



# Lüks Değil, Zorunluluk!.. Yüksek Enerji Fiziği

CERN, FNAL ve DESY gibi parçacık hızlandırıcı merkezleri, çok büyük bütçelerle çok sayıda bilim adamı ve teknisyen çalıştıran dev kuruluşlardır. Buralarda maddenin atom-altı yapısı ve doğadaki temel kuvvetler araştırılır. Kısa vadede saf temel bilim araştırması olarak görünen bu çalışmalar, bir bakıma gelecek kuşaklar için yapılan yatırımlardır; diğer taraftan bu dev hızlandırıcıların kuruluş aşamasında harcanan insan gücü ve paranın büyük kısmı, soğutma, vakum, yüksek frekans, süperiletken ve hızlı elektronik-veri işleme teknolojilerinin geliştirilmesine ayrılmaktadır. Ayrıca, bu hızlandırıcılarda yan-ürün olarak çıkan sinkrotron ışınımı, çeşitli endüstri dallarındaki uygulamacıların hizmetine sunulmaktadır.

Zekeriya Aydın  
Prof. Dr. A.Ü. Fen Fakültesi  
Fizik Mühendisliği Bölümü

**Y**ÜKSEK ENERJİ FİZİĞİ, maddenin en alt düzeydeki yapıtaşlarını ve bunlar arasındaki etkileşimleri inceler. Bu daldaki araştırmalar bilgiye yönelik temel araştırma niteliği taşıdıkları için, "santimetrenin yüz milyarda birinden daha küçük boyutlardaki mikroevreni yöneten yasaları anlamının önceliği ve pratik yararı nedir?" sorusu sık sık ortaya atılır. Bazı kişiler, birkaç araştırmacıyı mutlu kılma pahasına para ve insan kaynaklarının boşa harcanması olarak bakarlar bu tür araştırmalara. Böyle eleştirileri karşılamanın en kolay yolu,

bu kişilere bilimsel ve teknolojik gelişme tarihinden birkaç kesit sunmaktır.

Örneğin, dört yüzyıl önce Tycho Brahe yıldızların hareketlerini o zaman için gereğinden daha incelikle ölçmek amacıyla, Danimarka devlet bütçesinin azımsanmayacak bir kısmını harcamıştı. Ama bu ölçümler, Kepler'e gezen hareketlerini yöneten yasaları keşfetmede çok yardımcı oldu. Bu yasalar ise, Galile'nin deney sonuçlarıyla bütünlenince, Newton mekaniği için iyi bir temel oluşturdu ve sonunda modern fiziğin ve teknolojinin doğmasına yaradı.



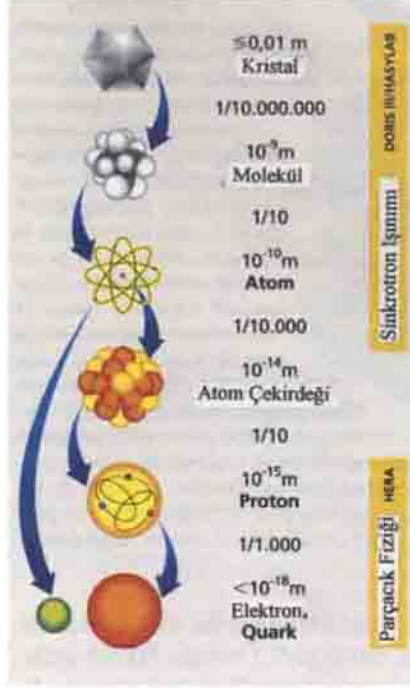
Bu yüzyıl süresince atomun yapısının incelenmesi, kuantum mekaniğinin keşfedilmesine yardımcı oldu. Bu yeni disiplin, fiziksel dünyaya tamamiyle yeni bir gözle bakmayı sağlayarak, yeni kavram ve ilkeler getirdi. Bu bilgiler üzerine transistör ve bilgisayar temellendi. Gerçekte, varlıklarını kuantum mekaniğine borçlu olan modern uygulamaların listesi çok uzundur; nükleer güç, laser ve modern iletişim sistemleri bunlardan birkaçıdır. Araştırma sadece hedefi belli amaçların karşılanmasıyla sınırlansaydı, bunların hiçbirini olmayabilirdi; en azından çok gecikirdi.

