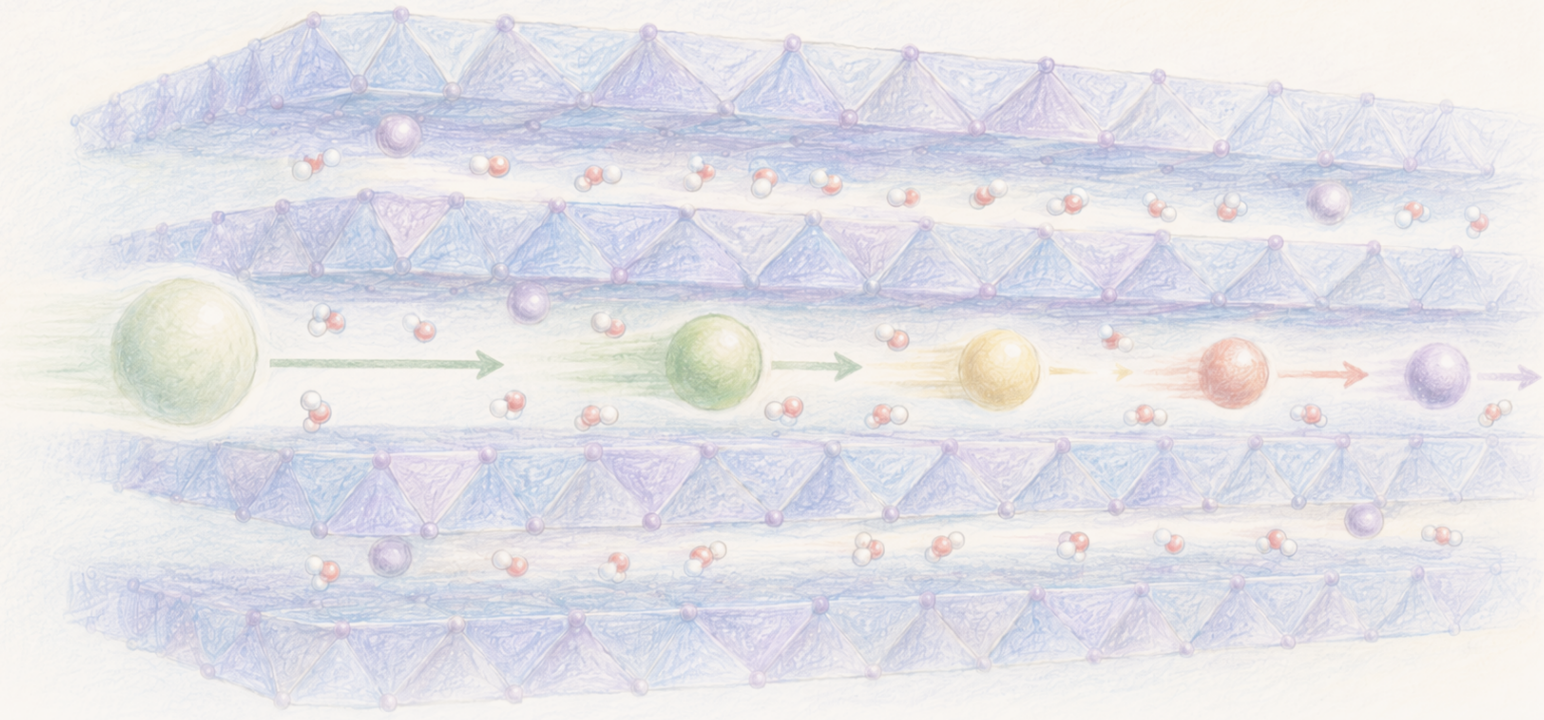




The CLEAN PAPER

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

پانی سے بھرے معدنی چینل کو تنگ رکھنے سے ملے جلتے rare-earth آئن الگ کرنے میں مدد ملی

Magnesium نے manganese-oxide hydrated کی تہوں کے درمیان خلا کو lanthanide آئن کی shell water کے قریب تنگ رکھا اور تجربہ گاہ میں بعض جوڑوں کی enrichment بہتر ہوئی۔ کم solution millilitres اور material milligrams پر ہوا، flow، operation، طویل life cycle اور تجارتی performance environmental ابھی ثابت نہیں۔

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, 413-402 (2026) · DOI: 8-00418-026-s44286/1038.10

پانی سے بھرے معدنی چینل کو تنگ رکھنا ملتے جلتے نایاب-earth آئن الگ کرنے میں مددگار ثابت ہوا

ناياب-earth آئنز کو الگ کرنا کچھ ایسا ہے جیسے دور سے بہت ملتے جلتے بہن بھائیوں میں فرق کرنا: فرق موجود ہوتا ہے، مگر بہت چھوٹا۔

periodic Lanthanides جدول میں ساتھ ساتھ آتے ہیں اور عموماً ایک ہی charge والے آئن بناتے ہیں۔ پوری series میں ان کا سائز آہستہ آہستہ بدلتا ہے، جبکہ کیمیائی رویہ کافی مشابہ رہتا ہے۔ اسی لیے صنعتی refining میں علیحدگی کے بہت سے مرحلے بار بار دہرانے پڑتے ہیں۔

