

Temel sabitler deęiřiyor mu?
Uzak kuazarlardan
gelen ışıktan alınan
bilgiye göre, belki de evet.

DOĞA YASALARI ZAMANLA DEĞİŐİYOR MU?

Uzak kuasarlardan gelen ışığın duyarlı ölçümleri, ince yapı sabitinin evrenin geçmişi boyunca değişmiş olabileceğini akla getiriyor. Bu doğrulanırsa, sonuçları fiziğin temelleri bakımından çok önemli olacak.

“Doğa yasaları” dediğimizde kastettiğimiz ne? Bu deyim, “burada ve şimdi”nin ötesinde, evrende her zaman ve her yerde geçerli olan ilahi ve değişmez birtakım kuralları çağırır. Ne var ki, gerçek bu denli görkemli değil-

dir. Doğa yasaları dediğimizde kastettiğimiz, gerçekte, son derece yalın birtakım fikirler. Bilimsel bir kuramın bir doğa yasası olduğuna karar verenler, sonuçta insanlar ve insanlar da sık sık yanılır.

Bir bilimsel kuram her zaman, daha önce doyurucu bir açıklaması olmayan bir gözlemi anlama isteğimizin sonucunda gelişir. Yeni kuramlar geliştirirken fizikçiler, kütleçekim kuvveti, ışığın boşlukta hızı ya da bir elekt-

ronun yükü gibi temel niceliklerin sabit olduğunu kabul ederler. Yeni kuramlar, yeni gözlemleri öngördükleri zaman, bu niceliklerin gerçekten temel doğa sabitleri olduğu inancımız daha da kuvvetlenir.

Ayrıca, son 20-30 yıldır teknolojiye gerçekleşen hızlı değişimlere karşın, fizik alanındaki temel keşiflerin zaman ölçütü, genellikle insanın yaşam süresiyle kıyaslanabilir. Yani, onlarca yıl önce geliştirilmiş kuramlar granit kazınmış gibi görünebilirler.

Bunun sonucu, bizim dünya anlayışımızı değiştirmeye karşı duyduğumuz doğal isteksizlik. Ancak, varsayımları sınama sürecinde karşılaşılan sınırlamaları anımsamak, can alıcı önem taşıyor. Çünkü kuramları sınamak için yapılan deneylerin çoğu, “burada ve şimdi” koşullarında olan “bu Dünya’nın” araştırma laboratuvarları ya da uzayın teleskopla gözlemleyebildiğimiz küçük bir bölümüyle sınırlı.

Deneylerimizi farklı bir yerde ya da zamanda yapabilseydik, sonuçlar farklı olabilirdi. İnce yapı sabiti denen niceliği çok uzak geçmişte ölçtüğümüzde, tam da böyle olduğu görülüyor.

İnce Yapı Sabiti Nedir?

Doğa yasaları, 13,5 milyar yıl önceki Büyük Patlama’dan bu yana hiç değişmeden, oldukları gibi mi kaldılar? Bu soruyu ilk defa 1937’de Paul Dirac sormuştu ve 1975’te, Sydney’deki New South West Üniversitesi’ni ziyareti sırasında kafası hâlâ bu konuyla ilgiliydi. Dirac, evrenin büyük ölçekli özelliklerini belirleyen kütleçekim kuvveti ile evrenin küçük ölçekteki niteliklerini belirleyen çeşitli sabitler arasında bir bağlantı bulmaya çalışıyordu. Bunu yaparken, doğa sabitlerinden biri olan kütleçekim kuvvetinin zamanla değişmesi gerektiğini iddia etti.

Daha sonraki gözlemlerin bu savı geçersiz kılmasına karşın, fizik ve gökbilimin birçok alanlarındaki ilerlemeler, doğa sabitlerinin değişmesine ilişkin yeni araştırma olanaklarına da yol açtı. Yanıtlanmaya çalışılan temel soru şu: İnce yapı sabiti gerçekten bir sabit midir; yoksa değeri evrenin başlangıcından bu yana değişmiş midir?

