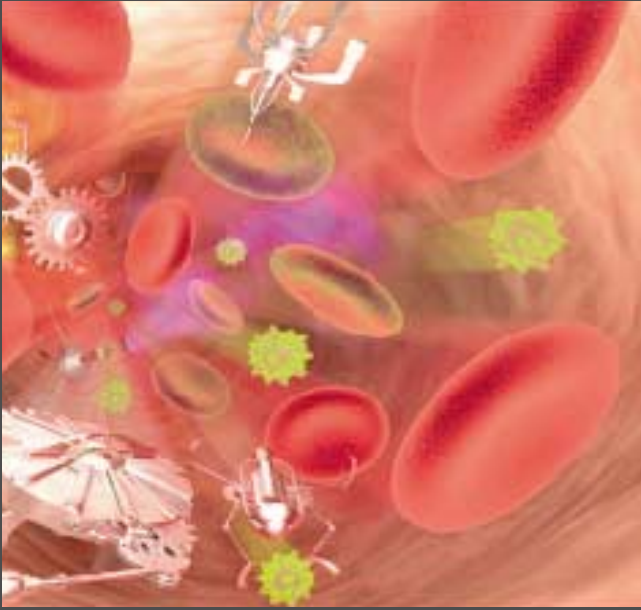


Nanoteknoloji

K ü ç ü k Ş e y l e r i n B i l i m i

Gulliver'in Seyahatleri adlı romanı okuyanlar Liliput ülkesini bilirler. Liliput'ta insanlar, evler, eşyalar, hayvanlar, kısaca her şey küçüktür. Burası bir anlamda



cüceler ülkesidir. Küçücük varlıkların bulunduğu bir dünya gerçekten de ilginç olabilir. Hatta bazı kolaylıkları bile olabilir. Jonathan Swift'in,

Damarlarda ilerleyen mini robotlar, birbirini döndüren atom büyüklüğünde dişli çarklar, molekül büyüklüğünde makineler... Çok değil, daha yirmi yıl önce tüm bunlar bize olanaksız görünürdü. Bir de elli yıl öncesini düşünün. Nobel Ödüllü ünlü fizikçi Richard Feynman, 1959 yılında Amerikan Fizik Topluluğu'nun bir toplantısında günümüzde bile unutulmayan önemli bir konuşma yapmıştı. Feynman, bu konuşmasına küçük nesnelere söz ederek başlamıştı. "Neden 24 ciltlik Britannica Ansiklopedisi'nin tümünü bir topluğın başına

"Gulliver'in Seyahatleri"ni yazdığı 1700'lerin başında bunun ne gibi kolaylıklarının olabileceği düşünülemezdi belki. Oysa günümüzde birçok bilim dalında çalışmalar, makineleri, nesnelere, robotları küçültme yönünde. Çünkü bazı bilim dallarında küçük nesnelere çalışmanın birtakım yararları var. Ucuzluk ve sağlamlık, hız, daha az enerji kaybı gibi. İşte, tüm bu "küçük şeylerle" ilgilenen alana nanoteknoloji deniyor. Nanoteknoloji, gerçekte çok sayıda bilim dalını ilgilendiren bir konu. Sağlık, mühendislik, kimya, fizik, uzay, biyoloji... Bunlar birbirinden çok farklı olsa da, tümünün ortak bir özelliği var.

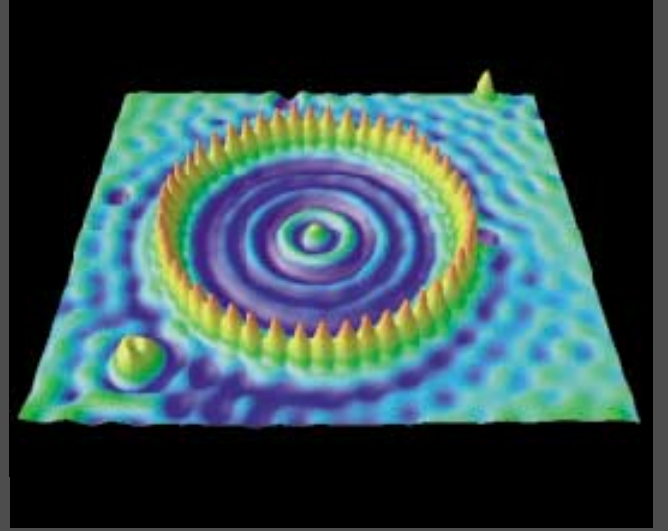
Nanoteknolojinin konusuna giren her şey çok küçük. Hem de öyle küçük ki, gözünüzle değil, normal mikroskoplarla bile görmemiz çok zor...

yazamayalım ki!" dediğinde dinleyiciler gülmeye başlamışlardı. İlginç kişiliğiyle tanınan Feynman'ın da zaten böyle bir şaka yapması beklenirdi. Ancak o, bu kez şaka yapmıyordu; düşlerinden söz ediyordu. Konuşmasını, 20 000 sayfalık bir ansiklopedideki tüm yazıların ve resimlerin, bir topluğın başına sığdırılması için neler yapılabileceğini anlatarak sürdürdü. Bu büyüklükte bir ansiklopedinin tüm sayfaları, bir basketbol sahasının bir buçuk katı kadar bir alanı kaplar. Bu sayfaların tümünü bir topluğın başına sığdırmayı düşünün. Her bir harfin, sayının,

