

Keyifli Okumalar Dileriz

Binlerce kategoride milyonlarca PDF e-kitap, ders kitapları, dergiler ve romanlara platformumuz üzerinden ücretsiz ulaşabilirsiniz.

RESMİ WEB SİTEMİZ

<https://rantey.org>

Yedek ve Duyuru Kanallarımız

Sitemize erişim engeli gelmesi veya adres değişikliği durumunda aşağıdaki kanallardan güncel giriş adresine erişebilirsiniz:

- Telegram: <https://t.me/birkitapbir>
- WhatsApp Kanalımız : <https://whatsapp.com/channel/0029VbDHv8uE50Us4lvMoc0Y>

→ **CEPKAYNAĞI**

6. BASKI

İZAFİYET TEORİSİ

**EINSTEIN'IN EN ÖNEMLİ
KEŞFİ İÇİN ÇİZGİBİLİM**

BRUCE BASSETT • RALPH EDNEY

Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - <http://www.pdfkitaparsivi.com>



İZAFİYET TEORİSİ

Bruce Bassett - Rolph Edney

Çeviri
Duygu Akın



Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - <http://www.entv.org.tr>

RELATIVITY / İZAFİYET TEORİSİ

Bruce Bassett - Ralph Edney

Metin © Bruce Bassett, 2002. Tüm hakları saklıdır.
İlustrasyon © Ralph Edney, 2002. Tüm hakları saklıdır.

2009 baskısından çevrilmiştir

NTV YAYINLARI DİREKTÖRÜ

EH N. Kuru

EDİTÖR

Adnan Bostancıoğlu

ÇEVİRİ

Duygu Akın

DANİŞMAN

Prof. Dr. Yücel Altın

ÇİZİMLER

Budak Akden - Özgün Tokel

GAFFER

Mahir Duman

PROJE KOORDİNASYONU

Yakup Akyıldırım, Çiğdem Akhan

SATIŞ HÜDÜDÜ

Tuğrul Bulbul

BASKI

Ömer Matbaacılık A. Ş.

Beyran Sarayı Sitesi Beşik Cad. No: 20 Haranidara - İstanbul 34324

Tel: (212) 422 76 00 Faks: (212) 422 46 00

1.-2. Baskı: 2010, 3. Baskı: Ağustos 2011, 4. Baskı: Mayıs 2012,

5. Baskı: Kasım 2013, 6. Baskı: Kasım 2014

ISBN: 978-605-5813-74-1

NTV yayınları

Doğuş Yayın Grubu A. Ş.
Maslak Mah. Akbi Eviyan Cad.

Doğuş Power Center No: 4 34398 Şişli-İstanbul
Tel: (212) 304 08 88 - Faks: (212) 335 03 48

Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - <http://www.intelyus.com.tr>

Sertifika No: 12444

Bu kitabın Türkiye yayını hakkındaki Anadolukültür Ajansı'na teşekkür ederiz.

Uzay ve Zamanın Koşulları

Alman filozof Immanuel Kant (1724-1804) devrim niteliğindeki *Sof Aklın İstisnası* (1781) adlı kitabında bilginin kritik sınırlarını araştırdı. Kant uzay ve zamanın bilincimizden bağımsız olarak var olmadıkları görüşünü ileri sürdü.



Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - <http://www.pdfkitap.com>

Ancak yine de bir efen a gelene dek, fizikçilerin genel olarak benimsedikleri felsefe, Sir Isaac Newton'dan (1643-1727) miras kalmıştı.

Newton'un Klasik Fizik Yasaları

Newton fizikçi vematematikçilerin belki de en büyüğüdü. Optik alanda çok önemli katkıları oldu, üç hareket yasasını formüleştirdi ve **G. W. Leibniz**'den (1646-1716) bağımsız olarak dferansiyel ve integral hesabı geliştirdi. Ancak Einstein'ın izafiyetini (görelliğini) anlama açısından bizim için en önemli olan, Newton'un evrensel kütleçekim yasasıdır.

Johannes Kepler (1571-1630)

NEWTON'DAN ÖNCE
GEZEGENLERİN GÖKYÜZÜ
HAREKETLERİ GÜNDÜZLÜK
PONDYADAN AYRI, GİZEMLİ BİR KONU
OLARAK GÖRÜLÖRDÜ.



GEZEGEN
HAREKETİ YASALARINI
BEN ONAHA ÖNCEYEN
KEŞFETMİŞTİM...



EYET, AMA SENİN
KEŞFETTİĞİN, TEORİK
ÇOK ANAHTAR BİR
AMPIRİK YASALARDI.

$$\frac{D^3}{r^2} = K$$

Ücretsiz PDF Kitap Arşivi - <http://www.pdfkitap.com>

İyi bilinen ama doğruluğu olmayan bir öyküye göre büyük yerçekim keşfi, bir elma ağacının altında otururken Newton'un tam anlamıyla kufasına "dökülür".



Newton'un evrensel kütleçekimi yasasının önemi, **tek bir teori** ile birkaç fenomenin açıklanmasıdır. Bu tür açıklamalar, büyük ölçüde, sonraki tek bir

teoriye yönelik. Bu arayış içinde, 20 ve 21. yüzyıl fizikçileri için temel bir itici güç haline gelecekti.

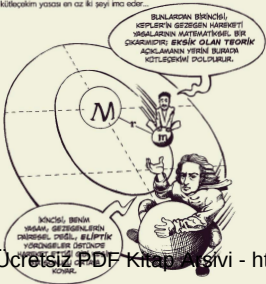
Kütleçekimi Yasası

Newton'un evrensel kütleçekimi yasası m ve M kütleli iki cismin arasındaki kütleçekimi kuvvetini (F)...

$$F = G \frac{mM}{r^2}$$

şeklinde açıklar. Burada r , i ki cismin kütle merkezleri arasındaki mesafe ve G de Newton sabitidir. Kütleçekimi çok zayıf olduğundan, G çok küçüktür.

Bu kütleçekim yasası en az iki şeyi ima eder...



Ücretsiz PDF Kitap Arşivi - <http://www.pdfkitap.com>

Newton geliştirdiği teoride birkaç, şeyi birden doğru kabul etmişi. Dünya artık evrenin merkezi olmasa da –**Nikolaj Kopernik**ten (1473-1543) beri çoğu bilimcinin gözünde evrenin merkezi değildi- uzay ve zaman temelde birbirlerinden **farklı** ve değişmez, **mutlak** şeyler olarak varsayılıyordu.

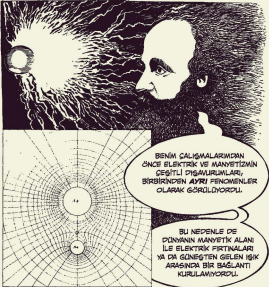


Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - <http://www.pdfkitap.com>

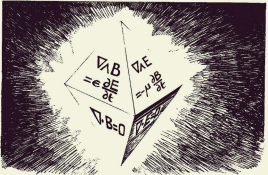
Uzay ve zaman gibi görünürde birbirinden farklı iki kavramı birleştirme işi, daha sonradan rtışocağımız gibi, Einstein'a kaldı.

Maxwell'in Elektromanyetizm Teorisi

Teorik fizik alanında Einstein'dan önce de önemli aşamalar kaydedilmişti. Örneğin, James Clerk Maxwell (1831-79) manyetizm ile elektriği birleştirerek elektromanyetizmi sunmuştu.



Maxwell dört denklemlerle, ışık yayılımı ve elektrik akımlarından, yer-kürenin manyetik alanına dek elektrik ve manyetizmin tüm farklı davranışlarını açıkladı. Maxwell'in elektromanyetizm ve manyetizmin elektrik ile ilişkileri ve her birinin farklı davranışlarının nasıl genel bir teorisinin özel durumları olarak ortaya çıktığını gösterdi.



Hiç elektrik alanı olmadığında basit manyetik alanlar ortaya çıkabilir (bunun tersi de geçerlidir).

Ancak genelde, bir elektrik alanının yoğunluğu zaman içinde değişkenlik gösterirse, ortaya manyetik alanlar çıkar... bunun tersi de geçerlidir.

Bu durum ışık örneğinde görülür. Işık, uzay ve zamanın içinde -ışık hızında- yayılma gösteren salınımlı elektrikve manyetik alanları içerir.

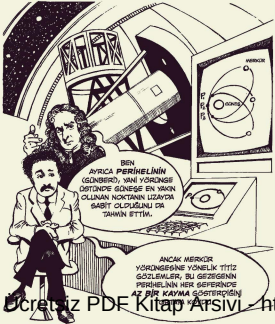
Maxwell'in başarıyla ortaya koyduğu birleşiklik durumu, kavramsal olarak Newton'a benzerlik gösterir. Newton da elmayı etkileyen kuvvet ile dünyayı güneş etrafındaki yörüngesinde tutan kuvvetin aynı şey olduğunu fark etmişti



Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - <http://www.pdfkitap.com>

Klasik Fizikteki Problemler

Fiziğin aşamalarla ilerleyen tarihi içinde çeşitli problemler belirlendi. Bunlardan biri kütleçekiminin kendisiyle ilgiliydi. Newton'un kütleçekimi teorisi gezegenlerin eliptik yörüngeler üstünde hareket etmesi gerektiğini doğrulukla ortaya koymuştu.



Atom Bulmacası

Fizikçilerin tenine saplanmış dikenlerden biri de atomdu. 20. yüzyıl başında beliren genel tabloya göre atomlar, pozitif yüklü çekirdek etrafındaki negatif yüklü -ve çok daha küçük kütleli - elektronlardan oluşuyordu. Elektronlar ile çekirdeğin zıt yükleri arasındaki çekim yüzünden doğrudan çekirdeğin üstüne düşmemeleri için elektronların çekirdek etrafındaki yörüngede hareket etmeleri gerekir.



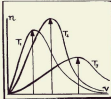
Büyük Bir Gizem

Maxwell'in elektromanyetizm teorisi sayesinde artık ivmelenen yüklerin, ivmelenme gücüne bağlı bir enerji ile ısıma yaptığı (ya da uygun bir frekansta elektromanyetik radyasyon yaydığı) iyi biliniyordu. Ancak elektronlar ısımaya bağlı olarak enerji kaybediyorlarsa, içe doğru spiral yapmaya başlamalı ve saniyenin katrilyonda biri kadar bir sürede, merkezdeki çekirdeğin üstüne çökmeliydiler.

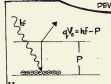


Modern Geçmiş

Albert Einstein'ın (1879-1955) Özel İzafiyyet Teorisini yayımladığı 1905 yılında fiziğin genel görünümü hakkında artık kabaca bir resim elde ettik. Einstein elbette durduk yerde ortaya çıkmadı.



BEN
FİZİKTE KAYDEDİLEN TÜM
AŞAMALARI VE TÜM
PROBLEMLERİYLE BİRLİKTE
NEWTONCU GELENEĞİ
DEVRALDIM.



Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - <http://www.yeni-birlesim.com.tr>

Yeni Birleşim'de yayınlanan bir kesimimiz tarafından keşifin belli bir boyutun kazandıran "zihin iklimi"nin içinden ortaya çıktığı.

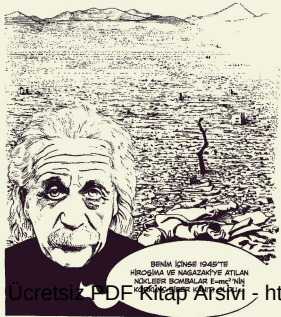
Belirleyici Olaylar

Kraliçe Victoria'nın 1901'deki ölümü, nispeten istikrarlı bir dönemin bitişi ve 20. yüzyılın vahşi enerji boşalımı ile hız kazanan yeniliklerin, yani bugün "modern" diye adlandırdığımız her şeyin başlangıcı işaret etti. İki önemli olaydan tehlikeli bir yeni dünya doğdu. Bu olaylardan iki 1914-1918 yılları arasındaki "Büyük Savaş"tı...



Ücretsiz PDF Kitap Arşivi - <http://www.pdfkitap.com>

İkinci belirleyici olay, Rusya'daki 1917 Ekim Devrimi'ydi. Devrim, Komünist Sovyetler Birliği'nin kurulmasına öncayak oldu. Komünizm ve Amerika Birleşik Devletleri ile Batı Avrupa'nın komünizme gösterdiği direnç, 20. yüzyılın ikinci yarısında dünyaya hükmeden "Soğuk Savaş" politikadan iç sahneyi hazırladı.

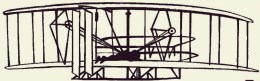


BENİM İÇİNSE 1945'TE
HIROŞİMA VE NAGAZAKİ'YE ATILAN
NÜKLİYER BOMBALAR $E=mc^2$ 'NİN
KÖKÜNE GİDER KİTAP OLUR

Ücretsiz PDF Kitap Arşivi - <http://www.pdfkitap.com>

Hareketli Bir Zaman

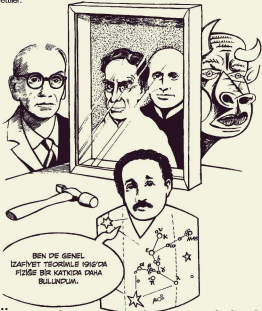
20. yüzyıl başlarının enerji ve çalkantısı başka birçok önemli olayda yansımasını buldu. **Wright** kardeşler, **Orville** (1871-1948) ile **Wilbur** (1867-1912) ilk motorlu uçuşların 1903'te gerçekleştirdiler.



Ücretsiz PDF Kitap Arşivi - <http://www.pdfkitap.com>

Henry Ford (1863-1947) 1912'de milyonlarca insanı, montaj hatlarından geçirilerek seri imalatı yapılan Model-T'yi sundu.

Pablo Picasso (1881-1973) 1907'de devrim niteliğindeki Kübizm sanatını başlattı. Bu sanat **Georges Braque** (1882-1963) tarafından da geliştirildi. İngiliz düşünür **Bertrand Russell** (1872-1970) ile **A. N. Whitehead** (1861-1947) 1910-13 yıllarında, matematiği mantığın sağlam zemini üzerinde yeniden düşünme girişimini gerçekleştiren muhteşem *Principia Mathematica*'yı ürettiler.



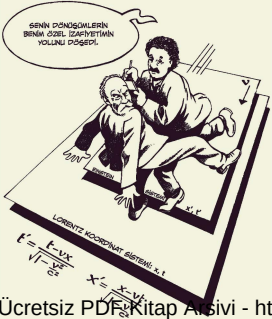
BEN DE GENEL
İZAFİYET TEORİMLERİ İÇİNDE
FİZİKTE BİR KATKIDA DAHA
BULUNUYUM.

Ücretsiz PDF Kitap Arşivi - <http://www.pdfkitap.com>

Çok kolay ve ücretsiz olarak kitaplar bulabilirsiniz. Herhangi bir kitapta ilginç bir konuya genel olarak değinirseniz (G) karnavallığı üzerine odaklanacağız.

Lorentz Dönüşümleri

Einstein başkalarının çoğunlukla görmezden gelinen keşiflerinden yararlanmayı iyi bilen ve "Kendin Yap" felsefesini harika biçimde benimsemiş bir düşünürdü. H. A. Lorentz'in (1853-1928) çalışmaları Einstein'ın yararlandığı çalışmalara iyi bir örnekti.



Ücretsiz PDF Kitap Arşivi - <http://www.pdfkitap.com>



Ücretsiz PDF Kitap Arşivi - <http://www.pdfkitap.com>

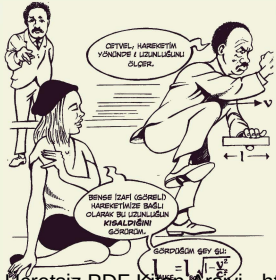
Özel izafiyyet'in muhteşem sonucu, saniyede yaklaşık 300.000 kilometre olan ışık hızına yakın bir hızla hareket edildiğinde, izafi harekete ilişkin algısal sezgilerimizin nasıl bozunu sağlığı uğradığını göstermiş olmasıdır. Bir temel sabit olan ışık hızı, Einstein'ın teorisinde gözlemcinin hızından bağımsızdır.



Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - <http://www.pdfkitap.com>

Uzunluk Büzülmesi Etkisi

Alice ile Bob birbirlerine göre sabit v hızı ile hareket ediyorlar. Bu durumda Alice Bob'u nasıl görür?



Ücretsiz PDF Kitap Arşivi - <http://www.pdfkitap.com>

Alice cevvelin uzunluğunu Bob'un gördüğünden daha kısa görür.

Zaman Genleşmesi

Benzeri şekilde zaman akış oranlarının da birbirine izafi hızlarla hareket eden gözlemciler için farklı olduğunu keşfederiz. Peki hareket hızlandıkça zaman yavaşlar mı hızlanır mı?



Ancak Bob'un zamanının, Alice'ininkin yansı oranında akmasını sağlamak için bile Bob'un ışık hızına yaklaşırken, o da sırtındaki kade hareket ettirisi berekin. Yine de zaman genişmesi, daha sonra göreceğiz üzere, gerçekten de gözlemlenmiştir.

Muonları Gözlemlemek

Kozmik ışınlar dış uzayda yol alarak, neredeyse ışık hızında atmosfere çarparlar. Bu çarpışma yine ışık hızına yakın bir hızla hareket eden **muonları** ortaya çıkarır (ağırelektronları andıran garip parçacıklar).



Bunun nedeni, muonun hızlı hareketinden kaynaklanan zaman genişlemesi hesabı katkısıyla, muonların ortalama ömrünün 28 kat daha uzun ömre devan ettirildiğini ortaya çıkarır. Böylece muonlar deniz seviyesinde gözlemlenen sayılara ulaşmaya yetecek kadar zamana sahip olurlar.

Enerji Kütledir, Kütle de Enerji

Einstein'ın ünlü denklemi $E = mc^2$ 'dir. Bu denklemde m "durağan kütle"dir –hareketsiz haldeki cismin kütlesi. Denklem kütlein bu yüksek miktarda enerjiye dönüştürülebileceğini ortaya koyar. Pe ki ama ya cisim durmak yerine, hâlâ hareket ediyorsa? O zaman söz konusu cisim **kinetik** enerjiye de (hareket enerjisi) sahiptir. Aslında Einstein denkleminin tam şekli şöyledir...

$$E^2 = m^2 c^4 + p^2 c^2$$

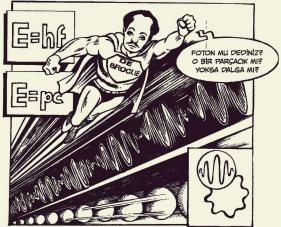


E BURADA p
MOMENTUMUNA SAHİP
BİR PARÇACIĞIN
ENERJİSİDİR.

LINUTMAYIN KI
KLASİK OLARAK
MOMENTUM $p = mv$ 'DIR.
BURADA v CİSMİN
HIZIDIR.

Ücretsiz PDF Kitap Arşivi - <http://www.pdfkitaparsivi.com>

Ancak durağan kütleye sahip olmayan parçacıktan, örneğin ışık fotonlarını ele aldığımız düşünelim. Einstein'ın formülü bu parçacıkların da enerji taşıdıklarını gösterir: $E = pc$ formülü, ışığın parçacık teorisi. Öte yandan ışık aynı zamanda dalga olarak da düşünülebilir: $E = hf$. Burada h Planck sabitidir ve f (frekans) $= c/\lambda$ formülünde lambda (λ) ışığın dalgaboyudur. Böylece fotonun momentumu olan p 'yi hesaplamak için $E = hc/\lambda$ formülünü elde ederiz.



Dalgaboyu ne kadar kısaysa, fotonun momentumu o kadar fazladır.

Görünür ya da kızılötesi ışıktan daha kısa dalgaboyuna ya da **yüksek frekansta** sahip olan ultraviyole (morötesi) ışığın (UV) cilt kanserine yol açmasının nedeni budur.

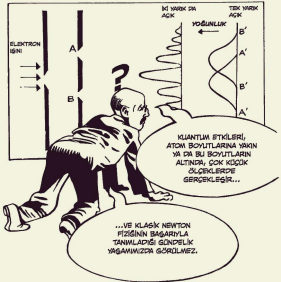
Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - <http://www.pdfkitap.com>

Peki ama Planck sabiti h nedir?

Planck Sabiti h ve Kuantum Etkileri

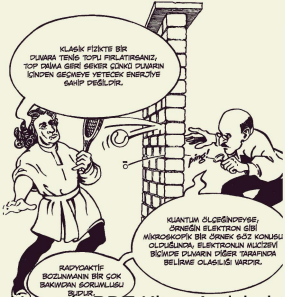
$h = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 006\ 626$

Planck sabiti h çok küçük bir sayıdır ama kuantum etkilerinin ölçüsünü denetler.



Kuantum ölçeğinin bu örneklerinden biri, parçacıkların sadece "parçacık" (çok küçük, lokalize enerji öbekleri) olarak değil, aynı zamanda (su dalgası gibi) yayılma gibi özelliklerini de göstermektedir. Bu da, parçacık değil, foton, fotonlar ve maddenin tüm diğer kuvvetleri tarafından paylaşılan bir etkidir.

Bir örnek de tünellemedir...



Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - <http://www.pdfkitap.com>

Kuantum Fiziği ve Klasik Fizik



Işık hızı c ve Newton'un kütleçekimi sabiti G , kuantum etkileri ile hiç ilgileri olmayanlardan, klasiklerdir. Eğer ışık hızı çok daha düşük, örneğin 10 m/s

olacak, o zaman da günlük yaşamda kuantum etkileri gözlemlenebilir. Newton'un evreni herkes zaman genişlemesi ve uzunluk büzülmesini sezgisel olarak anladı.

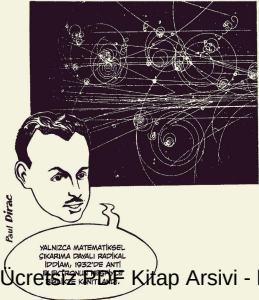


Ancak $G = 0$ olsa, hiç kütleçekimi kuvveti olmazdı. Gezegen ya da yıldızlar oluşmaz, evren çok tuhaf bir yer olurdu.

Ücretsiz PDF.Kitap Arsivi - <http://www.pdfkitap.com>

Dirac'ın Karşımadde Fikri

Gele Einstein'ın $E^2 = m^2c^4$ denklemine geri dönelim. Acaba E denkleminden çok E^2 denkleminin önemli olduğu durumlar var mıdır? Evet. **Paul Dirac** (1902-1984) E'yi bulmak için karekök aldığımızda, matematiksel olarak iki çözümün mevcut olduğunu belirledi. Bunu şu örnekle kolayca anlayabiliriz: $2 \times 2 = 4$ ve $-2 \times -2 = 4$. Eğer karekök için eksi işaret alınrsa, ortaya **NEGATİF** enerji çıkar. Dirac bu temele (ve daha sağlam başka bazı analizlere) dayanarak negatif enerjili **KARŞIMADDE** görüşünü ileri sürdü.



Michelson-Morley Deneyi

1881'de **Albert Michelson** (1852-1931) dünyanın hareketinin ışık hızı üzerinde bir etkisi olup olmadığını test etmeye yarayacak bir deney düzenledi. 1887'de Michelson ve **E. W. Morley** (1838-1923) deneyi yüksek duyarlılıkta gerçekleştirdi ve ışık hızının, ışığın yerküne ile birlikte veya o yerküne hareketinin dışı yönünde yol almasına bağlı olmadığını buldular.

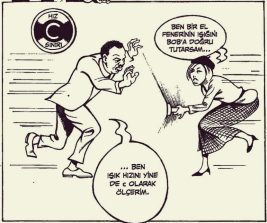


Işık Hızının Sabitliği

Özel izafiyyetin en önemli ilkelerinden biri, vakum içinde ışık hızı c 'nin gözlemciye bağlı OLMADIĞI önermesidir. Einstein'ın önermesi Newton'un mutlak uzay ve zamanı yerine, mutlak ışık hızını koydu.



BUNUN BİR ÖRNEĞİ OLARAK,
IŞIK HIZININ 1899'LU HIZLA
BİRBİRLERİNE DOĞRU İLERLEYEN (K)
GÖZLEMÇİYİ ELE ALALIM.



Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - <http://www.pdfkitap.com>

Eşzamanlılık Problemi

İmnden de anlaşıldığı üzere izafiyet, dört boyutlu dünyamızın kusursuz ve mutlak bir biçimde uzay ve zamana bölünemeyeceğine işaret eder. Peki bu ne demek? Eğer zaman kusursuz bir biçimde tanımlanabilseydi, eşzamanlılık fikri öyle formüleştirilirdi ki, herkes o konuda hemfikir olurdu. Öyleyse eşzamanlılık konusunda hemfikir olmak neden sorun yaratıyor?



Ücretsiz PDF Kitap Arşivi - <http://www.kutupcu.com.tr>

Uzay-Zamanı Farklı Biçimde Bölme

Şimdi Bob'un 1'den 2'ye doğru bir hat üzerinde ilerlediğini hayal edelim. Ayrıca Bob'un (Alice'e göre) lambanın tam sönüğü anda, Alice'in yanından geçtiğini düşünelim. Bob 2 noktasına doğru yol aldığı ve ışık hızı her tür çerçevede aynı olduğu için, Bob'önce 2'den, daha sonra 1'den ışık geldiğini görür. Çünkü ışık ona ulaştığında 2'nin noktasına daha yakındır.

İKİ İŞİK, ALICE İÇİN
EŞZAMANLI OLDUĞU HALDE,
BENİM İÇİN EŞZAMANLI
DEĞİL.

DİHA SONRA BUNU
GEOMETRİK OLARAK SENİN VE
ALICE'İN 4 BOYUTLU UZAY-ZAMANI,
1 BOYUTLU ZAMANA VE 3 BOYUTLU
UZAYA FARKLI BİÇİMDE BÖLDÜĞÜNÜZ
GERÇEĞİ ŞEKLİNDE GÖRECEĞİZ.

ZAMAN

ALICE

BOB

t_2

t_1

1. LAMBDA

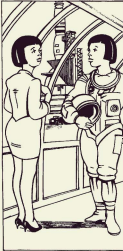
2. LAMBDA

Ücretsiz PDF Kitap Arşivi - <http://www.pdfkitap.com>

Genel İzafiyete Duyulan İhtiyaç

Bu noktada özel İzafiyetin, bizi Genel İzafiyet Teorisine yönlendirecek olan ünlü paradokslarından birini tartışabiliriz. Önümüzde bir kız kardeşler örneği olduğunu ve kardeşlerden birinin bir roketle dünyadan ayrıldığını, diğennin ise dünyada kaldığını düşünelim. Roket, on ışık yılı uzaklıktaki bir yıldız doğru gidenken, ışık hızına yakın hızlara ulaşır.

Bir ışık yılı, ışığın bir yılda kat ettiği mesafedir ki bu da çok büyüktür! $v = 0.995c$ olduğunu varsayalım. Buna göre zaman genişmesi formülü çerçevesinde zaman roketin içinde, dünyadakine kıyasla on kat yavaş ilerler.



Ücretsiz PDF Kitap Arşivi - <http://www.pdfkitaparsivi.com>

Roketli kız kardeş, göre göre, koca dünya ve koca evi de bu yolda yalnızca iki yıl sürer. Oysa dünya üstündeki kardeş, göre göre, aradan yirmi yıldan biraz fazla bir zaman geçmiştir.

Başka Bir Bakış Açısı

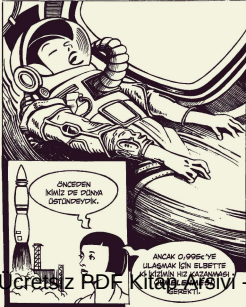
Feki buradaki paradoks nedir? Dünya üstündeki ikiz kardeş, roketin **hareketsiz** olduğunu ve aslında ışık hızında hareket edenin (güneş sistemiyle birlikte) dünya olduğunu iddia etme hakkına sahiptir. Bu durumda zamanın daha yavaş aktığını gören kişi dünya üstündeki kardeş, zamanın normal aktığını gören ise roketteki kardeş olmalı. Ne de olsa izafiyet tam da bu anlamda gelir!



Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - <http://www.pdfkitap.com>

Çıkamazdan Çıkış

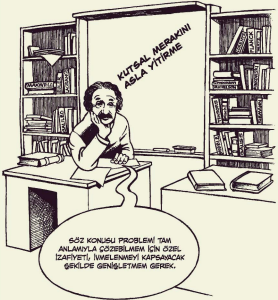
İkiz paradoksu bizi bir çıkmaza sürükler gibidir. Problemin içinde bir simetri vardır sanki. İkizlerin argümanlarının yerini değiştirsek bile, fizik aynı fizik gibi görünür ama roketteki ikizin geri dönüş zamanının aklıdan tamamen değişir. Hızlı düşünersek problem ortaya çıkacaktır. İkizlerin durumları ve argümanları « ZARÇEKTEN birbiriniyle yer değiştirebilir nitelikte midir? »
Roketteki ikiz $v = 0,995c$ SABİT hızıyla ydi almaya başladığında argümanları yer değiştirebilir niteliktedir.



Ücretsiz PDF Kitap Arşivi - <http://www.pdfkitap.com>

İvmelenmenin Çözüne Kavuşturulması

Argümanların yer değiştiremeyeceğini gösteren bu durum, ikizler arasındaki simetriyi ortadan kaldırır. Özel izafiyetin İvmelenmekte olan sistemler için geçerli olmadığını daha önce görmüştük.



“**Ücretsiz PDF Kitap Arşivi - <http://www.pdfkitap.com>**” 1916 yılında ortaya çıkan özel izafiyet teorisine aittir. Genel izafiyetin geliştirilmesine yol açan en büyük entelektüel korkulardan biri olduğu söylenir.

Genel İzafiyetin Yapı Taşları

İki noktada Genel İzafiyet Teorisini tartışabilmek için gerekli temel kavramsal yapı taşlarını ele alacağız. Einstein'ın bunları bir araya getirmesi 1905'ten 1915'e- on yılını aldı. Biz de aynısını yapabilmek için konuya hâlca yer ayıracağız...

Kuşlamadan önce John von Neumann'ın (1903-1957) ifade ettiği yararlı bir felsefeyi anımsayalım...



Bunu kabullenmek, izafiyetin tuhaf kavramlarını ele alırken oldukça önemlidir. Örneğin, uzay-zaman dört boyutludur; üç uzay, bir de zaman boyutu. Ancak biz insanlar bu boyutu tam anlamıyla kavrayamıyoruz. Bizim için bir uzayı tam anlamıyla hayal edemeyiz. Ancak seçilerimize yardımcı olacak bazı küçük "hileler" vardır.

Sonsuz Sayıdaki Boyutlar

Öncelikle şunu soralım: Dört, beş, hatta sonsuz sayıdaki boyutta uzaydan söz eden bir matematikçinin aklından neler geçer? Soruyu yanıtlamak için yerküre yüzeyini düşünelim. YÜZEYİN kendisi iki boyutludur; yani yerküre (iç-)sündeki yerimizi belirlemek için iki sayı yeterlidir: enlem ve boylam.



“Bulutlar da belirsizdir” diye bir deyim ölmek dünyayı anlatır. Çünkü dünya içindeki bir noktayı eksiksiz biçimde tanımlayabilmek için de, aynı sayı gerekir.

Bu temelfikir kolaylık la genelleştirilebilir. Eğer bir uzayda bulunduğunuz yeri eksiksiz tanımlamak için beş ayrı nokta aya gereksinimiz varsa, o zaman o uzay beş boyutludur. Bir noktayı eksiksiz biçimde belirlemek için 25 ayrı sayıya gereksiniminiz varsa, buna karşılık gelen uzay da 2.5 boyutludur.



Ücretsiz PDF Kitap Arşivi - <http://www.pdfkitaparsivi.com>

Bu site, en çok okunan ve en çok beğenilen kitapları ücretsiz olarak paylaşmaktadır. Bizim dünya ile HERFANCI bir ilgilerin amacı yoktur. Aslında genellikle ilgileri yoktur da.

Bir Düşünce Deneyi

Anlamamıza yardımcı olması için gelin antik Yunan düşünür **Platon**'u (MÖ 428-347 civarı) ele alalım. Platon algıladığımız tüm cisimlerin, yalnızca zihnimizde var olan kusursuz varlıkların birer gölgesi olduğunu ileri sürmüştü.



Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - <http://www.kitaparsivi.net>
İnsan, daha önce de örneğini verdiğimiz gibi, 3D boyutlu bir uzayı kavrayabilir ve bu uzayın gerçek dünyada bir karşılığı olması gerekmez.

Bu görüşü geliştirmek için şu düşünce egzersizini ele alalım: Venedik'teki Rialto Kúprüřü altındaki suyun 20. yüzyıl boyunca, zamanın her bir dakikasındaki yüksekliğini temel alan bir uzay yaratmak istediğinizi düşünün.



Bu fikirler elbette değil, yalrıncı yüzyıla değin var olan. SOYUT bir uzaydır ve kelimemiz dünyamızın tutarlılığından kurtulma yolunda önemli bir adımdır.

Sonsuzluk ve Konfigürasyon (Şekillenim) Uzaı

Şimdi kanıyı daha da ileri götürelim ve sonsuzluğun muhteşem karmaşıklığından bazılarına atıyalım. Daha ileride göreceğimiz gibi,kozmolojik gözlemler sonsuz bir evrende yaşıyor OLABİLECEĞİMİZ yönündedir. O durumda evrende sonsuz miktarda madde olabilir; diğer bir deyişle, sonsuz sayıda atom.

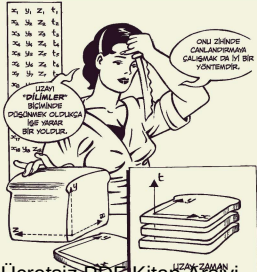


Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - <http://www.pdfkitaparsivi.com>

Uzay-Zamanı Dilimlemek

Ancak bu örnekte elimizde sonsuz sayıda atom var, demek ki uzayın tamamı sonsuz boyutlu ($4 \times$ sonsuzluk = sonsuzluk). Tüm atomların yerlerini eksiksiz biçimde kaydedebilmek içinse sonsuz sayıda sayıya gereksinimimiz var. Mekânik bilminde -bizim ihtiyacımız olmasa da- bu uzaya, sistemin konfigürasyonunu verdiği için **konfigürasyon uzayı** denir.

Uzayı soyut biçimde düşününce insanın onu gündelik terimlerle zihninde canlandırmaktan vazgeçtiğine dikkat edin.



Ücretsiz PDF Kitap Arşivi - <http://www.pdfkitaparsivi.com>

(Dört boyutlu olan) uzay-zamanı, zihnimizde üç boyutlu dilimlere ayırabiliriz.

Uzay-Zaman Ne Şekilde Düşünülmeli

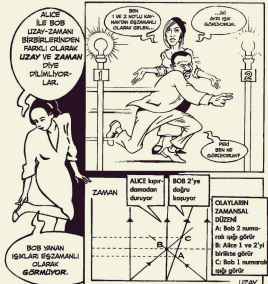
Varlıklar zihninizde, yaşadığımız dünyada görünecekleri şekilde canlandırılmaktan vazgeçerek soyutlama yöntemini kullanmaya başlamanın en büyük avantajlarından biri, uzayı sürekli daha büyük uzayların içinde düşünme eğiliminizi terk edebilmemizdir.



Standart bakış açısından bakılınca bu soru doğal bir sorudur ama uzayı, başka herhangi bir uzaydan tamamen ayrı düşündüğümüz yeni bakış açımıza göre doğal değildir. Dolayısıyla bilimciler, uzayın genişlemesini genellikle yalıtılmış bir uzayın genişlemesi olarak düşünür. Başka bir deyişle genişleme, UZAY-ZAMAN İÇİNDEKİ noktalar arasındaki mesafenin artmasıdır.

Eşzamanlılık İzafidir

İzafiyetin kilit unsurlarından biri -Newton'un kütleçekimi görüşünün aksine- uzay ve zamanın dört boyutlu bir uzay biçiminde bütünleşmiş olması ve bunun da "uzay" ve "zaman"ı verecek şekilde farklı biçimlerde, tıpkı bir takım elmek gibi dilimlenebilmesidir. Ancak uzay-zamanı dilimlere ayırmanın KUSURSUZ ya da tercih edilebilir bir yöntemi yoktur. Aslında bu, daha önce işlemlediğimiz "eşzamanlılık yakluğu"nu anlamın geometrik bir yöntemidir.



Ücretsiz PDF Kitap Arşivi - <http://www.kitaparsivi.net>

Artık Einstein'ın edimlerini Genel İzafiyet Teorisi'ne doğru takip etmeye hazırız.

Einstein'ın Görevleri

1904 ile 1905 yılının yeni yıl arifesinde Einstein 20. yüzyılın en önemli makalelerinden altısını sundu. Bunlardan ikisi özel izafiyetin (Öİ) temellerini atıyordu. Ancak Einstein şimdi de Öİ'yi iki ayrı yönde genişletme konusundaki problemle karşı karşıyaydı...



İlk bakışta bunlar birbirinden farklı görevler gibi görünebilir. Ancak muhteşem sezgi ve sezgiyle birleşen Einstein, bunları aslında bir arada ele alması gerektiği gibi görürken, etti. Şimdi Einstein'ın takip ettiği ve sonradan "hayatının en mutlu düşüncesi" diye adlandırdığı mantığı izleyelim.

Askıya Alınan Kütleçekimi

Bir pencereden aşağı düşerseniz havadayken (hızla hücum eden hava dışında) ne hissedersiniz? Yere doğru ivme kazandığınız halde kendinizi ağırbaşlı hissedersiniz. Astronotlar da uzaya hazırlık eğitimlerini bu şekilde; uçakta, birkaç dakik a yere dikey olarak yaparlar.



Ücretsiz PDF Kitap Arşivi - <http://www.pdfkitap.com>

Bu durum, düşen kütle çekim kuvvetini hızla düşen gözlemciye göre kısa mesafeler için sıfırlı bir biçimde yok edilebileceğini düşündürdü; tıpkı çekiçle birlikte düşen gözlemci örneğindeki gibi.

Eşdeğerlilik İlkesi

Şimdi bu düşünce şeklini biraz daha ileri götürelim. Gözlerinizin bağlı olduğunu ve penceresiz bir odada, yerde uzandığınızı hayal edin. Oda, üstünde hiçbir kuvvet etki etmeden uzayda sürükleniyor olsun. Siz tamamen ağırlıksınız. Ancak birden "yene" yapılıyor ve öylece kalıyorsunuz.





Sezgileriniz sizi de bu örnekte, Einstein gibi aradaki farkı anlayamayacağınızdan şüphelenmeye yönlendirmiş olabilir. Bu iki temel gözlem bugün, teorik fiziğin cevherlerinden biri olan **esdeğerlilik ilkesinin** farklı yönleri olarak bilinir. Bu basit düşünce egzersizleri Einstein'ı doğrudan Ö'l'l ivmelenme ve kütleçekimini de içine alacak şekilde genişletmek için yapılması gerek en şeye yönlendirdi.

Kütleçekimsel Kütle ve Eylemsizlik Kütesi

Durup bira z düşüncecek olursanız, eşdeğerlik ilkesinin aslında, Ö'l'yi genişletme konusunda iki aynı zarfuk olarak düşündüğümüz şeylerin -ivme kazanan gözlemciler ve kütleçekimi- gelip aynı problemde birleştigi anlamına geldiğini fark edebilirsiniz: Gözlemci kütleçekimi ya da başka bir kuvvet yüzünden ivme kazanıp kazanmadığını ayırt edemez.



Bu önerme inanılmaz bir doğruluk oranıyla test edildi. Diyelim ki önerme sihiri bir madde için geçerli OLMASAYDI, o madde "Einstein odası"ndaki bir insanın kütleçekimine mi maruz kaldığını, yoksa bir roketle mi hızlandırıldığını bilmesini mümkün kılabildi.

Newton'un Birinci Yasasının Genişletilmesi

Ne kütleçekimi alanında düşerken, üstümüze etki eden hiçbir kuvvet yokmuş-
kusuna kendimizi ağırlıksız hissettiğimizi gördük. Bu durum Einstein'ı, kütleçekimi-
nin diğer kuvvetler gibi bir kuvvet olmadığı yönündeki radikal düşüncesine
akılcı yönett! Feki ama bunu, okul yasalarının en temeli olan yasa ile
Newton'un birinci yasa- nasıl bağdaştırabiliriz? **Galileo**'nun (1564-1642)
yasalarını temel alan söz konusu yasa şöyle der...



Problemin çözümü şaşırtıcı zarafetiyle fizik tarihinin en güzel teori tadilatları-
ndan birini teşkil eder.

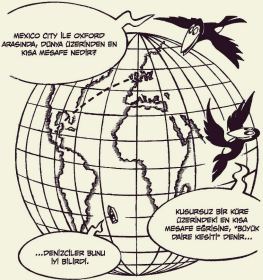
Dünya düz değildir, uzay da öyle!

Einstein Newton'un birinci yasasını şöyle değiştirdi...



Burada sorun, kendimizi çoğu zaman düz uzaylarla sınırlamamızda yatar. Bu düşünce şekli de Öklid'in (MÖ 300) temelini oluşturduğu geometrinin bize bir mirasıdır. Ancak dünyanın düz olmadığını hepimiz biliyoruz. O zaman neden uzay-zamanndüz olacağı düşüncesiyle kendimizi sınırlıyoruz? Eh, Newton öyle varsayıyordu ve kendisi de bir dâhi olduğundan... o sırada bu, mantıklı bir varsayım gibi görünmüştü!

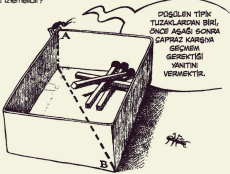
* İyisi aslında bir uzay eğriyse, o uzayın herhangi iki noktasının arasındaki en kısa mesafeyi oluşturan UZAYIN TAMAMEN İÇİNDE BULUNAN eğri, bir düz yığı DEĞİLDİR.



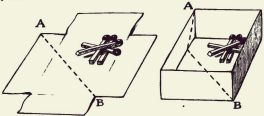
Bu dairelerin örnekleri ekvator ve boylam çizgileridir. Gerçekten de yerküre üzerinde HİÇ doğru yoktur.

Bir Bilmecce

Bu fikirlerin bir örneği de eski bir bilmecede yatar: Bir kırıncı bir kibritkutusunun iç köşesinden karşı çaprazındaki köşeye en hızlı şekilde gidebilmek için hangi yolu izlemelidir?



Bu problemi çözmenin sağlıklı bir yolu, kibrit kutusunu açmak ve dümdüz yaymaktır.



Kutu artık düz bir yüzeye dönüştüğünden, çekilecek düz bir çizgi GERÇEKTEN de en kısa mesafe için alınacak yolu bize gösterebilir. Söz konusu yol ise kırıncıyı, sezgiye aykırı bir güzergâh izlemeye zorlayacaktır.

Jeodezi

İn kısa mesafenin eğrileri, izafiyyet jargonunda **jeodezik** diye bilinir. Dolayısıyla, kütüpeckiminin var olduğu durumlarda bir cismin nasıl ilerlemesi gerektiğini bulmak için tek ihtiyacımız olan, gerekli jeodezik hesabı yapmaktır...



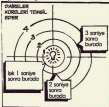
Uzaysı, Işıksı, Zamansı

Ancak yine bilmecenin sadece bir kısmını çözmüş olduk. Peki Newton'un birinci yasasında yaptığımız değişiklikle zamanın yerineresi? Mexico City ile Oxford arasındaki en kısa mesafeyi/belirleyen yol (kıtasal sürüklenmeler göz ardı edilerek) tüm zamanlar için yerküre üstünde işaretlenebilir. Ancak Newton'un birinci yasasında yaptığımız değişiklikle, jeodezikler boyunca zamanın içinde ilerleyen cisimlerden söz ediliyordu. Doğrusu bu da insana hiç mantıklı gelmiyor!

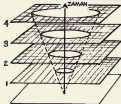
Görünüşe bakılırsa bizim hem uzay HEM DE zaman boyutumuz olduğundan, üç farklı türde jeodeziğe gereksinimimiz olacak.



IĞIK FLAĞININ TARİHİ

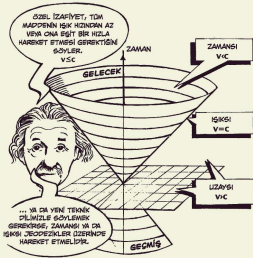


3 boyutlu uzayın 2 boyutlu çizimi



UZAY-ZAMAN için zaman da eklenince, olayın ışık konisini elde ederiz.

İ herçekten de üç jodezi sınıfı, c 'den küçük, c 'ye eşit ya da c 'den büyük hız-
lını olan hareketlere karşılık gelir. Bunlara sırasıyla **zamansız**, **ışık** ve **uzaysı**
jodezikler denir.



Mesafeyi Bulmak

Ancak jeodeziklerin hesaplanması genellikle çok zordur. Tepeleri ve vadileri olan karmaşık bir arazinin ölçümünü yaptığınızı düşünün. Böyle engembeli bir alanda en kısa mesafe için izlenecek yol nasıl hesaplanır?

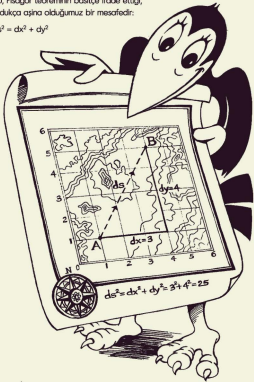
Şimdi bir de bunu dört boyutta gerçekleştirdiğinizi hayal edin!

Jeodezikleri bulabilmek için bir mesafe ölçüsü kullanmamız gerekir. Gelin bunu yukarıda sözünü ettiğimiz araziden başlayarak yapalım.



İki, Pisagor teoreminin basitçe ifade ettiği,
 oldukça aşina olduğumuz bir mesafedir:

$$ds^2 = dx^2 + dy^2$$



Burada dx ve dy haritada ilgilendiğimiz iki noktanın x ve y koordinatlarının farklarına karşılık gelir.

Jeodezikler ve Metrik

Ne var ki jeodeziklerin uzayın kendisinin dışında değil, içinde uzanan eğriler biçiminde tanımlandığını unutmamak gerekir. Dolayısıyla bir karga, büyük olasılıkla çok derin bir vadinin üzerinden uçmayı tercih ederdi. Arazi üstünde yol alan birisi ise vadinin etrafını dolaşır, böylece aşağı inip sonra da yukarı tırmanmaktan daha kısa bir mesafe kat ederdi.



Düz harita mesafelerini eğri yüzeyimizdeki (bu örnekte arazi) gerçek mesafelere dönüştüren matematiksel niceliğe uzayın METRİĞİ denir ve o uzaya özgüdür. Bunu "g" ile ifade edeceğiz.

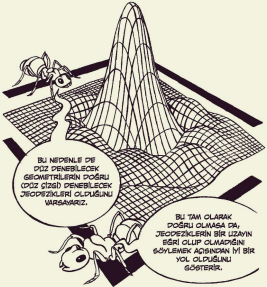
Metrik kavramı oldukça aşina olduğumuz bir kavramdır. Evrensel bir mesafeyi (düz bir uzay üzerindeki mesafe) eğri yüzeyler üzerindeki mesafelere dönüştürmenin bir yoludur bu. Tıpkı sabit bir zaman ve mesafe miktarını, yolcu için ücrete dönüştüren taksimetreler gibi.



Benzer biçimde, Londra'da taksiye binmek size, aynı zamanı harcıyıp, aynı mesafeyi kat ettiğiniz halde Hindistan, Pune'de taksiye binmekten çok daha fazlasına mal olur. "Taksi metrik" aynı zamanda **uzaysal** konunuza da bağlıdır.

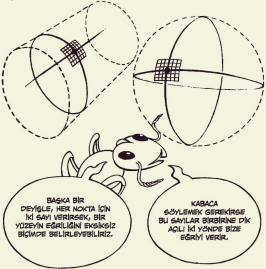
Metriği Bulmak

Aynı şey arazi örneğimiz için de geçerlidir. Çok engebeli bir alan üstündeki mesafeler, düz ovalar üstündeki mesafelerden çok farklıdır. Hatta arazimiz ne kadar engebelyse, gerçek mesafe, düz harita mesafesinden o kadar farklılık gösterir. Öte yandan, arazi ne kadar düzse, mesafe evrensel Pto-goryen mesafeye; jeodezikler de doğrulara o kadar yakın olacaktır.



