पाण्यापासून हायड्रोजन इंधन निर्माण करण्यासाठी आयआयटी मुंबई मध्ये किफायती आणि कार्यक्षम उत्प्रेरकाची निर्मिती

कोबाल्ट, निकेल आणि ग्राफाइट एकत्र करून, 'मॉलेक्युलर प्रिकर्सर इंजिनियरिंग' पद्धतीचा वापर करून संशोधकांनी टिकाऊ आणि कमी खर्चात मिळणारा उत्प्रेरक पदार्थ तयार केला. हा उत्प्रेरक पाण्याच्या रेणूचे प्रभावीपणे विघटन करून हायड्रोजन व ऑक्सिजन वायू विलग करतो, ज्यामुळे कमी खर्चात हरित हायड्रोजन ऊर्जा निर्मितीचा मार्ग प्रशस्त झाला आहे.

इलेक्ट्रॉलिसिस - प्रातिनिधिक प्रतिमा. प्रतिमा श्रेय : गुबी लॅब्स

भारतात तमिळनाडूमधील कलपक्कम शहरात इंदिरा गांधी अणू संशोधन केंद्रामध्ये जगातील पहिल्या अणुउर्जेवर चालणाऱ्या हायड्रोजन निर्मिती प्रकल्पाचे उद्घाटन झाले. इतर प्रकल्प विजेवर चालतात. परंतु, या नवीन प्रकल्पात अणूभट्टीतून निर्मित उष्णतेचा हायड्रोजन निर्मितीसाठी वापर केला जातो. जीवाश्म इंधनाला कमीतकमी प्रदूषणकारी पर्याय म्हणून हायड्रोजन अग्रणी आहे. पेट्रोलपेक्षा तिप्पट ऊर्जा घनता असणाऱ्या हायड्रोजनच्या ज्वलनातून केवळ पाण्याचे बाष्प बाहेर टाकले जाते. हायड्रोजन वायू नैसर्गिक अवस्थेमध्ये वातावरणात अस्तित्वात नसतो. ज्या पदार्थांमध्ये हायड्रोजन संयुग स्वरूपात असेल अशा स्रोत पदार्थांमधून तो विघटन करून मिळवावा लागतो, उदाहरणार्थ पाणी. याचमुळे जगभरातील संशोधक जास्तीत जास्त प्रभावीपणे पाण्याच्या रेणूचे विघटन करून हायड्रोजन मिळवण्याच्या पद्धती शोधण्याच्या प्रयत्नात आहेत.

भारतीय तंत्रज्ञान संस्था (आयआयटी) मुंबई येथील संशोधकांनी एक नवा मार्ग शोधला आहे. त्यांनी एक अत्यंत प्रभावी आणि कमी किमतीचा उत्प्रेरक विकसित केला. या नव्या उत्प्रेरकामुळे, हरित हायड्रोजनच्या निर्मिती प्रक्रियेमध्ये लक्षणीय सुधारणा होण्याची शक्यता आहे. संशोधक गटाने, कोबाल्ट, निकेल, फॉस्फेट आणि ग्राफाइट यांच्या संयुगाद्वारे एक नवा पदार्थ निर्माण केला. हा पदार्थ पाण्याच्या रेणूपासून प्रभावी पद्धतीने हायड्रोजन व ऑक्सिजन वायू वेगळा करू शकतो.

पाण्याच्या रेणूचे विघटन करण्याची एक सोपी पद्धत आहे विद्युत अपघटन, म्हणजेच इलेक्ट्रॉलिसिस. यामध्ये पाण्यातून विजेचा प्रवाह सोडला जातो व त्याद्वारे पाण्याच्या रेणूचे

