ANOMALIES & TENSIONS IN COSMOLOGY · COSMOVERSE ·

CosmoVerse Adventures

ज्यामितिक गुरुत्वाकर्षण

cost
EUROPEAN COOPERATION IN SCIENCE & TECHNOLOGY

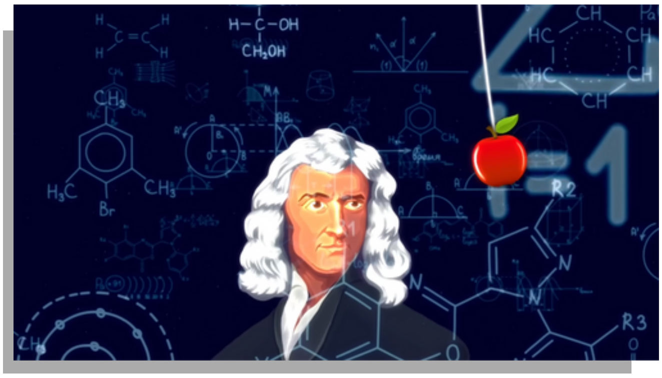
Funded by the European Union

कक्षा

परिचय: न्यूटन का गुरुत्वाकर्षण

शिक्षिका :
(सेब का एक टुकड़ा खाते हुए) सुप्रभात, युवा खोजकर्ताओं! क्या आप एक और कॉस्मोवर्स यात्रा के लिए तैयार हैं?

विद्यार्थी १ :
हमेशा, मैडम! आज का विषय क्या है?



आकृति १: सर आइजैक न्यूटन का कलात्मक चित्रण। छवि श्रेय: क्लोनस्क

शिक्षिका :
चलो, मैं आपको एक संकेत देती हूँ। आज का विषय एक ऐसे वैज्ञानिक ने पहली बार बताया था, जिसने गिरते हुए सेब को देखकर एक बड़ी खोज की थी। क्या आप में से कोई बता सकता है कि वह वैज्ञानिक कौन था और उसने क्या खोजा था?

विद्यार्थी २ :
वे सर आइजैक न्यूटन थे! उन्होंने गुरुत्वाकर्षण की खोज की थी।

शिक्षिका :
बहुत बढ़िया, सही कहा! आज हम गुरुत्वाकर्षण के बारे में बात करेंगे। लेकिन उससे पहले, चलिए यह वीडियो देखते हैं।

(शिक्षिका एक **वीडियो** चलाती है जिसमें एक गेंद और एक बड़ा पंख निर्वात कक्ष में गिर रहे हैं।)

वीडियो १: यह छंद बीबीसी के "मानव ब्रह्मांड" प्रलेख से लिया गया है।

शिक्षिका :
शुरू करने से पहले, क्या आप में से कोई बता सकता है कि पहले कौन गिरेगा?

विद्यार्थी ३ :
ऐसा लगता है कि गेंद पहले गिरेगी क्योंकि वह भारी है।

शिक्षिका :
चलिए ध्यान से देखते हैं।

विद्यार्थी आश्चर्यचकित होकर पंख और गेंद दोनों को एक साथ गिरते हुए देखते हैं।

विद्यार्थी ४ :
वाह, ये दोनों बिल्कुल एक साथ गिरे!

शिक्षिका :

सही कहा! निर्वात में हवा का प्रतिरोध नहीं होता। लेकिन सवाल यह है कि पंख और गेंद नीचे क्यों गिरते हैं? न्यूटन कहते हैं कि एक बल उन्हें नीचे खींचता है, जो है...?

विद्यार्थी २ :

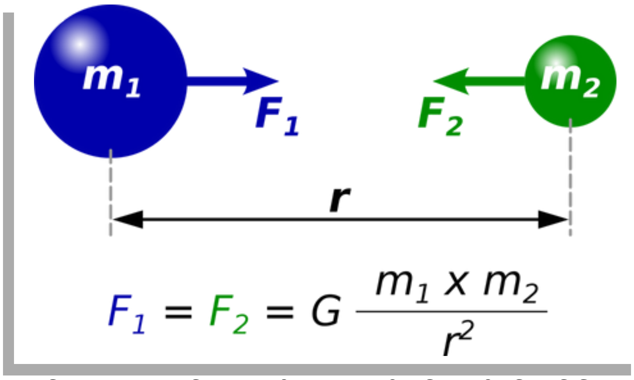
गुरुत्वाकर्षण?

शिक्षिका :

बिल्कुल सही! न्यूटन ने समझाया कि हर एक द्रव्यमान दूसरे द्रव्यमान को आकर्षित करता है। इस बल की ताकत वस्तुओं के द्रव्यमान और उनके बीच की दूरी पर निर्भर करती है। सब कुछ न्यूटन के बताए विधि अनुसार होता है—धरती सूर्य के चारों ओर घूमती है, चंद्रमा धरती के चारों ओर, और ब्रह्मांड भी न्यूटन के गुरुत्वाकर्षण के अनुसार काम करता है। (आकृति २ देखें)

विद्यार्थी ३ :

लेकिन सूर्य और पृथ्वी के बीच लगभग १५ करोड़ किलोमीटर की दूरी है, क्या इतनी दूरी पर भी इस बल का कोई प्रभाव पड़ेगा?



आकृति २: यह आकृति न्यूटन के गुरुत्वाकर्षण नियम के क्रियाविधि का प्रदर्शन करती है। इस बल की ताक़त उनके द्रव्यमानों के गुणनफल के समानुपाती तथा उनके बीच की दूरी के वर्ग के व्युत्क्रमानुपाती होता है। छवि श्रेय: क्रिस ह. हार्डी।

शिक्षिका :

शानदार सवाल! और यही सवाल वैज्ञानिकों ने भी पूछा था — इतनी विशाल दूरी पर गुरुत्वाकर्षण बल कैसे काम करता है, जैसे पृथ्वी और सूर्य के बीच? इसी प्रश्न का उत्तर लेकर एक युवा मुंशी आए जो स्विट्ज़रलैंड के एक पेटेंट कार्यालय में काम करते थे, एल्बर्ट आइंस्टाइन। उन्होंने गुरुत्वाकर्षण को लेकर एक क्रांतिकारी नजरिया अपनाया, जो एक सरल अवलोकन से प्रेरित था।

विद्यार्थी १ :

क्या उन्होंने भी किसी गिरते हुए सेब को देखा था?

आकृति ३: आइंस्टाइन बनाम न्यूटन के गुरुत्वाकर्षण के नियम। छवि श्रेय: क्लोनस्क

शिक्षिका :

(मुस्कुराते हुए) बिल्कुल नहीं। वह एक आदमी को इमारत की खिड़कियाँ साफ़ करते देख रहे थे और सोचा कि अगर वह आदमी नीचे गिर जाए तो क्या होगा। भले ही हमें यह सुनकर अजीब लगे, परंतु आइंस्टाइन ने इसे अपनी जिंदगी का 'सबसे खुशहाल विचार' कहा। यही विचार उन्हें भौतिकी के सबसे क्रांतिकारी सिद्धांतों में से एक की ओर ले गया।

विद्यार्थी ४ :

एक गिरता हुआ आदमी? इसका अंत तो अच्छा नहीं होगा।

शिक्षिका :

सही कहा, लेकिन आइंस्टाइन ने इसे अलग नजरिये से सोचा। वे प्रभाव पर ध्यान देने के बजाय सोच रहे थे कि वह खिड़की साफ़ करने वाला व्यक्ति गिरते समय क्या अनुभव करेगा। अब, आप सभी खुद को उस खिड़की साफ़ करने वाले की जगह रखें। आप गिरते समय क्या अनुभव करेंगे?

