

# Maddenin Aslı

*Eşiğinden ilk adımımızı attığımız yeni binyıl, sıfırlarının vurguladığı yeni başlangıcı yepyeni bir fizikle yapmaya hazırlanıyor. Artık tanıdığımız değil, tanımadığımızın peşindeyiz. Evreni dolduran karanlık madde, şimdiye kadar farkına varmadığımız yeni doğa kuvvetleri, bu kuvvetlerin birleştirilmesi, kuramsal fiziğin yeni uğraşı alanları olacak. Ancak kapanmamış birkaç hesap da yok değil!... Bunların başında 30 yıldır fiziğin "arananlar" listesinin başında bulan Higgs bozonu geliyor. Tüm madde parçacıklarına kütle kazandıran bir maddeyi, bir anlamda maddenin temelini arıyoruz. Bulunması, yalnızca bir merakın giderilmesi anlamına gelmiyor. Yeni fiziğin oturacağı kuramsal temelleri de bütünleyecek, sağlamlaştıracak. Parçacığın başına konan ödül büyük. Avrupa ve Amerika'nın iki büyük parçacık avcısı bu büyük onurun peşinden koşuyor. En yetkin fizikçiler, maddenin temelini önümüzdeki birkaç yıl içinde ortaya çıkaracakları konusunda öylesine güvenliler ki, anlaşılan yeni binyılın ilk önemli keşfi için çok fazla beklemeyeceğiz...*

**M**ADDEDEN YAPILIYIZ. Gördüğümüz her şey de maddeden. Güneşimiz ve evrendeki katrilyonlarca benzeri, üstünde yaşadığımız gezegen, solduğumuz hava, okuduğunuz bu sayfa, derginizi tutan eliniz hep madde. Küçüğe doğru yolculuğumuzu biraz daha sürdürelim: Madde, moleküllerden yapılmış, moleküller atomlardan; atomlar, çapı santimetrenin yüz milyonda biri olan bir elektron bulutundan ve bu bulutun çapından yüz bin kez küçük bir çekirdekten oluşuyor. Çekirdek de proton ve nötronlardan. Her proton (ya da nötron), elektronun yaklaşık 2000 katı kütleyle sahip. Çekirdek parçacıkları da daha temel parçacıklardan, kuarklardan yapılmış...

Peki çevremizde gördüğümüz şeylerin boyutlarını, hatta kendi boyutlarımızı belirleyen ne? Söyleyelim, moleküllerin boyutları. Bunu belirleyense atomun büyüklüğü. Atomun büyüklüğü, çekirdek çevresinde dönen elektronların yörüngesiyle belirleniyor. Bu yörüngelerin çapıysa, elektronun kü-

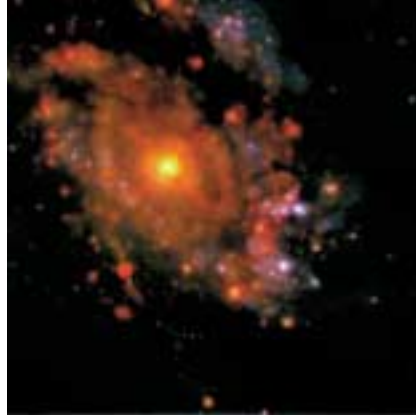
lesine bağlı. Elektron biraz daha küçük olsaydı, yörüngelerin çapı, dolayısıyla da atomların boyutları, sonuç olarak gördüğümüz her şey daha küçük olurdu. O halde elektronun kütlesi, evreni açıklayabilmek için çok önemli. Ama besbelli ki, ne uçsuz bucaksız evren, ne de atom parçacıklarının mikrodünyası tek bir temel parçacıkla açıklanabilir. En hafif temel parçacık olan elektronun yanı sıra daha başka temel parçacıklar da var. Bunların en ağır da, geçtiğimiz yıllarda bulunan ve kütlesi elektronunkinin 350 000 katı olan üst kuark. Tüm bu temel parçacıkların ve bunların etkileşimini sağlayan başka türden parçacıkların farklı farklı kütleleri var.

Kütle hepimiz için öylesine doğal bir şey ki, pek çoğumuz bunun önemini aklımıza bile getirmemişizdir. Nereden, nasıl geldiğini düşünmemişizdir. Oysa kütle evrende yaşamsal bir önemi var. Nedeniyse çok basit: Nesnelere ağırlaştırıyor. Hareketlerini yavaşlatıyor. Tıpkı şişman birinin biraz koşunca soluğunun yetmemesi, yavaşlaması gibi, büyük kütleli parçacıkların

da erimi az oluyor. Tüy sıkletlerse hem maratoncu, hem de hız rekortmeni süper atletler. Kütle olmasaydı, evren, içinde parçacıkların ışık hızıyla sağa sola uçtuğu delicesine çalkantılı bir denizi andırırdı. Moleküller oluşamazdı. Dahası yaşam ortaya çıkamazdı. Ne mutlu bizlere ki, kütle evrende yaşamıyoruz. Protonların, nötronların, elektronların, kısacası bildiğimiz atomları oluşturan parçaların, hatta bunları da oluşturan daha temel parçaların kütleleri var. İşte bu kütle evrene düzen getiriyor; üzerinde yaşayabildiğimiz gezegenler ortaya çıkarıyor, Güneş'in parlamasını sağlıyor. Kütle, yaşamın temeli.

Gelgelelim, yaşamı böylesine kolaylaştıran kütle, fizikçilerin işini güçleştiriyor. Boşlukta ışık hızıyla uçan parçacıkların kuramını oluşturmak daha kolay. Fizikçilere göre temel doğa kuvvetleri, büyük patlama öncesinde olduğu gibi özdeş, başka bir deyişle simetrik olmalı. Yani her temel kuvvet aslında ötekilerin başka bir açıdan görünümü olmalı. Örneğin, atom çekirdeklerinin bozunmasına yol açan zayıf

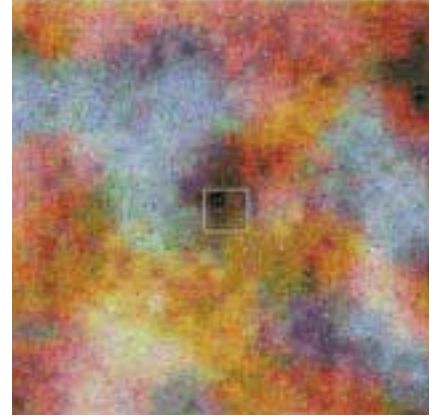
çekirdek kuvvetiyle, atomları bir arada tutan elektromanyetik kuvvetin aslında "elektrozayıf" adlı tek bir kuvvet olduğu kanıtlandı. Bu durumda bu kuvvetleri taşıyan parçacıkların, yani bozonların da simetrik olması gerek. Elektromanyetik kuvvetin taşıyıcısı, kütsüz olduğunu bildiğimiz foton. Deneyler, fotonun kütesinin, elektronun kütesinin "Katrilyonda birinin katrilyonda birinden" ( $10^{-30}$ ) büyük olmayacağını gösteriyor. Kuramsal olarak sıfır olması gerekiyor. Kütesi olmadığı için foton, hem en hızlı parçacık, hem de sınırsız erimli. Oysa bakıyoruz zayıf kuvveti taşıyan  $W^+$ ,  $W^-$  ve  $Z^0$  bozonları çok kısa erimli. Bu nedenle zayıf etkileşimin erimi, atom çekirdeğinden daha da kısa ; santimetrenin katrilyonda biri ( $10^{-15}$ cm) kadar. O halde bu etkileşimin araçlarının kütleleri olmalı. Gerçekten de bu bozonların sonradan bulunan kütleleri 81 ve 93 milyar elektronvolt (GeV). Yani protonun kütesinin aşağı yukarı 100 katı. Princeton Üniversitesi İleri Araştırmalar Enstitüsü fizikçilerinden Frank Wilczek'e göre, işte bu kütle elektrozayıf kuramı çarpıtıyor. 1960'lı yıllarda elektrozayıf kuvvet kuramını geliştiren ABD'li fizikçi Sheldon Glashow, iki kuvveti birleştirebilmek için zayıf kuvvet bozonlarına kaynağını bilmediği bir kütle koymak zorunda kaldı. Simetrik olması gereken kuvvet taşıyıcılarından biri kütsüz, ötekilerse kütleyle sahip. İşte bu paradoks, fizikçileri, parçacıklara kütle kazandırarak aslında varolan simetriyi perdeleyen yeni bir parçacık, bir Higgs parçacığı düşüncesine götürdü. Bu öyle bir parçacık ki, yalnızca kuvvetlerin etkileşimini açıklayan Standart Model'in imdadına yetişmekle kalmıyor. Zayıf kuvvette belirgin olan ve bir anlamda yaşamımızı