İnce yapı sabiti “ α ” elektromanyetik etkileşimin gücünün bir ölçüsüdür; elektronların atom ve moleküller içinde çekirdeklere bağlandıkları gücün derecesini belirtir.

İnce yapı sabitinin boyutsuz olması, onu özellikle ilginç kılar. Bu onu kütleçekim kuvveti, ışığın hızı ya da elektronun yükü gibi öteki sabitlerden daha da temel bir konuma sokar. Çünkü kütle, hız, elektrik yükü vb’nin sayısal değerleri, kullanılan birim sistemlerine bağlıdır. Bu nedenle, örneğin, farklı iki zamanda yapılan gözlem ve deney sonuçlarını kıyaslarken, temel alınan ölçütlerin o zaman süresinde değişmediğinden emin olmak gerekir, ki bu da başka sorunlara yol açar.

α ’nın ve boyutsuz öteki sabitlerin zamanla değişebileceklerine işaret eden kuramsal nedenler var. Kuramsal fiziğin ‘kutsal meselesi’, dört temel kuvvet olan kütleçekimi, elektromanyetik kuvvet, güçlü ve zayıf çekirdek kuvvetlerini betimleyen tek bir birleşik kuramdır. Bu dört kuvvetin güçleri ve etkime uzaklıkları farklı olduğu halde, fizikçilerin çoğu böyle bir birleşik

şik kuramın bulunacağına inanıyor. Eğer bulunamazsa, temel fizik zerafet ve güzelliğinden çok kaybedecek.

Einstein’ın kütleçekimi kuramı, yani genel görelilik kuramı için üç uzaysal boyuta gerek vardır. Ancak, birleşik kuramın önde gelen adayı, bildiğimiz üç boyut dışında fazladan boyutlara gerek duyuyor. Birleşik kuramların doğru olup olmadıklarını bilmiyoruz; ama fazladan boyutlar varsa, bunlar, bizim uzaysal boyutlarımıza kıyasla çok, çok küçük olsalar gerek.

Bir boyuta büyüklük atfetmek tuhaf görünse de bu önemlidir. Evrenin şimdiki büyüklüğü, ışığın Büyük Patlama’dan bu yana aldığı yol (yani, yaklaşık 13,5 milyar ışık yılı) ve o zamandan bu yana ne kadar genişlediğiyle belirlenir. Bu, evrenin gerçek büyüklüğünün 40 milyar ışık yılı olduğu ve büyümeye de devam ettiği anlamına geliyor.

Birleşik kuramların öngördüğü fazladan boyutlar da evrenle aynı hızla mı genişliyor? Yanıt “hayır”. Eğer bu küçücük fazladan boyutlar bu hızla genişleseydi, kütleçekim kuvveti de çok büyük hızla değişirdi; ama bunun için elimizde hiç bir kanıt yok. Ne var ki, bu fazladan boyutlar, eğer gerçekten varlarsa, kütleçekimi ya da öteki temel kuvvetlerin gücündeki ufak değişimlerden yola çıkılarak da dolaylı olarak saptanabilir.

“Büyük” fazladan boyutların, örneğin, 1 mm’den küçük uzaklıklarda kütleçekiminin ters kare yasasından ufak sapmalara yol açabilecekleri öngörülmüş bulunuyor. Ancak Colorado Üniversitesi’nden John Price ve ekibi, yaptıkları ölçümlerde yaklaşık 100 μ m uzaklıklar için bunun herhangi bir doğrulamasını elde edebilmiş değiller. Buysa, son yıllarda doğa sabitleri, kuvvetleri ve temel simetritler üzerinde yürütülen yüksek duyarlılık birçok denemeden yalnızca bir tanesi.

İnce-yapı sabiti α ’nın zamanla olması değişimini ölçmenin birkaç yolu var: Farklı kırmızıya kayma düzeylerinde kuazarların soğurum tayflarını ölçebiliriz; ya da farklı maddelerden yapılmış atom saatlerinin tıklama hızlarını kıyaslayabiliriz. Bir başka yöntem de, kozmik mikrodalga fon ışımasını, evrenin ilk zamanlarında elementlerin oluşumunu incelemek. α ’nın son iki milyar yılda nasıl değiş-



miş olabileceğini anlamak için yapılan ilk araştırmalardan biri, Orta Afrika'daki Oklo doğal nükleer reaktörüne dayanıyor. Bu, fizikçilerin şimdiye dek inceledikleri en sıra dışı süreçlerden biri olsa gerek.

