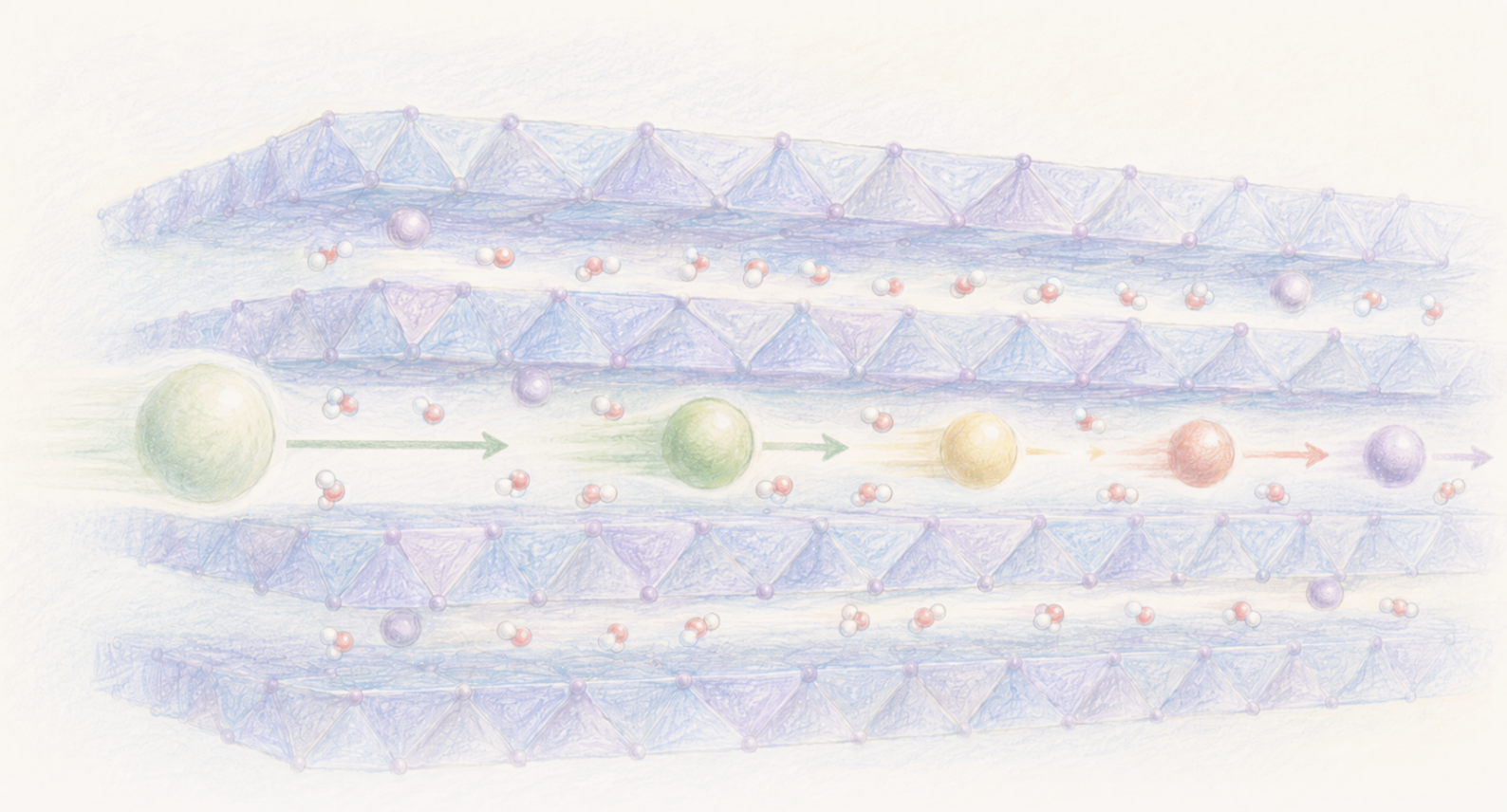


The Clean Paper

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

በውሃ የተሞላ የማዕድን ቻናልን በቦታው ማቆየት ተመሳሳይ የብርቅዬ ምድር አየኖችን ለመለየት ረድቷል

ማግኒዥየም በውሃ የተያዘውን የማንጋኒዝ ኦክሳይድ ክፍተት ከላንታናይድ አየን የውሃ ሼል ስፋት አጠገብ እንዲቆይ አድርጎ፣ በላቦራቶሪ ሙከራዎች የተወሰኑ ጥንድ-ተኮር ማበልጸጎችን አሻሽሏል። የታየው ሥራ ሚሊሊትሮች ፈሳሽ እና ሚሊግራሞች ቁስ ተጠቅሟል፤ የፍሰት አሠራር፣ ረጅም የዑደት ዕድሜ እና የንግድ የአካባቢ አፈጻጸም አሁንም አልተረጋገጡም።

Written by Laura Nesso · Cross-checked by Cinzia Vaglio · Edited by Michele Renda · Figures by Laura Nesso and Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

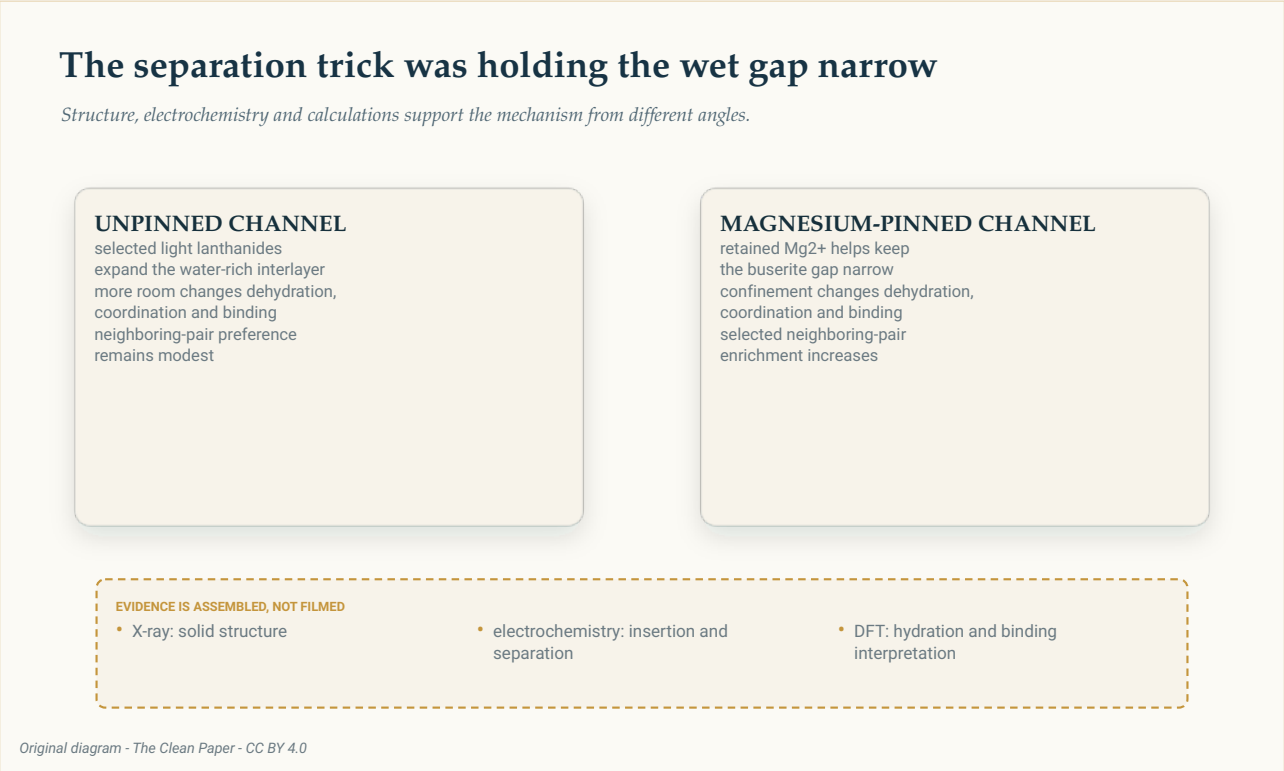
Paper: *Pinning angstrom-size solid ionic channels for rare-earth element separation*, Siqi Zou, Jiadong Liu, Woo Cheol Jeon, Maoyu Wang, Ronghui Wu, Yu Han, Gangbin Yan, Grant T. Hill, Xiaolin Yue, Hua Zhou, George C. Schatz & Chong Liu, Nature Chemical Engineering 3, 402-413 (2026) · DOI: 10.1038/s44286-026-00418-8