ایک نئی تجربہ گاہی تحقیق نے مسئلہ محدود جگہ، یعنی محدود جگہ، کے ذریعے حل کرنے کی کوشش کی۔ محققین نے مینگنیز آکسائیڈ کی تہ در تہہ استعمال کیں جن کے درمیان پانی سے بھرا ہوا خلا تھا۔ نایاب-earth آئن اس خلا کے قریب پانی کے سالمات میں گھرا ہوا پہنچتا ہے۔ اگر تہوں کو کوئی چیز نہ روکے تو وہ آئن کے لیے جگہ بنانے کو ایک دوسرے سے دور ہو سکتی ہیں۔ مینگنیشیم آئنز نے brace کی طرح کام کیا: تہوں کے درمیان رہ کر انہوں نے خلا کو تنگ رکھنے میں مدد دی۔ اس کے بعد مختلف نایاب-earth آئنز کو پانی کے کچھ سالمات چھوڑنے، چینل میں داخل ہونے اور ٹھوس مادے کے آکسیجن آئنز سے بانڈ ہونے کے لیے مختلف توانائی خرچ کرنی پڑی۔

The separation trick was holding the wet gap narrow

Structure, electrochemistry and calculations support the mechanism from different angles.

UNPINNED CHANNEL

selected light lanthanides
expand the water-rich interlayer
more room changes dehydration,
coordination and binding
neighboring-pair preference
remains modest

MAGNESIUM-PINNED CHANNEL

retained Mg²⁺ helps keep
the buserite gap narrow
confinement changes dehydration,
coordination and binding
selected neighboring-pair
enrichment increases

EVIDENCE IS ASSEMBLED, NOT FILMED

• X-ray: solid structure

• electrochemistry: insertion and separation

• DFT: hydration and binding interpretation

Original diagram - The Clean Paper - CC BY 4.0

بغیر ساختی تثبیت اور مینگنیشیم سے pinned چینل مکمل سالماتی movie نہیں ہیں، بلکہ ساختی پیمائش، electrochemistry اور حسابات سے تقویت پانے والی mechanistic تشریحات ہیں۔ کسی ایک تجربے نے پوری سالماتی تسلسل کو براہ راست نہیں دیکھا۔

The Clean Paper CC BY 0.4

آزمائے گئے ایک جوڑے، lanthanum اور neodymium میں اس ساختی تثبیت نے افزودگی عامل کو 6.1 سے بڑھا کر 4.5 کر دیا۔ Lanthanum اور praseodymium میں یہ 5.1 سے 2.4 تک پہنچا۔ افزودگی عامل علیحدگی کے بعد دونوں آئنز کے تناسب کو علیحدگی سے پہلے کے تناسب سے موازنہ کرتا ہے۔ 1 کا مطلب کوئی ترجیح نہیں، 4.5 کا مطلب ہے کہ capture ہوئے مادے نے

شروع کے mixture کے مقابلے میں neodymium کو lanthanum پر 4.5 گنا زیادہ ترجیح دی۔

یہ مخصوص جوڑوں کے لیے معنی خیز تجربہ گاہی نتائج ہیں۔ یہ ثبوت نہیں کہ اب ہر نایاب-earth عنصر صاف طور پر الگ کیا جا سکتا ہے، مسلسل بہاؤ عمل بن چکا ہے، یا سالوینٹ ایکسٹریکشن کی جگہ یہ طریقہ لے سکتا ہے۔

مقالے کا سب سے مضبوط خیال refinery سے کہیں چھوٹا ہے: پانی سے بھرے معدنی خلا کو کھلنے نہ دیں۔

پانی میں آئن ننگے ایٹم سے بڑا ہوتا ہے

نایاب-earth عناصر میں lanthanides کے ساتھ scandium اور yttrium بھی شامل ہیں۔ مطالعے نے lanthanum سے ytterbium تک بارہ مثبت charge والے لینتھنائڈ آئن آزمائے۔ Cerium کو اس لیے شامل نہیں کیا گیا کہ وہ oxidation حالت آسانی سے بدل لیتا ہے، جبکہ promethium radioactive بھی خارج رکھا گیا۔

پانی میں آئن اکیلا نہیں چلتا۔ پانی کے سالمات اس کے charge کے گرد ترتیب بنا کر shell hydration بناتے ہیں۔ تنگ چینل میں داخل ہونے اور ٹھوس سطح سے بائڈ ہونے کے لیے آئن کو اس پانی کی تہ کا کچھ حصہ دوبارہ ترتیب دینا یا چھوڑنا پڑ سکتا ہے۔ اس کی توانائی کی قیمت آئن اور اردگرد کے ماحول دونوں پر منحصر ہوتی ہے۔

ابعاد انگسٹروم (Å) میں دیے گئے ہیں۔ ایک انگسٹروم ایک metre کا دس اربواں حصہ ہے ($10^{-10} \text{ m} = 1 \text{ Å}$)۔ آزمائے گئے lanthanides کے پہلے hydration خول تقریباً 6.6 سے 1.7 Å قطر کے تھے۔

