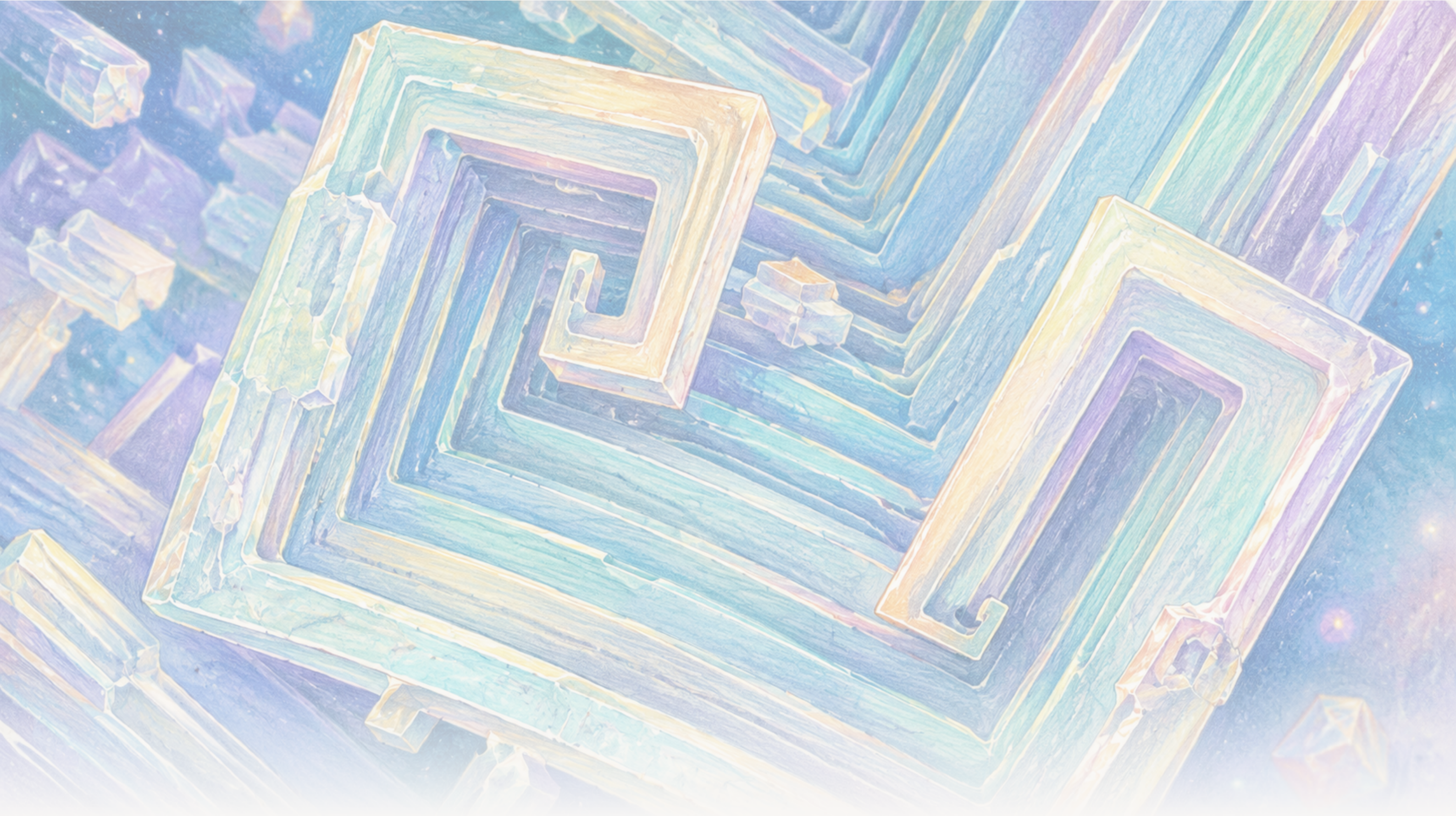


The CLEAN PAPER

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

በምህዋር ላይ የጠረጴዛ ጨው ባዶ ኩቦችን አበቀለ። ግራቪቲ የጨው ውሃውን ቀየረ፣ ጨዉን አይደለም

በInternational Space Station ላይ ያደጉ sodium chloride ክሪስታሎች ከ2 እስከ 8 ሚሊሜትር የሚደርሱ ባዶ፣ ደረጃ-ደረጃ ኩቦችን አካትተዋል። ወረቀቶቹ የመጓጓዣ ማብራሪያን ይደግፋሉ፤ የተለመደ መስመጥና በተንሳፋፊነት የሚነሳ ፍሰት በጣም ተገድበው ነበር፣ diffusionም በመጀመሪያ እድገት ዋና ነበር። Lattice-ው አዲስ ዓይነት ጨው አልሆነም፣ ሙከራዎቹም የኢንዱስትሪ ሂደት አያረጋግጡም።