Metrik...

Faki ama metrik yani g nedir? Yeniden güvenilir silindir ve küre örneklerimizi ele alırsak, bu konuda bir fikir edinebiliriz. Silindir tek bir doğrultuda eğridir ama boylamasına eğri değildir. Öte yandan küre hem "kuzey-güney" hem de "doğu-batı" doğrultusunda eğridir. Şurası açık ki eğer metrik bize bir uzayın eğriliği hakkında her şeyi söylüyorsa, o zaman uzayın her bir noktasında tek bir sayıya karşılık gelemez, yoksa o durumda bize silindir ile kürenin farkı olduğunu nasıl anlatırdı?



Her iki sayı da metriğin bir parçasıdır; tıpkı bisikletin iki tekerinin olması gibi.



TAMAM, ŞİMDİ KEMERLERİNİZİ
BAĞLAYIN. GARSINTILI BİR
YOLCULUK OLACAK...

GELİN METRİĞİN YAPISINA
İKİ BOYUTTAN FAZLASINI
ELİ ALARAK BAKALIM.

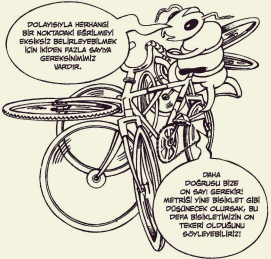
METRÜŞİMİZİ ORTAYA
ÇIKARMAK İÇİN KAÇ SAYIDA
İHTİNAÇIMIZ OLACAK?

BİR MİT İKİ MİT
ÜÇ MİT?

ACABA BU
UZAYIMIZIN BOYUTUNA MI
BAĞLI?

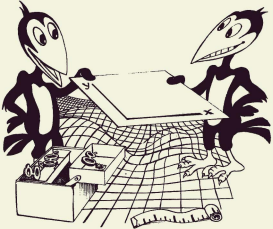
Dört Boyutta Metrik

(Gerçek te gelişigüzel olan) koordinat sisteminizin x ve y doğrultularındaki eğriyle ilintilerini gösterebilmek için metriği g_{xx} ve g_{yy} şeklinde temsil eden iki sayı kullanalım. Şimdi dört boyutta işler daha da karmaşıklaşacak çünkü dört boyutlu bir uzay, dört ayrı doğrultuda eğrilebilir.



İ koordinatın x ve y doğrultularında dx ve dy gibi küçük adımlar attığımızda, metriği kullanarak bunun bükülen(eğrilen) uzayımız üzerinde hangi mesafeye karşılık geldiğini, toplama hesabıyla bulabiliriz:

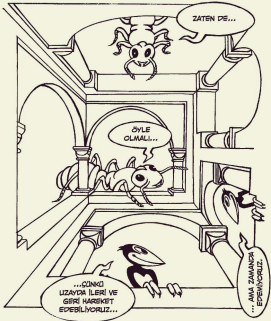
$$|ds|^2 = g_{xx} (dx)^2 + g_{yy} (dy)^2$$



Artık uzayın (ya da uzay-zamanın) metriğini bildiğimize göre, jeodesikleri bulabilmek için gelişkin teknikler kullanabiliriz; ya da en azından jeodesiklerin riayet ettiği denklemleri yazabiliriz. Ancak tıpkı yüzyıllar öncesinin mistik alfabeleri gibi, bu denklemleri çözmek de genelde son derece güçtür ve sadece bilgisayar kullanarak, yaklaşık değerler elde edilebilir.

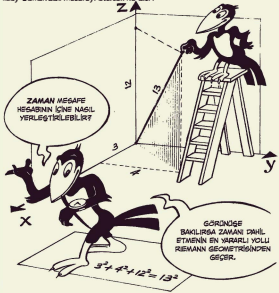
Uzay-Zaman Jeodezikleri

Eğri uzayların jeodeziklerine ilişkin tartışmada şu ana dek gündelik benzetmeler oldukça işinize yarar. Ama artık bundan vazgeçmeli ve UZAY-ZAMAN jeodeziklerinin tuhaf dünyasına dalmalıyız. Görünüşe bakılırsa uzay ve zaman, izafiyette bile tamamen birbirinin eşiği değil.



Zamanın jeodezikler tartışmasına kattığı garipunsur, zarif Ptolemy teoremini DÜZ BİR UZAY-ZAMAN'dabile değiştiriyor olmasıdır.

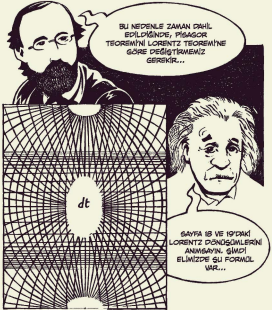
Uzay için, Pisagor teoremi şöyle der: $ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2$ (üç boyutlu uzayda). Peki ya iki olay (t, x, y, z) ve (t', x', y', z') arasında, uzay-zaman'daki mesafeyi istersek ne olur?



Georg (Friedrich Bernhard) Riemann'ın (1826-66) Newton ile Carl Friedrich Gauss'un (1777-1855) yanı sıra tüm zamanların önde gelen matematikçilerinden biri olduğu iddia edilir. Fermat'ın son teoreminin çözülmesinden sonra, asal sayıların özelliklerini ilgilendiren Riemann Hipotezi matematiğin en büyük çözülmemiş varsayımı haline geldi. Clay Vakfı hipotezin doğruluğunu ispatlayacak olan kişiye bir milyon dolarlık ödül sunuyor (yanlışlığı ispatlana ise bir şey yok).

Zamanı Dahil Etmek

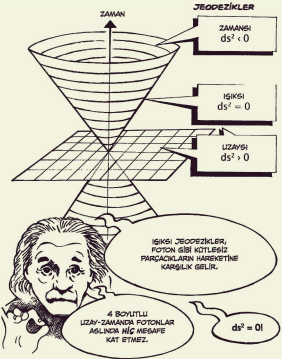
Einstein'ın Genel İzafiyeti formüleştirmede kullandığı geometriktetikler in büyük bölümünün geliştirilmesinde Riemann'ın katkısı oldu. Riemann geometrisinde iki nokta arasındaki mesafenin pozitif olması gerekmez; sıfır'ya da negatif de olabilir!



$$ds^2 = -c^2 dt^2 + dx^2 + dy^2 + dz^2$$

$dt = t' - t$ iki olay arasındaki zaman farkıdır.

Önceden yaptığımız zamansı, ışık sı ve uzaysı jeodezikler sınıflandırması, şimdi ds^2 'nin sırasıyla negatif, sıfır ve pozitif olmasına karşılık geliyor.

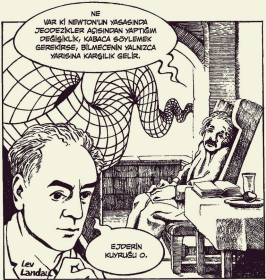


Genç fotonlar elbette ki UZAY'da büyük mesafeler kat eder.

Ejderin Kuyruğu

Bu nedenle Newton küteçekiminin güzel ve radikal bazı uzantılarının, Newton'un ilk yasasına yapılan Einstein değişikliğinde saklı olduğunu görürüz. Söz konusu değişiklik için birkaç sözcüğü değiştirmemiz yeterli olur.

G'ün ünlü Rus fizikçi Lev Landau'nun (1908-1968) şu sözlerine ilham veren müthiş gücü ve ekonomisi de o birkaç değişiklikte yatar: Teorik fizikçi olmak için G'ye karşı olağanüstü bir hayranlık ve takdir duymak gerekir.

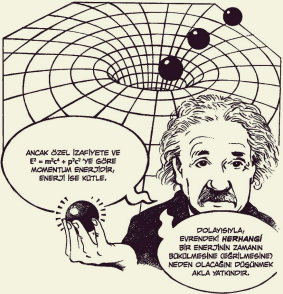


Durup düşünecek olursanız, Newton'un küteçekimi teorisini, tutarlı bir izafi-yetle değiştirebilme amacımız doğrultusunda çok büyük bir unsurun eksik olduğunu fark edebilirsiniz.

EksikÜnsur

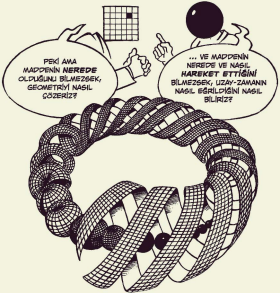
Söz konusu eksik unsur şu soruda gizlidir: "Uzay-zaman , Ay'ı Dünya etrafında döndürecek olan doğru jeodezikleri verecek şekilde eğilimeyi nereden biliyor?"

Ay'ınDünya çevresinde dönmesine neden olanşey, Dünya'nın kütleçekimi ol-
duğu için, uzay-zamanı bükme işini kütlelerin gerçekleştirdiğini biliyoruz.



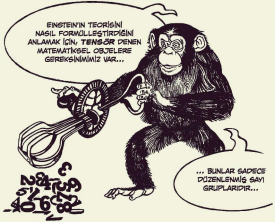
Ejder Kuyruğunu Isırıyor

Kısaca söylemek gerekirse, geometriye nasıl EĞRİLECEĞİNİ söyleyen şey maddedir, geometri ise maddeye nasıl HAREKET EDECEĞİNİ söyler.



Butavuk - yumurta durumu GİRİNİN içinde yatan karmaşıklığın kaynağıdır. Tıpkı kuyruğunu ısran bir ejder gibi.

Tensörler



0-tensör sadece tek bir sayıdır: örneğin, "2" sayısı.

1-tensör dört sayıdan oluşan bir zincirdir (dört uzay-zaman boyutunda).

Dolayısıyla, örneğin $A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 & 3,14 \end{pmatrix}$ bir 1-tensördür, ya da sadece bir "vektör"dür, ki o da uzay-zamandaki bir oktur.

Genelde vektöre karşılık A_i yazarsınız.

Burada $i = 1, 2, 3$ ya da 4'tür ve böylece $A_1 = 1, A_2 = 0$, vb olur. Elektrik ve manyetik alanları bu şekilde tanımlarız.

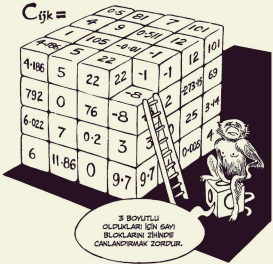
2-tensör bir matris, yani B_j ile gösterebileceğimiz $4 \times 4 = 16$ sayıdan oluşan bir bloktur. i ve j indisi bize bunun bir sayı bloğu olduğunu belirtir.

$$B_j = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 234 & 17 \\ -29 & 2 & 0 & 42 \\ 34 & -1.4 & 23 & 1000 \\ -1 & -1 & -1 & 0 \end{pmatrix}$$

Burada B' ninalındaki i işaretisatır sayısını, j ise sütun sayısını belirtir. Dolayısıyla $B_{11} = 2$, $B_{12} = 1$, $B_{31} = 34$ vb.



3-tensör üç işaretli belirtilebileceğimiz, üç boyutlu sayı bloklardır. Örneğin, C_{ijk} 'da i, j, k 'nin her biri 1, 2, 3 ya da 4'ten herhangi biri olabilir.

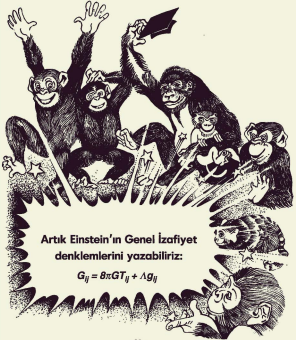


Çizimde bu 3-tensördeki $4 \times 4 \times 4 = 64$ sayının yalnızca bazıları görünüyor.

Einstein'ın Alan Denklemleri

Eğri uzayı tanımlamanın uygun biryoluolan tensörleri gördüğümüze göre artık Einstein'ın alandenklemelerini yazabiliriz. Ama önce bilmedenin bir parçasına daha ihtiyacımız var.

Eğer $C_{ij} = B_{ij}$ yazarsak, o zaman $C_{11} = B_{11}$, $C_{12} = B_{12}$, $C_{22} = B_{22}$ ve i ve j 'nin tüm değerleri için vb... demek istiyoruzdur.



**Artık Einstein'ın Genel İzafiyet
denklemlerini yazabiliriz:**

$$G_{ij} = 8\pi G T_{ij} + \Lambda g_{ij}$$

Tamamını yazmak gerekirse ...

$$\begin{pmatrix} G_{11} & G_{12} & G_{13} & G_{14} \\ G_{21} & G_{22} & G_{23} & G_{24} \\ G_{31} & G_{32} & G_{33} & G_{34} \\ G_{41} & G_{42} & G_{43} & G_{44} \end{pmatrix} = 8\pi G \begin{pmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} & T_{14} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} & T_{24} \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} & T_{34} \\ T_{41} & T_{42} & T_{43} & T_{44} \end{pmatrix} + \Lambda \begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} & g_{14} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} & g_{24} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} & g_{34} \\ g_{41} & g_{42} & g_{43} & g_{44} \end{pmatrix}$$

Burada G, Newton kütleçekimi sabiti, $\pi = 3,14...$ ve Λ da "kozmozik sabit" diye bilinen bir sabittir. Ona daha sonra ihtiyacımız olacak. Böylece Einstein denklemlerinin aslında...

$G_{11} = 8\pi G T_{11} + \Lambda g_{11}$ vb... formunda 16 denklem olduğunu görüyoruz.





Daha ayrıntılı söylemek gerekirse, belli bir noktada (x,y,z,t) hiç madde yoksa -vakum- o zaman $T_{ij}(x,y,z,t) = 0$.

Einstein denklemlerine göre bunun anlamı şudur: (x,y,z,t) noktasında $G_{ij} = \Lambda g_{ij}$. Ancak şu da önemlidir ki, $\Lambda=0$ olsa bile bu, uzayın (x,y,z) noktasında düz olduğu anlamına GELMEZ.

Bu çok önemli bir noktadır çünkü güneş ile dünya arasındaki boşluk neredeyse kusursuz bir vakum olduğu halde, gündelik deneyimlerimizden bildiğimiz üzere dünya güneşin etrafında döner.



Genellikle $T_g(x,y,z,t)$ sıfır DEĞİLDİR ve 16 denklemini birlikte çözmemiz gerekir; bu halengenel olarak başarmaya çalıştığımız çok zor bir iştir.

Daha fazla ilerleyebilmek için bir uzayın oluşturabileceği farklı eğrilik çeşitlerine girmemiz gerekir; *içsel eğrilik ve dışsal eğrilik*.

Eğrilik (Bükülme) Çeşitleri

Einstein denklemlerini artık ed e ettiğimize göre, karşımıza çıkabilecek farklı eğrilik çeşitlerine daha yakından bakalım çünkü bu ilerde çok işimize yarayacak. Öncelikle, gelin yerküreyüzeyiyo da bir kağıt gibi iki boyutlu yüzeyleri düşünelim.



Geometrinin temellerini Öklid formüleştirdi.



Sonunda Öklid bunu bir varsayım; bir aksiyom olarak almak zorunda kaldı. Bunun nedeni onun genellikle doğru OLMAMASI idi.

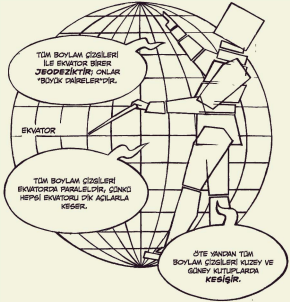
Aslinabakılırsa, yalnızca üzerine paralel çizgiler çizdiğimiz uzay düz ise bu önerme genellikle doğrudur. Dolayısıyla Öklid geometrisi, düz yüzey geometri çalışmasıdır.



Pozitif Eğrilik

Paralel çizgilerin kesişebildiğini görmek içineğri yüzeylere uygun olan bir tanıma ihtiyacımız var. Öklid geometrisindeki k paralel çizginin her birbir doğrudur, dolayısıyla (Newton'un birinci yasasını Einstein yasasıyla değiştirmemizin ardından), paralel çizgilerin genel tanımında "doğru"nun yerine "jeodezik"i koymamız gerektiği açıkça görülmüyor.





