

Protonun Gizi Çözülüyor

Maddenin atomlardan yapıldığını hepimiz biliriz. Atomların da bir çekirdek ve onun etrafında dolaşan elektronlardan oluştuğunu da bilmeyen hemen hemen yoktur. Hatta çoğumuz çekirdeğin protonlar ve nötronlardan meydana geldiğini de bilir. Peki ya protonların ve nötronların iç yapısında ne var? İçinizden bazılarının 'ben bunu biliyorum, bir proton ya da nötronun içinde üç tane kuark vardır' dediğini duyar gibiyim. Bu cevap yanlış değil, bir proton ya da nötronun üç kuarktan oluştuğu doğru. Herhangi bir temel taneciklere giriş kitabına bakan herkes şu basitleştirilmiş resmi görür: Bir proton iki tane 'up' bir tane 'down' kuarktan, bir nötron ise bir tane 'up' iki tane 'down' kuarktan oluşur. Ancak bu görüntü gerçeğin tam olarak net bir fotoğrafını yansıtmıyor. Gerçek çok daha karmaşık ve çok daha ilginç.

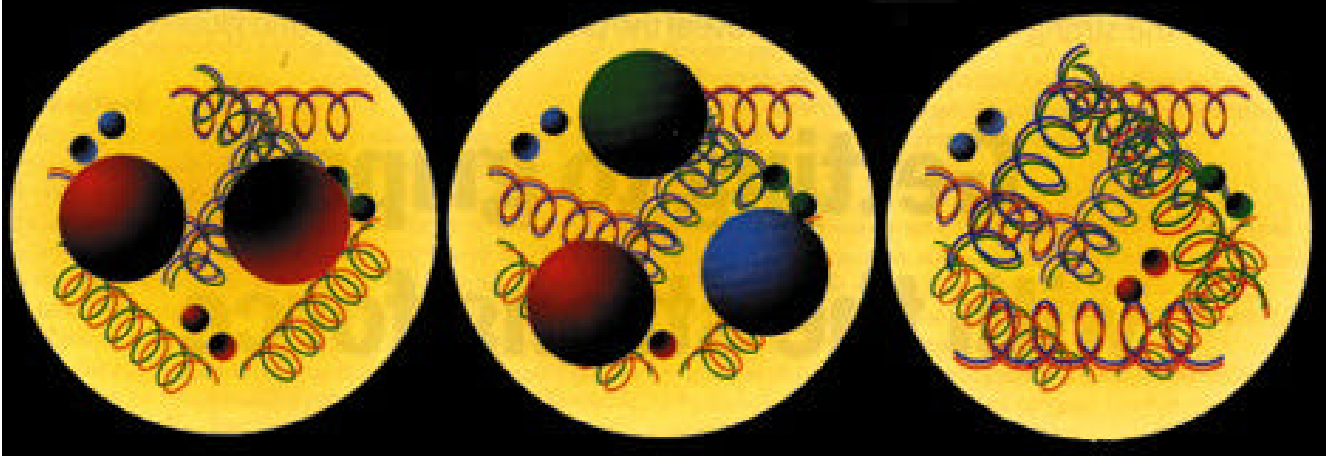
Bir proton üç kuarktan oluşur fakat bu üç kuark protonun toplam kütlelerinin yalnızca %2'sini meydana getirir. Bu kuarklar protonun içinde ışık

| Temel Parçacıklar | | | |
|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| u Yukarı | c Tilyum | t Üst | γ Foton |
| d Aşağı | s Garip | b Alt | g Gluon |
| ν_e Elektron nötrinosu | ν_μ Miyon nötrinosu | ν_τ Tau nötrinosu | Z Z bozonu |
| e Elektron | μ Miyon | τ Tau | W W bozonu |

hızına yakın bir hızla sürekli hareket ederler ama başka parçacıklardan oluşan bir bulutun içine hapsolmuş durumdadırlar. Protonun kütlelerinin geri kalan kısmını oluşturan bu bulutun içindeyse çok kısa bir süre ortaya çıkıp daha sonra kaybolan başka kuarklar ve en önemlisi, kuarkları bir arada tutan kuvveti ileten gluonlar vardır. Gluonlar kütsesizdir ama protonun enerjisinin çoğunu onlar oluşturur. Dolayısıyla protonun kuarklardan çok gluonlardan oluştuğunu söylemek daha doğru olacaktır.

