

Beşinci Kuvvet

Dr. Mahir E. Ocak [TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi

Modern fizik doğada gözlemlenen tüm fiziksel süreçleri dört temel kuvvetle açıklamaya çalışıyor. Ancak bugün tam olarak açıklanamayan çeşitli olguların ardında henüz bilinmeyen kuvvetler de olabilir.





Dört Temel Kuvvet

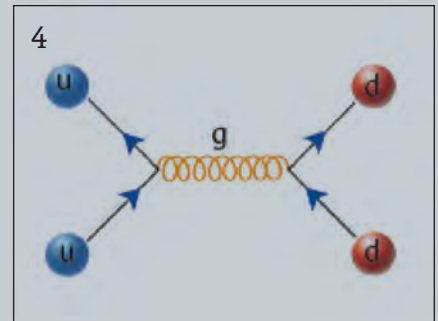
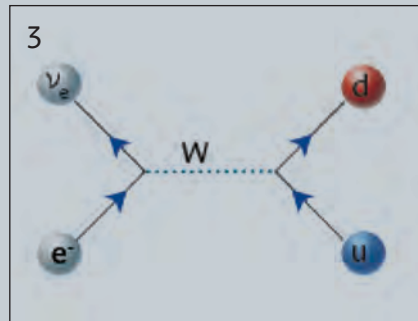
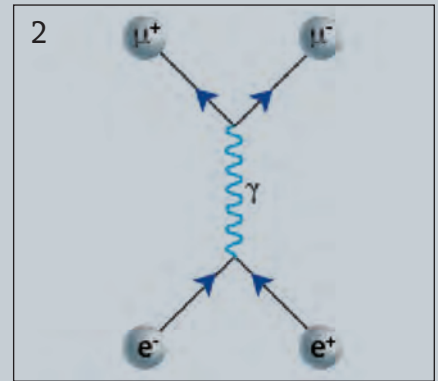
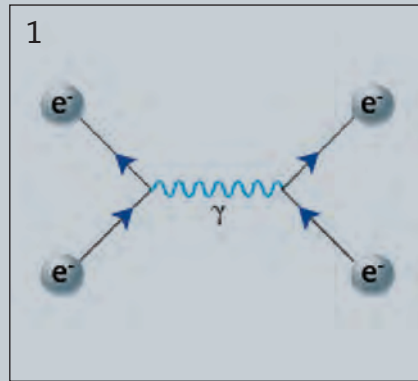
Bugün bilinen dört temel kuvvet var: güçlü kuvvet, zayıf kuvvet, elektromanyetik kuvvet ve kütleçekim kuvveti. Güçlü kuvvet atom çekirdeklerindeki protonların ve nötronların bir arada kalmasını sağlıyor. Zayıf kuvvet parçacık bozunmalarında rol alıyor. Elektromanyetik kuvvet atomların oluşmasını sağlıyor. Kütleçekim kuvvetiyse evrenin büyük ölçekteki yapısını belirliyor.

Peki; gezegenler, atomlar, elektrik yükleri ve kuarklar aralarındaki mesafeye rağmen nasıl oluyor da bu kuvvetler aracılığıyla etkileşiyorlar? Modern fizik, bu soruya ilk kez Faraday tarafından ortaya atılan "alan" kavramıyla cevap veriyor. Örneğin, iki elektrik yükünü ele alalım. Elektromanyetik kurama göre, bir elektrik yükü çevresinde bir elektrik alan oluşturur. Başka bir elektrik yüküyle bu alanla etkileşerek elektriksel kuvveti hisseder. Etkileşim anlık değildir. Çünkü elektrik alan uzayda sonlu bir hızla (ışık hızıyla) yayılır. Benzer biçimde diğer kuvvetlerin de uzayda sonlu hızlarla yayılan alanları vardır.

Dört temel kuvvetin üçü (güçlü kuvvet, zayıf kuvvet ve elektromanyetik kuvvet) kuantum kuramlarıyla açıklanıyor. Bu kuvvetlerle yaşanan etkileşimlere aracılık eden alanları taşıyan parçacıklar

var. Madde parçacıkları (fermionlar) bu kuvvet parçacıkları (bozonlar) aracılığıyla etkileşiyorlar. Örneğin, elektromanyetik kuvvetin taşıyıcıları fotonlardır. Elektrik yüklü parçacıklar fotonlar aracılığıyla etkileşir. Benzer biçimde güçlü ve zayıf kuvvetin de taşıyıcı parçacıkları vardır. Güçlü kuvvetin taşıyıcılarına glüon denir ve 8 tür glüon vardır. Zayıf kuvvetin taşıyıcıları ise W^+ , W^- ve Z bozonları denilen üç ayrı bozondur.