Evrende gökadalara gibi en büyük ve kuarklar gibi en küçük yapılar, varlıklarını Higgs parçacığına borçlular.

kendisine borçlu olduğumuz "eşleniklik bozulması"nı da açıklıyor. Standart Model'in son sınavı anlamına gelen "büyük birleştirme kuramları" ve bir adım ötesi olan "her şeyin kuramları" için de bu parçacık anahtar konumunda. Bu niteliğinden ötürü, bu kuramsal parçacık, Nobel Ödüllü fizikçi Leon Lederman tarafından "Parçacıkların tanrısı" (God Particle) diye adlandırılıyor. Ancak Higgs parçacığı, yaşamsal olduğu kadar da gizemli. Hangi enerji düzeyinde var olduğu bilinmediği gibi, varlığı bile, üstelik varlığını gerektiren matematik modelin kurucularından birince sorgulanıyor. Kimi fizikçiler Higgs parçacığını, bu bilinmezliğinden ötürü "Standart Model'in sorunlarının altına süpürüldüğü bir 'cehalet halısı'" olarak nitelendiriyorlar. Mizah duyguları gelişkin bazılarına göreyse, "Higgs parçacığı, Standart Model'in tuvaletine benziyor; her eve böyle bir şey gerekli; ama kimse bundan söz etmekten hoşlanmaz."

Ancak fizik topluluğunun büyük çoğunluğu, Higgs'in varlığı konusunda o kadar güvenli ki, Standart Model'in tutarlılığını ve kendi saygınlıklarını bu keşfe bağlamaktan çekinmiyorlar. Ço-



ğu, bu parçacığın, tek ya da bir aile olarak önümüzdeki 10 yıl içinde bulunacağından kuşku duymuyor.

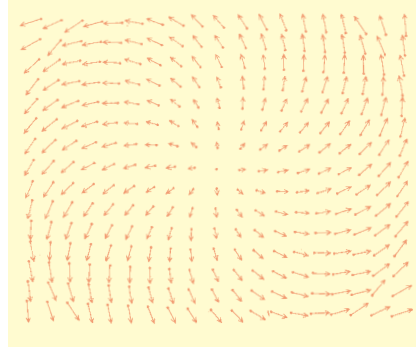
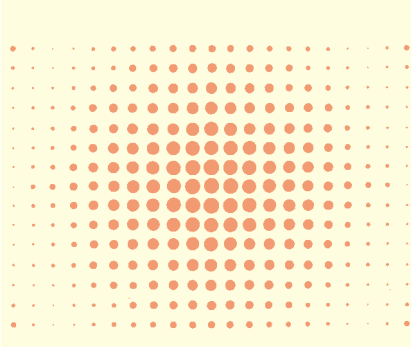
Standart Model, maddenin temel yapıtaşlarını ve bunların etkileşimlerine aracılık yapan temel kuvvetleri belirleyen kuram. Bu modele göre tüm maddesel evren, birbirleriyle dört temel kuvvet aracılığıyla etkileşen kuark ve leptonlardan oluşur. Bu dört temel kuvvet, kütleçekimi, elektromanyetizma, zayıf çekirdek kuvveti ve şiddetli çekirdek kuvveti. Örneğin şiddetli kuvvet, proton ve nötronları oluşturmak üzere kuarkları birbirine bağlar; artakalanı da, bu proton ve nötronları atom çekirdeği içinde birbirine bağlar. Elektromanyetik kuvvet, çekirdeklerle, bir lepton türü olan elektronları birbirine bağlayarak atomları oluşturur; artakalanı da atomları molekül yapısı içinde birbirine bağlar. Zayıf kuvvetse, çekirdek bozunmasından sorumlu. Zayıf ve şiddetli çekirdek kuvvetlerin etkileri son derece kısa erimli: bir atom çekirdeğinin yarıçapını aşmıyorlar. Kütleçekimi ve elektromanyetizmanın erimleri ise sınırsız. İşte bu nedenle en çok tanıdığımız kuvvet bu ikisi.

Ancak tüm göz alıcı başarılarına, deneylerin kanıtladığı öngörülerine karşın Standart Model, evreni tam olarak açıklayamıyor. Bu nedenle Fizikçilerin Standart Model hakkındaki duyguları, saygıyla karışık bir doyumuzluk. Nedenlerine gelince, her şeyden önce kütleçekimini içermiyor. ABD'nin Fermi Ulusal Laboratuvarı araştırmacılarına göre "Standart Model'in ikinci ve aynı derecede rahatsız edici bir sorunu da, en az yanıtladıkları kadar yeni soru ortaya çıkartması: Örneğin, neden yalnızca dört kuvvet var da, altı ya da bir değil? Neden yalnızca

Leptonlar				Kuarklar			
Parçacık	Simge	Kütle (MeV)	Elektrik Yükü	Parçacık	Simge	Kütle (MeV)	Elektrik Yükü
Elektron Nötrinosu	$\nu_e$	>0,00001	0	Yukarı	u	310	+2/3
Elektron	$e^-$	0,511	-1	Aşağı	d	310	-1/3
Muon Nötrinosu	$\nu_\mu$	Bilinmiyor	0	Tılsimli	c	1500	+2/3
Muon	$\mu^-$	106,6	-1	Garip	s	505	-1/3
Tau Nötrinosu	$\nu_\tau$	Bilinmiyor	0	Üst	t	174000	+2/3
Tau	$\tau^-$	1784	-1	Alt	b	5000	-1/3

Kuvvet	Erim	Taşıyıcı	Kütle (GeV)	Spin	Elektrik Yükü
Kütleçekimi	Sonsuz	Graviton	0	2	0
Elektromanyetik	Sonsuz	Foton	0	1	0
Zayıf	$10^{-16}$ cm'den az	$W^+$	81	1	+1
		$W^-$	81	1	-1
		$Z^0$	93	1	0
Şiddetli	$10^{-13}$ cm'den az	Gluonlar (8)	0	1	0



Skaler alan (solda), içindeki her noktanın, burada noktalarla tanımlanmış bir büyüklüğe ilintili olduğu alandır. Vektör alansa (sağda), Hem burada okların uzunluğuyla gösterilmiş bir büyüklüğe, hem de bir yöne sahip olan alandır. Elektromanyetik, zayıf ve şiddetli alanlar vektör alanlardır. Higgs alanınsa bir skaler alan olması gerekiyor.

görebildiğimiz parçacıklar var da başkaları yok? Parçacıkların öyle deli kızın çeyizi gibi farklı farklı kütlelerini yaratan ne?" Fizikçiler, Standart Model'in derinliklerinde işlerin doğru gitmediği düşüncesinde. "Daha büyük, daha güzel bir kuram, bir 'her şeyin kuramı' olmalı". Gene burada imdada yetişen Higgs Parçacığı. Ancak değişik kuramlar, değişik Higgs yapıları gerektiriyor. Fermilab kuramcılarında Chris Hill, "Higgs'i, ya da orada her ne varsa bulup ortaya çıkartın, o da size Standart Model'i kırıp açsın" diyor.

