आवर्त सारणी

रसायनविज्ञान के इतिहास की ओर खुलने वाली खिड़की!

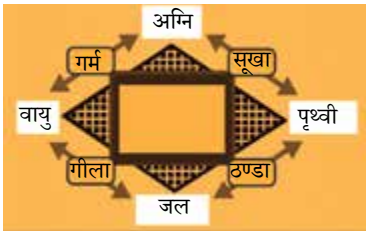
सविता लाडागे और तेजस जोशी

आवर्त सारणी, रसायनविज्ञान के अध्ययन का केन्द्रीय भाग है, और एक विषय के रूप में रसायनविज्ञान के प्रेरणादायी इतिहास और उसके विकास की पड़ताल करने में भी इसकी उतनी ही केन्द्रीय भूमिका है। यह लेख इस ऐतिहासिक यात्रा पर ले जा रहा है, और लक्ष्य है शिक्षकों और विद्यार्थियों, दोनों के लिए इस इतिहास को जानने के महत्त्व को दर्शाना।

आज हम जिस रसायनविज्ञान का अध्ययन करते हैं, आवर्त सारणी उसका एक अभिन्न हिस्सा है। लेकिन, क्या आपने कभी यह सोचा है कि तत्वों की खोज कैसे हुई होगी? या, यह कि आवर्त सारणी अपनी वर्तमान संरचना और बाह्यरूप तक किस प्रकार पहुँची – ख़ासतौर पर उन्नत विश्लेषणात्मक तकनीकों, उपकरणों या सुगम्य साहित्य के अभाव में। इन सवालों के जवाब मनुष्य द्वारा ज्ञान की निर्भीक तलाश, एक तार्किक मार्ग और बहुत सारी दूरदृष्टि में निहित हैं। आज आवर्त सारणी जितनी स्पष्ट और सुव्यवस्थित प्रतीत होती है, दरअसल वह रसायनविज्ञान के विषय की बहुत ही चुनौतीपूर्ण और मुश्किल विकास यात्रा का प्रतिबिम्ब है। इसलिए, इतिहास के बारे में जानना किसी विद्यार्थी के लिए जितना अमूल्य है, उतना ही एक शिक्षक के लिए भी है।

प्राकृतिक तत्वों को पहचानने के लिए हुए प्रारम्भिक प्रयास

यह मान्यता कि, हमारे आस-पास की दुनिया का समस्त पदार्थ कुछ बुनियादी अवयवों के सीमित निकाय से बना है, प्राचीन काल से चली आ रही है। इसलिए विभिन्न सभ्यताओं ने इन बुनियादी अवयवों की पहचान करने के अनेक प्रयास किए हैं।



चित्र-1 : प्राकृतिक तत्वों की एक प्रारम्भिक सारणी। अरस्तु द्वारा बनाई गई यह बहुत प्राचीन पूर्ववर्ती सारणी, आधुनिक आवर्त सारणी की एक साधारण शुरुआत कही जा सकती है। लेकिन प्राकृतिक तथ्यों को समझाने में यह काफ़ी मददगार थी। उदाहरण के लिए, अग्नि की उपस्थिति/अनुपस्थिति क्रमशः गर्म और ठण्डे को निरूपित करती है। पानी की अनुपस्थिति का आशय था कोई ठोस पदार्थ। इसी प्रकार, लकड़ी के जलने के बाद राख को देखने और ऊष्मा को महसूस करने के कारण, ऐसा माना गया कि लकड़ी पृथ्वी और अग्नि से मिलकर बनती है।
Credits: Tejas Joshi. License: CC-BY-NC

ऐसे ही एक प्रयास ने चार प्राथमिक पदार्थों जल, वायु, अग्नि और पृथ्वी की पहचान की। अरस्तु ने इस सूची में एक और तत्व 'ईथर', यानी आकाश के तत्व को जोड़ दिया। इन सीमित बुनियादी अवयवों को एक प्रारम्भिक, लेकिन विश्वसनीय 'सारणी' में, साथ में रखा गया - और यह तत्वों को वर्गीकृत करने के सबसे प्रारम्भिक प्रयासों में से एक बना। उस समय भी, इन प्राथमिक पदार्थों का प्रयोग प्राकृतिक तथ्यों का अर्थ निकालने के लिए किया गया था (**चित्र-1** देखें)!

यह सरल, लेकिन काफ़ी हद तक तर्कसंगत वर्गीकरण कई सदियों तक चलता रहा। लेकिन, ऐलकेमिस्टों (कीमियागर - आधुनिक रसायनशास्त्रियों के पूर्वज) के कार्य की शुरुआत से, और फिर बाद में, प्रायोगिक विज्ञानों की प्रगति के परिणामस्वरूप रासायनिक तत्वों की अवधारणा में काफ़ी बदलाव आना शुरू हो गया।

रासायनिक तत्व क्या होते हैं?

रासायनिक तत्वों की खोज प्रागैतिहासिक काल से हो रही है, जब मनुष्य, जंगल में लगने वाली आग के बाद पीछे रह जाने वाले लकड़ी के कोयले (कार्बन) को देखते थे।

प्राचीन काल में भी सात धातुओं - सोना, चाँदी, ताँबा, सीसा, लोहा, टिन और पारा, तथा अधातु, गन्धक (कार्बन के अलावा) के बारे में लोगों को पता था। ऐसा इसलिए भी हो सकता है क्योंकि इनमें से कई तत्व प्राकृतिक रूप से अस्तित्व में होते हैं, या तो मुक्त (तात्विक) रूपों, में या फिर सल्फाइड और ऑक्साइड जैसे अयस्कों के रूप में। इन्हें, साधारण ढंग से गर्म करके या लकड़ी के कोयले (चारकोल) की मदद से गर्म करके, आसानी से अपघटित किया जा सकता है। यह भी सम्भव है कि जब एक बार इनकी खोज हो गई होगी, तो मनुष्य के लिए इनकी उपयोगिता या महत्त्व ने इनके बारे में और खोज करने का प्रोत्साहन दिया होगा। लेकिन, हमारे पास इनकी खोज, या फिर तत्वों के रूप में इनकी पहचान होने, दोनों के ही बारे में दस्तावेज़ न के बराबर हैं।

