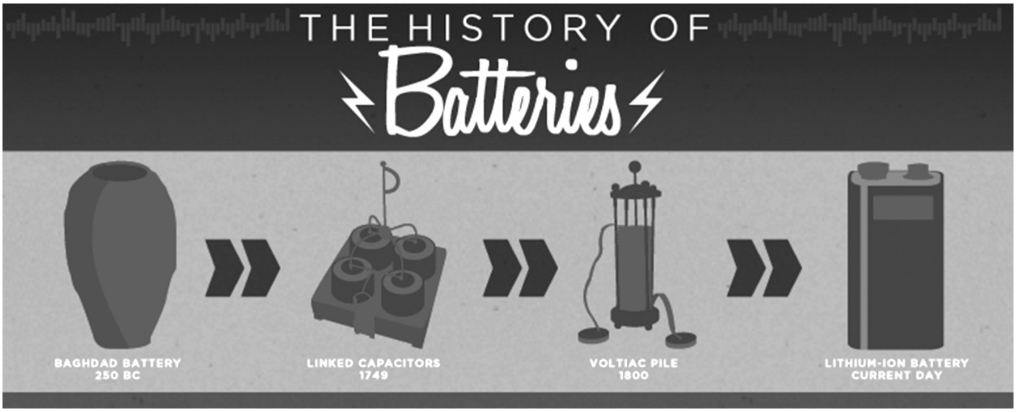
नोबेल पुरस्कार के बहाने एक इक़बालिया बयान

सुशील जोशी



इस वर्ष रसायन शास्त्र में नोबेल पुरस्कार एक ऐसी खोज या कहें कि जुगाड़ों की ऐसी शृंखला के लिए दिया गया है जो दिखने में काफ़ी साधारण लगती है। पुरस्कार का प्रशस्ति-पत्र पढ़ा तो लगा कि अरे! ये इतनी सामान्य-सी बातों के व्यावहारिक उपयोग के लिए इतना बड़ा पुरस्कार मिला है। अन्तत: अनुसन्धान की इस पूरी शृंखला का जो परिणाम है वह सबकी आँखों के सामने है, अत्यन्त उपयोगी है और जिसके बिना शायद संचार क्रान्ति की बात भी नहीं हो सकती– लीथियम आयन बैटरी। हर मोबाइल, लैपटॉप को ताक़त देने वाली यही चीज़ है। बार-बार चार्ज की जा सकने वाली बैटरी। लेकिन मैं इसे एक अलग ही नज़रिए से देखूँगा।

इस पूरे सिलसिले में जिन अवधारणाओं का इस्तेमाल हुआ है वे लगभग सारी-की-सारी हमें स्कूल-कॉलेज में पढ़ाई गई थीं। ऑक्सीकरण-अवकरण, परमाणु संरचनाएँ, इलेक्ट्रॉनिक विन्यास, आयनीकरण, विभव वग़ैरह और आवर्त तालिका में तत्त्वों के गुणों में उतार-चढ़ाव यानी आवर्तता। इन्हीं सब बातों का उपयोग करके वैज्ञानिकों ने क्या चीज़ बनाई है! मुझे याद है जब कॉलेज में ऑक्सीकरण-अवकरण पढ़ाए गए थे तो मेरे दिमाग़ में यह कभी नहीं कौंधा था कि यह ऊर्जा को एक रूप से दूसरे रूप में परिवर्तित करने का एक महत्त्वपूर्ण ज़रिया है। हाँ, इतना ज़रूर समझ में आया था कि जब आग जलती है तो ऑक्सीकरण होता है और हम खाना पकाते हैं या आग तापते हैं। मगर तब भी यह सामान्य अवधारणा पकड़ में नहीं आई थी कि यह रासायनिक ऊर्जा के ऊष्मीय और प्रकाशीय ऊर्जा में बदलने का उदाहरण है। चलिए, सिलसिलेवार आगे बढ़ते हैं।

बैटरी क्या है और यह किस तरह काम करती है?

