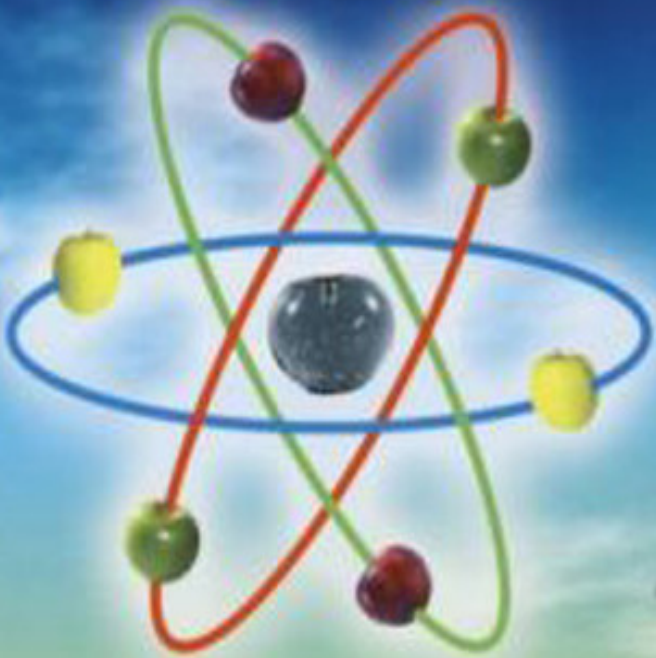
ATOM ve ELMA

Çağdaş Fizik Dünyasından On İki Hikâye



Sébastien Balibar

ODTÜ YAYINLARI

Atom ve Elma

Çağdaş Fizik Dünyasından On İki Hikâye

Sébastien Balibar

DDTİ YAYINCILIK

The Atom and the Apple
Sebastien Balibar
Copyright © Odile Jacob, 2005
Originally Published by Les Editions Odile Jacob

Atom ve Elma
ISBN: 978-9944-344-86-9

ODTÜ Geliştirme Vakfı
Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayınları
ODTÜ Yayıncılık

© Tüm yayın hakları ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş.'nindir. Yayıncının izni olmaksızın, hiçbir biçimde ve hiçbir yolla, bu kitabın içeriğinin bir bölümü ya da tümü yeniden üretilemez ve dağıtılamaz.

Genel Yayın Yönetmeni
Levent GÖNÜL

Çeviren
Umut UĞUR

Editör
Prof. Dr. Ramazan AYDIN

Sayfa Düzeni ve Kapak Tasarımı
Emrullah ÖZ

1. Basım Ekim 2009
Aydoğdu Ofset Matbaacılık ve Ambalaj San. Tic. Ltd. Şti.

ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş.
İnönü Bulvarı, ODTÜ Yerleşkesi 06531 ANKARA
Tlf.: (312) 210 38 70 - 210 38 73
Faks: (312) 210 15 49
E-posta: odtuyayincilik@odtuyayincilik.com.tr
İnternet: www.odtuyayincilik.com.tr

İçindekiler

Dişlerinizi Geçirdiğiniz Birkaç Elma *ix*

1. Bölüm Siyah Gece 1
2. Bölüm Kuzenim Pırasa 19
3. Bölüm Ben Radyoaktifim 31
4. Bölüm Einstein, Flüt ve Kuantum Çiyi 48
5. Bölüm Masam Kuantum mu? 64
6. Bölüm Kelimelerin Gücü 84
7. Bölüm Kristaller ve Camlar 108
8. Bölüm Tanrı, Helyum ve Evrensellik 124
9. Bölüm Bisikletçi ve Kelebek 138
10. Bölüm Diğer Elmalar 156
11. Bölüm Piyanolardan Güneş'e 171
12. Bölüm İngilizce Konuşuyorum 188

Neyi Bilmiyorum ***202***

Notes ***211***

Dizin ***217***

"Ben, bilimin muazzam güzellikte bir şey olduğunu düşünenlerdenim. Bilim insanı, sadece laboratuarında çalışan bir teknisyen değildir; o aynı zamanda karşısına masallar çıkan bir çocuk gibi, doğanın fenomenleriyle karşılaştığında büyülenen biridir.

"Biz bilim insanları diğer insanların bilimsel gelişmeleri salt mekaniğe, makinelere ve onların uzantılarına indirgeyerek inanmasına meydan vermemeliyiz; kaldı ki bütün bunların da kendi içlerinde bir güzelliği vardır.

"Ayrıca inancım odur ki, macera ruhu dünyamız üzerinden asla kaybolmayacaktır. Etrafımda hayati öneme sahip bir şey gördüğümde hemen merakımı cezbetmesi, içimizden söküp atması mümkün olmayan bu macera ruhu yüzündendir..."

– Marie Curie

Dişlerinizi Geçirdiğiniz Birkaç Elma

Yıldızlar, elmalar, çiçekler, sağ ve sol eller, bisikletliler ve kelebekler, damlacıklar, köpükler, camlar ve kristaller, piyanolar, güneşler, kediler, masalar, dönen yüzeyler, dalgalar...

Bütün bu sıradan şeyler gibi görünenlerin, Evren'in sınırlarıyla, atomun içeriğiyle, formların yaratılışıyla, kaos teorisiyle –diğer bir deyişle, çağdaş bilimin sürekli gelişen bütün bu öncü düşünceleriyle– ne alakası var?

Bu kısa kitapla siz okurlarımı, etrafımızı saran Dünya'ya ve en geniş anlamıyla Evren'e dair en derin ve muazzam bazı gizemleri anlamak için izlenecek en iyi yöntemin, alabildiğine dünyevi ve sıradan gibi görünen gerçeklere daha bir derinlemesine bakmak olduğuna ikna etmeyi umuyorum.