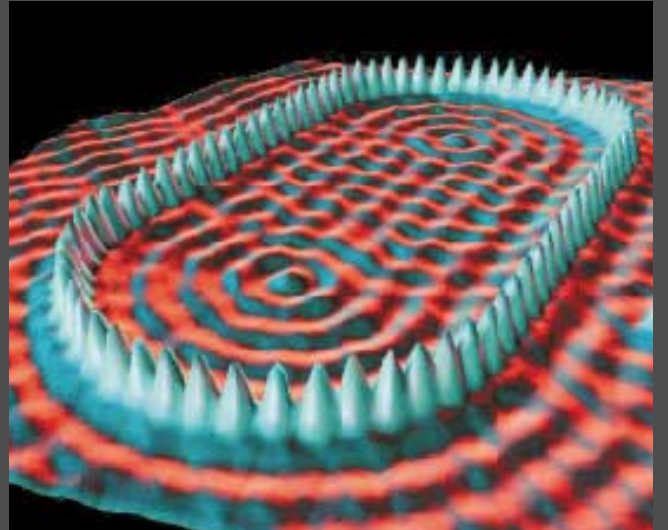
hatta noktanın bile 25 000 kez küçültülmesi gerekir. Bunu yapabilmek için doğrudan atomlarla çalışmak gerektiğini düşünüyordu Feynman. Gelecekte bunun başarılacağına inanıyordu. Hatta, bu konuda çalışmak isteyebilecekleri hızlandırmak istiyordu. Bu düşünceden hareketle bir kitabın bir sayfasındaki yazıları 25 000 kez küçültebilecek ilk kişiye 1000 dolarlık bir ödül vereceğini söylemişti o gün. O konuşmanın üzerinden 25 yıl geçtikten sonra Stanford Üniversitesi'nde yüksek lisans öğrencisi olan Tom Newman, Feynman'a bir telgraf gönderdi. Telgrafında Feynman'ın 1959 yılında söz verdiği ödülün hâlâ geçerli olup olmadığını soruyordu. Newman, bilgisayar devreleri üzerinde çalışıyordu. Devreleri hazırlarken, elektron demetlerinden yararlanarak silikonu biçimlendiriyordu. Bu işle uğraşırken elektron demetleriyle yazı bile yazılabileceğini farketmişti. Ona gereken tek şey, bunu yapmasını sağlayacak bir bilgisayar yazılımıydı. Bu, öyle bir yazılım olmalıydı ki, elektron demetlerinin harfleri biçimlendirmelerini sağlamalıydı. Newman, Feynman'dan ödülün hâlâ geçerli olduğunu öğrendikten birkaç gün sonra, gereken bilgisayar yazılımını hazırladı ve işe girişti. En sevdiği eserlerden biri olan, Charles Dickens'ın "İki Şehrin Hikâyesi" adlı kitabının ilk sayfasını Feynman'ın söylediği küçüklükte yazmayı başardı. Kısa bir süre sonra, bu işi başardığının kanıtlarını bir pakete koyup Feynman'a gönderdi ve ödülünü aldı. Feynman'ın elli yıl önce ortaya attığı atomları biçimlendirme düşüncesi böylece ilk filizini vermişti. Elbette, bu macera burada bitmedi.

Atomlarla Oynamak

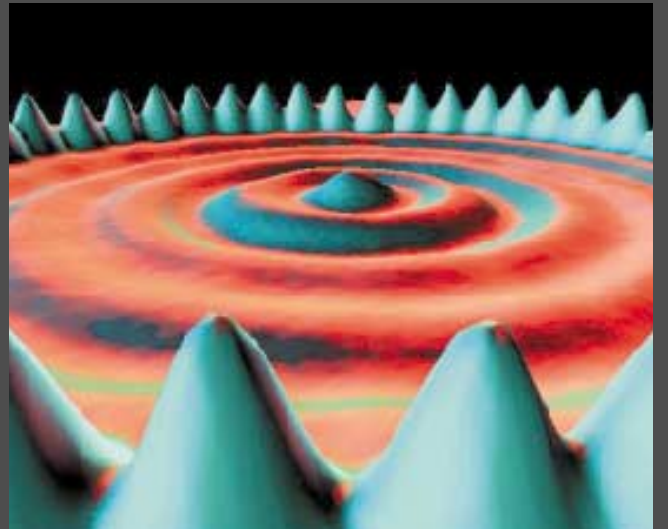
Masa, ağaç, taş, kalem, kum, saç... Dünyadaki tüm varlıklar gibi, bunlar da atomlardan oluşur. Sertlik, yumuşaklık, esneklik, yapışkanlık, akıcılık... Çevremizdeki varlıkların bunlara benzer birçok özelliği var. İşte, nesnelere bu özellikleri atomlar kazandırır. Atomların düzenlenişine bağlı olarak bir nesne sert ya da yumuşak olabilir. Örneğin, kömürdeki atomlar yeniden düzenlenebilse elmas elde edilebilir. Çünkü, kömürün ve elmasın yapısını oluşturan atomlar birbirinin aynıdır. Aralarındaki tek ve en önemli fark bu atomların düzenlenişlerinden kaynaklanır. Feynman, atomların düzenlenişlerinin değiştirilebileceğini düşünüyordu. Ancak, atomlar çok küçük olduğundan, bunun çok zor bir iş olacağını da biliyordu. Atomları biçimlendirmek ya da yeniden düzenleyebilmek



Tarayıcı tünelleme mikroskopuyla, atomların oluşturdukları tümsekler ve çukurluklar görülebiliyor. Bu fotoğraflarda bakırın üstünde yer alan demir atomları küçük tümsekler halinde görülüyor.



Tarayıcı tünelleme mikroskopuyla alınan görüntüler bilgisayarda renklendiriliyorlar.