Temel parçacık araştırmalarının pratik yararı da, kuşkusuz ileri tarihlerde beklenmedik bir şekilde ortaya çıkacaktır. Dolayısıyla bu tür araştırma etkinliklerine ayrılan kaynakları, daha çok gelecek kuşaklar için yatırım olarak görmek gerekir.

Bununla birlikte, bu temel araştırmaların kısa vadeli pratik yararları da çoktur. Temel parçacık araştırmaları için gerekli olan parçacık hızlandırıcılarını ve detektörleri kurmak, araştırmacı bilim adamları ile endüstri arasında işbirliğini gerekli kılar. Böylece temel parçacıkları araştırma laboratuvarlarına ayrılan kaynakların önemli bir kısmı yenilikçi endüstriyel projelere, yani süperiletken teknolojisine, soğutma teknolojisine, hızlı elektronik ve veri işlemeye, yüksek-frekans teknolojisine ve vakum sistemlerine gider. Sonuçta bu yenilikçi gelişmeler ekonomik öneme sahip diğer alanlarda uygulama yerleri bulur.

Ayrıca parçacık hızlandırıcıları, temel fizik araştırmaları yanında, tamamiyle yeni araştırma ve uygulama alanları açabilir. Örneğin elektron depolama halkaları, sinkrotron ışınımı kaynağı olarak tıp ve moleküler biyolojiden tarihe kadar pek çok alanda kullanılabilir; doğrusal hızlandırıcılar da özel medikal terapilerin uygulan-

**Artan boyutlara sahip 6 tane önhızlandırıcı, depolama halkalarına istenen enerjide parçacıklar temin eder. HERA'ya girişte, elektronlar ve protonlar zaten sırasıyla 12 GeV ve 40 GeV'lik enerjiye sahiptirler. Ondan sonra parçacıklar tasarlanan enerjilere hızlandırılırlar. Elektronlar ve pozitronlar istenilen son enerjiye ulaştırıldıktan sonra DORIS'e verilir. DORIS bu şekilde doldurulduktan sonra, HASYLAB deneyleri derhal veri kaydına başlayabilir.**

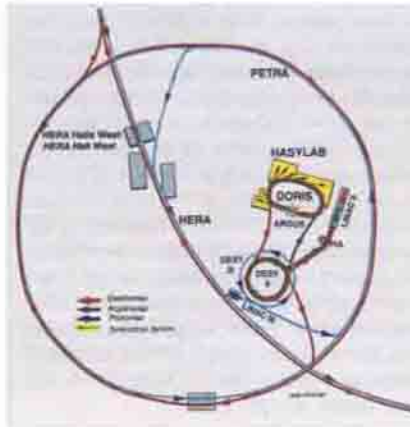


**Kristalin yapısından quark'ın yapısına: Modern hızlandırıcılar kullanılarak, bir atomun çapının (10<sup>-8</sup> cm) yüz milyonda biri kadar olan ögelerini incelemek olasıdır. Üstteki resim, yapılarıdaki hiyerarşiyi boyuta göre betimliyor.**

ması bakımından artık vazgeçilmezdir. Bu kısa girişten sonra, yukarıda söylenenleri biraz daha açmak için Almanya'daki DESY Parçacık Hızlandırıcı Merkezi ele alınacak ve orada yapılan temel yüksek enerji fiziği araştırmaları ile sanayinin sinkrotron ışınımı kullanımı tartışılacaktır.

## DESY Hızlandırıcı Merkezi

Almanca Deutsches Elektronen-Synchrotron kelimelerinin baş harflerinden oluşan DESY, 1959 yılında Hamburg'da, ilke olarak üniversitelerdeki araştırmacılar için büyük boyut-



lu bir hızlandırıcı tesisi olarak kuruldu. 1960-64 yılları arasında 6 GeV enerjili 300 m'lik elektron sinkrotronu, 55 MeV'lik doğrusal elektron hızlandırıcısı Linac I ile birlikte tamamlandı ve 1965 yılında aynı anda hem parçacık fiziği deneyleri hem de sinkrotron ışınımı deneyleri yapılmaya başlandı.