محققین نے آبدار layered مینگنیز آکسائیڈ، busenite، استعمال کیا۔ اس کی stacked تہیں ایک repeating تہ مقام سے اگلی تک تقریباً 6.9 سے 7.9 انگسٹروم کے فاصلے پر تھیں۔ مگر تہ خود بھی جگہ لیتی ہے۔ تہیں کے درمیان واقعی دستیاب، پانی سے بھرا آزاد خلا صرف تقریباً 8.6 سے 9.6 انگسٹروم تھا۔

یہ فرق اہم ہے۔ 7.9-انگسٹروم interlayer فاصلہ کا مطلب 7.9-انگسٹروم کھلا چینل نہیں۔

کچھ ہلکے lanthanides نے ساخت کو زیادہ پانی والی، زیادہ پھیلی ہوئی حالت میں پہنچا دیا۔ وہاں تہ-to-تہ فاصلہ تقریباً 2.11 انگسٹروم اور اندازاً آزاد خلا 42.8 انگسٹروم تھا۔ اس سے متعلق زیادہ تنگ ساخت، birnessite کا آزاد خلا تقریباً 42.4 انگسٹروم تھا۔

The ion enters with water around it

Approximate dimensions connect hydration and confinement without making a rigid sieve.

HYDRATED ION

first water-shell diameter
6.6-7.1 angstroms
water molecules must rearrange
or partly leave during binding

PINNED FREE GAP

space between solid sheets
6.8-6.9 angstroms
from 9.6-9.7 angstrom
sheet-to-sheet spacing

EXPANDED FREE GAP

water-rich phase
about 8.42 angstroms
from about 11.2 angstrom
sheet-to-sheet spacing

MECHANISTIC COMPARISON, NOT A SIZE-ONLY FILTER

- free gap and interlayer spacing are different measurements
- hydration, coordination and binding also affect selectivity

Original diagram - The Clean Paper - CC BY 4.0

موازنہ shell hydration کے اندازاً قطر اور پانی سے بھرے آزاد خلا کے درمیان ہے، ننگے آئن اور پوری تہہ-to-تہہ فاصلہ کے درمیان نہیں۔ سائز طریقہ کار کا ایک حصہ ہے، پوری وضاحت نہیں۔

The Clean Paper CC BY 0.4

معدنی ساخت آئن کے مطابق خود بدل سکتی ہے

میگنیشیم ساختی تثبیت نہ ہو تو چینل کوئی سخت sieve نہیں؛ stacked تہیں حرکت کر سکتی ہیں۔ تجربات میں ہلکے آئن، lanthanum، praseodymium اور neodymium نے مادے کو زیادہ پانی لینے اور زیادہ کھلنے پر مجبور کیا۔ Europium سے ytterbium تک نسبتاً بھاری آئنز نے عموماً تنگ چینل کو برقرار رکھا۔ Samarium ان دونوں طرح کے رویوں کے درمیان تھا۔

مقالہ پہلے رویے کو گروہ I اور دوسرے کو گروہ II کہتا ہے۔ یہ صرف اس مخصوص مادے کے ردعمل کی لیبز ہیں، periodic جدول کے گروہ numbers نہیں۔ مختلف تجرباتی حالات میں سرحد بدل بھی سکتی ہے۔

یہ ساختی فرق مختلف گروہ کے جوڑوں میں مفید تھا۔ براہ راست آئن تبادلہ میں افزودگی عامل lanthanum بمقابلہ dysprosium کے لیے 8.7، praseodymium بمقابلہ dysprosium 7.5، neodymium بمقابلہ dysprosium 5.4 اور neodymium بمقابلہ europium 6.2 رپورٹ ہوا۔

قریب قریب جوڑے زیادہ مشکل تھے، جہاں افزودگی عوامل عموماً 1.1 کے قریب رہے۔ 1 کے قریب عامل بہت کم ترجیح ظاہر کرتا ہے۔ مادہ ان دو آئنز میں نسبتاً آسانی سے فرق کر سکا جو مختلف چینل ساختیں کو ترجیح دیتے تھے، بنسبت ان آئنز کے جو ایک ہی ردعمل گروہ میں قریب تھے۔

میگنیشیم چینل کو pinned رکھتا ہے

پھر محققین نے برقی کیمیائی **intercalation** استعمال کی، یعنی ایک برقی ردِ عمل جو آئنز کو ٹھوس نہوں کے درمیان داخل کرتی ہے۔ نایاب-earth آئنز کے داخل ہوتے وقت میگنیشیم آئنز چینل میں موجود رہے اور انہوں نے buserite فاصلہ کو پھیلنے سے روکا۔