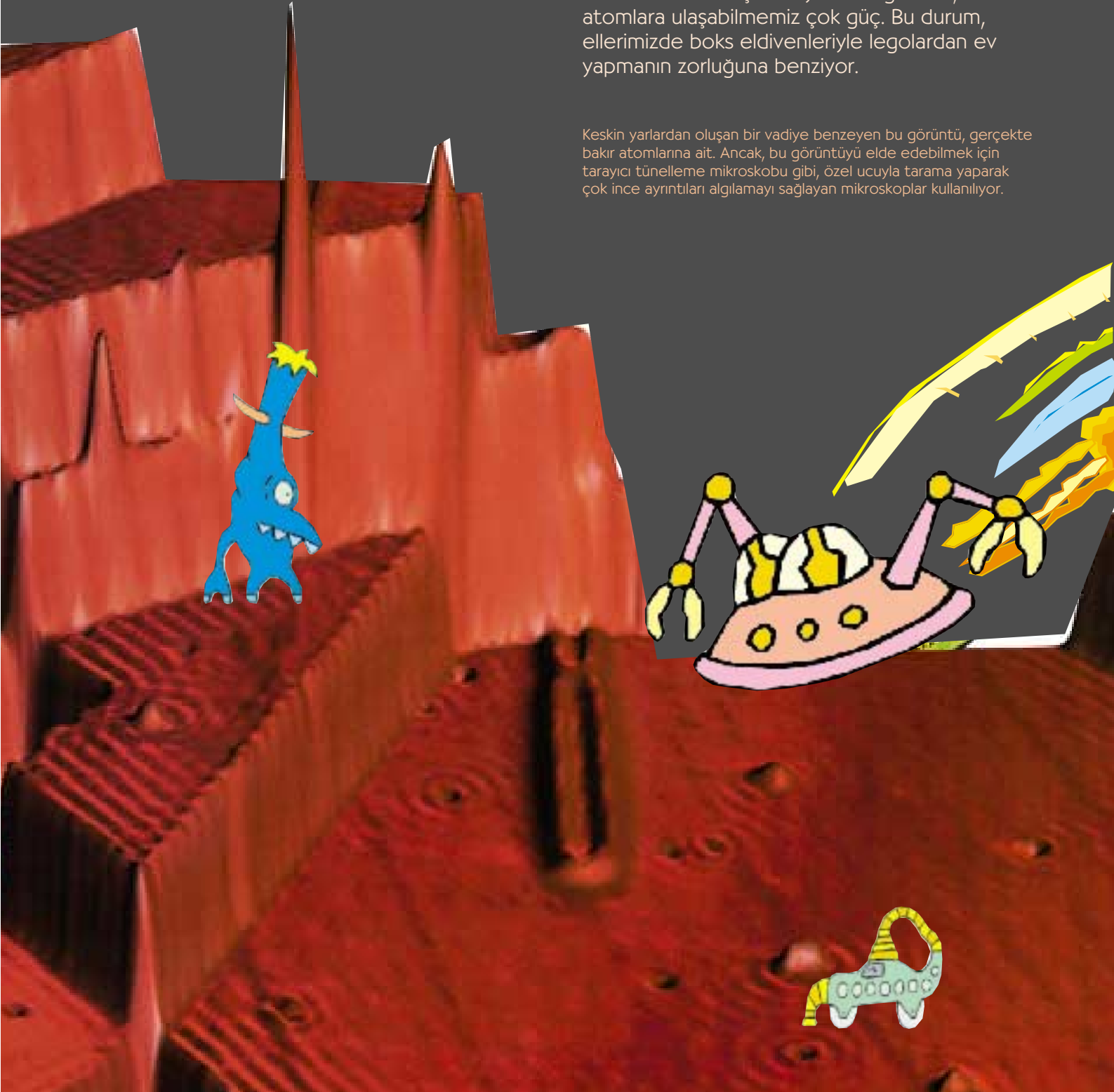


Bilgisayarda elde edilen görüntüler mercan kayalıklarına benziyor.

için, onları algılayabilmemiz ve onlara dokunabilmemiz gerekiyordu. Son yirmi yıl içinde geliştirilen yeni mikroskoplar atomlara daha kolay ulaşabilmemizi sağlıyorlar. Bildiğimiz mikroskoplar nesnelere daha büyük görmemizi ışık yardımıyla gerçekleştirirler. Ancak, onlarla inceleme yaparken atomları algılayamayız. Atomları algılayabilmemizi kolaylaştıran mikroskopların özellikleri farklı. Bunlar nesnelere dokunarak atomları algılanabilir hale getirebiliyorlar. Bu tip mikroskoplardan biri, tarayıcı tünelleme mikroskobu. Tarayıcı tünelleme mikroskobunun incecik bir görüntü

tarama ucu var. Bu tarama ucu nesnelere dokunuyor ve çok küçük ayrıntıları farkedebilmemizi sağlıyor. Öyle ki atomların oluşturduğu tümsekler ve aralarındaki çukurluklar farkedilebiliyor. Atomları farkedebilmemizi ya da biçimlendirebilmemizi sağlayan başka mikroskop çeşitleri de var. Bu mikroskopların her birinin çalışma ilkeleri farklı; ancak temel işlevleri aynı: atomların varlığını algılayabilmek. Ancak, atomları algılayabilmek onların düzenlenişlerini belirlemeye ya da değiştirmeye yetmiyor. Bu nedenle atomlar üzerinde değişiklik yapabilmeyi sağlayacak yeni aletlerin geliştirilmesi gerekiyor. Çünkü en azından ellerimiz çok büyük olduğundan, atomlara ulaşabilmemiz çok güç. Bu durum, ellerimizde boks eldivenleriyle legolardan ev yapmanın zorluğuna benziyor.

