

En Yoğun Madde

Evrenimizdeki galaksiler arasında ne kadar çok boşluk var, oysa Dünya diye adlandırdığımız gezegenimizin her noktası maddeye kaplanmış durumda. Aynı gözlemi, vücudumuzdaki atom çekirdeklerinden birinin üstünde yaşayan küçük cin, onu çevreleyen madde için yapabilir! Ne de olsa bir atomun çok küçük bir kısmı maddeyle dolu, gerisini boşluk olarak adlandırıyoruz. LHC'nin hızlandırdığı parçacıklar sayesinde bu boşluğu da doldurup en yoğun maddeleri inceleme şansını yakalayacağız.

Parçacık fiziği, yalnızca yeni parçacıkların keşfiyle değil, hali hazırda keşfedilmiş olanların davranışlarıyla da ilgilenir. Parçacıkların davranışlarından kasıt, birbirleriyle etkileşimleri ve bunun sonucunda ortaya çıkan değişimlerdir.

Newton'dan bu yana, etkileşim kavramını algılamak biçimimiz oldukça değişti. İlerleyen teknolojinin eşliğinde giderek daha küçük boyutlarda gözlemlene kapıların açılması, parçacıkların doğasını açıklayan farklı yaklaşımlar icat etme mecburiyetini doğurdu.

Bugün varlığından haberdar olduğumuz dört çeşit temel etkileşim var: Kütle çekim kuvveti, elektromanyetik kuvvet, "zayıf" kuvvet ve "güçlü" kuvvet. Bu kuvvetlerden ilk ikisini günlük hayatımızda tecrübe ederken, diğer ikisini yalnızca atomaltı etkileşimlerde görüyoruz. Yazımızda bu kuvvetlerden güçlü kuvvet üzerinde duracağız. Elektromanyetik kuvvetse, çok iyi bildiğimiz ve yaşantımızda en büyük rol oynayan kuvvet olduğundan karşılaştırma noktamız olacak.

Elektromanyetik kuvveti hem büyük (makro) boyutlarda (bulutlar oluşurken, organlarımız işlerken, fotoğrafçılar sanatlarını icra ederken veya fotoğraf makinelerinin pilini şarj ederken) hem de çok küçük (mikro) boyutlarda (elektronlar atomun etrafında dolaşırken, birbirleriyle çarpışırken, ışık

yaratıldığında veya soğurulduğunda) çok iyi anlayıp açıklayabiliyoruz. Ancak, "güçlü" kuvvet hakkında çok az şey biliyoruz. Bunun bir sebebi, güçlü kuvvetin yalnızca çekirdek altı etkileşimlerde kendini göstermesi. Başka bir sebep ise, bugün bu kuvvetin kuramını kurmuş olsak bile, bu kuramın pratik hesaplar yapmaya pek izin vermeyen karmaşık bir yapıya sahip olması. Yapabildiğimiz hesaplar, ancak belli koşullarda geçerliliğe sahip ve o koşullar altında bile yalnızca yaklaşık sonuçlar veriyor. Bu durumda, güçlü kuvvet hakkında daha fazla şey öğrenmek deneysel fizikçilere düşüyor.

Güçlü kuvveti bu denli özel kılan nedir? Elektromanyetizmadan en büyük farkı, iki kutuplu tek bir çeşit yük yerine üç farklı yükten oluşması ve buna bağlı olarak ileten taşıyıcı parçacık gluonun, elektromanyetizmanın nötr taşıyıcı parçacığı fotonun aksine, yüklü olmasıdır. Bu farklılığın yarattığı en ilginç sonuç, iki kuark birbirinden uzaklaştıkça artan çekim gücüdür. İki kuarkın arasındaki uzaklık ne kadar artarsa, aralarına o kadar çok gluon girebilir; bunun sonucunda da toplamda sistemin çekimi artmış olur. Kuarklardan biri öbüründen kaçmak istedikçe çekim gücünün artması sonucunda daha çok çekilir ve hiçbir zaman serbest kalamaz.

