एक अणु जो करंट से घूमता है: IIT-मद्रास वैज्ञानिक की अंतरराष्ट्रीय टीम की Nature में खोज

विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी – आंतरिक (मुख्य परीक्षा: सामान्य अध्ययन-III) | समाचार संदर्भ: 22-24 अक्टूबर 2026 | प्राथमिक स्रोत: Nature पेपर, 22 अक्टूबर 2026 | प्रकाशित: 24 अक्टूबर 2026

खबरों में क्यों

दो हजार वर्ष से अधिक समय से आर्किमिडीज का स्क्रू – पेंचदार ब्लेड वाली नली – पानी ऊपर चढ़ाने के काम आता है। अब वैज्ञानिकों ने उसी ज्यामिति को अणु-स्तर पर उतार दिखाया है: हेलिसीन नामक पेंचदार अणु को दो सोने के इलेक्ट्रोड के बीच लटकाकर उसे विद्युत धारा से घुमाया गया, और घूमते ही वह अणु बिजली का बेहतर चालक भी बन गया। यह अध्ययन 22 अक्टूबर 2026 को Nature पत्रिका में प्रकाशित हुआ है, और इसमें भारतीय प्रौद्योगिकी संस्थान मद्रास (IIT-M) के भौतिकी विभाग के सहायक प्रोफेसर अनिल कुमार सिंह प्रमुख प्रायोगिक योगदानकर्ता और संबंधित-लेखक (कॉरस्पॉंडिंग ऑथर) में से एक हैं।

प्रयोग क्या था?

टीम ने [13]हेलिसीन – एक सर्पिल, काइरल (हाथ-जैसी सममिति-विशेषता वाला) अणु – को दो सोने की नुकीली इलेक्ट्रोड-नोक के बीच जोड़ा। जब वोल्टेज लगाया गया, तो अणु स्थिर नहीं रहा: वह क्रमिक विन्यासों (कॉन्फिगरेशन) के चक्र से गुजरा। वोल्टेज की ध्रुवीयता उलटने पर घूर्णन-दिशा भी उलट गई – यानी गति की दिशा पर विद्युत नियंत्रण। जिन 316 जंक्शनों में से 122 जंक्शनों में गति की दिशा तय की जा सकी, सभी 122 में वही चक्रीय क्रम दिखा – शोधकर्ता इसे 100 प्रतिशत दिशात्मकता बताते हैं। एक सीमा-वोल्टेज के ऊपर अणु कदम-कदम चलने से निकलकर निरंतर घूमने लगा, और इसी दौरान धारा तेजी से बढ़ी – कुल मिलाकर चालकता में 100 गुना तक की वृद्धि मापी गई।

माप की तकनीक: एक अणु को कैसे पकड़ें?

एकल-अणु प्रयोगों में सबसे कठिन काम है एक अणु को मापने योग्य बनाना। इसके लिए 'ब्रेक-जंक्शन' जैसी तकनीकों में सोने की नुकीली नोक को सोने की सतह के इतने करीब लाया जाता है कि बीच में एक ही अणु फंसे; फिर नोक को धीरे-धीरे खींचा जाता है और धारा रिकॉर्ड होती है। हेलिसीन अणु के दोनों सिरों पर सल्फर-आधारित एंकर (द्वि-थायोएसिटिल समूह) होते हैं, जो सोने से रासायनिक रूप से चिपकते हैं। इसी व्यवस्था में नोक को खींचने-दबाने से अणु की तनाव-स्थिति बदली जा सकती है – टीम ने इसी से सीमा-वोल्टेज का समायोजन दिखाया। पूरा प्रयोग अत्यंत निम्न तापमान पर इसलिए किया जाता है कि तापीय हलचल (थर्मल नॉइज़) अणु के सूक्ष्म संकेतों को न डुबो दे।

