

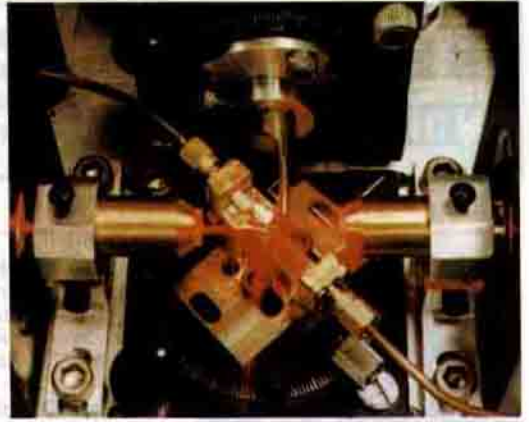
ÇOK HIZLI LASERLER

Doç. Dr. Selçuk ALSAN

Daime daha hızlı! Bugünün araştırmacıları giderek daha hızlı olaylarla ilgileniyorlar. Çünkü hız artırmının, elektroniğe olduğu gibi uygulamada veya biyoloji ve kimyada bazı reaksiyonları daha iyi anlamada önemli rolü vardır. Çok hızlı laserler (Ultra hızlı laserler) picosaniye ($ps = 10^{-12}$ saniye) veya femtosaniye (10^{-15} saniye) süren ışınlar verebiliyor. Böylece "sonsuz kısa"ya yakın bir zaman dilimindeki olaylar incelenebiliyor. Elektron mikroskobu nasıl hücre içindeki yapı ve olayları açıklığa kavuşturduysa, çok hızlı laserler de atom ve molekül dünyasının kapılarını aralıyor. Ultra-laserler sayesinde çok yavaşlatılmış bir dünyaya yolculuk yapacağız. Bu yeni dünyada, atom ve elektronlar, bilardo toplarının hızıyla çarpışmakta, transistörlerin yarı-iletken parçalarında elektron dansları, fotosentez sırasında ışık enerjisinin kimyasal enerjiye dönüşmesi, maddelerin ışın etkisiyle birbirine kaynaması (füzyon), ısıtılan maddelerin elektron saçması, elektronların zarlardan geçişi, proteinlerin sonsuz titreşimleri ve benzeri olaylar izlenebilmektedir.

Çok hızlı olaylar, femtosaniye aralıklarla yanıp sönen bir cihaz (stroboskop) sayesinde yavaşlatılabilmektedir. Bu yüzyılın insanı saniyenin milyarı keire milyonda birinde geçen bir olayı izleyebilececek duruma gelmiştir. Bu konuda bir yarış süregelmektedir. 1969'da Bell Telephone'dan A.J. DeMaria ilk "bloke mod" tipi laseri gerçekleştirerek picosaniye süreli ışın elde etmişti. 1982'de ATT Bell Laboratuvarı'ndan Charles Shank 20 fs (femtosaniye)'ye, 1984'te Massachusetts Institute of Technology'den E. Ippen 16 fs'ye, aynı yıl IBM'den D. Grisckowski 12 fs'ye, 1985'de tekrar Shank 10 fs'ye ulaştı. Shank şimdi 5 fs'ye ulaşmak üzeredir. 1990'da 1 fs'ye ulaşılacaktır. Göze görünen ışığı bundan daha kısa süreye vermek olanaksızdır; ancak UV ve X ışın laserleri ile daha kısa süreli ışınlar da oluşturulabilecektir.

Olayı biraz daha somutlaştıralım. Işık 100 fs'de 30 mikron, yani bir saçın kalınlığı kadar yol alır. Bir atomun en dış elektronları dış zorlamalara fs'den az bir zamanda cevap verir. Molekül titreşimlerinin periyodu 30-40 fs ile birkaç ps arasında değişir. En hızlı transistörlerde elektronlar birkaç yüz fs aralıklarla şoka maruz kalıp yavaşlar. Elektronların hızı yüksek olmadığından, bugünkü elektronik pek hızlı gelişmemektedir. Gelecekte "tamamen optik" transistörler oluşturulacak, bunlarda elektron akımı yerine fs



Femtosaniye laserler endüstride kullanılmaktadır. Bazı transistörler 10 picosaniyeden kısa süren aralıklarla değişme gösterirler. Bu ancak çok hızlı laserlerle ölçülebilir. Bir elektrik alan bazı kristallerin çift kırıcılık (birefrinjans) özelliğini değiştirebilir. Bu değişikliği ancak femtosaniye laserler yakalayabilir. Bu yöntemle elektro-optik örneklik ayırma (eşantiyonaj) denmektedir. Bir elektrik alan şeklin merkezindeki kristalin birefrinjanlılığını değiştirmekte, bu değişime soldan gelen kırmızı bir laserle tespit edilmektedir. Böylece ps'den kısa süren elektrik alan değişimleri laserle ölçülebilir.

laserlerin komuta ettiği optik demetler kullanılacaktır. Geleceğin "optik bilgisayarları", optik transistör kullanarak bugünkünün 1000 katı bir hızla çalışacaktır.

