हिग्स-बोसॉन क्या है और इसकी खोज से इतनी खलबली क्यों है?

सुभाष कुमार

हिग्स-बोसॉन क्या है? विज्ञान की दुनिया इसकी खोज के प्रति इतनी उत्साहित क्यों है? इसके गुणधर्म क्या हैं? सैद्धान्तिक भौतिकी पर इस खोज का क्या प्रभाव पड़ा है?

4 जुलाई, 2012 को यूरोपियन नाभिकीय अनुसन्धान संगठन (CERN) के वैज्ञानिकों ने एक महत्त्वपूर्ण घोषणा की – उन्होंने एक ऐसा कण खोज लिया है जिसके गुणधर्म छकाने वाले हिग्स-बोसॉन के अनुमानित गुणधर्मों के समान हैं। इस कण पर उनके काम के लिए 8 अक्टूबर, 2013 को पीटर हिग्स और फ्रेंकोइस एंगलर्ट को भौतिकी में नोबेल पुरस्कार दिया गया (देखें **चित्र-1**)। यह दो घटनाएँ पीढ़ियों से चली आ रही लम्बी खोज के समापन का जश्न थीं, जिसमें प्रयोगों की शृंखला और दुनिया के सबसे बड़े और सबसे शक्तिशाली कण त्वरक (एक्सीलरेटर) - लार्ज हैड्रॉन कोलाइडर (LHC) का निर्माण शामिल है।

हिग्स-बोसॉन की कल्पना

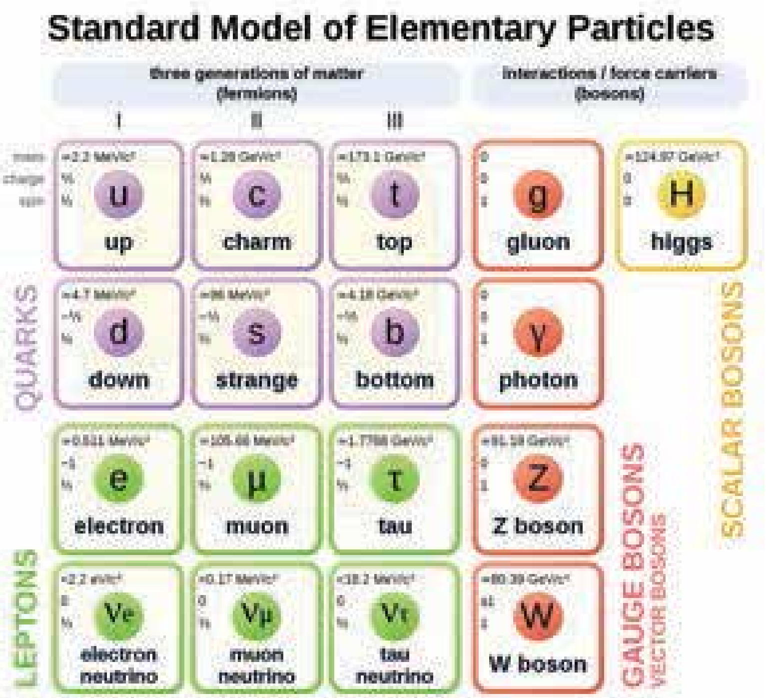
हिग्स-बोसॉन की खोज भौतिकी के एक मूलभूत प्रश्न के उत्तर की तलाश का एक हिस्सा थी; सवाल था – पदार्थ क्या है? विज्ञान की पाठ्यपुस्तकें इसे, सीधे-सादे ढंग से द्रव्यमान और आयतन युक्त वस्तु के रूप में परिभाषित करती हैं। उदाहरण के लिए,

चित्र-1 : हिग्स-बोसॉन पर उनके काम के लिए दो वैज्ञानिकों को भौतिकी में नोबेल पुरस्कार (2013) से सम्मानित किया गया (क) पीटर हिग्स **(ख)** फ्रेंकोइस एंगलर्ट।

Credits: Bengt Nyman, Wikimedia Commons. URL for (a): https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nobel_Prize_24_2013.jpg, and (b): https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nobel_Prize_31_2013.jpg. License: CC-BY.

वस्तुओं में द्रव्यमान होता है, इसे आप किसी वस्तु पर बल लगाने की कोशिश करने पर एक प्रतिरोध के रूप में महसूस करते हैं। लेकिन पदार्थ किससे बना होता है, और वह कहाँ से आता है? यह कुछ ऐसे सवाल हैं जिनसे वैज्ञानिक सदियों से जूझ रहे हैं।

1970 के दशक तक, भौतिकविदों ने गणितीय समीकरणों को, एक परिष्कृत सैद्धान्तिक मॉडल – **तथाकथित स्टैण्डर्ड मॉडल** – में पिरोना शुरू कर दिया था (देखें **चित्र-2**) ताकि पदार्थ की मूलभूत इकाइयों (देखें **बॉक्स-1**) और उनकी अन्तर्क्रियाओं को प्रभावित करने वाले चार मौलिक बलों में से तीन (देखें **बॉक्स-2**) की व्याख्या की जा सके।[1] गुरुत्वाकर्षण फ़िलहाल इस स्टैण्डर्ड मॉडल का हिस्सा नहीं है। वास्तव में, अन्य तीन मौलिक बलों के साथ गुरुत्वाकर्षण का एकीकरण भौतिकी में एक लम्बित और खुली समस्या है (देखें **बॉक्स-3**)।



चित्र-2 : स्टैण्डर्ड मॉडल बुनियादी कणों को क्रमबद्ध और वर्गीकृत करने के लिए एक रूपरेखा प्रदान करता है।

Credits: MissMJ, PBS NOVA, Fermilab, Office of Science, United States Department of Energy, Particle Data Group, Wikimedia Commons. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Standard_Model_of_Elementary_Particles.svg. License: CC-BY.

