नए तत्वों का निर्माण (संश्लेषण) क्यों?

सुशील जोशी

हम आज नए तत्वों के संश्लेषण की दौड़ में लगे हुए हैं – हर नए तत्व में प्रोटॉनों और न्यूट्रॉनों की संख्या पहले बने तत्वों की तुलना में ज़्यादा है। प्राकृतिक रूप से मिलने वाले तत्वों की तुलना में ये नए बनाए जा रहे तत्व अल्पकालिक (अस्थिर) लगते हैं – जैसे ही वे बनाए जाते हैं, वैसे ही अपना अस्तित्व खो देते हैं। ऐसा क्या है जो इन तत्वों को इतना अस्थिर बनाता है? हम इनका निर्माण करते ही क्यों हैं? इनके निर्माण से हमें नया क्या पता चलता है?

1998 में डुबना में जॉइंट इंस्टीट्यूट फ़ॉर न्यूक्लियर रिसर्च के रूसी वैज्ञानिकों के एक दल ने यह दावा किया कि तत्व 114 का निर्माण सम्भव है। सितम्बर 2009 में अमेरिका के ऊर्जा विभाग की लॉरेंस बर्कले नेशनल लेबोरेटरी के वैज्ञानिकों के एक दल ने इस दावे की पुष्टि की। रूस के दल ने (जिसका नेतृत्व यूरी ओगनेसियन ने किया था) कहा था कि तत्व 114, जिसे अब फ्लेवोरियम के नाम से जाना जाता है – 'बहुत स्थिर (टिकाऊ)' है। परन्तु आज यह तत्व अस्तित्व में नहीं है।

यह अल्पकालिक तत्व 114 कोई अपवाद नहीं है। पिछले कुछ दशकों में जिन कई महाभारी तत्वों का आविष्कार या निर्माण किया गया है (**देखें बॉक्स-1**), वे बहुत स्थिर नहीं लगते। इसके विपरीत 92 तत्व जिनमें से सबसे भारी (यूरेनियम) में 92 प्रोटॉन होते हैं, प्राकृतिक रूप से पाए जाते हैं। इस आधार पर यह परिकल्पना उभरी कि 92 से अधिक प्रोटॉन वाले तत्व शायद प्रकृति में स्थिर नहीं होते। ऐसा क्या है जो किसी तत्व को स्थिर और किसी अन्य को अस्थिर बनाता है? और नए तत्वों के निर्माण के प्रयासों में निवेश क्यों किया जाए जबकि वे वास्तव में क्षणभंगुर होने वाले हैं?

प्रोटॉन संख्या का असर

हर तत्व को उसके परमाणु क्रमांक से पहचाना जाता है जो कि उसके नाभिक में मौजूद प्रोटॉनों की संख्या होती है। उदाहरण के लिए फ्लेवोरियम का परमाणु क्रमांक 114 है यानी इसके नाभिक में 114 प्रोटॉन होते हैं। इस तत्व के प्रत्येक परमाणु को विद्युतीय रूप से उदासीन होने के लिए इतने ही इलेक्ट्रॉन चाहिए होते हैं। प्रत्येक तत्व का एक और गुण उसका परमाणु भार होता है। किसी तत्व का परमाणु भार उसके नाभिक में मौजूद प्रोटॉनों और न्यूट्रॉनों की संख्या का

बॉक्स-1 : नए तत्वों का संश्लेषण

सैद्धान्तिक रूप से किसी नए तत्व के निर्माण के लिए केवल दो उपयुक्त परमाणु संख्या वाले तत्वों के परमाणुओं की एक-दूसरे पर बहुत तेज़ गति से बौछार करनी होती है। इनमें से कुछ का संलयन हो जाएगा और आपको नए तत्व का उपहार मिल जाएगा। नए तत्वों की परमाणु संख्या इस प्रक्रिया के आरम्भ में लिए गए तत्वों की परमाणु संख्याओं के जोड़ के बराबर होगी।

