

# Binyılın Işığ1

20. Yüzyılda fizikteki kavramsal ilerlemeler ve bunların yol açtığı teknolojik gelişmelerle insanoğlunun günlük yaşamında olağanüstü değişimler oldu. Özellikle bu yüzyıl içerisinde elektromanyetik spektrumda radyo dalgalarından x-ışınlarına kadar hayatımızı şekillendiren bu gelişmeler lazerlerle de perçinlendi. Diğer taraftan yüksek enerji fiziğinin deneysel ortamı olan parçacık hızlandırıcılarının da ışın kaynağı olarak kullanılabilceğinin anlaşılmasıyla, spektrumun morötesi ve x-ışınları bölgesi, daha önce hiç olmadığı kadar aydınlanıyor, bu teknolojinin bilimde ve günlük yaşamımızda yol açabileceği değişimleri şimdiden kestirebilmek ise çok zor.

**M**İKRODALGA RADARLARI, İngiltere’de Randal ve Boot tarafından geliştirilen yüksek güç mikrodalga salınıcısı ‘magnetron’ sayesinde mümkün olmuştu. Bu serbest elektron mikrodalga kaynağı, kendisini geliştiren İngiltere’ye borcunu çok geçmeden ödeyecekti. Nazi Almanyası’nın 1940 yılında Büyük Britanya’yı işgal etmek için düzenlediği hava saldırıları, radarların yadsınamayacak katkısı sonucu amacına ulaşamamış ve Hitler işgalden vazgeçmek zorunda kalmıştı. Magnetronun marifetleri arasında, radar geliştirilme çabaları sırasında, üzerinde unutulmuş

çikolatanın eridiğinin gözlenmesi üzerine, mikrodalga fırınlarının yolunu açmasını da saymalıyız.

Serbest elektron vakum tüpleri ilk olarak radyoda kullanılmak üzere yüzyılın başında yapıldılar; bu teknolojiye dayalı ilk bilgisayar 1942’de kullanılmaya

başlandı. Bu bilgisayara ilk ‘virüs’ ise 1945 te bir güve şeklinde sızmıştı. Serbest elektron eşyumlu (eşvreli-coherent) ışın kaynakları, magnetronlar, “klystron”lar ve hareketli dalga tüpleri olarak spektrumun radar, mikrodalga bölgelerini aydınlatıyor ve uydu haberleşme sistemlerinin temel kaynağını oluşturuyordu.



## Sinkrotron Işınması

Öte yandan, 1944’de Sovyet kuramsal fizikçileri Isaak Pomerancuk ve Dimitri İvanenko, ışık hızına yakın hızlardaki yüklü parçacıkların izleri saptırıldığında, eksenî yörüngelerine

teğet sivri bir koni içerisinde ışınma yayacağı öngördüler. Bu ışınma ilk kez görünür bölgede açık mavi renkte ve  $10^{16}$  Hz kritik frekansta, General Electric'in 70 MeV'lik (1 MeV=1 milyon elektronvolt) sinkrotronunda gözlemlendikten sonra, sinkrotron ışınması (synchrotron radiation-SR) adını aldı. İlk gözlemlendiğinde bu ışınma hiç de hoş karşılanmadı, çünkü parçacık hızlandırıcıda bir güç kaybı süreci olarak değerlendiriliyordu. 1949'da J. Schwinger teorii genişletti ve 1956'da D. H. Tomboulion ve P. L. Hartman kuramsal öngörüler ile gözlemlerin kusursuz bir şekilde uyduğunu açıkladılar. Bu ışınmanın kendine özgü özelliklerinin çok şaşırtıcı olduğu fark edilmişti. Işınma elektron izinin teğetinde, Lorentz çarpanı ile ters orantılı bir açılım açısında, yayılıyordu. Bir saptırıcı manyetik alan içerisinde yörüngesi saptırılan elektronun ışınması, yörünge düzlemi içinde, doğrusal kutuplanmış bir ışınmaydı. Elektronun enerjisine bağlı olan geniş ve sürekli spektrum, uzak kızılötesinden sert x-ışınlarına kadar uzanıyor, bu arada belli bir frekansı daha çok vurguluyordu. Parametreler verildiğinde ise ışınmanın karakteristiği tamamen hesaplanabiliyordu.