Belki benim de mesleğine tutkuyla bağlı bir diğer bilim adamı olduğumu, mantıksal nedenlerle veya dahası, fizik kurallarıyla uyumlu olmayan şeylerden hoşlanmayı imkânsız sayan biri olduğumu düşünebilirsiniz. Ama burada size yürekten göstermek istediğim, aslında bir hayalperest olduğum, her şeyi merak ettiğim ve büyük ve evrensel bilgi yumağını çözümlemek ümidiyle karşılaştığım en basit ipucuna bile yapışmaya eğilimli olduğumdur. Bu kitabı, etrafıyla ilgili benzer ilgi ve merak duy-

Bir devlet kurumunun ağaçlandırma konusunda teşvik edici bir politika uyguladığını belirtmeliyim. Onların yardımıyla birkaç bin sedir ağacı, birkaç farklı çeşit çam ağacı, fıstık ağacı ve Avusturya karaçamı, birkaç ıhlamur ağacı, akasya ve kavak ağaçları, bir melengiç, bir katalpa ağacı (Kurtyemez ağacı), bir ıhlamur ağacı, yüz kırk adet badem ağacı, on üç sıra içlerinde Anjevin ve Kardinal cinslerinin türevleri olan Chasselas, Muskat, Cabernet Vert ve Dattier çeşitleri bulunan şaraplık üzüm fidesi dikmiştik. 'Dikmiştik' derken, o zamanlar henüz on yaşımda olmama rağmen, babamla birlikte ben de gerçekten bütün bu ekimler sırasında çalışmıştım. Taş, toprak ve dikenlerin arasında, ağaçlarımızın tutması ve büyümesi için, kurak geçen sonraki iki kış ve yaz boyunca bir kısım ağaçları kaybetsek de, yılmadan, inatla çalışmıştık. Azimli çabalarımızın sonucu olarak, diktiğimiz bitkilerin yarısına yakın kısmı tutmuş, kökleri on yıl kadar sonra yer altı sularının olduğu katmanlara ulaşmış ve birden bire on misli hızla büyümeye başlamışlardı. Bölgedeki bitki örtüsü tamamen değişmişti; dikenli çalılar yok olmuş, taşlar, toprak, kara yosunları ve iğne şeklindeki çam yapraklarıyla örtülmüştü -bu da sonbaharda porcini mantarlarının yetişmesi için ideal ortam demekti. Bir keresinde kuzu mantarı bile bulmuştuk; tavşana denk gelmiş, hoopoe kuşu görmüş ve birçok çeşit kelebeğe -ki bunları topluyordum- rastlar olmuştuk. Yarattığımız bu yeni ormanda, güzel manzaralı bir de patika yapmıştım. Gururla hemfikir olduğumuz nokta, doğanın düzenlendiği zaman vahşi durumundan daha keyifli hale geldiği yönündeydi.

Ama sonra bölgeye Durance-Ventoux Toprak Yönetimi Planı uyarınca şebeke suyu geldi; köyde bulunan Rönesans döneminden kalma kalenin burçları onarılınca tuhaf, keskin geometrik şekiller oluşturmaya başladı, Madam Francine Coeurdacier manav dükkânını Hediard (pahalı bir manav zinciri) şirketine sattı, bölgeye turistler dolmaya başladı ve her yeri yüzme havuzları kapladı. Eskiden geceleri karanlık olan köyün ara sokakları sarı sokak lambalarıyla aydınlatıldı. Neyse ki bizim orman, bütün bu hezeyanla aramızda bir perde görevi görüyor ve gece-

lerimiz hâlâ karanlık geçiyor, havamız temiz ve mis gibi çiçek kokuyor, sadece çekirgeler ve kurbağalar sessizliği bozuyordu.

On beş yıl sonra, anne ve babamız bizler için cennete karşılık gelen bu keyifli mekânı terk etti. Aile dostumuz Jean Pierre Maury'nin bize bir teleskop getirdiği günler de aynı günlerdi. Jean Pierre, ormanları, astronomiyi, iri Küba purolarını ve popüler bilimi severdi. O yıllarda fizik eğitmenliği yaptığı Paris Üniversitesi'nin Jussieu kampusunu dolduran çöp varillerinden zaman içerisinde topladığı metal bir çerçeveyi, 25 santimetre çapında geniş bir PVC tüpünü, bir elektrik motorunu, geniş bir alüminyum diski ve üç tekerleği bir kenara koymuş, sonra bütün bu malzemeyi birkaç parça hafif meşe kerestesi, bir mikroskoptan çıkardığı mercek ve kendi mutfağında temizleyip parlattığı dışbükey bir aynayla, Marais'de bulunan atölyesinde başarıyla bir araya getirerek, uzayı gözlemleyebileceği değerli bir alet haline getirmişti; bu aleti de bize hediye olarak vermişti.

Söz konusu aletle gözlem yaparken, biz de kendimizi küçük Galileo'lar olarak görüyorduk.

Teleskopumuzu, çiftliğin köyden gelen aydınlığı kesen sedir ve çam ağaçlarının gölgesinde kalan ve eskiden buğday tarlası olarak ekilen taşlı tarafa kurarak, dönme aksını yere paralel hale getirip sayısız gözlemler yapmaya başladık.

Geceleri gökyüzünde yaptığım ilk gözlemler oldukça basittiler; büyüleyici dolunay, ev yapımı teleskopumuzun bütün görüş alanını dolduruyordu. Ama ben, Ay'ın dörtte birinin aydınlandığı evrede, yarıgölge alanlardaki ayrıntıların belirginleştiği ve bu alanlar boyunca yayılmış kraterlerin gölgelerinin net biçimde görülebildiği zamanlarda gözlem yapmayı daha çok tercih ediyordum.

Sonra, gökyüzünde Jüpiter'i nasıl bulacağımı keşfettim. Bütün yapmanız gereken güneye bakmak ve güneşin gün boyunca geçtiği rotayı takip etmekti -doğu yönünden başlayan, güneye doğru yükselen ve batı yönünde alçalan, büyücek, dairesel eğriyi. Gezegenler de aynı eğriyi takip eder zira hepsi, biz ve Güneş de dahil, aynı hareket düzlemi üzerindeyizdir. Güneşin ve diğer gezegenlerin uzaydaki rotaları, Dünya'nın kendi etrafındaki dö-

gusunu paylaşan herkes için yazdım ve burada yer alan birkaç sayfada da, bilim insanlarının etrafımızı saran Dünya'yla ilgili son yıllarda ulaştıkları bulgulara esin kaynağı olan muhteşem ayrıntıları tanımlamak istedim. Ümidim, benimle birlikte bu yolculuğa katılıp çağdaş araştırmaların olgun meyvelerinden birer diş almanız, bilim denen muazzam ağacı birlikte takdir etmemiz ve böylece yaşayacağımız daha derin bilgilenme heyecanlarını da birlikte sürdürmemiz. En gelişmiş anlama durumu, genellikle çocuklardakine benzer bir merak duygusuyla başlar; en basit ve en samimi soruların sorulması, öğrenmek için bastırılamaz arzunun açığa çıkmasıyla... Bu kitaptaki arzum, siz okurlarımı, benim bilim insanı olmamı sağlayan benzer itkiler konusunda cesaretlendirmek ve böylece herkesin doğayı ve onun içindeki yerimizi daha kapsamlı ve derinlemesine anlayabilmesine imkân yaratmaktır.

