

AYLIK POPÜLER BİLİM DERGİSİ

BİLİM ve TEKNİK



TÜBİTAK

YENİ UFUKLAR

STANDART MODEL VE ÖTESİ

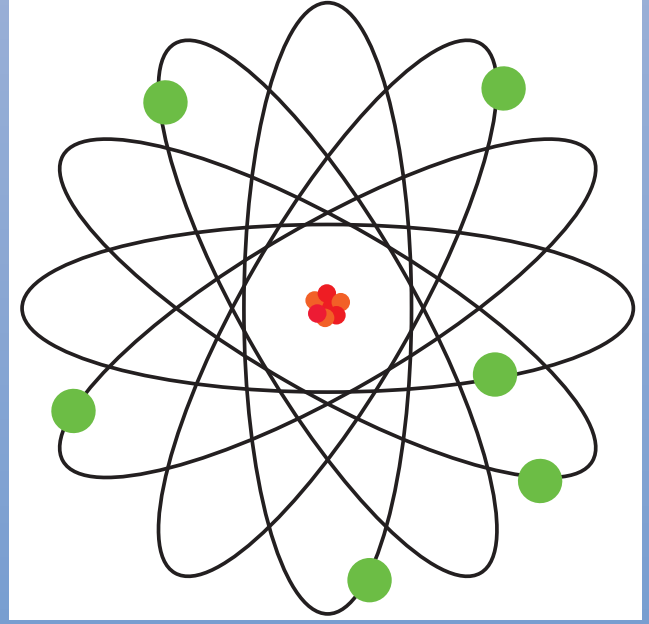
NİSAN 2007 SAYISININ ÜCRETSİZ EKİDİR

HAZIRLAYAN: ALTUĞ ÖZPİNECİ
ODTÜ FİZİK BÖLÜMÜ

MADDENİN

İnsanoğlu bütün tarihi boyunca, çevresinde gördüklerini anlamaya çalışmış, bunun için de sürekli olarak çevresinde gördüğü nesnelere incelemiştir. Bir yandan, çok büyük ve kendisinden çok uzaktaki gök cisimlerini anlamak için gözlerini gökyüzüne dikmiş, kendi gözlerinin yetmediği yerde, teleskop gibi araçlara başvurmuş, bir yandan da, kendisine daha yakın elle tutabildiği nesnelere gözünü çevirmiş, onlara dokunmuş, koklamış, yerine göre içini görmek için parçalamış, kendi duyularının yetmediği durumlarda da mikroskop gibi aletlere başvurmuştur. Kullandığı yardımcı aletlerle bile algılayamayacağı kadar uzaktaki ya da o kadar küçük cisimleri anlamak için ise hayal gücünü kullanmış ve kuramlar oluşturmuştur.

Kendi algısını kuvvetlendirmek için ürettiği aletleri geliştirdikçe, oluşturduğu bu kuramları test etmiş, başarısız kuramları geride bırakıp yeni kuram arayışına devam etmiştir. Bulduğumuz 2007 yılı da yine Standart Model dediğimiz bir kuramı büyük bir sınamadan geçirmeye başladığımız bir yıldır: bu yıl LHC dediğimiz büyük bir hızlandırıcı çalışmaya başlayacak ve Standart Model'i zorlu testlere tabi tutacaktır. Antik çağlardan, hatta daha öncesinden beri, insanoğlu, etrafındaki maddenin neden yapıldığını merak etti. Bir parça tahtayı alıp ikiye böldüğünde, iki tahta parçası elde ettiğini gördü. Her birini tekrar ikiye böldüklerinde ellerinde dört tahta parçası oldu. Her bir parça, ilk büyük parçadan küçük olmakla beraber yine de tahta parçasıydı. İki farklı okul doğmuştu: birisi bu bölme işleminin sonsuza kadar devam edebileceğini, bir diğeri ise bu bölme işlemine devam edilirse, bir süre sonra daha fazla bölünemeyecek en küçük yapı taşına ulaşılacağını savunuyordu. Bu bölünemez en küçük yapı taşına ise "atom" adı verildi. Bir başka problem de, gördükleri maddenin birbirine dönüşüyor olmasıydı. Bir parça tahtayı yaktı-

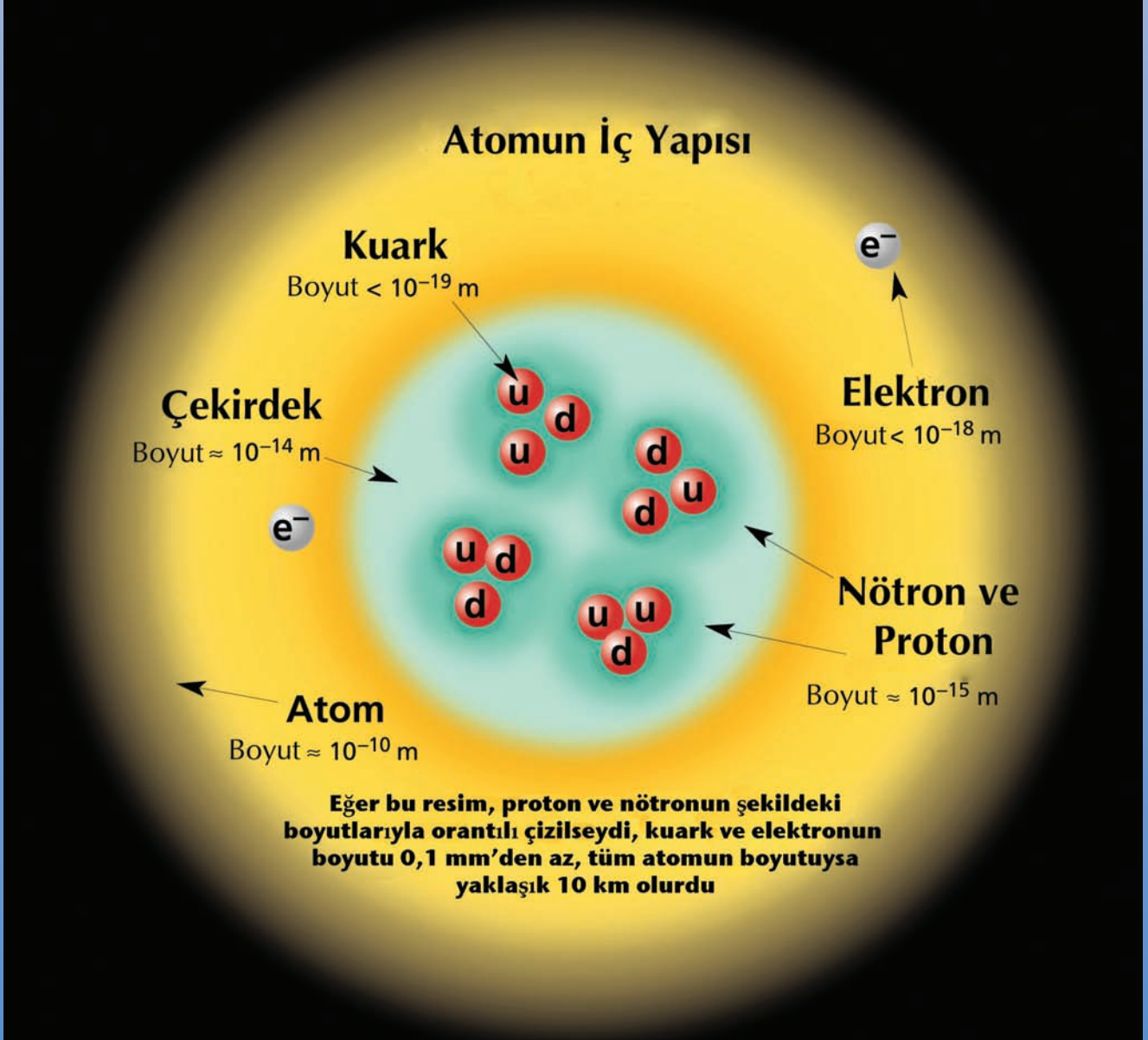


ğında alev (ateş) alarak ve duman(hava) çıkarak küle (toprak) dönüşüyordu ve su buharı (su) oluşturuyordu. Neredeyse bütün cisimler bu dördüne-ateş, toprak, su, hava- dönüştürülebiliyordu, ama bunlar birbirlerine dönüşmüyorlardı. O zamanlar bu dört elementin- ateş, toprak su, hava- bütün diğer maddeleri oluşturan temel elementler olduğuna inanılıyordu.

Yardımcı araçların gelişmesi atomların keşfine yol açtı ve yavaş yavaş hepimizin ilk okul yıllarından itibaren duyduğumuz elementlerin periyodik tablosu oluştu. Her element, yapı taşları olan atomlardan oluşur. Antik çağlardan beri sorduğumuz soruyu bu kez atomlar için sorabiliriz: atomların bir içi var mı, varsa içinde neler var?

1950'li yılların başında elektronun keşfi, atomların da içinde daha temel parçacıkların olduğunu doğruladı. Atomlar elektrik yüksüz oldukları halde, elektronlar eksi elektrik yüklü olduklarından, atomların eksi yüklü elektronlar ve artı yüklü maddeden oluştuğu anlaşıldı. Daha sonra Rutherford'un deneyi bu artı yüklü maddenin bütün atoma yayılmamış olduğunu ve sadece çekirdek denen atomun ortasındaki çok küçük ve çok yoğun bir bölgede toplandığını gösterdi. Daha sonra,

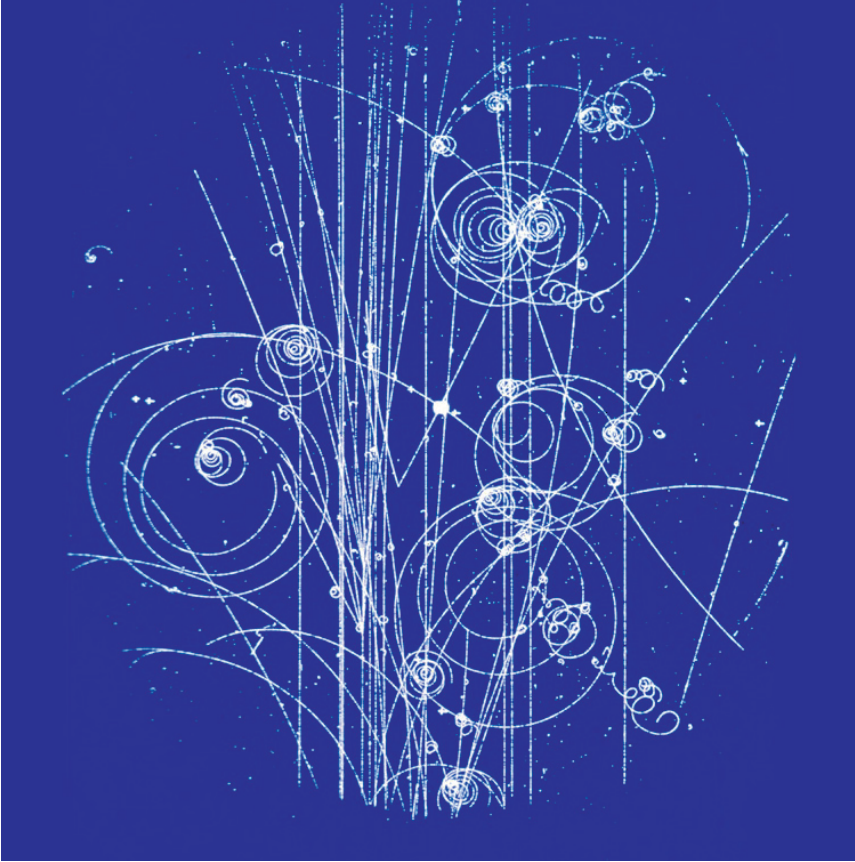
TEMEL YAPISI



atomun çekirdeğinin de daha da küçük proton dediğimiz pozitif yüklü ve nötron dediğimiz elektrik yükü olmayan parçacıklardan oluştuğu keşfedildi. Farklı atomlar sadece farklı miktarlarda proton, nötron ve elektron içeriyorlardı. Periyodik tabloda bulunan, yüzden fazla element, sadece bu üç maddenin (elektron, proton ve nötron) farklı miktarlarda bir araya gelmesinden oluşur. Kalabalık ve karmaşık olan periyodik tablo, sadece bu üç maddeyle açıklandığında, periyodik tablodaki benzerlikler açıklık kazandı.