Femtosaniye laser spektroskopisi sayesinde, bitkilerin ve bazı bakterilerin güneş ışığını kimyasal enerjiye çevirmesindeki bütün ara safhalar (iyonizasyon, izomerizasyon vb.) incelenmeye başlanmıştır. Gen mühendisliğiyle bu tekniklerin kopya edilmesi sayesinde, yüksek randımanlı "biyolojik" transistörler oluşturulabilecektir.

Her Şeyden Önce Laser : Bu konuda daha ileri gitmeden önce, biraz laserine ne olduğundan söz edelim. En basit laser, birbirine paralel iki ayna ile bunların arasına konmuş ışık güçlendirici bir ortamdan oluşur. Oluşan güçlü ışığın dışarı çıkabilmesi için aynalardan biri hafifçe saydamdır. Bu sistemin bütününe "rezonatör" veya "kavite" denir. Işık dalgası, aynalar arasında her geliş gidişte kendi kendisiyle faz farkı oluşturur. Öyleki, gelip gitme uzaklığı daima bu ışığın dalgaboyunun (λ) tam katıdır. Aynalar arası uzaklık L ise $\lambda = 2L/k$ 'dir (k bir tamsayı). Bu dalganın frekansı (N) şöyle bulunur. $\lambda \cdot N = c$ 'den $N = kc/2L$ 'dir (c ışık hızı).

Aynalara dik ve bu formüle uyan her dalga bir laser "mod"udur. Bir organ hava borusunda ses dalgalarının rezonansı sonucu bir ana ton ve onun harmonikleri (frekansı ana tonun n katı olan tonlar) oluşur; "mod"lar da ışık dalgalarının harmonikleri

Yarı iletkenlerde elektronların davranışını incelemek, en hızlı elektronik devrelerin cevap zamanını belirlemek, geleceğin optik transistörlerinde uygulanacak aşırı hızlı mekanizmaları keşfetmek, çok kısa süreli ışın veren laserlerin başlıca uygulamalarıdır. Bugün 10 femtosaniyeden ($1 \text{ fs} = 10^{-15}$ saniye) kısa süreli laser ışınları elde edilebilmektedir. Bu ışınlar sayesinde bitkilerdeki fotosentez olayı ile atom ve molekül hareketleri yavaşlatılmış olarak incelenebilmektedir. Şekilde ön planda osilatör ve arkada femtosaniye amplifikatörleri görülmektedir (A). Osilatör B'de yakından görülüyor. 50 fs oluşturmak için bir laser, argon laserinin mavi ışığıyla pompalanıyor. Kırmızı ışın, ışık hızıyla kavite halkasını durmadan dolaşan böyle bir kısa ışığın artığıdır. Bu kısa ışınlar bir neodyme-YAG laserinin yeşil ışığıyla pompalanmış renkli maddelerden geçerek 50 gigawatt üstü enerjilere amplifiye edilir. Terawatt (10^{12} watt)'a ulaştığında UV ve X ışınları laserleri elde edilecektir.

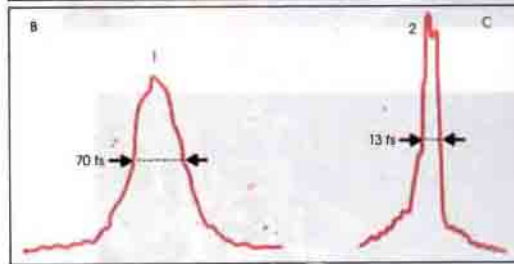
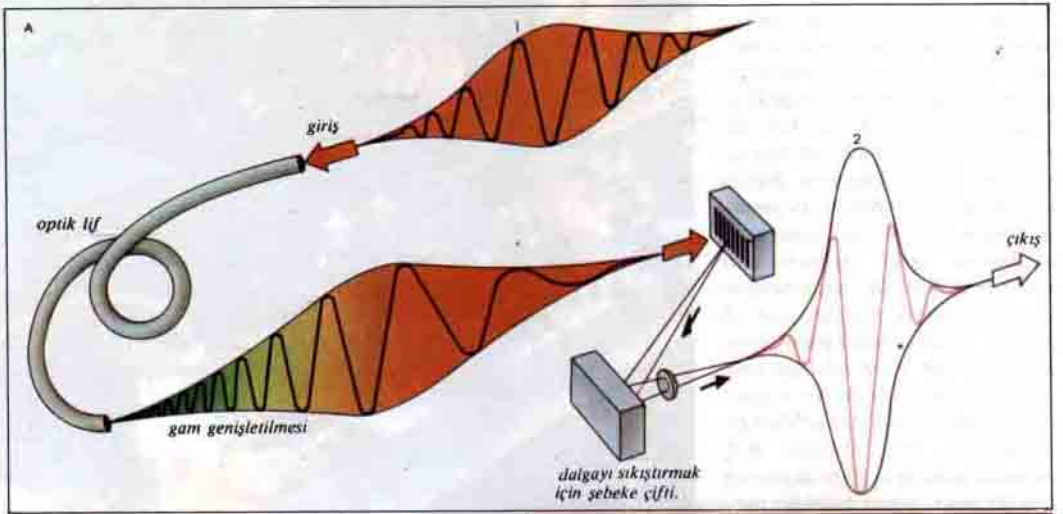