आज, स्टैण्डर्ड मॉडल को काफ़ी हद तक स्वसंगत पाया गया है, और इसके कई प्रायोगिक पूर्वानुमानों को सत्यापित किया जा चुका है। हालाँकि, इसके विकास के शुरुआती दौर में, भौतिकविदों को इसमें एक समस्या दिखी – जब मॉडल को नाभिकीय अन्तर्क्रिया पर लागू किया जाता और यदि इसके सभी मूलभूत कणों में निहित द्रव्यमान था, तो इस मॉडल के समीकरण असंगत पाए जाते (देखें **बॉक्स-4**)। इस 'विरोधाभास' को दो में से किसी एक तरीक़े से हटाया जा सकता है। यदि हम मानें कि सभी बुनियादी कणों (फोटॉन सहित) में निहित द्रव्यमान होता है, तो स्टैण्डर्ड मॉडल वैध नहीं होगा (गणितीय शब्दों में, इसके कुछ मुख्य पूर्वानुमान अनन्त विचलन दर्शाएँगे)। दूसरी ओर, यदि स्टैण्डर्ड मॉडल सही है, तो इसका मतलब होगा कि

बॉक्स-1 : बुनियादी कण पदार्थ के 'अविभाज्य' बिल्डिंग ब्लॉक्स हैं

शुरुआत में परमाणुओं को अविभाज्य माना जाता था, लेकिन अब हम जानते हैं कि परमाणु इलेक्ट्रॉन्स, न्यूट्रॉन्स और प्रोटॉन्स से मिलकर बना होता है। 1940 के दशक के अन्त तक, इस तरह के कई अन्य कणों की खोज हो चुकी थी। 1964 में, भौतिकविदों म्यूरे गेल-मान और जॉर्ज ज़्वेग ने स्वतंत्र रूप से सुझाव दिया कि उप-परमाण्विक कण, जिन्हें हैड्रॉन कहते हैं, 'बुनियादी' कण नहीं हैं। इसकी बजाय, वे अकसर अन्य छोटे उप-परमाण्विक कणों (क्वार्क) के संयोजन से बने होते हैं।

चूँकि सभी पदार्थों में परमाणु होते हैं, अत: समस्त भौतिक ब्रह्माण्ड के निर्माण के लिए तीन उप-परमाण्विक कण ही पर्याप्त होंगे – इलेक्ट्रॉनों के साथ अप और डाउन क्वार्क (क्वार्क के छह फ़्लेवर में से दो, जो मिलकर प्रोटॉन और न्यूट्रॉन बनाते हैं)। लेकिन, इस समय तक भौतिकविदों को 12 उप-परमाण्विक कणों के बारे में पता चल चुका था और इस बात का कोई अन्दाज़ा नहीं था कि इस तरह के और कितने कणों की खोज होना बाक़ी है। तो यह सवाल स्वाभाविक था – ये अन्य कण क्या करते हैं?

आप स्टैण्डर्ड मॉडल को इन बुनियादी कणों की आवर्त सारणी के रूप में समझ सकते हैं। यह उनके घूर्णन [(spin) एक निहित कोणीय संवेग जो माना जाता है कि सभी बुनियादी कणों में होता है] के आधार पर उन्हें क्रमबद्ध करने और वर्गीकृत करने के लिए एक ढाँचा प्रदान करता है। किसी भी बुनियादी कण का घूर्णन एक विमा-रहित संख्या होती है, जिसकी गणना इसके कोणीय संवेग और संशोधित प्लैंक स्थिरांक (h/2) के अनुपात के रूप में की जाती है।

स्टैण्डर्ड मॉडल के वर्तमान संस्करण के अनुसार, सभी बुनियादी कण दो प्रकार के होते हैं – फ़र्मियान (अर्ध-पूर्णांक घूर्णन के साथ) और बोसॉन (शून्य या पूर्णांक घूर्णन के साथ)। फ़र्मियान को 'पदार्थ कणों' जबकि बोसॉन को 'बल कणों' के रूप में माना जाता है। दूसरे शब्दों में, सभी पदार्थ फ़र्मियान से बने होते हैं जबकि बोसॉन पदार्थ-कणों के बीच बल को संचारित करते हैं। माना जाता है फ़र्मियान 12 प्रकार के होते हैं- छह लेप्टान (जो प्रबल नाभिकीय अन्तर्क्रिया में भाग नहीं लेते हैं) और छह क्वार्क (जो नाभिकीय अन्तर्क्रिया में भाग लेते हैं)। इसके अलावा, प्रत्येक फ़र्मियान में समान द्रव्यमान (लेकिन बराबर और विपरीत आवेश) वाला एक प्रति-कण होता है। दूसरी ओर, बोसॉन पाँच प्रकार के माने जाते हैं – एक बोसॉन (फोटॉन) विद्युत चुम्बकीय फ़र्मियान अन्तर्क्रिया को संचारित करता है। तीन बोसॉन (W-प्लस, W-माइनस और Z-नॉट के नाम से जाने जाते हैं), दुर्बल अन्तर्क्रिया को संचारित करते है। और आठ बोसॉन (जिन्हें ग्लूआन कहते हैं) प्रबल नाभिकीय अन्तर्क्रिया संचारित करते हैं।

आवर्त सारणी की तरह ही, स्टैण्डर्ड मॉडल भी कुछ बुनियादी कणों (जिन्हें अभी तक खोजा नहीं गया है) की भविष्यवाणी की अनुमति देता है। उदाहरण के लिए, यह एक बोसॉन (ग्रेविटॉन) के अस्तित्व की भविष्यवाणी करता है , जिसके बारे में माना जाता है कि वह गुरुत्वाकर्षण सम्बन्धी अन्तर्क्रिया का मध्यस्थ है।