1952 yılında, J. S. Shklovski, galaksimizden kaynaklanan optik ve radyo dalgaları ışınmasının çoğunun SR mekanizması ile olabileceğini önerdi. 1954'te Yengeç bulutsusundan bize ulaşan ışınmanın çok güçlü bir kutuplanması olduğu fark edildi. 1956'da J. H. Oort ve T. Walraven, SR mekanizmanın baskın ışınma mekanizması olması gerektiğini ulaşan spektrumun sürekliliğine dayandırdılar- atomik ışınma kesikli spektrum verecekti-. Yengeç bulutsusu kaynaklı ışınmanın 200 GeV (1GeV=1milyar elektronvolt) enerjili elektronlardan,  $10^{-3}$  Gauss'luk manyetik alan altında yayıldığı anlaşıldı. Bu elektronların enerjisinin neden bu denli büyük olabileceği uzun yıllar tartışıldı.



1958'de Jüpiter gezegeninden güçlü kutuplanmaya sahip kritik frekansı  $10^7$  Hz çevresinde bir sürekli spektrum gözlemlendi ve nedeninin gezegenin üzerinde iyonlaşmış bir tabakaya ilişkin olabileceği belirtildi. Günümüzde atarcaların (pulsarların) özelliklerinin incelenmesi ve radyo astronomi, SR sürecini büyük ölçüde dikkate almaktadır.

## Lazerler

Yirminci yüzyılın ikinci yarısını asıl "aydınlatan" kaynaklar ise kuşkusuz lazerlerdir. Holografi, lineer olmayan optik, optoelektronik, optik tabanlı haberleşme ve pek çok teknolojik gelişme varlıklarını büyük ölçüde 1916 yılında A. Einstein'in geliştirdiği uyarılmış ışınma teorisinin 1960'lı yıllarda mikrodalga ve optik frekanslarda kanıtlanmasına borçludur. Bu buluşun pek çok bilimsel ve teknolojik gelişmeye yol açacağı o kadar açıktı ki, 1964 yılı Nobel Fizik ödülü, C. H. Townes, N. G. Basov ve A. M. Prokhorov'a, 'Kuantum elektronığında lazer-mazer ilkesine dayalı salındırıcı ve genlik büyütücülerine yol açan temel çalışmaları nedeni ile' verildi ve bu lazerle ilgili son Nobel Fizik Ödülü olmadı.

Lazerleri bu denli önemli yapan çok belirgin özellikleri vardır. Yönelimleri (özellikle gaz lazerleri için) mü-



İlk lazer, T. H. Maiman tarafından yapılan bir yakut lazeridir (solda). Helyum-neon lazerleri, göz hastalıklarına tanı koyulmasında kullanılıyor (üstte).

kemmel sayılabilir. Doğadaki bütün ışık kaynakları pek çok renk (frekans) içerirken, lazerler tek renklidir (belirsizlik ilkesi uyarınca tam anlamıyla tek frekans içermesi olası değil, ancak pratik ölçeklerde böyle kabul edilebilir). Ayrıca çok parlak ve eşyumuş bir ışık kaynağıdır. Eşyumuşluk derecesini uygun adım yürüten askerler örneğinde açıklayabiliriz. Sözelimi hava rüzgârlı ise ve bazı askerler ritmi duyamıyor ve uyumsuz yürüyorsa, uygunluğun derecesi düşecektir. Sıradan ışık kaynakları için eşyumuşluk derecesi çok düşüktür. Eşyumuşluk, klystron gibi kısmen eşyumuş cihazlar için yaklaşık % 60'tır. Yukarıdaki örneğe göre iyi bir lazerde, her asker bir fotonu temsil ediyorsa, bu oran her bir milyon uygun adım yürüten askere bir uyumsuz şeklindedir.

