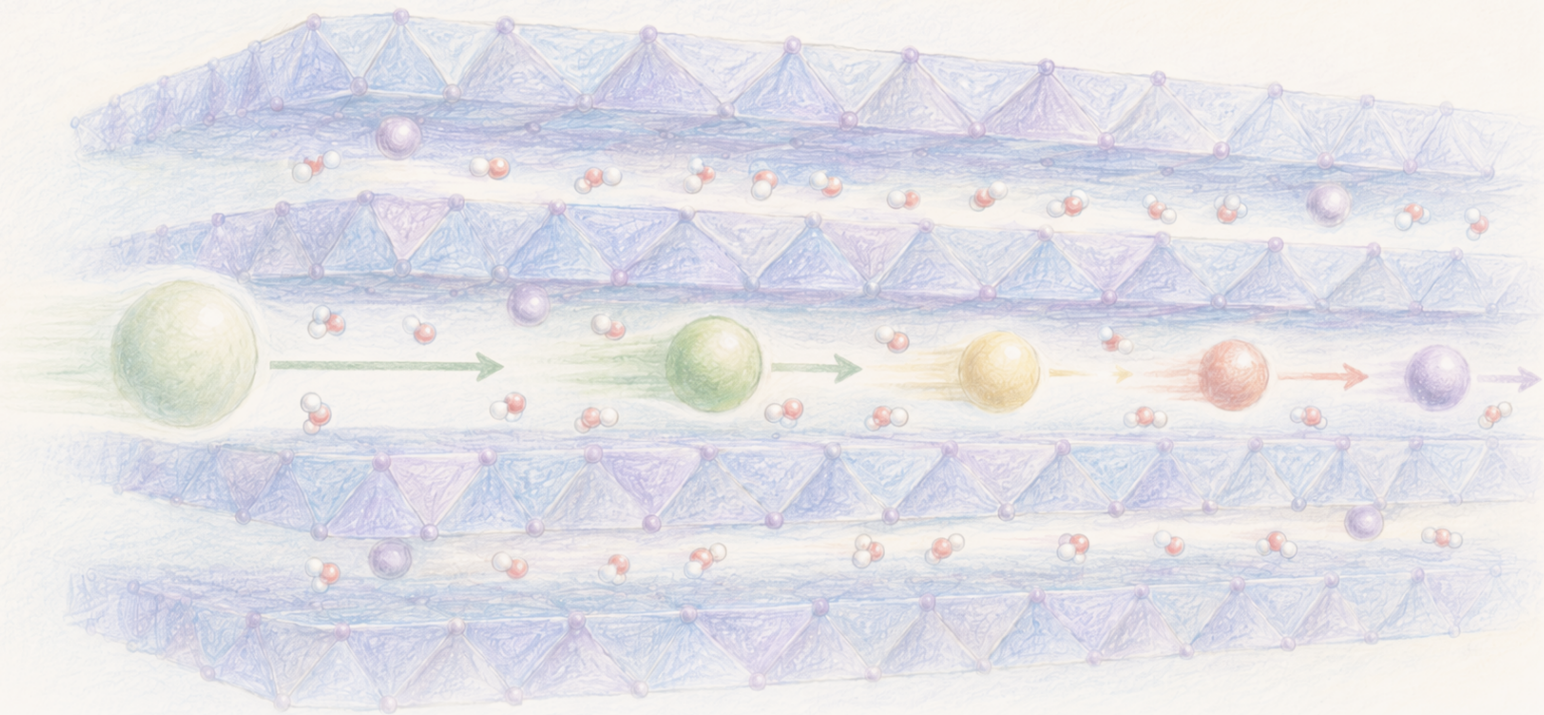




The CLEAN PAPER

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

पमीसे भरीखनजि नलीकोसँकराबनाए रखने से मलिते-जुलते दुर्लभ-पृथ्वीआयनोकोअलग करना आसम हुआ

मैग्नेशियम ने hydrated manganese-oxide कीपमीभरीजगह कोlanthanide ion कीwater shell कीचैङई के करीब सँकरारखाऔर laboratory tests में चुने हुए ion-pairs कोenrichment बढ़या। Demonstrated work millilitres solution और milligrams material तक सीमति था flow operation, long cycle life और commercial environmental performance अभीसद्धि नहींहै।

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

पमीसे भरीखनजि नलीकोसँकराबनाए रखने से मलिते-जुलते दुर्लभ-पृथ्वीआयनोकोअलग करनाआसम हुआ

दुर्लभ-पृथ्वीआयनोकोअलग करनाउसीवजह से कठिन है जिस वजह से दूर से दोभई-बहनोमें फर्क करनाकठिन होसकता है: अंतर सचमुच है, लेकिन बहुत छोटे।

