



Nobel Ödüllü fizikçi Richard Feynman'ın (1918-1988) şimdi nanoteknoloji olarak adlandırılan alana esin kaynağı olan 1959 tarihli konuşmasının ikinci bölümünü sunuyoruz...

# ALTTA DAHA ÇOOK YER VAR-2

Bilgiyi küçük ölçekli yazmakla ilgili olarak biyolojinin sunduğu örnek, beni bu türden olası başka birşey bulmaya yöneltti. Biyoloji, yalnızca bilginin yazılması değil, aynı zamanda birşeylerin yapılması demek. Biyolojik bir sistem son derece küçük olabilir. Hücrelerin çoğu çok küçük; ama çok da etkinler. Çeşitli maddeler üretiyorlar, ortalıkta geziniyorlar, kıpırdanıp duruyorlar, inanılmaz işler yapıyorlar. Ama hep çok küçük ölçekte. Yaptıkları birşey de bilgi depolamak. İstedikimizi yapabilen çok küçük bir nesneyi bizim de üretebileceğimiz olasılığını bir düşünün; o düzeyde çalışan bir şey yapabileceğimizi!

Nesneleri çok küçük üretmenin ekonomik bir boyutu da olabilir. Hesap makinelerinin bazı sorunlarını hatırlatmama izin verin. Bilgisayarlarda çok büyük miktarlarda bilgi depolamak zorundayız. Bilgiyi bir metal dağılımına indirgediğim yazı biçimi, kalıcıdır. Bir bilgisayar içinse yazma, silme ve başka birşey yazma, çok daha ilginçtir. (Bunun nedeni, çoğu kez üzerine yazmış olduğumuz malzemeyi israf etmek istemememiz. Ancak, yazıyı çok küçük bir bölgeye yazabilseydik, bunun pek önemi kalmazdı. Malzemenin bedeli fazla tutmayacağından, okunduktan sonra atılabilirdi bile.)

## Bilgisayarı Küçültmek

Bunu küçük ölçekte pratik olarak nasıl yapacağımı bilmiyorum; bildiğim birşey varsa o da bilgisayarların çok büyük, odaları dolduracak kadar büyük oldukları. Onları neden küçük yapmıyoruz? (Bu arada “küçük” derken, gerçek anlamıyla “küçük”ten bahsediyorum.) Sözelimi tellerin çapı 10 ya da 100 atom, devrelere birkaç bin angstrom büyüklüğünde olabilmeli. Bilgisayarın mantık kuramını incelemiş olan herkesin ulaştığı ortak sonuç, bilgisayarların, birkaç kat daha karmaşık yapılabilmeleri durumunda, çok ilginç olanaklara yol açabilecekleri. Bilgisayarlar, milyonlarca kat daha fazla elemana sahip olabilseler, akıl yürütebilirler; verilen hesaplamaları yapmadan önce en iyi yöntemi saptayabilirler; onlara verdiğimiz bir analiz yöntemini uygulamadan önce, deneyimlerine dayanarak daha iyi bir analiz yöntemi seçebilirler. Birçok başka bakımdan da yeni nitel özelliklere sahip olabilirler.

Eğer yüzünüze bakarsam, sizi daha önce görmüş olduğumu hemen farkedirim. (Gerçi arkadaşlarım çok talihsiz bir örnek seçtiğimi söyleyeceklerdir; peki, en azından sizin bir elma değil de insan olduğunuzun farkına varabilirim.) Ancak, aynı hızla bir yüzün resmi çekip, hatta onun bir insan yüzü olduğunu söyleyecek bir makine yok. He-

le hele daha önce gösterdiğinizin tam kopyası olmadığı sürece, yüzün aynı yüz olduğunu söyleyecek bir makine... Ama yüz ya da ışık değişse de, ona daha yakın ya da daha uzak dursam da, ben her durumda onu farkedebilirim. Başımda taşıdığım bu küçük bilgisayar bunu kolaylıkla yapabilir. Bizim ürettiğimiz bilgisayarlarsa bunu yapamazlar. Başımızdaki kemikten kutunun içinde taşıdığımız eleman ve devrelerin sayısı, bizim şu “harika” bilgisayarlarımızın taşıdıklarından çok çok daha fazla. Mekanik bilgisayarlar fazla büyük; bizim devreler de mikroskopik ölçütte. Benim yapmak istediğim, bizimkilerden de küçük elemanlar üretmek.