1969-74 döneminde çevresi 288 m olan 2 x 3,5 GeV'lik iki oval halkalı elektron-pozitron depolama halkası DORIS inşa edildi. 1974'den başlayarak DESY'deki deneylere paralel olarak, Linac I ve Linac II'de hızlandırılan elektron ve pozitron demetleri DESY I'e enjekte edilip orada yüksek enerjilere çıkartılarak DORIS'e depolanmaya ve DORIS'te e+e- çarpışma deneyleri yapılmaya başlandı.

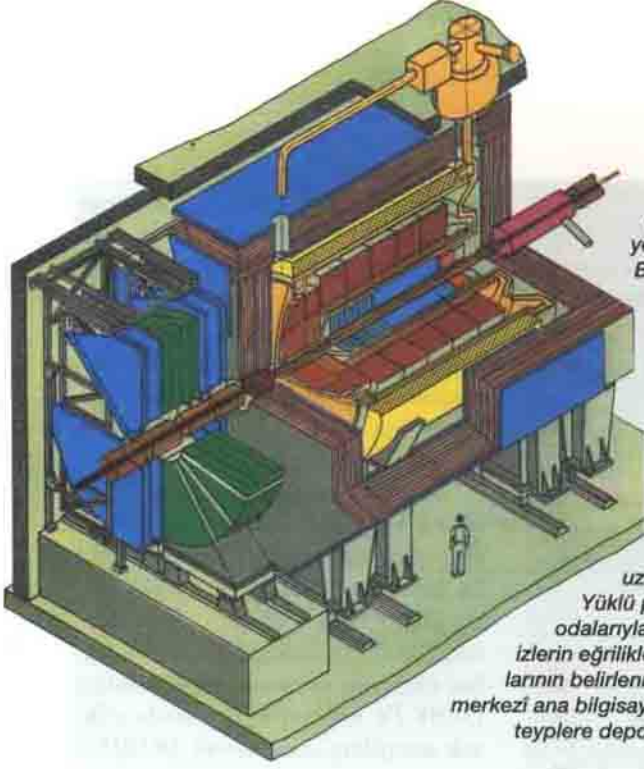
1976-78 yılları arasında DESY ve DORIS'i çevreleyecek şekilde 2,3 km'lik ve 2 x 19 GeV'lik elektron-pozitron tek halkası PETRA kuruldu ve 1979'da deneylere başlandı. PETRA'nın demet enerjisi 1982-84 yıllarında 23,5 GeV'ye yükseltildi.

1984-90 yılları arasında ise DESY, DORIS ve PETRA'nın tümünü bağlarına basacak şekilde 6,3 km çevreli 4 etkileşme hangarına sahip (her hangarda devasa detektörler bulunan) elektron-proton çarpıştırıcısı HERA (Hadron-Elektron-Ring-Anlage) inşa edildi. Burada elektron-demeti LINAC I, DESY II ve PETRA II zincirinden geçerek 14 GeV'ye kadar hızlandırılıp 30 GeV'lik son enerjisine hızlandırılmak üzere HERA'nın elektron halkasına enjekte ediliyor; proton-demeti ise LINAC III, DESY III ve PETRA II zincirinden geçerek 40 GeV'ye kadar hızlandırılıp 820 GeV'lik son enerjisine hızlandırılmak üzere HERA'nın sıvı helyumla soğutulan proton halkasına enjekte ediliyor.

Tekrar kuruluşunun ilk yıllarına dönersek, başlangıçta Hamburg'daki araştırmacılar için tasarlanan DESY'nin etkinlikleri, zaman geçtikçe önce Hamburg ve daha sonra Almanya sınırlarının dışına taşı. Şu anda 25'i aşkın ülkeden 1900 bilim adamı DESY'deki araştırmalara katılıyor.