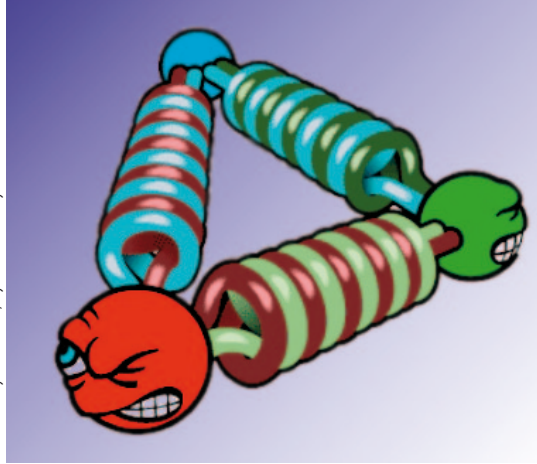
Proton ve nötron gibi, kuarklardan oluşan ve güçlü kuvvete karşı nötr olan parçacıklara “hadron” denir. Başka parçacıklarla çarpışma gibi durumlarda, hadronun içindeki kuarklardan biri aniden enerji kazanıp hadronun içinden çıkmaya yeltenebilir. Dünyadan uzaya gönderilen bir roket gibi, bir şekilde kaçma

enerjisine sahip olan bir kuark, etraftaki gluonlardan bir kısmını kendisiyle beraber sürükler ve bu gluonlar yeni kuarklara dönüşüp ilk kuarkın etrafını bir balon gibi sarar. Hepsi birden yeni bir hadrona dönüşüp yolculuklarına devam ederler. Bu yüzden bir kuarkı hadron dışında görmek mümkün değildir ve kuarkların her zaman hadronların içinde “hapsolduklarını” söyleriz.

O zaman kuarkların serbest hareketlerini gözlemleyebileceğimiz tek ortam, belirli genişlikte bir hacmi, hadronlarla tıka basa doldurduğumuzda kuarkların boşluğa düşmeden dolaşmalarını sağlayabileceğimiz ortamdır. Bu çeşit ortam evrenin oluşumunda bir dönem yaşanmış ve bugün çekirdek çarpışmalarında oluşturulabilen ortamdır.