इस सन्दर्भ में सोने का इतिहास ख़ासतौर पर महत्त्वपूर्ण है। अपनी आकर्षक चमक के कारण सोना (चाँदी के साथ) समृद्धि (आभूषण) और सौन्दर्य का प्रतीक बन गया और धीरे-धीरे इसने विनिमय तथा अन्तर्राष्ट्रीय व्यापार के माध्यम के रूप में महत्ता प्राप्त कर ली। परिणामस्वरूप, कई ऐलकैमिस्टों ने लोहे जैसी अन्य हीन धातुओं (बेस मैटल) को सोने में बदलने का प्रयास करके इस 'पारस पत्थर' को खोजना शुरू किया। मध्य युग के ऐलकैमिस्टों द्वारा किए गए इन्हीं प्रयासों के कारण ही ऐण्टीमनी, आर्सेनिक और बिस्मथ जैसे कई अन्य तत्वों की खोज हुई। इसी की बदौलत विभिन्न तरह के काँच के सामानों का विकास हुआ, और तीन महत्त्वपूर्ण अम्लों – सलफ़्यूरिक अम्ल, हाइड्रोक्लोरिक अम्ल, नाइट्रिक अम्ल – की भी खोज हुई, और इन सभी की बाद में हुए प्रायोगिक शोध में बहुत महत्त्वपूर्ण भूमिका रही है।

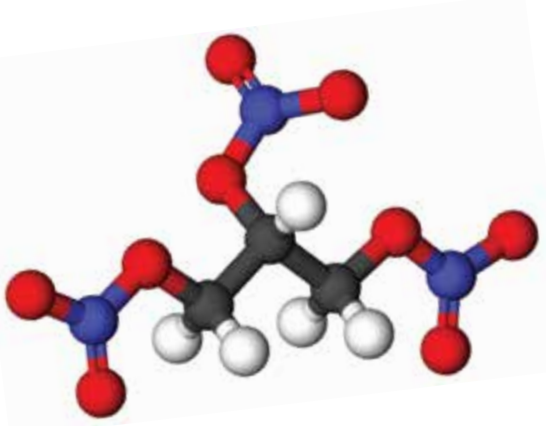
लेकिन, किसी तत्व की खोज का सबसे पहला लिखित रिकार्ड 1669 का है। जिस तत्व का इसमें वर्णन किया गया है, वह है फास्फोरस, जिसकी खोज मूत्र से हुई जो फॉस्फेटों का एक प्राकृतिक स्रोत है।

हालाँकि यह सम्भव है इस काल में कई और तत्वों की खोज हुई होगी, पर हमारे लिए इस ज्ञान के अस्तित्व को प्रमाणित करना मुश्किल है। इस काल के ऐलकैमिस्ट प्रयत्न-त्रुटि विधि पर बहुत अधिक निर्भर थे। इसके अलावा, अपनी खोजों से उन्हें जो सम्भावित आर्थिक लाभ प्राप्त हो सकते थे, उसके चलते वे अपनी सीखे हुए ज्ञान को उजागर करने से परहेज किया करते थे। इसका मतलब यह हुआ कि ज्ञान के अलग-थलग पड़े रहने की सम्भावना अधिक थी और ज्ञान का विकास क्रमबद्ध ढंग से नहीं हो पाया।

प्रायोगिक विज्ञान और तत्व की नई अवधारणा

तत्वों के बारे में हमारी सोच में पहला बड़ा बदलाव सत्रहवीं शताब्दी में रॉबर्ट बॉयल के कार्य द्वारा आया। बॉयल ने तत्व को ऐसे पदार्थ के रूप में परिभाषित किया जिसे और छोटे संघटकों में नहीं तोड़ा जा सकता था, और अन्य तत्वों के साथ मिलकर वह मिश्रण (आज के यौगिक) का निर्माण कर सकता था। अठारहवीं सदी में हैनरी कैवेण्डिश, जोसेफ़ प्रीस्टली और ऐण्टवान लैवोजिये जैसे वैज्ञानिकों द्वारा किए गए विस्तृत कार्यों ने इस धारणा को प्रायोगिक रूप से दर्शा दिया।

जिस समय प्रीस्टली ने ऑक्सीजन की खोज की जो जलाने में सहायक थी, कैवेण्डिश ने लगभग उसी समय एक अन्य ज्वलनशील गैस की खोज की (जो अम्ल और धातु की अभिक्रिया द्वारा बनती थी), जिसे हाइड्रोजन नाम दिया गया। लैवोजिये की यह खोज मील का पत्थर थी कि पानी इन दोनों गैसों के संश्लेषण से बनता है। उनकी यह खोज अरस्तु द्वारा बताए गए तत्वों पर पहला बड़ा आघात थी। लैवोजिये ने रासायनिक अभिक्रियाओं में द्रव्यमान संरक्षण को भी प्रमाणित किया और रासायनिक अभिक्रियाओं को लिखने का आधार भी दिया।



बॉक्स-1 : परमाणु या अणु?

बड़े आश्चर्य की बात है, कि इस समय तक न तो यौगिकों के रासायनिक सूत्र पता थे, न ही संयोजकता के सिद्धान्त के बारे कुछ पता था। लेकिन द्रव्यमान संरक्षण का नियम (लैवोजिये) और स्थिर अनुपात का नियम (प्राउस्ट) पहले ही प्रमाणित किए जा चुके थे। प्राउस्ट का स्थिर अनुपात का नियम कहता है कि स्रोत कुछ भी हो, कोई यौगिक विशेष (मान लीजिए, पानी), सदा ही, समान तत्वों (हाइड्रोजन और ऑक्सीजन) के समान द्रव्यमान अनुपात (1:8) से मिलकर बनता है। हाइड्रोजन को एक सन्दर्भ के रूप रखते हुए, और पानी का सरलतम रासायनिक सूत्र HO मानते हुए, डाल्टन ने निष्कर्ष निकाला कि ऑक्सीजन का परमाणु द्रव्यमान 8 होता है।

गे-लुजैक गैसीय अवस्था में होने वाली रासायनिक अभिक्रियाओं पर काम कर रहे थे, और उन्होंने बताया कि परमाणु किसी तत्व के भीतर स्वतंत्र अस्तित्व रखने वाले सबसे छोटे कण हों, यह ज़रूरी नहीं है। गे-लुजैक के निष्कर्षों का, परमाणु की अविभाज्यता के बारे डाल्टन की अभिधारणा से सीधा संघर्ष था। इस संघर्ष को आख़िरकार ऐवोगैड्रो द्वारा सुलझाया गया जिन्होंने 'अणुओं' के विचार का प्रतिपादन किया।

नए तत्वों की खोज में जिस आविष्कार ने एक अहम भूमिका निभाई वह था, 1800 में वोल्टाई सैल की रचना। वोल्टाई सैल ने विद्युत का, और इसलिए रासायनिक अपघटन का भी, एक स्थिर स्रोत प्रदान किया। इसका सबसे पहले सफल प्रयोग सर

बॉक्स-2 : परमाणु भार की धारणा का विकास

परमाणु भारों की धारणा का विकास भी अपने आप में एक अद्भुत कहानी है, जिसकी विस्तृत चर्चा **आई वंडर...** के पहले अंक में 'परमाणु भारों की गाथा' नामक लेख में की गई है। हमारा सुझाव है कि आप उस लेख पर भी नज़र दौड़ा लें!