olarak düşünülebilir. Harmonikler $N = kc/2L$ formülüne göre oluşur. Burada $k = 1,2,3...$ değerlerini aldıkça frekans $1,2,3...$ kat artar. Ancak ses dalgalarında k 1'e yakın değerler alırken, bir laser kavitesinde k milyon seviyesindedir; yani laserin optik modlarının (harmoniklerinin) sayısı bir milyon civarında olabilir.

Pratikte aranan şey, laserin tek modlu, yani tek dalga boyunda oluşudur. Bu durumda tek renkli (monokromatik) laserden söz edilir. Genellikle laserin optik kavitesi birçok aynadan oluşur ve ışık kapalı devre yapacak (başladığı noktaya dönecek) şekilde bir yol izler. Şimdi bu modlardan bir bölümünün nasıl amplifiye edildiğini görelim (bilindiği gibi bir laser sözcüğü, şu İngilizce terimlerin baş harflerinden oluşmuştur: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation = Işıma emisyonunun uyarılması yoluyla ışık amplifikasyonu veya kuvvetlendirilmesi).

Kuantum fiziğinden biliyoruz ki, bir atom veya molekül ancak enerji seviyeleri belli "durum"lardan birinde bulunabilir. Madde bir enerji seviyesinden diğerine geçiş sırasında belli bir enerjiyi serbest bırakır veya alır. Bu enerji "foton" denen ışık parçacıkları şeklindedir. Böylece elektronların yüksek enerjili bir yörüngeden düşük enerjili bir yörüngeye atlamaları veya bir molekülün titreşimlerini değiştirmesi foton çıkmasına neden olabilir.

Acaba optik bir kazanç nasıl sağlanır? Yani nasıl olur da bir ortamdan çıkan foton sayısı, o ortama giren foton sayısından fazla olabilir? Bunun için absorbe edilmiş fotonlardan daha fazla sayıda foton yaratılmalıdır. Bir atomun iki enerji seviyesinde olabildiğini düşünelim: E_0 ve E_1 . Bir fotonun enerjisi $E_1 - E_0$ 'a eşittir. Burada iki durum olabilir: Atom, E_0 (düşük enerji) seviyesindedir. Böyle bir atom foton absorbe ederek E_1 (yüksek enerji) seviyesine



Optik bir dalganın süresini kısaltmanın bir yolu, bu dalgayı birkaç cm uzunlukta bir optik life sokmaktır (A). Dalga burada yeni frekanslar kazanır. Dalganın başı kırmızı, kuyruğu mavi frekanslara kayar. Böyle frekans spektrumu genişletilmiş bir dalga, zaman içinde sıkıştırılabilir. Bunun için bir çift optik şebeke kullanılır. Bu şebekeler mavi kuyruğun kırmızı başa yetişmesini sağlar; böylece sıkışan dalganın süresi 70 fs'den 13 ve hatta 8 fs'ye indirilebilir (B ve C). Dalgaboyu görünen ışıpta 0,6 mikron kadardır (D). Bu görünen ışığın başının kırmızı, kuyruğunun yeşil - mavi olduğu görülüyor. Burada Heisenberg'in belirsizlik ilkesi söz konusudur. Bir fizik olayının enerjisi ve süresi, birlikte eşzamanlı olarak sonsuz bir kesinlikle belirlenemez; enerjisi belirlenirse süresi, süresi belirlenirse enerjisi müphem kalır.

yükselir. Ya da atom E_1 enerjisi seviyesindedir; böyle bir atoma bir foton çarparsa atom bir foton fırlatarak E_0 enerjisi seviyesine düşer ve atomun fırlattığı bu fotona "endüklenmiş foton" veya "uyanılmış foton" denir.

