 2011, 2015 และ 2019 อธิบายการทดลองเหล่านี้ เมื่อนำมารวมกัน มันให้บทเรียนที่ชัดเจนเกี่ยวกับฟิสิกส์การขนส่ง: การเปลี่ยนวิธีที่สารละลายเดินทางมาถึงผลึกสามารถเปลี่ยนรูปร่างที่มองเห็นได้ โดยไม่เปลี่ยนโครงสร้างระดับอะตอม

งานเหล่านี้ไม่ได้แสดงว่าอวกาศสร้างผลึกที่สมบูรณ์แบบ ไม่ได้พิสูจน์กระบวนการอุตสาหกรรม และไม่ได้ค้นพบเกลือชนิดใหม่

อะไรทำให้ลูกบาศก์กลายเป็นฮอปเปอร์

ผลึกโซเดียมคลอไรด์ปกติมีการจัดเรียงอะตอมเป็นลูกบาศก์ **ผลึกฮอปเปอร์** ยังคงเป็นลูกบาศก์ แต่ส่วนมุมและขอบเติบโตเร็วกว่าบริเวณกึ่งกลางของแต่ละหน้า ผลลัพธ์คือรอยเว้ากลวงเป็นขั้นบันไดบนทุกหน้า ราวกับว่าลูกบาศก์พยายามสร้างโครงก่อนแล้วค่อยเติมผนัง

ตัวอย่างจาก ISS ในภายหลังช่วยให้รูปแบบการเติบโตนี้เห็นได้ชัด แต่เป็นเพียงบริบท ไม่ใช่หลักฐานจากบทความโซเดียมคลอไรด์ทั้งสาม ภาพและวิดีโอแบบ time-lapse ของ Donald Pettit ด้านล่างแสดง **โพแทสเซียมคลอไรด์** ซึ่งเป็นเกลือคนละชนิดกำลังก่อตัวเป็นผลึกฮอปเปอร์แบบขั้นบันไดและแบบม้วนในสภาวะไมโครกราวิตี

[figure_pair pending]

ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสองภาพของผลึกฮอปเปอร์โพแทสเซียมคลอไรด์แบบม้วนที่เติบโตบน ISS ภาพภายหลังเหล่านี้เป็นตัวอย่างประกอบของสัณฐาน ไม่ใช่ตัวอย่างโซเดียมคลอไรด์หรือข้อมูลการวัดจากงานปี 2011, 2015 หรือ 2019 ที่กล่าวถึงในบทความนี้

