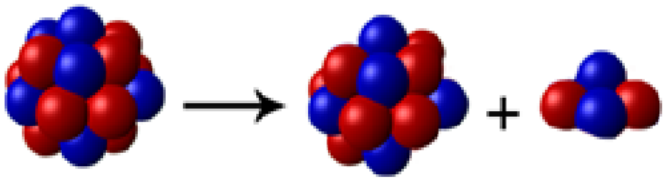
धीमी गति की प्रकाश वाला ब्रह्मांड – सापेक्षता और क्वांटम संसार की एक कल्पनात्मक यात्रा

भानु प्रकाश सिंह

वर्ष 2025 का भौतिकी में नोबेल पुरस्कार तीन वैज्ञानिकों—जॉन क्लार्क, मिशेल एच. देवोरेट और जॉन एम. मार्टिनिस—को दिया गया है। उन्हें यह पुरस्कार "सुपरकंडक्टिंग सर्किट्स में मैक्रोस्कोपिक क्वांटम टनलिंग और ऊर्जा के क्वांटाइजेशन की खोज" के लिए मिला है। 1980 के दशक में किए गए उनके प्रयोगों में जोसेफसन जंक्शन का उपयोग करके यह दिखाया गया कि बड़े पैमाने पर भी क्वांटम प्रभाव मौजूद हो सकते हैं, न केवल सूक्ष्म कणों में। यह एक बार फिर याद दिलाता है कि क्वांटम टनलिंग की अवधारणा को जॉर्ज गैमोव ने 1928 में रेडियोधर्मी अल्फा क्षय (alpha decay) के माध्यम से समझाया था, कि α-कण अपने नाभिक से ऊर्जा बाधा को पार कर निकलने जाते हैं, भले ही उनकी ऊर्जा उस बाधा को पार करने के लिए पर्याप्त न हो। इस खोज ने क्वांटम कंप्यूटिंग, क्वांटम क्रिप्टोग्राफी और क्वांटम सेंसर्स जैसे क्षेत्रों में नई दिशा दी है और यह स्पष्ट किया कि क्वांटम यांत्रिकी केवल सूक्ष्म दुनिया तक सीमित नहीं है, बल्कि मैक्रोस्कोपिक सिस्टम्स में भी लागू होती है। यह पुरस्कार इस वर्ष और भी महत्वपूर्ण है क्योंकि हम अंतरराष्ट्रीय क्वांटम तकनीक वर्ष मना रहे हैं, जो क्वांटम विज्ञान और तकनीक के वैश्विक महत्व को रेखांकित करता है। यह संदर्भ में यह उल्लेख करना भी महत्वपूर्ण है कि हमें केवल जॉर्ज गैमोव के वैज्ञानिक योगदान को ही नहीं, बल्कि उनकी कुछ दिलचस्प कहानियों को भी याद रखना चाहिए, जिनकी वजह से वे विज्ञान के अलावा भी बेहद लोकप्रिय हुए।

जॉर्ज गैमोव (George Gamow) (1904–1968), जो रूसी साम्राज्य के ओडेसा में जन्मे थे, एक अग्रणी सैद्धांतिक भौतिक विज्ञानी थे। उनकी साहसिक सोच ने नाभिकीय भौतिकी और ब्रह्मांड विज्ञान को नया आकार दिया। अपने शैक्षणिक करियर के प्रारंभ में, केवल 24 वर्ष की आयु में, उन्होंने नव विकसित क्वांटम सिद्धांत का उपयोग करते हुए श्रॉडिंगर समीकरण (Schrödinger Equation) के समाधान द्वारा अल्फा क्षय (α-decay) की व्याख्या की और क्वांटम टनलिंग की अवधारणा प्रस्तुत की। उन्होंने गणितीय रूप से यह दिखाया कि नाभिक के भीतर

फंसे अल्फा कण एक संभावित ऊर्जा बाधा (potential barrier) के पार टनलिंग प्रभाव के माध्यम से बाहर निकल सकते हैं, भले ही उनकी ऊर्जा उस बाधा को पार करने के लिए अपर्याप्त हो। गैमोव ने न केवल इस प्रक्रिया की सैद्धांतिक व्याख्या की, बल्कि क्षय दर (decay rate) की गणना भी की, जो प्रायोगिक रूप से देखे गए रेडियोधर्मी अल्फा क्षय के साथ अद्भुत रूप से मेल खाती थी। इस प्रकार, उन्होंने पहली बार यह सिद्ध किया कि क्वांटम यांत्रिकी सूक्ष्म स्तर पर ही नहीं, बल्कि नाभिकीय घटनाओं को समझाने में भी अत्यंत प्रभावी है — और यही नाभिकीय भौतिकी में क्वांटम सिद्धांत की पहली बड़ी सफलता बनी।