Endüklenmiş fotonun çok ilginç özellikleri vardır: Bu fotonun yönü, fazı ve kutuplaşması (polarizasyon) endükleyici (uyarıcı) fotonun aynıdır. Öyle ki emisyonundan sonra endükleyici ve endüklenmiş fotonlar birbirinden ayırt etmek olanaksızdır. Bunu şöyle de ifade edebiliriz: Fotonlara bir elektrik alan uygulanırsa, bu alanın gücü iki kat artırılmış gibi bir foton emisyonu olur. İşte amplifikasyon olayının temeli budur.

Ne var ki, endüklenmiş emisyon ancak E_1 enerjisi seviyesindeki atomların E_0 atomlarından daha fazla olduğu ortamlarda olasıdır. Böyle bir ortam ise doğada yoktur; çünkü termodinamik yasalarına göre, ısıl denge halindeki cisimlerde, en sık rast-

lanan durumlar en düşük enerji seviyesinde olanlardır. Yüksek enerjili atomların sayısını artırmak için dışardan enerji vermek gerekir; buna "pompalama" denir. Pompalama sıvı ve katılarda optik uyarma, gazlarda elektrik deşarjı yoluyla sağlanır.

Kırınımında Olduğu Gibi : Peki, çok kısa süreli laser ışınları nasıl sağlanıyor? Pompalama sayesinde, ışığın aynalar arasında gelip gidişi sırasında, foton kazancının foton kaybını aştığını hayal edelim. "Ossilasyon" (titreşim) denen bu durum oluştuğunda, aynalar arasında bütün ve frekans bakımından aynı fazda bulunan bütün ışık dalgalarının, yani bütün "mod"ların, şiddeti giderek artar. Laser bu modlar üzerinde osilasyona başlamıştır. Ortamda yeterli bir foton kazancı sağlanırsa, osilasyon yapan modlar hızla artar ve ortam "doyar" (satürasyon). Bu doyma sonucu osilasyon sıfıra düşer. Gerçekte S_1 ve E_0 enerjisi seviyeleri arasında çok fazla geçiş sağlayan bir akım, E_1 ve E_0 seviyesindeki atom sayıları-

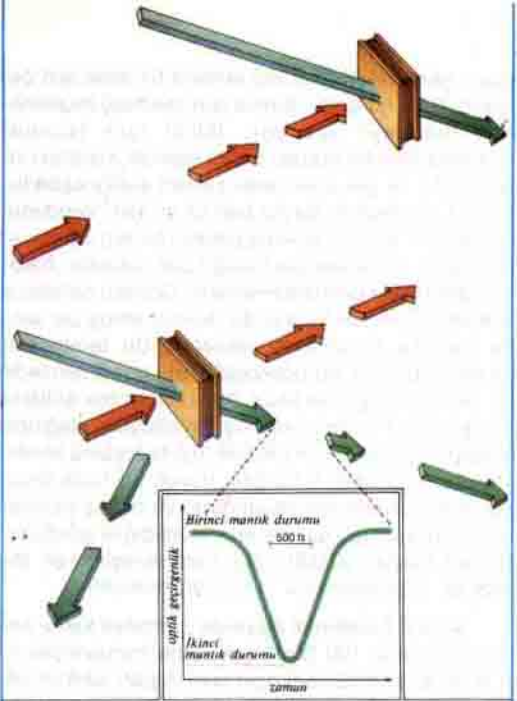
ni eşitleştirir; bu durumda foton kazancı - veya absorpsiyonu - sıfıra düşer. Buna "geçiş doymuştur" denir. Laserin keşfinden beri hayal edilmekte olan bu olay, kısa süren emisyonlar sağlayabilir; fakat yine de sağlanan süre femto-saniyeden 100.000 kat daha uzundur.

Femtosaniye emisyonları tamamen farklı bir şekilde elde edilir. Şekil 2'de görüldüğü gibi mod dalgalan değişik frekanslarda olup birbirlerine çok yakındır. Böylece çok sıkı bir "tarak" oluştururlar. $E_1 - E_0$ yeterince büyükse birçok mod birden titreşmeye başlar. Bu titreşimlerin fazları gelişigüzeldir; bunların birbirine eklenmesinden oluşan laser ışınının genliği de ortalama bir değer etrafında rastgele değişir. Buna rağmen matematik olarak şu gösterilebilir: Bu titreşen modlar aynı faza getirildiğinde, laser kavitesinde çok kısa süreli bir ışın belirir.

