

MİKRO DÜNYANIN YENİ PENCERELERİ



Atomik kuvvet mikroskopuyla alınan ilk görüntü: Grafit üzerine emilmiş bir sorbit asit molekülü.

İnsanoğlu, ilk optik mikroskopun keşfinden beri, mikro dünyanın derinliklerine doğru her geçen gün biraz daha ilerledi. Teknolojinin kaydettiği gelişmeler, bu dünyaya yeni yeni pencereler açıyor..

Gürkan ÖZTÜRK

İlk mikroskopun keşfi, yaklaşık 400 yıl önce gerçekleşti. İnsanlar, habersiz oldukları bir dünyanın varlığını ancak o zaman öğrendiler. O sıralarda bir yandan coğrafi keşiflerle üzerinde yaşadığımız dünya tanınmaya çalışılırken, bir yandan da sonsuz uzay boşluğunun sırları araştırılıyordu. Mikro dünya, kimse hakkında bir şey bilmediği sırlarıyla bilim ve araştırma gündemine girdi.

Basit optik mikroskopla başlayan mikro dünya yolculuğu, değişik optik sistemlerin geliştirilmesiyle farklı boyut ve kavramlarla devam etti.

Elektron mikroskopunun keşfi, yeni pencereler açtı. Artık optik mikroskopun sınırları aşılmış, daha önce zorlanarak erişilen 2000-2500 x büyütme oranı yüzbinlere ulaşmıştı. Elektron mikroskopu ile hücre yapısı en ince ayrıntılarına kadar çözülmüş, tıp alanında kullanılarak oluşum mekanizması bilinmeyen pek çok hastalığın patofizyolojisi ortaya konmuştu. Daha önce sadece kuramsal olarak varlığı kabul edilen virüsler, ilk kez bu mikroskopla görüntülenmişti.

Molekül ve atomlar, mikroskobik görüntüleme-den kaçmayı uzun süre başarmışlardır. Fakat, artık

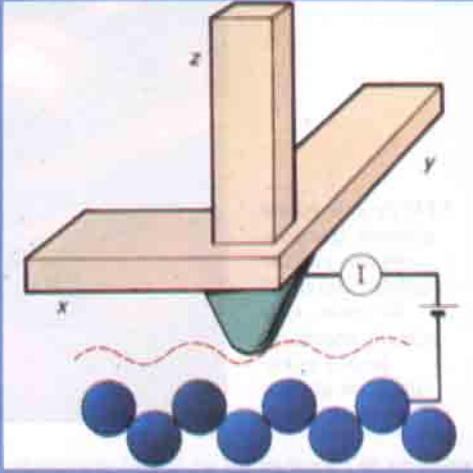
maddenin bu en alt birimine dahi açılan pek çok pencere vardır.

Hızla gelişen teknoloji ve süregelen araştırmalar sayesinde mikroskop ailesine her geçen gün bir yenisi katılıyor. Bu yazımızda sizlere son nesil olarak niteleyebileceğimiz mikroskoplardan birkaçını tanıttacağız.

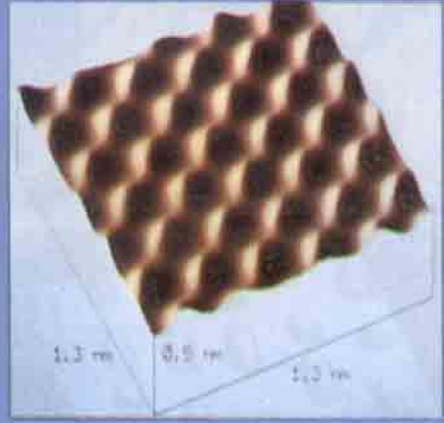
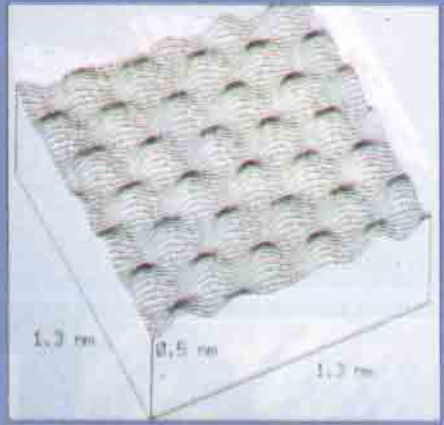
TARAMALI TÜNEL MİKROSKOBU

Taramalı tünel mikroskopu (STM), moleküler ve atomik düzeyde görüntüleme yapabilen bir cihazdır. İlk kez Gerd Binnig ve Heinrich Rohrer tarafından temelleri atılmış, bu bilim adamlarına 1986 yılında Nobel fizik ödülünü kazandırmıştır.