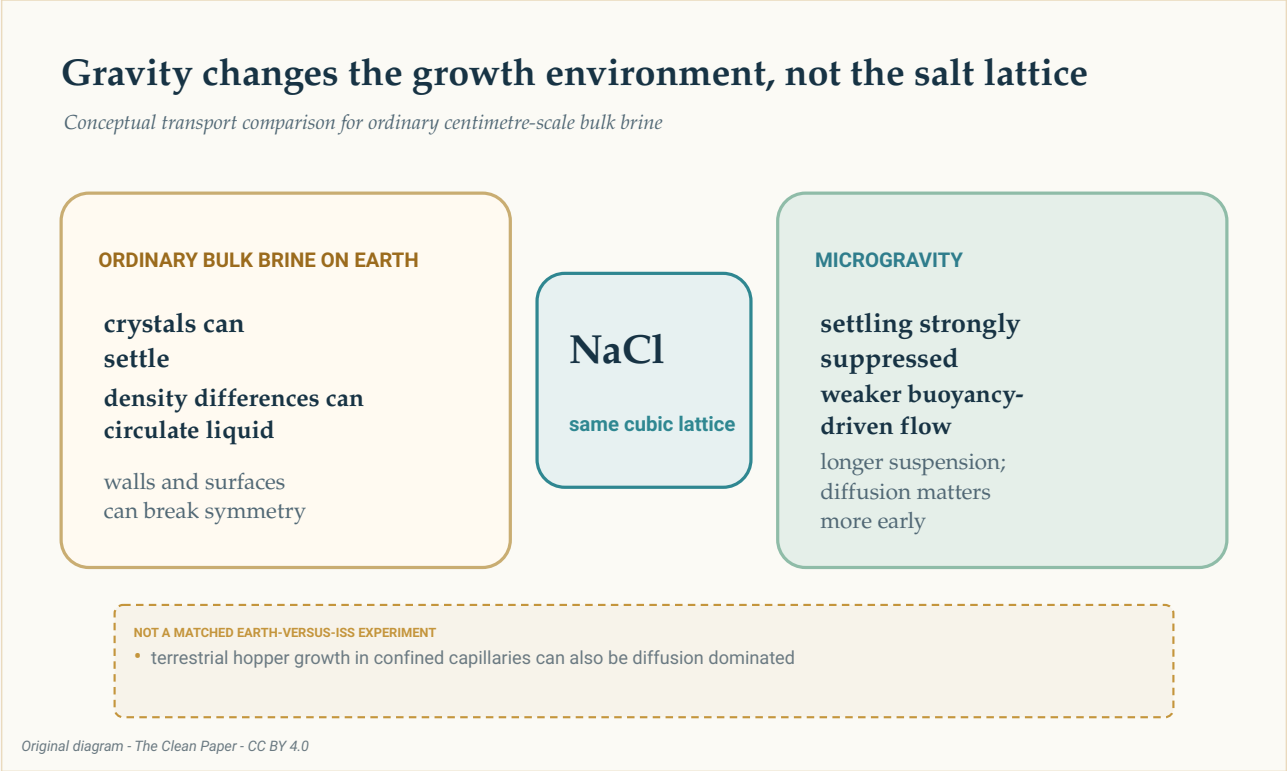
[video pending]

วิดีโอ time-lapse จากภายหลังของการเติบโตของผลึกฮอปเปอร์โพแทสเซียมคลอไรด์ภายในชั้นน้ำบาง ๆ ในไมโครกราวิตี ใช้เพื่อแสดงการเติบโตจากขอบและมุม ไม่ใช่การทดลองหรือข้อมูลโซเดียมคลอไรด์ที่วิเคราะห์ในบทความนี้

ผลึกเติบโตจาก **น้ำเกลืออิ่มตัวยิ่งยวด (supersaturated brine)**: น้ำเกลือที่มีโซเดียมคลอไรด์ละลายมากกว่าปริมาณสมดุลภายใต้เงื่อนไขนั้น ไอออนโซเดียมและคลอไรด์ต้องเดินทางผ่านของเหลวแล้วเข้ารวมกับผิวผลึก

มีวิธีขนส่งหลัก ๆ สองแบบ **การแพร่ (diffusion)** คือการเคลื่อนที่แบบสุ่มของโมเลกุลที่พาสารละลายไปตามความแตกต่างของความเข้มข้นโดยไม่ต้องมีการไหลเวียนของของเหลวทั้งก้อน ส่วน **การพา (convection)** คือการเคลื่อนที่ของของเหลวเอง ภาย

ใต้แรงโน้มถ่วงปกติ ความแตกต่างเล็กน้อยของอุณหภูมิหรือความเข้มข้นสามารถเปลี่ยนความหนาแน่นและทำให้เกิดการไหลเวียนจากแรงลอยตัว ผลึกยังสามารถ **ตกตะกอน (sediment)** หรือจมผ่านของเหลวได้



ภาพเชิงแนวคิดเปรียบเทียบโครงผลึกโซเดียมคลอไรด์เดียวกันในสองสภาพแวดล้อม น้ำเกลือปริมาตรมากบนโลกอาจมีการตกตะกอน การไหลเวียนจากแรงลอยตัว และการสัมผัสพื้นผิว ส่วนไมโครกราวิตีกดสองกระบวนการแรกลงอย่างมาก ทำให้ผลึกลอยได้นานขึ้นและการแพร่มีความสำคัญมากขึ้นในช่วงต้นของการเติบโต นี่ไม่ใช่การทดลองเปรียบเทียบโลกกับ ISS แบบจับคู่เงื่อนไข