1. Bölüm

Siyah Gece

Dokuz yaşımdaydım. Babam matematik, annemse edebiyat öğretmeniydi ve her ikisi de Tours şehrinde farklı liselerde ders veriyorlardı. Savaştan hemen sonra tenha bir kentte iş bulmuşlardı ve bu kentten çok da fazla hoşlanmıyorlardı. Dolayısıyla, yapabildiklerince sık biçimde şehirden kaçmaya karar vermişler, dört çocuklarıyla birlikte tatillerini geçirebilecekleri bir ev arayışına girmişlerdi. Paraları yoktu ama bölgedeki güzel bir köyün yakınlarında, savaşta harabeye dönmüş, bir avluyu çevreleyen on dört odadan oluşan eski bir çiftlik evi ve çevresinde bir zamanlar köylülerin buğday yetiştirmeyi denemiş oldukları belli olan beş hektar kadar taşlı tarla keşfetmişlerdi. O zamanlar bölgede şebeke suyu akmıyor, topraktan fazla verim alınamıyor ve turizm diye bir olgu da bulunmuyordu. Ama burası annemle babamın gözüne mükemmel görünmüştü. Bu şahane yeri 450 000 eski frank karşılığında satın almışlardı –bu rakam o zamanlar, annemle babamın yaklaşık birkaç aylık öğretmen maaşlarının toplamına karşılık geliyordu.

Çiftliğin oturulabilir haldeki birkaç odasında kalarak geçirdiğimiz ilk kış buz gibi olmakla birlikte ümit doluydu. Ve ondan sonra gelen güz döneminde de, geleceğimle ilgili kararımı vermiştim; Eaux et Forets[1] için çalışmak istiyordum.

nüşünden kaynaklanan görüntülerinin hareketleriyle, bu cisimlerin kendi göksel hareketlerinin bir kesişmesinden oluşur. Gece gökyüzünde bu kuşağın içinde gördüğüm parlak cisim eğer Venüs değilse, büyük bir ihtimalle Jüpiter olacaktır.

Bu gezegeni tanımak kolaydır, çünkü Galileo'nun da 1610 yılında varlığını bildirdiği, Jüpiter'in etrafındaki ardı ardına dizilmiş dört uydu kendilerini gayet net biçimde gösterir. Onların isimlerini de öğrenmiştim: Io, Europa, Ganymede ve Callisto. Sonra bu dört parıltılı noktanın günden güne (ya da daha doğrusu, geceden geceye) yer değiştirdiklerini algılamaya başladım. Elbette böyle olması gerekiyordu, çünkü onlar da Jüpiter'in etrafında dönüyorlardı; bazen ikisini gezegenin bir yanında, diğer ikisini öbür yanında, bazen de üçünü bir yanda birini diğer yanda vs. görebiliyordum. Eğer gökyüzü tamamen berraksa, Jüpiter atmosferindeki berbat fırtınaların birbirinden ayırdığı toz halkalarının karaltılarını bile seçebiliyordum. Bu halkalar gezegenin ekvatoruna paraleldi ve uydularıyla aynı düzlemde bulunuyorlardı; yani bütün bu sistem aynı düzlemde dönüyordu! Venüs'e gelince, onu güneşe yakın bir yerde gözlemleyebiliyordum - yani gün batımını müteakip akşamüstü gökyüzünde batı yönünde veya gün doğumundan hemen önce, sabahın erken saatlerinde doğu yönünde- ve onu saptamak da gayet kolaydı; çok parlak bir gök cismiydi ve hiç uydusu yoktu. Gözlemlerim sırasında Venüs'ün de Ay gibi, ama daha az belirgin biçimde, bir kısmının aydınlık diğer kısmınınsa karanlık olduğu zamanlar olduğunu keşfettim.

Arkadaşlarımla dalga geçmeye bile başlamıştım ve o büyük "yıldız" diye gördüklerinin hiç de yıldız olmadığını, gezegen olduğunu söyler olmuştum! Bu tür nesnelerin kendi ışıklarını üretmediklerini, sadece Güneş'ten aldıkları ışığı yansıttıklarını ve nispeten bize daha yakın olduklarını, zira onların yuvarlak şekillerini ve çaplarını gözlemleyip söyleyebiliyorduk. Kendimi küçük hissediyor, etrafımızı saran bu sonsuz göksel büyüklük karşısında yaşadığım baş dönmesiyle başa çıkmaya çalışıyordum. Teleskopumuzun yönünü, elektrik motorla çalışan aksamın çıkarttığı aksaklıklarla uğraşarak değiştirirken, Katolik Kili-

sesi'ne karşı bilimi savunup suçlu duruma düşen Galileo'yu düşünüp duruyordum. O zamanlar, efsanenin anlattığına göre, Galileo'nun mırıldanarak, "Ama yine de dönüyor," sözünü aslında dememiş olduğunu henüz bilmiyordum.[2] Besbelli yargılanmasının sonunda bunu yapacak gücü kendisinde bulamamıştı; ama ben teleskopumdan yaptığım gözlemler sonucunda gördüklerimin, Dünyanın Güneş etrafındaki dönüşünden değil, kendi ekseni etrafındaki hareketinden kaynaklandığını algılayabiliyordum. Dünya'nın Güneş etrafında yıl boyunca süren dönüşü, Jüpiter'in görüldüğü yerin değişmesine neden oluyordu. Bu değişim diğer yıldızlarda görülmüyordu. Sonra mevsimlerin değişimini, Dünya'nın kendi etrafında döndüğü dikey eksenin ekvator kuşağı düzlemine göre eğimini, bilinen uzun Dünya tarihinin buzul çağlarını ve buzul çağı sonrası dönemlerini düşünmeye başladım.