Her ne kadar ilk keşfedildiklerinde atomların en temel yapı taşları olduğuna inanmış olsak da, bilimsel gelişme bize onlardan da daha temel proton, nötron ve elektron denen parçacıklar olduğunu ve atomların bunlardan oluştuğunu gösterdi. Yine her ne kadar bir süre bunların en temel parçacıklar olduğunu düşünmüş olsak da, yine bilimsel gelişme proton ve nötronun da temel parçacık olmadığını ve bunların da u ve d kuark dediğimiz daha temel parçacıklardan oluştuğunu bize gösterdi.

MADDENİN TEMEL YAPI TAŞLARININ HIZLANDI



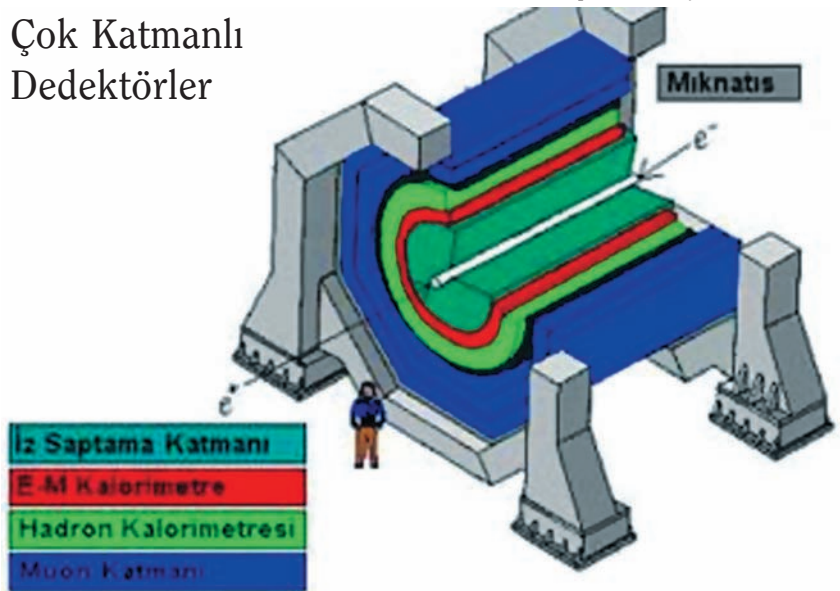
Bir maddenin içinde ne olduğunu görmek için en ilkel çağlardan beri kullandığımız bir yöntem, o maddeyi küçük parçalarına ayırmaktır. Önce mekanik yollarla, kırmak istediğimiz cismi bir başka cisme çarptırarak suretiyle onu küçük parçalara ayırırız. Daha çok miktarda ve daha küçük parçalara ayırmak istersek, yapmamız gereken bu cisimleri birbirine daha hızlı çarptırarak. Hızlandırıcılarda yapılan da tam anlamıyla budur. Değişik türleri olmakla beraber (dairesel veya doğrusal hızlandırıcılar, lepton veya hadron çarpıştırıcıları, vs.) bütün hızlandırıcılarda yüklü parçacıklar elektrik ve manyetik alanlar kullanılarak hızlandırılarak, hassas dedektörlerin içinde birbirleri ile çarpıştırılırlar ve

dedektörler aracılığıyla de çıkan parçacıklar incelenir.

Hızlandırıcılar geliştirildikçe ve enerjileri arttıkça, bilim insanları bir sürprizle karşılaştı. İki elektron çarpıştığında, eğer elektronların enerjileri yeterince fazlaysa, ortaya çıkan parçacıklar arasında, ağırlığı elektronun ağırlığının yaklaşık 2000 katı olan proton da dahil olmak üzere, pek çok parçacık ortaya çıkıyordu. Ne olmuştu? Elektronun içinde, proton mu vardı ki ortaya çıkmıştı, yoksa başka bir süreç mi gerçekleşmişti? Gerçekte olan, Einstein'ın görelilik kuramında ortaya koyduğu enerji madde eşitliğine göre ($E=mc^2$), enerji maddeye dönüşmüştü. İlk elektronların birbirlerine çarparken sahip oldukları hareket enerjilerinin bir kısmı, proton ve diğer parçacıklar olarak kütleyle dönüşmüştü.

Hızlandırıcılarda, sadece proton, nötron ve elektronlar gözlemlenmez. Kuvvetli etkileşim dediğimiz etkileşimlerden etkilenen proton ve nötron gibi pek çok "ağır" parçacık gözlemlenir. Bunların hepsine "baryon" adı verilir.

Çok Katmanlı Dedektörler



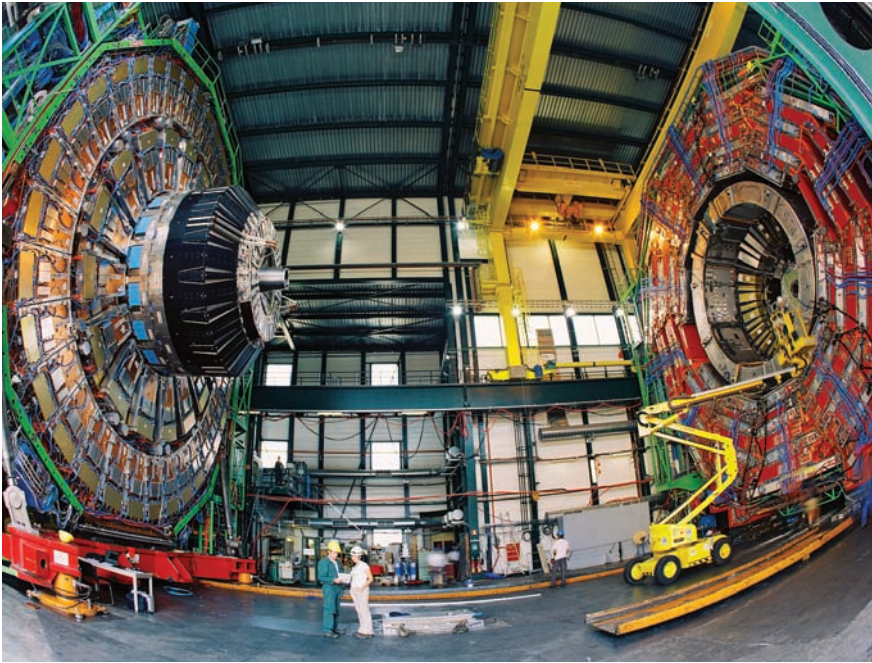
NI ARADIĞIMIZ LABORATUVARLAR: DİRİCİLER

Baryon, Yunanca “ağır” anlamında βαρυς (barus) kelimesinden gelir. Gözlemlenen bir başka kuvvetli etkileşen parçacık grubuysa “orta ağırlıkta” olan mezonlardır. Bu parçacıkların ismi ise yine Yunanca’da “orta” anlamına gelen μέσος (mesos) kelimesinden gelmiştir. Kuvvetli etkileşen hadron ve mezonlar dışında, kuvvetli etkileşmeyen ve kütlesi dışında elektronun kopyaları olan muon, μ , ve τ leptonlarıyla, elektronun nötrinosunun neredeyse kopyası olan muon nötrinosu, ν_μ ve tau nötrinosu, ν_τ dur. Ve bu iki sınıfın dışında da, kütleleri protonun kütlelerinin yaklaşık 80 katı olan W ve Z bozonları ile, kütsüz fotonlardır.

Her ne kadar günümüzde bazı baryonlardan daha ağır mezonlar, veya leptonlar yaratabiliyor isek de, isimleri konduğunda, bu parçacıkları birbirin-



Hızlandırıcı tünellerinde elektrik yüklü parçacıklar güçlü süperiletken mıknatıslarla yönlendirilerek, ışık hızının çok yakınına kadar hızlandırıldıktan sonra kafa kafaya çarpıştırılıyorlar.



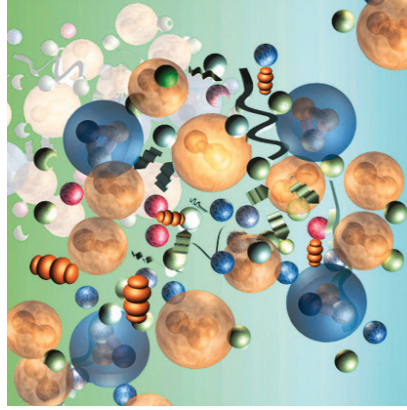
Hızlandırıcı tünellerinin çevresine inşa edilen dev detektörler, parçacıkların çarpışmasıyla ortaya çıkan muazzam enerjinin oluşturduğu egzotik parçacıkları inceleyerek evrenimizin oluşumu ve yapısı hakkında bilgi sağlıyorlar.

den ayıran en önemli özelliğin kütleleri olduğu sanılıyordu. Bugünkü bilgilerimiz dahilinde, leptonlar (elektron, muon, tau ve bunların nötrinoları) ile W ve Z bozonları ve fotonun bir iç yapısı olmadığına, yani bunların temel parçacık olduğuna inanılmakta. Mezonların ve baryonlarınsa onlardan daha temel kuarklardan oluştuğu biliniyor. Bildiğimiz bütün baryonlar ya üç kuark, ya da üç anti-kuarktan oluşur, bütün mezonlarsa bir kuark ve bir anti-kuarktan oluşur.

Anti-kuarklar, kütle, spin gibi özellikleriyle kuarklarla özdeş olmakla beraber, elektrik, zayıf, vb. yükleri kuarkın tam tersidir. Sadece kuarkların değil, bütün parçacıkların anti (karşıt) parçacıkları vardır. Foton herhangi bir yükü olmadığı için, anti parçacığı da kendisine eşittir. Madde ve anti madde bir araya gelirlerse, büyük miktarda enerji açığa çıkararak birbirlerini yok ederler.

BİLDİĞİMİZ TEMEL PARÇACIKLAR

Bugün bildiğimiz, gözlemleyebildiğimiz, yaratabildiğimiz bütün parçacıkları ve bunların dönüşümlerini, 6 kuark, 6 lepton, 8 gluon, 2 W bozon, 1 Z bozon ve 1 foton dediğimiz parçacıkla açıklayabiliyoruz. Kuarkların cinsine bazen tatları ya da çeşnileri de denir. Toplam 12 tane olan kuarklar ve leptonlar, spini 1/2 olan fermiyonlardır². Toplam 12 tane olan gluon, W ve Z bozonları ve foton, spini 1 olan ve parçacıklar arasında kuvvet taşıyan ayar bozonlarıdır. Elektronun çekirdeğin etrafında dönmesini sağlayan elektromanyetik kuvvet, çekirdek ile elektron arasında foton alışverişi sonucunda ortaya çıkar. Çekirdekdeki protonlara yine foton alışverişi sonucunda birbirlerini elektromanyetik kuvvetlerle iterler. Buna karşın protonların birbirlerinden uzaklaşmasını engelleyen ve protonları ve nötronları çekirdeğin içine hapsedense şiddetli kuvvet dediğimiz bir kuvvettir. Bu kuvvet, aynı zamanda kuarkları birbirine yapıştırarak protonun ve nötronun oluşmasını sağlar. Şiddetli kuvvetin sebebiyse kuarklar



arası gluon alışverişi. Radyoaktif β bozunması³ gibi olayların sorumlusuysa zayıf kuvvet dediğimiz ve W ve Z bozonlarının alışverişiyle ortaya çıkan bir kuvvettir. W ve Z bozonlarını diğer gluon ve fotonlardan ayıran bir başka özellikse, W ve Z bozonlarının oldukça ağır (yaklaşık bir protonun 80 katı kadar daha ağır) olması, ancak gluonların ve fotonun kütsüz olmasıdır.

Kuarklar ve leptonlar, aile adını verdiğimiz ikililer şeklinde gruplanabilir. Bunlardan en hafif olanları u ve d kuarktan oluşan kuark ailesi, ve elek-

tron ve elektron nötrinosundan oluşan lepton ailesidir. Elektronun elektrik yükü, bir protonun elektrik yüküyle aynı büyüklükte, ancak zıt işaretlidir; elektronun nötrinosununsa, ν_e , elektrik yükü yoktur. Kuark ailesine gelince, u kuarkın elektrik yükü, protonun yükünün 2/3 katı, d-kuarkın elektrik yüküyse protonun yükünün -1/3 katı kadardır. Diğer iki aile, kütleleri dışında, ilk iki ailenin birer kopyasıdır. Bu aileler, sırasıyla c (charm-tılsım) ve s (strange-garip) kuarktan oluşan kuark ailesi ile muon, (μ) parçacığıyla onun nötrinosu, ν_μ ve bildiğimiz son kuark ve lepton aileleri de t ve b kuarktan oluşan kuark ailesiyle, τ ve ν_τ dan oluşan lepton ailesidir.