በውሃ የተሞላ የማዕድን ቻናልን በቦታው ማቆየት ተመሳሳይ የብርቅዬ ምድር አየኖችን ለመለየት ረድቷል

የብርቅዬ ምድር አየኖችን መለየት አስቸጋሪ የሆነው፣ ከርቀት ወንድማማቾችን ለይቶ ማወቅ አስቸጋሪ ሊሆን በሚችልበት ተመሳሳይ ምክንያት ነው፤ ልዩነቶቹ እውነተኛ ናቸው፣ ግን ትንሽ ናቸው።

ላንታናይዶች በወቅታዊ ሰንጠረዥ ላይ አንዱ ከሌላው ጎን ለጎን ይገኛሉ፣ እና ብዙውን ጊዜ ተመሳሳይ ክፍያ ያላቸው አየኖችን ይፈጥራሉ። መጠናቸው በተከታታይ ቀስ በቀስ ይለዋወጣል፣ የኬሚካላዊ ባህሪያቸው ግን ተመሳሳይ ይቆያል። ስለዚህ የኢንዱስትሪ ማጣራት ብዙ ተደጋጋሚ የመለያየት ደረጃዎችን ይጠቀማል።

አዲስ የላቦራቶሪ ጥናት ችግሩን በመገደብ አቀራረብ ተመልክቶታል። ተመራማሪዎቹ በመካከላቸው በውሃ የተሞላ ክፍተት ያላቸው ተደራራቢ የማንጋኒዝ ኦክሳይድ ሉሆችን ተጠቅመዋል። የብርቅዬ ምድር አየን ወደዚህ ክፍተት ሲቀርብ በውሃ ሞለኪውሎች የተከበበ ነው። የሚያስደግፈው ነገር ከሌለ፣ ሉሆቹ አየኑን ለማስተናገድ ሊራራቁ ይችላሉ። የማግኒዥየም አየኖች እንደ ድጋፍ ሠሩ፤ በሉሆቹ መካከል ሲቆዩ ክፍተቱን ጠባብ እንዲሆን ረድተዋል። የተለያዩ የብርቅዬ ምድር አየኖችም የተወሰነ ውሃ ለማጣት፣ ወደ ቻናሉ ለመግባት እና በጠጣሩ ውስጥ ካሉ የኦክሲጅን አቶሞች ጋር ለመያያዝ የተለያየ የኃይል ዋጋ ከፍለዋል።



ያልተገደበው እና በማግኒዥየም የተገደበው ቻናል በመዋቅር፣ በኤሌክትሮኬሚስትሪ እና በስሌቶች የተደገፉ የስልተ-አሠራር ትርጓሜዎች ናቸው። አንድም ሙከራ ሙሉውን የሞለኪውላዊ ቅደም ተከተል በቀጥታ አልተመለከተም።

The Clean Paper CC BY 4.0

ከተፈተኑት ጥንዶች አንዱ ላንታነም እና ኒዮዲሚየም ሲሆን፣ ይህ **በቦታው ማቆየት** የማበልጸጊያ ፋክተሩን ከ1.6 ወደ **5.4** ከፍ አድርጎታል። ለላንታነም እና ፕራሴዮዲሚየም ከ1.5 ወደ **4.2** ከፍ ብሏል። የማበልጸጊያ ፋክተር ከመለያየቱ በኋላ ያለውን የሁለቱ አየኖች ሬሾ ከመለያየቱ በፊት ከነበረው ሬሾ ጋር ያነጻጽራል። 1 ማለት ምንም ምርጫ የለም ማለት ነው፤ 5.4 ማለት የተያዘው ንጥረ ነገር ኒዮዲሚየምን ከላንታነም ይልቅ ከመነሻ ድብልቁ 5.4 እጥፍ በበለጠ ሁኔታ መርጧል

ማለት ነው።

እነዚህ ለተወሰኑ ጥንዶች ጠቃሚ የላቦራቶሪ ውጤቶች ናቸው። አሁን ሁሉም የብርቅዬ ምድር ንጥረ ነገሮች በንጽህና ሊለዩ እንደሚችሉ፣ በፍሰት የሚሠራ ሂደት እንደታየ ወይም የሶልቨንት ኤክስትራክሽንን መተካት እንደሚቻል ማስረጃ አይደሉም።

በወረቀቱ ውስጥ ያለው ኃይለኛው ሐሳብ ከማጣሪያ ፋብሪካ ያነሰ ነው፤ በውሃ የተሞላ የማዕድን ክፍተት እንዳይከፈት ማድረግ።

በውሃ ውስጥ ያለ አየን ከባዶው አቶም ይበልጣል

የብርቅዬ ምድር ንጥረ ነገሮች ላንታናይዶችን፣ ከስካንዲየም እና ይትሪየም ጋር ያካትታሉ። ጥናቱ ከላንታነም እስከ ይተርቢየም ያሉ 12 አዎንታዊ ክፍያ ያላቸው የላንታናይድ አየኖችን ፈትኗል። ሴሪየም የኦክሲዴሽን ሁኔታውን በቀላሉ ስለሚቀይር አልተካተተም፣ ሬዲዮአክቲቭ ፕሮሜቲየምም አልተካተተም።

