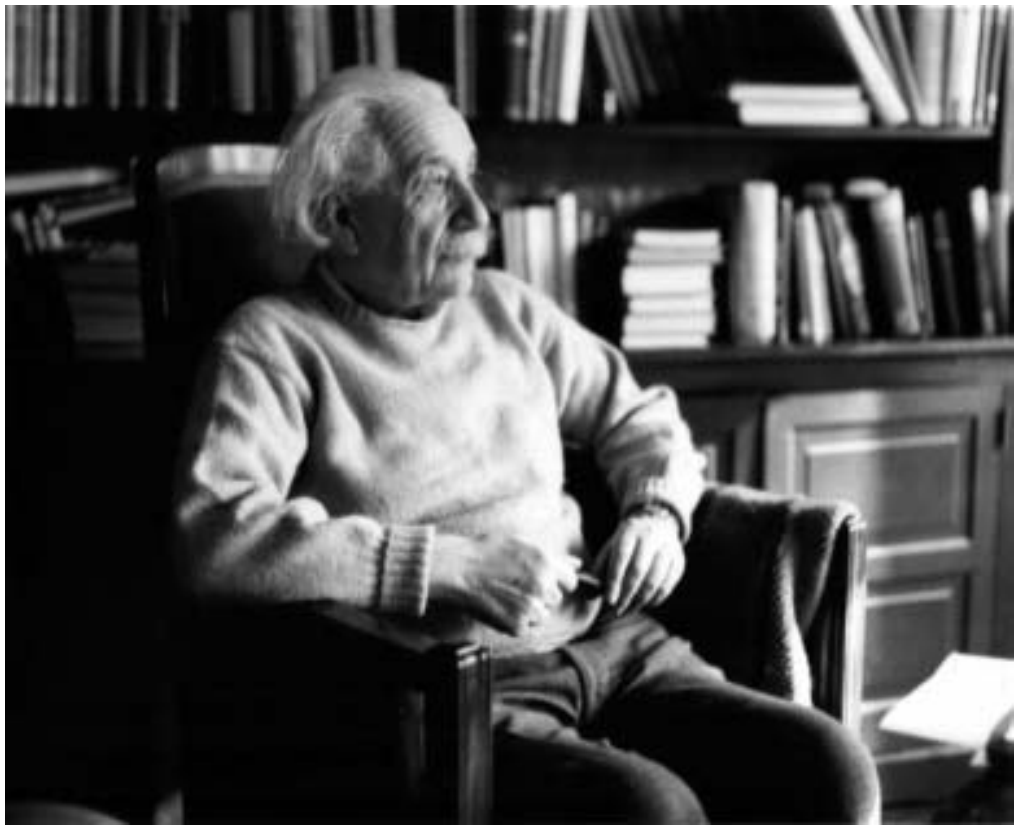
आइन्स्टाइन के आपेक्षिकता के सिद्धांत तथा ब्रह्मांड की संरचना

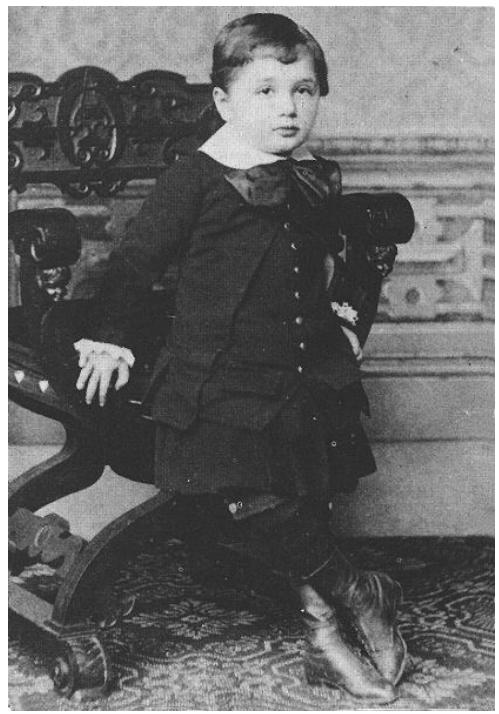
अजित मोहन श्रीवास्तव
भौतिक विज्ञान संस्थान
भुवनेश्वर



पहले - आइन्स्टाइन के जीवन तथा उनके विचारों के बारे में

भौतिकी में उनका योगदान तथा उनका चिन्तन, उनके स्वतन्त्र विचार
इस सबसे हम बहुत कुछ सीख सकते हैं।

अलबर्ट आइन्स्टाइन का जन्म जर्मन देश के
उल्म शहर में मार्च 14, सन 1879 में हुआ था



पिता - हर्मन

माता - पोलीन

बचपन

आइन्स्टाइन जब 4-5 साल के थे, तब उन्होंने एक चमत्कार देखा -

एक कुतुबनुमा - चुम्बकीय दिक्सूचक

उसकी सुई एक अदृश्य बल से प्रभावित हो कर उत्तर दिशा की ओर घूम जाती थी ---- उनको लगा जेसे इस सबके पीछे कोई छिपी हुई चीज हो

" इससे वह बच्चा इतना अधिक उत्साहित हुआ कि
वह रोमांचित हो गया, और एकदम स्तब्ध रह गया। "

पढ़ाई में उनके अधिकतर अच्छे नम्बर आते थे, और वे गणित में बहुत कुशल थे

परन्तु, उन्हे अपने छात्र जीवन के वर्ष अच्छे नही लगे, क्योकि -

अध्यापकों का सामन्तवादी स्वभाव, छात्रों का स्वामिभक्ति जैसा व्यवहार, बिना समझे, रट कर याद करने का तरीका - यह सब उनको एकदम अस्वीकार था।

जब वह 15 साल के थे, तब वह विद्यालय छोड़ कर अपने माता-पिता के साथ इटली देश चले गये ।

बिना किसी खास उपलब्धि के, आइन्स्टाइन ने सन 1900 में अपनी पढ़ाई खत्म की

उन्होने विश्वविद्यालय में भौतिकी और गणित पढ़ाने की नौकरी के लिये बहुत प्रयास किये, पर वे सफ़ल नही हुए

क्योकि उनका परिवार मध्यम वर्ग का था, इसलिये अपनी जिम्मेदारियो को समझते हुए उन्होने बर्न शहर में एक पेटेन्ट कार्यालय मे नौकरी कर ली

उन्होंने कहा - यह उन के लिये एक मुक्ति की तरह था। मासिक वेतन, और पेटेन्ट पढ़ने के काम ने उन्हे वह आवश्यक समय दिया, जो वह अपने विचारों ओर भौतिकी की मूलभूत समस्याओं में लगा सकते थे

1887 - माइकेल्सन और मोर्ले ने प्रकाश की गति पर महत्वपूर्ण प्रयोग किये

1900 - मैक्स प्लैन्क ने विकिरण के क्वान्टमीकरण का सिद्धान्त दिया

इनके आधार पर, अगला महत्वपूर्ण कदम लेते हुए, आइन्स्टाइन ने निम्नलिखित विषयों पर शोध पत्र लिखे

1905मार्च - प्रकाश विद्युत प्रभाव (प्रकाश का क्वांटम सिद्धांत)

1905 मई - ब्राउनी गति

1905 जून - आपेक्षिकता का विशिष्ट सिद्धांत (स्पेशल थ्योरी ओफ़ रिलेटिविटी)

1905 सितंबर - $E = m c^2$

आइन्स्टाइन ने सन 1915 में आपेक्षिकता का व्यापकीकृत सिद्धांत प्रस्तुत किया (जनरल थ्योरी ओफ़ रिलेटिविटी)

आइन्स्टाइन का सबसे क्रान्तिकारी योगदान है - काल और समय की पुरानी अवधारणाओं का उन्मूलन करके एक नयी काल-समय की समन्वित अवधारणा का विकास करना ।

यह उन्होंने अपने आपेक्षिकता के विशिष्ट और व्यापकीकृत सिद्धातों के द्वारा किया ।

उनके शोधकार्य को विचारों की सपूंर्ण स्वतत्रंता का स्वरूप माना जा सकता है

इब्राहिम पाइस ने लिखा है - अगर मुझसे आइन्स्टाइन के जीवन को एक वाक्य में लिखने को कहा जाये तो मैं क हू गां - मै जितने भी लोगों को जानता हूं, आइन्स्टाइन उन सबसे अधिक स्वतत्रं थे ।

आपेक्षिकता का विशिष्ट सिद्धांत - आपेक्षिकता सिद्धांत का क्या अर्थ है ?

इसको समझने के लिये हम न्यूटन के गति के नियमों से प्रारंभ करते हैं -

1) पहला नियम - यदि किसी वस्तु (पिंड) पर कोई बल न लग रहा हो, तो उसके वेग (जो शून्य भी हो सकता है) में कोई परिवर्तन नहीं होगा
2) दूसरा नियम - बल = द्रव्यमान X त्वरण
3) तीसरा नियम - हर क्रिया के बराबर और विपरीत प्रतिक्रिया होती है

परन्तु यह नियम केवल तभी लागू होते हैं, जब प्रयोग करने वाला व्यक्ति स्वंय त्वरित न हो

प्रश्न - त्वरण किसके संबन्ध से ?

ध्यान देने वाली बात है कि दूसरे नियम से यह निष्कर्ष निकलता है कि यदि किसी वस्तु पर लगने वाला बल शून्य हो तो उस वस्तु का त्वरण भी शून्य होगा।

फिर पहले नियम की क्या आवश्यकता है ?

अनुभव से हम जानते हैं कि न्यूटन के नियम तब लागू होते हैं जब प्रयोग एक स्थिर कमरे में किये जायें, या फिर एक रेलगाड़ी के डिब्बे में यदि रेलगाड़ी समान वेग से चल रही हो ।

रेलगाड़ी, कमरा आदि के स्थान पर हम एक निर्देश फ्रेम (निर्देश तंत्र) शब्द का उपयोग करते हैं

अर्थात, न्यूटन के नियम तब लागू होते हैं जब निर्देश फ्रेम का त्वरण शून्य हो

इसमें समस्या यह है कि किसी का त्वरण एक व्यक्ति के संदर्भ में शून्य हो सकता है, और दूसरे व्यक्ति के संदर्भ में कुछ और हो सकता है

उदाहरण के लिये - एक अंतरिक्ष यान में, हम कैसे जान सकते है कि न्यूटन के नियम लागू होंगे या नहीं

यहीं पर हमें न्यूटन के पहले नियम का महत्व मालूम होता है -

हम कहते हैं कि किसी निर्देश फ्रेम का त्वरण तब शून्य होगा जब उसमें न्यूटन का पहला नियम सही सिद्ध हो - अर्थात, किसी बल के अभाव में एक स्थिर वस्तु, स्थिर ही रहे ।

ऐसे निर्देश फ्रेमों को (जिनमें न्यूटन का पहला नियम लागू होता हो), जड़त्वीय फ्रेम (इनर्शियल फ्रेम) कहते हैं ।

हम कह सकते हैं कि, न्यूटन का पहला नियम, जड़त्वीय फ्रेम की परिभाषा देता है, और न्यूटन के बाकी दो नियम एक जड़त्वीय फ्रेम में ही लागू होते है। अतः न्यूटन के नियमों से जड़त्वीय फ्रेमों में पिंडों की गतिकी का अध्ययन किया जा सकता है

वस्तुओं की गतिकी के संपूर्ण वर्णन के लिये यह आवश्यक है कि हम यह भी बता सकें कि किसी वस्तु की गति विभिन्न जड़त्वीय फ्रेमों में कैसी होगी, जो एक दूसरे के संदर्भ में समान वेग से गतिमान हों ।

वेग, त्वरण, आदि को एक जड़त्वीय फ्रेम से दूसरे फ्रेम में रूपांतरित करने के लिये हमें आपेक्षिकता सिद्धांत की आवश्यकता होती है ।

अर्थात, गतिकी के अध्ययन के लिये, एक आपेक्षिकता सिद्धात अनिवार्य है ।

आइन्स्टाइन के विशिष्ट आपेक्षिकता सिद्धात के पहले भी एक आपेक्षिकता सिद्धात था -

उसको गैलीलियो का आपेक्षिकता सिद्धात कहते थे

गैलीलियो ने कहा - यदि एक जहाज समान वेग से चल रहा हो, तो उस पर किये गये सभी प्रयोगों का वही परिणाम होगा जो एक स्थिर जहाज पर होता है ।