बॉक्स-2 : मूलभूत बल बुनियादी कणों के बीच अन्तर्क्रियाओं को शक्ल देते हैं

सभी पदार्थ, चाहे वह उप-नाभिकीय स्तर के हों या खगोलीय पैमाने के, क्वार्क और लेप्टान जैसे बिल्डिंग ब्लॉक्स की अन्तर्क्रिया से उत्पन्न होते हैं। ये अन्तर्क्रियाएँ चार मौलिक बलों द्वारा संचारित की जाती हैं :

- **प्रबल नाभिकीय बल :** यह केवल क्वार्क पर कार्य करता है, यह उन्हें आपस में बाँधकर प्रोटॉन और न्यूट्रॉन बनाता है। यह परमाणु नाभिक के भीतर प्रोटॉन और न्यूट्रॉन को भी बाँधता है।
- **विद्युत चुम्बकीय बल :** यह सभी बलों में सबसे अच्छी तरह से समझा गया है। यह परमाणुओं के भीतर ऋण आवेशित इलेक्ट्रॉनों को धन आवेशित नाभिक से बाँधता है। यह स्थूल पदार्थ बनाने के लिए परमाणुओं के बीच बन्धन का भी मध्यस्थ है।
- **दुर्बल बल :** यह क्वार्क और लेप्टान पर कार्य करता है। यह बीटा क्षय के द्वारा प्रोटॉन को न्यूट्रॉन में बदलने के अलावा कई नाभिकीय क्रियाओं के लिए ज़िम्मेदार है जो सूर्य और अन्य सितारों को ऊर्जा देती हैं।
- **गुरुत्वाकर्षण :** पदार्थ के बड़े स्वरूप का सबसे प्रमुख बल है। यह सितारों और आकाशगंगाओं के रूप में पदार्थ के एकत्रीकरण को नियंत्रित करता है, और इस बल ने ब्रह्माण्ड की उत्पत्ति से चले आ रहे इसके विकास को प्रभावित किया है।

विद्युत-चुम्बकीय बल और गुरुत्वाकर्षण, स्थूल स्तर पर अपने प्रभावों के लिए अच्छी तरह से पहचाने जाते हैं, जबकि प्रबल और दुर्बल बल केवल उप-नाभिकीय पैमानों पर काम करते हैं।

बॉक्स-3 : गुरुत्वाकर्षण को सापेक्षता के सामान्य सिद्धान्त द्वारा समझाया गया है

सर्वप्रथम 1915 में अल्बर्ट आइंस्टाइन द्वारा प्रकाशित सापेक्षता के इस सिद्धान्त में गुरुत्वाकर्षण का वर्णन स्पेस-टाइम की वक्रता के रूप में किया गया है जो सीधे उसके भीतर मौजूद पदार्थ और ऊर्जा के वितरण से निर्धारित होता है। कई अलग-अलग प्रेक्षणों ने इस सिद्धान्त को उल्लेखनीय रूप से सटीक दर्शाया है। उदाहरण के लिए, सितम्बर 2015 में, गुरुत्वाकर्षण तरंगों को पहली बार सीधे देखा गया था – सामान्य सापेक्षता के सिद्धान्त द्वारा इनके अस्तित्व की भविष्यवाणी के ठीक 100 साल बाद। इसी तरह, 2019 में धरती पर लगे आठ रेडियो टेलीस्कोपों के एक ग्रहीय पैमाने के ताने-बाने द्वारा ब्लैक होल की एक तस्वीर खींची गई। यह खोज इस सिद्धान्त के इस पूर्वानुमान का समर्थन करती है कि ब्लैक होल भारी सितारों की अन्तिम-अवस्था है।

दुर्बल अन्तर्क्रियाओं में मध्यस्थता करने वाले बोसॉन सहित सभी बुनियादी कण, निहित रूप से द्रव्यमान-विहीन होंगे। इस स्थिति में मॉडल को इनके 'प्रेक्षित' द्रव्यमानों को समझाने के लिए कोई व्यवस्था तैयार करनी होगी (देखें **बॉक्स-5**)।

1960 के दशक की शुरुआत में, योइचिरो नाम्बु और फ़िलिप एण्डरसन जैसे भौतिकविदों ने सुझाव दिया था कि कतिपय परिस्थितियों में 'कुछ' बुनियादी कण द्रव्यमान 'हासिल' कर सकते हैं। अलबत्ता शोधकर्त्ताओं के तीन स्वतंत्र समूहों (रॉबर्ट ब्राउट और फ्रेंकोइस एंगलर्ट; पीटर हिग्स; और गेराल्ड गुरलनिक, कार्ल हेगन और टॉम किबल) के काम की वजह से नव-विकसित स्टैण्डर्ड मॉडल बचा रहा। 1964 में (लगभग एक साथ) प्रकाशित शोधपत्रों में, इन समूहों ने प्रस्तावित किया कि मूलभूत कणों का निर्माण द्रव्यमान-विहीन होता है। अलबत्ता, यदि वह **हिग्स क्षेत्र** नामक एक परिकल्पित, सर्वव्यापी 'क्षेत्र' के साथ अन्तर्क्रिया करें, तो यह कण अपना 'प्रेक्षित' द्रव्यमान प्राप्त कर सकते हैं, जिसके बारे में माना जाता था कि वह पूरे ब्रह्माण्ड में फैला है (देखें **बॉक्स-6**)। इन शोधकर्त्ताओं ने **हिग्स क्रियाविधि** (पीटर हिग्स के नाम पर) नामक एक क्रियाविधि का भी सुझाव दिया, जो मूलभूत कणों को उनका प्रेक्षित द्रव्यमान दे सकती है (देखें **बॉक्स-7**)।