Fizikçilerin düşü, "her şeyin kuramı". Bu, basit, tüm enerji düzeylerinde geçerli olacak, hatta evrenin ilk anlarındaki cehennemi sıcaklıklarda, her şeyin tek bir noktaya kadar sıkışmış olduğu dönemlere kadar gidebilecek bir kuram. Gelgelelim, böyle bir modelin denenmesi için gerekli enerji düzeyleri, akıl almaz boyutlarda ve günümüz teknolojisinin ufuklarının çok ötesinde. Gerçi yaratıcı bazı yöntemlerle, bu sınavın günümüzde varolan ya da yakın bir gelecekte ortaya çıkacak parçacık hızlandırıcılarında elde edilebileceği, kuramsal olarak öngörülüyor. Ama Higgs Parçacığı, daha doğrusu "parçacıkları" daha kestirme bir yol vaat ediyor. Çünkü Chris Hills'e göre "Tek bir Higgs, geçici bir çözüm; Standart Model'in hastalığını iyileştirebilecek uzun dönemli bir tedavi değil".

Şimdilik işe basitinden başlayalım, ve Standart Model'in tedavi edilip edilemeyeceğine bakalım. Higgs parçacığı ya da daha doğru kullanı-

mıyla "Higgs Bozonu" nun en yalın hali, hangi işleri başarıyor.

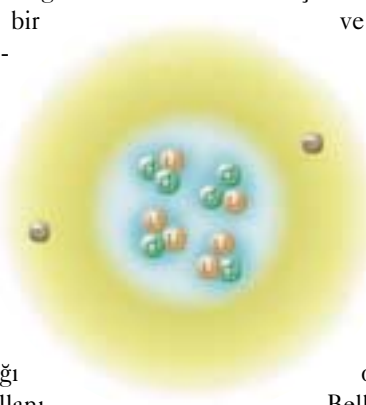
Ne yazık ki, Higgs bozonunun bulunabileceği matematiksel modeli ortaya koyup, bunun için de öğrencisi Gerardus 't Hooft'la geçen yılın Nobel Fizik Ödülü'nü paylaşan Hollandalı fizikçi Martinus J.G. Veltman, böyle bir parçacığın varlığından kuşkulu. "Şimdiye değin varlığı konusunda inandırıcı bir kanıt bulunamadığı gibi, yokluğu konusunda pek çok ipucu var" diyor. Ona göre Higgs mekanizmasının yararı, Standart Model'e matematiksel bir tutarlılık sağlaması, bu modeli günümüz parçacık hızlandırıcılarının erimi dışındaki enerjiler için de uygulanabilir hale getirmesi. Higgs bozonuna asıl ününü kazandıran ve parçacık fizikçilerinin düşlerini süsleyen işlevine, yani tüm parçacıklara kütle kazandırmasına gelince, Veltman'ın bu konuda da kuşkuları var. Bu karamsarlık, Hollandalı fizikçinin Standart Model'e olan bağlılığından kaynakları görünüyor. "Çağdaş kuramsal fizik", diyor Veltman, "Higgs bozonu gibisinden icatlarla boşluğu öylesine dolduruyor ki, insanın berrak bir gecede yıldızları nasıl görebildiğine bile şaşası geliyor." Ancak Veltman, ileride yeni hızlandırıcıların Higgs bozonu için doğrudan kanıt bulmasını ve bu parçacığın varlığını temel alan yaklaşımları haklı kılmasını tümüyle olasılık dışı saymasa da, işin sanıldığı kadar kolay olmadığını vurguluyor. "Ama," diyor, "böyle bir başarı dahi, Standart Model'in tümüyle yanlış olduğu anlamına gelmez. Belki şunu söylemek daha

doğru olur: Standart Model, gerçeğin, basitleştirilmiş bir durumudur. Ama, başarılı bir basitleştirmedir".

Varlığı konusundaki kuşkularına karşın Veltman, gene de Higgs bozonunun öteki parçacıklara kütle kazandırma mekanizmasının başarılı bir popüler betimlemesini yapıyor.

Higgs bozonunun kütle yaratmasının temelinde alan kavramı yatıyor. Alan, örneğin sıcaklık gibi bir sayısal büyüklüğün, her noktasında betimlendiği bir uzay-zaman bölgesi. Örneğin, içinde kıvırtma yaptığımız bir tavanın yüzeyi. Fizikteyse alan kavramı, kütleçekim alanı, elektromanyetik alan gibi duyu ya da aygıtlarla algılanabilen varlıklar için kullanılır. Alanlar, genellikle varlıklarını bir aracı parçacığın değiş tokuşu sayesinde duyururlar. Örneğin, elektromanyetik alanın aracı parçacığı foton, ya da ışığın bir paketçisidir. Kütleçekim alanının aracı parçacığıysa, henüz varlığı gözlenememiş olan graviton. Zayıf alanın araçları  $W^+$ ,  $W^-$  ve  $Z^0$  adlı vektör bozonları, Şiddetli alanınkilerse sekiz ayrı gluon. Benzer biçimde, Higgs alanının aracı parçacığı da Higgs bozonu oluyor.

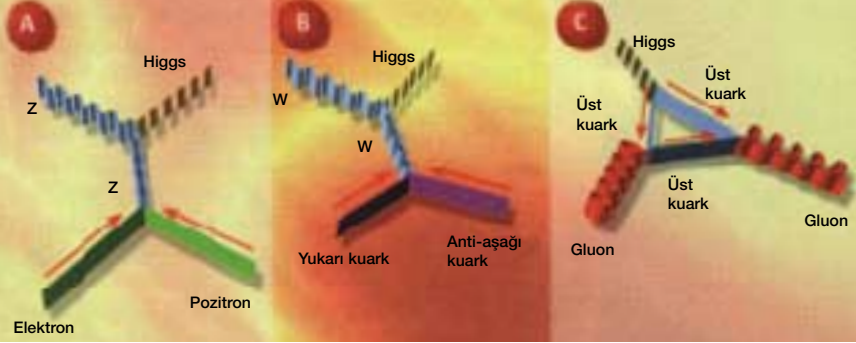
Peki bu Higgs alanı nasıl bir şey ve nasıl etki yapıyor? Bu soruları cevaplandırmak için farklı benzetmelerden yararlanıyorlar. Hepsinin ortak noktasıysa, bu alanın, uzay zamanın her yerini dolduruyor olması. Yani uzay zamanın boşluğu aslında boş değil; bu sabit değerli alanla dolu. Higgs parçacığının peşindeki avcılar sürüsü bu alanı, kendisine sürünen parçacıkları ağırlaştırarak yapışkan bir maddeye, bir tür zamka benzetiyorlar. Fiziğe göre zaten kütle, bir atalet, maddenin harekete direnme eylemi. Kuramcılara göre Higgs alanı, parçacıklara takılarak kütle yaratıyor. Bu takılmanın şiddetine koşut olarak parçacık uzayda bir potansiyel enerji kazanıyor. Einstein'ın  $E=mc^2$  formülü uyarınca yapışma enerjisi, aynı zamanda kütle demek. Yapışma ne kadar güçlüyse, kütle de o ölçüde büyük oluyor. Fizikçilerin Higgs alanını ve etkisini açıklamak için kullandıkları bir başka benzetme de mürekkep ve kurutma kağıdı: Bu örnekte kağıt parçaları değişik parçacıkları, mürekkepe enerjiyi, ya da kütle temsil ediyor. Tıpkı değişik boyut ve kalınlıktaki kağıtların mürekkebi farklı miktarlarda emmesi gibi, değişik parçacıklar da



Bir elektron ve bir pozitron sanal Z bozonu yaratıyor; bu da Higgs bozonu yayımlayarak gerçeklik kazanıyor. Bu LEP'te gözlenmesi umulan süreç.