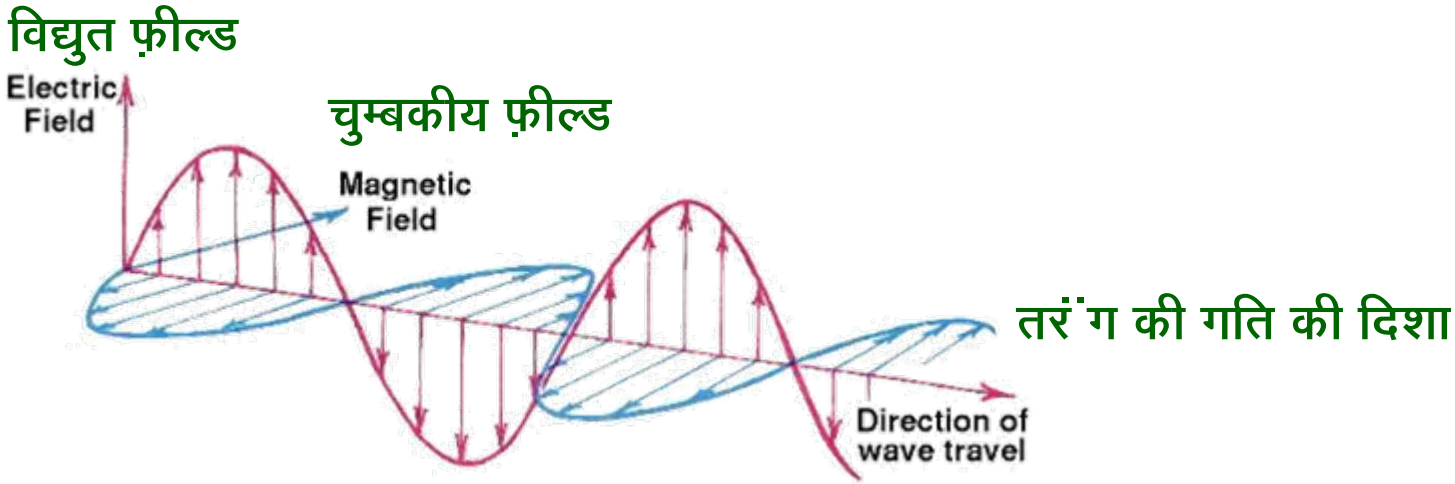
न्यूटन के नियमों के लिये, गैलीलियो के आपेक्षिकता सिद्धात से हम दो विभिन्न जड़त्वीय फ्रेमों में (जो एक दूसरे के सापेक्ष में वेग u से चल रहे हों), वेग, और निर्देशांकों का रूपांतरण कर सकते हैं ।

$$x' = x - v t \; ; \quad u' = u - v$$

अतः स्थिति और वेग, विभिन्न फ्रेमों में भिन्न दिखते हैं ।

महत्वपूर्ण - यहां समय सभी फ्रेमों में समान है - $t = t`$

गैलीलियो के आपेक्षिकता सिद्धात और मैक्सवेल के विद्युत-चुम्बकत्व के सिद्धात में मूलभूत विरोध -



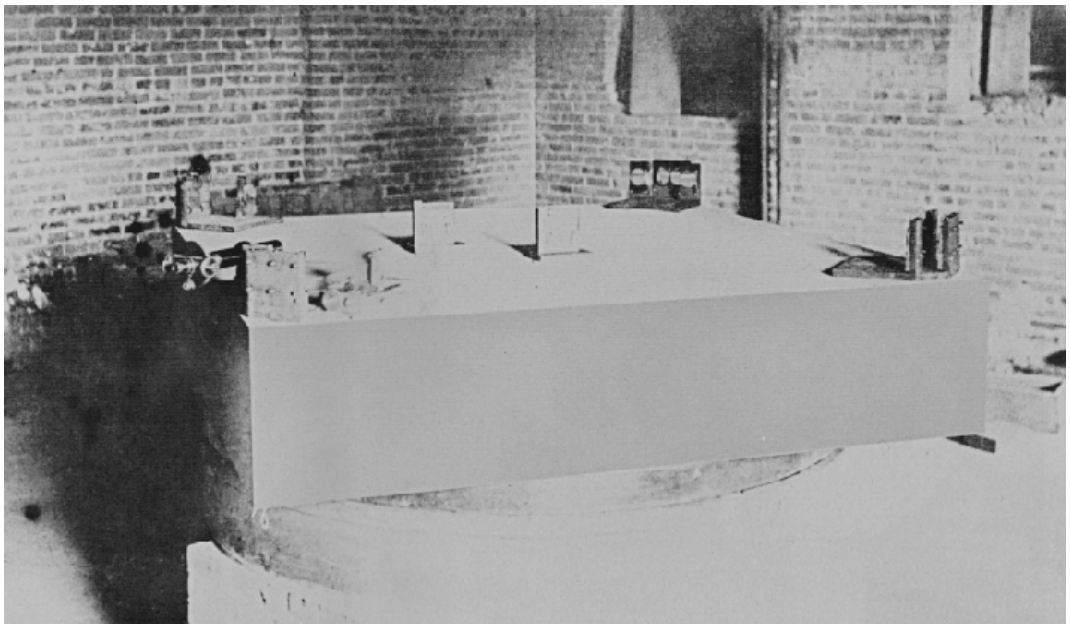
प्रकाश की गति $c = 3 \times 10^8$ m/sec

यदि एक टार्च की गति c हो, और उससे, प्रकाश टार्च की गति की विपरीत दिशा में निकले, तो उस प्रकाश की गति शून्य होनी चाहिये - $c` = c - c = 0$

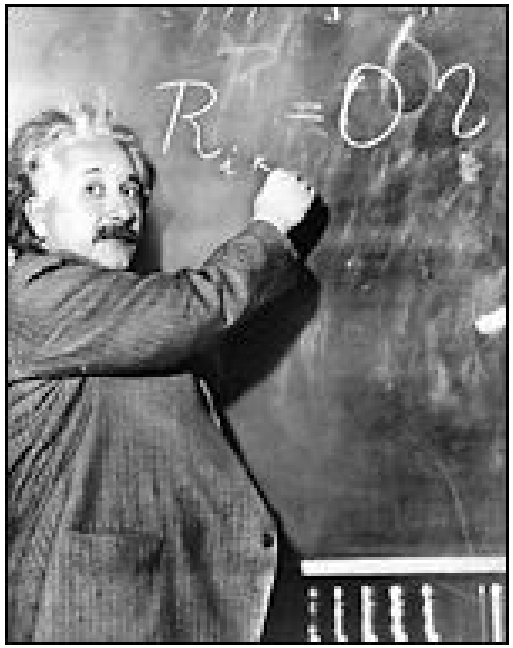
यह निष्कर्ष मैक्सवेल के विद्युत-चुम्बकत्व के सिद्धात के विरुद्ध है -

माइकेल्सन मोर्ले का प्र योग (सन 1887)

उन्होंने प्रकाश स्त्रोत की गति के फ़लस्वरूप, प्रकाश की गति में परिवर्तन का अध्ययन किया



प्रकाश की गति में कोई भी परिवर्तन नहीं पाया गया



अलबर्ट आइन्स्टाइन का आपेक्षिकता का विशिष्ट सिद्धात

दो अभिधारणाएं -

1) भौतिकी के नियम, सभी जड़त्वीय फ़्रेमों में एक जैसे होते हैं - अर्थात, सभी जड़त्वीय फ़्रेम हर तरह से तुल्य (समान) हैं ।

2) प्रकाश की गति उसके स्त्रोत की गति पर निर्भर नहीं करती है ।

इन अभिधारणाओं के फ़लस्वरूप गैलीलिओ के आपेक्षिकता सिद्धांत के निर्देशाकों के नियम निम्नलिखित रूप से बदल जाते हैं -

$$x' = (x - vt)/(1-v^2/c^2)^{1/2}$$

$$t' = (t - v\,x/c^2)/(1-v^2/c^2)^{1/2}$$

महत्वपूर्ण - समय अब सब फ़्रेमों में एक समान नहीं है

नये सिद्धांत के अनुसार -

गतिमान फ़्रेमों में घड़ियां धीरे चलती हैं

काल वृद्धि का सूत्र -

$$t' = t_0 / \sqrt{1-v^2/c^2}$$

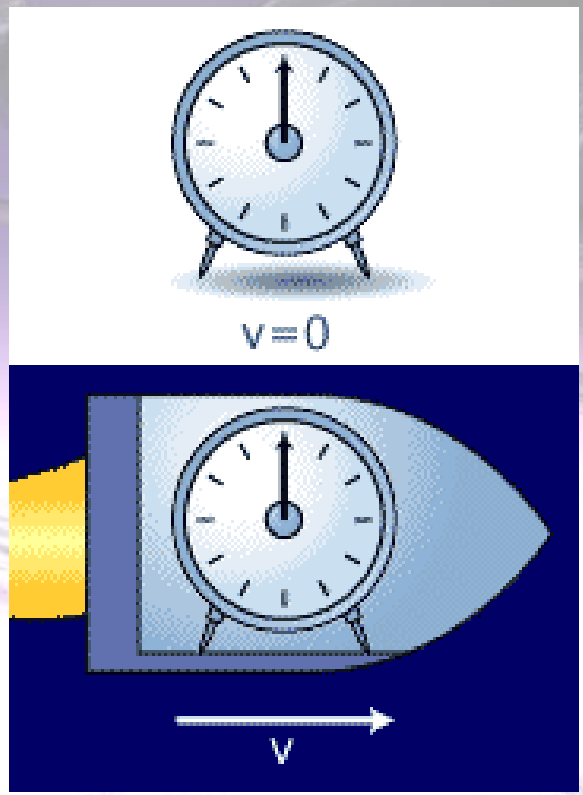
t′ – गतिमान फ़्रेम में समय

t_0 – स्थिर फ़्रेम में समय

एक और निष्कर्ष -

(किसी भी वस्तु का वेग बढा कर प्रकाश के वेग से अधिक नहीं किया जा सकता)

काल वृद्धि Time Dilation



काल वृद्धि -

जुड्वाओं का विरोधाभास

one twin leaves on a long journey at speeds comparable with c

एक जुड़वां बहन अंतरिक्ष यान से लगभग प्रकाश की गति से लम्बे समय के लिये जाती है

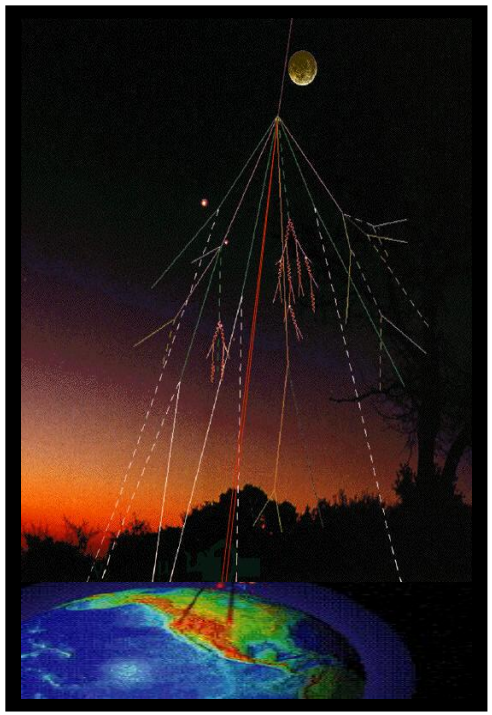
eventually she slows, stops, turns around and heads for home

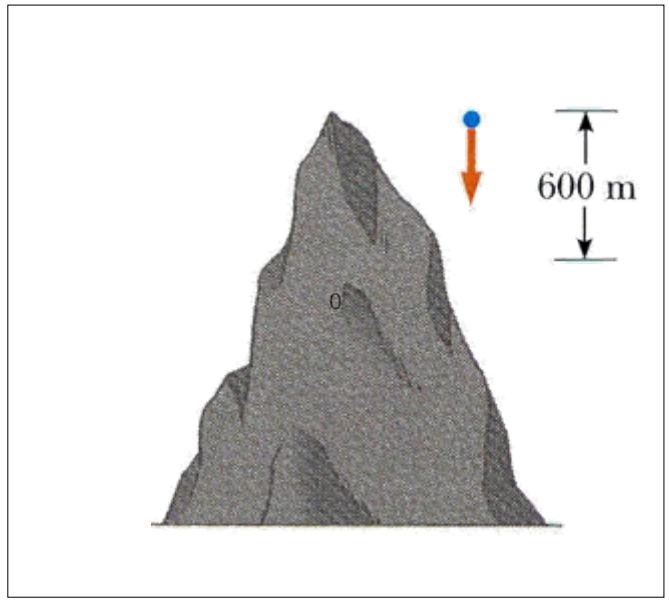
अंत में वह रुकती है, यान को मोड़ती है, और वापस आती है

to find that, during what seems to be a brief trip for her, her twin has become an old man

वह ये पाती है कि जो सफ़र उसे बहुत कम समय का लगा था, उतनी देर में, उसका जुड़वां भाई एक वृद्ध व्यक्ति हो गया है

काल वृद्धि का एक ज्वलंत उदाहरण - अंतरिक्ष किरणवर्षण





म्यू मेसोन कण अंतरिक्ष किरणवर्षण में प्रथ्वी की सतह से कई किलोमीटर ऊपर उत्पन्न होते हैं, और लगभग प्रकाश की गति से नीचे आते हैं । यह अस्थायी कण हैं, जिनका जीवन काल केवल 2×10^{-6} सेकेंड है । इतने समय में, वे केवल 600 मीटर तक जा सकते हैं । पर यह पाया जाता है कि वे समुद्र तल तक पहुच जाते हाईं, 0.998 c की गति के साथ ।

