मेरे जीवन का एक सप्ताह

आफ़ताब दीवान

जब मैं एक शोधकर्ता के रूप में अपना परिचय देता हूँ तो लोग अक्सर मुझसे पूछते हैं "शोधकर्ता के रूप में आप क्या करते हैं?" चूँकि शोध एक खुला उद्यम है, इसलिए इस सवाल का जवाब देना हमेशा आसान नहीं होता। उदाहरण के लिए, पिछले सप्ताह के दौरान, मैंने कुछ गणनाएँ की हैं, जिस प्रयोगशाला में मैं काम करता हूँ वहाँ एक नए लेजर पथ का संरेखण (सीधी रेखा में लाना) किया है, एक इलैक्ट्रॉनिक तंत्र में समस्याओं के निराकरण में शामिल रहा हूँ, अन्य शोधकर्ताओं द्वारा लिखे गए शोधपत्रों को पढ़ा ताकि अपने क्षेत्र में हो रही नवीनतम घटनाओं से अवगत रह सकूँ। लेकिन इनमें से कोई भी गतिविधि इस सवाल का ठीक-ठीक जवाब नहीं देती कि 'मैं क्या करता हूँ।'

आइए इनमें से पहली गतिविधि को लें, यानी मेरे द्वारा की गई गणनाएँ। मेरे कार्य का एक भाग चुम्बकीय फन्दे में परमाणुओं को फँसाना है। चुम्बकीय फन्दे को आप परमाणुओं से भरे एक चीनी मिट्टी के कटोरे के रूप में देख सकते हैं, सिर्फ़ इस परिवर्तन के साथ कि यह कटोरा चीनी मिट्टी का न होकर चुम्बकीय क्षेत्र की रेखाओं का बना होता है। चुम्बकीय क्षेत्र की इन रेखाओं को अक्सर दो गोलाकार विद्युतीय कुण्डलियों (तार के फन्दों) का इस्तेमाल करके बनाया जाता है जिन्हें एक-दूसरे से अलग एक निश्चित दूरी पर रखा जाता है। कटोरे के किसी भी भाग के चुम्बकीय क्षेत्र की गणना करना काफ़ी मुश्किल कार्य है, लेकिन परमाणुओं के सबसे नज़दीकी भाग में, जो कटोरे के केन्द्र में होता है, यह गणना करना आसान होता है। मैंने यह गणना मुख्यतः खुद को यह समझाने में मदद करने के लिए की है कि एक सामान्य चुम्बकीय फन्दा कैसा दिखता है।

