



TÜBİTAK

1996

Bilim Ödülü



Tekin Dereli

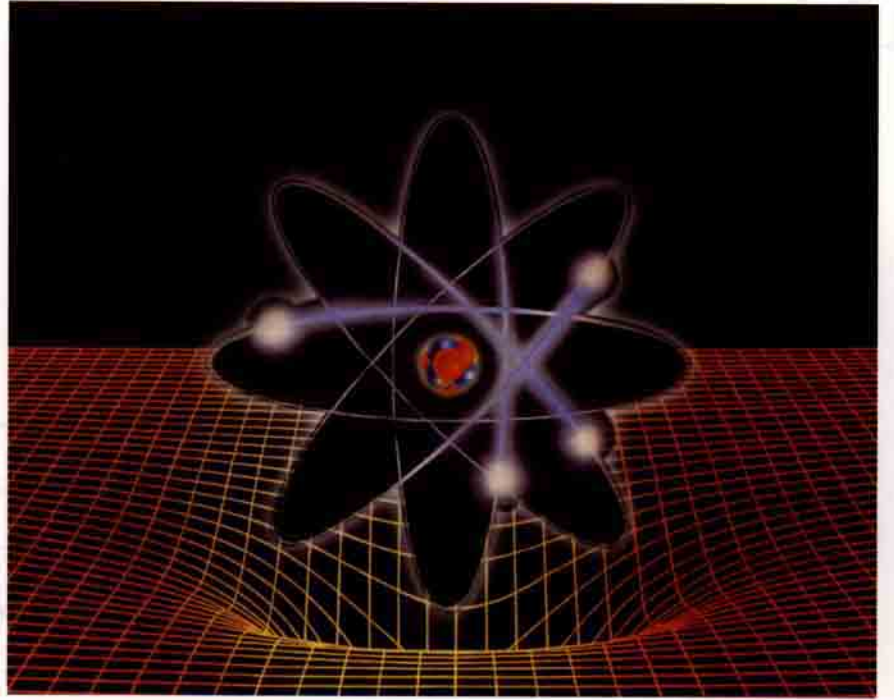
"Gravitasyon teorilerinin ayar yapısını ortaya koyan; eğri uzay-zamanlarda spinorlar, süpersimetri ve süpergravitasyon konularına açıklık getiren; kuantum kozmolojisine özgün katkılarda bulunan uluslararası düzeyde üstün nitelikli çalışmalar" nedeniyle Bilim Ödülü verilmiştir.

1949 yılında Ankara'da doğan Dr. Dereli, 1971 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fizik Bölümü'nden mezun olmuş, 1976 yılında aynı üniversitede doktora derecesini almış, 1981 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nde doçentliğe, 1987 yılında Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü'nde profesörlüğe yükselmiştir.

1973-1984 yılları arasında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fizik Bölümü'nde; 1984-1987 yılları arasında aynı üniversitede Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü'nde; 1987-1993 yılları arasında Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü'nde öğretim üyesi olarak görev yapan Prof. Dr. DERELİ, 1993-1995 yılları arasında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Matematik Bölümü'nde çalışmıştır. 1974-1975 ders yılında Yale Üniversitesi'nde (ABD), 1976-1977 ders yılında Brandeis Üniversitesi'nde (ABD); çalışmalarda bulunan Prof. Dr. Dereli 1977-1978 ders yılında Einstein-Memorial Foundation Fellow olarak Viyana Üniversitesi Teorik Fizik Enstitüsü'nde (Avusturya) bulunmuş; 1979-1981 yılları arasında Lancaster Üniversitesi'nde (İngiltere) çalışmalar yapmış ve aynı üniversiteye 1982, 1984, 1986, 1990, 1992, 1994 ve 1995 yıllarında NATO Araştırma Bursu'yla gitmiştir. 1988-1989 ders yılında ve 1990 yılında Alexander von Humbolt Foundation Fellow olarak Karlsruhe Üniversitesi Teorik Fizik Enstitüsü'nde (Almanya) çalışmış; 1986, 1987, 1989 yıllarında asosye üyesi olduğu ICTP'de (İtalya) araştırmalar yapan Prof. Dr. Dereli halen Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fizik Bölümü'nde görev yapmaktadır.

1982 yılı TÜBİTAK Teşvik Ödülü; 1989 yılı Sedat Simavi Vakfı Fen Bilimleri Ödülü; 1993 yılı Mustafa Parlar Vakfı Bilim Ödülü sahibi olan Prof. Dr. Dereli, Türk Fizik Vakfı Yönetim Kurulu üyesi ve Türkiye Bilimler Akademisi Asosye üyesidir.

Prof. Dr. Tekin Dereli'nin Uluslararası Science Citation Index'ce taranan hakemli dergilerde çıkmış 51 yayını vardır ve bu yayınlara Haziran 1996 itibarıyla 318 atıf yapılmıştır.



Kuantumlu Kütleçekim Teorisi

Fizik bir bütündür. Bu nedenle gerçek kuantumlu kütleçekimi teorisi ergeç açıklığa kavuşacaktır. O zaman bu teori, doğanın evrensel yasalarını en ince ayrıntısına kadar anlamamıza büyük katkıda bulunacaktır.

Kütleçekimi (gravitasyon) eskiden beri bilinen ve artık nitelikleri iyice anlaşılmış bir etkileşim kuvvetidir. Doğadaki her cisim bu kuvvetten etkilenir. Dalından düşen bir elma ya da Dünya'nın çevresinde dolanan Ay, aynı evrensel çekim yasasına uyarak hareket etmektedir. Böyle "büyük" cisimlerin hareketini tarif eden hareket denklemleri klasik mekaniğin konusudur. Cisimlerin "küçük" ölçekli iç yapısına ulaştığımızda, artık biliyoruz ki, atomların ve bunların içindeki nesnelere hareketini, kuantum mekaniği yasalarına uygun tarif etmek bir zorunluluktur. Atomu bir arada tutan kuvvetler elektromanyetik kaynaklıdır. Elektrik yüklü "büyük" cisim-

ler arasındaki elektrik ve manyetik kuvvetlerin niteliği de 19. yüzyıldan bu yana iyi bilinmektedir. Ancak atom çekirdeğine ve daha "küçük" ölçeklere inince, doğanın doğru anlaşılması için, elektromanyetik alanların kendilerinin de kuantumlanması şarttır. Klasik gravitasyon, pratik ve teknik gereksinimlerimiz açısından yeterli olduğuna göre kütleçekim alanlarını benzer olarak kuantumlamak niçin düşünülmelidir? Buna bizleri zorlayan hiçbir gözlemsel neden bugün yoktur. Ayrıca gravitasyon alanlarını standart yöntemlerle kuantumlama girişimleri başarılı olmamıştır. Ancak bilimin günümüze dek gelen gelişmesini bir bütün olarak göz önüne alırsanız, bu-