Protonların, nötronların ve hadron adı verilen diğer bütün parçacıkların içindeki bu zengin yapıyı açıklayan kurama kuantum kromodinamiği adı veriliyor. Bu bir tür kuantum alan kuramı. Birkaç cümle ile kuantum alan kuramı şöyle anlatılabilir: Kütle ve enerji Einstein'ın $E=mc^2$ formülüne göre birbirine çevrilebilir. Boş uzay gerçekte o kadar da boş değildir; saniyenin 10 milyar kere trilyonda biri (10^{22}) ortaya çıkıp sonra kaybolan parçacıklarla doludur. İki temel parçacık aralarında kuantum alanını ileten parçacık yani "kuantum alanının kuantumu" alışverişi yaparak etkileşirler. Kuantum renk dinamiğinde temel parçacıklar kuarklardır ve kuarklar arasındaki etkileşimi iletenlerse gluonlardır.

Kuarklar 1963 yılında M. Gell-Mann ve G. Zweig adlı fizikçiler tarafından matematiksel bir fikir olarak ortaya atıldı. 1960'lı yılların sonlarına doğru Stanford Doğrusal Hızlandırıcısı'nda yapılan deneyler kuarkların gerçek birer varlık olduklarını ortaya koydu. Bu deneyler ortaya başka il-



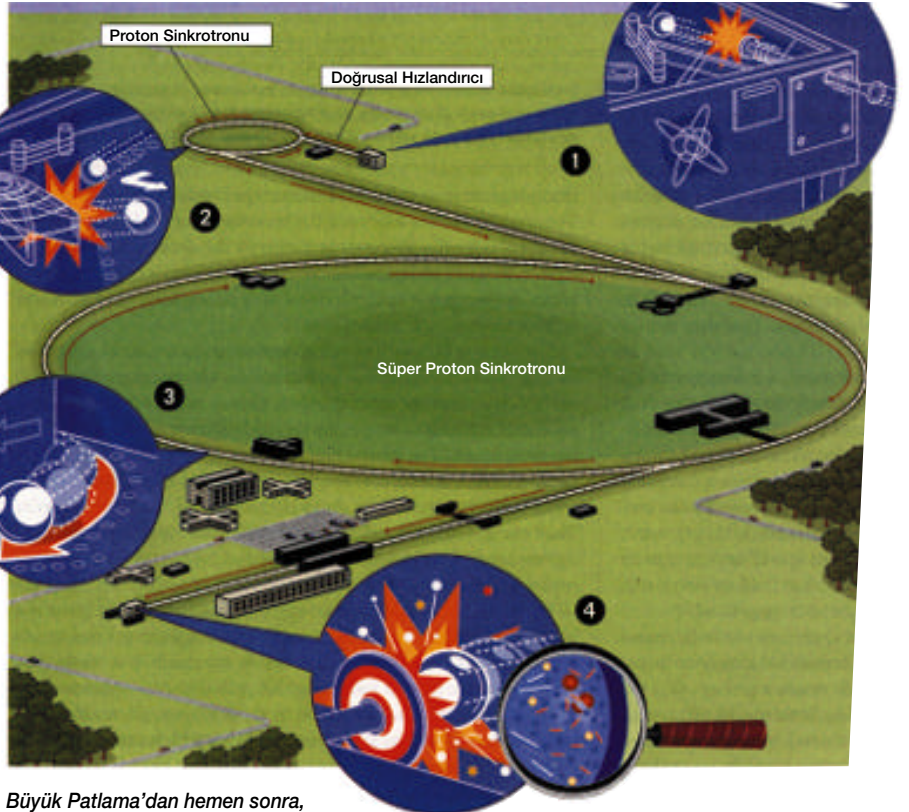
Kuantum Kromodinamiğine (Kuantum Renk Dinamiği) göre altı değişik kuark var. Bunlar 'yukarı', 'aşağı', 'garip', 'tılsım', 'alt' ve 'üst' kuarklar. Kütleleri birbrinden çok farklı. En hafifleri olan yukarı ve aşağı kuarkların kütleleri protonun binde biri yakınlarındayken, en ağır olan üst kuarkın kütlesi, protonun 190 katı kadar. Her bir kuark üç 'renk yükü'nden birini taşır. Bu üç renk yüküne kırmızı, yeşil ve mavi adları verilir. Bu renk yüklerinin bildiğimiz renklerle hiçbir ilgisi yoktur. Sadece fizikçiler tarafından verilmiş birer addır. Her bir kuarka karşılık gelen bir antikuark vardır ve her bir antikuark bir antirenk taşır. Güçlü etkileşimi ileten parçacıklar olan gluonların her biri bir renk, bir de antirenk yükü taşır. Böylece sekiz değişik gluon vardır. Kuarklar ve gluonlar etkileşime girdikçe renk yüklerini değiştirirler. Örneğin, kırmızı yük taşıyan bir kuark, kırmızı ve antiyeşil yük taşıyan bir gluon atıp, yeşil yük taşıyan bir kuark haline dönebilir. Renk yüklerinin belli bileşimleri, renksiz olarak adlandırılır. Doğada gözlenen parçacıklar renksizdir yani, toplam renk yükleri sıfırdır. Bu renksiz parçacıklara 'hadron' adı verilir. Hadronların birkaç değişik türü vardır: (a) Mezonlar, belli bir renk yükünü taşıyan bir kuarkla, o renk yükünün tersini taşıyan herhangi bir antikuarktan oluşur. Örneğin, kırmızı yukarı kuarkla antikırmızı garip antikuark gibi. (b) Baryonlar, farklı renk yükleri taşıyan üç kuarktan oluşur. Antibaryonlar, aynı şekilde antikuarklardan oluşur. Kuantum renk dinamiği sadece gluonlardan oluşup renksiz olan parçacıkların varlığını da öngörmektedir. Resimdeki büyük kuarklar, yukarıda bahsettiğimiz kuarklardır ve 'temel' ya da 'valens' kuarklar olarak adlandırılırlar. Küçük olarak gösterilmiş olan kuarklarsa, sürekli ortaya çıkıp kaybolan 'dinamik' kuarklardır. Yay şeklindeki çizgiler ise gluonları temsil eder.