Maddeyi oluşturan temel yapıtaşlarını bilmek maddeyi anlamak için yeterli değildir. Maddenin özelliklerini anlayabilmemiz için bu temel yapı taşlarının nasıl bir araya geldiklerini, birbirleriyle nasıl etkileştiklerini ve nasıl değişebildiklerini de bilmek gerekir. Standart Model, bu etkileşim ve değişimleri açıklayan bir kuramdır.

Parçacıklar Leptonlar

Parçacık	Elektrik Yükü	Parçacık	Elektrik Yükü
Tau	-1	Tau Nötrinosu	0
Müon	-1	Müon Nötrinosu	0
Elektron	-1	Elektron Nötrinosu	0

Temel Doğa Kuvvetleri

Şiddetli Çekirdek Kuvveti	Elektromanyetizma
Gluonlar (8) Etkidiği Yerler: Kuarklar Mezonlar Baryonlar Çekirdekler	Foton Etkidiği Yerler: Atomlar Işık Kimya Elektronik

Kuarklar

Parçacık	Elektrik Yükü	Parçacık	Elektrik Yükü
Alt b (bottom)	-1/3	Üst t (top)	2/3
Garip s (strange)	-1/3	Tılsım c (charm)	2/3
Aşağı d (down)	-1/3	Yukarı u (up)	2/3

Her Kuarkta: ●R, ●B, ●G 3 "renk" bulunur

Kütleçekimi

Graviton ?
Etkidiği Yerler: Güneş Sistemi Gökadalar Karadelikler

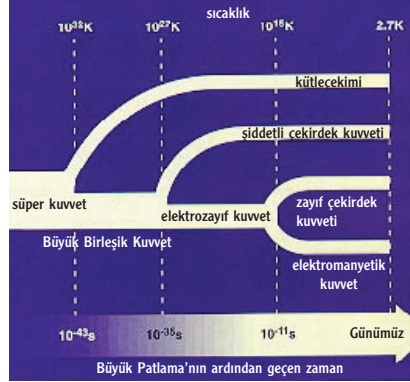
Zayıf Çekirdek Kuvveti

Bozonlar (W,Z)
Etkidiği Yerler: Nötron bozunumu Beta radyasyonu Nötrino etkileşimleri Güneş'in enerjisinin oluşumu

STANDART MODEL

Standart Model, bildiğimiz dört kuvvetten (şiddetli kuvvet, elektromanyetik kuvvet, zayıf kuvvet ve kütle çekim kuvveti) üçünü açıklayabilen (şiddetli kuvvet, elektromanyetik kuvvet ve zayıf kuvvet) bir kuramdır. Kütle çekimini ise bu kuram açıklayamaz. Bu eksiklik, Standart Model'in en büyük eksikliklerinden biridir ve pek çok bilim insanını Standart Model'in ötesinde başka kuramlar aramaya itmektedir. Standart Model'e göre, elektromanyetik kuvvet, elektrik yükü olan bütün kuvvetler tarafından hissedilir, ve fotonların elektrik yükü olan parçacıklar arasında alışverişi sonucu ortaya çıkar. Nötronların, gluonların ve Z bozonunun elektrik yükü olmadığı için elektromanyetik kuvveti hissetmezler. Foton, her ne kadar elektromanyetik kuvvetin taşıyıcısı olsa da, kendisi elektrik yükü taşımadığı için foton, elektromanyetik kuvveti hissetmez. Bununla beraber bir foton, elektrik yükü taşıyan bir parçacık ve onun karşı-parçacığına bölünebilir.

Bütün kuarklar ve leptonlar zayıf kuvveti hissederler, yani zayıf etkileşim yükleri vardır. Zayıf etkileşimler, W bozonların alışverişi sonucu ortaya çıktığı gibi, Z bozonun alışverişi sonu-



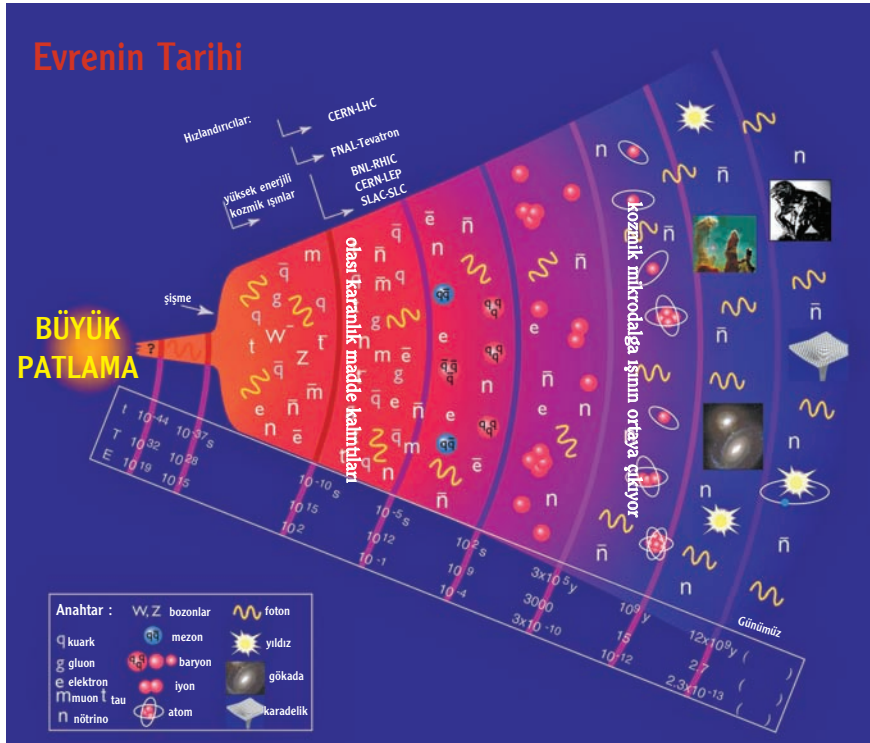
Başlangıçta tümüyle özde olduğu düşünülen dört temel doğa kuvvetinin Büyük Patlama'nın ardındaki ilk anlarda ayrışmasını gösteren şema

cu da ortaya çıkarlar. Protonun elektrik yükünün 2/3 katı elektrik yüküne sahip u, c ve t kuarklar, artı yüklü bir W^+ bozonu yayıp veya eksi yüklü bir W^- bozonu ile birleşip, protonun elektrik yükünün -1/3 elektrik yüküne sahip d, s veya b kuarklardan birine dönüşebilir. Benzer şekilde d, s veya b kuark bir W^- bozonu yayıp veya bir W^+ bozonu ile birleşip bir u, c veya t kuarka dönüşebilir. Bu dönüşümlerin aynı kuark ailesi içinde olması, farklı aileler arasında olmasından daha olasıdır. Eğer zayıf etkileşim Z bozonu alışverişi sonucu ortaya çıkarsa, o zaman parçacık türünde bir değişim olmaz.

Bu oldukça basit görünen sonuç Standart Model'in büyük başarılarından biridir. Standart Model oluşturulana kadar kadar yapılan gözlemler, bir kuarkın aynı yükü taşıyan bir başka kuarka dönüşmediğini gösteriyordu. "Tat değiştiren nötr akımların olmaması" denen bu olay, doğal bir şekilde Standart Model tarafından açıklanmıştır. Standart Model'e göre bu tür geçişler doğada çok ender gerçekleşmeliydi ve daha gelişmiş hızlandırıcılarda yapılan daha hassas deneyler Standart Model'in bu tahminini doğruladı. Zayıf kuvveti elektromanyetik kuvvetten ayıran bir diğer özelliği ise, zayıf kuvveti ortaya çıkaran Z ve W bozonlarının zayıf yük taşımalarıdır. Bir başka deyişle, bu bozonlar da zayıf kuvveti hissederler, ve zayıf yük taşıyan başka parçacıklar ile W ve Z bozon alışverişinde bulunabilirler.

Standart Model'in açıkladığı üçüncü kuvvet/etkileşim ise, şiddetli kuvvettir. Bu kuvveti sadece kuarklar ve gluonlar hissederler. Daha önce de belirtildiği gibi, bu kuvvet kuarkları birbirine bağlayarak (yapıştırarak) proton, nötron ve diğer hadronların oluşmasını sağlarlar. Şiddetli kuvvetin yüküne "renk" adı verilir. Kuarklar üç farklı renkte olabilir: kırmızı, sarı, ve mavi⁴. Standart Model içinde en az anlaşılmış olan kuvvet, şiddetli kuvvettir. Bunun en büyük nedeni, kuramsal tahminlerde bulunabilmek için genelde kullanılan yöntemlerin çoğunun, kuvvetin zayıf olduğunu varsaymasıdır. Oysa şiddetli kuvvet, şiddeti bakımından kendisine en yakın olan kuvvet olan elektromanyetik kuvvetten 100 kat daha kuvvetlidir. Şiddetli kuvveti taşıyan gluonlar da renk yüküne sahiptirler ve bu sebeple renkli olan diğer parçacıklarla gluon alışverişinde bulunabilirler.

Yukarıda hızlandırıcılarda gözlemlenen parçacıklar sayılırken kuarklar ve gluonlar sayılmadı. Bu bir ihmal değil; gerçekten de şimdiye kadar tek bir kuark veya tek bir gluon gözlemlenmesi boş çıktı. Günümüz biliminsaları bunu "bütün renkli parçacıklar, beyaz renkli grupların içine hapsedilmişlerdir"⁵ diyerek anlatırlar.



STANDART MODEL BAŞARI VE BAŞARISIZ

Bütün kuramlar gibi, Standart Model'in de başarısı veya başarısızlığı, kuramsal hesaplarla deneysel ölçümler karşılaştırılarak bulunur. Gözlemlenen parçacıklarla ilgili bütün güncel özellikler, Particle Data Group (<http://pdg.lbl.gov>) denen bir grup tarafından düzenli aralıklarla yayınlanır. En son 2006 yılında yayınlanan parçacık özellikleri kitapçığı, 1200 sayfadan daha kalındır. Bu kitapta deneyde gözlemlenen bütün parçacıkların kütleleri, manyetik etkileşimleri, bozunmaları gibi binlerce veri bulunmaktadır. Bu veriler, kuramsal hesaplarla kıyaslandığında, şimdiye kadar Standart Model'den herhangi bir sapma gözlemlenmemiştir. Standart Model'in en büyük başarılarından biri olarak gösterebileceğimiz, elektronun anomal manyetik momenti, deneysel olarak 11 anlamlı basamağa kadar ölçülmüştür. Ve bunlardan sadece son iki basamağında hata payı bulunmaktadır. Kuramsal olarak yapılan hesaplar da yine bu hassasiyete kadar yapılabilmektedir ve hesaplarla deney, ölçüm hata payları çerçevesinde uyumaktadır. Dünyanın nüfusunu düşünecek olursak, bu dünya nüfusunu hiç hataya yer vermeden tahmin etmeye denktir.

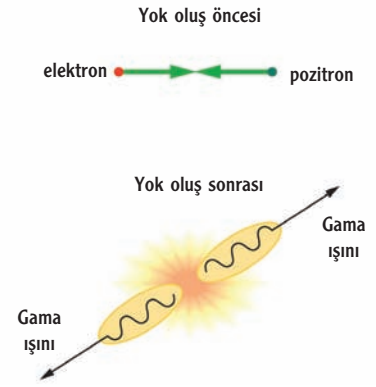
Bu kadar başarılı bir kuram olduğuna göre, fizikçilerin yeni kuram arayışları bitmiş midir? Bu sorunun yanıtı kesin bir "hayır"! Standart Model, her ne kadar bütün hızlandırıcılardan elde edilen verileri açıklayabilse de, bilim insanlarını tatmin etmeyen pek çok eksikliği de var. Bu eksikliklerin bir kısmını kavramsal eksiklikler olarak düşünebiliriz:

Serbest Parametreler: Standart Model'i oluştururken, temel parçacıkların kütlelerinin, etkileşme şiddetlerinin, ve bunlar gibi 30 kadar parametrenin bilinmesi gerekir. Standart Modeli kullanarak kuramsal bir tahminde bulunabilmek için, bunların deneylerde ölçülmesi lazım. Standart Model bu parametrelerin değerleri hakkında hiç bir şey söyleyemez. Niye μ leptonun

kütlesi, elektronun kütesinin yaklaşık 200 katı? Niye bütün nötrinoların kütlesi bu kadar küçük? Niye α ile gösterilen elektromanyetik etkileşme sabitini içeren sabit, düşük enerjilerde neredeyse $\alpha \sim 1/137$? Bu soruların cevapları Standart Modelin içinde yer almaz.

