

Kilogramın Tanımı Değişmek Üzere

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

Hem bilimsel çalışmalar hem de günlük hayattaki pek çok etkinlik için kendi içinde tutarlı ölçüm birimlerine ihtiyaç vardır. Günümüzde bu amaçla yaygın şekilde kısaca SI olarak adlandırılan Uluslararası Birim Sistemi (Système international d'unités) kullanılsa da henüz arzu edilen düzeye erişilebilmiş değil.

Bu durumun en önemli sebebi hâlâ temel kütle biriminin hassas bir biçimde tanımlanamaması. Ancak yakın gelecekte bu durumun değişmesi için çalışmalar yapılıyor.

Temel kütle birimi olan
kilogram metre
ve saniyenin aksine
hâlâ fiziksel bir
nesne üzerinden
tanımlanıyor.



Geçmişten günümüze SI sisteminde pek çok değişiklik yaşandı. Yıllar içinde sistemin daha tutarlı bir hale gelmesi için temel birimlerin tanımları fiziksel dünyadan daha bağımsız, daha kararlı hale getirildi. Örneğin zaman birimi olan saniye tarihte çok farklı şekillerde tanımlandı. El-Bîrûnî 1000 yılı civarında saniyeyi yılın belirli haftalarında iki yeniay arasında

geçen zaman üzerinden tanımlamıştı. Marin Mersenne 1644 yılında 0,994 metre uzunluğundaki bir sarkacın salınım periyodunu 2 saniye olarak tanımladı. 1950'lere gelindiğindeyse SI sisteminde saniyenin tanımı şu şekildeydi: 1900 senesinde geçen zamanın 31.556.925,9747'de biri. Bu tanımların tamamındaki en önemli sorun farklı zamanlarda

farklı kişiler tarafından yapılacak ölçümlerin birbiriyle uyuşmasının zorluğu. Örneğin Ay'ın Dünya etrafındaki dönüş periyodu ve Dünya'nın Güneş etrafındaki dönüş periyodu zaman içinde yavaş yavaş da olsa değişir. Mersenne'in tanımına uzunluğun hassas bir biçimde ölçülmesine dayanır. Dolayısıyla temel zaman biriminin bu şekilde tanımlanabilmesi için öncelikle çok hassas bir biçimde tanımlanabilen bir uzunluk ölçüsü olması gerekir. Ayrıca bir sarkacın salınım periyodu bulunduğu ortamdaki kütleçekim ivmesine bağlı olarak da değişir.

Uluslararası Birim Sistemi



Ölçü birimlerine bir standart getirmek için 1790'larda Fransa'da metrik sistem oluşturulmuştu. Bu sistemde sadece iki temel birim vardı: uzunluk için metre, kütle için kilogram. Daha sonraları 1830'larda Gauss uzunluk, kütle ve zaman birimlerini içeren tutarlı bir sistem oluşturmak için ilk çalışmaları yaptı. Metrik sistem çeşitli değişikliklerden sonra 1948 yılında yeniden gözden geçirildi ve bugün Uluslararası Birim Sistemi (SI) olarak adlandırılan ölçü sisteminin temelleri atıldı.

SI başından beri zamanla gelişen bir sistem olarak tasarlanmıştı. Sistem, birimlerin yanı sıra ön ekler (santi, mili, mikro, ...) de içeriyordu ve teknolojik gelişmelerle beraber temel birimlerin tanımları güncellenecekti. Geçmişte bu

doğrultuda çeşitli değişiklikler yaşandı. Örneğin metrenin tanımı 1983'te, saniyenin tanımı 1997'de güncellendi. 2011 ve 2014 yıllarında yapılan Ağırlıklar ve Ölçüler genel konferanslarında temel kütle birimi olan kilogramın yeniden tanımlanması tartışıldı. Yakın gelecekte kilogramın Planck sabiti üzerinden yeniden tanımlanması planlanıyor. İnsan eliyle yapılmış bir cisme dayalı eski tanımın doğadaki bir sabite dayalı bir tanımla değiştirilmesiyle kilogramın çok uzun yıllar geçerliliğini koruyabilecek yeni bir tanımı olacak.