हम्फ्री डेवी ने 1807 में किया था जब उन्होंने इसकी सहायता से बेहद अभिक्रियाशील सोडियम और पोटेशियम को पृथक किया था। फिर बाद में इसी विधि से उन्होंने कैल्शियम, मैग्नीशियम और बेरियम जैसे अन्य क्षारीय मृदा तत्वों को भी अलग किया। परिणामस्वरूप, सामने आई पोटेशियम की अपचयन क्षमता ने जॉन्स जैकब बेरजेलियस को सेलेनियम, सिलिकॉन और जर्कोनियम आदि की खोज करने में मदद की।

ज्ञात तत्वों की संख्या में धीरे-धीरे हो रही

बॉक्स-3 : तत्वों के त्रिक (ट्रायड)

हालाँकि तत्वों को वर्गीकृत करने के अधिकांश प्रयास कार्ल्सरुहे काँग्रेस के बाद हुए, लेकिन इसके पहले भी इस सम्बन्ध में कुछ उल्लेखनीय प्रयास हुए थे, जिनमें ख़ासतौर पर डोबेरेइनर का काम शामिल है। डोबेरेइनर द्वारा किया गया तत्वों का वर्गीकरण उनकी रासायनिक समरूपता पर आधारित था। उन्होंने बढ़ते हुए (उनके उस समय के ज्ञात) परमाणु द्रव्यमानों के क्रम में एक तरह के तीन तत्वों का समूह बनाया। जब यह हो गया, तो उन्होंने ध्यान दिया कि बीच वाले तत्व का परमाणु द्रव्यमान बाक़ी दो तत्वों के द्रव्यमानों के औसत के क़रीब ही था। उन्होंने 1829 में अपना 'त्रिक का नियम' प्रकाशित किया, जिसकी बदौलत

चित्र-2 : तत्वों के कुछ त्रिकों के उदाहरण
Credits: Tejas Joshi. License: CC-BY-NC.

1843 तक ऐसे दस त्रिकों की पहचान कर ली गई।

लेकिन इस प्राथमिक वर्गीकरण का प्रयोग सभी ज्ञात तत्वों को वर्गीकृत करने के लिए नहीं किया जा सका। और न ही यह वर्गीकरण बहुत सुदृढ़ ही था। उदाहरण के लिए, बाद में कुछ चौके और एक पंचक भी पकड़ में आया!

बढ़ोतरी के साथ ही उन्नीसवीं सदी के आरम्भिक वर्षों में परमाणु और परमाणु द्रव्यमान के बारे में भी जानकारियों का विकास हो रहा था। ये दोनों ही पहलू तत्वों को वर्गीकृत करने के आगे हुए प्रयासों के लिए महत्त्वपूर्ण सीढ़ी साबित हुए। इस सन्दर्भ में, उन्नीसवीं सदी के प्रारम्भ में जॉन डाल्टन द्वारा प्रतिपादित परमाणु सिद्धान्त ख़ासतौर से महत्त्वपूर्ण है। डाल्टन का कहना था कि तत्व अविभाजनीय कणों, जिन्हें 'परमाणु' कहा जाता है, से मिलकर बने हैं। उनके इस विचार ने कि ' किसी तत्व विशेष के सभी परमाणु अपने द्रव्यमान, आकार और गुणों के मामले में एक जैसे होते हैं', परमाणु द्रव्यमान के महत्त्वपूर्ण सिद्धान्त की ओर ध्यान आकर्षित किया। डाल्टन के अनुसार, किसी तत्व के परमाणु द्रव्यमान के एकदम सटीक मूल्य को उस तत्व के हस्ताक्षर की तरह से देखा जा सकता था। इस विचार से यह प्रश्न उभरा कि हम किसी तत्व के परमाणु द्रव्यमान की गणना कैसे करते हैं? डाल्टन ने ग़ज़ब की दूरदर्शिता का परिचय देते हुए, किसी ऐसे अन्य तत्व के द्रव्यमान के सापेक्ष इस मान की गणना की, जिसका द्रव्यमान पहले से ज्ञात था (यानी, अन्य तत्वों के सापेक्ष द्रव्यमानों का पूर्वानुमान लगाने के लिए हाइड्रोजन का एक सन्दर्भ तत्व के रूप में इस्तेमाल)।

परमाणु द्रव्यमान के सिद्धान्त और उसके निर्धारण को 1800 से 1860 के बीच के काल में गे-लुजैक, एमेडियो एवोगैड्रो, बरजेलियस, ज्यां स्टैज और स्टैनिसलाओ कैनिजारो द्वारा और विकसित किया गया। बरजेलियस ने सन्दर्भ तत्व हाइड्रोजन से बदलकर ऑक्सीजन कर दिया, और इस तरह उन्होंने, आसानी से उपलब्ध ऑक्साइडों का उपयोग करके रासायनिक विश्लेषणों के फलक को और विस्तृत कर दिया। परमाणु द्रव्यमानों की गणना करने के लिए किसी सन्दर्भ का उपयोग करने की यह ऐतिहासिक धारणा आज भी ख़ूब उपयोग

Li 7	Be 9	B 11	C 12	N 14	O 16	F 19
Na 23	Mg 24	Al 27.5	Si 28	P 31	S 32	Cl 35.5

चित्र-3 : न्यूलैण्ड्स की आवर्त सारणी का एक भाग। तत्वों को व्यवस्थित करने और आवर्तन की पहचान करने में न्यूलैण्ड्स द्वारा किया गया साहसी प्रयास इस भाग को देखने से स्पष्ट हो जाता है। क्लोरीन (Cl), जो फ्लोरीन (F) से शुरू होने वाले क्रम में आठवें स्थान पर आती है, और यह फ्लोरीन जैसे रासायणिक गुणों का ही प्रदर्शन करती है। लेकिन यह तथ्य, कि ये दोनों एक ही समूह (हैलोजनों) का हिस्सा हैं, काफ़ी बाद में प्रमाणित हुआ।
Credits: Tejas Joshi. License: CC-BY-NC.