Göreceli hareket konusunda kurduğum hayallerde Galileo daimi arkadaşım olmuştu. "Dünya'nın Güneş etrafında dönmesi" ve "Güneş'in Dünya etrafında dönmesi" arasında ne fark vardı ki? Eğer sadece Dünya ve Güneş olarak iki gök cismi olsaydı, bu iki senaryo birbirine tamamen eş değerde olurdu. Örneğin, Dünya'nın etrafında dönen Ay mı, yoksa Ay'ın etrafında dönen Dünya mı? Genel ben-merkezciliğimizin bir göstergesi olarak, elbette Ay'ın Dünya etrafında döndüğünü söyleme eğilimimiz olacaktır: "Biz, yani Dünya, daha güçlü bir kuvvete sahip olduğundan, küçük bir uydu olan Ay bizim etrafımızda dönecektir." Ama aslına bakılırsa her ikisi de birbiri etrafında dönmektedirler ve göreceli olarak bakıldığında Ay, hiç de Dünya'dan çok daha küçük falan değildir.

Günümüzde hiç kimse artık Güneş'in Dünya etrafında döndüğünü söylemiyordu ama düşündüğümde, bu bilginin kuşaklar boyunca sadece Dünya'nın ve Güneş'in göreceli hareketlerini değil, diğer gezegenlerin ve yıldızların da hareketlerini gözlemleyen astronomların asırlarını aldığını idrak ediyordum. Şimdi, yıldızlar bir yıldan diğerine uzayda hep aynı yerlerinde, aynı pozisyonlarında kalıyorlar ancak bu durum gezegenler için böyle olmuyordu -bir haftadan diğerine bile gezegenlerin diğer

yıldızlara göre yerlerinin değiştiği gözlemlenebiliyordu. Kopernik'in Dünya dahil bütün gezegenlerin Güneş etrafında döndükleri yargısını açıklamasıyla, elimize temel bir model geçmiş ve gökyüzünde gördüğümüz nesnelerin yerleriyle ilgili ileriye dönük tahminler yapabilmemiz mümkün hale gelmişti. Bu modelle Dünya ve Güneş artık simetrik olarak ele alınamaz hale gelmişti. 1915 Yılında, Uranüs ve Neptün gezegenlerinin hareketlerinde gözlemlenen sapmalardan sonra, Güneş sisteminde bu iki gezegeni etkileyen bir diğer gezegenin daha olması gerektiği tahmini bile yapılabilmişti. 1930 Yılında da Plüton gezegeni keşfedilmişti. Dolayısıyla, bugün Güneş'in Dünya etrafında dolandığını ve Dünya'nın da Evrenin sabit merkezi olduğunu söylemek komik hale gelmiştir. Bütün bu kişisel düşüncelerden sonra, sadece fiziksel evrenin içindeki konumum açısından değil, bilimsel fikirler evreninde de kendimi giderek daha küçük hissediyordum. Böylece de, astronomi tarihi ve bu tarihin içindeki bilim insanlarıyla ilgili yepyeni bir saygı seviyesi kazanmıştım.

Konudan daha fazla uzaklaşmadan, cennetin fatihi olmak üzere geri dönüyorum. Bir diğer parıldayan noktaya odaklandım; gezegenler kuşağında yer alan küçük, kırmızımsı bir pırıltıya. Mars? Bu kırmızımsı nesnenin görülebilir bir çapı olduğunu gözlemlemek için dikkatlice bakmak yeterli olmuştu -ki işte bu da bir diğer gezegendi. Mars bu rengini, iri kaya parçalarından oluşan toprağındaki yoğun demir oksit bileşeninden alıyordu ve gezegenin üzerinde bulunan su havzaları ve buz tutmuş bölgeler keşfettikçe, bilim insanları günden güne daha ciddi biçimde burada bir zamanlar yaşam olduğunu düşünüyorlar.

Doğaya karşı duyduğum tutku ve babamdan bana miras kalan yüksek dozlu rasyonalizm sonucunda bir fizikçi oldum. Ama günün birinde kendime çok güzel bir teleskop alıp, çocukluğumun geçtiği çiftliğe giderek, kent ışıklarından ve puslu atmosferinden uzakta Mars gezegenini kendi gözlerimle görmek konusunda bir arzum hep olmuştu. Görmek istediğim, Mars sezonu süresince gezegenin kuzey tepesindeki beyaz takkenin güneye doğru kaymasıydı. Mars'ın kutbunda böylesine bir buz

takkesi var çünkü orada da CO_2'den meydana gelen bir kar var ve bu karbon esaslı karın rengi de beyaz (aynı burada, Dünya'da bulunan H_2O karı gibi ama biraz daha soğuk). O günlerde, artık Astronomi Haritasını gazetemin hangi sayfasında bulacağımı da öğrendiğimden -ya da daha iyisi, internet'ten- Satürn'ün makul saatlerde görülüp görülemeyeceğini ve gök kubbenin neresinde gözlemlenebileceğini biliyordum. Gezegenin, çocukken saymaya çalıştığım ve yıldan yıla değiştiğini gözlemlediğim gayet sembolik halkalarını hemen hatırladım. Hatta bir gün, yine gözlem yaparken, halkalarının ortasında oturmuş Satürn'ün bir göz gibi gördüğümü ve sanki bana bakarmış gibi hissettiğimi da hatırladım.

Gerçekten de, bilim ve hayal arasında, ya da hayalle bilim arasında sadece bir adımlık bir mesafe var.



Yakın bir geçmişte, ilk bakışta insanı çaresiz bırakırcasına safça sorulmuş bir soruyla karşı karşıya kaldım:

"Gece neden karanlıktır?"

Bir insan böyle bir soruyu nasıl sorabilir diye düşünebilirsiniz. Gerçekteyse, bazı aptalca sorular ve özellikle de safça olanlar, sıklıkla doğadaki en temel yapı taşlarını aydınlatmaya yararlar. Bu soruda da kesinlikle aynı özellik var ve evrenin oluşumu, Büyük Patlama teorisi ve hâlihazırda kozmolojinin öncü güçleriyle doğrudan ilişkili.

Elbette geceleri Güneş Dünya'nın diğer yarısını aydınlatmaktadır. Ama bütün diğer yıldızların da birer güneş oldukları düşünüldüğünde, neden geceleri de gündüz boyunca olduğu gibi etrafımızı görebilmemizi sağlayacak kadar Dünya'mızı aydınlatmazlar?

Besbelli, çok uzaklarda oldukları için; biliyoruz ki ışığın kaynağından ne kadar uzaklaşırsak, ışık bizi o kadar az aydınlatacaktır. İki kilometre ötemizdeki bir deniz fenerinden, bir kilometre ötemizde olandan aldığımızdan dört kat az ışık alırız.

