

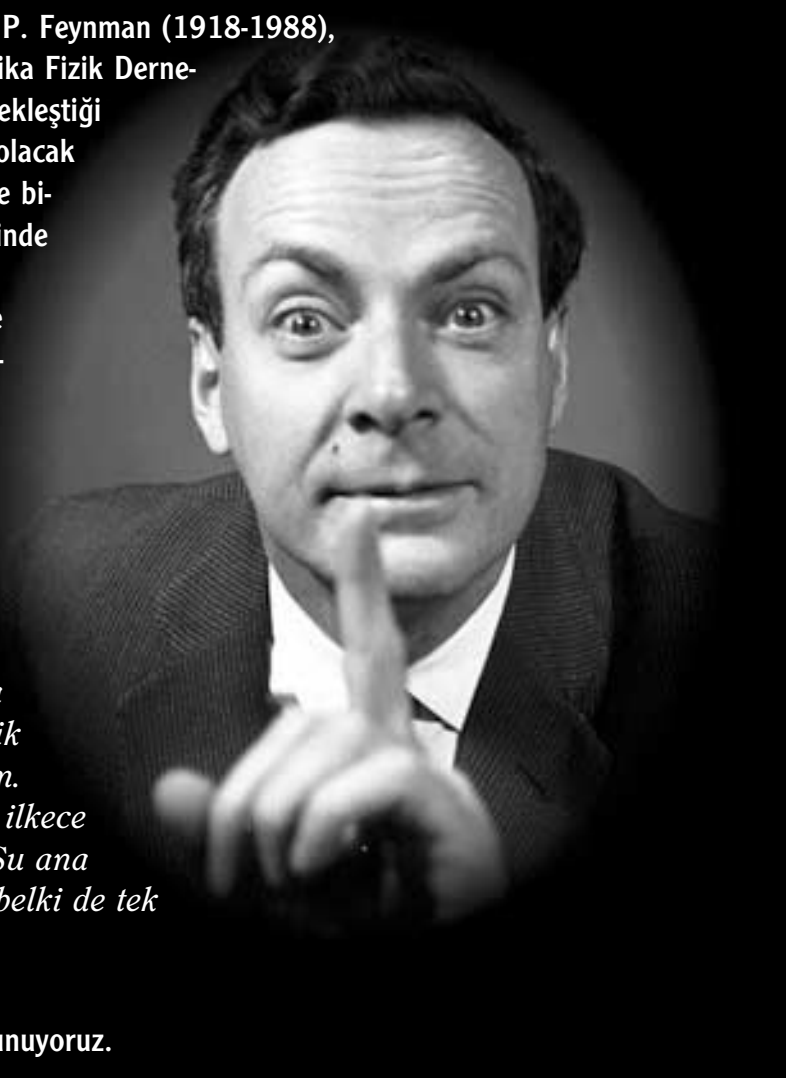
YENİ BİR FİZİK ALANINA GİRİŞ ÇAĞRISI ALTTA DAHA ÇOOOOK YER VAR

1965 Nobel Fizik Ödülü Sahibi Richard P. Feynman (1918-1988), California Teknoloji Enstitüsü'nde Amerika Fizik Derneği'nin yıllık toplantılarından birinin gerçekleştiği 29 Aralık 1959'da, sonradan çok ünlü olacak bir konuşma yaptı. Merak, hayal gücü ve bilimselliği hem özel, hem bilimsel kimliğinde biraraya getirmekle ünlü Feynman'ın, dünyanın göremediğimiz küçüklükleri ve onlarla yapılabilecekler üzerindeki öngörülerini, çok sonraları "nanoteknoloji" olarak adlandırılan bilim dalına büyük bir esin kaynağı oldu. Öngörülerinden kimi gerçekleşti, kimiye "küçülmemi-z" bekliyor:

"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 olabirliğini göstermek istiyorum. Şu ana kadar gerçekleşmemiş olmalarının belki de tek nedeni, fazla büyük kaçmamız."

R. Feynman, 1959

Bu ünlü konuşmayı iki bölüm halinde sunuyoruz.