की जाती है। आज इस गणना के लिए, कार्बन 12 समस्थानिक (आइसोटोप) का उपयोग किया जाता है।

इस तरह, उन्नीसवीं सदी के मध्य तक, तक़रीबन 60 तत्वों की खोज की जा चुकी थी, और उनके परमाणु द्रव्यमानों की गणना की जा चुकी थी। लेकिन, अभी भी ये जानकारियाँ वैज्ञानिक समुदाय के भीतर ही व्यापक रूप से पता नहीं थीं, और किसी के लिए भी बहुत सुगम्य नहीं थीं। परिणामस्वरूप, संयोजकता, आणविक भार, तुल्यांकी द्रव्यमान के सन्दर्भ में कई अवधारणात्मक संशय बने रहे।

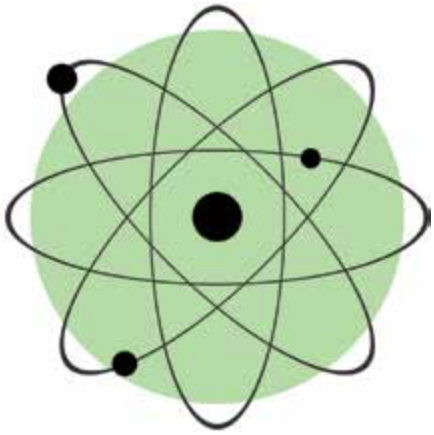
इन संशयों को दूर करने के लिए समकालीन रसायनशास्त्रियों के साथ आने की ज़रूरत के परिणामस्वरूप पहली अन्तर्राष्ट्रीय काँग्रेस कार्ल्सरुहे, जर्मनी में 1860 में आयोजित की गई। कैनीजारो द्वारा निकाले गए परमाणु द्रव्यमानों को, और उनकी गणना करने के लिए, ऐवोगैड्रो की परिकल्पना पर आधारित उनके तर्काधार को, इस काँग्रेस में प्रस्तुत किया गया। इस प्रकार, मील का पत्थर साबित हुए इस सम्मेलन ने तत्वों और उनके गुणों के बारे में उस समय मौजूद ज्ञान पर चिन्तन करने के लिए गम्भीर और संगठित प्रयासों की नींव डाली।

तत्वों के रासायनिक गुणों में आवर्तन (Periodicity)

1860 की काँग्रेस के बाद, ज्ञात तत्वों की अच्छी ख़ासी संख्या (63), और उनके परमाणु द्रव्यमानों, संयोजकता आदि के बारे में स्पष्टीकरण ने इस जानकारी को व्यवस्थित करने के लिए ज़रूरी उपयुक्त सन्दर्भ बिन्दु दे दिए थे।

जॉन न्यूलैण्ड्स इस बात की पहचान करने वाले पहले व्यक्ति थे, कि तत्वों के रासायनिक गुणों में एक ख़ास तरह का 'आवर्तन' होता है। न्यूलैण्ड्स ने पाया कि उनके बढ़ते हुए परमाणु द्रव्यमानों (जैसे कैनिजारो ने गणना की थी) के क्रम में व्यवस्थित किए जाने पर, किसी अमुक तत्व से शुरुआत करने पर आठवें क्रम पर आने वाला तत्व पहले तत्व के समान होगा (**चित्र-2** देखें)। उन्होंने संगीत के अष्टक से साम्य होने के कारण इस अनोखे गुण को 'अष्टकों का नियम' नाम दिया।

चूँकि, न्यूलैण्ड्स ने तत्वों के भौतिक और रासायनिक गुणों की बजाय परमाणु द्रव्यमानों पर ज़्यादा निर्भर किया, इस वजह से उनकी इस व्यवस्था की कुछ सीमाएँ थीं। और ऐसा होने का एक कारण यह भी था कि परमाणु द्रव्यमानों के जो मूल्य उस समय



उपयोग किए जा रहे थे, उनमें से कुछ ग़लत थे जिसके कारण उन्हें सारणी में ग़लत स्थान पर रख दिया जाता था। इसके अलावा, न्यूलैण्ड्स ने अपनी सारणी में उस समय तक नहीं खोजे गए तत्वों के लिए ख़ाली जगह नहीं छोड़ी थीं।