तरंग-कण द्वैत की अवधारणा के अनुसार (देखें **बॉक्स-8**), सभी क्षेत्रों में उनके साथ जुड़ा एक मूलभूत कण होना चाहिए। इस प्रकार, स्टैण्डर्ड मॉडल द्वारा पेश की गई योजना, एक विशेष बोसॉन – हिग्स-बोसॉन, के अस्तित्व को आवश्यक बना देती है (देखें **बॉक्स-9**)। दूसरे शब्दों में, हिग्स-बोसॉन को हिग्स क्षेत्र के क्वाण्टम उत्तेजन के द्योतक के रूप में समझा जा सकता है। इसलिए, इस

बॉक्स-4 : जब हम कहते हैं कि एक बुनियादी कण जितनी छोटी किसी चीज़ में द्रव्यमान होता है, तो इसका मतलब क्या है?

किसी मूलभूत कण के आन्तरिक द्रव्यमान को इसके **विराम द्रव्यमान** के रूप में जाना जाता है। शून्य विराम द्रव्यमान वाले कणों को द्रव्यमान-विहीन कहा जाता है। किसी मिश्र कण (जैसे प्रोटॉन जो क्वार्क से बना होता है) के द्रव्यमान की गणना उसके प्रत्येक संघटक के विराम द्रव्यमान, गति की गतिज ऊर्जा, और उनकी अन्तर्क्रिया की स्थितिज ऊर्जा का उपयोग करके की जा सकती है। अलबत्ता, वास्तव में इलेक्ट्रॉन जैसा कोई बुनियादी कण, अपना विराम द्रव्यमान कैसे प्राप्त करता है यह द्रव्यमान की उत्पत्ति का मुख्य सवाल है।[2] यह वह द्रव्यमान है जो बुनियादी कणों की सर्वव्याप्त हिग्स क्षेत्र के साथ अन्तर्क्रिया के लिए उत्तरदायी है।

बॉक्स 5 : सभी बुनियादी कणों का 'प्रेक्षण' इस अर्थ में नहीं किया जाता है, कि उनमें आन्तरिक द्रव्यमान होता है

सभी फ़र्मियान (द्रव्यमान कण) और दुर्बल अन्तर्क्रियाओं में मध्यस्थता करने वाले बोसॉन, ऐसे व्यवहार करते हैं मानो उनमें आन्तरिक द्रव्यमान हो। दूसरी ओर, जैसे फोटॉन, ग्लूआन और (अभी भी परिकल्पित) ग्रेविटॉन जैसे अन्य बोसॉन ऐसे व्यवहार करते हैं मानो वे द्रव्यमान रहित हों।

बॉक्स-6 : हिग्स क्षेत्र क्या है?

हिग्स क्षेत्र एक सर्वव्यापी क्षेत्र है, जो पूरे ब्रह्माण्ड में मौजूद है। भौतिकी में, एक 'क्षेत्र' को स्पेसटाइम में एक इलाके के रूप में परिभाषित किया गया है जिसका प्रत्येक बिन्दु एक निश्चित प्रकार की अन्तर्क्रिया से प्रभावित होता है। इस प्रकार, हिग्स क्षेत्र का प्रत्येक कण इसके साथ होने वाली अन्तर्क्रिया से प्रभावित होता है।

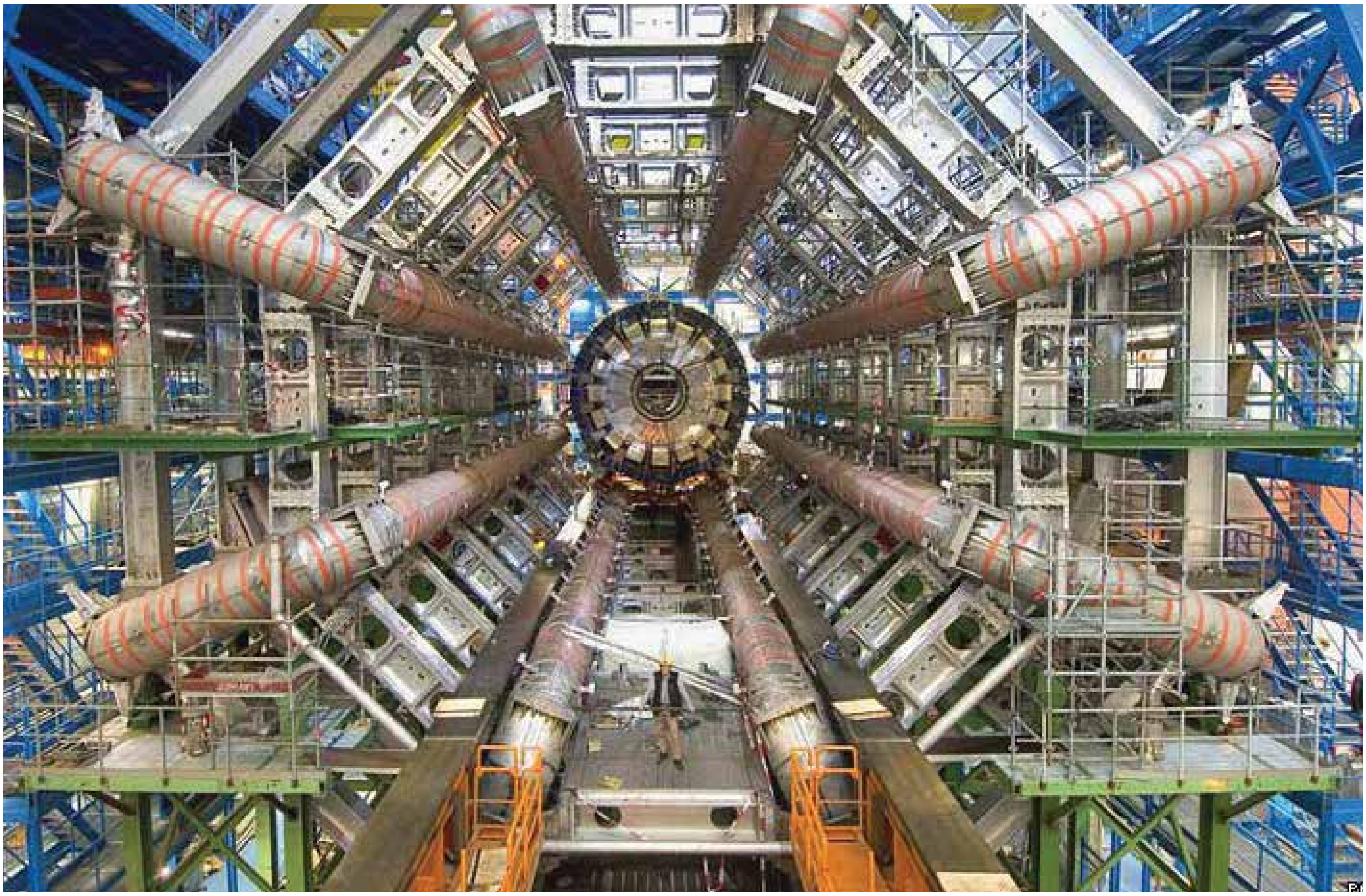
इस क्षेत्र के साथ अन्तर्क्रिया करने वाले कण द्रव्यमान प्राप्त करते हैं; जो अन्तर्क्रिया नहीं करते, वे द्रव्यमान-विहीन रहते हैं। अन्तर्क्रिया जितनी प्रबल होगी, कण द्वारा प्राप्त द्रव्यमान उतना ही अधिक होगा। अलबत्ता, ऐसा लगता है कि इस अन्तर्क्रिया की शक्ति बुनियादी कण के आकार या आकृति पर निर्भर नहीं करती है। उदाहरण के लिए, टॉप क्वार्क हिग्स क्षेत्र के साथ बहुत प्रबलता से अन्तर्क्रिया करता है, इसलिए वह भारी आन्तरिक द्रव्यमान प्राप्त करता है।