Çarpışacak proton ve antiprotonların içindeki kuark ve antikuarlar Z yerine W bozonları aracılığıyla Higgs ortaya çıkacak. Tevatron yöntemi.

Çarpışan protonlar içindeki gluonlar, sanal üst kuark çiftleri oluşturacak. Bunlar da yok olurken Higgs parçacıkları yaratacak. (Wilczek'in önerisi)



Parçacık çarpışmalarında olası Higgs imzaları:

- Higgs → 2 foton ( $M_H < 140$  GeV)
- Higgs → 4 lepton ( $140 < M_H < 500$  GeV)
- Higgs → 2 lepton + 2 jet ( $M_H > 500$  GeV)



1966'da LEP'te 172 GeV'de ortaya çıkan Higgs adayı

Higgs Oluşum Modelleri: Higgs parçacıkları en güçlü biçimde öteki yüksek kütleli parçacıklarla etkileşimlerinden, bunları elektron gibi hafif parçacıkları çarpıştırarak doğrudan elde etmek güç. Dolaylı yoldan, sonradan Higgs parçacıklarına bozulan sanal Z ve W bozonlarıyla, ya da üst kuark çiftlerinden elde edilebilecekleri düşünülüyor.

farklı miktarlarda enerji, ya da kütle çekiyorlar. Bir parçacığın gözlenen kütlesi, onun enerji soğurma kapasitesine ve uzaydaki Higgs alanının şiddetine bağlı oluyor.

Peki, bu Higgs alanı, nasıl bir şey? Eğer parçacıklara kütle kazandırıyor, bu alanın, boşlukta bile sıfır olmayan, değişmeyen bir değeri olması gerekiyor. Ayrıca Higgs alanının, skalar bir alan olması da gerekli. Skalar alan, parçacıkların etkileşiminde önem taşıyan iki tür alandan biri. Bu öyle bir alan ki, içindeki her noktada yalnızca belli bir büyüklük olur. Öteki önemli alanaysa vektör alanı deniyor. Öyle bir alan düşünün ki, içindeki her noktada yalnızca bir büyüklük değil, ok işaretleriyle gösterilen bir de yön olsun. Uzayın her noktasında vektör alanının büyüklüğü, okun uzunluğuyla, yönüyle, ok ve ucunun konumuyla gösterilir. Elektromanyetik alanla, çekirdek kuvvetlerini oluşturan şiddetli ve zayıf alanlar birer vektör alanıdır. Kütleçekim alanıysa, tensör alan denen daha karmaşık bir alan.

Higgs alanının neden skalar bir alan olması gerekiyor? Çünkü bir vektör alanı olsaydı, bir parçacığın kütlesinin, alan içindeki açısına göre değişmesi gerekirdi. Basite indirgenecek olursa, belli bir yerde otururken sizin, benim sahip olduğumuz kütle sağa dönersek farklı, sola dönersek farklı olurdu. Özetle Higgs alanı, spinsiz (dönmesi olmayan) bir alan. Spin, atomaltı dünyadaki etkileşimleri betimleyen kuantum mekaniğinin bir özelliği. Kabaca, bir topun kendi eksenini etrafında dönmesine benzetilebilir. Temel parçacıkların ya tam sayıda (0, 1, 2 gibi),

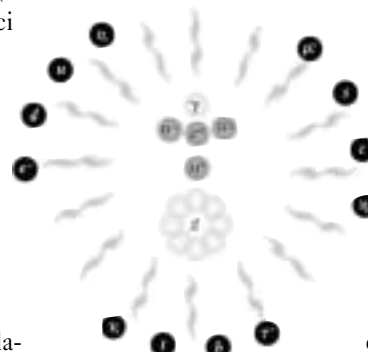
ya da sonu yarım biten kesirli ( $1/2$ ,  $3/2$  gibi) spinleri oluyor. Bunlardan tam sayıda spinleri olanlar, bozon olarak tanımlanıyor. Yarım sayıda spinleri olanlaraysa fermiyon deniyor. Bu iki gruba giren parçacıkların birbirinden çok farklı özellikleri var. Örneğin fermiyonlar, uzayda aynı yeri paylaşmıyorlar. Bozonlarsa bir araya kümelenebiliyorlar. Higgs alanı spinsiz olunca, haliyle aracı parçacığı olan Higgs bozonunun da spinsiz olması gerekiyor. Yani Higgs bozonu, kuramsal olarak 0 spinli bir parçacık. Bir skalar bozon. Alanlarla bağımlı öteki bozonların büyük çoğunluğuyca, 1 spin değerine sahip vektör bozonları. Örneğin foton, gluon, ve  $W^+$ ,  $W^-$  ve  $Z^0$  bozonları 1 spinli vektör bozonları sınıfına giriyor.

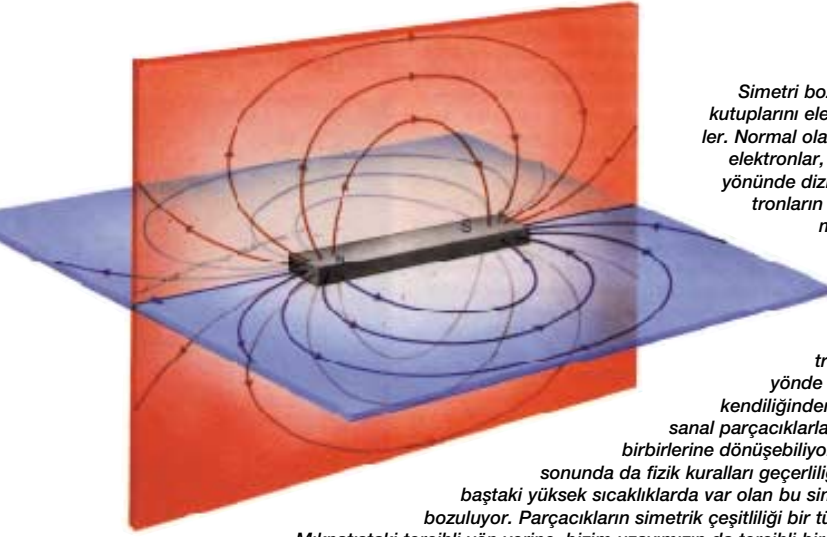
Vektör bozonları, doğanın temel kuvvetleriyle ilişkili. Higgs bozonuysa, skalar bir bozon. O halde, parçacıkların Higgs alanına yapıştıkları kuvvet de, değişik, yeni bir kuvvet olmalı. Veltman, kuramsal olan bu kuvvetin, standart modeldeki matematik tutarlılığı güçlendirmek için gerekli olduğunu söylüyor. Ve matematik anlamda da Higgs kuvveti, son yıllarda fizik gündemine giren (itici ve değişken) "beşinci kuvvet" gibi davranıyor. Ancak Higgs kuvveti beşinci kuvvete oranla daha zayıf ve çok daha kısa erimli.

Diyelim böyle aracı parçacığıyla, yaptığı etkiyle tam donanımlı bir Higgs alanı var? Peki ama biz niye

öteki kuvvet alanları gibi bunun da farkına varamıyoruz?