The Clean Paper CC BY 4.0

การทดลองนี้ทำบนสถานีอวกาศนานาชาติ ซึ่งเป็นห้องทดลองไมโครกราวิตีที่โคจรรอบโลก คำว่า **ไมโครกราวิตี** ไม่ได้หมายถึงไม่มีแรงโน้มถ่วง บทความปี 2019 รายงานความเร่งตกค้างประมาณ 1.2 ในล้านของแรงโน้มถ่วงที่ผิวโลก หรือ 1.2 micro-g พร้อมกับการเคลื่อนที่เป็นวัฏจักรช้า ๆ ของของเหลว สภาพแวดล้อมนี้เปลี่ยนสมดุลของการขนส่ง แต่ไม่ได้ทำให้น้ำเกลือนิ่งสนิท

เส้นทางช้า ๆ สู่ลูกบาศก์ระดับมิลลิเมตร

งานปี 2019 มุ่งศึกษาลูกบาศก์ฮอปเปอร์ที่เติบโตเมื่อน้ำระเหยออกจากน้ำเกลือบน ISS ความยาวขอบที่รายงานอยู่ระหว่าง **2 ถึง 8 มิลลิเมตร** อัตราการเติบโตอยู่ที่ **0.34 ถึง 1.0 ไมโครเมตรต่อนาที** (ประมาณ **0.49 ถึง 1.44 มิลลิเมตรต่อวัน**) โดยมีค่าเฉลี่ย **0.68 ไมโครเมตรต่อนาที** และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.23

ที่อัตราเฉลี่ยนั้น ขอบยาว 8 มิลลิเมตรจะใช้เวลาประมาณหนึ่งสัปดาห์ในการพัฒนา การคำนวณนี้เป็นค่าประมาณ ไม่ใช่การวัด time-lapse ของทุกช่วงการเติบโตของผลึกก้อนเดียว

ผู้วิจัยประมาณค่าอีมตัวยิ่งยวดต่ำกว่า **1.002** วรรณกรรมเปรียบเทียบบนโลกที่พวกเขาอ้างถึงอธิบายการเติบโตแบบฮอปเปอร์ภายใต้ค่าอีมตัวยิ่งยวดที่สูงกว่ามาก มากกว่า 1.45 ด้วยอัตรา 10 ถึง 110 ไมโครเมตรต่อวินาทีในช่วงไม่กี่วินาทีหรือนาที และโดยทั่วไปได้ลูกบาศก์เล็กกว่า 250 ไมโครเมตร

การเปรียบเทียบนี้ให้ข้อมูล แต่ไม่ใช่การทดลองจับคู่ ผลึกจาก ISS และข้อมูลบนโลกในวรรณกรรมไม่ได้มาจากแขนทดลองโลกและวงโคจรที่ทำพร้อมกัน ภายใต้เงื่อนไขเหมือนกัน และโดยทีมเดียวกัน ภาชนะ พื้นผิวสัมผัส และวิธีการที่ต่างกันอาจมีผลควบคู่กับแรงโน้มถ่วง

ดังนั้นความแตกต่างที่แข็งแรงที่สุดจึงเป็นเชิงพรรณนา: ในการสังเกตบน ISS เหล่านี้ ลูกบาศก์ฮอปเปอร์เติบโตช้า ภายใต้ค่าอิ่มตัวยิ่งยวดต่ำ เป็นเวลาหลายวันถึงหลายสัปดาห์ และมีขนาดระดับมิลลิเมตร

ช่วงต้นการแพร่เป็นตัวหลัก; ช่วงหลังยังอาจมีการไหล

บทความปี 2019 ใช้ **เลขเพคเลต์ (Péclet number)** เพื่อเปรียบเทียบการขนส่งด้วยการเคลื่อนที่ของของเหลวกับการขนส่งด้วยการแพร่ ค่าต่ำกว่าหนึ่งหมายถึงการแพร่มีความสำคัญกว่า ส่วนค่าสูงกว่าหนึ่งหมายถึงการเคลื่อนที่ของของเหลวทั้งก้อนอาจเป็นตัวหลัก