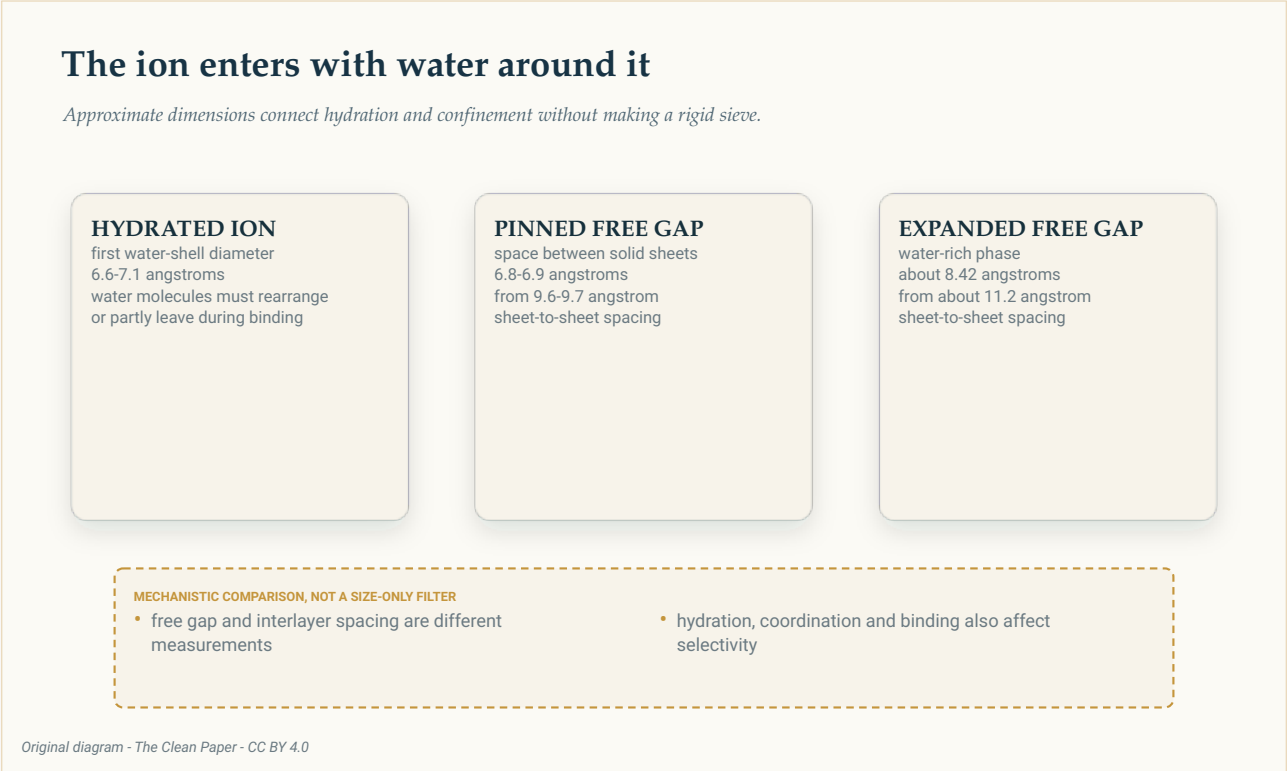
በውሃ ውስጥ አየን ብቻውን አይጓዝም። የውሃ ሞለኪውሎች በክፍያው ዙሪያ ተደራጅተው **የሃይድሬሽን ሼል** ይፈጥራሉ። ወደ ጠባብ ቻናል ገብቶ ከጠጣር ጋር ለመያያዝ፣ አየኑ የውሃ ሽፋኑን አንድ ክፍል እንደገና ማደራጀት ወይም ማጣት ሊኖርበት ይችላል። የኃይል ዋጋው በአየኑም ሆነ በአካባቢው ሁኔታ ይወሰናል።

መጠኖቹ በ**አንግስትሮም** (Å) ይለካሉ። አንድ አንግስትሮም የአንድ ሜትር አስር ቢሊዮንኛ ክፍል ነው (1 Å = 10^{-10} m)። የተፈተኑት ላንታናይዶች የመጀመሪያ ሃይድሬሽን ሼሎች ዲያሜትር በግምት 6.6 **እስከ** 7.1 Å እንደሆነ ተዘግቧል።

ተመራማሪዎቹ buserite የተባለ በውሃ የተያዘ ንብርብር ያለው የማንጋኒዝ ኦክሳይድ ተጠቅመዋል። ተደራራቢ ሉሆቹ ከአንድ ተደጋጋሚ የሉህ አቀማመጥ እስከ ቀጣዩ ሲለካ በግምት 9.6 **እስከ** 9.7 **አንግስትሮም** ተራርቀው ነበር። ግን ሉሁ ራሱም ቦታ ይይዛል። በሉሆቹ መካከል ያለው ነፃ በውሃ የተሞላ ክፍተት በግምት 6.8 **እስከ** 6.9 **አንግስትሮም** ብቻ ነበር።

ይህ ልዩነት አስፈላጊ ነው። 9.7 አንግስትሮም የንብርብር-መካከል ርቀት ማለት 9.7 አንግስትሮም ክፍት ቻናል ማለት አይደለም።

አንዳንድ ቀላል ላንታናይዶች መዋቅሩ ወደ ብዙ ውሃ ወዳለው ፈዝ እንዲሰፋ አድርገዋል። በዚያ ሁኔታ ከሉህ ወደ ሉህ ያለው ርቀት በግምት 11.2 **አንግስትሮም**፣ የተገመተው ነፃ ክፍተት ደግሞ በግምት 8.42 **አንግስትሮም** ነበር። birnessite የተባለ ከዚህ ጋር የተዛመደ ጠባብ መዋቅር በግምት 4.42 **አንግስትሮም** ነፃ ክፍተት ነበረው።



ንጽጽሩ በባዶ አየን እና በሙሉ ከሉህ ወደ ሉህ ርቀት መካከል ሳይሆን፣ በግምታዊ የሃይድሬሽን ሼል ዲያሜትር እና በነፃው በውሃ የተሞላ ክፍተት መካከል ነው። መጠን የስልተ-አሠራሩ አንድ ክፍል ነው፣ ግን ሙሉ ማብራሪያው አይደለም።

The Clean Paper CC BY 4.0

ማዕድኑ ከአየኑ ጋር ሊላመድ ይችላል

በማግኒዥየም ካልተገደበ ቻናሉ የማይንቀሳቀስ ወንፊት አይደለም፤ ተደራራቢ ሉሆቹ ሊንቀሳቀሱ ይችላሉ። በሙከራዎቹ ውስጥ ቀላል የሆኑት ላንታነም፣ ፕራሴዮዲሚየም እና ኒዮዲሚየም አየኖች ቁሱ ብዙ ውሃ እንዲይዝ እና ክፍተቱ እንዲሰፋ አድርገዋል። ከዩሮፒየም እስከ ይተርቢየም ያሉት ከባድ አየኖች ጠባቡን ቻናል እንዳለ የመተው ዝንባሌ አሳይተዋል። ሳማሪየም በሁለቱ ምላሾች መካከል ነበር።