चित्र 1: रेडियोधर्मी क्षय के दौरान भारी नाभिक से अल्फा (α) कण उत्सर्जन का योजनात्मक चित्रण

जॉर्ज गामो की जिज्ञासा केवल नाभिकीय सिद्धांत तक सीमित नहीं रही, उन्होंने ब्रह्मांड विज्ञान में भी महत्वपूर्ण योगदान दिया, जैसे कि बिग-बैंग न्यूक्लियोसिंथेसिस, और आणविक जीवविज्ञान में उन्होंने आनुवंशिक कोड के पहलुओं का पूर्वाभास किया। इसके साथ ही, वे विज्ञान संचार में भी उत्साही थे और "*मिस्टर टॉम्पकिन्स इन वंडरलैंड*" जैसी रचनाओं के माध्यम से जटिल वैज्ञानिक अवधारणाओं को आम पाठकों के लिए सुलभ और रोचक बनाया। आज, जब हम अंतर्राष्ट्रीय क्वांटम प्रौद्योगिकी वर्ष 2025 मना रहे हैं, गामो का क्वांटम टनलिंग पर कार्य अत्यंत प्रासंगिक है, जो सेमीकंडक्टर, क्वांटम सेंसर और उभरती क्वांटम तकनीकों के लिए आधार प्रदान करता है। उनका योगदान यह दर्शाता है कि क्वांटम भौतिकी में मूलभूत खोजें कैसे विज्ञान और समाज में दीर्घकालिक प्रभाव डाल सकती हैं।

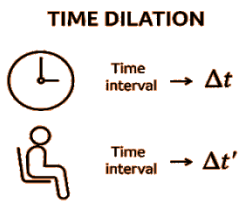
चित्र 2: जॉर्ज एंटोनोविच गैमोव (1904–1968) एक अग्रणी सैद्धांतिक भौतिक विज्ञानी, जिन्होंने नाभिकीय भौतिकी, अल्फा क्षय सिद्धांत और ब्रह्मांड विज्ञान में महत्वपूर्ण योगदान दिया

इसके अलावा, जॉर्ज गामो की कम प्रसिद्ध कहानियाँ और कल्पनाशील प्रयोग भी बेहद रोचक और नवोन्मेषी थे,

जिन्हें अक्सर स्वयं वैज्ञानिक भी नहीं जानते। उन्होंने अपने लेखन और कथाओं में ऐसे "क्या होता अगर?" के परिदृश्य प्रस्तुत किए, जैसे कि अगर प्रकाश की गति बहुत

धीमी होती, तो हमारा ब्रह्मांड कैसा दिखता। उदाहरण के लिए, मान लीजिए, प्रकाश की गति 3×10^8 मीटर/सेकंड की बजाय केवल 5×10^4 मीटर/सेकंड होती। इससे समय, स्थान, और पदार्थों का व्यवहार पूरी तरह बदल जाता। इन कहानियों ने न केवल पाठकों को मोहित किया, बल्कि भौतिकी के रोज़मर्रा के नियमों और उनके गूढ़ रहस्यों को समझने में भी अद्भुत जानकारी प्रदान की।