Ama yine de, gece gökyüzünde çok fazla sayıda yıldız var.

Eğer yıldızlar geceleri etrafımızı net biçimde görebilmemizi sağlayacak kadar ışık veremiyorlarsa, bunun nedeni, uzayda yeterli sayıda yıldız bulunmaması olabilir mi? İşte bu muazzam önerme, 1823 yılında Alman astronom Wilhelm Olbers'i müthiş bir sonuç çıkartmaya yönlendirmişti: Gözlemlenebilir Evren sonsuz değildir. Binlerce yıldır filozofların kafasını meşgul eden evrenin sonsuzluğu meselesinin cevabı, bu durumda günümüzde artık biliniyor demektir. Peki, Olbers haklı mıydı? Bunu anlamak için birkaç adım geriye gitmemiz gerek.

Uzayda kaç tane yıldız var? Bu giriş sorusuna hemen yanıt vermek hiç de kolay değil. İşi basit biçimde ele alabilmek için, görebildiğimiz gökyüzündeki yıldız yoğunluğunun daima sabit kaldığını hayal edelim.[3] Şimdi de, Dünya'dan belli bir uzaklıkta parıldayan yıldızların hepsini saydığınızı, sonra da bu mesafeyi iki katına çıkarıp aynı sayımı tekrar yaptığınızı düşünün; yıldız sayısı dört kat artacaktır ama iki kat daha uzaktan ışıdıkları için biz o yıldızların her birinin ışığını dört kat daha az alacağızdır. Toparlarsak, iki kat daha öteden gelen toplam ışık, iki kat daha yakından gelen toplam ışıkla aynı şiddette olacaktır çünkü yıldız sayısının dört kat artışıyla, mesafeye bağlı ışık kaybı birbirini götürecektir. Bir sonraki adımda Olbers, uzaydaki en yakın yıldızdan en uzak yıldıza kadar Dünya'ya düşen toplam ışığı hesaplamıştır. Eğer en uzak yıldız sonsuz uzaklıkta olsaydı, bizim de ondan sonsuz miktarda ışık almamız gerekirdi; ama durum bu değil. Buradan bir sonuç çıkaracak olursak, sonsuz uzaklıktaki bir yıldızı görmeyiz -belli bir uzaklıktan daha öteden gelen ışığı almayız. Bu sınır kuşkusuz çok büyük bir mesafeye karşılık gelse de, sonsuz uzaklıktan kesinlikle olamaz. Olbers böylece, Evrenin bir ufuk çizgisi olduğunu gösterir. Ama nasıl?

Düşünmeye devam edelim. Bildiğiniz gibi ışık, saniyede 300 000 kilometre hızla ilerler ki bu muazzam bir hız olmakla birlikte sonsuz değildir. Sonsuz uzaklıktaki bir kaynaktan çıkacak bir ışığın bu hızla bugün bize ulaşabilmesi için, sonsuz zaman önce yola çıkmış olması gereklidir. Dolayısıyla, sonsuz miktarda ışık almadığımıza göre, belki de görünen evren de sonsuz yaşında değildir! Şimdi soru daha doğru ve hassas bir sonu-

ca ulaşıyor: Geceleri karanlık oluyor çünkü yıldızların da doğum günleri var; onlar da sürekli bulundukları yerde değiller.

Böylesi bir sonuca ulaşmak, zamanında gerçek bir devrim olarak algılanmıştı. Ancak o günden bu güne dek Evrenle ilgili algımız büyük gelişmeler gösterdi. 1923 yılında, yani Olberts'den yüz yıl sonra Amerikalı Edwin Hubble, Andromeda Nebulası'nın bizim galaksimizin dışında bir başka galaksi olduğunu keşfetti.[4] Daha sonra başka galaksiler de keşfetti ve bizden uzaklıklarını hesaplamayı başardı. Ardından -bu onun en büyük keşfiydi- bütün bu galaksilerin, görünür uzaklıklarıyla orantılı bir hızla bizden uzaklaştıklarını gördü. Böylece, 1927 yılında Georges Lemaitre tarafından ortaya atılan hipotez 1929 yılında, doğrulanmış oldu ve bu buluş zaman içerisinde bilinen ünlü bir buluş haline geldi: Evren, başlangıcında meydana gelen büyük bir patlama sonucunda genişliyor olmalıydı. Böylesine etkileyici bir fenomen, belirgin bir adla anılmayı hak ediyordu ve böylece "Big Bang" (Büyük Patlama) olarak adlandırıldı. Ama Hubble'ın, Evren'in Büyük Patlama'dan sonra her yöne genişleyerek saçıldığı yönündeki fikri nereden çıktı? Yıldızların hareket hızlarının ölçülebilmesi yönünde yapılan çalışmalardaki gelişmeler, bu sonucu doğrular nitelikteydi.

Küçükken, -çocukluk dönemimin benim üzerimdeki etkileri gayet açıktır- sık sık hayali yarışlar yaptırdığım minyatür arabalarım vardı. Erken yaşlarımda sahip olduğum hızlı araba tutkum, neyse ki ilerleyen yaşlarımda beni terk etti ama o zamanlar, tebeşirle çizdiğim yollarda onları alabildiğine hızla itelememin nelere neden olacağının bilincinde değildim; ağzımla seslerini de çıkarıyordum bir yandan. Ortamda sadece trafik lambaları yoktu. Önümden süratle geçip giden arabalar, eeeeeeeaaaaaaooooooooo diye bir ses çıkarıyorlardı. Bütün diğer arkadaşlarım gibi benim de deneyimlerimle öğrendiğim üzere, gerçek arabaların bana doğru yaklaşırken tiz bir sesle geldiğini, sonra benim bulunduğum yeri geçip daha pes bir sesle uzaklaştığını duyuyordum ama bu etkinin, Avusturyalı fizikçi Johann Doppler'in 1843 yılında eğlenceli bir biçimde trampetçinin birini trene bindirip deneyerek ispatladığı bir etki olduğunu bilmiyordum.

Doppler'in, ışığın da ses gibi bir dalga olduğunu keşfettiğinden de, aynı etkiye sahip olduğunu söylediğinden de, Fransız astronom Armand Fizeau'nun bu yöntemi yıldızların bize göre hızlarını hesaplamakta kullandığından da haberim yoktu.