اس زیادہ تنگ، گلی جگہ میں آبدار آئن کے پاس کم گنجائش رہتی ہے۔ مجوزہ طریقہ کار میں محدود جگہ، partial پانی چھڑانا، ہم آہنگی اور بائنڈنگ سب شامل ہیں۔ ہم آہنگی سے مراد قریب کے ایٹمز، عموماً آکسیجن، ہیں جو آئن کو براہِ راست گھیرنے اور اس کے ساتھ تعامل کرتے ہیں۔

شواہد کئی طرح کے تجربات سے آتے ہیں۔ X-ray پیمائشیں نے ٹھوس ساخت سراغ کی۔ برقی کیمیائی تجربات نے insertion اور علیحدگی ناپے۔ کثافت فعلی نظریہ، جو کوانٹم-میکانی حساب ہے، نے مختلف ساختیں، hydration اور بائنڈنگ کا موازنہ کیا۔ یہ حسابات طریقہ کار کو سمجھنے میں مدد کرتی ہیں؛ یہ چینل سے گزرتے ایک آئن کی براہِ راست فلم نہیں۔

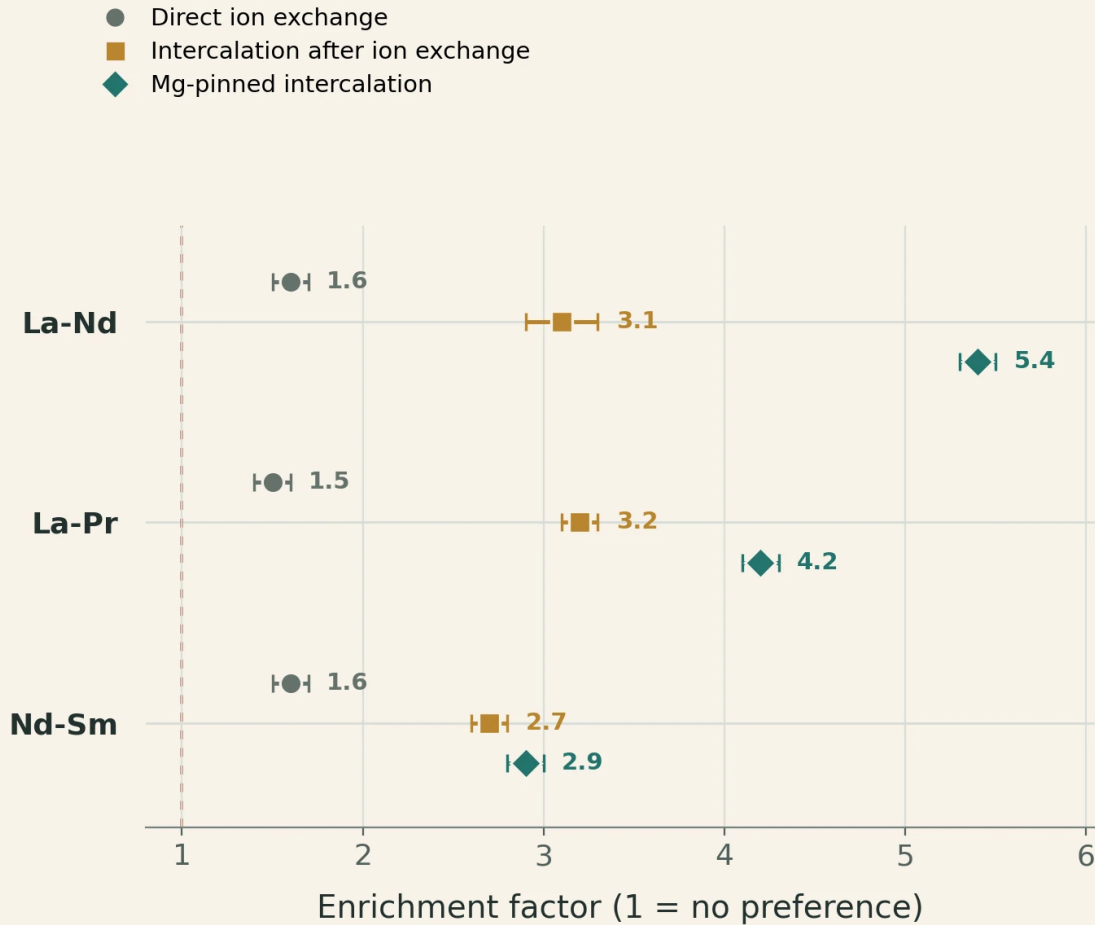
اور طریقہ کار اتنا سادہ بھی نہیں کہ ”چھوٹا آئن گزرے، بڑا رک جائے“۔ پانی کی shell، پانی کا ردِ عمل، پانی چھڑانا کی توانائی اور ٹھوس کے ساتھ ہم آہنگی سب اپنا کردار ادا کرتے ہیں۔

ساختی تثبیت نے بعض قریبی جوڑے کی علیحدگی بہتر کی

سب سے نمایاں تبدیلی lanthanum اور neodymium میں تھی: افزودگی 1.0 ± 6.1 بغیر ساختی تثبیت سے بڑھ کر 1.0 ± 4.5 میگنیشیم ساختی تثبیت کے ساتھ ہو گیا۔ Lanthanum بمقابلہ praseodymium 1.0 ± 5.1 سے 1.0 ± 2.4 ، اور neodymium بمقابلہ samarium 1.0 ± 6.1 سے 1.0 ± 9.2 تک پہنچا۔

Pinning changes pair-specific enrichment

Three laboratory protocols compared for each 1:1 lanthanide mixture



Enrichment factor is not purity or recovery.