Frank Wilczek görünürdeki bu paradoksu şöyle açıklıyor: "Bir çubuk mıknatısın içinde yaşadığımızı varsayalım" diyor Princeton kuramcısı. Fizik kurallarının tercihli bir yönü olmasına karşılık, bir mıknatısın belli bir yönü, yani kutbu var. Peki bu yön nereden geliyor? Elektronların dizilişinden. Herhangi bir madde içindeki elektronlar, aslında küçük birer mıknatıs gibi davranırlar. Her elektron, spin eksenini doğrultusunda hareket eder. Yalıtılmış bir elektronda bu doğrultu önemli değildir. O yönde de hareket edebilir, bu yönde de. Fizikte buna dönüş simetrisi denir. Ama bazı maddelerde, örneğin demirde, komşu elektronların spinleri hep aynı yönü gösterir. Minimum enerji durumuna gelebilmek için tüm elektronların spinleri aynı yönü tutturmak zorundadır. Bu yön de mıknatısın kutbunu belirler. Görünürde dönüş simetrisi kaybolmuştur. Ama mıknatısı 870 °C'ye kadar ısıttığınızda, yeterli enerjiyi kazanan elektronlar, bu takım ruhundan uzaklaşır ve her birinin spini farklı yönü gösterir. Demir, mıknatıs özelliğini yitirir. Maden soğutulduğundaysa yeniden manyetik hale gelir; ama çoğu kez kutbu bir başka yönü gösterir. Aslında elektronların spin enerjilerini biraz arttırarak da, tercihli spin yönünü (yani manyetik kuzeyi) ağır





**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 çökeliyor. Mıknatıstaki tercihli yön yerine, bizim uzayımızın da tercihli bir parçacık yapısı ortaya çıkıyor. Aslında var olan simetriyi gizleyen, parçacıklara kütlelerini veren Higgs bozonu.

ağır kaydırabilirsiniz. Tercihli spin yönünün periyodik olarak değiştiği durumlara spin dalgaları denir. Ve kuantum mekaniği nasıl ışık dalgalarını foton adlı paketçiklere bölüyorsa, bu spin dalgalarını da magnon diye adlandırılan parçacıklara böler.

Şimdi ortamı daha iyi tanıdıktan sonra, yaşamak üzere yeniden mıknatısın içine girelim. Mıknatıs dünyasının akıllı varlıkları, dünyalarında elbette magnonları görecekler, ama bunların nereden geldiklerini anlamakta zorlanacaklar. Çünkü evrim, onları, yaşamlarının hiç değişmeyen öğelerini dikkate almamaya koşullandırmış olacaktır. Dolayısıyla bizlerin, mıknatısı oluşturan madde olarak algıladığımız şeyi, onlar, yalnızca boşluk olarak algılayacaklardır. "Mıknatıstan" halkı için, bizimkinin aksine uzayın da belli bir yönü olacaktır. Çünkü onların yaşadıkları her deneyim, dünyalarına egemen olan manyetizma tarafından belirlenmektedir.

Ama günlerden bir gün, ileri görüşlü bir Mıknatıstan vatandaşı gerçek durumu kavrar. Algılanan görüntünün altında tam bir dönüş simetrisine dayanan bir kurallar dizisinin farkına varır. Bu simetrisinin, ülkedeki egemen ortam nedeniyle kendiliğinden bir yönde dizilmiş spinlerce perdelendiğini anlar. "Boşluğun" aslında düzenli bir yapıya sahip bir ortam olduğu sonucunu çıkartır ve magnonların varlığı kuramını ortaya koyar.

Wilczek, "Bizim kendi dünyamızda da olan aynen bu" diyor. Bizim kendi boşluğumuzun da kendiliğinden ortaya çıkıp gene yok olan "sanal parçacıklar"la dolu olduğu 1930'lu yıllardan be-

ri biliniyor. Bu karmaşadaki düzenli yapıyı keşfedenlerse Yochiro Nambu ve Jeffrey Goldstone. Peki bu yapı nasıl bir şey? Nambu ve Goldstone, 1960'lı yılların başlarında, bazı parçacıkların yerini başkalarının aldığıda da aynı fizik kurallarını geçerli kılan bir simetrisinin farkına vardılar. Ancak bizim dünyamızda da, tıpkı mıknatısta olduğu gibi, düşük sıcaklıkta bu simetri bozuluyor. Kılıktan kılığa girebilen sanal parçacıkların simetrik çeşitliliği, belli bir tür parçacığa çökeliyor. Bu parçacık büyük miktarlarda ortaya çıkmaya başlıyor. Bir başka deyişle, birbirlerinin yerine geçebilen parçacıklar yerine artık tercihli bir durum ortaya çıkıyor. Yani mıknatıstaki tercihli yön yerine bizim uzayımızın da tercihli bir parçacık yapısı var.

İşte kozmik yapışkan düşüncesi, bu noktada devreye giriyor. 1966 yılında, Edinburgh Üniversitesi fizikçilerinden Peter Higgs ve çalışma arkadaşları, Brüksel'deki Serbest Üniversite'den Robert Brout ve François Englert, bu düşüncüyü, zayıf kuvveti açıklayan vektör mezonları kuramına eklediler. Araştırmacılar, simetri bozulup bir Higgs parçacıkları çökeltisi oluştuğunda, vektör mezonların kütle kazandıklarını keşfettiler.

Daha da önemlisi, bu çökeltiyle etkileşim, tüm öteki temel



parçacıklara, kuarklara ve leptonlara da kütle kazandırabiliyordu Nambu ve Goldstone'un yaptıkları, bilinen parçacıklardan yararlanarak bir kozmik yapışkan oluşturmaktı. Ama bu yeterli değildi. Çünkü vektör mezonları fazla yavaşlatamadığı gibi leptonlar üzerinde hiç etkisi yoktu. 1967 yılındaysa Steven Weinberg ve daha sonra da Abdus Salam, "daha yapışkan" bir Higgs çökeltisi kavramı ortaya atarak Sheldon Glashow'un zayıf etkileşim modelini dayanaksız varsayımlardan kurtardılar. Fizikçilerin, günümüzde Higgs çökeltisinden söz ederken kastettikleri, işte bu daha yapışkan biçim.

Kuram güzel. Akla, mantığa uygun. Ama doğru olduğunu nereden bileceğiz? Daha önce de akla yatkın gelen pek çok varsayım, pek çok bilgi bir süre sonra çöpe atılmadı mı? Dünya'nın tepsi gibi düz olduğunu bir zamanlar tartışmanın bile saçma olduğu bir "gerçek" değil miydi? Üstelik kuramın matematik çatisını kuranlardan biri de böyle bir parçacığın varlığına karşı!.. Bu durumda hakem, deney olacak elbette. Kuramı nasıl sınavacağız? Örneğin, küçük bir boşluk parçası ısıtılır ve çökeltinin buharlaşmasıyla simetrisinin yeniden kurulup kurulmadığına bakılabilir. Elektromanyetik ve zayıf çekirdek kuvvetlerini, elektrozayıf kuvvet olarak bir araya getirebilmek için 100 GeV enerji gerekti. Elektrozayıfla, şiddetli çekirdek kuvvetini özdeş yapabilmek içinse, en az  $10^{16}$  K (10 katrilyon kelvin) düzeyinde bir sıcaklık gerekiyor. Bu daha bir şey değil. Bir de sınırsız erimli kütleçekim var. Bunu da büyük özdeşliğin içine katarak herşeyin kuramını elde etmek istiyorsak, gereken enerji düzeyi en az  $10^{18}$  GeV. Ancak Büyük Patlama'dan sonra çok kısa bir süre var olabilen böylesine yüksek sıcaklıklarsa, günümüz parçacık hızlandırıcılarından en güçlülerinin bile eriminin dışında. Bazı fizikçilere göre, kuvvetleri özdeşleştirebilmek için yeterli enerjii sağlayabilecek bir hızlandırıcının çevresinin 1 trilyon km, ya da bir ışık yılından daha biri kadar olması gerekli! Gene bazı fizikçilere göre, kütleçekimini de kapsayacak bir özdeşleştirme için gerekli enerji düzeyi,  $10^{28}$  GeV'a kadar çıkabiliyor. Bu enerjii sağlayacak hızlandırıcının çevre uzunluğuyusa 1000 ışık yılı kadar olmak zorun-

da!.. New York'taki Brookhaven Ulusal Laboratuvarı'ndaki relativistik ağır iyon çarpıştırıcısı deneylerindeyse yalnızca 10 trilyon kelvine yani gereken düzeyin binde birine ulaşılabilmesi bekleniyor.