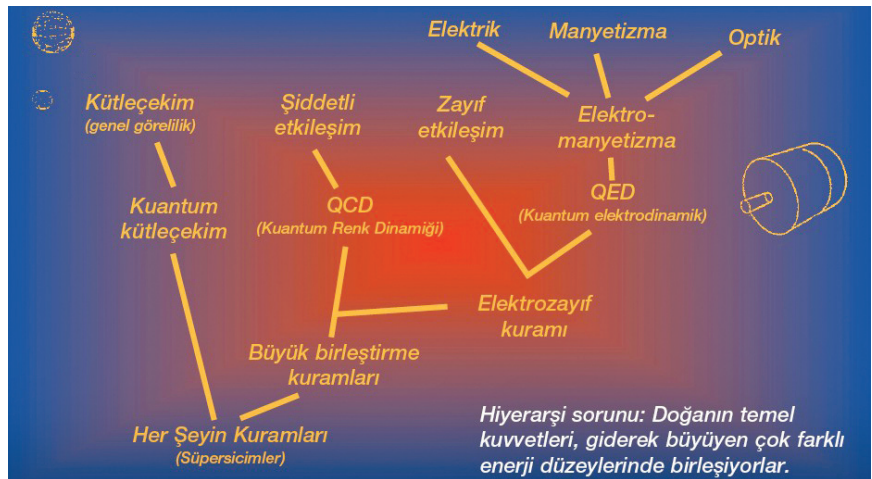
Hiyerarşi problemi: Bu problemi kısaca "kütleçekim kuvveti niye bu kadar zayıf" diye de sorabiliriz. Kütleçekimi, elektromanyetik kuvvetten 10^{40} kat daha zayıftır. Eğer bir şekilde hem kütle çekimini hem de Standart Model'i içine alacak şekilde bir kuram yazmayı başarırırsak, bu kadar fark doğal bir şekilde nasıl ortaya çıkabilir?

Üç Farklı Kuvvet: Her ne kadar Standart Model, üç farklı kuvveti de içinde barındırsa da, bu üç farklı kuvvet tam anlamıyla birbirleri ile karışmamışlardır: Her birinin kendi kuvvet taşıyıcı bozonları ve her birinin şiddetini belirleyen kendi etkileşme sabiti vardır. Bu bakımdan, Standart Model yamalı bir bohçaya benzetilebilir: Üç farklı kuvvet birbirine yamanmıştır. Kuvvetler arasındaki bu fark nereden gelmekte? Bilim tarihinde, Maxwell denklemlerini yazmadan önce elektrik ve manyetik kuvvetin farklı kuvvetler olduğu düşünülüyordu. Oysa, Maxwell göstermiştir ki, bu iki kuvvet de aslında aynı kuvvetin farklı iki yüzüdür, ve ikisi de aynı etkileşme sabitiyle açıklanabilir. Aynı bütünleşmeyi Standart Model için yapabilir miyiz?



Elektron ve karşı parçacığı pozitron karşılaştıklarında birbirlerini yok ederek gama ışını yayıyorlar. Büyük Patlama'nın ilk anlarında da Evren'de eşit miktarda bulunduğu düşünülen madde ve antimadde bu şekilde birbirlerini yok ettiler. Ancak, bu yok oluşun ardından çok küçük bir madde fazlalığı kaldı. Evrende gördüğümüz tüm gökadalara, yıldızlara, gezegenlere ve bizlere, varlığımızı bu yok oluştaki küçük asimetriye borçluyuz.

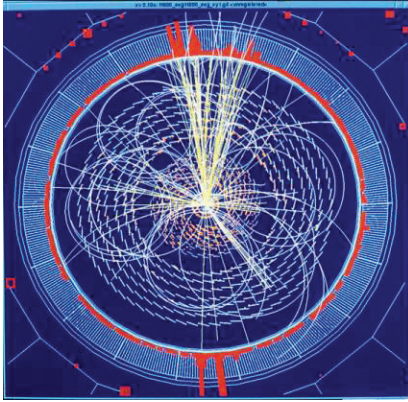
Aile Problemi: Doğa niye kendini aileler şeklinde tekrarlamıştır? Doğal olarak bulunan bütün parçacıklar, sadece u ve d kuarklarla elektron ve onun nötrinolarından oluşmaktayken, niye iki tane daha kuark ve lepton ailesi var? Farklı ailelerin kütleleri niye birbirinden farklı? Lepton ve kuark aile sayıları niye birbirine eşit? Sadece bir raslantı mı? Bu son soruya verebileceğimiz kuramsal bir cevap vardır: eğer her bir kuark ailesine bir lepton ailesi eşlik etmezse, kuram kendi içerisinde çelişkiler içerir. bu cevap her ne kadar bir soruya kısmen bir cevap ver-



ZLİKLER

mekteyse de, başka sorular ortaya çıkarmaktadır: Doğa bizim yazdığımız kuramların tutarlı olmasını neden istesin?

Higgs Problemi: Standart Model'i, tutarlı bir kuram olarak yazabilmek



in, fizikçiler, Higgs parçacığı adı verilen, spini olmayan bir parçacığın daha olduğunu varsaymak zorundalar. Bu parçacık olmasaydı, gözlemlediğimiz hiç bir parçacığın kütlesi olamazdı. Bunun, bizim için önemli sonuçlarından birisi de, elektronun da kütlesi olmayacağı için, atomlar oluşamayacaktı ve bildiğimiz anlamda bir hayattan bahsedemeyecektik. Standart Model bakımından bu parçacık, bulmacayı tamamlayan son parçadır; şayet bu parçacık bulunamazsa, Standart Model'de köklü değişiklikler yapmak zorunda kalacağız.

Higgs problemi, bir başka yönüyle de hiyerarşi problemiyle ilgilidir. Parçacıklar, başka parçacıklarla etkileşime girdikleri zaman kütleleri değişir (renormalize olur). Bu değişimi Higgs parçacığı için hesapladığımızda, bu değişiklik 10^{19} GeV'dir (milyar elektron-volt). Oysa deneysel verilerden biliyoruz ki, Standart Model'in Higgs parçacığının kütlesi 150 GeV den küçük olmalıdır. Bunu elde edebilmek için, Higgs parçacığının kütlesi, en başta 10^{19} GeV mertebesinde olmalıdır ki, başka parçacıklarla olan etkileşimlerden gelen düzeltmelerle toplandığında birbirlerini sadeleştirsinler ve geriye

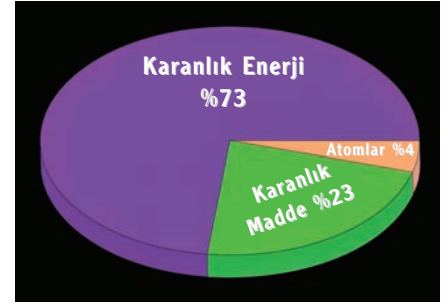
ilk baştaki kütlelerden 10^{17} kat daha küçük bir sayı kalsın. Bu kadar hassas bir sadeleştirmenin olmasıyla oldukça olasılık dışıdır. Eğer kütle çekimi çok daha düşük enerji düzeyinde önemli olsaydı, ya da bir başka deyişle, çok daha kuvvetli olsaydı, bu problem karşımıza çıkmayacaktı.

Evrendeki Madde-Anti-Madde Asimetrisi: Gözlemleyebildiğimiz kadarıyla, evren maddeden oluşmuştur. Anti maddese yok denince kadar azdır. Madde ve anti-madde arasındaki bu fark nereden gelmektedir? Bu fark evren ilk oluştuğunda var mıydı, yoksa sonradan mı oluştu? Eğer kolay cevabı seçip, evrenin ilk oluştuğunda bu farkın olduğunu kabul etmezsek, bu farkı açıklamamız gerekmektedir. Standart Model içerisinde madde-anti-madde arasındaki bu farklılığı bir ölçüye kadar açıklayabilecek mekanizmalar vardır, ancak Standart Model içindeki bu mekanizmalar, madde-anti-madde arasındaki bu farkı tam olarak açıklamakta yeterli değildir. Bu fark nereden gelmiştir?

Bu problemler, her ne kadar fizikçilerin mantıklı, önkabullere dayanmayan bir çözüm aradığı problemler olsa da, hepsini doğanın yapısı, ve büyük raslantılar olarak da görebiliriz. "Doğa böyleymiş" deyip işin içinden çıkabiliriz. Standart Model'in, başka eksikliklerindense, bu kadar kolay kaçamıyoruz:

Kütle Çekimi: Standart Model, kütle çekim kuvveti hakkında hiçbir öngörüde bulunmaz. Kütle çekimi bilinen kuvvetler arasındaki en zayıf olanıdır; elektromanyetik kuvvetten 10^{40} kat daha zayıftır. Bu kadar zayıf olduğu için, şimdiye kadar yapılan hızlandırıcı deneylerinde etkileri gözlemlenemedi. Ancak evreni anlamaya çalıştığımızda en önemli kuvvet olarak karşımıza çıkar. Bunun sebebi, bazen çeken bazen iten kuvvetler olan diğer kuvvetlerin tersine, kütleçekim kuvveti her zaman için kütleleri birbirine çeken bir kuvvettir. Bu gezegen boyutundaki nesnelere gözönüne aldığımızda, hissedilen tek kuvvettir. Kütle çekiminin Standart Model içinde yer almaması büyük bir eksikliktir. Bugüne kadar kütle çekimini Standart Model'e ekleme çabaları boşa çıktı ve kütle çekimini açıklayabilmek için bambaşka kuramlar öne sürüldü. Bunlardan en çok gelecek vaat eden Süper Sicim kuramıdır.

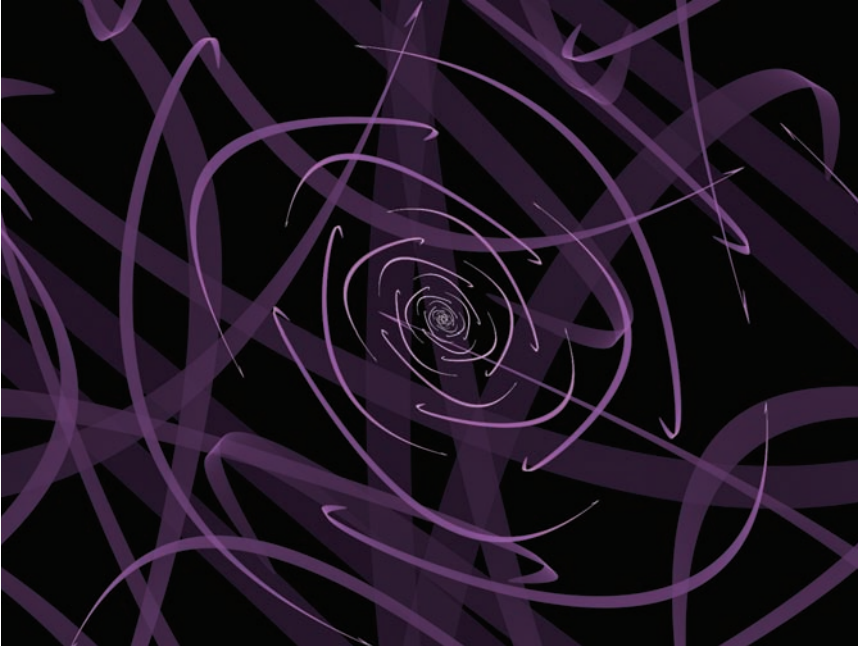
Karanlık Madde: Gökadaları gözlemlediğimizde, parlaklıklarından faydalanarak, yıldızların toplam kütlesi hakkında tahminde bulunabiliriz. Kütle hakkında tahminde bulunmamızın bir başka yöntemi de, gökadaların etrafında dönen cisimlerin dönme hızına bakmaktır. Bu hız gökadanın kütlesini elde etmemize yarar. Bu iki farklı yöntemle elde edilen kütleler arasında çok büyük fark vardır. bu farkı açıklayabilmek için, evrenin, bizim göremediğimiz bir maddeyle dolu olduğu öne sürüldü. Şu anki tahminler, evrenin kütlesinin %23'ünün bu göremediğimiz maddeden oluştuğunu söylemektedir. Bu madde, şimdiye kadar, Standart Model tarafından açıklanan hiçbir parçacıkla açıklanamadı.