एसा इस लिये संभव है क्योंकि आइन्स्टाइन के सिद्धांत के अनुसार, तीव्र गति की वजह से हुई कालवृद्धि से उनका जीवनकाल बढ़ जाता है, और वे बहुत अधिक दूरी तय कर सकते हैं

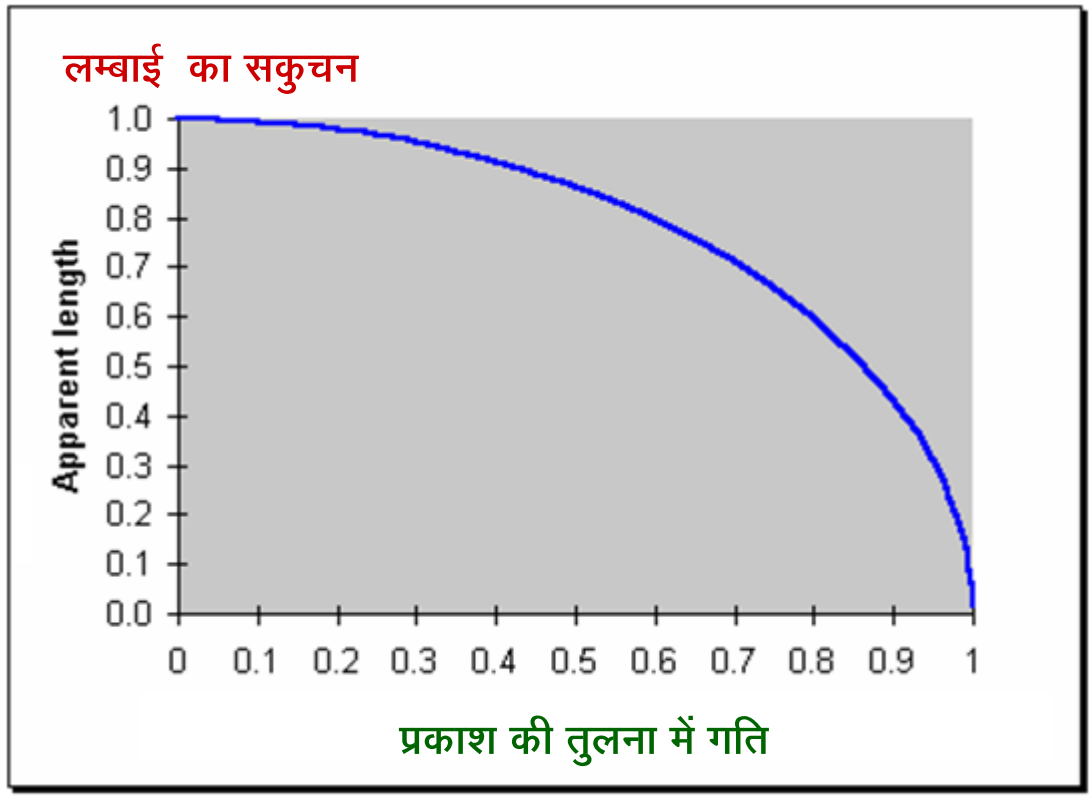
लम्बाई का संकुचन

एक गतिमान वस्तु की लंबाई, उसकी गति की दिशा में संकुचित हो जाती है ।

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

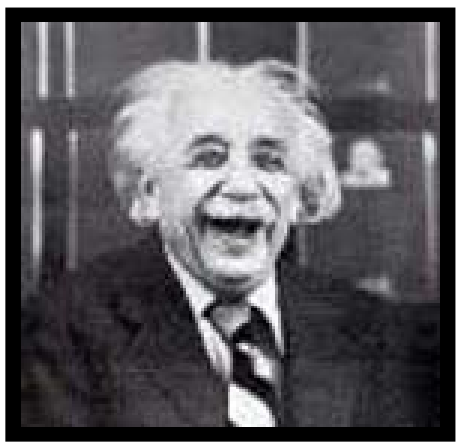
$L' = L / \gamma$

जब गति कम होती है तो यह संकुचन नगण्य होता है ।



जब गति प्रकाश की गति के पास पंहुचती है, तब लंबाई बहुत कम हो जाती है ।

बहुत तेज गति से दौड़ने पर, गति की दिशा में लंबाई कम हो जाती है



गति/c Velocity v/c	लंबाई का सकुचन Observed Length
0	1.000
0.2	0.980
0.4	0.917
0.6	0.800
0.8	0.600
0.9	0.436
0.95	0.312
0.99	0.141
0.995	0.100
0.999	0.045
0.9999	0.014

गति पर निर्भर द्रव्यमान व्रद्धि

आपेक्षिकता के विशिष्ट सिद्धांत से एक यह अनोखा निष्कर्ष निकलता है कि जब किसी वस्तु की गति प्रकाश की गति के बराबर पंहुचती है, तो उसका द्रव्यमान अनंत हो जाता है

$$m = m_0 / \sqrt{1-v^2/c^2}$$

यहां, m वस्तु का द्रव्यमान है जब वह v गति से चल रही हो, और m_0 वस्तु का स्थिर अवस्था में द्रव्यमान है ।

द्रव्यमान ? ऊर्जा ? या द्रव्यमान - ऊर्जा

$$E = mc^2$$

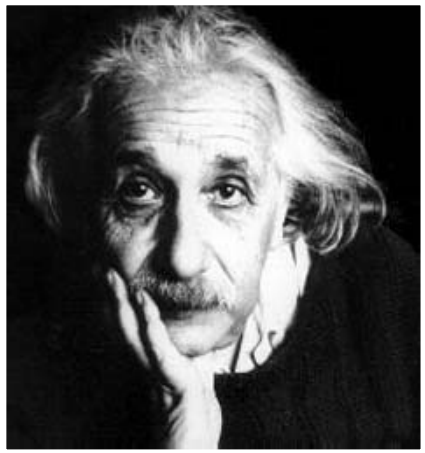
इस नये आपेक्षिकता सिद्धात का संभवतः सर्वाधिक महत्वपूर्ण निष्कर्ष है - द्रव्यमान और ऊर्जा का समतुल्य होना

इस हिसाब से - एक किलोग्राम पदार्थ 9×10^{16} जूल ऊर्जा के बराबर होता है

यही द्रव्यमान और ऊर्जा के रूपांतरण का सूत्र है जिसके अनुसार तारों में, नाभिकीय रिएक्टर में, और परमाणु बम में ऊर्जा उत्पन्न होती है ।

आइन्स्टाइन 36 वर्ष के थे जब उन्होने
आपेक्षिकता का व्यापकीकृत सिद्धांत
प्र स्तुत किया

आपेक्षिकता के व्यापकीकृत सिद्धांत में व्यापकीकरण (जनरल) क्या है ?

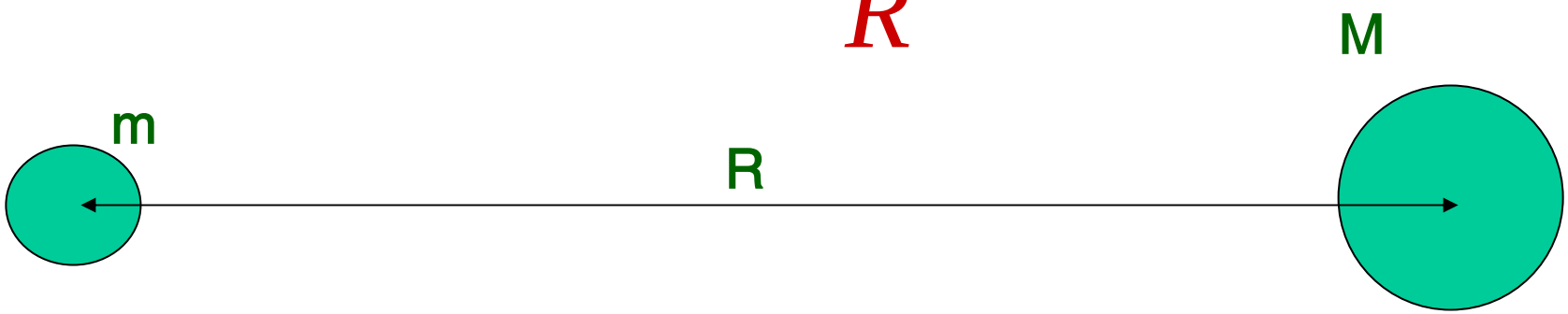


आपेक्षिकता का विशिष्ट सिद्धांत जड़त्वीय फ़्रेमों के बारे में है जो एक दूसरे के सापेक्ष समान गति से चल रहे हों ।

आपेक्षिकता का व्यापकीकृत सिद्धांत एक दूसरे तरह का सिद्धांत है - यह गुरुत्वाकर्षण के बारे में है । इसे व्यापकीकृत सिद्धांत इसलिये कहते हैं क्योंकि यह ऐसे फ़्रेमों के बीच निर्देशाकों के रूपांतरण के बारे में है, जो असमान गति, अर्थात, त्वरित गति से चल रहे हों।

पहले हम यह देखते हैं कि न्यूटन का गुरुत्वाकर्षण का नियम आइन्स्टाइन के आपेक्षिकता के विशिष्ट सिद्धात के अनुकूल नहीं है

$$F = -G\frac{mM}{R^2}$$



एक वस्तु के स्थान परिवर्तन का दूसरी वस्तु पर तत्काल प्रभाव

प्रकाश की गति से अधिक गति से चलने वाला प्रभाव

इसका क्या परिणाम होगा ?

मानिये एक वस्तु का स्थान परिवर्तन (x_1, t_1) पर हुआ तथा उसका प्रभाव दूसरी वस्तु पर (x_2, t_2) पर हुआ, इसके लिये यह जरूरी है, कि $t_2 - t_1 > 0$

किसी दूसरे जड़त्वीय फ्रेम में, जो v गति से चल रहा हो (v < c), यही घटनायें देखी जायेगी, क्रमशः t'_1 तथा t'_2 पर

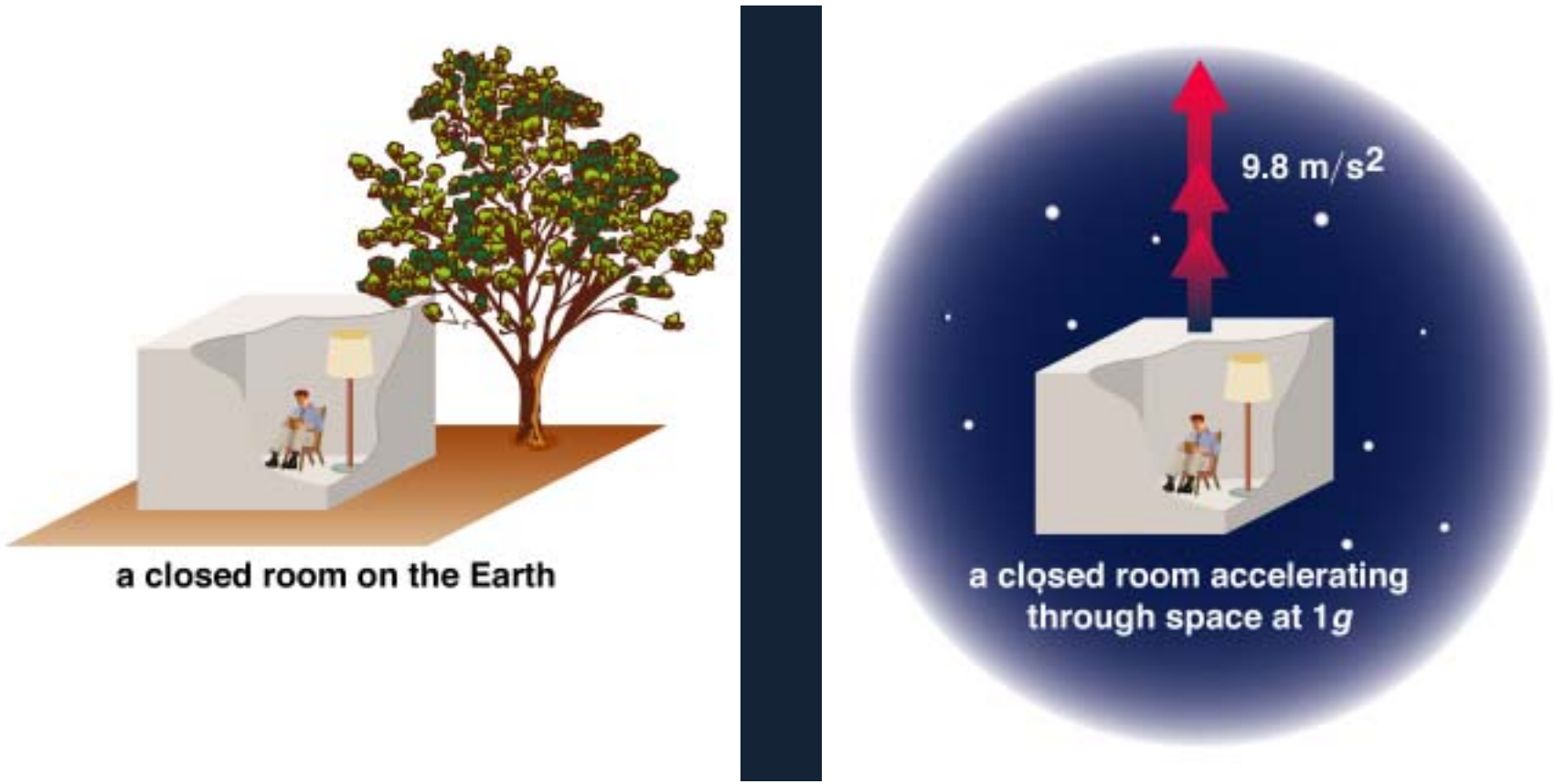
$$t_1' = \frac{t_1 - \frac{v}{c^2} x_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad t_2' = \frac{t_2 - \frac{v}{c^2} x_2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \Rightarrow t_2' - t_1' = \frac{(t_2 - t_1) - \frac{v}{c^2}(x_2 - x_1)}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