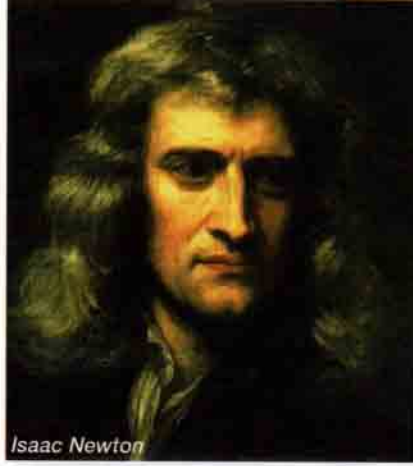
gün olmasa bile yarın mutlaka bu sorunun ele alınması ve doğayı anlayabilmek için doğru yanıtlanması gerektiğini anlarsınız. Bunun nedenlerini elimden geldiğince basit bir şekilde tartışmak amacındayım.

Newton Mekanığı

Ortaçağ'ın son döneminde, bu çağın düşününe egemen olan Aristocu skolastik görüşe uygun olarak, yeryüzündeki cisimlerin hareketi ile gökyüzündeki cisimlerin hareketi bir diğeriyle ilişkisiz olarak ele alınırdı. Gökcisimlerinin doğal olarak evrenin merkezi sayılan yerküre etrafında düzgün yörüngeler üzerinde hareket ettikleri kabul edilirdi. Yeryüzündeki cisimlerin ise doğal olarak hareketsiz oldukları; bir dış kuvvet etkisinde harekete başlatıldıklarında, bir doğru üzerinde bir süre yol aldıktan sonra durdukları gözlenirdi. Böylece bu iki hareket türü karşılaştırıldığında gökyüzü cisimlerinin yetkin hareketlerini kesintisiz sürdürebilmelerinin nedeni bir dış etkende aranır ve felsefi tartışmalara konu edilirdi. Yeni çağda bilimsel düşüncenin Rönesans sonrasındaki gelişimi sonucu bu görüşler köklü değişime uğradı. Johannes Kepler, Galileo Galilei ve çağdaşları tarafından öne sürülen yeni düşünceler, en özlü ifadesini Isaac Newton'un ilk kez 1687'de yayınlanmış "Principia Mathematica Philosophia Naturalis" (Doğa Felsefesinin Matematik İlkeleri) adlı kitabında bulundu. Newton, düşüncelerini aktarabilmek için önce diferansiyel ve integral hesabı bulmak zorunda kalmıştı. Böylece sonraki iki yüzyıl boyunca matematiğin gelişmesini belirleyen bir adımı atmış oldu.

Newton'un mekanik teorisi iki ayrı kısım halinde ele alınabilir. İlk kısmı oluşturan mekanik teorisine göre, gerek yeryüzündeki gerekse gökyüzündeki cisimlerin aynı hareket denklemlerine uygun olarak hareket ettikleri kabul edilmektedir. Eğer \vec{x} konumundaki bir nokta parçacığa t anında bir \vec{F} kuvveti etki etmekte ise, parçacığın ivmesi,

$$m \frac{d^2 \vec{x}}{dt^2} = \vec{F}$$



Isaac Newton

hareket denklemiyle belirlenmektedir. Burada m parçacığın eylemsizlik kütlesi olup, nokta parçacığın bir dış kuvvete karşı edilgen niteliğini karakterize etmektedir.

Newton teorisinin ikinci kısmı diyeceğimiz Newtonsal çekim yasasında kütleçekim kuvvetleri tüm uzayı kapsayan bir alan olarak ele alınmaktadır. Özel bir hal olarak iki duran cisim düşünüldüğünde, bu iki cismin birbirlerine etki ettirdiği çekim kuvveti; cisimlerin arasındaki r mesafesinin karesi ile ters, cisimlerin m_g ve M_g kütleleri ile doğru orantılı olarak değişmektedir:

$$\vec{F} = -G \frac{m_g M_g}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

Newton'un çekim sabiti $G=6,67 \times 10^{-8} \text{ cm}^3/\text{sn}^2\text{-gr}$ değerine sahip olup, doğa-

Newton'un evren modeli



nın temel sabitlerinden biridir. m_g ile gösterilen kütle parametresi, bir cismin diğer cisimlere etki ettirdiği çekim kuvvetinin büyüklüğünü belirlemede, yani cismin etken bir niteliğini karakterize etmektedir. Evrendeki tüm cisimler için;

$$m_f = m_g$$

özdeşliğinin doğruluğu kabul edilmektedir. Bu özdeşlik son derece duyarlı deneylerle 10^{12} de bir parçaya kadar doğrulanmıştır. Kütleçekim alanlarının temel nitelikleri şöyle sıralanabilir:

- 1) Kütleçekim kuvvetleri evrenseldir. Yani evrendeki her cisim bu kuvvetlerden etkilenir.
- 2) Bir kütleçekim alanı mutlaka çekici kuvvetlere neden olur. Bu nitelik $m_g \geq 0$ şartı ile ifade edilir.
- 3) Kütle çekim alanları uzun erimlidir; yani bir cismin etrafında oluşan çekim alanının etkileri zayıflayarak da olsa çok uzak mesafelere kadar uzanabilir.

Newton'un büyük başarılarından birisi, $1/r^2$ ters kare çekim kuvvetini kendi adıyla anılan hareket denklemlerinde yerine koyarak Güneş Sistemi'mizdeki gezegenlerin yörüngelerini istenilen duyarlılıkta hesap edebilmesi olmuştur. Böylece yeryüzündeki cisimlerin hareketlerini tarif eden Newton yasaları aynen gökyüzündeki cisimlerin hareketini de tarif edilmektedir. İşte birleşik teoriden beklenen tam olarak budur. Dolayısıyla Newton teorisine çağdaş anlamda bir birleşik alan teorisi gözüyle bakılabilir. Newton teorisini çağdaş teorilere koştur kılan ikinci bir özelliği ise şudur: Newton teorisinde bir tarafta nokta parçacıklarla betimlenen madde bulunurken, diğer tarafta madde ile etkileşen bir kuvvet alanı bulunmaktadır. Kütle parametresi, bu etkileşmenin büyüklüğü-

nü belirleyen bir bağlanma sabitidir. Newton teorisinin temelinde yer alan ve kökü antik çağların atomcu görüşünde bulunan bu madde-kuvvet alanı ikiliği, değişik bir görünüm altında dahi olsa, tüm çağdaş birleşik alan teorilerinde vardır.

