

1 Metre Neye Eşittir?

Günümüzde nasıl elde edilir?

Uzunluk birimi metre (m) hayatımızda ilk ve en çok kullandığımız ölçü birimlerinden. Doğduğumuz andaki boyumuz metre ya da metrenin alt birimi olan santimetre ile ifade edilir. Metrik sistemden başka bir birim sistemi kullanılan ülkelerin ölçüm birimleri de uluslararası alanda metre birimine göre tanımlanır. Örneğin ABD ve İngiltere’de kullanılan inç uzunluk birimi “1 inç 0,0254 metreye eşittir” şeklinde tanımlanır. Hayatımız boyunca sürekli olarak kullandığımız metre, günümüzde çoğu bilimsel çalışmalarda kullanılan ışık hızı değerinin, gözle görülmeyen nano dünyadaki boyutlandırılmaların, yıldızlararası mesafelerin ifade edilmesinde kullanılan birimlerin dayanağını oluşturur. Temel olarak, 1 metrenin uzunluğu Fransa’nın Paris kentinde bulunan Uluslararası Ölçüler ve Ağırlıklar Bürosu’nda (BIPM) saklanan bir çubuğa dayanır ve artık günümüzde ışınım kaynakları (örneğin lazer) ile elde edilmektedir. Peki BIPM’de saklanan ve ışık hızı değerinin yanı sıra , Newton (N), Pascal (Pa) gibi birimlerin değerinin belirlenmesinde de rol alan 1 metre çubuğunun boyu aslında neyi simgeler? Bu uzunluk nasıl bulunmuştur? Bu kadar önem taşıyan bu çubuğun neye eşit olduğunu ve nasıl bulunduğunu sormak pek aklımıza gelmez. Günümüzde ileri teknoloji uygulama yöntemleri ile elde edilen metre, 200 yılı aşkın bir geçmişe sahiptir.

Ana hatlar

İlk metre prototipi, 22 Haziran 1799’da Hollandalı Jan Hendrik van Swinden tarafından metrik sistemin uzunluk standardı olarak Fransız yetkililere 25 mm x 4 mm dikdörtgen kesitli, platinyum bir çubuk şeklinde sunulmuştur.

İkinci metre prototipi 1889 yılında 20 mm x 20 mm büyüklüğünde, X-kesitli bir çubuk olarak imal edilmiş ve kullanılmaya başlanmıştır.

Günümüzde metre, ışığın boşlukta saniyenin 299.792.458’de biri zamanda (1/299.792.458 saniye) kat ettiği yolun uzunluğu olarak tanımlanır ve ışınım kaynakları kullanılarak elde edilir.



İnsanlar tarih boyunca uzunlukları ölçmüş, ölçtükleri mesafeleri tanımlamak ve birleştirmek için birtakım standartlar kullanmıştır. Bazen adımlarını, bazen karışlarını, bazen de nesnelere standart kabul edip ölçüm yapmış, ölçümleri kullandıkları bu standart cinsinden (örneğin 20 adım, 10 karış vb.) birleştirmişlerdir. İlk çağlarda uzunluk ölçümü için, Nil üzerindeki Chaldees'te "Kral'ın Dirseği" yaygın bir standart olarak kullanılmıştır; bugünkü birimlerle Kral Dirseği 463,3 mm'ye karşılık gelir. MS 1101'de Kral I. Henry'nin burnundan elinin başparmağına kadar olan mesafe "yard" olarak tanımlanmıştır.

Milattan yaklaşık 2500 yıl önce Mısır uygarlığında, piramitlerin yapımında kullanılan Eski Mısır Kraliyet birimi "cubit", firavunun orta parmağından dirseğine kadar olan mesafe olarak tanımlanmıştı. Bu referanstan türetilen tahta ve granit uzunluk standartları, piramitlerin yapımında çalışanlara dağıtılmış ve kullanılmıştı. Dağıtılan bu uzunluk standartlarının her dolunay zamanı kontrol edilmesi, ölçümbilimde kullanılan tabir ile "kalibre edilmesi" şartı vardı. Bu zamanı unutanlara veya önemsemeyenlere ölüm cezası verilirdi. İşte bu uzunluk



Mısır Kraliyet uzunluk ölçü birimi "cubit"