वास्तव में यह कर पाना उतना आसान नहीं है जितना कि कहना। इतनी तेज़ गति (प्रकाश की गति का लगभग 10 प्रतिशत) हासिल करने के लिए परमाणुओं को साइक्लोट्रॉन में त्वरित किया जाता है। जब दो परमाणु आपस में टकराते हैं तो उनके नाभिकों के बीच का विकर्षण बल उन्हें एक-दूसरे से दूर फेंकने की कोशिश करता है। इसके परिणामस्वरूप इन ज़ोरदार टक्करों में ज़्यादातर परमाणु बिखर जाते हैं और केवल कुछ ही आपस में जुड़कर नए तत्व दे पाते हैं।

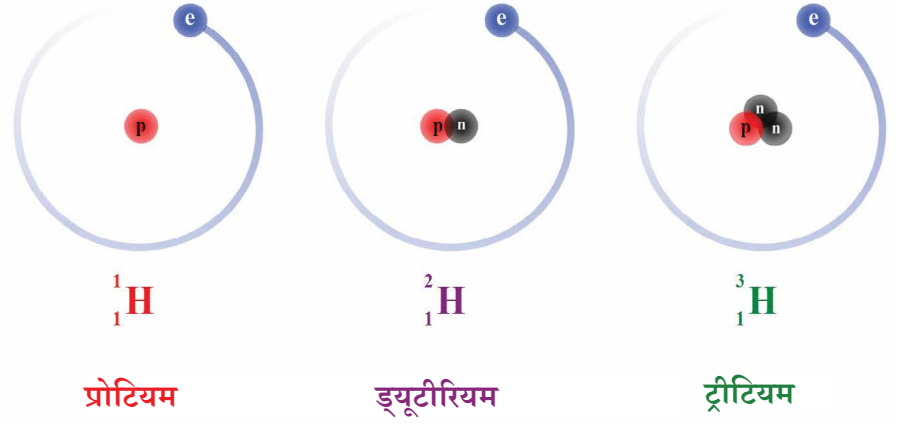
नए नाभिक के अस्तित्व और प्रकृति के बारे में जो निष्कर्ष निकाले जाते हैं वे विघटन शृंखलाओं के आँकड़ों और विघटन के उत्पादों के विश्लेषण से निकाले जाते हैं। उदाहरण के लिए नए तत्व तुलनात्मक रूप से आकार में बहुत अधिक बड़े होते हैं और इसलिए इनकी गति काफ़ी कम (प्रकाश की गति की लगभग 2 प्रतिशत) होती है और चुम्बकीय क्षेत्र में इनकी प्रतिक्रिया अलग तरह की होती है।