आकृति ४: आइंस्टाइन का सबसे खुशहाल वैचारिक प्रयोग, एक गिरता हुआ आदमी, जिसने उन्हें अपने सामान्य सापेक्षता का सिद्धांत दिया। छवि श्रेय: क्लोनस्क

विद्यार्थी २ :

डर? और हवा का ज़ोर से गुजरना? और शायद गुरुत्वाकर्षण मुझे नीचे खींच रहा होगा!

शिक्षिका :

क्योंकि तुम गिर रही हो, तुम्हारे ऊपर काम करने वाला एकमात्र बल गुरुत्वाकर्षण ही होगा। तुम्हारे पैरों के नीचे कोई जमीन नहीं होगी जो तुम्हें ऊपर धकेल रही हो, कोई कुर्सी नहीं होगी जो तुम्हें सहारा दे रही हो, तुम अपना कोई वजन महसूस नहीं करोगी। बिना हवा के प्रतिरोध के, तुम मुक्त गिरावट में रहोगी।

विद्यार्थी ३ :

ओह, ठीक वैसे ही जैसे वीडियो में गेंद और पंख! वे भी मुक्त गिरावट में थे, है ना?

शिक्षिका :

बिलकुल सही! मुक्त गिरावट में सब कुछ भारहीन महसूस होता है। आइंस्टाइन ने समझा कि इमारत से गिरने का अनुभव अंतरिक्ष में तैरने के अनुभव से अलग नहीं होगा। लेकिन इसे पूरी तरह समझने के लिए हमें अपनी कक्षा से बाहर निकलकर और आगे जाना होगा।

विद्यार्थी १ :

क्या हम छाया के साथ एक और साहसिक यात्रा पर जा रहे हैं?

शिक्षिका :

बिल्कुल! आइए हमारी ब्रह्मांडीय सखी छाया को बुलाते हैं, जो हमें कल्पना के अंतरिक्ष यान में लेकर जाए, और इस रोमांचक सिद्धांत को और गहराई से समझाए!

कल्पना का अंतरिक्ष यान

गुरुत्वाकर्षण की अनुभूति

छाया :

स्वागत है, युवा अन्वेषकों! क्या आप एक और ब्रह्मांडीय यात्रा के लिए तैयार हैं?

विद्यार्थी १ :

हम बिलकुल तैयार हैं! आज की योजना क्या है, छाया?

छाया :

आज हम गुरुत्वाकर्षण को ऐसे महसूस करेंगे जैसा आपने कभी नहीं किया होगा। अपनी कुर्सी की पेटी बाँध लीजिए!

(सभी विद्यार्थी जल्दी-जल्दी अपनी कुर्सी पर बैठ जाते हैं, और अंतरिक्ष यान उड़ान भरता है। जैसे ही वे अंतरिक्ष में पहुँचते हैं, विद्यार्थी अंतरिक्ष यान के अंदर तैरने लगते हैं।)

विद्यार्थी २ :

यह अद्भुत है! हम तैर रहे हैं, ऐसा लग रहा है जैसे बिना पानी के तैरना!

छाया :

ऐसा इसलिए है क्योंकि हमारा अंतरिक्ष यान एक समान गति से चल रहा है, इसलिए तुम किसी बल या वजन को महसूस नहीं करते। क्या तुम्हें न्यूटन का पहला गति नियम याद है?

विद्यार्थी ३ :

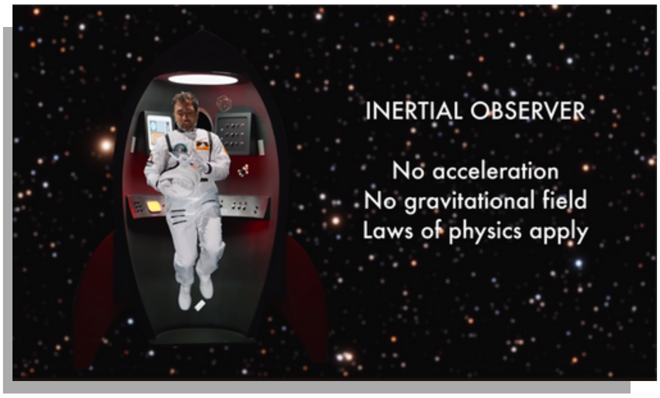
हाँ, कोई वस्तु जो स्थिर है या सीधे रेखा में समान गति से चल रही है, वह तब तक ऐसी ही बनी रहती है जब तक उस पर कोई बाहरी बल प्रभाव न डाले।

छाया :

सही कहा! अभी तुम एक आदर्श जड़त्वीय पर्यवेक्षक हो। यहाँ सभी वस्तुएं तुम्हारे सापेक्ष स्थिर हैं। तुम तेज़ी से नहीं बढ़ रहे, ना ही किसी गुरुत्वाकर्षण क्षेत्र में हो, और भौतिकी के सभी नियम वैसे ही लागू होते हैं जैसे तुम्हें उम्मीद है।

विद्यार्थी ४ :

तो इसका मतलब यह है कि हमारे पास ऐसा कोई प्रयोग नहीं है जिससे हम अपनी आरंभिक संदर्भ फ्रेम को किसी दूसरी फ्रेम से अलग कर सकें?



आकृति ५: जड़त्वीय पर्यवेक्षक एक आदर्श पर्यवेक्षक है जिसका किसी जड़त्वीय प्रणाली के सापेक्ष त्वरण नहीं होता। छवि श्रेय: वेरिटासियम

छाया :

एकदम सटीक! अब मैं कुछ देर के लिए खिड़कियाँ बंद करती हूँ।

(अंतरिक्ष यान धरती की ओर गिरने लगता है)

छाया :

क्या अब तुम्हें कोई अंतर महसूस हो रहा है?

विद्यार्थी ४ :

मुझे तो अभी भी वैसा ही लग रहा है, जैसे तैर रही हूँ।

छाया :

दिलचस्प है, है ना? अब मैं खिड़कियाँ खोलती हूँ।

विद्यार्थी १ :

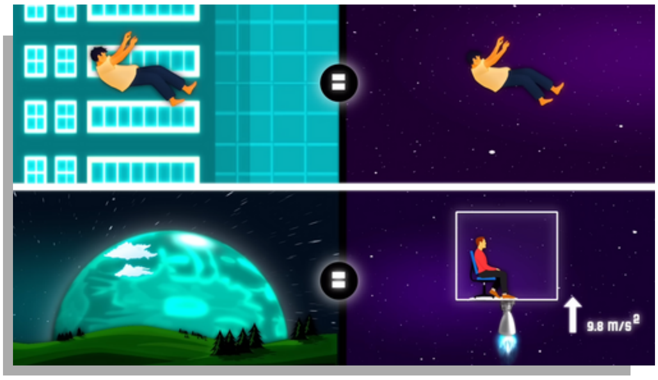
हम सीधे पृथ्वी की ओर जा रहे हैं! लेकिन मुझे यह अनुभव क्यों नहीं हो रहा?