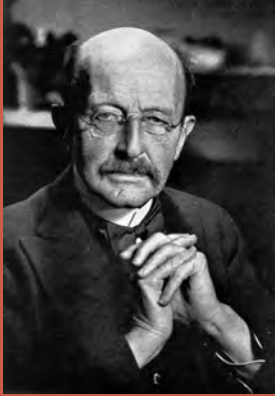
SI ilk oluşturulduğunda temel birimler olarak sadece kilogram, metre ve saniyeyi içeriyordu. 1954 yılında temel elektrik akımı birimi olarak Amper, temel sıcaklık birimi olarak Kelvin ve te-

Günümüzde saniye geçmiştekilere oranla çok daha kararlı bir biçimde şöyle tanımlanıyor: Temel enerji düzeyindeki sezyum-133 atomunun aşırı ince seviyeleri arasındaki geçişler sırasında yayılan radyasyonun 9.192.631.770 kez salınması sırasında geçen zaman. Deniz seviyesindeki, 0 Kelvin sıcaklık altında bulunan, durağan bir sezyum atomu için yapılan bu tanımın en önemi özelliği, farklı zamanlarda farklı kişiler tarafından yapılacak ölçümlerin birbiriyle çok hassas bir biçimde uyuşmasına imkân vermesi. Bir atomdan yayılan radyasyonun salınım periyodu belirli koşullar

altında her zaman aynıdır. Güncel tanıma göre çeşitli zamanlarda yapılacak ölçümler arasında bir fark görülmesine sebep olabilecek tek şey, kütleçekim alanında yaşanabilecek değişiklikler. Genel görelilik kuramı, kütleçekim alanının zamanın akış hızını etkilediğini söyler. Dolayısıyla Dünya'nın kütleçekim alanında yaşanacak değişiklikler zaman içinde saniyenin uzunluğunun değişmesine neden olabilir. Ancak hem kütleçekiminin zamanın akış hızına etkisi çok küçüktür hem de Dünya'nın kütlesi ve dolayısıyla kütleçekim alanı zamanla çok yavaş bir biçimde değişir.

Bu yüzden her ne kadar daha hassas bir biçimde yeniden tanımlanması düşünülmüyor olsa da temel zaman biriminin güncel tanımının çok hassas ve kararlı olduğunu söyleyebiliriz.

SI sistemindeki temel uzunluk birimi olan metrenin tanımı da zaman içinde pek çok kez değişti. Günümüzde metre şu şekilde tanımlanıyor: Işığın boşlukta hareket ederken $1/299.792.458$ saniyede aldığı yol. Işığın boşluktaki hızı sabittir. Dolayısıyla güncel tanıma göre zamanın hassas bir biçimde ölçülmesi uzunluğun da hassas bir biçimde ölçülmesine imkân verir.



Max Karl Ernst Ludwig Planck, Alman fizikçi. 1918 Nobel Fizik Ödülü sahibi. "Kuantum Kuramı"nı geliştirmiştir. Termodinamik yasaları üzerine çalıştı. Kendi adıyla bilinen "Planck sabiti"ni ve "Planck ışınım yasası"nı buldu.

mel aydınlanma birimi olarak candela da siteme dâhil edildi. Son olarak 1971 yılında mol de temel madde miktarı birimi olarak SI'daki yerini aldı.

SI'nın içerdiği yedi temel birim, fiziksel nicelikleri ifade etmek için kullanılan yapı taşlarıdır. Türemiş birim olarak adlandırılan pek çok birim, bu yapı taşlarının kuvvetlerinin alınmasıyla ve birbirleriyle çarpılmasıyla elde edilir. Örneğin birim zamanda alınan yolu ifade etmek için hız kavramı kullanılır. Bu niceliğin birimi temel uzunluk birimi olan metrenin temel zaman birimi olan saniyeye oranıdır: metre/saniye. Bazı türemiş birimlerin özel adları vardır. Bu birimlerin 1'den farklı hiçbir sayısal çarpan içermeyenlerine tutarlı birimler denir. Örneğin kuvvet birimi olan

Newton ve basınç birimi olan Pascal tutarlı birimlerdendir. Bu birimler temel birimler cinsinden sırasıyla (kilogram x metre)/saniye² ve kilogram/(metre x saniye²) olarak ifade edilir.