Güçlü kuvvet, zayıf kuvvet ve elektromanyetik kuvvetin kuantum kuramları sırasıyla kuantum kromodinamiği, elektrozayıf kuram ve kuantum elektrodinamiği olarak adlandırılır. Bu üç kuram, parçacık fiziğinin standart modelini oluşturur. Standart modelde, iki parçacık arasındaki etkileşimleri betimleyen çeşitli grafikler şunlara benzer:



Bu grafiklerde sürekli çizgiler madde parçacıklarını, kesikli ya da dalgalı çizgilerse kuvvet parçacıklarını gösterir. İlk grafikte iki elektron (e^-) bir foton (γ) aracılığıyla etkileşerek saçılıyor. İkinci grafikte önce bir elektron ve pozitron birbirlerini yok ederek enerjiye dönüşüyor, daha sonra ortaya çıkan foton bir müon-antimüon ($\mu^- \mu^+$) çifti oluşturuyor. Üçüncü grafikte yukarı kuark (u) zayıf etkileşim yoluyla aşağı kuarka (d) dönüşüyor. Bu sırada bir elektron yok olurken bir nötrino ortaya çıkıyor. Dördüncü grafikte de bir yukarı ve bir aşağı kuark bir glüon (g) aracılığıyla etkileşerek saçılıyorlar.

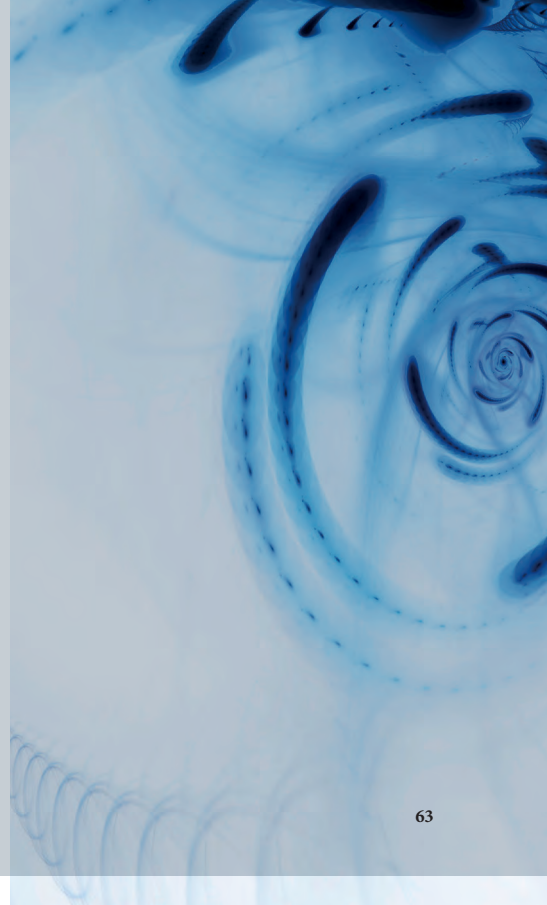
Kütleçekimini açıklayan genel görelilik kuramı, diğer üç kuvveti açıklayan kuramların aksine klasik bir kuramdır. Kütleçekimi de aslında kuantum mekaniksel bir kuramla açıklanması gereken bir