ወረቀቱ የመጀመሪያውን ምላሽ Group I፣ ሁለተኛውን Group II ይለዋል። እነዚህ አየኖቹ ይህን የተወሰነ ቁስ እንዴት እንዳስመለሱት የሚገልጹ መለያዎች ናቸው፤ የወቅታዊ ሰንጠረዥ የቡድን ቁጥሮች አይደሉም። ድንበሩም በሌሎች የሙከራ ሁኔታዎች ሊለዋወጥ ይችላል።

ይህ የመዋቅር ልዩነት ከአንድ ቡድን ወደ ሌላ ለሚገኙ ጥንዶች ረድቷል። በቀጥታ የአየን ልውውጥ ውስጥ የተዘገበው የማበልጸጊያ ፋክተር ለላንታነም ከዲስፕሮሲየም ጋር 7.8፣ ለፕራሴዮዲሚየም ከዲስፕሮሲየም ጋር 5.7፣ ለኒዮዲሚየም ከዲስፕሮሲየም ጋር 4.5 እና ለኒዮዲሚየም ከዩሮፒየም ጋር 2.6 ነበር።

አብዛኞቹ ጎረቤት ጥንዶች በጣም አስቸጋሪ ነበሩ፣ የማበልጸጊያ ፋክተራቸውም ወደ 1.1 የሚጠጋ ነበር። ወደ 1 የሚጠጋ ፋክተር ትንሽ ምርጫ ብቻ እንዳለ ያሳያል። ሁለቱ አየኖች የተለያዩ የቻናል መዋቅሮችን ሲመርጡ፣ በተመሳሳይ የምላሽ ቡድን ውስጥ ቅርብ ሲሆኑ ከነበረው ይልቅ ቁሱ በቀላሉ ሊለያቸው ችሏል።

ማግኒዥየም ቻናሉን በቦታው ያቆያል

ተመራማሪዎቹ ከዚያ electrochemical intercalation ተጠቅመዋል፤ ይህ አየኖችን በጠጣር ንብርብሮች መካከል የሚያስገባ ኤሌክትሪካዊ ምላሽ ነው። የብርቅዬ ምድር አየኖች ሲገቡ የማግኒዥየም አየኖች በቻናሉ ውስጥ ቀርተዋል። የቀረው ማግኒዥየም የbuserite ርቀት እንዳይሰፋ ረድቷል።

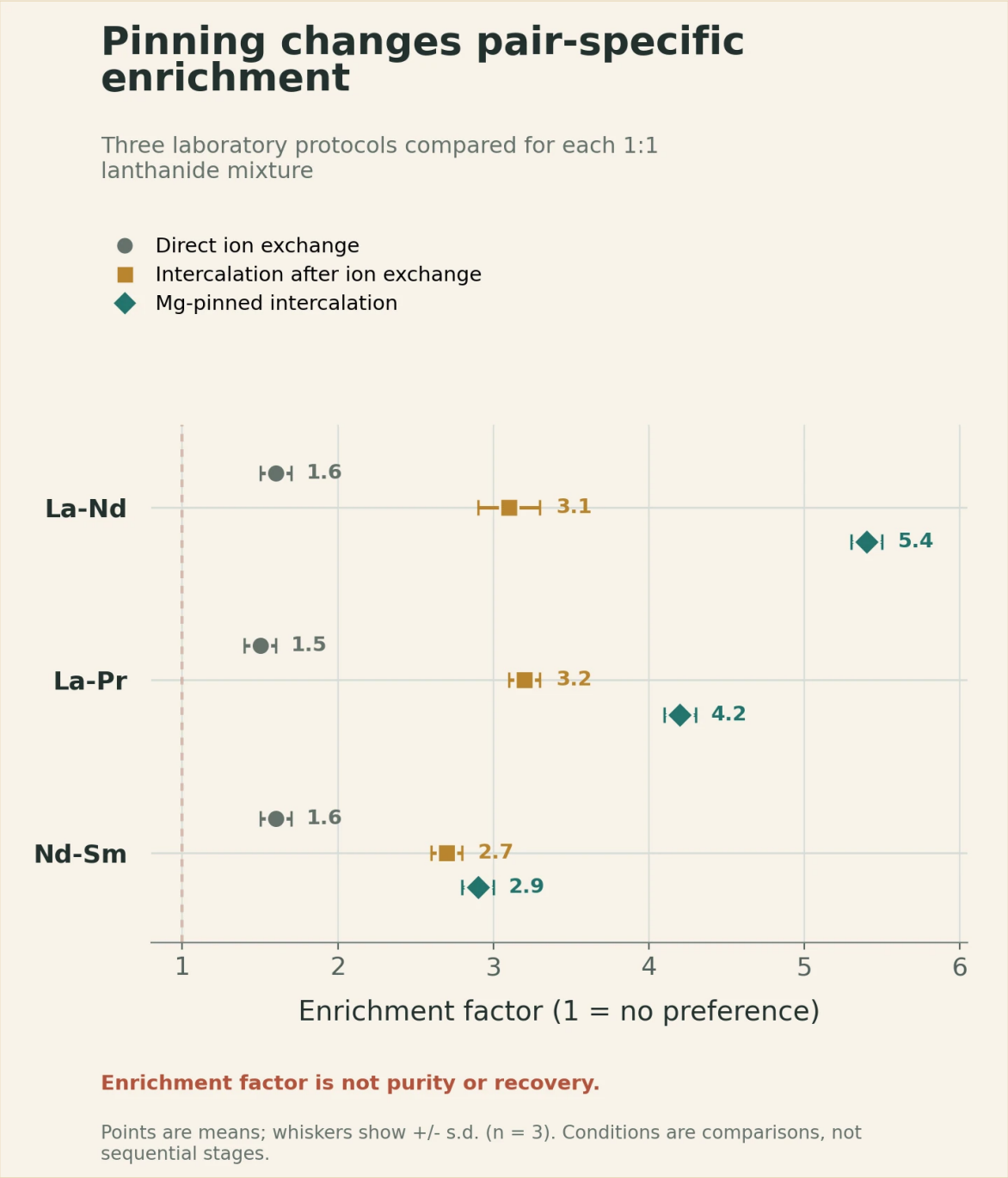
በዚያ ጠባብ እርጥብ ክፍተት ውስጥ ወደ ውስጥ የሚመጣ በውሃ የተከበበ አየን ያለው ቦታ ያነሰ ነው። የቀረበው ስልተ-አሠራር መገደብን፣ ከፊል ውሃ ማጣትን፣ coordination እና መያያዝን ያጣምራል። Coordination ማለት አየኑን በቀጥታ የሚከቡ እና ከእሱ ጋር የሚገናኙ ቅርብ አቶሞችን፣ ብዙውን ጊዜ ኦክሲጅንን፣ ያመለክታል።