Periyodik titreşimlerin eklenmesi nasıl bir ışın oluşturabilir? Bunun için Young deliklerini hatırlayalım. Bir düzlemde iki delik açılıp bunlar tek dalga boyu (monokromatik) bir ışık kaynağı ile aydınlatılırsa ardarda bir koyu, bir açık renk bandları şeklinde girişim (interferans) olayı meydana gelir; çünkü bu iki delik aynı fazdadır. Bu iki delik farklı ışık kaynaklarıyla aydınlatılırsa, faz farkı doğur ve girişim bantları kaybolur. Şimdi bir düzlemde bir çizgi üzerinde çok sayıda delik açalım ve bu delikleri aynı ışık kaynağından aydınlatalım. Bu durumda delikler aynı fazda ışınlar yayar ve bir kırınım (difraksiyon) açığı oluşur: Işık çok belli yönlerde birbirine eklenir ve yalnız bu yönlerde görülür. Laserde de böyledir; belli bir anda aynı fazdaki modların enerjileri birbirine eklenerek kavitenin belli bir yerinde çok kısa süreli bir ışın oluşturur. Aynı fazdaki modların sayısı ne kadar yüksekse, bu ışın o kadar kısa sürer.

O halde çok kısa süreli bir laser ışını elde etmek için iki koşul gereklidir: Çeşitli modları eşzamanlı olarak titreştirmek ve sonra bunları aynı faza getirmek. Bunu yarı-iletkenlerle veya solüsyon halindeki renkli maddelerle sağlamak olasıdır. Renkli maddeler karmaşık organik moleküller olup, çok çeşitli enerji seviyelerinde titreşim yaparlar. Spektrumları çok fazla sayıda mod içerir ve bu sayede 20-30 fs süren ışınlar oluşturabilir. Amplifikatör olarak en sık kullanılan renkli madde rhodamine 6 G'dir. Bu boya bir laser ışık kaynağı ile pompalanır. Bu amaçla yeşil ışık veren iyonize argon laseri kullanılır. Bu ışık odaklaştırılarak rhodamine solüsyonu şiddetle aydınlatılır. Sonra bu renkli sıvı çok dar bir borudan 100 mikron kalınlığında bir fiskeye şeklinde bir laser kavitesine püskürtülür. Fişkırtma hızı çok büyük olduğundan, renkli sıvı laser etkisiyle yanmaz. Sıvının açıkta oluşu da bir boru duvarının girdapları (türbülans) yaratmasını ve laserin sıvıya girişini frenlemesini önler.

O halde laserle pompalanmış bir renkli madde yardımıyla birinci koşul sağlanabilir, yani çok sayıda



Çok hızlı laserler en çok yarı-iletkenler üzerinde denenmektedir. Şekilde görüldüğü gibi birçok yarı-iletken tabakası üstüste konmaktadır. Bunlara "çoklu kuantum kuyuları" denilir. Böyle çok katlı bir yarı-iletken levha laser ışınlarına (şekilde kırmızı) maruz bırakıldığında picosaniyeden kısa bir sürede saydam halden az saydam hale geçmektedir. Levha az saydam haldeyken gelen ikinci bir laser ışını (şekilde yeşil) levhadan geçemeyecektir. Böylece HAYIR - VEYA şeklinde çalışan bir mantık kapısı oluşturulacaktır. Böyle bir kapı yüzlerce megahertzten daha hızlı devir yapamaz. Bugün bilim bu mantık kapılarının hızının 1000 kat daha artırılması yolundadır. İşte geleceğin "optik bilgisayar"ları böyle elemanlar içerecek ve en hızlı bilgisayarlardan 1000 kat daha hızlı çalışacaktır.