Bütün bu harikulade yeteneklere sahip bir bilgisayar yapmak isteseydik, onu belki de Pentagon büyüklüğünde inşa etmemiz gerekirdi. Bunun bazı sakıncaları var. Bir kere, çok fazla malzeme gerektiriyor. Bu devasa şeyin içine yerleştireceğimiz transistörler için dünyamızda yeterince germanyum olmayabilir sözelimi. Ayrıca ısı üretimi ve güç tüketimi sorunu var; bilgisayarı çalıştırmak için TVA'ya [ABD'de bir elektrik üretim şirketi] gerek olacak. Daha da somut bir sorun, bilgisayarın belirli bir hızla sınırlı kalacak olması. Boyutlarının büyüklüğü, bilgiyi bir bölümden ötekine aktarmak için belirli bir süre gerektirecek. Bilgi, ışık hızından hızlı

gidemez; bu durumda bilgisayarlar hızlanıp geliştikçe, bizim de onları giderek daha küçük yapmamız gerekecek.

Bilgisayarları daha küçük yapmak için bol bol yerimiz var. Fizik yasalarında, bilgisayar elemanlarının şimdikine göre çok daha küçük yapılamayacaklarına işaret eden herhangi birşey göremiyorum. Hatta, bu konuda avantajlı durumda bile olabiliriz.

## Buharlaştırma Yolu

Böyle bir cihazı nasıl yapacağız? Ne tür üretim süreçlerinden yararlanacağız? Daha önce, yazı için atomları belirli bir düzene koymaktan sözetmişim için, ele alacağımız bir yöntem şu olabilir: önce malzemeyi, sonra yanındaki yalıtkanı buharlaştırmak. Ardından, bir sonraki kat için bir başka konumdaki teli buharlaştırırız, sonra bir başka yalıtkanı vs. Bu şekilde, son derece küçük boyutlu bobinler, kondansatörler, transistörler vb. bütün elemanları içeren bir blok elde edinceye kadar süreci yineleriz.

Ancak, sırf eğlencesine de olsa, başka olasılıklar üzerinde de durmak istiyorum. Bu küçük bilgisayarları, büyüklerini ürettiğimiz yollara benzer yollarla neden üretmiyoruz? Sonsuz küçük-lükler düzeyinde delik delme, kesme, lehimleme, basma, farklı biçimleri kalıplama gibi şeyleri neden yapamıyoruz? Kalıplama yapmamıza izin vermeyecek küçüklüğün sınırı ne? Eşinizin kol saati gibi sizi deliye çeviren minik şeylerle uğraşırken, içinizden “Şu işi bir karıncaya öğretsem de yapsa!” diye geçirdiğiniz oldu mu hiç? Benim önerim, bu işi bir akara [mikroskopik bir canlı] öğretebilecek bir karıncayı eğitmekle ilgili. Küçük ama yer değiştirebilir makineler yapma olasılığı nedir? İşe yarasınlar, yaramasınlar, en azından bunları yapmanın eğlenceli olacağı kesin.

Herhangi bir makineyi ele alalım –sözgelimi bir otomobili– ve ona benzeyen sonsuz küçüklükte bir makine yapmak için ne tür sorunlar aşmamız gerektiğini düşünelim. Bir kere, parçaların belirli bir hassasiyet derecesi olması gerekir; diyelim ki 4/10.000 inç (1 inç = 2,54 cm). Hata payı daha büyük olursa işler yolunda gitmez. Eğer aracı fazla küçük yaparsam da atomların büyüklüklerini dikkate almam gerekir. Sözgelimi, çemberin çapını fazla

küçük alırsam, ‘toplara’ bir çember oluşturamam. 4/10.000 oranında bir hassasiyet, 10 atomluk hata demektir. Böylece bir otomobilin boyutlarını yaklaşık 4000 kat küçültülebileceğim ortaya çıkar; bu da 1 mm’ye karşılık gelir. Otomobili daha büyük bir hata payıyla çalışabilecek şekilde tasarlırsam –ki bu mümkün– çok daha küçük bir araç yapabilirim.