लैंथेनइड आवर्त सारणीमें एक-दूसरे के पास होते हैं और आम तौर पर समान आवेश वाले आयन बनते हैं। पूरीशृंखलामें उनका आकार धीरे-धीरे बदलताहै, जबकिरसायनिक व्यवहार काफीमलितहैजुलतारहताहै। इसलिए औद्योगिकी शोधन में पृथक्करण के कई देहराए गए चरणोकीजरूरत पड़तीहै।

एक नए प्रयोगशालाअध्ययन ने इस समस्याकोबहुत सीमिति जगह में आयनोकोबँधकर देखा। शोधकर्तओं ने मैग्नीज ऑक्साइड कीपरतदार चद्दरे इस्तेमाल की जनिके बीच पमीसे भरीएक पतलीजगह थी। कई दुर्लभ-पृथ्वीआयन इस जगह के पास पमीके अणुओं से घिराहुआ पहुँचताहै। सहान होतोपरतें उसके लिए फैल सकतीहैं। मैग्नीशियम आयनोने सहारे कीतरह कम कथिा परतोके बीच बने रहकर उन्हेँ इस अंतराल कोसँकरारखने में मदद की। तब अलग-अलग दुर्लभ-पृथ्वी आयनोकोकुछ पमीछोड़ने, चैनल में प्रवेश करने और ठोस में ऑक्सीजन परमाणुओं से जुड़ने के लिए अलग-अलग ऊर्जा चुकसीपड़ी।

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

बनापनिगि और मैग्नीशियम से स्थिर किए गए चैनलोकाचित्र संरचनात्मक मापों वदियुत-रसायन और गणनओं से समर्थति तंत्र कीव्याख्याहै। किसीएक प्रयोग ने पूराआणविकी क्रम सीधे नहींदेखा।

The Clean Paper CC BY 4.0

जाँचीगई एक जोड़ी लैंथेनम और नयिडिमियम, में इस पनिगि ने संवर्धन गुणंक (enrichment factor) को 1.6 से बढ़कर 5.4 कर दिया। लैंथेनम और प्रसीडिमियम में यह 1.5 से बढ़कर 4.2 हुआ। संवर्धन गुणंक पृथक्करण से पहले और बाद में दोआयनोके अनुपात कीतुलनाकरताहै। 1 काअर्थ है कई प्रथमकितानही 5.4 काअर्थ है कि पकड़े गए पदार्थ में शुरुआतीमशिरण कीतुलनामें नयिडिमियम कोलैंथेनम पर 5.4 गुनाअधिक प्रथमकितामली।

ये इन खस आयन-जोड़ियोंके लिए महत्वपूर्ण प्रयोगशालापरणिम हैं। इनसे यह सन्नति नहींहोताकि अब हर दुर्लभ-पृथ्वी तत्व कोसफ़-सफ़ अलग कयाजासकताहै, कई नरितर प्रवह प्रक्रियाप्रदर्शति होचुकीहै, यासल्वेंट एक्सट्रैक्शन कीजगह यह वर्धिले सकतीहै।

शोधपत्र कासबसे मजबूत वचिर रफ़िनरीसे बहुत छोटाहै: पमीसे भरीखनजि दरर कोखुलने न देना।

पमीमें आयन नंगे परमाणु से बड़ाहोताहै

दुर्लभ-पृथ्वीतत्वोंमें लैथेनइड के सग्न स्कैंडियम और इट्रियम भीशमलि किए जते हैं। अध्ययन ने लैथेनम से इट्रियम तक 12 धनघेशति लैथेनइड आयनोकीजाँच की। सेरियम कोइसलिए बहर रखागयाक्येकविह आसमीसे ऑक्सीकरण अवस्थाबदलताहै, और रेडियोधर्मीप्रमेथियम कोभीशमलि नहींकियागया।

पमीमें आयन अकेलानहीचलता। पमीके अणु उसके आवेश के चहोओर व्यवस्थति होकर हइड्रेशन शेल बनते हैं। किसी सँकरे चैनल में जमे और ठोस से जुड़ने के लिए आयन कोइस पमीकीपरत काकुछ हसिसाफरि से व्यवस्थति करनायाछोड़ना पड़ सकताहै। इसकीऊर्जालगत आयन और उसके आसपस के वसतघरण, देमोपर निर्भर करतीहै।

आकार ऐंग्स्ट्रॉम (Å) में दिए गए हैं। एक ऐंग्स्ट्रॉम मीटर कादस अरबवाँहसिसाहै ($1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$)। जाँचे गए लैथेनइडो कीपहलीहइड्रेशन शेल काव्यस लगभग 6.6 से 7.1 Å बतयागया।