क्षेत्र के अस्तित्व को केवल हिग्स-बोसॉन का पता लगाकर सिद्ध किया जा सकता है।

हिग्स-बोसॉन की खोज

2008 में CERN फ्रांस में लार्ज हैड्रॉन कोलाइडर (LHC) का निर्माण किया गया था। इसका एक महत्त्वपूर्ण लक्ष्य यह पता लगाना था कि क्या हिग्स-बोसॉन का अस्तित्व है, और यदि है तो उसकी पहचान करना। LHC में, हैड्रोन (जैसे प्रोटॉन) के दो पुंजों को लगभग प्रकाश की गति से चलाते हुए एक-दूसरे से टकराने के लिए मज़बूर किया जाता है, जिससे भारी मात्रा में ऊर्जा निकलती है। इस ऊर्जा का उपयोग फ़ौरन तमाम क़िस्म के मौलिक कणों के निर्माण में किया जाता है, जिनकी प्रकृति प्रत्येक टक्कर में भिन्न-भिन्न हो सकती है (देखें **चित्र-3**)।

चूँकि हिग्स-बोसॉन काफ़ी भारी होता है (प्रोटॉन की तुलना में ~ 130 गुना भारी), केवल LHC जैसे नवीनतम पीढ़ी के कोलाइडर में इसे पैदा करने के लिए पर्याप्त ऊर्जा होगी। वैज्ञानिकों को उम्मीद थी कि टकराने वाले प्रोटॉन की गति जितनी अधिक होगी, टकराव पर निकलने वाली ऊर्जा की मात्रा उतनी ही अधिक होगी और तब इसकी सम्भावना अधिक होगी कि हिग्स-बोसॉन बाहर फेंका जाए। हालाँकि, वे जानते थे कि अगर हिग्स-बोसॉन पैदा हो भी जाता है, तो भी इसका पता लगाना बहुत मुश्किल होगा। अव्वल तो, दो हैड्रॉनों के टकराने से एक हिग्स-बोसॉन के उत्पन्न होने की सम्भावना बेहद कम है – प्रत्येक दस ख़रब घटनाओं में से लगभग 1। इसका मतलब यह है कि ठीक-ठाक विश्वसनीयता से हिग्स-बोसॉन पैदा होने के लिए बहुत बड़ी संख्या में टक्करों की आवश्यकता होगी। दूसरे, इसकी उच्च



चित्र-3 : CERN में लार्ज हैड्रोन कोलाइडर।

Credits: CERN. URL: https://www.flickr.com/photos/11304375@N07/2046228644. License: CC-BY.

बॉक्स-7 : 'हिग्स' क्रियाविधि (मेकेनिज़्म) को कई नामों से जाना जाता है

शोधकर्त्ताओं के तीन समूहों ने एण्डरसन के पिछले काम के आधार पर हिग्स क्षेत्र और हिग्स क्रियाविधि के अस्तित्व का सुझाव दिया था, लेकिन उन्होंने इस तक पहुँचने के लिए तीन अलग-अलग तरीक़ों का इस्तेमाल किया था। हालाँकि ब्राउट और एंगलर्ट ने अपना पर्चा पहले प्रकाशित किया था, लेकिन पीटर हिग्स के मॉडल ने सबसे सरल और सबसे सीधा तर्क पेश किया। इस प्रकार, हिग्स क्रियाविधि को ब्राउट-एंगलर्ट-हिग्स क्रियाविधि या एंगलर्ट-ब्राउट-हिग्स-गुरलनिक-हेगन-किबल क्रियाविधि भी कहा जाता है। हालाँकि, पीटर हिग्स, ABEGHHK'tH क्रियाविधि कहते हैं जो इसमें योगदान देने वाले भौतिकविदों एण्डरसन, ब्राउट, एंगलर्ट, गुरलनिक, हेगन, हिग्स, किबल, और 'टी हूफ़्ट – जिन्होंने इसमें योगदान दिया है, के काम को मान्यता देता है। गेरार्डस के टी हूफ़्ट एक डच सैद्धान्तिक भौतिक वैज्ञानिक थे जिन्हें दुर्बल विद्युतीय (इलेक्ट्रोवीक) अन्तर्क्रिया की हमारी समझ में योगदान के लिए 1999 में भौतिकी में नोबेल पुरस्कार से सम्मानित किया गया था।

