

300 Yılı Aşkın Bir Çabadan Sonra, Araştırmacılar Işık Hızını Kesinlikle Belirlemiş Bulunuyor!

IŞIK HIZI, TAMİ TAMINA SANİYEDE 299 292,458 METRE!

Avrupalılardan ışık hızını ilk ölçen kişi, 1686'da Olaf Römer olmuştur. Yalnız, ölçümünde hemen hemen saniyede 100 000 kilometre kadar yanılmıştı. Geçen yüzyılda ise, ışığın hızı % 99,99'luk bir doğrulukla belirlenebilmiştir. Şimdiki ince ölçüm teknikleri ile bu değer o derece incelikle ölçülebilmıştır ki, artık ışık hızının ölçümü bir yana, ölçümler ışık hızı ile yapılmaktadır.

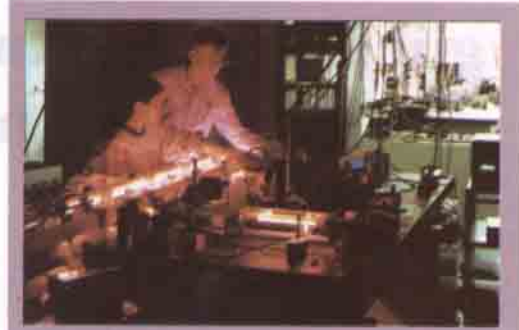
Gerd LEUCHS ve Ernst DEISSINGER

1660'ta Floransa'daki Academia del Cimento'da ses hızını ölçmek için ilk defa ilgi çekici bir deney yapılmıştı. Bunun için birbirinden kilometrelerce uzaklığa iki top yerleştirilmişti. Birinci top ateşlenecek ve ikinci topun başında bulunan topçu, ilk topun patlama sesini duyar duymaz, kendi topunu ateşleyecekti. Deneyin amacı, birinci topun ateşlenmesinden ikinci topun patlama sesinin erişmesine kadar geçen zamanı hesaplamaktı.

Böyle bir deney düzenini, doğa bilimci Galileo Galilei daha 28 yıl önce Dialogo adlı eserinde tasarlamıştı. Ancak ünlü bilgin bu "yankı" metodu ile ses değil, ışık hızını ölçmek istiyordu. Bu amaç için, birbirinden uzak iki tepe üzerine, ellerinde bir fener olan ve birbirlerini iyi görebilen birer adam yerleştirmişti. Birinci "fenerci", fenerinin kapağını açarak ışık sinyali verecek; ikinci fenerci de, ışığı görür görmez kendi fenerinin kapağını açacaktı. Galilei'nin düşüncesine göre, ışığın varma süresinden ışığın hızını hesaplamak mümkün olabilecekti.

Deney doğal olarak başarısızlıkla sonuçlandı. Hiçbir insan ışık kadar hızlı tepki gösteremez ve ışığın varışındaki fevkalâde belirsiz gecikmeyi ölçemez. Bugün ışığın sestem bir milyon kere daha hızlı olduğunu biliyoruz. Işık parçacıkları olan fotonlar, saniyede 300 000 kilometre kadar bir mesafe aşabilmektedir. Bu, hemen hemen Dünya ile Ay arasındaki uzaklığı eşittir.

Galilei, gene de dolaylı yoldan daha kendi yüzünde ışık hızının ilk olarak ölçülmesine katkıda bulunmuştur. Kendisi 1610'da Jüpiter'in aylarını keşfetmiş ve Danimarkalı astronom Olaf Römer'in şa-



Frekans zinciri: Değişik frekanslı lazerler, bir devrede düzenlenerek senkronize edilirler. Bir lazeri izleyen öteki lazer, daima kendisinden önceki lazerden daha yavaş salındığı için, frekanslar her defasında daha düşük olmakta, sonunda yaklaşık 9 gigahertz (saniyede 9 milyar salınım) ile "tuktayan" atom saatiyle ölçülebilir hale gelmektedir. Buradan da asıl ölçülmesi istenecek ilk giriş lazerinin yüksek frekansı (520 terahertz, yani saniyede 520 trilyon salınım) geriye doğru hesaplanabilmektedir.