इससे हम यह देखते हैं कि $t_2' - t_1' < 0$ यदि $\frac{(x_2 - x_1)}{(t_2 - t_1)} > \frac{c^2}{v} > c$

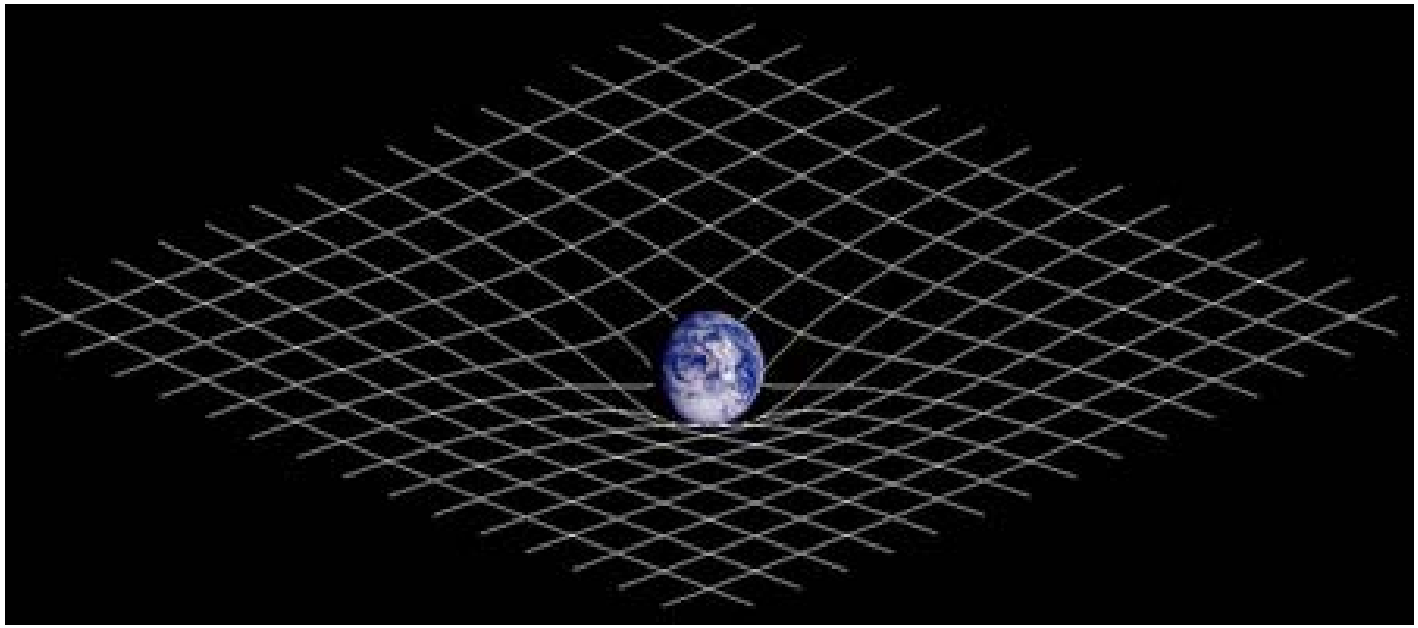
इसका मतलब यह हुआ कि इस दूसरे जड़त्वीय फ्रेम मे पहली वस्तु के स्थान परिवर्तन के पहले ही दूसरी वस्तु पर उसका प्रभाव हो गया, जो कि असंभव है

आइन्स्टाइन का आपेक्षिकता का व्यापकीकृत सिद्धांत तुल्यता नियम पर आधारित है तथा इसमे गुरुत्वाकर्षण का बल प्रकाश की गति से ही चलता है

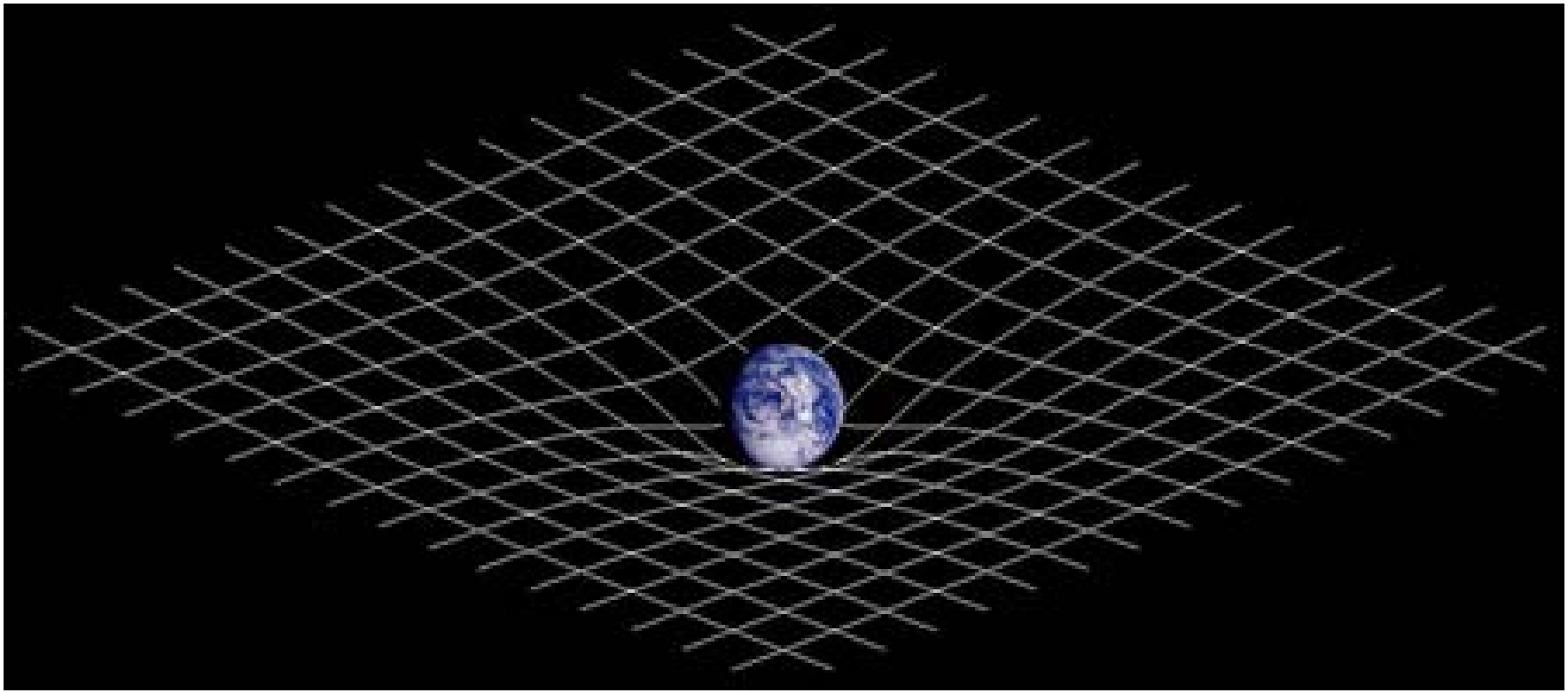
तुल्यता नियम यह कहता है कि किसी भी प्रयोग के लिये एक पृथ्वी पर स्थित बंद कमरा और एक अंतरिक्ष में 9.8 मीटर/सेकेंड ^{2} के त्वरण से चलता कमरा पूर्ण रूप से एक समान हैं ।



आकाश काल की वक्रता



आइन्स्टाइन ने तुल्यता नियम का उपयोग करके गुरुत्वाकर्षण को एक नये रूप में प्र स्तुत किया । इसमें, गुरुत्व एक बल नहीं, बल्कि एक वक्र आकाश काल के रूप में देखा गया । किसी भारी पिंड के चारों ओर आकाश-काल वक्र हो जाता है। तुल्यता नियम से गुरुत्व को त्वरित फ़्रेमों के रूप में देखा जा सकता है । अतः गुरुत्व के समीकरणों को एक आपेक्षिकता सिद्धांत के रूप में देखा जा सकता है जो त्वरित फ़्रेमों के बीच रूपांतरण कर सके - यही आपेक्षिकता का व्यापकीकृत सिद्धांत है

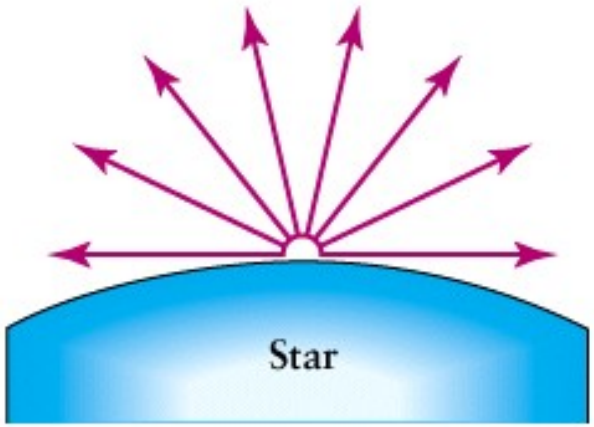


वस्तु का स्थान परिवर्तन होने पर आकाश काल की वक्रता प्रभावित हो जाती है

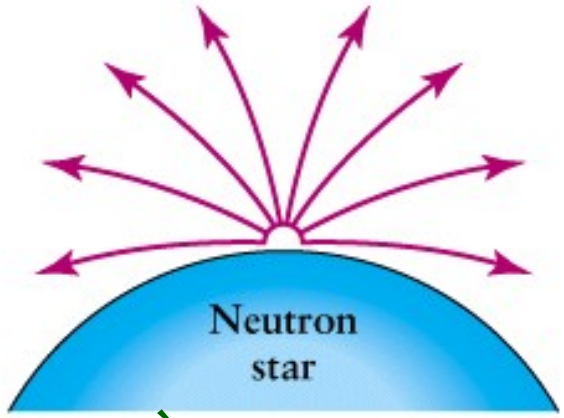
यह वक्रता प्रकाश की गति से अन्य दिशाओ में चलती है