Böyle küçük makinelerin yapımında ortaya hayli ilginç problemler çıkıyor. Bir kere, belirli bir basınca maruz olan bölümlerde, kuvvet, alanla orantılı olduğu için küçülecek; bu nedenle ağırlık ve eylemsizlik gibi durumlar önemlerini yitirecek. Bir başka deyişle, kullandığımız malzemenin gücü çok daha büyük. Sözgelimi merkezkaç kuvveti-



Birbirine kenetli bir mikromotor dişli sisteminin taramalı elektron mikroskopuyla elde edilmiş renkli görüntüsü. Bu tür çok küçük dişliler, yine çok küçük makine tasarımlarının ana öğeleri. Orijinal yapı, 200 kez büyütülerek, aslı 5,5 x 5,5 cm olan bu görüntü elde edilmiş.

nin etkisiyle volanın maruz kaldığı basınç ve genişlemenin aynı oranda olması için, dönme hızını, büyüklüğü küçülttüğümüz ölçüde artırmamız gerekir. Öte yandan, kullanacağımız metallerin dokularının homojen değil de pütürlü olması, küçük ölçekte bizi oldukça uğraştırabilir. Cam ve plastik gibi şekilsiz maddelerse çok daha homojen oldukları için, makinelerimizi bunlarla yapmamız gerekir.

Sistemin elektrik bileşenleriyle (bakır teller ve manyetik parçalar) ilgili olarak da sorunlar var. Çok küçük ölçekte manyetik özellikler, büyük ölçekte olduklarından daha farklıdır.

Milyonlarca polarize granülü olan büyük bir miknatis, küçük ölçekte ancak tek bir granül içerecek şekilde yapılabilir. Elektrik araç gereçlerini basitçe küçültemezsiniz; onları yeniden tasarlamamız gerekir. Bunun olanaksız olması için de bir neden göremiyorum.

## Yağlama Sorunları

Yağlama bazı ilginç noktalar içerir. Ölçeği küçülttüğünce yağın etkin akışkanlığı orantılı olarak artar (hızı da olabildiğince artırırsak). Hızı bu kadar arttırmaktansa, makine yağı yerine gazyağı ya da bir başka sıvı kullanırsak sorun biraz hafifler. Ne var ki, gerçekte yağlamaya gerek bile olmayabilir. Elimizde fazladan bir sürü kuvvet var. Bu kadar küçük bir cihaz büyük hızla ısı yitireceği için, bilyelerin fazla ısınma riski yok. Bu nedenle de onları pekala yağsız bırakabiliriz.

Hızlı ısı kaybı, benzinin patlamasını önleyeceğinden, iç patlamalı motor söz konusu olamaz. Bunun yerine, soğuk durumda enerji salabilen başka kimyasal tepkimeler kullanılabilir. Bu tür küçük makineler için en uygun yöntem, belki de dışarıdan elektrik gücü verilmesi.

Böyle küçük bir makine ne işe yarar? Kimbilir... Olsa olsa akarların üzerine binip gezmesine yarayabilir; şefkat duygularımızın da henüz bu kadar ileri gitmiş olduğunu pek sanmıyorum. Ancak, bilgisayarlara küçük parçalar üretmek için küçük ölçekli torna tezgahı ve başka aletler içeren, tümüyle otomatik fabrika olanağına değinmiştik. Küçük tornanın, büyük tornamızın tıpkısı olması gerekemeyebilir. Küçük ölçekli şeylerin özelliklerinden en iyi biçimde yararlanarak, tam otomatik niteliğin kolayca işleyeceği tasarımlar geliştirmeyi de, sizin hayal gücünüze bırakıyorum.

Bir arkadaşımın (Albert R. Hibbs) görece küçük makineler için oldukça dikkate değer bir önerisi var. Çok çılgınca bir fikir gibi görünse de, ameliyatlarda ‘cerrah’ yutmanın çok ilginç olacağı görüşünde. Mekanik cerrah kan damarının içine verirsiniz, kalbe gider, etrafı bir kolağan eder (tabii bilgiyi bir şekilde dışarı vermesi de gerekir), hangi kapakçığın sorunlu çalıştığını saptar, küçücük bir bıçakla da onu alır çıkarır! Başka küçük makinelerse, işlevlerini yeterli düzeyde yerine getiremeyen organlara yardımcı olmak için, kalıcı olarak vücuda yerleştirilebilirler.