ማስረጃው ከተለያዩ የሥራ ዓይነቶች ይመጣል። የX-ray መለኪያዎች የጠጣሩን መዋቅር ተከታትለዋል። የኤሌክትሮኬሚካል ሙከራዎች ማስገባትን እና መለያየትን ለክተዋል። ጥግግት functional ንድፈ ሐሳብ፣ የኳንተም ሜካኒክስ ስሌት፣ መዋቅሮችን፣ ሃይድሬሽንን እና መያያዝን አነጻጽሯል። ስሌቶቹ ስልተ-አሠራሩን ለመተርጎም ይረዳሉ፤ አንድ አየን በቻናሉ ውስጥ ሲንቀሳቀስ የተቀረጸ ቀጥተኛ ፊልም አይደሉም።

ስልተ-አሠራሩም በቀላሉ "ትንንሽ አየኖች ያልፋሉ፣ ትልልቅ አየኖች ይቆማሉ" የሚል አይደለም። የውሃ ሼሉ፣ ንብርብሮቹ እንዴት ምላሽ እንደሚሰጡ፣ ውሃን ማጣት ምን ያህል ኃይል እንደሚጠይቅ እና አየኑ ከጠጣሩ ጋር እንዴት coordination እንደሚፈጥር ሁሉም ይሳተፋሉ።

በቦታው ማቆየት የተወሰኑ ጎረቤት ጥንዶችን አሻሽሏል

በጣም የታየው ለውጥ ለላንታነም እና ኒዮዲሚየም ነበር፤ ማበልጸግ ያለ መገደብ ከ1.6 +/- 0.1 በማግኒዥየም ሲገደብ ወደ 5.4 +/- 0.1 ከፍ ብሏል። ላንታነም ከፕራሴዮዲሚየም ከ1.5 +/- 0.1 ወደ 4.2 +/- 0.1 ከፍ ብሏል። ኒዮዲሚየም ከሳማሪየም ከ1.6 +/- 0.1 ወደ 2.9 +/- 0.1 ከፍ ብሏል።



እያንዳንዱ ረድፍ የአንድ ሂደት ተከታታይ ደረጃዎችን ሳይሆን ሦስት የተለያዩ የላቦራቶሪ ፕሮቶኮሎችን ያነጻጽራል። ፋክተር 1 ማለት ምርጫ የለም ማለት ነው፤ ከፍ ያሉ እሴቶች ለተወሰነው ጥንድ የበለጠ ጠንካራ ማበልጸግን ያሳያሉ። ነጥቦቹ አማካዮችን፣ ጢሞቹ +/- መደበኛ ልዩነትን ያሳያሉ (n = 3)።

The Clean Paper CC BY 4.0

በpH 2 ላንታነም-ኒዮዲሚየም እሴቱ 5.6 +/- 0.2 ነበር። የኤሌክትሪክ ፍጥነቱን አምስት እጥፍ፣ ከ0.1C ወደ 0.5C ከፍ ማድረግ፣ እሴቱን ከ5.4 +/- 0.1 ወደ 4.3 +/- 0.4 አሳንሶታል። C-መጠን የተተገበረውን የኤሌክትሪክ ፍሰት ከቁሱ አቅም ጋር ያነጻጽራል። ከፍ ያለ ፍጥነት ለአየኖቹ እና ለጠጣሩ ምላሽ ለመስጠት ያነሰ ጊዜ ይሰጣል።

አንድም እሴት ቁሱን በሁሉም ሁኔታ አይገልጽም። ማበልጸግ በጥንዱ፣ በጠጣሩ መዋቅር፣ በአሲዳማነት እና በአሠራር ፍጥነት ይወሰናል።

ወረቀቱ ቁሱን በብዛት ባሉ የብርቅዬ ምድር ያልሆኑ አየኖችም ፈትኖታል። የመነሻ ድብልቆች ለእያንዳንዱ 1,000 ተወዳዳሪ አየኖች አንድ የብርቅዬ ምድር አየን ነበራቸው። የተዘገቡት የመምረጥ እሴቶች ከሶዲየም ጋር በግምት 1,200፣ ከካልሲየም ጋር 6,500 እና ከማግኒዥየም ጋር 1,700 ነበሩ።

ይህ በእነዚህ የላቦራቶሪ ሁኔታዎች የተለመዱ አየኖች መለያየቱን በራሳቸው እንደማያጥለቀልቁት ጠቃሚ ማስረጃ ነው። ግን ሁሉንም ብረቶች፣ አሲዳማነት እና ብክለቶች የያዘ ሙሉ ከማዕድን የተገኘ ፈሳሽ ሙከራ አይደለም።

ማበልጸግ፣ መለያየት፣ ንጽህና፣ ማሟጠጥ እና መመለስ የተለያዩ ውጤቶች ናቸው

በወረቀቱ ውስጥ በርካታ የአፈጻጸም መለኪያዎች አሉ፣ እና አንዱን በሌላው መተካት አይቻልም።

የማበልጸጊያ ፋክተር ከመለያየቱ በኋላ ያለውን የሁለት አየኖች ሬሾ ከመለያየቱ በፊት ከነበረው ጋር ያነጻጽራል። 5.4 ማለት የተያዘው ቁስ የጥንዱን አንድ አባል ከመነሻ ድብልቁ 5.4 እጥፍ በበለጠ ሁኔታ መርጧል ማለት ነው።

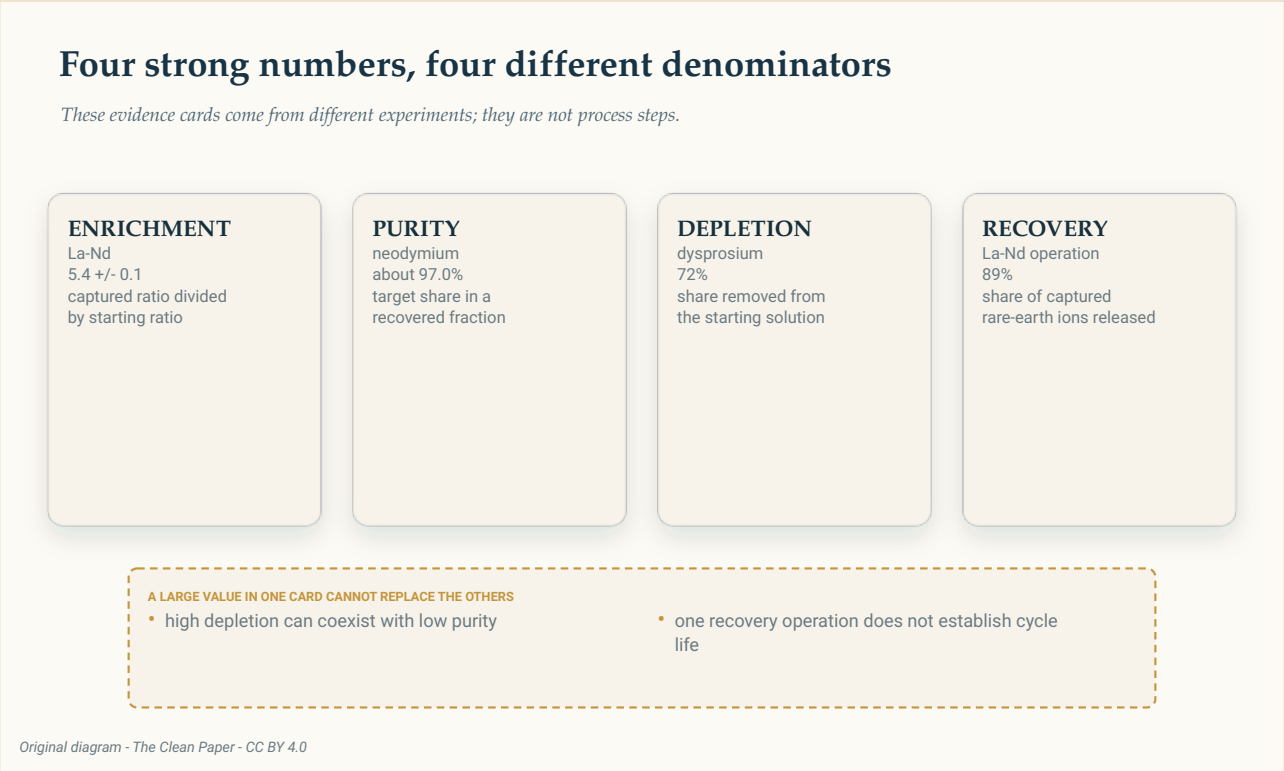
የመለያየት ፋክተር በፈሳሹ ውስጥ የቀረውንም ያካትታል፤ ለእያንዳንዱ አየን የተያዘውን መጠን ካልተያዘው ጋር ያነጻጽራል፣ ከዚያም እነዚህን ሁለት ሚዛኖች እርስ በርሳቸው ያነጻጽራል። ስለዚህ የማበልጸጊያ ፋክተሩ በሌላ አቅጣጫ ቢሄድም፣ ብዙ ቁስ ሲወገድ የመለያየት ፋክተሩ ሊጨምር ይችላል።