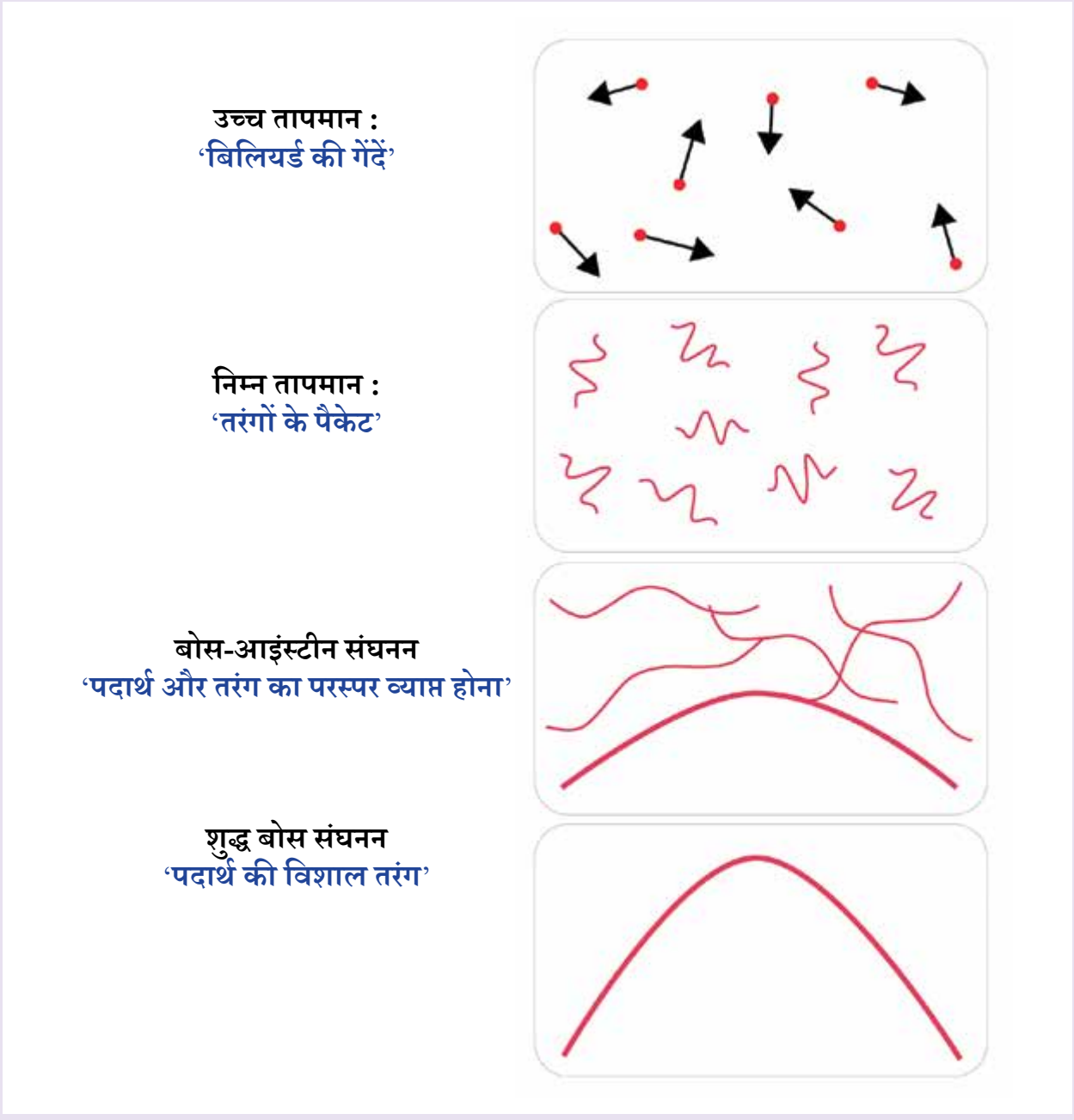
हम अपनी प्रयोगशालाओं में जिन प्रमुख उपकरणों का इस्तेमाल करते हैं वे लेजर हैं। इन लेजर किरणों का इस्तेमाल हमारे प्रयोगों की ज़रूरतों के मुताबिक परमाणुओं को फँसाने, उनकी पड़ताल करने और उनमें हेरफेर करने के लिए किया जाता है। मेरी प्रयोगशाला में हाल ही में एक नया लेजर तंत्र आया है, जिसका बिलकुल ठीक-ठीक संरेखण करना ज़रूरी होता है ताकि यह सुनिश्चित किया जा सके कि उसकी किरणें परमाणुओं से बिलकुल उसी जगह टकराएँ जहाँ हम चाहते हों। चूँकि एक लेजर किरण, तथा परमाणुओं के बादल, दोनों का आकार मिलीमीटर के दसवें हिस्से से कम होता है, अतः इस संरेखण तक पहुँचना एक नाज़ुक प्रक्रिया है। इस सप्ताह के मेरे कार्य में दो अलग-अलग दर्पणों का इस्तेमाल करके इस नए लेजर तंत्र का संरेखण करना शामिल था। इनमें से एक दर्पण का काम था लेजर किरण को सही स्थान पर निर्देशित करना, और दूसरे का काम था इस निर्देशित किरण को संरेखित करना।

लेजर किरण क्या होती है?
लेजर किरण प्रकाश की अत्यधिक केन्द्रित और संधानिक (बिलकुल समानान्तर और सरेखित) किरण होती है। यह अपनी आकृति बदले बिना बहुत लम्बी दूरी तक जा सकती है।

इलैक्ट्रॉनिक तंत्रों के साथ काम करना तो किसी प्रयोग करने वाले भौतिकशास्त्री के लिए लगभग ज़रूरी होता है। उदाहरण के लिए, हमारे प्रयोगों में ख़ास आवृत्तियों पर फेंकी जाने वाली लेजर किरणों का इस्तेमाल शामिल रहता है। इन आवृत्तियों को लॉक बॉक्सों (लेजर को 'बाँधने' वाले डब्बे) का इस्तेमाल करके स्थिर किया जाता है। हालाँकि हमें अपने प्रयोग करने

बोस-आइंस्टीन संघनन (बीईसी) क्या है?