Elektromanyetizma

19. yüzyıla gelene kadar elektriksel olaylarla manyetik olaylar arasında bir ilişki kurulamamıştı. Böyle bir ilişkinin varlığı ilk kez 19. yüzyılın başında Michael Faraday'ın deneyleriyle kesin olarak kanıtlanmıştır. Daha sonra James Clerk Maxwell, Faraday'ın kullanmış olduğu elektrik alan ve manyetik alan kavramlarını geliştirerek kendi adıyla anılan elektromanyetik alan teorisini inşa etmiştir (1865). Maxwell teorisinin esası, \vec{E} elektrik alan vektörü ile \vec{B} manyetik alan vektörünün sağladıkları şu diferansiyel denklem takımından ibarettir:

$$\begin{aligned} \vec{\nabla} \cdot \vec{E} &= 4\pi\rho & \text{Gauss yasası} \\ \vec{\nabla} \times \vec{B} + \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} &= 4\pi\vec{J} & \text{Ampère yasası} \\ \vec{\nabla} \times \vec{E} - \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} &= 0 & \text{Faraday yasası} \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{B} &= 0 & \text{Manyetik tek kutupların yokluğu} \end{aligned}$$

Burada $c=3 \times 10^{10}$ cm/sn ışığın boşluktaki yayılma hızı olup, doğanın temel sabitlerinden biridir. Yukarıdaki denklemlerin ilk ikisinin sağında kaynak olarak gözüken ρ elektrik yük yoğunluğunu, \vec{J} ise elektrik akım yoğunluğunu göstermektedir. Uzay içinde zamanla değişebilen bir yük ve akım dağılımının yarattığı elektrik ve manyetik alanlar, ele alınan fiziksel problemin simetrisine uygun sınır ve başlangıç şartları altında Maxwell denklemleri entegre edilerek bulunur. Elektromanyetik alanların temel nitelikleri şöyle sıralanabilir:

1) Elektromanyetik kuvvetler evrensel değildir. Ancak elektrik yüklü parçacıklar bu kuvvetten etkilenirler. e ile gösterilen elektrik yükü, bu etkileşimin büyüklüğünü belirleyen bağlanma sabitidir.

2) Bir elektromanyetik alan, etkileşen parçacıkların elektrik yüklerinin işaretlerine bağlı olarak itici ya da çekici kuvvetlere neden olur.

3) Elektromanyetik alanlar da uzun erimlidir. Bu alanların etkileri $1/r^2$ gibi



James Clerk Maxwell

değişerek uzak mesafelere kadar uzanır (Coulomb yasası).

Maxwell teorisinin en büyük başarılarından birisi, teorisinin varlığını öngördüğü ışık hızı ile yayılan elektromanyetik dalgaların Henrich Hertz tarafından 1887'de gözlenmesi olmuştur. Bu buluş sayesinde hem optik gibi geniş ve eski bir konu elektromanyetik teoriden türetilebilir olmuş hem de hepimizin yakından bildiği pek çok teknolojik uygulamanın yolu açılmıştır. Fakat hepsinden önemlisi, bu buluşun Maxwell teorisi ile Newton teorisinin temelindeki uyumsuzluğunu ortaya çıkarmış olmasıdır. Elektromanyetik alanların etkileri uzayda sonlu c ışık hızıyla yayılırlar. Halbuki Newton teorisinde kütleçekim alanlarının etkisi anidir. Yani uzayın herhangi bir noktasındaki çekim alanında görülecek bir değişikliğin aynı anda uzayın tüm diğer noktalarında da fark edileceği varsayılmıştır. Newton teorisinin zayıf bir tarafını oluşturan bu nitelik, diğer bir deyişle zamanın mutlak bir kavram olarak kabul edilmesinin sonucudur. Aristocu görüşte hem zaman hem uzay kavramları mutlak kavramlardır. Yani, evrenin merkezi farz edilen yer küresindeki bir gözlemci tarafından ölçülen mesafe ve zaman aralıklarının, evrenin herhangi diğer bir yerindeki başka bir gözlemci tarafından da aynen ölçülebileceği kabullenilmekteydi. Newton teorisinde ise uzayın hiçbir noktaya diğer noktalara göre ayrıcalık tanınmamıştır. Dolayısıyla uzay mutlak anlamını yitirmiştir. Ancak zaman henüz mutlak anlamını korumaktadır. Yer küresindeki bir gözlemci tarafından ölçülen zaman aralıklarının evrendeki diğer gözlemciler tarafından da aynen ölçülebileceği kabullenilmektedir. Bir göz-

lemci mesafe ve zaman ölçümlerinin sonuçlarını, bulunduğu noktaya kurmuş

olduğu bir referans sistemine göre (\vec{x}, t) koordinat değişkenleri cinsinden verir. Bu gözlemciye göre sabit bir $v \ll c$ hızıyla hareket halinde bulunan diğer bir gözlemci, aynı ölçüm sonuçlarını kendi kurmuş olduğu başka bir referans siste-

mine göre (\vec{x}', t') koordinat değişkenleri cinsinden ifade eder. Bu iki gözlemcinin ölçüm sonuçlarının ilişkisini kuran

$$\vec{x}' = \vec{x} + \vec{v}t, \quad t' = t$$

dönüşümleri, Galilei dönüşümleri adıyla bilinen dönüşümlerin özel bir halidir. Serbest parçacıkların sağladığı Newton hareket denklemleri, Galilei dönüşümleri altında şekil değiştirmezler. Bu bir serbest düşme olayının tüm eylemsiz gözlemciler tarafından serbest düşme olarak algılandığının matematik ifadesidir.