मोटेतौर पर बैटरी एक ऐसा उपकरण है जो पदार्थों की रासायनिक ऊर्जा को ऑक्सीकरण-अवकरण (रिडॉक्स) रासायनिक क्रियाओं के ज़रिए विद्युत ऊर्जा में परिवर्तित करती है। बैटरी के लिए उपयोग किए जाने वाले पदार्थ ऐसे

पदार्थ होते हैं जिनकी रासायनिक ऊर्जा आसानी से मुक्त की जा सकती है। इसका मतलब है कि ये पदार्थ आसानी से ऐसे रासायनिक परिवर्तनों में भाग लेते हैं जिनमें ऊर्जा मुक्त होती है। रिडॉक्स रासायनिक क्रियाएँ हमारे जीवन की शायद सबसे साधारण और सबसे महत्त्वपूर्ण रासायनिक क्रियाएँ होंगी। वस्तुओं का जलना, प्रकाश-संश्लेषण, जंग लगना, भोजन का पचना और कार्बनिक पदार्थों का सड़ना आदि सभी ऐसी रासायनिक क्रियाओं के उदाहरण हैं। जैसे– आग जलना एक ऐसी रासायनिक क्रिया है जिसमें सेल्यूलोज़ या पेट्रोल, डीज़ल, एलपीजी जैसे किसी ईंधन की ऑक्सीजन से क्रिया होती है। ईंधन का ऑक्सीकरण हो जाता है, लेकिन साथ ही ऑक्सीजन का अवकरण होता है। इसी प्रकार से धातु पर जंग लगने के दौरान धातु और ऑक्सीजन की क्रिया होती है। प्रकाश-संश्लेषण काफ़ी जटिल क्रिया है जिसमें कार्बन डाई-ऑक्साइड का अवकरण होता है और पानी का ऑक्सीकरण। अन्ततः हमें ऑक्सीजन मुक्त होती दिखती है।

इन रासायनिक क्रियाओं की एक ख़ास निशानी होती है, वह यह कि इनमें इलेक्ट्रॉनों का आदान-प्रदान होता है। यानी इन क्रियाओं में एक रासायनिक पदार्थ इलेक्ट्रॉन देता है तो कोई और पदार्थ उन इलेक्ट्रॉनों को ग्रहण कर लेता है। जो पदार्थ इलेक्ट्रॉन देता है उसका ऑक्सीकरण हो जाता है और इलेक्ट्रॉन ग्रहण करने वाला पदार्थ अवकृत हो जाता है। जो रिडॉक्स रासायनिक क्रियाएँ विद्युत-रासायनिक नहीं होती हैं, जैसे– जंग का लगना या किसी चीज़ का जलना, उनमें इलेक्ट्रॉनों का आदान-प्रदान सीधे एक पदार्थ से दूसरे पदार्थ को हो जाता है। विद्युत-रासायनिक रिडॉक्स रासायनिक क्रियाओं में बस फ़र्क़ यह हो जाता है कि इनमें इलेक्ट्रॉनों का आदान-प्रदान सीधे न होकर एक विद्युत् परिपथ के ज़रिए होता है, तभी तो हमें करंट प्राप्त होता है।

बैटरी के काम करने का सिद्धान्त सीधा-सादा है और हमें स्कूल में पढ़ाया गया था। किसी भी सेल में दो इलेक्ट्रोड होते हैं जिनके बीच में एक इलेक्ट्रोलाइट (विद्युत-अपघट्य पदार्थ) भरा होता है। बैटरी के ऋणाग्र (एनोड) पर ऑक्सीकरण क्रिया होती है जिसकी वजह से इलेक्ट्रॉन परिपथ में बहने लगते हैं। इसी के साथ धन इलेक्ट्रोड (कैथोड) पर अवकरण क्रिया होती है जिसके लिए इलेक्ट्रॉन परिपथ से प्राप्त होते हैं। शुरुआती सेल में एनोड टिन या जस्ते का था और कैथोड ताँबे या चाँदी का था।

