एक ठोस, दो ईंधन: IISER का क्रिस्टल जो हल्की गर्मी पर हाइड्रोजन और मीथेन दोनों छोड़ता है

विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी / ऊर्जा (मुख्य परीक्षा: सामान्य अध्ययन-III) | समाचार संदर्भ: 15 अक्टूबर 2026 (द हिंदू; पेपर 7 अक्टूबर 2026) | प्रकाशित: 24 अक्टूबर 2026

खबरों में क्यों

इंडियन इंस्टीट्यूट ऑफ साइंस एजुकेशन एंड रिसर्च (IISER), तिरुवनंतपुरम के रसायनशास्त्रियों ने एक ऐसा क्रिस्टलीय यौगिक बनाया है जो एक ही स्रोत से दो ईंधन गैसें – हाइड्रोजन और मीथेन – अपेक्षाकृत कम तापमान पर छोड़ता है। यौगिक का नाम है मैग्नीशियम हाइड्रिडोमिथाइलजिंकेट ($Mg[(CH_3)ZnH_3]$) – मैग्नीशियम, जिंक, हाइड्रोजन और कार्बन से बना हाइड्राइड-समृद्ध ऑर्गेनोमेटेलिक ठोस। शोध साइंस एडवांसेस में 7 अक्टूबर 2026 को छपा (खुली-पहुँच); द हिंदू की रिपोर्ट 15 अक्टूबर (संशोधित 18 अक्टूबर) और टेकएक्सप्लोर की 19 अक्टूबर को आई – तिथियाँ अलग रखें। प्रथम लेखिका शीतल काथायत बिष्ट हैं; सह-लेखक पूर्णा गोमथीशंकरन और एलेक्स पी. एंड्रयूज; अध्ययन-नेता रसायन विज्ञान प्रोफेसर अजय वेणुगोपाल (मेन ग्रुप केमिस्ट्री लैब)। पेपर के अनुसार एक स्रोत से दोनों गैसें देने वाला आणविक अग्रदूत (प्रीकर्सर) पहले ज्ञात नहीं था – यही इस काम की मौलिकता है, यह दावा शोधकर्ताओं का है।

पृष्ठभूमि: हाइड्रोजन-ईंधन की दौड़

हाइड्रोजन भविष्य के ईंधन की दौड़ में इसलिए है क्योंकि उसके जलने से सीधे कार्बन डाइऑक्साइड नहीं निकलती। पर उसकी बहुत कम घनत्व के कारण भंडारण और ढुलाई महंगी और जटिल है – मजबूत दबाव टैंक या क्रायोजेनिक तकनीक चाहिए। एक मध्यवर्ती रास्ता प्रस्तावित है: हाइड्रोजन को मीथेन से मिलाना। हाइड्रोजन तेज जलती है और ज्वलन-सीमा चौड़ी है; मीथेन मिलने से फ्लैशबैक (लपट का बर्नर में वापस घुसना) और विस्फोट का खतरा घटता है – यानी मिश्रण अधिक सुरक्षित संक्रमण-कालीन ईंधन। समस्या: अभी तक ठोस भंडारण की कोशिशें दोनों गैसों के लिए अलग-अलग चलीं – हाइड्रोजन के लिए मेटल हाइड्राइड, मीथेन के लिए अन्य सामग्री; और जो आणविक हाइड्राइड कम तापमान पर गैस छोड़ते थे, उन्हें भारी-भरकम स्थिरकारी समूह (लिगैंड) चाहिए होते थे, जिनसे वजन बढ़ता और हाइड्रोजन-प्रतिशत घटता। मीथेन देने वाले आणविक यौगिक तो बनाते समय ही टूट जाते थे (श्लेंक विषमानुपातन)। IISER की टीम ने एल्किल समूहों को हाइड्राइड-समृद्ध समूहन में जोड़कर एक अवधारणात्मक नया रास्ता दिखाया – एक ही आणविक मंच से दोनों गैसें। भारत के संदर्भ में रेखा और साफ है: राष्ट्रीय हरित हाइड्रोजन मिशन उत्पादन पर जोर देता है, पर उत्पादन के बाद की कड़ियाँ – भंडारण, ढुलाई, अंतिम-छोर डिलीवरी – अभी महंगी और तकनीकी रूप से अपरिपक्व हैं; HCNG जैसे मिश्रण-ईंधन पायलट भी इसी बीच के रास्ते के हिस्से हैं। ऐसे में ऊर्जा-सुरक्षा और हरित-हाइड्रोजन मिशन की चर्चा के बीच ईंधन-भंडारण की यह मूलभूत केमिस्ट्री सीधे सामान्य अध्ययन-III से जुड़ती है – यह दिखाती है कि समस्या सिर्फ इंजीनियरिंग की नहीं, आणविक डिजाइन की भी है, और उसी स्तर पर भारतीय प्रयोगशालाएँ योगदान कर रही हैं।