हम सबको पढ़ाया जाता है कि पदार्थ की तीन अवस्थाएँ होती हैं : ठोस, द्रव और गैस। अपने जिये गए अधिकांश अनुभव में, सिर्फ़ इन तीन अवस्थाओं को जानना पर्याप्त होता है। लेकिन, भौतिकी में, पदार्थ की कई और दशाएँ (या अवस्थाएँ) हो सकती हैं (और वाक़ई में होती हैं)। बोस-आइंस्टीन संघनन पदार्थ की एक ऐसी अवस्था है जो तब घटित होती है जब किसी ख़ास प्रकार के कण (यानी, बोसॉन) इतने ठण्डे हो जाते हैं कि वे सब संघनित होकर समान क्वाण्टम (प्रमात्रा) अवस्था में पहुँच जाते हैं। याद रखने की बात यह है कि परिवेश को देखते हुए, यह अवस्था एक ऐसा विन्यास है जो संघनित होते कणों के लिए ऊर्जा की दृष्टि से सबसे अनुकूल है।



चित्र-1 : बीईसी का नुस्ख़ा। जो बात बीईसी को एक अवस्था के रूप में ख़ासतौर से रोचक बनाती है वह यह कि, यह स्थूल क्वाण्टम अवस्था का एक बहुत अच्छा उदाहरण है। इसलिए, किसी बीईसी में हेरफेर करके दरअसल हम एक ख़ास स्थूल अवस्था में हेरफेर कर रहे होते हैं, ऐसे तरीक़ों से जो उस परिघटना की प्रकृति के लिए ख़ास हैं जिनकी पड़ताल करने में हम रुचि रखते हैं।

के लिए तो एक ही लॉक बॉक्स की ज़रूरत होती है, लेकिन फिर भी दो-एक अतिरिक्त लॉक बॉक्स रखना अच्छा रहता है। चूँकि हम अपनी प्रयोगशाला में नियमित रूप से लगभग छह से दस लेजर आवृत्तियों का उपयोग करते हैं, इसलिए आप समझ सकते हैं कि हमें बहुत से लॉक बॉक्सों की ज़रूरत क्यों होती है। इसलिए, जब हाल ही में हमने कुछ नए लॉक बॉक्स लिए, और पाया कि वे ढंग से काम नहीं कर रहे थे तो मैंने कुछ समय उनमें आ रही समस्या को समझने और उन्हें ठीक करने में लगाया।

