https://farid.ps/articles/universal_censorship_the_planck_scale/hi.html

सार्वभौमिक सेंसरशिप: प्लैंक स्केल

कल्पना करें कि आप एक पत्ते के ऊपर एक आवर्धक लेंस रखते हैं, जिससे नग्न आँखों से दिखाई न देने वाले छोटे-छोटे कीड़े प्रकट होते हैं। एक ऑप्टिकल माइक्रोस्कोप के साथ आगे बढ़ें, और जीवित कोशिकाएँ या बड़े बैक्टीरिया फोकस में आते हैं। इलेक्ट्रॉन माइक्रोस्कोप के साथ और गहराई में जाएँ, और छोटे बैक्टीरिया या यहाँ तक कि वायरस दिखाई देते हैं—दुनियाओं के भीतर दुनियाएँ, प्रत्येक छोटा स्केल नए आश्चर्यों को उजागर करता है। विज्ञान हमेशा ज़ूम करके, वास्तविकता को और सूक्ष्म विवरणों में तोड़कर प्रगति करता रहा है। लेकिन क्या होता है जब हम सबसे छोटे संभव स्केल तक पहुँच जाते हैं, जहाँ स्थान और समय स्वयं विभाजित होने से इनकार करते हैं? प्लैंक स्केल में आपका स्वागत है, वह अंतिम सीमा जहाँ हमारे आवर्धन उपकरण एक ब्रह्मांडीय दीवार से टकराते हैं, और ऐसा लगता है कि ब्रह्मांड कह रहा है: “इससे आगे नहीं।” यह निबंध उस सीमा की खोज करता है—न केवल भौतिकी की बाधा के रूप में, बल्कि वास्तविकता के बारे में एक गहरी पहेली के रूप में।

प्लैंक भौतिकी की मूल बातें

प्लैंक स्केल एक ऐसे क्षेत्र को परिभाषित करता है जहाँ क्वांटम यांत्रिकी, गुरुत्वाकर्षण, और सापेक्षता एक साथ मिलते हैं, जो संभवतः अंतरिक्ष-समय की मूलभूत संरचना को प्रकट करते हैं। यह तीन स्थिरांकों से प्राप्त होता है—प्लैंक स्थिरांक ($\hbar \approx 1.054571817 \times 10^{-34}$ J·s), गुरुत्वाकर्षण स्थिरांक ($\mathbf{G} \approx 6.67430 \times 10^{-11}\ \mathrm{m^3 kg^{-1} s^{-2}}$), और प्रकाश की गति ($\mathbf{c} \approx 2.99792458 \times 10^{8}$ m/s)—प्लैंक स्केल विशिष्ट मात्राएँ उत्पन्न करता है:

- **प्लैंक लंबाई**:

$$l_p = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} \approx 1.616255 \times 10^{-35}\,\mathrm{m}$$

  वह स्केल जहाँ क्वांटम गुरुत्वाकर्षण प्रभाव हावी होते हैं, जो संभवतः सबसे छोटा सार्थक स्थानिक अंतराल निर्धारित करता है।

- **प्लैंक समय**:

$$t_p = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^5}} \approx 5.391247 \times 10^{-44}\,\mathrm{s}$$

  वह समय जो प्रकाश को प्लैंक लंबाई को पार करने में लगता है, संभवतः न्यूनतम समय इकाई।

- **प्लैंक ऊर्जा**:

$$E_p = \sqrt{\frac{\hbar c^5}{G}} \approx 1.956 \times 10^{9}\,\mathrm{J} \approx 1.22 \times 10^{19}\,\mathrm{GeV}$$

  एक कण की ऊर्जा जिसकी डी ब्रोगली तरंगदैर्ध्य ~$\mathbf{l_p}$ है, जहाँ क्वांटम और गुरुत्वाकर्षण प्रभाव तुलनीय हैं।