तरीका: तीन चरणों की संश्लेषण और 'रिडक्टिव एलिमिनेशन'

टीम ने पहले लिथियम ऑर्गेनोजिंकेट (70% उपज) बनाया, फिर उससे मैग्नीशियम ऑर्गेनोजिंकेट, और अंत में फेनाइलसिलेन से क्रिया कर मैग्नीशियम मिथाइल-ट्रिस(हाइड्रिडो)जिंकेट के बेरंग क्रिस्टल (72% उपज; एक-पात्र मार्ग से 54%)। सिंगल-क्रिस्टल एक्स-रे विश्लेषण ने दिखाया कि ठोस में 'फेस-शेयरिंग बिस-क्यूबेन' $Mg_2Zn_2H_6$ कोर है – मेटल-से-हाइड्रोजन अनुपात 1:1.5, और कोई भारी स्थिरकारी लिगैंड नहीं; केवल हल्के THF अणु मैग्नीशियम से जुड़े हैं। गैस-निकासी के प्रयोग दो तरह से हुए। घोल में 100°C पर गर्म करने पर केवल हाइड्रोजन निकली (साढ़े तीन घंटे में)। लेकिन विलायक-रहित, अवायवीय (ऑक्सीजन-मुक्त) स्थिति में क्रिस्टल को 80-110°C पर गर्म करने पर हाइड्रोजन और मीथेन दोनों निकलीं – और मीथेन पहले निकली, यानी गैसें क्रमिक अभिक्रियाओं से छूटीं, एक साथ नहीं। ड्यूटेरियम-लेबल प्रयोग ने पुष्टि की कि गैसें यौगिक के अंदर की रिडक्टिव एलिमिनेशन (धातु-हाइड्राइड बंधों के पुनर्योजन)

से बनीं, नमी से नहीं। थर्मोग्रेविमेट्री में अपघटन 50°C से शुरू, 117°C पर पूर्ण; कुल द्रव्यमान-क्षति 68% – जो दो अणु हाइड्रोजन, दो अणु मीथेन और चार अणु THF के निकलने से मेल खाती है; बचा 32% अवशेष मूल धातुएँ मैग्नीशियम और जिंक। उल्लेखनीय है कि मीथेन ही एकमात्र हाइड्रोकार्बन उत्पाद था – उच्चतर हाइड्रोकार्बन नहीं बने।