Temel birimlerin katlarını ifade etmek için ön ekler kullanılır. Örneğin kilo bin katı, mili binde biri, mikro ise milyonda biri ifade eder. Metrenin bin katına kilometre, binde birine milimetre, milyonda birineyse mikrometre denir. Benzer örnekler temel zaman birimi olan saniye için de verilebilir. Ancak temel kütle biriminin katları sanki temel birim kilogram değil de grammış gibi adlandırılır. Örneğin kilogramın binde birine milikilogram değil gram, milyonda birineyse mikrokilogram değil miligram denir.

Temel kütle birimi olan kilogramsa metre ve saniyenin aksine hâlâ fiziksel bir nesne üzerinden tanımlanıyor. Golf topu büyüklüğünde, platin ve iridyumdan oluşan, 127 yaşındaki silindirik biçimli bu nesne Paris'in dışında Ağırlıklar ve Ölçüler Uluslararası Bürosu'na ait özel bir mahzende tutuluyor. Büyük K (*Le Grand K*) olarak da adlandırılan temel ağırlık birimi o kadar önemli ki iç içe üç tane hava geçirmez cam kavanozun içinde, sabit sıcaklık altında kilitli tutuluyor. Çünkü toz, nem ya da başka etkenler silindirin kütlesinin değişmesine sebep olabilir. Dünya genelinde

bir ağırlık standardı oluşturabilmek için Büyük K'nun çok sayıda kopyası yapılmış Her 40 yılda bir Büyük K dikkatli bir biçimde saklandığı kavanozlardan çıkarılıyor ve kütlesi dünya genelindeki benzerleriyle karşılaştırılıyor. Ancak karşılaştırmalar sırasında gözlemlenen farkların Büyük K'dan mı yoksa kopyalarından mı kaynaklandığını söylemenin imkânı yok. En son yapılan 1996-1998 kalibrasyonlarında da görece büyük farklılıklar gözlemlendi.

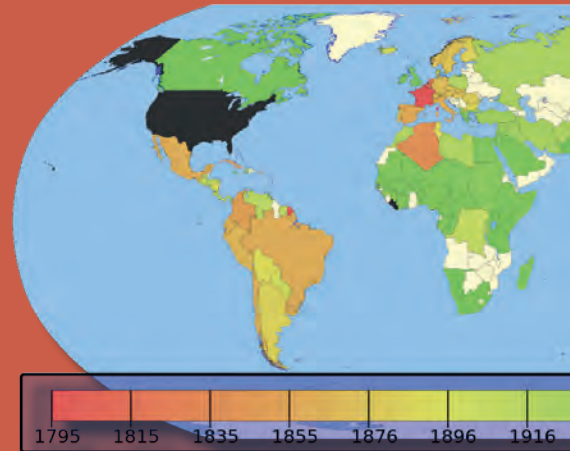
Günümüzde pek çok teknoloji ve ticaret açısından kütlenin hassas bir biçimde ölçülmesi

önemli olduğu için, onlarca yıldır bilim insanları temel kütle birimini doğada bulunan bir sabit üzerinden yeniden tanımlamak istiyor.

Yakın zamanlarda ABD'deki Standartlar ve Teknoloji Ulusal Enstitüsü'nde çalışan fizikçi Prof. Dr. Stephan Schlamminger kilogramı Planck sabiti üzerinden yeniden tanımlamak için çalışmalar yaptıklarını açıkladı. Planck sabiti (h) fotonların (ışığın içerisindeki en küçük enerji paketleri) enerjileri (E) ile frekansları (ν) arasındaki sabit orandır: $E=h\nu$. Araştırmacılar, Einstein'ın ünlü $E=mc^2$ formülünü kullanarak

Her ne kadar SI'da yer alan birimler tüm fiziksel nicelikleri ifade etmek için yeterli olsa da SI'da yer almayan pek çok birim bugün bilimsel, teknik ve ticari yazında kullanılmaya devam ediliyor. Bu birimler arasında litre, dakika, saat, hektar, elektronvolt, bar, angström ve astronomik birim sayılabilir. Bu birimlerin bazıları temel birimler cinsinden doğrudan tanımlanabilir ancak tutarlı birim değillerdir. Örneğin bir dakika 60 saniyedir ve tanımında 1'den farklı bir sabit içerdiği için tutarlı birim değildir. SI'da yer almayan bazı birimlerin SI birimleri cinsinden neye denk olduğunsa deneylerle bulunması gerekir. Örneğin elektronvolt, değeri deneylerle belirlenmesi gereken ve SI'da yer almayan birimlerden biridir.