DeneySEL fizikçilerin, dibi yokmuş gibi görünen ve insanın içine daldıkça daldığı "düşük sıcaklık" gibi bir alanı ortaya çıkaran Kamerlingh Onnes'e gıptayla baktıklarını düşünüyorum. Böyle bir insan, artık o dönem için bir lider konumundadır ve bilimsel bir serüvenin, bir anlamda geçici tekeline sahiptir. Percy Bridgeman, daha yüksek basınçlar elde etmenin bir yolunu bularak bir başka yeni alana öncülük etti ve bizleri de peşinden sürükledi.

Boşluğun (vakum) giderek daha kursesiz biçimde geliştirilmesi, sürecin benzer türdeki gelişmelerindendi.

Ben de sizlere, ilke olarak çok şeyin yapılabileceği, ancak pek az şeyin yapılmış olduğu bir alandan söz etmek istiyorum. Ancak bu alan, ötekilere benzemez; şu anlamda ki, "bu tuhaf parçacıklar nedir?" gibi temel fizik sorularına getirdiği pek fazla yanıt yoktur. Ama bize karmaşık durumlarda gerçekleşen tuhaf olaylar hakkında il-

ginç birçok şey söylemesi bakımından, katıhal fiziğine daha çok benzerlik gösterir. Önemli bir başka nokta da, çok fazla sayıda teknik uygulamaya elverişli olması.

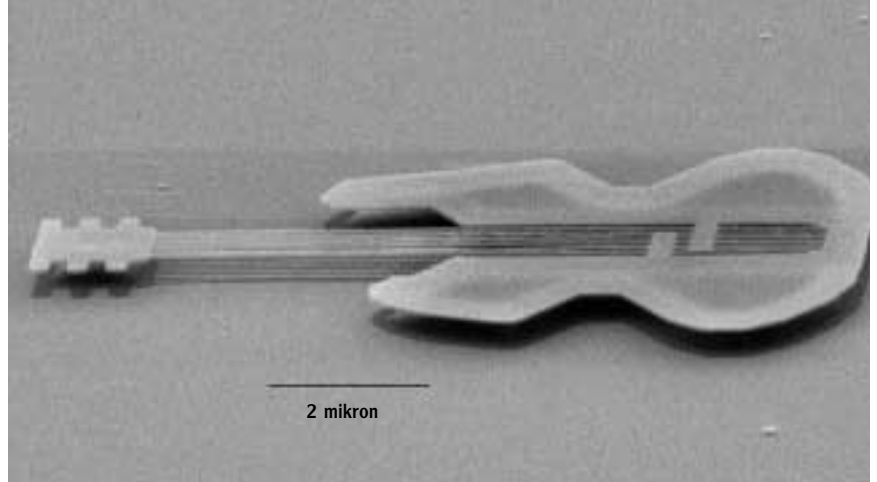
Üzerinde konuşmak istediğim şey, nesnelere çok küçük ölçeklerde kontrol ve manipüle etme (tutup hareket ettirme) konusu.

Bunu söylediğim anda insanlar bana minyatürleştirmeden ve günümüzde bunun ne kadar gelişmiş olduğun-

dan sözediyorlar. Yanısıra, küçük parmağınızın tırnağı büyüklüğünde elektrik motorlarından ya da şimdiden piyasaya sürülmüş ve topluiğne başına dua sığdırmanıza olanak sağlayan aygıttan. Ancak bu hiçbirşey değil. Bu, benim üzerinde konuşmak istediğim konu yönünde atılmış en ilkel, hatta duraksatıcı bir adım. Aşağıda inanılmaz küçüklükte bir dünya var. İleride, 2000 yılından günümüze baktıklarında insanlar, bu yönde ciddi bir adım atmak için neden 1960 yılına kadar beklendiğine şaşıracaklar.

Brittanica Ansiklopedisi'nin 24 cildini, bir topluiğne başına sığdırabilir miyiz?