Acaba Maxwell denklemleri ile tarif edilen elektromanyetik olaylar için de benzer bir nitelik söz konusu mudur? Hemen dikkati çeken bir nokta, Maxwell denklemlerinin Galilei dönüşümleri altında şekil değiştirdiğidir. İki Newtonsal eylemsiz gözlemci düşünelim ve bunların bir elektromanyetik dalganın yayılma hızını nasıl ölçtüklerine bakalım. Örneğin, hareketsiz bir ışın kaynağına sabit hızla yaklaşan bir eylemsiz gözlemci ile aynı ışın kaynağından sabit hızla uzaklaşan diğer bir eylemsiz gözlemci, kaynaktan çıkan elektromanyetik dalgaların yayılma hızını farklı olarak ölçmelidirler. Halbuki yapılan duyarlı deneyler (Doppler etkisi) sonucunda böyle bir olguyu doğrulayacak en ufak bir kanıt bile bulunmamıştır. 19. yüzyılın sonunda fiziğin içine düştüğü bunalım Newtonsal uzay-zaman kavramı ile Maxwell teorisinin çelişkili olmasından kaynaklanmaktaydı. Çözümün Maxwell teorisini değiştirmekle değil, aksine Newton mekanizindeki mutlak zaman kavramını terketmekle bulunacağını ilk farkedenden A. Einstein olmuştur. Einstein'ın 1905 yılında elektromanyetik dalgaların tüm eylemsiz gözlemcilere göre c ışık hızı ile yayıldığı savından hareket ederek inşa ettiği özel görelilik teorisinde, mutlak olan dört boyutlu uzay-zaman kavramıdır. Özel görelilik teorisinde Maxwell denklemleri, uzay-zaman koordinat bileşenlerinin

$$\vec{x}' = \frac{\vec{x} + \vec{v}t}{(1 - \frac{v^2}{c^2})^{1/2}} \quad t' = \frac{t + \frac{\vec{v}\vec{x}}{c^2}}{(1 - \frac{v^2}{c^2})^{1/2}}$$

ifadeleri tarafından belirlenen Lorentz dönüşümleri altında şekil değiştirmeler. Lorentz dönüşümlerinin en çarpıcı yönü; bir zaman aralığı ölçüm sonucunun, ölçümü yapan gözlemcinin hareketine bağlı olarak değişebildiğini göstermesidir. Bu teori çerçevesinde Newton hareket denklemleri Lorentz dönüşümleri altında şekil değiştirmeyecek biçimde genellenebilmektedir.

Genel Görelilik Teorisi

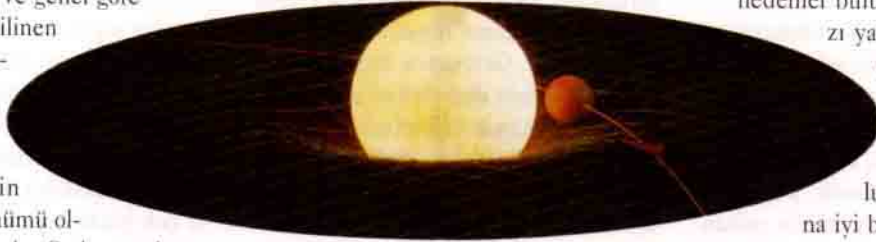
Einstein bu büyük buluşunun hemen ardından gayretini Lorentz dönüşümleriyle uyumlu bir kütleçekim (gravitasyon) teorisinin inşasına vermiştir. 1916'da yayınlanan ve genel görelilik teorisi adıyla bilinen Einstein'ın gravitasyon teorisinde, kütleçekim kuvvetlerinin uzay-zaman geometrisinin eğriliğinin bir görünümü oldukları anlaşılmaktadır. Serbest noktasal parçacıklar, düz uzay-zamanda doğrular üzerinde sabit hızlarla hareket ederler. Güneş gibi büyük kütleli bir cisim, civarındaki uzay-zaman geometrisini eğri hale getirir. Gerek boyutları gerek kütleleri Güneş'inkilerle kıyaslandığında nokta parçacık gibi kabul edilebilen gezegen veya kuyruklu yıldız gibi gök cisimleri uzay-zaman eğriliğine uyarak hareket etmektedirler. Dolayısıyla bu gök cisimlerinin Güneş yakınından geçerken yörüngeleri bir doğru çizgiden saparak birer elips veya parabol haline dönüşmektedirler. Salt uzay-zaman geometrisinin eğriliğinden kaynaklanan bu sapsmalar, kütleçekim kuvvetlerinin etkisi olarak yorumlanmaktadır. Bu son ifade eşdeğerlik ilkesi adıyla bilinir.

Einstein, görüşlerini açıklayabilmek için o günün bilinen en zor matematik teorilerinden birisi olan Riemann geometrisini öğrenip, uzay-zaman eğriliğinin bir Riemann geometrisi kapsamında anlaşılabilirliğini göstermişti. A. Einstein'ın kütleçekim alanlarının varlığını ve niteliklerini uzay-zaman geometrisinin yapısal özelliklerine indirgeyebilmesi çağımızın en önemli buluşlarından biri-

sidir. Bu buluş nedeniyle fizik anlayışımızda temel ve köklü değişiklikler olmuştur. Genel görelilik teorisinin keşfinden bugüne doğada bilinen diğer kuvvetlere de benzer bir geometrik yorum bulabilmek fikri fizikçilerin düşü olagelmıştır.

Birleşik Alan Teorisi

Einstein'ın kendisi de bu ikinci büyük başarısından sonra kütleçekim alanları ile elektromanyetik alanları tek bir geometrik yapı çerçevesinde birleştirebilmek için çok uğraşmıştır. Pek çok değişik geometrik yaklaşım denenmiş, fakat başarılı olunamamıştır. Bu yaklaşımlardan (ilk kez 1921'de Theodore Kaluza ve daha sonra 1926'da Oscar Klein tarafından öne sürülmüş olan) birisi son yıllarda tekrar önem kazanmış görünüyor. Bu yaklaşımda esas olarak elektro-



manyetik olaylarla ilişkili dördüncü bir uzay boyutunun varlığı öngörülmektedir. Kütleçekim alanları nasıl dört boyutlu uzay-zamanın basit olmayan geometrisinin görünümü iseler, elektromanyetik alanların da benzer biçimde bir uzaysal boyutun katkısından kaynaklanmakta olabilecekleri düşünülmüştür. Kaluza ve Klein, Einstein'ın kütleçekim teorisinin benzerini beş boyutlu bir uzay-zaman üzerine inşa edip

alan denklemlerini gerçek dört boyutlu uzay-zamana indirgediklerinde, Einstein-Maxwell teorisinin elde edildiğini görmüşlerdir. Gözlemlerimiz, evrenin sadece üç uzay boyutuna sahip olduğu yönündedir. Öyleyse, eğer Kaluza ve Klein'in yaklaşımında bir gerçek payı varsa, neden içinde yaşadığımız evrende dördüncü bir uzay boyutunun varlığını gözleyemiyoruz? Bu önemli soruya yanıt olarak beş boyutlu evrenin hipersilindirik topolojisine sahip olabileceği öne sürülmüştür. Bir tel parçasını çok uzaktan gözleyin. Tek boyutlu bir cisim gibi algıyorsunuz. Fakat daha yakından bir gözlem, telin kalınlığını ortaya çıkarır. Benzer olarak dördüncü bir uzay boyutu günümüz gözlemlerimizle fark edilemeyecek ölçüde küçük kalabilir. Bu varsayım tartışmaya açıktır, fakat basit Kaluza-Klein yaklaşımının bir klasik alan teorisi olarak yeterli görülmemesi için daha temel nedenler bulunmaktadır. Fizikte bazı