STM, elektron iletkenliği yüksek olan maddelerin yüzeylerini görüntülemeye kullanılmaktadır. Mikroskopun çalışma ilkesi oldukça basit ve etkileyicidir. Cihaz, katı maddelerin, elektronlardan oluşan mikroskobik bir atmosfer tabakasıyla kaplı olması esasına dayanır. STM'nin ince metal iğnesi, yüzeye santimetrenin milyarda biri kadar yaklaşarak yüzeyin elektron atmosferiyle kendi atmosferini çakıştırır. Bu olduğunda, yüzeyle iğne arasında elektron atlaması gerçekleşir ve çok küçük miktarda bir elektrik akımı ortaya çıkar. Burada elde edilen akım, iğne ucunun yüzeye olan uzaklığıyla doğru orantılıdır.



STM'nin iğnesi, voltaja göre uzunluğu değişen pizoelektrik materyalden yapılmış bir x,y,z eksen tarayıcısına bağlıdır. İğnenin ucu, yüzeyin yapısını atomik düzeyde algılar (kesik çizgi). Sağdaki görüntüler, bir grafit yüzeydeki karbon atomlarına ait olup, alttaki bilgisayar tarafından renklendirilmiş ve boyutlandırılmıştır.



İğne yüzey boyunca ilerlerken akım sabit kalacak şekilde yukarı ve aşağıya hareket ettirilir ve böylece bir atom boyutundaki girinti ve çıkıntılar dahi takip edilebilir.

Tam bir görüntü elde etmek için iğne yukarı aşağı, sağa sola hareket ederek yüzeyi tarar. Uç, bir geçişte atomları algılayırken, bir sonrakinde atom sıraları arasındaki boşlukları algılar. Bir bilgisayar, alınan bu bant halindeki görüntüleri birleştirerek yüzeyin üç boyutlu yapısını ortaya koyar.

Okunan bant genişliğinin, tarama hızının ve diğer parametrelerin değiştirilmesiyle STM, atomik düzeyden hücre düzeyine kadar çok geniş bir aralıkta görüntüleme yapabilmektedir.

Öte yandan, değişik tür atomlardan oluşan yüzeyler, alınan görüntünün değerlendirilmesini güçleştirmektedir. Gerçekte, iğnenin yüzey üzerindeki hareketi yalnızca topografiye bağlı değildir. Burada, atomların tipi ve polarizasyonu, iğnenin elektrik yükü gibi faktörler, görüntünün karakterini belirlemektedir. Örneğin, negatif yüklü bir iğne fazla elektron taşıyan bir atomun üzerinden geçerken bir tümsek şekli algılayırken, elektrondan fakir atomlar, çukur görüntüsü vermektedir.