जॉर्ज गामो ने एक ऐसी दुनिया की कल्पना की जहाँ प्रकाश की गति इतनी कम हो कि सापेक्षता के प्रभाव हमारे दैनिक जीवन में देखे जा सकें। उनकी कहानियाँ काफ़ी रोचक और अद्भुत थीं। उन्होंने आइए हम आइंस्टीन के सापेक्षता के विशेष सिद्धांत से शुरुआत करते हैं।ऊपर दिया गया चित्र समय विस्तार (Time Dilation) की अवधारणा को दर्शाता है, जो आइंस्टीन के विशेष सापेक्षता सिद्धांत (Special Theory of Relativity) का एक प्रमुख परिणाम है। चित्र के ऊपरी भाग में दिखाई गई घड़ी अपने स्थिर फ्रेम (rest frame) में है, और इसके द्वारा मापा गया समयांतराल t (proper time) कहलाता है — यह वह वास्तविक समय है जिसे घड़ी स्वयं अनुभव करती है। नीचे दिखाया गया व्यक्ति उस घड़ी को गतिशील स्थिति में देख रहा है, अर्थात घड़ी उसके सापेक्ष गति कर रही है। इस स्थिति में व्यक्ति के अनुसार, घड़ी की सुई धीमी चलती हुई प्रतीत होती है, और उसके द्वारा मापा गया समयांतरालt' (dilated time) कहलाता है, जो t दिखाया कि कैसे प्रकृति के नियमों में छोटे-छोटे बदलाव नाटकीय रूप से अलग वास्तविकताओं को जन्म दे सकते हैं। उनके दृष्टिकोण से प्रेरित होकर, अब आइए सोचें कि क्या होगा यदि हमारे ब्रह्मांड में प्रकाश की गति घटकर केवल 50 किलोमीटर प्रति सेकंड रह जाए, और साथ ही हम यह मान लें कि कुछ भी नहीं बदला है।



चित्र3: ऊपर दिया गया चित्र समय विस्तार (Time Dilation) की अवधारणा को दर्शाता है

से बड़ा होता है। यह संबंध निम्न समीकरण द्वारा व्यक्त किया जाता है:

$$t' = \frac{t}{\sqrt{1-\left(\frac{v^2}{c^2}\right)}}$$

यह प्रभाव तब विशेष रूप से महत्वपूर्ण हो जाता है जब वस्तु की गति प्रकाश की गति के निकट होती है। यही समय विस्तार का मूल सिद्धांत है — कि गति करती हुई घड़ी की तुलना में स्थिर पर्यवेक्षक को उसका समय धीमा चलता हुआ प्रतीत होता है।

इस सिद्धांत के अनुसार, समय का प्रवाह प्रकाश की गति के सापेक्ष किसी वस्तु की गति पर निर्भर करता है। दैनिक जीवन में, हम इस प्रभाव को महसूस नहीं कर पाते क्योंकि हमारी गति प्रकाश की गति, जो लगभग 300,000 किमी/सेकंड है, की तुलना में बहुत कम है। हालाँकि, काल्पनिक रूप से, यदि प्रकाश की गति केवल 50

किमी/सेकंड होती, तो एक तेज़ गति से चलने वाली ट्रेन या हवाई जहाज भी इस गति के एक महत्वपूर्ण अंश से यात्रा कर सकता था। उदाहरण के लिए, यदि कोई ट्रेन 40 किमी/सेकंड की गति से चलती है, तो वह इस काल्पनिक प्रकाश गति के 80% की गति से यात्रा कर रही होगी। इस परिदृश्य में, प्लेटफ़ॉर्म पर स्थिर खड़े प्रेक्षक की तुलना में ट्रेन का समय काफ़ी धीमा हो जाएगा। यदि हम विशेष सापेक्षता सिद्धांत (Special Theory of Relativity) का उपयोग करें, तो मानक समय विस्तार (Time Dilation) सूत्र को निम्न प्रकार से प्रदर्शित किया जाता है, और विस्तारित समय (dilated time) इस प्रकार दिया जाता है;

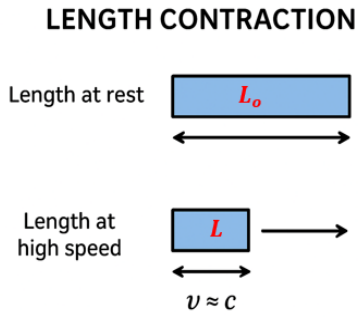
$$t' = \frac{t}{\sqrt{1-\left(\frac{v^2}{c^2}\right)}} = \frac{t}{\sqrt{1-0.64}}$$
$$= \frac{t}{\sqrt{036}} = \frac{t}{0.6}$$

इसका मतलब है कि ट्रेन में समय, प्लेटफ़ॉर्म पर खड़े किसी व्यक्ति के समय से 40% धीमा चलेगा। प्लेटफ़ॉर्म पर लोगों की तुलना में यात्रियों की उम्र सचमुच कम होगी। आज की दुनिया में, ऐसे प्रभाव केवल अंतरिक्ष यात्रियों या कण त्वरक (Particle Accelerators) में बहुत अधिक ऊर्जा तक त्वरित कणों के लिए ही ध्यान देने योग्य होते हैं। लेकिन एक ऐसी दुनिया में, जहाँ प्रकाश की गति बहुत कम हो, समय का फैलाव रोज़मर्रा की जिंदगी में आसानी से महसूस किया जा सकता है।