Bakalım, işin içine neler giriyor. Topluiğne başının çapı bir inç'in 16'da biri kadardır. (1 inç = 2,54 cm). Eğer bu çapı 25.000 kat büyütürseniz, iğne başının alanı, ansiklopedinin sayfalarının toplam alanına eşit olur. Öyleyse yapılması gereken, ansiklopedideki bütün yazıların boyutunu 25.000 kez küçültmekten ibaret. Bu mümkün mü? İnsan gözü, bir inç'in 1/120'ini ayırdetme yeteneğine sahip; bu da kabaca, ansiklopedi yazılarındaki noktacıklardan (gren) bir tanesinin çapına karşılık geliyor. Bunu 25.000 kez küçülttüğümüzde, çapı 80 angstrom olur (1 angstrom = 1×10^{-10} metre); yani metrenin on milyarda biri ya da, normal bir metalin 32 atomu genişliğinde. Başka bir deyişle, bu noktalardan birinin alanı hâlâ 1000 atom içermek-



Dünyanın en küçük gitarı, yaklaşık tek bir hücre büyüklüğünde. Uzunluğu 10 mikron (mikron = 10^{-6} metre) ve her biri 50 nanometre (nanometre = 10^{-9} metre), ya da 100 atom genişliğinde altı tele sahip. Cornell Üniversitesi araştırmacıları tarafından, kristal halindeki silikondan yapılmış.

te. Öyleyse her nokta, baskının gerektirdiği boyuta kolaylıkla uyarlanabilir. Sonuç olarak, topluiğne başında, bütün Britannica'ya yetecek alan olduğu konusunda kuşku yok.

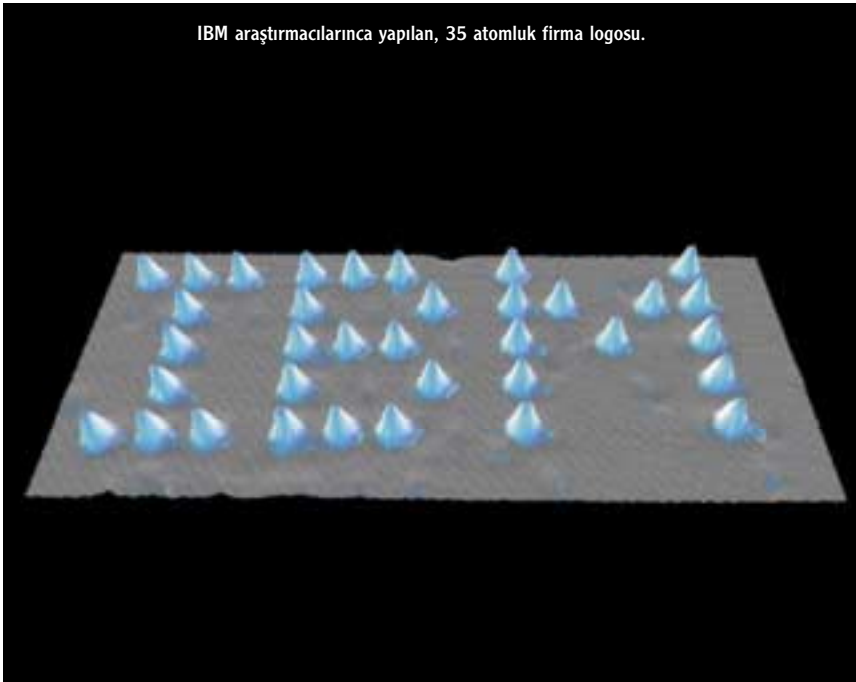
Dahası, bu boyutta yazılmış bir yazıyı okuyabiliriz de. Yazının kabarık metal harflerle yazıldığını düşünelim. Yani, ansiklopedide siyah olan yerlerde, normal boyutlarının 1/25.000'i kadar küçültülmüş, kabarık metal harfler var. Bunu nasıl okuyacağız?