ये मात्राएँ स्वाभाविक रूप से क्वांटम यांत्रिकी ($\hbar$), गुरुत्वाकर्षण ($\mathbf{G}$), और सापेक्षता ($\mathbf{c}$) के संयोजन से उत्पन्न होती हैं, जो अंतरिक्ष-समय और भौतिक प्रक्रियाओं की विभाजनशीलता की मूलभूत सीमा का सुझाव देती हैं। प्लैंक युग ($\mathbf{t} \sim 10^{-43}$ s) में, जब ब्रह्मांड ~$\mathbf{l_p}$ तक संकुचित था, सभी बल (गुरुत्वाकर्षण, विद्युत चुम्बकीय, मजबूत, कमजोर) संभवतः एकीकृत थे,

जिसका अर्थ है कि प्लैंक स्केल, जो **G** से बंधा है, मूलभूत गतिशीलता को पूरी तरह से वर्णन नहीं कर सकता। वास्तविक स्केल और अंतःक्रियाओं को स्पष्ट करने के लिए एक सर्व-समावेशी सिद्धांत (ToE), जैसे स्ट्रिंग सिद्धांत या लूप क्वांटम गुरुत्वाकर्षण (LQG), की आवश्यकता है।

अंतरिक्ष-समय का क्वांटीकरण: एक असतत ब्रह्मांड?

प्लैंक स्केल यह सुझाव देता है कि अंतरिक्ष-समय को असतत इकाइयों में क्वांटाइज़ किया जा सकता है, जो सामान्य सापेक्षता (GR) के सतत मैनिफोल्ड को चुनौती देता है। कई सैद्धांतिक ढांचे इसका समर्थन करते हैं:

- **लूप क्वांटम गुरुत्वाकर्षण (LQG)**: यह प्रस्ताव करता है कि अंतरिक्ष-समय असतत स्पिन नेटवर्क से बना है, जिसमें न्यूनतम क्षेत्र ($\sim \mathbf{l_p}^2$) और आयतन ($\sim \mathbf{l_p}^3$) हैं, जो एक पिक्सलयुक्त संरचना का संकेत देता है।
- **स्ट्रिंग सिद्धांत**: एक सतत पृष्ठभूमि मानता है लेकिन एक स्ट्रिंग लंबाई ($\mathbf{l_s} \sim 10^{-35}$ m) प्रस्तुत करता है, जो रिज़ॉल्यूशन को सीमित कर सकता है, असततता की नकल करता हुआ।
- **कॉज़ल सेट्स सिद्धांत**: अंतरिक्ष-समय को कारणात्मक रूप से जुड़े बिंदुओं के असतत सेट के रूप में मॉडल करता है, जिसमें प्लैंक स्केल एक प्राकृतिक कटऑफ है।
- **होलोग्राफिक सिद्धांत**: यह सुझाव देता है कि ब्रह्मांड की जानकारी एक द्वि-आयामी सीमा पर कोडित है, जिसमें अवलोकन योग्य ब्रह्मांड के लिए ~10^{122} बिट्स की सीमित सूचना सामग्री है, जो एक असतत संरचना के अनुरूप है।

क्वांटीकरण प्लैंक स्केल की सीमित स्केलों में निहित है। $\sim \mathbf{l_p}$ की लंबाइयों की जांच के लिए कणों की आवश्यकता होती है जिनकी तरंगदैर्ध्य $\boldsymbol{\lambda} \approx \mathbf{l_p}$ हो, या ऊर्जा $\mathbf{E} \approx \mathbf{hc}/\mathbf{l_p} \approx 1.956 \times 10^9$ J हो। इस स्केल पर, क्वांटम गुरुत्वाकर्षण अंतरिक्ष-समय की असतत इकाइयों को लागू कर सकता है, जो डिजिटल छवि में पिक्सल्स के समान हैं। हालांकि, प्लaink युग में, एकीकृत बलों के साथ, प्लaink स्केल की प्रासंगिकता (**G** पर आधारित) अनिश्चित है, और एक ToE एक अलग मूलभूत स्केल को परिभाषित कर सकता है।