मिला क्या: 'सिंगल-सोर्स' दोहरे ईंधन का प्रमाण-सिद्धांत

निष्कर्ष तीन स्तरों पर पढ़ें। बुनियादी विज्ञान में, यह दुर्लभ क्रिस्टलोग्राफिक रूप से पुष्ट मिश्र-धातु आणविक हाइड्राइड है जो बिना भारी लिगैंड के स्थिर है – संरचना और बंधन की समझ (DFT विश्लेषण सहित) भविष्य की डिजाइन के लिए खाका देती है। ऊर्जा-रसायन में, एक ही ठोस से नियंत्रित, क्रमिक दो-गैस निकासी एक अवधारणा सिद्ध करती है: आणविक यौगिक ईंधन-गैसों के 'स्टोरेज-डिलीवरी मंच' बन सकते हैं। व्यावहारिक दृष्टि से हालाँकि यह अभी प्रमाण-सिद्धांत (प्रूफ-ऑफ-कॉन्सेप्ट) है, तैयार ईंधन-टैंक नहीं। वेणुगोपाल ने द हिंदू से कहा कि ऑर्गेनोमेटेलिक यौगिक ईंधन-गैसों के भंडारण और नियंत्रित निकासी के आणविक मंच बन सकते हैं; साथ ही स्वीकार किया कि प्रतिवर्तिता (रिवर्सिबिलिटी) – यानी गैस खत्म होने पर यौगिक को फिर से गैस से 'रिचार्ज' करना – अभी प्रदर्शित नहीं हुई। टीम का अगला लक्ष्य s- और p-ब्लॉक की हल्की धातुओं से प्रतिवर्ती गैस-अवशोषण-निकासी वाले यौगिक खोजना है, जिससे रीसाइक्ल होने वाली ईंधन-भंडारण सामग्री संभव हो।

सीमाएँ और सावधानियाँ

कई बातें संयत रखें। पहली, यह प्रयोगशाला-स्तरीय प्रमाण-सिद्धांत है – मिलीमोलर पैमाने की संश्लेषण, कोई व्यावसायिक भंडारण-तंत्र नहीं; ऊर्जा-घनत्व, लागत, चक्र-जीवन कहीं जाँचे नहीं गए। दूसरी, प्रतिवर्तिता अभी अनुपस्थित है – एक बार गैस निकलने पर बचता है मूल धातु (Mg+Zn), यौगिक नहीं; 'रीसाइक्लेबल' भविष्य का लक्ष्य है, वर्तमान उपलब्धि नहीं। तीसरी, यौगिक अत्यंत पायरोफोरिक और नमी-संवेदी है – सामान्य हवा-नमी में संभालना कठिन; वास्तविक ढुलाई-तंत्र के लिए यह बड़ी बाधा है। चौथी, गैस-निकासी की शर्तें सटीक पढ़ें: दोनों गैसें केवल ठोस-अवस्था, विलायक-रहित, अवायवीय, 80-110°C पर; घोल में 100°C पर केवल हाइड्रोजन निकलती है – दोनों प्रयोग अलग हैं। पाँचवीं, 'कम तापमान' सापेक्ष शब्द है – 80°C भी औद्योगिक परिवहन में सक्रिय ताप-प्रबंधन माँगेगा; यह कमरे के ताप पर गैस छोड़ने वाली सामग्री नहीं। छठी, 'पहले ज्ञात नहीं था' दावा पेपर का है – साहित्य-सीमा के भीतर सही, पर 'विश्व-प्रथम ईंधन-तंत्र' के रूप में न पढ़ें; यह पहला आणविक एकल-स्रोत प्रीकर्सर है, पहला हाइड्रोजन-मीथेन भंडारण-प्रयास नहीं। सातवीं, 68% द्रव्यमान-क्षति में चार अणु THF भी शामिल हैं – पूरी क्षति ईंधन-गैसों की नहीं। आठवीं, तिथियों का भेद रखें: पेपर 7 अक्टूबर 2026 (साइंस एडवांसेस, खंड 12, अंक 41, eaej2622; प्राप्ति 28 मई, स्वीकृति 28 अगस्त), समाचार-कवरेज 15-19 अक्टूबर – यह दो सप्ताह पुराने पेपर की व्याख्या है। नौवीं, मीथेन स्वयं ग्रीनहाउस गैस है – यह काम उत्सर्जन-कटौती का नहीं, भंडारण-डिलीवरी का है; मिश्रण-ईंधन की जलवायु-भूमिका अलग बहस है।

आगे क्या देखना होगा?

