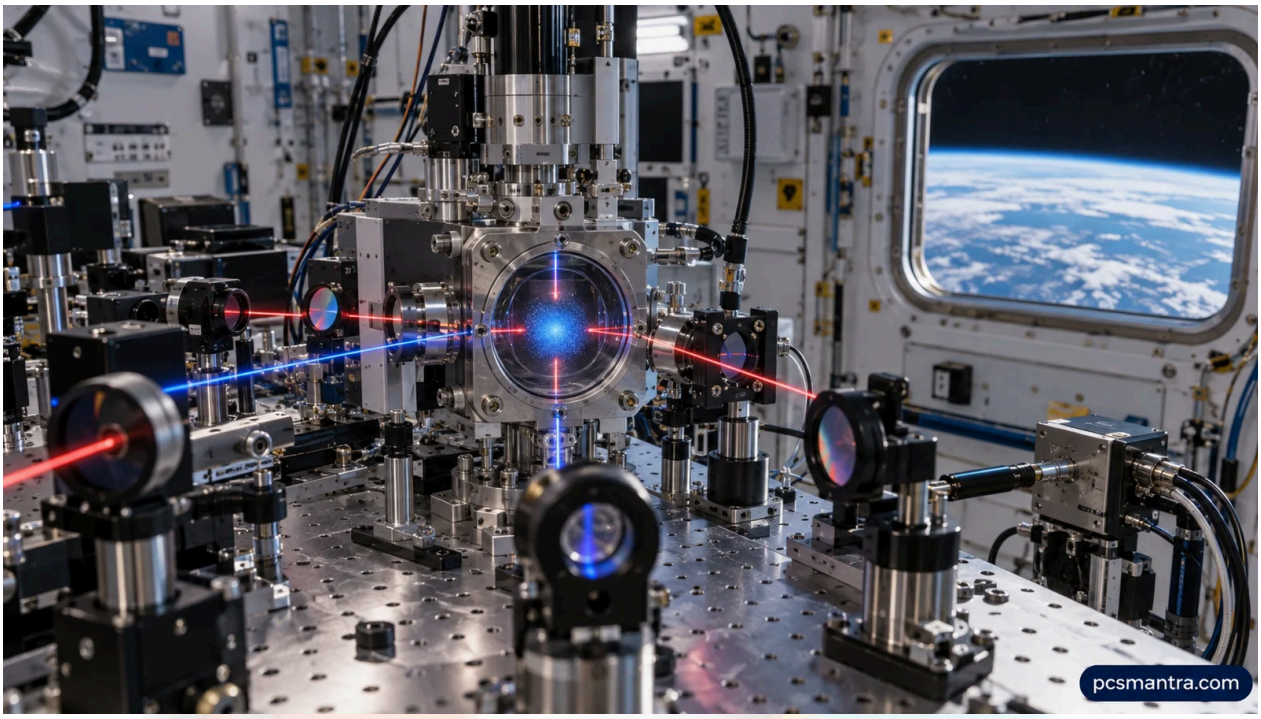
बोस-आइंस्टीन संघनित अवस्था: अंतरिक्ष में रिकॉर्ड ठंड

समाचार-संदर्भ: 5 नवंबर 2026 का शोधपत्र | **प्रकाशन:** 8 नवंबर 2026
विषय: विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी | **मुख्य परीक्षा:** GS-III, अंतरिक्ष में वैज्ञानिक अनुसंधान
प्रिलिम्स: बोस-आइंस्टीन संघनित अवस्था, सूक्ष्मगुरुत्व, तापमान की इकाइयाँ



मौलिक प्रतीकात्मक चित्र: pcsmantra.com

खबरों में क्यों

चीन के अंतरिक्ष स्टेशन पर वैज्ञानिकों ने अत्यंत ठंडे परमाणुओं की ऐसी अवस्था तैयार की, जिसका समतुल्य तापमान लगभग **9.7 पिकोकेल्विन** दर्ज किया गया। शोध में **बोस-आइंस्टीन संघनित अवस्था**, अर्थात Bose-Einstein condensate (BEC), बनाने के लिए प्रकाशीय जाल का उपयोग किया गया। परमाणु-बादल का स्वतंत्र प्रसार **7 सेकंड** तक देखा गया। यह उपलब्धि सूक्ष्मगुरुत्व में क्वांटम प्रयोगों की क्षमता बढ़ाने से जुड़ी है, पूरे अंतरिक्ष स्टेशन को इतना ठंडा करने से नहीं।