ब्रह्मांड एक सिमुलेशन के रूप में: धारणा से परे पिक्सल्स

क्वांटीकरण परिकल्पना सिमुलेशन परिकल्पना के साथ संरेखित होती है, जो यह मानती है कि हमारा ब्रह्मांड एक उच्च-स्तरीय "सुपरकंप्यूटर" पर चलने वाला एक कंप्यूटर सिमुलेशन है। भौतिकी सिमुलेशन सॉफ्टवेयर जैसे COMSOL में, स्थान और समय को नोड्स ($\mathbf{\Delta x}$, $\mathbf{\Delta t}$) की एक जाली में असतत किया जाता है, जहाँ भौतिक अंतःक्रियाएँ इन बिंदुओं पर गणना की जाती हैं। इसी तरह, प्लैंक स्केल ब्रह्मांड की गणनात्मक जाली का आकार हो सकता है ($\mathbf{\Delta x} \sim \mathbf{l_p}$, $\mathbf{\Delta t} \sim \mathbf{t_p}$)।

- **रिज़ॉल्यूशन तुलना**: अवलोकन योग्य ब्रह्मांड (त्रिज्या ~10^{26} m) को ~$(10^{26}/10^{-35})^3 \approx 10^{183}$ स्थानिक नोड्स की आवश्यकता होगी यदि इसे $\mathbf{l_p}$ पर असतत किया जाए। यह सरल त्रि-आयामी अनुमान होलोग्राफिक सीमा ~10^{122} बिट्स को बहुत अधिक पार करता है, जो जानकारी को एक द्वि-आयामी सतह (उदाहरण के लिए, कॉस्मिक होराइजन) तक सीमित करता है। यह अंतर होलोग्राफिक सिमुलेशन की दक्षता को उजागर करता है, जहाँ त्रि-आयामी घटनाएँ कम-आयामी ढांचे में कोडित होती हैं, जिससे "सीमित गणना" का विचार प्रभावशाली बन जाता है।
- **प्रकट निरंतरता**: प्लaink स्केल पर एक जाली ($\mathbf{l_p} \sim 10^{-35}$ m) अवलोकन योग्य स्केलों ($\gtrsim 10^{-18}$ m) पर निरंतर प्रतीत होती है, जैसे उच्च-रिज़ॉल्यूशन डिस्प्ले। मुद्रास्फीति ने ब्रह्मांड को ~10^{26} तक फैलाया, जिससे किसी भी दानेदारपन को कम किया गया।
- **प्लaink युग**: एकीकृत बलों के साथ, प्लaink स्केल वास्तविक रिज़ॉल्यूशन नहीं हो सकता, लेकिन यह एक प्रशंसनीय स्थानापन्न है। सिमुलेशन की प्रारंभिक स्थिति प्लaink स्केल पर नोड्स की एक जाली हो सकती है जिसमें ऊर्जाएँ ~$\mathbf{E_p}$ हों, जो एक ToE द्वारा परिभाषित एकीकृत बल द्वारा शासित हो।

ब्लैक होल बैरियर: एक स्व-संनादन तंत्र

प्लaink स्केल की जांच करना इसके "पिक्सल्स" को प्रकट करने के लिए एक कण त्वरक की आवश्यकता होती है जो कणों को तरंगदैर्ध्य ~$\mathbf{l_p}$, या ऊर्जा ~1.22 × 10^{19} GeV के साथ उत्पन्न करता हो। यह मूल रूप से ब्लैक होल बैरियर द्वारा सीमित है, जो केवल एक इंजीनियरिंग बाधा नहीं है, बल्कि भौतिकी का एक सिद्धांत है:

- **गुरुत्वाकर्षण पतन**: 1.956 × 10^{9} J की ऊर्जा (द्रव्यमान $\mathbf{M \approx E/c^2} \approx 2.176 \times 10^{-8}$ kg) जो ~$\mathbf{l_p}$ क्षेत्र में केंद्रित है, का श्वार्ज़शिल्ड त्रिज्या है:

$$r_s = \frac{2GM}{c^2} \approx \frac{2 \cdot (6.67430 \times 10^{-11}) \cdot (2.176 \times 10^{-8})}{(2.99792458 \times 10^8)^2} \approx 3.23 \times 10^{-35}\,\mathrm{m} \sim l_p$$

  परिणामी ब्लैक होल का घटना क्षितिज संरचना को छिपाता है, क्योंकि कोई जानकारी बाहर नहीं निकलती। यह एक स्व-संनादन तंत्र है: अंतरिक्ष-समय अपनी मूल प्रकृति को छिपाने के लिए मुड़ता है।

