

# Evrensel Kütleçekim Sabiti Ne Kadar Sabit?

Dr. Tuncay Baydemir [ TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi



Newton kütleçekim sabiti (evrensel kütleçekim sabiti ve Cavendish kütleçekim sabiti olarak da bilinir ve  $G$  harfi ile gösterilir) hayli önemli olmasına karşılık günümüzde hala kesin değerini bilmiyoruz.

Yaklaşık iki yüz yıllık süreçte bu evrensel sabitin kesin değerini ortaya koymak amacıyla çok sayıda deneysel çalışma gerçekleştirildi.

Diğer evrensel sabitler çok küçük hata paylarını barındıracak kesinlikte ortaya konulabilmişken, kütleçekim sabiti ölçülmesi zor bir değer olarak gizemini korumaya devam ediyor.

Araştırmacılar da yaptıkları çalışmalarla bu zorluğa meydan okumaktan geri durmuyor.







**K**ütleçekim kuvveti dört temel kuvvet arasında en küçüğü olmasına karşılık günlük hayattaki etkilerini oldukça fazla hissederiz. Yerdeki ağır bir cismi kaldırmaya çalıştığımızda bu etki bariz olarak ortaya çıkar. İki cisim arasındaki bu kuvvet söz konusu cisimlerin kütlelerinin çarpımıyla doğru orantılı, kütle

merkezlerinin arasındaki mesafenin karesiyle ise ters orantılıdır. Cisimlerden birisi Dünya olduğunda görece büyük olan bu kuvvet, birbirinden 1 metre uzaklıkta bulunan 1'er kg ağırlığındaki cisimlerin birbirlerine uyguladıkları kütle çekim kuvveti değerlendirildiğinde ise oldukça küçüktür.



**Henry Cavendish (1731-1810)**

Kimya ve fizik alanlarına önemli katkılarda bulunmuş İngiliz bilim insanı.

Dünya'nın yoğunluğu ve kütlelerini bulmak için gerçekleştirdiği "Cavendish Deneyi" ile evrensel kütleçekim sabiti  $G$ 'nin sayısal değerini ilk bulan bilim insanı olarak anılıyor.

Evrensel kütleçekim sabiti (G) en büyük nispi belirsizlik oranına sahip fiziksel sabit. Deneysel yollarla bulunabilen G değeri için yıllardır çeşitli çalışmalar gerçekleştiriliyor. Newton kütleçekim yasasında; Einstein'ın görelilik kuramında; Planck uzunluğu, kütlesi ve zamanı gibi önemli hesaplamalarda yer alan G değerinin daha net olarak belirlenmesi gerekiyor.

Kütleçekim sabitinin kesin olarak bulunmasının önündeki zorluklardan belki de en önemlisi çekim kuvvetinin diğer temel kuvvetlerle kıyaslandığında çok küçük olması. Örneğin iki baryon arasındaki çekim etkileşimi, bunların arasındaki elektromanyetik etkileşimin yaklaşık olarak binde biri kadar. Bu nedenle kütleçekim kuvveti diğer kuvvetler tarafından kolaylıkla maskeleniyor. Ayrıca çekim kuvveti ölçülürken tam anlamıyla diğer kütlelerle olan etkileşim perdelenemiyor. Çevredeki başka kütlelerin varlığı iki kütle arasındaki kütleçekim kuvvetini etkiliyor ve bu yüzden tam izole bir ortam sağlanamıyor. Diğer bir zorluk ise G sabitinin başka hiçbir temel sabite bağlı olmaması. Bu yüzden sadece

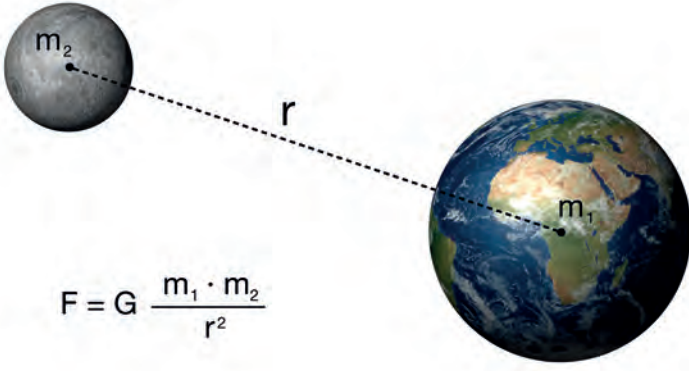
deneysel olarak bulunabiliyor. Deneysel ekipmanlardan kaynaklanan sistematik hatalar ve bu hataların baskılanması veya tamamen ortadan kaldırılması çabaları da ölçüm performanslarının düşmesine ve ölçüm farklılıklarına yol açıyor.