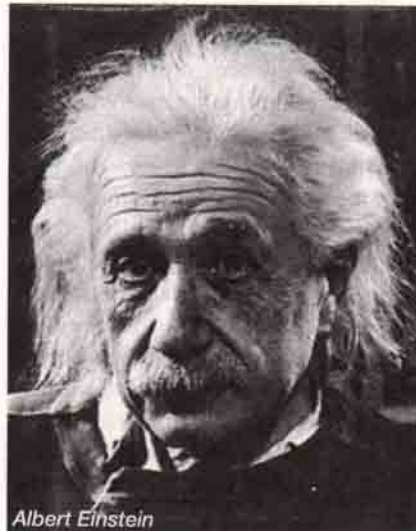
yaratıcı fikirler, belli bir olgunlaşma döneminden geçmeden öne sürüldüklerinde kabul görmüyorlar. Kaluza-Klein yaklaşımı buna iyi bir örnek oluşturmaktadır.

Bu teori ilk öne sürüldüğünde, elektrik yükü taşıyan parçacıklar arasında etkin olan elektromanyetik ve kütleçekim kuvvetlerinin klasik bir alan teorisine Einstein anlamında geometrik tanımlanması. Halbuki bugün biliyoruz ki, ne doğada maddeyi oluşturan parçacıkların nitelikleri bu kadar basittir ne de doğada bilinen kuvvetler sadece bu ikisinden ibarettir.

Temel Parçacıklar

Maddenin yapıtaşları ve bunlar arasındaki temel etkileşme kuvvetleri hakkında çağdaş anlayışımız 20. yüzyılın özel görelilik ve genel görelilik teorilerinden sonra üçüncü büyük bilimsel buluşu kabul edilen kuantum mekaniğinin çıkışı ve bu teori yardımıyla atom çekirdeklerinin incelenmesi sonucu gelişmiştir.

Önce doğadaki maddenin yapı taşları olarak düşünülen basit parçacıkları ele alalım. Basit parçacık denilince herhangi bir iç yapısı olmayan, şekle ve boyuta sahip olmayan nokta parçacıklar anlaşılmalıdır. Basit parçacıkların ayrıntı niteliklerini kuvvet alanları ile etkileşmeleri



Albert Einstein



Einstein ve Newton modellerinin karşılaştırılması

belirler. Bir basit parçacığın kütleçekimi ile etkileşmesini, kütlesi ve spini (yani içsel açısal momentumu); elektromanyetik etkileşmelerini, elektrik yükü; diğer etkileşmelerini ise, sahip oldukları diğer yükler belirlemektedir. Basit parçacıkları niteleyen bu yüklerin zaman içerisinde konumunu, etkileşme kuvvetlerinin alan teorileri ile tarifini olanaklı kılmaktadır. Doğadaki tüm basit parçacıklar iki ana sınıfta toplanabilmektedirler: Birinci sınıfı aralarında elektron ve nötrinoların yer aldığı (hafif parçacık anlamına) *leptonlar* oluşturmaktadır. Leptonlar üç nesil halindedir ve her bir lepton nesli arasında, kütleleri dışında, fark bulunmamaktadır. İkinci sınıfı ise yine üç nesil halinde üçer türü bulunan *kuarklar* oluşturmaktadır. Yalıtılmış olarak gözlemlenmesi bugüne dek başarılamaayan kuarkların alışılmamış fiziksel niteliklerine biraz sonra değineceğiz. Atom çekirdeklerinin yapı taşları olarak düşünülen (ağır parçacık anlamına) *hadronlar* kuarklardan yapılmışlardır. Proton ve nötron hadron sınıfındadır. Çekirdekler hadronlardan yapılmışlardır. Atomların kendileri ise leptonlar ile atom çekirdeklerinin elektromanyetik kuvvetler aracılığıyla bir arada tutulması sonucu oluşurlar. Moleküller atomlardan yapılırlar. Böylece adım adım ilerlenerek günlük yaşamımızda gözlenen maddenin yapısına kadar gelinir. Her adımda başka fizik geçerlidir. Parçacık fiziği, çekirdek fiziği, atom ve molekül fiziği, yo-



ğun madde fiziği, astrofizik, hepsi nitelik ve yöntemleri bakımından bir diğerrinden çok farklıdır. Günlük yaşamımızda karşılaşılan mekanik ve elektromanyetik olayların tarifi için klasik fizik teorileri yeterli bulunmaktadır. Ancak atom düzeyinden itibaren bu teoriler yetersiz kalmakta ve artık kuantum teorileri geçerli olmaktadır. Bu düzeyde madde parçacıkları dalga fonksiyonlarıyla betimlenirler.

Dalga fonksiyonlarının global özelliklerine bağlı olarak, bu fonksiyonlarla tarif edilen parçacıkların spinleri mutlaka $\hbar/4\pi$ veya bunun tam katları olmak zorundadır. $\hbar = 6,63 \times 10^{-27}$ erg-sn Planck sabiti olup doğanın temel sabitlerinden üçüncüsüdür. Gerçekten doğadaki tüm parçacıklar spin değerlerine göre birbirinden çok değişik fiziksel nitelikler gösteren iki sınıfa ayrılmaktadırlar. Fermiyonların spinleri $\hbar/4\pi$ ve bunun tek tam sayı katları olup bu parçacıklar Pauli dışarlama ilkesine uymaktadırlar. Bozonların spinleri ise 0 veya $\hbar/4\pi$ 'nin çift tam sayı katlarıdır. Bunlar dışarlama ilkesine uymazlar. Çağdaş birleştirme teorilerinde madde-kuvvet alanı ikiliği kendisini fermiyon-bozon ayrımında göstermektedir. Tüm basit parçacıklar fermiyonlardan ibarettir. Etkileşme alanlarının kuantumları ise bozonlardır.