> **เป็นอัตราส่วน ไม่ใช่สวิตช์**
>
> เลขเพคเลต์เป็นการเปรียบเทียบระหว่างอัตราการขนส่งสองแบบ มันไม่ได้แบ่งโลกออกเป็นของเหลวนิ่งสนิทเมื่อค่าต่ำกว่าหนึ่ง กับการพาล้วน ๆ เมื่อค่าสูงกว่าหนึ่ง ในที่นี้ค่าดังกล่าวเปลี่ยนไปตามขนาดผลึกและตามค่าประมาณความเร็วของน้ำเกลือโดยรอบ ผลึกที่เล็กที่สุดอยู่ในสภาวะที่การแพร่เป็นตัวหลักอย่างชัดเจน ส่วนผลึกที่ใหญ่ที่สุดในภาชนะที่ใหญ่กว่าอาจเข้าสู่ช่วงที่การเคลื่อนที่ช้า ๆ ของของเหลวมีความสำคัญ

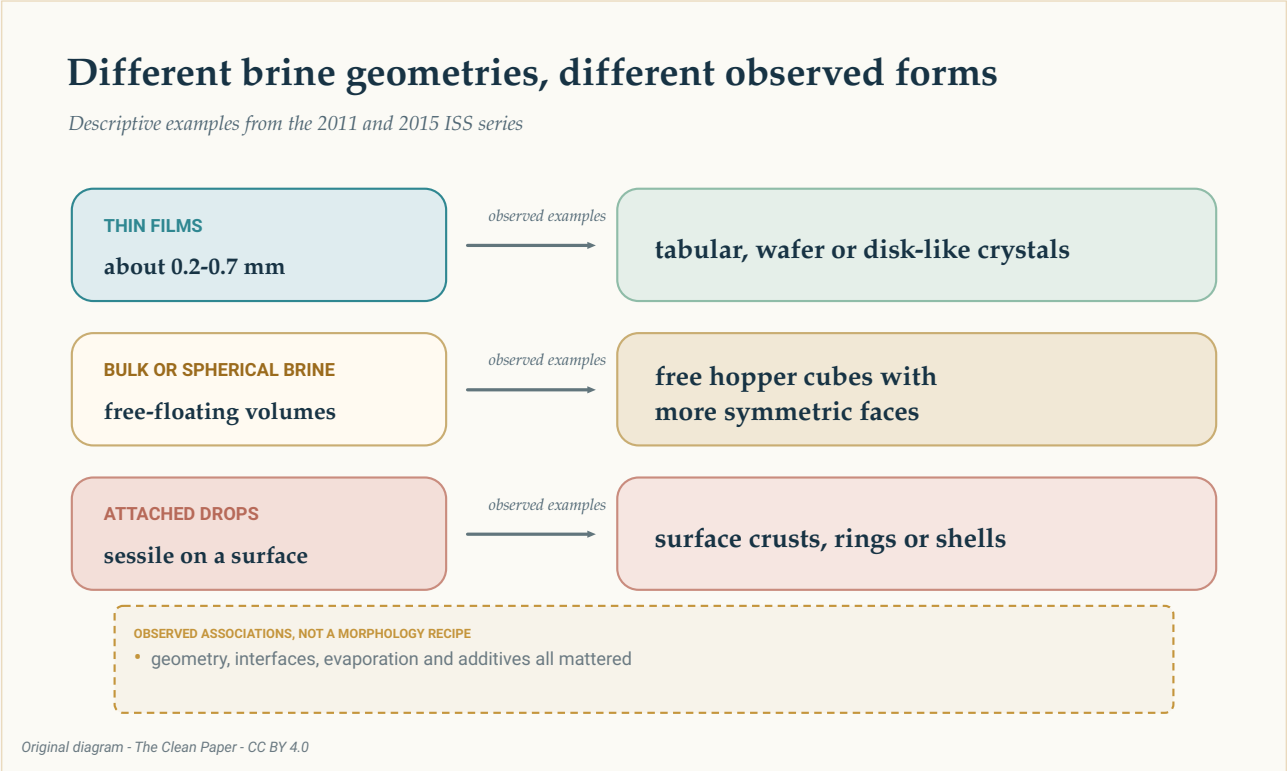
ในหยดที่เล็กกว่า ขนาดประมาณ 0.8 เซนติเมตร ค่าเพคเลต์โดยประมาณเพิ่มจากราว **0.0004** ใกล้ช่วงเริ่มเกิดนิวเคลียสเป็นประมาณ **0.03** ที่ขนาดสุดท้ายที่วัดได้ การแพร่ยังคงเป็นตัวหลัก

