

Kütlenin Gizemi



Doğa, kendisini sabırla dinlemeyi bilenlere sırlarını cömertçe sunmaktan çekinmez.

Bugün doğa olaylarının ardındaki gizemleri bir bir çözüp teknolojimize yansıtabiliyorsak, bunu sabırla doğaya kulak veren, yaşamını doğa yasalarını anlamaya adanmış bilim insanlarına borçluyuz.

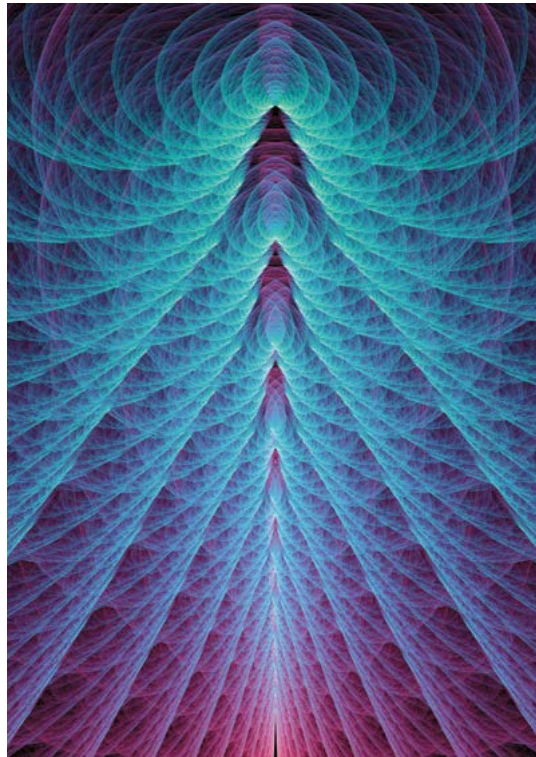
Bu doğal gizemlerden belki de en etkileyicisi, evreni şekillendiren kütleçekim kuvveti ve kütle kavramının bizzat kendisi.

Önceki yazılarda kütleçekiminin serüvenini Batlamyus'un Dünya merkezli evreninden başlayarak Einstein'ın genel görelilik kuramına kadar ele almıştık. Tüm bu öykünün sonunda bir sorunun cevabı henüz verilmemişti: Evreni eğip bükten, tüm hareket yasalarını belirleyen en birincil etken olan "kütle" nedir? Bu sorunun doğurduğu sorular ise problemin ne kadar karmaşık olduğuna dair ipucu verir nitelikte: Cisimlerin kütesinin kaynağı nedir? Maddeyi oluşturan temel parçacıkların kütleleri neden farklı değerlerde? Sözelimi tüm fiziksel özelliklerinin aynı olmasına rağmen elektron ve muon gibi parçacıkların kütleleri neden farklı? Maddeyi oluşturan atomların, atomu oluşturan proton ve nötronların, onları oluşturan kuarkların kütleleri neden çok farklı değerlerde? Kütleçekim kuvveti neden son derece zayıf? Modern fiziğin ilgi alanına giren tüm bu sorular, kütle gizemini çözmeye doğru bizi sürüklüyor.

Bugün doğada dört temel etkileşim olduğunu biliyoruz. Bunlardan ikisi tanıdık kuvvetler: Tüm kimyasal tepkimelerden, elektronun ve ışığın tüm dinamiklerinden sorumlu olan elektromanyetik etkileşim ve evreni makroskobik ölçekte şekillendiren kütleçekim etkileşimi. Diğer ikisi ise atom çekirdeğini, protonu ve nötronu şekillendiren güçlü etkileşim ve nükleer tepkimelerden sorumlu zayıf etkileşim. Bu dört temel kuvvetten üçü, fizikçilerin *standart model* dediği bir çatı altında toplanmış ve aynı matematiksel çatı kullanılarak açıklanmış olsa da, kütleçekim kuvveti bu çatının dışında kalmıştır. Standart model kuantum dilini kullanır. Elektromanyetik, zayıf veya güçlü etkileşime giren tüm parçacıklar uzay-zamana yayılmış alanlar olarak ele alınır. Bu alanları uzayın belli bir noktasında ölçmek için algılayıcı bir mekanizma kurularsa, uzaya yayılmış alan olarak bildiğimiz şey, algılayıcının olduğu noktada bize parçacık olarak kendini gösterir. Yani doğanın hem alan, hem parçacık kimliğine sahip bir yapısı vardır. Dolayısıyla bir parçacık gözlemlenene veya algılanana kadar parçacık değil, uzaya dağılmış bir alan olarak davranır. Bu yaklaşıma *kuantum alan kuramı* diyoruz.

