

Protonun Yaşam Gizi

Proton, görünüşte evrendeki en sıradan parçacık. Hesaplanan sayısı, yalnızca kendi gökadamızda bile 10^{68} kadar. Evreni dolduran uçsuz bucaksız hidrojen bulutları, aslında birer proton bulutu bile sayılabilir. Çünkü en hafif ve en bol element olan hidrojen, artı yüklü bir proton ve eksi yüklü bir elektrondan yapıldır. Evrendeki tüm protonları da, elektronunu yitirmiş, iyonize olmuş hidrojen sayabilirsiniz. Böylesine sıradan bir madde, nasıl oluyor da fiziğin en zor problemlerinden biri olma özelliklerini koruyor? Ömrü nedeniyle... Proton gibi sıradan bir parçacık olan, ve onunla birlikte daha ağır atomların çekirdeklerinde bulunan nötron, serbest kaldığında ancak 10 dakika kadar bozunmadan kalabiliyor. Gelgelelim protonların en az 12 milyar yıl önce büyük patlamayla ortaya çıkmış olmalarına karşın, şimdiye değin bir tekinin bile bozunduğu görülmemiş. Anlaşılan daha uzun süre de görülemeyecek; eğer bazı fizikçilerin hesapları doğruysa, protonun ortalama yaşam süresi trilyon kere trilyon kere trilyon kere trilyon kere trilyon kere trilyon (10^{72}) yıl. Ama merak etmeyin; başkaları, bu sürenin 10 milyar kere trilyon kere trilyon yıl olduğunu söylüyorlar!..

RAHATLAYABİLİRİZ; evrendeki tüm yıldızlar söndükten, karanlık gök-adalar koca karadeliklerce yutulduktan sonra bile boşlukta, tanıdığımız evrenden bir anı olarak, bir miktar başıboş proton kalacak. Karanlıklara gömülüp yok olmadan evrenin sınırlarını çözmek isteyen fizikçilerin rahatlayacak halleri yok. Doğanın temel kuvvetlerini özdeşleştirmek için kurdukları kuramsal modellerin tutarlılığı için, protonun bozunması, ve daha da iyisi, bozunmuş birkaç protonun gözlenmesi gerekiyor. Doğanın temel kuvvetlerini özdeşleştirmek, daha açık bir söylemle bunların aynı temel gücün değişik görünüşleri olduğunu göstermek; böylece evrendeki tüm olayları açıklayacak, her soruyu yanıtlayabilecek, her durum için geçerli tek bir kuram elde etmek, fizikçilerin düşü. Çünkü kendi alanlarında son derece başarılı iki kuram, tanıdığımız boyutlardaki evrende geçerli kütleçekimini açıklayan genel görelilikle, atomlar ve bunları oluşturan

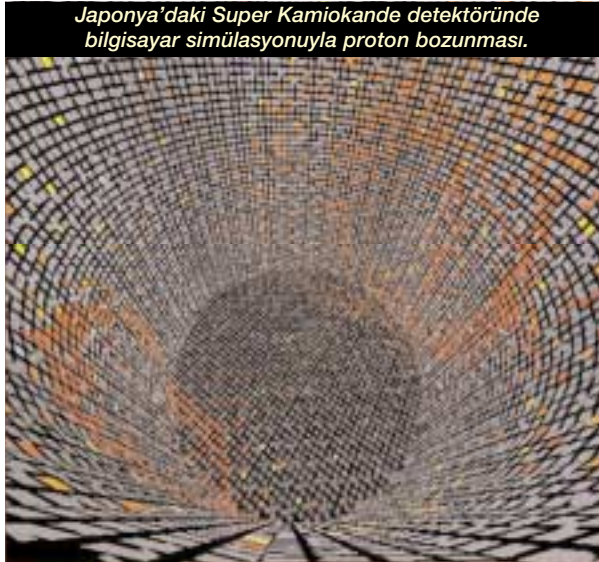
parçacıkların ve kuvvetlerin etkileşimini açıklayan kuantum mekaniği, birbirleriyle bağdaşmıyor. Fizikçiler, aradıkları her şeyin kuramı (Theory Of Everything – TOE) için işe, atomaltı dünyadan başlamış bulunuyorlar. Bu dünyada etkin olan kuvvetler, atom çekirdeklerini oluşturan parçacıkları bir arada tutan şiddetli çekirdek kuvveti, atomları bir arada tutan (çekirdeklerle, çevrelerinde dönen elektronları bağlayan) elektromanyetik kuvvet ve atomların bozunmasına yol