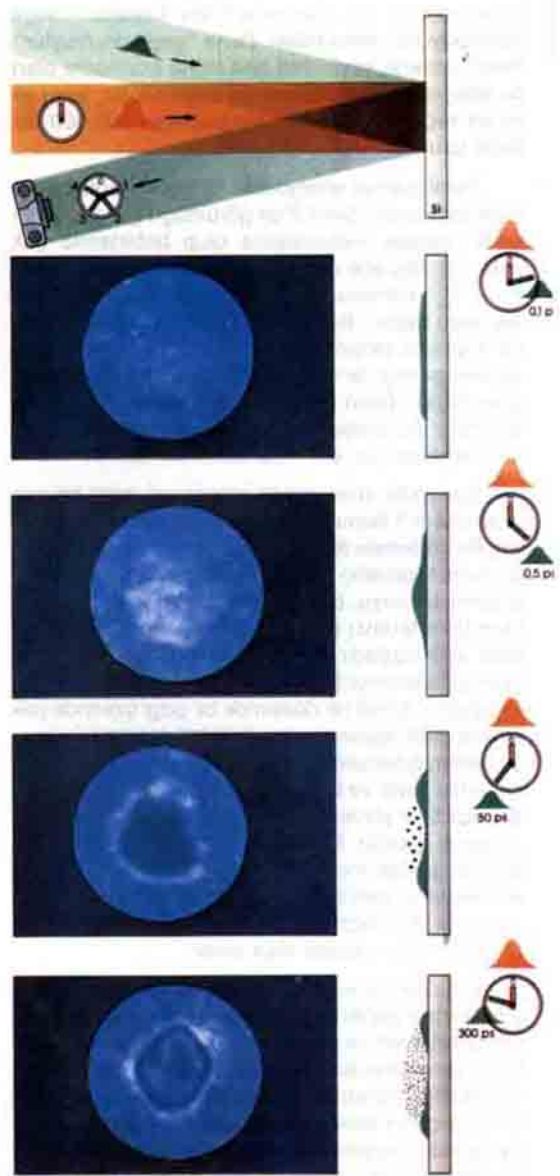
mod eşzamanlı olarak titreşir. Şimdi bunları aynı faza getirmek gerekmektedir. Bunun için "doyurulmuş absorpsiyon" olayı kullanılır. Çok şiddetli bir ışığın bir ortamın absorpsiyon gücünü doyurup yok edebileceğini görmüştük. Laser kavitesine, doyurulabilen bir absorban (genellikle ikinci bir renkli madde fiskeyesi) konursa, modların amplitüdüleri sıfıra yaklaşır. Bu sırada tesadüfen aynı fazda olan modlar parlak bir laser ışını yaratır; bu ışın, absorpsiyonu doyurur. Bu ilk ışının absorpsiyonu azaltması sayesinde, aynı nokta ve anda bu ışınla aynı fazda olan modlarda foton kazancı, foton kaybını aşmaya başlar. Böylece giderek bütün modlar aynı fazda bloke olarak kavitede dolaşan ilk ışını kuvvetlendirir.

On Bin Milyar Kere Yavaşlatılmış Bir Film : 1974'de E. Ippen ve C. Shank, Bell Telephone Laboratuvarları'nda picosaniyeden kısa ışınlar veren ilk

laseri gerçekleştirdiler. Bu amaçla bir laser ışın demetini ikiye böldüler. Birinci ışın (pompa) incelenecek maddeyi uyarıyor, ikinci ışın (sonda) ayarlanabilen bir aradan sonra gelerek, maddeyi inceliyordu. İki ışın arasındaki zaman aralığı sabit tutulursa, maddedeki olaylar belli bir an için "dondurulmaktadır"; tıpkı bir sinema filminin birden durdurulması gibi. Stroboskopta olduğu gibi, hareket, hareketsizlik haline getirilebilmektedir. Gözlem defalarca tekrarlanır ve her keresinde dondurulmuş bir sahne izlenirse, olayın akışı izlenebilir. Bu, femtosaniye düzeyinde bir stroboskopudur. İşte bu yöntemle ki, 1984'te Shank ve ekibi, 80 fs süren çok şiddetli bir ışımaya maruz bırakılmış bir silisyum plağında oluşan olayların filmi çektiler. 6.6 fs aralarla alınan imgeler maddenin ısındığını, büyük bir hızla önce plazma ve sonra sıvı oluştuğunu ve birkaç picosaniye sonra uçucu maddelerin fırlatıldığını gördüler. Bu film, olayları 10.000 milyar kere yavaşlatmıştı. Bu olay bir bilgisayara da yazdırılabilmektedir.

Süreyi Kısaltmak Peşinde : Şimdiye kadar anlatılan laserler 100 fs'nin çok altına inememişlerdi. 5 fs civarına inebilmek için ışını dıştan sıkıştırmak gereklidir; bu ise non-lineer (doğrusal olmayan) optik alanına girmektedir. Neden non-lineer optik? Çünkü bu kadar kısa süreli ışınlarda güç yoğunluğu dev boyutlara ulaşmakta ve doğrusal optik kuralları artık geçerli olmamaktadır. Örneğin böyle bir ışın, bir maddeye kırmızı girip mavi çıkabilir. Doğrusal olmayan optik, fiberoptik (cam elyafı) lifler için geçerlidir. Hatırlatalım ki, bugün uzaktan iletişimde kullanılan bu liflerin en ortasında birkaç mikron kalınlığında silis ve bunun da etrafında kırılma indisi daha düşük bir tabaka vardır. Böylece saydam silis içinde ilerleyen bir ışın, lif duvarlarından sürekli yansır ve bu yüzden lif dışına çıkamaz. Bir ışını birkaç mikron çapında bir liften 20-30 fs gibi kısa bir sürede geçirme sırasında enerji gigawatt/cm² gibi dev boyutlarda yoğunlaşır. Buna karşılık olan elektrik alan (cm başına yüz milyonlarca volt), en dış elektronları atom etrafında tutan kuvvete denk bir kuvvet oluşturur. Böyle bir alanın etkisinde titreşimler sinüzoidal karakterini kaybeder; bunun yerini burulmalar (distorsiyon) alır. Bu distorsiyonlar, "high fidelity"de olduğu gibi, harmonikler ve vuruşlar yaratır.