Standart modele göre kuvvetler, *kuvvet taşıyıcı* parçacıklar tarafından iletilir. Örneğin iki elektron arasındaki elektriksel etkileşim, aralarında gidip gelen fotonlar sayesinde olur. Güçlü etkileşimi ise kuarklar arasında alışverişi yapılan gluon adlı parçacıklar taşır. Bilim insanları kütleçekim kuvvetini *graviton* adını verdikleri bir parçacığın ilettiğini düşünüyor. Standart modelin öngördüğü diğer tüm parçacıklar gözlemlendiği halde gravitona laboratuvar ortamında henüz rastlanmadı.

Kütleçekim kuvvetini kuantum fiziğinin parametrelerini kullanarak standart model çatısıyla bütünleştirmek henüz mümkün olmadı. Çünkü kuantum alan kuramında parçacıkları ve etkileşimlerini ele alan denklemler yazıldığında, denklemler içinde birtakım sonsuz ifadeler ortaya çıkıyor. Diğer etkileşimlerde bazı matematiksel hamlelerle bu sonsuzluklardan kurtulup fiziksel nicelikler hesaplanabiliyor.



Fakat kütleçekim kuvvetinde bu sorun aşılamadı. Buna renormalizasyon problemi deniyor. Renormalizasyon problemini aşmak için fizikçiler madde algımızı derinden sarsacak radikal çözümler üzerinde duruyor. Bunlardan biri, belki de en bilineni sicim kuramı. Sicim kuramına geçmeden önce standart modelin kütle hakkında bize anlattığı hayli ilginç bilgilere göz atmakta fayda var.

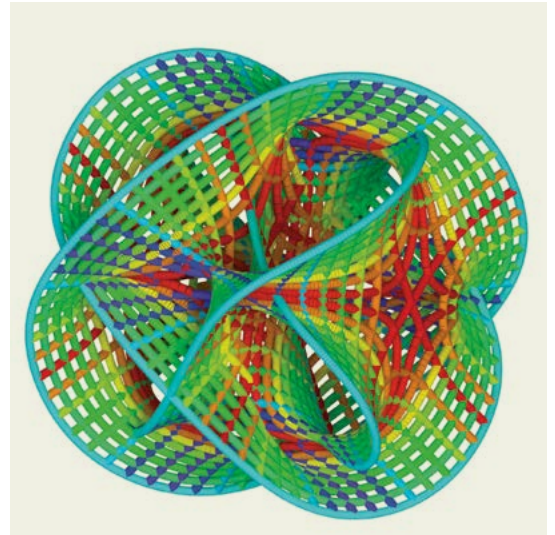
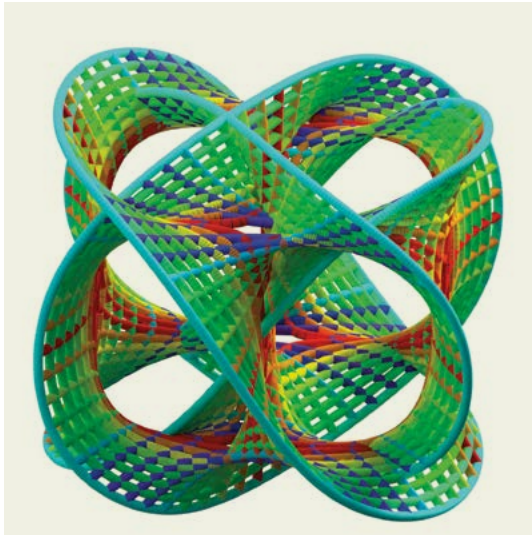
Vücudumuzu oluşturan atomlardaki tüm elektronların toplam kütlesi yaklaşık 20 gramdır. Geri kalan tüm kütle ise proton ve nötronlara ait. Elektronlar temel parçacıklar iken proton ve nötronlar daha alt parçacıklardan, kuarklardan oluşur. Kuarklara ve elektronlara kütle kazandıran şey, uzayı tamamen dolduran Higgs alanı dediğimiz bir alandır. Higgs alanı, parçacıklara kütle kazandırarak daha yavaş hareket etmelerini sağlar. Aksi halde tüm parçacıklar kütlelessiz olurdu ve tıpkı fotonlar gibi ışık hızıyla ilerlemek zorunda kalırlardı. Parçacıkların Higgs alanında ilerlemesi, suyun içinde elimizi hareket ettirirken elimizin su direnciyle karşılaşarak hareketinin kısıtlanmasına benzer. Eğer uzay Higgs alanıyla dolu olmasaydı elektronlar, protonlar, nötronlar ve tüm madde ancak ve ancak ışık hızında hareket eder, böylece bildiğimiz anlamda atomlar, moleküller ve Dünyamız oluşamazdı. Higgs alanını tespit eden bir algılama sistemi ile Higgs parçacığı gözlemlenebilir. Tıpkı suyun su moleküllerinden oluşması gibi, Higgs alanı da Higgs parçacıklarından oluşur. Standart modelin en son başarısı Higgs parçacığının 2012 yılında CERN’de gözlemlenmesi oldu.