जोड़ होता है। कोई तत्व कहीं भी पाया जाए उसके प्रत्येक परमाणु में इतने ही प्रोटॉन होंगे, परन्तु न्यूट्रॉनों की संख्या अलग भी हो सकती है। उदाहरण के लिए, तत्व हाइड्रोजन के नाभिक में केवल एक प्रोटॉन होता है। जिस रूप में यह सबसे अधिक मात्रा में मिलता है उसके परमाणु में एक भी न्यूट्रॉन नहीं होता, जिस कारण उसके परमाणु क्रमांक और परमाणु भार बराबर होते हैं। परन्तु हाइड्रोजन के कुछ परमाणुओं में एक या दो न्यूट्रॉन होते हैं जिससे उनके परमाणु भार 2 (ड्यूटीरियम) या 3 (ट्रीटियम) होते हैं, जबकि उनके परमाणु क्रमांक वही रहते हैं (**देखें चित्र-1**)। जिन परमाणुओं के परमाणु क्रमांक एक होते हैं और परमाणु भार अलग-अलग होते हैं उन्हें उस तत्व के समस्थानिक कहते हैं। ज़्यादातर तत्वों के दो-या-दो से ज़्यादा समस्थानिक होते हैं। असल में समस्थानिकों का अस्तित्व कोई अपवाद नहीं बल्कि काफ़ी आम है। किसी तत्व के समस्थानिकों के भौतिक गुण अलग-अलग हो सकते हैं परन्तु उनके रासायनिक गुण समान होते हैं। उदाहरण के लिए लकड़ी के कोयले (चारकोल) में कॉर्बन के तीन समस्थानिकों का मिश्रण होता है इन सभी का परमाणु क्रमांक समान होता है (6), पर परमाणु भार क्रमश: 12, 13 और 14 होते हैं (**देखें चित्र-2**)। चारकोल को जलाए जाने पर सभी समस्थानिक एक ही तरह आसानी से जलते हैं और जलने से उत्पन्न कॉर्बन डाईऑक्साइड में ये तीनों उसी अनुपात में होते हैं जिस अनुपात में वे चारकोल में थे। ज़ाहिर है कि किसी तत्व के सभी समस्थानिकों को आवर्त सारिणी में एक ही खाने में रखा जाता है। परन्तु किसी तत्व के अलग-अलग समस्थानिकों की स्थिरता में अन्तर हो सकता है। उदाहरण के लिए कॉर्बन 12 और कॉर्बन 13 काफ़ी स्थिर होते हैं परन्तु कॉर्बन 14 अस्थिर होता है और इसका स्वत: क्षय होता रहता है। इसलिए अगर आप कॉर्बन 14 के 10 ग्राम नमूने को 6000 साल के लिए [जिसे कॉर्बन 14 का अर्धायु (हाफ़ लाइफ़) कहते हैं] छोड़ दें तो इतने समय बाद आपको केवल 5 ग्राम कॉर्बन ही बचा हुआ मिलेगा। बाक़ी का कॉर्बन नाइट्रोजन में परिवर्तित होकर हवा में जा चुका होगा। किसी तत्व के कुछ समस्थानिक स्थिर होते हैं और कुछ अस्थिर, ऐसा क्यों?

चित्र-2 : कार्बन के तीन समस्थानिक

Credits: Adapted from Brecksville-Broadview Heights' physical science homepage. URL: https://sites.google.com/a/bbhcsd.org/physical-science/home/chemistry/ch-14-atoms/isotopes.

समस्थानिकों की अलग-अलग स्थिरता की एक व्याख्या में परमाणु में प्रोटॉनों की संख्या को इसका कारण बताया जाता है। प्रोटॉन और न्यूट्रॉन परमाणु के नाभिक में समाए रहते हैं, परन्तु इलेक्ट्रान नाभिक के चारों तरफ़ घूमते रहते हैं। क्योंकि इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान न के बराबर होता है इसलिए परमाणु का लगभग पूरा द्रव्यमान नाभिक के अन्दर ही होता है। परन्तु पूरे परमाणु के आयतन की तुलना में नाभिक का आयतन



चित्र-1 : हाइड्रोजन के तीन समस्थानिक

Credits: Dirk Hünniger (derivative work in english – Balajijagadesh), Wikimedia Commons. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hydrogen_Deuterium_Tritium_Nuclei_Schmatic-en.svg. License: CC-BY-SA.

बहुत ही कम होता है। असल में अगर एक परमाणु का आकार एक फुटबाल के मैदान जितना हो तो उसके नाभिक का आयतन केवल एक टेनिस की बॉल के बराबर होगा। चूँकि प्रोटॉन धनावेशित होते हैं और न्यूट्रॉन विद्युतीय रूप से उदासीन होते हैं इसलिए नाभिक में मौजूद दो प्रोट्रॉनों के बीच विकर्षण होता है, परन्तु न्यूट्रॉन न तो एक-दूसरे पर कोई असर डालते हैं और न ही प्रोटॉनों पर। जैसे-जैसे परमाणु क्रमांक बढ़ता जाता है, छोटे-से नाभिक में समाए हुए प्रोटॉनों की संख्या बढ़ती जाती है। इससे उनके बीच का विकर्षण बल बढ़ता जाता है। इसके परिणामस्वरूप परमाणु की स्थिरता कम होते जाने की सम्भावना बढ़ती जाती है। असल में परमाणु क्रमांक 20 और उससे कम वाले तत्व तुलनात्मक रूप से स्थिर होते हैं, जबकि इससे अधिक परमाणु क्रमांक वाले तत्वों के परमाणुओं की स्थिरता कम होती जाती है। परन्तु हीलियम की स्थिरता एक दिलचस्प अपवाद है। अगर स्थिरता केवल नाभिक में मौजूद प्रोट्रॉनों के बीच के विकर्षण बल पर ही निर्भर करती तो इस तत्व को जिसके नाभिक में दो प्रोटॉन होते हैं, अस्थिर होना चाहिए था।