Etkileşme Kuvvetleri

Basit parçacıkların birbirleriyle etkileşmeleri dört temel kuvvet aracılığı ile olmaktadır. Bilinen en eski kuvvetler olan kütleçekim kuvvetleri ile elektromanyetik kuvvetlerin uzun erimli olduklarını söylemiştik. Bilinen diğer iki kuvvet türü olan zayıf kuvvetler ve şiddetli kuvvetler kısa erimlidirler ve kendilerini ancak çekirdek içi olaylarda gösterirler. Leptonlar sadece zayıf etkileşmelere girmektedirler. Kuarklar ise hem zayıf hem de şiddetli kuvvetlerle etkileşirler. Kuarkların hadronları oluşturmamasından ve çekirdeklerin bir arada tutulmasından şiddetli etkileşimler sorumludur. Zayıf etkileşmeler ise parçacıkların bozunumunda kendini gösterir. Örneğin

nötron β -bozunumuna uğrar. Yani durduğu yerde bir proton, elektron ve elektron nötrinosa bozunur. Böylece bir atom çekirdeği başka bir çekirdek türüne dönüşebilir. Bozunum olaylarının tarifinde kuantum mekaniği de yetersiz kalmaktadır. Bu tür olaylar, kuantum kurallarıyla özel görelilik teorisinin kaynaştırılması sonucu inşa edilen kuantumlu alan teorileri yardımıyla tarif edilmektedir. Bu tür teorilerin ilk ve en başarılı örneğini kuantum elektrodinamiği oluşturmaktadır. Kuantum elektrodinamiğinde, elektrik yüklü parçacıkların etkileşmesi, elektromanyetik alanın foton denen kuantumlarının alınıp verilmesinden kaynaklanmaktadır. Örnek olarak, bu teoride elektron-elektron saçılma genliği, pertürbasyon açılımının ilk mertebesinde sanal bir fotonun değişimi ile olur. Zayıf, elektromanyetik ve şiddetli kuvvetler nitelik olarak birbirlerinden çok farklıdırlar. Bunun nedeni evrenin soğuk bir döneminde bulunmamızla açıklanmaktadır. Yani bilinen parçacıklar ve aralarında etkin olan kuvvetler normal şartlarda düşük sıcaklıklarda veya diğer bir deyişle düşük enerjilerde gözlenmektedirler. Kozmik ışınlarda veya çok güçlü hızlandırıcı ve çarpıştırıcılarda yüksek enerjilere çıkılarak gözlemler yapıldığında bu üç temel kuvvet arasındaki nitelik farklarının giderek azalma eğilimleri gösterdikleri saptanmıştır. Bunu anlamak için öncelikle temel etkileşmelerin nicel olarak birbirleriyle nasıl karşılaştırılabileceğini görmeliyiz. Duran bir atom çekirdeğinin elektrik yükünü ölçmek için üzerine bir yüklü parçacık (prob) yollar ve bunun saçılmasına bakarız. Etkileşmenin büyüklüğünü belirleyen birimsiz bağlanma sabiti $\alpha = e^2/\hbar^2$ ifadesiyle verilen ince yapı sabitidir. İki serbest elektron arasında $\alpha = 1/137$ değerine sahiptir. Fakat atom çekirdeğinin yükü ölçülürken atomun elektronları prob elektronuna perdele-

Kozmik Ölçek

10^{-33} cm	Bilinen fizik yasalarının doğal sınırı
10^{-14} cm	Çekirdek içi kuvvetlerin erimi
10^{-12} cm	Çekirdeğin yarıçapı
10^{-8} cm	Atomun yarıçapı
10^{-4} cm	Virüsün boyutu
10^2 cm	İnsanın boyu
10^9 cm	Dünyanın yarıçapı
10^{11} cm	Güneşin yarıçapı
10^{13} cm	Dünya ile Güneş arasındaki uzaklık
10^{23} cm	Sarmanyolu galaksisinin yarıçapı
10^{24} cm	Dünya'ya en yakın galaksiye uzaklık
10^{28} cm	Evrenin gözlenen yarıçapı

Leptonlar			Elektrik Yüğü	Kütlesi
			(e)	(m)
1. nesil	ν_e	elektron nötrinosu	0	0
	e^-	elektron	-1	0,5 MeV
	ν_μ	muon nötrinosu	0	0
2. nesil	ν_τ	tauon nötrinosu	-1	100 MeV
	μ^-	muon	-1	?
3. nesil	ν_τ	?	0	?
	τ^-	ağırlı lepton	-1	1,75 GeV

Kuarklar			Elektrik Yüğü	Kütlesi
			(e)	(m)
1. nesil	u	üst kuark	2/3	
	d	alt kuark	-1/3	
	s	garp kuark	-1/3	
2. nesil	c	çarm kuark	2/3	
	s	garp kuark	-1/3	
	b	alt kuark	-1/3	
3. nesil	t	üst kuark	2/3	
	b	alt kuark	-1/3	

me yaparlar. Prob enerjisi ne kadar büyükse çekirdeğin çıplak yükü o kadar net gözükür. Bu örnek, kuantumlu alan teorilerinde bağlanma "sabitinin" prob enerjisinin bir fonksiyonu haline gelişini anlamamıza yardım eder.

Temel etkileşmelerin güçlerini tayin edebilmek üzere her birisi için bağımsız birer birimsiz bağlanma sabiti tanımlanır. Elektromanyetik ince yapı sabiti yukarıdaki değerini sıfır prob enerjisi limitinde almaktadır. Prob olarak düşünülen ara fotonun enerjisi arttıkça α 'nın değeri de büyür. Günümüzün en güçlü hızlandırıcılarında yüzlerce GeV'lik enerjilere çıkılmaktadır. Bu enerjilerde elektromanyetik ince yapı sabiti ve zayıf etkileşmeleri belirleyen yapı sabiti aynı değere ulaşmaktadır.