BEC क्या है

सरल अर्थ: बहुत कम तापमान पर बोसॉन प्रकृति वाले कण बड़ी संख्या में एक ही क्वांटम अवस्था में आ सकते हैं। तब उनका सामूहिक व्यवहार एक बड़ी पदार्थ-तरंग की तरह समझा जा सकता है। इसी अवस्था को बोस-आइंस्टीन संघनित अवस्था कहते हैं। इसे केवल सामान्य गैस का ठंडा हो जाना मानना पर्याप्त नहीं है; इसकी पहचान सामूहिक क्वांटम व्यवहार है।

बोसॉन और फर्मिऑन: ये क्वांटम कणों की दो श्रेणियाँ हैं। बोसॉन एक ही क्वांटम अवस्था में रह सकते हैं। समान फर्मिऑन के लिए पाउली अपवर्जन सिद्धांत लागू होता है, जो उन्हें एक ही क्वांटम अवस्था साझा करने से रोकता है। इसलिए हर प्रकार के कणों को ठंडा कर देने से सीधे वही BEC नहीं बनता।

इस विचार का आधार सत्येंद्र नाथ बोस और अल्बर्ट आइंस्टीन का सैद्धांतिक कार्य था। प्रयोगशाला में BEC तैयार करने के कार्य के लिए एरिक कॉर्नेल, कार्ल वीमन और वोल्फगैंग केटरले को वर्ष 2001 का भौतिकी नोबेल पुरस्कार मिला था।

9.7 पिकोकेल्विन का अर्थ

केल्विन: तापमान की SI इकाई है। परम शून्य 0 केल्विन, अर्थात लगभग -273.15 डिग्री सेल्सियस है। **पिको** का अर्थ 10^{-12} है। इसलिए 9.7 पिकोकेल्विन, परम शून्य से अत्यंत थोड़ी अधिक तापीय ऊर्जा का स्तर बताता है; यह शून्य से नीचे का तापमान नहीं है।

समतुल्य तापमान: अति-शीतल परमाणु-बादल के प्रसार और उसकी गति से जुड़ी ऊर्जा को तापमान के रूप में व्यक्त किया जाता है। इसे कमरे की हवा के साधारण थर्मामीटर-पठन जैसा नहीं समझना चाहिए। शोधपत्र का विषय एक छोटे, नियंत्रित परमाणु-बादल का व्यवहार है।

पहलू	क्या समझें
प्रयोग का स्थान	चीन का अंतरिक्ष स्टेशन
पदार्थ की अवस्था	बोस-आइंस्टीन संघनित अवस्था
नियंत्रण का साधन	प्रकाशीय द्विध्रुव जाल, यानी लेज़र प्रकाश से परमाणुओं को नियंत्रित रखने की व्यवस्था
स्वतंत्र प्रसार	7 सेकंड तक अवलोकन
दावे की सीमा	परमाणु-बादल का समतुल्य तापमान; स्टेशन या आसपास के अंतरिक्ष का तापमान नहीं

अंतरिक्ष में प्रयोग क्यों

सूक्ष्मगुरुत्व: अंतरिक्ष स्टेशन पृथ्वी के चारों ओर लगातार मुक्त-पतन में रहता है। इस कारण उसके भीतर वस्तुओं पर भारहीनता जैसा प्रभाव दिखता है। इसका अर्थ यह नहीं कि वहाँ पृथ्वी का गुरुत्वाकर्षण समाप्त हो गया है।

पृथ्वी पर मुक्त किए गए परमाणु-बादल जल्दी नीचे गिरते हैं। उन्हें थामने के लिए बाहरी क्षेत्रों की आवश्यकता पड़ सकती है। सूक्ष्मगुरुत्व में कमजोर बंधन और अधिक समय तक स्वतंत्र प्रसार संभव है। इससे पदार्थ-तरंगों का अध्ययन करने और प्रयोग को प्रभावित करने वाले बाहरी बंधनों को कम करने में मदद मिलती है।