ginç somuçlar da çıkardı. Bunlardan en ilginç kuarklar arasındaki etkileşim kuvvetinin (güçlü etkileşim olarak adlandırılır) kuarklar birbirine yaklaştıkça zayıfladığıdır. Kuarklar birbirlerine ne kadar yakınsa aralarındaki etkileşim de o kadar zayıftır. Buna asimptotik özgürlük adı verilir. Bunun tersi olan durumdaysa kuarklar birbirlerinden ne kadar uzaklaşırlarsa aralarındaki etkileşim kuvveti de o denli artar. Aynı durum gluonlar için de söz konusudur. Günlük yaşamımızda gözlediğimiz kuvvetler, elektromanyetik etkileşim ve yerçekimi, uzaklık arttıkça azalan kuvvetlerdir. Güçlü etkileşimde durum tam tersidir. Bu yüzden kuarklar ve gluonlar hiçbir zaman tek başlarına gözlenemezler.

Bu garipliğin nedeni aslında gluonlardır. Protonların yapısını açıklayan kuantum renk dinamiği, atomların yapısını açıklayan kuantum elektrodinamiğine çok benzer. Fakat arada çok temel bazı farklılıklar vardır. Kuantum elektrodinamiğinde elektrik yüklü parçacıklar arasındaki etkileşimi fotonlar sağlar. Fotonlar kendileri yük taşımazlar. Dolayısıyla fotonlar birbirleriyle etkileşmezler. Kuantum renk dinamiğinde renk yükü taşıyan parçacıklar arasındaki etkileşimi gluonlar sağlar. Fotonlardan farklı olarak gluonların kendileri de renk yükü taşırlar ve dolayısıyla birbirleriyle etkileşirler. Gluonların bu birbirleriyle olan etkileşimi kuarkın etrafındaki alanın kuarktan uzaklaştıkça daha güçlü görünmesine neden olur. Bu da iki kuark arasındaki uzaklık arttıkça kuvvetinde artması sonucunu doğurur. Protonun var olmasının dolayısıyla atomların ve içinde yaşadığımız evrenin bildiğimiz bu şekliyle var olmasının en temel nedenlerinden biri bu özelliktir.