लंबाई संकुचन (Length Contraction), सापेक्षता का एक और अजीब प्रभाव है जो एक काल्पनिक दुनिया में ध्यान देने योग्य हो जाता है, जहाँ प्रकाश की गति बहुत कम है। जब वस्तुएँ प्रकाश की गति के तुलनीय गति से यात्रा करती हैं, तो वे गति की दिशा में छोटी दिखाई देती हैं। यह प्रभाव रोज़मर्रा की स्थितियों में नगण्य है। लेकिन अगर एक ट्रेन 40 किमी/सेकंड की गति से चल रही हो, ऐसी दुनिया में जहाँ प्रकाश 50 किमी/सेकंड की गति से यात्रा करता है, तो अनुपात, $v/c = 0.8$ होगा। इसे लंबाई संकुचन सूत्र में प्रतिस्थापित करने पर:

$$L = L_0\sqrt{1-\left(\frac{v^2}{c^2}\right)} = L_0\sqrt{0.36}$$
$$= 0.6L_0$$

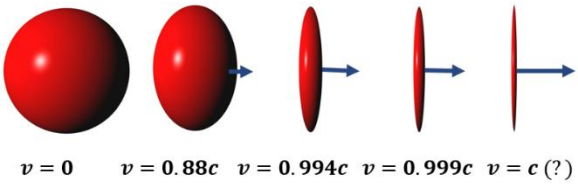
इस प्रकार, 300 मीटर लंबी एक ट्रेन, उसे तेज़ी से गुज़रते हुए देखने वाले पर्यवेक्षक को केवल 180 मीटर लंबी दिखाई देगी। कारें, हवाई जहाज़, और यहाँ तक कि धावक भी गति की दिशा में संकुचित दिखाई देंगे। दुनिया विकृत और गतिशील लगेगी, और वस्तुएँ गति करते हुए अपना आकार बदलती दिखाई देंगी। सापेक्षता अब पाठ्यपुस्तकों में छिपी नहीं रहेगी। यह कुछ ऐसा होगा जिसे आप वास्तव में देख सकेंगे।



चित्र 4: गतिमान दर्शक की दृष्टि से एक छड़ी की लंबाई संकुचन (Length Contraction) का योजनात्मक चित्रण

ऊपर दिया गया चित्र लंबाई संकुचन (Length Contraction) के सिद्धांत को दर्शाता है, जो आइंस्टीन के विशेष सापेक्षता सिद्धांत (Special Theory of Relativity) का एक महत्वपूर्ण परिणाम है। चित्र 4, में दिखाया गया है कि जब कोई वस्तु प्रकाश की गति के समीप गति करती है ($v \approx c$), तो उसकी लंबाई गति की दिशा में कम दिखाई देती है। ऊपरी भाग में वस्तु की स्थिर अवस्था में लंबाई L_0 दिखाई गई है, जबकि निचले भाग में गति करते समय संकुचित लंबाई L को दर्शाया गया है।

यह प्रभाव केवल तब स्पष्ट रूप से दिखाई देता है जब वस्तु की गति प्रकाश की गति के बहुत समीप होती है। चित्र 2 में दिखाए गए आकृतियों को हम आइंस्टीन के विशेष सापेक्षता सिद्धांत (Special Theory of Relativity) के आधार पर समझ सकते हैं। इस सिद्धांत के अनुसार, जब कोई वस्तु प्रकाश की गति के तुलनीय वेग (velocity) से चलती है, तो स्थिर पर्यवेक्षक (stationary observer) को उस वस्तु की लंबाई गति की दिशा में सिकुड़ी हुई दिखाई देती है। इस घटना को लॉरेंज़ संकुचन (Lorentz Contraction) कहा जाता है। इसका गणितीय रूप, जिसमें L और L'के बीच संबंध दिखाया गया है, ऊपर दिए गए समीकरण में प्रदर्शित है। जहाँ L वस्तु की वास्तविक (स्थिर) लंबाई है, v वस्तु की गति है और c प्रकाश की गति है। जैसे-जैसे v का मान c के निकट आता है, $\sqrt{1-\left(\frac{v^2}{c^2}\right)}$ का मान बहुत छोटा हो जाता है और वस्तु की देखी जाने वाली लंबाई L काफी घट जाती है। चित्र 5, में यह स्पष्ट रूप से दिखाया गया है कि जैसे-जैसे गेंद (या कोई गोलाकार वस्तु) की गति बढ़ती है, वह अपनी गति की दिशा में पतली और चपटी होती जाती है, स्थिर अवस्था में वह गोले के रूप में होती है, परंतु प्रकाश की गति के समीप पहुँचने पर वह पतली डिस्क जैसी दिखाई देती है।