दोहरा कड़ी: गति भी, चालकता भी

सबसे दिलचस्प निष्कर्ष यह प्रतिपुष्टि (फीडबैक) संबंध है। आमतौर पर सोचा जाता है कि धारा अणु को हिलाती है – गति धारा का परिणाम। इस अध्ययन में अणु की गति स्वयं इलेक्ट्रॉनों के प्रवाह को आसान बनाती है: घूमते हुए अणु ऐसे विन्यास अपनाता है जिनमें से इलेक्ट्रॉन आसानी से गुजर सकते हैं, और ये विन्यास स्थिर अवस्था में उपलब्ध नहीं होते। प्रोफेसर सिंह के शब्दों में, "आणविक गति केवल विद्युत-परिवहन का परिणाम नहीं है; यह अणु से इलेक्ट्रॉन के प्रवाह में सहायक भी हो सकती है।" शोधकर्ताओं ने अणु को छोटी स्प्रिंग की तरह खींचकर या दबाकर सीमा-वोल्टेज भी बदल के देखा – यानी नियंत्रण का एक और घुंडी। यह प्रणाली एक साथ मोटर और अपनी ही गति का रीडआउट (मापक) दोनों का काम करती है। तकनीकी भाषा में इसे स्व-संदर्भित (सेल्फ-सेंसिंग) घटक कह सकते हैं: अणु की

यांत्रिक अवस्था उसके विद्युत चालन में ही लिखी होती है, इसलिए अलग सेंसर की जरूरत नहीं पड़ती। यह गुण सामान्य ट्रांजिस्टर से मौलिक रूप से अलग है, जहां नियंत्रण और माप अलग-अलग तंत्र से होते हैं।

अंतर्राष्ट्रीय सहयोग और भारत की भूमिका

यह पांच देशों की टीम का काम है: वाइज़मैन इंस्टीट्यूट (इजराइल, जहां सिंह संबद्ध रहे हैं), ऑग्सबर्ग विश्वविद्यालय (जर्मनी), कोपनहेगन विश्वविद्यालय (डेनमार्क), हुय़ाझॉन्ग यूनिवर्सिटी ऑफ साइंस एंड टेक्नोलॉजी (चीन) और IIT-मद्रास (भारत)। सिंह के अलावा मुख्य लेखकों में लियोन मार्टिन, मातिया सर्सेन, फ्रेजा स्कू गुटेसन, फैबियन पॉली, माइकल पिटेलको, जिंग-ताओ ल्यू, पेर हेडेगार्ड और ओरेन ताल शामिल हैं। भारतीय दृष्टि से यह मूलभूत अनुसंधान में अंतर्राष्ट्रीय सहयोग का उदाहरण है – प्रयोग-डिजाइन और माप में भारतीय वैज्ञानिक की केंद्रीय भूमिका के साथ।

पृष्ठभूमि: आणविक मशीनों का सफर

अणुओं से मशीन बनाने का सपना पुराना है। 2016 का रसायन विज्ञान नोबेल इसी क्षेत्र को मिला था – जीन-पियर सॉवाज (1983 में कैटिनेन: जुड़े हुए अणु-वलय), फ्रेजर स्टॉडार्ट (1991 में रोटैक्सेन) और बर्नार्ड फेरिंगा (1999 में पहला आणविक मोटर) को। उन मोटरों को आमतौर पर प्रकाश या रासायनिक ईंधन से चलाया जाता था। नया कदम यह है कि यहां सीधे विद्युत धारा से घूर्णन चलाया गया, और घूर्णन ने धारा को ही बदल दिया – यानी गति और इलेक्ट्रॉनिक्स का युग्मन (कपलिंग)। सैद्धांतिक रूप से ऐसी संभावना पहले भी प्रस्तावित थी; यह उसका प्रायोगिक प्रदर्शन है। धारा-चालित घूर्णन का एक और महत्व है नियंत्रण की सरलता: प्रकाश-चालित मोटरों को विशेष तरंगदैर्ध्य के लैज़र चाहिए, जबकि वोल्टेज-नियंत्रण इलेक्ट्रॉनिक सर्किट की स्वाभाविक भाषा है – यही कारण है कि शोधकर्ता इसे भविष्य के नैनो-इलेक्ट्रॉनिक घटकों से जोड़कर देख रहे हैं। फेरिंगा की प्रकाश-चालित मोटर की तरह यहां भी एकदिश घूर्णन सबसे बड़ी चुनौती थी; इस अध्ययन में ध्रुवीयता-उलटने पर दिशा बदलना उस समस्या का सुरुचिपूर्ण समाधान है।