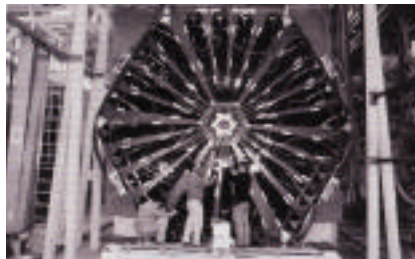
1974 yılında bazı fizikçiler yukarıda bahsettiğimiz protonun büyük ölçüde gluonlardan oluştuğu fikrini ortaya atmışlardı. Bundan yaklaşık yirmi yıl sonra bu yapının doğruluğunu ortaya çıkarmak için yapılmaya başlayan deneyler sonuç vermeye başladı. Almanya'da Hamburg yakınlarındaki HERA parçacık hızlandırıcısından gelen haberler bu yapının doğru olduğu yönünde.

Kuantum renk dinamiğinin öngördüğü bir başka ilginç madde biçimi



Büyük Patlama'dan hemen sonra, yaklaşık 1 mikrosaniye süresince ataomalı parçacıklar "kuark-gluon plazması" denen özel bir durumda serbest bir biçimde varoldular. Daha sonra maddeyi oluşturan protonlar içine kapandılar. Avrupa Parçacık Fiziği Laboratuvarı CERN'de kısa süre önce gerçekleştirilen bir deneyde, fizikçiler dev bir hızlandırıcıda kurşun çekirdeklerini çarpıştırarak kuark-gluon plazmasını yeniden oluşturmaya çalıştılar. 1) Herbiri 208 proton ve nötrondan oluşan kurşun çekirdekleri, CERN'deki Doğrusal Hızlandırıcı'ya yükleniyor. 2) Çekirdekler önce Proton Sinkrotronu içinde dolaştırıldıktan sonra Süper Proton Sinkrotronu'na yönlendiriliyor. 3) Burada çekirdekler ışık hızının %99,9'una kadar hızlandırılıyor ve hızlandırıcı içinde, saniyede 40 000 tur yapıyorlar. 4) Sonunda birçok hedefin bulunduğu özel bir bölmeye yönlendiriliyorlar. Çekirdekler burada son derece ince bir kurşun levhaya çarpıtılıyor. Fizikçiler çarpışma sonucu oluşan parçacıkların izlerini saptayan detektörler aracılığıyla kuark-gluon plazmasını oluşturup oluşturma -madıklarını anlayabiliyorlar. Deney sonuçları, plazmanın oluştuğuna işaret ediyor.

de kuark-gluon plazması. Bir protondan çok daha büyük bir hacmi kapsayan bu plazmanın içinde kuarklar ve gluonlar serbest olarak dolaşırlar. Büyük Patlama'dan saniyenin trilyonda biri kadar bir zaman sonra evrenin bir kuark-gluon plazması halinde olduğu tahmin ediliyor. CERN'deki Süper Proton Sinkrotronu'nda fizikçiler kuark-gluon plazması yaratmaya çalışıyorlar. Bunun için kurşun çekirdeklerini ışık hızının %99,9'una kadar hızlandırıp çarpıştırıyorlar. Çarpışma so-



CERN'de teknisyenler, kuark-gluon plazması kanıtları bulmada kullanılan ve hodoskop denen altı detektörden biri üzerinde çalışıyor - lar. Her hodoskopta, kurşun iyonlarının çarpışması sonucu oluşan parçacıkları izleyen 48 algılayıcı bulunuyor.

nunda protonları ve nötronları eritecek kadar sıcak bir ateş topu elde ediliyor ve bir protondan ya da nötrondan defalarca büyük olan bu topun içinde kuarklar ve gluonlar serbestçe dolaşabiliyorlar. Kuantum renk dinamiği kuark-gluon plazmasının enerji yoğunluğu belli bir düzeyi geçince var olması gerektiğini söylüyor. CERN'deki deneyçiler bu plazmanın varlığını kanıtlamak için yıllardır çalışıyorlar. En büyük problem bu plazmanın yaşam süresinin çok kısa olması. Sadece saniyenin milyarda birinin milyarda birinin onbinde bir kadar bir süre var olabiliyor. Dolayısıyla gözlenmesi çok zor. Son birkaç yıldır CERN'deki fizikçiler kuark-gluon plazmasının varlığına ilişkin önemli ipuçları bulduklarını söylüyorlar. Ama kesin kanıtın gelmesi için bir süre daha deneylerin devam etmesi gerekiyor gibi.

Yusuf İpekoğlu

Kaynaklar
Davies, C., Collins, S., "Getting to grips With the Strong Force",
Physics World, Ağustos 2000
Kunzig, R., "Gluons", Discover, Haziran 2000