ንጽህና በተመለሰ ክፍል ውስጥ የተመረጠው አየን ድርሻ ነው። ባለሁለት ደረጃ ሙከራዎች በተወሰኑ መንገዶቻቸው ወደ 97.0% **የኒዮዲሚየም ንጽህና** እና 92.3% **የዲስፕሮሲየም ንጽህና** ደርሰዋል።

ማሟጠጥ ከመነሻ ፈሳሽ የተወገደው ክፍል ነው። ስምንት ተከታታይ የ10 ሚሊግራም ዱቄት ጭማሪዎች በኒዮዲሚየም-ዲስፕሮሲየም ሙከራ ውስጥ 72% **ዲስፕሮሲየምን** አስወግደው 10.8 የተጠራቀመ የመለያየት ፋክተር አስገኝተዋል።

መመለስ ከተያዘ በኋላ ምን ያህል አየን እንደገና ሊለቀቅ እንደሚችል ይጠይቃል። ተቃራኒ የአየን ልውውጥ በአንድ የኒዮዲሚየም-ዲስፕሮሲየም አሠራር 80% መልሷል። ኤሌክትሮኬሚካል ማስወገድ በላንታነም-ኒዮዲሚየም አሠራር 89% መልሷል።

መመለስ ሂደቱ ወደኋላ ሊመለስ እንደሚችል ያሳያል። አፈጻጸሙን ጠብቆ አንድ ኤሌክትሮድ ስንት ጊዜ እንደገና ሊጠቀም እንደሚችል ግን አያረጋግጥም።



አራቱ የተዘገቡ መለኪያዎች የተለያዩ መከፋፈያዎችን ይጠቀማሉ እና ከተለያዩ ሙከራዎች የመጡ ናቸው። የአንድ ሂደት ተከታታይ ደረጃዎች ሳይሆኑ የማስረጃ ካርዶች ናቸው።

The Clean Paper CC BY 4.0

> **ሁለት አስደናቂ መቶኛዎች እንዴት የተለያዩ ነገሮችን ሊያመለክቱ ይችላሉ?**
>
> አንድ ሂደት ከመነሻ ፈሳሽ 90% የአንድን አየን እንደሚያስወግድ እንበል። ይህ ከፍተኛ ማሟጠጥ ነው። ብዙ ያልተፈለጉ አየኖችም ከእሱ ጋር ከመጡ፣ የተመለሰው ቁስ አሁንም ዝቅተኛ ንጽህና ሊኖረው ይችላል። በተቃራኒው፣ በጣም ንጹህ የሆነ ትንሽ ክፍል የታለመው አብዛኛው ቁስ ቢቀር ደካማ መመለስን ሊወክል ይችላል። የሂደት ግምገማ ትልቁን ቁጥር ብቻ ሳይሆን እነዚህን ሁሉ ሚዛኖች ይፈልጋል።

የታየው መሣሪያ አሁንም የቤከር ሙከራ ነው

በስኬል ላይ ያተኮሩት የኤሌክትሮኬሚካል ሙከራዎች በአንድ ሊትር 25 ሚሊሞል የእያንዳንዱ አየን ያለበት 5 **ሚሊሊትር** ፈሳሽ ጀምረዋል። ኤሌክትሮዶቹ በግምት 25 **እስከ** 40 **ሚሊግራም** ንቁ ቁስ ይዘው ነበር።