शोधकर्तधों ने buserite नम काजलयुक्त परतदर मैंगनीज़ ऑक्सइड इस्तेमल कया। एक आवर्तीपरत कीस्थति से अगलीतक मपने पर उसकीपरतें लगभग 9.6 से 9.7 ऐंग्स्ट्रॉम दूर थी। लेकनि परत खुद भीजगह घेरतीहै। इसलिए परतो के बीच पमीके लिए उपलब्ध वसतवकि खुलीजगह केवल लगभग 6.8 से 6.9 ऐंग्स्ट्रॉम थी।

यह फरक महत्वपूर्ण है। 9.7-ऐंग्स्ट्रॉम अंतर-परत दूरीकाअर्थ 9.7-ऐंग्स्ट्रॉम खुलाचैनल नहींहै।

कुछ हलके लैथेनइडोने संरचनाकोअधिक पमीवलीअवस्थामें फैलादया। वहाँपरत-से-परत दूरीलगभग 11.2 ऐंग्स्ट्रॉम और अनुममति खुलाअंतरल लगभग 8.42 ऐंग्स्ट्रॉम था। Birnessite नम कीएक अधिक सँकरीसंबंधति संरचनामें यह अंतरल लगभग 4.42 ऐंग्स्ट्रॉम था।

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

तुलनाहृद्देशन शेल के अनुमति व्यास और पसीसे भरीवास्तविक खुलीजगह के बीच है, न किनिंगे आयन और पूरीपरत-से-परत दूरीके बीच। आकार तंत्र काहिसिहै, पूरीव्याख्यानही।

The Clean Paper CC BY 4.0

खनजि आयन के अनुसार अपनाआकार बदल सकताहै

मैग्नीशियम पनिगि के बनिचैनल कई कठोर छलनीनहीहै: उसकीपरतें हलि सकतीहैं। प्रयोगोंमें हलके आयन लैथेनम, प्रसीओडिमियम और नयिडिमियम ने पदार्थ कोअधिक पसीलेने और ज्यद्वाखुलने पर मजबूर किया। यूरोपियम से इटर्बियम तक भरीआयनोंने आम तौर पर सँकरीचैनल संरचनाबनाए रखी। समेरियम इन दोपरतक्रियाओं के बीच था।

शेपपत्र पहलीपरतक्रियाकोग्रुप I और दूसरीकोग्रुप II कहताहै। ये नम इस वशिष पदार्थ कीपरतक्रियाके लिए हैं, आवर्त सारणीके समूह-संख्यानहीं। अलग प्रयोगोंकि परिस्थितियोंमें इनके बीच कीसीमाबदल भीसकतीहै।

यह संरचनात्मक अंतर अलग समूहकीआयन-जोड़ियोंमें उपयोगीरहा। प्रत्यक्ष आयन-वनिमिय में बतलागयासंवर्धन गुणंक्त लैथेनम बनस डसिप्रोसियम के लिए 7.8, प्रसीओडिमियम बनस डसिप्रोसियम के लिए 5.7, नयिडिमियम बनस डसिप्रोसियम के लिए 4.5, और नयिडिमियम बनस यूरोपियम के लिए 2.6 था।

ज्यद्वातर पडोसीजोड़ियाँबहुत कठनि थीं उनमें संवर्धन गुणंक्त लगभग 1.1 रहे। 1 के पस गुणंक्त काअर्थ बहुत कम प्रसमकताहै। पदार्थ उन जोड़ियोंमें बेहतर फर्क कर पयाजहाँदोआयन अलग-अलग चैनल संरचनाएँ पसंद करते थे, बजस उन जोड़ियोंके जोएक हीपरतक्रियासमूह में पस-पस थे।

मैग्नीशियम चैनल को स्थिर रखता है

इसके बहुरी शोधकर्तृओं ने वदियुत-रसयनिक इंटरकलेशन (electrochemical intercalation) इस्तेमाल किया एक वदियुत-रसयनिक अभिक्रिया जो आयनोकोठे परतों के बीच डलती है। दुर्लभ-पृथ्वी आयनों के प्रवेश करते समय मैग्नीशियम आयन चैनल में बने रहे। इस वच्चे हुए मैग्नीशियम ने buserite की परतों को फैलने से रोकने में मदद की।

इस सँकरे, गले अंतराल में पत्ती से घरि आयन के लिए कम जगह होती है। प्रसृतत्व तंत्र में सीमिति स्थित, आंशिक निर्जलीकरण, समन्वय और बंधन — सभी शामिल हैं। समन्वय (coordination) से मतलब उन नजदीकी परमाणुओं — अक्सर ऑक्सीजन — से है जो आयन को सीधे घेरते हैं और उससे संपर्क करते हैं।