- **हाइजेनबर्ग अनिश्चितता**: $\mathbf{\Delta x \sim l_p}$ को हल करने के लिए $\mathbf{\Delta p \gtrsim \hbar/l_p}$ की आवश्यकता होती है, जो प्लaink स्केल ऊर्जाओं को संदर्भित करता है जो पतन को प्रेरित करती हैं।

- **क्वांटम गुरुत्वाकर्षण**: $\mathbf{l_p}$ पर, अंतरिक्ष-समय एक क्वांटम फोम हो सकता है, जो शास्त्रीय जांच का विरोध करता है। प्लaink युग में एकीकृत बल यह सुझाव देता है कि वास्तविक स्केल और अंतःक्रियाओं को परिभाषित करने के लिए एक ToE की आवश्यकता है।

एक सिमुलेशन में, यह बैरियर एक जानबूझकर सुरक्षा उपाय हो सकता है, जो यह सुनिश्चित करता है कि जाली छिपी रहे, जैसे एक गेम इंजन जो पिक्सल स्तर पर ज़ूम करने से रोकता है।

सुपरलेंस: एक काल्पनिक हैक

सुपरलेंस और हाइपरलेंस ऑप्टिकल विवर्तन सीमा (~200 nm दृश्य प्रकाश के लिए) को निकट-क्षेत्र क्षणिक तरंगों का शोषण करके बायपास करते हैं, जिससे ~10-60 nm की रिज़ॉल्यूशन प्राप्त होती है। क्या कण त्वरक में उच्च-ऊर्जा कणों के लिए सुपरलेंस जैसा दृष्टिकोण प्लaink स्केल की जांच कर सकता है?

- **सुपरलेंस तंत्र**: ऑप्टिकल सुपरलेंस नकारात्मक अपवर्तन सूचकांक वाले सामग्रियों का उपयोग क्षणिक तरंगों को बढ़ाने के लिए करते हैं, जो तरंगदैर्ध्य से नीचे की जानकारी ले जाते हैं। एक कण-आधारित सुपरलेंस ~10^{19} GeV की ऊर्जाओं पर कण की तरंग-फलन के उच्च-संनाद घटकों को हेरफेर करेगा।
- **चुनौतियाँ**:
  - **ऊर्जा अंतर**: LHC ~10^{-19} m (13 TeV) की जांच करता है, जो $\mathbf{l_p}$ से 16 ऑर्डर ऑफ मैग्निट्यूड दूर है। सुपरलेंस जैसा सुधार (~10-20x ऑप्टिक्स में) अपर्याप्त है; 10^{16} का एक छलांग आवश्यक है।
  - **सामग्रियों की अनुपस्थिति**: प्लaink ऊर्जा पर तरंग-फलनों को हेरफेर करने के लिए कोई सामग्री नहीं है। एक ToE विदेशी संरचनाओं (उदाहरण के लिए, क्वांटम गुरुत्वाकर्षण क्षेत्र) की परिकल्पना कर सकता है, लेकिन ये सट्टा हैं।
  - **ब्लैक होल बैरियर**: सुपरलेंस के साथ भी, प्लaink स्केल ऊर्जाएँ पतन को प्रेरित करती हैं, जाली को छिपाती हैं।
- **संभावना**: एक ToE सुपरलेंस जैसी तकनीकों को सक्षम कर सकता है, जैसे कि क्वांटम सहसंबंधों या एकीकृत क्षेत्र उत्तेजनाओं का उपयोग करके सब-प्लaink जानकारी निकालना, लेकिन हम ऐसी विधियों का सैद्धांतिकरण करने से बहुत दूर हैं।