Bu non-lineer etkilerin sonucu olarak, yoğun bir dalga, ilerlediği ortamın kırılma indisini artırabilir ve böylece kendi frekansını değiştirebilir. Bu olaya "faz otomodülasyonu" denmektedir. Bu şekilde silis içinde ilerleyen bir ışının ön cephesi kırmızıya kayarken arka cephesi maviye kayar. Bu işe ışının spektrumunun genişlemesi demektir. Spektrumu genişlemiş bir ışın zaman içinde sıkıştırılabilir. Kırmızıyı yavaşlatıp maviyi hızlandıran bir ortamda ışının kuyruğundaki mavi, başındaki kırmızıyı yakalayacaktır. Ne yazık ki, optik ortamlarda mavi kırmızıdan daha yavaş gider. Bu nedenle bir başka özellikten yararlanır: Optik ağlar (şebekeler) ışığı dalgaboyuna göre farklı saptırır.



Bazı maddelerin laserle ışınlanması, bu maddeleri amorf (şekilsiz) halden kristal hale geçirir veya bunun aksi olur. Resimde bir silisyum kristaline 80 femtosaniye süreyle laser verilmesi görülüyor. Çok kısa süreli laser sayesinde atom seviyesindeki olayların 10.000 milyar kere yavaşlatılmış resimleri alınmıştır. Üstten ikinci resimde silisyum, laser etkisiyle sıvı hal almıştır. Bu, parlak mavi bir leke olarak görülmektedir. Laserden 50 picosaniye sonra imajın tam ortasında etrafında parlak bir hale olan çok koyu bir leke beliriyor (alttan ikinci resim). Koyu leke, silisyum parçacıklarının fırlatılmasına ve sonuncu resim bu parçacıkların atomizasyonuna karşılık oluyor. Görüldüğü gibi hızlı laserlerle atom olaylarının resmi çekilebilmektedir.

Karşı karşıya uygun uzaklıkta konulmuş iki optik ağ, mavi ışınlar daha az saptırarak onların, daha uzun bir yol giden kırmızı ışınları yakalamasını sağlar. Laserin bu şekilde dışarıdan sıkıştırılması yoluyla Fransa'da Palaiseau Laboratuvarları'nda G. Boyer, J.P. Chambaret ve M. Franco 13 fs, Shank ekibi ise 5 fs elde ettiler.

Solitonlar : Bell Telephone'dan bir başka fizikçi, Lin Mollenauer, enfraraj ışınlarıyla solitonlar yaratarak 20 fs elde etti. Solitonu ilk kez 1834'te mühendis J.S. Scott görmüştü: "Dar bir kanalda iki at bir mavnayı çekiyordu. Mavna birden durdu. Mavna ile beraber hareket eden su ise durmadı; mavnanın bumunda toplandı ve sonra yüksek ve yuvarlak bir su kütesi şeklinde büyük bir hızla kanalda ilerlemeye başladı..." Bu bir solitondur. Solitonun dalgadan farkı, inip çıkması, biçim değiştirmeden ilerlemesidir. Dar bir fizik sisteme (fiberoptik, kanal) enjekte edilen bir ışın, solitona dönüşerek biçimini bozmadan ilerler.

Lin Mollenauer optik bir life (fiberoptik) 1,5 mikron dalgalı bir ışın enjekte etti: Bu ışın enerjisinin bir bölümü çok kısa bir soliton oluşturup lifte ilerlemeye başladı. Kalanı lif içinde dağılıp giderek söndü. Lin, böyle bir lifli renkli merkezli bir laser kavitesine koyarak 20 femtosaniyelik ışınlar elde etti. Bunun en son uygulaması halka biçimi bir optik life 1,59 mikron dalgalı bir laser verilmesidir. Bu laser Raman etkisiyle uyarıldığında 20-30 fs devam eden solitonlar oluşmuştur. Bu solitonlar sayesinde 1000 km'den uzun bir optik life saniyede 100 milyardan fazla ilkel bilgi yüklenebilecektir. Bunun görünür ışınlarla da tekrarı gerekirdi. ATT - Bell Laboratuvarı'ndan F. Valdmanis ve D. Fork bu yöntemle 30 fs süren kırmızı laser ışınları elde etti. Böyle bir laserde solitonların ışık saçtığı gösterildi.