Karanlık enerji: 1990 yılında yapılan gözlemler, evrenin hızlanarak genişlediğini gösterdi. Bildiğimiz maddelerin kütle çekim kuvvetleri hep birbirlerini çekecek şekilde olduğu için, bildiğimiz maddenin evrenin genişleme hızını yavaşlatması gerekir. Gözlemlenen hızlanmayı açıklayabilmek için, evrenin her tarafının negatif basınçlı bir enerji ile dolu olması gereklidir. Tahminlere göre bu enerji evrendeki toplam maddenin %73'ünü oluşturur. Bu enerjinin yoğunluğu, uygun birimlerde 10^{-120} mertebesinde. Oysa Standart model dahil pek çok modelin, vakum enerjisi için tahmini, aynı birimlerde, 1 civarındadır. Karanlık enerjinin toplamda bu kadar fazla olmasının nedeni, yoğunluğunun fazla olmasından çok, bütün evreni kaplıyor olmasıdır. Karanlık maddenin de evrendeki toplam maddenin %23'ü olduğu düşünülürse, Standart Model, evrendeki toplam kütle için sadece %4'ünü açıklayabilir.

Göründüğü gibi, fizikçileri Standart Modelin son model olmadığına ve daha tam bir teoremin olabileceğine inanması için yeterli sebep vardır.

STANDART MODEL



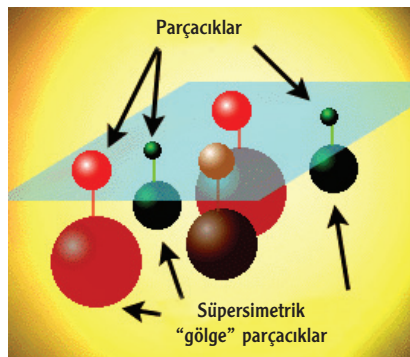
Süpersimetri

Süpersimetriye göre, her fermiyona karşılık bir bozon ve her bozona karşılık da bir fermiyon vardır. Standart Model'deki her kuarka, bir tane spini sıfır olan bir skuark, her leptona spini sıfır bir slepton, her W, Z, foton ve gluona karşılık da spini 1/2 olan bir gaugino karşılık gelir. Standart Model'in süpersimetrik versiyonunu yazmak için, tek bir Higgs bozonu yetmez, bunun yerine toplam 5 tane Higgs bozonu ve her birine karşılık spini 1/2 olan Higgsino karşılık gelir. Bu süpersimetrik eşlerin en önemli özelliklerinden biri de eş fermiyon ve bozonların aynı kütleyle sahip olmalarıdır.

Göründüğü gibi Standart Model'in süpersimetrik versiyonu pek çok yeni parçacık içeriyor. Peki bu parçacıklar nerede? Şimdiye kadar yapılan deneylerde, bu parçacıkları gözlemleme çalışmaları hep başarısız oldu. En basitinden kütlesi elektronun kütlesine eşit olan bir bozon, hiç bir deneyde gözlemlenemedi. Süpersimetrik eşlerin gözlemlenememesiyle ilgili bildiğimiz tek açıklama süpersimetrik eşlerin kütlelerinin şimdiye kadar yapılan deneylerde üretilmeyecek kadar ağır olmalarıdır. Buysa bize süpersi-

metrinin, gözlemlediğimiz evrende tam bir simetri olmadığını, bir başka deyişle, süpersimetrimin kırılmış olduğunu göstermektedir. Süpersimetrimin nasıl kırıldığıysa tam olarak henüz anlaşılmadı. Farklı simetri kırılma mekanizmaları, farklı sonuçlar doğurmaktadır.

Standart Model'in süpersimetrik versiyonundaki parçacık sayısı bu kadar artınca, aynı zamanda serbest parametre sayısı da yüzden fazlaya çıkar. Her ne kadar süpersimetri bu parametreleri birbiri cinsinden yazmamıza izin verse de, süpersimetri kırıldığı için, geriye kalan serbest parametre sayısı Standart Model'dekinden çok daha fazladır. Peki, madem süpersimetri henüz gözlemlenmediğimiz onca parçacığın olmasını gerektiriyor,



aynı zamanda da serbest parametre sayısını bu kadar artırıyor, niye süpersimetriye bu kadar önem veriyoruz?

Süpersimetri, Standart Model'in problemlerinden bir kısmını daha içinden çıkılmaz bir hale getiriyorsa da, başka bazı problemlerine doğal çözümler öngörmekte. Süpersimetrik kuramlarda, fermiyonların ve bozonların arasındaki simetriden dolayı vakum enerjisi tam olarak sıfırdır. Süpersimetrideki kırılmayla, sıfırdan farklı çok küçük bir vakum enerjisi getirebilir. Buysa karanlık enerji problemini doğal bir biçimde çözer.

Bazı süpersimetrik kuramlarda (R-simetrisine sahip kuramlarda), süpersimetrik parçacıklar sadece ikişer ikişer yaratılır, ikişer ikişer yok edilebilir veya süpersimetrik parçacık sayısı sabit kalır. Bir tane süpersimetrik parçacık yaratamazsınız, ya da bir tanesini yok edemezsiniz. Böyle bir kuramda en hafif süpersimetrik parçacığı (Lightest Supersymmetry Particle-LSP) düşünürseniz, bu parçacık bozunamaz, başka bir süpersimetrik parçacıkla karşılaşmadığı sürece, sonsuza kadar değişmeden kalır. Tek bir parçacık, ancak kendisinden daha hafif parçacıklara bozunabilir. En hafif süpersimetrik parçacık bozunduğu zaman, kendisinden daha hafif olan parçacıkların hepsi Standart Model parçacığı olduğu için, sadece Standart Model parçacıklarına bozunabilir. Oysa R-simetrik kuramlarda, böyle bir bozunma mümkün değildir. Süpersimetrik parçacıkların en hafifinin hangisi olduğu, kuramın parametrelerine göre değişmektedir. Parametreler öyle seçilebilir ki, elektrik yükü olmayan süpersimetrik parçacıklardan birisi en hafif süpersimetrik parçacık olabilir. Bu durumda, en hafif süpersimetrik parçacık hem kararlı, hem de gözlemlenmesi neredeyse imkansız olan bir parçacık olur. Sadece kütleçekimsel etkileri gözlemlenebilir. Bu özellikleri, en hafif süpersimetrik parçacığı, karanlık maddeyi oluşturan parçacıklar için ideal bir aday yapar.

ÖTESİNDE NE VAR?

Büyük Birleşik Kuramlar: Standart Modeldeki kuvvetlerden bahsederken bunların üçünün de farklı etkileşme şiddetlerine sahip olduğundan bahsetmiştik. Aslında bu sabitler, sabit değildir, hangi enerjide ölçtüğünüze göre, değerleri de değişir. En büyük olan şiddetli kuvvetin etkileşme sabiti enerjiler arttıkça küçülmektedir. Zayıf etkileşimininki, enerjiyle fazla değişmemekle beraber, yavaş yavaş azalmaktadır. Elektromanyetik kuvvetin etkileşme sabitiyse, enerji arttıkça artmaktadır. Bir başka deyişle, bu üç eşleşme sabiti, enerji arttıkça birbirlerine yakınlaşmaktadır. Bu teorik olarak hesaplanmış, hem de kısmen deneysel olarak doğrulanmıştır.

Eğer, bu üç eşleşme sabiti tahmin edildiği gibi birbirine yaklaşmaya devam ederlerse, belli bir enerjide, bütün eşleşme sabitleri aynı değeri alabilir. Böyle bir durum gerçekleştiğinde, problemler kısmında sorduğumuz “niye üç farklı etkileşme sabiti var?” sorusuna da cevap vermiş oluruz: Aslında üç eşleşme sabiti birbiri-

ne eşit, ancak etkileşimlerden dolayı bizim ölçüm yaptığımız düşük enerjilerde birbirlerinde farklı görünüyorlar. Etkileşme sabitleri aynıysa, bir adım daha ileri gidip, bu enerji düzeyinde üç farklı kuvvetin de olmadığını, sadece tek bir kuvvet olduğunu öngörebiliriz. Gözlemediğimiz üç farklı kuvvetin, yüksek enerjilerde aslında tek bir kuvvet olduğunu söyleyen kuramlara Büyük Birleşik Kuram (Grand Unified Theory-GUT) adı verilir. Bu kuramların, Standart Model’in öngörmediği başka öngörülleri de vardır. Bu kuramlarda leptonlar ve kuarklar ayrı ayrı ikili aileler olarak guruplanmak yerine, hem leptonları, hem kuarkları içeren aileler olarak guruplandırıldığı için, “Niye lepton ve kuark aile sayıları aynı?” diye bir problem ortadan kalkmıştır: Yüksek enerjilerde kaç tane aile varsa, düşük enerjilerdeki lepton ve kuark aile sayısı ona eşittir.

BBK’ların bir başka öngörüsüye, yüksek enerjilere çıkıldıkça, bildiğimiz üç kuvvetten başka kuvvetlerin

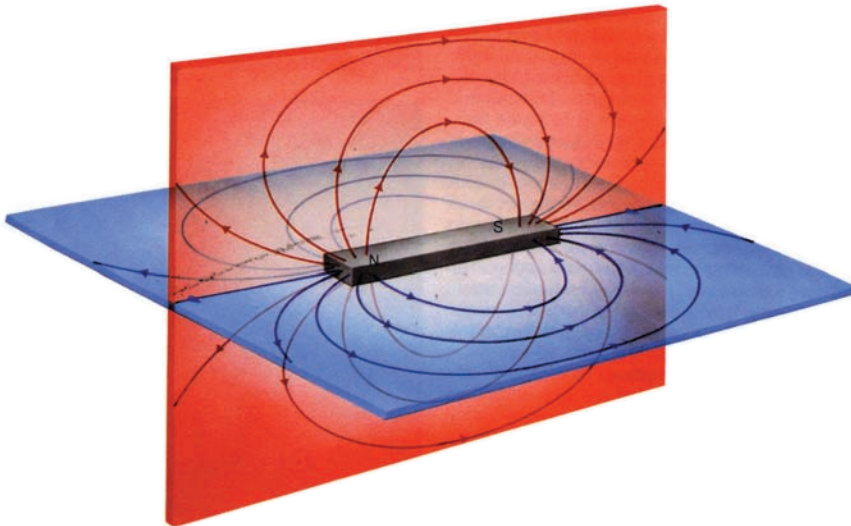
de ortaya çıkacağı. Zayıf etkileşimlerden bahsederken, aynı ikili içinde dönüşümlerin mümkün olduğuna değinmiştik. Eğer leptonları ve kuarkları aynı gurubun içine koyarsak, kuarkların ve leptonların birbirine dönüşmeleri de mümkün olacak. Bu dönüşüm yol açacak yeni kuvvetler, genel olarak protonun anti-elektron (pozitron) ve fotonlara dönüşmesine yol açacaktır. Oysa şimdiye kadar herhangi bir protonun pozitron ve fotona dönüştüğü gözlemlenmemiştir. Bu ise proton bozunma hızının çok küçük olmasını gerektirmektedir. Bugünkü limitler, protonun ömrünün 10^{29} yıldan daha fazla olmasını gerektirmektedir.

Bütün bu modeller, etkileşme sabitlerinin belli bir enerjide aynı olmasına dayanmaktadır. Standart Model’de, her ne kadar eşleşme sabitleri birbirlerine çok yakın geçseler de, üç eşleşme sabiti aynı noktada kesişmezler. Kesişmeleri için Standart Model’i değiştirmek gerekmektedir. Mümkün değişikliklerden biri de bir önceki bölümde bahsettiğimiz süpersimetri. Süpersimetriyi Standart Model’e eklediğimiz zaman, eşleşme sabitlerinin üçü de yüksek enerjilerde aynı noktada kesişirler.

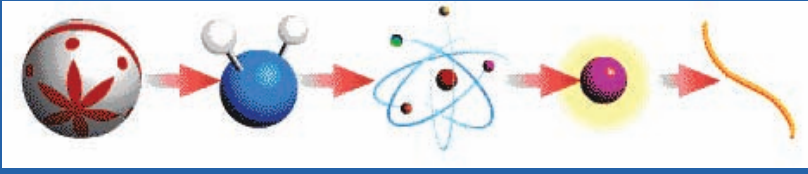
Yüksek enerjilere çıkıldıkça değişen, sadece eşleşme sabitleri de değildir. Modeldeki diğer parametrelerin de büyük çoğunluğu enerjiye bağlıdır. Eşleşme sabitlerinin birleştiği enerjide, bazı serbest kütle parametrelerinin de eşit olduğunu varsaydığımızda, mevcut deneylerle tutarlı kuramlar elde ederiz. Böylece serbest parametre sayısını, her ne kadar Standart Model’deki düzeydeki kadar azaltamazsak da, büyük oranda azaltabiliriz.