Keskin yarlardan oluşan bir vadiye benzeyen bu görüntü, gerçekte bakır atomlarına ait. Ancak, bu görüntüyü elde edebilmek için tarayıcı tünelleme mikroskobu gibi, özel ucuyla tarama yaparak çok ince ayrıntıları algılamayı sağlayan mikroskoplar kullanılıyor.

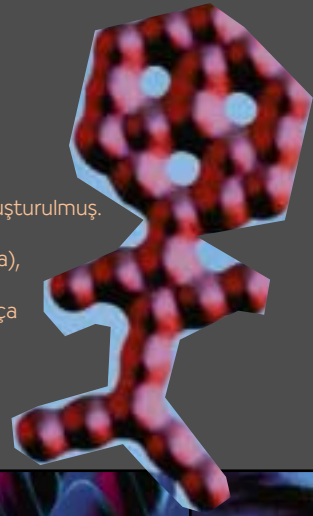


Doğanın "Küçük"leri

Doğa pek çok yönüyle bilimadamlarına esin kaynağı olmuştur. Örneğin, bazı robotlar canlılardan esinlenerek tasarlanmıştır. Nanoteknoloji alanında da yine doğanın "en küçükleri" bilimadamlarına düşünce kaynağı olmuş. Hücreler, canlılığı oluşturan en küçük yapılar. Onların içinde daha da küçük boyutlarda olan organeller var. Bu organeller, hücrelerin canlılığının sürmesi için gereken tüm işleri yapıyorlar. Hücresel olayların çoğu moleküler düzeyde gerçekleştiğinden, onları gözlerimizle göremiyoruz. Bu nedenle hücreler doğal nanoteknolojik ürünler olarak kabul ediliyorlar.

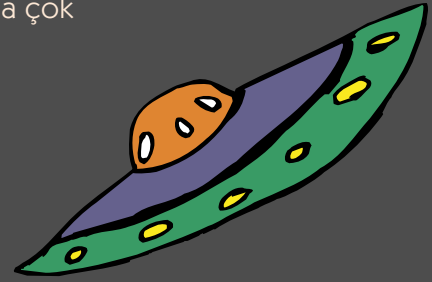
Fotosentez, bitkilerin besin üretebilmeleri için güneş enerjisi etkisiyle gerçekleştirdikleri çok önemli bir yaşam olayıdır. Bitkiler, güneş enerjisinin etkisiyle karbondioksit ve sudan besin üretirler. Bu besinlerden de canlılıklarını sürdürebilmeleri için gereken enerjiyi elde ederler. İşte, bu önemli olay hücrelerin içinde bulunan ve kloroplast denilen özel yapılarda gerçekleşir. Kloroplastların içinde bitkilere yeşil rengini veren ve güneş enerjisini yakalamayı sağlayan özel renk molekülleri vardır. Klorofil denilen bu moleküller, kloroplastların içindeki çok küçük disklerin arasında yer alır. İşte, bu küçücük organelin içinde yer alan bu küçücük yapılar bitkilerin canlılığı açısından çok önemli olan olayları gerçekleştirirler. Üstelik bu olaylar molekül düzeyindedir. Kloroplastların birkaç mikron uzunluğunda olduklarını gözönünde bulundurursak, bunların doğal birer nanoteknoloji ürünü olduklarını düşünebiliriz. Nanoteknolojinin doğadaki örnekleri yalnızca fotosentez olayıyla sınırlı değil. Soluk almamız, kaslarımızın hareketi gibi birçok olay da birer doğal nanoteknoloji örneği. Canlılığın sürmesi açısından gerekli benzer olayların bu denli küçük yapılar içinde, moleküllerce gerçekleştirildiğini görmek bazı bilimadamları için esin kaynağı olmuş. Bu bilimadamları, teknolojik açıdan yapılması gereken bazı işlerin, moleküller gibi çalışan ve onlar kadar küçük özel geliştirilmiş aletler, makineler ya da robotlarla gerçekleştirebileceğine inanıyorlar. Ancak, daha önce de belirttiğimiz gibi alet, makine ya da robotların hem bu kadar küçük hem de işler olabilmeleri için öncelikle atomları biçimlendirmeyi başarabilecek aletlere gereksinim var.

Bu küçük adam karbonmonoksit moleküllerinden oluşturulmuş. Nikel atomları (altta solda), platin atomlarından (altta sağda) oldukça farklı görünüyor.