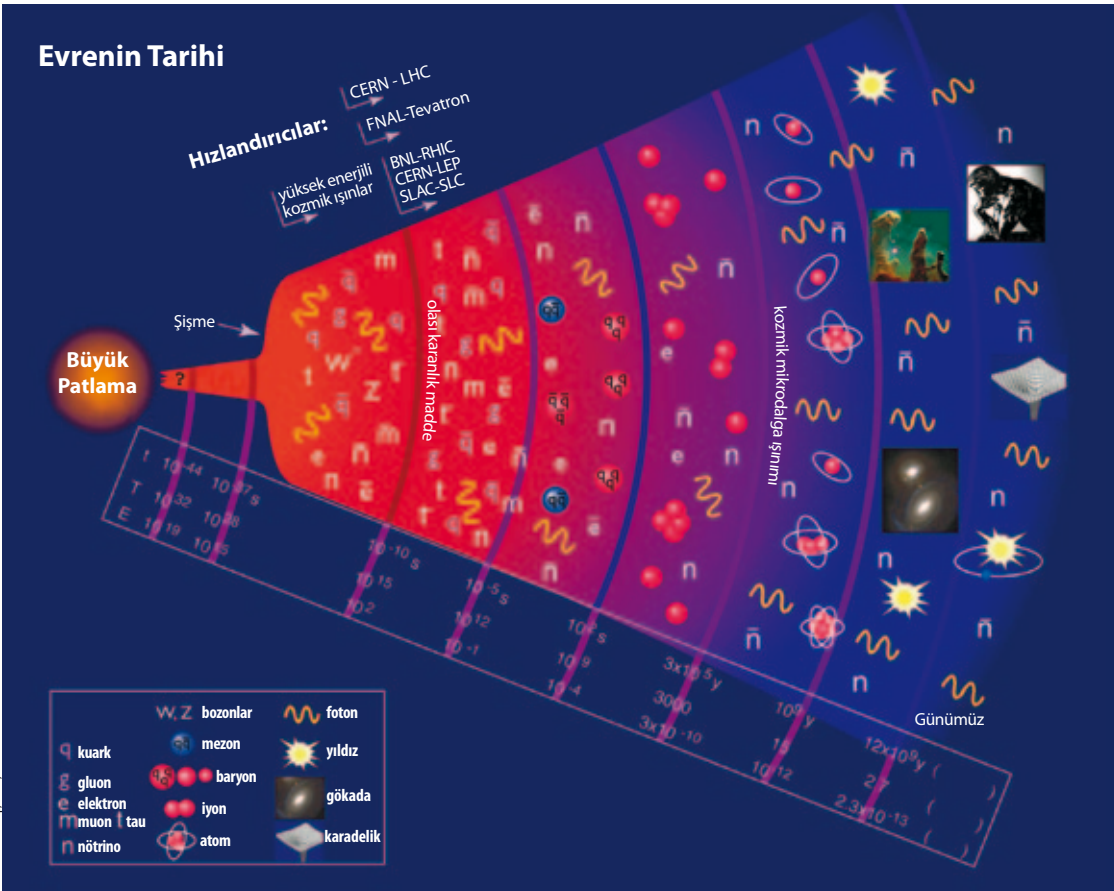
Maddenin Halleri

Sıradan maddenin (ya da daha bilgiç bir deyişle, elektromanyetik olarak etkileşen maddenin) dört farklı halinden (fazından) bahsedebiliriz: katı, sıvı, gaz, plazma. Dördüncü faz plazma, gaza benzer, ancak bu fazdayken maddedeki atomların çekirdekleri ve elektronları ayrışıp serbestçe hareket eder.



Eğer güçlü kuvvetin üç farklı yükünü üç farklı renkle simgelersek, etkileşimi sağlayan ara parçacıklar bir paletin üstünde iki rengin karıştırılmasıyla elde edilmiş gibi görünen bir renge sahip olacaklar ve birbirlerini çekeceklerdir. Kuarklar arasındaki çekimin uzaklıkla değişimini etkileşimin yük yapısına bağlı olarak açıklamak, 2004'te David J. Gross, H. David Politzer ve Frank Wilczek'e Nobel Fizik Ödülünü kazandırdı.

Evrenin Tarihi



Bildiğiniz gibi evren hep bu büyüklükte değildi. On üç milyar yıllık bir genişlemenin sonucunda bugünkü boyutlarına ulaştı. Bu genişlemenin ilk zamanlarında bugün galaksileri oluşturan tüm maddenin, çok daha küçük bir hacme sıkışmış olduğunu düşünürseniz ne kadar yoğun bir maddeden söz ettiğimizi anlarsınız. İşte bu yoğunlukta, güçlü kuvvet de bugün elektromanyetik kuvvetin olduğu kadar sıradan ve yaygın bir hale gelir, hatta bu koşullarda, adı üstünde, çok daha güçlü olduğu için, ortamın baskın kuvvetidir. Evrenin geçmişteki halini merak eden fizikçiler, çekirdek çarpışmalarındaki maddeyi izleyerek evrenin geçirdiği faz değişimleri hakkında çok şey öğrenebilirler.



Yetkin Yılmaz, 28 Haziran 1984'te İzmir'de doğdu. Ortaokul ve lise öğrenimini İzmir Bornova Anadolu Lisesi'nde gördü. ODTÜ Fizik Bölümü'nden mezun oldu. Halen Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde doktora programına devam ediyor ve bir yandan CERN'deki CMS deneyi dahilinde araştırmalara katılıyor.

Maddenin bu dört hali yalnızca elektromanyetik kuvvetin bir sonucudur. Böyle basit bir kuvvetin bunca çeşitli davranışları varken, daha karmaşık olan güçlü kuvvetin maddesi çok daha ilginç fazlara sahip olabilir.

Güçlü kuvvetin oluşturduğu fazlardan en basit ve yaygın olanı hadronik fazdır. Kuarkların hadronlar içine hapsolmuş olduğu ve etrafta yalnızca güçlü kuvvete nötr olan parçacıkların dolaştığı bu faz, elektromanyetik maddenin gaz haline benzetilebilir.