संभावित उपयोग – और अभी की दूरी

भविष्य में ऐसी प्रणालियां अणु-स्तरीय स्विच, धारा-नियंत्रक घटक या नैनो-इलेक्ट्रॉनिक सेंसर बन सकती हैं – जहां एक अणु की यांत्रिक अवस्था ही विद्युत संकेत हो। परंतु शोधकर्ता स्वयं संयत हैं: प्रोफेसर सिंह ने स्पष्ट कहा है कि यह 'प्रूफ-ऑफ-प्रिंसिपल' (सिद्धांत-प्रदर्शन) है, व्यावहारिक तकनीक नहीं। प्रयोग 4.2 केल्विन (लगभग माइनस 269 डिग्री सेल्सियस) पर हुए – कमरे के तापमान पर यही व्यवहार पाना अलग चुनौती होगी। साथ ही सभी जंक्शनों में घूर्णन नहीं देखा गया: 316 में से केवल 122 में दिशा निर्धारित हो सकी। विकास की कोई समय-सीमा देना अभी अटकल होगी।

भारत के लिए मायने

IIT-मद्रास के लिए यह उपलब्धि कई स्तरों पर सार्थक है। एक, यह दर्शाता है कि भारतीय संस्थान क्वांटम और नैनो-इलेक्ट्रॉनिक्स के अग्रणी प्रयोगों में केवल सहभागी नहीं, बल्कि प्रमुख प्रायोगिक योगदानकर्ता हो सकते हैं। दो, ऐसे अध्ययन छात्रों के लिए प्रयोगशाला-आधारित उच्च-शिक्षा के मार्ग दिखाते हैं – एकल-अणु माप, क्रायोजेनिक्स और अभिकलन-भौतिकी (कम्प्यूटेशनल फिजिक्स) के संगम पर काम। तीन, UPSC-परीक्षा की दृष्टि से यह 'मूलभूत अनुसंधान में भारत', नैनो-प्रौद्योगिकी और अंतर्राष्ट्रीय विज्ञान-सहयोग तीनों थीम को जोड़ता है। साथ ही यह याद दिलाता है कि वैज्ञानिक खोज का लाभ अक्सर दशकों बाद आता है – आर्किमिडीज स्क्रू से प्रेरित अणु-मोटर का सफर भी बुनियादी जिज्ञासा से शुरू हुआ।

सीमाएं और सावधानियां

कई बातें संयत रखें। पहली, प्रयोग अत्यंत निम्न तापमान (4.2K) और सोने के एकल-अणु जंक्शन जैसी विशेष प्रयोगशाला-स्थितियों में हुआ – दैनिक उपकरणों तक का रास्ता लंबा है। दूसरी, घूर्णन की व्याख्या माप और गणना (डेंसिटी फंक्शनल थ्योरी) के संयोजन पर आधारित है – अणु को सीधे घूमते 'देखा' नहीं गया; यह आंकड़ों से तर्कित सबसे संगत व्याख्या है। तीसरी, केवल 122/316 जंक्शनों में दिशात्मकता सत्यापित हुई – पुनरुत्पादकता का विस्तार अभी बाकी है। चौथी, '100 गुना चालकता-वृद्धि' समाचार-रिपोर्ट का आंकड़ा है; पेपर का सार 'significant enhancement' कहता है – सटीक आंकड़ा पूर्ण पाठ के बिना सीमित पुष्टि में रखा गया है। पांचवीं, Nature में यह स्वीकृत-पांडुलिपि (accepted/early-release) रूप में है – अंतिम संस्करण में संपादकीय सुधार संभव हैं। छठी, आवेदन-संभावनाएं (स्विच आदि) वैज्ञानिकों की अपनी भाषा में भी दूर की संभावना हैं, घोषित उत्पाद नहीं।

आगे क्या देखना होगा?