चित्र 5: प्रकाश की गति के समीप ऊर्जा वाले भारी नाभिकों में लॉरेंज़ लंबाई संकुचन (Length Contraction) का प्रतिनिधित्व। उच्च ऊर्जा वाले नाभिक गति की दिशा में अत्यधिक संकुचित होकर 'पैनकेक' जैसी संरचना बनाते हैं

इसी सिद्धांत का प्रयोग नाभिकीय भौतिकी (Nuclear Physics) में भी देखा जाता है। उदाहरण के लिए, सापेक्षवादी भारी आयन कोलाइडर (Relativistic Heavy Ion Collider) या बड़े हैड्रॉन कोलाइडर (Large Hadron Collider) में जब भारी आयन (heavy ions) जैसे सोना (^{197}Au) या सीसा (^{208}Pb) के नाभिकों को प्रति न्यूक्लिऑन कई GeV ऊर्जा तक त्वरित किया जाता है, तो वे प्रकाश की गति के बहुत समीप वेग से चलते हैं। ऐसे में लॉरेंज़ संकुचन के कारण, सामान्यतः गोलाकार नाभिक गति की दिशा में अत्यधिक दब जाता है और "पैनकेक" जैसी यह पतली परत के रूप में बन जाता है। यह संकुचन लॉरेंज़ गुणांक (Lorentz factor) $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{v^2}{c^2}\right)}}$ से निर्धारित होता है, जो v ≈ 0.999c पर 20 से भी अधिक हो सकता है। परिणामस्वरूप, जब ये संकुचित नाभिक आपस में टकराते हैं, तो उनका आपसी संपर्क क्षेत्र बहुत पतला लेकिन अत्यधिक घना होता है, जिससे अत्यधिक ऊर्जा और तापमान उत्पन्न होते हैं। यह ज्यामितीय संकुचन टकराव की गतिशीलता को प्रभावित करता है और क्वार्क–ग्लूऑन प्लाज़्मा (Quark–Gluon Plasma) जैसी नई अवस्था के निर्माण में सहायता करता है, जो बिग-बैंग के कुछ माइक्रोसेकंड बाद के प्रारंभिक ब्रह्मांड की स्थिति जैसी होती है।

इसके अलावा, इस विचित्र नई दुनिया में, गति के साथ द्रव्यमान इस तरह बढ़ता है कि यह चिंता का विषय बन जाता है। सापेक्षतावादी द्रव्यमान सूत्र के अनुसार, हम जानते हैं कि:

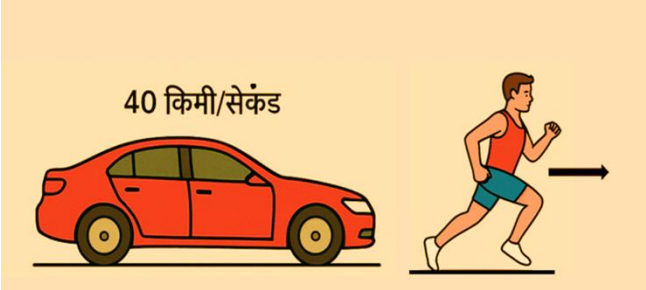
$$M = \frac{M_0}{\sqrt{1-\left(\frac{v^2}{c^2}\right)}}$$

यदि हमारे पास एक किलोग्राम की वस्तु 40 किमी/सेकंड (जो कि पुनः 0.8c है) की गति से चल रही है, तो इसके द्रव्यमान की इस प्रकार से गणना की जा सकती है;

$$M = \frac{M_0}{\sqrt{1-0.64}} = \frac{1}{0.6} = 1.67\ kg$$

इस प्रकार, वस्तु के द्रव्यमान में 67% की वृद्धि होती है। इसलिए, तेज़ गति वाली कार भारी लगेगी। एक एथलीट को दौड़ने के लिए अधिक ऊर्जा की आवश्यकता होगी।