ในภาชนะเพาะผลึกขนาด 2 ถึง 3 เซนติเมตร ค่าประมาณเพิ่มจากราว **0.05** สำหรับนิวเคลียสขนาด 50 ไมโครเมตร เป็นประมาณ **4** สำหรับขอบยาว 4 มิลลิเมตร ช่วงต้นยังถูกครอบงำโดยการแพร่ แต่การเคลื่อนที่เป็นวัฏจักรช้า ๆ อาจมีส่วนในช่วงหลัง

นี่คือเหตุผลที่การพูดว่า “ไมโครกราวิตีกำจัดการพา” จะผิด การไหลเวียนจากแรงลอยตัวแบบปกติและการตกตะกอนถูกลดลงอย่างมาก แต่ยังมีความเร่งตกค้างและการเคลื่อนที่ที่วัดได้อยู่

รูปร่างของของเหลวก็สำคัญ

บทความปี 2011 และ บทความปี 2015 ขยายภาพให้กว้างขึ้น พวกเขารายงานการตกผลึกของเกลือในฟิล์มบาง ชั้นของเหลวที่หนากว่า ปริมาตรน้ำเกลือที่เกือบเป็นทรงกลม และหยดที่ติดกับพื้นผิว



สามแถวสรุปตัวอย่างที่สังเกตในชุดงานนี้: ฟิล์มบางที่ให้รูปทรงแผ่นหรือคล้ายจาน, น้ำเกลือปริมาตรมากหรือเกือบทรงกลมที่มีลูกบาศก์ฮอปเปอร์ลอยอิสระ และหยดที่ติดพื้นผิวซึ่งให้เปลือก วงแหวน หรือโครงคล้ายเปลือกหุ้ม ความสัมพันธ์เหล่านี้เป็นเชิงพรรณนา ไม่ใช่สูตรหรือการรับประกัน

The Clean Paper CC BY 4.0

ใน งานปี 2011 ฟิล์มบางหนาประมาณ 0.2 ถึง 0.7 มิลลิเมตรให้ผลึกแผ่นบางและผลึกทรงแผ่น ส่วนปริมาตรน้ำเกลือที่ลอยอิสระเปิดโอกาสให้ผิวด้านข้างสมมาตรมากขึ้นและเกิดลูกบาศก์ฮอปเปอร์

การสังเกตปี 2015 รวมทั้งชั้นบางหนา 0.2 ถึง 0.7 มิลลิเมตร ชั้นหนาราว 4 ถึง 6 มิลลิเมตร และหยดครึ่งทรงกลมที่ติดพื้นผิวขนาดกว้างประมาณ 20 ถึง 32 มิลลิเมตร รูปร่างที่รายงานมีทั้งฮอปเปอร์ทรงแผ่น ลูกบาศก์ ผลึกคล้ายจาน เดนไดรต์ วงแหวน และเปลือก การเติม polyethylene glycol ยับยั้งการเติบโตแบบฮอปเปอร์ในการสังเกตชุดหนึ่ง

ผู้วิจัยอธิบายงานปี 2015 ว่าเป็นการสังเกตที่ทำด้วยอุปกรณ์ซึ่งไม่ได้จัดทำบัญชีไว้ ระหว่างเวลานอกหน้าที่ของลูกเรือ ไม่ใช่โครงการสอบสวนที่มีแผนอย่างเข้มงวด ตัวอย่างเหล่านี้แสดงว่ารูปร่างของของเหลว พื้นผิวสัมผัส การระเหย และสารเติมแต่งล้วนมีผล แต่ไม่ได้กำหนดสูตรเชิงตายตัวว่าภาชนะรูปทรงหนึ่งจะรับประกันผลึกรูปร่างหนึ่ง