Elektrozayıf Birleştirme

1967'de Abdus Salam ve Steven Weinberg tarafından inşa edilen elektrozayıf etkileşmeler teorisi yardımı ile yüksek enerjilerde elektromanyetik etkileşmelerle zayıf etkileşmeler tek bir etkileşmenin değişik görünüşleri şeklinde yorumlanabilmiştir. Salam-Weinberg teorisinde, elektromanyetik kuvvetlerin foton adı verilen elektrik yüksüz kuantumlar aracılığıyla iletildiği kabul edilmektedir. Elektromanyetik etkileşmelerin uzun erimli olması foton kütlesinin sıfır olmasıyla açıklanmaktadır. Zayıf etkileşmelerin kuantumları, W^+ , W^- ve Z^0 ile gösterilen ara bozonlardır. Zayıf kuvvetlerin çok kısa erimli olup, ancak yaklaşık 10^{-16} cm'den daha küçük mesafelerde etkin olmaları, zayıf bozonların kütlelerinin $80 \text{ GeV}/c^2$ dolaylarında olmasını gerektirmektedir. Birleşme enerjisini belirleyen, ara bozonların kütlesidir. Bu yüzyılın en büyük keşiflerinden birisi 1983 yılında Cenevre'de CERN (Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi) laboratuvarlarında zayıf bozonların öngörülen kütle değerlerine çok yakın hızlandırıcı enerjilerinde gözlenmiş olmalarıdır.



Kuantum Renk Dinamiği

Şiddetli etkileşmelerin tartışılmasına temel olarak Murray Gell-Mann tarafından öne sürülmüş altı kuarklı kuantum renk dinamiği (QCD) teorisi ele alınmaktadır. Bu modele göre, kuarklar da üç nesil halinde bulunmaktadır. Düşük enerjilerde gerçekleştirilen deneyler sadece 1. nesilden parçacıkları kapsamaktadır. Örneğin tüm yoğun hal fiziği ve astrofizik için sadece 1. nesil leptonlar ve kuarklar yeterli olacaktır. Altı kuark cinsinden her biri ayrıca üçer türe sahip olup bu türleri belirleyen korunumlu yüke "renk" adı verilmektedir. Üç esas kuark rengine kırmızı, mavi ve yeşil diyelim. Antikuarklar sarı, turuncu ve mor denilen karşıt renklere sahip olacaklardır. Şu ana dek yüksek enerji deneylerinde renk yükü taşıyan herhangi bir parçacık gözlemlenmiş değildir. Zaten kuarklar gibi kesirli elektrik yükü taşıyan parçacıklar da gözlenememektedir. Kuarkların varlığının kanıtları, örneğin saçılma deneylerinden, dolaylı ola-

rak elde edilmektedirler. Kuark hapsi veya daha doğru bir tabirle renk hapsi adı verilen bu olgunun şu andaki fizik bilgilerimizle açıklanabileceği iddia edilmiyor. Bu olguyu bir gerçek olarak benimseyip, kuarkların oluşturduğu hadronların renksiz parçacıklar olduğunu kabul edelim. Kuarkların bağlı durumları arasında renksiz kombinasyonlar sadece (qqq) ve (q, anti q) durumlarıdır. Bu sonuç basit kuark modeliyle kesin bir uyum göstermektedir. Üç kuark durumları baryonlara, kuark-antikuark durumları ise mezonlara karşı gelmektedir. Örnek olarak, (uud) durumuna proton, (udd) durumuna nötron, (u, anti d) ve (d, anti u) durumlarına ise π^+ ve π^- mezonları karşı gelmektedirler. Hadronları bir arada tutan şiddetli kuvvetlerin kaynağı, kuarkların arasında alınıp verilen renk kuantumlarında bulunur. Kuantum renk dinamiğinde alınıp verilen sekiz adet kütsüz kuantuma *gluon* adı verilmektedir. Kuantum elektrodinamiğindeki fotonun elektrik yükü taşımasına karşın, kuantum renk dinamiğindeki gluonların kendileri de renk yükü taşımaktadırlar. Gluonların bu niteliği çok önemli olup, şiddetli kuvvetlerin beklenmedik bir özelliğinin 1973 de Gerard t'Hooft ve diğerleri tarafından keşfine yol açmıştır. Asimptotik özgürlük adı verilen bu özellik, statik kuarkların arasında etkin olan renk alış-veriş kuvvetlerinin, Coulomb kuvvetinin aksine r gibi değiştiğine işaret etmektedir. Kuarklar arasındaki mesafe azaldıkça aralarındaki etkileşme kuvveti sıfıra gitmekte-





dir. Böylece kuarkların, hadronların içerisinde serbest parçacıklar gibi davrandıkları anlaşılmaktadır. Herhangi bir kuark yalıtılıp diğerlerinden ayrılmak istendiğinde, kuarklar arasındaki çekici renk kuvvetleri sonsuz büyüme eğilimi göstermektedir. Belki de bu davranış biçimi bize kuarkların neden tek başlarına gözlenemediklerinin açıklanabilmesi için ipuçlarını vermektedir.

Büyük Birleştirme Modelleri

Kısa bir hesap sonucunda elektroza-yıf etkileşmeleri belirleyen yapı sabiti ile şiddetli etkileşmelerin yapı sabitinin yaklaşık, 10^{15} GeV'lik enerjilere ulaşıldığında aynı değere gelecekleri anlaşılmıştır. Bu enerjiden daha yüksek enerjilere çıkıldığında her üç etkileşme kuvvetini birleştiren bir teorinin var olacağı düşünülmüştür. Büyük birleştirme teorileri adı verilen bu tür modellerin bir kuantumlu alan teorisiyle tarif edilebilmesi olasılığı büyüktür. Leptonlarla kuarklardan ibaret kabul edilen basit parçacıklar ve bunların arasında etkin temel dört etkileşme kuvveti yardımıyla atom çekirdeklerinden başlanarak galaksilere dek tüm evrendeki madde yapısının açıklanacağı ümit edilmektedir. Fizik tarihindeki birleştirme eğilimi hatırlandığında, varılan bu noktadan bir adım daha ileri gidilmesini ve tüm parçacıkları bir sınıfa indirgeyerek bunlar arasında tek bir kuvvetin etkin olduğu birleşik modellerin araştırılmasını doğal karşılamak gerekir. Büyük birleştirme teorileri adı verilen bu tür modellerde, ilk yaklaşırma olarak kütleçekim kuvvetlerinin çekirdek içi olayların tarifinde tümünden ihmal edilebileceği varsayılmaktadır. Bunun iyi bir yaklaşırma olamayacağını anlamak için doğanın temel sabitlerini ele alalım. c ışık hızı, \hbar Planck sabiti ve G Newton sabiti cinsin-