Points are means; whiskers show +/- s.d. (n = 3). Conditions are comparisons, not sequential stages.

ہر قطار تین الگ تجربہ گاہی protocols کا موازنہ کرتی ہے، ایک ہی عمل کے مسلسل stages کا نہیں۔ عامل 1 کا مطلب کوئی ترجیح نہیں؛ زیادہ value مضبوط جوڑا-مخصوص افزودگی دکھاتی ہے۔ نقاط means اور whiskers +/- معیاری deviation (n = 3) دکھاتے ہیں۔

The Clean Paper CC BY 0.4

pH 2 پر lanthanum-neodymium value 2.0 +/- 6.5 تھی۔ برقی شرح پانچ گنا، 1C.0 سے 5C.0، بڑھانے پر یہ 1.0 +/- 4.5 سے کم ہو کر 3.4 +/- 4.0 ہو گئی۔ شرح-applied موجودہ کو مادے کی صلاحیت سے موازنہ کرتا ہے؛ زیادہ شرح آئز اور ٹھوس کو ردعمل کے لیے کم وقت دیتا ہے۔

کوئی ایک عدد اس مادے کی ہر حالت میں کارکردگی بیان نہیں کرتا۔ افزودگی آئن جوڑا، ٹھوس ساخت، acidity اور operating شرح پر منحصر ہے۔

مقالے میں عام، غیر نایاب-earth آئنز کی بڑی مقدار کے ساتھ بھی آزمائش کی گئی۔ ابتدائی mixtures میں ہر 1,000 competing آئنز کے مقابل ایک نایاب-earth آئن تھا۔ رپورٹ شدہ انتخابیت sodium کے خلاف تقریباً 1,200، calcium کے خلاف 6,500 اور میگنیشیم کے خلاف 1,700 تھی۔

یہ مفید ثبوت ہے کہ ان تجربہ گاہی حالات میں عام آئنز علیحدگی کو خود بخود ختم نہیں کر دیتے۔ مگر یہ حقیقی ore-derived liquid کی مکمل آزمائش نہیں، جس میں کئی acidity metals اور غلط شناختیں ساتھ موجود ہوتے ہیں۔

افزودگی، علیحدگی، خالص پن، کمی اور بازیابی ایک ہی چیز نہیں

مقالے میں کارکردگی کے کئی مختلف پیمانے ہیں، اور انہیں ایک دوسرے کا مترادف نہیں سمجھنا چاہیے۔

افزودگی عامل علیحدگی کے بعد دو آئنز کے تناسب کو علیحدگی سے پہلے کے تناسب سے موازنہ کرتا ہے۔ 4.5 کا مطلب ہے کہ capture ہوئے مادہ نے اس جوڑے کے ایک آئن کو شروع کے mixture کے مقابل 4.5 گنا زیادہ ترجیح دی۔

علیحدگی عامل liquid میں بچ جانے والے حصے کو بھی شامل کرتا ہے: ہر آئن کی captured مقدار کو uncaptured مقدار سے موازنہ کرتا ہے، پھر دونوں آئنز کے ان balances کا موازنہ کیا جاتا ہے۔ اسی لیے زیادہ مادہ ہٹانے پر یہ بڑھ سکتا ہے، چاہے افزودگی عامل مختلف نمونہ دکھائے۔

خالص پن واپس حاصل کیا fraction میں منتخب آئن کا حصہ ہے۔ دو مرحلوں کی نمونہ عمل میں مخصوص pathways کے اندر تقریباً 0% 97.92 neodymium خالص پن اور 3% 92 dysprosium خالص پن حاصل ہوئی۔

کمی ابتدائی محلول سے ہٹائے گئے حصے کو کہتا ہے۔ 10 milligrams powder کی آٹھ مسلسل additions نے neodymium-dysprosium آزمائش میں 72% dysprosium ہٹایا اور accumulated علیحدگی عامل 8.10 دیا۔

بازیابی پوچھتی ہے کہ capture ہوئے آئن میں سے کتنا بعد میں دوبارہ آزاد کیا جا سکتا ہے۔ الٹی آئن تبادلہ نے ایک neodymium-dysprosium operation میں 80% recover کیا۔ برقی کیمیائی اخراج نے operation lanthanum-neodymium میں 89% recover کیا۔

بازیابی reversibility دکھاتی ہے۔ اس سے یہ ثابت نہیں ہوتا کہ electrode کتنی بار دوبارہ استعمال ہو سکتا ہے اور پھر بھی کارکردگی برقرار رہے گی۔

Four strong numbers, four different denominators

These evidence cards come from different experiments; they are not process steps.