Asıl ilginç soru şimdi geliyor: Böyle minicik mekanizmaları nasıl üretebiliriz? Bunu size bırakıyorum. Ama yine de tuhaf bir olasılık öne sürmeme izin verin. Atom enerjisi tesislerinde, radyoaktif duruma geldiklerinde doğrudan

dokunulamayacak malzeme ve makine-ler bulunur. Vida ve somunları sıkıştırıp açmak vb. için birtakım ana ve tali "eller" bulunur. Belirli manivela kollarını çalıştırarak bu elleri şu ya da bu yana döndürür ve işleri yürütürsünüz.

Bu cihazların çoğu, basit denebilecek yapıya sahiptir. Kumandalardan doğrudan ellere giden, kukla tellerine benzer belirli kablolar vardır. Doğal olarak, iki eleman arasındaki bağlantıyı mekanik olarak değil de elektrik ile sağlayan servomotorların kullanıldığı yöntemler de vardır. Kolu çevirince servomotor çalışmaya başlayarak tellerdeki elektrik akımını değiştirir ve bu da öteki uçtaki motorun konumunu ayarlar.

Şimdi, elektrik ile çalışan bir eller sistemi üretmek istiyorum. Ancak tali eller, normalde çalıştırdığımız ellerin dörtte biri ölçüsünde olacak şekilde ve modern büyük ölçekli makineler tarafından yapılacak. Artık işleri dörtte bir ölçekte yapan bir sistemimiz var; küçük somun ve vidalarla oynayan küçük elle-re sahip, dört kat daha küçük servomotorlardan oluşan bir sistem. Şimdi onunla çeyrek boyutta bir torna, çeyrek boyutta aletler ve dörtte bir boyutta, bir başka el takımı! Benim bakış açımdan bu, onaltıda bir demek. Ve bu işi bitirdikten sonra, büyük boyutlu sistemimden, belki de transformatörler yoluyla onaltıda birlik servomotorlarıma doğrudan bağlantı sağladım. Artık onaltıda birlik elleri kullanmaya başlayabilirim.

Sanırım, işin temelinin anladınız. Biraz zor bir program, ama olanaksız değil. Bir adımda, birden dört adıma gittiğinizden daha ötesine gidebileceğinizi düşünebilirsiniz. Bütün bunların büyük dikkatle tasarlanması gerekir. Çok iyi düşünüp taşımarsanız, bu tür şeyleri yapmak için çok daha iyi bir sistem bulmanız olası.

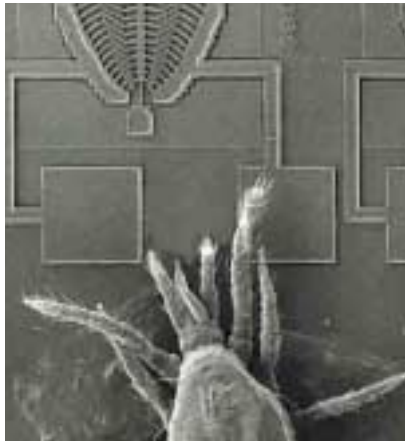
Bir pantograf [ölçek değiştiren çizim aracı] kullanırsanız, bugün bile bir aşamada dört kattan daha büyük bir oran elde edebilirsiniz. Ancak doğrudan pantograf kullanarak daha küçük bir pantograf, sonra daha küçük bir pantograf yapamazsınız. Bunun nedeni, deliklerin ve yapının düzgün olması. Pantografin ucu, ellerinizin hareketindeki düzensizlikten daha fazla düzensizlikle kıpırır. Ölçekte aşağılara doğru gittikçe, pantografin ucundaki pantografin da ucundaki pantogra-

fin vs. hiçbir şey yapamayacağınız ölçüde titrediğini görürsünüz.

Her aşamada, cihazın hassasiyetini geliştirmek gerekir. Sözelimi, pantografla küçük bir torna yaptığımızda, kurşun vidasının düzgün olmadığını görürüz. Vidayı, kırılabilen bir civatayla sarar, onu ileri geri oynatarak kendi ölçüğünde, orijinal vidamızın bizim ölçüğümüzde olduğu kadar hassas olmasını sağlarız.