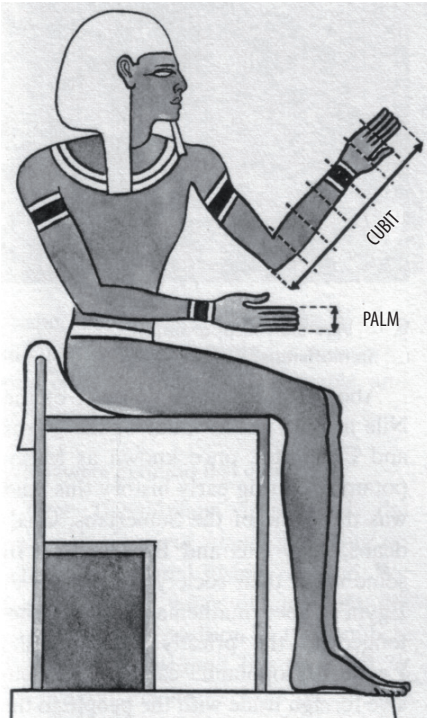
standartı sayesinde Giza Piramiti'nde 230 metre uzunlukta 0,115 metre (115 mm) doğruluk elde edilmiştir.

Zaman içinde gelişen teknoloji ile birlikte ortak bir birime ihtiyaç duyulması sonucu, geçerli ölçme ve ağırlık sisteminin Dünya'nın büyüklüğünden çıkarılması fikri ilk defa Fransız Fizikçi Jean Fernel tarafından 1528 yılında ortaya atıldı. Referans uzunluk olarak da, Paris ile Amiens arasındaki mesafenin, bu şehirden geçen meridyen boyunca ölçülmesi önerildi. Daha sonraki yıllarda birçok değişik fikir öne sürüldü, ancak 1790'lı yıllarda tekrar Dünya'nın çevresinden uzunluk birimi türetilmesine karar verildi.

Paris'teki Fransız Bilim Akademisi tarafından kurulan, aralarında Jean-Charles de Borda, Joseph-Louis Lagrange ve Pierre-Simon Laplace'in de bulunduğu seçkin bilim insanlarından oluşan bir komisyon yeni uzunluk biriminin Dünya'nın çevresinden çıkarılmasını önerdi.

Fransa Ulusal Meclisi 26 Mart 1791'de yeni uzunluk biriminin, Paris üzerinden geçen meridyen uzunluğunun çeyrek kısmının 10 milyonda biri olmasında görüş birliğine vardı. Bu yeni birim, "boyut" anlamına gelen Yunanca *metron* kelimesinden türetilerek metre olarak adlandırıldı. Bu amaçla 1792 yılında Dunkirk-Barselona arasında, Paris üzerinden geçen meridyen boyunca trigonometrik yöntemler kullanılarak ölçümler yapılmaya başlandı.

1798 yılında bu ölçümler tamamlandı. Ölçümler sonucunda, kutuplardan geçen meridyenin uzunluğu tespit edilmiş ve bu meridyenin çeyreğinin 10 milyonda biri alınarak 1 metre olarak adlandırılan büyüklük tespit edilmiştir. Kısacası Kuzey Kutup noktasından başlayarak Paris üzerinden geçen ve ekvatorla sona eren bir ip düşünür ve bu ipi 10 milyon parçaya bölersek, bu parçaların her birinin uzunluğu 1 metre olacaktır.



"Cubit" tanımını (solda). "Cubit" kullanarak yapılan piramitler (üstte)

İlk metre prototipi, 1799

Hesaplanan bu büyüklüğe göre, Hollandalı Jan Hendrik van Swinden metrik sistemin uzunluk standardı olarak ilk metre prototipini 22 Haziran 1799'da Fransız yetkililere 25 mm x 4 mm büyüklüğünde ve dikdörtgen kesitli bir platinyum çubuk şeklinde sundu. Bu standart aynı yıl Ulusal Fransız Arşivi'ne kaldırdı. Artık Fransız Bilim Akademisi tarafından tasarlanan metrik sistem doğmuştu.

1 Ocak 1840'ta yayımlanan ölçüler ve ağırlıklar ile ilgili bir kanunla, metre Fransız'da geçerli uzunluk birimi oldu. 1840-1870 yılları arasında Fransa devleti, 1799 yılında arşive alınan metrenin 25 kopyasını çeşitli ülkelere dağıttı.

1850'li yıllarda, metrenin yanı sıra başka standartlar ve ölçü birimleri de kullanılıyordu. Örneğin 1871'de Orta Avrupada Württemberg inç, Ren inç ve Viyana inç olmak üzere üç ayrı inç kullanılıyordu. Dolayısıyla da ülkeler arasındaki alışverişlerde farklı ölçü standartlarının kullanılması birtakım karışıklıklara yol açıyordu.