Yanibu örnekte paralel çizgiler buluşuyor; bu durum uzayın POZİTİF eğriğe (bükmeye) sahip olduğu şeklinde ifade edilir.

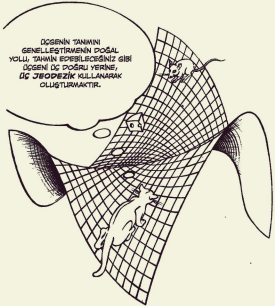
Negatif Eğrilik

Paralel jeodeziklerin hiç kesişmediği, fakat jeodezikler boyunca ilerledikçe aralarındaki mesafenin arttığı uzaylar oluşturmak da mümkündür.



Son olarak, paralel çizgilerin birbirine eşit mesafede kaldıkları ve hiç buluşmadıkları Öklidyen düz uzaylarımız vardır.

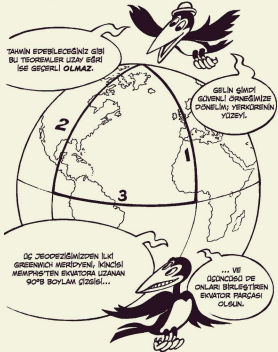
Bu üç farklı türdeki eğriliği (DÜZ, POZİTİF, NEGATİF) tanımlamanın bir diğer ilginç yolu da, üçgen kavramını genelleştirmektir. Bir üçgenin genellikle (örneğin, düz uzay üstünde) doğrulardan oluşan üç kenarı vardır. Negatif yada pozitif eğriliğe sahip uzaylarda ise genellikle doğru yoktur.



Tanımdüz uzayda otomatikman genel olarak bilinen tanımına geri döner, çünkü düz uzay üstündeki jeodezikler, doğrulardır.

Eğri Uzayda Üçgenler

Şimdi bu genelleştirilmiş üçgenlerin özellikleri hakkında sorular sorabilecek duruma geldik. Örneğin, "üçgenin iç açlarının toplamı 180 derecedir" gibi okulda gördüğümüz temel teoremler ne olacak?



Pozitif Eğri...



Bu **pozitif eğri**ğe sahip uzayların genel özelliğidir; onların jeodeziklerinden oluşan üçgenlerin açılarının toplamı, 180 dereceden **BÜYÜKTÜR**.

Negatif eğri...

ÖTE YANDAN
NEGATİF EĞRİLİĞİ OLAN
BİR UZAYDA...

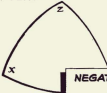
SIFIR



$$x+y+z = 180^\circ$$

...DÜĞENİN
AÇILARININ TOPLAMI
180 DERECEDEDEN
KÜÇÜKTÜR.

POZİTİF



$$x+y+z > 180^\circ$$

NEGATİF



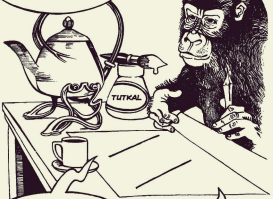
$$x+y+z < 180^\circ$$



İçsel Eğrilik

Şimdi de genel izafiyeti, üç uzay ve bir zaman boyutu için formüleştirmeye ilişkin bazı ilginç ayrıntıları ele alalım. Bunun önemini takdir edebilmek için eğrilğin iki yeni özelliğiyle tanışmamız gerekir. Bir uzayın eğriliğini, paralel jeodeziklerin kesişmesi ya da rakımasına, ve daha sonra da jeodezik üçgenlerin iç açılarına göre sınıflandırmıştık.

BU İÇSEL EĞRİLİK
DİYE ADLANDIRACAĞIMIZ SEYİ
PENİTLER. FAKAT BAŞKA TİP
BİR EĞRİLİK VARDIR.



KAĞIDA ÇAPRAZLAMASINA
İKİ PARALEL JEODEZİK
-DOĞRU- ÇİZİLMİ
DÜŞÜNÜLÜM.

ELBETTEKİ
BUNLAR
KEŞİŞMİYOR...

Dışsal Eğrilik



Oysa silindir hiç şüphesiz düz değildir! Peki bu nasıl olabilir?

Paralel jeodezikler eşituzaklığa kalmayı sürdürdüklerinden, tıpkı düz köğüt parçası gibi silindirinde İÇSEL OLARAK DÜZ olduğunu anlıyoruz. Ne var ki sezgisel olarak silindirin bazı yönlerde eğil olduğunu da biliyoruz. Yine sezgisel olarak düz bir köğüt parçasının gerçekten düz olduğunu biliyoruz.

Peki iki durum arasındaki esas farklılık nedir?



Demek ki aradaki fark, silindirin bir bütün olarak görünümünde; diğer bir de-
yişle bu iki boyutlu uzayın üç boyut içine yerleştirilmesinde -veya gömülme-
sinde- yatar.

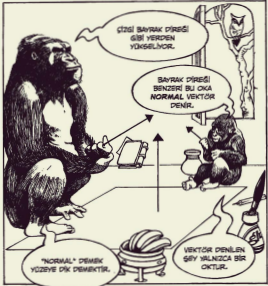
Bu da başka bir tür eğriliği tanımlamamız gerektiği anlamına gelir; DIŞSAL
EĞRİLİK. Pekiyi dışsal eğriliği nasıl ölçeriz?



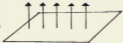
Biraz düşünecek olursak sorunun yanıtını kolayca bulabiliriz.

Normal Vektörler

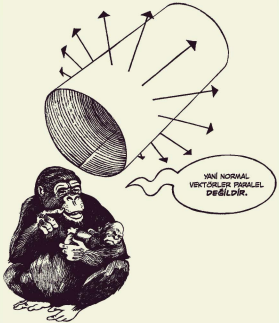
Bir kez daha kâğıdımızı düşünelim. Şimdi kâğıda dik bir çizgi oluşturalım ve çizgi bir noktoda (x,y) kâğıdın içinden geçsin.



Söz konusu normal vektörleri, çeşitli noktalarda (x,y) kâğıdın her yerine yerleştirebiliriz. Vektörlerin hepsi birbirine paralel olacaktır.



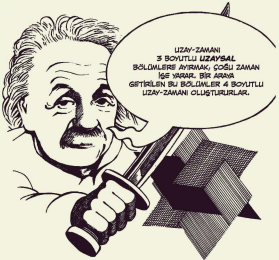
Şimdi aynı şeyi silindirinle yapalım. Bu şekilde durum biraz daha ilginçleşir. Normal vektörler bu örnekte silindirin merkez hattından dışarı uzanan çizgileri takip eder.



İşte aradığımız anahtar da budur; normal vektörler, düssel eğriğe sahip bir uzayda birbirlerine paralel değildir.

Uzaysal Dilimler

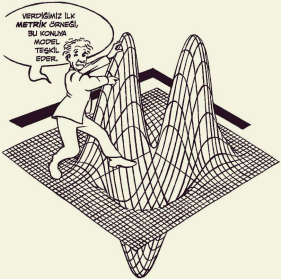
İçsel ve dışsal eğrilik kavramları özellikle uzay-zaman fiziğinde çok yararlıdır çünkü uzay-zamanın üç uzay ve bir de zaman boyutu vardır.



UZAY-ZAMANI
3 BOYUTLU UZAYSAL
BÖLÜMLERE AYIRMAK, ÇOŞU ZAMAN
İŞE YARAR. BİR ARAYA
GETİRİLEN BU BÖLÜMLER 4 BOYUTLU
UZAY-ZAMANI OLUŞTURURLAR.

Üç boyutlu uzaysal bölümlerin hem içsel hem de dışsal eğriliğini araştırabiliriz. Gerçekten de dört boyutlu uzay-zaman eğriliğini (bükülmesini) anlamak için bunların her ikisi de bize gereklidir. Ardından Einstein denklemlerini, üç boyutlu uzaysal dilimlerin içsel ve dışsal eğrilikleri açısından yeniden yazabiliriz.

Bu noktada, şimdiye dek yalnızca eğriliği her yerinde sabit olan uzayları ele aldığımızı hatırlamalıyız; küreler, silindrler, kağıt parçaları. Bunlar zihinde canlandırılması kolay, ama son derece özel uzaylardır. Oysa çoğu uzay, uzay boyunca değişiklik gösteren eğrilikleresahiptir.



Bir arazinin eğriliği, dik vadileri olan dağlık bölgelerde fazla, hemen hemen düz olan yeşil alanlarda ise azdır. Dolayısıyla dünya aşağı yukarı bir küre (ve eğriliği neredeyse sabit) olduğu halde, arazinin gösterdiği değişikliğe bağlı olarak küçük varyasyonlara sahiptir.

Aynı şey, ileride göreceğimiz gibi, genel izafiyette uzay-zaman eğrilmesi için de geçerlidir.

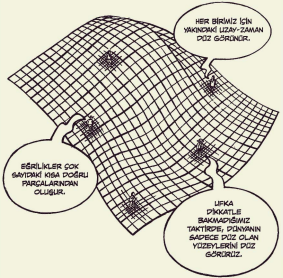
Uzay ve Zaman, Uzay-Zamana Karşı

Peki neler oluyor böyle? İlk önce Einstein'ın uzay ve zamanı birleştirdiğini vurguladık. Şimdi ise yine uzay ve zamandan söz ediyor, Einstein denklemlerini içsel ve dışsal eylemler açısından yeniden yazabileceğimizi belirtiyoruz. Bu durumu anlamak için gelin Özel İzafiyet'e dönelim.



Dilimleme gözlemlerinin uzay-zaman içinde ne şekilde hareket ettiklerine bağlı olarak, izafidir ve mutlak değildir!

İ ğniliş uzay-zaman örneği için, uzayın her noktasında genel olarak birbirinden farklı hareket eden sonsuz sayıda gözlemci hayal edebiliriz.

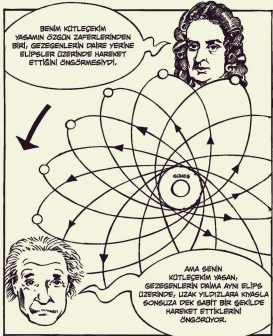


Ancak tüm gözlemcileri de aldığımızda, uzaysal parçalar o kadar da düz olmayacaktır.

Uzay ve zamanı dilimlemek, özellikle iş Einstein denklemlerini çözmeye ve onları evren modelleri oluşturmak gibi gerçekçi durumlara uygulamaya geldiğinde büyük öneme kazanır.

Gl'yi Doğada Test Etmek

Einstein denklemleri, ortaya koyduğumuz temel talepleri karşılar. Ancak yeni bir teorinin geliştirilmesinde nihai hükmü veren daima doğadır. Genel İzaflıyet şimdiye dek ne gibi testlere tabi tutuldu? Hangi öngörüler doğrulandı? Newton kütleçekiminin bilinen problemlerinden birini daha önce tartışmıştık; Merkür gezegeninin perihel kayması.



Bu nedenle, Merkür'ün yörünge gözlemleri, güneşe en yakın noktanın -perihel- her yörünge turunda biraz farklı olduğunu gösterdiğinde ciddi bir kı-
maza girildi.



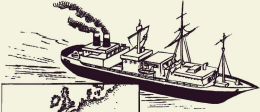
Işık Bükülmesi

Merkür perihelini tahmin etmek herkesi G'ningerçekliğine ve yaranna inan-dırmak için yeterli değildi. Einstein 1921'de Nobel Ödülü'nü G için değil, fo-toelektrik etki denen çalışması ve teorik fiziğe katkılarından dolayı aldı.



Bu öngörü 1919'da kanıtlandı...

Einstein'ın öngörüsü, gökbilimci **Sir Arthur Eddington** (1882-1944) tarafından ünlü bir deneyle test edildi. Eddington'un keşif gemisi 1919 Mart'nda İngiltere'den, Afrika'nın batı kıyısı açıklarındaki Principe Adası'na doğru, güneş tutulmasını incelemek üzere hareket etti.



Tutulmanın 29 Mayıs günü saat 14.00'te olması bekleniyordu ama o sabah yağmurlu bir fırtına koptu. Eddington şu gözlemleri kaleme aldı: "Yağmur öğle vaktine yakın kesildi ve yaklaşık 13.30 sularında... güneş görmeye başladık. Harcımızı yitirmeden fotoğraflarımızı çekmeyi sürdürmek zorundaydık..."



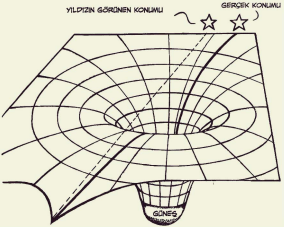
Tutulma

"Plakalarla fazlasıyla hazır neşir olduğumdan tutulmayı göremedim ama sadece başladığından emin olmak için, ve daha sonra da bulutların durumuna bakmak için tutulmanın ortalarında güneşe göz attım. Toplam 16 fotoğrafçektik. Hepsi aydınlık ve oldukça belirgin fotoğraflardı; ancak bulutlar yıldız fotoğraflarına etki etti. Son birkaç fotoğraf bize ihtiyacımız olan şeyi vereceğini umduğum birkaç görüntüyü içeriyor..." Eddington daha sonra şunları yazdı:



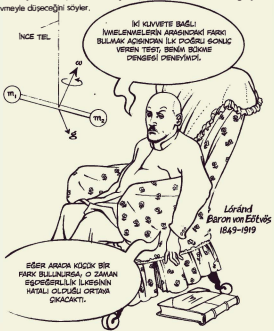
Einstein'ın tahmini, yıldız ışığının güneş tarafından Newton kütleçekimi teorisince öngörülenin iki katı oranında büküleceği yönündeydi. Eddington'un gözlemleri genel izafiyetin doğruluğu açısından inandırıcı kanıtlar sağladı. Eddington daha sonra şu dörtlüğü yazdı...

Ölçümün kıyasını Bilge'ye bırakın,
Kesin olan o ki bir ağırlığı var ışığın.
Kesin olan bir o, gerisi hep tartışma:
Işık ışınları düz gitmez, yakın iken Güneş'e.



Eşdeğerlilik İlkesi Yeniden

Gl'nin bir başka tahminini de ima etmiştik; eşdeğerlilik ilkesi diye ifade edilen, aylemsizlik kütlesi ve kütleçekimsel kütlenin eşdeğerliliği. Bu ilke bütün cisimlerin yer e kütleçekimsel olmayaneşit bir kuvvetin neden olacağı aynı ivmeyle düşeceğini söyler.



Ayrıca bir doğruluk oranıyla benzeri testler düzenli olarak yapılmaya devam etti ama şimdiye dek herhangi bir fark ölçülmedi.

En İyi Sınanan Teori

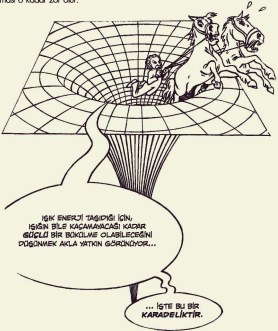
Einstein'in teorisi bugün -kuantum elektrodinamiği hariç- şimdiye dek en iyi sınanan teoridir. Ne var ki G'nin belli bazı koşullarda çökeceğini düşünmek için nedenler de vardır.



G'nin titiz tespitler gerektiren bazı başka öngörükleri de mevcuttur; karadelikler ve kütleçekimi dalgaları.

Karadelikler

Kabaca söylemek gerekirse, Einstein denklemleri bir bölgede ne kadar çok madde varsa, uzay-zamanın o bölgede o kadar fazla **büküleceğini** belirtir. Dolayısıyla, o bölgeye ne kadar çok madde çekilirse, bir cismin oradan kaçması o kadar zor olur.



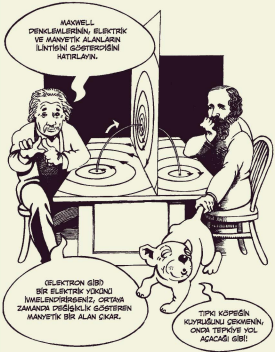
İlk karadelik çözümlü Alman matematikçi Karl Schwarzschild (1873-1916) tarafından bulundu.