Yassı olmayan yüzeyleri, ikişer katlı üç grup halinde birbirine sürtersek yassı yüzeyler elde edebiliriz. Yüzeyler, böylece başlangıçtakinden daha yassı olurlar. Demek ki, doğru işlemlerle küçük ölçeklerde hassasiyeti artırmak olanaksız değil. Öyleyse bu cihazı yaparken, her aşamada hassasiyetini düzeltmek için bir süre orada, aşağıda çalışmamız, kurşun vidaları Johansen bloklarını ve daha önceki aşamada yer alan işlemlerde kullandığımız bütün malzemeyi hassaslaştırmamız gerekir. Her aşamada durup, bir sonraki aşamaya geçmek için gerekli malzemeyi üretmek zorundayız -oldukça uzun ve yorucu bir program. Küçük ölçeğe daha hızlı ulaşmak için, belki de siz daha iyi bir yol düşünebilirsiniz.

Ne var ki bütün bunlardan sonra, elinizde yalnızca normalden dört bin kat daha küçük bir bebek torna tezgahı var. Bizim niyetimizse, muazzam bir



Feynman, konuşmasında "böyle küçük bir makinenin [otomobilen] olsa olsa bir akarın üzerinde binip gezmesine yarayabileceği"ni söylemişti. Taramalı elektron mikroskopla elde edilmiş bu görüntüdeki akarsu, bir silikon mikrorezonatör çipine binmiş durumda! Mikrorezonatörler, mekanik cihazların ince silikon katmanlarının birbiri üzerine yığılması sağlanarak üretildiği, "mikromekanik" adı verilen alanın birer ürünü. Bunlar, çok küçük titreşim algılayıcılarının üretiminde kullanılıyor. Mikrorezonatörün, yalnızca tarağımsı detektör ucunun görüldüğü resimde, uçtan çıkan ince çizgi, 2 mikron (1 mikron = 1/1000 milimetre) eninde bir silikon lifçici.

bilgisayar yapmaktı. Bu torna ile delikler açarak bilgisayar için rondelalar yapacaktık. Bu bir tek tornayla kaç rondela yapabiliriz?

## Yüz Minik El

Dörtte bir ölçekli ilk köle "eller" takımını yaptığım zaman, bunun gibi on takım el yapacağım ve onları orijinal manivela kollarına bağlayacağım. Bu yolla, her biri paralel olarak aynı anda aynı şeyi yaparlar. Şimdi dörtte bir oranında küçülmüş yeni cihazlarımı yaparken, her birinin on cihaz yapmasına izin verirsem, 1/16 boyutta yüz elim olur.

Ya elde edeceğim bir milyon tornayı nereye koyacağım? Hiç sorun değil; toplam hacim, tek bir tam ölçekli tornanınkinden çok daha az. Sözelimi, her biri normal bir tornanın 1/4000'i ölçeğinde bir milyar küçük torna yapardım, malzeme ve yer sorunu olmayacaktı; çünkü bir milyar küçük torna, tek bir büyük tornanın malzemesinin % 2'sinden daha az malzeme içerecekti.

Boyutları küçülttüğçe, ortaya çıkan başka ilginç sorular da var. Bir kere, her şey basitçe orantıyı izlemeyebilir. Sonra, moleküler çekim (Van der Waals) kuvvetlerinin etkisiyle malzemelerin birbirine yapışması sorunu var. İşte şöyle: Bir parçayı ürettikten sonra somunu civatadan çevirip ayırdığımızda, somun yere düşmeyecek; çünkü yerçekimi çok düşük olacağı gibi, somunu civatadan ayırmak da normalden güç olacak. Şu eski filmlerde, eli macuna bulanmış adamın bir bardak sudan kurtulmaya çalıştığı zamanki gibi. İşte, yeni tasarımlar yapmamızı gerektiren, bu türden bazı sorunlarımız olacak.

## Atomlara Yeni Model

Herşeye rağmen asıl soruyu; eninde sonunda atomları istediğimiz biçimde düzenleyip düzenleyemeyeceğimiz sorusunu ele almaktan korkmayacağım. Atomları tek tek, dilediğimizce düzenleyebilsedik (mantık çerçevesinde tabii; onları kimyasal olarak kararsız olacakları biçimde yerleştiremeyiz) ne olurdu?