सम्पूर्ण कई तरह के प्रयोगों से आता है। X-ray मापने ठोस की संरचना पर नज़र रखी। वदियुत-रसयनिक प्रयोगों ने आयन-प्रवेश और पृथक्करण मापा। घनत्व-फलन सिद्धांत (घनत्व कार्यत्मक theory), यमीक्वंटम-यंत्रिक गणना से संरचनाओं, हड्डि-ड्रेशन और बंधन की तुलना की गई। ये गणनाएँ तंत्र समझने में मदद करती हैं; वे चैनल से गुजरते किसी एक आयन की सीधी फिल्म नहीं हैं।

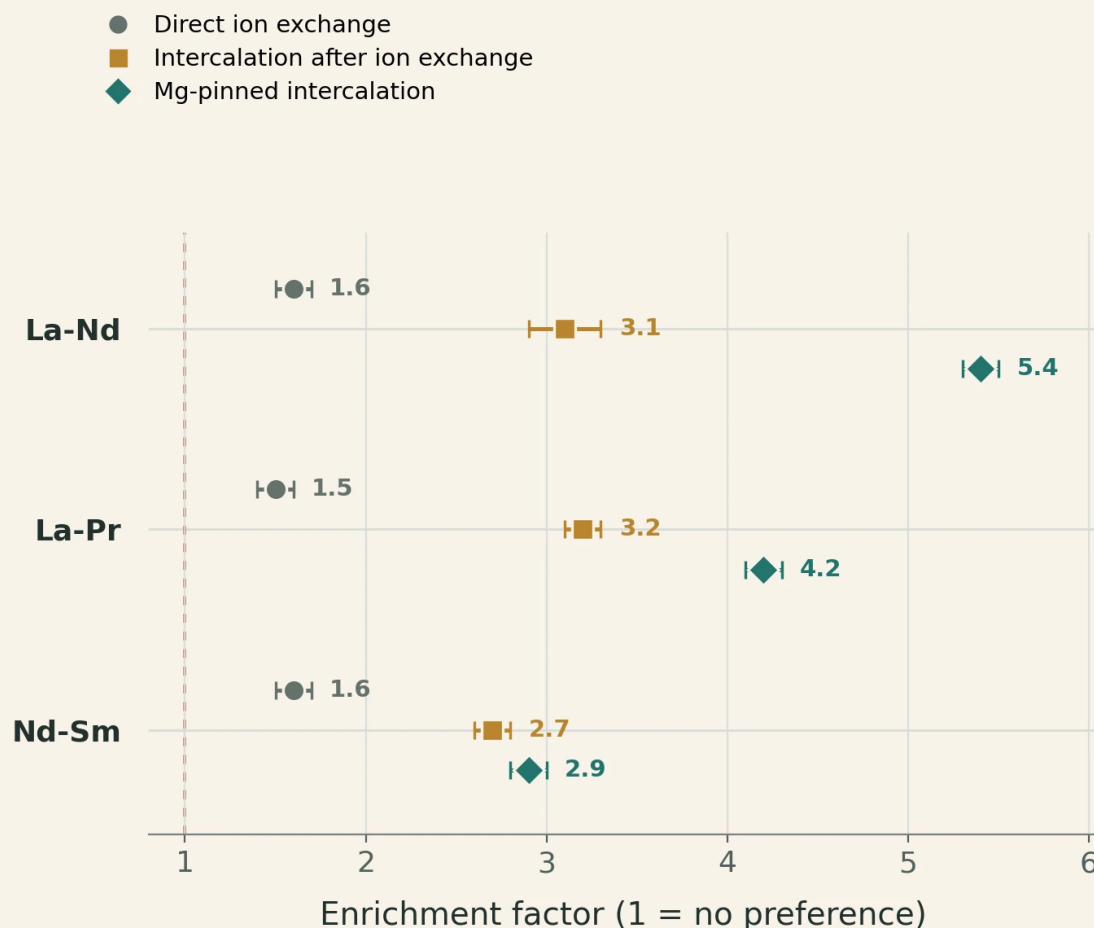
और तंत्र केवल “छोटे आयन गुजरते हैं, बड़े रुक जाते हैं” भी नहीं है। पत्ती की शेल, परतों की प्रतिक्रिया, निर्जलीकरण की ऊर्जा लागत और ठोस के साथ आयन का समन्वय — सभी योगदान देते हैं।

पनिगि ने चुनी हुई पड़ोसी जड़ियों में पृथक्करण सुधारा

सबसे बड़े स्तर की बदलती लैथेनम और नयिडिमियम में था पनिगि के बनावट संवर्धन 1.6 ± 0.1 से मैग्नीशियम पनिगि के साथ 5.4 ± 0.1 हुआ। लैथेनम बनस प्रसीओडिमियम 1.5 ± 0.1 से 4.2 ± 0.1 हुआ। नयिडिमियम बनस समेरियम 1.6 ± 0.1 से 2.9 ± 0.1 हुआ।

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 $\pm$ s.d. ($n = 3$). Conditions are comparisons, not sequential stages.

