

Tünelin Ucundaki Nobel:

TÜNEL OLAYI MİKROSKOBU

• Bir Amerikan şirketinin iki araştırmacısı G.Binning ve H.Rohrer'in gerçekleştirdikleri "tünel olayı mikroskobu", bir yalıtkanın yüzeyinin en ince ayrıntılarını görünürleştirmeyi sağlıyor. Bu buluş, E.Ruska'nın elektron mikroskobu ile birlikte, 1986 Nobel Fizik ödülünü kazandı.

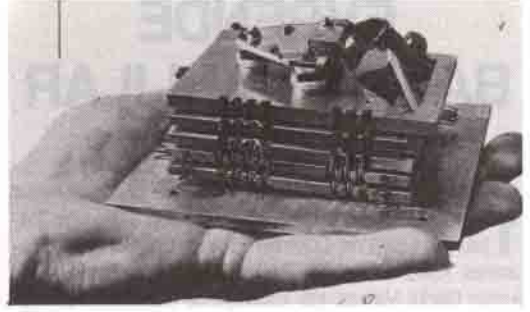
Patrick DECLÖTRE

Simdiye dek, atomik yapıyı çözümlemek için kullanılan düzeneklerin çoğu, dalgaların kırınımı ilkesine dayanıyordu: Bir X-ışını, elektron ya da nötron demeti, incelenecek yüzey üzerine düşürülüyordu ve demetin yansıma açısının gözlenmesi, atomların düzenlenişi ile ilgili bilgileri veriyordu.

Şikago Üniversitesi fizikçilerinden Albert Crewe, 1970'de, bir elektron mikroskobu yardımı ile, yalıtılmış bir atomun görüntüsünü ilk kez elde etmişti. Ancak, onun düzeniğinin olanakları sınırlıydı; çünkü elektron demetini odaklamaya yarayan mıknatısal mercekler bozulmalara neden oluyordu.

Scanning Tunneling Microscope (STM), yani tünel olayına dayanan mikroskop ile önemli bir ilerleme sağlanmıştı. Kuantum mekaniği kuramcılarınca çok önceden öngörülen tünel olayı, ilk kez 1957'de gözlenmiştir. Bu, nasıl bir olaydır? Elektronların, bir yalıtkandan ya da boşluktan oluşmuş dar engelleri aşması ve böylece iki katı iletkenin (ya da iki yalıtkanın) arasından geçmesidir.

Bu özellik, elektronların dalga-parçacık ikilemine dayanır. Gerçekten, kuantum mekaniğince, her parçacığa bir "dalga paketi" eşlenmiştir. Bu "dalga paketi", bir katının yüzeyine gelince, tam olarak yansıtılmaz; bu yüzeyden sızarak bir dalga bulutu oluşturur.



En yeni mikroskop olan, Zurich'deki IBM laboratuvarı araştırmacılarının gerçekleştirdikleri tünel olayı mikroskobu, bir avuç içine sığabilecek büyüklüktedir. Yine de, örneği taşıyan parçası, iğnesi ve iğnenin hareketlerini denetleyen uçayağın kolları iyice seçilebilmektedir.

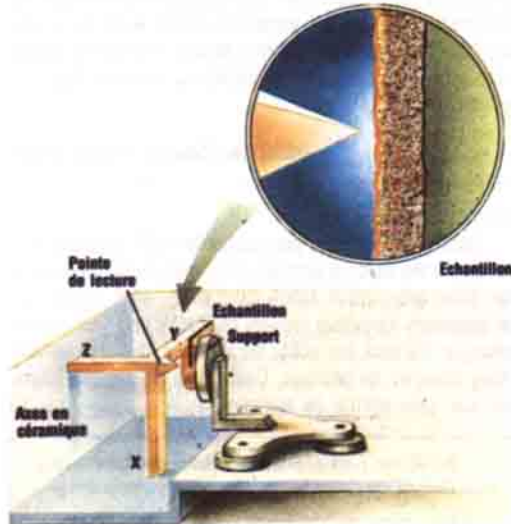
Şimdi birbirine yapıştırılmış ve yapışma yüzeyinde ince bir yalıtkan katmanla ayrılmış iki iletken metal parçası düşünelim. Özellikle her metal parçanın yüzeyinde bulunan elektronların dalga doğası nedeni ile, yalıtkan katmanın içinde gitgide sönen bir dalga bulunacaktır; böylece elektronlar, yalıtkanın içine sızma ve yalıtkan katmanın yeterince ince olması durumunda bir metal parçadan öbürüne bile geçme yeteneği göstereceklerdir. Bu olaya, "tünel olayı" denir. Elektronlar, geçebilecekleri delikler ya da "tüneller" varmış gibi engeli (burada, yalıtkanı) aşarlar.