हायड्रोजन व ऑक्सिजन या वायूंमध्ये अपघटन होते. या प्रवाहामध्ये दोन अभिक्रिया अंतर्भूत असतात : कॅथोडवर घडणारी हायड्रोजन उत्सरण अभिक्रिया (HER - हायड्रोजन एव्होल्यूशन रिॲक्शन), ज्यातून हायड्रोजन वेगळा होतो आणि ॲनोडवर घडणारी ऑक्सिजन उत्सरण अभिक्रिया (OER - ऑक्सिजन एव्होल्यूशन रिॲक्शन), ज्याद्वारे ऑक्सिजन बाहेर पडतो. मात्र, या प्रक्रियेमध्ये काही मोठे गतिज अडथळे (कायटिक बॅरियर; रासायनिक किंवा भौतिक प्रक्रियेत अभिक्रिया घडून येण्यासाठी किंवा रेणूंना एका अवस्थेतून दुसऱ्या अवस्थेत जाण्यासाठी पार करावा लागणारा ऊर्जेचा किंवा गतीचा अडथळा) येतात. त्यामुळे प्रक्रिया सुरू होण्यासाठी मोठ्या प्रमाणात ऊर्जेची आवश्यकता असते. उत्प्रेरकांचा (कॅटॅलिस्ट) वापर केल्यास हा ऊर्जेचा अडथळा कमी करता येतो. उत्प्रेरक प्रक्रियेमध्ये स्वतः वापरले न जाता रासायनिक अभिक्रिया सुकर करून त्यांचा वेग वाढवतात.

सध्या, या अभिक्रियांसाठी सर्वोत्कृष्ट व सर्वाधिक अचूक प्रमाण मानले जाणारे तंत्र प्लॅटिनम, रूथेनियम आणि इरिडियम सारख्या मौल्यवान धातूंवर अवलंबून आहे. हे मौल्यवान धातू सर्वाधिक परिणामकारक असले तरीही ते दुर्मिळ, महाग आणि कठोर कार्यस्थितीमध्ये कालांतराने ऱ्हास होणारे असतात.

सदर शोधनिबंधाच्या प्रमुख लेखिका व आयआयटी मुंबई येथे संशोधक असलेल्या डॉ. सावी चौधरी म्हणतात, "पाण्याचे अपघटन करण्यासाठी एक परिणामकारक, टिकाऊ आणि पृथ्वीवर मुबलकपणे उपलब्ध असणारा कॅटॅलिस्ट विकसित करणे ही या शोधामागील मुख्य प्रेरणा होती."

हा नवा उत्प्रेरक तयार करण्यासाठी संशोधकांनी 'आण्विक पूर्वद्रव्य अभिकल्पना' (मॉलेक्युलर प्रिकर्सर इंजिनियरिंग) या तंत्राचा आधार घेतला. या तंत्रामध्ये, गुंतागुंतीची आण्विक रचना असणारे पदार्थ तयार करण्यासाठी मूलभूत घटक किंवा पूर्वद्रव्ये म्हणून ज्यांचा वापर करता येईल असे विशिष्ट रेणू आणि धातूसंयुगे पूर्वनियोजित पद्धतीने तयार केली जातात.

"मॉलेक्युलर प्रिकर्सर इंजिनियरिंग पद्धती उपयुक्त ठरली, कारण त्यात शेवटी तयार होणाऱ्या पदार्थाची रचना आणि एकजिनसीपणा किंवा एकजीवपणा अचूकपणे नियंत्रित करता येतो. आणि त्याच वेळी तुलनेने सौम्य परिस्थितीत त्याचे सक्रिय उत्प्रेरकात रूपांतर करता येते," डॉ. चौधरी म्हणाल्या.

प्रयोगाच्या सुरुवातीला संशोधकांनी कोबाल्ट, निकेल आणि फॉस्फेटचे भिन्न मेटल कॉम्प्लेक्स अर्थात धातू संकुल (असा रासायनिक पदार्थ, ज्यामध्ये एका मध्यवर्ती धातूच्या अणूला काही रेणू किंवा आयन जोडलेले असतात) तयार केले. त्यानंतर, ही संकुले त्यांनी कार्बनच्या पातळ आण्विय पापुद्र्यांमध्ये मिसळली. या पापुद्र्यांना एक्स्फोलीएटेड ग्राफाइट (फुगवलेले किंवा थरांमध्ये विस्तारीत केलेले ग्राफाइट) म्हणतात. त्यानंतर, हे मिश्रण हलके तापवले. उष्णतेमुळे धातू संकुलांमधील कार्बनचे भाग विघटित झाले आणि कोबाल्ट–निकेल फॉस्फेटचा एकसंध, अचूकपणे मिश्रण झालेला, अस्फटिकी थर मागे उरला. हा थर विद्युतवाहक ग्रॅफाइटच्या पापुद्र्यांवर सर्वत्र एकसारखा पसरलेला होता. परिणामतः, दोन कार्य साध्य करणारा म्हणजेच जलविभाजन अभिक्रियेच्या दोन्ही उपाभिक्रिया एकाच वेळी घडवून आणणारा एक उत्प्रेरक तयार झाला.