छाया :

हम मुक्त गिरावट (free fall) में हैं। अंतरिक्ष यान और हम सब एक ही दर से नीचे गिर रहे हैं। हमारे विरुद्ध कोई बल काम नहीं कर रहा, इसलिए कुछ अनुभव भी नहीं हो रहा।

विद्यार्थी ४ :

अरे, बिलकुल वैसा ही जैसे आइंस्टाइन के वैचारिक प्रयोग में खिड़की साफ़ करने वाला आदमी।



आकृति ६: पृथ्वी पर मुक्त गिरावट = अंतरिक्ष में मुक्त गति। पृथ्वी पर गुरुत्वाकर्षण = अंतरिक्ष में ९.८ मीटर/सेकंड^2 की त्वरित गति; यानी त्वरित गति गुरुत्वाकर्षण उत्पन्न करती है। छवि श्रेय: क्लोनस्क।

छाया :

बिल्कुल सही! यह अनुभव एक जैसा है, चाहे तुम गहरे अंतरिक्ष में तैर रही हो या पृथ्वी की ओर गिर रही हो। सब सापेक्ष है।

विद्यार्थी २ :

सच में! यह सब नज़रिए और संदर्भ फ्रेम की बात है।

छाया :

चलिए, अब इसमें एक और परत जोड़ते हैं।

(छाया फिर से खिड़कियाँ बंद करती है, और अंतरिक्ष यान का मोटर इंजन चालू कर ९.८ मीटर/सेकंड^2 की त्वरित गति से ऊपर की ओर बढ़ती है)

विद्यार्थी ३ :

वाह! मुझे भारी लग रहा है, जैसे कोई मुझे ज़मीन पर धकेल रहा हो। क्या हम पृथ्वी पर उतर गए?

छाया :

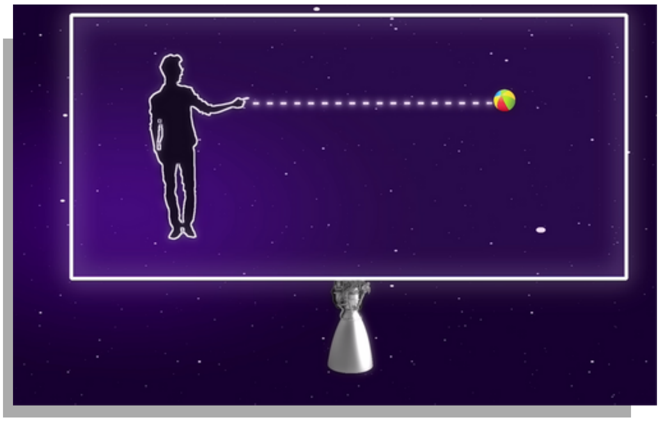
नहीं! अब हम ९.८ मीटर/सेकंड^2 की त्वरित गति से ऊपर बढ़ रहे हैं, जो पृथ्वी के गुरुत्वाकर्षण बल यानी १G के बराबर है।

विद्यार्थी २ :

ओह! इसलिए ऐसा लग रहा है जैसे हम पृथ्वी पर हैं। मैं फिर से दोनों में अंतर नहीं बता सकती।

छाया :

बिलकुल सही! हमने यह सीखा कि (पृथ्वी पर मुक्त गिरावट = अंतरिक्ष में मुक्त गति) और (पृथ्वी का गुरुत्वाकर्षण = अंतरिक्ष में ९.८ मीटर/सेकंड^2 की त्वरित गति)। इसे आइंस्टाइन का समतुल्यता सिद्धांत (equivalence principle) कहते हैं। अब हम इंजन बंद करते हैं ताकि फिर से तैर सकें। अब मैं इस गेंद को केंद्र की ओर धकेलती हूँ, सभी इसका रास्ता देखो।



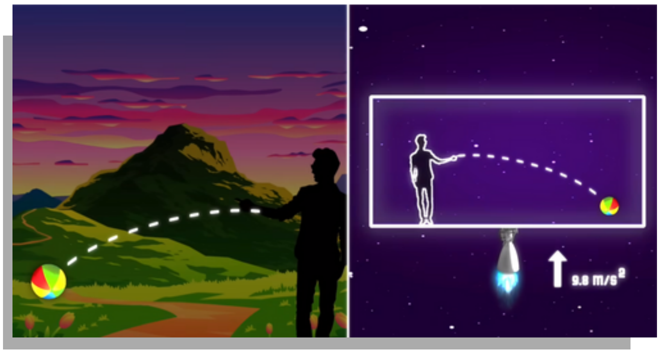
आकृति ७: यदि आप मुक्त गिरावट में एक गेंद फेकेंगे, तो वह सीधी रेखा में चलती रहेगी। छवि श्रेय: क्लोनस्क।

विद्यार्थी १ :

यह सीधी रेखा में चल रही है।

छाया :

अब हम इंजन चालू करके ९.८ मीटर/सेकंड^2 की त्वरित गति से ऊपर बढ़ते हुए गेंद को फिर से फेंकते हैं।



आकृति ८: एक ९.८ मीटर/सेकंड^2 के त्वरित यान में गेंद फेंकना = पृथ्वी पर गेंद फेंकना। छवि श्रेय: क्लोनस्क।

विद्यार्थी ४ :

अब गेंद एक वक्र रास्ते में गिरती है और यान के फ़र्श से टकराती है, बिल्कुल वैसे ही जैसे पृथ्वी पर होता है!

छाया :

बिल्कुल! लेकिन अगर यह गेंद एक प्रकाश किरण होती, तो क्या प्रकाश भी मुड़ता? आइंस्टाइन का जवाब था, हाँ।

विद्यार्थी २ :

लेकिन प्रकाश हमेशा दो बिंदुओं के बीच सबसे छोटा रास्ता ही लेता है, ना?

छाया :

सही, आइंस्टाइन ने यह माना कि सबसे छोटा रास्ता हमेशा सीधी रेखा नहीं होता। पृथ्वी की सतह के बारे में सोचो। दो बिंदुओं के बीच सबसे छोटा रास्ता एक वक्र होता है, सीधी रेखा नहीं, क्योंकि पृथ्वी की सतह भी वक्र है।

विद्यार्थी १ :

जैसे पृथ्वी पर हवाई जहाज़ के उड़ान मार्ग!

छाया :

बिलकुल सही! इन रास्तों को भुवक्र कहा जाता है। एक और उदाहरण लेते हैं, अगर हम पृथ्वी पर किसी जगह से सीधे उत्तरी ध्रुव की ओर जाएं। हमारे लिए तो यह सीधी रेखा होगी, लेकिन बाहरी पर्यवेक्षक को यह एक वक्र रास्ता लगेगा।

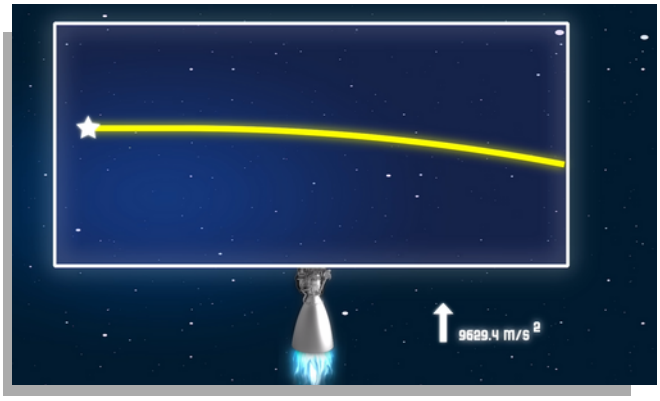
आकृति ९: भुवक्र को किसी स्थान में "सबसे सीधे संभव" रास्ते के रूप में समझा जा सकता है। पृथ्वी गोल है, इसलिए सबसे छोटा रास्ता सतह पर एक वक्र का पालन करता है। हवाई जहाज़ इन रास्तों का पालन करते हैं ताकि उड़ान की दूरी कम हो। छवि श्रेय: वेरिटासियम।

विद्यार्थी ४ :

तो, आइंस्टाइन का विचार था कि द्रव्यमान और ऊर्जा की मौजूदगी से किसी तरह अंतरिक्ष स्वयं को वक्रित कर देता है?