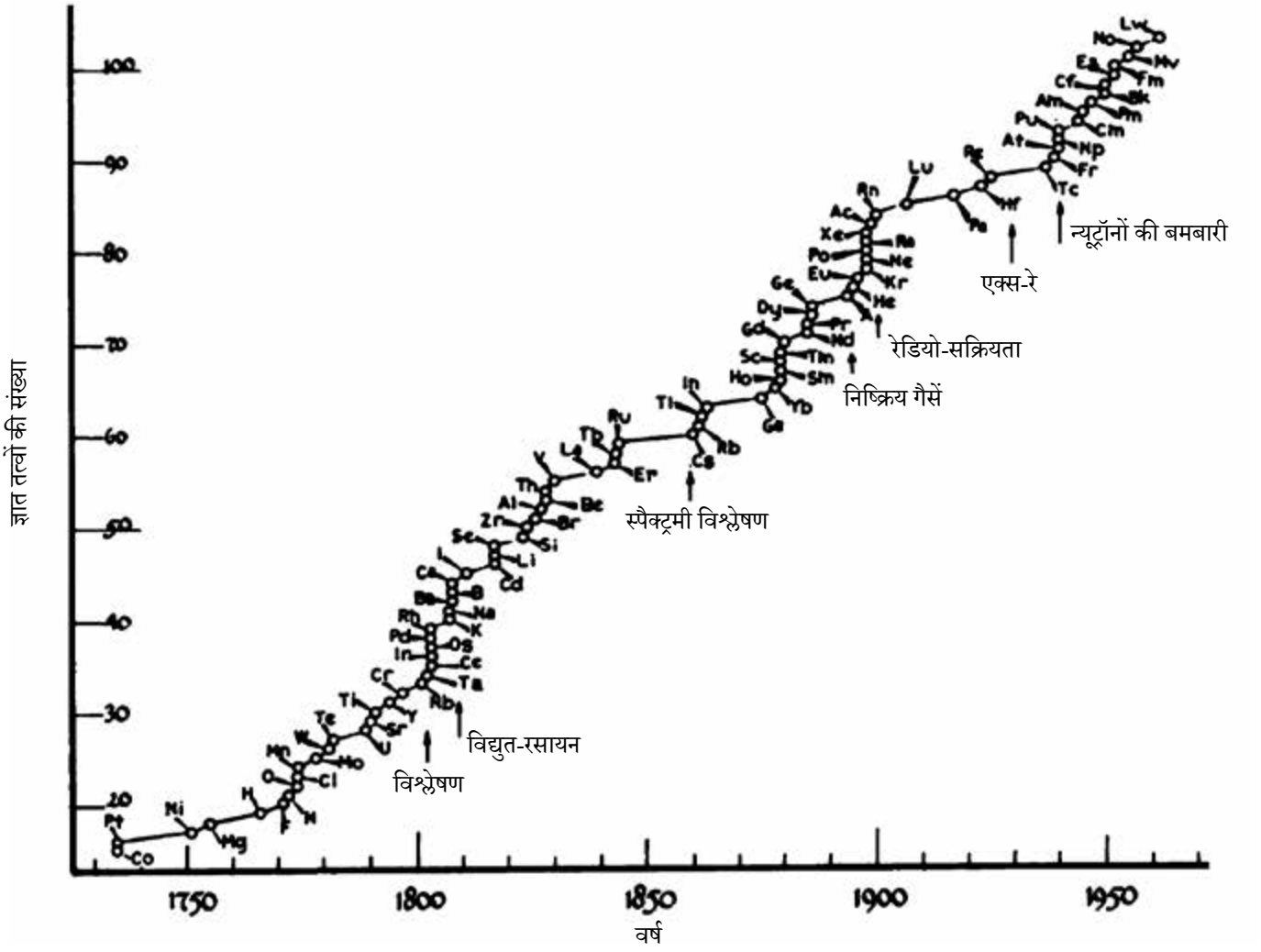
मेण्डलीव ने खोजा पहेली का हल

हालाँकि न्यूलैण्ड्स ने आवर्तन की पहचान कर ली थी, पर तत्वों को वर्गीकृत करने के उनके प्रयत्न को रसायनशास्त्रियों ने गम्भीरता से नहीं लिया, जिसकी वजह से उन्होंने इस ओर और अधिक प्रयास नहीं किए। फिर दिमित्री मेण्डलीव ने पहले 1869 में, और फिर 1871 में आवर्त सारणी का अपना संस्करण प्रकाशित किया। तत्वों के वर्गीकरण की उनकी इस सुन्दर और परिष्कृत व्यवस्था ने न सिर्फ़ आवर्ती नियम को प्रभावपूर्ण तरीक़े से प्रमाणित कर दिया, बल्कि तार्किक दूरदृष्टि के बल पर कुछ अनखोजे तत्वों के होने के बारे में पूर्वानुमान भी लगाया, और उनको जगह देने के लिए सारणी में फ़ासले भी छोड़े!

आवर्त सारणी के विकास में, मेण्डलीव के प्रयास रूपान्तरकारी क्यों हैं?

1. मेण्डलीव द्वारा बनाई गई व्यवस्था कैनिजारो द्वारा निकाले गए परमाणु द्रव्यमानों पर ही निर्भर नहीं थी। बल्कि उन्होंने यौगिकों के स्वयं के द्वारा किए गए विश्लेषण का अनुसरण किया, रासायनिक रूप से समान या 'सदृश' तत्वों की पहचान की, और तत्वों की अपनी व्यवस्था में उन्होंने इस रासायनिक समानता को प्राथमिकता दी। दरअसल, उन्होंने इस जानकारी का इस्तेमाल करके कई तत्वों के परमाणु द्रव्यमानों पर सवाल भी उठाए।

2. ऐसा लगता है कि मेण्डलीव ने उन्हें प्राप्त जानकारियों को एक चुनौती के रूप में लिया - किसी जिगसॉ पहेली की तरह जिसे हल किया जाना था। इसलिए उन्होंने



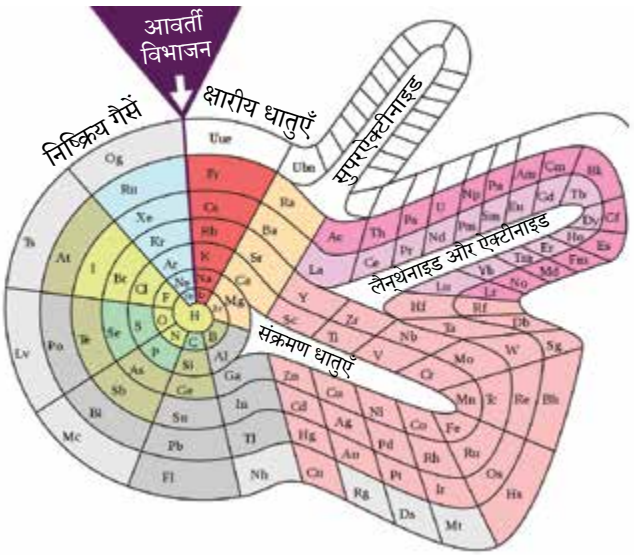
चित्र-4 : तत्वों की खोज का सार
Credits: Adapted by Tejas Joshi from Goldwhite, H., & Adams, R. C. (1970). Chronology of the discovery of elements. Journal of Chemical Education, 47(12), 808.

हर तत्व के लिए अलग-अलग कार्ड बनाए, और फिर उन्हें विभिन्न तरीक़ों से व्यवस्थित करने की कोशिश की। इन तत्वों को सारणी में लम्बवत और क्षैतिज ढंग से व्यवस्थित करने (जिनसे हम आज की सारणी में परिचित हैं) के बारे में सोचते हुए, उन्होंने इनकी पारिवारिक सदृशता को लम्बवत रखा, और बढ़ते हुए परमाणु द्रव्यमान को क्षैतिज रूप में रखा।

3. मेण्डलीव को अपने प्रयास पर इतना दृढ़ विश्वास था कि उन्होंने उस समय के ज्ञान पर बेधड़क होकर सवाल उठाए (उदाहरण के लिए, अशुद्ध परमाणु द्रव्यमानों पर) और उन्होंने ग़लतियों को सुधारने के लिए स्पष्टतः ग़लत जगह रखे गए तत्वों के लिए पुनः गणना की या उनकी जगह बदल दी। उनका यह विश्वास और दूरदृष्टि बाद में सही प्रमाणित हुए।

4. मेण्डलीव की सारणी की, सम्भवतया सबसे ख़ास विशेषता है ख़ाली छोड़ी गई जगहें, जो उन्होंने कुछ अनखोजे तत्वों की गुंजाइश बनाने के लिए छोड़ी थीं। पर सिर्फ़ ख़ाली स्थान ही नहीं छोड़े गए थे, इनके साथ अनखोजे तत्वों के क्या गुण हो सकते हैं, इसके पूर्वानुमान भी लगाए गए थे (उदाहरण के लिए, मेण्डलीव ने ऐल्यूमीनियम से मिलते-जुलते गुणों वाले एक तत्व के होने का पूर्वानुमान लगाया, और उसे एका ऐल्यूमीनियम कहा। बाद में इस तत्व की खोज हुई और इसे गैलियम नाम दिया गया)। मेण्डलीव की सारणी में इस दूरदर्शी, और कुछ हद तक 'दुस्साहसी', व्यवस्था ने और तत्वों को शामिल करना सम्भव बनाया। दरअसल, इसने नए तत्वों की खोज का मार्ग प्रशस्त किया!