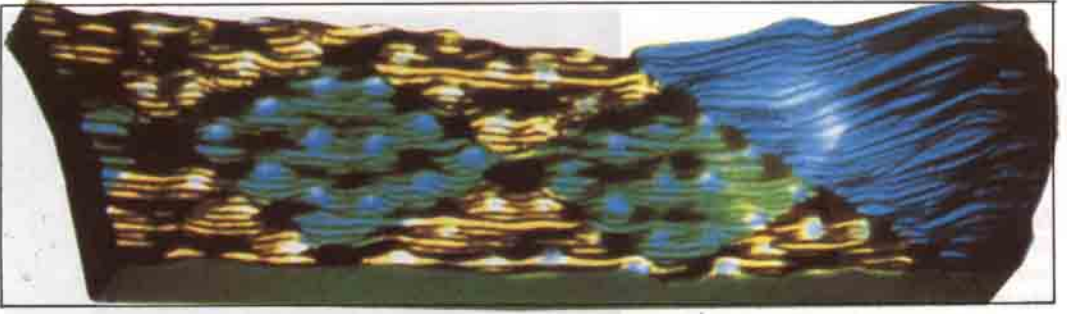
Bu iki metal parçası arasında bir potansiyel farkı yaratılırsa, bunlar arasında bir akım oluşacağını da ekleyelim: yani bir metalden öbürüne, yalıtkan katmanın içinden bir elektron akışı geçecektir. Tünel olayının bu uygulaması çok iyi bilinmektedir: Elektrik akımının bir telden öbürüne geçmesi için, bu iki metal teli birbirine değdirmek yeterlidir; söz konusu teller, genellikle ince bir yalıtkan katmanla kaplanmış olsalar da durum böyledir.

Tünel olayı mikroskobu (TOM)nun yararlandığı olay budur; yalnızca küçük bir fark vardır: İki metal iletken parçayı

TÜNEL OLAYI MİKROSKOBU NASIL ÇALIŞIR?

Gözlenecek olan örnek bir taşıyıcıya bağlanmıştır; taşıyıcı ise, düzeniğin ayarlanabilen bir parçasına tuturulmuştur; böylece gözlenecek nesnenin, tungsten iğneye en yakın konumda olması sağlanır. İğnenin ucunu ve örnek yüzeyini görebilen klasik bir mikroskop, iğnenin ucunun örnek yüzeyine mikron basamağında bir uzaklığa dek yaklaştığını gösterebilir. İğnenin üzerine tuturulduğu XYZ uçayağı, bu uzaklığı, tünel olayının oluşabileceği en büyük aralık olan birkaç angströmde dek küçületecektir. İğnenin bu konumu sağlandıktan sonra, X ve Y eksenleri, iğnenin, örnek yüzeyini yatay olarak süpürmesini denetleyeceklerdir, Z eksenine ise, iğne ucunun örnek yüzeyine uzaklığını sabit tutacaktır. Z ekseninin, önemli ölçüde büyütülmüş ve görünürleştirilmiş olan bu titreşimleri, örnek yüzeyinin atomik boyutlardaki bir "topografik ölçülemesini" verecektir.





Bir silisyum parçasının (silisyum, elektronikte çok önemli bir yarıiletken) yüzeyinin bu görüntüsü, tünel olayı mikroskopunun iğnesinin hareketleri yardımı ile oluşturulmuştur. Temel kristalin eşkenar dörtgen biçimli yapısı açıkça görülmektedir (daha açık olması için, bu eşkenar dörtgenlerin ikisi renklendirilmiştir). Eşkenar dörtgenlerin ortalarında görülen "tepecikler" in, "çukurlar" a göre yükseklikleri 2,5 angström dolayındadır. Araştırmacılar için, silisyum yüzeyinin bu "görünüşü", şimdiye dek önerilmiş olan kuramsal modelleri çürüten gerçek bir buluştur.