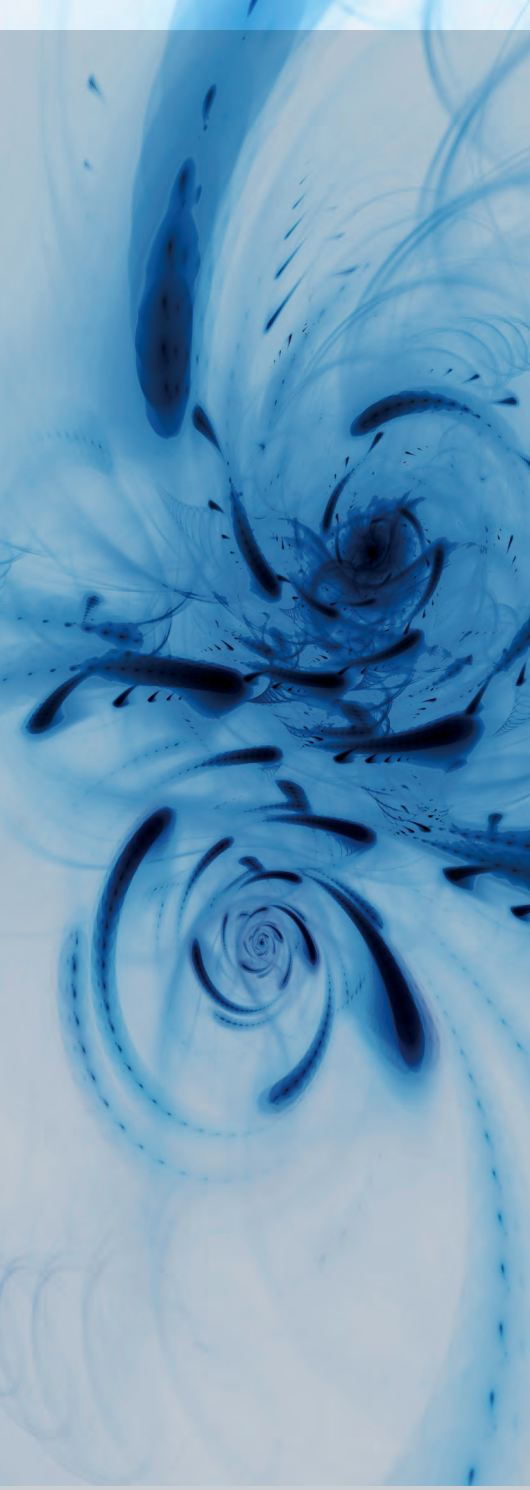


olgu mudur? Küttelekiminin de kuvvet taşıyıcı parçacıkları var mıdır? Bu sorular bugün pek çok fizikçinin zihnini meşgul ediyor. Yaygın kanı, küttelekiminin graviton denilen kuvvet parçacıkları tarafından taşınan, kuantum mekaniksel bir olgu olduğu yönünde. Ancak bugüne kadar ne gravitonların varlığına ne de küttelekiminin aslında bir kuantum kuramıyla açıklanması gerektiğine dair bir bulguya ulaşılamadığını da not edelim.

Cevap Bekleyen Sorular

Parçacık fiziğinin standart modeli atom ölçeğindeki olayları çok büyük bir başarıyla açıklar. Genel görelilik kuramı da geliştirilmesinin üzerinden geçen yaklaşık yüz yılda defalarca test edilmiş başarılı bir kuramdır. Ancak evrene özellikle büyük ölçekte bakıldığında gözlemler ile kuramsal tahminler arasında bazı uyumsuzluklar ortaya çıkmaya başlar.





Evrende büyük ölçekteki madde ve sıcaklık dağılımının homojen olduğu görülür. Gezegenler, yıldızlar ve gökadalara gibi yüksek madde yoğunluğuna sahip birtakım yapılar olsa da evrendeki madde yoğunluğu büyük ölçekte her bölgede hemen hemen aynıdır. Benzer biçimde her ne kadar yıldızlar gibi çok sıcak

gökcisimleri olsa da ortalama sıcaklık da evrenin her bölgesinde hemen hemen aynıdır. Peki, böyle bir durum nasıl ortaya çıkmış olabilir? Bugün gökyüzünde gözlemediğimiz yapıların ortaya çıkabilmesi için Büyük Patlama'dan sonraki madde ve enerji dağılımında düzensizlikler olmalıdır. Peki öyleyse bu düzensizliklerin zaman içinde giderek büyümesi gerekmez miydi? Fizikçiler arasındaki yaygın kanı, evrenin Büyük Patlama'dan kısa süre sonra çok hızlı bir şişme evresinden geçtiği. Şişme hipotezi denilen bu düşünceye göre, Büyük Patlama'dan 10^{36} saniye sonra başlayıp 10^{32} saniye sonra sona eren bu süreçte, evrenin boyutları en azından 10^{26} kat büyüdü. Böylece başlangıçtaki ufak düzensizlikler çok büyük mesafelere yayıldı ve evren homojen bir görünüm kazandı. Eğer bu hipotez gerçekten de doğruysa şişme sürecini hangi etkenler tetiklemişti? Bugün bu soruya net bir cevap vermek geçekten zor. Çünkü evrene baktığımızda çok kısa süre içinde çok hızlı bir biçimde büyüyen bölgelere rastlamıyoruz. Şişmeye sebep olan koşullar her ne ise artık çok uzak geçmişte kalmış durumdadır. Dolayısıyla, öne sürülen hipotezlerin ne ölçüde doğru olduğu hakkında bir fikir edinmek kolay değil.