हर पंक्ति में अलग प्रयोगशाला प्रक्रियाओं की तुलना करती है; ये किसी एक प्रक्रिया के लगातार चरण नहीं हैं। गुणंक 1 कामतलब कोई प्रथम कितानही ऊँचे मत किसी खस जोड़ी के लिए अधिक मजबूत संवर्धन देखते हैं। बढि औसत और त्रुटि-रेखाएँ $\pm$ मतक वचिलन ($n = 3$) देखते हैं।

The Clean Paper CC BY 4.0

pH 2 पर लैथेनम-नयिडिमियम मत 5.6 $\pm$ 0.2 था वदियुत दर कोपँस गुना 0.1C से 0.5C करने पर मत 5.4 $\pm$ 0.1 से घटकर 4.3 $\pm$ 0.4 हुआ। C-rate लगाए गए करंट की तुलना पदार्थ की क्षमता से करता है। अधिक दर आयनो और ठोस को प्रतिक्रिया करने के लिए कम समय देती है।

कई एक संख्याइस पदार्थ के सार्वभौमिक प्रदर्शन को नहीं बतती। संवर्धन आयन-जोड़ी ठोस की संरचना, अम्लता और संचलन दर पर निर्भर करता है।

शोधपत्र ने बहुत अधिक मात्रामें मौजूद गैर-दुर्लभ-पृथ्वीआयनों के बीच भीपदार्थ कोपरखा। शुरुआतीमश्रणोंमें हर 1 दुर्लभ-पृथ्वीआयन के मुकबले 1,000 प्रतिसिपृथ्वीआयन थे। बतई गई चयनत्मकतासेडियम के खलिफ़ लगभग 1,200, कैल्शियम के खलिफ़ 6,500 और मैग्नीशियम के खलिफ़ 1,700 थी।

यह उपयोगीसूक्ष्म है कि इन प्रयोगशालापरस्थितियोंमें समस्त आयन पृथक्करण कोअपने आप वफ़िल नहींकर देते। लेकिन यह धातुओं, अम्लताऔर अशुद्धियोंसे भरे पूरे अयस्क-व्युत्पन्न द्रव कापरिक्षण नहींहै।

संवर्धन, पृथक्करण, शुद्धता हटव और पुनर्प्रमर्ति अलग परणिस हैं

शोधपत्र में प्रदर्शन के कई माप आते हैं, और उन्हें एक-दूसरे कीजगह नहींरखाजासकता।

संवर्धन गुणंक पृथक्करण के बन्न दोआयनोंके अनुपत्त कीतुलनाउनके शुरुआतीअनुपत्त से करताहै। 5.4 कामस बतताहै कि पकड़े गए पदार्थ ने शुरुआतीमश्रण कीतुलनामें जोड़ीके एक सदस्य कोदूसरे पर 5.4 गुनाअधिक प्रमर्मकतादी।

पृथक्करण गुणंक द्रव में बचे पदार्थ कोभीशमलि करताहै: वह हर आयन कीपकड़ीगई और न पकड़ीगई मात्राकाअनुपत्त निकलताहै, फिर उन दोसंतुलनोंकीतुलनाकरताहै। इसलिए अधिक पदार्थ हटने पर पृथक्करण गुणंक बढ़ सकताहै, भले संवर्धन गुणंक अलग ढंग से बदले।

शुद्धता(purity) पुनर्प्रमर्त अंश में चुने हुए आयन काहसिसाहै। दोचरणिय प्रदर्शनोमें अपने निर्धारित मार्ग पर लगभग 97.0% नयिडिमियम शुद्धताऔर 92.3% डसिप्रोसियम शुद्धतामली।

हटव (depletion) बतताहै कि शुरुआतीघोल से कतिनाहसिसाहटयागया। नयिडिमियम-डसिप्रोसियम परिक्षण में 10 मलिग्रम पड्डर कीआठ लगातर मात्राओं ने 72% डसिप्रोसियम हटयाऔर संचति पृथक्करण गुणंक 10.8 दिया।

पुनर्प्रमर्ति (recovery) पूछतीहै कि पकड़े गए आयन में से कतिनाबन्न में छोड़ाजासकताहै। उल्टे आयन-वनिमिय ने एक नयिडिमियम-डसिप्रोसियम प्रक्रियामें 80% पुनर्प्रमर्त किया। वदियुत-रसयनिक नष्टिकसन ने लैथेनम-नयिडिमियम प्रक्रियामें 89% पुनर्प्रमर्त किया।

पुनर्प्रमर्ति यह दखितीहै कि प्रक्रियाउलटीकीजासकतीहै। इससे यह स्थिति नहींहोताकि इलेक्ट्रोड अपनाप्रदर्शन बनाए रखते हुए कतिनीबार दोहराइस्तेमल होसकताहै।

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

चार बताए गए मम्म अलग-अलग हरोकाउपयोग करते हैं और अलग प्रयोगोसे आते हैं। ये सक्ष्म के अलग काड हैं, कसीएक प्रक्रियाके लगतार चरण नहीं।

The Clean Paper CC BY 4.0

दोप्रभन्नशलीप्रतशित अलग बत्ते कैसे बतासकते हैं?