मुझे शायद यह समझाना चाहिए कि लेजर को ताला बन्द करने (लॉक करने) से, या अगर हम सामान्य शब्दों में कहें तो, किसी संकेत को लॉक करने से, मैं दरअसल क्या समझता हूँ? कल्पना करें कि आपके पास एक लेजर किरण है, और आप उसे विद्युत शक्ति की किसी ख़ास मात्रा या आवृत्ति पर उपयोग करना चाहें - उदाहरण के लिए, हो सकता है कि मैं किसी ख़ास बिन्दु पर 500 मेगावॉट के स्थाई आउटपुट (उत्पादन) पर इस किरण का उपयोग करना चाहूँ। मेरे प्रयोग में लेजर किरण की जो वास्तविक शक्ति मैं उपयोग करता हूँ वह कई कारणों की वज़ह से परिवर्तित हो सकती है, जिनमें तापमान या आर्द्रता, यांत्रिकीय कम्पन, हवा की धाराओं आदि में बदलाव प्रमुख हैं। और ये परिवर्तन मेरी लेजर किरण की शक्ति को 10 – 20% तक बदल सकते हैं। तो इस बात को मैं कैसे सुनिश्चित करूँ कि लेजर किरण बिलकुल उसी विद्युत शक्ति/आवृत्ति पर रहे जैसी मुझे ज़रूरत है। मैं यह करता हूँ कि उस विद्युत शक्ति पर लेजर को क़ैद कर देता हूँ। ऐसा करने के लिए, मैं लेजर संकेत के नियत गन्तव्य पर उसकी शक्ति को माप लेता हूँ। चलिए इस संकेत को A कहते हैं। अब इसकी तुलना जो संकेत मुझे चाहिए, उससे करते हैं। इसे हम B कहेंगे (जो इस मामले में 500 मेगावाट के बराबर है)। लॉक बॉक्स दरअसल यह करता है कि यह लेजर नियंत्रक को एक संकेत (आइए इसे हम लॉक संकेत, या L कहें) दे देता है जो वास्तविक समय में लेजर की शक्ति को परिवर्तित कर देता है। जब हम लॉक बॉक्स को किसी ख़ास शक्ति पर किसी संकेत को क़ैद करने के लिए कहते हैं, तो वह संकेत L को बदलकर, संकेत A को संकेत B के निकटतम लाने का प्रयास करता है, और वह यह सब बहुत ही जल्दी करता है, कुछ माइक्रोसैकेण्ड के भीतर ही। इसी की बदौलत प्रयोग के दौरान लेजर शक्ति/आवृत्ति नहीं बदलती। सामान्यतया इस पद्धति का प्रयोग किसी भी संकेत को किसी ख़ास मूल्य पर अत्यन्त सटीकता के साथ क़ैद करने के लिए किया जा सकता है।

इन सभी अलग-अलग कामों के पीछे एक बड़ा लक्ष्य है, ऐसा लक्ष्य जो उस शोध परियोजना की ओर ले जाता है, जिसका मैं हिस्सा हूँ। इस परियोजना का लक्ष्य है, उन सारे उपकरणों का प्रयोग करके, जिनका मैंने अभी वर्णन किया है, परमाणुओं को लगभग -273 डिग्री सैल्सियस या लगभग 0 केल्विन जैसे अत्यन्त निम्न तापमानों तक ठण्डा करके, इन तापमानों पर उनके बर्ताव की पड़ताल करना। लेकिन इस तापमान को 0 केल्विन तक ले जाना अपने आप में ही कोई मामूली बात नहीं है, और इसमें कई सारे चरण होते हैं और उन सबका आपस में मेल होना ज़रूरी है। जिन परमाणुओं का हम इस्तेमाल करते हैं वे रूबीडियम के एक समस्थानिक (आइसोटोप) रूबीडियम 87 के हैं। रूबीडियम के इस समस्थानिक के एक खण्ड को ओवन में सेंककर उसके गैसीय रूप में परिवर्तित किया जाता है। अब जो गैस बनती है उसके परमाणु बेहद गर्म होते हैं, और इसलिए वे बहुत तेज़ी-से गति करते हैं। इन परमाणुओं को चुम्बकीय फन्दे में फाँसने और उसमें बनाए रखने के लिए, इन्हें ठण्डा किया जाना बहुत ज़रूरी है, और इन्हें ठण्डा करने का एक ही तरीक़ा है कि जितना सम्भव हो, इनकी गति को धीमा कर दिया जाए। हम कई चरणों में ऐसा करते हैं। पहला चरण है इनके सफ़र करने की दिशा के उलटी दिशा में एक लेजर किरण को प्रसारित करना। इन परमाणुओं तथा लेजर को बनाने वाले फोटॉनों के बीच होने वाले टकराव परमाणुओं का वेग इतना कम कर देते हैं कि उन्हें चुम्बकीय फन्दे में फँसाया जा सकता है। ये काफ़ी कुछ वैसा ही है जैसे कोई बहती हवा या पानी की धारा के विपरीत तेज़ी-से दौड़ने की कोशिश करे तो घर्षण का बल उसकी गति को धीमा कर देगा। एक बार परमाणु चुम्बकीय फन्दे में फँस जाएँ तो हम एक चुम्बकीय क्षेत्र और लेजर किरणों के संयोजन का इस्तेमाल करके उनकी गति को क़रीब 400 मिली केल्विन तक धीमा कर सकते हैं। इस चरण का सिद्धान्त वही है जो पहले चरण का है, अन्तर सिर्फ़ यही है कि इससे परमाणुओं का तापमान कई डिग्री और कम हो जाता है। इस चरण के पूरा हो जाने के बाद, परमाणुओं को एक प्रकाशीय (ऑप्टिकल) फन्दे में स्थानान्तरित कर दिया जाता है, जहाँ वे लेजर किरणों के एक जोड़े के द्वारा बँधे रहते हैं। इस प्रक्रिया के अन्तिम चरण में प्रकाशीय फन्दे में फँसे परमाणुओं का वाष्पीकरण करवाया जाता है। इससे ज़्यादा ऊर्जा वाले परमाणु फन्दे से बाहर निकल जाते हैं। बारीक़ी से हर चीज़ का समायोजन बैठाने के बाद आख़िरकार बोस-आइंस्टीन संघनन, यानी बीईसी, प्राप्त किया जा सकता है। बीईसी पदार्थ की नई अवस्था होती है, जहाँ परमाणुओं के पूरे समूह एक अस्तित्व की तरह बर्ताव करते हैं। इसका मतलब कि इस चरण में, संघनित पदार्थ बनाने वाले लगभग 100000 अलग-अलग परमाणुओं में भेद करने का कोई तरीक़ा नहीं है। वे सभी एक समान प्रतीत होते हैं। ऐसा इसलिए होता है क्योंकि एक तरह से वे सभी एक ही स्थान में बसे हुए होते हैं। और चूँकि वे सभी रूबीडियम समस्थानिक के परमाणु हैं, तो एक ही स्थान में होने के कारण उनके बीच फ़र्क़ कर पाना असम्भव हो जाता है।