Şu ana kadar, yeri kazıp mineral bulmaktan hoşnuttuk. Onları ısıtıyor, onlarla büyük ölçekte birşeyler yapıyor, yalnızca "şu kadar" safsızlığı olan saf bir madde elde etmeyi umuyoruz,

vs. Ancak, her seferinde doğanın bize sunduğu atom düzenlenişini de kabul etmek durumundayız. Elimizde, diyelim ki “damalı” biçimde düzenlenmiş, safsızlığı oluşturan atomları birbirinden tamı tamına 1000 angstrom arayla, ya da belirli başka şekilde dizilmiş bir madde yok.

Katmanlı yapılar, doğru katmanlardan oluşmuşsa onlarla ne yapabiliriz? Atomları istediğimiz gibi gerçekten düzenleyebilseydik, malzemelerin özellikleri nasıl değişirdi? Bunu kuramsal olarak irdelemek çok ilginç olurdu. Tam olarak neler olacağını tümüyle kestiremesem de, küçük ölçekte nesnelere üzerinde denetim kurabildiğimiz zaman, malzemelere inanılmaz çoklukta yeni özellikler kazandıracağımız ve onlarla yapabileceğimiz çok şey olacağı konusunda pek kuşku yok.

1000 ya da 10.000 angstrom boyutlu küçük bir bobin ve kondansatörlerden oluşan devreleri bir malzeme içine, büyük bir alanda yanyana yerleştirelim, öteki uçlara da küçük antenler takalım. Bir dizi anteni uygun biçimde düzenleyerek Avrupa’ya radyo programları ‘ışınladığımız’ gibi, bu antenlerden de ışık salımı yapılırsa, belirli bir yönde çok şiddetli bir ışık demeti gönderebiliriz. (Gerçi böyle bir demet, teknik ve ekonomik açıdan kullanışlı olmayabilir.)

Küçük ölçekli elektrik devreleri yapmak konusunu da düşündüm ve direnç ciddi bir sorun. Bir devreyi küçülttüğünüzde, dalga boyu da o ölçekte küçüldüğü için devrenin doğal frekansı yükselir; ama yüzey kalınlığı, ölçek oranının kareköküyle orantılı olarak azalır. Bu nedenle dirençle ilgili problemlerin zorluk derecesi artar. Eğer frekans çok yüksek değilse, süperiletkenlikten ya da başka yöntemlerden yararlanarak, dirençle ilgili sorunları aşabiliriz.

## Küçük Dünyada Atom

Çok, çok küçük bir dünyaya indiğimizde -örneğin yedi atomluk bir devre- tasarım açısından tümüyle yeni fırsatlar sunan birçok yeni şey olur. Küçük miktardaki atomların davranışı çok sayıdaki atomun davranışına hiç benzemez; çünkü kuantum mekaniği yasalarına tabidirler. Bu nedenle oralara inip atomlarla oynarken, artık başka yasalar geçerlidir ve biz de farklı şeyler, farklı yollarla üretim yapmak durumundayız.



Sözgelimi yalnızca devrelerden değil, kuantum enerji düzeylerini içeren bazı sistemler, ya da spin kuantumlaşması etkileşimlerinden de yararlanabiliriz.

Dikkatimizi çekecek bir başka şey de şu: Yeterince aşağılara inerek bütün cihazlarımız, birbirlerinin kusursuz kopyaları olacak şekilde toptan üretilebilir. Boyutları tam eşit olacak şekilde iki büyük makine üretmeyiz. Ama makinemiz yalnızca 100 atom yükseklikteyse, ötekinin de tam olarak aynı yükseklikte olabilmesi için, 100 atom yeterli.

Atom düzeyinde, artık yeni türden kuvvetler, yeni türden olanaklar ve yeni türden etkilerle karşı karşıyayız. Yapım ve üretime ilişkin sorunlar da yine tümüyle farklı olacak. Daha önce de söylediğim gibi, ben biyolojik olaylardan esinlenirim; orada kimyasal kuvvetler tekrar tekrar kullanılarak her türden tuhaf sonuçlar yaratır; bunlardan biri de bendeniz.