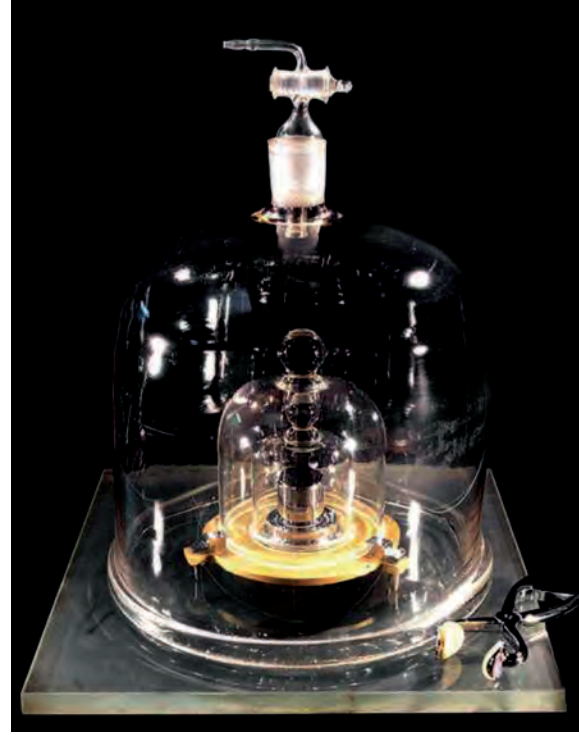
SI'daki temel birim tanımları esasen sadece en hassas ve tekrarlanabilir ölçümlerin nasıl yapılabileceğini söyler. Bu tanımların gerçeğe dönüştürülmesi açısından uygulanan prosedürler ve ölçümdeki belirsizlikler de önemlidir.



Planck sabitiyle kütle arasında ilişki kurmayı planlıyor. Planck sabitinin çok küçük bir hata payıyla ölçülmesi durumunda temel kütle birimi de çok küçük bir hata payıyla tanımlanabilir.

Prof. Dr. Schlamminger ve arkadaşları kütlesi bilinen bir cisim bir terazinin bir kısmına yerleştirmiş. Daha sonra bir manyetik alanın içinde hareket edebilen bir bobinin içinden elektrik akımı geçirerek teraziyi dengelemişler. Böylece elektromanyetik kuvvet üzerinden Planck sabitini milyarda otuz dört hata payıyla hesaplamışlar.

Temmuz 2017'ye kadar başka araştırma gruplarının da benzer çalışmalar yaparak Planck sabitinin değerini hesaplaması bekleniyor. Böylece 2018 yılında yapılacak Ağırlıklar ve Ölçüler Genel Konferansı'nda farklı araştırma gruplarının verileri gözden geçirilerek Planck sabitinin değeri üzerinde bir uzlaşmaya varılması planlanıyor. Eğer her şey arzu edildiği gibi sonuçlanırsa Büyük K da muhtemelen geçmişte standart olarak kullanılan eski metreler gibi Louvre Müzesi'ndeki yerini alacak. ■



Büyük K (*Le Grand K*)

Kaynak

Sheikh, K., "The kilograms's makeover is almost complete", *Scientific American*, Eylül 2016.



2007 yılında yapılan Ağırlıklar ve Ölçüler Genel Konferansı'nda kilogramın tanımının güncellenmesi ve SI birimlerinin daha kararlı hale getirilmesi için çeşitli hedefler konuldu:

- Işık hızına ek olarak doğadaki dört sabitin (Planck sabiti, temel elektrik yükü, Boltzmann sabiti ve Avagadro sabiti) daha değerlerinin kesin olarak tanımlanması
- Büyük K'nın işlevinin sona ermesi Kilogramın, Amperin, Kelvinin ve molün güncel tanımlarının gözden geçirilerek yeniden düzenlenmesi
- Tüm temel birimlerin tanımlarının vurguyu doğadaki sabitler üzerine alacak şekilde yeniden ifade edilmesi

2010 yılında yapılan Ağırlıklar ve Ölçüler Genel Konferansı'nda bu hedeflere ulaşmak için yapılan çalışmalar gözden geçirildi ve yeterli bulunmadı. Bugün de bu durum değişmiş değil. Ancak 2018 yılında yapılacak konferansa kadar hedeflere ulaşılabileceği ve bu konferanstan sonra SI temel birimlerinin güncelleneceği tahmin ediliyor.