तीन चीजें: (1) प्रतिवर्तिता के प्रयोग – क्या Mg/Zn अवशेष से यौगिक वापस बनाकर गैस-चक्र दोहराया जा सकता है; (2) हल्की s/p-ब्लॉक धातुओं (लिथियम, सोडियम, एल्युमिनियम आदि) पर यही अवधारणा आजमाना, जिससे वजन घटे और गैस-प्रतिशत बढ़े; और (3) संरचना-निकासी संबंध के विस्तृत अध्ययन, जिनसे तापमान और गैस-अनुपात 'ट्यून' किया जा सके। नीति-दृष्टि से ध्यान दें: शोध अनुसंधान नैशनल रिसर्च फाउंडेशन (ANRF, पूर्व SERB; अनुदान CRG/2023/004024) से वित्तित और ओपन-एक्सेस शुल्क 'वन नेशन वन सब्सक्रिप्शन' (ONOS) ने चुकाया – भारतीय मूल-अनुसंधान वित्त और खुली-पहुँच नीति का युग्म उदाहरण। यह भी याद रखें कि यह काम ईंधन-उत्पादन (जैसे हरित हाइड्रोजन बनाना) का नहीं, भंडारण-डिलीवरी का है – हाइड्रोजन-अर्थव्यवस्था की अलग कड़ी।

पाठक के लिए संदर्भ-बिंदु

चार बातें याद रखें। पहली, हाइड्रोजन-मीथेन मिश्रण: हाइड्रोजन की तेज ज्वलन को मीथेन संतुलित करता है – संक्रमण-कालीन ईंधन की अवधारणा, पूर्व-उदाहरण HCNG (हाइड्रोजन-सम्मिश्र CNG)। दूसरी, मेटल हाइड्राइड: ठोस हाइड्रोजन-भंडारण की पुरानी शाखा; Mg, Li, Al के हाइड्राइड अधिक हाइड्रोजन-प्रतिशत के लिए जाने जाते हैं। तीसरी, रिडक्टिव एलिमिनेशन: ऑर्गेनोमेटेलिक रसायन की वह मूल प्रतिक्रिया जिसमें धातु से जुड़े दो समूह जुड़कर अणु बनाकर निकलते हैं – यहीं से H_2 और CH_4 बनीं। चौथी, IISER तिरुवनंतपुरम: शिक्षा मंत्रालय की प्रीमियर मूल-विज्ञान संस्था-शृंखला का घटक; ANRF/SERB वित्त और ONOS खुली-पहुँच – प्रिलिम्स में संस्था-वित्त-नीति त्रिक पूछा जा सकता है।

मुख्य परीक्षा अभ्यास प्रश्न

'हाइड्रोजन-आधारित ऊर्जा-भविष्य की सबसे कड़ी कड़ी भंडारण और ढुलाई की है।' इस कथन के आलोक में IISER तिरुवनंतपुरम के दोहरे-ईंधन क्रिस्टलीय यौगिक जैसे आणविक भंडारण-मार्गों की संभावना और सीमाओं का मूल्यांकन कीजिए। (सामान्य अध्ययन-III: विज्ञान-प्रौद्योगिकी/ऊर्जा; 250 शब्द, 15 अंक)

उत्तर की रूपरेखा:

भूमिका में: कथन की पुष्टि करते हुए समझाएँ कि हाइड्रोजन जलने पर कार्बन डाइऑक्साइड नहीं छोड़ती, पर अत्यंत कम घनत्व के कारण उसका भंडारण और ढुलाई महंगा है - मजबूत दबाव टैंक या क्रायोजेनिक तकनीक चाहिए। भारतीय संदर्भ जोड़ें: राष्ट्रीय हरित हाइड्रोजन मिशन उत्पादन पर केंद्रित है, जबकि भंडारण, ढुलाई और अंतिम-छोर डिलीवरी की कड़ियाँ अभी महंगी और अपरिपक्व हैं।