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

በምህዋር ላይ የተለመደው የጠረጴዛ ጨው ባዶ እና ደረጃ-ደረጃ የሆኑ ኩቦችን አበቀለ

ክሪስታሎቹ እንደ ሕንፃ ዲዛይን ይመስሉ ነበር፤ ካሬ ፍሬሞች በካሬ ፍሬሞች ውስጥ ተደርድረው፣ ፊቶቻቸው ወደ ውስጥ በደረጃ ቅርጽ ተቦርተው ነበር።

እነሱ ከተለመደው sodium chloride የተሠሩ ነበሩ፣ ማለትም ከጠረጴዛ ጨው ጋር ተመሳሳይ ውህድ። ያልተለመደው ነገር ቁሱ አልነበረም፤ በዙሪያው ያለው የጨው ውሃ ነበር።

በምድር ላይ፣ በሴንቲሜትር መጠን ያለ ፈሳሽ ውስጥ የሚያድግ ክሪስታል ሊሰምጥ፣ ግድግዳ ወይም ሌላ ወለል ሊነካ፣ እና መፍትሄውን የሚያንቀሳቅሱ የጥግግት ልዩነቶችን እንዲፈጠሩ ሊያግዝ ይችላል። በInternational ጠፈር Station ላይ ግን የተለመደ መስመጥና በተንሳፋፊነት የሚነሳ ፍሰት በጣም ተገድበው ነበር። አንዳንድ የጨው ክሪስታሎች በፈሳሹ ውስጥ ተንጠልጥለው ረዘም ያለ ጊዜ ቆዩ፣ በዝግታና ይበልጥ በሲሜትሪ በመድገም ጠርዞቻቸው ከ2 እስከ 8 ሚሊሜትር የሚደርሱ hopper cubes ሆኑ።

በ2011፣ 2015 እና 2019 የታተሙ ሶስት ወረቀቶች እነዚህን ሙከራዎች ይገልጻሉ። በአንድነት ሲታዩ፣ በመጓጓዣ ፊዚክስ ላይ ግልጽ ትምህርት ይሰጣሉ፤ በፈሳሽ ውስጥ የተሟሟ ቁስ ወደ ክሪስታል እንዴት እንደሚደርስ መቀየር፣ የአቶማዊ አወቃቀሩን ሳይቀይር የሚታየውን ቅርጽ ሊቀይር ይችላል።

ወረቀቶቹ ጠፈር ፍጹም ክሪስታሎችን እንደሚፈጥር አያሳዩም፣ የኢንዱስትሪ ሂደት አያረጋግጡም፣ አዲስ ዓይነት ጨውም አያሳዩም።

አንድ ኩብን hopper የሚያደርገው ምንድን ነው?

የተለመደ sodium chloride ክሪስታል ኩባዊ የአቶም አወቃቀር አለው። Hopper crystal አሁንም ኩባዊ ነው፣ ነገር ግን ጠርዞቹና ማዕዘኖቹ ከፊቶቹ መሃል በፊት ያድጋሉ። ውጤቱ፣ ኩቡ ግድግዳዎቹን ከመሙላቱ በፊት ፍሬሙን ለመገንባት እንደሞከረ ያለ፣ በእያንዳንዱ ፊት ላይ ባዶ እና ደረጃ-ደረጃ የሆነ ጉድጓድ ነው።

በኋላ በISS ላይ የተነሳ አንድ ምሳሌ ይህን የእድገት ቅርጽ በግልጽ ያሳያል፣ ነገር ግን ከሶስቱ sodium-chloride ወረቀቶች የመጣ ማስረጃ ሳይሆን አውድ ብቻ ነው። ከታች ያሉት የDonald Pettit ምስልና ታይም-ላፕስ potassium chloride፣ ማለትም ሌላ ዓይነት ጨው፣ በማይክሮግራቪቲ ውስጥ ደረጃ-ደረጃ hopper እና scroll ቅርጾችን ሲፈጥር ያሳያሉ።

[figure_pair pending]