açan zayıf çekirdek kuvveti. 1960'lı yıllarda fizikçiler, elektromanyetik kuvvetle, zayıf çekirdek kuvvetinin, "elektrozayıf" adlı daha kapsamlı bir kuvvetin parçası olduğunu kanıtlamayı başardılar. Elbette bundan sonra tüm çabalar, şiddetli çekirdek gücünü de bu birliğe katarak en azından mikroskopik dünyadaki etkileşimleri tümüyle açıklayabilecek tek bir kuram elde etme üzerinde yoğunlaştı. Her şeyin kuramı için bir ilk adım olacak bu ara hedef, fizikçilerce Büyük Bir-

leştirme Kuramı (Grand Unified Theory – GUT) olarak tanımlanıyor. Ancak günümüze değin bu konuda kuramsal öngörülerin dışında elle tutulabilir bir gelişme sağlanabilmiş değil. Nedenine gelince, şiddetli çekirdek kuvvetiyle, elektrozayıf kuvvetin ancak büyük patlamanın ilk anlarında var olabilmiş enerji (sıcaklık) düzeylerinde birleşebileceğini gösteren hesaplar.

Ancak GUT için geliştirilen modeller, deneysel darboğazların dışında ve belki de daha önemli olarak kuramsal bir engelle takıldı. GUT kura-

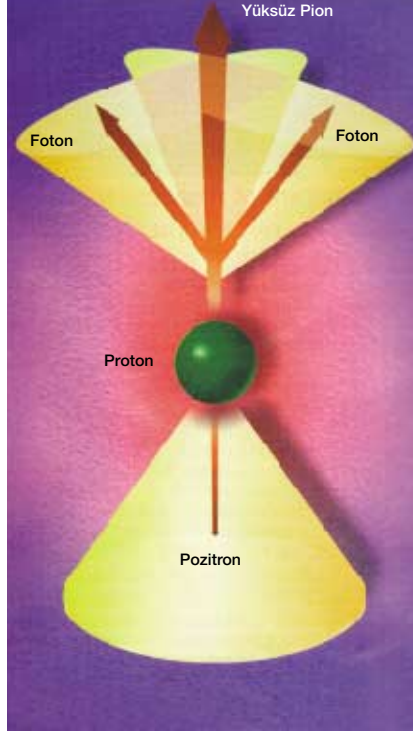
Japonya'daki Super Kamiokande detektöründe bilgisayar simülasyonu ile proton bozunması.



mının ussal bir sonucu olarak, protonların bozunması ve atomların dağılması gerekiyordu. Atomaltı dünyadaki parçacık ve etkileşmeleri başarıyla açıklayan standart modele göre, şiddetli kuvvetten etkilenen tüm maddenin, zayıf kuvvetle ilgili olan, elektron ve nötrino gibi parçacıkların oluşturduğu lepton grubu maddelerle bir biçimde özdeşleşmesi gerekli. Yani, birbirinden çok farklı parçacıkların birbirlerine dönüşebilmeleri gerekli. O halde, kuarklar leptonlara dönüşebiliyorsa, kuarklardan yapılmış tüm parçacıkların, bu arada protonların da leptonlara dönüşebilmesi gerek. Bu da, o zamanki yaygın inanışın tersine, protonların da kararsız oldukları ve bozunabilecekleri anlamına geliyordu. İlk kez, elektrozayıf kuvvetin kuramcılarında Abdus Salam'ın ortaya attığı bu görüş, fizik dünyasında yeterli ilgi görmedi. Daha sonra, Abdus Salam'la birlikte Elektrozayıf kuramını geliştiren ve Nobel ödülünü paylaşan Amerikalı fizikçi Sheldon Glashow da, GUT çalışmalarında protonun bozunması gerektiğini, simetri modellerinden yararlanarak ortaya koydu. Glashow'un vardığı sonuç, artı elektrik yüklü protonun, standart modelde elektronun karşı parçacığı olan ama artı elektrik yük taşıyan bir pozitron ile, yüksüz bir pion parçacığına dönüşmesi gerektiği yolundaydı. Ama bu da deneysel çalışmaları yeterince harekete geçirmekte başarısız kaldı.