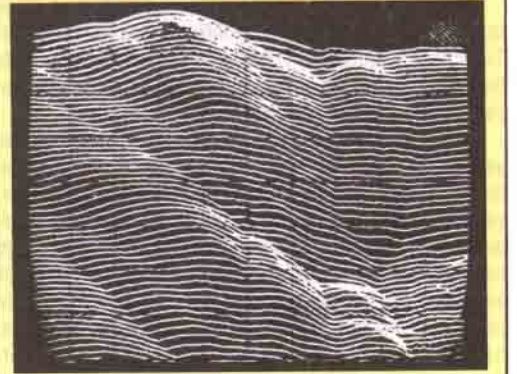
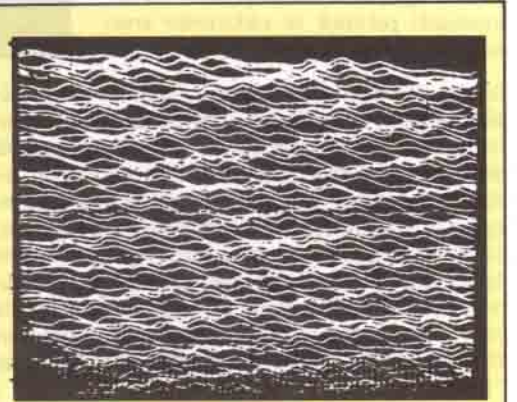
ayırان engel bir yalıtkan olmayıp, bir boşluk ya da bir sıvıdır.

TOM, şöyle çalışmaktadır. İki iletken parçanın biri, gözlenecek olan örnek, öbürü ise, genellikle tungstenden yapılmış, son derece ince uçlu bir iğnedir. Mikroskop görevini yapacak olan ve örnek yüzeyinin ayrıntılarını inceleyecek olan, bu iğnedir. Gerçekten, incelenen örnek iğnenin iletken olması koşulu ile, iğne ucunun örnek yüzeyine olabildiğince yaklaşması ile, bu ikisi arasında bir potansiyel farkı kurulacağından, bir akım oluşacaktır, yani tünel olayı dolayısı ile, iğne ucunun elektronları örneğe geçeceklerdir.

Bir "tünel" akımının şiddeti, iki iletken parçayı ayıran uzaklığa bağlıdır. Öyleyse, mikroskoptaki durumda tünel akımının şiddeti, iğne ucunu örnek yüzeyinden ayıran uzayın fonksiyonu olacaktır. Bu uzay küçülünce akım artacak; tersine olarak, uzay ne ölçüde büyürse, akım da o ölçüde zayıflayacaktır. Sonuç olarak, iğne örnek üzerinde gezinirken, akım şiddetindeki değişimlerin gözlenmesi ile, örnek yüzeyinin gerçek bir topografik ölçülmesi yapılabilecektir. Üç angströmlük bir uzaklık (metrenin on milyonda birinin üç katı: bir atomun ortalama çapı) değişimi, akımı bin çarpanı kadar değiştirdiğine göre, bu yöntem son derece kesin olacaktır.

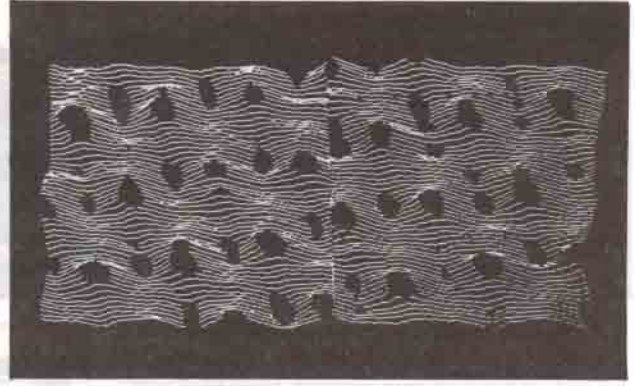
Gerçekte, tünel olayı mikroskopunda, topografik ölçülme akım şiddeti değişimlerinin doğrudan gözlenmesi ile sağlanmayıp, iğne ucunun örnek yüzeyini süpürmesi sırasında ki çeşitli konumlarının sürekli denetlenmesi de gerekir. Bir başvuru şiddeti seçilir ve son derece duyarlı bir işleyiş, her bir değişim oluştuğunda, bu başvuru şiddetini yeniden sağlayacak biçimde, iğne ucunu uzaklaştırır ya da yaklaştırır. Böylece iğne, süpürülen yüzeyin çizgilerini tam doğrulukla çizecek ve iğnenin önemli ölçüde büyütülerek kayıt edilmiş olan bu hareketleri, incelenen yüzeyin yapay bir görüntüsünü oluşturacaktır.