Oklo Reaktörünün Öyküsü

Doğal uranyumun iki izotopu vardır: nükleer enerji için yararlı olan U 235 (% 0,7) ve daha az radyoaktif olan U 238 (% 99,3). 1972'de Fransız atom enerjisi komisyonundan bazı bilimciler, Orta Afrika ülkelerinden Gabon'daki bir uranyum madenindeki toprak örneklerinde U 235'in beklenenin yarısı kadar olmasına çok şaşırdılar. Bunun en akla yakın açıklaması, bir zamanlar Oklo'da "doğal" bir reaktörün var olmuş olmasıydı. Arkansas Üniversitesi'nden Paul Kuroda, daha 1956'da doğal reaktörlerin varlığını öngörmüş olsa da, Oklo'daki reaktör, bunun bilinen tek örneği.

Görünen o ki, yaklaşık 2 milyar yıl önce kaya yüzeylerinde depolanmış uranyum-235, oksijenli suda yavaş yavaş erimiş, zamanla suyun yosunlar üzerinde bıraktığı uranyum-235 kritik kütleye ulaşarak doğal bir reaktör oluşturmuş ve bu reaktör de uranyum-235'i 'yakarak' olması gerektiği düzeyin altına düşürmüştü.

1976'da, Oklo reaktörünün keşfinden 4 yıl sonra Leningrad Nükleer Fizik Enstitüsü'nden Alexander Shlyakhter, sözettiğimiz bu süreç ve α arasında bir bağlantı kurdu. Oklo'dan alınan örneklerde samaryum-149, dünyadaki öteki örneklerde bulunanın neredeyse yarısı kadardı. Shlyakhter, yakındaki nötronların, enerji düzeyleri belirli bir noktaya ulaştığında samaryum-149'u samaryum-150'ye dönüştürebildiğini gösterdi. Bu dönüşüm samaryumdaki güçlü nükleer kuvvet ile itici elektromanyetik kuvvet arasındaki duyarlı dengenin bir sonucuydu ve enerji de α 'ya bağımlıydı. Eğer α 'nın değeri 2 milyar yıl önce farklı idiyse, samaryum-149'un tükenimi de farklı olacaktı. Karmaşık bazı hesaplamalar Oklo'nun aktif olduğu zamandan bu yana α 'daki değişimin oranının 10^{-7} 'den büyük olamayacağını gösteriyor.



Oklo doğal nükleer reaktörü. Sağ sayfadaki resimde görülen sarımsı kayalar, uranyum oksit kalıntıları içeriyor. Günümüzde bu Oklo yan-ürünleri, kozmolojik zaman ölçekleri içinde temel fiziksel sabitlerin kararlılıklarının incelenmesine hizmet ediyor.

Daha yakın zamanlarda "renyum tarihlendirmesi" denilen yeni bir jeolojik ölçme tekniğiyle yapılan ölçümler gösterdi ki, α 'nın 4,6 milyar yıldaki değişim oranı 10^{-7} 'den büyük olamazdı. Güneş Sistemi'nin yaşı olan bu 4,6 milyar yıl, çok uzun bir süre; ancak evrenin yaşı olan 13,5 milyar yıl daha da uzun. Evrenin daha erken dönemleri için α 'daki değişmeyi ölçebilir miyiz? Yanıt "evet": kuazarların yardımıyla.

İnce Yapı Sabiti ve Kuasarlar

Kuasarlar, küçük ama çok parlak cisimler. Hatta, yer teleskoplarından bile ayrıntılı incelemelere izin verecek ölçüde parlaklar. Merkezlerinde süperdev karadelikler olduğu, bunların çok büyük kütleçekim kuvvetlerinin de çevrelerindeki maddeyi ışığa dönüştürdüğü düşünülüyor. Gökyüzünde her doğrultuda var olduklarından, neredeyse bütün evreni haritalamamıza olanak sağlıyorlar. Bir kuasara baktığımızda gördüğümüz, diğer gökbilimsel nesnelerde olduğu gibi, onun geçmişteki durumu. Bundan yararlanarak, evreni tarihini bir milyar yaşından günümüze gözlemleyebiliriz.