मुख्य भाग में: संभावना का मूल्यांकन करें: IISER तिरुवनंतपुरम का मैग्नीशियम हाइड्रिडोमिथाइलजिंकेट एक ही आणविक स्रोत से हाइड्रोजन और मीथेन दोनों छोड़ता है - $Mg_2Zn_2H_6$ 'फेस-शेयरिंग बिस-क्यूबेन' कोर, 1:1.5 मेटल-हाइड्रोजन अनुपात और कोई भारी स्थिरकारी लिगैंड नहीं; विलायक-रहित, अवायवीय दशा में 80-110°C पर दोनों गैसें क्रमिक रूप से (पहले मीथेन) निकलती हैं, रिडक्टिव एलिमिनेशन से। हाइड्रोजन-मीथेन मिश्रण का तर्क भी रखें: मीथेन मिलने से फ्लैशबैक और विस्फोट का खतरा घटता है (HCNG जैसे पायलट)। सीमाएँ अवश्य लिखें: यह प्रयोगशाला-स्तरीय प्रूफ-ऑफ-कॉन्सेप्ट है, ईंधन-टैंक नहीं; प्रतिवर्तिता (रीचार्ज) अप्रदर्शित - गैस निकलने पर मूल धातु ही बचती है; यौगिक पायरोफोरिक और नमी-संवेदी है; 'कम तापमान' सापेक्ष है; 68% द्रव्यमान-क्षति में चार अणु THF भी शामिल हैं; और मीथेन स्वयं ग्रीनहाउस गैस है - यह काम भंडारण-डिलीवरी का है, उत्सर्जन-कटौती का नहीं।

निष्कर्ष में: निष्कर्ष में कहें कि भंडारण की समस्या सिर्फ इंजीनियरिंग की नहीं, आणविक डिजाइन की भी है, और उसी स्तर पर भारतीय प्रयोगशालाएँ योगदान कर रही हैं; आगे की दिशा हल्की s/p-ब्लॉक धातुओं से प्रतिवर्ती गैस-अवशोषण वाले यौगिक हैं। ANRF वित्त और ONOS खुली-पहुँच को मूल-अनुसंधान नीति के युग्म उदाहरण के रूप में उल्लेखें।

स्रोत और सीमाएँ

- प्राथमिक शोधपत्र (Science Advances, खुली-पहुँच): Bisht, Gomathisankaran, Andrews, Venugopal, "A solid magnesium zincate for hydrogen-methane evolution", खंड 12, अंक 41, eaej2622; 7 अक्टूबर 2026; DOI 10.1126/sciadv.aej2622। पूर्ण पाठ, प्रायोगिक विवरण, TGA और फंडिंग पठित।
- Crossref अभिलेख: प्राप्ति 28 मई, स्वीकृति 28 अगस्त, प्रकाशन 7 अक्टूबर 2026 की पुष्टि; SERB/ANRF अनुदान CRG/2023/004024; ONOS ओपन-एक्सेस।
- द हिंदू (15 अक्टूबर, संशोधित 18 अक्टूबर 2026): वेणुगोपाल के उद्धरण, 100°C घोल/80-110°C ठोस विवरण, प्रतिवर्तिता-स्वीकृति।