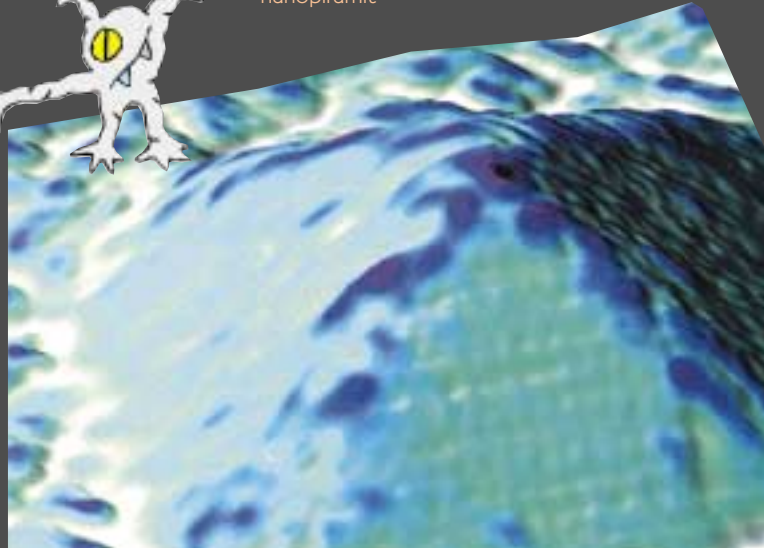


Nano'nun İnanılmaz Küçüklüğü

"Nano" sözcüğü Yunanca'dır. Anlamı, "cüce"dir. Ama, Gulliver'in gittiği Liliput ülkesinde yaşayan cücelerin olduğundan daha da küçük boyutları tanımlamak için kullanılır. Nanoyla tanımlanan ölçüler, mikron sözcüğüyle belirtilen ölçülerden daha da küçüktür. Mikron, bir ölçünün milyonda birini, nano, bir ölçünün milyarda birini gösterir. Örneğin, nanometreden söz ettiğimizde metrenin milyarda biri kadar küçük bir ölçüyü belli etmiş oluruz. Nanosaniyeyse saniyenin milyarda biridir. Nanoyla tanımlanan ölçüler öyle küçüktür ki, bu boyuttaki bir nesneyi ancak elektron mikroskopuyla görebiliriz. Günümüzde elektron mikroskoplarından daha çok ayrıntıyı görebilmemizi sağlayan değişik mikroskop çeşitleri de geliştirilmiştir. Nanometrenin küçüklüğünü anlamak



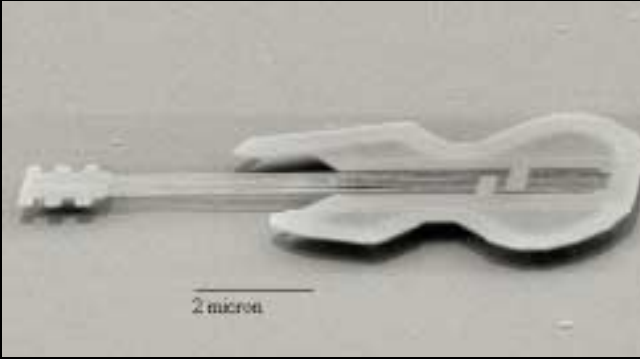
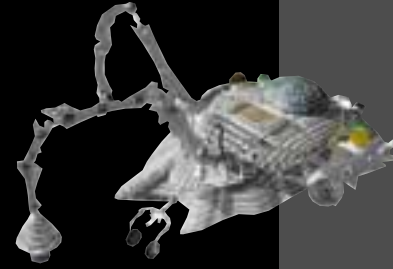
Germanyum atomlarının oluşturduğu bir nanopiramit



Küçük Güzeldir



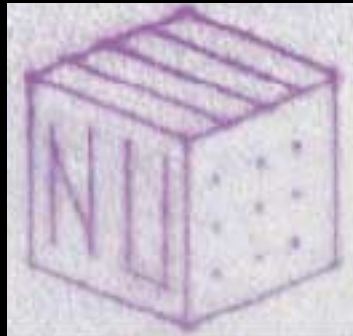
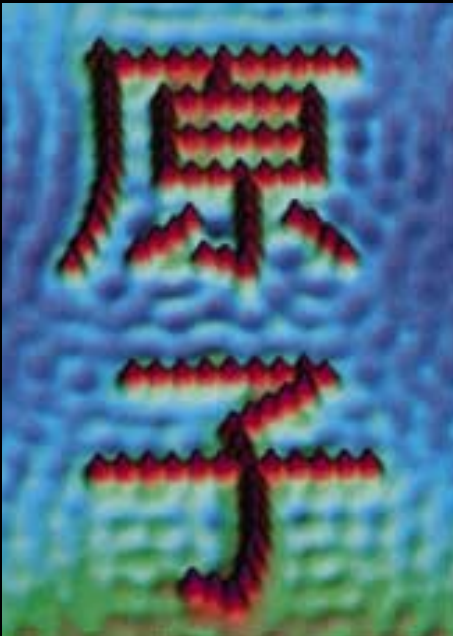
Nanoteknoloji, gelişmekte olan bir bilim dalı. Bu alanın kapsamına giren pek çok çalışma, deneyden öteye gitmemiş durumda. Bu resimde dünyanın en küçük robotlarından birini görüyorsunuz. Ancak, bu robot nano, yani metrenin milyarda biri ölçülerinde değil. Başka bir deyişle bu robot nanoteknoloji dünyası için fazla büyük.



Dünyanın en küçük gitarı 10 mikrometre uzunluğunda, yani kırmızı kan hücrelerinin büyüklüğünde. Her biri 50 nanometre uzunluğunda 6 teli var; ancak henüz bununla müzik yapılamıyor.



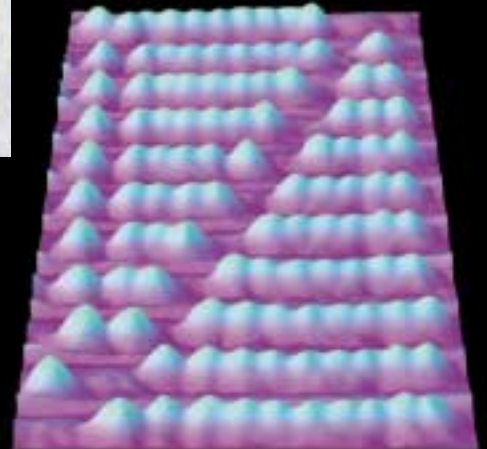
Sanat çalışmaları da küçülüyor. Bu elektronik devrenin üzerinde bir fil resmi var.



Solda gördüğünüz yazı Japonca; anlamı "atom". Ancak, bu yazı gerçek demir atomlarının düzenlenmesiyle oluşturulmuş.

Araştırmacılar, bakır bir yüzey üzerindeki molekülleri düzenleyerek dünyanın en küçük abaküsünü yapmışlar (sağda).