Hadronik maddeyi iyice sıkıştırırsak, güçlü kuvvetin daha farklı etkilerinin gözlemlenebileceği başka bir hale sokmayı başarabiliriz. Hadronların çok yoğunlaşmış her yönü kapladığı bu fazda, parçacıklar birbirleriyle çok şiddetli olarak etkileşebilirler bile tek bir hadronun sınırları varlığından bağımsız kalacaklarından serbestliklerinden söz edilebilir. Kuarkların geniş bir alan içinde, güçlü kuvvet aracılığıyla etkileşen, yüklü parçacıklar olarak hareket ettiği bu faz Kuark Gluon Plazması (KGP) olarak adlandırılır.

Proton Çarpışmaları ve Çekirdek Çarpışmaları

Kuantum mekaniği, enerji hakkında bilgi ile uzaklık hakkında bilgiyi, ters orantıyla ilişkilendirir. Bu demek oluyor ki eğer birbirine çok yakın parçacıklar arasındaki etkileşimi gözlemlemek istiyorsak çok yüksek enerjilerdeki etkileşimleri çalışmalıyız. İşte bunun için dev parçacık hızlandırıcılar inşa edip parçacıkları yüksek enerjilerde çarpıştırıyoruz. Fakat elde etmek istediğimiz madde, yalnızca yüksek enerjili değil aynı zamanda yüksek yoğunlukta olduğu için tek bir proton yerine birçok proton ve nötrona sahip olan büyük atom çekirdeklerini kullanabiliriz.

Protonlar arasındaki çarpışmalarda, yalnızca birkaç tane kuark veya gluon birbiriyle etkileşme şansına sahiptir. İki kuark birbiriyle şiddetli bir şekilde çarpışmışsa, çoğu zaman etraftaki diğer kuark ve glu-

onlar bu iki kuarkı etkileyemeyecek kadar güçsüzdür. Bu durumda kuramsal hesaplar yapmak daha kolaydır. Çekirdek çarpışmalarında ise yoğun bir ortamda birçok yüksek enerjili parçacığı için içine katmamız gerekir ve hesaplar zorlaşır.

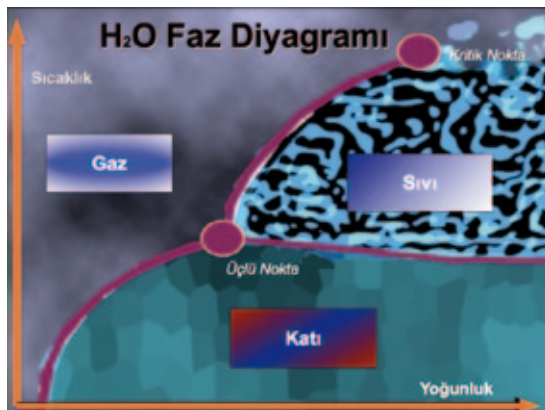
LHC'de Çekirdek Çarpışmaları

LHC, her yılın bir ayını ağır çekirdek çarpışmalarına ayıracak. Çekirdeğin ağır olmasından kasıt, kütle numarasının büyük olması; böylece çok sayıda proton ve nötronun aynı anda aynı hacimde çarpıştırılmış olacak. Bu sayede çarpışmada oluşturulan madde hem yoğun, hem de daha büyük olacaktır. LHC'de kullanılacak çekirdek, ^{208}Pb yani bir kurşun izotopu. Bu demek ki iki çekirdek çarpıştığı anda iki yüz sekizer proton ya da nötron çifti aynı anda çarpışacak. Çarpışan çekirdekler, 10^{-23} saniye gibi kısa bir süre için, iç içe geçmiş halde bulunacaklar. Ancak bu kısa süre, protonun çapı olan 1 fm (femtometre) gibi uzaklıklarda, ışık hızına çok yakın hızlarda hareket eden parçacıklardan oluşan maddenin termodinamik denge haline geçebilmesi için yeterli olabilir. Bu denge halinde, maddenin 10^{12} derece sıcaklıkta olduğunu tahmin ediyoruz. Bu da, güneşin sıcaklığının bir milyon katıdır.

Elbette her çarpışmada iki çekirdek birbirini ortadan vurup tümüyle iç içe geçmeyecektir. Farklı çarpışmalarda, farklı miktarlarda ve farklı şekillerde birbirlerinin içinden geçeceklerdir. Bunun sonucu olarak oluşan maddenin yapısı ve gözlenen değerler de farklı olacağından bu değişimlere bakarak daha çok şey öğrenme şansına sahibiz. Mesela, çekirdeklerin daha çok iç içe olduğu bir çarpışmada bazı plazma etkileri artıyorsa bu, aradaki maddenin gerçekten farklı bir faza dönüştüğüne işaretler.