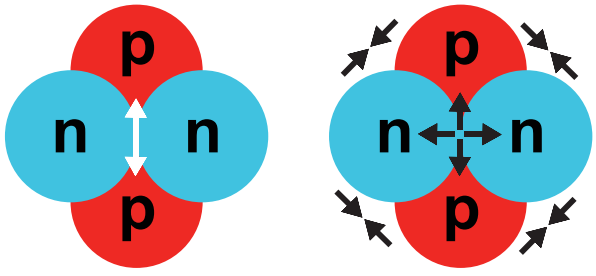
नाभिक को बाँधे रखने वाले बलों की मज़बूती

यह सृष्टि का सौभाग्य है कि नाभिक की अन्तःक्रियाएँ केवल प्रोटॉन के बीच के विकर्षण से ही निर्धारित नहीं होतीं। भौतिकशास्त्र के नियमों के अनुसार, उपपरमाण्विक अन्तःक्रियाएँ एक और बल द्वारा नियंत्रित होती हैं – 'स्ट्रॉन्ग बल' द्वारा। यह एक आकर्षण बल है जो एक नाभिक के अन्दर उपस्थित प्रोटॉनों और न्यूट्रॉनों के बीच केवल कम दूरी पर लगता है। इसलिए किसी समय में नाभिक में प्रोटॉनों के बीच दो बल लग रहे होते हैं – एक विद्युतीय विकर्षण बल और दूसरा स्ट्रॉन्ग आकर्षण बल। अगर किसी परमाणु में कम प्रोटॉन होते हैं और उसके नाभिक का आयतन कम होता है तो प्रोटॉनों के बीच का स्ट्रॉन्ग बल विद्युतीय विकर्षण पर काबू पा लेता है और परमाणु स्थिर रहता है। प्रोटॉनों की संख्या बढ़ने से विद्युतीय विकर्षण बल भी बढ़ता है और उनके बीच का स्ट्रॉन्ग आकर्षण बल भी। अगर नाभिक का आकार बड़ा हो तो प्रोटॉनों के बीच की दूरी भी ज़्यादा होगी, इससे उनके बीच का आकर्षण बल, जो कि केवल कम दूरी पर ही प्रभावी होता है, भी कम हो जाएगा। इससे इस परमाणु के विघटन की सम्भावना भी बढ़ जाएगी। क्या इसका अर्थ है कि अधिक परमाणु भार वाले सभी तत्व अस्थिर होते हैं?

ऐसा लगता है कि यहीं पर न्यूट्रॉन महत्त्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। नाभिक में प्रोटॉनों के बीच उपस्थित होने के कारण न्यूट्रॉन ढाल की तरह काम करके प्रोटॉनों को उनके बीच लगने वाले विकर्षण बल से बचाते हैं। न्यूट्रॉनों में भी स्ट्रॉन्ग बल लगाने की क्षमता होती है, जिसके परिणामस्वरूप नाभिक में कुल आकर्षण बल बढ़ जाता है और उसकी स्थिरता बढ़ जाती है (**देखें चित्र-3**)। इसका अर्थ है कि 20 से अधिक परमाणु संख्या वाला तत्व स्थिर होगा अगर उसके नाभिक में प्रोटॉनों की तुलना में न्यूट्रॉन ज़्यादा हों। परन्तु असल में, सभी भारी (परमाणु संख्या 20 से ज़्यादा) और महाभारी (परमाणु संख्या 100 से ज़्यादा) तत्वों में न्यूट्रॉनों की संख्या प्रोटॉनों की संख्या से ज़्यादा होती