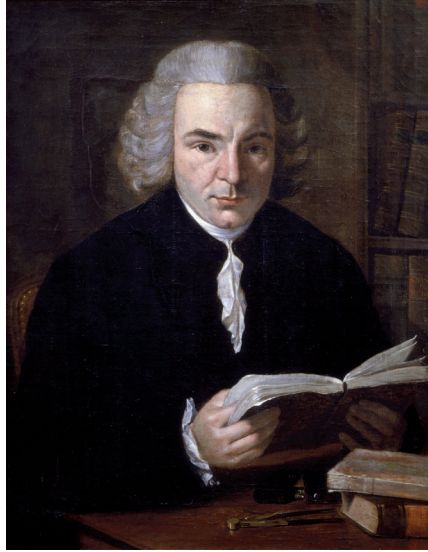
Metre Konvansiyonu, 1875

Ülkeler arasında taşınan ürünlerde birimden kaynaklanan karışıklıkları ortadan kaldırmak amacı ile 20 Mayıs 1875'te 17 ülke tarafından Paris'te Metre Konvansiyonu imzalandı ve Ölçüler ve Ağırlıklar Bürosu (BIPM) kuruldu. Metre Konvansiyonu'nun kurucuları arasında olan Osmanlı İmparatorluğu, bu konferansta Miralay Hüsnü Bey tarafından temsil edilmiş ve ilk yıllık ödeme olarak, ülke sınırları büyüklüğüne göre belirlenen en yüksek dördüncü fiyat ödenmişti.

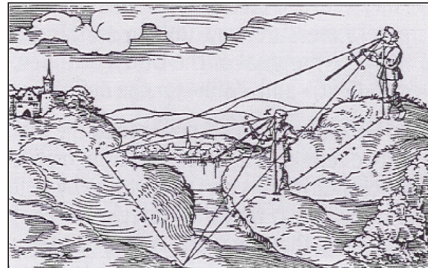
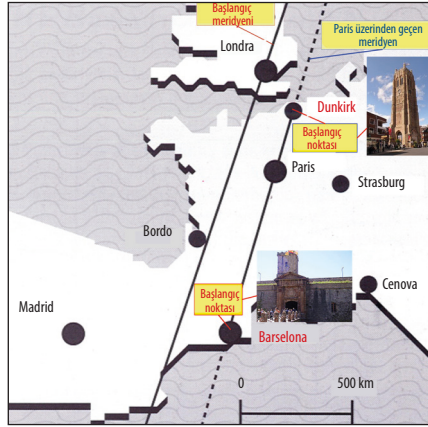
1879'da ilk "Ölçüler ve Ağırlıklar Genel Konferansı"nda metre prototipi onaylandı ve geçerliliği garanti edildi.



1 metre ve tanımını anlatmak için hazırlanmış madalyonlar



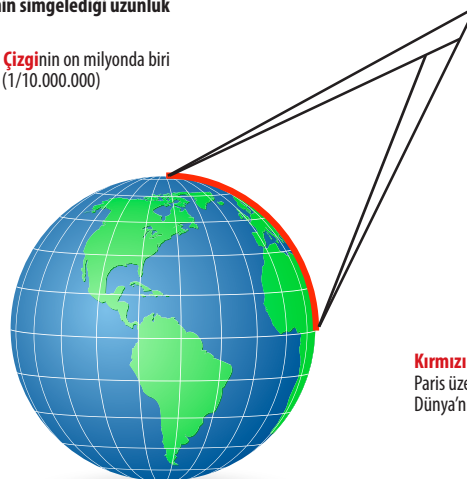
Jan Hendrik van Swinden



Dunkirk-Barcelona arası ölçümleri

Metrenin simgelediği uzunluk

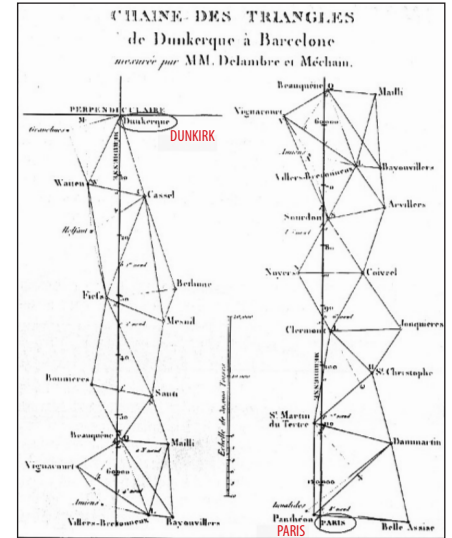
Kırmızı Çizginin on milyonda biri 1 metre (1/10.000.000)