वर्तमान में हम अपनी प्रयोगशाला में इस भौतिक तथ्य की पड़ताल कर रहे हैं, कि इन बीईसी का ढेर अलग-अलग परिदृश्यों में कैसा बर्ताव करेगा। इसे सरल ढंग से समझाने के लिए कल्पना करें कि बीईसी एक विशाल तरबूज़ है, जिसे हम कई-कई लम्बवत हिस्सों में बाँट देते हैं। इसके बाद हम पड़ताल करते हैं कि इन हिस्सों को अलग करने पर, उन्हें थोड़ा विकृत करने पर, और फिर वापस मूल स्थिति में लाने पर क्या होता है। क्या वे अभी भी, मिलकर, तरबूज़ बना देते हैं? या फिर वे कुछ और बनाते हैं?

पर बात यहीं ख़त्म नहीं होती। इस प्रयोग को पूरा कर लेने के बाद, हम एक और प्रयोग कर सकते हैं, और किसी बिलकुल ही भिन्न चीज़ को ले सकते हैं। समय के साथ, इन प्रयोगों के संचयी परिणाम, धीरे-धीरे प्राकृतिक दुनिया के बारे में, और इस तरह से, मानव ज्ञान की बड़ी परियोजना के बारे में हमारे ज्ञान में बढ़ोतरी करने में मदद करते हैं। यही हमारा शोध है, लेकिन इसे करने के लिए एक साथ कई भूमिकाएँ निभाना पड़ती हैं। और इसीलिए इस सवाल का कोई सीधा-सरल जवाब नहीं है कि 'आप क्या करते हैं?' इसका जवाब अक्सर यही होता है - बहुत सारी चीज़ें!

Note: Credits for the image used in the background of the article title: Laser play, Jeff Keyzer from San Francisco, CA, USA, Wikimedia Commons. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Laser_play.jpg. License: CC-BY.

आफ़ताब दीवान वर्तमान में मैरीलैण्ड विश्वविद्यालय में पीएचडी कर रहे हैं। उनसे aftaab.dewan@gmail.com पर सम्पर्क किया जा सकता है।
अनुवाद : भरत त्रिपाठी