16 Nisan 1850'de 11. hafif piyade alayının bir taburu Angres'de Basse-Chaine köprüsünü uygun adım ile geçerken köprü'nün doğal frekansı ile rezonans oluşması sonucu, kablolar yüke dayanamayarak koptu ve bu kazada 233 kişi hayatını kaybetti. Bu tarihten itibaren hiç bir topluluk köprüleri uygun adım geçmedi. Olaydan ders alan mühendisler köprü öz salınım frekanslarını rüzgâr salınımları ile, petrol platformlarını ise deniz dalgaları ile rezonans olmayacak şekilde tasarımıyorlar. Bu örnek, neden 100 watt'lık lambanıza doğrudan bakmanızın sorun yaratmamasına rağmen, 0,1 miliwatt gücündeki lazer "pointer"ınızda bile, doğrudan bakılmasını men eden uyarıların yer aldığını açıklayacaktır.

Lazerlerin tek renkli olması onları renksel aberasyonlardan kurtarır ve çok küçük ölçeklerde odaklanabilmelerini

### Başlıca Serbest Elektron Lazeri Çalışmaları

1980 - 1985

#### Kurum

Lawrence Livermore Ulusal Laboratuvarı (LLNL)  
Kaliforniya Üniversitesi, Santa Barbara (UCSB)  
Los Alamos Ulusal Laboratuvarı (LANL)  
Orsay (Fransa)

1985-1990

LANL  
Stanford Üniversitesi

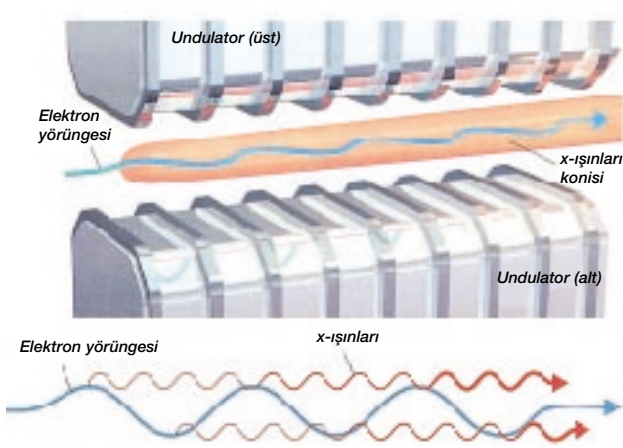
#### e<sup>-</sup> Enerjisi

5 MeV  
2,5 MeV  
20 MeV  
160 MeV

#### λ, Dalga Boyu

8,6 mm  
500 μm  
10 μm  
6500 Å

λ = 10 μm gitgide Azalan Wiggler ile.  
λ = 3 μm ayarlanabilir dalga boyu.



**Serbest elektron lazerinde, ışık hızına yakın hızlardaki elektronlar periyodik manyetik yapı içerisinde salınırlar. Elektronların yörüngesi ile yayılan ışınların genliği gittikçe büyür.**

sağlar. Süpermarket barkod tarayıcıları, CD-ROM sürücüler, müzik setleri yanı sıra, mikroölçekli yarı-iletken yapıların üretimi süreçlerinde bazı aşamalar bu sayede gerçekleşti. Eğer lazerinizin dalga boyu daha kısa ise, daha küçük bir alana odaklayabilir ve bilgi depolama yoğunluğunu artırabilir, daha hassas çalışabilirsiniz. Mavi renkli diyot lazerlerinin geliştirilmesi de başlıca bu neden ile önem taşımaktadır.

## Serbest Elektron Lazerleri

Spektrumun belli bölgeleri lazerler tarafından aydınlatılmış olsa da, fizikçiler statüko ile yetinmediler. Adeta, fiziğin küçük parçalara bölünebilecek bir şey olmadığını kanıtlamak istercesine ışın fizikçi ile yüksek enerji fiziğini birleştirdiler. Son elli yılda dünya çapında öncelikle nükleer, yüksek enerji ve parçacık fiziği çalışmaları için, ve artan sayısı ile sürekli SR kaynağı olarak, yaklaşık yüz tane depolama çemberi (storage ring) kuruldu. Bu deney setlerinde, elektronlar yüksek akım yoğunluklarında, ışık hızına çok yakın hızlarda, bir çember üzerinde yaklaşık on saat döndürülüyor, bu arada Güneş Sistemi'nin çapı kadar yol alıyorlardı. Bu süre boyunca elektron enerjisinin ve yörüngesinin belirlediği frekanslarda ve geniş bir spektrum içerisinde SR ışınması yayılıyordu. Söz konusu olan ikinci nesil SR kaynakları, 1970'li yıllarda yarı-iletkenler ve atomların iç elektronları üzerinde yapılan çalışmalarda kullanıldı. Bu arada ışınmanın parlaklığını artırmak üzere saptırıcı manyetik alanların birbirine zıt yönlerde ve periyodik olarak düzenlendiği