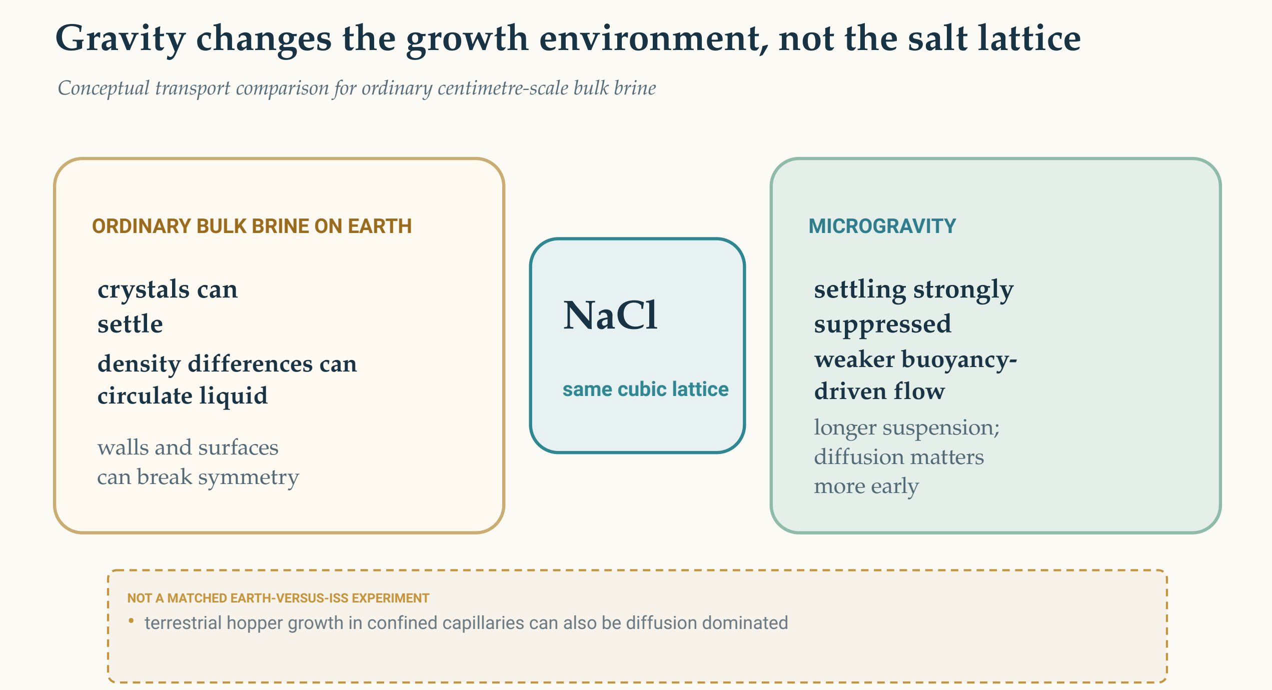
በISS ላይ ያደጉ potassium chloride scroll-form hopper ክሪስታሎችን የሚያሳዩ ሁለት የscanning ኤሌክትሮን microscope ምስሎች። እነዚህ በኋላ የተነሱ ምስሎች ቅርጹን ለማብራራት የቀረቡ አውዳዊ ምሳሌዎች ናቸው፤ በዚህ ጽሑፍ የሚወያዩት የ2011፣ 2015 ወይም 2019 ጥናቶች የsodium-chloride ናሙናዎች ወይም ልኬቶች አይደሉም።

[video pending]

በማይክሮግራቪቲ ውስጥ በቀጭን የውሃ ፊልም ውስጥ potassium chloride hopper ሲያድግ የሚያሳይ በኋላ የተሠራ ታይም-ላፕስ። የጠርዝና የማዕዘን እድገትን ያሳያል፣ በዚህ ጽሑፍ የተተነተኑትን የsodium-chloride ሙከራዎች ወይም መረጃዎችን አይደለም።

ክሪስታሎች ከከመጠን በላይ የተሟሟ ጨው ያለበት ውሃ (supersaturated brine) ያድጋሉ፤ ይህም በእነዚያ ሁኔታዎች በሚዛናዊ ሁኔታ ሊይዘው ከሚችለው በላይ sodium chloride የተሟሟበት የጨው ውሃ ነው። የsodium እና chloride አዮኖች በፈሳሹ ውስጥ ተንቀሳቅሰው ወደ ክሪስታሉ ወለል መድረስና መቀላቀል አለባቸው።