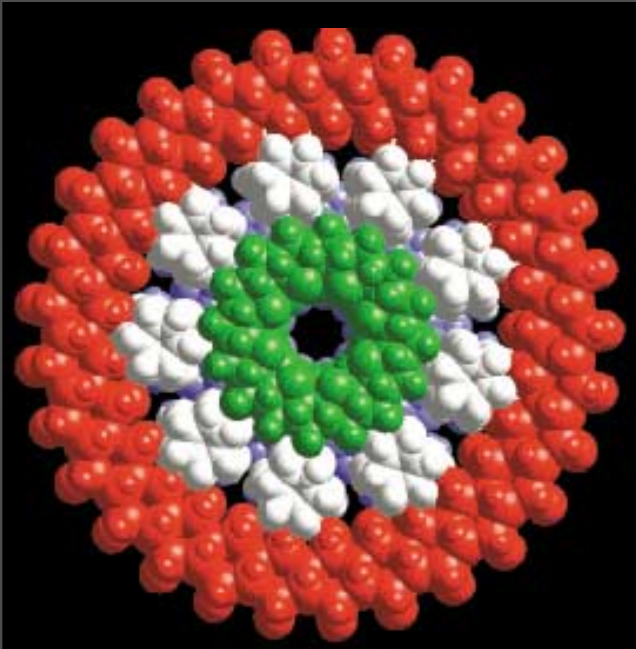
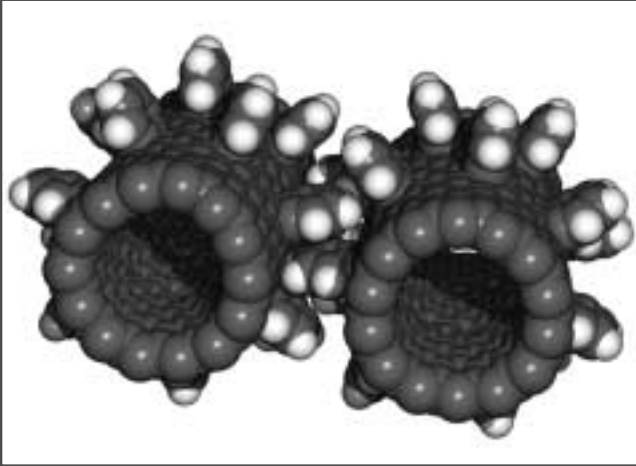
Dünyanın en küçük kalem, altın kâğıt üzerine yazdığında orkaya böyle bir görüntü çıkıyor (solda). Bu kalem ucunun, bildiğimiz tükenmez kaleminkinden 10 000 kat küçük.



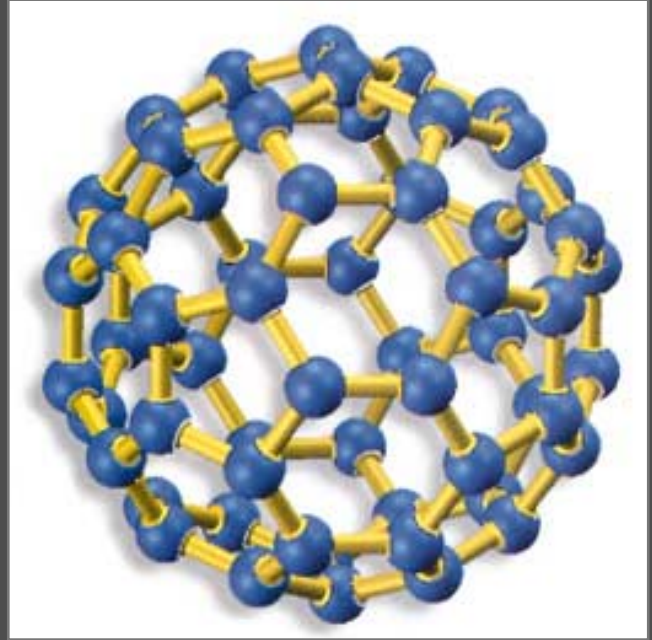
için şöyle düşünebiliriz: İki metre boyundaki bir adam, aynı zamanda 2 milyar nanometre boyundadır. Topluğne başı kadar bir noktanın çapı, bir milyon nanometredir. Kırmızı kan hücrelerinin çapı birkaç bin nanometredir. DNA molekülleri yaklaşık 2,5 nanometre genişliğindedir. Bir atomun çapı, nanometrenin yaklaşık onda biridir.

Nanodünyada Bir Gezinti

Nanoteknoloji henüz başlangıç evresinde olan bir bilim dalı. Bu nedenle de gerçekleştirilmiş işlerin sayısı oldukça az. Her alanda olmasa da



Nanodünyanın en ilginç üyelerinden biri de dişliler. Bilimadamları, molekülleri bir araya getirerek çok küçük dişliler yapmayı planlıyorlar. Hidrojen ve benzen molekülleriyle oluşturulan bir dişli (üstte). Bu dişlilerin nasıl çalışacağını anlamak için, araştırmacılar bilgisayar yazılımlarından yararlanıyorlar. Bilgisayar yazılımı, dişliye dönme enerjisini lazer yardımıyla veriyor. Bir anlamda lazer, motor etkisi yapıyor ve dişlinin dönmesini sağlayan gücü ona veriyor. Yaklaşık 1 nanometre çapındaki bu dişlilerin saniyede 100 milyar dönüş yapabileceği düşünülüyor. Tüm bu tasarımlar gerçeğe dönüştürülebilirse, dişlilerin nanomakinelerde kullanılmaları planlanıyor.