Halbach konfigürasyonu önerildi. Üçüncü nesil SR kaynaklarındaki bu manyetik yapılar parametrelerine bağlı olarak "wiggler" veya "undulator" (w/u) mıknatısları deniliyor.

1971 yılında Stanford Üniversitesinden J. M. J. Madey, kendi adı ile anılan kuramında, SR ışınmasına dayalı lazerlerin üretilebileceğini belirtti. Madey ve grubu 1976'da, doğrusal hızlandırıcıdan sağlanan 24 MeV enerjili elektronları, 3,2 cm dalga boyunda, 5,2 m uzunluğunda uygun bir manyetik alan içerisine bir CO<sub>2</sub> lazeri ile birlikte yönettirdiler ve çıkış elektromanyetik alan genliğinin %7 oranında büyüdüğünü gözlemlədiler. Işık hızına yakın elektronların enerjisinin bir kısmı optik alana aktarılmış, yani sistem çalışmıştı.

Bu deneyden sonra serbest elektron lazeri çalışmaları çığ gibi büyüdü. Düşük yoğunluklu yüksek enerjili elektron demetleri için tek parçacık Compton rejimi, yüksek yoğunluklar için Plazma Raman rejimi kuramları geliştirildi. Sistem, doğrusal hızlandırıcılar (LINAC), depolama çemberleri ve mikrotronlar gibi hızlandırıcılar ile defalarca denendi. Bu arada mıknatıslarda gelişmeler oldu: Samaryum-kobalt (SmCo<sub>5</sub>, Sm<sub>2</sub>Co<sub>17</sub>), patlayıcı ve kırılğan olmakla birlikte 1T (1Tesla=10<sup>4</sup> Gauss) üzerinde sürekli manyetik alan sağlayabiliyordu (Yerin manyetik alanı yaklaşık 0,5 G). Daha sonra Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B, Vanadyum Permandür gibi diğer kalıcı manyetik alanlara, süperiletken teknoloji alanlar eklendi. Verilen manyetik alan içerisinde elektronların hareketlerini inceleyen ve ortaya çıkan ışınma alanını araştıran bilgisayar simülasyonları hazırlandı. Elektron enerjisinin daha büyük bir yüzdesini elde etmeyi amaçlayan, gitgide azalan

manyetik alan ya da periyotlar içeren yeni konfigürasyonlar üzerinde çalışıldı. Serbest elektron lazerleri endüstriyel standardizasyon çalışmaları için uygun bulunmamış, ancak sağladıkları yüksek enerjili ışınma ve frekansının geniş bir aralıkta ayarlanabilmesi, çeşitli spektroskopik araştırmalarda eşsiz özellikler sağlamıştı.

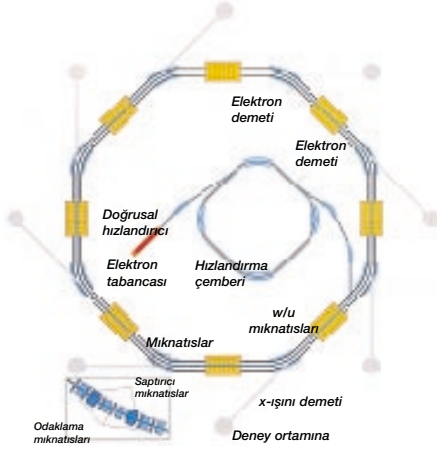
1980 lerde Pentagon, o yılların askeri önceliği olan, yer-tabanlı kıtalara-rası balistik füze karşı savunma sistemleri için, atmosferik geçirgenliği ve o günkü teknolojiyi göz önüne alarak, 8-12 penceresinde, 10 µm (1 µm=10<sup>-6</sup> m) dalga boyunda serbest elektron lazerleri üzerinde çalışılmasını önerdi; nitekim Manhattan projesini tamamlayan Los Alamos Ulusal Laboratuvarlarında (LANL) ve Donanma Araştırma Laboratuvarları'nda (NRL) kızılötesi bölgesi araştırıldı.