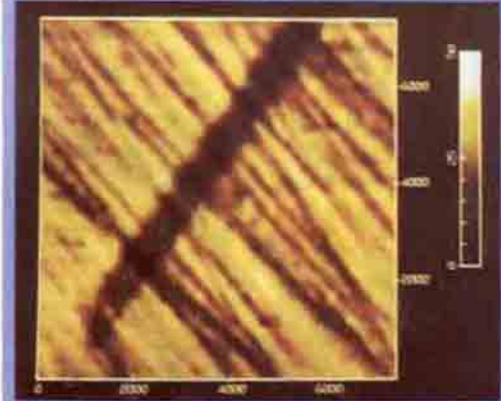
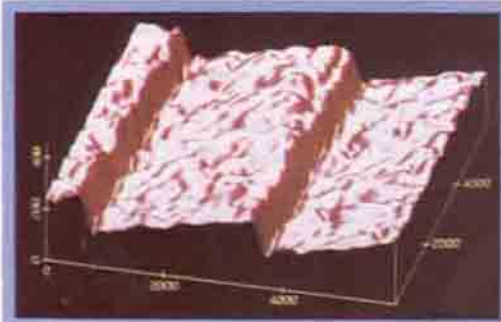
STM, endüstride pek çok uygulama alanı bulmuştur. Bunlardan biri, bilgisayar harddisklerine kayıt yapan kafaların yüksek kalitede üretilmesidir. Bir diğeri ise kompakt disklerin yapı özelliklerinin değerlendirilmesidir. Bu iki konu, moleküler düzeyde hassasiyet gerektiren bir yaklaşıma ihtiyaç duymaktadır; STM, bu imkânı sağlamaktadır.

Mikroelektronik, boyutları gittikçe küçültürken STM görüntülemesinin önemi de artmaktadır. Artık bu sistem, yalnızca bir mikroskop olmaktan öte, nanometre düzeyinde imalat ve tamir yapabilen bir makine özelliğini taşımaktadır. Örneğin, atom ve moleküllerin alışılmadık kombinasyonlarla bir araya getirilmesi STM sayesinde mümkün olmuştur. Söz gelimi, germanyum bir yüzeye bir atom yerleştirilmiş, grafit üzerine bir organik molekül ekilmiştir. Bazı araştırmacılar ise, mikro boyutlarda makinelerin tasarımıyla uğraşmaktadırlar.

STM, elektrokimyasal reaksiyonların ve atomik spektrumun yakından incelenmesine imkân tanımaktadır. Bu, yeni ve üstün ürünlerin önünü açacaktır. Örneğin, yüksek vasıflı elektrotların imaliyle, daha mükemmel piller yapılabilecektir.

ATOMİK KUVVET MİKROSKOBU

Her ne kadar STM, atomik düzeyde görüntüleme yapabilse de, önemli bir kusuru, elektron iletkenliği olmayan yüzeylerde, örneğin organik materyal-



STM'nin endüstriyel uygulamalarına birkaç örnek:
En üstte, bir dağıtma ızgarasının altın kalıbı gösteriliyor. Ortadaki resim bir manyetik kayıt kafasına ait. En alttaki ise bir kompakt diskin yüzeyini gösteriyor.

lerde iş görmemesidir. Bu, ancak dolaylı yollardan, numunenin uygun kalıplarının çıkartılması vs. gibi işlemlerden sonra mümkün olmaktadır. Atomik kuvvet mikroskobunun (AFM) en önemli özelliği, her yüzeyde görüntüleme yapabmesidir.

AFM, temel yapı itibarıyla STM'e çok benzemektedir. Fakat bu, materyal üzerindeki elektron tabakasını izlemekten çok, atomların kendisiyle temas etmektedir. AFM'nin iğnesi çok daha sivri olup, yüzeye minimum bir kuvvetle dokunur ve yapıyı bozmadan atomları tek tek hissedebilir.

AFM, biyolojik yapıların incelenmesinde oldukça başarılı olmuştur. Elektrik iletkenliği olmayan yü-

STM'de elde edilen görüntü iğnesinin elektrik yüküne bağlıdır. Buradaki iki resim, aynı yüzeyin negatif ve pozitif yüklü iğnelerle alınmış görüntüleridir.



zeylerde de çalışabilmesi en önemli avantajıdır. Çeşitli organik moleküller, bazı amino asitler AFM ile görüntülenmiştir. Öte yandan, mikroskobun çalışabilmesi için belli bir sertlikte olması gerekmektedir. Bu sorun, numuneleri dondurarak incelemek suretiyle aşılmaya çalışılmaktadır.