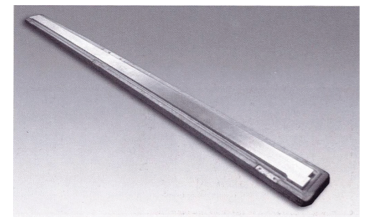
İkinci metre prototipi, 1889

Yeni metre prototipi 1889'da 20 mm x 20 mm büyüklüğünde ve X-kesitinde bir çubuk olarak imal edildi ve kullanılmaya başlandı. Yeni prototipin bir öncekinden en önemli farkı, minimum kütlede maksimum rijitlik sağlayan kesiydi (Tresca kesiti). Ayrıca 1 metrelik uzunluk, prototipin iki ucu arasındaki mesafeyle değil, uçlara yakın yerlere çizilen iki çizgi arasındaki mesafeyle ifade ediliyordu. Bu prototipler üye ülkelere dağıtıldı.

Yangın, savaş, deprem gibi doğal afetler sonucunda metre prototipine zarar gelme ihtimalinin olması, ayrıca zamanla prototipin büyüklüğünde birtakım değişiklikler meydana gelmesi nedeniyle, uzunluk standardının doğal bir kanuna ya da doğal bir olaya dayandırılarak oluşturulup kabul edilmesi için sürekli çalışma yapıldı.



Dunkirk-Paris arası ölçüm sonuçları



İlk 1 metre uzunluk standardı, 1799

Kırmızı Çizgi

Paris üzerinden geçen meridyen dikkate alınarak hesaplanan Dünya'nın çevresinin çeyrek dilimi

İlk defa 1892 yılında Albert Michelson, metreyi kadmiyumdan yayılan kırmızı ışığın dalga boyu cinsinden ölçtü ve bu konuda yapılan çalışmaların hızlanmasına sebep oldu.

1927 yılında, mastar bloğu denilen hassas metal parçaların büyüklüklerinin ölçülmesinde kullanılan kadmiyumdan yayılan kırmızı ışığın dalga boyu, λ_{Cd} 643,84696 nanometre olarak belirlendi ve böylece ilk defa ışığın dalga boyu aracılığı ile ölçüm işlemlerine bir standart getirilmiş oldu.

Metrenin ışıktan elde edilmesi için ilk resmi tanımlama, 1960

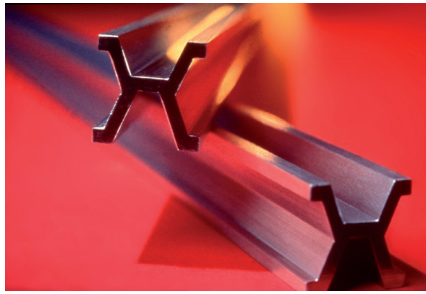
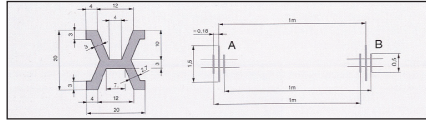
Ekim 1960'ta metre, Kripton-86 gazından elde edilen kırmızı-turuncu ışığın dalga boyu cinsinden belirlendi ve bu şekilde kabul edildi. Kısacası 1.650.763,73 adet kırmızı-turuncu ışığın dalga boyu ($\lambda_{Kr} = 605,7802103$ nanometre) değeri 1 metreyi vermektedir.

1970'li yıllarda kararlılığı yüksek lazerlerin ortaya çıkması ile lazerin metre standardının tanımlanmasında kullanılması düşünüldü.

Işık hızının belirlenmesi

1975 yılında, ışığın boşluktaki hızı $c = 299.792.458$ m/s olarak kabul edilmiştir. Bu değer, ilgili tarihteki birincil seviye metre referans standardına uyumludur ve lazer ışınının dalga boyu ve frekans ölçüm değerleri kullanılarak tespit edilmiştir.

Tespit edilen c değeri kullanılarak 1 metrelik mesafe ölçümü yapıldığında, 1975 yılında kullanılan metre standardı ile yapılan ölçüm 4 nm belirsizlikte uyumludur. Daha sonra $c = 299.792.458$ m/s değeri, belirsizlik değeri "0" olan sabit bir değer olarak kullanılmaya başlanmıştır.