DESY bir ulusal araştırma merkezi olup, Almanya tarafından işletilir. Yanısı personel giderleri olmak üzere, yıllık bütçesi çeyrek milyar mark ka-





**HERA halkasının 4 çarpışma noktasından birinde yer alan H1 detektörünün kesiti. Bu detektör, HERA'da elektron ve protonların çarpışmasında yaratılan yüksek enerjili parçacıkların ve jetlerin saptanıp ölçülmesi için tasarlanmıştır. Etkileşme bölgesinin etrafı kalorimetre ile öylesine sarılmıştır ki, pratik olarak saptanmadan hiçbir parçacık kaçamaz. Ayrıca bir kalorimetre öylesine küçük hücrelere ayrılmıştır ki, jetler uzayca çok iyi lokalize edilebilir. Yüklü parçacıkların izleri, çeşitli iyon odalarıyla ölçülür; manyetik alan içinde izlerin eğriliklerinin ölçümü ise momentumlarının belirlenmesini sağlar. Tüm bu bilgiler, merkezi ana bilgisayarda değerlendirilip manyetik teyplere depo edilir ve analize hazır tutulur.**

dardır. 1992 başından beri, Berlin dolayındaki Brandenburg'da Zeuthen bölgesinde ikinci bir Laboratuvara sahiptir. Her iki laboratuvar da (yani DESY ve DESY-Zeuthen) bütçelerinin %90'ını federal Araştırma ve Teknoloji Bakanlığı'ndan alırlar. Ulusal araştırma merkezlerinin finansmanında standart formüle göre, Hamburg eyaleti DESY'nin bütçesiyle Brandenburg'da Zeuthen'daki enstitü bütçesinin %10'unu karşılar.

DESY'deki araştırmalar iki ana alanda odaklanır: (1) Maddenin temel yapı taşlarının araştırılması. (2) Sinkrotron ışınımı ile makromoleküllerden atomik boyutlara kadar olan yapıların incelenmesi. Bu iki alandaki araştırma spektrumu, 12 basamağa varan bir aralığı kaplar: Öyle geniş bir aralık ki, araştırılan en büyük yapılar,

en küçüklerinden bir trilyon kere daha büyüktür!.. Örneğin HERA elektron-proton depolama halkalarında dönen elektronları kullanarak, protonun yapısının binde birine varan yapıları yoklamak olasıdır. Sinkrotron ışınımla ise, bilim adamları bir mikrometreden atomun boyutlarına kadar uzanan yapıları inceleyebilirler.

## Temel Parçacıklar Fizikinin Gizemli Tarafları

Temel parçacıklar fizikinin hedefi, maddenin yapısını çözmektir. Şu anda ulaşabildiğimiz en alt düzeyde, madde, kuarklardan ve leptonlardan oluşmaktadır. Bugün itibarıyla altı kuark ve altı lepton biliyoruz. Ve ge-

ne biliyoruz ki bunların arasında etkin olan dört kuvvet var. Ama bunların en zayıfı olan kütle-çekim kuvveti temel parçacıklar dünyasında önemsiz kalmakta ve dolayısıyla gözardı edilmektedir.

Atom çekirdeklerinin yapıtaşları olan proton ve nötronlar, bu altı kuarkın hafif olan ilk ikisi tarafından oluşturulurlar. Bu iki kuarka yukarı kuark ve aşağı kuark denir. Altı leptondan biri olan elektronla birlikte, bu iki kuark elektrikçe nötral olan atomları oluştururlar. Başka türlü söylemek gerekirse, etrafımızdaki dünya, tüm çeşitliliği ile, en alt düzeyde sadece bu üç temel yapıtaşından oluşmaktadır: Yukarı kuark, aşağı kuark ve elektron. Her ne kadar geri kalan 4 cins kuark ve 5 cins lepton sadece evrenimizin başlangıcındaki büyük patlamadan hemen sonra doğada görünür yokoldularsa da, gene de çok güçlü çarpıştıncılarda çok kısa bir an için yaratılabilirler. İşte parçacık fiziği dünyasında böyle parçacıkların yaratılması kesinlikle çok önemlidir. Çünkü yaratılma ve bozunma olayları, bu dünyayı yöneten doğa yasaları hakkında birçok bilgiyi açığa vururlar.