ENRICHMENT

La-Nd
5.4 +/- 0.1
captured ratio divided
by starting ratio

PURITY

neodymium
about 97.0%
target share in a
recovered fraction

DEPLETION

dysprosium
72%
share removed from
the starting solution

RECOVERY

La-Nd operation
89%
share of captured
rare-earth ions released

A LARGE VALUE IN ONE CARD CANNOT REPLACE THE OTHERS

- high depletion can coexist with low purity

- one recovery operation does not establish cycle life

Original diagram - The Clean Paper - CC BY 4.0

چار رپورٹ شدہ میٹرکس کے denominators مختلف ہیں اور وہ الگ تجربات سے آتے ہیں۔ یہ شواہد کارڈز ہیں، ایک ہی عمل کے مسلسل stages نہیں۔

The Clean Paper CC BY 0.4

دو بڑے percentages مختلف مطلب کیسے رکھ سکتے ہیں؟

بھی آئز unwanted سے بہت اگر ہے۔ کمی زیادہ یہ ہے۔ دیتا ہٹا 90% کا آئن کسی سے liquid ابتدائی عمل کریں فرض چھوٹا خالص بہت طرف، دوسری ہے۔ سکتی ہو کم بھی پھر پن خالص کی مادہ کیا حاصل واپس تو جائیں ہو capture ساتھ کو balances سب ان جائزہ درست کا عمل ہو۔ گیا رہ پیچھے حصہ بڑا کا ہدف اگر ہے سگا دکھا بازیابی fraction poor نہیں۔ فیصد بڑا سے سب صرف ہے، دیکھتا ساتھ

دکھایا گیا apparatus ابھی بھی پیمانہ beaker- تجربہ ہے

پیمانہ سے متعلق برقی کیمیائی آزمائشیں 5 millilitres محلول سے شروع ہوئے، جس میں ہر آئن کی ارتکاز 25 millimoles فی litre تھی۔ الیکٹروڈز پر تقریباً 25 سے 40 milligrams فعال مادہ تھا۔

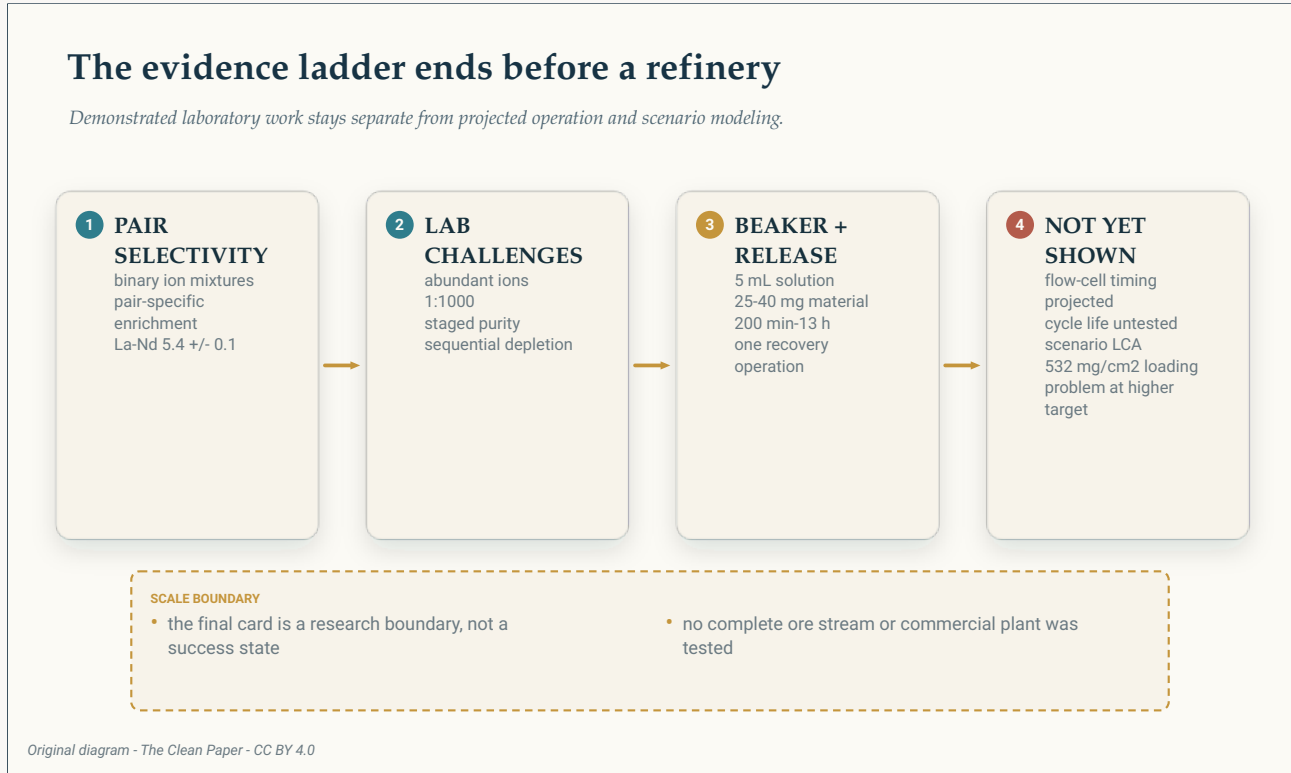
ایک electrode نے تقریباً 40% neodymium ہٹایا۔ تین الیکٹروڈز کو سلسلے میں استعمال کرنے سے تقریباً 90% کمی اور accumulated علیحدگی عامل 6.16 +/- 4.0 حاصل ہوا۔ Operating شرح کے لحاظ سے reactions 200 منٹ سے 13 گھنٹے تک چلے۔