Henüz cevabı bulunamamış başka bir soru da gökadalara meydana getiren yıldızların hareketleriyle ilgili. Gökadaların dış kısımlarındaki yıldızlar o kadar büyük hızlarla hareket ediyor ki hareketlerinin kütleçekimiyle açık-

lanabilmesi için evrendeki toplam madde miktarının gözlemlenenden çok daha fazla olması gerekiyor. Bu durumu açıklamak için öne sürülmüş bir hipotez, uzayın ışıkla etkileşmediği için doğrudan görülemeyen karanlık maddeyle dolu olduğu. Evrendeki toplam madde miktarının yaklaşık %85'ini meydana getirdiği tahmin edilen bu karanlık maddenin, gökadalara oluşumunda ve gelişiminde önemli bir role sahip olduğu düşünülüyor. Karanlık maddeyi meydana getiren parçacıkların doğası ise henüz bilinmiyor.

Modern fizik açısından şaşırtıcı bir gelişme de 1990'ların sonlarında yaşandı. Büyük Patlama ile genişlemeye başlayan evrenin genişleme hızının zaman içinde giderek azalmasını beklersiniz. Çünkü evrenin büyük ölçekteki yapısını belirleyen kütleçekimi, çekici bir kuvvettir. Ancak gözlemler evrenin genişleme hızının giderek arttığını gösterdi. Bu durumu açıklamak için de karanlık enerjinin varlığı öne sürüldü. Karanlık madde gibi, karanlık enerjinin de doğası hâlâ tartışma konusu.

Bugün hâlâ tam olarak cevaplanmayı bekleyen bu fizik sorularına baktığımızda dört temel kuvveti açıklayan kuramlarda bir eksiklik ya da yanlışlık olduğunu düşünebiliriz. Belki gerçekten öyledir. Ancak bu kuramların her biri çok sayıda testten başarıyla geçti. Dolayısıyla bu ve benzeri sorulara cevap bulmak için belki de henüz bilinmeyen yeni kuvvetlerin keşfedilmesi gerekiyor.



Beşinci Kuvvetin Adayları

Bugüne kadar beşinci kuvvet ile ilgili öne sürülmüş çeşitli görüşler var. Hatta çeşitli deneysel verilerin beşinci bir kuvvetin varlığına işaret ettiği düşünülüyor.

Higgs Mekanizması

Kimilerine göre, yeni bir kuvvet keşfedilecekse buna beşinci değil, altıncı kuvvet denmeli. Çünkü beşinci kuvvet hâlihazırda keşfedilmiştir: Higgs mekanizması.

Higgs alanının ve Higgs bozonunun varlığı ilk olarak 1960'larda öne sürülmüştü. 2010'ların başlarında CERN'de yapılan deneysel çalışmalar sırasında Higgs bozonunun tespit edilmesiyle öne sürülen düşünceler doğrulandı. Ancak çeşitli temel parçacıkların kütle kazanmasına sebep olan Higgs mekanizması genel ola-

rak beşinci bir kuvvet olarak tanınmaz. Çünkü Higgs alanıyla yaşanan etkileşimler, diğer etkileşimlerde olduğu gibi, parçacıkların hareket yönlerinde bir değişime, itilmeye ya da çekilmeye sebep olmaz.

Bir hipoteze göre, Higgs alanı kozmik şişmenin de sebebi olabilir. Higgs alanının özellikleri "ayarlanarak" kısa bir süreliğine kozmik şişmeye sebep olabilecek kadar güçlü olması sağlanabilir. Ancak bu hipotezin doğru olabilmesi için Higgs alanının gücünü düzenleyen başka bir alanın daha varlığına ihtiyaç var. Dolayısıyla, Higgs alanının kendisi beşinci bir kuvvet olmasa bile, beşinci kuvvetin keşfinde anahtar bir rol oynayabilir.