şırtıcı bir buluş yapmasını sağlamıştır. Römer, uzun bir süreyle ilk Jüpiter ayının hareketlerini gözlemiş ve bazı düzensizlikler bulmuştu. Ay'ın gezegenin gölge konisine girişi yaklaşık olarak 1,77 gün sürüyordu; bu da dolanım süresine tekabül etmekteydi. Dünyamız, Güneş etrafındaki yörüngesinde Jüpiter'den uzaklaşırken Römer bu sürenin uzadığını, Jüpiter'e yaklaşırken ise aksine kıaldığını gözlemliyordu. Bunun sebebi, herhalde uzaklaşma sırasında ışık sinyalinin gözlemciye ulaşmasının daha fazla zaman alması idi. Yaklaşmada ise bunun tersi olmaktadır. Römer, dolanım süreleri arasındaki bu farktan ışığın hızını saniyede 214 000 kilometre olarak hesapladı. Bu değer, henüz hayli yanlıştı. Sebebi ise, o devirde Dünya'nın Jüpiter'e göre hızının henüz doğrulukla bilinmemesiydi.

1849'da Fransız doğa bilimcisi Armand Fizeau, Paris Bilimler Akademisi'ne ışık hızının çok daha incelikle belirlenmesini mümkün kılacak yeni bir yöntem bulduğunu bildirdi. Şöyle bir deney düzeni ha-

Braunschweig'teki Federal Fizik ve Teknik Enstitüsü'nde bulunan iki sezyum-atom saati (solda CS 1, sağda CS 2). Atom saatleri, ışık frekansının doğrudan doğruya ölçümünde lazer frekans zincirleri (sağda yukarıdaki resim) ile kombine edilmektedir.



zırlamıştı: Özel bir teleskopa, yandan eğri yerleştirilmiş yarı geçirgen bir ayna vasıtasıyla kuvvetli bir lambanın ışığını gönderiyordu. Işık, teleskoptan bir demet halinde, fakat kesikli olarak çıkmaktaydı; çünkü Fizeau, teleskop merceğinin odağına büyük hızla çevrilebilen bir çark yerleştirmişti. Böylelikle ışık ışını çarkın dişleri ile kesilerek tek tek ışık çakışlarına bölüştürülebiliyordu.

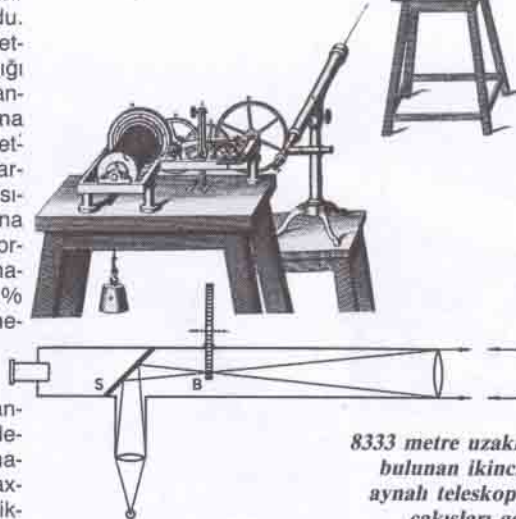
Fizeau, ışık yayınlayıcısını o zaman Paris'in batısında Sen nehri kıyısında küçük bir kasaba olan Suresnes'deki evinin terasına kurmuştu. Deney düzeninin öteki bölümü, ayna yerleştirilmiş başka bir teleskop idi. Bu ayna ile gelen ışık çakışları yakalana-rak, tekrar ışık yayınlayıcısına geri yansıtılacaktı. Bu bölüm, Montmartre'deki bir eve monte edilmişti. Yayınlayıcı ile yansıtıcı teleskoplar arasındaki mesafe, 8333 metre idi.

İki alet birbirine tam uyarlandığı zaman, deney başarıyla sonuçlandı. İlk teleskoptaki çark, gitgide artan bir hızla çevrildi. Çarkın gediklerinden geçebilen ışık çakışları Montmartre'dan geri yansıtılıyordu; ama, belirli bir dönüş hızında artık çarkın dişleri tarafından örtülmekteydiler. Böylelikle çarkın dönüşü ile ışık hızını "senkronize" etmek mümkün oluyordu. Fizeau, çeşitli günlerde yaptığı 28 deneyden sonra ışık hızını saniyede 315 364 kilometre olarak ölçtü.

Armand Fizeau, deneylerini yaparken Jean Foucault adlı genç bir fizikçiden yardım görmüştü. Foucault, daha sonra daha doğru değerler sağlayan kendi ölçüm metodunu geliştirdi. Foucault, ışık çakışları elde etmek için işiği bir çarktan geçirmek yerine, ışık ışını bir döner aynaya yöneltiyordu. Oradan yansıtılan ışık çakışları tekrar sabit bir aynaya gönderiliyordu. Bu ayna birkaç kilometrelik bir mesafeden işiği tekrar döner aynaya yansıtıyordu. Döner ayna arada biraz hareket etmiş olduğundan ışık artık ilk başlangıç noktasına gelemiyor, biraz yana doğru sapırılmış oluyordu. Foucault, bu sapmadan ışık hızını sadece % 1'lik bir yanlışla ile hesaplayabilmişti.