मम्म ले कई प्रक्रियाशुरुआतीद्व से एक आयन का90% हटादेतीहै। यह उच्च हटम है। यदिउसके सग बहुत से अवच्छति आयन भीआ जाएँ, तोपुनर्प्रप्त पदार्थ कीशुद्धताफिर भीकम होसकतीहै। उल्टा बहुत शुद्ध छेटाअंश भीखरब पुनर्प्रप्तदिखासकताहै यदिलक्ष्य आयन काअधकिंश हसिसापछे रह गयाहो। प्रक्रियाकोसमझने के लिए इन सभीसंतुलनोकीजरूरत है, केवल सबसे बडीसंख्याकीनहीं।

प्रदर्शति व्यवस्थाअभीभीबकिर प्रयोग है

बडे पैममे कीदशामें कए गए वदियुत-रसयनकि परिक्षण 5 मलिलीटर घेल से शुरू हुए, जसिमें हर आयन के 25 मल्लिमेल प्रतिलीटर थे। इलेक्ट्रोडोपर लगभग 25 से 40 मल्लिग्रम सक्रिय पदार्थ था।

एक इलेक्ट्रोड ने लगभग 40% नयिडिमियम हटया। श्रंखलामें लगाए गए तीस इलेक्ट्रोड लगभग 90% depletion और संचति पृथक्करण गुणंक 16.6 +/- 0.4 तक पहुँचे। संचलन दर के अनुसार अभक्रियाएँ 200 मनिट से 13 घंटे चली।

ये आयस और समय मुख्य कहनीमें हमे चहएि, क्येकि यहीबतते हैं कविस्तव में क्याप्रदर्शति कयागया।

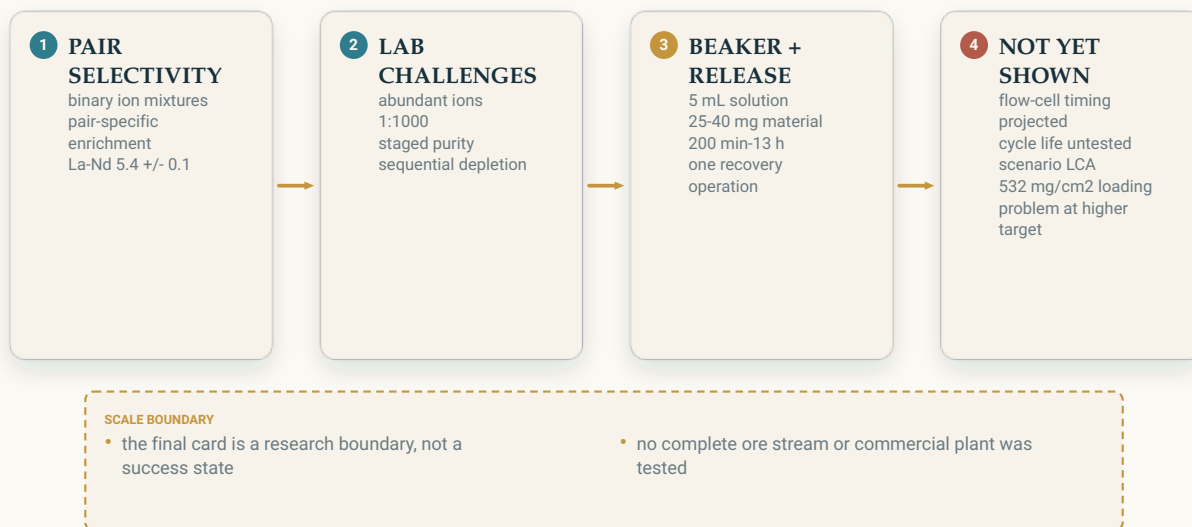
पूरक समग्रिमें द्रव्यमम-स्थमंतरण कीसीमाभीपहचनीगई है। अधिक संद्वरतावले बकिर लक्ष्य में 50% कुल हटम पमे के लिए अनुममत:266-मल्लिग्रम इलेक्ट्रोड, या532 मल्लिग्रम सक्रिय पदार्थ प्रतविर्ग सेंटमीटर चहएि हेटा। छेटे इलेक्ट्रोड पर इतनापदार्थ भरने से घुले हुए आयनोके लिए पूरे पदार्थ तक पहुँचनाकठिन हेटा। इसलिए लेखकोने बकिर