छाया :

हाँ, और यही कारण है कि उन्होंने १९१५ में अपना महत्वपूर्ण सामान्य सापेक्षता का सिद्धांत प्रकाशित किया था।



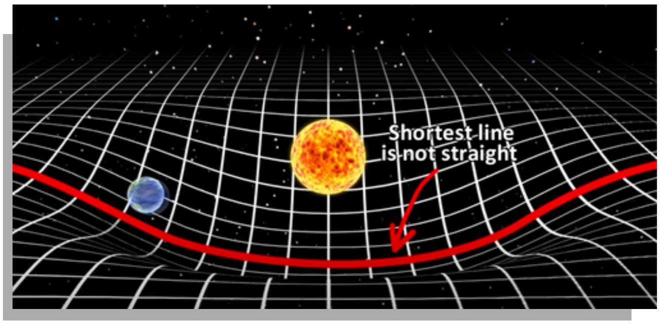
आकृति १०: जितनी अधिक गुरुत्वाकर्षण त्वरित गति होगी, उतना ही अधिक दिक्-काल (space-time) का वक्रण होगा, जिससे प्रकाश का मुड़ना ज्यादा स्पष्ट दिखेगा। छवि श्रेय: क्लोनस्क।

विद्यार्थी १ :

ठीक है, लेकिन भले ही यह मुड़ता है, हमारे लिए केवल ९.८ मी/सेकंड^2 की त्वरित गति पर इसे देखना मुश्किल होगा।

छाया :

सही कहा, तो चलो अपनी त्वरित गति बढ़ाते हैं ताकि तुम प्रकाश को मुड़ते देख सको।



आकृति ११: अत्यधिक द्रव्यमान वाली वस्तुओं के चारों-तरफ़ दिक्-काल के वक्रण की प्रदर्शनी, जहां लाल रेखा भुवक्र को दर्शाती है। इससे पता चलता है कि दो बिंदुओं के बीच सबसे छोटा रास्ता एक सीधी रेखा नहीं, बल्कि गुरुत्वाकर्षण द्वारा निर्धारित वक्र होता है। छवि श्रेय: अर्विन ऐश।

विद्यार्थी ३ :

वाह, आइंस्टाइन सही थे! लेकिन उनके समय में इसे कैसे प्रमाणित किया गया था?

छाया :

बहुत अच्छा सवाल! इसे समझने के लिए, चलो इस सिद्धांत के रचनाकार, प्रोफेसर एल्बर्ट आइंस्टाइन से मिलने चलते हैं।

वैज्ञानिक से मुलाक़ात

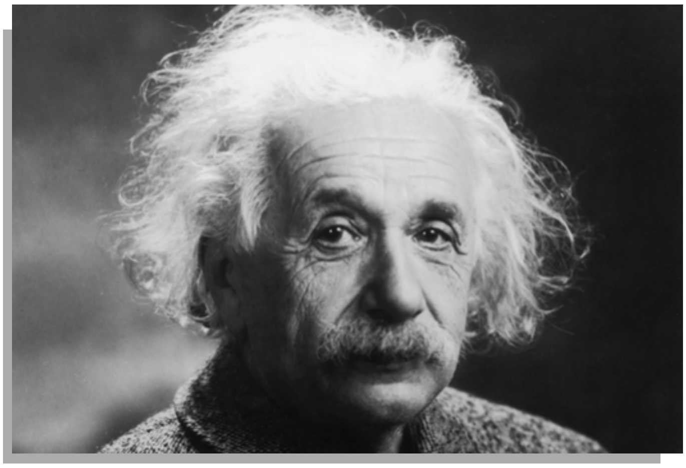
सामान्य एवं विशेष सापेक्षता का सिद्धांत

छाया :

विद्यार्थियों, मिलिए उस व्यक्ति से जिसने हमारे ब्रह्मांड की समझ को बदल दिया। एल्बर्ट आइंस्टाइन!

आइंस्टाइन :

गुटेन टाग, युवा खोजकर्ताओं! आप सबके साथ एक ब्रह्मांडीय पल साझा करके बहुत खुशी हुई।



आकृति १२: एल्बर्ट आइंस्टाइन। छवि श्रेय: कांग्रेस पुस्तकालय।

विद्यार्थी १ :

यह हमारे लिए सम्मान की बात है! छाया ने हमें आपकी सापेक्षता और दिक् के वक्रण जैसे क्षेत्रों में क्रांतिकारी खोज के बारे में बताया। लेकिन हम जानना चाहते हैं, आपके समय में इस तरह के असाधारण विचार को कैसे साबित किया गया?

आइंस्टाइन :

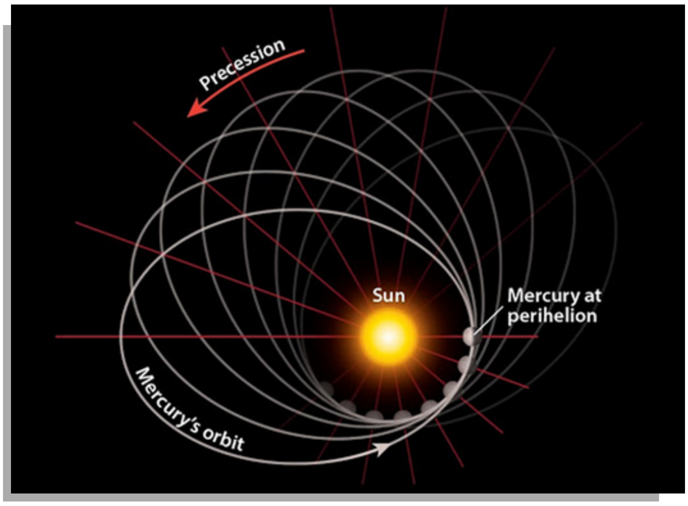
आह, अद्भुत जिज्ञासा! मेरे सिद्धांत को स्वीकार्यता पाने के लिए एक ऐसी भविष्यवाणी करनी पड़ी जो परीक्षण योग्य हो और अन्य व्याख्याओं से अलग हो। इसकी कुंजी बुध ग्रह के अनोखे कक्षीय मार्ग में थी।

विद्यार्थी २ :

ओह! क्या यह वही ग्रह है जो सूर्य के चारों ओर एक बंद दीर्घवृत्त में नहीं घूमता?