Yıldızlarda yüksek sıcaklıklara ulaşan atomların her biri, belirgin bir yapıda ışık saçar: Bu ışın demetleri, farklı renklerde ışık ışınlarından oluşur (tayf olarak adlandırılır) ve bunlar, yıldızın bünyesinde yer alan elementleri karakterize ederler. Dolayısıyla, her bir yıldızın ışımasıyla ortaya çıkan bu atom tayflarından, yıldızın kimyasal yapısı analiz edilebilir. Bu ışık tayflarının, aşağı yukarı tümü, giderek düşük frekanslara doğru kayarlar; yani, Doppler-Fizeau Etkisi olarak adlandırılan bir etmenle kırmızıya doğru yaklaşırlar. Buradan hareketle, yıldızların bizden uzaklaştıklarını anlarız. Söz konusu kaymayı analiz ederek de (ki bu kayma, kendisine çok uygun biçimde "kızıla-kayma/red shift" olarak adlandırılır) yıldızın bizden hangi hızla uzaklaştığını hesaplarız. Bazıları çok uzakta ve hızla uzaklaşmaktadırlar, bu nedenle de çok kırmızıdırlar; diğerleriyse daha yakındır, bize göre neredeyse hareketsizdirler ve dolayısıyla da pek kızarmazlar. Şimdi zamanda geri gittiğimizi düşünün; bütün yıldızlar ve yıldız dolu galaksilerin, evrenin başlangıç noktasına geri döndüğünü hayal edin. Hubble bunu hayal etti ve Evren'in bir başlangıç patlamasıyla vücut bulduğu ve bu genişlemenin halen de durmadığı sonucuna ulaştı. Günümüzde bu görüş, halen kozmolojinin merkezi hipotezi durumunda. Söz konusu teorik model daha da geliştirilmiş ve yapılan hassas ölçümlerle de desteklenmiştir; bugün Büyük Patlama'yı 13,7 milyar yıl önceye tarihleyebiliyoruz. Evren'in yaşı budur; yani Dünyanın ve Güneş Sistemi'nin farklı bir yöntemle ölçülen yaşının üç katı. Bu ölçüm konusuna geri döneceğim ama evrenin yaşının, Dünya'nın yaşının üç katı olduğunu biliyor muydunuz?

Tuhaf bir sorunun, bizi Büyük Patlama'ya kadar götürdüğünü düşünürsek, soru sormayı bu noktada kesmek ayıp olacaktır. Dolayısıyla bir soru daha soracağım:

"Uzay tepemize çökecek mi?"

Fransa'da bir zamanlar olduğu üzere, ilkokul tarih kitapları hâlâ , buralarda yaşamış eski Kelt boylarının saflığıyla bu soruyu ilişkilendirmeyi sürdürüyor mu bilemiyorum, ancak bu soru, günümüzde saflık konusu olması bir yana, belki de modern kozmolojinin en gerçek ve ciddi sorularından biri.

Güneş Dünya'yı çekiyor ve Dünya da, Newton'dan bugüne herkesin bildiği üzere, elmayı kendine doğru çekiyor; bu, evrensel kütle çekimidir. Yıldızlar da birbirlerini çekiyorlar. Söz konusu çekimin kuvveti de, her bir cismin kütlelerinin birbirine uzaklığına bağlı ve Evrenin dinamiğini sağlayan en birincil etki de bu kuvvet. O halde şimdi, bir yerlerde çok büyük bir kütle yoğunlaşması, yoğun bir bulut olduğunu düşünün; bu kütle zaman içerisinde nihayet kendi içerisine doğru çökecektir ve bu büzüşme esnasında da ortaya öylesine büyük bir ısı çıkacaktır ki, nükleer reaksiyonlar başlayacaktır. Bu durum, birer nükleer fırın olan yıldızların nasıl ortaya çıkıp ışık saçtıklarının da açıklamasıdır. Sadece bizim galaksimizde bile, diğer galaksilere göre çok da genç olmamasına rağmen, yılda bir veya iki tane yıldız doğmaktadır.

Peki, Evren'in kendisini düşünürsek durum ne olur? Eğer Evren fazla yoğunsa, aynı sebepten, bütün yıldızların birbirini çekmesi ve büzüşmesi sonucunda o da kendi içine çökecektir. Ve eğer bu çekim güçlüyse, başlangıçta genişlemeye neden olan patlama noktasına bir gün tekrar geri dönülemez mi? Bu genişleme sürecinden sonra Evren'in toparlanması, yıldızların sahip oldukları hızlarla geri dönmeleri ve her şeyin yeniden bir noktaya doğru çökmesi mümkün müdür? Eğer bu benzetme doğruysa, bir gün birileri (biz değil -zira bütün bunlar çok uzun bir zaman alacaktır) bir diğer tek olaya şahit olacak ve Büyük Patlama'nm tersini görecektir ki, fizikçiler bu ihtimale de bir isim vermişler ve "Büyük Sıkışma" (Big Crunch) demişlerdir. Bir elmayı havaya fırlattığınızda, bir süre sonra yere düşüyor. Evren de kendi üzerine mi düşecek? Uzay tepemize mi çökecek?

Endişelenmeyin. Astrofizik uzmanları bu alanda büyük gelişmeler gerçekleştirdiler ve durumun konuştuğumuzun tam tersine ilerlediğini keşfettiler; Evren, giderek daha hızlanarak

genişliyor ve uzaklaşıyor. Genişlemesi ivmelenerek sürüyor ve uzay da kesinlikle tepemize çökmeyecek. Peki ama bu gerçeği ortaya koymayı nasıl becerdik? Uzun hikâye.

Bütün bunları çözüme kavuşturmak için yapılması gereken ilk iş, Evren'deki madde yoğunluğu hakkında bir fikir edinmektir. Görünür madde çok seyrektir; bir metre küp hacme tek bir hidrojen atomu düşmektedir. Bu yoğunluk, süregelen genişlemeyi tersine çevirmeye yetmez. Ama galaksilerin dönüşleri ve galaksi kümelerinin hareketleri üzerine yapılan çalışmalar, görmediğimiz birçok madde olması gerektiği sonucuna varmamıza neden olmaktadır. Bu görünmez madde neden oluşuyor olabilir?