Glashow'un kullandığı simetri modeline göre, protonun bozunma süreci, elektrozayıf ve şiddetli çekirdek kuvvetlerinin özdeşleşebileceği GUT enerjisiyle ilişkiliydi. Ancak, birleşme için gereken 10^{29} K sıcaklık, daha önce de değinildiği gibi, deneysel fizikçilerin hayallerinin bile erimi dışında bir enerji düzeyi. Üstelik Amerikalı fizikçinin hesapları, protonun ortalama ömrünün 10^{31} (10 katrilyon kere katrilyon) yıl olduğunu gösteriyordu.

Peki, protonun ömrü böyle akıl almaz derecede uzunsa, ve de evrenimizi oluşturan büyük patlama'dan bu yana yalnızca (!) 12 milyar yıl geçtiyse, araştırmacılar, neyi arıyorlar? Protonun ömrünü deneysel olarak ölçmek mümkün mü? Fizikçilere göre mümkün; çünkü proton da, eğer bozunuyorsa, bozunan öteki radyoaktif maddeler gibi rastlantısal bir süreç içinde bozun-



Süpersimetri modeli geliştirilmeden, protonun bir pozitron ile yüksüz bir pion bozunacağı, pionun da daha sonra iki fotona dönüşeceği düşünülüyordu.

yor olmalı. Bu durumda her protonun, herhangi bir yılda bozunması için 10^{31} 'de 1 olasılık var. Üstelik evrende öylesine çok sayıda proton var ki, bu ilk bakışta sanıldığı gibi uzak bir olasılık değil. Yapılacak şey, 10^{31} protonu bir araya getirerek, içlerinden birinin bozunmasını beklemek. Bu da yapılamayacak bir şey değil. Bu kadar çok sayıda proton, yüzme havuzu büyüklüğünde bir tank içinde bir araya getirilebilir. Ama neredeyse 20 yıla yakın bir süre geçmesine karşın, dünyanın çeşitli yerlerinde yürütülen deneylerde, tek bir protonun, pozitron ve pion'a dönüşmesine tanık olunamadı. Sonuçta, protonun ortalama ömrünün, 1000 kat fazla olması gerektiği kanısına varıldı. Bu arada, GUT konusundaki kuramsal çalışmalar da giderek artan ölçüde, süpersimetri denen bir modele dayandırılmaya başlandı. Bu model, birbirlerinden temel farklarla ayrılan iki tür parçacığın, fermiyon denen madde parçacıklarıyla, kuvvet taşıyan (elektromanyetik kuvveti ileten foton, zayıf kuvvetin taşıyıcıları $W(+)$, $W(-)$ ve $Z(0)$ bozonları ile, şiddetli çekirdek kuvvetinin aracısı 8 ayrı tür gluon) parçacıkların birbirlerine dönüşebilmelerini öngörüyor. Ancak bu modelin matematiği, fermiyon olsun,

bozon olsun bilinen tüm parçacıklar için, kuramsal birer "süper" kardeş öngörüyor. Örneğin elektronun süperkardeşi "selektron", kuarkınki "skuark", fotonun "fotino" vb. Bu ek parçacıkların kuramsal varlığı, elektrozayıf ve şiddetli çekirdek kuvvetlerinin özdeşleşeceği GUT enerjisinin düzeyini de 30 kat artırıyor. Kurama göre protonun ömrü de bu enerji düzeyiyle çok yakından ilgili (GUT enerjisinin 4. kuvveti). Böyle olunca, şimdiye kadarki olasılık hesaplarının öngörüsünün tersine, hiçbir proton bozunması olayı gözleyememiş fizikçiler biraz rahatlıyorlar; çünkü artık yeraltı havuzlarındaki protonlardan birinin bozunması olasılığı daha düşük: Yılda $1/10^{34}$. Yani proton bozunmasının görünmemesi nedeniyle kuramlarını yanlış diye pencereden dışarı atmaları gerekmiyor.