X - IŞINI MIKROSKOPLARI

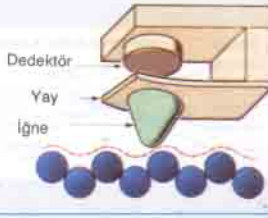
X - ışınları, keşfedildiklerinden beri mikroskopide kullanılmaya çalışılmıştır. Katı maddelerden kolayca geçebilmesi özelliği, bilim adamlarını bir X - ışını mikroskobu yapmaya yöneltmiştir. Fakat yapılan araştırmalarda bu ışınları kırmanın ya da yansıtmanın bir yolu bulunamamıştır. Ortaya konan tek ürün, "kontakt mikroradyografi" denen, numunenin gölgesinin bir filme düşürülüp daha sonra ışık mikroskobuyla incelendiği bir sistem olmuştur.

Zaman içinde kaydedilen teknolojik gelişmeler, değişik türde üstün yetenekli X - ışını mikroskoplarının yapılmasına fırsat tanımıştır. Özellikle son 20 yılda önemli aşamalar kaydedilmiştir. Bunların en önemlisi, daha güçlü ve parlak X - ışını üreticilerinin yapılması olmuştur. X ışını lazerlerinin elde edilmesi ikinci bir gelişme olmuş, çok kısa sürede görüntüleme tekniklerine temel oluşturmuştur.

X - ışını mikroskopisinin en önemli avantajı, nesnelerin doğal ortamlarında incelenebilmesidir. Burada, diğer tekniklerde olduğu gibi numuneyi çeşitli kimyasal ve fiziksel işlemlere tâbi tutmak gerekmemektedir. Materyal, örneğin bir hücre, canlı haldeyken incelenebilir, hava ya da su içinde olması durumu değiştirmemektedir.

Bir başka aşama X - ışını dedektörlerinin geliştirilmesiyle kaydedilmiştir. Işınlardan odaklanma problemi ise "halkalı Fresnel plâğı" ile aşılmıştır. Plâk üzerinde aralıkları gittikçe daralan çok sayıda iç içe saydam ve opak halkalar bulunmakta ve düzenek, normal ışığı, radyo dalgalarını ve X - ışınlarını odaklayabilmektedir. Plâğın çözünürlüğü kabaca

AFM'nin temel elemanları, bir yaya bağlı iğne ve yayın hareketlerini algılayan bir dedektördür. AFM, yalıtkan materyalleri de görüntüleyebilir (sağda).



en ince halka aralığına eşittir. Bu aralık küçüldükçe çözünürlük artmaktadır. Son ulaşılan değer ise yaklaşık 300 angströmdür.

Bu X - ışını ile çalışan başlıca 4 çeşit mikroskop bulunmaktadır. Bunlar, kontakt mikroskopi, görüntüleyici mikroskop, taramalı mikroskop ve holografidir.

Kontakt mikroskopi, en yaygın sistem olup, kontakt mikroradyografiye oldukça benzemektedir. Farklı yönleri, film yerine özel bir kalıp maddesinin kullanılması ve buraya kaydedilen görüntünün elektron mikroskopuyla değerlendirilmesidir. Bir çeşit plastikten mamül kalıp maddesi, X - ışını ya da elektronlarla maruz kaldığında aşınmaya karşı direnci değişmekte, banyo işleminden sonra bir bakıma numunenin kalıbını oluşturmaktadır. Bu sistemin avantajı daha basit yapıda olmasıdır. Fakat kalın materyaller bozuk görüntü vermektedir.

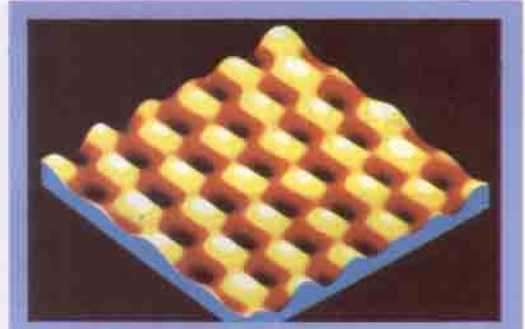
Görüntüleyici X - ışınları mikroskobu, odaklayıcı düzenerlerle çalışır. Odaklamalar, halkalı Fresnel plâğıyla sağlanır. Elde edilen görüntü, bir fotoğraf filmine ya da bir elektronik dedektöre düşürülür. Bu sistemin pek çok avantajları vardır. İleri, tüm numunenin tek bir seferde aydınlatılıp görüntülenmesidir. Bu, daha süratli resim alınarak bulanmanın önlenmesini ve biyolojik numunenin daha az radyasyon hasarına maruz kalmasını sağlar.