Her şeyden önce, yıldızların etrafında dönen gezegenleri düşünelim. Bunlar kendileri etrafa görünür ışık saçmayan gök cisimleridir. Kendi yıldızları etrafında dönen bu soluk gezegenlerin varlıklarını dolaylı yollardan tespit edebiliyoruz. Örneğin, yıldızın önünden geçerek parçalı tutulmalara neden olduklarında onları gözleyebiliyoruz; yıldızdan gelen ışık, gezegenleri kendileriyle bizim aramıza girdiğinde bir miktar azalıyor. Bu durumu, belirli bir yıldızın ışığı, gezegeninin önünden geçmesi sonucunda titreştiği zaman da gözlemleyebiliyoruz; gerçekte, bizim Güneş Sistemi'mizdeki bazı gezegenlerin keşfedilmesi de bu yolla olmuştur. Bir de, yıldızlar arasında bol miktarda gaz ve toz bulutları bulunmaktadır. Velhasıl, ışısın veya ışımasın, bütün bu sıradan maddeler, Evren'deki toplam maddenin sadece yaklaşık %20'sini temsil etmektedir.

Söz konusu kayıp %80 madde için adaylar arasında "nötrinolar" (atom altı parçacıklar) yer almakta ve Evren'in bu temel parçacıklarla dolu olduğu bilinmekte, yapılan son araştırmalarla da, bunların kütlelerinin sıfır olmadığı keşfedilmiş bulunmaktadır. Bundan başka kütlesi olan ve bilinmeyen diğer maddeler de olabilir. Bütün bu, bilinen sıradan maddeler gibi proton, nötron ve elektronlardan oluşmayan tamamlayıcı maddelere verilen genel isim de "karanlık madde"dir (dark matter). Böyle anılmasının tek sebebi, söz konusu maddenin ışık saçmaması değil, neden oluştuğunu bilmiyor olmamızdır da aynı zamanda. Peki,

böyle bir maddenin var olduğu konusunda nasıl bu kadar emin olabiliyoruz? Çünkü tıpkı gezegenlerde olduğu gibi, bunları da doğrudan yollarla gözlemleyebiliyoruz. Bu madde olmaksızın, bazı galaksilerin açısal hızları anlaşılamaz niteliktedir -eğer kütle çekim yasaları tamamen değişik çalışmıyorsa... Ama bu konuya girmeyeceğim. Dünya fizikçilerini en çok meşgul eden konu, bu anlaşılmaz karanlık maddenin, Evren'de var olan toplam maddenin çok büyük bir bölümünü temsil ediyor olmasıdır. Şimdilerde bu bilmece, araştırma alanında büyük platformlar açmaktadır -öyle ki, bu bilinmezlik, karanlık maddenin temel doğasından bile daha derinlere işleyen bir hale gelmektedir.

Büyük Sıkışma ihtimali, aslında Evren'in diğer sürpriz yönlerine de bağlıdır. Özellikle, Evren'in yamulmuş olma ihtimali vardır. Einstein, Genel Görelilik Kuramı'nda kütle çekimini uzayda yamultarak temsil etmiştir. Bunun ne demek olduğunu anlamak için fizikçiler, her ne kadar benzetme biraz basit gibi görünse de, uzayı bir yatakla karşılaştırma huyu edinmişlerdir. Yumuşak bir yatağa yatıldığında, vücut, yatağı kendi şekline göre yamultur ve bölgesel yamulmalar yaratır -çukur da diyebiliriz- ve bu çukura yakın bütün komşu kütleler de onun yanına doğru yuvarlanma eğilimi kazanır. Bu analojide uzay iki boyutlu düşünülür; yamulmuş bir yüzey gibi. Ama Einstein fiziği aslında dört boyutludur; üç boyut sıradan uzay için ve bir de zaman için boyut vardır. Dört boyutlu bir uzayda yamulmayı tahayyül etmek güç olduğundan, yatak örneği gayet kullanışlı hale gelir. Her durumda kütle çekimini, o alanda bulunan kütlenin (yıldızlar, galaksiler, vs.) uzayı bölgesel olarak bükmesiyle gösteririz.

Bu noktada parantez içinde bir yorum yapmama izin verin. Belki de Evren'in kendi içindeki kütleler tarafından bükülüyor olmasının sadece soyut bir fantezi olduğuna inanıyor olabilirsiniz. Bunun, tamamen Einstein tarafından geliştirilmiş bir varsayım olduğunu ve gerçekçi olarak algılanmasının mümkün olmadığını, en azından pratik olarak gösterilemeyeceğini düşünebilirsiniz. Ama bu doğru değil! Bu etki, Merkür tutulmasının süresini ölçmek yoluyla ve gökyüzünde meydana gelen kütle çekim

seraplarını gözlemleyerek, (sıcak asfalta düşen güneş ışıklarının yansımasında gözlemlediğiniz optik serap, burada sözü geçen sapmanın göreceli eşitidir) uzayın bükülmesi nedeniyle ışığın bir yıldızın yakınından geçerken sapmasını izleyerek saptanabilir. Genel Görelilik Kuramı, saatte görülen zamanın aynı zamanda saatin yüksekliğine bağlı olduğunu, çünkü Dünya'nın da bulunduğu noktada uzayı büktüğünü ve bu uzayın geçici boyutlara sahip olduğunu iddia eder. Elbette bu etki son derece zayıf bir etkidir ama özellikle zamanın olağanüstü bir hassasiyetle ölçülmesini gerektiren bazı uygulamalarda, örneğin insan yapımı bir uydunun yörüngeye oturtulmasını düzenleyen sistemlerde (denizciler veya uzun mesafe yürüyüşçülerinin kullandığı GPS sistemleri gibi) saatlerin dünya üzerinde, bir uyduya monte edilenden daha yavaş ilerlediği hesaba katılmak durumundadır. Yani, modern fizik biraz tuhaf bir duruma gelmiş olsa da, oldukça kullanışlı bir haldedir. Burada, kara delikler hakkında da çabucak birkaç kelime eklemem gerek; zira bu konu da sık sık bilimsel dergilerin kapak konusu olmasının yanı sıra, artık günümüzde gözlemlenebilir bir gerçek halini almış bulunuyor. Madde yoğunlaşması ve sıkışması çok fazla arttığında, uzayın yapısındaki değişiklikler deformasyondan öte bir hal alır. Söz konusu sıkışma tamamen kendi içine çöker ve bir çeşit delik halini alır ki, buradan ışık bile dışarı kaçamaz. Galaksimizin merkezinde böylesine bir kara delik mevcuttur; buradaki kütle, Güneş'in 2,6 milyar katı büyüklüktedir ve kendisine yakın yıldızları içine çekip yutar. Bugün, bir kara deliğin her altı ayda bir çekilen fotoğraflarına sahibiz ve etrafında dönen yıldızları, Edgar Allan Poe'nin girdabı gibi, muazzam güçlü bir anafor yaratarak nasıl içine çekip yuttuğunu görebiliyoruz.