इस प्रकार, दैनिक गति के लिए बहुत अधिक और अधिक प्रयासों की आवश्यकता होगी। हमारे वर्तमान ब्रह्मांड में, केवल उच्च-ऊर्जा त्वरक में कण ही इस प्रकार का सापेक्ष द्रव्यमान प्राप्त करते हैं।



चित्र 6: गति बढ़ने पर द्रव्यमान में सापेक्ष वृद्धि का चित्रण (विस्तृत जानकारी के लिए संदर्भ लेख देखें)

आइए एक स्थिति पर विचार करें, जब हम इलेक्ट्रॉनों को अपेक्षाकृत उच्च ऊर्जाओं तक त्वरित करने का प्रयास करते हैं। जब हम उन्हें केवल कुछ MeV ऊर्जा से त्वरित करने का प्रयास करते हैं, तो इलेक्ट्रॉनों की गति प्रकाश की गति के तुलनीय हो जाती है। इन उच्च गति पर, सापेक्ष प्रभाव एक महत्वपूर्ण भूमिका निभाएंगे। इलेक्ट्रॉन का सापेक्ष द्रव्यमान बढ़ता है और यह ऐसा व्यवहार करने लगता है मानो यह भारी हो रहा हो। हालाँकि, इलेक्ट्रॉन का स्थिर द्रव्यमान समान रहता है, लेकिन यह इसके आगे के त्वरण का विरोध करता है। यहाँ अब दी गई ऊर्जा इलेक्ट्रॉन के द्रव्यमान को बढ़ाने में जाती है, न कि गति को बढ़ाने में। इलेक्ट्रॉनों के लिए, उनके सापेक्षिक होने के कारण द्रव्यमान में वृद्धि के कारण उनका विद्युत क्षेत्र के साथ तालमेल बिगड़ जाता है और वे कुशलतापूर्वक त्वरण करना बंद कर देते हैं। यही कारण है कि साइक्लोट्रॉन इलेक्ट्रॉनों को अत्यधिक उच्च ऊर्जा प्रदान करने के लिए उपयुक्त नहीं हैं। इसके बजाय, हम सिंक्रोट्रॉन या रैखिक त्वरक का उपयोग करते हैं, जो इलेक्ट्रॉनों की बढ़ती गति और बदलते द्रव्यमान के अनुरूप अपने चुंबकीय या विद्युत क्षेत्रों को समायोजित करते हैं।

एक ऐसी दुनिया की कल्पना कीजिए जहाँ प्रकाश अधिक धीमी गति से यात्रा करता हो, गामो की कहानियों के परिदृश्यों के समान, सब कुछ अलग होगा। बैग भारी लगेंगे, साइकिल चलाना अधिक चुनौतीपूर्ण होगा, और यहाँ तक कि चलना भी अटपटा लगेगा। उस ब्रह्मांड में, सापेक्षता कोई जटिल वैज्ञानिक सिद्धांत नहीं, बल्कि एक दैनिक अनुभव होगा। सरल शब्दों में, इलेक्ट्रॉन अत्यंत हल्के होते हैं, फिर भी वे सापेक्षतावादी प्रभावों से तुरंत प्रभावित होते हैं। इसलिए, उन्हें त्वरित करने की विधि में भी बदलाव करना होगा।

आइए अब परमाणुओं की दुनिया पर विचार करें। यहाँ, पदार्थ की संरचना में प्रकाश की गति एक महत्वपूर्ण भूमिका

निभाती है। परमाणु विद्युत चुम्बकीय बलों द्वारा एक साथ बंधे रहते हैं, और इस बल की प्रबलता सूक्ष्म-संरचना स्थिरांक द्वारा निर्धारित होती है, जिसे सूक्ष्म संरचना स्थिरांक α द्वारा दर्शाया जाता है। इस स्थिरांक α को इस प्रकार परिभाषित किया गया है,

$$\alpha = e^2/4\pi\varepsilon_0\hbar c$$

यहाँ, e इलेक्ट्रॉन विद्युत आवेश है, ε_0 निर्वात में विद्युत स्थिरांक है, ħ घटकित प्लांक स्थिरांक है, और c प्रकाश की गति है।