በሰፊው ሲታይ እነሱን ለማንቀሳቀስ ሁለት መንገዶች አሉ። ዲፊውዥን በሞለኪውሎች የዘፈቀደ እንቅስቃሴ በኩል፣ የፈሳሹ ጠቅላላ ዝውውር ሳያስፈልግ፣ የተሟሟ ቁስን ከከፍተኛ ክምችት ወደ ዝቅተኛ ክምችት ያንቀሳቅሳል። Convection ደግሞ የፈሳሹ ራሱ እንቅስቃሴ ነው። በተለመደ ግራቪቲ ስር፣ በሙቀት ወይም በክምችት ያሉ ትንሽ ልዩነቶች ጥግግትን ሊቀይሩ እና በተንሳፋፊነት የሚነሳ ዝውውር ሊፈጥሩ ይችላሉ። ክሪስታሎች እንዲሁም sediment ሊሆኑ፣ ማለትም በፈሳሹ ውስጥ ወደ ታች ሊሰምጡ ይችላሉ።



Original diagram - The Clean Paper - CC BY 4.0

የፅንሰ-ሐሳብ ንጽጽሩ በሁለቱም አካባቢዎች ተመሳሳይ sodium chloride lattice ያሳያል። በምድር ላይ ያለ የተለመደ ትልቅ የጨው ውሃ መጠን መስመጥ፣ በተንሳፋፊነት የሚነሳ ዝውውርና ከወለል ጋር ግንኙነት ሊኖረው ይችላል፤ ማይክሮግራቪቲ የመጀመሪያዎቹን ሁለት በጣም ይገድባል፣ ረዘም ያለ መንጠልጠልን ያስችላል እና ዲፊውዥንን በመጀመሪያ የእድገት ደረጃ ይበልጥ አስፈላጊ ያደርገዋል። ይህ በተመሳሳይ ሁኔታ የተካሄደ Earth-versus-ISS ሙከራ አልነበረም።

The Clean Paper CC BY 4.0

ሙከራው በInternational ጠፈር Station፣ በምህዋር ላይ ባለ የማይክሮግራቪቲ ላቦራቶሪ፣ ተካሂዷል። Microgravity የሚለው ቃል ግራቪቲ የለም ማለት አይደለም። የ2019 ወረቀቱ የቀረ ፍጥነት በምድር ወለል ግራቪቲ በግምት 1.2 ሚሊዮንኛ ክፍል፣ ወይም 1.2 micro-g፣ እንደነበር እና ዝግ የሚዞር የፈሳሽ እንቅስቃሴም እንደነበር ሪፖርት አድርጓል። አካባቢው የመጓጓዣ ሚዛኑን ቀየረ፤ የጨው ውሃውን ፍጹም የማይንቀሳቀስ አላደረገውም።

ወደ ሚሊሜትር መጠን ያሉ ኩቦች የሚወስድ ዝግ መንገድ

የ2019 ጥናቱ በISS ላይ ውሃ ከጨው ውሃ ሲተን hopper cubes እንዴት እንዳደጉ ላይ አተኩሯል። የተለኩ የኩብ ጠርዞች ከ2 እስከ 8 ሚሊሜትር ነበሩ። የእድገት ፍጥነቶች በደቂቃ ከ0.34 እስከ 1.0 ማይክሮሜትር (በቀን ከ0.49 እስከ 1.44 ሚሊሜትር ገደማ) ነበሩ፤ አማካዩ በደቂቃ 0.68 ማይክሮሜትር እና መደበኛ deviation 0.23 ነበር።

በዚያ አማካይ ፍጥነት፣ 8-ሚሊሜትር ጠርዝ ለመፈጠር በግምት አንድ ሳምንት ይወስዳል። ይህ ስሌት ግምት ነው፤ የአንድ ክሪስታል እያንዳንዱን የእድገት ደረጃ የሚያሳይ ታይም-ላፕስ መለኪያ አይደለም።

ደራሲዎቹ supersaturation ከ1.002 በታች እንደነበር ገመቱ። የጠቀሱት የምድር ላይ ንጽጽር ጽሑፎች፣ ከ1.45 በላይ በሆነ በጣም ከፍተኛ supersaturation እና በሰከንድ ከ10 እስከ 110 ማይክሮሜትር ፍጥነት ለሰከንዶች ወይም ደቂቃዎች የሚቆይ hopper እድገትን ይገልጻሉ፤ ብዙውን ጊዜም ከ250 ማይክሮሜትር በታች የሆኑ ኩቦችን ያመርታሉ።

ይህ ንጽጽር ጠቃሚ ነው ነገር ግን በተመሳሳይ ሁኔታ የተደረገ አይደለም። የISS ክሪስታሎችና የምድር ላይ ጽሑፎች በአንድ ቡድን፣ በአንድ ጊዜ፣ በተመሳሳይ የምድርና የምህዋር ሙከራዎች የተገኙ አይደሉም። ከግራቪቲ በተጨማሪ የተለያዩ መያዣዎች፣ ድንበሮችና ዘዴዎች ልዩነት ሊያመጡ ይችላሉ።