"कोबाल्ट आणि निकेल एकत्र आल्यामुळे हायड्रोजन आणि ऑक्सिजन या दोन्हींच्या उत्सरण अभिक्रियांसाठी एकाच वेळी मदत झाली. आणि त्याच वेळी, ग्राफाइट विद्युत वाहक असल्यामुळे विद्युत वहन सुधारले व सक्रिय पदार्थाचा अधिक प्रभावी वापर होऊ शकला," आयआयटी मुंबई येथील प्राध्यापक आणि सदर शोधनिबंधाचे मार्गदर्शक प्रा. रामस्वामी मुरुगवेल यांनी स्पष्ट केले.

हा नवा पदार्थ अनाकार, अस्फटिकी आहे. म्हणजेच त्यातील अणू स्फटिकाप्रमाणे सुव्यवस्थित रचलेले नसून अनियमित पद्धतीने मांडलेले असतात. या वैशिष्ट्यामुळे त्याची कार्यक्षमताही वाढते, कारण या अव्यवस्थित रचनेमुळे पदार्थाचा पृष्ठभाग अधिक विस्तृत होतो आणि हायड्रोजन व ऑक्सिजन उत्सरण या दोन्ही अभिक्रियांसाठी आवश्यक अनुकूल स्थाने उपलब्ध होतात.

"हे धातू संकुल स्फटिकीय फॉस्फेट पदार्थ निर्माण करतील असा सुरुवातीला आमचा अंदाज होता. त्याऐवजी उत्तम एकजीवपणा असलेला अस्फटिकी कोबाल्ट - निकेल फॉस्फेट तयार होण्याचा टप्पा आम्हाला दिसून आला. विशेष म्हणजे, धातू मिश्रणाचे अस्फटिकी फॉस्फेट आणि एक्स्फोलीएटेड ग्राफाइट यांच्या एकत्रीकरणातून लक्षणीयरित्या प्रभावी अशी विद्युत अपघटन क्रिया घडली," डॉ. चौधरी यांनी सांगितले.

चाचणीच्या दरम्यान नव्या उत्प्रेरकाने ७२ तास अखंड काम केले आणि त्याने पूर्ण वेळ जवळपास एकसारखी कार्यक्षमता दाखवली. संशोधकांना असेही आढळून आले की ऑक्सिजन निर्मिती अभिक्रियेच्या वेळी या उत्प्रेरकाच्या पृष्ठभागामध्ये रचनात्मक बदल घडले आणि काही फॉस्फेट बाहेर पडून ऑक्सिजनचे अधिक प्रमाण असलेली नवीन धातू संयुगे तयार झाली. परंतु, उत्प्रेरकाच्या पृष्ठभागाच्या झालेल्या रचनात्मक पुनर्बांधणीमुळे त्याचा ऱ्हास न होता उलट कार्यक्षमता टिकून राहण्यास मदतच झाली.

याविषयी प्रा. मुरुगवेल म्हणाले, "पृष्ठभागाची रचना बदलून नवी रचना तयार झाल्यामुळे फॉस्फेटपासून बनलेल्या उत्प्रेरकांचे एक महत्वाचे लक्षण समोर आले : उत्प्रेरण स्थितीमध्ये, पृष्ठभागात बदल होऊन त्याचे अधिक सक्रिय ऑक्सिहायड्रॉक्साइड स्वरूपातील घटक तयार होतात; त्याच वेळी, त्याखालील फॉस्फेट संरचना रासायनिक स्थैर्य आणि संरचनात्मक अखंडता टिकवून ठेवण्यास मदत करते."