प्लaink स्केल की असततता के अप्रत्यक्ष संकेत

हालांकि प्रत्यक्ष जांच संभवतः असंभव है, प्लaink स्केल की असततता के अप्रत्यक्ष संकेत सुराग प्रदान कर सकते हैं: - **लोरेंज इनवेरिएंस उल्लंघन**: असततता गामा-रे बर्स्ट में ऊर्जा-निर्भर फोटॉन फैलाव का कारण बन सकती है, जो समय विलंब में पता लगाने योग्य है। ~10^{11} GeV तक कोई उल्लंघन नहीं देखा गया है। - **कॉस्मिक माइक्रोवेव बैकग्राउंड (CMB) में विसंगतियाँ**: प्लaink स्केल प्रभाव CMB में सूक्ष्म पैटर्न छोड़ सकते हैं, जैसे कि संशोधित शक्ति स्पेक्ट्रम, लेकिन वर्तमान डेटा में ऐसे कोई संकेत नहीं दिखते। - **इंटरफेरोमीटर शोर**: अंतरिक्ष-समय का फोम गुरुत्वाकर्षण तरंग डिटेक्टरों (उदाहरण के लिए, LIGO) में शोर डाल सकता है, लेकिन संवेदनशीलता प्लaink स्केल से बहुत दूर है। ये रास्ते, हालांकि आशाजनक, ऊर्जा स्केलों और कॉस्मिक तनुकरण द्वारा सीमित हैं, जो केवल असततता के अप्रत्यक्ष संकेत प्रदान करते हैं।

दार्शनिक निहितार्थ: सिमुलेशन या क्वांटाइज़्ड वास्तविकता?

यदि असततता का पता चलता है, तो क्या यह सिमुलेशन की पुष्टि करता है? जरूरी नहीं। एक क्वांटाइज़्ड ब्रह्मांड एक असतत संरचना के साथ एक भौतिक वास्तविकता हो सकता है, न कि एक गणनात्मक कलाकृति। सिमुलेशन परिकल्पना को अतिरिक्त धारणाओं की आवश्यकता होती है (उदाहरण के लिए, उच्च-स्तरीय वास्तविकता, गणनात्मक इरादा), जिन्हें भौतिकी परीक्षण नहीं कर सकती। प्लaink स्केल पर पिक्सल्स का पता लगाना भौतिकी में क्रांति ला देगा, लेकिन सिमुलेशन प्रश्न को तत्वमीमांसीय छोड़ देगा, क्योंकि हम सिस्टम के आंतरिक नियमों तक सीमित हैं। होलोग्राफिक सीमा (10^{122} बिट्स बनाम 10^{183} नोड्स) एक सीमित गणनात्मक ढांचे का सुझाव देती है, लेकिन यह एक भौतिक सीमा को प्रतिबिंबित कर सकता है, न कि सिमुलेशन।

निष्कर्ष

प्लaink स्केल यह सुझाव देता है कि अंतरिक्ष-समय क्वांटाइज़्ड हो सकता है, जो सिमुलेशन परिकल्पना का समर्थन करता है, जिसमें ब्रह्मांड एक प्लaink स्केल रिज़ॉल्यूशन के साथ एक गणनात्मक जाली है। होलोग्राफिक सीमा (10^{122} बिट्स) एक ऐसी सिमुलेशन की दक्षता को रेखांकित करती है जो एक सरल त्रि-आयामी जाली (10^{183} नोड्स) की तुलना में है। इस स्केल की जांच ब्लैक होल बैरियर द्वारा विफल हो जाती है, एक स्व-संनादन तंत्र जिसमें अंतरिक्ष-समय अपनी संरचना को छिपाने के लिए मुड़ता है। ऑप्टिकल तकनीकों से प्रेरित एक कण-आधारित सुपरलेंस सैद्धांतिक रूप से दिलचस्प है लेकिन ऊर्जा सीमाओं, सामग्रियों की अनुपस्थिति और क्वांटम गुरुत्वाकर्षण के कारण अव्यवहारिक है। अप्रत्यक्ष संकेत (उदाहरण के लिए, लोरेंज उल्लंघन, CMB विसंगतियाँ) आशा प्रदान करते हैं, लेकिन निर्णायक नहीं हैं। भले ही असततता मिल जाए, सिमुलेटेड और क्वांटाइज़्ड ब्रह्मांड के बीच अंतर दार्शनिक बना रहता है। प्लaink स्केल के पिक्सल्स, यदि मौजूद हैं, तो संभवतः हमारी पहुँच से बाहर हैं, शायद जानबूझकर डिज़ाइन किए गए हैं।