ስለዚህ ጠንካራው ንጽጽር ገላጭ ነው፤ በእነዚህ የISS ምልከታዎች፣ hopper cubes በዝቅተኛ supersaturation በዝግታ፣ ለቀናት እስከ ሳምንታት ድረስ አደጉ እና ሚሊሜትር መጠን ደረሱ።

በመጀመሪያ ዲፊውዥን ዋና ነበር፤ በኋላ ግን ፍሰት አሁንም ሊኖር ይችላል

የ2019 ወረቀቱ Peclet ቁጥር ተጠቅሞ በፈሳሽ እንቅስቃሴ የሚከናወነውን መጓጓዣ ከዲፊውዥን ጋር አነጻጸረ። ከአንድ በታች ያለ እሴት ዲፊውዥን ይበልጥ አስፈላጊ መሆኑን ያሳያል፤ ከአንድ በላይ ያለ እሴት ደግሞ የፈሳሹ ጠቅላላ እንቅስቃሴ ዋና ሊሆን እንደሚችል ያሳያል።

> **ሬሾ ነው፣ ስዊች አይደለም**
>
> Peclet ቁጥር በሁለት የመጓጓዣ ፍጥነቶች መካከል ያለ ንጽጽር ነው። ከአንድ በታች ፈሳሹ ፍጹም የማይንቀሳቀስ እና ከአንድ በላይ ደግሞ ንጹሕ convection ብቻ እንዳለ ዓለምን ለሁለት አይከፍልም። እዚህ እሴቱ ከክሪስታሉ መጠንና በዙሪያው ላለው የጨው ውሃ ከተጠቀመው የፍጥነት ግምት ጋር ተቀየረ። ትንሹ ክሪስታሎች በግልጽ ዲፊውዥን-dominated ሁኔታ ውስጥ ነበሩ፤ በትልቁ መያዣ ውስጥ ያለው ትልቁ ክሪስታል ግን ዝግ የፈሳሽ እንቅስቃሴ ተጽዕኖ ወዳለው ሁኔታ ሊገባ ይችል ነበር።

በትንሹ፣ በግምት 0.8-ሴንቲሜትር ጠብታዎች፣ የተገመቱ Peclet እሴቶች በnucleation አካባቢ 0.0004 ገደማ ከነበሩበት ወደ መጨረሻው የተለካ መጠን 0.03 ገደማ ከፍ አሉ። ዲፊውዥን ዋና ሆኖ ቀጠለ።

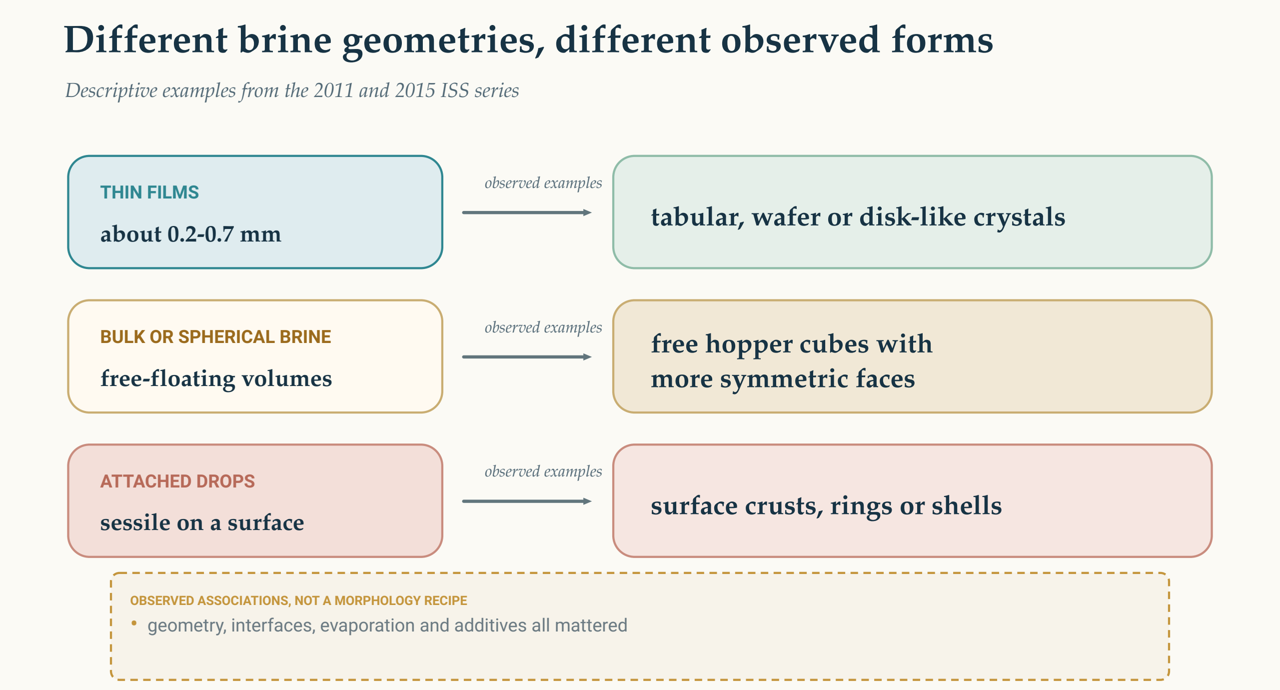
በ2 እስከ 3 ሴንቲሜትር መጠን ባላቸው crystallizers ውስጥ፣ ግምቱ ለ50-ማይክሮሜትር nucleus 0.05 ገደማ ከነበረበት ለ4-ሚሊሜትር ጠርዝ 4 ገደማ ደረሰ። የመጀመሪያ እድገት አሁንም ዲፊውዥን-dominated ነበር፤ ነገር ግን ዝግ የሚዞር እንቅስቃሴ በኋላ ሊያግዝ ይችላል።