Temel parçacıkların Higgs alanıyla kazandıkları kütleleri laboratuvar ortamında ölçmek mümkün. Yıllar önce protonları ve nötronları oluşturan kuarkların kütleleri ölçüldüğünde inanılmaz bir durumla karşılaşıldı.

Bir protonu oluşturan kuarkların toplam kütlesi, protonun kütlesinin ancak yüzde birine denk geliyordu. Peki geri kalan kütlelerin kaynağı neydi? Cevap gerçekten şoke edici: Maddenin kütlesinin çok büyük bir kısmı parçacıklardan değil enerjiden oluşuyordu.



Einstein’ın meşhur $E=mc^2$ formülü kütlelerin enerjiye, enerjinin kütleyle dönüşebileceğini söyler. Diğer bir ifadeyle, enerjiyi kütle cinsinden ifade edebiliriz. Proton ve nötronun kütlelerine gelince...

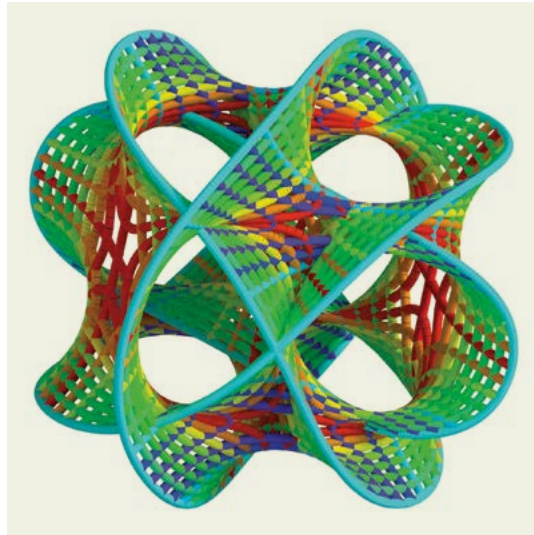
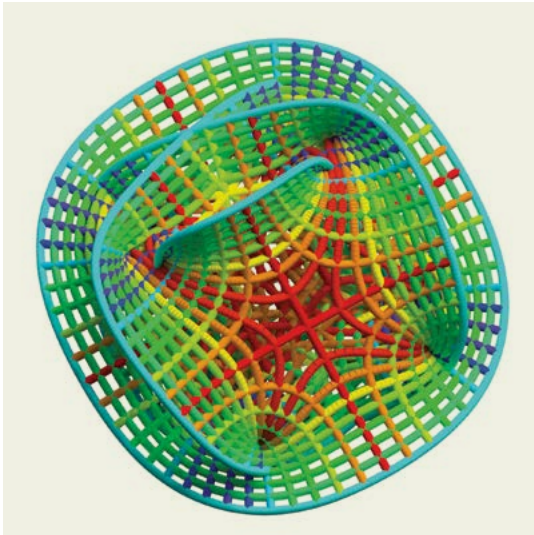