इससे क्या उपयोग हो सकता है

परमाणु व्यतिकरण: पदार्थ-तरंगों को अलग कर फिर मिलाने पर बनने वाले पैटर्न से अत्यंत सूक्ष्म परिवर्तन मापे जा सकते हैं। अधिक नियंत्रित और ठंडे परमाणु-बादल इस तरह के प्रयोगों के लिए उपयोगी हैं।

मूलभूत भौतिकी: लंबे अवलोकन-समय से क्वांटम व्यवहार, गुरुत्व से जुड़े परीक्षण और सटीक मापन की नई संभावनाएँ खुल सकती हैं। शोध में क्वांटम सिमुलेशन, यानी नियंत्रित प्रणाली से दूसरी जटिल क्वांटम प्रणाली का व्यवहार समझने, की उपयोगिता भी बताई गई है। ये संभावित शोध-दिशाएँ हैं; इस एक प्रयोग से तैयार व्यावसायिक उपकरण या सभी मूलभूत प्रश्नों का समाधान सिद्ध नहीं हुआ है।

तापमान और पदार्थ की अवस्थाओं को दूसरे संदर्भ से समझें: टोकामक कैसे काम करता है: संलयन ऊर्जा के लिए चुंबकीय घेरा

परीक्षा के लिए महत्त्व

BEC को प्लाज़्मा से न मिलाएँ। प्लाज़्मा में आयनीकृत गैस होती है, जबकि यहाँ अत्यंत ठंडे परमाणुओं का सामूहिक क्वांटम व्यवहार चर्चा में है। इसी तरह सूक्ष्मगुरुत्व को गुरुत्व का पूर्ण अभाव और समतुल्य तापमान को पूरे उपकरण का तापमान बताना गलत होगा।

प्रिलिम्स परीक्षा अभ्यास प्रश्न

प्रश्न 1. बोस-आइंस्टीन संघनित अवस्था के संदर्भ में निम्नलिखित कथनों पर विचार कीजिए:

कथन 1: इसमें बड़ी संख्या में बोसॉन एक ही क्वांटम अवस्था साझा कर सकते हैं।

कथन 2: इसे बनाने के लिए परमाणुओं का तापमान परम शून्य से नीचे ले जाना आवश्यक है।

उपर्युक्त कथनों में से कौन-सा/से सही है/हैं?

(a) केवल 1

(b) केवल 2

(c) 1 और 2 दोनों

(d) न तो 1, न ही 2

▼ उत्तर और व्याख्या
उत्तर: (a)

कथन 1 सही है: एक ही क्वांटम अवस्था में बड़ी संख्या में बोसॉन का आना BEC के सामूहिक व्यवहार का आधार है।

कथन 2 गलत है: इस प्रयोग का तापमान परम शून्य से थोड़ा अधिक था। परम शून्य से नीचे जाना इसकी शर्त नहीं है।

प्रश्न 2. अंतरिक्ष में अति-शीतल परमाणु प्रयोगों के लिए सूक्ष्मगुरुत्व का प्रमुख लाभ निम्नलिखित में से कौन-सा है?

(a) परमाणुओं का द्रव्यमान शून्य हो जाता है

(b) परमाणु-बादल का स्वतंत्र प्रसार अधिक समय तक देखा जा सकता है

(c) हर प्रयोग में प्रकाश की गति बढ़ जाती है

(d) सभी क्वांटम प्रभाव समाप्त हो जाते हैं

▼ उत्तर और व्याख्या
उत्तर: (b)

सूक्ष्मगुरुत्व लंबे स्वतंत्र प्रसार और कमजोर बंधन वाले प्रयोगों में सहायता करता है। परमाणुओं का द्रव्यमान समाप्त नहीं होता और न ही यह प्रकाश की गति बदलने या क्वांटम प्रभाव मिटाने का साधन है।

स्रोत

- Science: Quantum gases below 10 picokelvin in space, 5 नवंबर 2026
- Science: अंतरिक्ष प्रयोग के तापमान और शोध-संदर्भ की व्याख्या
- चाइनीज़ एकेडमी ऑफ साइंसेज़ का शंघाई संस्थान: प्रयोग की जानकारी, 6 नवंबर 2026
- NASA: BEC और सूक्ष्मगुरुत्व में अति-शीतल परमाणु प्रयोगों का वैज्ञानिक आधार