Beşinci Element

Karanlık enerjiyi açıklamak için öne sürülmüş görüşlerden biri, bir kozmolojik sabitin varlığıdır. Albert Einstein, genel görelilik kuramını formüle ederken, durağan bir evren modeli oluşturmak için, alan

denklemlerine kozmolojik sabit adı verilen bir sabit eklemiş ancak evrenin genişlediği keşfedildikten sonra kozmolojik sabiti denklemlerden çıkarmıştı. Evrenin genişleme hızının giderek arttığını gösteren gözlemlerden sonra kozmolojik sabit yeniden alan denklemlerinde kendine yer bulmaya başladı. Boş uzayın enerji yoğunluğuna karşılık gelen bu sabitin negatif bir basınca sebep olarak evrenin genişleme hızını artırdığı düşünülüyor.

Beşinci element hipotezi, karanlık enerjiyi açıklamak için öne sürülmüş bir diğer hipotezdir. Beşinci elementin kozmolojik sabitten temel farkı, bir sabit değil büyüklüğü konumla ve zamanla değişen bir alan olmasıdır.

X17 Parçacığı

Macaristan Bilimler Akademisinden Attila Krasznahorkay ve arkadaşları 2015 yılında yayımladıkları bir makalede kütlesi yaklaşık 17 MeV (elektronunun yaklaşık 35 katı) olan bir parçacık keşfettiklerini açıkladılar. Araştırmacılar önce ⁷Li izotoplarını proton bombardımanına tutmuş, daha sonra ortaya çıkan kararsız ⁸Be izotoplarının bozunması sırasında ortaya çıkan elektron-pozitron çiftlerini incelemiş ve elde edilen sonuçların parçacık fiziğinin standart modeli kullanılarak yapılan hesaplarla uyumsuz olduğunu gözlemlemişlerdi. Araştırmacılar bozunma sırasında önce 17 MeV kütleli bir parçacığın (X17) çekirdek-

ten dışarı atıldığını, daha sonra bu parçacığın elektron-pozitron çiftlerine bozunduğunu öne sürdüler. Deneysel veriler bu varsayımı kullanarak yapılan hesaplarla açıklanabiliyordu. Aynı araştırma grubu, geçen yıl ${}^4\text{He}$ izotoplarının bozunumunda da aynı X17 parçacığının varlığına işaret eden sonuçlar elde ettiklerini açıkladı.

Krasznahorkay ve arkadaşları, 17 MeV kütleli parçacığın karanlık madde parçacıkları arasındaki etkileşimlere aracılık eden ve aynı zamanda sıradan maddeyle de etkileşime girebilen bir tür “karanlık foton” olabileceğini öne sürdüler. Irvine’deki Kaliforniya Üniversitesinden Jonathan Feng ve arkadaşlarıyla, kuramsal hesaplar yaparak, Macar araştırmacıların var olduğunu öne sürdüğü parçacığın daha önceleri bilinmeyen protofobik (protonlarla etkileşmeyen) bir bozon olduğunu iddia ettiler.

Feng ve arkadaşlarının açıklamasıyla ilgili önemli bir nokta, 17 MeV kütleli bir bozonun varlığının parçacık fizikinin standart modeliyle uyumsuz olması. Standart modeldeki bozonların kütlesi ne kadar küçükse taşıdıkları kuvvetin menzili o kadar uzundur. Örneğin, kütleli fotonların aracılık ettiği elektromanyetik etkileşimin menzili sonsuzdur. Ağır W^+ , W^- ve Z bozonlarının aracılık ettiği güçlü ve zayıf etkileşimlerse ancak atom çekirdeği ölçeğinde etkindirler. Standart modele eklenecek yeni bir kuvvetin ya hafif bozonlar tarafın-