Sicim Kuramları

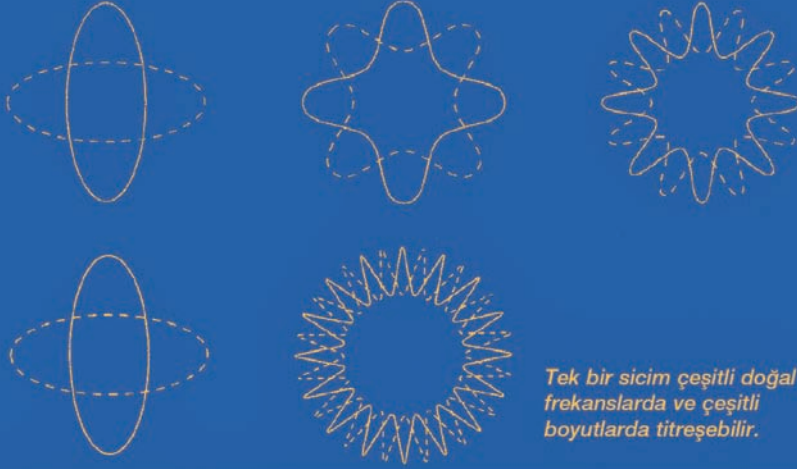
Şu anda sahip olduğumuz parçacık fiziği kuramlarımızın belki de en radikal alternatifi sicim kuramlarıdır. Diğer bütün kuramlarda, temel parçacıklarımız hep matematiksel bir nokta olarak betimlenirler. Oysa sicim kuramları, en temel parçacığın bir sicim



Simetri bozulması: Bir mıknatısın kutuplarını elektronların dizilişi belirler. Normal olarak her yöne gidebilen elektronlar, demir içinde aynı spin yönünde dizilirler. Görünürde elektronların dönüş simetrisi bozulmuştur. Ancak, çubuğu ısıttığımızda bu yön ortadan kalkar. Mıknatıs soğuyunca elektronlar bu kez başka bir yönde dizilebilirler. Evren de kendiliğinden ortaya çıkıp yok olan sanal parçacıklarla dolu. Bu parçacıklar, birbirlerine dönüşebilirler. Ama bu dönüşüm sonunda da fizik kuralları geçerliliğini koruyorlar. Ancak, baştaki yüksek sıcaklıklarda var olan bu simetri, sıcaklık düşüncü bozuluyor. Parçacıkların simetrik çeşitliliği bir tür parçacığa çöküyor. Mıknatısındaki tercihli yön yerine, bizim uzayımızın da tercihli bir parçacık yapısı ortaya çıkıyor. Aslında var olan simetriyi gizleyen, parçacıklara kütlelerini veren Higgs bozonu.



Süpersicim kuramıyla fizikçiler temel doğa kuvvetleri hakkındaki anlayışımızı tek bir denklem halinde birleştirip madde ve enerjinin temel doğasını açıklayan "herşeyin kuramı"nı oluşturmanın eşiğine gelmiş olabiliyoruz. Basitçe anlatmak gerekirse süpersicim kuramı tüm parçacık ve kuvvetlerin çok küçük tek boyutlu (ya da zar biçimli) sicimlerin 10 boyutta (bildiğimiz 3 uzay boyutu + zaman + 6 ilave boyut) titreşmelerinin görüntüleri olduğunu öngörür.

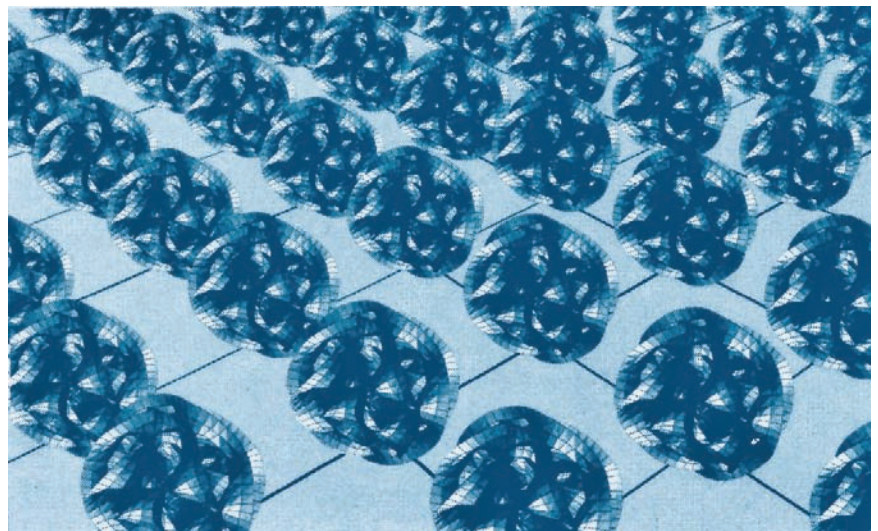


olduğunu, ve gözlemediğimiz bütün diğer parçacıkların, bu sicimin açık ya da kapalı durumlarında farklı titreşimlerine karşılık geldiğini ön görür. Nasıl ki bir keman telinin farklı titreşimleri farklı notaları ortaya çıkarıyorsa, bu temel sicimin de farklı titreşimleri de farklı parçacıklara karşılık gelmektedir. Bu sicimin uzunluğu ise yaklaşık olarak 10^{-35} metredir⁷. Sicim kuramlarının en büyük başarılarından biri, belli oranda kütle çekim kuvvetini de içermeleridir.

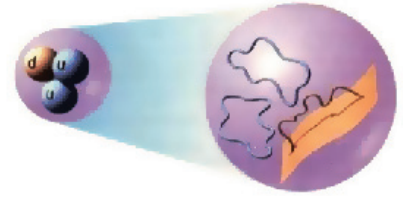
İlk yazılan sicim kuramı, sadece bozonları içerir. Bu teorinin tutarlı olabilmesi için de uzayın üç boyutlu değil, toplam 26 boyutlu olması gerekir. Daha sonra, bu bozonik teorinin süpersimetrik versiyonu yazıldığında, bu yeni teorinin tutarlılığı, uzayın 26 değil, 10 boyutlu olmasını gerektirir. Süpersimetrik sicim kuramlarının toplam 5 versiyonu vardır. Bu beş farklı kuram da, aslında belli dönüşümlerle birbirinden elde edilebilir. Bugün, bütün bu farklı sicim kuramlarının M-kuramı denen tek bir kuramın daha düşük enerjilerdeki farklı görüntüleri olduğuna inanıyoruz.

Böyle bir kuramda, ilk akla gelebilecek sorulardan biri: Eğer sicim kuramının 10 boyutlu olması gerekiyor-

sa, biz neden uzayı 3 boyutlu algılıyoruz? Bu soruya önerilen iki farklı cevap grubu düşünebiliriz: Bir cevaba göre, 10 boyutlu uzayda, daha düşük boyutlu zarlar var ve biz bu zarlardan birinin üzerinde yaşıyoruz. Bir başka grup cevapsa, evrenin 10 boyutundan sadece üçü (bizim algıladığımız üç boyut) büyük, diğer boyutlarsa çok küçük. İnce uzun bir ipi düşünürseniz, bizim algıladığımız boyut, bu ipin



Süpersimetri ve sicim kuramları, tanıdığımız büyük ölçekli üç uzay boyutunun dışında, küçük, kıvrılmış boyutlar öngörüyor. Temsili resimde, Calabi-Yau manifoldları biçiminde katlanmış 6 ek boyutun uzay zamandaki yerleşimi gösteriliyor.



uzunluğu. Çok yakına gelmeden, ipin genişliğini algılayamayız. Ekstra boyutlar da çok küçük olduğu için henüz algılayamıyoruz. Eğer bilmediğimiz bir mekanizma engel olmazsa, ekstra boyutların çapı 10^{-35} m mertebesinde.

Sicim kuramını sınavabilmek, bu kadar küçük ekstra boyutları görebilmek için yaklaşık 10^{19} GeV enerjide deneyler yapmak gerekmektedir. Buysa, bugünün teknolojisiyle uzun vadede bile mümkün görünmemektedir⁸.

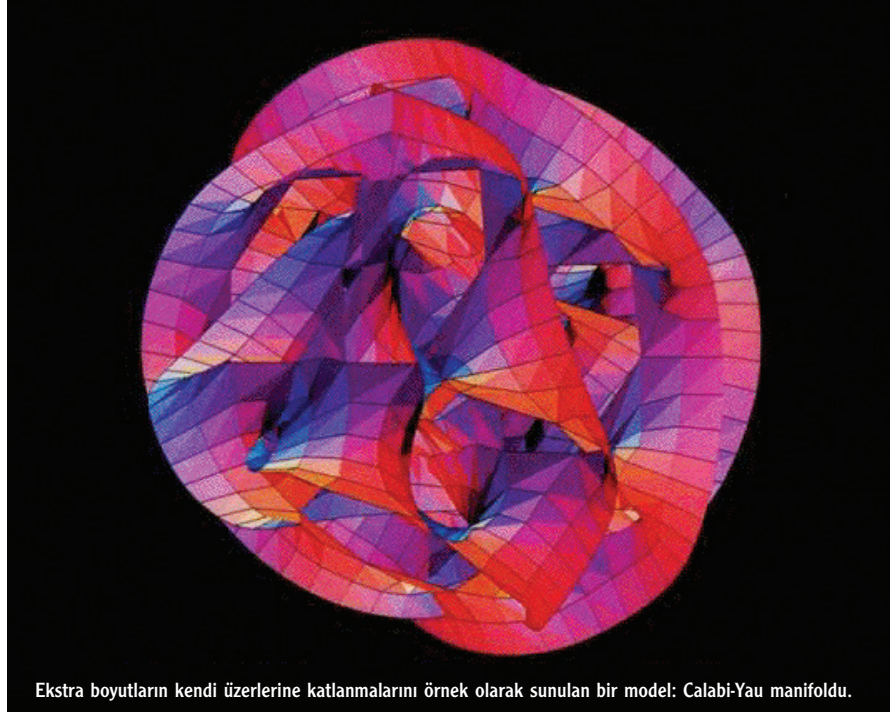
Ekstra Boyutlar:

Sicim kuramını sınavabilir kılmak için, ekstra boyutların, en azından birkaçının, çapının 10^{-35} m'den çok daha büyük olması gerekmektedir. Eğer ekstra boyutların çapları, bir şekilde, büyükse, bunun ne gibi sonuçları olur? Ekstra boyut kuramları bu sorudan yola çıkılarak öne sürülmüşlerdir.

Ekstra boyut kuramlarının öngörülleri de ekstra boyutların şekline göre değişir. "Kütleçekim kuvveti neden bu kadar zayıftır?" sorusuna ekstra boyut kuramları doğal bir açıklama getirmektedirler. Bu açıklamaya gelmeden önce, gerek kütleçekim kuvve-

tinin gerekse de elektromanyetik kuvvetin, neden parçacıkların arasındaki uzaklığın karesiyle ters orantılı olduğunu anlamak gerekir. İki kütle arasındaki kütleçekim kuvveti, eğer kütleler arasındaki uzaklık 2 katına çıkarsa, kuvvet dörtte birine iner. Herhangi bir kütle alalım ve bu kütlelerin etrafında bir küre düşünelim. Bu kürenin üzerindeki herhangi bir başka kütleyle etki eden kuvveti, kürenin yüzey alanıyla çarptığımızda, elde ettiğimiz nicelik sabit olacaktır. Bunun nedeni, kürenin yarı çapını iki katına çıkardığımızda, her ne kadar kuvvet dörtte birine düşecekse de, kürenin alanı da dört katına çıkacaktır. Böylece çarpım değişmeyecektir. Bunu, kuvveti parçacık alışverişi olarak düşünürsek de çıkartabiliriz. Herhangi bir noktadaki parçacığın hissedeceği kuvvet, o kuvveti taşıyan parçacığın, o noktadaki yoğunluğu ile orantılı olacaktır: ne kadar çok kuvvet taşıyıcı parçacık varsa, o kadar büyük bir kuvvet hissedecektir. Eğer, bir kaynaktan parçacıkları her yöne doğru bırakırsanız, parçacık sayısı sabit kalıyorsa, bir kürenin yüzeyinden geçen toplam parçacık sayısı değişmeyecektir. Başlangıç noktasından uzaklaştıkça, yoğunlukları kürenin alanıyla ters orantılı olarak azalacaktır.