इसे गुरुत्वीय तंरग कहते हैं

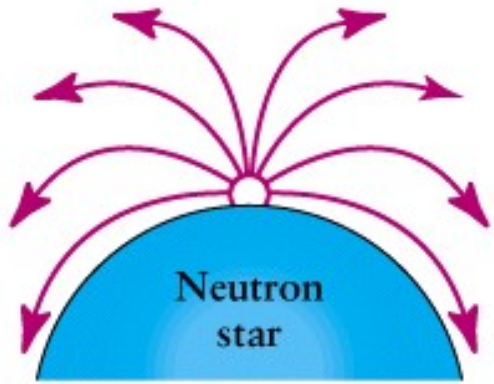
आपेक्षिकता के व्यापकीकृत सिद्धांत में ब्लैक होल



a तारा



b श्वेत वामन तारा



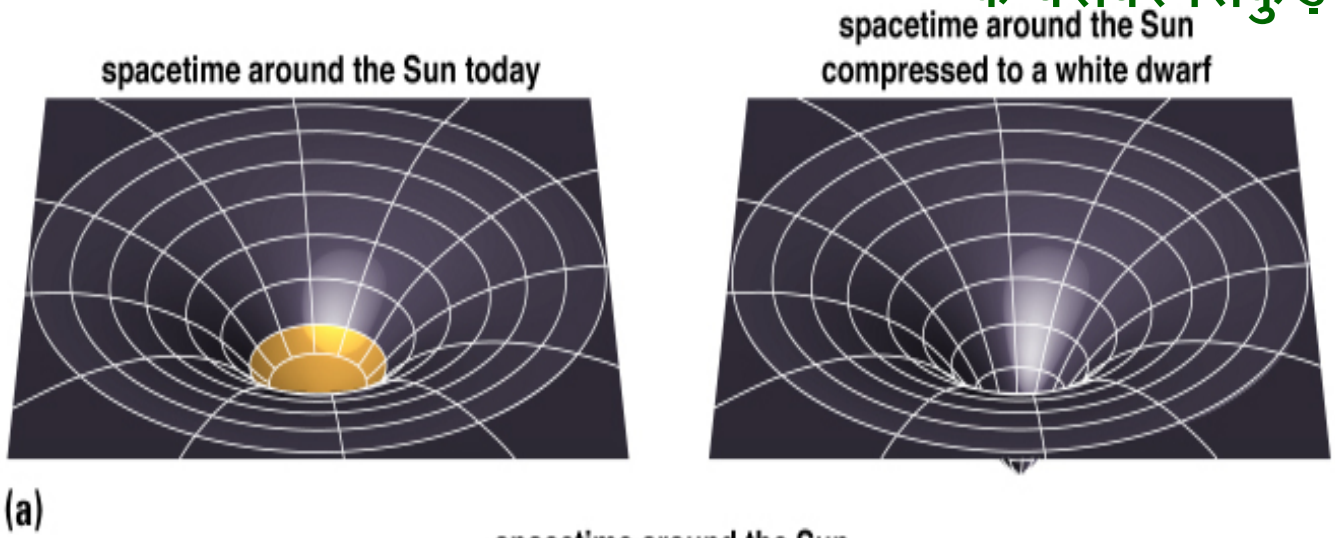
c न्यूट्रान तारा

d ब्लैक होल

आकाश काल की वक्रता

सूर्य के चारों ओर

अगर सूर्य श्वेत वामन तारे
के बराबर सिकुड़ जाये



अगर सूर्य ब्लैक होल
के बराबर सिकुड़ जाये
(1 किलोमीटर से छोटा)

ब्लैक होल के पास गुरुत्वाकर्षण की शक्ति इतनी अधिक होती है कि वहां पर पलायन वेग प्रकाश के वेग से भी अधिक होता है

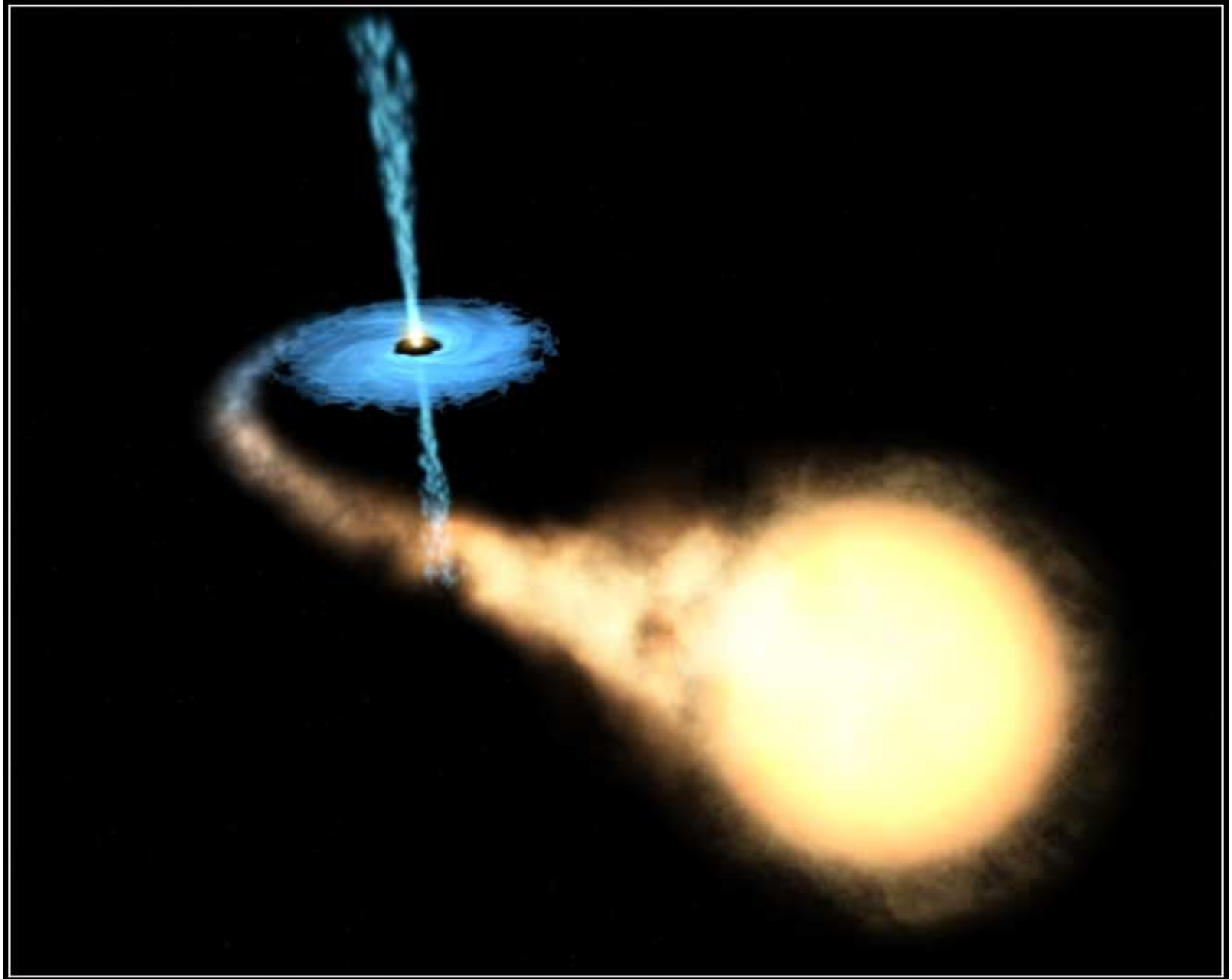
इसका मतलब है कि वहां से कोई भी चीज बाहर नहीं निकल सकती है ।

ब्लैक होल को कैसे देखें ंगे - जब वहां से प्रकाश भी नहीं निकल सकता है ?

ब्लैक होल पास के किसी तारे से गैस अवशोषित करते हैं । यह गैस बहुत अधिक संपीड़ित (दब) हो जाती है जिससे उसका तापमान बहुत बढ़ जाता है। इससे उस गैस से जेट के रूप में विकिरण निकलता है, जो देखा जा सकता है

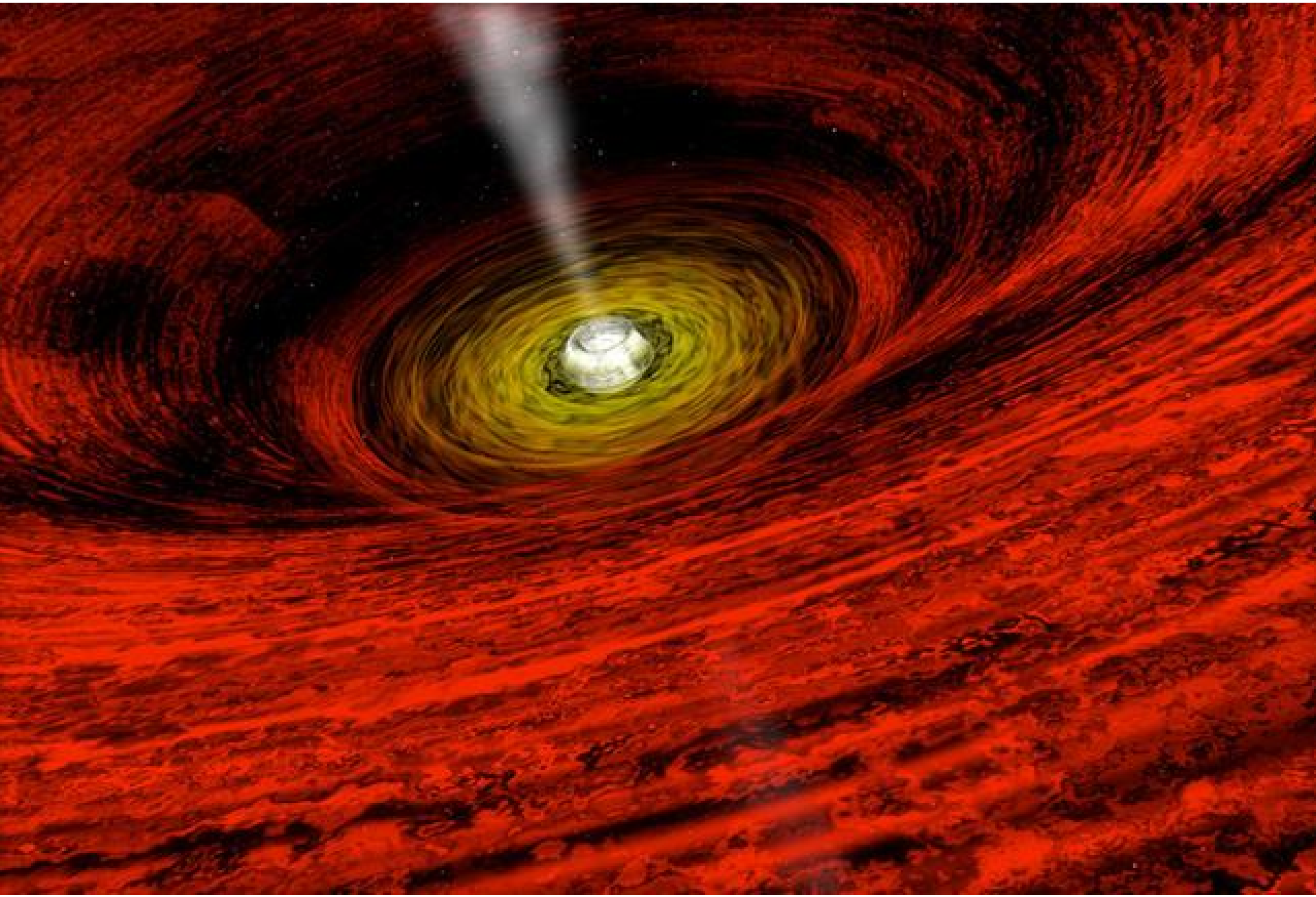
ब्लैक होल

इसकी संभावना है कि हमारी आकाशगंगा के केन्द्र में एक बहुत बड़ा ब्लैक होल है



Artist's View of Black Hole and Companion Star GRO J1655-40

ESA, NASA and F. Mirabel (CEA) ▪ STScI-PRC02-30



आपेक्षिकता का व्यापकीकृत सिद्धांत और ब्रह्मांड की उत्पत्ति

प्रथ्वी का आकार - 12800 किलोमीटर

सूर्य एक तारा है - प्रथ्वी से 10 लाख गुणा भारी, और 100 गुणा बड़ा

हमारी आकाश गंगा में 10^{11} तारे हैं, और ऐसी करोड़ों नीहारिकाएं ब्रह्मांड में हैं

सूर्य से सबसे पास के तारे की दूरी - 10^{15} मीटर , आकाश गंगा का आकार 10^{20} मीटर