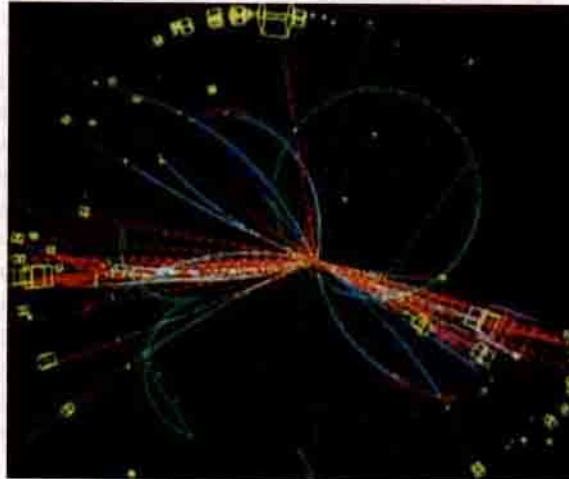
den bir mesafe ölçeği belirlenebilir:

$$\sqrt{\frac{G \hbar}{c^3}} = 4,05 \times 10^{-33}$$

Planck mesafesi diye bilinen bu temel sabitin fizik yasaları ile tarif edilebilen olayların ölçeğine bir alt sınır oluşturduğu sanılmaktadır. Planck mesafesine inebilmek için Planck enerjisi denen 10^{19} GeV değerine kadar çıkılması gerekir. Bu durumda kütleçekim kuvvetlerinin diğer kuvvetlere baskın olacağı öne sürülebilmektedir. Bu tartışmaların doğruluğu kabul edilirse, 10^{15} GeV'lik birleştirme enerjisi düzeyinde kütleçekim kuvvetlerinin tümünden ihmalı haklı gösterilemez.

Ulaşılması bir düş kadar uzak böyle yüksek enerji değerlerinde bir klasik alan teorisi olan Einstein teorisi ile kuantumlu alan teorileri olan büyük birleştirme modellerini bir araya getirmek bir anlam taşımayacaktır. Çünkü hem bu teorilerin uygulama buldukları fiziksel olaylar nitelik olarak çok farklıdır hem de kullanılan matematik formalizmler uyumlu değildirler. Kütleçekimsel etkileşmeleri çok yüksek enerjilerde büyük birleştirme modellerine kaynaştırmanın tek yolu, bir kuantumlu kütleçekim teorisinin inşa edilmesinden geçmektedir. Henüz kesin başarılı bir örneği bilinmeyen böyle bir teoriyi inşa etmek için standart kuantumlama yöntemleri Einstein teorisine uygulandığında kütleçekim kuvvetlerinin graviton adı verilen kuantumların alınıp verilmesinden kaynaklanacağı varsayılmaktadır. Ancak, elektromanyetik teorisinin aksine bu yaklaşım başarılı olamamıştır.

Kuantum gravitasyon teorisinin yeri ve önemi hakkında bir fikir verdim sanı-
Zayıf kuvvet taşıyıcılarından Z' parçacığının bozunumunun bilgisayar simülasyonu



yorum. Varılan bu noktadan öteye yapılan çalışmalara, varsayımlara dayalı, deneyler ve gözlemlerle doğrudan veya dolaylı kanıtlanması gereken öngörüler olarak bakılmalıdır. 1976 yılında keşfedilen ve uzun süre üzerinde heyecanla çalışılan *Süpergravitasyon Teorisi* fermiyon-bozon ikiliğini kuantum gravitasyon düzeyinde kaldırmaya yönelik önemli bir adımdı. 1984 yılından bu yana ise *Süpersicim Modelleri* büyük ilgi görmektedir. Bu teoride madde ve etkileşme alanları dahil her şey Planck ölçeğindeki relativistik bir uzantılı nesne, yani sicim üzerine inşa edilmektedir. Parçacıklar sicimin titreşim kipleri gibi yorumlanmaktadır. Noktasal parçacık kavramı terk edildiği için uzay-zaman tekillikleriyle veya çok küçük mesafelerde kuantum sonsuzluklarıyla karşılaşılmaktadır.

Tüm bu gelişmelere rağmen bugün henüz doğanın evrensel yasalarını bir bütün olarak kavramaktan uzagız. Kuantum kütleçekiminin somut öngörülleri bulunursa, bunların günlük yaşamdan hayli uzak olacaklarını kabul etmeliyiz. Bu teoriden esas beklentimiz, Planck ölçeğinde uzay-zaman yapısı hakkındaki görüşlerimizi kökünden değiştirebilmesidir. Ayrıca günümüzde laboratuvarda gözlenen "elementer" parçacıkların doğasıyla ilgili yeni görüşler getirebilmesidir. Örneğin kütle kavramı gravitasyon alanı kavramıyla yakından ilişkilidir. Şu anda elementer parçacıkların niçin sahip oldukları kütle değerlerini taşıdıklarının herhangi bir açıklamasını bulamamaktayız. Günümüzde fizik, yukarıda bahsi geçen her iki temel konuda da fiziksel anlam verilmesi zor *sonsuzluklarla* boğuşmakta. Parçacık fiziğine temel alınan kuantumlu alan teorilerinde hesaplanan sonsuzluklar, *renormalizasyon* algoritması adıyla kütle ve korunumlu yük tanımlarının içine gizlenmekte; klasik Einstein teorisinde ise, uzay-zaman tekilliklerinin varlığının evrenin başlangıcındaki Büyük Patlama anında ve kara deliklerde kaçınılmaz olduğu kanıtlanmaktadır. Bu tür sonsuzlukların çıkmasına tutarlı bir kuantum gravitasyon teorisiyle engel olunabilir mi? Bu sorunun yanıtı 21. yüzyıla kalan önemli bir fizik problemidir.

Tekin Dereli
Prof. Dr., ODTÜ Fizik Bölümü

Bütün fakslar kapsama alanında.



0 532 Turkcell'le kesintisiz iletişim kurmak, yalnızca cep telefonuyla konuşmak anlamına gelmiyor. Artık mekânlara bağımlı olmadan faks ve datayla da iletişim kurabilir, isterseniz internete bağlanabilirsiniz.

Nasıl mı? Çok basit... Turkcell kartlı cep telefonunuzu dizüstü bilgisayarınıza bağlayın, sonra bulunduğunuz yerden faks, data, mesaj, dosya ya da e-mail gönderin ve alın. Nasılsa Turkcell 24 saat çalışıyor, iletişiminizi kesintisiz sürdürüyor.



TÜRK TELEKOM
TURKCELL

0 532 Kesintisiz iletişim kaynağı