Bu yıl Henry Cavendish tarafından 1798 yılında Dünya'nın yoğunluğunun tayini için gerçekleştirilen deneysel çalışmaların *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*'da yayımlanmasının 220. yıldönümü. Çalışmalar sonucunda elde edilen verilerle G değeri bulunabiliyor. Bu nedenle Cavendish, kütleçekim sabitinin sayısal değerini ortaya koyan ilk çalışmanın sahibi olarak anılıyor. G değeri, Cavendish tarafından, burulma sarkacı deneyi ile 1798 yılında %1 belirsizlikle tayin edildi.

Yerçekimi, kozmoloji, parçacık fiziği, jeofizik ve astrofizik gibi alanlarda oldukça önemli bir yere sahip olan G değerinin net bir şekilde bulunması için yürütülen çalışmalar günümüzde de aralıksız bir şekilde devam ediyor.



Cavendish'in deney düzeneği temel olarak iki ucunda küçük kurşun küreler bulunan oldukça hafif bir çubuktan oluşuyor. Bu çubuk bir tel ile tam orta noktasından asılıyor. Daha büyük kurşun kürelerin bu küçük kürelere yaklaştırılmasıyla birlikte kütleçekim yasasına göre meydana gelen çekim bir döndürme momenti oluşturuyor. Telde oluşan dönme açısı ve telin elastik özellikleri kullanılarak kütleler arasındaki çekim kuvveti hesaplanabiliyor.



19. yüzyılın sonlarına doğru  $G$  değerini ölçmek için farklı metotlar denendi ya da mevcut yöntemler geliştirildi. Boys tarafından 1895 yılında bulunan  $G$  değeri, 1942 yılında Heyl ve Chrzanowski tarafından yeniden belirleninceye kadar kabul gördü. 20. yüzyılın ikinci yarısı ise bu evrensel sabitin değerini tayin edebilmek için tarihte hiçbir dönemde olmadığı kadar fazla deneysel çalışmaya sahne oldu. Cook, Beams, Gaskell, Sagitov ve daha pek çok bilim insanı yaptıkları araştırmalarla  $G$  değeri ve bu değerın uzay ve zamana bağlı değişkenlik göstermesi gibi konulara önemli katkılarda bulundu.

Newton kütle çekim sabitini tayin etmek üzere günümüze kadar yaklaşık 300 deneysel araştırma yapıldı. Sistematik değişkenleri sabit tutarak yapılan bu çalışmalarda, çekim etkileşimlerinin çok küçük kuvvetlerde olması ve diğer çekimsel etkilerin perdelenmesinin zorluğu gibi sebeplerle, bulunan değerler arasında büyük farklılıklar oluşuyor. Verilerdeki belirsizlik oranı yüzyıl başına sadece %10 azalıyor. 2016 yılında Bilim ve Teknoloji Veri Komitesi'nin yayınladığı güncellenmiş  $G$  değeri (CODATA-2014)  $6,67408(31) \times 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$  (standart belirsizlik parantez içinde verilmiştir) olarak belirlenmiş olup milyonda 47 nispi belirsizliğe sahip. Diğer önemli evrensel sabitler göz önünde bulundurulduğunda  $G$  değerinin belirsizlik bakımından hala açık ara önde olduğunu söylemek hiç de yanlış olmaz.