Bu kısa çarpışma anı sonrasında küçük bir noktaya sıkışan yüksek miktarda enerji elbette olduğu yerde durmakta zorlanacaktır. Bunun sonucunda, mad-

Suyun farklı hallerini ve bu haller arasındaki geçişlerin ortam koşullarına nasıl bağlı olduğunu birçokumuz biliriz. Suyun sıvı ve gaz halleri arasında, kaynama gibi ani olmayan bir geçiş bulunduğu sıcaklık ve basınç değerine kritik nokta denir. Güçlü kuvvet ile etkileşen maddenin davranış şekillerini de aynı şekilde bir faz diyagramıyla ifade edebiliriz. Çekirdek çarpıştırma deneylerinde en çok merak edilen konulardan biri, güçlü kuvvet diyagramında da bir kritik noktanın olup olmadığıdır.



de bir anda genişleyip içindeki tüm parçacıkları hadronlar halinde her yöne saçmaya başlar (Küçük Patlama!). Deneyimiz yalnızca bu andan sonrasına duyarlı; bizim göreceğimiz tek şey, çarpışmadan çıkıp dedektörümüzde sinyal bırakmaya gelen hadronlar olacak. Merak etmeyin, bu parçacıkların istatistiksel analizi ve birbirleri arasındaki bağıntılar bize patlama öncesi hakkında birçok ipucu verecek ki zaten araştırmayı eğlenceli kılan da bu!

LHC'den önce bu tip çarpışmaları inceleyen deneyler başka hızlandırıcılarda, daha düşük enerjilerde denenmişti. Bunlardan en yenisi olan ve Brookhaven'da bulunan Ağır İyon Çarpıştırıcısı (RHIC - Relativistic Heavy Ion Collider) isimli hızlandırıcı, parçacıkları en fazla 200 GeV enerjide çarpıştırabiliyordu; bu, şu anda LHC'nin planladığı 2,8 TeV'in onda birinden az bir enerji demek. Yine de RHIC çevresine kurulmuş olan dedektörlerden oluşan deneylerde, bugün çekirdek çarpışmaları hakkında bildiğimiz birçok özelliğin keşfine imza atıldı. Şimdi, bu eski deneylerde gözlenmiş olan ve LHC'de çok daha yüksek enerjide tekrarlandığında ne hale geleceği merak edilen birkaç özelliğe bakalım.

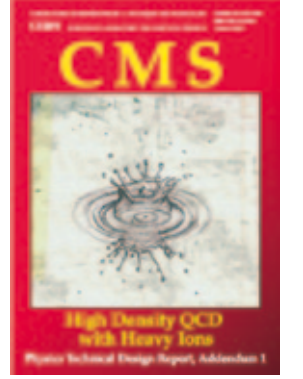
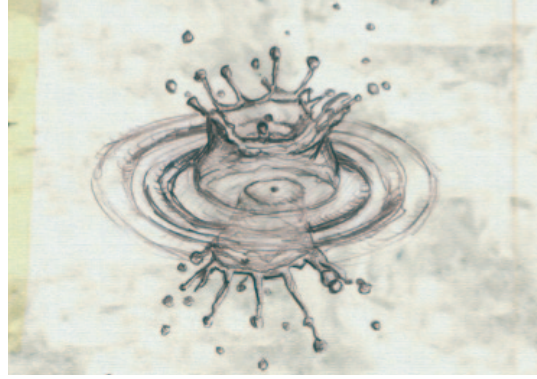
Parçacıkların KGP içindeki Hareketi

Kuark ve gluonların, çarpışma anında oluşan KGP içinde serbestçe dolaşmalar bile birbirleriyle güçlü şekilde etkileşeceklerini söylemiştik. Bu etkileşmenin yaratacağı sonuçlardan biri, madde içinde dolaşan hızlı bir parçacığın yol boyunca maddeye sürtünerek enerjisini kaybetmesi ve yavaşlaması olacaktır. Madenin bu özelliği, KGP'nin "opaklığı" veya "geçirmezliği" olarak adlandırılır ve bu özellik deneylerin ölçmeye, kuramcıların hesaplamaya çalıştıkları temel değerlerden biridir.