भविष्यात ऊर्जानिर्मितीचे शाश्वत आणि पर्यावरणस्नेही मार्ग शोधण्यासाठी या मजबूत आणि पृथ्वीवर मुबलक प्रमाणात मिळणाऱ्या उत्प्रेरकाचा उपयोग होऊ शकतो. या संशोधनाने दाखवून दिले की प्रयोगशाळेत स्वस्त आणि अधिक कार्यक्षम पदार्थ तयार करता येतात, तसेच यासाठी महागड्या मौल्यवान धातूंवर अवलंबून राहण्याची गरजही कमी होऊ शकते. त्यामुळे आपली घरे, वाहने आणि उद्योगांसाठी स्वस्त आणि प्रदूषणमुक्त हायड्रोजन इंधन तयार करण्याच्या दिशेने आणखी एक पाऊल टाकले गेले आहे. आणखी महत्वाचे म्हणजे, उत्प्रेरक तयार करण्यासाठी वापरली गेलेली प्रक्रिया अधिक अचूक पदार्थ निर्माण करण्याच्या पद्धतींमधील महत्वाची प्रगती दर्शवते असे संशोधकांचे मानणे आहे.

डॉ. चौधरी यांनी शेवटी सांगितले, "आमच्या मते, या कामातून मिळालेला सर्वात महत्त्वाचा संदेश असा आहे की प्रगत विद्युत्-उत्प्रेरक तयार करण्यासाठी आण्विक पूर्वद्रव्यांची योग्य रचना करणे (मॉलेक्युलर प्रिकर्सर इंजिनियरिंग) हा एक प्रभावी आणि बहुपयोगी मार्ग आहे."

VETTED / UNVETTED	Vetted
Title of Research Paper	Engineering Amorphous Cobalt–Nickel Phosphate Nanostructures on Exfoliated Graphite: A Molecular Precursor-Driven Route to High-Performance Alkaline Water Splitting Catalysts

DOI of the Research Paper as a link	https://doi.org/10.1002/smll.202508598
List of all researchers with affiliations	Savi Chaudhary, Department of Chemistry, Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai, India. Meera P. Reghunath, Department of Chemistry, Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai, India. Vanita Madhukar Mohite, Department of Chemistry, Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai, India. Anil Kumar, Department of Chemistry, Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai, India. Ramaswamy Murugavel, Department of Chemistry, Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai, India.
Email of researcher/s	Prof Ramaswamy Murugavel: rmv@chem.iitb.ac.in, Savi Chaudhary: savichaudhary.97@gmail.com
Writer name	Dennis C. Joy
Transcreator name	Shweta Bhide
Credits to Graphic:	Gubbi Labs
Subject [FOR EDITOR] - Please Highlight in RED (Multiple allowed)	Science/Technology/Engineering/Ecology/Health/Society
Article to be Sectioned Under [FOR EDITOR] - Please Highlight in RED	Deep Dive/Friday Features/Fiction Friday/Joy of Science/News+Views/News/Scitoons/Catching up/OpEd/Featured/Sci-Qs/Infographics/Events
Social Media TAGS separated by Comma	#Hydrogen, #SustainableHydrogenProduction, #ElectroCatalyst, #CobaltNickelGraphite.
Social Media Posts Suggestions/ Links to	

interesting relevant content [optional] [writer]	
Social Media Handles to be added	@iitbombay
Social Media handles of writer	
Social Media handles of researchers	https://www.linkedin.com/in/savichaudhary
Funding information (Source: Research paper)	This work was supported by SERB, NewDelhi (CRG/2022/002406&SB/S2/JCB-85/2014)(RM), and PMRF and IIT Bombay research fellowship.
Conflict of Interest/Competing Interest information (Source: Research paper)	None
Co-PI information (Source: Research paper)	None
Location:	Mumbai