सेल में इलेक्ट्रोलाइट (विद्युत-अपघट्य) एक माध्यम की तरह काम करता है जिसके ज़रिए आयनों का प्रवाह होता है। कुछ बैटरियों को छोड़ दें तो अधिकांश बैटरियों में इलेक्ट्रोलाइट द्रवीय अवस्था में (नमक, अम्ल या क्षार के घोल) होते हैं। सेल के बाहर तार में करंट इलेक्ट्रॉनों के ज़रिए बहता है, पर सेल के अन्दर करंट का प्रवाह आयनों द्वारा होता है। प्रारम्भिक सेल में ताँबे और जस्ते के इलेक्ट्रोड्स का उपयोग किया गया था। ऐसी सेल करंट तो पैदा करती है लेकिन एक दिक़्क़त है।

इसे प्राथमिक सेल कहते हैं और हमें इसकी रचना व क्रियाविधि पढ़ाई गई थी, हालाँकि हमने सेल बनाकर नहीं देखा था। इसलिए विश्वास भी नहीं हुआ था। और सबसे बड़ी बात यह थी कि हमसे यह सवाल किसी ने नहीं पूछा था (और हमने भी किसी ने नहीं पूछा था) कि क्या इस पूरी क्रिया को उल्टी दिशा में चलाया जा सकता है। ज़्यादा वैज्ञानिक शब्दों में कहें तो यह सवाल कभी नहीं उठा कि क्या यह सेल उत्क्रमणीय है? क्या एक बार बिजली पैदा करने के बाद हम ऐसा कुछ कर सकते हैं कि यह अपनी मूल अवस्था में पहुँच जाए? यह सवाल न उठना आश्चर्य की बात है। यह आश्चर्य की बात इसलिए है कि हमें इसके तत्काल बाद एक और किस्म की सेल के बारे में पढ़ाया गया था– द्वितीयक सेल या संग्राहक सेल। जी हाँ, ये सेल रिचार्ज किए जा सकते हैं। यह ठीक उसी सवाल का जवाब है। यह एक ऐसी सेल होती है जिससे आप बिजली पैदा कर सकते हैं और फिर फ़ुर्सत में इसमें से बिजली प्रवाहित करके इसे मूल अवस्था में ला सकते हैं। लेकिन इसके बारे में हमें सर्वथा स्वतंत्र रूप से पढ़ाया गया था। लेड-एसिड बैटरी इस महत्त्वपूर्ण सवाल के जवाब के रूप में नहीं, बल्कि एक अनोखे आविष्कार के रूप में प्रकट हुई थी कि बैटरी में चलने वाली विद्युत-रासायनिक क्रिया उल्टी दिशा में भी चल सकती है। बहरहाल, वैज्ञानिकों ने लेड-एसिड बैटरी भी पिछली सदी के मध्य में बना ली थी। इसकी विशेषता क्या है?

लेड–एसिड बैटरी

लेड-एसिड बैटरी में दो लेड (यानी सीसे) के इलेक्ट्रोड होते हैं और इलेक्ट्रोलाइट के रूप में सल्फ्यूरिक अम्ल होता है। दोनों में से एक इलेक्ट्रोड को थोड़ा ऑक्सीकृत करके लेड ऑक्साइड में परिवर्तित कर दिया जाता है। जब इसे परिपथ में जोड़ते हैं तो एनोड यानी धन इलेक्ट्रोड पर ऑक्सीकरण की क्रिया होती है जिसमें इलेक्ट्रॉन, प्रोटॉन तथा लेड सल्फेट बनते हैं। दूसरी ओर, कैथोड यानी ऋण इलेक्ट्रोड पर लेड ऑक्साइड का अवकरण होकर लेड सल्फेट