Kuarkları birbirine bağlayan gluon adlı kuvvet taşıyıcı parçacıklar, kuarklar arasında gidip gelmekle kalmıyor aynı zamanda boşlukla etkileşime giriyor. Standart modelin öngörüsüne göre bizim uzay boşluğu olarak bildiğimiz şey aslında geometrik bir boşluk değil, sürekli var olup yok olan kuarklardan ve gluonlardan oluşan kozmik bir çorba. Bu yüzden uzay boşluğundan bahsederken “boşluk” yerine “vakum” sözcüğünü kullanmayı -özel bir anlam yüklenmiş olarak- tercih edebiliriz. Bu *vakum dalgalanmaları* o kadar kısa sürelerde gerçekleşir ve öyle küçüktür ki, bunu bizim algılamamamız mümkün olmaz. Fakat bildiğimiz maddeyi oluşturan kuarkların ve gluonların vakumla dinamik etkileşimleri bir protonun veya nötronun sahip olduğu toplam enerjiyi artırır. Bunu da biz kütle olarak algılarız.

Standart modelde kütleinin ne olduğuna yönelik araştırmalarımızda iki şeye ulaştık. Birincisi Higgs alanı, ikincisi ise parçacıklarla vakumun etkileşmesi. Bu yadsınamaz bir başarıdır. Fakat standart model içinde denklemler oluşturulurken, denklemlerde birtakım evrensel sabitler yer almak zorunda. Elektron, muon ve kuarklar gibi temel parçacıkların kütle değerleri, elektromanyetik etkileşim sabiti ve güçlü etkileşim sabiti gibi yaklaşık yirmi parametre var. Standart modelin en büyük eksikliği, bu parametrelerin nicel değerlerini öngörememesi. Örneğin neden kuarkların kütleleri birbirinden farklı? Elektromanyetik etkileşim sabitinin değeri neden $1/137$? Bundan sadece %4 kadar farklı olsaydı, yıldızlarda karbon çekirdeği oluşamazdı ve bildiğimiz anlamda karbon temelli yaşam hiç var olamazdı. Belki yıldızlar ışıyamaz, güneş sistemleri oluşamazdı. Belki de bu yüzden bu sayıya “ince ya-

pı sabiti” deniyor. Feynman ince yapı sabiti hakkında “Bu sayının nereden geldiğini merak edebilirsiniz. Kimse bilmiyor. Bu fiziğin en büyük gizlerinden biri, insanoğlunun anlamadığı, deneysel olarak çok kesin olarak ölçtüğümüz, ancak kuramsal temelinin ne olduğu hakkında bilgimizin olmadığı sihirli bir sayı.” diyor. Diğer parametreleri de bunun gibi düşünebiliriz. Bu değerler bildiğimizden farklı olsaydı evren var olmayacaktı. Neden tüm bu parametreler tam da oldukları nicel değerleri aldılar? Bunun ardındaki mekanizma nedir? Standart modelin buna vereceği bir yanıt yok.