प्रयोग के लिए अधिक पतलाघोल अपनया।

कल्पनिक प्रवह-सेल केवल अनुमान में है। 1.25-मिलीलीटर सेल और 5×5 सेंटीमीटर इलेक्ट्रोड मिलाकर पूरक समग्रि लगभग 90% हटाने के लिए 1C पर 20 मिनट या 0.5C पर 40 मिनट का अनुमान देती है। ऐसा कोई प्रवह-सेल प्रयोग रपॉर्ट नहीं किया गया।

The evidence ladder ends before a refinery

Demonstrated laboratory work stays separate from projected operation and scenario modeling.



Original diagram - The Clean Paper - CC BY 4.0

समृद्ध को सीढ़ी एक सीमा पर खत्म होती है: द्विआधारी और चरणबद्ध प्रयोगशाला समृद्ध मौजूद हैं, जबकि प्रवह का समय और पर्यवरण प्रदर्शन अभी अनुमानित या परदृश्य-आधारित है; संयंत्र स्तर पर उनका प्रदर्शन नहीं हुआ।

The Clean Paper CC BY 4.0

पर्यवरण तुलना एक परदृश्य है, संयंत्र कानती जान ही

पूरक ज्विन-चक्र आकलन पृथक्करण चरणों की तुलना दुर्लभ-पृथ्वी ऑक्साइड तक करता है और इनपुट को 1 किलोग्राम neodymium oxide के आधार पर बताता है।

इसमें खनन, अयस्क का प्रारंभिक उपचार या पूरी व्यवसायिक शोधन शृंखला शामिल नहीं है। प्रयोगशाला प्रक्रिया को कई स्रोतों से ली गई धारणाओं के आधार पर मॉडल किया गया है। इलेक्ट्रोड के 10, 20 और 100 चक्र ज्विनकाल परदृश्य और संवेदनशीलता के मस है, इस अध्ययन में मशीन टिकिपन नहीं मॉडल मसता है कि मैग्नीशियम पुनर्प्राप्ति वाले घोल को संहता 10% बदलने तक दोहराई स्तेमल किया जा सकता है, 95% पानी पुनर्चक्रण मसता है, और 450-600 डग्री सेल्सियस पर दोघंटे का कैल्सिनेशन शामिल करता है, जबकि calcination यहाँ प्रयोग से प्रदर्शित नहीं हुई।

ज्विन-चक्र आकलन तय प्रणाली सीमा के भीतर पर्यवरण बेल का हसिब लगाता है। उसका उत्तर उतना ही मजबूत होता है जतिनी व्यापक वह सीमा और जतिनी भरोसेमंद उसकी समग्रि सूचित था बड़े पैमाने की धारणाएँ हो।

वश्लेषण बतासकताहै कि ऊर्जा समग्री और पुनउपयोग कहाँ महत्वपूर्ण हैं। वह यह सन्नति नहीं कर सकता कि व्ययसयकि रूप का पर्यवर्णयि प्रभव औद्योगिकि सल्लवेंट एक्सट्रैक्शन से कम होगा।

एक तंत्र, एक प्रयोगिकि मंच और इंजीनियरिंग कालंबारस्ता

शेपपत्र स्थपति करता है कि जलयुक्त परतदा ठोस कीदूरी और रसयनिक वसतवण को जमबूझकर नियंत्रित करके चुने हुए लैथेनइड पृथक्करण बेहतर किए जासकते हैं। मैग्नीशियम पनीगि ने केवल एक और रसयनिक बंधन-स्थल नहीं जोड़ा उसने उस संरचनाको सन्नति रखा जिसके भीतर पत्तीसे घरे आयन को गुजरना था।

इस नतीजे से व्ययहरा कि सवाल खुलते हैं। क्या प्रदर्शन वास्तविक अयस्क-व्युत्पन्न मशीनों में टकिगा? क्या उपयोगी द्रव्यम-लोडिंग वाले इलेक्ट्रोड बनाए जासकते हैं? कई प्रवेश-नरिगमन चक्रों के बद्द मैग्नीज ऑक्सइड कतिना स्थिर रहेगा? क्या निरंतर सेल चयनत्मकता प्रवह-दर और पत्तीका संतुलन बनाए रख सकती है? पत्तीगई पयलट-स्तरीय समग्री सूची के सय पर्यवर्णयि तुलना कैसी दिखेगी?