एक बड़े आश्चर्य की बात यह है, कि लगभग इसी समय, मेण्डलीव की सारणी से बेहद मिलती-जुलती आवर्त सारणी लोथार मेयर द्वारा स्वतंत्र रूप से तैयार की गई थी। लोथार मेयर एक वैज्ञानिक थे जिन्हें आवर्त सारणी के विकास में उनके योगदान के लिए, बाद में, लगभग मेण्डलीव के बराबर ही श्रेय दिया गया। मेयर की सारणी में ज़्यादा ध्यान तत्वों के भौतिक गुणों, जैसे कि उनके परमाणु आयतन, में प्रगति की ओर था।



चित्र-5 : क्या आवर्त सारणी इससे भिन्न दिख सकती थी? इस चित्र में, काफ़ी हद तक अनोखे बाह्यरूप का एक उदाहरण दिया गया है। यह थिओडोर बेनफे द्वारा तैयार की गई सर्पिल सारणी है। इस सर्पिल सारणी के बीच में हाइड्रोजन है, और नए उभरते हुए सर्पिल फैलकर आठ खण्ड बना लेते हैं जिनमें संक्रमण तत्व, लैन्थेनाइड और ऐक्टीनाइड को रखा गया है। सर्पिल और कुण्डली आकार वाले नमूने नए नहीं हैं - 1862 में शैनकोर्ट्वा द्वारा प्रतिपादित टैल्युरिक स्क्रू नमूना, कुण्डली डिज़ाइन का एक प्रमुख उदाहरण था। आवर्त सारणी के दुनिया भर के ऐसे अन्य बाह्यरूपों के बारे में जानने के लिए मार्क लीच के ऑनलाइन संग्रह को यहाँ देख सकते हैं –

http://www.meta-synthesis.com/webbook/35_pt/pt_database.php.

Credits: DePiep (Own work), Wikimedia Commons.
URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Alternative_periodic_tables#/media/File:Elementspiral_(polyatomic).svg. License: CC-BY-SA.

1. पहला स्रोत, एक इंफोग्राफिक फ्लायर (चित्रों द्वारा सूचना देने वाला विज्ञापन) है, जो आवर्त सारणी के विकास की यात्रा में आए विभिन्न मील के पत्थरों को प्रस्तुत करता है, और उन वैज्ञानिकों से परिचय कराता है जिन्होंने इनमें योगदान दिया। यह लेख इसी स्रोत से प्रेरित है।
2. यह फ्लायर एक बड़ी, गतिविधि-आधारित, अधूरी आवर्त सारणी के रूप में खुलता है, और इसमें तमाम संकेत और ख़ाली स्थान भी दिए गए हैं, जिन्हें पाठक पूरा करते हैं।
3. दूसरा स्रोत, 114 दृश्य सूचना कार्डों का एक समूह है, हर तत्व के लिए एक कार्ड।
4. रंगों के संकेत वाला और चित्रित, हर कार्ड में तत्व, पाठक से 'बात करता है', और वह पाठकों के साथ अपने बारे में, अलग-अलग विषयवस्तुओं से गुज़रती असंख्य जानकारियाँ बाँटता है, जिनके बारे में आप विस्तार से पोर्टल पर जान सकते हैं।

www.bit.ly/lmtce पर मौजूद पोर्टल में आपको शिक्षण के इन संसाधनों के बारे में विस्तृत वर्णन मिल जाएगा। इसके अलावा आगे और जानने के लिए आपको सूचनाओं की कई उपयोगी स्रोतों की हाइपरलिंक भी दी गई हैं।

चित्र-6 : होमी भाभा विज्ञान शिक्षा केन्द्र में तैयार किए गए शिक्षण संसाधन।
Credits: Tejas Joshi. License: CC-BY-NC.

बॉक्स-4 : स्रोत

हमने इस लेख के लिए, आवर्त सारणी से जुड़े जिन मुद्रित और वैब-आधारित स्रोतों का सहारा लिया है, उनकी एक विस्तृत सूची, और हमारे द्वारा तैयार किए गए कुछ शिक्षण स्रोतों को आप ऑनलाइन, इस पोर्टल, WWW.bit.ly/lmtce पर जाकर 'इम्पोर्टेंट रिफ्रेंसेज ऐण्ड रिसोर्सेज' नामक खण्ड के तहत देख सकते हैं। इन स्रोतों को कोई भी देख सकता है।

यह पोर्टल कई तरह के लोगों के लिए शैक्षणिक संसाधन उपलब्ध कराने के लिए बनाया गया था। हो सकता है कि इनमें से कुछ लोगों के पास शिक्षण के साधनों की, या मुद्रित रूप वाली अन्तर्राष्ट्रीय किताबें पढ़ने की, सुगमता न हो। हमें विश्वास है कि पोर्टल पर दिए गए संसाधनों में से कुछ तो ऐसे होंगे जो आपको आपके काम में मदद करेंगे और प्रेरित भी करेंगे। यह किसी भी तरह से हो सकता है, चाहे आपके विद्यार्थियों के लिए नमूने बनाने की गतिविधियों के रूप में हो, उन्हें खुद से सीखने के लिए ज़रूरी मार्गदर्शन के रूप में हो, या उन्हें सवाल उठाने और जवाबों को खोजने के लिए प्रेरित करने हेतु हो। हमारे पास सीखने के संसाधनों के सैट के मुद्रित संस्करण भी हैं जिन्हें आपके विद्यार्थियों के बीच आवर्त सारणी और उसके तत्वों के बारे में बोध पैदा करने के लिए, सुस्पष्ट शुरुआती बिन्दुओं के रूप में इस्तेमाल करने हेतु तैयार किया गया है। ये संसाधन ख़रीदने पर उपलब्ध होंगे। इनके बारे में विस्तृत जानकारी के लिए हमें लिखें।