Taramalı X - ışını mikroskobunda görüntü, çok sayıda küçük noktaların birleşmesiyle oluşur. Bu, daha çok televizyon ekranındaki sisteme benzemektedir. X - ışınları, bir halkalı plâkla numune üzerine odaklanır ve karşı tarafta bir sayıcı tarafından algılanır. Işınlar, çok küçük noktalar halinde yukarı aşağı ve sola sağa ince hatlar şeklinde materyalin üzerine düşürülür. Böylece piksel piksel elde edilen bilgi, bilgisayar tarafından tam bir görüntüye dönüştürülür.

Her ne kadar bu işlem uzun ve karmaşık gözüksede de pek çok üstün yönleri bulunmaktadır. Elde edilen görüntü bilgisayar yardımlarıyla kolayca kaydedilebilmekte, piksel piksel kimyasal analiz yapılabilmektedir.

X - ışını holografisi, biyolojik materyallerin doğal ortamlarda incelenmesi amacıyla en uygun sistemdir. Daha yeni sayılabilecek bu mikroskobun üç boyutlu görüntü üretebilmesi için araştırmalar sürmektedir.

Üç boyutlu X - ışını holografisi, şimdiye kadar erişilebilenden daha yüksek bir çözünürlüğe gerek



Bilgisayar tarafından renklendirilen bu AFM görüntüsü, DL-Lösin amino asitine ait. Beyaz noktalar metil gruplarını gösteriyor.

duymaktadır. Buna karşılık, iki boyutlu holografik görüntü elde edilmiştir. Holografide kontakt mikroskopi gibi bir odaklama mekanizmasına gerek duymamaktadır.

X - ışını mikroskopları artık laboratuvarlara yavaş yavaş girmektedir. Bilim adamları, bu mikroskoplarla kanser hücrelerinden ağır metallerle zehirlenmiş solucanlara, yarı iletkenlere kadar çok değişik materyaller üzerinde çalışmaktadırlar. Pek çok merkezde X - ışını mikroskoplarının potansiyel yetenekleri araştırılmaktadır.

Yapılan çalışmalar, bu cihazların elektron mikroskoplarından önemli bir farkını ortaya koymuştur. X - ışını mikroskopları, belli bir elementin numunedeki konsantrasyonunu gösterebilmektedir. Elektron mikroskobu ise belli bir maddeyle boyanmış materyalde boyayı tutan ve tutmayan birimleri iki ayrı renkte görüntülemektedir. Her element X - ışınlarını değişik bir tarzda emmektedir. Böylece incelenen örneklerdeki eser elementler başarıyla ayırt edilebilmektedir.

NÜKLEER MİKROSKOPLAR

Nükleer mikroskoplar, yaklaşık 20 yıldan beri kullanılan, ışık ve elektronla değil, nükleer parçacıklarla çalışan sistemlerdir. İlk başarılı uygulaması 1969 yılında John Cookson ve Frank Pilling tarafından İngiltere'de gerçekleştirilmiştir.

Görüntülemeye kullanılan nükleer parçacıklar atom çekirdekleri, basit protonlar (hidrojen atomu çekirdeği), döteryum ve helyum çekirdekleri olabilmektedir. Bu parçacıkların materyalle mikroskobik



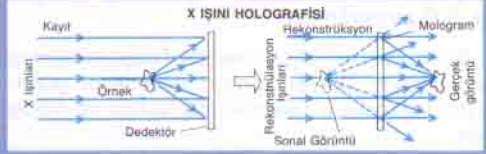
a) Örnekten geçen X - ışınları alttaki kalıbın fiziksel özelliklerini değiştirirler. Banyodan sonra kalıp maddesi örneğin şeklini alır.



b) Halkalı Fresnel plâğı, X - ışınları için yoğunlaştırıcı ve mercek görevlerini yerine getirir.



c) Odaklanan X - ışınları numuneyi nokta nokta tarar. Karşı taraftaki X - ışını sayıcısı, gelen ışınları değerlendirerek her noktanın yapısını ortaya koyar. Sonra bu bilgiler birleştirilerek tam bir görüntü oluşturur.



d) Örnek üzerinden gelen ışınlar, bir hologram üzerine kaydedilir ve daha sonra lazer ışınıyla ya da dijitalize edilerek görüntü tekrar oluşturulur.

seviyede yaptığı etkileşimler materyalin özellikleri hakkında bilgi vermektedir.