Bu şekilde yazılmış birşeyi günümüzdeki tekniklerle okuyabiliriz. (Böyle bir yazı tekniğinin gerçekleştiği dönemde, bunu okumak için de çok daha iyi yollar bulunacağından kuşku yok; ama ben temkini elden bırakma-

yıp, bugünkü tekniklerle yetineceğim.) Metali plastik bir maddeye bastırarak kalıbını çıkarır, plastiği dikkatle ayırarak içine silika buharı uygularız. Daha sonra, oluşan silika plakayı belirli bir açıyla gelen altın buharına tutarız. Bu işlemden sonra bütün harfler açıkça belirir. Son olarak da, silika plakadaki plastiği eritip ona bir elektron mikroskopla bakarız!

Sonuç olarak, ansiklopedideki yazıları, iğne başı üzerinde 25.000 kez küçültülmüş kabartma harflere indirgersek, onu günümüzde okumanın zor olmayacağı ortada. Üstelik bunun kopyasını oluşturmamız da zor değil. Yapacağımız tek şey, aynı metal plakayı plastiğe bir kez daha bastırmak.

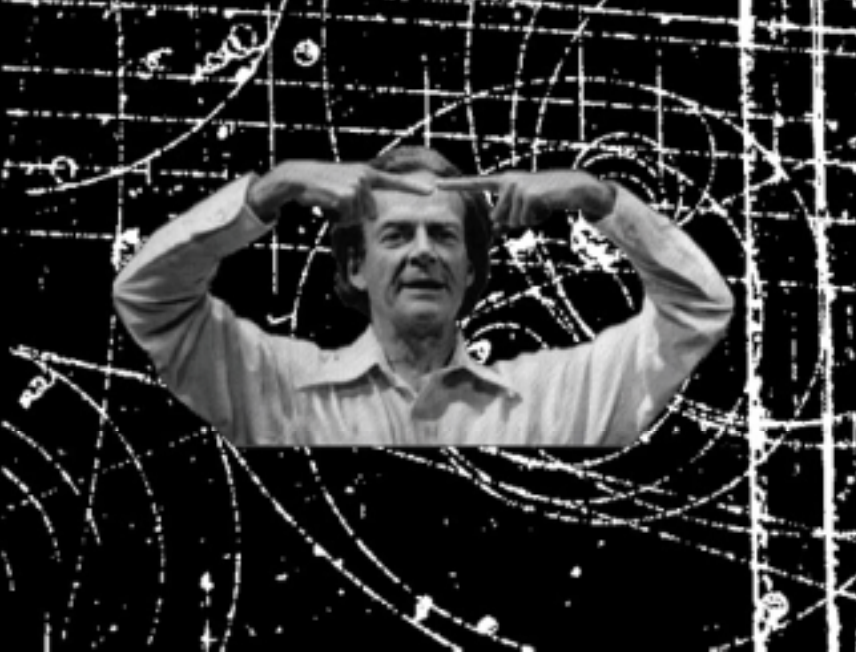
IBM araştırmacılarınca yapılan, 35 atomluk firma logosu.



Küçük Yazmayı Nasıl Başaracağız?

Bir sonraki sorun, nasıl yazacağız. Günümüzde bunun için belirli bir teknik yok, ama bunun ilk bakışta görüldüğü kadar zor olmadığını söylemeliyim. Bir kere, elektron mikroskopun lensleri, küçültme amacıyla ters çevrilerek bu ters merceklerden geçmesi sağlanan iyonlar, çok küçük bir noktaya odaklandırılabilir. Bu noktayı kullanarak, TV katod ışını osiloskopuna yazdığımız gibi, yani doğrular boyunca ilerleyerek yazabiliriz. Ancak bu arada, tarama sırasında bırakılacak malzemenin miktarını saptayan bir ayarlama da yapmamız gerekecek.

Yer ve elektrik yükü sınırlamaları nedeniyle bu yöntem çok yavaş olabi-



lir. Ancak daha hızlı yöntemler de bulunabilir. Sözgelimi, bir tür fotoğrafik süreçle, üzerinde harf biçiminde delikler olan bir ekran yapabiliriz. Sonra, deliklerin arkasında bir kıvılcım çıkararak, metalik iyonları deliklerden çeker, az önce sözünü ettiğim lens sistemini kullanarak, iğnenin başında metal birikimini sağlayacak, iyon formunda küçük imgeler oluşturabiliriz.