बनता है। इस बैटरी को परिपथ में जोड़ने पर विद्युत प्रवाह होता है। लेकिन यदि इसमें से विद्युत प्रवाहित की जाए तो यह अपनी मूल स्थिति में लौट आती है। कारों, इन्वर्टर वग़ैरह में ऐसी बैटरी का ही उपयोग होता है।

दिक़्क़त यह है कि लेड के इस्तेमाल की वजह से ये बैटरियाँ बहुत वज़नी होती हैं। आप चाहते हैं कि बैटरी का कुल वज़न कम हो। दूसरी बात यह है कि इनमें इलेक्ट्रोलाइट के रूप में तेज़ाब का इस्तेमाल होता है जो थोड़ा ख़तरनाक है। लिहाज़ा इसी क्रम को आगे बढ़ाते हुए क्षारीय बैटरियों का आविष्कार हुआ। ऐसी क्षारीय या अल्केलाइन बैटरियों में प्रमुख थी निकल-कैडमियम और निकल-लौह बैटरियाँ और अन्तत: निकल-धातु हाइड्राइड बैटरियाँ अस्तित्व में आईं।

लीथियम बैटरी

लेकिन यदि आप चाहते हैं कि आपके उपकरण इतने हल्के-फुल्के हों कि उन्हें आसानी से साथ लेकर चला जा सके, तो बैटरी अत्यन्त हल्की होनी चाहिए और उनमें इलेक्ट्रोलाइट तरल अवस्था में नहीं होना चाहिए। हल्का-फुल्का बनाने के लिए ज़रूरी है कि ऐसे पदार्थों का उपयोग किया जाए जिनका घनत्व कम हो। धातुओं में सबसे हल्की धातु (यानी सबसे कम घनत्व वाली धातु) कौन-सी है? परमाणु भार को देखें तो सबसे कम परमाणु भार वाली धातु लीथियम है। तो वैज्ञानिकों ने अपना ध्यान लीथियम पर केन्द्रित कर दिया। लीथियम की खोज 1817 में हुई थी और इसका परमाणु भार मात्र 3 था। लीथियम का घनत्व है 0.53 ग्राम प्रति घन सेमी।

इसके विद्युत-रासायनिक गुण भी काफ़ी अनुकूल थे। हमें या तो बताया नहीं गया था या हमने ठीक से सुना नहीं था कि सेल बनाने के लिए धातुओं का चुनाव किन आधारों पर किया जाता है। एनोड ऐसे पदार्थ का बनाया जाना चाहिए जो आसानी से इलेक्ट्रॉन मुक्त कर सके जो अवकरण के लिए उपलब्ध हो जाएँ। एनोड स्वयं इलेक्ट्रॉन छोड़कर ऑक्सीकृत हो जाता है। आमतौर पर एनोड धातुओं के बनाए जाते हैं। दूसरी ओर, कैथोड ऐसे पदार्थ का होना चाहिए जो आसानी से इलेक्ट्रॉन ग्रहण करके अवकृत हो सके। कैथोड, धातु ऑक्साइड के बनाए जाते हैं। हमें ऑक्सीकरण और अवकरण की जो परिभाषा शुरू में बताई गई थी (और जो हमारे दिमाग़ में टिकी रही) वह थी : किसी पदार्थ से ऑक्सीजन का जुड़ना। बाद में यह भी जोड़ा गया था कि किसी पदार्थ से हाइड्रोजन का निकलना भी ऑक्सीकरण है। इसी प्रकार से किसी पदार्थ से ऑक्सीजन निकल जाना अवकरण है।

“मेरा कहना सिर्फ़ इतना है कि हमारे शिक्षण में किसी वजह से कुछ अवधारणाओं को उनका सही स्थान नहीं मिल पाया था। मैं यह नहीं कह रहा हूँ कि सही तरीक़े से पढ़ाते तो 2019 का नोबेल पुरस्कार मैं जीत लाता। सिर्फ़ इतनी अर्ज़ है कि कम-से-कम इन बातों की सराहना तो कर पाता।”