โครงผลึกไม่ได้กลายเป็นเกลือรูปแบบใหม่

การแยกระหว่าง **โครงสร้างผลึก** กับ **สัณฐาน (morphology)** เป็นเรื่องสำคัญ

โครงสร้างคือการจัดเรียงอะตอมที่ทำซ้ำเป็นคาบ ส่วนสัณฐานคือรูปทรงภายนอกที่มองเห็นได้ การเลี้ยวเบนนิวตรอนในบทความปี 2011 ไม่พบโครงสร้างโซเดียมคลอไรด์ที่เปลี่ยนไป หรือพารามิเตอร์ของเซลล์โครงผลึกที่ต่างจากตัวอย่างบนโลก ตัวอย่างในวงโคจรยังมี **สิ่งแทรกน้ำเกลือ (brine inclusions)** ซึ่งเป็นกระเปาะเล็ก ๆ ของสารละลายที่ถูกกักอยู่ภายในผลึก

ดังนั้นรูปลักษณ์ที่ใหญ่และสมมาตรไม่ใช่หลักฐานว่าวัสดุบริสุทธิ์กว่าหรือไร้ตำหนิ บทความทั้งสามไม่มีชิ้นใดรายงานความ

บริสุทธิ์ทางเคมีที่สูงกว่า สมบัติเชิงกลที่ดีกว่า หรือความเหมาะสมสำหรับอุปกรณ์เฉพาะ

แรงโน้มถ่วงมีผลทางอ้อม มันเปลี่ยนการตกตะกอน การไหลเวียนของของเหลว การวางตัว และการสัมผัสกับพื้นผิว ไม่ได้เปลี่ยนความแข็งแรงของพันธะโซเดียม-คลอไรด์หรือสร้างเฟสอะตอมใหม่

การทดลองเหล่านี้สอนอะไรได้และไม่ได้

บทความทั้งสามสนับสนุนคำอธิบายด้านการขนส่ง: การกดการตกตะกอนและการไหลจากแรงลอยตัวแบบปกติลงอย่างมาก ทำให้ผลึกบางส่วนแขวนลอยได้นานและเติบโตช้าในสภาพที่สมมาตรมากขึ้น ขนาด อัตรา และรูปร่างที่วัดได้เป็นการสังเกตโดยตรง ส่วนค่าอิ่มตัวยิ่งยวด ประวัติการเติบโต และเลขเพคเลต์มีองค์ประกอบจากการประมาณ และการเปรียบเทียบกับโลกอาศัยการทดลองที่ตีพิมพ์โดยกลุ่มอื่นบางส่วน

ไม่มีตัวหารรวมที่สะอาดเพียงค่าเดียวสำหรับชุดงานนี้ เพราะมันรวมผลึกเดี่ยว ภาชนะเพาะผลึก และตัวอย่างที่คัดเลือกจากบทความสามชิ้น การรวมทั้งหมดเป็นจำนวนเดียวจะทำให้ดูเหมือนเป็นการทดลองมาตรฐานชุดเดียว ทั้งที่ไม่ใช่

งานเหล่านี้ยังไม่รายงานหลักฐานที่จำเป็นต่อการอ้างด้านการผลิต ไม่ได้วัดอัตราการผลิต ต้นทุนการผลิต พลังงาน ผลผลิต ความน่าเชื่อถือ หรือสมรรถนะวัสดุที่ใช้งานได้ ชุดงานปี 2015 เป็นเชิงสำรวจ การเปรียบเทียบบนโลกไม่ใช่กลุ่มควบคุมที่จับคู่เงื่อนไขและการที่ผลึกใหญ่หรือดูโดดเด่นไม่ได้แปลว่าดีกว่าสำหรับการใช้งาน

แหล่งเกลือธรรมชาติสามารถมีลูกบาศก์ฮอปเปอร์ขนาดเป็นเซนติเมตร บางครั้งแขวนอยู่ในโคลนที่อิ่มน้ำเกลือ บทความปี 2019 เสนอความคล้ายคลึงที่เป็นไปได้กับการเติบโตช้าโดยมีการแพร่เป็นตัวหลัก นี่เป็นการเปรียบเทียบที่น่าสนใจ ไม่ใช่หลักฐานว่าฮอปเปอร์ตามธรรมชาติและในวงโคจรเกิดจากกลไกเดียวกัน