Gerçi işleyip işlemeyeceğinden çok da emin değilim ama, daha basit bir yol da şu olabilir: Ters işleyen optik bir mikroskopla, ışığı çok küçük bir fotoelektrik ekrana odaklarız. Bu durumda, ışığın düştüğü ekrandan elektron salınımı olacaktır. Bu elektronlar, elektron mikroskopun mercekleri tarafından, doğrudan metalik yüzeye çarpacak şekilde küçültülerek odaklanırlar. Böyle bir ışın yeterince uzun sürede metal üzerinde iz bırakabilir mi? Bilmiyorum ama, olmazsa, iğnenin başını metal yüzey yerine başka bir yüzeyle (elektronların çarptığı yeri, daha sonra da olsa görebilmemizi sağlayacak bir değişikliğe uğratan) kaplamak mümkün olsa gerek.

Bir miktar elektronu giderek büyüyen ekranlara yayma durumunda olduğu gibi, büyütmede karşılaştığımız türden bir yoğunluk sorunu, bu cihazlarda yok. Durum tam tersi. Fotoelektrik ekrandan salınan bir miktar elektron, çok küçük bir bölgeye odaklanır ve çok daha şiddetli olur. Bunun şu ana kadar neden gerçekleştirilmemiş olduğunu bilmiyorum!

Topluiğne başına sığdırılmış Britanica Ansiklopedisi'nden bu kadar. Şimdi de dünyanın bütün kitaplarını ele alalım. ABD Kongre Kütüphanesi'nde yaklaşık 9 milyon cilt kitap var. British Museum Kütüphanesi'nde 5 milyon, 5 milyon da Fransa'nın Ulusal Kütüphane'sinde. Bunların bir kısmı, kuşkusuz birden fazla kopya halinde. Öyleyse diyelim ki, dünyada ilgilendiğimiz toplam 24 milyon cilt kitap var.

Bütün bu kitapları, az önce sözünü ettiğimiz ölçeğe küçültürsem ne olur? Ne kadar alan kaplarlar? Yaklaşık bir milyon topluiğne başının kapladığı alanı. Çünkü elimizde, 24 ciltlik ansiklopedi yerine 24 milyon cilt var. Bu alan, kenarları 1000 iğne başı olan bir karenin alanına, yani yaklaşık 2,5 m²'ye eşit. Bu demektir ki, kağıt inceliğindeki plastik astarlı silika kalıbın alanı, ansiklopedinin 35 sayfasının toplam alanı kadar. Yani, insanoğlunun bugüne kadar kitaplara geçirdiği tüm bilgi, bir broşür halinde taşınabilir; üstelik kodlanmış olarak değil, orijinal resimler, kabartmalar ve herşeyiyle, küçük ölçekli ama eksiksiz bir kopya olarak!

Caltech'teki kütüphanecimize, bundan on yıl sonra bir binadan ötekine koşarak yerden tavana yığılı 120.000 kitap, çekmeceler dolusu kartlar ve daha eski kitaplarla dolu depolarla uğraşmak yerine, bütün bu bilgileri tek bir kütüphane kartı halinde saklayabileceğini söylesem kimbilir ne derdi... Başka şeyler de yapılabilirdi. Sözge-

mi, Brezilya Üniversitesi'nin kütüphanesinin yanması durumunda, birkaç saat içinde bizim kütüphanedeki bütün kitapların ana kalıbından bir kopya çıkarıp, normal bir mektup zarfıyla gönderebilirdik.

Bu noktadan sonra konuşmanın başlığı "Altta Daha Yer Var" değil, "Altta Daha Çok Yer Var" olmak zorunda. Şu ana kadar yapmaya çalıştığım, yer olduğunu, yani nesnelere pratik bir yolla küçültülebileceğini göstermek. Şimdi de bunu nasıl yapacağımızı değil, yalnızca ilkesel olarak ne yapılabileceğini, başka bir deyişle fizik yasalarına göre neyin olanaklı olduğunu göstermek istiyorum. Yerçekimini ortadan kaldırmaya çalışmıyorum; bu, ancak fizik yasalarının düşündüğümüz gibi çıkmaması sonucu mümkün olabilir. Söyleyeceklerim, yasaların düşündüğümüz gibi olması durumunda nelerin yapılabileceği üzerine. Henüz yapılmamış olmalarının nedeniyse, yalnızca sıragelmemiş olması.