İşte tam bu noktada yepyeni bir ufuk açılıyor fiziğin önünde. Sicim kuramının hem kütleçekim kuvveti hem de standart model parametreleri hakkında anahtar görevi görme potansiyeli var. Sicim kuramına göre kuarklar ve elektronlar gibi temel parçacıklar boyutsuz, noktasal birer varlık değil, tek boyutlu, titreşen ipliksi yapılar olarak öngörülür. Son derece karmaşık matematiksel işlemler ve yoğun çabalar sonucunda oluşturulan sicim kuramlarında üç boyutlu evren, denklemler için yetersiz kaldı. Biz üç uzay boyutu ve bir zaman boyutundan oluşan bir evrende yaşadığımızı düşünüyoruz. Oysa sicim kuramı tam on uzay boyutu ve bir zaman boyutu öngörüyor. Eğer on bir boyutlu bir uzayda yaşıyorsak, diğer boyutlar nerede? Biz neden algılamıyoruz? Bunun cevabı, o boyutların kendi üzerlerine kapanmış olmasında gizli. Uzaktan elektrik direkleri arasındaki tele baktığımızda tek boyutlu bir çizgi görürüz. Ancak o tel üzerinde hareket eden minik bir canlı için tel eni ve boyu olan üç boyutlu bir ortamdır. Sicim kuramına göre bizim görmediğimiz bu fazladan boyutlar atom ölçeğinin çok altındaki ölçeklerde ancak algılanabilir olur.



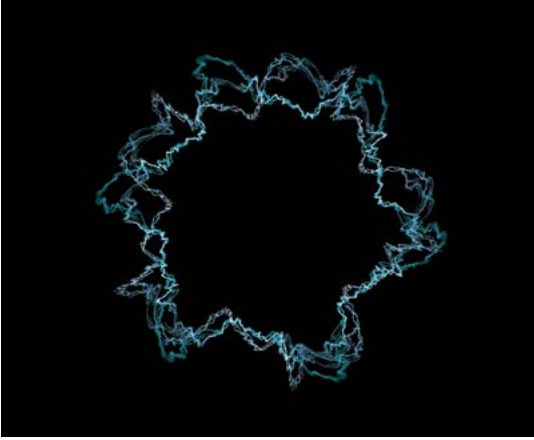
Standart modelin cevaplayamadığı problemlere gelirsek... Sicim kuramının öngördüğü fazladan boyutların geometrisinin neye benzediği anlaşılırsa, parçacıkları oluşturan sicimlerin titreşimleri ve bunun yanı sıra standart model parametreleri daha anlaşılabilir olacak. Bu haliyle bile, örneğin temel parçacıkların kütlelerinin neden farklı olduğu sorusuna “çünkü sicimlerin farklı frekanslardaki titreşimlerine farklı kütleli parçacıklar denk geliyor” diye cevap verilebiliyor. Bu yönüyle sicim kuramı evreni anlamaya yönelik en temel kuram olmaya aday. Sicim kuramına göre, bir temel sicimin farklı titreşim modları farklı elektrik yüklü, farklı kütleli parçacıklar olarak görünüyor.

Sicim kuramının kütleçekim kuvvetine yönelik öngörülleri de var. Sicimlerin titreşim modlarından biri, henüz varlığından bile emin olmadığımız ve kütleçekim kuvvet taşıyıcı olan graviton parçacığını temsil ediyor. Gravitonun sicim kuramında öngörülmesi, sicim kuramına standart modelin de ötesinde tüm kuvvetleri bir arada açıklayabilecek bir *büyük birleşim kuramı* olma potansiyeli kazandırıyor. Üstelik sicim kuramı kütleçekim kuvvetinin neden bu kadar zayıf olduğuna dair bir açıklama yapıyor. Düşünün, bütün bir Dünya'nın bir demir parçasına uyguladığı kütleçekim kuvveti o kadar zayıf ki, minik bir mıknatısın manyetik kuvveti tüm Dünya'nın kütleçekim kuvvetinden daha büyük değerde ve o demir parçasını hareket ettirebiliyor. Bilim insanları kütleçekim kuvvetinin bu denli küçük olmasını, onun sadece belli bir kesimini hissediyor olabileceğimiz fikriyle açıklıyor. Kütleçekim kuvveti, sicim kuramının öngördüğü başka bir boyutta veya boyutlarda etkin olabilir.