## Plazma Kaynakları

Bu arada tamamen plazma kaynaklı ışınlar da yelpazede yerini almaya başladı. 1984'te İngiltere ve Sovyetler Birliği'nde, aslında kontrollü füzyon çalışan iki grup 182 Å ve 206 Å (1 Å=10<sup>-10</sup> metre) dalga boylarında, lazer karakteristiğinde ışınma gözlemlədiler. Her

Önde Gelen Sert ve Yumuşak X-ışını SR Araştırma Laboratuvarları	
Ülke	Kurum, Kent
Danimarka	Astrid (Aarhus)
Fransa	Lure (Orsay)
Almanya	ANKA (Karlsruhe) BESSY (Berlin) DELTA (Dortmund) ELSA (Bonn) HASYLAB (Hamburg)
İngiltere	SRS (Daresbury)
İtalya	ELETTRA (Trieste)
İsveç	MAX (Lund)
İsviçre	SLS (PSI) (Villingen)
ABD	ALS (Ileri Işık Kaynağı) (Berkeley, Kaliforniya) APS (Ileri Foton Kaynağı) (Argonne Laboratuvarları, Illinois) CAMD (Baton Rouge, LA) DFELL (Durham, NC) CHESS (Ithaca, NY) NSLS (Ulusal Sinkrotron Işınması Kaynağı) (Uptown, NY) SRC (Madison, WI) SSRL (Stanford Sinkrotron Işınması Laboratuvarı) (Stanford, CA) SURF II (Gaithersburg, MD)
Brezilya	LNLS (Campinas, SP)
Çin	IHEP (BEIJING)
Hindistan	INDUS (İndore)
Japonya	NANO-HANA (Ichi-hara) PHOTON-FACTORY (Tsukuba) SPRING-8 (Nishi Harima)
Rusya	SSRC (Novosibirsk)
Güney Kore	Pohang Hızlandırıcı Laboratuvarı (Pohang)
Tayvan	SRRC (Hsinchu)





**İleri Işık Kaynağı'nın (ALS) genel tasarımı (solda). Önce doğrusal hızlandırıcı ardından da sinkrotronla ivmelendirilen elektronlar depolama çemberine girerler. İnsan saçından daha ince olan elektron demeti w/u mıknaatıslarından ışına yapar ve bu arada diğer mıknaatıslarda odaklanırlar. Üstteki fotoğrafta ise Ulusal Sinkrotron Işık kaynağı, Brookhaven Ulusal Laboratuvarı NSLS görülüyor.**

iki takım da optik konfigürasyon kullanmaksızın yüksek kazançlı ışına gözlemler. Her iki durumda da aktif lazer ortamı, yüksek güçlü bir atımlı lazer tarafından yaratılan sıcak ve yoğun bir plazma idi. 1985'te Princeton'da bir grup 300 joule, 50 ns (1 nanosaniye= $10^{-9}$ saniye) atımlı CO<sub>2</sub> lazerini, katı karbon bir hedefe odaklayarak 182 Å'da ışına elde etti. Artık morötesinde de lazerler oyunda yerlerini almaya başlamıştı. Bu lazer ışınmasının yönelimini artırmak için manyetik olarak hapsedilmiş plazma uzun bir karbon çubuktan elde ediliyor, 100 kW gücünde parlama 10 ila 30 nanosaniye sürüyordu. Küçük bir nükleer bomba ile güçlendirilen dev x-ışını lazer sistemlerinin Stratejik Savunma Girişimi çerçevesinde geliştirilmeye çalışıldığı biliniyor. Basında yer alanlara bakılırsa bu lazer White Sands füze bölgesinde denendi bile, ne var ki, askeri kaynaklar bu bilgiyi hiç bir zaman doğrulamadılar. Ancak stratejik silahların indirimi anlaşmalarında önceki Sovyetler Birliği'nin SDI çalışmalarının durdurulmasını şart koştuğunu da unutmamalıyız.