สรุป

ผลึกเกลือที่เติบโตจากน้ำเกลือระเหยบนสถานีอวกาศนานาชาติรวมถึงลูกบาศก์ฮอปเปอร์กลวงเป็นขั้นบันไดขนาด 2 ถึง 8 มิลลิเมตร บทความทั้งสามสนับสนุนคำอธิบายด้านการขนส่ง: ไมโครกราวิตีกดการตกตะกอนตามปกติและการไหลจากแรงลอยตัวลงอย่างมาก ทำให้ผลึกเติบโตช้าและแขวนลอยได้นานขึ้น ขณะที่ช่วงต้นมีการแพร่เป็นตัวหลัก รูปร่างของของเหลว พื้นผิวสัมผัส การระเหย และสารเติมแต่งก็มีผลต่อสัณฐาน การเลี้ยวเบนนิวตรอนไม่พบโครงสร้างโซเดียมคลอไรด์แบบใหม่ และยังพบสิ่งแทรกน้ำเกลือ งานนี้เป็นกรณีศึกษาด้านวัสดุศาสตร์ที่มีขอบเขตจำกัด ไม่ใช่หลักฐานว่าอวกาศสร้างผลึกสมบูรณ์แบบหรือเปิดทางสู่อุตสาหกรรมการผลิต

ประเมินแบบไม่เกินจริง

บทความแสดงอะไร: ลูกบาศก์ฮอปเปอร์โซเดียมคลอไรด์ระดับมิลลิเมตรและสัณฐานอื่น ๆ เติบโตในน้ำเกลือรูปทรงหลายแบบบน ISS ลูกบาศก์ฮอปเปอร์ในงานปี 2019 เติบโตช้าที่ค่าอิ่มตัวยิ่งยวดโดยประมาณต่ำ โดยช่วงต้นมีการแพร่เป็นตัวหลัก

อะไรเป็นการตีความ: การลดการตกตะกอนและการไหลจากแรงลอยตัวอย่างมากทำให้ผลึกแขวนลอยได้นานขึ้นและเติบโตอย่างสมมาตรมากขึ้น การเคลื่อนที่ช้า ๆ ของของเหลวอาจมีผลในช่วงท้ายของภาชนะเพาะผลึกที่ใหญ่กว่า

มันไม่ได้แสดงอะไร: ไม่ได้แสดงเกลือในรูปอะตอมใหม่ ผลึกที่บริสุทธิ์กว่าหรือไร้ตำหนิ การทดลองเปรียบเทียบโลกกับ ISS

แบบจับคู่ ข้อได้เปรียบสากลของไมโครกราวิตี หรือเส้นทางสู่การผลิตเชิงพาณิชย์

ข้อจำกัดหลัก: งานสามชิ้นที่แยกกัน มีรูปทรงของเหลวและตัวอย่างคัดเลือกต่างกัน; การเปรียบเทียบบนโลกข้ามการศึกษา; ปริมาณด้านการขนส่งบางส่วนเป็นค่าประมาณ; บางส่วนของชุดข้อมูลเป็นงานสำรวจที่ไม่ได้จัดทำเป็นโครงการเต็มรูปแบบ; และไม่มีเศรษฐศาสตร์กระบวนการหรือการทดสอบสมรรถนะ

ผู้อ่านทั่วไปควรมั่นใจแค่ไหน? มั่นใจสูงว่าสัณฐานในวงโคจรและการเติบโตช้าที่รายงานเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นจริง มั่นใจปานกลางว่าคำอธิบายด้านการขนส่งเป็นคำอธิบายที่ดีที่สุดเมื่อพิจารณาการสังเกตร่วมกัน และมั่นใจต่ำมากต่อคำอ้างใดที่ขยายการทดลองเกลือเหล่านี้ไปเป็นคำสัญญาทั่วไปเกี่ยวกับการผลิตในอวกาศ

แหล่งข้อมูล

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