मुझे याद है कि कभी यह भी बताया गया था कि यह ऑक्सीकरण-अवकरण की सीमित परिभाषा है और सामान्य रूप से किसी पदार्थ से इलेक्ट्रॉन निकलना तथा अवकरण का मतलब पदार्थ में इलेक्ट्रॉन का जुड़ना होता है। तब मुझे यह परिभाषा अनावश्यक विस्तार लगी थी और मैंने यह सोचा था कि इस तरह से तो दुनिया की सारी क्रियाओं को ऑक्सीकरण-अवकरण में बाँटा जा सकता है। लेकिन मेरा सोचना सही नहीं था। इतनी व्यापक परिभाषा के बावजूद सारी क्रियाएँ ऑक्सीकरण या अवकरण नहीं होतीं। जैसे– बैरियम क्लोराइड और सोडियम सल्फेट को मिलाने पर हमें बैरियम सल्फेट और सोडियम क्लोराइड मिलते हैं। यह रिडॉक्स क्रिया नहीं है। ख़ैर!

तो सवाल यह है कि कौन-सी धातुएँ आसानी से इलेक्ट्रॉन छोड़ेंगी ताकि उनका उपयोग

एनोड के रूप में किया जा सके। एक बार फिर मैं बताना चाहूँगा कि हमें एक अवधारणा पढ़ाई गई थी– अवकरण ऊर्जा। किसी भी तत्त्व की अवकरण ऊर्जा के मान से पता चलता है कि वह कितनी आसानी से इलेक्ट्रॉन को मुक्त कर देगा। लीथियम की अवकरण ऊर्जा (लीथियम से लीथियम धनायन बनने की ऊर्जा) −3.05 V है। यानी लीथियम और लीथियम आयन के उपयोग से उच्च वोल्टेज वाली हल्की-फुल्की बैटरी बन सकती है।

तो लीथियम को लेकर कोशिशें शुरू हो गईं। मैं यहाँ इनकी टेक्नॉलॉजी में नहीं जाऊँगा। मुख्य बात यह है कि इतने महत्त्वपूर्ण आविष्कार के मूल में विज्ञान की निहायत साधारण व बुनियादी अवधारणाएँ थीं। एक के बाद एक समस्याएँ आती गईं और नोबेल विजेता नए-नए जुगाड़ करते गए। जैसे– एक महत्त्वपूर्ण समस्या यह थी कि लीथियम बहुत ही क्रियाशील धातु है। इस समस्या को सुलझाने के लिए लीथियम परमाणुओं को कतिपय अन्य पदार्थों में धँसाकर रखने की युक्ति आज़माई गई, वग़ैरह।

मेरा कहना सिर्फ़ इतना है कि हमारे शिक्षण में किसी वजह से इन अवधारणाओं को उनका सही स्थान नहीं मिल पाया था। मैं यह नहीं कह रहा हूँ कि सही तरीक़े से पढ़ाते तो 2019 का नोबेल पुरस्कार मैं जीत लाता। सिर्फ़ इतनी अर्ज़ है कि कम-से-कम इन बातों की सराहना तो कर पाता।

सुशील जोशी एकलव्य द्वारा संचालित विज्ञान एवं टेक्नालॉजी पर आधारित फीचर सेवा *स्रोत* के सम्पादक हैं। वे एकलव्य के होशंगाबाद विज्ञान शिक्षण कार्यक्रम के अनुभवों पर आधारित पुस्तक *जश्न-ए-तालीम* के लेखक हैं। विज्ञान शिक्षण एवं विज्ञान लेखन में इनकी गहरी रुचि है।
सम्पर्क : rusushil@yahoo.com