İğne, kendisinin üç eksene göre de yer değiştirmesini sağlayacak olan bir üçayağın üzerine takılmıştır. İki eksen, göz-



Kaliforniya'nın Santa Barbara Üniversitesi'nde çalışan Richard Sonnenfeld ve Paul Hansma adlı fizikçiler, tünel olayı mikroskopunu su altında incelemişlerdir. Sonuçlar şaşırtıcıdır: Elde edilen görüntüler, keskinliklerini yitirmemişlerdir. Böylece, su içinde de olsa, grafit örnek (üstteki görüntü) tepeciklerini ve çukurlarını yine gösterir (Çukurlar, elektronca yoksun olan bölgelere karşılıktır). Benzer olarak bir sodyum klorür çözeltisine batırılmış olan bir altın örnekte de, küçük bir büyütme oluşması dışında, temelde düzlem olan bir yüzeyin engebeli görüntüsü elde edilir. Sıvı ortamdaki bu deneylerin temel bir önemi vardır; çünkü tünel olayı mikroskopunun, "canlı" örnekleri doğal ortamlarında gözlemek için kullanılabileceğini gösterir.

İşte, tünel olayı mikroskobunun, bir grafit örneğinin yüzeyini nasıl gördüğü. Tepelerin doruklarını çevreleyen "yanardağ ağzları" karbon atomlarının yerleşimini gösterir (Çizgilerin olmadığı yerler ise, her atomdaki çekirdek ve elektronlar arası boşluklara karşılıktır).



lenecek olan yüzeyin düzleminde (incelenen yüzeyin süpürülmesi için) ve bir eksen bu yüzeye diktir (iğnenin konumunu düzeltmek için). Bu üç ayak da, özel bir türdendir; çünkü unutmamız gerektiği gibi, kendisinin izlemekle yükümlü olduğu yer değiştirmeler angström basamağındadır. Bu nedenle, ayağın üç kolu da piezoelektrik seramiktedir; bu maddenin, bir elektrik akımı etkisi altında, en küçük ölçülerde değişiklik özelliği vardır. Böylece, yalnız iğneyi çok büyük kesinlikle sürekli ayarlamak değil, saniyede 100 angström basamağında yatay süpürme hızlarına da ulaşmak mümkündür (kenarları 100 angström olan bir kare, birkaç dakika içinde tam olarak "taranmış" olur).

En güçlü elektron mikroskoplarının boyutları ile karşılaştırılınca, TOM'nun verdiği ayrıntılar ayrıca önem kazanır: Tünel olayı mikroskobu (TOM)nun temel parçası, yani iğne, bu iğnenin hareketlerini denetleyen üç ayak ve örneği taşıyan geçerten oluşan düzener bir avuç içine sığar.

Bu başarıya ulamadan önce, araştırmacılar kabarıklıkta sayıya problemi çözmek zorunda kalmışlardır; bunların en çetin olanlarından biri, istenmeyen titreşimler olmuştur. Gerçekten, çevremiz sürekli olarak, her türden titreşimlerle sallanmaktadır. Öyleyse, TOM'nun incelediği uzaklıkların angström basamağında farklılar denetlenmesi gerektiğinden, en küçük bir sarsıntı bile her şeyi bozmaya yeterlidir. Bu nedenle, düzener ağır bir beton düzlemin üzerine yerleştirilmiştir; bu da, hava ile doldurulmuş kauçuk tüplerin üzerine oturtulmuştur. Son olarak, yine de kalmış olan titreşimler ise, düzeneği bir boşluk odasındaki miknatısal alan içinde "askıya alarak" giderilmiştir. Böylece, firmanın Zurich'deki laboratuvarında çalışan araştırmacılar, şaşırtıcı özellikleri olan güvenilir bir ayrıntılı inceleme düzeneği elde etmişlerdir.