Ancak α 'nın değişimini saptamak için yapılan duyarlı incelemelerde,

kuasar ışınlarını doğrudan değil, onunla Dünya arasındaki bir gökada- dan geçtikten sonra incelemek daha duyarlı sonuçlar verir. Kuasarlar, geniş bir dalgaboyu aralığında ışık yayarlar. Ancak bu ışık, gökada çevresindeki gazdan geçince, soğurum çizgileri özel bir düzen içinde ortaya çıkar. Belirli bir dalgaboyundaki bir soğurum çizgisinin varlığı, gaz bulutunun içinde de belirli bir elementin varlığını; çizginin kalınlığıysa o elementin miktarını gösterir. Dahası, soğurum çizgilerinin oluşturduğu bu 'barkod', ışık gazdan geçerken neler olup bittiğini de açıklar. (Geriye doğru gidersek, Büyük Patlama'dan 1 milyar yıl sonrasına kadar.)

Sonuçta, kuasar soğurum tayfında bulunan bu barkodlarını, laboratuvar koşullarında aynı atom ve iyonlar için ölçtüğümüz barkodlarıyla kıyaslarsak, ışığın atomlar tarafından emilmesinden sorumlu fiziksel olayların, evrenin tarihi içinde değişip değişmediğini; bir başka deyişle α 'nın değişip değişmediğini saptayabiliriz.

Avustralya'daki South Wales Üniversitesi'nden John Webb ve ekibinin yürüttüğü ve 1998'de başlayan bir proje kapsamında, Hawaii'deki 10 metrelik Keck 1 teleskopuyla 13 milyar ışık yılı uzaklıklara kadar yer alan 75 kuasar için ölçümler yapılmış bulunuyor. Araştırmacılar, sonuçların oldukça şaşırtıcı olduğunu söylü-



yorlar. İstatistiksel kanıtlar, geçmişte α 'nın $1/10^5$ oranında daha küçük olduğunu gösteriyor. Araştırılan olası birçok hata kaynağıysa, anlamlı herhangi bir sonuç vermemiş durumda. Şili'deki 8 metrelik dört teleskoptan oluşan Çok Büyük Teleskop'tan (Very Large Telescope - VLT) gelen verilerden de aynı sonuç elde edilirse, çağdaş fiziğin önemli bir bölümünü yeniden yazmamız gerekebilir!

Evrenin Başlangıç Dönemi

İnce-yapı sabiti α 'nın evrenin ilk dönemlerindeki değişimlerini de arayabiliriz. α 'yı değiştirirsek, o dönemde elektronlar ve protonların birleşerek nötr hidrojen atomları oluşturduğu sıcaklığı da değiştirmiş oluruz. Büyük Patlama'dan 380.000 yıl sonra kozmik mikrodalga fon ışıınının oluşumunu tanımlayan, bu süreçtir. α 'daki bir değişimin bu birleşmenin yer aldığı zamanı da değiştirmesi gerekir ve bu da kozmik fonun uydu ölçümlerinden saptanabilir.

Ayrıca, α 'nın zamanla değişmesi, helyum, döteryum ve lityum gibi hafif elementlerin Büyük Patlama'dan sonraki birkaç dakika içinde oluşumunu da etkilerdi. Sonuçta, α zamanla değişiyorsa, hafif elementlerin oluşum hızını tanımlayan denklemler de farklı yollarla değiştirilir. Bu demektir ki, bu elementlerin göreceli niceliklerinin duyarlı ölçümleri Büyük

Patlama'nın ilk dakikalarından günümüze, evrenin bütün tarihi boyunca α 'nın herhangi bir değişiminin sınırını bulmak için kullanılabilir.