CODATA-2014 verisine karar verilirken son 40 yıldaki  $G$  değerleri göz önünde bulunduruldu. Ancak bu değerlerin en büyüğü ve en küçüğü arasındaki fark yaklaşık olarak milyonda beş yüz elli. Bu da en küçük belirsizlik değerinin neredeyse 40 katına eşit. Şimdiye kadar saptanan  $G$  değerlerindeki bu büyük farklılıklar herhangi bir fiziki teori veya yöntem ile tam olarak açıklanmış değil. En mantıklı açıklama olarak bu deneylerdeki hata kaynaklarının tam olarak tespit edilerek ortadan kaldırılmaması gösterilebilir.

2014 yılında Rosi ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen araştırmalarda  $G$  değerini bulmak için lazerle soğutulmuş atomlar ve kuantum interferometresi kullanıldı. Deneyin altında yatan temel mantık atom interferometresini çekim sensörü, tanımlanmış bir kütleyi de çekim alanı kaynağı olarak kullanmaktır. Araştırma sayesinde bulunan  $G$  değeri milyonda yüz elli nispi belirsizliğe sahiptir.

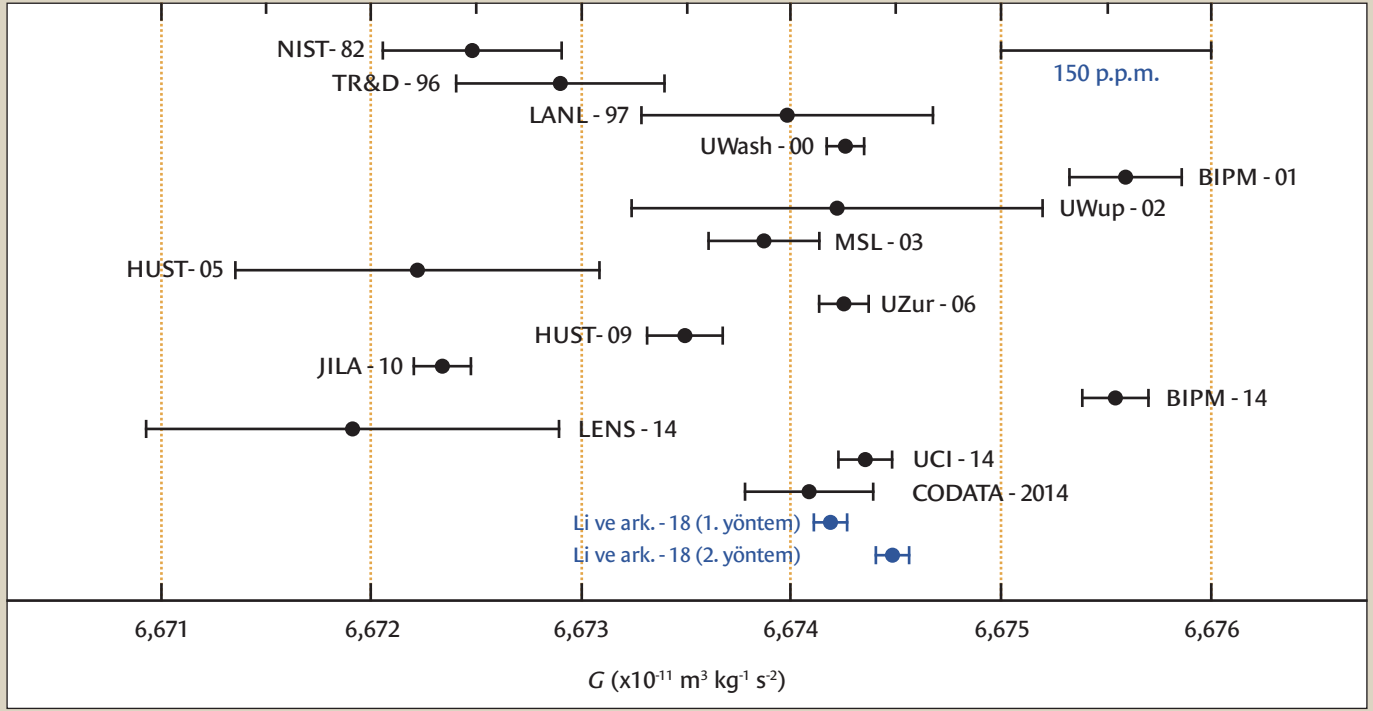
Quing Li ve arkadaşları Ağustos ayında *Nature* dergisinde yayımladıkları makale ile şimdiye kadarki en küçük belirsizlik değerlerine sahip  $G$  değeri bulgularını paylaştılar. Araştırmacıların bulguları bu alanda büyük bir başarı olarak değerlendiriliyor.