बॉक्स-2 : इलेक्ट्रॉन विन्यास

किसी परमाणु के इलेक्ट्रॉन उसके नाभिक के आस-पास समकेन्द्रित कक्षकों में घूमते रहते हैं। इलेक्ट्रॉनों की कुछ व्यवस्थाएँ अधिक स्थिर होती हैं और कुछ कम। इलेक्ट्रॉनों के वितरण को एक गणितीय नियम से दर्शाया जाता है : $2 (n^2)$, जहाँ n कक्षक का क्रमांक है। इस तरह से पहले कक्षक में 2 इलेक्ट्रॉन $[2(1^2)]$, दूसरे कक्षक में 8 इलेक्ट्रॉन $[2(2^2)]$ और तीसरे में 18 इलेक्ट्रॉन $[2(3^2)]$ आदि आ सकते हैं। इस नियम में एक शर्त है जिसे आमतौर पर अष्टक का नियम कहा जाता है – आख़िरी यानी सबसे बाहरी कक्षक में 8 से ज़्यादा इलेक्ट्रॉन नहीं हो सकते हैं। अगर आख़िरी कक्षक पूरी तरह से भरा होता है जैसा कि उदासीन गैसों में होता है तो उसका परमाणु स्थिर होता है। अगर सबसे बाहरी कक्षक में 8 से कम इलेक्ट्रॉन होते हैं तो वह परमाणु अन्य परमाणुओं से क्रिया करके या तो इस कक्षक को पूरा कर लेता है या फिर इसे पूरी तरह से ख़ाली कर देता है (यानी यह कक्षक ही त्याग देता है)। इस शर्त के दो अपवाद हैं हाइड्रोजन और हीलियम – दोनों में केवल एक कक्षक होता है जिसमें अधिकतम 2 इलेक्ट्रॉन समा सकते हैं। हाइड्रोजन के इस कक्षक में केवल 1 इलेक्ट्रॉन होता है और इसलिए हाइड्रोजन बेहद सक्रिय होता है। दूसरी ओर हीलियम का यह कक्षक पूरी तरह से भरा होता है (इसमें 2 इलेक्ट्रॉन होते हैं) इसलिए हीलियम पूरी तरह से निष्क्रिय होता है।



(क) (ख)

चित्र-3 : किसी परमाणु की स्थिरता उसके नाभिक में उपस्थित दो विपरीत बलों पर निर्भर करती है। (क) विद्युतीय विकर्षण नाभिक के प्रोटॉनों को दूर धकेलता है। (ख) प्रोटॉनों और न्यूट्रॉनों के बीच का आकर्षण नाभिक को बाँधे रखता है।

Credits: Adapted from Matt Strassler, What Holds Nuclei Together? Of Particular Significance, March 4, 2013. URL: https://profmattstrassler.com/articles-and-posts/particle-physics-basics/the-structure-of-matter/the-nuclei-of-atoms-at-the-heart-of-matter/what-holds-nuclei-together/. License: CC-BY-NC.

है (न्यूट्रॉन/ प्रोटॉन >1)। और हल्के तत्वों (यानी 20 से कम परमाणु भार वाले तत्वों) के सबसे अधिक प्रचुरता से मिलने वाले समस्थानिकों के नाभिक में प्रोटॉनों और न्यूट्रॉनों की संख्या बराबर होती है (न्यूट्रॉन/ प्रोटॉन =1)। इन तथ्यों ने इस परिकल्पना को जन्म दिया कि एक विशिष्ट परमाणु संख्या के बाद न्यूक्लिऑन (प्रोटॉन और न्यूट्रॉन) की संख्या में बढ़ोतरी से परमाणु की अस्थिरता बढ़ेगी। दूसरे शब्दों में भारी परमाणु आमतौर पर अधिक अस्थिर होते हैं। ज़्यादातर ऐसा ही पाया जाता है।