Günümüzde, TOM, maddenin çarpıcı görüntülerini ve özellikle metallerin ve yarıiletkenlerin yüzeylerinin yeni bir görünüşünü verebilme yeteneğindedir. Görüntüleme ekranında elde edilen "sivrilikler" ya da "tepecikler" kendi elektron bulutları ile çevrili atomları "kovuklar" ya da "çukurlar" ise, atomlar arasındaki boşlukları gösterirler.

Atomik boyuttardaki bu topografik ölçülemeler, yalnızca bilim alanında değil, maddenin yapısının ayrıntılarını inceleyen teknoloji alanında da, çok umutlandırıcı bakış açıları sağlamaktadır. Böylece, kimi maddelerin atomik düzenlenişinin daha kesin bir gösterimi, mikro-işlemcileri daha da küçültmeye ve yarıiletkenleri daha da hızlı incelemeye yardım edecektir.

Tünel olayı mikroskobu yardımı ile, fizikçiler ve kimyacılar çeşitli kristallerin, temel atomik yapıları gibi, düzenlenişlerini bulgularacaklarını umut etmektedirler. Biyologlar da, özellikle, Kaliforniya'nın Santa Barbara Üniversitesi'nde çalışan Richard Sonnenfeld ve Paul Hansma adlı iki araştırmacının, TOM'nun su içinde kullanılabileceğini göstermelerinden sonra, bu yeni inceleme olanağından çok şeyler beklemektedirler.

Suyun yüksek elektrik iletkenliğinin büyük sorun yaratmasına (düzeneğin çalışması için gereken elektrik akımını kaçırmaz biçimde bozmasına) karşın, Sonnenfeld ve Hansma, iyonlaşmamış suya konulmuş grafit ve altın atomlarını görünürlüştürmeyi başarmışlardır.

Bu son deneyler için, düzenerde önemli bir değişiklik oluşturulmamıştır: Yalnızca, su yüzeyinden yaklaşık bir milimetre içerde bulunan örneği tarayan iğne, 50 mikronluk (1 mikron=10⁻⁶m) ince ucu dışında, cam yardımı ile yalıtılmıştır. Düzeneğin kalan parçaları piezoelektrik seramikten yapılmış üç eksen kuru ortamdadır. Sonuç olarak, sıvı çevre, elde edilen görüntüleri ölçüsüzce bozamaz.

Bu deneylerin çekici yanı, tünel olayı mikroskobunun uygulama alanının, biyolojik deney örneklerini doğal durumlarında gözlemeye olanak sağlamasıdır. Artık, proteinlerin ya da ADN'nin molekül yapısını, suyu kurutulmuş ya da dondurulmuş örneklerle değil "yaşayan" örneklerle inceleme olanağı var demektir. Ayrıca, yakın bir gelecekte, atomik düzeydeki bir biyolojik sürecin gelişiminin, farklı zamanlarda alınmış ardışık görüntüleri yardımı ile, adım adım incelenebileceğini düşünmek de bir düş sayılmamaktadır.

TOM'nun çeşitli ortamlardaki (havada, boşlukta ya da sıvı içinde) çalışmasının henüz tam olarak denetlenemediği kesindir. Örneğin, "görülen" atomları tanımak ya da gözlenen yüzeylerde yer alan kırılıklardan kurtulmak hala zordur. Ama bunlar, çözüm getirilemeyecek çok önemli sorunlar değildir. Mikroskobun çalışma ilkesinin geçerliliği ve araştırmacıların düşgücü, yeni ufuklar açmayı sürdürecektir. Kimi bilim adamları, şimdiden, TOM'nun uygulama alanını iletken olmayan nesnelerin incelenmesine doğru genişletmeyi düşünmektedirler: Belki bu nesnelere iletken bir madde ile kaplamak yeterli olabilecektir.

Gerçek şudur ki, tünel olayı mikroskobu, üzerinde çok konuşulacak yeni bir inceleme olanağıdır.

Science et Vie'den Çev.:

Dr.Hanasi GÜR

BİLİM VE TEKNİK