Nükleer mikroskop, elektron mikroskopuyla kıyaslandığında daha emekleme devresinde sayılır. Fakat alt yapıyı oluşturan teknolojinin hızla ilerlemesi, bu sistemin de büyük gelişmeler kaydetmesine imkân vermektedir. Şu an sahip olunan en ileri model proton mikroskopudur ve tıp ve elektronik alanında önemli kullanım alanları bulmuştur.

Proton mikroskopunda, önce düşük enerjili parçacıklar küçük bir hızlandırıcıya verilerek yüksek enerji seviyelerine çıkarılırlar. Hızlandırıcıdan çıkan parçacıklar çok küçük bir noktada odaklanarak numunenin üzerine gönderilir ve yapısı hakkında ayrıntılı bilgileri ortaya çıkarılırlar.

Bir proton mikroskopu yapmanın en zor yanlarından biri, yeterli bir odaklama mekanizmasına sahip olmaktır. Protonlar elektronlardan 1800 kat daha ağırdır. Bu yüzden elektron mikroskoplarının odaklama sistemleri proton mikroskoplarında kullanılamamaktadır. Bununla beraber, uzun araştırmalar sonucu bu işe uygun manyetik merceklerin yapılması da başarılmıştır.

Proton mikroskopu, üç değişik şekilde veri oluşturmaktadır. İlki, gönderilen protonların elektronlara çarpmasıyla başlayan bir olaydır. Çarpışmada elektron atomdan dışarı atılır. Ondaki boşalan yeri daha dıştan bir elektron doldurur ve bu sırada belli bir miktar X - ışını ortaya çıkar. Bu olaya sah-

Taramal Mikroskop



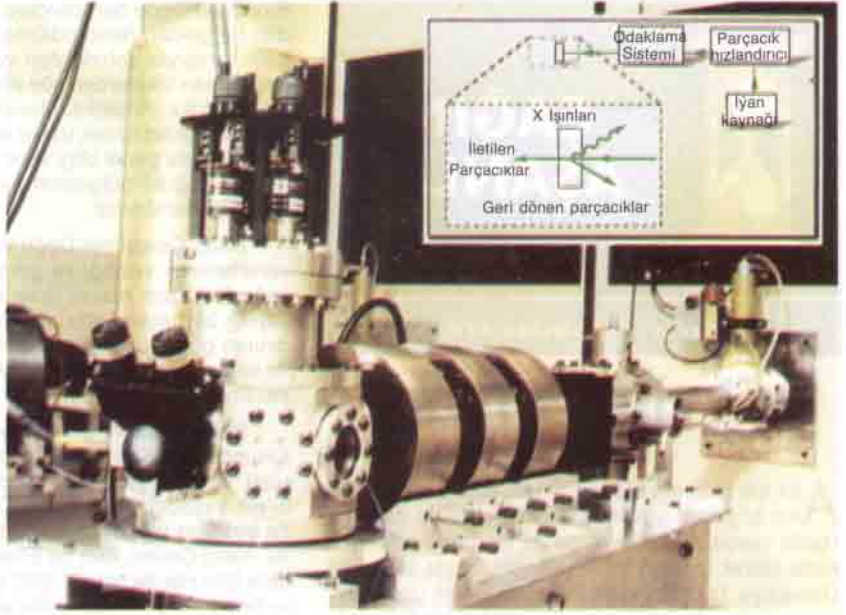
Görüntülemeli Mikroskop



Kontakt Mikroradyografi



Üç ayrı tip X - ışını mikroskopunda elde edilen görüntüler: Solda bir kuş embriyosuna ait bağ dokusu hücresi görülüyor. Hücre tespit edilmiş fakat yaş ve boyanmamıştır. Ortada, bir larvaya ait kromozomun görünüşü yakalanmış. Bu örnek de boyanmamış. Sağda, tespit edilmiş ve kurumuş bağ dokusu hücresi görülüyor.