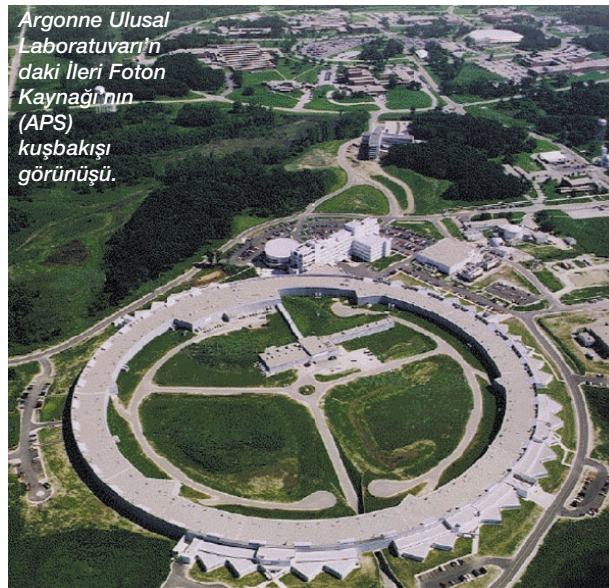
1990'lı yıllarda üçüncü nesil SR kaynaklarının atomik, moleküler, organik ve kristal yapıların araştırılmasında önemi anlaşılıyordu, hatta OECD de bu çalışmaların önemini vurgulamıştı. Dünya üzerinde pek çok laboratuvar şu anda yumuşak x-ışını üçüncü nesil SR kaynağı olarak çalışmaktadır. Bu laboratuvarlar, elektronik ve biyoteknoloji alanındaki önemlerinden ötürü, sadece gelişmiş ülkelerde değil, sanayileşmekte olan ülkelerde de kurulmuştur.

ALS, x-ışınları ve mor ötesi bölgesinde malzeme analizleri, mikroyapı üretimi ve makromoleküler kristalografisi araştırmalarına uygun olarak tasarlandı. APS, 4-0,4 Å arasında sert x-ışınları bölgesinde de, ikinci nesil SR kaynaklarından 10 000 kat daha parlak olarak, yapıda daha çok ayrıntıyı ortaya çıkarıyor ve daha hızlı görüntü almayı sağlıyor. NSLS, iki ayrı çemberde x-ışını ve vakum morötesinde, genişletilmiş x-ışını soğurma hassas yapısı, küçük açılı saçılmalar, girişim, tomografi, radyografi, floresans, interferometri, gaz fazı spektroskopisi, kristalografisi, fotoışına mikroskopisi ve kızılötesi spektroskopisi çalışmalarına yöneliktir. SSRL, temel atomik yapı, tıbbi ve endüstriyel uygulamalar, yüksek sıcaklık süperiletkenliği, yüksek çözünürlük kristal yapısı, toprak içerisinde selenyum gibi zehirli atık problemleri üzerinde çalışıyor.

Ancak bilim adamları burada da durmadılar. 1992'de Lawrence Berke-

ley Ulusal Laboratuvarları'nda (LBNL), S. Chattopadhyay, K. Kim, R. Schoenlein, C. V. Shank'tan oluşan ilk femtosaniye lazerlerini geliştiren ve ultrahızlı lazerler konusunda uzman olan takım, plazma-lazer etkileşimi konusunda uzman olan W. Leemans ile birlikte femtosaniye x-ışını kaynağı yapılabileceğini öne sürdüler. Bir femtosaniyenin bir saniyeye oranı, bir saniyenin otuz milyon yıla oranı gibidir. Diğer bir deyişle, yakında piyasaya çıkacak 1000 MHz'lik işlemciler tek bir işlem yapıcaya kadar 1 milyon femtosaniye geçecektir. LBNL bu çalışma önerisi ile ileri araştırmalar ajansından kritik teknoloji sayılan x-ışını litografisi üzerinde çalışmak üzere 60 milyon dolar aldı ve 1996'da ilk femtosaniye (fs) x-ışını demetini elde etti. Bu çalışmada ALS için hazırlanan 50 MeV enerjili elektron demeti 90 mikronluk bir ölçeğe odaklanıyor, elektronların hareket eksenine dik olarak bir yakın kızılötesi 100 fs atımlı lazer ile aydınlatılıyor, eksen yönünde 100 fs x-ışını elde ediliyor. Schoenlein elektronların daha çok sıkıştırılması durumunda 50, hatta 30 fs lik atımlar elde edebileceğimizi belirtiyor.