तीन चीजें देखनी होंगी: (1) क्या अन्य प्रयोगशालाएं अलग अणुओं पर यह प्रभाव दोहराती हैं; (2) क्या उच्च तापमान (कमरे के तापमान की ओर) पर काम करने वाले संस्करण आते हैं; और (3) क्या घूर्णन-आधारित स्विचिंग का कोई सरल प्रदर्शनी घटक बनता है। नीति की दृष्टि से यह अध्ययन भारत के मूलभूत-अनुसंधान निवेश और अंतर्राष्ट्रीय सहयोग-मॉडल दोनों का उदाहरण है।

पाठक के लिए संदर्भ-बिंदु

तीन बातें याद रखें। पहली, काइरल अणु वे हैं जो अपने दर्पण-प्रतिबिंब पर नहीं चढ़ते – जैसे बायां और दायां हाथ; हेलिसीन का पेंचदार आकार इसी गुण से आता है, और यही पेंच घूर्णन-टॉर्क का आधार है। दूसरी, एकल-अणु इलेक्ट्रॉनिक्स में एक अणु को दो इलेक्ट्रोड के बीच जोड़कर उसके चालन को मापा जाता है – यह नैनो-इलेक्ट्रॉनिक्स की प्रयोगशाला-कसौटी है। तीसरी, 'प्रूफ-ऑफ-प्रिंसिपल' और 'तकनीक' में फासला रखें: 4.2 केल्विन का प्रयोग सिद्धांत साबित करता है, उत्पाद नहीं।

मुख्य परीक्षा अभ्यास प्रश्न

एकल-अणु मशीनें नैनो-प्रौद्योगिकी की नई सीमा खोलती हैं। हालिया 'धारा-चालित आणविक घूर्णन' अध्ययन के आलोक में इस क्षेत्र के वैज्ञानिक महत्व, संभावित अनुप्रयोगों और व्यावहारिक चुनौतियों की विवेचना कीजिए। (250 शब्द, 15 अंक)

उत्तर की रूपरेखा:

भूमिका में: दो हजार वर्ष पुरानी आर्किमिडीज-स्क्रू ज्यामिति से प्रेरित प्रयोग से शुरुआत करें – पेंचदार, काइरल [13]हेलिसीन अणु को दो सोने के इलेक्ट्रोड के बीच लटकाकर विद्युत धारा से घुमाया गया और घूमते ही वह बेहतर चालक बन गया (Nature, 22 अक्टूबर 2026); IIT-मद्रास के प्रो. अनिल कुमार सिंह की प्रमुख प्रायोगिक भूमिका उल्लेख करें।

मुख्य भाग में: वैज्ञानिक महत्व समझाएँ – धारा से घूर्णन और घूर्णन से चालकता-वृद्धि की दोहरी कड़ी (प्रतिपुष्टि): घूमता अणु ऐसे विन्यास अपनाता है जिनमें से इलेक्ट्रॉन आसानी से गुजरते हैं; अणु एक साथ मोटर और अपनी गति का मापक दोनों – सेल्फ-सेंसिंग घटक, सामान्य ट्रांजिस्टर से मौलिक अंतर; वोल्टेज-ध्रुवीयता उलटने पर घूर्णन-दिशा बदलना एकदिश घूर्णन की समस्या का समाधान है। प्रमाण रखें: 316 में से 122 जंक्शनों में दिशा तय हो सकी और सभी 122 में वही चक्रीय क्रम – शोधकर्ता इसे 100 प्रतिशत दिशात्मकता कहते हैं; चालकता-वृद्धि का आंकड़ा (समाचार-रिपोर्ट में 100 गुना तक, जबकि पेपर का सार केवल significant enhancement कहता है) सीमित पुष्टि में रखें। पृष्ठभूमि जोड़ें – 2016 का रसायन नोबेल (सॉवाज, स्टॉडार्ट, फेरिंगा) और प्रकाश/रासायनिक-ईंधन वाली मोटरों के मुकाबले सीधे विद्युत नियंत्रण की सरलता; पाँच देशों की टीम और मूलभूत अनुसंधान में भारतीय योगदान। अनुप्रयोग संयत भाषा में रखें – अणु-स्तरीय स्विच, धारा-नियंत्रक घटक या नैनो-इलेक्ट्रॉनिक सेंसर दूर की संभावना हैं, घोषित उत्पाद नहीं। व्यावहारिक चुनौतियाँ गिनाएँ: 4.2 केल्विन की प्रयोगशाला-स्थिति; घूर्णन सीधे देखा नहीं गया – माप और डेंसिटी फंक्शनल

थ्योरी के संयोजन से तर्कित व्याख्या; पुनरुत्पादकता का विस्तार बाकी; accepted/early-release स्वरूप में संपादकीय सुधार संभव।