Kürenin yüzey alanının, kürenin yarıçapının karesi ile orantılı artması, üç boyutlu uzayın bir özelliğidir. D boyutlu bir uzayda yaşıyor olsaydık, o zaman kuvvet uzaklığın (D-1)inci kuvveti ile ters orantılı olarak azalacaktır. Bu durumda, şöyle bir senaryo düşünelim: d tane ekstra boyutumuz olsun ve sadece kütleçekimini taşıyan parçacık (graviton), ekstra boyutlara yayılabilsin, diğer bütün parçacıklarsa ekstra boyutlardaki bir noktada hapis olsunlar, sadece bildiğimiz üç boyutta hareket edebilsinler. Bu durumda, eğer iki kütle birbirine çok yakınsa (aradaki mesafe ekstra boyutun çapından küçükse), gravitonlar bütün boyutlarda yayılacak ve kuvvetler arasındaki kütle çekimi aradaki mesafenin (d+2)inci kuvveti ile ters orantılı olarak oldukça hızlı bir şekilde azalacaktır. Aradaki mesafeyi artırdığımızda, gravitonlar ekstra boyutun tamamına yayıldığında, sadece geri kalan bizim üç boyutumuzda yayılmaya devam edecekler; yoğunlukları, aradaki



Ekstra boyutların kendi üzerlerine katlanmalarını örnek olarak sunulan bir model: Calabi-Yau manifoldu.

mesafenin karesiyle azalmaya başlayacaktır. Yani, kütleçekim kuvveti kısa mesafelerde aradaki uzaklığın (d+2)inci kuvvetiyle, daha uzak mesafelerdeyse ikinci kuvvetiyle ters orantılı olarak azalacaktır. Böylece, kütleçekimin ve diğer kuvvetlerin eşleşme sabitleri, küçük mesafelerde aynı olsa bile, kütleçekim kuvveti küçük mesafelerde çok hızlı azaldığı için, biz kütle çekimini çok zayıf bir kuvvet olarak görüyoruz.

Ekstra boyutların bir başka önemli katkısıysa, kütleli anlamakla ilgilidir. Higgs parçacığına, kuramımızdaki parçacıklara kütle kazandırmak için ihtiyacımız olduğuna değinmiştik. Eğer parçacıkların kütlelerini başka bir şekilde kuramımıza dahil edersek, o zaman Higgs parçacığına gereksinimimiz kalmayabilir.

Bütün parçacıkların ekstra boyutlarda hareket ettiklerini varsayalım. Bizim evreni algılamamızsa yine üç boyutlu olacaktır. Gözlemediğimiz parçacıkların ekstra boyutlardaki hareketleriniyse bir kütle olarak algılayacağız. Eğer bütün boyutları algılayabilseydik, kütleli olarak göreceğimiz parçacıklar, bizim üç boyutlu algımıza kütleli olarak görünecektir. Böylece Higgs kullanmadan kütleli parçacıkları kuramımıza katabileceğiz.

Şu ana kadar yapılan deneylerde ekstra boyutların olabileceğine dair

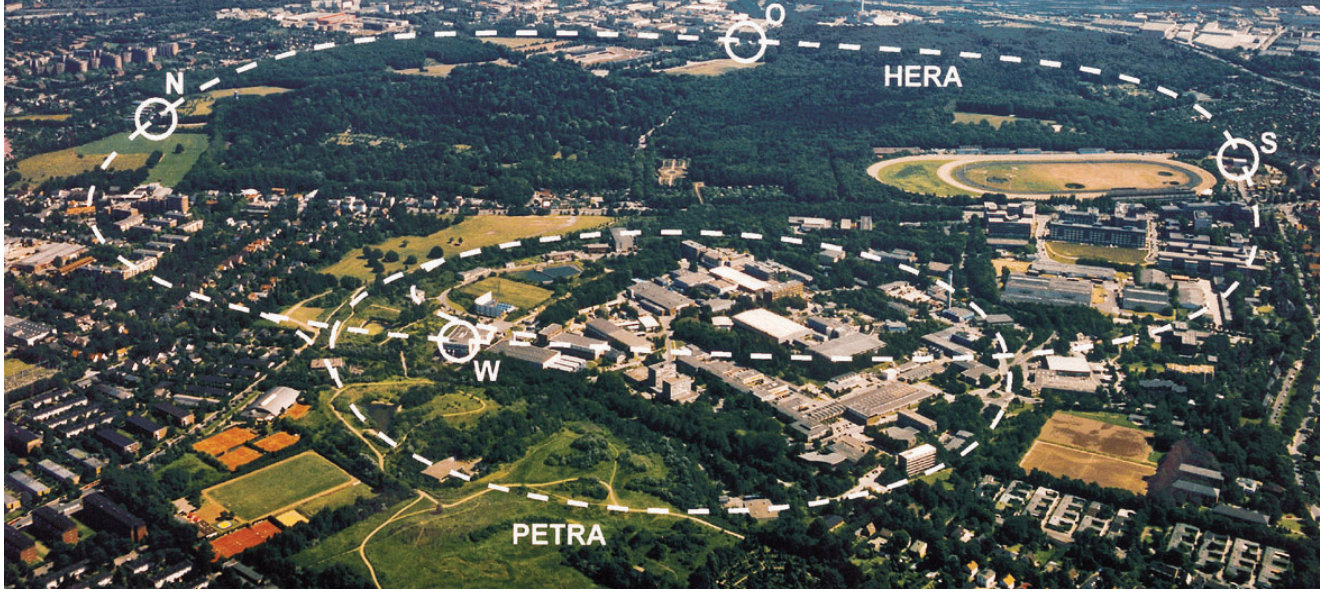
herhangi bir belirti gözlemlenmemiştir. Kütle çekim kuvvetinin 10^{-3} mm mesafeden daha büyük mesafelerde, parçacıkların uzaklığının karesiyle ters orantılı azaldığı gözlemlendi. Daha kısa mesafelerde nasıl değiştiğini henüz bilmiyoruz. Buna göre, ekstra boyutlar varsa, çapları 10^{-3} mm'den daha az olamaz.

Teknikolor

Standart Model, her ne kadar pek çok soruya cevap vermiyorsa da, deneysel verilerle ilgili neredeyse bütün tahminleri sınanmış ve gözlemlenmiştir. Bulmacanın tek eksik parçasıysa henüz gözlemlenmemiş olan Higgs bozonudur. Higgs bozonu diye temel bir parçacığın hiç bir zaman gözlemlenememesi olasılığına karşılık, temel bir Higgs parçacığı içermeyen modeller de vardır. bu modellerden bir grup Teknikolor kuramları olarak anılır.

Teknikolor kuramlarındaki genel fikir, Higgs diye temel bir parçacığımız olmasa da, Higgs gibi davranan, daha temel parçacıklardan oluşan parçacıkların olduğudur. Bu parçacıkları birbirine bağlayan kuvveteyse teknikolor kuvveti adı verilir. Bu kuvvet, Standart Model'deki şiddetli kuvvete çok benzemekle beraber, ondan çok daha kuvvetlidir. Bu kuvveti hissedilen temel parçacıkların ne olduğuyorsa modelden modele değişmektedir.

CERN VE LHC



CERN (Centre Européen pour la Recherche Nucléaire- Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi), 1954 yılında Fransa-İsviçre sınırında kurulmuş, dünyanın en büyük parçacık fiziği araştırma merkezlerinden biridir. 2006 yılında CERN'in 20 tane üye ülkesi ve Türkiye'nin de dahil olduğu 6 tane gözlemci üye ülkesi vardır. Merkezde değişik ülkelerden toplam 6500'ün üzerinde araştırmacı bilimsel çalışmalar yapmaktadır.

LHC, CERN'deki 5 parçacık hızlandırıcısından biridir. 27 km çevresi olan bir dairesel hızlandırıcı olan LHC'de, parçacıklar iki demet halinde farklı yönlerde hızlandırılacaklar ve beş farklı noktada çarpıştırılabileceklerdir. Bu çarpışmalardan çıkan parçacıkları incelemek için, her bir çarpışma noktasında birer büyük dedektör vardır. Her biri farklı özelliklerdeki bu dedektörlerin adları ALICE, ATLAS, CMS, LHCb ve TOTEM'dir. Türk bilim insanları ATLAS ve CMS dedektörlerinde görev almaktalar.

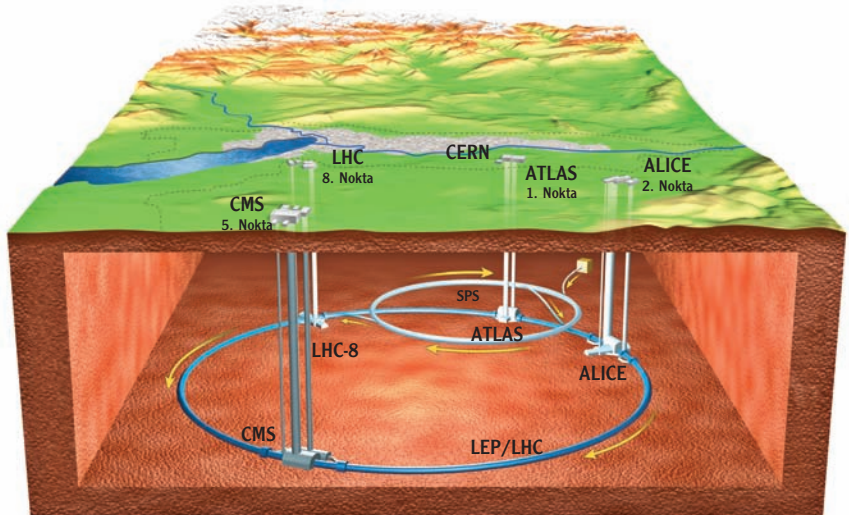
LHC'de başlıca protonlar kullanılmaktadır. Protonlar 7 TeV (trilyon elektronvolt) enerjisine kadar hızlandırılacak. Bu enerjiye sahip protonların hızı, Einstein'ın görecelik kuramına göre ulaşılacak en yüksek hız olan ışık hızının⁹ %99.99'undan fazla olacaktır. Bu kadar yüksek enerjiler, evrenin ilk oluştuğu zamandan sonra ilk bir kaç andaki enerjilere karşılık gel-

mekte. Bu yüzden LHC'de ne göreceğimiz bize evrenin oluşum süreci hakkında da bilgi verecek.

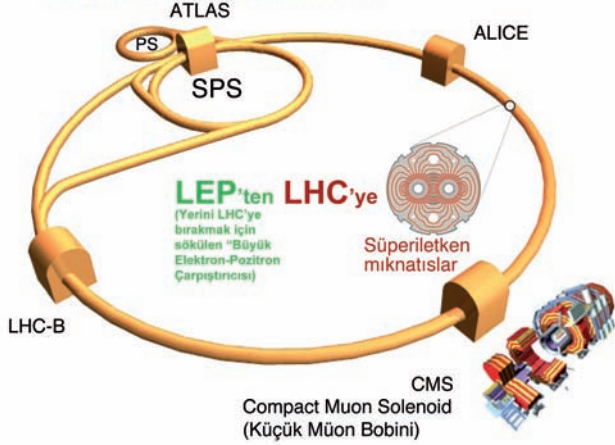
LHC'den en fazla beklenen, Standart Model'in tek eksik parçası olan Higgs bozonunu gözlemek, ve özelliklerini anlamak. Sınanacak bir diğer kuramsal süpersimetri. Şayet süpersimetrik parçacıklar LHC'de gözlemlenmezse, süpersimetrisinin kısmende olsa çözdüğünü iddia ettiği problemler yeniden karşımıza çıkacak.