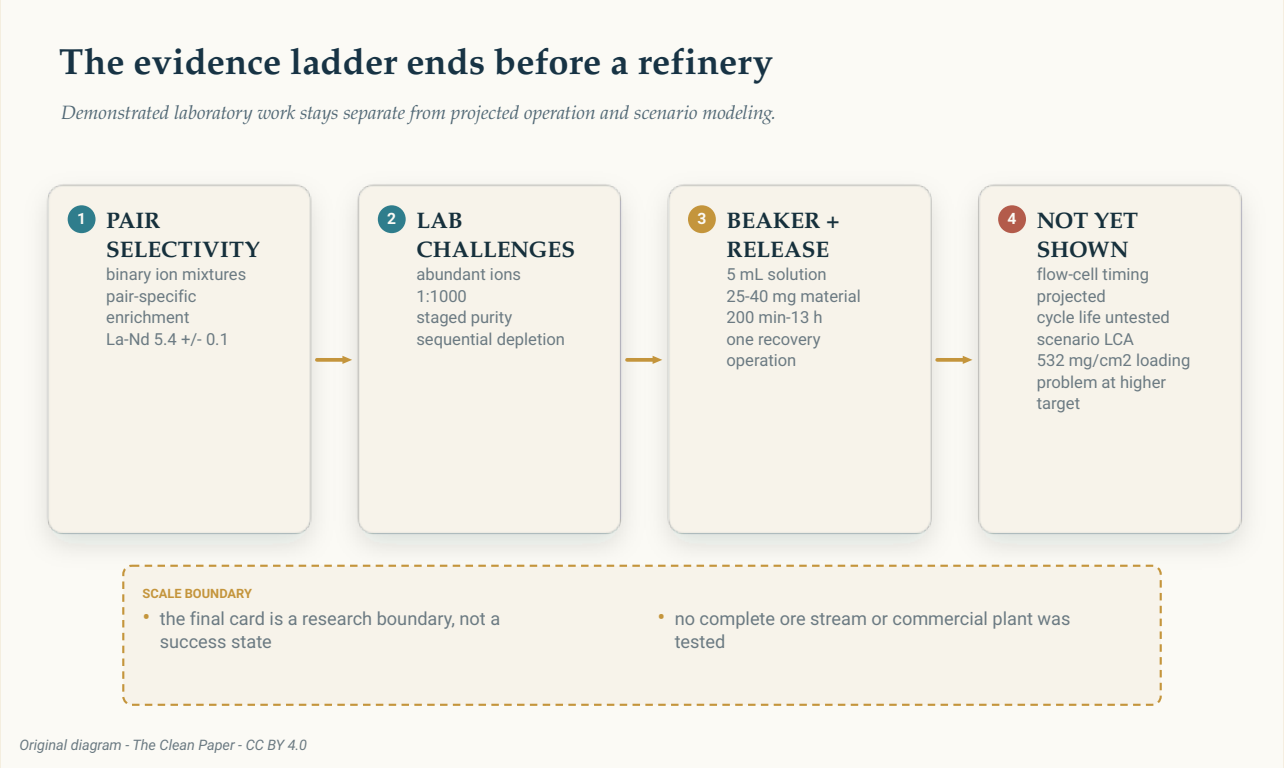
አንድ ኤሌክትሮድ በግምት 40% ኒዮዲሚየምን አስወግዷል። ሦስት ኤሌክትሮዶችን በተከታታይ መጠቀም ወደ 90% **ማሟጠጥ** እና 16.6 +/- 0.4 የተጠራቀመ የመለያየት ፋክተር አድርሷል። በአሠራር ፍጥነቱ መሠረት ምላሾቹ **ከ**200 **ደቂቃ እስከ** 13 **ሰዓት** ወስደዋል።

እነዚህ መጠኖች እና ጊዜዎች የታየውን ሙከራ ድንበር ስለሚወስኑ ዋናው ታሪክ ውስጥ መካተት አለባቸው።

ተጨማሪ መረጃው የጅምላ ዝውውር ገደብንም ይጠቁማል። ከፍ ያለ ኮንሰንትሬሽን ላለው የቤከር ግብ 50% ጠቅላላ ማሟጠጥ ለማግኘት 266 **ሚሊግራም ኤሌክትሮድ**፣ ወይም **በካሬ ሴንቲሜትር** 532 **ሚሊግራም ንቁ ቁስ** እንደሚያስፈልግ

ተገምቷል። ይህን ያህል ቁስ በትንሹ ኤሌክትሮድ ላይ መጠቅለል በፈሳሽ ውስጥ የሚገኙ አየኖች ሁሉንም ቁስ እንዲደርሱ ያስቸግራል። ስለዚህ ደራሲዎቹ ለቤከር ሙከራው ወደ የበለጠ ቀጭን ፈሳሽ ተዛውረዋል።

ምናባዊ የፍሰት ሴል የሚታየው እንደ ግምታዊ ፕሮጀክሽን ብቻ ነው። 1.25 ሚሊሊትር ሴል እና 5 በ5 ሴንቲሜትር ኤሌክትሮድ እንዳለ በመገመት፣ ተጨማሪ መረጃው ወደ 90% ማሟጠጥ ለመድረስ በ1C በግምት 20 ደቂቃ ወይም በ0.5C 40 ደቂቃ ይገምታል። እንዲህ ያለ የፍሰት-ሴል ሙከራ አልተዘገበም።



ደረጃው በድንበር ላይ ያበቃል፤ ለሁለት አየኖች እና ለተደራራቢ የላቦራቶሪ ሙከራዎች ማስረጃ አለ፣ የፍሰት ጊዜ እና የአካባቢ አፈጻጸም ግን በፋብሪካ ስኬል ከታየ ይልቅ እንደ ግምት ወይም ሁኔታ-ተኮር ስሌት ይቀራሉ።

The Clean Paper CC BY 4.0

የአካባቢ ንጽጽሩ የሁኔታ ስሌት ነው፣ የፋብሪካ ውጤት አይደለም

ተጨማሪው የሕይወት-ዑደት ግምገማ በብርቅዬ ምድር ኦክሳይዶች የሚያበቁ የመለያየት ደረጃዎችን ያነጻጽራል እና ግብዓቶቹን ለ1 ኪሎግራም ኒዮዲሚየም ኦክሳይድ ይዘግባል።

ማዕድን ማውጣትን፣ የማዕድን ቅድመ-ሕክምናን ወይም ሙሉ የንግድ ማጣሪያ ሰንሰለትን አያካትትም። የላቦራቶሪ ሂደቱ ከበርካታ ምንጮች በተሰበሰቡ ግምቶች ተወክሏል። የኤሌክትሮድ ዕድሜ 10፣ 20 እና 100 ዑደቶች የሁኔታ እና የስሜታዊነት ስሌት እሴቶች ናቸው፣ በዚህ ጥናት የተለካ ዘላቂነት አይደሉም። ሞዴሉ የማግኒዥየም መመለሻ ፈሳሽ ኮንሰንትሬሽኑ በ10% እስኪለወጥ ድረስ እንደገና ሊጠቀም እንደሚችል ይገምታል፣ 95% የውሃ እንደገና መጠቀምን ይገምታል፣ እና ካልሲኔሽን እዚህ በሙከራ ባይታይም በ450-600 ዲግሪ ሴልሺየስ ለሁለት ሰዓት ካልሲኔሽንን ያካትታል።

የሕይወት-ዑደት ግምገማ በተገለጸ የሥርዓት ድንበር ውስጥ የአካባቢ ጫናዎችን ይቆጥራል። መልሱ ድንበሩ እንደሚያካትተው ነገር ብቻ ሰፊ ነው፣ እና የሚታመነው የግብዓት ዝርዝሩ እና የስኬል ግምቶቹ እንደሚታመኑት መጠን ነው።

ትንታኔው ኃይል፣ ቁሳቁሶች እና እንደገና መጠቀም የት እንደሚያስፈልጉ ሊጠቁም ይችላል። የንግድ ስሪት ከኢንዱስትሪ ሶልቨንት ኤክስትራክሽን ያነሰ የአካባቢ ተፅዕኖ እንደሚኖረው ግን ሊያረጋግጥ አይችልም።

አንድ ስልተ-አሠራር፣ አንድ መድረክ እና ረጅም የምህንድስና መንገድ

ወረቀቱ በውሃ የተያዘ ንብርብር ያለው ጠጣር ርቀትና ኬሚካላዊ አካባቢ ሆን ተብሎ በመቆጣጠር የተወሰኑ የላንታናይድ መለያየቶችን ማሻሻል እንደሚቻል ያሳያል። በማግኒዥየም መገደብ ሌላ የኬሚካል መያዣ ቦታ ከመጨመር በላይ ነበር፤ በውሃ የተከበቡ አየኖች ሊያልፉበት የሚገባውን መዋቅር ገድቧል።

ይህ ውጤት ተግባራዊ ጥያቄዎችን ይከፍታል። አፈጻጸሙ ከእውነተኛ ማዕድን የተገኙ ድብልቆችን ሊቋቋም ይችላል? ኤሌክትሮዶች በሚሠራ የጅምላ ጭነት ሊመረቱ ይችላሉ? የማንጋኒዝ ኦክሳይዱ በብዙ የማስገባት እና የመልቀቅ ዑደቶች ምን ያህል የተረጋጋ ነው? ቀጣይነት ያለው ሴል መምረጥን፣ የሂደት መጠንን እና የውሃ ሚዛንን ሊጠብቅ ይችላል? በፓይለት ስኬል በተለኩ ግብዓቶች የአካባቢ ንጽጽሩ ምን ይመስላል?