1889 yılında imal edilen X-kesitli metre prototipi

Metrenin günümüzdeki tanımı

Ekim 1983'te farklı dalga boyuna sahip yeni ışınım kaynaklarının ileride daha da geliştirilebileceği düşünüldü. Bunun üzerine metre standardı için herhangi bir dalga boyu belirlemek yerine, ışığın boşluktaki sabit hızının kullanılmasına karar verildi ve 1 metre "ışığın boşlukta 1/299.792.458 saniyede aldığı yol" olarak tanımlandı. Bu tarihten itibaren ışığın 1975 yılında ölçülen boşluktaki hız değeri, belirsizliği 0 olan sabit değer kabul edilerek, metre birimi elde edildi.

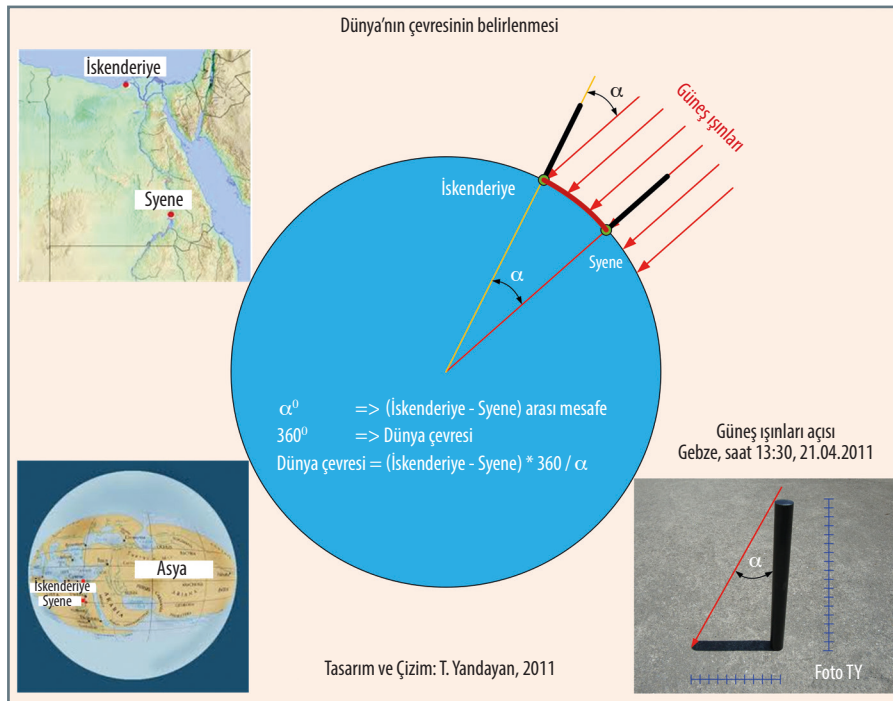
Metre, bu tanım sayesinde doğal bir olgu ile elde edilebildiği için hasar görme, bozulma gibi etkenlerden bağımsızlaştırılmış ve Dünya'nın her yerinde elde edilebilir hale gelmiştir. Bu tanıma uygun olarak elde edilen metre, başka bir referans ile karşılaştırılmadan doğrudan ışık ile ölçülen bir büyüklük olduğundan, birinci seviye ölçüm olarak adlandırılır. Böylece uzunluk standardının tanımını fiziksel bir olaya dayandırılmıştır.

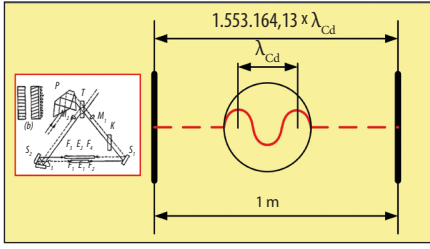


Günümüzde metrenin elde edilmesi

Metre günümüzde 1983'teki tanımına göre (ışığın boşlukta 1/299.792.458 saniyede aldığı yol) üç temel yöntemden biri kullanılarak elde edilir:

Dünya'nın çevresinin bulunması MÖ 200'lü yıllara dayanır. Dünya üzerinde (aynı meridyende) iki ayrı nokta arasındaki mesafe ölçülür. Aynı saatte, güneş ışınları bu iki ayrı noktaya hangi açıyla geldiği tespit edilir. Tespit edilen açı ve iki nokta arasındaki mesafe kullanılarak Dünya'nın çevresi hesaplanır. MÖ 200'lü yıllarda İskenderiye ve Syene şehirleri dikkate alınarak, Dünya'nın çevresinin hesaplandığı kaynaklarda belirtilir.