ለዚህ ነው “ማይክሮግራቪቲ convectionን አስወገደ” ማለት ስህተት የሚሆነው። የተለመደ በተንሳፋፊነት የሚነሳ

ዝውውርና መስመጥ በጣም ተቀንሰው ነበር፤ ነገር ግን የቀረ ፍጥነትና ሊለካ የሚችል እንቅስቃሴ ነበሩ።

የፈሳሹ ቅርጽም አስፈላጊ ነበር

የ2011 ወረቀቱ እና የ2015 ወረቀቱ ምስሉን አስፋፉት። በቀጭን ፊልሞች፣ በወፍራም የፈሳሽ ንብርብሮች፣ በኳስ የሚመስሉ የጨው ውሃ መጠኖችና በወለል ላይ ተጣብቀው ባሉ ጠብታዎች ውስጥ የጨው ክሪስታል መፈጠርን ሪፖርት አደረጉ።



Original diagram - The Clean Paper - CC BY 4.0

ሶስት ረድፎች በጥናቶቹ ሁሉ የታዩ ምሳሌዎችን ያጠቃልላሉ፤ ቀጭን ፊልሞች ከሰሌዳ-ወይም ዲስክ-መሰል ቅርጾች ጋር፣ ትልቅ ወይም ኳስ-መሰል የጨው ውሃ ከነጻ hopper cubes ጋር፣ እና ተጣብቀው ያሉ ጠብታዎች ከቅርፊት፣ ቀለበት ወይም ቅርፊታማ ቅርጾች ጋር። እነዚህ ገላጭ ግንኙነቶች ናቸው፣ የማይሳሳት የአሰራር መመሪያ ወይም ዋስትና አይደሉም።

The Clean Paper CC BY 4.0

በ2011 ጥናቱ፣ በግምት 0.2 እስከ 0.7 ሚሊሜትር ወፍራም የሆኑ ቀጭን ፊልሞች ቀጭን ዋፈርና ሰሌዳ-መሰል ክሪስታሎችን አመነጩ። ነጻ የሚንሳፈፉ የጨው ውሃ መጠኖች ይበልጥ ሲሜትሪ ያላቸው የጎን ፊቶችና hopper cubes እንዲፈጠሩ ፈቀዱ።

የ2015 ምልከታዎች 0.2 እስከ 0.7 ሚሊሜትር ወፍራም ቀጭን ሰሌዳዎች፣ 4 እስከ 6 ሚሊሜትር ገደማ ወፍራም ንብርብሮች፣ እና በግምት 20 እስከ 32 ሚሊሜትር ስፋት ያላቸው ተጣብቀው ያሉ ግማሽ-ኳስ ጠብታዎችን አካትተዋል። የተለያዩ ቅርጾች ሰሌዳ-መሰል hoppers፣ ኩቦች፣ ዲስክ-መሰል ክሪስታሎች፣ dendrites፣ ቀለበቶችና ቅርፊቶችን አካትተዋል። Polyethylene glycol መጨመር በአንድ የምልከታ ስብስብ ውስጥ hopper እድገትን ገደበ።

ደራሲዎቹ የ2015 ሥራውን በሰራተኞቹ ከሥራ ውጭ ጊዜ በማይመዘገቡ አቅርቦቶች የተደረጉ ምልከታዎች እንጂ ጠንካራ ፕሮግራማዊ ምርመራ እንዳልነበረ ገልጸዋል። ምሳሌዎቹ የፈሳሽ ጂኦሜትሪ፣ የድንበር ወለሎች፣ እንፋሎት