ሙከራው እነዚህን ጥያቄዎች አይመልስም። ይበልጥ ግልጽና ተጨባጭ ያደርጋቸዋል።

ስኬቱ የተጠናቀቀ የብርቅዬ ምድር ማጣሪያ ፋብሪካ አይደለም። ጥቂት አንግስትሮሞች ብቻ ያላቸው በቁጥጥር ስር የዋሉ በውሃ የተሞሉ ቦታዎች አስቸጋሪ መለያየትን ሊቀይሩ እንደሚችሉ የሚያሳይ ማስረጃ ነው።

ንጹህ ማጠቃለያ

ተመራማሪዎች በውሃ የተያዘ ንብርብር ያለው የማንጋኒዝ ኦክሳይድ ተጠቅመው በውሃ ውስጥ የተወሰኑ የላንታናይድ አየን ጥንዶችን ለይተዋል። የቁሱ ነፃ ክፍተት በግምት 6.8-6.9 አንግስትሮም ነበር፣ ይህም የአየኖቹ የመጀመሪያ ሃይድሬሽን ሼል 6.6-7.1 አንግስትሮም ዲያሜትር ከተዘገበው ጋር ቅርብ ነው። የቀረው ማግኒዥየም ቻናሉን በቦታው እንዲቆይ ረድቶ ለተወሰኑ ጥንዶች ማበልጸግን አሻሽሏል፤ ላንታነም-ኒዮዲሚየም ከ1.6 ወደ 5.4፣ ላንታነም-ፕራሴዮዲሚየም ከ1.5 ወደ 4.2 ጨምሮ። ጥናቱ በብዛት ካሉ አየኖች ጋር የተደረጉ ፈተናዎችን፣ በደረጃ የተገኘ ንጽህናን፣ ተከታታይ ማሟጠጥን እና የመመለስ ሙከራዎችንም ዘግቧል። የታየው ስኬል 5 ሚሊሊትር የቤከር ሙከራዎች፣ 25-40 ሚሊግራም ንቁ ቁስ እና ከ200 ደቂቃ እስከ 13 ሰዓት የምላሽ ጊዜ ላይ ቀርቷል። የፍሰት-ሴል ጊዜ በግምት ነበር፣ በብዙ ዑደቶች እንደገና መጠቀም አልተፈተነም፣ እና የሕይወት-ዑደት ንጽጽሩ በላቦራቶሪ-ስኬል ግምቶች ላይ ተመርክዟል። ወረቀቱ የመገደብ ስልተ-አሠራርን እና የላቦራቶሪ መድረክን ይደግፋል፣ የኢንዱስትሪ ሶልቨንት ኤክስትራክሽን መተኪያን አይደግፍም።

ያለ ማጋነን ፍተሻ

ወረቀቱ የሚያሳየው: በውሃ የተያዘ የማንጋኒዝ ኦክሳይድ ክፍተትን በቀረ ማግኒዥየም ወደ 6.8-6.9 አንግስትሮም ቅርብ ማቆየት የተወሰኑ የላንታናይድ ጥንዶች መለያየትን ቀይሯል። የመዋቅር መለኪያዎች፣ ኤሌክትሮኬሚስትሪ እና ስሌቶች መገደብን፣ ውሃ ማጣትን፣ coordination እና መያያዝን ያካተተ ስልተ-አሠራር ይደግፋሉ።

በተሻለ ሁኔታ የሠራው: በተገለጹ ሁኔታዎች የላንታነም-ኒዮዲሚየም ማበልጸግ 5.4 +/- 0.1፣ የላንታነም-ፕራሴዮዲሚየም 4.2 +/- 0.1 ደርሷል። ሌሎች ጥንዶች የተለያዩ እሴቶች ነበሯቸው። የተለዩ ሙከራዎች የተለያዩ መከፋፈያዎችን የሚጠቀሙ የንጽህና፣ የማሟጠጥ እና የመመለስ ውጤቶችን ዘግበዋል።

የማያሳየው: ለሁሉም የብርቅዬ ምድር ንጥረ ነገሮች የሚሠራ ሁለንተናዊ መለያያ፤ በሙሉ የማዕድን ፍሰት ላይ አሠራር፤ በሙከራ የታየ ቀጣይነት ያለው የፍሰት ሴል፤ ብዙ ዑደቶችን የሚቋቋሙ ኤሌክትሮዶች፤ የሶልቨንት ኤክስትራክሽን መተካት፤ ወይም በንግድ ስኬል የተረጋገጠ የአካባቢ ብልጫ።

ዋና የስኬል ገደቦች: የታዩት ሙከራዎች 5 ሚሊሊትር ፈሳሽ፣ በግምት 25-40 ሚሊግራም ንቁ ቁስ እና ከ200 ደቂቃ እስከ 13 ሰዓት ተጠቅመዋል። ከፍ ያለ ኮንሰንትሬሽን ያለው ግብ በካሬ ሴንቲሜትር 532 ሚሊግራም የመጫን ችግር አሳይቷል። የፍሰት ጊዜዎች በስሌት ተገምተዋል። በሕይወት-ዑደት ግምገማው የኤሌክትሮድ ዕድሜ እና ዋና የእንደገና መጠቀም ግብዓቶች ግምቶች ነበሩ።

አጠቃላይ አንባቢ ምን ያህል እምነት ሊኖረው ይገባል? ለተሰየሙት ጥንዶች እና ሁኔታዎች በተዘገቡ የላቦራቶሪ መለኪያዎች ላይ ከፍተኛ እምነት። የቀረበው ሞለኪውላዊ ትርጓሜ ቀጥተኛ መዋቅራዊ እና ኤሌክትሮኬሚካል መረጃን ከስሌቶች ጋር ስለሚያጣምር መካከለኛ እምነት። የአሁኑ መረጃ የኢንዱስትሪ ፍሰትን፣ ዕድሜን ወይም የአካባቢ አፈጻጸምን በትክክል እንደሚተነብይ ዝቅተኛ እምነት።

ምንጮች

Zou et al., Pinning angstrom-size solid ionic channels for rare-earth element separation, Nature Chemical Engineering 3, 402-413 (2026)
https://doi.org/10.1038/s44286-026-00418-8