Peki, bu olayı böylesine önemli kılan neydi? Oda sıcaklığında atomik hareketler çoğu durumda 100 fs kadar bir zamanda oluşur. Femtosaniye x-ışınlarıyla atomların sözgelimi faz geçişi, kimyasal tepkime ya da kataliz, ya da diğer bir fiziksel değişim sırasındaki hareketlerini izlemek olası olacak. LBNL kuramcısı Marvin Cohen, katıların erimesinin hiç kimse tarafın-



**Argonne Ulusal Laboratuvarı'ndaki İleri Foton Kaynağı'nın (APS) kuşbakışı görünüşü.**

dan anlaşılmadığını belirtiyor. Bir katıyı ısıtmaya başladığınızda atomları titreşmeye başlar ve katı fazın düzenli yapısı, sıvı fazın büyük ölçüde düzensiz yapısına dönüşür. Ancak bu geçiş bölgesinde ne olup bittiğinin tam bir resmi elimizde yok. Aynı zaman çözünürlüklü x-ışını yöntemleri, yüksek sıcaklık süperiletkenleri, yarı-iletken nanokristaller, yarı-iletken külçeler ve organik kristaller için de geçerli. Schoenlein, optik rejimdeki femtosaniye deneylerinin titreşim tutarlılığı için kanıtlar taşıdığını belirtiyor. Femtosaniye x-ışınları bu eşuymulu fononları aydınlatıp, atomik yer değiştirmeler hakkında doğrudan bilgiler sağlayarak, titreşim modları ile titreşim sönümleri arasındaki enerji transferini anlamamıza yol açabilir.

Yüzyıl bitmeden çalışmaya başlayacak son büyük çalışma ise Almanlardan geliyor. DESY (Alman Elektron Sinkrotronu) HASYLAB'da 6-20 nm (1 nanometre= $10^{-9}$  metre) dalgaboyları arasında ayarlanabilir bir yumuşak x-ışını serbest elektron lazeri yapılıyor; bu bölge ilk fazı oluşturuyor. İlk fazı Haziran 1999'da Herman Hertz'in doğum yeri olan Hamburg'da EXPO 2000 fuarında boy gösterdi. 300 m uzunluğunda süperiletken hızlandırıcısı ile ayna sistemleri olmaksızın çalışan lazer, x-ışını mikroskopisi için kullanılacak. Bu sistem 2003 yılında dünyanın her yerinden uzman bilim adamlarının kullanımına açılıyor. Henüz kimse uygulamaların bizlere neler vaad edebileceğini tam olarak öngöremiyor.

## Binyılın Işığı

Üstün bir tasarım çalışması, LCLS (Doğrusal Hızlandırıcı Eşuymulu Işık Kaynağı) adı altında son yıllarda geliştirildi. x-ışını lazerinin temel fizikini doğrulayan bir deney Stanford'da SSRL, UCLA, LANL ve Moskova Kurşatov Enstitüsü'nün ortak çalışmasında gerçekleştirildi. 18 MeV enerjili elektronlar 2 m undulator içerisinde 12  $\mu$ m dalga boyunda 300 000 ölçeğinde bir kazanım sağladılar, bu oran serbest elektron lazerlerinde o güne kadar hiç görülmemişti. O tasarımı ger-

çekleştiren Claudio Pellegrini ve Max Cornacchia, hemen x-ışını bölgesi için çalışmaya başladılar. LCLS'nin ilk tasarımı için bilgisayar kodları SLAC/SSRL, LANL, LLNL ve UCLA tarafından hazırlandı. Tasarım, bağımsız bir komite tarafından 1997 Kasım ayında incelendi, fizibilite çalışması yapıldı, kullanıcı amaçlarına göre 70-90 milyon dolar maliyet belirlendi ve onaylandı. Tasarım çalışması raporu Nisan 1998'de internette birkaç yüz sayfa olarak yayınlandı. Temmuz 1998 raporunda C. Pellegrini ve M. Cornacchia 10 milyar watt'lık bir x-ışını lazerinin yeni teknolojik gelişmeler eşliğinde rahatlıkla yapılabileceğini açıkladılar. LCLS, hızlandırıcı olarak, 3 kilometrelik Stanford PEP-B fabrikasının son bir kilometresini kullanacak.