Şimdiye kadar LHC'de ulaşılacak enerjiler kadar yüksek enerjilere hiç ulaşılmadı. Bu yüzden, değişik felaket senaryoları da öne sürüldü. Bunlardan birisi, LHC'de bir karadeliğin ortaya çıkması olasılığı. Karadelikler, Einstein'ın genel görecelik kuramına göre,

kütleçekim kuvvetleri, ışığın bile kaçmasına izin vermeyecek kadar güçlü cisimler. Böyle bir cismin içine düşen hiç bir şey dışarı çıkamaz, ve karadelik kütle yuttukça büyür. Einstein'ın kütleçekim kuramına göre LHC'de bir karadelik yaratmak mümkün değil; çünkü yerçekimi o enerjilerden henüz ihmal edilebilecek kadar küçük. Ancak, daha önce bahsettiğimiz bazı kuramlarda, çok küçük mesafelerde, yerçekimi kuvveti önem kazanmaya başlıyor. Bu kuramlar doğruysa, LHC'de karadelik yaratmak mümkün olabilir. Ancak bu durumda bile, Stephen Hawking'in gösterdiği üzere, karadelikler aslında çok kara değil. Sürekli dışarıya parçacık yayıyorlar, ve kütlelerini kaybediyorlar. Karadelik ne

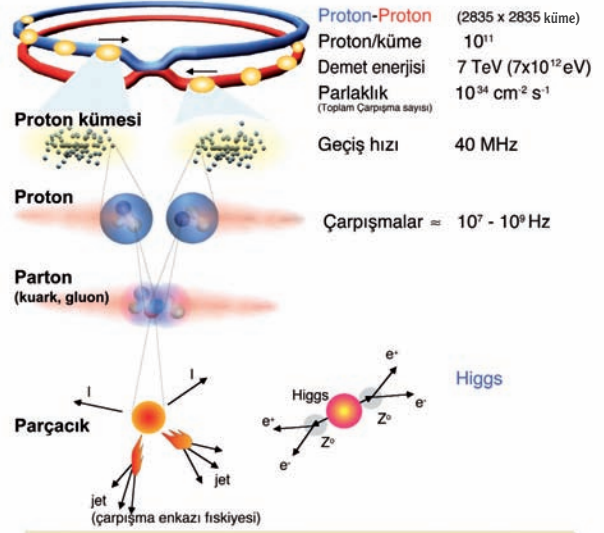


Büyük Hadron Çarpıştırıcısı The Large Hadron Collider (LHC)



	Demetler	Enerji	Parlaklık
LEP	e+ e-	200 GeV	$10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
LHC	p p Pb Pb	14 TeV 1312 TeV	10^{34} 10^{27}

LHC'de Çarpışmalar



Higgs bozonunun 10 trilyon çarpışmadan yalnızca birinde ortaya çıkması bekleniyor

LHC ile ilgili 10 Gerçek

- 1) 27 km uzunluğundaki tünel, Cenevre Gölü ile Jura Dağları bölgesinde kazıldığında, iki uç arasındaki sapma 1 cm
- 2) LHC için üretilen niyobiyum-titanyumdan yapılan 6300 süperiletken telin her birinin kalınlığı yaklaşık 0.006 mm, ortalama insan saç telinden 10 kat daha ince
- 3) Bütün telleri uç uca eklediğinizde, Dünya'dan Güneş'e ve geriye beş defa uzanabilir ve arta kalan, Dünya-Ay arasında bir kaç defa gidip gelebilir
- 4) LHC'nin merkez bölgesi, dünya-

daki en büyük buzdolabı olacak. İçinde, uzaydan bile daha düşük sıcaklıkta, demir, çelik ve önemli süperiletken malzemeler olacak.

- 5) LHC'de parçacıkların hızlanacağı tüneldeki basınç, yaklaşık olarak Ay'ın yüzeyindeki basınçtan 10 kat daha düşük
- 6) LHC'deki protonların hızı, ışık hızının 0.999999991 katı olacak. Her proton 27 km'lik tüneli saniyede 11.000 defadan fazla dolunacak.
- 7) Tam enerjide, LHC'deki protonların toplam enerjisi 200 km/saat hızla giden 400 tonluk bir trenin enerjisi-

ne eşit. Bu enerji 500 kg bakırı eritmeye yeter.

- 8) Atlas kolaborasyonunda Güneş hiç bir zaman batmaz. Antarktika dışında her kıtadan bilim adamları deneyde çalışacak.
- 9) CMS detektöründeki mıknatıs sistemi, 10.000 ton demirden oluşur. Buysa Eyfel Kulesi'ndeki demirden daha fazla.
- 10) Her büyük detektörün yılda kaydedeceği veri miktarı, 100.000 DVD'yi doldurmaya yeter.

kadar küçükse, yok olma hızı da o kadar küçük oluyor. Bu durumda da LHC'de bir karadelik yaratılırsa, bir tehlike oluşturmadan önce yok olacak.

Bir başka felaket senaryosuysa, sadece s-kuarktan (garip kuark)oluşan, garip bir maddenin yaratılması. Bu madde bildiğimiz maddeden çok daha kararlı olabilir. Eğer öyleyse, bildiğimiz bütün maddeyi de garip maddeye dönüştürebilir.

LHC'de, daha önceden bilinmeyen bir enerji bölgesi araştırılacağı için, o bölgeyle ilgili felaket senaryolarını artırmayabiliriz. Bu felaket senaryolarına karşı verilecek belki de en güçlü cevap, her ne kadar bu enerjilere daha önce hızlandırıcılarda ulaşılmadıysa da, kozmik ışınların¹⁰ az bir kısmının enerjisi,

LHC enerjisinin çok üzerindedir. Eğer bu senaryolar ciddi bir risk oluştursaydı, bu olasılık, kozmik ışınların dünyamızı bombardıman ettiği milyonlarca yıl içerisinde gerçekleşmiş olurdu.

Altuğ Özpınecı

Dipnotlar:

- 1) Bugün kullandığımız anlamda atom kelimesi, antik Yunanda kullanıldığı anlamı ile, yani maddenin bölünemeyen en küçük yapı taşı, çelişmektedir. İleride değişeceğimiz gibi, bugün atom dediğimiz nesnelere de daha küçük parçalarına bölünebilir
- 2) Bildiğimiz bütün parçacıkları spinlerine göre iki gruba ayırabiliriz: spini 0, 1, 2, ... gibi tam sayı olan parçacıklar ve spini 1/2, 3/2, 5/2, ... gibi yarı sayı olan parçacıklar. Spini tam sayı olanlara bozon, yarı sayı olanlara fermiyon adı verilir. İki fermiyonun bütün özellikleri aynı durumda bulunamazlar, en az bir özellikleri farklı olmak zorundadır. Bu prensibe Pauli Dışlama İlkesi denir. Bozonlar için ise böyle bir sınırlama yoktur.
- 3) B bozunması dediğimiz radyoaktif bozunma, bir atomun, bir elektron ve bir elektron nötrinosu yayarak nötronlarından birini protona döndürmesidir. Böylece atomun proton sayısı bir artar ve başka bir atoma dönüşür.
- 4) Bu renkler, gözümüzle gördüğümüz renklerle karıştırılmamalıdır. Kırmızı bir kuark ile kırmızı bir elma aynı "renk" değildir. Üç temel renkten esinlenilerek üç farklı kuvvetli kuvvet yü-

küne renk adı verilmiştir.

- 5) Kuvvetli etkileşimin yüklerine renklerin adını verilmesinde bu deneysel gözlemin de yeri büyüktür. Üç temel renk bir araya geldiğinde beyaz rengi oluştururlar. Bu yüzden üç farklı renkli kuark bir araya gelerek renksiz baryonları oluşturabilirler.
- 6) i) Karşılaştırmak için, bir protonun kütlesi 0.98GeV dir. 1019 GeV aynı zamanda kütle çekim kuvvetinin önemli olmaya başladığı enerji değeridir
- 7) Bir protonun yarı çapı yaklaşık olarak 10-15 metredir. Dünyadaki bütün insanların eline böyle bir tane sicim versek ve bu sicimleri uç uca eklessek, toplam uzunluğu, bir protonun çapının sadece 1010-10.000.000.000'da biri kadar olacaktır.
- 8) LHC'de yapılan deneylerde şimdiye kadar ulaşılmış en yüksek enerjilere ulaşılmıştır. LHC'de bile ulaşılacak enerji 14000 GeVdir, bu ise sicim kuramlarını test etmek için gereken enerjinin 1.000.000.000.000'de biridir.
- 9) Bu hızla sadece durağan kütleli sıfır olan foton gibi parçacıklar ulaşabilir. Proton gibi kütleli olan parçacıkların hızları ise, ışığın hızından küçük olmak zorundadır.
- 10) Uzayda, her ne kadar boşluk desekte, parçacıklarla doludur. Bu parçacıkların bir kısmı bizim gölemizden gelir, bir kısmı ise, uzaydaki daha uzaktaki bölgelerden. Bu parçacıklara kozmik ışınlar adı verilir. Atmosferimiz ve dünyanın manyetik alanı bizi bu tür kozmik ışınlardan koruyan bir kalkan görevi görür

Kaynaklar

- W.-M. Yao et al. J. Phys. G33 (2006) 1
<http://doc.cern.ch/archive/electronic/cern/others/multimedia/brochure/brochure-2004-003.pdf>
<http://doc.cern.ch/archive/electronic/cern/others/multimedia/brochure/brochure-2006-001-eng-rev.pdf>
<http://doc.cern.ch/archive/electronic/cern/others/multimedia/brochure/brochure-2006-003-eng.pdf>

Yenilendi!



TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi

Yeni Sayı

Yıldız Takımı

Yeni Ufuklara

Posterler

Bilim ve Teknoloji Haberleri

Merak Ettikleriniz

Nerede Ne Var

Sanal Sergi

Bir Buluşum Var

Kendimiz Yapalım

Teknotezgah

Teknoloji Tasarım

Şenlikler ve Etkinlikler

Bilgi Paketleri

Mesaj Panosu

Bilim Postası

Matematik Bir Oyundur

Psikoloji

Gökbilim

Fotoğraf

Satranç

Go

Bilim ve Teknik Kulübü

Bilim İnsanları

Sandık Odası...

Sonsuz Takvim

Sınırsız Sayılar

Haydi Çevir

Orada Saat Kaç?

Arama Kurtarma

Baz İstasyonları

Deprem

Yerkürenizi Şekillendirin

Bilim Çocuk

Meraklı Minik

YENİ SAYI

BİLİM TEKNİK

LAZERLER

Mart 2007 - Sayı 472

Yapay Uydü Gözlemi
Yapay uydular sürekli Dünya'yı gözleyiyor. Ama onları gözleyenler de var. Amatörce bir merakla gözlerini gökyüzüne dikenlerin...

Lazerler
Lazerler şaşılacak derecede geniş bir dizi ürün ve teknolojiye karşımıza çıkıyorlar...

Çiğ
Çiğ ne zaman, nerede ve nasıl oluşur? Önceden tahmin edilebilir mi? ...

BİLİM TEKNİK

YENİ SAYI

COBEZİTE

Tüm Poster ve Kitapçıklar için tıklayın...

YILDIZ TAKIMI

BİLİM VE TEKNİK YILDIZ TAKIMI'NDA BU AY!..

Element Deyip Geçmeyin... Dünya Dışı Yaşam... Badminton... Yaşama Dönüş...

DUYURULAR... ETKİNLİKLER...

PARDUS

Ulusal İşletim Sistemimiz PARDUS Kurulum CD'si Nisan Sayısında Derginizle Birlikte

PARDUS

BİLİM ve TEKNOLOJİ HABERLERİ

Tarihi Çöplükte Bilimsel Hazine
İngiltere'nin tarihi kenti Canterbury'de 16. yüzyıldan kalma bir binaya yapılacak ek bölüm için temel kazılırken, büyük bir sürpriz ortaya çıktı: bir usturlab kadranı. Bu, zaman ve enlem hesaplamaları için kullanılmış, karmaşık bir gökbilimsel hesap makinesi. Kadranın bulunduğu yerse, 14. yüzyıldan kalma ve istenmeyen ivir zıvrın yansırsa ... [tıklayın...](#)

MERAK ETTİKLERİNİZ

- Kayaç döngüsü nedir? (Seda Diri) [tıklayın...](#)
- 1,5 voltu nasıl üzerindeki voltlara çıkartabiliriz böyle bir düzenek var mıdır? (Mustafa Dinç) [tıklayın...](#)
- Paskal yasası nedir? (Aylin Sadıkoğlu) [tıklayın...](#)

EN ÇOK MERAK EDİLENLER

 <p>Atom Bombası Nasıl yapılır?</p>	 <p>Beynimin % kaçını kullanıyorum?</p>	 <p>CAM Katı mıdır?</p>	 <p>Kuş gribi NEDİR?</p>	 <p>Boyum daha Uzar mı?</p>
 <p>Genel görelilik</p>	 <p>Özel görelilik</p>	 <p>Sürtünme kuvveti NEDİR?</p>	 <p>Devr-i daim makineleri neden çalışmaz?</p>	 <p>KENEDEN ne kadar korkmalıyız?</p>

BİLGİ PAKETLERİ

Bilgi Paketleri Ders kitaplarındaki bilgileri zihninizde canlandıramıyorsanız, Bu köşe sizler için...	Dijital Elektronik	Evren	Duyular
Dünyamız	Üreme	Hücreye Yolculuk	Genler ve DNA

SİTE İÇİ ARAMA

Ara



E-Dergi Girişi

Kullanıcı Adı

Şifre

Giriş Y

E-Dergiye Abone Ol

Arşivi Gez

Formula G

Hidromobil



Gökyüzü Gözlem Şenliği

Ayrıntılı bilgi için tıklayınız...

Gökyüzü Gözlem

Buluş Şenliği



Yeni Ufuklara Cilt 2 KİTAPÇILARDA

TÜBİTAK

Bilim ve Teknik Dergisi

Arşiv DVD'si

Kullanım Kılavuzu

TIKLAYIN...