Şimdiyedek başarılan büyük ilerlemelere karşın, fizikçilerin tam olarak anlayamadıkları birçok şey var. Örneğin, tüm temel yapıtaşları bazı bakımlardan birbirlerine çok benzemektedirler ve bir şekilde birbirlerine sıkıca bağlı olmalıydılar. Ya da şu gerçeği ele alalım: Uyarılmamış bir atom elektrikçe nötraldir. Bu, atom kabuğundaki bir elektronun elektrik yükünün çekirdekteki bir protonun kuark yüklerinin toplamına büyük bir kesinlikle eşit olmasını ifade eder. Fakat bu neden böyle olsun? Eğer her iki tür parçacık daha temel ortak bir yapıtaşının ürünü olsa, doğal olarak kuark ve lepton yüklerinin eşitliği anlaşılabilir. Ama kuarklar ve leptonlar öylesine küçüktürler ki boyutlarını saptamak henüz mümkün olmadı. Öte yandan, onları büyüleyici yöntemlerle tartabilmeyi başardığımız için kendimizi şanslı saymalıyız. Bu parçacıkların bazıları ölçülemeyecek kadar hafif olmakla birlikte, en ağır olan altıncı kuark gerçekten bir altın atomundan daha ağırdır! Kütlelerle ilgili bu gizemi henüz çözmüş değiliz.

Bir başka gizemli taraf, grup üye-

## Evrene Köprü

Astronomlar evrenin genişliğini teleskoplarıyla hayal edilemez büyük ölçeklerde araştırırken, yüksek enerji fizikçileri ise doğayı inanılmaz derecede küçük ölçeklerde araştırmak için hızlandırıcılar kullanıyorlar. Buna karşın, belki size tuhaf gelebilir ama, her iki araştırma alanı çok sıkı bir şekilde birbirlerine bağlıdır. Dünya üzerinde atomların ve onların yapıtaşları olan lepton ve kuarkların davranışlarını yöneten doğa yasaları, aşırı uzak yıldız sistemlerindeki olayları belirten yasalarla tamamiyle aynıdır.

Geçerli teoriye göre, evrendeki tüm madde (çevremizi ve vücudumuzu oluşturanlar dahil) 15 milyar yıl kadar önce büyük patlama denen bir ilksel patlamada meydana geldi. Bugün, büyük parçacık hızlandırıcıları kullanarak, büyük patlamadan hemen sonra oluşmuş olan koşullara denk koşullar

altında maddeyi incelemeye gücümüz yetiyor. Böylece maddenin kalbinde yer alan mikrokozmosda seyahat, evrenimizin ve zamanın başlangıcına doğru gerisin geriye bir seyahat anlamına da geliyor.

Aynı şekilde, "Büyük Birleşik Teori"nin hüküm sürdüğü alanlara ulaşma beklentisi, bu seyahatin her basamağında biraz daha artar. Bu teori, doğadaki üç temel kuvvetin bir tek temel etkileşme içinde eriyeceğini öngörür. Kütle-çekimin de en sonunda bu etkileşmeye katılacağına inanıyoruz. Bu bize, büyük patlamadan 10<sup>-43</sup> saniye sonra olduğu gibi, kuvvetlerin tam birleştirilmiş bir teorisini verir. Albert Einstein ve Werner Heisenberg hayatlarının kalan kısmını "Her şeyin Teorisi"ni bulmaya harcadılar; ama başaramadılar. Fakat bugünlerde koşullar çok daha uygun; çünkü gerekli deneysel temel çok daha geniş. Başarılamamış başarıyoruz gibi gözüküyor!



lerinin sayısındır. Kuark ve lepton gruplarının ikisi de tam altışar parçacıktan oluşuyor gibi görünüyor. Şu anda leptonlar ve kuarklar arasındaki ilgiyi pek fazla anlayamıyoruz.

Bir sorunumuz da şu: Karşıtparçacıklar parçacıklarla aynıdır; sadece zit "yükler" taşırlar. Ama neden evren hemen hemen tam olarak maddeden oluşuyor? Ortalıkta hiç karşıtmadde yok! Bu gözlem deneylerimizin sonuçlarıyla çelişiyor; çünkü bu deneylerde parçacıklar ve karşıtparçacıklar aynı bollukta yaratılırlar.

Herhalde şu anda parçacık fiziği, yüzyıl kadar önce karşılaştığımızıza benzer bir dönüm noktasında bulunuyor. O zaman kimyasal elementlerin periyodik tablosunun keşfi, kimyanın karmakarışık dünyasına bir düzen getirmişti; ama bu düzeni sağlayan temel ilkeler bir türlü anlaşılıyordu. Periyodik tablonun izahı, bir başka yönden, fizikten gelmişti, çünkü orada atomun iyi işleyen bir modeli geliştirilmiş ve kimyada her şey "cuk" diye yerli yerine oturtulmuştu.