'स्थिरता के टापुओं' की उपस्थिति

हालाँकि परमाणु संख्या बढ़ने से तत्वों की अस्थिरता बढ़ती है परन्तु ऐसा निरन्तर रूप से नहीं होता। अचानक ऐसे परमाणुओं का मिलना जो कि तुलनात्मक रूप से अधिक स्थिर होते हैं (अर्थात मात्र परमाणु संख्या के आधार पर अपेक्षित स्थिरता से ज़्यादा स्थिर होते हैं) इस निरन्तरता को रोक देता है। इससे स्थिरता के बढ़ने की एक उबड़-खाबड़ प्रवृति मिलती है – अस्थिरता का समुद्र, जिसके बीच-बीच में स्थिरता के टापू मिलते हैं। दूसरे शब्दों में कहें, तो कुछ परमाणु उनकी परमाणु संख्या के आधार पर अपेक्षित स्थिरता से अधिक स्थिर होते हैं। ऐसे परमाणुओं की परमाणु संख्याओं की गणना की गई है : 2, 8, 20, 28, 50, 82 और सम्भवतः 126। इनमें से परमाणु क्रमांक 92 तक के तत्व प्राकृतिक रूप से मिलते हैं। वैज्ञानिक परमाणु क्रमांक 118 तक के तत्वों का निर्माण करने में लगे हैं ताकि वे इन सैद्धान्तिक भविष्यवाणियों की जाँच कर सकें।

स्थिरता के टापू पाए जाने का अर्थ है कि शायद नाभिक के अन्दर न्यूक्लिऑन ऐसे ही बेतरतीब रूप से न रहते हों बल्कि वे कुछ ख़ास तरह से व्यवस्थित हों। यह तथ्य कि इलेक्ट्रॉनों के कुछ विन्यास, अन्य से अधिक स्थिर होते हैं, उपरोक्त विचार को सहारा देता है। इससे इस परिकल्पना को बल मिला है कि न्यूक्लिऑनों की कोई व्यवस्था कुछ तत्वों में अनअपेक्षित स्थिरता का कारण हो सकती है। नाभिक की व्यवस्था के लिए कई मॉडल प्रस्तुत किए जा चुके हैं परन्तु इन जादुई परमाणु संख्याओं को किसी तरह के गणितीय सूत्र द्वारा व्यक्त कर पाने के प्रयासों में अभी तक सफलता नहीं मिली है।

कुछ दिलचस्प अवलोकन

परमाणुओं की स्थिरता की व्याख्या करने के और भी प्रयास हुए हैं। उदाहरण के लिए यह पाया गया है कि जिन तत्वों के परमाणु क्रमांक सम हैं (2, 22, 76 वग़ैरह), वे अधिक स्थिर होते हैं और उनके स्थिर समस्थानिकों की संख्या भी विषम परमाणु संख्या वाले तत्वों की तुलना में ज़्यादा होती है

सम परमाणु संख्या वाले तत्वों के स्थिर समस्थानिकों की संख्या	170
विषम परमाणु संख्या वाले तत्वों के स्थिर समस्थानिकों की संख्या	63

तालिका-1 : सम परमाणु संख्या वाले तत्वों के स्थिर समस्थानिकों की संख्या ज़्यादा है।

प्रोटॉनों की संख्या	न्यूट्रॉनों की संख्या	स्थिर समस्थानिकों की संख्या
सम	सम	163
सम	विषम	53
विषम	सम	50

तालिका-2 : जिन तत्वों में प्रोटॉनों और न्यूट्रॉनों दोनों की संख्या सम होती है उनके स्थिर समस्थानिकों की संख्या आमतौर पर ज़्यादा होती है।