Bizim ki de dahil birçok gökadanın merkezinde, güneşimizin yaklaşık bir milyon katı gibibir kütleyleship, olağanüstü büyük kütlelikoradeliiklerolduğuna inanılır.

Zaman Değişimli İvmelenme

GİRİN diğer önemli öngörülerinden biri de kütleçekimi dalgalardır. Şimdi şu soruyu soralım: "Işık ne zaman yayılır?" Işık klasik olarak salınimli elektrik ve manyetik alanlarla tanımlanır.



İzaca söylemek gerekirse değişkenbir manyetik alan, değişkenbir elektrik alanı yaratacaktır vs. Bu bir **elektromanyetik dalgadır**. Şimdi bir elektromanyetik dalganın radyo anteninden geçtiğinde neler olduğunu düşünelim.



Dolayısıyla elektrik yükleri ivmelenirken, elektromanyetik dalgaları yayılır; tıpkı radyo anteninde olduğu gibi.

Bir Kütleyi Sarsmak

Bir kütleyi -örneğin, bir yıldız- ileri geri sarstığımızda ne olur? "Kütleyi sarsmak" gerçek anlamıyla bir cismi ileri geri hareket ettirmeye denir.



Günün zamana değişimi ivmelenmeye uğrayan bir kütlenin, kütleçekimi dalgalan yayması gereksizini öngördüğü anlaşıldı. Peki nedir bu dalgalar?

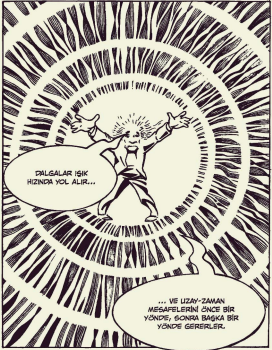


Lastik Örtü Benzetmesi

Kütleçekimi dalgalarını anlamaya çalışmanın daha basit bir yolu da onları yayılmış bir lastik örtüye benzetmektir.



Aynı şekilde kütleçekimi dalgaları da sarsılan kütlenin etrafında tüm yönlere doğru yayılır.



Kütleçekiminin Zayıflığı

Ne var ki Newton sabiti G çok küçük olduğundan bu kütleçekimi dalgaları, var olabilir bile inanılmaz derecede zayıftır.



İşğin enerji taşıdığını biliyoruz; örneğin plajda güneşin altında fazla kalırsanız yanabilirsiniz!

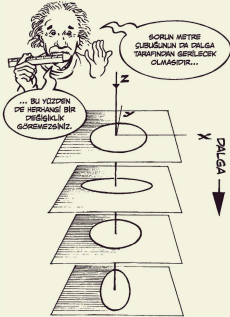
İkiliğiyle kütleçekimi dalgaları da enerji taşır.



Bu nedenle bir cismin, kütleçekimi dalgalarının yayımı ya da emilimi nedeniyle enerji kaybettiğini ya da kazandığını gözdenlemeyi ümit edebiliriz.

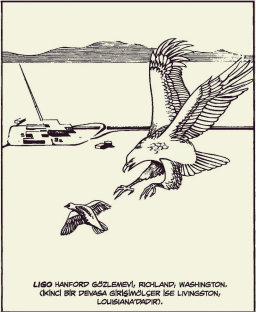
Girişimölçerli (interferometreli) Gözlem

Kütleçekimi dalgalarını **doğrudan** nasıl gözlemleyebiliriz? Uzay-zamanın gerilmesini doğrudan bir cetvel kullanarak görmeye çalıştığınızı hayaledin.



Z doğrultusunda hareket eden kütleçekim dalgası bir dairenin şeklini bozarak, tamamen iletilene dek onu önce x sonra da y eksenli boyunca elipse dönüştürüp duracaktır.

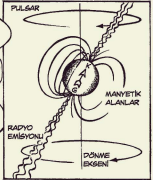
Yeninesil k t le ekimi dalgası teleskopları (2002 itibarıyla)  alı maya hazır durumda ve yakınd  e itli bulgular sa layacaklar. ABD'deki teleskopun adı LIGO'dur (Lazer Giri im l erli K t le ekimi G zlemevi). İngiltere'dekinin adı ise G BO600 (Almanya ile ortak proje). Ayrıca Fransız-İtalyan VIRGO teleskopu ile Japonların TAMA'sı var. T m bu sistemler  ok pahalı ve lazer giri im l erli  st ne kuruludur.



LIGO HANFORD G ZLEMEVİ, RICHLAND, WASHINGTON.
(KİNCİ BİR DEVASA GİRİ İM L ER İSE LIVINGSTON,
LOUISIANA'DADIR).

Yıldız Gözlemi

Kütleçekimi dalgalarına ilişkin elimizde halihazırdaki en güçlü bulgu, bugün ün kazanmış olan bir yıldız çiftine; PSR 1913 + 16 diye bilinen bir ikili yıldız sistemine ait gözlemlerden gelir. Söz konusu iki yıldız birbirinin çevresinde hızla döner. 25 yıldan uzun bir süredir gerçekleştirilen titiz gözlemler -Merkür periheli gibi- yörünge periyodunun sabit olmadığını ortaya koydu.





Birbirlerinin yakından geçen yıldızları, büyük miktarda kütleçekimi radyasyonu yaymaları gerekir ki bu da yörünge hareketini yavaşlatır.

Hulse ve Taylor çalışmalarının karşılığında 1993'te fizik dalında Nobel ödülünü kazandılar çünkü çalışmaları Gİ için çok iyi bir test oluşturunuyordu.

Yine de ikili sistemin yörünge hareketindeki yavaşlama başka bir şeye bağlı olabilir; gerçi bu pek olası değildir. Kütleçekimi dalgalarının varlığını kanıtlamak için -bilimsel yaklaşıma yakışır biçimde- doğrudan tespitlerinin gerekliliği olduğu konusunda genel bir fikir birliği mevcuttur.



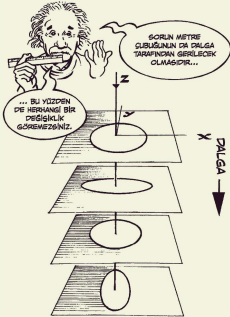
ŞİMDİYE DEK
DENEYLERLE BÖYLE BİR
TESPİT YAPILAMADI.

ANCAK
BU DA ONLARIN
ZAYIFLIĞINA YÖNELİK
BEKLENTİLERİMİZLE
UYUMLUYDU.

21. yüzyılın ilk on yılının -eğer varsalar-, kütleçekimi dalgalarının uzay-zamanı gerip sıkıştırdığı algusunu doğrudan kullanan olumlu bir saptamayla sonuçlanması kesinlikle bekleniyor.

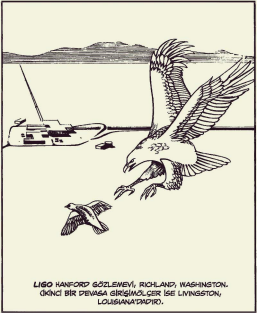
Girişimölçerli (interferometreli) Gözlem

Kütleçekimi dalgalarını **doğrudan** nasıl gözlemleyebiliriz? Uzay-zamanın gerilmesini doğrudan bir cetvel kullanarak görmeye çalıştığınızı hayal edin.



Z doğrultusunda hareket eden kütleçekimi dalgası bir dairenin şeklini bozarak, tamamen iletilene dek onu önce x sonra da y eksenini boyunca elipse dönüştürüp duracaktır.

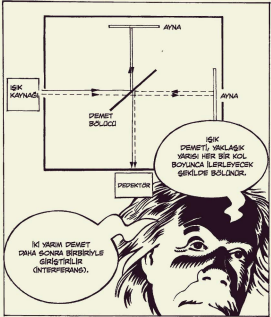
Yeninesil k t le ekimi dalgası teleskopları(2002 itibarıyla)  alı maya hazır durumda ve yakında  e it  bulgular sa layacaklar. ABD'deki teleskopun adı LIGO' dur (Lazer Giri im lerli K t le ekimi G zlemevi). İngiltere'dekinin adı ise GEO600 (Almanya ile ortak proje). Ayrıca Fransız-İtalyan VIRGO teleskopu ile Japonların TAMA'sı var. T m bu sistemler  ok pahalı ve lazer giri im ler-leri  st ne kuruludur.



LIGO HANFORD G ZLEMEV , RICHLAND, WASHINGTON.
( KNC  BİR DEVASA GİRİ İM LER İSE LIVINGSTON,
LOUISIANA'DADIR).

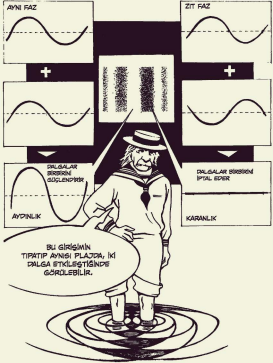
İşleyişi

İnterferometre (girişimölçer) oldukça basit bir ayardır.Birbirine dik ağıllık kol dan oluşur.



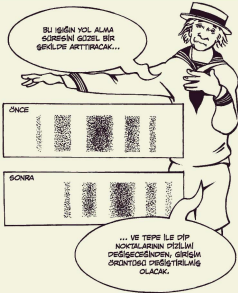
Bunun sonucunda tipik aydınlık-karanlık-aydınlık girişim örüntüsü ortaya çıkar. Bu da ışığın dalga benzeri özelliklere sahip olduğunu gösterir.

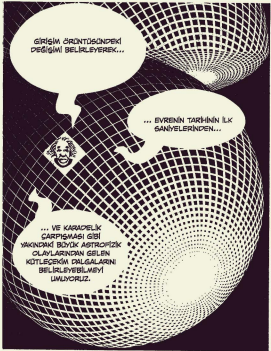
Karanlık kısımlar iki kol dalganın ışığını tamamen zıt fazda olduğu yerlerde oluşur. Bir koldaki tepenin ok, diğ erinin dip noktası ya buluşur. Beyaz kısımlar ise ışığın tamamen aynı fazda olduğu, iki dip ya da iki tep e noktasının buluştuğu yerlerde görülür.



Girişim (İnterferans) Örüntüleri

İnterferometre (girişimölçer) kullanmanın ardındaki mantık nedir? Eğer bir kütle çekimdalgaşı interferometrenin yakınından geçer ve kollarından biriniğererse, o zaman ışığın o kol boyunca, aynadan yansıtılmadan önce izleyeceği yol arttırılabilir.

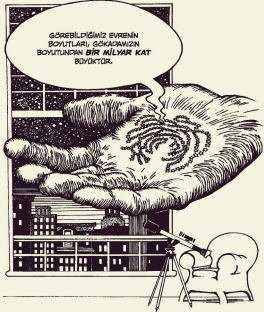




Karadelikler ve küteçekimi dalgaları heyecan yaratan iki öngörüdür. Bunlar tipik olarak gärece küçük ölçeklerde gerçekleşir. Şimdi evreni tek bir nesne olarak ele aldığımızda büyük ölçekte neler olacağına bakacağız. Evrenin nereden geldiğini ve nereye gittiğini, Einstein denklemlerini kullanarak anlamaya çalışacağız.

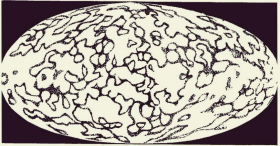
Evreni Tartmak

Etrafımızı kuşatan evrene bakacak olursak, ilk olarak güneş sistemimizdeki gezegenleri görürüz. Onların ötesinde gökadamızın birkaç bin ışık yılı mesafeye yayılmış yıldızlar ve gaz bulutları yer alır. Bir ışık yılının, ışık tarafından bir yılda kat edilen dev mesafe ölçüğünü hatırlayalım!



Kendi gökadamız dışında yaklaşık 100 milyar gökada görürüz. Bunoktada akıldoğal olarak "Bu 100 milyar gökada çevremize neşekildedaoılmıştır" sorusu gelebilir.

Örneğin, gökadal tek bir doğrutuda mı kümedenmiştir? Görünüşe bakılrsa gökadal aslında gökyüzüne dikkatçekici biçimde eşit dağılmışlardır.



PEKİ BU BİZİ
ŞAŞIRTMALI MI?

KÖTLEÇEKİMİN
BİR ÇİRKİCİ KUVVET
OLDUĞUNU HATIRLAYACAK
OLURSAK, EVET,
ŞAŞIRTMALI.

Ama önce gelin biraz daha farklı bir konuya odaklanalım.

Kopernik İlkesi

Gökadalarn her yönde aşığ yukan eşit sayıda olmaları iki anlama gelebilir.



Evrenbilm tarihinin -ve genel olarak fiziğin- Hristiyan kilisesiyle arası hep açık oldu.

Bu yüzden evrenin merkezine "yakın" olduğumuz görüşü, ilgi görmedi.



Bu, kısmen cindar olmayan seçenektir yavaş önyargıdan, kimen de ortaya çıkan modellerin önemli ölçüde daha basit olmasından kaynaklanıyordu.

Alan Denklemlerinin Sadeleştirilmesi

"Daha basit modeller" kozmologlar için kesinlikle birartıdır. Bunoktoda Einstein'ın alan denklemlerinin sonderecek,armaşık olduğunu ve keşiflerinden bu yana genel olarak çözümsüz kaldıklarını hatırlamakta yarar var.



"FLRW"

Günün ileri sürülmesinden kısa süre sonra Kopernik ilkesine uyan kozmolojiler bulundu. Bu "basitleştirmeler" "FLRW" kısaltması ile bilinen, dört bilimcinin çalışmasının bir sonucuydu: Rus **Alexander Friedmann** (1888-1925), Belçikalı rahip **Georges Lemaître** (1894-1966), Kuzey Amerikalı **H. P. Robertson** ve İngiliz matematikçi **Arthur G. Walker**.

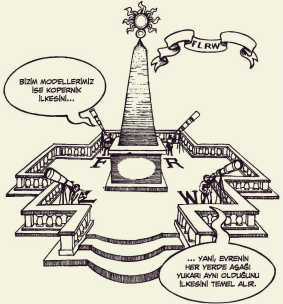


Statik Evren mi, Genişleyen Evren mi?

FLRW Einstein'ın başlattığı çalışmayı genelleştirdi. Ancak sorun Einstein'ın kütleçekiminin çekici kuvvetini dengelemek için bir "kozmojik sabit" - itici kuvvet- kullanmadıkça, statik bir evren elde edemeyeceğini keşfetmiş olmasıydı.



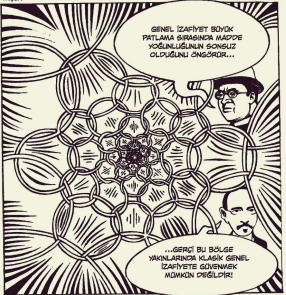
ILRW modelleri diye bilinen modeller evrenbilimin omurgasını oluşturun. Popüler edebiyatta evrenbilime ilişkin duyabileceğiniz her şeyin bu modeller üstüne temellendirildiği söylenebilir.



Kopernik ilkesi, kantlanması -yada çürütülmesi- oldukça zor birlike olarak kalmayı sürdürdü,ama gelecek yıllarda bu amaca doğru önemli adımlar atılması bekleniyor.

Evrenin Kaderi

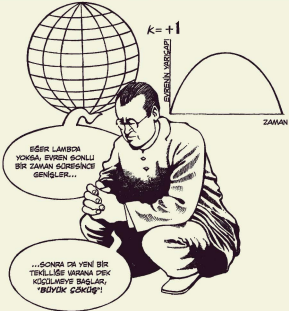
FLRW modellerinin zarif özelliklerinden biri de esas olarak üç tane olmalıdır. Diğer bir deyişle, Einstein'ın alan denklemlerinin herbirineğriliğinegöresniflandırılan sadece üç farklıtır FLRW çözümü vardır ve söz konusu üç seçenek pozitif, negatif ve düzdür. Modellerin tümü "Büyük Patlama" ile başlar; bu deyiş ilk olarak **Sir Fred Hoyle** (1915-2001) tarafından alaycılıkla söylenmiştir.



Ancak her FLRW modelinin, patlamayı izleyen evrimison derece farklıdır, evrenin kaderi de böyle!