Ancak süpersimetri kuramı, neden hiç proton bozunmasına rastlanmadığı sorununa rahatlatıcı bir yanıt getirirken, bunun yanı sıra rahatsızlık yaratan başka bir sorun çıkarıyor; süpersimetrinin öngörülleri temel alınacak olursa, şimdiye değin proton bozunmasının izleri için yanlış bir yere bakılmış. Kurama göre protonun, bir pozitron ve nötr pion'a bölünmek yerine, pozitif kaon diye adlandırılan bir maddecikle bir antinötrininin bileşimine dönüşmesi gerekiyor. Sorun bununla da bitmiyor. Protonun bu yeni bozunma ürününe dönüşebilmesi için Higgs renk üçlüsü kütleli denen bir değer gerekli. Fizikçilerin çoğu, bu kütleli, proton kütleli 1000 katından fazla olamayacağına inanıyor. Sorun, bu kütle ne kadar küçük olursa, protonun ömrünün de o ölçüde kısa olması gerektiği. Yaklaşık 1000 proton kütleli karşılık gelen değer formüller uygulanınca da protonun yaşam süresi 500 000 yıl gibi, gözlemlerle, hatta kendi varlığımızla ters düşen bir değere iniyor. Eğer proton 500 000 yılda bozunuyor olsaydı, evrenimizin şimdiye değin yok olması, ya da çok farklı bir yapı kazanması, sonuçta da bizlerin ortaya çıkmamız gerekmez miydi?

Proton bozunmasının şimdiye değin belirlenememiş olmasını açıklamak için Higgs renk üçlüsü kütleli için öngörülen değeri trilyonlarca kat artırmanın bir yolunun bulunması gerekiyor. Princeton Üniversitesi İleri



Araştırmalar Enstitüsü fizikçilerinden Frank Wilczek, bu sorunun çözülebileceği konusunda umutlu. Wilczek, güvenini parçacıklara kütle kazandırdığı varsayılan Higgs parçacıklarına bağlamış görünüyor. Ama Wilczek, meslektaşı Stefano Dimopoulos ile 1980'lerde üzerinde çalıştığı bir etki sayesinde, Higgs renk üçüzü kütlelerinin, gerektiği düzeye kadar yükseltilebileceği, böylece sorunun çözülebileceği görüşünde.

Başka bazı fizikçilerse, proton bulunmasının ancak daha üst bir özdeşleştirme düzeyinde, mikrodünyada etken üç kuvveti kütleçekimle özdeşleştiren her şeyin kuramı çerçevesinde anlaşılabilirliği görüşünü savunuyorlar.

Cornell Üniversitesi (ABD) kuramcılarında Henry Tye, "kütleçekimini öteki kuvvetlerle özdeşleştirmenin bildiğimiz tek yolu da, süpersicim kuramı" diyor. Bu kurama göre tanıdığımız parçacıklar, aslında uzay-zamanda birbirleri üzerine kıvrılmış ek boyutlar içinde titreşen ve titreşimlerinin değişik biçimleriyle parçacıklara tanıdığımız özelliklerini veren tek, iki, hatta üç boyutlu, neredeyse sonsuz küçüklükte sicimlerden oluşuyor. Süpersicim kuramına göre, atomaltı düzeyde etken kuvvetlerle kütleçekiminin birleşmesini önleyen çok küçük ölçeklerdeki kuantum çalkantıları, sicimlerin titreşim özellikleri nedeniyle ortadan kalkıyor ve özdeşleşme gerçekleşiyor. Ancak burada da yeni bir sorun karşımıza çıkıyor. Kuramın öngörülerine göre protonun ömrü, süpersimetride olduğu gibi özdeşleşme enerjisi düzeyinin 4. kuvvetiyle değil, 24. kuvvetiyle artıyor. Bu da protonun ortalama ömrünü 10^{72} yıla çıkartıyor.

Yaşam süresi ister 10^{34} olsun, isterse 10^{72} , bazı fizikçileri düşündüren, protonun kaç yıl yaşayacağı değil, neden bu kadar kararlı olduğu. İsviçre'nin Cenevre kenti yakınlarındaki Avrupa Parçacık Fiziği Laboratuvarı CERN'de 2005 yılında hizmete girecek olan Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (LHC)'nin bu konuya ışık tutması

bekleniyor. 1.3 milyar dolara mal olacak hızlandırıcıda proton ve antiproton demetleri, 27 kilometre uzunluğundaki tünellerde, süperiletken mıknatıslar yardımıyla ters yönlerde hızlandırıldıktan sonra kafa kafaya çarpıştırılacak. Fizikçiler, dört dev detektörle inceleyecekleri çarpışma ürünleri arasında, ünlü Higgs parçacığının yanı sıra, protonun yapısına da ışık tutacak izler bulabilmeyi umuyorlar.