आइंस्टाइन :

बिल्कुल सही! बुध के कक्षा में एक अग्रगमन होता है, यानी इसकी दीर्घवृत्ताकार कक्षा कभी पूरी तरह बंद नहीं होती। इसके बजाय, हर परिक्रमा के साथ सूर्य से इसकी सबसे सुदूर बिंदु की प्रगति होती है। यह विसंगति वैज्ञानिकों के लिए एक पहेली थी क्योंकि न्यूटन के समीकरण इसे समझा नहीं पा रहे थे। लेकिन जब मैंने अपने वक्र दिक् के सिद्धांत का उपयोग किया, तब उसने बुध के अग्रगमन की बिलकुल सही भविष्यवाणी की!



आकृति १३: बुध ग्रह के बदलते कक्ष का अतिशय कलात्मक प्रदर्शन। इसे एल्बर्ट आइंस्टाइन के १९१५ के सामान्य सापेक्षता के सिद्धांत की पहली जीत के रूप में जाना गया।

विद्यार्थी ३ :

यह आपके लिए एक "यूरेका!" क्षण रहा होगा!

आइंस्टाइन :

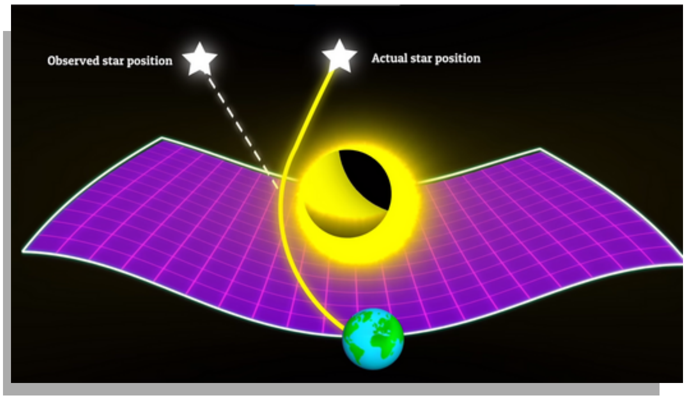
जी हाँ! कल्पना कीजिए, उस समय मैं ही एकमात्र व्यक्ति था जिसने इस ब्रह्मांडीय नृत्य को समझा। लेकिन जबकि बुध का अग्रगमन एक सफलता रही, मेरे कई साथी अभी भी शंका में थे।

विद्यार्थी ४ :

तब, आपने उन्हें कैसे मनाया?

आइंस्टाइन :

सबसे निर्णायक प्रमाण १९१९ में एक सूर्य ग्रहण के दौरान आया, जो मेरे सिद्धांत प्रकाशित होने के लगभग चार साल बाद था। एक अंग्रेज़ खगोलशास्त्री, आर्थर एडिंगटन, ने एक टोली का नेतृत्व किया और इस ग्रहण के दौरान सूर्य के पास तारों की तस्वीरें लीं। मेरे सिद्धांत की भविष्यवाणी थी कि सूर्य के गुरुत्वाकर्षण से बने दिक् के वक्रण के कारण तारों की रोशनी सूर्य के पास से गुजरते हुए मुड़ेगी।



आकृति १४: गुरुत्वाकर्षणीय लेंसिंग का प्रदर्शन, जहां तारों की रोशनी सूर्य के गुरुत्वाकर्षण से मुड़ती है, जिससे पृथ्वी से देखने पर वे आकाश में अलग स्थान पर दिखाई पड़ते हैं। यह प्रभाव सामान्य सापेक्षता द्वारा पूर्वानुमानित दिक्-काल के वक्रण को दर्शाता है। छवि श्रेय: क्लोनस्क।

छाया :

और यदि आइंस्टाइन सही थे, तो इन तारों की अवलोकित स्थिति उनके अपेक्षित स्थान से भिन्न होगी।

आइंस्टाइन :

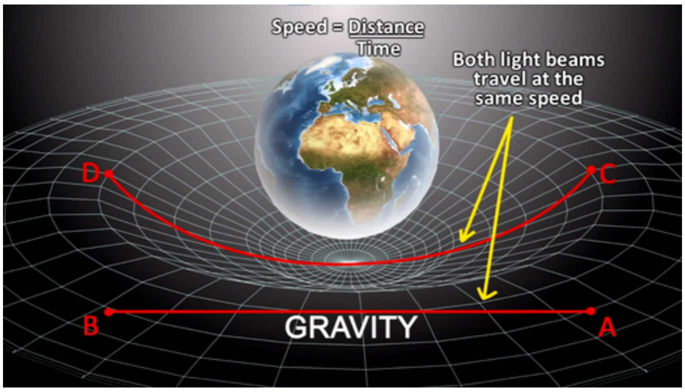
एकदम सटीक, छाया! जब एडिंगटन की टोली ने तस्वीरों का विश्लेषण किया, तो तारों की रोशनी बिल्कुल मेरी भविष्यवाणी के अनुसार मुड़ी पाई गई। यह प्रयोग मेरे सिद्धांत की ठोस पुष्टि थी और इसने भौतिकी का मार्ग हमेशा के लिए बदल दिया।

विद्यार्थी १ :

मैं दिक् के वक्रण को समझ पा रही हूं, लेकिन हम हमेशा “दिक्-काल" शब्द का उपयोग करते हैं, केवल दिक् का नहीं। समय इसमें कैसे सम्मिलित होता है?

आइंस्टाइन :

एक और अच्छा प्रश्न। इसका उत्तर देने के लिए हमें थोड़ा पीछे जाकर मेरे प्रथम सिद्धांत से मिलना होगा: विशेष सापेक्षता, जिसे मैंने १९०५ में प्रकाशित किया था। इस सिद्धांत का मूल यह है कि प्रकाश की गति हमेशा स्थिर रहती है, चाहे कोई व्यक्ति किसी भी दृष्टिकोण या संदर्भ फ्रेम में हो। तो, आप चाहे त्वरित गति से चल रहे हों या स्थिर हों, प्रकाश हमेशा एक ही गति से चलेगा।



आकृति १५: गुरुत्वाकर्षण क्षेत्र के प्रभाव में प्रकाश रेखा DC के द्वारा तय की गई दूरी निर्वात क्षेत्र में प्रकाश रेखा AB से अधिक होती है।प्रकाश की गति को समान रखने के लिए समय को गुरुत्वाकर्षण क्षेत्र में धीमा होना पड़ता है। छवि श्रेय: अर्विन ऐश

विद्यार्थी ३ :

परंतु प्रोफेसर आइंस्टाइन, इसका गुरुत्वाकर्षण और समय से क्या संबंध है?

आइंस्टाइन :

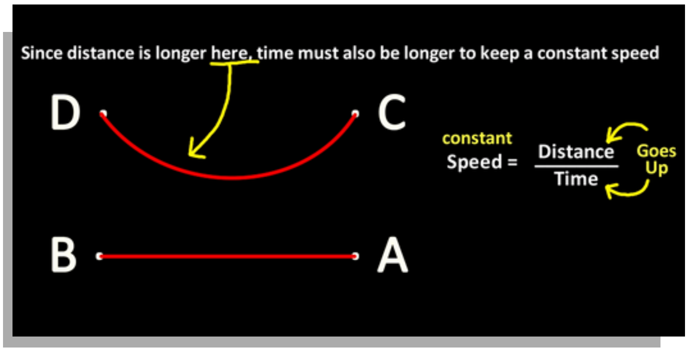
इसे ऐसे सोचते हैं: गति की परिभाषा दूरी को समय से भाग देने पर मिलती है (गति = दूरी/समय)। अब गुरुत्वाकर्षण क्षेत्र के समक्ष, प्रकाश का मार्ग दिक् के वक्रण की वजह से लंबा हो जाता है। यदि हम प्रकाश की गति को स्थिर मान लेते हैं, तो इसका प्रभाव समय पर पड़ेगा। निर्वात क्षेत्र के मुक़ाबले गुरुत्वाकर्षण क्षेत्र में समय का पसार धीमा हो जाएगा।

विद्यार्थी २ :

क्या आप यह कह रहे हैं कि दिक् के समान समय भी प्रकाश की दिशा को मोड़ सकता है?