Optik olmayan yollarla, örneğin elektronik, femtosaniye elde edilemez mi? Hayır edilemez; optik yöntemler kullanılması zorunludur. Örneğin diyaframı yalnızca 1 femtosaniye açık kalabilen bir fotoğraf makinesine bir radar dalgası yollayalım. Matematikte Fourier transformasyonlarıyla kolayca kanıtlanabilir ki, böylece kesilmiş olan radar "dilin"nin frekansları "yayılacak" ve görünür ışık frekanslarından, sıfır frekansa kadar değişen frekanslar oluşacaktır (sürekli sinyal). Bunun aksi de doğrudur: Bir fs'lik bir ışın yaratmak için bu değişik frekanstaki dalgalara ihtiyaç olacaktır. Daha kısa süreli ışınlar için UV ve ötesine gitmek gerekecektir.

Böylece fs yarışındaki engellerden birini görmüş oluyoruz: Işın süresi kısaldıkça, bu ışınların renk spektrumu genişlemektedir. Bu olay, kuantum fizi-

ğinde, Heisenberg'in belirsizlik kuralıyla ilgilidir. Deneyler de bunu doğrulamaktadır; örneğin 8 fs süren bir ışığın spektrumu yeşilden kırmızıya uzanmaktadır. Bu ışınları yaratmak ve sıkıştırmak kadar, iletmek ve kullanmak da zordur. Bütün ortamlar emerek veya dağıtarak, bu ışınlarla düşmanca davranır.

Bu kısa süreli ışınları kullanmak iki nedenle çok zordur: Enerjileri çok azdır (20-30 picojoule kadar) ve dalgalı boyan ayarlanamaz. Bu bakımdan non-linear optik kullanılmak zorundadır. Bugün başlangıç ışınının enerjisini milyonlarca kat artırabilen amplifikatörler yapılmıştır; bunlar enerjiyi artırırken dalgalı boyunu uzatmaz. Bu amplifikatörler kavitenin dışında olup kavite içinde ışın oluşturan benzerleri gibi kat kattır; her biri bir amplifikatör, bir doyurulabilir absorban ve bir dağılma (dispersiyon) komponenti içerir. Amplifiye edici renkli maddeler, içlerinden fs laser geçerken, bir başka laserle pompalanır. Böylece 10 hertz seviyesinde tekrarlayan, milijoule seviyesinde enerji elde edilir. Pompalamak için ABD'de bakır buharlı laser, Fransa'da ise Neodyme-YAG (Quantel) laseri kullanılmaktadır. Bugün bu güçlü laserler sayesinde, çok kısa süreli bir ışını istenen renkte veya enfraraja ya da UV'ye yakın olarak vermek olasıdır. Örneğin fs laser demetini bir sıvı veya camdan geçirerek fs "beyaz" laser elde edilebilir. 1 mikrondan uzun dalgalılar için (uzaktan iletişimde çok önemli) renkli maddelerin yerini yeni organik kristaller alacaktır.

Femtosaniye Devrimi : Femtosaniyenin keşfiyle birlikte "aşın hızlı olaylar" dönemi başladı. Örneğin elektron yakalama, amorf silisyum gibi bir yarı-iletken, su gibi sıradan bir sıvıda, ya da bakteri ve bitki fotosentezinde aynı şekilde olmaktadır. Uluslararası "Ultra Hızlı Fenomenler Kongresi"nde fizikçiler, kimyacılar, biyologlar ve hatta doktor ve cerrahlar bu konuları tartışmaktadır.

Tamamen Optik Bir Elektronik Doğru : Sözü edilen yöntemler sayesinde gallium arseniyürün (en hızlı transistörlerin ana maddesi) elektronlarının çarpışması için geçen zaman ölçülebilmektedir. Gelecekte elektrik yerine ışınla çalışan "optik transistörler", daha sonra optik bellekler ve optik teller yapılacaktır. Işığın paralellik özelliğinden yararlanılarak (elektronlardan farklı olarak paralel ışın demetleri birbirlerini etkilemez; çünkü fotonlar arasında "endükleme" olayı yoktur) optik transistörlerde 1 cm² üzerine birbirinden bağımsız 1 milyon ışın demeti konulabilecektir.

Elektronların yerini fotonların almasıyla geliştirilecek cihazlarla fiziğin en büyük devrimlerinden biri gerçekleştirilmiş olacaktır. □

**İYİ BİR NASİHATTEN FAYDALANMAK, EN AZ
ONU VERMEK KADAR SAĞDUYUYA İHTİYAÇ GÖSTERİR.
La Rochefoucauld**