Altmış karbon atomundan oluşan bir nanotop

bazı alanlarda zaman içinde gelişeceği benziyor; ancak yine de kesin bir öngöründe bulunmak zor. Nanoteknoloji konusunda yapılan ilk çalışmalar daha çok karbon atomlarıyla ilgili. Karbon, canlıların yapısında yer alan temel bir element. Nanoteknolojik çalışmalar yapabilmek için atomlar ve bu atomları işleyecek aletler gerektiğinden daha önce sözetmiştik. Bilimadamları, karbonun bu bakımdan çok uygun bir element olduğunu düşünüyorlar. Bunun nedeni de karbon atomlarının doğal olarak tekboyutlu, ikiboyutlu ya da üçboyutlu yapıda düzenlenebilmesi. Başka bir deyişle değişik biçimlerde doğada bulunabilmesi.

Karbon atomlarının üçboyutlu bir top biçiminde dizilmiş haline nanotop deniyor. Futbol toplarına benzeyen nanotoplarda çok sayıda karbon atomu, kafes yapısı oluşturacak biçimde birbirine bağlı durur. Nanotopların en yaygın kullanılan çeşidinde 60 karbon atomu var.

Nanotopların elektriksel özellikleri oldukça değişik. Ayrıca, çok sağlam olan bu küçük topların ışık etkisini azaltıcı bir işlevleri var.

Bu



Nanotüpler, saçımızdan elli bin kat daha ince; bu nedenle ancak elektron mikroskoplarıyla görülebiliyorlar.



Bu şişelerin içinde farklı sayıda atom içeren çok küçük kristaller var. 100 - 100 000 atom içeren, kimyasal olarak saf molekül yığınlarından oluşan bu kristaller küçük davullara benziyor. Renkleriye büyüklüklerine bağlı olarak belirleniyor.

işlevleri nedeniyle nanotoplar aşırı ışıktan korunması gereken yerlerde yararlanılan kaplamalarda kullanılıyor. Güneş pillerinde de işe yarayan nanotopların kullanım alanları bu kadarla kalmıyor. Öyle ki AIDS tedavisinde bile rol almaları planlanıyor.

Nanotoplardan başka, bir de nanotüpler var. Nanotüpler de yine karbon atomlarından, ancak farklı bir düzenlenişteki karbon atomlarından

oluşuyorlar. Bunlar, gerçekten de minicik birer tüp biçiminde. Tüpün iskeletini karbon atomları oluşturuyor. Nanotüplerin çapları nanometre, boyları mikrometre düzeyinde olabiliyor; bu da, tek bir saç telimizden 50 000 kat ince oldukları anlamına gelir. Nanotüplerin, özellikle elektronik alanında kullanılması planlanıyor. Çok esnek ve çok sağlam olduklarından, uzay araçlarında kullanılma olasılıkları yüksek. Kendi ağırlıklarının 300 milyon katı ağırlığa dayanabilecek



Moleküllerle makineler yapma düşüncesi yavaş yavaş gerçek oluyor. Araştırmacılar, şimdiden neredeyse virüs büyüklüğünde olan bir nanokopter yapmışlar.

sağlamlıktaki nanotüplerle bu konuda yarışabilecek bir malzeme dünyada henüz yok. Eğer çalışmalar yolunda giderse nanotüpler sayesinde yapay kas lifleri de üretilebilecek ve buna bağlı olarak birçok sağlık sorunu çözülebilecek. Nanotüpler, şimdilik yalnızca deneysel amaçlarla üretiliyorlar.

Karbon nanoçubukları da unutmamak gerek. Nanoçubuklar nanotüplere benziyor; ancak bunların içleri nanotüplerinki gibi boş olmayıp kısmen ya da tümüyle dolu.

Nanoteknoloji konusunda çalışanların bir kısmı da çok küçük makineler geliştirebilmek için uğraşıyorlar. Bunlara nanomakineler deniyor. Elbette, nanomakinelerin malzemeleri yine atomlar ve moleküller. Atom ve moleküllerin, bir makine gibi işleyebilmeleri için özel bir biçimde bir araya getirilmeleri gerekiyor. Bilimadamlarının, bu zor işi yapabilmek için başvurdukları yollardan biri, hücresel olayları örnek almak. Hücrelerde, enerji kaynağı olarak kullanılan ATP ve bu moleküllerle etkileşime girerek enerji kazanan ATPaz molekülleri bulunur. ATPaz, ATP'yle etkileşime girerek enerji



Nanoteknoloji konusunda çalışan araştırmacılarından biri olan Eric Drexler, 2596 atomdan oluşan bir moleküler makine tasarlamış. Günün birinde çok daha güçlü mikroskoplar geliştirildiğinde bile, bu makinenin yapılabilme olasılığı çok düşük. Çünkü, bu kadar çok atom içeren bir molekülü uygun biçimde birleştirmek şimdilik çok zor görünüyor.