یہ dimensions اور اوقات مرکزی کہانی کا حصہ ہیں، کیونکہ یہی بتاتے ہیں کہ حقیقت میں کیا دکھایا گیا۔

ضمیمہ ایک منتقلی-mass حد بھی بتاتا ہے۔ زیادہ ارتکاز والے beaker ہدف میں 50% کل کمی کے لیے اندازاً 266-milligram

electrode، یعنی 532 milligrams فعال مادہ فی مربع centimetre درکار ہوتا۔ اتنا مادہ چھوٹے electrode پر بھرنے سے dissolved آئنز کے لیے تمام فعال مادہ تک پہنچنا مشکل ہو جاتا۔ اسی وجہ سے مصنفین نے beaker تجربہ کے لیے زیادہ dilute محلول استعمال کیا۔

ایک فرضی بہاؤ خلیہ صرف projection کے طور پر آتا ہے۔ فرض کیے گئے 25.1 millilitre-خلیہ اور 5 by 5 electrode centimetre کے لیے ضمیمہ تقریباً 20 منٹ 1C یا 40 منٹ 5C.0 at میں لگ بھگ 90% کمی کا اندازہ دیتا ہے۔ ایسا بہاؤ-خلیہ تجربہ رپورٹ نہیں ہوا۔



یہ سیڑھی ایک واضح حد پر ختم ہوتی ہے: دو ٹوک اور staged تجربہ گاہ شواہد موجود ہے؛ بہاؤ وقت بندی اور ماحولیاتی کارکردگی ابھی projections یا منظرنامے ہیں، پیمانہ-plant نمونہ عمل نہیں۔

The Clean Paper CC BY 0.4

ماحولیاتی موازنہ ایک منظرنامہ ہے، plant نتیجہ نہیں

ضمنی حیاتی دورانیہ جائزہ علیحدگی اقدام کا موازنہ نایاب-earths oxides تک کرتا ہے اور مدخلات کو 1 کلوگرام neodymium آکسائیڈ کے حساب سے رپورٹ کرتا ہے۔

اس میں، pretreatment ore mining یا مکمل تجارتی refining زنجیر شامل نہیں۔ تجربہ گاہ عمل کو مختلف مآخذ سے جمع کیے گئے assumptions کے ذریعے ماڈل کیا گیا۔ 10، 20 اور 100 چکر کی electrode lifetimes منظرنامہ اور values sensitivity ہیں، اس مطالعے میں ناپی گئی durability نہیں۔ ماڈل فرض کرتا ہے کہ میگنیشیم بازیابی محلول اس وقت تک دوبارہ استعمال کیا جا سکا ہے جب تک ارتکاز 10% نہ بدل جائے؛ 95% پانی ری سائیکلنگ فرض کی گئی ہے؛ اور 450-600 Celsius degrees پر دو گھنٹے calcination بھی شامل ہے، حالانکہ یہاں demonstrate experimentally calcination نہیں ہوئی۔

حیاتی دورانیہ جائزہ متعین نظام حد کے اندر ماحولیاتی burdens کا حساب ہے۔ اس کا جواب اسی حد جتنا وسیع اور inventory assumptions scaling جتنا قابل اعتماد ہوتا ہے۔

یہ تجزیہ بتا سکا ہے کہ توانائی، مواد اور reuse کہاں اہم ہیں۔ یہ ثابت نہیں کر سکا کہ تجارتی نسخہ لازماً صنعتی سالوینٹ ایکسٹریکشن سے کم ماحولیاتی impact رکھے گا۔

طریقہ کار، platform اور پھر ایک لمبا انجینئرنگ راستہ

مقالہ یہ دکھاتا ہے کہ آبدار layered ٹھوس کے فاصلہ اور کیمیائی environment کو جان بوجھ کر بدل کر کچھ لینتھنائڈ جوڑے کی علیحدگی بہتر کی جا سکتی ہے۔ میگنیشیم ساختی تثبیت نے صرف نیا بائڈنگ مقام نہیں دیا، اس نے اس ساخت کو محدود کیا جس میں پانی سے گھرا آئن حرکت کرتا تھا۔