መሆንና ተጨማሪ ንጥረ ነገሮች ሁሉ አስፈላጊ መሆናቸውን ያሳያሉ። አንድ የመያዣ ቅርጽ አንድ የክሪስታል ቅርጽን እንደሚያረጋግጥ የማይሳሳት መመሪያ አይሰጡም።

Lattice-ው አዲስ ዓይነት ጨው አልሆነም

በክሪስታል አወቃቀር እና morphology መካከል ያለውን ልዩነት መረዳት ወሳኝ ነው።

አወቃቀር የሚደጋገመው የአቶም አደረጃጀት ነው። Morphology ደግሞ ከውጭ የሚታየው ቅርጽ ነው። በ2011 ወረቀት የተደረገው neutron diffraction ከምድር ላይ ናሙናዎች ጋር ሲነጻጸር የsodium chloride አወቃቀር ወይም የlattice-ሴል መጠኖች እንደተቀየሩ አላሳየም። የምህዋር ናሙናዎቹ እንዲሁም **የጨው ውሃ እስር** (brine inclusions)፣ በክሪስታሉ ውስጥ የተያዙ ትንሽ የፈሳሽ ኪሶች፣ ነበሯቸው።

ስለዚህ ትልቅና ሲሜትሪ ያለው መልክ ክሪስታሎቹ ይበልጥ ንጹህ ወይም ከጉድለት ነጻ መሆናቸውን አያሳይም። በጥናቱ ስብስብ ውስጥ ያለ ምንም ወረቀት ከፍተኛ ኬሚካላዊ ንጽህና፣ የተሻለ ሜካኒካዊ አፈጻጸም ወይም ለተወሰነ መሣሪያ ተስማሚነት አላሳየም።

ግራቪቲ በተዘዋዋሪ ተጽዕኖ አደረገ። መስመጥን፣ የፈሳሽ ዝውውርን፣ አቅጣጫንና ከወለል ጋር ግንኙነትን ቀየረ። የsodium-chloride ቦንዶችን ጥንካሬ አልቀየረም፣ አዲስ የአቶም ፌዝም አልፈጠረም።

እነዚህ ሙከራዎች ምን ሊያስተምሩን ይችላሉ፣ ምንስ አይችሉም?

ወረቀቶቹ የመጓጓዣ ማብራሪያን ይደግፋሉ፤ የተለመደ መስመጥና በተንሳፋፊነት የሚነሳ ፍሰትን በጣም መገደብ አንዳንድ ክሪስታሎች ተንጠልጥለው እንዲቆዩ እና በይበልጥ ሲሜትሪ ሁኔታ በዝግታ እንዲያድጉ አስችሏል። የተለኩ መጠኖች፣ ፍጥነቶችና ቅርጾች ቀጥተኛ ምልከታዎች ናቸው፤ supersaturation፣ የእድገት ታሪክና Peclet እሴቶች ግምቶችን ያካትታሉ፤ ከምድር ጋር የተደረገው ንጽጽርም በከፊል በሌሎች የታተሙ ሙከራዎች ላይ ይመሰረታል።

ለጥናቱ ስብስብ አንድ ቀላል ጠቅላላ መቁጠሪያ የለም። በሶስት ወረቀቶች ላይ ያሉ ነጠላ ክሪስታሎችን፣ crystallizersን እና የተመረጡ ምሳሌዎችን ያጣምራል። ሁሉን ወደ አንድ ጠቅላላ ቁጥር መደመር በእውነት ያልነበረ አንድ ወጥ ሙከራ እንዳለ ያስመስላል።

ጥናቶቹ የማምረቻ ጥያቄ ለማቅረብ የሚያስፈልገውን ማስረጃም አይሰጡም። Throughput፣ የምርት ወጪ፣ የኃይል አጠቃቀም፣ ምርት፣ አስተማማኝነት ወይም ጠቃሚ የቁስ አፈጻጸም አልለኩም። የ2015 ተከታታይ ሙከራ አሰሳዊ ነበር። የምድር ላይ ንጽጽሮቹ ተመሳሳይ መቆጣጠሪያ አልነበሩም። እና ትልቅ ወይም ዓይን የሚስብ መሆን ለአንድ አጠቃቀም የተሻለ መሆን አይደለም።