Işık hızını araştıranlar, sadece fizikçiler değildi. İngilizce matematikçisi James Clerk Maxwell (1831-1879), özellikle elektrik ve mıknatıslık konularını inceledikten sonra devrim yaratan bir

Birinci teleskopta, bir lambanın ışığı bir dişli çark tarafından ışık şimşeklerine bölünüyor.



8333 metre uzaklıkta bulunan ikinci bir aynalı teleskop, bu çakışları geriye yansıtıyordu. Işık hızıyla çarkın dönüşü, birbirleriyle senkronize ediliyordu.



Amerikalı fizikçi Albert Michelson, interferometresi ile ışıküstü hızları ölçmek istiyordu. Deneyi başarısızlıkla sonuçlandı. Albert Einstein, bundan şu sonuca vardı: Işık hızı, mutlak bir değerdir.

teori geliştirerek, o zamana kadar bilinen bütün elektrik ve mıknatıslık özelliklerini açıklayabilmişti. İş bununla kalmıyordu: Bu teoriye göre, elektrik akımları kaynaktan değişmez bir hızla elektromanyetik dalgalar yayınlayan bir elektromanyetik alan yaratmaktaydı. Maxwell, bu dalgaların hızını hesapladığında, hızlarının aşağı yukarı ışık hızına denk düştüğünü gördü. Bundan da, ışığın sadece elektromanyetik dalgaların özel bir şekli olabileceği sonucuna vardı. Daha sonra 1887'de Alman fizikçisi Heinrich Hertz, elektrik dalgaları üreterek onlarda ışığın en belli başlı yayılma özelliklerinin mevcut bulunduğunu gösterdi.

Okyanusun öte tarafında ABD'nin yeni kurulmuş üniversitelerinde de ışık hızıyla ilgilenen bilginler vardı. Nitekim Amerikalı fizikçi Albert Abraham Michelson, daha ilk deney dizisinin sonunda ışık hızını saniyede 299 789 kilometre olarak o derece doğrulukla belirlemişti ki, bu değer ancak onyıllarca süren zor çalışmalardan sonra biraz daha düzeltilmişti. Michelson, Foucault gibi bir döner ayna düzeninden yararlan-



mıştı. Işık ışınının bölünmesini, iki ayrı yöne saptırılmasını ve tekrar birleştirilmesini sağlayan interferometrenin bulucusu olan ve ışık hızı konusunda Morley ile birlikte Einstein'e ilham kaynağı olmuş birçok deneyler yapmış bulunan Michelson, ölüm tarihi olan 1931'e kadar döner ayna düzenini daha da geliştirmeye çalışarak, özellikle ışığın bir vakumdaki hızını incelemişti.

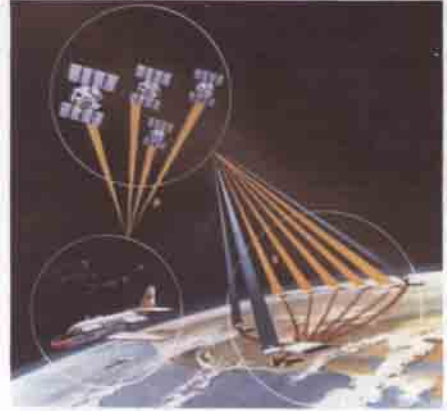
Araştırmacılar 1940'lı yıllarda dolaylı ölçüm denen yepyeni bir ışık hızı belirleme yöntemini kullanmaya başladılar. Bu

yöntemde bir elektromanyetik dalga üretilmekte ve birbirinden bağımsız iki ölçümle bunun dalga boyu ile salınım süresi belirlenmektedir. Birinci değer, ikincisi ile bölündüğü zaman, matematik bir sonuç olarak ışık hızı elde edilmektedir. Işık şimşegi denen kısa süreli ışık çakışları ile yapılan deneylerde, şimşeklerin hızıyla doğrudukları dalgaların hızının ancak bir vakumda aynı olduğu, atmosfer ve su gibi ortamlarda ise şimşeklerin dalgalardan geride kaldıkları ve dalgaların kendilerinin de vakumdakine göre yavaşladıkları ortaya çıktı. Dalgalardaki bu yavaşlama atmosferde % 0,03'ü buluyor ve ışık şimşekleri de dalgalardan % 0,001 oranında daha yavaş hareket ediyordu. Dolayısıyla matematik düzeltmelerle birbirinden sapan bu iki ayrı ölçüm değerinin uzlaştırılması gerekmişti.