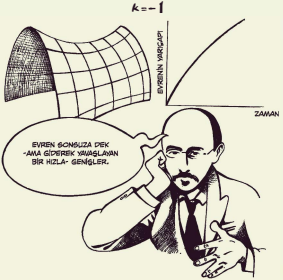
Kritik Yoğunluk: İlk Model

Bu modellerde santimetreküp başına yaklaşık 10^{-27} gramlık kritik bir yoğunluk vardır. Burada "kritik yoğunluk" her türlü madde veradyasyonun birlikte -hidrojen, ışık, karanlık madde, kozmolojik sabit- yoğunluğunu ifade eder. Bu yoğunluğun üstünde evren sonludur, uzayın üç boyutlu kürelerden oluşur, yani bir başka deyişle pozitif eğriliğe sahiptir.



İkinci Model

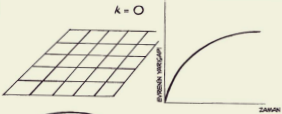
Bu kritik yoğunluğun altında evren, kabaca söylemek gerekirse, kütleçekimi kuvvetinin dizginleyebileceğinden daha fazla kinetik enerjiye sahiptir.



Bu durumda evren (sonsuzluğa dek süreceği için) hem uzay hemde zamanda sonsuzdur ve uzaylar negatif eğrilğe sahiptir.

Üçüncü Model

Tamkritik yoğunlukta, üç boyutlu uzay tamamen düzdür; tıpkı iki boyutlu kağıt parçası gibi.



10^{-29} KRİTİK
YOĞUNLUK İNANILMAZ
DERECEDİNE KÜÇÜK OLMAKLA
BİRLİKTE, EVRENİMİZİN
ORTALAMA BU PÖZİYE
ÇOK YAKINDIR.

BİZİM TAM OLARAK
HANGİ YANIMTA OLDUĞUMUZ
İSE -KRİTİK YOĞUNLUĞUN ÜSTÜ,
ALTI YA DA KENDİSİ- HÂLÂ
BİLİNİYOR...

Kırmızıya Kaymanın Açıklanması

1929'da gökbilimci **Edwin Hubble** (1889-1953) deneysel olarak bir gökada ne kadar sönükse, ışığının uzun dalgaboylarına doğru o kadar "kırmızıya kaymış" olduğunu belirleyerek evrenin genişlediğini keşfetti.

Edwin Hubble



Görünür ışık tayfında yüksekfrekanslar göze mavi görünürken, düşük frekanslar kırmızı görünür. Bir cismin, gözlemciden hızla uzaklaşırken yaydığı ışık, uzaklaşmadığı zamanaki halinden daha kırmızı görünecektir.



Einstein'ın Statik Evreni

Hubble'ın gözlemi önemli bir dönüm noktasıydı. Einstein evrenin statik olması GEREKTİĞİNİ varsaydığında, onun genişlediğini öngörme şansını yitirdiğini fark etti.



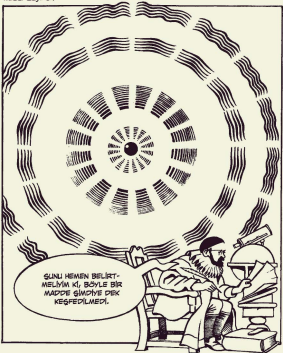
NE VAR Kİ LAMBDA TERİMİ
EVRENİN NASIL EVRİLEBİLECEĞİ
KONUSUNDAKİ ZENGİNLİĞİ
ARTTIRIR...

... VE ZAMANLA
VAZGEÇİLMESİ ÇOK ZOR
BİR UNSURLAR OLDUĞUNU
KANITLAMISTIR.

SABİT, SON 75 YIL İÇİNDE
BİRKAC KEFE KAYBOLUP YENİDEN
ORTAYA ÇIKTI VE NİHAyet ARTIK
KALICI OLACAK GİBİ GÖRÜNÜYOR.

Giderek İvmelenen Evren

Kozmoloji sabiti λ ıcı olabileceği için, negatif basınçlı madde gibi davranabilir ve gökadalari birbirlerinden uzağı itebilir. Öte yandan, gökadalari birbirlerinden ne kadar uzaklaşırsa, birbirlerine uyguladıkları kütleçekimi etkisi de o kadar zayıflar.



Fakat İki kozmoloji sabiti mesafe arttıkça zayıflamaz.



Diğer bir deyişle, gökadalr birbirlerinden İvmelenerek uzaklaşır. Kozmik
ölde, evren İvmelenmeye başlar.

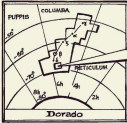
Sonsuz Genişleme

Evrenin gelecekteki kaderini değiştirebileceğicin, ıvımlenme çok önemli bir etkidir. Eğer evrenLambda'ya bağlı olarak ıvımlenmeye başlarsa, büyük olasılıkla -genel izafiyyet doğruysa ve "garip madde" yaksa- sonsuza dek ıvımlenmeyi sürdürür.



BU DA EVRENİN SONSUZA DEK
SÜRÜCEĞİ, ASLA ÇÖKMEYECEĞİ,
HIZLA SOĞUYACAĞI VE YAŞAMIN
SÜRDÜRÜLMESİNİ GİDEREK
ZORLAŞTIRACAĞI ANLAMINA GELİR.

Yakın zamanda yapılan uzak süpernova (devasa kozmik patlamalar) gözlemleri, süpernovaların ivmelenmemiş bir evrenden beklenenden daha sönük olduklarını gösterdi. Eğer evren ivmelenmiş idiye, o zaman belli bir kırmızıya kaymaya sahip olan cisimlerin, ivmesiz evrendekine kıyasla daha uzakta olmaları gerekir; böylece daha soluk görünürler.



**TARANTULA BULUTUSU
2070**

SÜPERNOVA 1987 A



ELBETTE YÜKSEK BİR
KIRMIZIYA KAYMA GÖSTEREN
SÜPERNOVALARIN SÖNÜK
OLMALARININ BİLİNMEYEN BİR
NEDENİ DE OLABİLİR...



....YA DA ONLARLA
ARAMIZDA SADECE BİZİM
BİLMEYİŞİMİZ VE ONLARI
DAHA SOLUK GÖSTEREN TOZ
BULUTLARI BULUNABİLİR.



Negatif Basınç

Ancak süpernovalardan elde edilen bulgular, Kozmik Mikrodalga Arka planı uydusunun (KMA) gözlemleriyle birleştirildiğinde -sonradan göreceğimiz gibi- uzayda negatif basınçlı büyük miktarda "madde" olduğu neredeyse kesin olarak ortaya çı tı. Söz konusu madde, büyük olasılıkla evrenin toplam enerji yoğunluğunun en az % 60'ını oluşturmaktadır. Bu enerjinin Dirac'ın karşımad- desı ile aynı olmadığını unutmayın.



Büyük miktardaki bu negatif enerji, kozmolojide önem taşıyan tek "madde gizemi" değildir. Birkaç anyıdır gökadalarn hatalı döndüyormuş gibi göründükleri bilinmektedir.

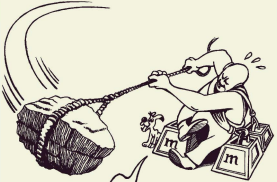
NSC 2097

SPIRAL
GÖKADALARIN,
MERKEZ EKSENİDEN
GEÇEN YARIÇAPLARINA
GÖRE NE PNLİ
HIZLI DÖNDÜKLERİNE
BAKARSANIZ...

... MERKEZDEN UZAKTAKİ
GAZ BULUTLARI VE YILDIZLARIN
MÜMKÜN OLMASI GEREKENDEN
ÇOK DAHA HIZLI DÖNDÜKLERİNİ
GÖREBİLİRSİNİZ.

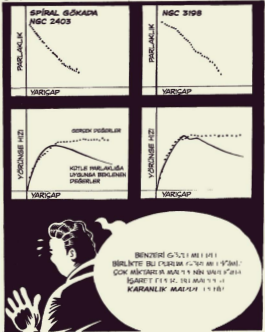
Karanlık Madde

Bu problem kütleçekimini, tıpkı bir daire içinde dönen taşı tutanip misali, yıldızları dairesel yörüngede tutan kuvvet olarak düşünüldüğünde açıkça görülebilir.



YILDIZLARIN HIZLARINI
ARTTIKÇEN, ONLARI DAİRESEL
YÖRÜNGE İÇİNDE TUTABİLMEK VE UZAKA
SAGILMALARINI ENGELLEMEK İÇİN
GÖKADA İÇİNDE DAHA GÖK KÜTLEYE
GEREKSİNİM DUYULUR.

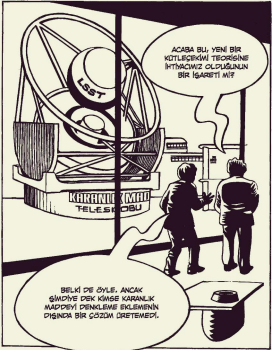
Ne var ki görebildiğimiz madde miktarından yola çıkarak gökada kütesini tahmin edecek olursak, yıldızları gözlemlediğimiz hızlarıyla dairesel yörüngelerinde tutmaya yetecek kadar kütle olmadığını buluruz. İşte buna "dönme eğrisi problemi" deriz.



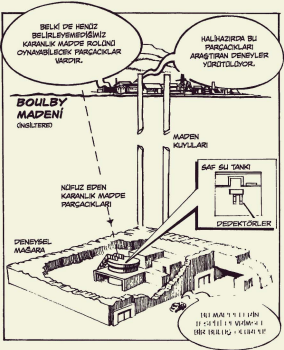
Aslında görünüme göre evren içeriğinin %5'i yıldızlar, %45'i gaz ve toz, %50'si yemediğimiz bu karanlık maddeden oluşuyor.

Genel İzafiyetin Ötesi

Bunaktada doğal olarakokla "Şu karanlık madde denen şey, tıpkı Merkür'ün perihel kayması gibi Newton kütleçekimi teorisi ile açıklanamayan bir etki alamaz mı?" sorusu gelebilir.



Bu konuda belki parçacık fizikinden, yani çok küçük olanın fizikinden elde edilebilecek çözüm adayları var.



Kozmik Mikrodalga Arkaplanı (KMA)

1960'larda ABD, New Jersey'deki Bell Telephone laboratuvarlarında çalışan iki fizikçi Arno Penzias ile Robert Wilson, mikrodalganın dalga boylarına baktıklarında, her yönden gelen garip bir parazit buldular.

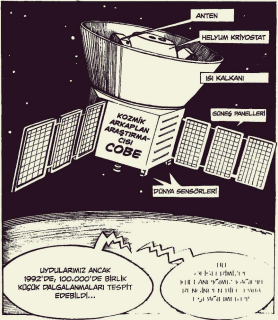


BU KOZMİK RAYASYON,
BÜYÜK PATLAMADAN ARTA KALIP
EVRENİN GENİŞLEMESİYLE BİRLİKTE
SOĞUMASINI BEKLEDİĞİMİZ SICAK IŞINIM
İLE TAMAMEN AYNI SICAKLIĞA
SAHİPTİ.



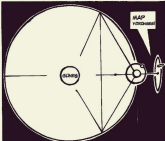
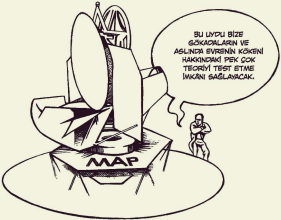
KISA
SÜRE ÖNCE BU
RAYASYONUN İNANILMAZ
DERGEDE EŞİTĞILIMLI
OLUĞU KEŞFEDİLDİ.

Gökyüzünün tamamındaki ısıdeğişikliklerini tespit etmekteyin yürütülen zorlu araştırmalar 30 yıl sürdü.



Diğer Uydular

2001 yılı başka bir kozmik mikrodalga arkaplanı uydusunun -Mikrodalga Anizotropi Uydusu (MAP)- fırlatılmasına tanıklık etti. Bu uydunun duyurduğu COBE'den çok daha yüksekti.



2007'de (ya da bundan biraz sonra) daha da duyarlı aletlere sahip bir diğer KMA uydusu olan PLANCK fırlatılacak. Bu iki deney evren anlayışımıza büyük bir çık tutacak.*

* KMA uydusu PLANCK, 2007'de değil ama 14 Mayıs 2009'da fırlatılacak. 13 Ağustos 2009'da "1. Tüm Gökyaşırı Taraması'nı tamamlayacak. 14 Şubat 2010'da "2. Tüm Gökyaşırı Taraması'na başlayacak. 2011'in sonuna kadar "yüksek kaliteli görüntü" göndermeye devam edecek (y.n.).

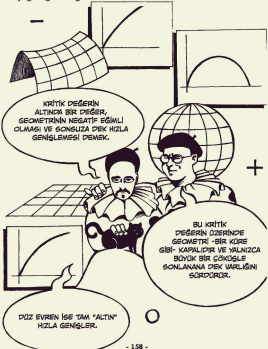
Homojenlik Gizemi

KMA'yı niye bu kadar önemsiyoruz? Kozmik radyasyonun sıcaklık açısından böyle inanılmaz derecede eşdağılımı olması bir gizemdir. Örneğin, içinde bir milyon adet bozuk para olan bir çantayı alıp halının üstüne boşalttıysanız, sonra da paralardan yalnızca on tanesinin yazı gelip, diğer hepsinin tura geldiğini hayal edin.



Tam Aranan "Altın" Genişleme Hızı

Gökadalann kusursuzca eşit dağıldığı bir evreni seçsek bile, paradokslar giderek kötüleşiyor. FLRW kozmolojileri, üç boyutlu uzaysal dilimlere sahip üç temel tür belirmiştir: Sırasıyla, negatif eğriliğe sahip, düz ve pozitif eğriliğe sahip uzaylar. Evrenimizin bunlardan hangisine karşılık geldiği ise onun ortalama yoğunluğuna bağlıdır.



Ancak sorun şu: Eğer evren düz olmaktan çok uzaksa, ya şimdiye kadar çökmüş olmalıydı -evrenimiz en az 10 milyar yıldır ayakta- ya da evrenin hızı genişlemesi nedeniyle hiç gökada, yıldız ve gezegen oluşamamalıydı.

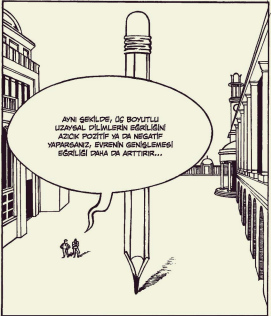


YANI EĞRİ UZAYLARI
IŞIN İÇİNE SOKABİLMEK İÇİN
VERİLEN ONCA UĞRAŞTAN SONRA,
EVRENİMİZİN DÜZ BOYUTLU
UZAYLARININ İÇSEL EĞRİLERİ
SIFIRA ÇOK YAKINMIŞ GİBİ
GÖRÜNDÜYOR...

UZAY-ZAMAN EĞRİ
(BÜKÜLMÜŞ) OLMAKLA
BİRLİKTE, DİĞER EĞRİLİK
SIFIR DEĞİL.

Düzlük Problemi

Düz evren hali kararsız olmazdı, ortada birşeyin olmayacaktı. Bu tıpkı bir kalemi ucu üstünde dengelemeye benzer. Kalemi herhangi bir yönde azıcık iterseniz devrilir.



Bu, "düzlük problemi" olarak biliniyor ve bir önceki homojenlik problemiyle birlikte, Einstein'ın kütleçekiminin ve evrenbilimin bugün hâlâ ayakta duran sınırlarından ikisini oluşturunuyor.

Şişme Süreci

Düzlük ve homojenlik problemleri birkaçon yıldır bilinmektedir. 1980'de ABD, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nden (MIT) Alan Guth, (daha önce birkaç araştırmacı tarafından bağımsız olarak ve kısmen tartışılmış olsada) evrenbilitimeönemli bir katkı sağlayan bir görüş ileri sürdü.



Einstein Sabiti'nin Kullanılması

Einstein'in "en büyük hatası"nın, evreni statik tutmak için eklediği itici kozmolojiksabit olduğunu hatırlayalım. Guth buna karşılık itici kuvveti, evreni büyük birhızla ıvmelendirmek içinkullanmayı önerdi; bugün ıvmelendiğini düşündüğümüzden çok daha büyükbir hızla.