Bu yöntemlerin ikisi de henüz yeterince kesin değerler vermiyor; ama α 'nın değişimleri konusunda önemli ek sınırlar getiriyorlar ve onun, her iki durumda da %10'dan fazla değişmeyeceğini gösteriyor.

Değişimin Atom Saatleriyle Aranması

1714'de İngiliz Boylam Kuru lu'nun denizde boylam bulma sorununun çözümü için koyduğu 20.000 sterlinlik ödülü, mekanik dahisi John Harrison, çarklar ve yaylarla yaptığı ve 47 günde 39 saniye, ya da $1/10^5$ oranda sapmayla, oldukça duyarlı denebileceği saatle kazandı. Günümüzde 50 milyon yılda 1 saniye, ya da $1/10^{15}$ ölçüsünde duyarlı atomik saatleri duysa acaba ne derdi? Böyle bir duyarlılık düzeyi, ince yapı sabitinde yıllar ölçeğinde gerçekleşmiş olabilecek herhangi bir değişimi aramayı olanaklı kılıyor.

Dünyanın en duyarlı saatleri, atom fıskiyesiyle yapılır. Havasız bir bölmede atomlardan oluşan bir gaz, keskin bir lazerler sistemiyle engellenerek mutlak sifıra yakın bir ısıya soğutulur. Bu atom topu, lazerlerin frekansını değiştirerek dikey olarak havaya fırlatılır ve yukarıya doğru giderken geçtiği bir mikrodalga kovu-

ğundan, kütleçekimi nedeniyle aşağıya doğru inerken de geçer. Bu süreç, sonra tekrarlanır. Atomların ışıması için de başka bir lazer ışını kullanılır; bu ışıının ölçülerek mikrodalga frekansına göre "rezonans" eğrisi çizilir. Rezonans eğrisinin tepe noktasındaki frekans ölçülerek de, zamanın çok çok duyarlı bir ölçümü elde edilebilir.

Tüm bunların ince yapı sabitiyle ilgisine gelince: Rezonans frekansı α 'ya bağlıdır. Eğer α zamanla değişiyorsa, farklı elementler kullanarak yapılan saatler, biraz farklı hızlarla tıklayacaktır. Dolayısıyla, farklı elementlerden yapılmış iki saatin kararlılıklarını kıyaslayarak, α 'nın zaman içindeki herhangi bir değişimine bir üst sınır koymak mümkündür.

Bu yöntem, Oklo ve kuazar yöntemleri gibi α 'nın değişimini milyarlarca yıl öncesinde değil, günümüzde incelemeye yarıyor. En son deneylerde α 'nın 5 yılda değişim oranı yılda $0,4 \pm 16 \times 10^{-16}$ olarak bulunmuştur ki, bu Oklo ya da kuasar sonuçlarıyla çelişkili değil.

Bütün Bunların Anlamı Ne?

Bütün bu deneylerin ortaya koyduğu şey, şimdilik sonuçlardaki tutarlılık. Örneğin jeolojik sonuçlar, kuazar ya da atomik saatlerin sonuçlarıyla çalışmıyor; çünkü, deneylerin her biri evrenin geçmişindeki farklı dönemleri araştırıyor. Büyük Patlama'dan sonraki ilk birkaç milyar yılda α 'nın değeri görece daha hızlı değişmiş ($1/10^5$), iki milyar önceki Oklo reaktörü dönemindeyse değişim oranı 100 kat daha küçülmüş olabilir. Oklo deneyini yineleyemeyiz; ama birkaç yıl içinde öteki sonuçlar çok daha duyarlı olacak. İnce yapı sabitinin değerinin değiştiği doğrulanırsa, bunun fizik için çok önemli açılımlar getireceği kesin. Özellikle kuasar sonuçlarının doğrulanmasıyla, uzay ve zaman kavramlarımızın köklü değişim geçirmesi kaçınılmaz olacak. Asıl büyük soruysa, bunun evren anlayışımızın temelini nasıl değiştireceği.

Webb, J. "Are the Laws of Nature Changing With Time?" Physics World, Nisan 2003

Çeviri: Nermin Arık