## HASYLAB

DESY'ye adını veren Alman Elektron Sinkrotronu esasen parçacık fiziği deneyleri için kurulmuşsa da, daha başlangıçta sinkrotron ışınımı deneyleri için de bir ölçüm istasyonu düşünülmüştü. Sinkrotron ışınımı deneyleri, 1965'de parçacık fiziği deneyleriyle birlikte başladı ve kısa sürede bu alanda da öylesine başa-

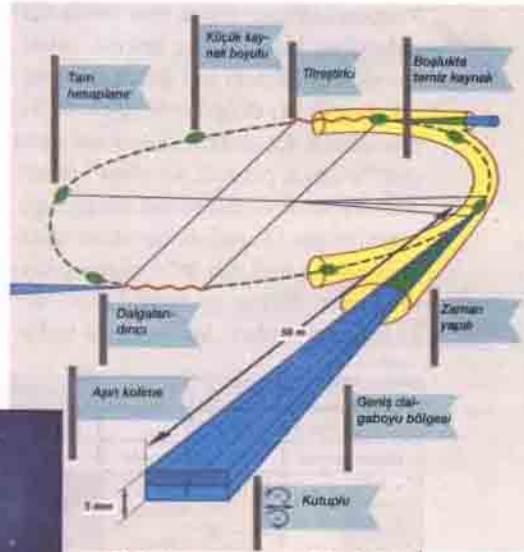


Çevresi 6,3 km tutan HERA tünelinin içinden bir görüntü. Süperiletken mıknatısların yönlendirdiği proton halkası üstte, daha alışılmış elektron halkası ise altta görülmektedir. Çok farklı iki tür parçacıktan oluşan iki demetin 4 çarpışma noktasında yeterince yüksek frekanslarla çarpıştırılması, HERA işleticilerinin büyük hüneleridir.

rılı deneyler yapıldı ki, bu yöndeki araştırmaları daha da artırmak için 1979-81'de elektron-pozitron depolama halkası DORIS'in çevresinde HASYLAB (Hamburg Synkrotron Laboratuvarı) hangarları kuruldu ve sinkrotron ışınımı deneylerine buradaki 28 ölçü istasyonunda devam edildi. 1990-91'de bu laboratuvarlar bölgesi, titreştirici ve dalgalandırıcı (wiggler and undulator) denen 7 tane ek manyetik yapıyla donatıldı. Temelde bu yapıların nöbetleşe değişen manyetik kutupları sayesinde, yüklü parçacıklar normal eğrisel yörüngelerinde ilerlerken aynı zaman-

*Bir sinkrotron ışınımı kaynağının önemli özellikleri: Elektronlar (ya da pozitronlar) kapalı bir yol boyunca desteler halinde dolanırlar. Sonuçta ışınım "flaş"lar halinde yayılır. Titreştirici ve dalgalandırıcılar, parçacıkların ayrıca dalgalı hareketler yapmasına neden olur. Soldaki küçük resimde ise sinkrotron ışınımının görünür kısmı görülmüyor.*

da slalomvari yollara zorlanırlar; böylece bu noktalarda sinkrotron ışınımı çok daha şiddetlenir. Kısaca söylemek gerekirse, bu özel manyetik sistemlerle, alışılmış bükme mıknatısları kullanılarak üretilen ışınımdan binlerce kez daha büyük şiddette ışınım üretmek olasıdır. Şu anda HASYLAB'da 40 ölçü istasyonu ve



Sinkrotron ışınımının dalgaboyu hızlandırılan parçacığın enerjisine

bağlı olduğundan, istendiği gibi kontrol edilebilir. Bu şekilde, bir gramın milyarda birinden daha az miktarda saptanabilir kimyasal element izlerini araştırmak olasıdır. Sinkrotron x-ışınımının dalgaboyu bir kristaldeki tek tek atomlararası uzaklığa tam olarak ayarlanabilir ve bu şekilde kristalin yapısı "aydınlatılmış" olur. Eğer ışınım örnek üzerine belirli bir açı ile düşürülürse, saçılacağı yol, yüzey değişmelerinin kristalin iç kısımlarına girdiği derinlik konusunda bilgi verir.