Bu anlamda şişmeeylemi, kalemimizin yeriden ucu üstünde dik ilmeye çalışmasını sağlar. Evren yeterince şişmişse, o zaman onuşimdi gördüğümüz gibi görmemiz sürpriz olmaz.

Guthaynca kozmoloji sabitini kullanmak yerine, yeni bir maddeyi temel olarak, bu ivmelenmeyilde etmerin farklı bir yolunu önerdi. Guth'un yeni "skalalaran" maddesi -yakın zamanların parçock fiziği teorilerince de öngöröldüğü halde- şimdiyedek belirlenemedi. Ancak Einstein denklemlerini silip atmanın dışında, elimizde evrenin gözlemlenen özelliklerini açıklamak için şişme teorisinden başka geniş kabul gören bir açıklamaımız yoktur.



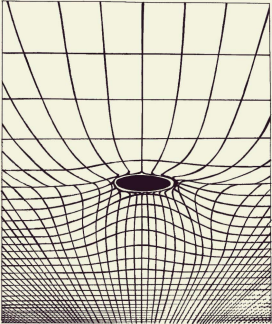
KMA, MAP ve PLANCK uydularının yardımıyla şişme teorisinin bir alternatifi umuyoruz.

Tekillik Teoremleri

Önceden de sözünü ettiğimiz gibi, karadelik çözümleri Einstein ve diğerizafiyet yandaşları tarafından biliniyordu.



Hawking, Einstein denklemlerine itaat eden herhangi bir gerçekçi kozmoloji-
nin, evrenin yoğunluk ve eğnliğinin sonsuz olduğu bir noktaya -geçmişinde
SONLU miktarda bir süreye- sahip olmuş olması GEREKTİğİNİ gösterdi. Söz
konusu nokta Büyük Patlama'dır ve (karadelik ve evren için) buna karşılık
gelen teoremler de **tekillik teoremleri** diye bilinir.



Tekillik Teoremlerinin Sonucu

Tekillik teoremleri, kütleçekimi yada evren yoğunluğu şu an için sırasıyla çok zayıf ve çok düşük olsa da, bunların muhafazakâr bir tahminle 10 ila 18 milyar yıl öncesi gibibirgeçmişte sonsuz büyüklükte olmuş olmaları gerektiğini garantiler.



Bu çöküş, parçacıklar arasındaki mesafenin sıfıra indiği Büyük Patlama'da sona erer.

Pekibu sonuç neden böyle dikkat çekicidir? Birkaç nedenden dolayı. Birincisi, eğrilik (bükülmel) sonsuz olduğunda, Gİ teorisini kullanamayız! Bu teori öngörüler üretmez hale gelir.



Teorinin yegâne sabitleri, ışık hızı c , ve Newton sabiti G dir. Ancak Planck sabiti h 'ye hiçbir yerde rastlanmaz.

Einstein Denklemlerinin Geçersiz Kılınması

Peki Planck sabiti neden önemlidir? Parçacıklar arası ortalama uzaklık atomun boyutuna yaklaşıncı klasikfizik geçersiz kalır ve kuantum etkileri önem kazanmaya başlar. Evrenin yoğunluğu fazla artarken çoğu evrenbilimci Einstein denklemlerinin, kuantum etkilerini içermediklerinden geçersiz hale geldiği ve yanlış olduğu bir noktaya ulaşılacağına inanır.



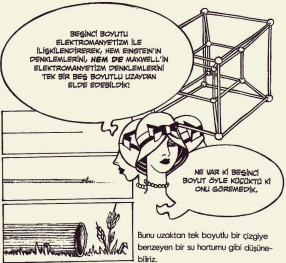
Einstein denklemlerini, kuantum etkilerini kapsayacak şekilde genişletmek zordur. Einstein'ın kendisi de dahil, 20. yüzyılın en ünlü fizikçileri Gö'ün kuantum teorisini birleştirmeyi denedi ve başaramadılar.



Ekstra Boyutlar

Einstein -elektromanyetizm örneğindeki gibi- doğanın tüm kuvvetlerini açıklayan ve Gİ gibi geometri üstüne kurulu, birleşik bir teori bulmayı umuyordu.

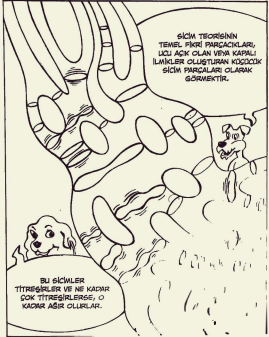
İki fizikçi, Theodor Kaluza ve Oskar Klein, beş boyutlu bir dünyaya göz atmaya karar verdiklerinde, aynı zamanda Einstein'ın hayaline doğru bir adım attılar.



Yapılan eklemeye radikal bir bakış açısa olsa da, bugün artık doğada en az dört kuvvet olduğunu biliyoruz; kütleçekimi, elektromanyetizm, zayıf kuvvet ve güçlü kuvvet. Peki onları geometrik olarak görebilir miyiz?

Süpersicim Teorisi

Tüm kuvvetleri geometrik olarak dahil etmenin bir yolu **süpersicim teorisinden** geçer. Kuantum kütleçekimine bu yaklaşım, son yıllarda oldukça tutulmaktadır. Teori başlangıçta atom çekirdeklerindeki nötron ve protonları bir arada tutan güçlü kuvveti ele almanın bir yolu olarak geliştirildi.



Einstein'ın Hayalini Genişletmek

Burada güzel olan, sicim teorisinin işleyebilmesi için, sicimlerin yalnızca belli bazı frekanslarda titreşebilmeleridir; tıpkı gitar telleri gibi. Böylece kütleçekiminin otomatik olarak dahiledilmiş olduğu görülür!



Daha Fazla Boyut Ekleme

Ancakscim teorisinin tuhaf bir öngörüsü vardır. Teoriekstra boyutlar öngörür. Aslında teori bizim beşdeğil,on boyutta yaşadığımızı söyler! Ancak biz besbelli ki on boyutun içinde yaşamıyoruz.

DOLAYISIYLA GENEL KANİ
EKSTRA ALTI BOYUTUN ÇOK KÜÇÜK
KIVRIMLARDAN OLUŞTUĞU
YÖNÜNDE...

... ÖYLE KÜÇÜK Kİ,
KALUZA-KLEİN TEORİSİNDE
OLDUĞU GİBİ, ONLARI
ALGILAYAMIYORUZ.

BOYUTLARIN TAM OLARAK NASEL
SARIALANDIKLARI VE EKSTRA
BOYUTLARIN EĞRİ OLUP OLMADIĞI İSE
DÜRT BOYUTTA GÖRDÜĞÜMÜZ
MADDENİN TÜRÜNÜ BELİRLİYOR.

Yalnızca çok yüksek. enerjilerde görülebilecekleri için,bu ekstra boyutların var olup olmadıklarını sınamak büyük olasılıkla uzun zaman alacaktır. Fakat teori kesinlikle Einstein'ıda büyükolasılıkla memnun edebilecek birazküçük zayıf, İzafiyetintemel fikirleri üzerinde inşaedildiğinde kesin.

İleri Okuma Önerileri

Giriş Düzeyi Kitaplar

Bu kitaplar giriş düzeyindedir ve geniş bir kitle için erişilebilir niteliktedir.

Einstein

Introducing Einstein, Schwartz ve McGuinness (Icon Books, 1999).

Genel İzafiyet

The Meaning of Relativity, Albert Einstein (Princeton University Press, 1992).

Flat and Curved Spacetimes, George Ellis ve Ruth Williams (Oxford University Press, 2000).

Evrenbilim

Genel evrenbilim alanında çok çeşitli popüler kitaplar mevcut. Önerilecek bazı başlıklar şöyle:

Cosmology: A Very Short Introduction, Peter Coles (Oxford Paperbacks, 2001).

Last Six Numbers, Martin Rees (Orion Fiction, 2001).

The Big Bang, Joseph Silk (W. H. Freeman & Company, 2001).

Between Inner Space and Outer Space, John Barrow (Oxford Paperbacks, 2000).

Şişme

The Inflationary Universe, Alan Guth (Vintage, 1998).

Kuantum Mekaniği

Introducing Quantum Theory, McEvoy ve Zarate (Icon Books).

In Search of Schrödinger's Cat, John Gribbin (Corgi, 1985).

Kuantum Kütleçekimi

Dreams of a Final Theory, Steven Weinberg (Vintage, 1993).

A Brief History of Time, Stephen Hawking (Bantam, 1995).

Introducing Hawking, McEvoy ve Zarate (Icon Books, 1999).

İleri Düzey

Bunlar daha fazla matematik ya da fizik bilgisi gerektirir:

Subtle is the Lord, Abraham Pais (Oxford Paperbacks, 1984). Einstein'ın yaşamı üzerine ünlü ve bilgi dolu bir tarihçe. İzafiyetin gelişimi konusunda muhteşem bilgiler sunar.

Introducing Einstein's Relativity, Royd'Inverno (Clarendon Press, 1992). Gİ matematik ve fiziği için iyi bir giriş. Öğrenci/mezunlara yönelik, standart ileri düzey bir metin.

Gİ konusundaki klasik ileri düzey metinler şöyle(lik üçün 1973'te yayımlanmış olmasına dikkat edin):

The Large Scale Structure of Spacetime, Stephen Hawking ve George Ellis (CUP, 1973).

Gravitation, Misner, Thorne ve Wheeler (W. H. Freeman, 1973).

Gravitation and Cosmology, Steven Weinberg (John Wiley & Sons, 1971).

General Relativity, Robert Wald (Chicago University Press, 1984).

Yazar ve Çizer Hakkında

Bruce Bassett halen Portsmouth Üniversitesi, Evrenbilim ve Kütleçekimi Enstitüsü'nde kıdemli öğretimlik görevini sürdürüyor. Kendisi burada (genelde sonuca ulaşmaksızın) evrenin ilk döneminin gizemleri üzerine çalışmalar yapıyor. Bassett, daha önce Oxford Üniversitesi, fizik bölümünde ve Trieste, Uluslararası İleri Çalışmalar Okulu'nda çeşitli araştırmalar yürüttü. Bundan önce Cape Town'da bir web geliştirme şirketi kurdu ve sanat eğitimi aldı. Bassett'in 30'dan fazla yayımlanmış araştırma makalesi, birkaç destane ama isyankâr doktora ve eski doktora öğrencisi ve hepsi de dünyayı sık sık gezmesine izin veren çok sayıda zeki çalışma arkadaşı var.

Ralph Edney matematik eğitimi aldı ve öğretmen, gazeteci ve politik karikatürist olarak çalıştı. Edney'nin iki çizgi romanı var ve Felsefeye Giriş ile *Fraktal Geometriye Giriş* kitaplarının resimleyicisi. Ayrıca birer kriket fanatığı.

Emeği Geçenler

Bruce Bassett IconBooks çalışanlarına ve Pétar Coles'a kendisini bu projeye dahil ettikleri için özellikle teşekkür eder. Ayrıca Mike Bassett, Josh Bryer, George Ellis, David Kaiser, Philippos Papadopoulos, David Parkinson, Fabrizio Tamburini, Ron van der Merwe ve Fermin Vniedra'ya metinle ilgili yaratıcı önerileri ve aydınlatıcı yorumları için teşekkür eder. Bruce Bassett bildiği izafiyetin büyük kısmını kendisine öğreten kişi olarak George Ellis'e minnetlerini sunar.

Dizin

alan denklemleri 80-81,
132
atom 11

beş boyutlu dünya 170
boyutlar 40, 44-47, 68,
173

Büyük Çöküş 137

denklemler 80-83, 168
dijital eğrilik (bükülme) 95
Dirac, Paul 30
dağı ve izafiyet 102-103
düzük problemi 160-162

$E = mc^2$ 16
Eddington, A. 108
eğrilik (bükülme) bkz. uzayın
eğriliği (bükülmesi)
Einstein Sabiti 162
denklemleri, geçersizliğin
kanıtlanması 168
Einstein, A. 13, 18-25
elektromanyetik dalga 112
enerji 24-27, 75
Eddin, L. Baron von 108
eşdeğerlik ilkesi 50-52
eszanonluk 33, 47
evrensel kütleçekimi 4
eylamsizlik kütlesi 52
fizik, problemleri 10
FLRW modelleri 133-136,
158
fotoelektrik etki 104

Galileo 53
Gauss, C. F. 71
genel izafiyet 38, 48
genişleyen evren 46, 133-
137, 144-147, 162-163
büyükluğu 128-131
Guth A. 161, 162

Hawking, S. 164-165
homojenlik 157-161
Hoyis, Fred 136
Hubble, Edwin 140

ışık
bükülmesi 104-107
hız 19-29, 31
yık 35
ışık hızı 31
ışık jeodesikler 58-59, 73
içsel eğrilik (bükülme) 93-95
interferans (girişim) 124-127
izmalenme (hız kazanma)
37-38, 51, 112-115,
144-147, 162-163
jeodesikler 57-73, 86

Kalusa 170
Kant, Immanuel 3
karadellikler 110-111
aynca bkz. tekilik teor-
emleri
karanlık madde 150-153
kurgumadde 30
Kepker, Johannes 4-5
Klein, O. 170
konfigürasyon uzayı 45
Koperniklikesi 130-135
Kozmik Mikrodalga Arka-
planı 148
kozmojoloji sabiti 81
kuantum etkisi 12, 26, 41,
169, 171
kütleçekimi 5-6, 29, 48,
108
kütleçekimsel kütle 52
dalgalan 112-127

Landau, Lev 74
Leibniz, G. W. 4
Lorentz, H.A. 18-19, 72
manyetizm 8
Maxwell, J. C. 8, 170
metre cubuğu 122
metrik 62
Michelson, Albert 31
momentum 24, 75
Morley, E. W. 31
muonlar 23

negatif eğrilik (bükülme) 88-
89
bosunc 148
Neumann, John von 39
Newton, Isaac 1-7
Ökild 85
özel izafiyet 48
parçacık teorisi 24-26
Pisagor teoremi 61, 64, 70-
72
Planck Sabiti 24-26, 167-
168
Platon 42
pozitif eğrilik (bükülme) 86-
87

Riemann, G. F. B. 71-72
Schwarzschild, K. 111
statik evren 142
süperisim teorisi 171-173
şişme evresi 161

tekilik teorileri 164-167
teleskoplar 123
tenörler 77-84
tünelleme 27

uydu sondaları 156
uzay eğriliği (bükülmesi) 53-
70
ve zaman 75-101, 159
uzayın jeodesikler 58-59
uzay-zaman 31-34, 45-47,
98, 100-101
jeodesikler 70

Öçerler 90

Wright kardeşler 16

yıldızlar 120
yükseklik ve izafiyet 43

zaman ve jeodesikler 57-59
aynca bkz. uzay-zaman
zaman jeodesikler 58-59

İZAFİYET TEORİSİ

Einstein $E = mc^2$ ile ne demek istedi?

Karadelik nasıl oluşur?

Dördüncü boyutun yaranı nedir?

"Şimdi kemerlerinizi bağlayın, sarımsalı bir yolculuk olacak..."

Sarımsalı ama eğlenceli. Aynı zamanda ilmi. Ve tabii ki izafî. Fakat kesinlikle nefes kesici. Kutulacak mı dalgaları üzerinden ilerlerken uzay-zaman dört boyuta ayrılacak, dalgalar ışık hızında yol alacak, saatlerimiz yavaşlayacak ve evren giderek hızlanacak. Fotonlara çarpınlar jenderik hesapla yolunu bulurken, yolunu kaybedenleri kara deliklerden salın teorisi çıkaracak. Yolcuğumuz sadece birkaç saatinizi alacak. Fakat belki de o sırada dünyada yılar geçmiş olacak?

Einstein'ın Genel izafiyet Teorisi, kuantum teorisyle birlikte, son 100 yılın fizikinin iki ana hattından biri olmaya devam ediyor. Öyleyse hazırlanan, Bruce Bassett'in rehberliğinde ve Ralph Eshay'ın çizimleri eşliğinde Einstein'ın göz kamaştırıcı, zihin açıcı ve ekil dala dünyasına gidiyoruz.

"Son derece ilginç bir resimli rehber ... çok eğlenceli bir kitap."

New Scientist



ENTV yayınları

17 n

ISBN 978-605-5913-74-1



9 786055 813741