चित्र-4 : **संयुक्त राज्य अमेरिका के 1700 इंजीनियरों, तकनीशियनों और स्नातक विद्यार्थियों ने LHC एक्सीलरेटर और कण संसूचकों को डिजाइन करने, बनाने और संचालित करने में मदद की और कण की टक्करों से प्राप्त डेटा का विश्लेषण किया। इनमें से फ़र्मिलेब के 200 से अधिक शोधकर्त्ता और कर्मचारी 4 जुलाई, 2012 की सुबह 2 बजे (EDT) एक सभागार में इस घोषणा की प्रतीक्षा करने के लिए जमा हुए थे कि हिग्स-बोसॉन जैसे कण का पता चला** है।

Credits: US Department of Energy. URL: http://www.publicdomainfiles.com/show_file.php?id=14018719214160. License: Public Domain.

ऊर्जा को देखते हुए, हिग्स-बोसॉन बेहद अस्थिर प्रकृति का होने का पूर्वानुमान था। यदि यह पैदा हुआ भी, तो इसका लगभग तुरन्त अन्य प्रकार के बुनियादी कणों में क्षय हो जाएगा – जैसे फोटॉन (विद्युत चुम्बकीय बल), W-बोसॉन (दुर्बल बल), और लेप्टान (प्रबल बल)। इसका मतलब है कि हम केवल इसके क्षय उत्पादों के मापन के माध्यम से अप्रत्यक्ष रूप से हिग्स-बोसॉन की उपस्थिति को जान पाएँगे। तीसरा, क्षय उत्पादों से हिग्स-बोसॉन की उपस्थिति का पता लगाना भी एक चुनौती होगा, जब तक कि यह एक विशिष्ट क्षय पैटर्न न दिखाए। यदि हिग्स-बोसॉन के क्षय उत्पाद अन्य ज्ञात अस्थिर कणों के क्षय से उत्पन्न उत्पादों के समान होगें, तो इन उत्पादों के वास्तविक स्रोत का पता लगाना बहुत मुश्किल होगा (देखें **बॉक्स-10**)।

2012 में, CERN के LHC में हिग्स-बोसॉन की तलाश कर रही ATLAS और CMS – दो टीमों ने इसके साथ 'सुसंगत' एक कण की खोज की घोषणा की, जिसमें त्रुटि की गुंजाइश दस लाख में 1 से कम थी (देखें **चित्र-3**)।[4,5] अगले कई महीनों तक, वैज्ञानिकों ने इस कण और इसकी विशेषताओं की जाँच जारी रखी। उनके अवलोकनों से पता चला है कि यह कण कई तरीक़ों से व्यवहार, अन्तर्क्रिया करता है और क्षय होता है, जिनका स्टैण्डर्ड मॉडल के अनुसार, हिग्स कणों के लिए पूर्वानुमान लगाया गया था।

समापन

हिग्स-बोसॉन का पता लगाने के साथ, हमने स्टैण्डर्ड मॉडल द्वारा पूर्वानुमानित सभी मूलभूत कणों को ढूँढ़ लिया है। हालाँकि यह मॉडल कण भौतिकी के सैद्धान्तिक ढाँचे के पक्ष को मज़बूत करता है, लेकिन इसका

बॉक्स-8 : तरंग-कण द्वैत क्वाण्टम यांत्रिकी की एक मौलिक अवधारणा है

मैक्स प्लैंक, लुई डी ब्रोगली, अल्बर्ट आइंस्टाइन, आर्थर कॉम्पटन, नील्स बोहर और कई अन्य लोगों ने दिखाया है कि सभी पदार्थ (या प्रत्येक कण) तरंग प्रकृति प्रदर्शित करते हैं, और सभी तरंगें कण प्रकृति भी दर्शाती हैं। उदाहरण के लिए, कैथोड रे ट्यूब में एक इलेक्ट्रॉन की गति को इसकी कण-प्रकृति के आधार पर सबसे अच्छा समझाया जा सकता है। इसके विपरीत, एक परमाणु के अन्दर इसकी गति को इसकी तरंग-प्रकृति के रूप में सबसे अच्छी तरह से वर्णित किया जा सकता है। इस प्रकार, किसी इलेक्ट्रॉन (या किसी भी क्वाण्टम-पैमाने की वस्तु) के व्यवहार का पूरा विवरण दोनों क्लासिकल अवधारणाओं ('कण' और 'तरंग') को एक साथ उपयोग करने से ही सम्भव है।

बॉक्स-9 : हिग्स-बोसॉन को गॉड पार्टिकल क्यों कहा जाता है?