निष्कर्ष में: प्रूफ-ऑफ-प्रिंसिपल और व्यावहारिक तकनीक का फासला कायम रखें; इसे भारत के मूलभूत-अनुसंधान निवेश और अंतर्राष्ट्रीय सहयोग-मॉडल के उदाहरण के रूप में समाप्त करें; आगे देखने योग्य बताएँ – अन्य प्रयोगशालाओं में दोहराने की क्षमता, कमरे के तापमान की ओर संस्करण, और घूर्णन-आधारित स्विचिंग का कोई सरल प्रदर्शनी घटक।

स्रोत

1. प्राथमिक शोधपत्र (Nature): सिंह एट अल., "Current-Driven Molecular Machine with Rotation-Enhanced Conductance", Nature, प्रकाशित 22 अक्टूबर 2026 (accepted/early-release; DOI 10.1038/s41586-026-11312-x)।
2. डीटीनेक्स्ट (चेन्नई): "IIT-Madras scientist part of team demonstrating electrically driven molecular rotation", 24 अक्टूबर 2026।
3. टाइम्स ऑफ इंडिया (चेन्नई): "A molecule spins, and the current grows: IIT Madras researcher joins study", 23 अक्टूबर 2026।
4. नेचर इंडिया रिसर्च हाइलाइट: "Molecular motor that mimics ancient water pump", 22 अक्टूबर 2026।
5. बायोइंजीनियर.ऑर्ग/सायनमैग: "Electric Current Spins a Helical Molecule and Boosts Its Conductance", 23 अक्टूबर 2026।
6. नोबेल प्राइज़ प्रेस-विज्ञप्ति: रसायन विज्ञान 2016 (सॉवाज/स्टॉडार्ट/फेरिंगा — आणविक मशीनें)।
7. करियर्स360: "IIT Madras researcher studies molecular rotation in Nature paper", 23 अक्टूबर 2026।

अक्सर पूछे जाने वाले प्रश्न (FAQ)

संक्षिप्त उत्तर: टीम ने [13]हेलिसीन – एक सर्पिल, काइरल (हाथ-जैसी सममिति-विशेषता वाला) अणु – को दो सोने की नुकीली इलेक्ट्रोड-नोक के बीच जोड़ा। जब वोल्टेज लगाया गया, तो अणु स्थिर नहीं रहा: वह क्रमिक विन्यासों (कॉन्फिगरेशन) के चक्र से गुजरा।

प्रश्न: हेलिसीन के एकल-अणु प्रयोग में क्या किया गया?

टीम ने [13]हेलिसीन – एक सर्पिल, काइरल (हाथ-जैसी सममिति-विशेषता वाला) अणु – को दो सोने की नुकीली इलेक्ट्रोड-नोक के बीच जोड़ा। जब वोल्टेज लगाया गया, तो अणु स्थिर नहीं रहा: वह क्रमिक विन्यासों (कॉन्फिगरेशन) के चक्र से गुजरा।

प्रश्न: एक अणु को मापने के लिए ब्रेक-जंक्शन तकनीक कैसे काम करती है?

एकल-अणु प्रयोगों में सबसे कठिन काम है एक अणु को मापने योग्य बनाना। इसके लिए 'ब्रेक-जंक्शन' जैसी तकनीकों में सोने की नुकीली नोक को सोने की सतह के इतने करीब लाया जाता है कि बीच में एक ही अणु फंसे; फिर नोक को धीरे-धीरे खींचा जाता है और धारा रिकॉर्ड होती है।

प्रश्न: विद्युत धारा से अणु के घूर्णन के बारे में अध्ययन ने क्या दिखाया?

दो हजार वर्ष से अधिक समय से आर्किमिडीज का स्क्रू – पेंचदार ब्लेड वाली नली – पानी ऊपर चढ़ाने के काम आता है। अब वैज्ञानिकों ने उसी ज्यामिति को अणु-स्तर पर उतार दिखाया है: हेलिसीन नामक पेंचदार अणु को दो सोने के इलेक्ट्रोड के बीच लटकाकर उसे विद्युत धारा से घुमाया गया, और घूमते ही वह अणु बिजली का बेहतर चालक भी बन गया।