आइंस्टाइन :

बिलकुल सटीक! गुरुत्वाकर्षण क्षेत्र में दिक् का वक्रण समय को भी प्रभावित करता है, जिससे यह सुनिश्चित होता है कि प्रकाश की गति स्थिर रहे। इस बुने हुए जाल को ही दिक्-काल कहते हैं।



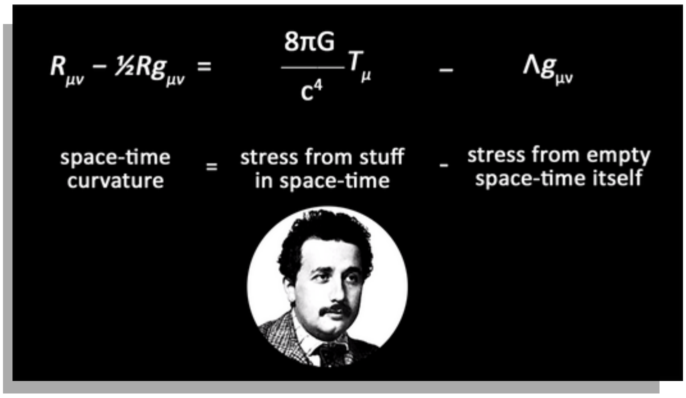
आकृति १६: क्योंकि DC के बीच दूरी ज़्यादा है, प्रकाश की गति स्थिर रखने के लिए समय को लंबा होना पड़ेगा। छवि श्रेय: अर्विन ऐश

छाया :

और इसे हमने कई बार परखा भी है। उदाहरण के लिए, पृथ्वी पर घड़ियाँ अंतर्राष्ट्रीय अंतरिक्ष स्टेशन (ISS) पर घड़ियों की तुलना में थोड़ी धीमी चलती हैं क्योंकि गुरुत्वाकर्षण की ताकत अलग होती है। साथ ही जीपीएस के उपग्रहों का तुल्यांकन पृथ्वी की घड़ियों के साथ करने के लिए इसकी आवश्यकता होती है। अगर इसको ध्यान में ना रखा जाए तो जीपीएस उपग्रह आपकी सही अवस्थिति का अनुमान नहीं दे पाएंगे।

विद्यार्थी ४ :

ओह! इससे मुझे फिल्म "इंटरस्टेलर" की याद आ रही है। उसमें एक ग्रह था जो ब्लैक होल के बहुत करीब था, जहाँ एक घंटा गुरुत्वाकर्षण क्षेत्र के बाहर सात साल के बराबर था। क्या यह भी आपके सिद्धांत पर आधारित था?



आकृति १७: आइंस्टाइन के सामान्य सापेक्षता सिद्धांत के क्षेत्र समीकरण, जो द्रव्यमान और ऊर्जा (जिनसे दिक्-काल में मौजूद वस्तुयें बल प्रकट करते हैं), साथ ही कॉस्मोलॉजिकल कांस्टेंट (जो निर्वात दिक्-काल का बल है) की वजह से दिक्-काल के वक्रण को दर्शाते हैं।छवि श्रेय: अर्विन ऐश।

आइंस्टाइन :

हालाँकि मैंने "इंटरस्टेलर" फ़िल्म नहीं देखा, परंतु अनुभव होता है कि उस फिल्म ने प्रबल गुरुत्वाकर्षण क्षेत्र में समय के खिंचाव को बहुत ही प्रभावशाली ढंग से प्रस्तुत किया है।

छाया :

ऐसा लगता है कि हमारी इस ब्रह्मांडीय यात्रा में और भी कई रहस्य हमारे इंतजार में हैं। आज हमें ज्ञान देने के लिए धन्यवाद, प्रोफेसर आइंस्टाइन।

आइंस्टाइन :

यह मेरा सौभाग्य है। हमेशा प्रश्न पूछते रहो, विचारशील रहो। ब्रह्मांड रहस्यों से भरा हुआ है जो उजागर होने का इंतजार कर रहे हैं।

एक्शन लैब

प्रदर्शन १: मुक्त गिरावट में पानी की बोतल

उद्देश्य :

वस्तुओं पर मुक्त गिरावट के प्रभाव को प्रदर्शित करना और आइंस्टाइन के सिद्धांत को समझना कि मुक्त गिरावट में वस्तुएं गुरुत्वाकर्षण का अनुभव नहीं करतीं।

तैयारी का समय : १० मिनट

गतिविधि का समय : १५ मिनट

आवश्यक सामग्री :

- एक प्लास्टिक की बोतल, जिसका ढक्कन कसकर बंद हो
- बोतल में छेद करने के लिए एक पिन या छोटा कील
- बोतल में भरने के लिए पानी
- टपकते पानी को रोकने के लिए प्लास्टिक की एक चादर

प्रदर्शन और चर्चा:

शिक्षिका :

ठीक है विद्यार्थियों, चलो अपने ज्ञान को परखते हैं! हमने मुक्त गिरावट और गुरुत्वाकर्षण के प्रभाव के बारे में बहुत कुछ सीखा है। आइए आइंस्टाइन के सिद्धांत को क्रिया में देखें।

(शिक्षिका पानी से भरी हुई बोतल दिखाती हैं, जिसमें कई छोटे-छोटे छेद हैं, जिनसे पानी बाहर निकल रहा है।)

आकृति १८: पानी से भरा हुआ बोतल, जिसमें कई छोटे-छोटे छेद हैं जिनसे पानी बाहर निकल रहा है। छवि श्रेय: giftofcuriosity,com

शिक्षिका :

जैसा की आप देख सकते हैं, गुरुत्वाकर्षण पानी को इस बोतल के छेदों से बाहर खींच रहा है। लेकिन आइंस्टाइन का सिद्धांत कहता है कि जब वस्तु मुक्त गिरावट में होती है, तो वह गुरुत्वाकर्षण को समान ढंग से अनुभव नहीं करती।

विद्यार्थी २ :

तो अगर हम इसे गिरा दें, तो पानी बाहर बहना बंद हो जाएगा क्योंकि वह मुक्त गिरावट में होगा?

शिक्षिका :

बिल्कुल सटीक! क्या आप देखना चाहते हैं? तीन से उलटी गिनती करें।

विद्यार्थीगण :

तीन, दो, एक,...

(शिक्षिका बोतल को गिराती हैं, और जैसे अनुमान था, बोतल गिरते समय पानी बहना बंद हो जाता है।)

विद्यार्थी ३ :

वाह! यह तो कमाल हो गया!

विद्यार्थी ४ :

तब गिरते समय बोतल के अंदर पानी भारहीनता का अनुभव कर रहा था?