Li ve arkadaşları araştırmalarında burulma sarkacı deneyini birbirinden bağımsız iki farklı yöntemle gerçekleştirdi. Bu yöntemlerden birincisi salınım zamanı, ikincisi ise açısız momentum frekansı analizleri üzerinedir. Böylelikle bir yöntemdeki bilinmeyen sistematik hataların ikinci yöntemde olmaması planlanmıştır.

1930'larda Heyl tarafından kullanılmasıyla ünlü "salınım zamanı" yönteminde, kaynak kütleler sarkaca yakın pozisyonda (hızlı salınım) ve uzak pozisyonda (yavaş salınım) olmak üzere iki farklı pozisyonda yerleştirilir ve burulma salınım frekansındaki değişim ölçülür.

İlk olarak 1969 yılında Rose ve arkadaşları tarafından  $G$  değeri tayini için kullanılan ve daha sonra Gundlach tarafından geliştirilen "açısız momentum frekansı" yönteminde ise burulma sarkacını ve kaynak kütleleri ayrı ayrı döndürmek için iki döner levha kullanılır. Geri besleme sistemi ile telin bükülme açısı sıfıra düşürülür ve böylece sarkacın açısız ivmesi kaynak kütlelerin sebep olduğu açısız ivmeye eşitlenmiş olur.





Li ve ark. tarafından bulunan G değerlerinin daha önce elde edilmiş verilerle karşılaştırılması  
(Kaynak: Li, Q., Xue, C., Liu, J-P. ve ark., "Measurements of the gravitational constant using two independent methods", *Nature*, Cilt 560, s. 586, 2018)

Araştırmacılar bu iki yöntemle G değerlerini sırasıyla  $6,674184 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$  ve  $6,674484 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$  olarak buldu. Elde edilen bu veriler şimdiye kadar yapılanların arasında en düşük nispi belirsizlik oranına (milyonda 11,6) sahip olmaları bakımından çok değerli.

Araştırmada sistematik hata kaynaklarının bertaraf edilmesi için gerekli çalışmalar yapıldı. Sarkaç ve kaynak kütlelerin yoğunluklarının homojenliği doğrulandı. Sarkaç yüzeyi elektrostatik etkiyi engellemek için filmle kaplandı. Salınım modlarını baskılamak için kullanılan manyetik tampon için düzeltme faktörleri işleme kondu. Hava yoğunluğu değişimi, elektrostatik etki ve manyetik etki faktörleri için de gerekli düzeltmeler uygulandı.

Çalışma sonucunda tespit edilen sistematik ve istatistiksel belirsizlikler ve bu belirsizliklerin kaynakları detaylı olarak verildi. Li ve arkadaşları, şimdiye kadar bulunan en güvenilir G değerlerine ulaşmalarına rağmen elde edilen sonuçlar birbirleriyle çelişiyor. Bulunan farklı değerler hakkında yeterli açıklama henüz yapılamıyor.

Bilimsel ve teknolojik gelişmelerle birlikte her geçen gün daha kabul edilebilir bir kütleçekim sabiti değerine yaklaşıyoruz. Tüm bu olumlu adımlar da araştırmacılara cesaret veriyor. ■

#### Kaynaklar

Gillies, G.T., "The Newtonian gravitational constant: recent measurements and related studies", *Reports on Progress in Physics*, Cilt 60, s. 151-225, 1997.

Rosi, G., Sorrentino, F., Cacciapuoti, L., Prevedelli, M., Tino, G.M., "Precision measurement of the Newtonian gravitational constant using cold atoms", *Nature*, Cilt 510, s. 518-523, 2014.

Li, Q., Xue, C., Liu, J-P. ve ark., "Measurements of the gravitational constant using two independent methods", *Nature*, Cilt 560, s. 582-588, 2018.

Schlamminger, S., "Gravity measured with record precision", *Nature*, Cilt 560, s. 562-563, 2018.