Fiziğin ilkeleri, görebildiğim kadarıyla, atomlarla tek tek oynayarak nesnelere manipüle etme olasılığına karşı değil. Ben de herhangi bir fizik yasasını çiğnemek niyetinde değilim. Yalnızca, bazı şeylerin, en azından ilkece olabilirliğini göstermek istiyorum. Şu ana kadar gerçekleşmemiş olmalarının belki de tek nedeni, fazla büyük kaçmamız.

Ve en sonunda, kimyasal sentez yapabiliriz. Bir kimyacı gelip bize şöyle diyor: “Atomları şöyle şöyle düzenlenmiş bir molekül istiyorum. Bana bu molekülü yap.” Kimyacı, bir molekül elde etmek istediğinde gizemli birşeyler yapar. Şöyle şöyle bir halka gerekiyor; o da falancayı filancayla karıştırır, bileşimi çalkalar, birşeyler yapar durur. Ve oldukça zor bir sürecin sonunda, istediğini gerçekten de elde eder. Ben, onun istediğini fizik yoluyla yapabilmek için cihazımı çalışır duruma getirinceye kadar da, genellikle istediği herhangi bir şeyi nasıl sentezleyeceğini o çoktan tasarlamıştır bile. Bu nedenle benim yaptığım, gerçekte gereksiz.

Ancak yine de bir fizikçi için, kimyagerin ortaya attığı herhangi bir kimya-

sal maddeyi, ilkesel olarak da olsa sentezlemesinin (kanımca) mümkün olabilmesi çok ilginçtir. Siz siparişinizi verin, fizikçi onu sentezler. Nasıl mı? Atomları kimyagerin söylediği yerlere koyarak!

Ne yaptığımızın farkında olma yeteneğimizle birlikte, atomlar düzeyindeki bu tür çalışmaların da geliştirilmesi (kanımca, kaçınılmaz olarak gelişecektir de), kimya ve biyolojinin sorunlarına çok yardımcı olabilir.

Şimdi “bunu kim yapmalı ve neden yapmalı?” diye sorabilirsiniz. Ben birkaç ekonomik uygulama önerdim; ama bunu yapsanız yapsanız, daha çok eğlencesine yapacağımızın da farkındayım. Öyleyse eğlenin! Laboratuvarlar arasında yarışmalar yapalım. Bir laboratuvar minik bir motor yapıp başka laboratuvara göndersin; onlar da, bu motorum miline giren bir motor yaparak onu geri göndersin vs. vs...

## Liselerarası Yarışma

Hem eğlencesine, hem de çocukların ilgisini bu alana çekmek için, liselerle ilgisi olan birinin bir tür liselerarası yarışma düzenlemesini öneriyorum. Bu alanda çalışmaya henüz başlamadık; ama çocuklar bile daha önce yazılanlardan küçük birşeyler yazabilirler. Diyelim ki Los Angeles Lisesi, Venedik Lisesi’ne üzerinde “Beğendin mi?” yazan bir topluğne gönderebilir. Onlar da, yazıdaki “i” harfinin noktasına “Ya siz?” yazıp geri gönderebilirler.

Belki bu öneri, sizi bunlarla uğraşacak kadar heyecanlandırmıyor; ekonomik getiri olursa yapacaksınız. Öyleyse ben de bir şey yapmak istiyorum; ama ön hazırlık için zamana ihtiyacım var. Bir kitabın bir sayfasındaki bilgiyi alıp, elektron mikroskopla okunabilecek şekilde, doğrusal ölçütle alanın 1 / 25.000’inden küçük yazabilen kişiye 1000 dolar ödül vereceğim. Bir başka ödül daha vermek istiyorum -tanımlar konusunda bir sürü tartışma ve kargaşaya girmemek için nasıl yazacağıma karar verebilirimse tabii. Bağlantı tellerini saymazsak 1 / 64 inç küp büyüklüğünde, dışarıdan kontrol edilebilen, dönen ve çalışır durumdaki bir elektrik motoru yapan kişiye 1000 dolar vereceğim.

Bu ödüllerin, taliplerini uzun süre bekleyeceklerini sanmıyorum.

Kaynak: <http://zyvex.com/nanotech/feynman.html>  
Çeviri: Nermin Arık