- टेकएक्सप्लोर/phys.org (19 अक्टूबर 2026): 'कॉन्सेप्चुअली न्यू रूट', मीथेन एकमात्र हाइड्रोकार्बन, प्रूफ-ऑफ-कॉन्सेप्ट चेतावनी, लेखकों का अग्रिम उद्धरण।
- IISER TVM संकाय प्रकाशन-सूची और MGC लैब पृष्ठ: प्रकाशन की संस्थागत पुष्टि, प्रयोगशाला-संदर्भ।
- सीमाएँ: प्रूफ-ऑफ-कॉन्सेप्ट, व्यावसायिक तंत्र नहीं; प्रतिवर्तिता अप्रदर्शित; पायरोफोरिक/नमी-संवेदी; ठोस 80-110°C बनाम घोल 100°C शर्तें अलग; 68% क्षति में THF सम्मिलित; 'पहले ज्ञात नहीं' दावा पेपर का; पेपर (7 अक्टूबर) बनाम समाचार (15-19 अक्टूबर) तिथि-भिन्नता; भंडारण-डिलीवरी काम, ईंधन-उत्पादन या उत्सर्जन-कटौती नहीं।

अक्सर पूछे जाने वाले प्रश्न (FAQ)

संक्षिप्त उत्तर: इंडियन इंस्टीट्यूट ऑफ साइंस एजुकेशन एंड रिसर्च (IISER), तिरुवनंतपुरम के रसायनशास्त्रियों ने एक ऐसा क्रिस्टलीय यौगिक बनाया है जो एक ही स्रोत से दो ईंधन गैसें – हाइड्रोजन और मीथेन – अपेक्षाकृत कम तापमान पर छोड़ता है। यौगिक का नाम है मैग्नीशियम हाइड्रिडोमिथाइलजिंकेट ($Mg[(CH_3)ZnH_3]$) – मैग्नीशियम, जिंक, हाइड्रोजन और कार्बन से बना हाइड्राइड-समृद्ध ऑर्गेनोमेटेलिक ठोस।

प्रश्न: IISER के क्रिस्टलीय यौगिक की क्या विशेषता है?

इंडियन इंस्टीट्यूट ऑफ साइंस एजुकेशन एंड रिसर्च (IISER), तिरुवनंतपुरम के रसायनशास्त्रियों ने एक ऐसा क्रिस्टलीय यौगिक बनाया है जो एक ही स्रोत से दो ईंधन गैसें – हाइड्रोजन और मीथेन – अपेक्षाकृत कम तापमान पर छोड़ता है। यौगिक का नाम है मैग्नीशियम हाइड्रिडोमिथाइलजिंकेट ($Mg[(CH_3)ZnH_3]$) – मैग्नीशियम, जिंक, हाइड्रोजन और कार्बन से बना हाइड्राइड-समृद्ध ऑर्गेनोमेटेलिक ठोस।

प्रश्न: हाइड्रोजन के भंडारण और ढुलाई की चुनौती क्या है?

हाइड्रोजन भविष्य के ईंधन की दौड़ में इसलिए है क्योंकि उसके जलने से सीधे कार्बन डाइऑक्साइड नहीं निकलती। पर उसकी बहुत कम घनत्व के कारण भंडारण और ढुलाई महंगी और जटिल है – मजबूत दबाव टैंक या क्रायोजेनिक तकनीक चाहिए।

प्रश्न: क्रिस्टलीय यौगिक का संश्लेषण कैसे हुआ?

टीम ने पहले लिथियम ऑर्गेनोजिंकेट (70% उपज) बनाया, फिर उससे मैग्नीशियम ऑर्गेनोजिंकेट, और अंत में फेनाइलसिलेन से क्रिया कर मैग्नीशियम मिथाइल-ट्रिस(हाइड्रिडो)जिंकेट के बेरंग क्रिस्टल (72% उपज; एक-पात्र मार्ग से 54%)। सिंगल-क्रिस्टल एक्स-रे विश्लेषण ने दिखाया कि ठोस में 'फेस-शेयरिंग बिस-क्यूबेन' $Mg_2Zn_2H_6$ कोर है – मेटल-से-हाइड्रोजन अनुपात 1:1.5, और कोई भारी स्थिरकारी लिगैंड नहीं; केवल हल्के THF अणु मैग्नीशियम से जुड़े हैं।