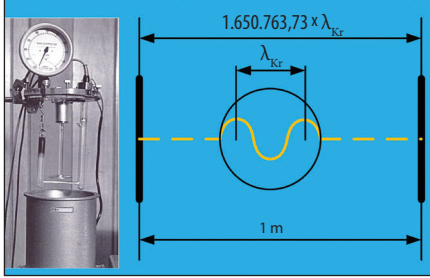




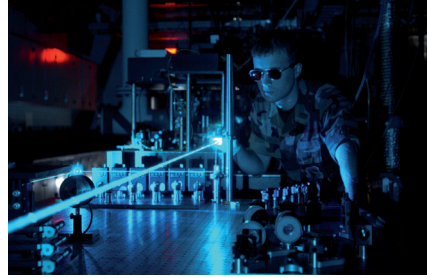
Kadmium ile 1 metrenin elde edilmesi, 1927



Metrenin günümüzdeki tanımı, 1983



Kripton-86 ile 1 metrenin resmi tanımı, 1960



Referans kararlı lazer kullanarak test lazerin dalga boyunun/frekansının tespit edilmesi

a) Işığın veya düz elektromanyetik dalganın t zamanda kat ettiği l yolun hesaplanması: Uzun mesafelerin ölçümünde tercih edilen bu yöntemin diğer bir adı da "uçuş zamanı"dır. Bu yöntemde l uzunluğu, ölçülen t zamanının, $l = c \times t$ denklemindeki yerine konulması ile bulunur. Işığın boşluktaki hızı $c = 299.792.458$ m/s olarak alınır. Eğer ışık veya kullanılan elektromanyetik dalga boşluk haricinde bir ortamda yayılıyorsa, bu durumda farklı yöntemler kullanılarak havanın kırılma indisi tespit edilip gerekli düzeltmeler yapılır.

Örneğin Ay ile Dünya arasındaki mesafenin ölçülmesinde ve mesafe değişimleri için yapılan araştırmalarda bu yöntem kullanılır. Dünyadan gönderilen lazer ışını, Ay yüzeyine bırakılan yansıtıcılardan yansır, gidip gelme zamanı tespit edilerek Ay ile Dünya arasındaki mesafe "mm" mertebesinde bir hassasiyette ölçülebilir.

Benzer şekilde, silah sistemlerindeki uzun mesafe ölçüm sistemlerinde de "uçuş zamanı" yöntemi kullanılır.

b) Işığın veya düz elektromanyetik dalganın f frekans değeri yardımıyla bulunan, boşluktaki dalga boyu ' λ ' değerinin kullanılması: Işığın λ dalga boyu değeri, ölçülen f frekansı ve $c = 299.792.458$ m/s değerlerinin $\lambda = c / f$ denklemindeki yerlerine konulması ile bulunur. İnterferometrik yöntemlerde dalga boyu değeri kullanılarak uzunluk birimi metre elde edilir.



TÜBİTAK UME imalatı portatif kararlı lazer

c) Uygulama rehberinde (*mise en pratique*) verilen ışınımların kullanılması: Uygulama rehberi, birinci seviye referans birimlerinin nasıl elde edilebileceğini açıklayan talimatların yayımlandığı kaynak belgedir. Bu belgede metrenin elde edilebileceği ışınım kaynaklarının boş-

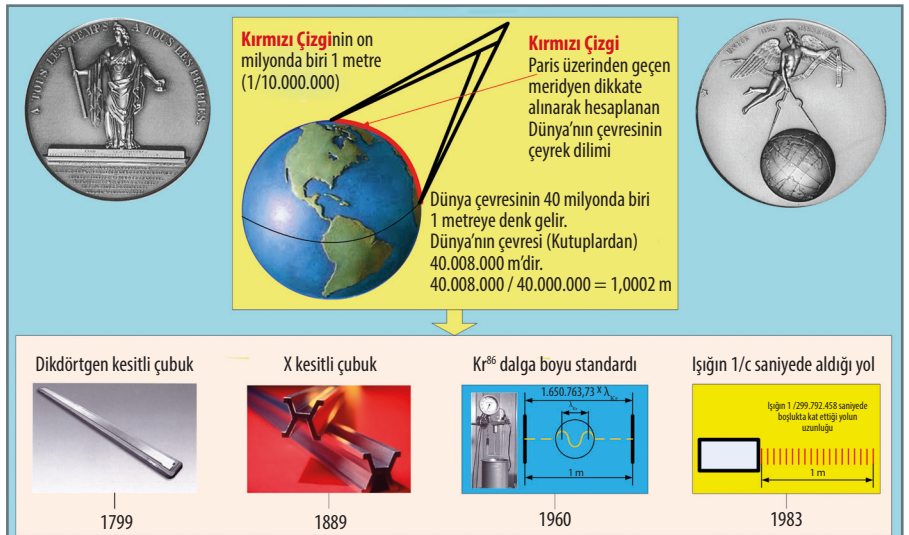
luktaki dalga boyu değerleri (metre cinsinden) veya frekans değerleri belirsizlikleri ile birlikte yer alır. Örneğin bu belgeye göre metre, frekans ölçümü yapılmadan (yine aynı belgede belirtilen koşullarına göre hazırlanmış) bir kadmiyum lambasının interferometrik yöntemlerle kullanılmasıyla elde edilebilir.

TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü

ABD'de, İngiltere'de ve Almanya'da Metre Konvansiyonu'nun ardından 1900'lü yılların başında kurulan ulusal metroloji enstitülerinin temel görevleri arasında, ülke içinde ölçüm birliğinin sağlanması için referans standartlarının oluşturulması, bunların ülke içinde dağıtılması ve uluslararası alanda bağlantılar gerçekleştirilmesi yer alır. 1980-1992 yılları arasında ülkemizde bir ulusal metroloji enstitüsü kurma çalışmaları gerçekleştirilmiş, ilk olarak 1985'te TÜBİTAK Marmara Araştırma Enstitüsü'ne bağlı olarak ardından da 1992 yılında TÜBİTAK'a bağlı olarak Ulusal Metroloji Enstitüsü (TÜBİTAK UME) kurulmuştur.

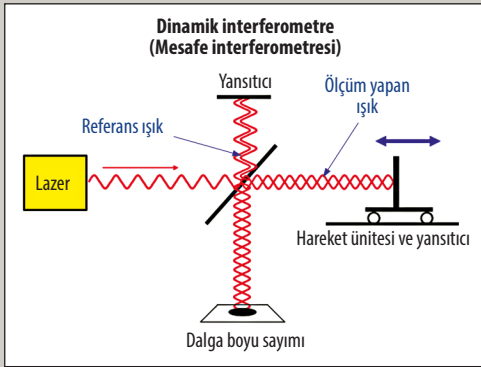
Metre birimi, günümüz tanımına göre, yukarıda açıklanan yöntemler ile TÜBİTAK UME'de elde edilip ülke endüstrisinin kullanımına sunulmaktadır.

Metrenin Gelişimi



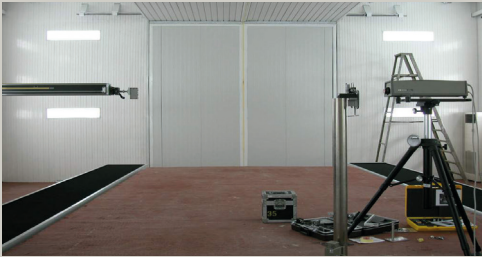
İnterferometrik ölçme yöntemi (1) - Dinamik interferometre yöntemi (Mesafe interferometreleri)

Işığın gidip gelme zamanı çok kısa olduğu için, kısa mesafe ölçümlerinde (100 m'ye kadar) t zamanı arzu edildiği kadar hassas hesaplanamayabilir. Böyle durumlarda, dalga boylarının sayılmasına dayanan yöntem kullanılır. Dinamik interferometrede, sabit yansıtıcı ve hareketli yansıtıcıdan yansıyan ışınlar girişim oluşturur. Hareketli yansıtıcının ilerlemesi sırasında bu girişimlerde değişim meydana gelir. Hareketli yansıtıcı, kullanılan ışık kaynağının dalga boyunun yarısı ($\lambda/2$) mesafede ilerlediğinde beyaz ya da siyah girişim oluşur. Bu şekilde hareketli yansıtıcının kaç dalga boyu hareket ettiği bulunur. Sayılan dalga boyu miktarı, dalga boyu değeri ile işleme konup hareketli yansıtıcının ilerleme mesafesi metrenin günümüzdeki tanımına göre tespit edilir.