ज़्यादा बड़ी समस्या : नए तत्वों का उभार और उन्हें सारणी में जगह देना

हालाँकि मेण्डलीव की आवर्त सारणी ने उस समय ज्ञात क़रीब 60 तत्वों को सुदृढ़ ढंग से व्यवस्थित करने का एक तरीक़ा प्रस्तुत किया था, पर जल्दी ही, कई नए तत्वों की खोज से इस सारणी पर भी संकट मँडराने लगा।

इनमें पहली चुनौती, 1859 में रॉबर्ट बुनसन और गुस्ताव करशौफ द्वारा आविष्कृत स्पैक्ट्रोस्कोप के इस्तेमाल द्वारा हुई दुर्लभ मृदा तत्वों, यानी लैन्थेनाइड, की खोज के साथ सामने आई। स्पैक्ट्रोस्कोप एक ऐसा उपकरण है जो हमें किसी भी पदार्थ में तत्वों की बहुत छोटी मात्राओं को, उन्हें रासायनिक रूप से पृथक किए बग़ैर भी, खोज लेने में मदद करता है। दुर्लभ मृदा तत्व रासायनिक रूप से एक-दूसरे से बहुत मिलते-जुलते थे, और उन्हें पृथक करना भी कठिन था, इसलिए उनके लिए स्पैक्ट्रोस्कोप बहुत सही उपकरण था। चूँकि 1870 के बाद, इस तरह के कई दुर्लभ मृदा तत्व खोजे जा रहे थे, इसलिए उन्हें मेण्डलीव की आवर्त सारणी में रखना एक चुनौती साबित हो रहा था। उनकी रासायनिक समानता का मेण्डलीव के एक तथ्य से विरोध था, और वह तथ्य था रासायनिक गुणों में प्रगति, और यह मेण्डलीव के वर्गीकरण की सबसे ख़ास विशेषताओं में से एक था। 1905 में, ऐल्फ्रेड वेर्नर ने इस समस्या का निदान कर दिया। इसके लिए उन्होंने दुर्लभ मृदा तत्वों को अपनी बहुत लम्बी आवर्त सारणी - जिसमें 33 स्तम्भ थे - में क्षारीय मृदा धातुओं और संक्रमण तत्वों के बीच रख दिया। क्या यह बड़े अचरज की बात नहीं है कि उनके इलेक्ट्रॉनिक विन्यास के बारे में कोई जानकारी न होने पर भी वेर्नर दुर्लभ मृदा तत्वों को आवर्त सारणी में सही जगह पर रखने में कामयाब हो गए।

एक और चुनौती आई 1894 में विलियम रैमजे और लॉर्ड रेले द्वारा की गई पहली अक्रिय गैस आर्गन की खोज के साथ। अधिकांश रसायनशास्त्रियों को यह खोज पसन्द नहीं आई, क्योंकि ऐसा प्रतीत हो रहा था कि, तत्वों के बारे में जो कुछ भी हमने खोजा और समझा था उसे रासायनिक रूप से अक्रिय आर्गन ख़तरे में डाल रही थी। इसके बाद अन्य अक्रिय गैसों जैसे हीलियम, निऑन, क्रिप्टॉन और जेनॉन की खोज ने इस संग्रह में और बढ़ोतरी कर दी। और इस वज़ह से आवर्त सारणी में एक ख़ास समूह बना, और उसकी जगह बनी हैलोजन तथा क्षारीय धातुओं के बीच में।

1898 में, मैरी क्यूरी और उनके पति पियैर ने पोलोनियम और रेडियम की खोज की, और 1911 तक, लगभग 30 रेडियोसक्रिय तत्व ज्ञात हो चुके थे। इन खोजों ने तत्वों की अवधारणात्मक समझ के समक्ष एक और चुनौती खड़ी की – ख़ासतौर पर इसलिए क्योंकि इनमें से कुछ तत्वों के रासायनिक गुण तो एक समान थे, पर परमाणु द्रव्यमान अलग-अलग थे। इससे स्वाभाविक तौर पर यह समस्या उभरी कि इन नए तत्वों को आवर्त सारणी में किस प्रकार और कहाँ रखना था। फ्रेडरिक सॉडी और कैजीमियैर्ज फाजांस ने इस समस्या का निराकरण कर दिया। उन्होंने यह कहा कि किसी तत्व के सभी समस्थानिकों (एक से रासायनिक गुणों वाले तत्वों के) को उस तत्व के साथ एक ही स्थान पर रखा जाना चाहिए, भले ही उनके परमाणु द्रव्यमान अलग हों।

परमाणु क्रमांक : तत्व का नया हस्ताक्षर

1913 में हैनरी मोजेली के कार्य ने दर्शाया कि आवर्त सारणी में किसी तत्व को रखे जाने के क्रमांक और उस तत्व द्वारा पैदा की जाने वाली एक्स-किरणों के बीच एक सुव्यवस्थित गणितीय सम्बन्ध होता है। और इस तरह, मोजेली पहली बार कई तत्वों के परमाणु क्रमांकों का आकलन कर सके। उनके इस काम के कारण आज, परमाणु द्रव्यमान की बजाय परमाणु क्रमांक (यानी, परमाणु के नाभिक में मौजूद प्रोटॉनों की संख्या) को अब किसी भी तत्व का हस्ताक्षर माना जाता है। मोजेली के कार्य द्वारा यह तथ्य भी निर्णायक रूप से सामने आया कि कुल 14 दुर्लभ मृदा तत्व थे, और उस समय तक नहीं खोजे गए दो तत्वों, हैफ्नियम और रीनियम, को जल्दी ही एक्स-किरणों के माध्यम से खोज लिया गया।