Optik tasarım, bilgisayar programları yardımıyla gerçekleştiriliyor.

14,2 GeV enerjili elektronlar 112 m uzunluğunda undulator içerisinde, 1,5 ila 15 Å dalga boyları arasında 233 fs atımlı ve halen hazır olan üçüncü nesil SR kaynaklarından on milyar kez daha parlak ışınım sağlayacak. Bu şekliyle LCLS dördüncü nesil SR kaynaklarının ilk ve tek örneği. Henüz, yeterince kaliteli bir elektron demetinin sağlanması gerçekleştirilemedi. Bunun için BNL, LANL ve UCLA ortak çalışıyorlar. Kritik noktayı, bir Nd:YAG Lazeri ile tetiklendiği için fotoinjektör adını alan elektron tabancası çalışmaları oluşturuyor. Kaliteden anlaşılan, elektronların mümkün olduğunca yoğun, aynı enerjili olması ve aynı yönde hareket etmesi. Şu ana kadar 2mm.mrad'a ulaşıldı, istenen ise 1mm.mrad, eğer başarlılmazsa LCLS

undulator'ı biraz daha uzatılacak, bu da maliyetini arttıracak.

Söz konusu olan 1 mm'den küçük çaplı yoğun elektron demetinin 0,000035° lik bir dağılım açısı altında 1200 metre boyunca bozulmadan, bu arada yaklaşık bin adet çok güçlü manyetik alan saptırıcısının etkisiyle salınarak ışına yayması, kendi yaydığı ışının etkisiyle Å ölçeğinde gruplanması ve bunların hepsinin yüksek vakumda ve ışık hızına çok yakın hızlarda başarılması. Kısacası, bir bilim ve mühendislik harikası...

Bu yıl başlayan araştırma geliştirme çalışmalarının 2002'de tamamlanması ve 2005'te kaynağın hazır olması planlanıyor. Diğer çalışmaların yanı sıra, parlaklığından ötürü bilgisayar hafızaları gibi çok küçük manyetik bölgelerde daha hassas çalışması bekleniyor. Gittikçe küçülen transistörlerin, arayüzleri oluşturan değişik maddelere göre ne kadar hızlı çalışabileceğinin saptanması düşünülüyor. Üç boyutlu cisimlerin lazerler ile hologramları alındıktan sonra daha uzun dalga boylu bir lazer ile aydınlatıldığında büyütülmüş hologramlar elde edebiliyoruz, dolayısıyla atomik ölçekteki olayların hologramlarının alınıp gözlenmesi sözkonusu. Suyun buza dönüşmesi gibi faz geçişi süreçlerinin incelenmesi ve yüzey fiziği çalışmaları da cabası.

Önümüzdeki yıllarda, temel yüksek enerji ve parçacık fiziğinin mutfağı olan hızlandırıcı araştırma merkezlerinde, evrenin yapısına ilişkin en derin entellektüel girişimler test edilmekle kalmayacak, aynı zamanda yan endüstrisi ve yeni ışık kaynakları ile üretim süreçlerimizin ve teknolojiimizin kökten değiştiğine de tanık olacağız. Deneysel fizikçiler GRAYSER'leri (gama ışını lazeri) nasıl yapacaklarını şimdiden kara kara düşünmeye başlayadursun, üçüncü bin yılda insan türünü çok daha "parlak" bir geleceğin beklediğini söyleyebiliriz.

O. Çağlar Akın  
Mehmet T. Zeyrek

Kaynaklar  
Françoise Balibar, Rezonans, Thema Larousse, c.3, s.274  
Physics Today, Ağustos, 1992, s.24.  
Schlachter F. et.al., Scientific American, Aralık, 1998.  
www-hasyllab.desy.de/facility/fcl/main.html  
www\_ssrl.slac.stanford.edu/welcome.html; oct.1998.users.newsletter