1950'li yıllarda artık ışık hızı değerini altıncı ondalık basamağına kadar hatasız hesaplamak mümkün olmuştu. Ancak o zaman başka bir problem ortaya çıkmış bulunuyordu: Kullanmakta olduğumuz metre, yeterince doğru belirlenememişti! Zaman ise, uzunluğun aksine, fevkalâde incellekle ölçülebilmektedir. Zaman ölçümünde yanılma payı, sezyum-atom saatlerinde sadece 10^{-13} 'tür. Böyle saatler, 300 000 yılda en fazla bir saniye kadar yanılmaktadır. Uzunluk ölçüm birimine gelince, bu birim Paris'te muhafaza edilen genleşme payı 5×10^{-7} yani iki milyonda bir olan platin-iridyum alaşımından bir metrelilik ana çubuğa dayandırılmıştı. Daha o zaman bile, ince ölçümlerde metrenin ışık dalgaboyu ile ifadesine çalışılmaktaydı. Işığın dalgaboyunun iki milyon katı, aşağı yukarı bir metre ettiğinden, metre yerine ışığın dalgaboyunu uzunluk ölçüsü olarak kullanmak daha sağlıklıydı.

Fizikçiler, 1927'de kadmiyumun kırmızı tayf çizgisininin dalgaboyunu uzunluk birimi olarak kullan-

Navigasyon (seyrüsefer) uyduları, uçak ve otomobillerin yer belirlemede yardımcı olmaktadır. Ancak bunun için elektromanyetik dalgaların yayılma hızını çok daha incellekle belirlememiz gerekir.



mayı kararlaştırmışlardı. 1960'ta ise ana çubuk bütünü terk edilerek, yeni uzunluk birimi olmak üzere asal gaz kriptonun turuncu tayf çizgisinin dalgaboyu kabul edildi. Yanılma payı 10^{-9} olan bu yeni uzunluk birimi, ana metreden 50 kat daha doğruydı. Ancak çok ince ölçümler için bu da yeterli olmuyordu.

Işık hızı ölçümünde bir sonraki adım, lazerin bulunuşu ile atılabildi. Artık ışık hızı o derece incellekle hesaplanabilmişti ki, fizikçiler "neden ışık hızını ölçecek yerde, ölçümleri ışık hızına göre yapmayalım?" diye düşünmeye başladılar. Nitekim 1983'ten beri ışık hızı artık ölçülmemekte, buna karşılık sani-



Vakum tüpleri ve ayna mahfazaları, montaj sırasında ölçülüyordu. Michelson, deneylerinde döner ayna düzenleri kullanmaktaydı (solda bunların basitleştirilmiş bir şeması gösterilmiştir). Michelson, teleskopta ışığı görür görmez, aynanın dönme hızından aradığı değeri hesaplayabiliyordu.



MİKRODALGA, GÖZÜN HİZMETİNDE

Mikrodalga, fırınlar, hafif ve taşınabilir ısıtıcılar ve uçakların iniş sistemlerinden sonra şimdi de göz doktorlarının hizmetine girmek üzere. Böylece miyopluk, hipermetropluk ve astigmatlık gibi göz kusurları tamamen düzeltilebilecek.

Dartmouth Collage'den mühendislik bilim doçenti B. Stuart Trembly gözlüklerin işlerine son verecek kalem şeklinde bir mikrodalga aleti geliştirdi. Bu alet, korneayı ısıtıp soğutarak doktorların bozulmuş korneaya yeniden şekil vermelerine imkân sağlıyor.

ERİYEBİLEN KEMİK ÇİVİSİ

Kemiklerin kırıldığı birçok durumlarda, kemik kaynamaya devam ederken onu hareketsiz tutacak çivi, protez vs. ye ihtiyaç vardır. Bunlar genelde metalden yapılırlar. Bu tedavinin bir dezavantajı daha sonra yapılacak ağırlı bir operasyonda metalin çıkarılmasıdır.

Johns Hopkins Üniversitesi'ndeki araştırmacılar yeni bir yöntem geliştirmekteler. Fosfat esterleri denilen yeni bir tip plastikten yapılan, eriyen çivi ve protezler yerleştirildikten sonra, kemik kaynarken bu çivilerde eriyor.