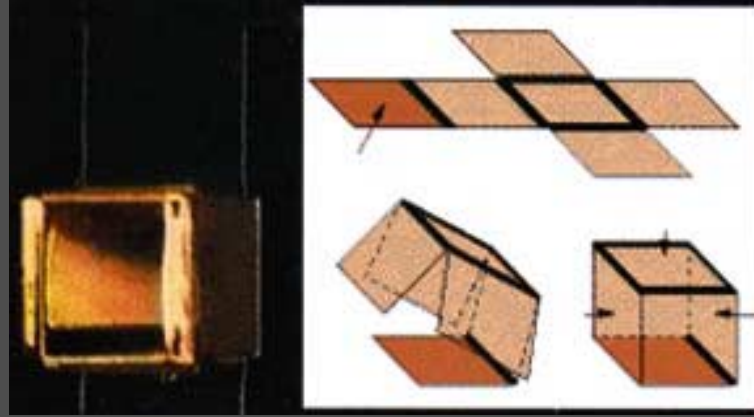
kazandığında, yapısında yer alan bölümlerden biri dönme özelliği kazanır. Bir grup bilimadamı, ATPaz molekülünü çok küçük metal desteklere tutturarak molekülün dönebilme özelliğine sahip olan kısmına da çok küçük metal pervane kanatları tutturmuşlar. Sonuçta ortaya çıkan şey bir helikoptere benzediğinden, buna nanokopter adını vermişler. Nanokopterler, içinde ATP bulunan bir sıvıya bırakıldığında, tıpkı canlı bir hücrenin içindeyken yaptıkları gibi, ATP'den enerji kazanarak küçük pervanelerini döndürmeyi başarmışlar. Nanokopterlerin sağlık alanında çok işe yarayacakları düşünülüyor. Hatta, bunlardan "nanohemşirelerin" geliştirilebileceği düşünülüyor! Örneğin, bedenimizdeki hücrelerden gelen uyarılara bağlı olarak, hasta bölgelere ilaç taşıyarak tedavide rol alabileceklerine inanılıyor.

Nanomakineler yapma amacıyla atomları bir araya getirme yolları arayan bir başka araştırmacı grubu da bir nanokutu geliştirmiş. Bir karton parçasından nasıl kutu yapılabileceğini çoğunuz bilirsiniz. Nanokutunun oluşumu da buna benziyor; ancak bazı farkları var. Nanokutu, kendi kendine katlanarak oluşuyor; ancak malzemesi karton değil. Nanokutuyu oluşturmak için bir tabakası metal, bir tabakası da polimer (birçok molekülün bir araya gelerek oluşturduğu çok büyük moleküllerden oluşan bileşik) olan özel bir malzeme kullanmışlar. Bu malzemenin özelliği, farklı sıvıların içine konulduğunda, polimer tabakanın küçülmesi, bir anlamda çekmesi. Polimerin büyüklüğünün değişmesine karşın, metalde bir değişiklik olmadığından, bu malzeme bir kutu oluşturacak biçimde kıvrılıyor.

"Nanodünyanın" Geleceği

Hastalıklarla moleküler düzeyde savaşan doktor robotlar, insan vücudundaki hücreler, küçük bilgisayarlar ve daha birçok tasarımı nanoteknolojinin kapsamına giriyor. Nanoteknoloji gerçekten de uçsuz bucaksız bir denize benziyor. Üstelik de bu öyle bir deniz ki çok sayıda bilim dalının işbirliğini gerektiriyor. Mühendislik, biyoloji, kimya, tıp... Böyle kapsamlı bir alanda işbirliği de söz konusuysa, gelişme olmamasını düşünmek zor. Ancak, gelecekte nanoteknolojinin nasıl bir gelişme göstereceği konusunda şimdiden kesin bir şey söylemek zor.

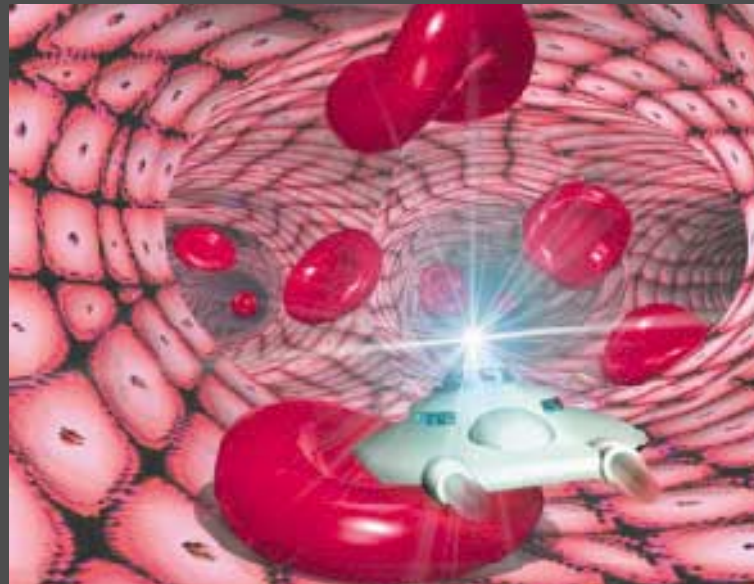
Nanoteknoloji konusunda bilgisayar şirketi IBM'den NASA'ya, üniversitelerden özel şirketlere kadar birçok kuruluşun araştırma



Nanomakineler geliştirmek isteyen araştırmacılar, çalışmalarında bir nanokutu yapmışlar.

grupları çalışmalarını hızla sürdürüyor. Çok sayıda ülke de bu çalışmalar için büyük miktarlarda para kaynağı ayırmış durumda. Şimdilik çalışmaların çoğu deneysel aşamada, birçok tasarımı da daha çok çığırın düşleri animsatiyor. En ilginç nanoteknolojik düşlerden biri, güneş enerjisini üzerindeki panellerle toplayıp enerji kazanarak, karbondioksit alan ve oksijen veren, bunun sonucunda da ev yapan kesmeşeker büyüklüğündeki makine. Böyle bir makine sayesinde güneş ışığı ve havadan ev yapılabileceğini düşünmek gerçekten çığırınca.

Nanoteknoloji konusunda çalışan bir enstitünün yöneticisi olan Eric Drexler, gelecekte birçok işin nanomakinelerce yapılacağına inanıyor. Nanoteknoloji alanındaki gelişmeler öncelikle elektronik alanında olacağı düşünülüyor. Zaman içinde bu gelişmeler başka alanlarda da etkili olacağı benziyor.



Zuhal Özer