शिक्षिका :

बिल्कुल सही। यही आइंस्टाइन के गुरुत्वाकर्षण सिद्धांत का सार है।

एक्शन लैब

प्रदर्शन २: रबर की चादर से बना दिक्-काल और गुरुत्वाकर्षण

उद्देश्य :

आइंस्टाइन के सामान्य सापेक्षता सिद्धांत के अनुसार दिक्-काल के वक्रण की अवधारणा को समझना और यह देखना कि विशाल वस्तुएं अपने आसपास के दिक्-काल को कैसे मोड़ती हैं।

तैयारी का समय : १० मिनट

गतिविधि का समय : १५ मिनट

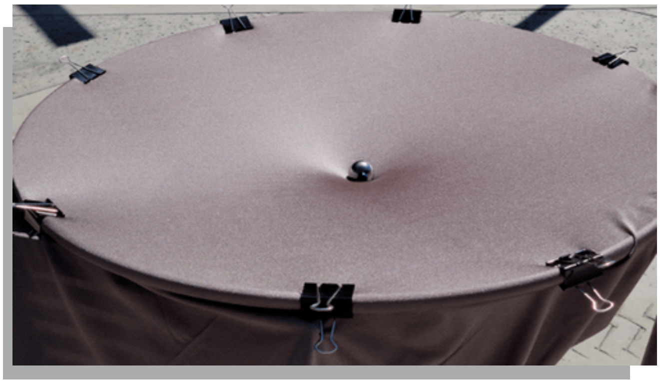
आवश्यक सामग्री :

- एक बड़ा, लचीला रबर का चादर या स्पैन्डेक्स कपड़ा
- चादर को फैलाने और टिका कर रखने के लिए फ्रेम या स्टैंड (वैकल्पिक)
- एक भारी गेंद (जैसे धातु या रबर की गेंद)
- छोटी गेंदें (जैसे कंचे या पिंग-पोंग गेंदें)

प्रदर्शन और चर्चा:

शिक्षिका :

चलिए, अब न्यूटन एवं आइंस्टाइन के गुरुत्वाकर्षण के सिद्धांतों का भेद समझते हैं। न्यूटन ने एक स्थिर दिक्-काल की कल्पना की थी, जहां गुरुत्वाकर्षण वस्तुओं के ऊपर लागू होने वाला रहस्यमयी बल है, भले ही वस्तुयें संपर्क में ना हों। इस सिद्धांत के अनुसार, गुरुत्वाकर्षण स्थिर दिक्-काल के आयाम में संचालित होता है, और उनपर कोई प्रभाव नहीं डालता।



आकृति १९: एक छोटे गोले को दूसरे केंद्रित भारी द्रव्यमान के कक्ष में धकेल दिया गया। छवि श्रेय: नासा/जेपीएल-काल्टेक | **+ चित्र को बड़ा करें**

विद्यार्थी २ :

हाँ। आइंस्टाइन ने प्रस्तावित किया कि गुरुत्वाकर्षण केवल वस्तुओं के बीच का बल नहीं है। बल्कि यह स्थान और भारी वस्तुओं के बीच अंतरक्रिया से उत्पन्न होता है।

शिक्षिका :

बहुत बढ़िया! इसे संक्षेप में कहें तो, जैसा कि जॉन व्हीलर ने बाद में इस सिद्धांत को १२ शब्दों में संक्षिप्त किया: “दिक्-काल पदार्थ का पथ-प्रदर्शन करता है; पदार्थ दिक्-काल का वक्रण बताता है।"

विद्यार्थी १ :

तो, ग्रहों की कक्षाएँ इस बात से निर्धारित होती हैं कि उनके चारों ओर दिक् का वक्रण कैसा है?

शिक्षिका :

सही! चलो एक रबर की चादर निकालते हैं और उसे फैलाते हैं। यदि हम दिक्-काल से सभी द्रव्यमान और ऊर्जा को निकाल दें, तो दिक् ऐसा दिखेगा। अब देखो क्या होगा जब मैं इसके केंद्र में एक भारी गेंद रखूँगी।

विद्यार्थी ४ :

यह चादर में एक गड्ढा बना रही है।

शिक्षिका :

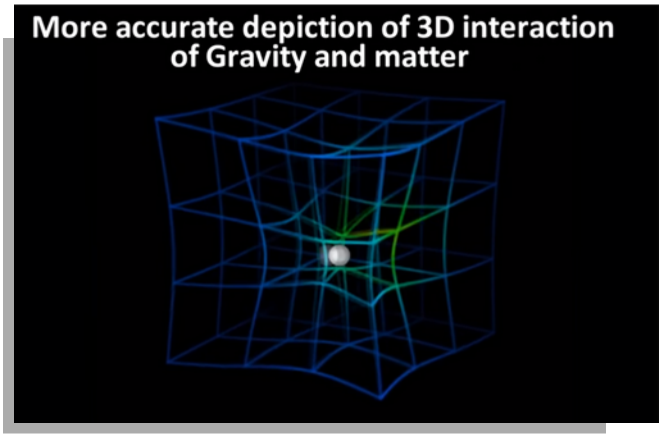
बिलकुल! यह भारी गेंद एक खगोलीय पिंड का प्रतिनिधित्व करती है, जैसे सूर्य। इसकी उपस्थिति दिक् को मोड़ती है। अब इन छोटी गेंदों को केंद्र की गेंद के चारों ओर फेंको।

विद्यार्थी ३ :

वाह, छोटी गेंदें केंद्रीय गेंद के चारों ओर घूमती हुई लग रही हैं, जैसे ग्रह सूर्य के द्वारा वक्रित दिक् में उसके चारों ओर घूमते हैं।

शिक्षिका :

सटीक! छोटी गेंद उस वक्र का पालन करेगी जो भारी वस्तु ने बनाया है। लेकिन याद रखें, यह तुलना केवल दो-आयामी तल में है, ताकि हम इसे समझ सकें। असली क्रिया तीन आयामों में होती है। वास्तविक ब्रह्मांड एक सपाट चादर नहीं है; बल्कि यह हर दिशा में फैला हुआ है।



आकृति २०: गुरुत्वाकर्षण और पदार्थ के तीन-आयामी (3D) अन्तरक्रिया का सटीक चित्रण। स्रोत: lucasvb.tumblr.com

विद्यार्थी २ :

धन्यवाद! इन दोनों प्रयोगों ने मुझे सिद्धांत और अभ्यास को जोड़ने में सहायता की।

शिक्षिका :

अद्भुत! आज हमारे कॉस्मोवर्स यात्रा में, हमने देखा कि गुरुत्वाकर्षण केवल एक रहस्यमय, दूर से क्रिया करने वाला बल नहीं है, बल्कि ब्रह्मांड के स्वयं के ताने-बाने — दिक्-काल — का वक्रण है। हमने आइंस्टाइन की महान दृष्टि का साक्षात्कार किया। अब जब हम अपनी दैनिक दिनचर्या में लौटते हैं, आइए उस विस्मय और जिज्ञासा को अपने साथ लेकर चलें, जिसने आज हमारी खोज का मार्गदर्शन किया, और ब्रह्मांड के गूढ़ रहस्यों को याद रखें जो हमारी खोज की प्रतीक्षा कर रहे हैं।

कॉस्मिक लाइब्रेरी

वीडियो :