दूरी नापने के लिये एक अधिक उपयुक्त इकाई -

प्रकाश वर्ष = 10^{15} मीटर

यह वो दूरी है जो प्रकाश एक वर्ष में तय करता है

आकाश गंगा

यह हमारी आकाश गंगा के समान है

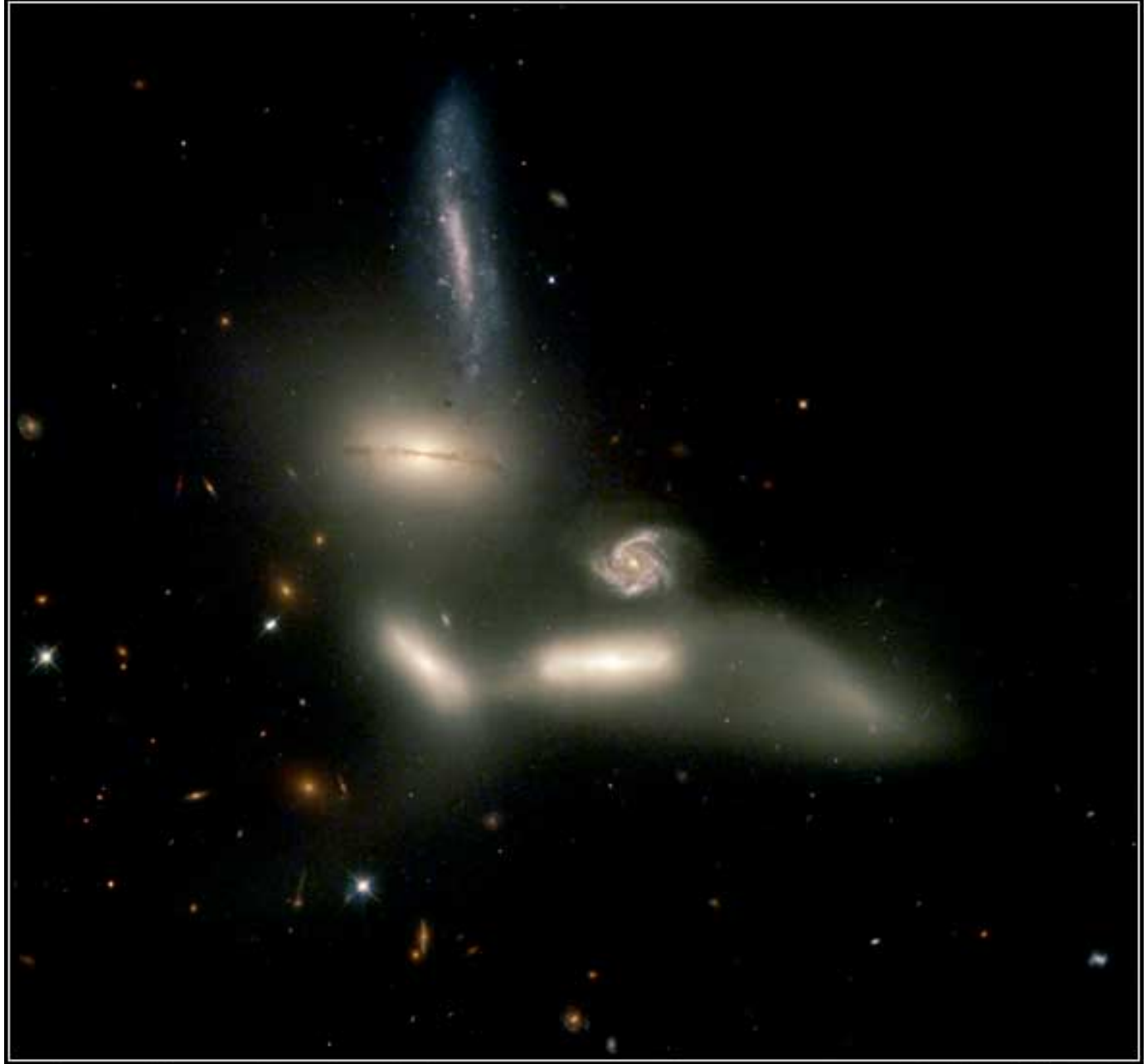
Spiral Galaxy Messier 83 (VLT ANTU + FORS1)

ESO PR Photo 41/99 (29 November 1999)

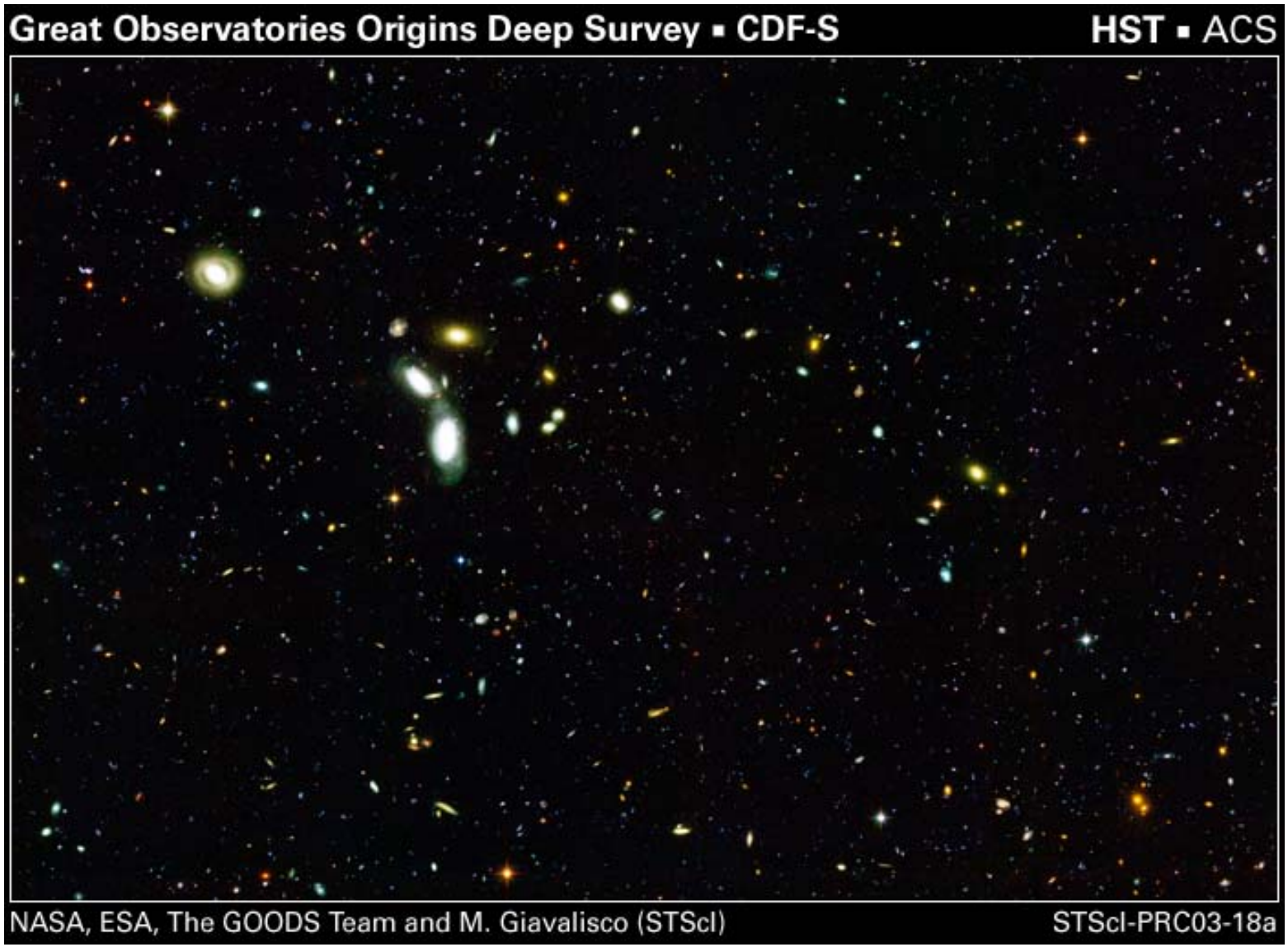
© European Southern Observatory

सौर्य मंडल की स्थिति

नीहारिकाओं का समूह

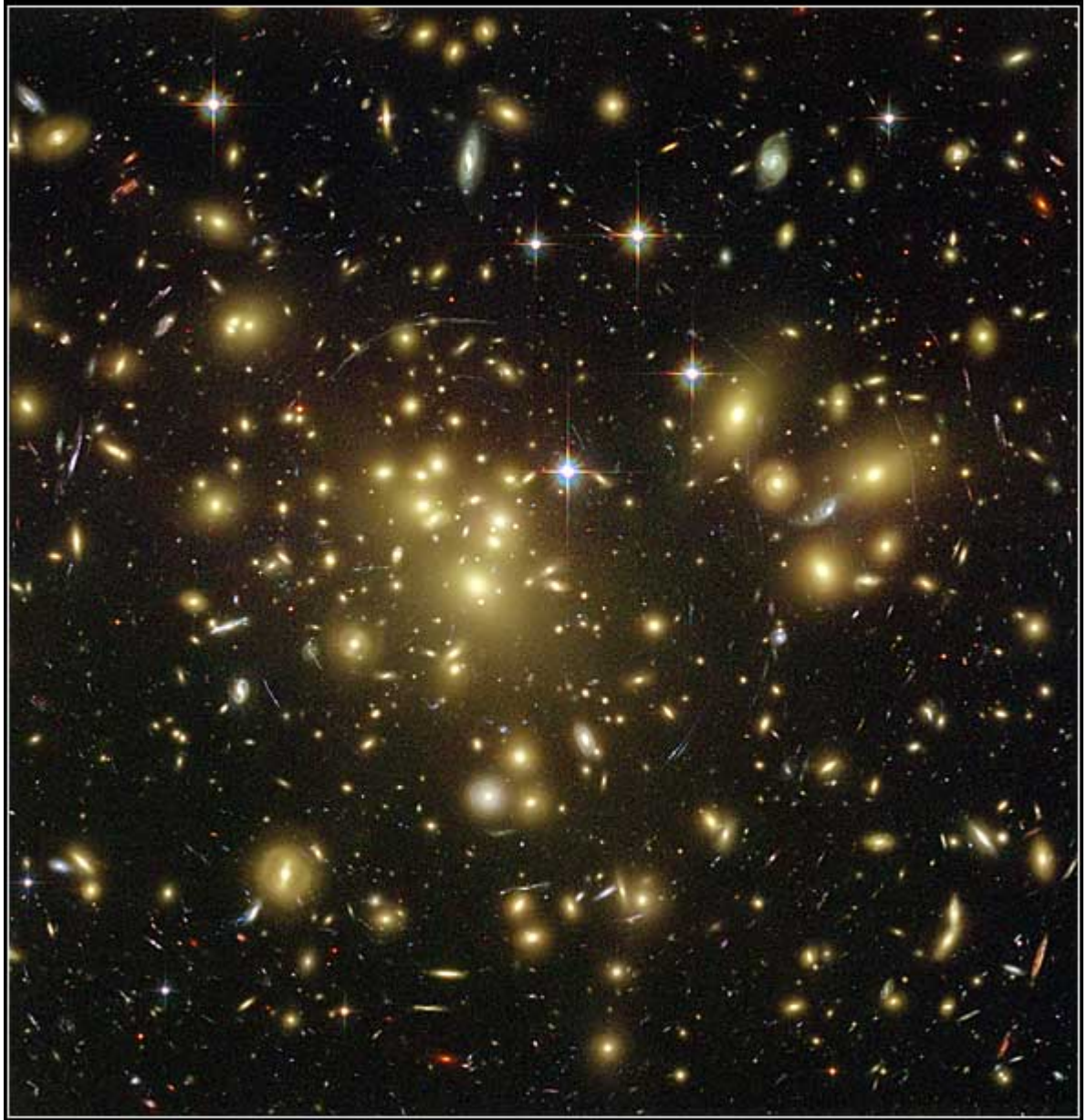


Galaxy Group Seyfert's Sextet **HST ◆ WFPC2**
NASA, J. English (University of Manitoba)
and C. Palma (Pennsylvania State University) ◆ STScI-PRC02-22



नीहारिकाओं के बीच की दूरी - करीब 10 लाख प्रकाश वर्ष

Galaxy Cluster Abell 1689 **HST ▪ ACS**



NASA, N. Benitez (JHU), T. Broadhurst (Hebrew Univ.), H. Ford (JHU),
M. Clampin(STScI), G. Hartig (STScI), G. Illingworth (UCO/Lick Observatory),
the ACS Science Team and ESA STScI-PRC03-01a

एडविन हबल के प्रेक्षणों ने यह दिखाया कि सभी नीहारिकाएं हमसे दूर जा रही हैं

अर्थात - ब्रह्मांड का विस्तार हो रहा है

आपेक्षिकता का व्यापकीक्रत सिद्धांत फ़िर यह दिखलाता है कि -

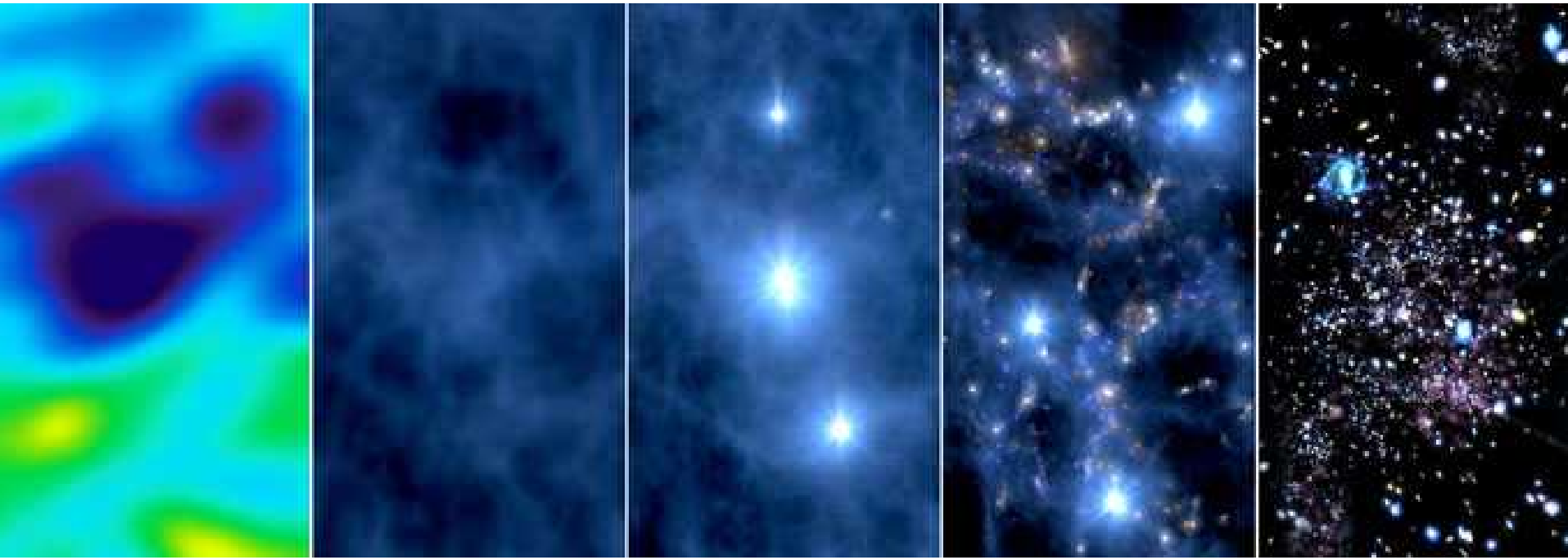
ब्रह्मांड शुरु में बहुत छोटा था, उसका घनत्व लगभग अनंत था