प्रयोग इन सवाल को जवाब नहीं देता वह उन्हें अधिक ठोस बनाता है।

उपलब्ध किई तैयार दुर्लभ-पृथ्वी रिफाइनरी नहीं है। उपलब्ध यह सक्षय है कि पत्तीसे भरे कुछ ऐंगस्ट्रम की नियंत्रित जगह कठिन पृथक्करण को बदल सकती है।

साफ़ संश्ल

शेपकर्तओं ने पत्ती में चुनी हुई लैथेनइड-आयन जोड़ियों को अलग करने के लिए जलयुक्त परतदा मैग्नीज ऑक्सइड इस्तेमाल किया। पदार्थ की वास्तविक खुली जगह लगभग 6.8-6.9 ऐंगस्ट्रम थी जो आयनों की पहली हाइड्रेशन शेल के बताए गए 6.6-7.1-ऐंगस्ट्रम व्यस के करीब है। बचा हुआ मैग्नीशियम चैनल को स्थिर रखने में मदद करता है और खास आयन-जोड़ियों का संवर्धन बढ़ता है, जिसमें लैथेनम-नयिडमियम 1.6 से 5.4 और लैथेनम-प्रसीओडमियम 1.5 से 4.2 हुआ। अध्ययन ने बहुतायत में मौजूद अन्य आयनों के बीच परिक्षण, चरणबद्ध शुद्धता क्रमिक हटव और पुनर्प्रप्ति प्रक्रियाएँ भी बताईं। प्रदर्शति पैमाना 5-मलिलीटर बकर परिक्षण, 25-40 मलिंग्रम सक्रिय पदार्थ और 200 मिनट से 13 घंटे अभिक्रिया समय तक सीमति रहा। प्रवह-सेल का समय केवल अनुमति था कि कई चक्रों तक पुनउपयोग का परिक्षण नहीं हुआ, और जिवन-चक्र तुलना प्रयोगशाला स्तर की धारणाओं पर निर्भर थी। शेपपत्र सीमति स्थल वाले तंत्र और प्रयोगशाला मंच का समर्थन करता है, औद्योगिकि सल्लवेंट एक्सट्रैक्शन के प्रतस्थपन कानही।

बनाबदाचदकर जंघ

शेपपत्र क्या दसिता है: बचा हुआ मैग्नीशियम जलयुक्त मैग्नीज-ऑक्सइड के लगभग 6.8-6.9 ऐंगस्ट्रम अंतराल को बनाए रखकर चुनी हुई लैथेनइड जोड़ियों का पृथक्करण बदलता है। संरचनात्मक मय, वदियुत-रसयन और गणनाएँ सीमति स्थल, नरिजलीकरण, समन्वय और बंधन वाले तंत्र का समर्थन करती हैं।

सबसे अच्छा प्रदर्शन कहाँ था तय परस्थितियों में लैथेनम-नयिडमियम संवर्धन 5.4 ± 0.1 और लैथेनम-प्रसीओडमियम 4.2 ± 0.1 तक पहुँचा। दूसरी जोड़ियों के मय अलग थे। शुद्धता हटव और पुनर्प्रप्ति के अलग प्रयोग अलग हरोका उपयोग करते हैं।

यह क्यानहीदखिता सभी दुर्लभ-पृथ्वी तत्वों के लिए सहवैभक्तिक विभाजक; पूरे अयस्क-प्रवह पर संचलन; प्रदर्शति नरंतर प्रवह सेल; कई चक्रेतक टकिऊ इलेक्ट्रोड; सॉल्वेंट एक्सट्रैक्शन का प्रतस्थान; यासद्धि व्ययसयकि पर्यवरणीय श्रेष्ठता।

मुख्य पैमानासीमाएँ: प्रदर्शति परीक्षण में 5 मिलीलीटर घोल, लगभग 25-40 मिलीग्राम सक्रिय पदार्थ और 200 मिनट से 13 घंटे लगे। अधिक संहरतावले लक्ष्य ने 532-मिलीग्राम-प्रत-वर्ग-सेंटीमीटर लोडिंग की समस्यापैदाकी प्रवह का समय अनुमति था। जिन-चक्र आकलन में इलेक्ट्रोड जिनकल और बड़े recycling इनपुट धरणाएँ थे।

समय पछक कोकतिनाभरेताहेताचहएँ? बतई गई जेड़ियो और परस्थितियों के प्रयोगशालामोपर ऊँचाभरेता प्रस्तवति आणवकि व्याख्यापर मध्यम भरेता क्येकि उसमें प्रत्यक्ष संरचनत्मक और वदियुत-रसयनकि मपोके सय गणनाएँ भी हैं। मौजूदा डेटासे औद्योगिक प्रवह-दर, जिनकल या पर्यवरणीय प्रदर्शन का अनुमान लगाने पर कम भरेता।

स्रोत

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>