क्यों गुरुत्वाकर्षण एक बल नहीं है?
सरल और दृश्यात्मक रूप से सामान्य सापेक्षता समझें
अगर प्रकाश का कोई द्रव्यमान नहीं, तो वह गुरुत्वाकर्षण से प्रभावित क्यों होता है?
सामान्य सापेक्षता सिद्धांत
आइंस्टाइन का विशेष सापेक्षता सिद्धांत | क्या सच में समय धीमा होता है?
ब्रायन ग्रीन से समझें सामान्य सापेक्षता का पूरा सिद्धांत
गुरुत्वाकर्षण प्रकाश को कैसे प्रभावित करता है?
विशेष सापेक्षता सिद्धांत का आधार | प्रकाश की गति स्थिर क्यों है?
विशेष सापेक्षता: द्रुतपाठ भौतिकी #४२
ब्रायन कॉक्स विश्व के सबसे बड़े निर्वात में| ह्यूमन यूनिवर्स - बीबीसी
गुरुत्वाकर्षण का दृश्य रूप

संवादात्मक :

ग्रहों के कक्षाओं का नमूना
सामान्य सापेक्षता जैसा आपने कभी नहीं देखा
सामान्य सापेक्षता पढ़ाने के लिए उपकरण: ॥ भुवक्र
दिक्-काल की अवधारणा
सापेक्षता अनुकारी
विशेष सापेक्षता: समय का खिंचाव

वेबसाइट एवं लेख :

आइंस्टाइन ऑनलाइन
सामान्य सापेक्षता
द स्पेस डॉक्टर का महान विचार

प्रलेख :

अल्बर्ट आइंस्टाइन के दिमाग़ के अंदर: सामान्य सापेक्षता का सिद्धांत प्रलेख
सामान्य सापेक्षता, नेशनल ज्यॉग्राफ़िक
अल्बर्ट आइंस्टाइन और सापेक्षता के सिद्धांत, हिस्ट्री चैनल
आइंस्टाइन का महान विचार, पीबीएस नोवा
आइंस्टाइन का ब्रह्मांड: सामान्य सापेक्षता के सिद्धांत समझें

प्रश्नोत्तरी :

सामान्य सापेक्षता का सिद्धांत
गुरुत्वाकर्षण का सामान्य सापेक्षता
सिद्धांत
सापेक्षता फ़्लैश कार्ड प्रश्नोत्तरी

खेल :

सापेक्षता १०१

शब्दावली

कॉस्मोलॉजिकल कॉन्स्टेंट (Cosmological Constant): आइंस्टाइन ने अपनी सामान्य सापेक्षता सिद्धांत में एक ऐसा शब्द जोड़ा था जिससे ब्रह्मांड स्थिर रह सके। अब इसे डार्क एनर्जी से जोड़ा जाता है।

समतुल्यता सिद्धांत (Equivalence Principle): सामान्य सापेक्षता में यह सिद्धांत कहता है कि किसी भारी पिंड (जैसे पृथ्वी) पर खड़े होकर गुरुत्वाकर्षण बल का अनुभव उसी तरह का होता है जैसा किसी त्वरणशील संदर्भ फ्रेम में अनुभव होने वाला आभासी बल।

मुक्त गिरावट (Free Fall): ऐसी गति जिसमें केवल गुरुत्वाकर्षण बल के अलावा और कोई बल कार्य नहीं करता है।

सामान्य सापेक्षता का सिद्धांत (General Theory of Relativity): अल्बर्ट आइंस्टाइन द्वारा विकसित गुरुत्वाकर्षण का एक सिद्धांत, जो गुरुत्व को बल नहीं, बल्कि दिक्-काल में असम द्रव्यमान से जन्म लेने वाली वक्रता का परिणाम मानता है।

भुवक्र (Geodesics): एक वक्रित दिक्-काल में दो बिंदुओं के बीच का सबसे छोटा मार्ग।

गुरुत्वाकर्षण क्षेत्र (Gravitational Field): किसी द्रव्यमान से चारों तरफ़ का वह क्षेत्र जिसमें कोई अन्य द्रव्यमान उसके गुरुत्वाकर्षण बल का अनुभव कर सकता है।

गुरुत्वाकर्षणीय लैंसिंग (Gravitational Lensing): एक घटना जिसमें दूर के किसी वस्तु से आने वाला प्रकाश एक भारी वस्तु के आसपास मुड़ जाता है, ठीक वैसे ही जैसे एक काँच के टुकड़े से होता है।

जड़त्वीय पर्यवेक्षक (Inertial observer): ऐसा पर्यवेक्षक जो त्वरण नहीं कर रहा होता और भौतिकी के नियमों को सामान्य, अनुमानित रूप में देखता है।

प्रकाश का मुड़ना (Light Bending): एक घटना जिसमें किसी भारी वस्तु के पास से गुजरने वाली प्रकाश की किरणें दिक्-काल की वक्रता के कारण मुड़ जाती हैं, जैसा कि आइंस्टीन के सामान्य सापेक्षता सिद्धांत ने बताया।

न्यूटन का सार्वभौमिक गुरुत्वाकर्षण सिद्धांत (Newton's Law of Universal Gravitation): आइजैक न्यूटन का सिद्धांत कि प्रत्येक द्रव्यमान दूसरे द्रव्यमान को आकर्षित करता है, और यह बल उनके द्रव्यमानों के गुणनफल के समानुपाती तथा उनके बीच की दूरी के वर्ग के व्युत्क्रमानुपाती होता है।

बुध का अग्रगमन (Precession of Mercury): बुध ग्रह के कक्षा के धीरे-धीरे बदलने की प्रक्रिया, जिसे सामान्य सापेक्षता सिद्धांत ने सही तरीके से समझाया, और यह सिद्धांत के लिए प्रारंभिक प्रमाण बना।

प्रमात्रा यांत्रिकी (Quantum mechanics): भौतिकी का एक मौलिक सिद्धांत जो परमाणु और उपपरमाणु स्तर पर पदार्थ और ऊर्जा के व्यवहार का वर्णन करता है।

दिक्-काल (space-time): चार-आयामी निरंतरता जो स्थान और समय को जोड़ती है। सापेक्षता के सिद्धांत के अनुसार, द्रव्यमान और ऊर्जा दिक्-काल को "मोड़" देती हैं, और इसी वक्रता को हम गुरुत्वाकर्षण के रूप में देखते हैं।

प्रकाश का वेग (Speed of Light): प्रकाश की वह स्थिर गति, जो निर्वात में लगभग २९९,७९२,४५८ मीटर प्रति सेकंड होती है।

समय का खिंचाव (Time Dilation): दो पर्यवेक्षकों द्वारा मापे गए समय में अंतर, जो उनके बीच की सापेक्ष गति या गुरुत्वाकर्षण के विभिन्न स्तरों के कारण होता है।

वर्महोल (Wormhole): दिक्-काल में एक काल्पनिक पुल या सुरंग, जो ब्रह्मांड के सुदूर बिंदुओं को जोड़ सकती है।

This article/publication is based upon work from COST Action CA21136 – "Addressing observational tensions in cosmology with systematics and fundamental physics (CosmoVerse)", supported by COST (European Cooperation in Science and Technology)

COST (European Cooperation in Science and Technology) is a funding agency for research and innovation networks. Our Actions help connect research initiatives across Europe and enable scientists to grow their ideas by sharing them with their peers. This boosts their research, career and innovation.

www.cost.eu

EUROPEAN COOPERATION IN SCIENCE & TECHNOLOGY

Funded by the European Union

ANOMALIES & TENSIONS IN COSMOLOGY
COSMOVERSE