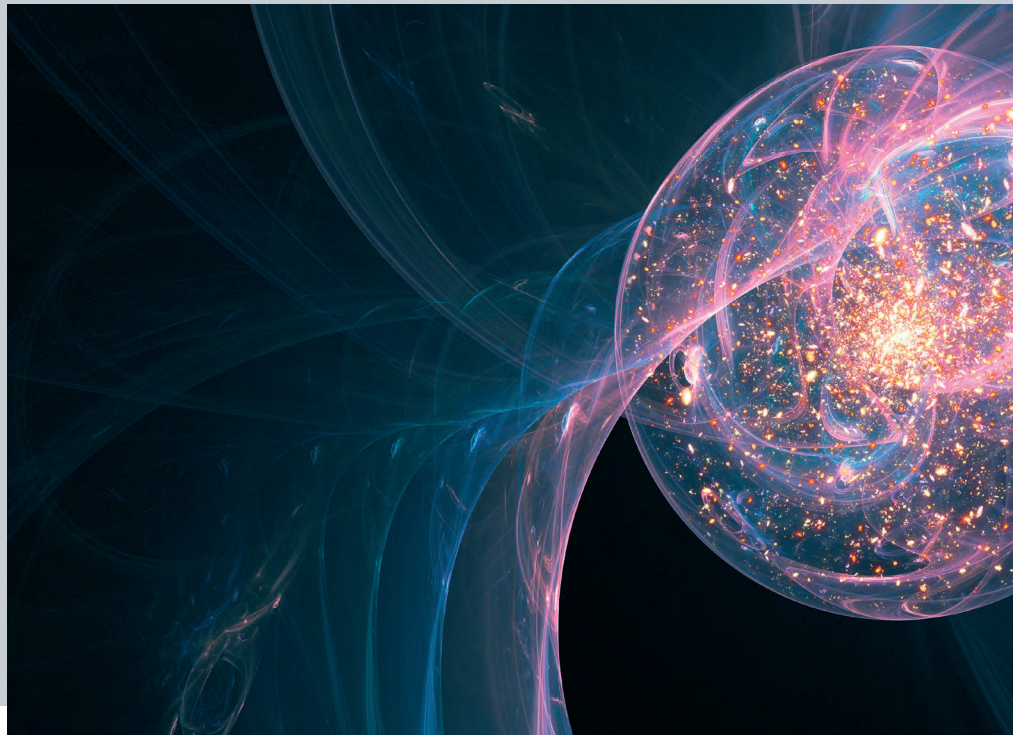
dan taşınan uzun menzilli bir kuvvet ya da ağır bozonlar tarafından taşınan kısa menzilli bir kuvvet olması gerekir. Dolayısıyla, X17 gibi küçük kütleli bir bozon tarafından taşınan ancak etkinlik alanı atom çekirdeği ölçeğiyle sınırlı bir etkileşimi standart modele dâhil etmek olası değil. Dolayısıyla Feng ve arkadaşlarının iddiası doğruysa bu yeni kuvvetin yeni bir kuramla açıklanması gerekecek.

X17 parçacığının gerçekten de var olup olmadığı hâlâ tartışma konusu. Çünkü benzer deneyler yapan başka araştırma grupları parçacığın varlığına işaret eden bir bulguya ulaşamadıklarını açıkladılar. Macar araştırmacıların elde ettiği sonuçların kullandıkları deney düzenindeki bir hatadan kaynaklandığı bile iddia ediliyor. Gelecek yıl, geliştirme çalışmaları tamamlandıktan sonra, CERN’deki Büyük Hadron Çarpıştırıcısı’nda yapılacak deneylerin konu hakkında net bir fikir vermesi bekleniyor.

Bukalemun Parçacıklar

Bir düşünceye göre, beşinci kuvvetin bugüne kadar keşfedilememiş olmasının nedeni farklı ortamlarda farklı özellikler gösteren “bukalemun parçacıklar” tarafından taşınması olabilir. Eğer bu bozonlar Dünya gibi yoğun ortamların içine girdiğinde ağırlaşıyor (taşıdığı kuvvetin menzili kısalıyor), uzay gibi boş ortamların içine girdiğinde hafifliyor (taşıdığı kuvvetin menzili uzuyor) ise yeryüzündeki sıradan koşullar altında beşinci kuvveti gözlemlemek zordur.