मुख्यधारा के मीडिया में, हिग्स-बोसॉन को अकसर 'गॉड पार्टिकल' कहा जाता है। यह रुतबा 1993 में 'द गॉड पार्टिकल : इफ द यूनिवर्स इज़ द आन्सर, व्हाट इज द क्वेश्चन?'[3] नामक पुस्तक से आया है। इस कण का पता लगाने की निरन्तर कठिनाइयों से निराश, इसके लेखक लियोन लेडरमैन (नोबेल पुरस्कार विजेता और फर्मी लैब के पूर्व निदेशक) ने हिग्स-बोसॉन को 'द गॉड्डैम पार्टिकल' कहा। पुस्तक के प्रकाशकों ने यह सुझाव दिया कि इसकी जगह 'गॉड पार्टिकल' का उपयोग करना चाहिए, जिससे इस कण की अलभ्यता के साथ-साथ पदार्थ की संरचना की हमारी समझ में इसके महत्त्व को बल मिलेगा। और यह नाम अटक गया। हिग्स सहित कई भौतिकविदों ने इसे सनसनीख़ेज बताते हुए ख़ारिज किया है, इसके बावजूद यह बेहद लोकप्रिय है। ज़ाहिर है, यह नाम, विशुद्ध कल्पना है – इसके गणितीय समीकरणों में या किसी भी धार्मिक ग्रन्थ/परम्पराओं में ऐसा कुछ नहीं है जो हिग्स कण या हिग्स क्षेत्र को धर्म या देवत्व की किसी भी धारणा से जोड़ता हो।

बॉक्स-10 : एक नवीन कण का, उसके क्षय उत्पादों द्वारा पता लगाना संकेतों को पृष्ठभूमि से अलग करके देखने का सवाल है

इस मामले में संकेत, हिग्स-बोसॉन के सम्भावित क्षय हस्ताक्षर (decay signatures) होंगे – प्रत्येक में कणों का एक अभिलाक्षणिक समूह होगा जिनका उपयोग निर्णायक रूप से इसकी उपस्थिति की पहचान करने के लिए किया जा सके। पृष्ठभूमि में हर वह साधारण घटना शामिल होगी जो इस तरह के हस्ताक्षर की नकल कर सकती है। उदाहरण के लिए, पूर्वानुमान है कि LHC में बने किसी हिग्स-बोसॉन का क्षय 60 प्रतिशत बार बॉटम क्वार्कों की एक जोड़ी में होगा। चूँकि क्वार्कों की जोड़ी कई अन्य घटनाओं का परिणाम हो सकती है, इसलिए हिग्स-बोसॉन के इस क्षय हस्ताक्षर के लिए पृष्ठभूमि बहुत विशाल होगी – संकेत से लगभग 10,000 गुना विशाल।

संकेत और पृष्ठभूमि के बीच अन्तर करने का एक और तरीक़ा होगा कि हर टक्कर के दौरान निकली ऊर्जा की मात्रा की गणना की जाए। उच्च ऊर्जा पर, हिग्स-बोसॉन के बनने की सम्भावना नाटकीय रूप से बढ़ जाती है, और हिग्स संकेत तथा पृष्ठभूमि (पहले से ज्ञात कणों के कारण) के अनुपात में सुधार होता है। यह देखते हुए कि एक हिग्स-बोसॉन के बनने की सम्भावना अपने आप में बहुत कम है, इसका अस्तित्व केवल बहुत बड़ी संख्या में टक्करों का डेटा प्राप्त करके ही पता लगाया जा सकता है। इस तरह के बड़े डेटा सेट प्राप्त करने के लिए, LHC में प्रति सेकंड 4 करोड़ बार टक्करें करवाई जाती हैं – पूरे दिन, वर्ष के हर दिन! इस k कण के सूचक संकेतों की सम्भावना में सुधार करने के लिए, LHC को बेहतर संसूचकों के साथ अपग्रेड किया गया है, और इससे प्राप्त क्षय संकेतों की विशाल संख्या का विश्लेषण दुनिया भर के कम्प्यूटर संसाधनों द्वारा किया जाता है।

स्वयं इस विषय पर बहुत-थोड़ा प्रभाव ही पड़ा है। ऐसा इसलिए है क्योंकि हिग्स क्षेत्र, इसकी पहचान से कई सालों पहले से, स्टैण्डर्ड मॉडल का हिस्सा रहा है।

कण भौतिकी का वर्तमान फोकस उन बुनियादी कणों के अस्तित्व का निर्धारण करने पर है जो स्टैण्डर्ड मॉडल में नहीं हैं, और ऐसे ज्ञात मूलभूत कणों के प्रभाव को मापने पर है जो कि इस मॉडल के अनुरूप नहीं आए हैं। उदाहरण के लिए, LHC और अन्य जगहों पर, व्यवस्थित प्रयोग और मापन के विश्लेषण किए जा रहे हैं ताकि यह पता लगाया जा सके कि क्या विभिन्न प्रकार के हिग्स-बोसॉन होते हैं।[6] यदि ऐसा है, तो उनकी खोज हमें उस भौतिकीय दुनिया में ले जा सकती है जो हमारी स्टैण्डर्ड मॉडल की वर्तमान समझ से परे है।

जबकि हिग्स-बोसॉन की खोज की प्रक्रिया ने टेक्नॉलॉजी में महत्त्वपूर्ण प्रगति को आगे बढ़ाया है (देखें **बॉक्स-11**), लेकिन इसकी खोज से कोई प्रत्यक्ष टेक्नोलॉजिकल लाभ हुआ हो, ऐसा नहीं लगता। यह देखते हुए कि सभी मौलिक खोजें, खोज-बीन के उपरान्त व्यावहारिक अनुप्रयोगों की तरफ़ ले जाती हैं, यह केवल समय की बात हो सकती है। तब, कोई आश्चर्य नहीं कि पूरी दुनिया उत्साहित है – अब हमें लगता है कि हम जानते हैं कि कैसे बुनियादी कण और उनके द्वारा बनाई गई सभी चीज़ों (हमारे सहित) में वह गुणधर्म होता है जिसे हम द्रव्यमान कहते हैं!