Küçük Ölçekli Bilgi

Bütün bilgiyi ve resimleri doğrudan günümüzdeki biçimleriyle kopyalamak yerine, bilgi içeriğini, harfleri nokta, çizgi ve benzerlerinden oluşan kodlarla yazdığımızı düşünelim. Her harf altı ya da yedi bit'lik bilgiyi temsil ediyor; yani her harf için altı ya da yedi nokta veya çizgi gerekiyor. Şimdi, herşeyi daha önceki gibi topluiğne başının yüzeyine yazmak yerine, malzemenin içini de kullanacağım.

Noktayı, bir metalin küçük bir noktasıyla, yanındaki çizgiyi de bir başka metalin bitişikteki bir noktasıyla vb. gösterdiğimizi düşünelim. Yine temkinli davranarak, bir bit'lik bilginin de $5 \times 5 \times 5 = 125$ atom gibi küçük bir "atom küpü" gerektirdiğini varsayalım. Bilginin yayılma (difüzyon) ya da başka bir süreçle kaybolmadığından emin olmak için, aslında 100'ün biraz üzerinde atom yeterli olabilir.

Ansiklopedideki tahmini harf sayısından ve 24 milyon cildin her birinin de ansiklopedinin bir cildinin boyutlarında olduğu varsayımından yola çıkarak, varolan bilgiyi bit cinsinden hesapladım: 10^{15} . Her bir bit için 100 atom alırsak, insanoğlunun kitaba

geçirip dikkatle biriktirdiği bütün bilgi bu yolla, kenar uzunluğu bir inç'in 1/200'i olan bir küp içine yazılabilir; yani insan gözünün güçlkle algılayabileceği bir toz parçacığına. Öyleyse aşağılarda gerçekten de bol bol yer var.

Bu gerçek, yani muazzam büyüklükte bilginin son derece küçük bir hacime sığdırılabileceği gerçeği, biyologlarca zaten bilinmekte. Çok küçük bir hücrede, insan gibi karmaşık bir yaratığın düzenlenmesi için gereken bütün bilginin nasıl içerildiği sorusu böylece açıklanmış oluyor. Bütün bu bilgi -gözlerimizin renginin mavi ya da kahverengi oluşu, düşünüp düşünmediğimiz, ya da fetusun çene kemiğinin, daha sonra oradan geçecek bir sinir için önceden bir delik geliştirilmesi gerektiği- hücrenin çok küçük bir bölümünde, bir bit'lik bilgi için hücrede yaklaşık 50 atomun yer aldığı uzun DNA molekülü zincirlerinde bulunuyor.

Daha Üstün Elektron Mikroskoplar

Eğer bir bit için 5 x 5 x 5 atomun içerildiği bir kodlamayla yazmışsam, onu bugün nasıl okuyacağım? Elektron mikroskop yeterli değil; en fazla 10 angstrom'u ayırdedebilir. Bütün bu küçük ölçekli şeylerden sözederken, elektron mikroskopun ayırdetme gücünü 100 kat geliştirmenin önemini vurgulamak isterim. Bu olanaksız değil; çünkü, elektronların kırınım yasalarına ters değil. Böyle bir mikroskoptaki bir elektronun dalga boyu, bir angstrom'un yalnızca 1/20'i olacaktır. Öyleyse atomları tek tek görmek mümkün olmalı. İyi de, atomları tek tek görmek ne işe yarayacak?