उसके बाद से ब्रह्मांड का विस्तार होता गया, और उसका घनत्व कम होता गया

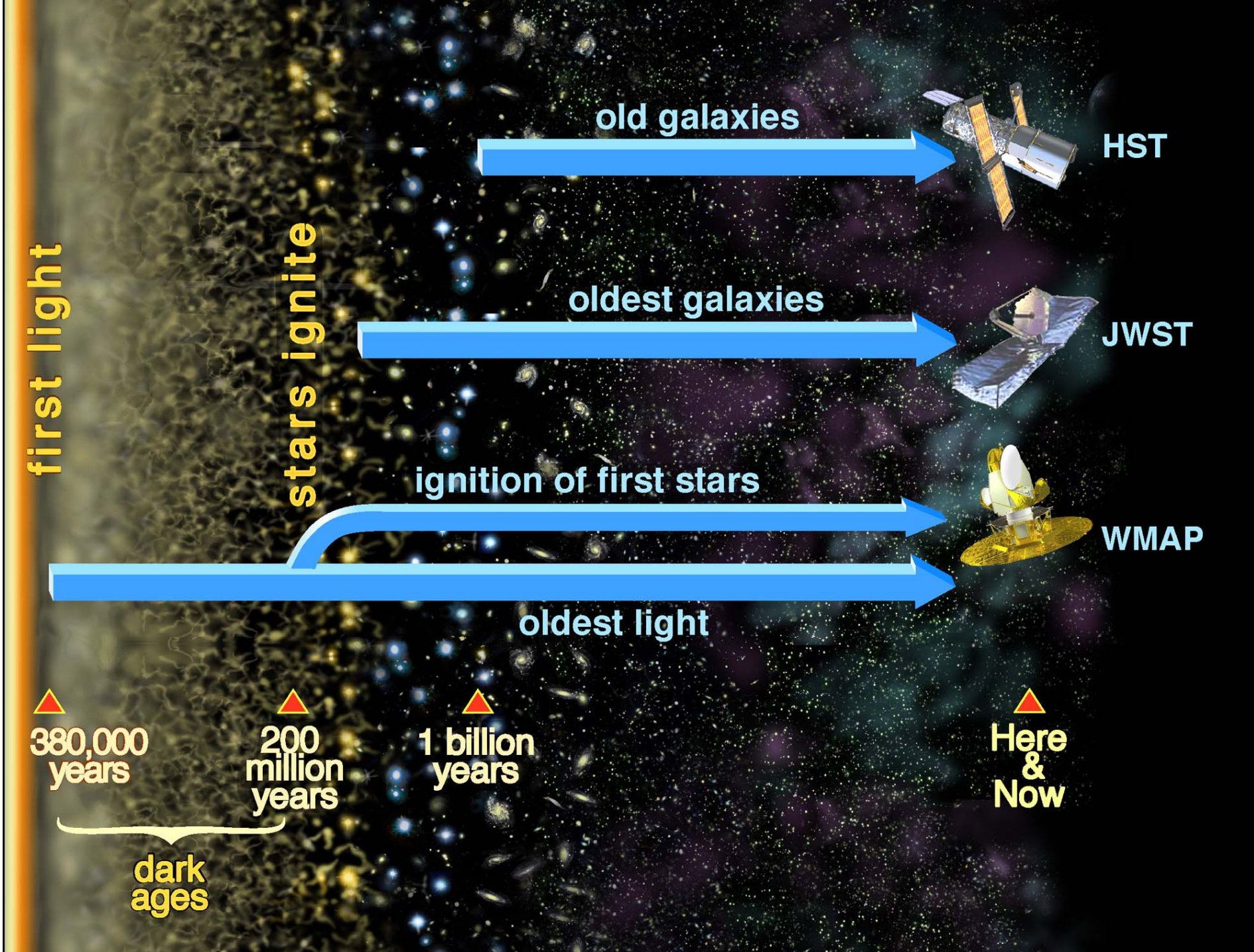
प्रारंभ में, अधिक घनत्व के कारण, ब्रह्मांड का तापमान बहुत अधिक था, जो बाद में कम होता गया

इसे ब्रह्मांड की उत्पत्ति का बिग बैंग़ सिद्धांत कहते हैं

शुरू के अत्यधिक तापमान के कारण, ब्रह्मांड में विकिरण भरा हुआ था, जो बाद में विस्तार के बाद, कम ऊर्जा का हो गया ।

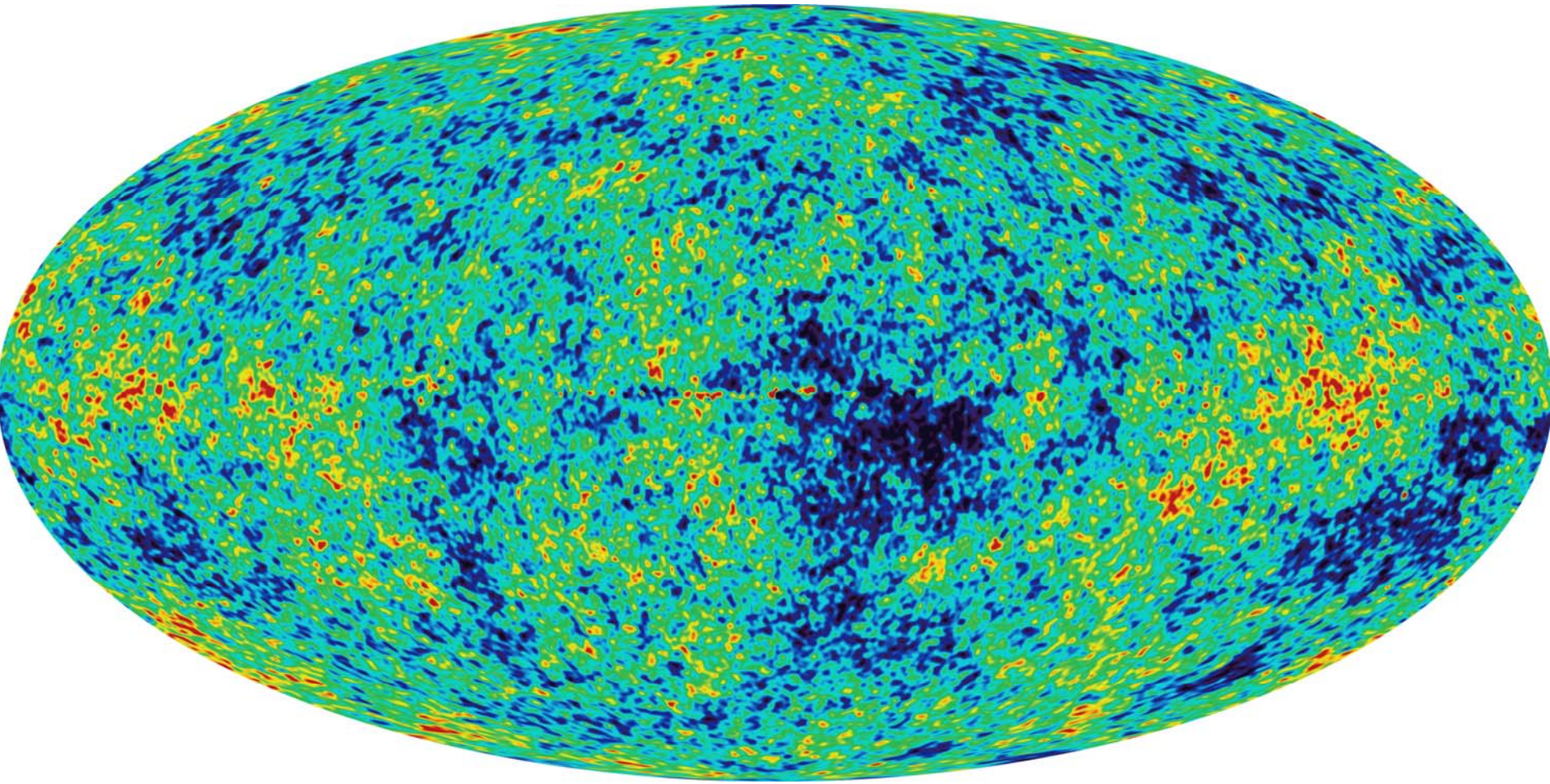


यह अब सूक्ष्म तंरगों के रूॅप में ब्रह्मांड में है ।

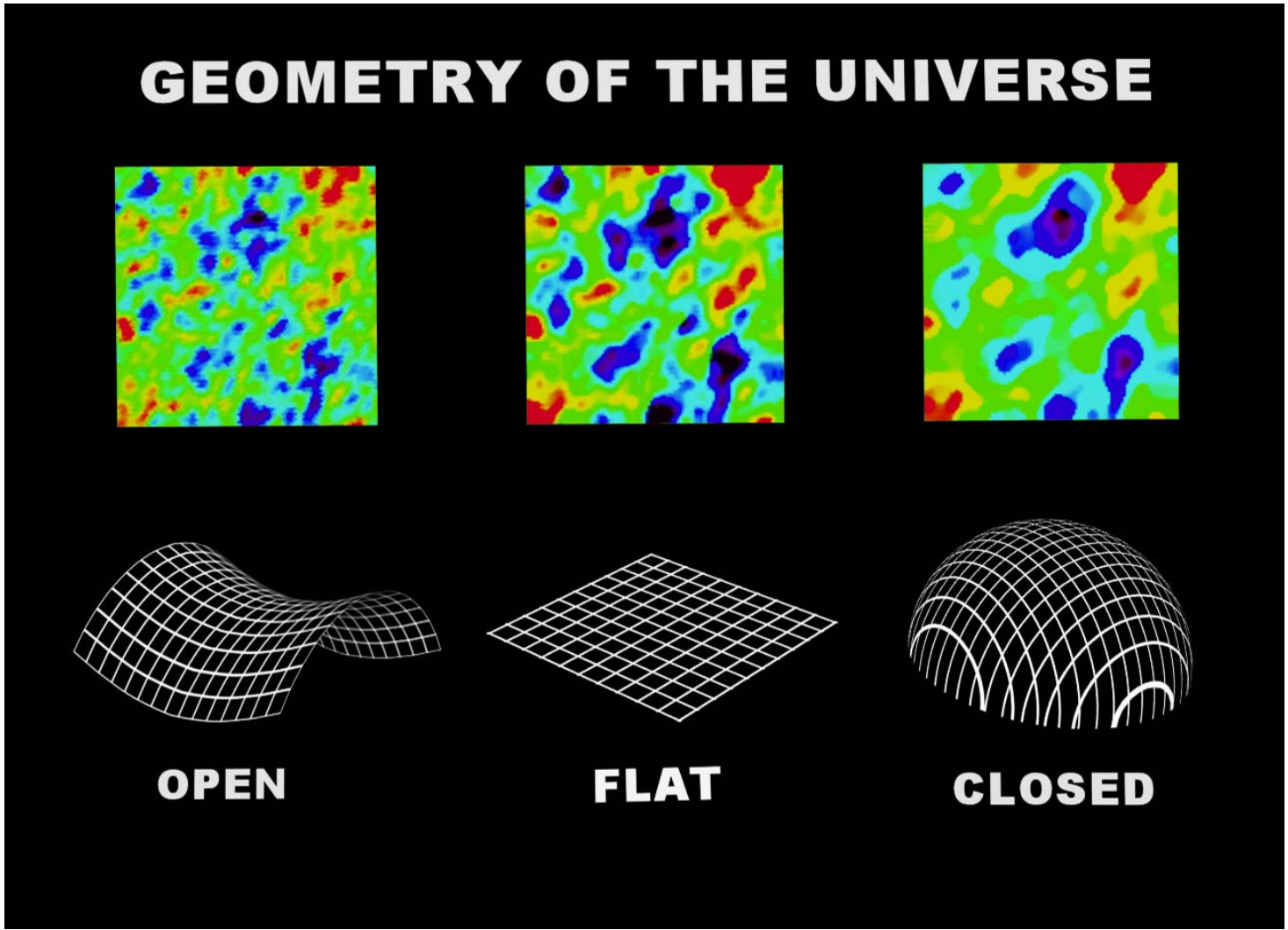

old galaxies
HST
first light
stars ignite
oldest galaxies
JWST
ignition of first stars
WMAP
oldest light
380,000 years
200 million years
1 billion years
Here & Now
dark ages