Sicim kuramını fizikçiler açısından problemli yapan şey, bu kuramın deneysel olarak yanlışlanabilmesindeki güçlükten kaynaklanıyor. Sicim kuramında öngörülen parçacıkların, örneğin gravitonun ve fazladan boyutların var olduğunun ispatlanabilmesi için parçacık fiziği laboratuvarlarında atom ölçeğinden milyonlarca kez daha küçük ölçeklere inilebilmeli. Bu da çok daha yüksek enerjilerde çarpışma deneylerini gerekli kılıyor. Şu an CERN'de 14TeV enerjide proton çarpışma deneyleri yapılırsa da, bahsettiğimiz enerji seviyeleri bu değerden binlerce kat daha fazla. Üstelik bu enerjilere ulaşılsa bile, aşırı yoğun enerji mini karadeliklerin oluşmasına yol açacaktır. Kuramsal fizikte günümüzün en önemli isimlerinden biri olan Nima Arkani-Hamed'e göre, graviton ve fazladan boyutlar gibi çok minik ölçeklerde rastlanması gereken fiziksel bilgi de bu karadeliklerin sınırı içinde kalacak ve uygulamada yine bir veriye ulaşamayacak. Dolayısıyla, uygulamada sınamamaz olması sicim kuramının önündeki en büyük engel.

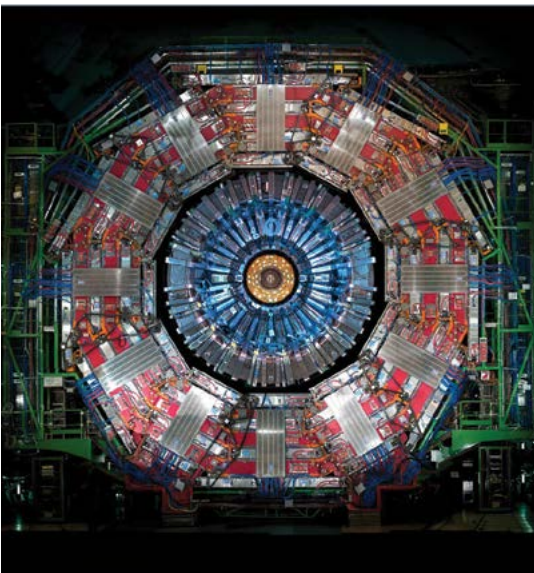




Hatta öyle ki bazı fizikçiler, sicim kuramıyla ilgilenenleri bilimden kopmakla suçluyor. Ancak yine de parçacık hızlandırıcılarda, fazladan boyutların var olup olmadığı dolaylı yollarla belirlenmeye çalışılacak. Eğer yeterince büyük hızlarda bir çarpışma gerçekleştirilebilirse, çarpışma enerjisinin bir kısmı bizim gözlemleyemediğimiz boyutlara aktarılabilir ve böylece çarpışma öncesi ve sonrası enerjinin korunmadığını algılarız. Bu da fazladan boyutlara bir işaret olarak okunabilir.



Higgs mekanizmasının kâşifleri
François Englert ve Peter Higgs



Sonuçta kütlenin tam olarak ne olduğu ve kütleçekim kuvvetinin nasıl aktarıldığı, maddeyi ve uzay-zamanı nasıl şekillendirdiği konuları hâlâ üzerinde yoğun olarak çalışılan akademik konular. Açıklığa kavuşması diğer tüm etkileşimlerden sonraya kalan kütleçekim kuvveti, öyle görünüyor ki evrenimizin en önemli gizemi olarak, belgelik sahnemize bir asolist edasıyla en son çıkacak.

Kaynaklar

- Yazıcı, E., "Herşeyi Bir Arada Tutan Kuvvet Kütleçekimi", *Bilim ve Teknik*, Ağustos 2015.
- Yazıcı, E., "Newton'dan Einstein'a Kütleçekimi ve Evren", *Bilim ve Teknik*, Ekim 2015.
- Cahn, Robert N., "The eighteen arbitrary parameters of the standard model in your everyday life", *Reviews of Modern Physics*, Cilt 68, Sayı 3, 1996.
- Feynman, Richard P., *QED: The Strange Theory of Light and Matter*, Princeton University Press, 1985.
- Susskind, L., *The Cosmic Landscape: String Theory and the Illusion of Intelligent Design*, Hachette Book Group/Back Bay Books, NY, 2006.
- Hamed, N. A., *Why is Quantum Gravity So Significant Closer to Truth*, <https://www.youtube.com/watch?v=PIKYR--lx0I>