Sinkrotronunda yüklü parçacıklar "paketler" halinde dolandıkları için, sinkrotron ışınımı mikrosaniyelik aralıklarla bir saniyenin on milyarda biri kadar süren flaşlar şeklinde yayılır. Bu araştırmacıları yüksek-hızlı süreçleri "filme almağa" müktedir kılar. Bu ışınım, moleküler yapıları kesin olarak çözmede önemli bir rol de oynar.

## Minicik Parçacıklardan Olağanüstü Parlak Bir Işık Sinkrotron Işınımı

Wilhelm Conrad Röntgen 8 Kasım 1895'de x-ışınlarını keşfettiğinde, bu yüksek enerjili ışınımın gerek tıpta gerekse temel araştırma ve geliştirmede oynayacağı rolü herhalde hiç düşünmemişti. Aynı şey, daha çarpıcı bir şekilde, bugün sinkrotron ışınımı için doğrudur. Sinkrotron ışınımı, başlangıçta parçacık hızlandırıcılarında zorluk çıkaran bir faktör olarak ortaya çıkmıştı; ama son yıllarda tıp ve malzeme araştırmalarından tutun da tarihçilere kadar kimsenin vazgeçemeyeceği bir araç haline gelmiştir. Elektron ya da pozitron gibi yüklü parçacıklar dairesel parçacık hızlandırıcılarında (sinkrotronlar'da) yüksek hızlarla hareket ederlerken, yolları büküldüğü için, doğal olarak sinkrotron ışınımı denen elektromagnetik ışınım yayırlar; yani bu ivmelenme nedeniyle kinetik enerjilerinin bir

kismini elektromagnetik ışınım biçiminde atarlar. Parçacığın enerjisine bağlı olarak, bu ışınım, görünür, morötesi, x-ışını ve hatta sert x-ışını bölgelerini kapsayabilir. 1 elektronVolt'tan 200 kiloelktronVolt'a kadar enerjili, ya da 1,2 mikrometreden 6 pikometreye kadar dalgaboylu fotonlar demektir bu. Sinkrotron ışınımı oldukça ince demetler halinde ve aşırı derecede şiddetlidir. Bir sinkrotron ışını, 1 metrelik mesafede sadece 0,1 ile 1 milimetre kadar dağılır. Özel olarak geliştirilmiş kılcal mercekle, sinkrotron ışınımı 1 mikrometre çaplı alana odaklamak bugün artık olasıdır. Bu nitelikte ışınım üreten başka bir kaynak yoktur. Böylece maddesel örneklerde mikroskopik yapıların incelenmesi, eskisinden çok daha incelikte yapılabilmektedir.



90 kadar da farklı ölçü aleti çalışmaktadır. DESY'de sinkrotron ışınımı, moleküler boyutlardan atomik boyutlara kadar uzanan yapıları incelemek için kullanılır. İçerilen elektromanyetik ışınım, kızılötesi bölgeden başlayıp görünür ve morötesi ışıktan sonra sert x-ışınları bölgesine kadar uzanan bölgeyi kapsar. Her bilim adamının analiz edeceği özel araştırma nesnesi için en uygun dalgaboyunu seçmesi yeterlidir. Kullanıcıların listesi uzundur: Fizikçiler, malzeme bilimcileri, medikal uzmanlar, moleküler biyologlar, tarihçiler, arkeologlar, kimyacılar, jeofizikçiler ve endüstriyel uygulamalarda çalışan araştırmacılar... Bu alanlardaki birçok deney, sinkrotron ışınımı olmaksızın yapılamaz demekle bu ışınımın önemini fazlaca abartmış sayılmayız.

Örneğin, malzeme araştırmaları alanına uygulanan x-ışını floresans analizi HASYLAB'da kullanılan yöntemlerden biridir. Bu süreçte, malzeme örneği x-ışını sinkrotron ışınımını kısmen soğurur; sonra onu farklı dalgaboyları bölgesinde tekrar yayar. Burada, örnekteki her farklı atom karakteristik bir dalgaboyu yayar ve bu tam olarak ölçülebilir. Bu olaya daha çok "atomik parmak izi alma" denir. Teknik artık öylesine bir düzeye geliştirilmiştir ki, belirli bir atom türünün en az miktarı bile saptanabilmektedir. Birkaç yıl önce DESY'deki bilim adamları, bu yöntemi kulla-

**DORIS depolama halkası çevresinde yerleşmiş olan HASYLAB ölçü istasyonlarının krokisi ve bunlardan birinin fotoğrafı. DORIS halkası, mavi renkli bükücü mıknatısların içinden geçmektedir; HASYLAB deney holüne sinkrotron ışınımını götüren demet borusu ise solda görünmektedir.**



arak, Gutenberg (1400-1468)'in bastığı meşhur İncil'de kullandığı mürekkebi ilk kez başarıyla analiz ettiler.