जैसा कि आप देख सकते हैं, प्रकाश की गति, c के रूप मे है। यदि c घटता है, तो का मान बढ़ जाएगा, जो एक प्रबल विद्युत चुम्बकीय बल का संकेत देता है। इस परिवर्तन के महत्वपूर्ण परिणाम होंगे। इलेक्ट्रॉन नाभिक के बहुत करीब आ जाएँगे, जिससे परमाणुओं का आकार काफ़ी सिकुड़ जाएगा। परिणामस्वरूप, रासायनिक बंधन अलग तरह से बन सकते हैं या बिल्कुल नहीं बन सकते हैं। जल (H_2O) और ऑक्सीजन (O_2) जैसे सामान्य अणु अस्तित्वहीन हो सकते हैं। इसके अतिरिक्त, हमारी कोशिकाओं के भीतर डीएनए का क्षरण हो सकता है। चरम स्थितियों में, परमाणु पूरी तरह से ढह सकते हैं, जिससे घने, अस्थिर गुच्छे बन सकते हैं। तब पदार्थ न्यूट्रॉन तारों के संकुचित आंतरिक भाग के समान व्यवहार कर सकता है।

विचारणीय एक और रोचक पहलू म्यूऑन कण है। ये सूक्ष्म कण वायुमंडल में ऊपर कॉस्मिक किरणों के वायु के अणुओं से टकराने पर उत्पन्न होते हैं। हमारे ब्रह्मांड में, म्यूऑन का जीवनकाल बहुत कम होता है, लगभग 2.2 माइक्रोसेकंड। इसे परिप्रेक्ष्य में रखने के लिए, यह लगभग पलक झपकने के बराबर है, और ये आमतौर पर बहुत दूर तक नहीं जाते। हालाँकि, यहाँ, स्थिति लगभग जादुई लगती है क्योंकि ये प्रकाश की गति के करीब गति करते हैं, जिससे इनके लिए समय धीमा हो जाता है। आइंस्टीन के सापेक्षता के सिद्धांत के कारण, ये पृथ्वी तक पहुँचने तक पर्याप्त समय तक अवलोकित किए जा सकते हैं, जिससे हम इन्हें प्रयोगात्मक रूप से पता लगा सकते हैं। यह आइंस्टीन के सिद्धांत की सबसे सुंदर वास्तविक दुनिया की पुष्टिओं में से एक है। परमाणु भौतिकी के दृष्टिकोण से, यह वास्तव में उल्लेखनीय है। इलेक्ट्रॉनों का व्यवहार नाभिक के भीतर के बलों से जटिल रूप से जुड़ा हुआ है। यदि सूक्ष्म-संरचना स्थिरांक α में महत्वपूर्ण परिवर्तन होता है, तो परमाणु ऊर्जा स्तर, बंधन ऊर्जा और समस्थानिक स्थिरता, सभी प्रभावित होंगे। परिणामस्वरूप, परमाणु विज्ञान में प्रयुक्त न्यूक्लाइडों के चार्ट को संशोधित करने की आवश्यकता होगी। इसके अलावा, रेडियोधर्मी क्षय के पैटर्न में भी बदलाव आ सकता है। यह दर्शाता है कि हमारा परमाणु जगत कितना नाज़ुक रूप से संतुलित है

और प्रकाश की गति से कितनी कसकर बंधा हुआ है।

लेकिन हमारे कल्पित धीमे-प्रकाश के ब्रह्मांड में, चीजें बदल जाती हैं। यदि प्रकाश की गति केवल 50 किमी/सेकंड है, तो म्यूऑन इतनी तेज़ गति से नहीं चलेंगे कि समय काफ़ी धीमा हो जाए। उस सापेक्षतावादी "विस्तार" के बिना, उनका छोटा जीवनकाल उन्हें पकड़ लेता है। वे बनने के लगभग तुरंत बाद ही क्षय हो जाते और हम तक पहुँचने से बहुत पहले ही क्षय हो जाते। तो, इस नई दुनिया में, म्यूऑन कभी धरती पर नहीं पहुँच पाएँगे। और हम सापेक्षता सिद्धांत के सबसे सुंदर और स्वाभाविक प्रमाणों में से एक को खो देंगे कि यह कितना विचित्र और अद्भुत है।