Bu değeri ölçmenin bir yolu, çekirdek çarpışmalarında ortaya çıkan parçacıkların hızlarını, proton çarpışmalarında çıkanlarınkıyla kıyaslamak olabilir. Bundan önceki deneylerde, KGP'nin yoğunluğu arttıkça, çarpışma sonucu ortaya çıkan hızlı parçacıkların sayısında azalma olduğu gözlemlendi. Bu gözlem "parçacıkların yutulması" olarak da bilinir.

Yine KGP hakkında RHIC deneylerinde keşfedilen bir başka özellik, madde içindeki parçacıkların toplu hareketleriyle ilgili oldu. Çarpışma anında ortada bulunan parçacıkların her tarafa rastgele dağılmak yerine, belli yönlerde beraber "akmayı" tercih ettikleri ortaya çıktı. Üstelik bu akım yönünün ilk andaki basınç dağılımı ile güçlü ilişkisi bulunduğu belirlendi. Bunun da gösterdiği o ki, KGP bir gazın değil, sıvının akışkan yapısına sahip!

Bu keşfin üzerine kuramcılar da hesaplarını hidrodinamik modeller kullanarak yapmaya başladılar. Ölçülmeye çalışılan değerler ise akışkanlık katsayıları ve faz değişimi noktaları. Bu ölçümler kısmen dolaylı yollardan yapıldığı için bu fizik dalının uzun bir geleceği olacağına benzer. Bundansa kimsenin şikâyeti yok; çünkü bir konuda ne kadar soru sorulabilirse o konu fizikçiler için o kadar anlamlı olacaktır.



Deneyler

LHC projesi kapsamında, çekirdek çarpışmalarıyla ilgilenen üç dedektör bulunuyor: Alice, ATLAS ve CMS. Bu dedektörlerin hepsinin farklı şekillerde tasarlanmış olması, onları çeşitli ölçümlerde farklı hassasiyetlere sahip olmasını sağlıyor. Çekirdek çarpışmalarının fiziğiyle ilgilenen gruplar için proton çarpışmalarını anlamak da çok önemli, sonuçta çekirdekleri oluşturan da protonlardır. LHC'nin yayımlanan ilk sonuçlarının da güçlü kuvvetle ilgilenen çekirdek fizikçileri tarafından elde edilmesine şaşırılmamalı. Güçlü kuvvet, güçlü olduğu için bu enerjilerdeki çarpışmalarda en sık rastlanan etkileşim biçimidir. Başka konulardaki keşifler daha seyrek meydana gelen etkileşimlerin gerçekleşmesini uzun süre beklerken, ilk alınan veriler güçlü kuvvet hakkında gözlemler yapmaya olanak sağlayacak nitelikte. 2,3 TeV enerjide proton çalışmalarından alınan veriler üzerine CMS deneyinin yayımlanmış olduğu sonuçlar, bu konuda incelenmiş en yüksek enerjide, yeni bir bilgi olma niteliği taşıyor. Bu konuda çalışmış olan grupların umdukları ise, çekirdek çarpışmalarında da aynı yenilikte, çok daha çeşitli keşiflere imza atabilmek. Önümüzdeki Kasım ayında başlaması planlanan bu çarpışmaları incelemek için hazırlıklar yoğun bir tempoyla devam ediyor.

Kaynaklar

PHOBOS Collaboration, "The PHOBOS Perspective on Discoveries at RHIC" *Nuclear Physics A* Cilt 757, Sayı 1-2, 8 Ağustos 2005, s. 28-101; arXiv:nucl-ex/0410022v2
The CMS Collaboration, "CMS Physics Technical Design Report: Addendum on High Density QCD

with Heavy Ions", *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics*, 34, 2007.
The CMS Collaboration, "Transverse momentum and pseudorapidity distributions of charged hadrons in pp collisions at $\sqrt{s} = 0.9$ and 2.36 TeV", *Journal of High Energy Physics*, 041, 2010; arXiv:1002.0621v2