Bir başka inceleme yönteminde bilim adamları şu olguyu kullanıyorlar: Farklı yoğunluktaki malzemeler, farklı soğurma davranışları gösterirler. Bu yönüme bir örnek, noninvaziv damar anjiyografisi olup, Hamburg-Eppendorf Üniversite Hastanesi doktorlarıyla işbirliği içinde DESY'deki bilim adamları tarafından geliştirilmiştir. Bu süreçte, hastanın atardamarları, hastayı rahatsız etmeksizin, sinkrotron ışınımıyla taranır ve böylece daralmış damar bölgeyi kolayca teşhis edilir.

Moleküler biyolojide biyolojik makromoleküllerin yapısını çözmede, absorpsiyon spektroskopisinde, polimerler ve yeni malzemeler üzerinde küçük açılı saçılma deneylerinde, yüzeylerin ve arayüzeylerin yapılarının

araştırılmasında, kuasi iki-boyutlu sistemlerin incelenmesinde ve benzeri konularda bu yeni ışınım kaynağı öylesine çok kullanılmaya başlandı ki, çift-depolama halkalı DORIS 1993 yılından beri sadece sinkrotron ışınımı üretimi için çalıştırılmaktadır. Daha da ileri gidilerek, 1995 yılı içinde 2,3 km çevreli PETRA elektron-pozitron depolama halkasına bir dalgalandırıcı (undulator) eklendi; böylece sinkrotron ışınımı için dünyanın en büyük enerji bölgesi açılmış oldu. Bugünlerde burada da sinkrotron ışınımı deneylerine başlanacak.

Temel araştırma ve teknoloji için uygun olmasına karşın, Avrupa endüstrisi, kendi amaçları için büyük hızlandırıcıların sağladığı olanakları kullanmakta başlangıçta epeyce çekingen davrandı. DESY, onları teşvik etmek için Hamburg'da "endüstriyel sinkrotron ışınımı konferansları" düzenledi. Şimdi gerek Almanya ve gerekse birçok başka ülkeden sanayi kuruluşlarına deney yerleri kısa süreli olarak satılıyor.

Sinkrotron Işınımı					
Enerji Spektrumu			Uygulama Örnekleri		
Dalgaboyu (Å)	Foton Enerjisi (eV)	Biyoloji-Tıp	Kimya	Fizik	Teknoloji
10000	0,1	Kızılötesi	Katalitik reaksiyonlar	Katıların elektronik yapıları	Spektroskopide yeni yöntemler
1000	1	Görünür ışık	Fotokimya	Yüzey ve arayüzeylerin karakteristikleri	Özel amaçlı optik donanım
100	10	morötesi	VUV ve X-ışını mikroskopisi	Atom ve molekül fiziği	Kalibrasyon ve ışınım standartları
10	100	Boşluk morötesi	Radyografi	Fotoelektronların spektroskopisi	Titreştirici ve dalgalandırıcı ışınımın araştırılması
1	1000	Yumuşak X-ışınları	Kompleks biyomoleküllerin ve sulu yüzeylerin üzerindeki zarların yapılarının belirlenmesi	X-ışını optiği	X-ışını mikroskopisi
0,1	10000	Sert X-ışınları	Polimerlerin yapılarının saptanması	X-ışını floresansı	X-ışını litografisi
	100000	γ ışınımı	X-ışını anjiyografisi ve tomografisi	X-ışını floresansı Topografi	Malzemelerin araştırılması
			İz elementi analizi	Esnek olmayan X-ışını saçılması	Compton saçılması

Kaynaklar  
DESY'93, Highlight from the DESY Research Centre  
German Research Service, Applied Science, Vol. 34, 1995