Başka alanlarda da dostlarımız var; sözgelimi biyolojide. Biz fizikçiler, sık sık onlara deriz ki "Sizlerin bu kadar yavaş ilerlemenizin nedeni ne, biliyor musunuz? Matematikten bizim yararlandığımız kadar yararlanmamanız." (Aslına bakılırsa, günümüzde biyolojiden daha hızlı ilerleyen bir alan bilmiyorum!) Aslında bize iyi bir yanıt verebilirler; ancak nezaketleri buna elvermiyor. Ben onların yerine yanıt vereyim öyleyse: "Bizim daha hızlı ilerlememiz için, asıl

sizin yapmanız gereken bir şey var: Şu elektron mikroskopu 100 kat geliştirmek!"

İşte, günümüzde biyolojinin en temel ve önemli soruları: DNA'daki bazların dizilimi nasıl? Mutasyon gerçekleştiğinde ne olur? DNA'daki bazların sırası, proteindeki aminoasitlerin sırasıyla nasıl ilişkilendirilebilir? RNA'nın yapısı nasıl? Tek zincirli mi, çift zincirli mi? Baz sıralaması bakımından DNA'yla ilişkisi ne? Mikrozomlar nasıl düzenleniyor? Proteinler nasıl sentezleniyor? RNA nereye gidiyor; nasıl 'duruyor'? Proteinler nereye oturuyor? Aminoasitler nereye giriyor? Fotosentezde, klorofil nerede, nasıl düzenlenmiş? Karotenoidler nerede işin içine giriyor? Işık enerjisinin kimyasal enerjiye dönüşümünde altta yatan sistem ne?

Tüm bu soruları yanıtlamak, aslında çok kolay: bakmak yeter. Zincirdeki bazların sırasını da, mikrozomların yapısını da görürsünüz o zaman. Ne yazık ki günümüzdeki mikroskoplar bu açıdan biraz kaba kaçıyor. Mikroskopu 100 kat güçlü yaptığımızdaysa, biyolojinin birçok sorusunun üstesinden gelmek çok daha kolaylaşacaktır. Kabul, abartıyorum; ama biyologların size minnettar olacakları kesin. Minnettar olmayı da, matematikten daha fazla yararlanmaları gerektiği konusundaki eleştirilere tercih edecekleri konusunda kuşku yok!

Günümüzde kimyasal süreçlere ilişkin kuramlar, kuramsal fiziğe dayanırılmış durumda. Bu anlamda fizik, kimyanın temelini oluşturur. Ancak

kimya, analiz de içerir. Elinizde tuhaf bir madde var ve onun ne olduğunu bilmek istiyorsanız, uzun ve karmaşık bir kimyasal analiz sürecinden geçmek zorundasınız. Günümüzde hemen herşey çözümlenebilir, yani analiz edilebilir; bu yüzden düşüncelerim biraz geç kalmış sayılır. Ancak fizikçiler, eğer isterlerse, kimyasal analiz konusunda kimyaçıların kuyusunu kazabilirler. Karmaşık herhangi bir maddenin analizini yapmak çok kolay olabilir; yapılacak tek şey, ona bakıp atomlarının nerede olduğunu görmek. Ne yazık ki, günümüzdeki elektron mikroskoplar bunu yapmak için gereken gücün 100 kat altındalar. (Daha sonra şu soruyu sormak isterim: Fizikçiler, kimyaçıların üçüncü sorunu olan sentez konusunda birşey yapabilirler mi? Herhangi bir kimyasal maddeyi oluşturmak için fiziksel bir yol var mıdır?)

Elektron mikroskopun bu denli zayıf olmasının nedeni, merceklerin f-değerinin 1'e 1000'le kalması; dolayısıyla diyafram açıklığı yeterince büyük değil. Eksene göre simetrik durağan alan mercekleriyle belirli bir değerden büyük f-değeri oluşturmanın olanaksız olduğunu kanıtlayan kuramlar olduğunu biliyorum. Bu nedenle günümüzdeki ayırdedici güç, kuramsal olarak alabileceği en büyük değeri taşıyor. Ancak her kuram, belirli varsayımlar içerir. Peki alan, ille de simetrik mi olmak zorunda? Şimdi soruyorum: Elektron mikroskopu daha güçlü hale getirecek bir yol gerçekten yok mu?

Çeviri: Nermin Arık

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