(**देखें तालिका-1**)। विश्लेषण से पता चलता है कि इन समस्थानिकों की स्थिरता न्यूट्रॉन्स की संख्या पर भी निर्भर करती है (**देखें तालिका-2**)। ऐसा लगता है कि प्रोटॉनों और न्यूट्रॉनों, दोनों की संख्या सम हो तो परमाणु अधिक स्थिर होता है। अगर इन दोनों में से किसी एक की संख्या विषम होती है तो उस परमाणु की स्थिरता कम हो जाती है। इन पैटर्नों की व्याख्या करने वाली गणनाएँ जटिल हैं, पर वैज्ञानिकों ने इनका इस्तेमाल करके यह अनुमान लगाया कि परमाणु संख्या 114 वाला तत्व तुलनात्मक रूप से स्थिर होगा। और जब इस तत्व का निर्माण हुआ तो यह वास्तव में (अपने परमाणु क्रमांक के हिसाब से) तुलनात्मक रूप से 'स्थिर' साबित हुआ।

अन्त में

महाभारी तत्वों का निर्माण विज्ञान की उपयोगितावादी सोच के सन्दर्भ में व्यर्थ लग सकता है, पर इससे तत्वों की स्थिरता निर्धारित करने वाले कारकों की समझ बढ़ती है। यहाँ यह ध्यान देना भी ज़रूरी है कि किसी तत्व की स्थिरता हम अकसर इस आधार पर नापते हैं कि वह कितने सालों, दशकों या सदियों तक टिका रह सकता है। तत्व 114 इस तरह की समयावधियों की कसौटी पर स्थिर नहीं माना जा सकता। यह असल में उतना भी स्थिर नहीं है जितना कि अनुमान लगाया गया था और इसलिए यह परिकल्पित स्थिरता का टापू नहीं है (**देखें तालिका-3**)। परन्तु चूँकि अधिकांश कृत्रिम तत्वों का विघटन उनके निर्माण के तुरन्त बाद ही हो जाता है, तत्व 114 को इस मायने में स्थिर माना जा सकता है कि कम-से-कम यह इतने समय तक स्थिर रहा कि हम इसके अस्तित्व को जान सकें। इसके

नाम	संकेत	परमाणु क्रमांक	सबसे स्थिर समस्थानिक	सबसे स्थिर समस्थानिक की अर्धायु
निहोनियम	Nh	113	^{286}Nh	9.5 सेकंड
फ्लेवोरिअम	Fl	114	^{289}Fl	1.9 सेकंड
मस्कोवियम	Mc	115	^{290}Mc	650 मिली सेकंड
लिवरमोरिअम	Lv	116	^{293}Lv	57 मिली सेकंड
टेनेसिने	Ts	117	^{294}Ts	51 मिली सेकंड
ऑगनेसोन	Og	118	^{294}Og	0.69 मिली सेकंड

तालिका-3 : हाल में निर्मित कुछ तत्वों की तुलनात्मक स्थिरता

निर्माण ने हमारी कई प्रश्नों के जवाब पाने की प्यास को बल दिया है – क्या स्थिरता के टापू असल में होते हैं? क्या आवर्त सारणी की कोई सीमा है? स्थिरता का अगला टापू परमाणु संख्या 126 पर अनुमानित किया गया है। क्या यह तत्व प्रयोगशाला में बनाया जा सकता है? क्या इसके निर्माण से हम इन सवालों के जवाबों के नज़दीक पहुँच पाएँगे? हमें इन्तज़ार करना होगा।

Note: Credits for the image used in the background of the article title: Atom structure. hmn, Deviant Art. URL: https://www.deviantart.com/hmn/art/Atom-structure-82310862. License: CC-BY.

सुशील जोशी स्वतंत्र रूप से विज्ञान लेखन और अनुवाद करते हैं। इंडियन इंस्टीट्यूट ऑफ बॉम्बे (आईआईटीबी) से पीएचडी पूरी करने के बाद वे 1982 में होशंगाबाद विज्ञान शिक्षण कार्यक्रम में शामिल हो गए और 2002 में इस कार्यक्रम के बन्द होने तक इससे जुड़े रहे।

अनुवाद : शशि सक्सेना **पुनरीक्षण :** सुशील जोशी **कॉपी एडिटर :** अनुज उपाध्याय