आवर्त सारणी में सबसे नया जुड़ाव हुआ है मनुष्यों द्वारा बनाए जा रहे नए तत्वों का। परिणामस्वरूप, तत्वों की अवधारणा का भी विकास हुआ है। पहले वे सिर्फ़ स्वाभाविक तौर पर पाए जाने वाले माने जाते थे, अब उनमें प्रयोगशालाओं के भीतर नाभिकीय बमबारी किए जाने पर होने वाले पदार्थ के रूपान्तरण से बनने वाले तत्वों को भी शामिल किया जाता है। नेप्टूनियम इस तरह कृत्रिम रूप से बनाया जाने वाला पहला तत्व था। 1940 में ऐडविन मैकमिलन और फिलिप ऐबलसन द्वारा बर्कले विकिरण प्रयोगशाला में इस ट्रांसयूरेनिक तत्व (जिन तत्वों के परमाणु क्रमांक 92, यानी यूरेनियम के परमाणु क्रमांक से अधिक हैं) के निर्माण के बाद ग्लैन सीबोर्ग और उनके सहकर्मियों द्वारा ट्रांसयूरेनिक तत्वों की व्यापक रचना की गई। इन नए बनाए गए तत्वों को आवर्त सारणी में जगह देना एक और बड़ी चुनौती थी, क्योंकि इनके होने का पूर्वानुमान किसी ने नहीं लगाया था! 1944 तक सीबोर्ग - जिन्होंने तत्वों के इस समूह को 'ऐक्टीनाइड' का नाम दिया था - ने आवर्त सारणी का एक नवीन संस्करण तैयार कर लिया था जिसमें इन तत्वों को दुर्लभ मृदा तत्वों (लैन्थेनाइड) के नीचे रखा गया था। ऐसा इस खोज के आधार पर किया गया था कि ऐक्टीनाइड समूह के तत्व उनके संगत लैन्थेनाइड तत्वों के सदृश थे, और इससे कई और कृत्रिम तत्वों की पहचान करने में मदद मिली।

शैक्षणिक उपकरण के रूप में आवर्त सारणी

तो अब हम आ जाते हैं आज की स्थिति में, जब हम आवर्त सारणी के व्यापक रूप से स्वीकृत दीर्घ रूप का इस्तेमाल करते हैं। बहुत लम्बी यात्रा रही, है न? और यह यात्रा अभी समाप्त नहीं हुई है क्योंकि आवर्त सारणी की क्रियात्मकता और उसके बाह्यरूप को सुधारने के प्रयास अब भी जारी हैं (ऐसे एक उदाहरण के लिए **चित्र-4** देखें)!

आवर्त सारणी में होने वाले सभी संशोधनों का दस्तावेज़ीकरण और उसका नवीनीकरण, शुद्ध और व्यवहारिक रसायन के अन्तर्राष्ट्रीय संघ (आईयूपीएसी) नामक एक वैश्विक संगठन द्वारा किया जाता है। इन संशोधनों में तकनीकी जानकारी में बदलाव, या नए तत्वों को जोड़ने जैसे कार्य शामिल हो सकते हैं। इस सारणी का नवीनतम संस्करण (जनवरी 2016) - जो शिक्षकों के लिए एक मानक सन्दर्भ है - में चार नए तत्वों को जोड़ा गया है, जो ख़बरों में भी रहे थे। इन्हें अभी सिर्फ़ 113, 115, 117 और 118 के रूप में जाना जाता है।

एक बात है जो आवर्त सारणी को रसायनविज्ञान के लिए, और आमतौर पर, विज्ञान की शिक्षा के लिए भी, अनमोल बना देती है। वह है इस हक़ीक़त को चित्रित करने का उसका असाधारण तरीक़ा, कि वैज्ञानिक ज्ञान किस गतिशील पर धीमी प्रक्रिया से गुज़रता है, और किस प्रकार इस प्रगति को धक्का देते रहना मनुष्य का एक सतत प्रयास है।

हम इस ऐतिहासिक यात्रा को इस आशा के साथ प्रस्तुत कर रहे हैं, कि इससे आवर्त सारणी पर (या विज्ञान में आप जो कुछ भी पढ़ें, उस पर) आपका नज़रिया और व्यापक हो जाएगा। हम आशा करते हैं, कि आवर्त सारणी को एक पूर्ण उत्पाद के रूप में देखने की बजाय आप इसे एक निरन्तर जारी, बड़ी मन मोहने वाली ऐसी कहानी के परिणाम के रूप में देख सकते हैं जिसके किरदार जिज्ञासु थे, मेहनती थे, और वे तार्किक चिन्तन-मनन के द्वारा ऐसे सवालों के पीछे पड़े रहे जिनके कोई स्पष्ट जवाब मौजूद नहीं थे।

तेजस जोशी, यूनिवर्सिटी कॉलेज लन्दन के इंस्टीट्यूट ऑफ एजुकेशन से विज्ञान शिक्षा में एमए कर रहे हैं। इसके पहले वे 2009 से होमी भाभा विज्ञान शिक्षा केन्द्र में काफ़ी समय रहे, जहाँ उन्होंने पहले एक बहुअवयवी कार्बनिक अभिक्रिया पर काम किया और फिर बाद में, रसायनविज्ञान के लिए सीखने के दृश्य स्रोत तैयार करने का काम किया। उनके हालिया प्रॉजैक्ट, सन्दर्भ आधारित सीखने, प्रयोगशाला के रसायनशास्त्र की शिक्षा, रसायनशास्त्र की शिक्षा के लिए मुक्त शिक्षण संसाधनों के विकास और संचार पर रहे हैं। अपने ख़ाली समय में, तेजस को चित्र बनाना, उनमें रंग भरना और बाग़वानी करने का शौक़ है। उनसे tejas@oldifluff.org. पर सम्पर्क किया जा सकता है।

सविता लाडागे होमी भाभा विज्ञान शिक्षा केन्द्र, टीआईएफआर में फ़ैकल्टी की सदस्य हैं। उन्होंने रसायनविज्ञान की शिक्षा में पीएचडी की है। भारत में होने वाले रसायनविज्ञान के ऑलम्पियाड कार्यक्रम में उनकी महत्त्वपूर्ण भूमिका रही है। वे 15 साल से भी अधिक समय से इसके लिए प्रश्न बनाने, प्रयोगशाला के कार्य देने और चयन के विभिन्न चरणों की समीक्षा करने के काम कर रही हैं। इसके साथ ही वे पूर्वस्नातक शिक्षा के लिए बने एनआईयूएस के रसायनशास्त्र कार्यक्रम को तैयार करने में भी योगदान देती हैं। उनकी शैक्षिक रुचियों में विश्लेषणात्मक रसायनविज्ञान, रसायनविज्ञान की शिक्षा, ख़ासतौर पर मिथ्या धारणाएँ और पूर्वस्नातक स्तर के रसायनविज्ञान के लिए प्रायोगिक कार्य तैयार करना शामिल हैं। उनसे savital@hbcse.tifr.res.in. पर सम्पर्क किया जा सकता है। **अनुवाद :** भरत त्रिपाठी