Aslında protonun yapısıyla ilgili düşünceler, parçacığın ilk kez 1919 yılında Ernest Rutherford tarafından bulunmasından bu yana sürekli değişti. Rutherford'un "maddenin bölünemez temel bir yapıtaşı" olarak tanımladığı protonun, 1930'larda gerçekleştirilmeye başlanan ilk çarpıştırma deneyleri sonunda bir yapısı ve kütlesi olduğu ortaya çıktı. Deneyler sürdükçe, protonun, varlığı sezilen, ancak açıklanamayan bazı alt parçalardan oluşabileceği kuşkusu güçlenmeye başladı. Nihayet 1960'larda California Teknoloji Enstitüsü araştırmacılarından Murray Gell-Mann ve eski öğrencisi, CERN araştırmacısı George Zweig, protonların, nötronların ve mezon denen kısa ömürlü parçacıkların hepsinin kuark adı verilen temel parçacıklardan oluştuğunu ortaya koydular. Standart modelin temelini oluşturan bu tabloya göre, proton ve nötronlar üçer kuarktan, mezonsa birer kuark ve birer de antikuarktan oluşuyor. Protonu oluşturanlar iki "yukarı" kuark ve bir de "aşağı" kuark.

Temel Parçacıklar			
Leptonlar Kuarklar	u	c	t
	d	s	b
	ν_e	ν_μ	ν_τ
	e	μ	τ
Kuvvet taşıyıcılar	γ		
	g		
	Z		
	W		
I II III			
Maddenin üç kuzusu			

Nötrondaki bileşimse bunun tam tersi: iki aşağı kuark ve bir yukarı kuark. Kuarkların her biri kesirli bir elektrik yüküne sahip. Bu yüklerin toplamları, protona sahip olduğu pozitif elektrik yükünü verirken, nötronu yüksüz bırakıyor. Bu kuarkları bir arada tutan şiddetli çekirdek kuvveti, gluon adlı sanal parçacıklarla taşıyor.

Bu düzgün model, standard modelin pek çok sorununu çözsede yeterliliği kısa sürede anlaşıldı. CERN'de yürütülen hızlandırıcı deneylerinde, proton içinde kuarkların yanı sıra antikuarkların varlığı da belirlendi. Üstelik üç kuarkın aralarında değiş tokuş ettikleri gluonların da parçalanarak, daha başka gluonlar ya da kuark-antikuark çiftleri oluşturduğu meydana çıktı. Anlaşılan, proton içindeki üç temel kuark, çevrelerindeki boşluğu etkileyerek, kısa ömürlü gluon, kuark ve antikuarklardan oluşan çalkantılı bir deniz yaratıyorlardı.

Almanya'nın DESY parçacık fiziği laboratuvarıyla, ABD'nin Fermi Ulusal Laboratuvarı'nda 1990'lı yıllarda başlatılan ve günümüzde de sürdürülen deneyler, protonun yapısının ve iç dinamiğinin sanılandan da karmaşık olduğunu, üç temel kuarkın oldukça yüksek momentum taşımalarına karşılık daha alt momentum düzeylerinde ortaya çıkan "deniz" kuarklarıyla gluonların sayısının büyük ölçüde arttığını ortaya koydu. Deneyler, ayrıca "deniz" kuarkları içinde, görece daha hafif olan yukarı, aşağı ve garip kuarklar lehine bir dengesizlik bulunduğunu, daha ağır kütleli olan üst, alt ve garip kuarklarına daha güç ortaya çıktıklarını ortaya koymuş bulunuyor. Bir dengesizlik de, proton denizi içindeki kuarklarla gluonlar arasında ve daha çok gluonlar lehinde.

Araştırmacılar, daha güçlü hızlandırıcılarda yapılacak yeni deneylerle, bir zamanlar en basit yapıya parçacık gibi görünen protonun karmaşık ve hareketli iç dünyasının daha net bir görüntüsünün ortaya çıkacağını umuyorlar.

Kimbilir, proton, akıl almaz uzunluktaki ömrünü, yüzeysel basitliğinin gizlediği bu hareketli dünyasına borçlu.

Raşit Gürdilek

Kaynaklar
Matthews, R., "Rock Solid" New Scientist, Mayıs 1999
Watson, A., "Exploring th Proton Sea", Science 22 Ocak 1999