ተፈጥሯዊ የጨው ክምችቶች በሴንቲሜትር የሚለኩ hopper cubes ሊይዙ ይችላሉ፣ አንዳንድ ጊዜም በጨው ውሃ በረጠበ ጭቃ ውስጥ ተንጠልጥለው ይገኛሉ። የ2019 ወረቀቱ ከዝግ፣ ዲፊውዥን-dominated እድገት ጋር ሊኖር የሚችል ተመሳሳይነት ይጠቁማል። ይህ አስደሳች ንጽጽር ነው፣ የተፈጥሮና የምህዋር hoppers አንድ ዘዴ እንዳላቸው ማስረጃ አይደለም።

ንጹህ ማጠቃለያ

በInternational ጠፈር Station ላይ ከሚተን የጨው ውሃ ያደጉ የጨው ክሪስታሎች ከ2 እስከ 8 ሚሊሜትር የሚደርሱ ባዶ፣ ደረጃ-ደረጃ hopper cubes አካትተዋል። ወረቀቶቹ በመጓጓዣ ላይ የተመሰረተ ማብራሪያን ይደግፋሉ፤ ማይክሮግራቪቲ የተለመደ መስመጥና በተንሳፋፊነት የሚነሳ ፍሰትን በጣም በመገደብ፣ ዲፊውዥን በመጀመሪያ ዋና ሲሆን ቀስ ያለ እድገትንና ረዘም ያለ መንጠልጠልን አስችሏል። የፈሳሽ ጂኦሜትሪ፣ ድንበሮች፣ እንፋሎት መሆንና ተጨማሪ ንጥረ ነገሮችም morphologyን ቀይረዋል። Neutron diffraction አዲስ የsodium chloride አወቃቀር አላሳየም፣ የጨው ውሃ እስሮችም ቀርተዋል። ሥራው በግልጽ የተገደበ የmaterials science ጥናት ነው፣ ጠፈር ፍጹም ክሪስታሎችን እንደሚፈጥር ወይም የኢንዱስትሪ ሂደትን እንደሚያስችል ማስረጃ አይደለም።

ያለ ማጋነን ፍተሻ

ወረቀቶቹ የሚያሳዩት፡- በተለያዩ የISS የጨው ውሃ ጂኦሜትሪዎች ውስጥ ሚሊሜትር-መጠን ያላቸው sodium chloride hopper cubes እና ሌሎች ቅርጾች አደጉ። የ2019 hopper cubes በዝቅተኛ የተገመተ supersaturation በዝግታ አደጉ፣ ዲፊውዥንም በመጀመሪያ ዋና ነበር።

የተተረጎመው፡- በጣም የተቀነሰ መስመጥና በተንሳፋፊነት የሚነሳ ፍሰት ረዘም ያለ መንጠልጠልንና ይበልጥ ሲሜትሪ ያለ እድገትን አስችለዋል። በትልቁ crystallizer ውስጥ ዝግ የፈሳሽ እንቅስቃሴ በኋለኛው ደረጃ ተጽዕኖ አድርጎ ሊሆን ይችላል።

የማያሳዩት፡- አዲስ የጨው አቶማዊ ቅርጽ፣ ይበልጥ ንጹህ ወይም ከጉድለት ነጻ ክሪስታሎች፣ በተመሳሳይ ሁኔታ የተካሄደ Earth-versus-ISS ሙከራ፣ የማይክሮግራቪቲ ሁለንተናዊ ጥቅም ወይም የንግድ ማምረቻ መንገድ።

ዋና ገደቦች፡- በተለያዩ ጂኦሜትሪዎችና የተመረጡ ምሳሌዎች ያሉ ሶስት የተለያዩ ጥናቶች፤ ከጥናት ወደ ጥናት የተደረጉ የምድር ላይ ንጽጽሮች፤ የተገመቱ የመጓጓዣ መጠኖች፤ አሰሳዊና ፕሮግራማዊ ያልሆኑ የጥናቱ ክፍሎች፤ እና የሂደት ኢኮኖሚክስ ወይም የአፈጻጸም ፈተና አለመኖር።

አጠቃላይ አንባቢ ምን ያህል እምነት ሊኖረው ይገባል? በምህዋር ላይ የተለኩት ቅርጾችና ዝግ እድገት እውነተኛ መሆናቸው ላይ ከፍተኛ እምነት። የመጓጓዣ ማብራሪያው ሁሉንም ምልከታዎች ለማብራራት ምርጥ መንገድ መሆኑ ላይ መጠነኛ እምነት። እነዚህን የጨው ሙከራዎች ወደ ጠፈር ማምረቻ አጠቃላይ ተስፋ በሚቀይር ማንኛውም ጥያቄ ላይ በጣም ዝቅተኛ እምነት።

ምንጮች

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