Bu düşünce ilk bakışta çok sıra dışı gibi gözükebilir. Ancak boşlukta ışık hızıyla hareket eden kütleli fotonlar da elektrik yüklü parçacıkların arasından geçerken etkin kütle kazanırlar. Kuramsal çalışmalar, bukalemun kuvvetlerin var olduğu bir evrende bugün gözlemlediği-



miz gibi yıldızların ve gökadalardan ortaya çıkmasının mümkün olduğunu gösteriyor.

Bir grup araştırmacı Londra'daki Imperial College'da yaptıkları deneylerle bukalemun parçacıklar hipotezini test etti. Kullanılan deney düzeneği, ortasında bilinen kuvvetlerin etkilerini yok etmek için tasarlanmış özel bir metal küre bulunan bir vakum haznesinden oluşuyor. Böyle bir düzenekte bukalemun kuvvetin, küre ve haznenin duvarları etrafında zayıf, ara bölgelerdeyse güçlü olması gerekir. Dolayısıyla vakumun içine bırakılan atomların hareketlerindeki herhangi bir ivmelenme bukalemun kuvvetin varlığına işaret eder.

Araştırmacılar yaptıkları ilk deneylerde bukalemun kuvvetlerin varlığına dair herhangi bir bulguya ulaşamamışlar. Ancak kullandıkları düzeneği daha da geliştirerek yeni deneyler yapmayı planlıyorlar. Araştırma ekibinin üyelerinden Clare

Burrage, kütleçekiminden birazcık daha güçlü bir bukalemun kuvvetin keşfedilmesi durumunda karanlık enerjinin doğasının açıklanabileceğini söylüyor.

Bukalemeun kuvvetlerle ilgili bir başka nokta da bu kuvvetlerin belirli koşullar altında kütleçekimine zıt, belirli koşullar altında ise kütleçekimine paralel davranabilmesinin de mümkün olması. Dolayısıyla tek bir bukalemun kuvvetle sadece karanlık enerjinin değil, karanlık maddenin de doğası açıklığa kavuşturulabilir.

Axion'lar

Modern fiziğin net cevap vermediği sorulardan biri de nötronların yapısıyla ilgilidir. Nötronları meydana getiren kuarkların her biri elektrik yüküne sahiptir. Ancak deneyler nötronların elektrik yükü dağılımının küresel simetriye sahip olduğunu gösterir. Bu durumun sebebi ne olabilir?

Roberto Peccei ve Helen Quinn 1977'de tüm uzayı kaplayan bir alanın bu soruna çare olabileceğini öne sürdüler. Daha sonraları Franck Wilczek ve Steven Weinberg, böyle bir alanın axion adını verdikleri bir bozonun da var olmasını gerektireceğini gösterdiler.

Nötronların elektrik yükü dağılımının simetrik olmasını sağladığı düşünülen alan beşinci kuvvetin alanı, axion'lar da karanlık maddenin bileşenlerinden olmaya aday. Günümüzde pek çok araştırma grubu axion'ları tespit etmek için çalışmalar yapıyor. ■

Dört temel kuvvet ile pek çok fiziksel olgu başarılı bir biçimde açıklansa da bugün hâlâ cevapsız sorular var. Gelecekte beşinci bir kuvvetin, hatta belki altıncı ya da yedinci kuvvetlerin keşfedilmesi sürpriz olmaz.

Kaynaklar

Cossins, Daniel, "We have seen hints of a new fundamental force of nature", *New Scientist*, <https://www.newscientist.com/article/mg24632821-000-we-have-seen-hints-of-a-new-fundamental-force-of-nature/>, 2020.

Krasznahorkay, A. J., ve ark., "Observations of Anomalous Internal Pair Creation in ^8Be : A Possible Signature of a Light, Neutral Boson", <https://arxiv.org/abs/1504.01527v1>, 2015.

Feng, J. L., ve ark., "Protophobic Fifth-Force Interpretation of the Observed Anomaly in ^8Be Nuclear Transitions", *Physical Review Letters*, Cilt 117, Makale No: 071803, 2016.

Krasznahorkay, A. J., ve ark., "New evidence supporting the existence of the hypothetical X17 particle", <https://arxiv.org/abs/1910.10459v1>, 2019.

O'Callaghan, Jonathan, "Particle Reported, but Scientists Are Wary", *Scientific American*, <https://www.scientificamerican.com/article/evidence-of-new-x17-particle-reported-but-scientists-are-wary/>, 2019.