Gerçi yeni kuşak fizikçiler arasında giderek yaygınlaşan bir görüşe göre, dört kuvveti de birleştiren sicim kuramı için gereken yeni boyutların ölçekleri, (altı yeni boyut) kuramsal olarak  $10^{-35}$  cm'den,  $10^{-19}$  cm'ye, hatta 1mm dolaylarına çıkartılırsa, büyük birleşme enerjisini, 1 teraelektronvolt (TeV) düzeyine çekmek olanaklı. Ama birçok varsayıma dayanan bu kuramlar için yürütülen deneyler, henüz hızlandırıcılar yerine masa üstünde yürütülüyor.

Dolayısıyla fizikçiler, daha basit bir deney aracılığıyla aynı taşla birkaç kuş vurmak istiyorlar. Öncelikle yapmak istedikleri, tüm simetriyi yeniden kurmaya çalışmak yerine, Higgs alanını şöyle bir çalkalamak. Kuramcılara göre, fotonların düzgün bir elektromanyetik alandaki hareketlenmeden kaynaklanması gibi, Higgs alanındaki kuantum mekaniksel çalkantılar da Higgs parçacığına kaynaklık edecektir. Ortaya çıkacak en küçük hareketlenme Higgs parçacığı olacaktır. Kuramsal fizikçiler, parçacık hızlandırıcılarında yeterli enerjide gerçekleştirilecek çarpışmaların, Higgs parçacığını içinde bulunduğu alandan sökeceğini düşünüyorlar. Ardından birleştirme kuramlarında öngörülen parçacıklar da gelirse daha âlâ!...

Peki, bu parçacık nasıl ve nerede ortaya çıkacak? Öteki "büyük fizik" deneylerinde olduğu gibi, Higgs parçacığını bulup yeni yüzyılın fiziğine kendi damgasını vurmak için Avrupa Parçacık Fiziği Laboratuvarı (CERN) ile ABD'nin Fermi Ulusal Laboratuvarı (Fermilab) yarışıyorlar. Yarışı kimin kazanacağı, Higgs parçacığının kütesine (enerjisine) bağlı. Eğer Higgs parçacığının kütesi 95 GeV, ya da protonun kütesinin 100 katından küçükse, CERN'de bulunan LEP (Large Electron-Positron Collider) hızlandırıcısının bu parçacığı şimdiye kadar saptaması gerekirdi. Buna karşılık kütesi 600 GeV'i aşarsa da bu kez ortaya büyük sorunlar çıkacak: Higgs parçacıkları, parçacık tepkimelerinden birçoğunu, deneylerin yasakladığı biçimlerde etkileyecek. Bir başka deyişle, Higgs parçacı-



CERN'de kurulmakta olan Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (LHC), halen kullanılmakta olan 27 km'lik LEP hızlandırıcı tüneline paylaşacak. 2005 yılına kadar bitirilmesi planlanan LHC'de proton ve antiproton demetleri ters yönlere hızlandırılarak çarpıştırılacaklar. Ortaya çıkacak çarpışma ürünleri arasında, Higgs bozonuyla, süper simetri kuramında öngörülen ağır parçacıkların da bulunması bekleniyor.

ğının kütesi, bir demir atomunun kütesiyle üç uranyum atomunun toplam kütesi arasında bir yerlerde. Ama Higgs bozonunun kütesinin 1 TeV dolaylarında (proton kütesinin 1000 katı) olduğuna inananlar da yok değil.

Yarışa son aylarda heyecan getiren bir gelişme oldu: Higgs parçacığının hafif olduğu yolundaki görüşün egemenlik kazanması. Geçen Haziran'da Fermilab'da yapılan ve çeşitli uluslardan fizikçilerin katıldığı bir toplantıda egemen olan görüşe göre, Higgs'in oldukça hafif olması gerekiyor. Kuantum mekaniğinde herhangi bir parçacık, kısa bir süre için başka bir parçacık kimliği alabildiğinden, bunların ölçülen kütleleri birbirlerine yakın oluyor. Bu son öngörüler, Higgs parçacığının kütesini 230 GeV sınırının altına çekmiş görünüyor. Ancak, 180 GeV enerji düzeyinden düşük bir yerde çıkacak Higgs parçacığı, Standart Model'i yüksek enerji düzeylerinde işlemez hale getiriyor. Bilinen tüm parçacıklara ağır kütleli eşler bularak doğanın elektrozaıf ve şiddetli çekirdek kuvvetlerini Standart Model'in genişletilmiş bir çerçevesinde birleştirmeyi amaçlayan Süpersimetri kuramıysa, en basit Higgs parçacığı için 100-130 GeV arasında bir kütle öngörüyor. Daha alt düzeylerde bu kuram da çıkmaza giriyor.

Gene de CERN'in LEP hızlandırıcısında araştırmacılar, makinelerinin

yetenek sınırlarını zorlayarak, parçacığı 105 GeV düzeyindeki enerjilere kadar bulabilmeyi umuyorlar. Fermilab'daki Tevatron hızlandırıcısıysa, 160 GeV düzeyine kadar tarama yapabilecek. Gerçi 260 milyon dolar harcamayla kısa süre önce yenilenen Fermi makinesi, parçacıkları ters yönde hızlandırarak 2 TeV düzeyinde toplam çarpışma enerjisi elde edebiliyor. Ama bu enerjinin sınırlı bir bölümü yeni parçacıkların oluşumunda kullanılabilir.

Parçacık burada da ortaya çıkmazsa, Higgs'in varlığını savunan fizikçiler, bıyıklarını kesmeden önce, gene Avrupa'ya dönecekler. CERN'deki Büyük Hadron Çarpıştırıcısı LHC'nin 2005 yılında hizmete girmesi bekleniyor. Proton ve antiprotonları ayrı ayrı hızlandırarak çarpıştıracak olan makine'nin 600 GeV olarak belirlenen Higgs üst sınırını rahatlıkla aşması bekleniyor. 5 milyar dolara mal olacağı hesaplanan makine, tam kapasiteyle çalışmaya başladığında 14 TeV (trilyon elektronvolt) çarpışma enerjisi düzeylerine erişebilecek.

Ancak LHC'nin de kendi gücünden gelen sorunları var. Öncelikle aranan hafif Higgs parçacığının imzasının, bir alt kuarkla, bunun karşımada eşleniği olan anti alt kuarka bozunması biçiminde ortaya çıkması bekleniyor. Bu imza, hızlandırıcılarda "jet" diye



adlandırılan parçacık ve çarpışma enkazı fişkırmaları biçiminde kendini gösteriyor. LHC'de 14 TeV gibi muazzam çarpışma enerjisi demek, aynı zamanda bir seansta bu jetlerin çok büyük sayılarda ortaya çıkması demek. Bunlar başka süreçlerden de kaynaklanıyor olabileceklerinden, Higgs parçacıklarının imzasını tanımak yıllar sürecek çalışmalar gerektirebilir. Bazı fizikçilerse, Higgs parçacığını bulmak için LHC'nin bile yetersiz kalacağı görüşünü savunarak daha radikal hızlandırıcı tasarımları öneriyorlar.