सर्व्यव्यापी खगोलीय सूक्ष्म तंरग विकिरण

Cosmic Microwave Background Radiation



ब्रह्मांड की वक्रता



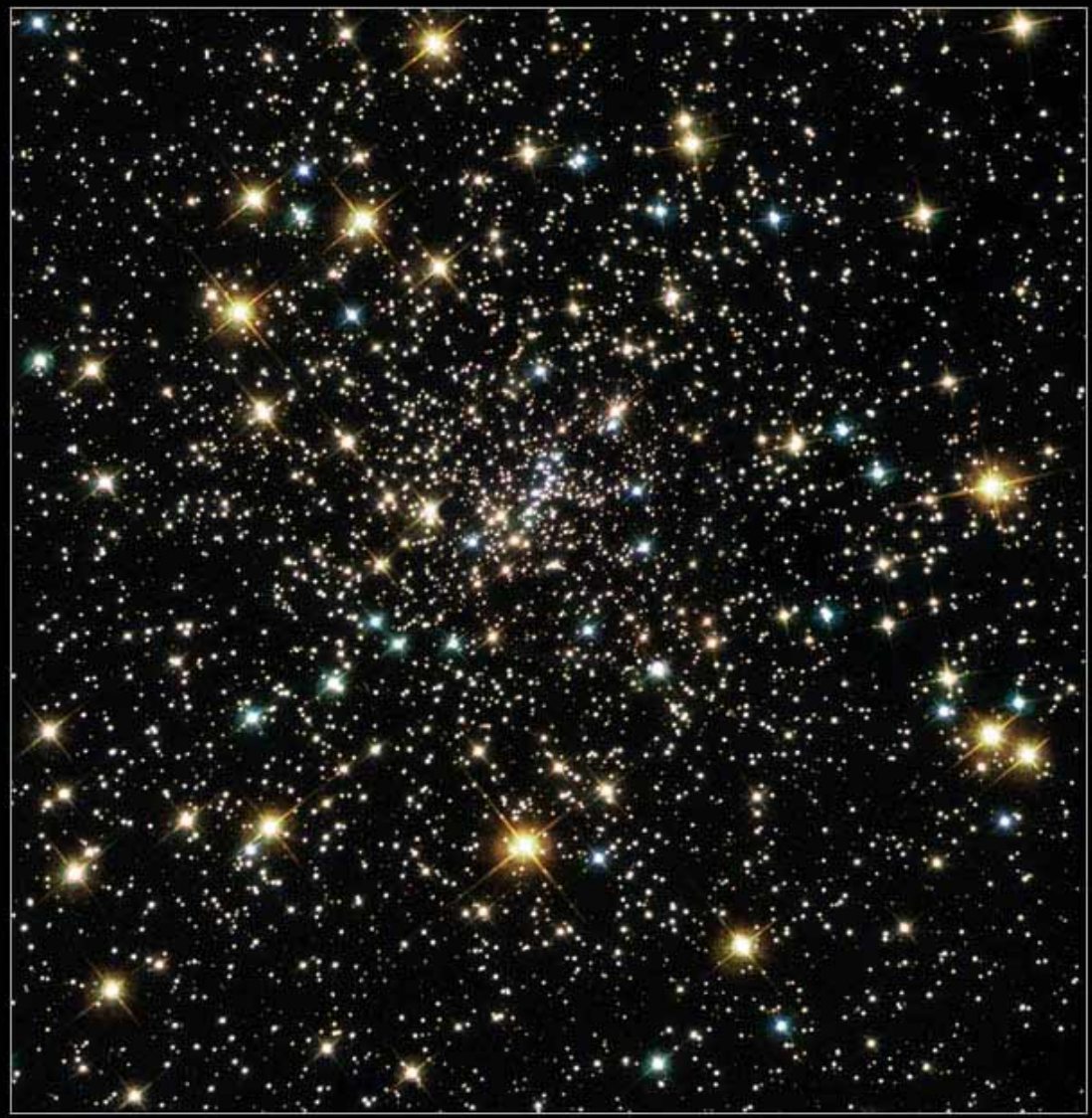
आभार - कुमार पुहुप मानस को
तथा
श्री भगबान बेहेरा को

विज्ञान प्र सार को

यह अत्यंत आवश्यक है कि छात्र को जीवन मूल्यों की एक जीवतं समझ हो। उसको क्या सही है, और क्या सुंदर है, इसका आंतरिक ज्ञान होना चाहिये । इनके बिना, अपने विशिष्ट और सीमित ज्ञान के साथ, वह एक अनुशासित पशु की तरह होगा, न कि एक संतुलित व्यक्तित्व वाला इंसान ।

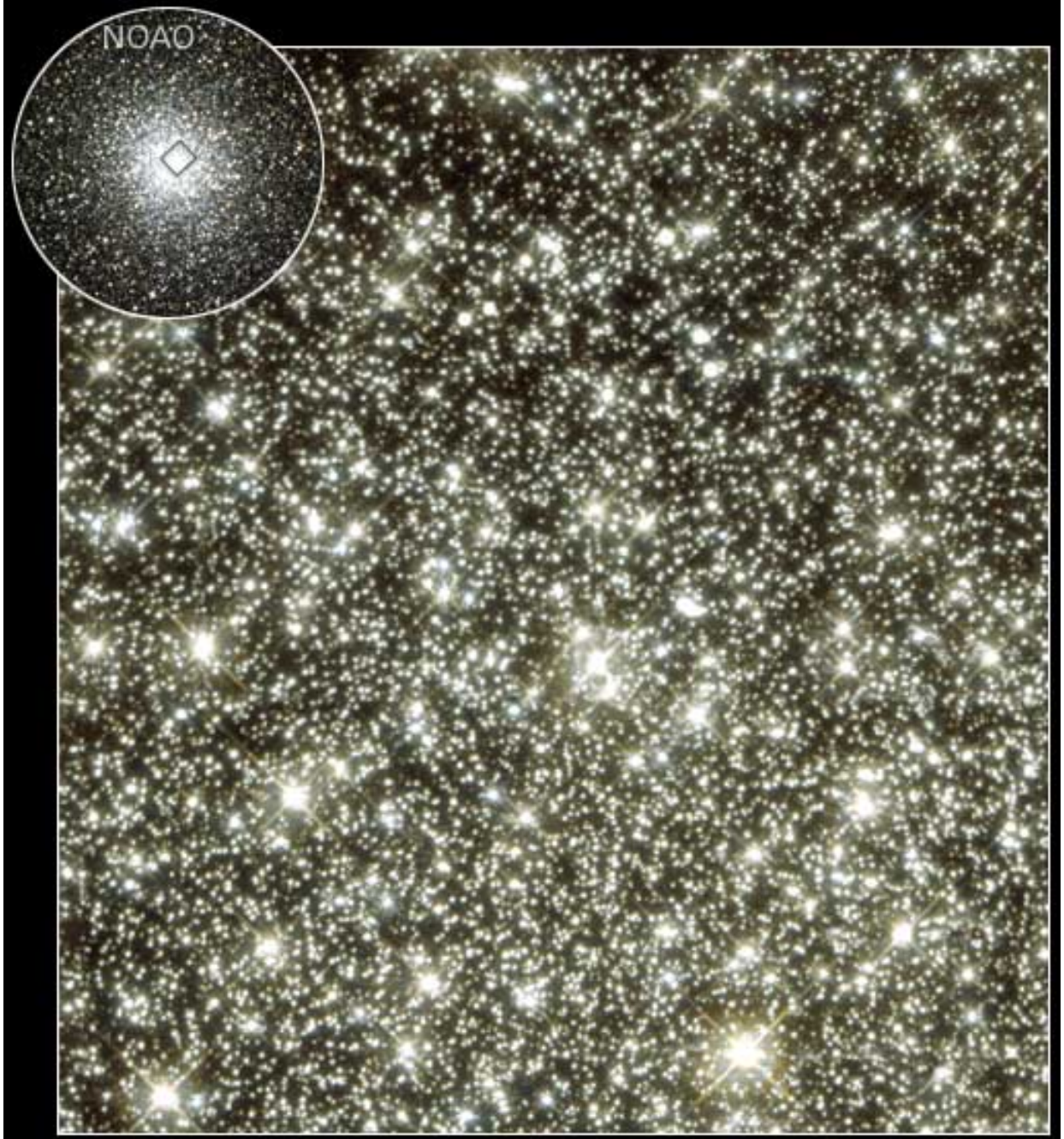
- अलबर्ट आइन्स्टाइन

Globular Cluster NGC 6397



Hubble Heritage

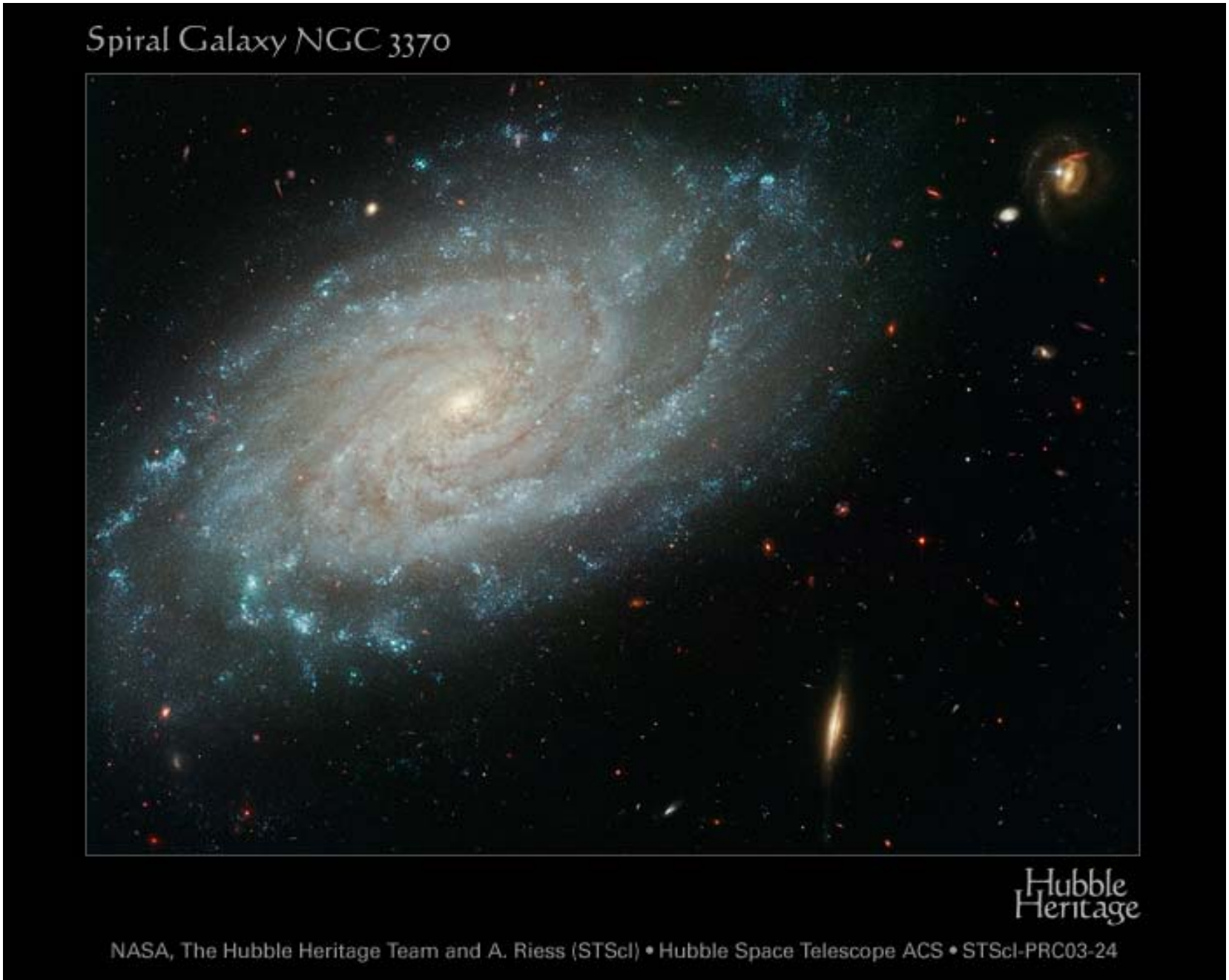
NASA and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA) • Hubble Space Telescope WFPC2 • STScI-PRC03-21



Globular Cluster M22 **HST** • WFPC2

NASA, ESA, and K. Sahu (STScI) • STScI-PRC01-20

आकाश गंगा का आकार - 50,000 प्रकाश वर्ष



Galaxy NGC 7742

Hubble Heritage

PRC98-28 • Space Telescope Science Institute • Hubble Heritage Team

The Whirlpool Galaxy — M51
HUBBLESITE.org