Trembly "önemli olan korneaya doğru şekil verip büzülmesini sağlamaktır.

"Miyoplarda ya göz çok uzunlaşmıştır ya da lensin kendisi çok kuvvetlidir. Öyleyse korneayı yassılaştırarak optik olarak zayıf hale getirmek lâzımdır. Astigmatlık da lensi asimetrik olarak yassılaştırmakla düzeltilebilir." diyor.

Trembly'nin aleti 90'lı yılların ortalarında klinik denemeler için hazır hale gelecek. Bu alet, korneanın en kalın tabakası olan stromaya 55-57°C lik bir sıcaklık veriyor. Uygulama sırasında soğutma bölümünü içeren özel bir alet korneaya bastırılıyor. Bu aletten akan bir tuz solüsyonu göz yüzeyini yüksek ısınin zararlarından korumaya yarıyor.

Hopkins Tıp Fakültesi'nden Doç. Kam Leong, plastik kemik çivisinin henüz proje aşamasında olduğunu ve önümüzdeki yıl hayvan deneylerine başlanabileceğini söylüyor.

Araştırmacılar farklı hızlarda eriyebilen polimerler geliştirmekteler. Bu şekilde yeni onarılan bir kemik henüz tam kapasiteyle çalışmaya başlamadan önce iyileşmek için yeterli zaman bulmuş olacak.

OMMI, Ağustos 1991'den çev.:
Özer ÖZTEKİN

Bu lazer yansıtıcısı, Apollo II seferi sırasında Ay'a yerleştirilmiştir. Böylelikle şimdi bir lazer ışını vasıtasıyla, ışığın varmak için harcadığı süreden Dünya ile Ay arasındaki mesafe tamı tamına hesaplanabilmektedir.



yede 299 792,458 metrelik sabit bir birim değer olarak alınmaktadır. Herhangi bir uzunluk ise, ışığın bu uzunluğu aşmak için harcadığı zaman olarak ifade edilmektedir.

Şimdi uzman olmayan bir kimse, zaman ve uzunluk ölçümünün bu derecede mükemmelleştirilmesinin ne faydası olduğunu soracaktır. Bazı örnekler verelim: Radarla gezegenlerin uzaklık ve yörüngelerinin belirlenmesinde, lazerle Ay'ın tam yörüngesinin ölçülmesinde ve çeşitli ince aletlerle koordinat ölçüm makinelerinin yapılmasında bunun büyük önemi vardır. Bu alanlarda gitgide artan ölçüde lazer interferometreleri kullanılmaktadır.

Daha da önemli bir gerekçe, uzay uyduları vasıtasıyla yer belirlenmesine olan ihtiyaçtır. Uzmanlar, uzaydaki navigasyon (seryüsefer) uydularıyla yer belirleniminin, ancak elektromanyetik dalgaların uzay-

daki yayılma hızının daha iyi bilinmesi ile incelikle yapılabileceğinin farkına varmışlardır. Eğer ışık hızını sadece milyonda birlik bir oynama ile dikkate alsak, bu uyduların yayılma payı yerde 40 metreye erişmektedir. Eğer bu 40 metrelik yayılma payını yerden ölçümdeki birkaç milimetrelilik yayılma payına indirmek istersek, ışık hızını on milyarda birlik bir incelikte dikkate almamız gerekmektedir. Şimdilik böyle ölçümlerde 10⁻⁷'lik bir ince-

liğe erişilmiştir. Daha incelikli bir ölçüm yapmak, meselâ dünya üzerindeki iki nokta arasındaki mesafeyi ölçmek için, önce ölçüm ışını, ilk noktadan dünya atmosferi içinden en kısa yolla bir navigasyon uydusuna yöneltmek, bu ışını uydular ağı yoluyla havasız uzay boşluğundan son istasyona göndererek buradan atmosfer içinden ikinci ölçüm noktasına ulaştırmak düşünülmektedir. Böylelikle erişilecek olan ölçüm doğruluğu ışının atmosfer içinden doğrudan doğruya bir ölçüm noktasından diğerine gönderilmesi halinde elde edilecek ölçüm doğruluğundan daha iyi olacaktır. Bunlar geleceğin işi olabilir; ama, ABD'den sonra şimdi Rusya, Japonya ve Avrupa ülkelerinin de fevkalâde duyarlı ilk navigasyon uydularını uzaya fırlatmaya hazırladıklarını hatırlatmak isteriz.

P.M. 9/91'den kısaltarak çev.: Dr. Ergin KORUR