Öte yandan, süpersimetri, yalnızca tek bir Higgs parçacığıyla yetinmiyor. Model için en az beşi gerekli. En basiti için 100-130 GeV kütle öngörülüyor demistik. Daha ağır Higgs'ler için fizikçiler arasında bir anlaşma yoksa da, bunların da 1 TeV'in çok üstünde olacakları sanılmıyor. Bu fazladan Higgs'lerin, bildiğimiz parçacıkların süpersimetrik eşlerinin nerede saklandıklarını ortaya koyması bekleniyor.

Yarışa katılan hızlandırıcıların ve çarpışmalarda ortaya çıkan parçacıklar ve enkazı inceleyen apartman boyutlu dedektörlerin kendilerine özgü güçlü ve zayıf noktaları var. CERN'in çalıştırdığı LEP, elektronları ve bunların karşı-madde eşleri olan (+ elektrik yüklü) pozitronları çarpıştırıyor. Bunlar hafif parçacıklar. Dolayısıyla çarpışma ürünleri, çok karmaşık değil. Kolaylıkla tanımlanabiliyor. Üstelik LEP, bir kaç yıl önce yenilenerek LEP II haline geldiğinden beri gücü de bir hayli yükselmiş. Elektronları ve pozitronları kafa kafaya çarpıştırırken, 184 GeV "kütle merkezi enerjisi"ne ulaşıyor. Yani çarpışan parçacıkların hızlandırıcıda ulaştıkları enerjinin toplamına. Bazı modellerde Higgs parçacığı,  $Z^0$  bozonu-

la ilintili olarak ortaya çıkıyor. Çarpışma sonucu birlikte ortaya çıkan Higgs parçacığı iki alt kuarka,  $Z^0$  bozonu da iki

farklı kuarka bozunuyor. Her iki parçacığın dedektördeki imzası da bu kuarklar. Bu durumda, aranan Higgs parçacığının çok büyük kütleli olmaması durumunda LEP II tarafından yakalanma olasılığı var. Zaten LEP'teki dedektörlerden biri olan OPAL'de 1996 yılında 172 GeV gücünde bir seans sırasında belirlenen bir "olay"ın, Higgs parçacığı adayı olabileceği belirtiliyor. Elektron çarpıştırıcılarının zayıf noktası, senkrotron ışınımı nedeniyle enerji kaybı. Elektronlar, düz bir hat boyunca yol alan parçacıklar. Yolları, dairesel hızlandırma tünellerinde güçlü mıknatıslarla büküldüğünde, kazandıkları enerjinin büyük bölümü senkrotron ışınımı nedeniyle yitiriliyor. Bunu önlemenin yolu, elektron hızlandırıcılarını düz bir tünel halinde yapmak. ABD'nin Stanford Üniversitesindeki hızlandırıcı, (SLAC) böyle bir "doğrusal hızlandırıcı" uzunluğu da 3 kilometre. Ama bunları, hele Higgs parçacığının ortaya çıkabileceği enerjileri sağlayabilecek olanları, inşa etmek çok güç ve pahalı. Dolayısıyla hızlandırıcılar, genellikle dairesel biçimde yeraltı tünelleri. Ama senkrotron ışınımını en aza indirebilmek için, elektron rotasındaki bükülmeyi azaltmak, bunun için de halkayı büyütme gerekiyor. Bu nedenle LEP'in çevresi 27 km'yi buluyor.

Elektron çarpışmaları temiz ve ürünlerinin izlenmesi kolay. Ne var ki, bunlar hafif parçacıklar olduklarından çarpışma ürünlerinin sayısı ve çeşidi de fazla olmuyor. Bunun için fizikçiler,

proton gibi çok daha ağır parçacıkları çarpıştırarak sonuçları incelemek istiyorlar. Chicago yakınlarında Batavia'da bulunan Fermilab'daki hızlandırıcı, böyle bir proton, antiproton çarpıştırıcısı. Bu tür çarpışmaların zayıf noktasıysa, ortaya çok fazla ürün çıkması ve bunların içinde ancak çok küçük bir bölümünü seçip tanımlayabilmenin güçlüğü. Fermilab'ın bir avantajı, parçacıkları hem ters yönlerde hızlandırarak kafa kafaya çarpıştırabilmesi, hem de sabit bir hedefe çarpıtılabilmesi. Görece daha düşük enerjide meydana gelen bu ikincisinde ortaya çıkan ürünler daha az karmaşık oluyor.

CERN'in 2005 yılında tam kapasiteyle devreye sokmayı planladığı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı LHC ise Higgs'i ve bunun yanısıra süpersimetrisinin öngördüğü egzotik eş parçacıkları bulabilmek için, deyim yerindeyse çarpışmada "kaba kuvvete", bunun yarattığı karmaşık ürün çorbasını ayıklayıp tanımlamak için de "zekâ"ya güveniyor. Maliyeti 5 milyar dolarda tutabilmek için CERN yeni bir hızlandırıcı yapmıyor. LHC'de 27 km'lik LEP hızlandırma tüneline kullanacak. Ancak proton ve antiprotonları hızlandırmak için tasarlanan süperiletken mıknatıslar çok gelişkin tasarımda. Parçacıkları ayıklayıp tanımlayacak olan çeşitli dev dedektörler de tekniğin ve duyarlılığın en uç örnekleri. Böyle de olmak zorundalar. Çünkü LHC içinde proton demetleri, birbirleri içinden bir saniyede 40 milyon kez geçecekler. Demetlerin karşılıklı her geçişinde 20 proton-proton çarpışması olacağı hesaplanıyor. Bu da saniyede 800 milyon çarpışma demek. Bunların hepsi ilginç, işe yarar çarpışmalar olmayacak. Çoğu kez protonlar birbirlerini sıyırıp geçecek. Kafa kafaya çarpışmaların sayısı son derece az olacak. Ortaya yeni parçacık çıkaran sonuçlar daha da seyrek görülecek. Örneğin, Higgs parçacığının 10 trilyon çarpışmadan yalnızca birinde ortaya çıkması bekleniyor. Bunun da anlamı, her saniyede 800 milyon çarpışma olsa bile bir gün içinde yalnızca tek bir Higgs bozonuna rastlanabilecek. O da gözden ka-



Hızlandırıcılarda parçacık çarpışmalarından ortaya çıkan ürünler, apartman büyüklüğünde duyarlı dedektörlerle izlenerek, türleri ve hızları belirleniyor.

çırılmazsa tabii. LHC'deki dedektörler de, pek ayakta uyuyan devlere benzemiyorlar. Örneğin, Küçük Muon Solenoidi (Compact Muon Solenoid – CMS) adlı dedektörün, her biri güçlü bilgisayarlarla denetlenen 15 milyon ayrı algılama kanalı bulunacak. Bunlar, dedektörü LHC hızlandırıcısıyla eşgüdümü hale getirerek CMS'nin "ilginç" herhangi bir olayı kaçırmamasını sağlayacak.