Proton mikroskobu: Bu sistemde üç yolla veri elde edilir; parçacıkların kaybettiği enerjinin belirlenmesi, yayılan X - ışının ölçülmesi ve geriye yansıyan parçacıkların değerlendirilmesi.

ne olan atomun yapısı, açığa çıkan X ışının miktarını da belirler. Örneğin böyle bir çarpışmada demir atomu 6.4 kiloelektronvoltluk X - ışını oluşurken, bu kalsiyum atomu için 3.7 kiloelektronvolttur. X - ışını yayılımına dayanan bu tekniğe PIXE denmektedir. PIXE, numuneler içinde gizli, eser miktardaki elementlerin belirlenmesinde başarıyla kullanılmaktadır.

İkinci sistem, numuneden geçen parçacıkların kaybettiği enerjinin ölçülmesiyle elektron yoğunluğunun belirlenmesidir. Burada numune küçük noktalar halinde taranır ve her noktanın elektron yoğunluğu belirlenerek materyalin genel yapısı ortaya konur. Numunedeki elektron sayısı ne kadar fazlaysa protonlar geçerken o kadar çok çarpışma yapacak ve bununla orantılı olarak enerji kaybedecektir. STIM adı verilen bu teknik, özellikle yarı iletken devrelerin değerlendirilmesinde oldukça başarılıdır.

Üçüncü metot, protonların atom çekirdekleriyle yaptığı çarpışmaların değerlendirilmesidir. Bu olay sonucu çarpışan protonlar geriye yansır; bunların ölçülmesiyle materyalin atom yapısı hakkında bilgi elde edilir. RBS adı verilen bu teknik daha çok hafif elementlerin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Daha çok ağır elementler için başvurulan PIXE metoduyla birleştirildiğinde bu iki teknik birbirini tamamlamaktadır. □

Bu yazının hazırlanmasında aşağıdaki kaynaklardan yararlanılmıştır:

- New Scientist, 27 Mayıs 1989
- Scientific American, Şubat 1991
- New Scientist, 1 Haziran 1991

EKZOZ GAZI NEZLEYE SEBEP OLUYOR

Yapılan son araştırmalara göre, azot dioksit, burun deliğini ve soluk borusunu döşeyen mikroskobik uzantılar olan siliyaları öldürmektedir. Bu bulgu, araba eksozundan çıkan gazların nezleye sebep olduğu düşüncesini desteklemektedir.

Siliyalar, burunda ve havayolunda çok önemli bir rol oynamaktadırlar. İleri ve geri dalgalanma hareketi yaparak, mukusu ve yabancı cisimleri ağız ve burun yoluyla dışarı taşırlar.

Londra'daki St. Bertholomew's hastanesinden Robert Davies ve arkadaşları, siliyalı epitel hücre kültürünü, içerisinde düşük konsantrasyonda azot dioksit içeren hava ile muamele ettiler. Milyonda 0,4 azot dioksit içeren hava verilmesinden 15 dakika sonra, siliyaların büyük bir kısmı hasara uğradı. 2 saat sonra ise tüm hücreler ölmüştü.

Davies, burundaki hücre veya siliyalar azot dioksitle öldürülürse, polen gibi çeşitli alerjenlerin, hücreler üzerinde daha fazla kalacaklarını ve vücuda daha kolay difüze olacaklarını, sonuçta da alerjik reaksiyonların daha da artacağını belirtti.

1970'lerden beri, trafik kirlenmesi nedeniyle havadaki azot dioksit miktarı devamlı olarak artmaktadır. Bu da nezle olanların sayılarının niçin devamlı artmakta olduğunu ve bu hastalığın kentlerde, havadaki polen miktarının daha fazla olduğu kırsal kesimlerden niçin daha fazla görüldüğünü de açıklamaktadır.

New Scientist (22 Haziran 1991)'ten çev.:
Nurullah OKUMUŞ