یہ نتیجہ کئی عملی سوال کھولتا ہے۔ کیا کارکردگی حقیقی mixtures ore-derived میں برقرار رہے گی؟ کیا الیکٹروڈز کو قابل عمل mass بوجھ کے ساتھ بنایا جا سکا ہے؟ میگنیز آکسائیڈ بار بار insertion اور اخراج کے کتنے چکر برداشت کرتا ہے؟ کیا مسلسل خلیہ انتخائیت، throughput اور پانی توازن برقرار رکھ سکا ہے؟ پیمانہ Pilot-inventories ناپنے کے بعد ماحولیاتی موازنہ کیسا دکھے گا؟ یہ تجربہ ان سوالوں کے جواب نہیں دیتا۔ یہ انہیں زیادہ واضح بناتا ہے۔

کامیابی مکمل ناباب-refinery earth نہیں۔ کامیابی یہ ثبوت ہے کہ پانی سے بھرے خلا کے صرف چند انگسٹروم کو قابو میں رکھنا ایک مشکل علیحدگی کو بدل سکا ہے۔

صاف خلاصہ

محققین نے پانی میں موجود بعض منتخب لینتھنائڈ آئن جوڑوں کو آبدار تہ دار میگنیز آکسائیڈ کے ذریعے الگ کیا۔ مادے میں آزاد خلا تقریباً 8.6-9.6 انگسٹروم تھا، یعنی رپورٹ شدہ 6.6-1.7 انگسٹروم کے پہلے آبداری خول کے قطر کے قریب۔ باقی رہنے والے میگنیشیم نے چینل کی ساخت قائم رکھی اور مخصوص آئن جوڑوں کی افزودگی بہتر کی، مثلاً lanthanum-neodymium کے لیے 6.1 سے 4.5 اور lanthanum-praseodymium کے لیے 5.1 سے 2.4۔ مطالعے میں زیادہ مقدار میں موجود دوسرے آئنوں کے ساتھ آزمائش، مرحلہ وار خالص پن، مسلسل کمی اور بازیابی کے مراحل بھی دکھائے گئے۔ لیکن عملی پیمانہ صرف 5 ملی لیٹر کے بیکر تجربات تک تھا، جن میں 25-40 ملی گرام فعال مادہ اور 200 منٹ سے 13 گھنٹے تک ردعمل کا وقت استعمال ہوا۔ ہواؤ والے خلیے کی رفتار محض تخمینہ تھی، کئی ادوار تک دوبارہ استعمال نہیں آزمایا گیا، اور حیاتی دورانیے کا موازنہ تجربہ گاہی مفروضوں پر منحصر تھا۔ اس لیے مقالہ قید شدہ آئن چینل کے طریقہ کار اور تجربہ گاہی پلیٹ فارم کی تائید کرتا ہے، صنعتی سطح پر سالوینٹ ایکسٹریکشن کے متبادل کی نہیں۔

بلا مبالغہ جائزہ

مقالے کا دکھانا ہے: آبدار میگنیز آکسائیڈ gap کو برقرار میگنیشیم کے ذریعے تقریباً 8.6-9.6 انگسٹروم پر تنگ رکھنے سے کچھ منتخب لینتھنائڈ جوڑے کی علیحدگی بدلی۔ ساختی پیمائشیں، electrochemistry اور حسابات محدود جگہ، پانی چھڑانا، ہم آہنگی اور

بائڈنگ والے طریقہ کار کی حمایت کرتے ہیں۔

سب سے بہتر کارکردگی کہاں تھی: مخصوص حالات میں lanthanum-neodymium افزودگی 4.5 ± 1.0 اور lanthanum-praseodymium 2.4 ± 1.0 تک پہنچا۔ دوسرے جوڑے کے values مختلف تھے۔ خالص پن، کمی اور بازیابی الگ تجربات کی الگ میٹرکس ہیں۔

یہ کیا نہیں دکھاتا: تمام نایاب earths کے لیے ہمہ گیر، separator مکمل stream ore پر، operation دکھایا گیا مسلسل بہاؤ خلیہ، بہت سے چکر تک پائیدار الیکٹروڈز، سالوینٹ ایکسٹریکشن کا متبادل، یا تجارتی پیمانہ پر ثابت شدہ ماحولیاتی برتری۔

اہم پیمانہ حدود: دکھایا گیا آزمائشیں میں 5 millilitres محلول، تقریباً 25-40 milligrams فعال مادہ اور 200 منٹ سے 13 گھنٹے کے رد عمل اوقات تھے۔ زیادہ ارتکاز والے ہدف نے centimetre فی-مربع 532-milligram بوجھ مسئلہ دکھایا۔ بہاؤ اوقات اندازاً نکالا گیا تھے۔ حیاتی دورانیہ جائزہ میں electrode عمر اور اہم ری سائیکلنگ مداخلت assumptions تھے۔

عام قاری کو کتنا اعتماد رکھنا چاہیے؟ نامزد جوڑے اور حالات کے تجربہ گاہ پیمائشیں پر زیادہ اعتماد۔ مجوزہ سالماتی تشریح پر درمیانہ اعتماد، کیونکہ یہ براہ راست ساخت/electrochemistry اور حسابات کو ملا کر بنتی ہے۔ موجودہ اعداد و شمار سے صنعتی throughput، عمر یا ماحولیاتی کارکردگی کی پیش گوئی پر کم اعتماد۔

ماخذ

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