Kendi dev hızlandırıcısını, çok pahalıya mal olduğu gerekçesiyle Kongre kararıyla 1993 yılında yarı yolda rafa kaldıran ABD, LHC'nin finansmanına katılıyor. Ama Higgs yarışını Fermilab kazansa bile, LHC daha sonraki "büyük fiziğin" başlıca merkezi haline gelmeye aday. Bu durumdan pek hoşnut olmayan Amerikalı fizikçiler, bir sonraki kuşak hızlandırıcılar için Washington'u sıkıştırıyor. Ortada üç farklı öneri var. Bunlardan biri, LHC'nin daha da büyük bir modeli. Adı da Çok Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (VLHC). Bir başka grup, 30-50 kilometre uzunluğunda doğrusal bir hızlandırıcıyla, elektronların "temiz" çarpışmalarının meyvelerini yemek istiyor. Daha radikal bir öneriyse, elektronların daha ağır kardeşleri olan muonları çarpıştırmak. Her üç önerinin de gerçekleşmesinin en az on yıl zaman ve en az 1 milyar doların üzerinde para gerektirmesi nedeniyle, ABD Enerji Bakanlığı, henüz projelerin artılarını ve eksilerini tartmakla meşgul.

Bunlar içinde, muon çarpıştırıcısı projesi, giderek yandaş topluyor. Muonlar, kardeşleri olan elektronlardan 207 kat daha ağır (kütleli) olan, nokta-



yı andıran parçacıklar. Ömürleri son derece kısa. Genellikle, hızlandırıcılarda gerçekleşen çarpışmalarda ortaya çıkıp saniyenin küçük kesirleri kadar sürelerde varlıklarını sürdürebiliyorlar. Bu kısa ömür, kuşkusuz bir dezavantaj. Bu nedenle hızlandırıcılarda çarpışma "yakıtı" olarak hiç kullanılmamış. Ama muonlarla, + elektrik yüklü karşı parçacıklarının yadsınmayacak üstünlükleri de var. Bunların başında, elektrona göre büyük

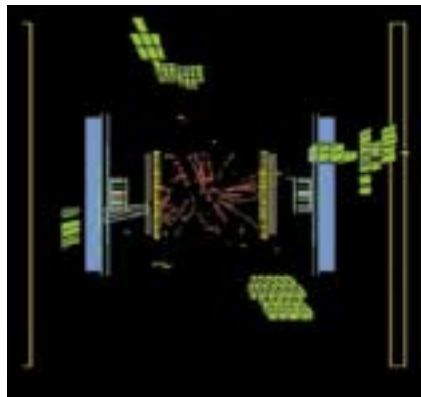
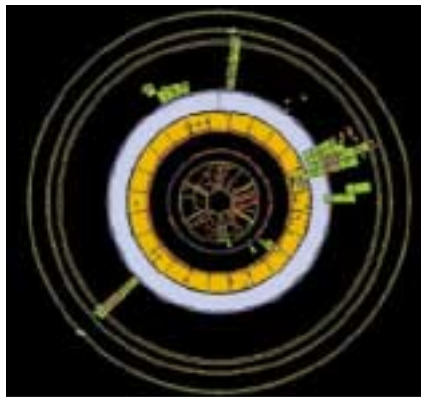
olan kütleleri geliyor. Bu kütle nedeniyle, hızlandırıcılardaki sinkrotron ışınımının yol açtığı enerji yitiminin çok daha az olması gerekiyor.

Gerçi LHC'de çarpıştırılacak proton ve antiproton demetleri de büyük kütleli. Ama burada ortaya çıkması beklenen Higgs parçacıklarıyla süpersimetrik parçacıkları düzenli olarak incelemek ve duyarlı ölçümler yapmak isteyen fizikçiler, proton çarpışmalarının bu duyarlı ölçümlere izin vermediği görüşünde. Muon yandaşlarına göre, proton çarpışmalarında ortaya çıkan çok sayıda serbest kuark ve gluon, ürün yumağını çok karışık hale getiriyor. Hızlandırıcı halkalarında elektronların saçtığı sinkrotron ışınımıysa, elektron çarpışmalarının tam potansiyeli için çok pahalı doğrusal hızlandırıcılar gerektiriyor. Muonlarsa, bir elektron hızlandırıcısının avantajını, doğrusal hızlandırıcıya gerek bırakmadan sağlıyor. Çok daha az düzeydeki sinkrotron ışınımı, bu parçacıkların, görece küçük çaplı halkalarda hızlandırılmasına olanak tanıyor. Hatta 1 TeV gücündeki bir muon hızlandırıcısı, çok az bir

harcamayla, varolan laboratuvarlardan birinin arazisine kurulabiliyor, varolan altyapıyı paylaşabiliyor. Parçanın ağırlığı nedeniyle de çarpışmalarda ortaya çıkacak Higgs parçacıklarının sayısı, elektron çarpışmalarına göre çok fazla. Bu nedenle, yandaşları, Muon hızlandırıcılarını "potansiyel Higgs fabrikaları" olarak görüyorlar. Ancak Fermi araştırmacıları, muonu üretmenin ve kontrol etmenin kolay olmadığını da kabulleniyorlar. Muonlar doğada, elektron ve nötrinoya bozunmadan ancak saniyenin yüzbinde biri sürelerde varolabiliyorlar. Dolayısıyla muon hızlandırıcısı tasarımlarında ilk adım, protonları sıvı metal bir hedefe çarptırarak, pion denen kuark ve anti-kuark çiftleri elde etmek. Pionlar daha sonra muonlara bozunuyor. Işın kritik kısmı bundan sonra. Bunların ömrünü uzatmak gerek. Yolu da, bunları "soğutmak"; daha doğrusu, hepsini aynı hızla hareket eden bir demet durumuna getirmek. Ancak bundan sonra muonlar ışık hızına yakın düzeylere kadar hızlandırılıyor ve Einstein'ın zamanın genişlemesi ilkesi uyarınca ömürleri uzuyor.

İster CERN'de ortaya çıkacak olsun, ister Fermilab'da; ister elektronların çarpışmasından, ister protonların, isterse de müonların çarpışma enkazlarında görülsün, Higgs bozonu artık avlarına yaklaşmanın heyecanı içindeki fizikçilerin nişangahına girmek üzere. Avın ele geçmesi, 20. yüzyıl fiziğinin görkemli başarılarının oturduğu kuramsal temeli güçlendirecek. Ama Higgs bozonu bu sefer de elden kaçarsa ne olur? Yanıt süpersimetri kuramcısı Joe Lykken'den geliyor: "2005 yılına kadar beklerim. Higgs ortaya çıkmazsa kütüphaneye gider yeniden fizik çalışmaya başlarım"!...

Rahit Gürdilek



Konu Danışmanı: Tekin Dereli  
Prof. Dr. ODTÜ Fizik Bölümü

Kaynaklar  
Veltman, M. J. G., "The Higgs Boson" Scientific American, Kasım 1986  
Wilczek, F., "Masses and Molasses" New Scientist, 10 Nisan 1999  
Glanz, J., "Will the Higgs Particle Make an Early Entrance?" Science, 25 Haziran 1999  
Hellemans, A., "Physicists Dream of a Muon Shot", Science, 9 Ocak 1998  
Kestenbaum, D., "Reports Call for New Super-Accelerator", Science, 27 Şubat 1998  
[http://www.fnal.gov/directorate/public\\_affairs/higgs/higgs\\_fnews.html](http://www.fnal.gov/directorate/public_affairs/higgs/higgs_fnews.html)  
<http://lutece.fnal.gov/Drafts/Higgs.html>  
<http://www.phy.uct.ac.za/courses/phy400w/particle/higgs.5.htm>  
<http://www.bowdoin.edu/dept/physics/astro.1998/astro01/longshot.html>  
[wysiwg/628/http://delphi.web.cern.ch/~offline/physics/delphi-detector.html](http://wysiwg/628/http://delphi.web.cern.ch/~offline/physics/delphi-detector.html)  
[wysiwg/495/http://cerncourier.com/main/article/39/8/12/1](http://wysiwg/495/http://cerncourier.com/main/article/39/8/12/1)  
<http://www.cern.ch/Public/ACCELERATORS/LHCacc.html>  
<http://www.lip.pt/outreach/docs/cms2/p4.htm>