Dinamik interferometre ile mesafe ölçümü

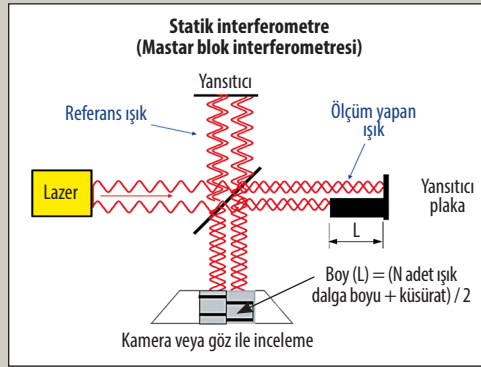
Mesafe interferometresi ile 1 metreyi 0,1 mikron doğrulukta ölçmek mümkündür. Mesafe değeri küçüldükçe ölçüm doğruluğu da artar. Atomik kuvvet mikroskoplarının hareket eksenine bağlanan lazer interferometre yardımı ile atomlar arasındaki mesafe 10 pikometre hassasiyette ölçülebilmektedir (1 pikometre, metrenin trilyonda biridir).



Lazer interferometre ile mesafe ölçümü

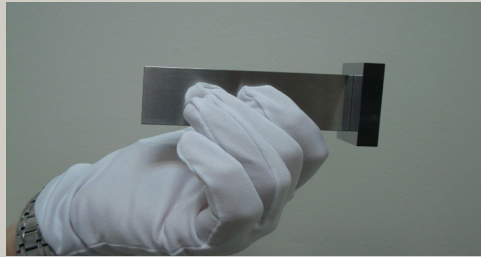
İnterferometrik ölçme yöntemi (2) - Statik interferometre yöntemi (Mastar bloğu interferometreleri)

Mastar bloklarının mastar blok interferometreleri ile ölçümünde, ışık ile elde edilen metre biriminin endüstriye aktarımı gerçekleştirilir. Bu amaçla mastar blokları yansıtma yapabilecek çok düzgün yüzeylere, moleküler çekim kuvvetleri kullanılarak yapıştırılır. Mastar blok interferometresinin içine yerleştirilip ışığın dalga boyu ile karşılaştırılarak ölçümü yapılan bu mastarlar, daha sonra endüstrinin kullanımına sunulur. Bu yöntemde, mastarın boyu kullanılan ışın kaynağı sayısına göre önceden belirli bir mertebede bilinmelidir. Örneğin 3 farklı dalga boyuna sahip ışın kaynağı kullanıldığında, mastar bloğu boyunun genelde ± 4 mikron doğrulukta önceden bilinmesi yeterlidir. İnterferometrede, yansıtıcıdan, sabit konumda yer alan (L boyu ölçülecek) mastarın üst yüzeyinden ve mastarın konulan-



Statik interferometre ile mastar büyüklüğü ölçümü

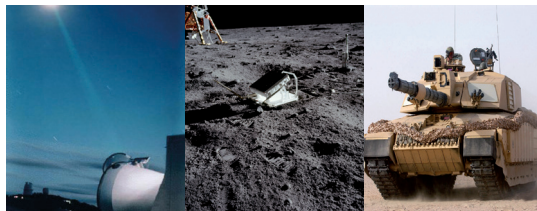
dırıldığı yansıtıcı plaka üzerinden yansıyan ışıkların birleştirilmesi ile girişim desenleri oluşturulur. Bu girişim desenleri değerlendirilerek L mastar boyu ölçülür.



Yansıtıcı yüzeye yapıştırılmış mastar bloğu



Tanfer Yandayan yüksek lisans ve doktora öğrenimini Manchester Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde tamamladıktan sonra, 1997 yılında TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü'nde (UME) çalışmaya başladı. 1998 yılından beri Boyutsal Grup Laboratuvarları'nı yönetmektedir. Ülkemizin uzunluk ölçümleri delegesi ve Avrupa Metroloji Birliği uzunluk teknik komitesi ulusal başlantı noktasıdır.



Ay ile Dünya arasındaki mesafenin ölçümü (Solda)
Ay yüzeyine bırakılan yansıtıcılar (Ortada)
Tanklarda uzun mesafe ölçme sistemi kullanılır. (Sağda)

Kaynaklar

Yandayan, T., "Metrenin 200 yıllık yolculuğu", Cumhuriyet Gazetesi Bilim ve Teknik dergisi, Şubat 2000.
Yandayan, T., "İmalat Metrolojisinde Lazer Kullanarak Yapılan Ölçme Teknikleri", II. Ulusal Ölçümbilim Kongresi Bildiriler Kitabı, s. 216-232, 23-24 Ekim 1997.

The International Bureau of Weights and Measures (BIPM), www.bipm.org
Tischler, K., Metrology File, Brown & Sharp
TESA SA, 10012.017.0206, İsviçre