आइए अब संचार के क्षेत्र जैसे किसी बेहद व्यावहारिक विषय पर आते हैं। हमारे फ़ोन, रेडियो, उपग्रह और GPS सिस्टम, सभी विद्युत चुम्बकीय संकेतों पर निर्भर करते हैं, जो प्रकाश की गति से यात्रा करते हैं। हमारी नई दुनिया में, ये संकेत 50 किमी/सेकंड की गति से रेंगेंगे। यह अविश्वसनीय रूप से धीमी है। उदाहरण के लिए, नई दिल्ली से मुंबई (लगभग 1,400 किमी) भेजा गया संदेश; $1400/50 = 28$ सेकंड लेगा। संदेश प्राप्त होने से पहले चाय के लिए पानी उबालने के लिए यह पर्याप्त समय है, यहाँ तक कि 100 किलोमीटर की एक छोटी वीडियो कॉल में भी 2 सेकंड की देरी होगी। वास्तविक समय में बातचीत करना लगभग असंभव होगा। GPS नेविगेशन विफल हो जाएगा, वित्तीय लेन-देन पिछड़ जाएगा, और पूरा वैश्विक इंटरनेट ठप्प हो जाएगा। हमें एनालॉग सिस्टम या, कौन जाने, कबूतरों की ओर भी लौटना पड़ सकता है।

हमारे सबसे नज़दीकी तारे, अल्फ़ा सेंटॉरी, से प्रकाश को यहाँ पहुँचने में 26,000 साल से ज़्यादा लगेंगे। रात का आकाश खाली दिखाई देगा, और लोग ऊपर की ओर केवल चंद्रमा को देखने के लिए टकटकी लगाए रहेंगे। खगोल विज्ञान लुप्त हो जाएगा, और एक छोटे से ब्रह्मांड के बारे में मिथक फिर से हावी हो जाएँगे।

फिर भी, अजीब तरह से, इसका एक फ़ायदा भी है। इस धीमी रोशनी वाली दुनिया में, हमारे मौजूदा रॉकेट प्रकाश की गति के क़रीब आसानी से पहुँच सकते हैं। इसका मतलब है कि अंतरिक्ष यात्री सापेक्षिक समय यात्रा का अनुभव कर सकते हैं। मंगल ग्रह की यात्रा चालक दल को एक महीने जैसी लग सकती है, लेकिन पृथ्वी पर वर्षों बीत सकते हैं। भविष्य में वास्तविक, व्यावहारिक समय यात्रा न केवल हॉलीवुड में, बल्कि विज्ञान प्रयोगशालाओं में भी संभव हो सकेगी।

अंततः, यह विचार प्रयोग केवल प्रकाश को धीमा करने के बारे में नहीं है। यह इस बात को समझने के बारे में है कि एक स्थिरांक कितनी गहराई से सब कुछ नियंत्रित करता है। प्रकाश की गति अंतरिक्ष, समय, द्रव्यमान, ऊर्जा और परमाणुओं की संरचना को जोड़ती है। इसे बदलें, और पूरा ब्रह्मांड अपना स्वरूप बदल लेता है,

आकाशगंगाओं से लेकर कोशिका संरचनाओं तक।

यही कारण है कि परमाणु भौतिकी, क्वांटम यांत्रिकी और सापेक्षता अलग-अलग क्षेत्र नहीं हैं, ये सभी एक सुंदर, परस्पर जुड़ी हुई तस्वीर का हिस्सा हैं। और यह तस्वीर केवल इसलिए काम करती है क्योंकि प्रकाश की गति बिल्कुल वैसी ही है। भौतिकविदों के रूप में, हम इस बात पर आश्चर्यचकित हैं कि कैसे ऐसे स्थिरांक न केवल तारों और ब्लैक होल जैसी बड़ी चीजों को नियंत्रित करते हैं, बल्कि पदार्थ के छोटे-छोटे निर्माण खंडों को भी नियंत्रित करते हैं।

जॉर्ज गामो (George Gamow) ने अपनी मज़ेदार कहानियों के ज़रिए हमें दिखाया कि भौतिकी हमेशा समीकरणों और ग्राफ़ों तक ही सीमित नहीं होती। कभी-कभी, "क्या होता अगर?" पूछने से हमें बहुत कुछ सीखने को मिलता है। इसलिए अगली बार जब आप सुनें कि प्रकाश 3,00,000 किलोमीटर/सेकंड की गति से चलता है, तो याद रखें: यह संख्या सिर्फ़ एक तथ्य नहीं है, यह आपकी वास्तविकता की नींव है।

भानु प्रकाश सिंह
भौतिकी विभाग,
अलीगढ़ मुस्लिम विश्वविद्यालय,
अलीगढ़