बॉक्स-11 : क्या आप जानते हैं?

वर्ल्ड वाइड वेब (www) CERN की संचार प्रणाली में सुधार के लिए एक परियोजना के रूप में शुरू हुई थी। इस प्रकार, LHC द्वारा उत्पादित बड़े पैमाने पर डेटा को संसाधित करने के लिए CERN की ज़रूरत ने डिस्ट्रीब्यूटेड और क्लाउड कम्प्यूटिंग के क्षेत्रों में महत्त्वपूर्ण विकास किया है!

मुख्य बिन्दु

- कण भौतिकी का स्टैण्डर्ड मॉडल, हिग्स क्षेत्र नामक एक परिकल्पित, सर्वव्यापी 'क्षेत्र' के अस्तित्व की भविष्यवाणी करता है।
- इस क्षेत्र के बारे में माना जाता है कि यह हिग्स क्रियाविधि नामक एक क्रियाविधि के माध्यम से मूलभूत कणों को द्रव्यमान प्रदान करता है।
- हिग्स-बोसॉन हिग्स क्षेत्र से जुड़ा एक परिकल्पित कण है।
- इस कण को नोबेल पुरस्कार विजेता लियोन लेडरमैन की एक किताब से इसका लोकप्रिय नाम 'गॉड पार्टिकल' मिला है।
- हिग्स-बोसॉन को खोजने के लिए प्रयोग लार्ज हैड्रॉन कोलाइडर, CERN, फ्रांस में किए जाते हैं।
- 4 जुलाई, 2012 को CERN के वैज्ञानिकों ने अलभ्य (elusive) हिग्स-बोसॉन के पूर्वानुमानित गुणधर्मों के समान गुणधर्म वाले एक कण के खोज की घोषणा की।

Note: Image used in the background of the article title – A Higgs-event. Credits: Lucas Taylor/CERN, Wikimedia Commons. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CMS_Higgs-event.jpg. License: CC-BY-SA.

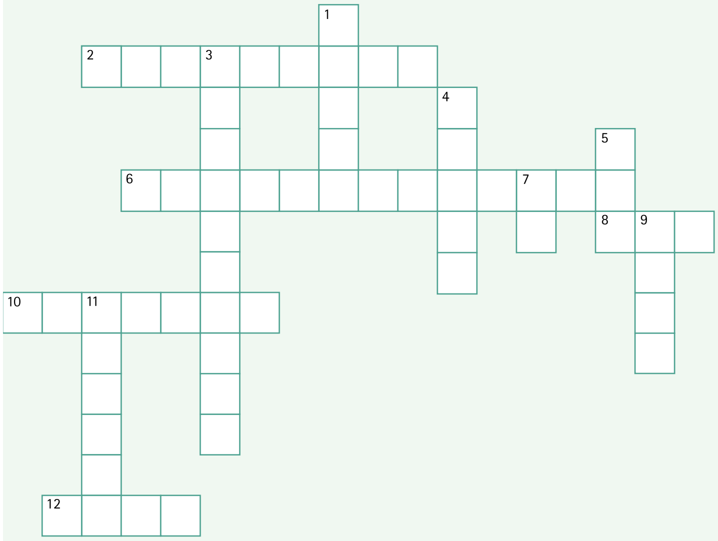
References:

1. Kane G (1996). 'The Particle Garden', Perseus Publishing.
2. Kane G (2006). 'The Mysteries of Mass'. Scientific American, January: 33-38.
3. Lederman L M & Teresi D (1993). 'The God Particle: If the Universe is the Answer, What is the Question'. Houghton Mifflin Company.
4. CMS Collaboration (2012). 'A new boson with a mass of 125 GeV observed with the CMS experiment at the Large Hadron Collider'. Science, 338: 1569-1575.
5. CMS Collaboration et. al. (2012). 'Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC'Phys. Lett. B, 716: 30-61.
6. Carroll S (2015). 'The Higgs boson and beyond.' Course Guidebook — The Great Courses, Virginia.

सुभाष कुमार आचार्य नरेन्द्र देव कॉलेज (दिल्ली विश्वविद्यालय), नई दिल्ली के भौतिकी विभाग में प्राध्यापक हैं। उनकी शोध की रुचियों में खगोलभौतिकीय प्लाज़्मास और खगोलशास्त्र शामिल हैं। उनसे subhashkumar@andc.du.ac.in पर सम्पर्क किया जा सकता है।

अनुवाद : प्रमोद मैथिल **पुनरीक्षण :** सुशील जोशी **कॉपी एडिटर** : कामिनी उपाध्याय

EVOLUTION CROSSWORD



Answer on page 121

Across

2. Choosing and fixing certain species or traits by natural or artificial forces acting on it. (9)
6. The English naturalist who is known for his theory of evolution. (13)
8. Any of the large, tailless, semi-erect primates of Africa and Southeast Asia. (3)
10. A group of individuals that can interbreed and produce viable offspring. (7)
12. A type of fertilization that occurs within the same organism: ________ fertilization. (4)

Down

1. A term to describe an organism's role in its environment. (5)
3. A species which is at high risk of extinction. (10)
4. Adjust to changing environments. (5)
5. The 'Molecule of Life' that carries genetic information between generations. (3)
7. Sex chromosomes in birds and snakes. (2)
9. Prefix to the number of times a woman has given birth or the number of children. (4)
11. To undergo a gradual change of characteristics in successive generations. (6)

Rohini Chintha is an Assistant Professor (C) at the Department of Genetics and Biotechnology, University College for Women, Hyderabad. She is passionate about writing for children, and believes that 'A Happy Childhood builds a Happy Society'. About 85 of her stories for children have been published in various magazines.