Dolayısıyla, maddenin bulunduğu noktada uzayı büküyor olduğu bir gerçektir. İnsan bir an için tüm uzayın bükülmüş olduğunu da düşünebilir. Böylesine esnek bir zemine bırakılan bilyeler, örneğin, bırakıldıkları yerde durmayıp, merkezdeki çukurlaşmaya doğru yuvarlanacaklar ve orada bir araya toplanacaklardır. Ama Evren'deki bükülmelerin her biri kendi özelliklerini belirler ve bunlar, dağılmanın ivmesi veya sıkışma öncesi

olası yavaşlama hızlarına bağlı özelliklerdir. 2001 yılında bu genel bükülme, "kozmik mikrodalga arka planı" adı verilen bir çalışmayla, Evren'deki radyasyonun ölçülmesi ile hesaplandı. Bunun ne anlama geldiğini daha sonra göreceğiz ama söz konusu araştırmanın sonuçlarını size hemen vereceğim: Genel bükülme yokmuş gibi görünüyor -yani Evren bükülmüş değil. Bu bilgiyi ikna edici bulup bulmayacağınızı bilemiyorum ama bu bilgi ışığında meseleye bakmak, tersi olması durumundan biraz daha kolay gibi duruyor.

Söz konusu ettiğimiz "arka plan radyasyonu" nedir? Büyük Patlama'dan hemen sonra Evren öylesine yoğun ve sıcaktı ki, bu koşullarda elektronlar iyonlarından koptular ve bütün evren elektriği ileten metal bir parça haline geldi. Yine metal gibi, şeffaf olmayan opak bir yapıya sahipti. Sıcaklık biraz düşüp, pozitif iyonlar elektronları yakalamaya ve yüksüz/nötral atomlar oluşmaya başladığında, sadece ışık Evren'de özgürce saçılabiliyordu. Bu durum Büyük Patlama'dan sonraki 380 000 yıl boyunca da devam etti ve Evren aydınlandı. 1946 Yılında George Gamow, Evren genişlerken radyasyonun seyrelmeye başlamış olması gerektiğini ve böylece soğumanın başladığını ancak arka planda bütün bu olup bitenin bir izinin kalmış olması gerektiğini -yani arka plan radyasyonunun- ve yıldızlar arasında izlenebilir, soğuk bir çeşit ışık formunda görülebilmesi gerektiğini tahmin etmişti. Ve 1965 yılında da iki Amerikalı astronom, Arno Penzias ve Robert Wilson, bunu keşfettiler! Bu keşif, gayet açık biçimde, Büyük Patlama modelinin geçerliliğinin bir ispatıydı ama ben bu konuyu daha fazla uzatıp, fizikte tahminlerin gücü ve önemi konusunu uzun uzadıya sürdürmeyeceğim. Günümüzde, uzaya fırlatılan uydulara yerleştirilen sıvı helyumla soğutulmuş detektörler sayesinde, söz konusu radyasyonun karakteristiklerini ölçebiliyoruz: Uzayın arka plan sıcaklığı 2,73 Kelvin derece (yaklaşık -270 santigrat derece) olduğu sürece her şey olması gerektiği gibi davranıyor. Bu arka plan radyasyonu, bir parça kızıl demir eriyiğinden çıkan ışığa çok benziyor ancak demirin bu belirgin, yaklaşık 0.6 mikron dalgaboyunda, kıpkızıl ışığı çıkarması için 1000 derece sıcaklığa sahip olması gerekiyor;

oysa uzayın arka planı gayet soğuk ve yaklaşık 1 mm dalgaboyunda, çok zayıf bir mikrodalga radyasyonu saçıyor (kızılötesi ve radyo dalgası arası bir değer). Evrenin bükülmesiyle ilgili ölçümler, işte bu arka plan radyasyonunun ölçülmesine yönelik yoğun çalışmadan veya daha doğru bir deyimle, homojen olmayan bu değerin incelenmesiyle elde ediliyor. Bugün şunu biliyoruz ki, Evren'deki toplam bükülme, pratik olarak sıfır noktasında bulunuyor. Bu bulgu, beklenen bir sonuç değildi, özellikle de diğer ölçümlerle bağlantılandırıldığında görülen odur ki, söz konusu bilgi bizi hiç de daha az sürprizi olmayan yepyeni bir iddiaya götürmektedir.

Fizikçiler, Evren'in genişlemesini etkileyen bir diğer kuvvetin varlığını daha keşfettiler ve bu kuvvetin, "karanlık enerji" adını verdikleri, "karanlık madde" ile karıştırılmaması gereken bir kaynaktan geldiğini buldular. Belki şu anda benimle ilgili, bir fizik profesörü olmama rağmen, kuvvet ile enerjiyi birbirine karıştırdığım yönünde bir izlenime sahipsinizdir. Sizi temin ederim, kuvvetin enerjiden türediğini, dolayısıyla bunların birbirleriyle ilintili iki farklı değer olup, aynı şey olmadıklarını biliyorum. Terminolojiyi bir yana bırakırsak, nedir bu karanlık enerji? Bu kuvvet veya daha ziyade, gerilim, daha doğru bir deyimle, yıldızları birbirinden ayrı tutmayı sağlayan itme eğilimi, aynı zamanda Evren'in genişlemesine de neden olan negatif gerilim unsurudur. Negatif baskı nosyonuna, kitabın 8. bölümünde, ağaçların boylarıyla ilgili bir tartışmada geri döneceğim, zira bu içeriğin profesyonel fizikçileri bile rahatsız eden bir konu olduğunu biliyorum ve kendi yaptığım araştırmalardan birinin de konusu bu olmuştur. Şimdi, bir silindirin içine doldurulmuş bir gazı, piston aracılığıyla sıkıştırdığımızı düşünelim. Bu durumda, silindirin içindeki gaza pozitif bir baskı uyguluyor ve böylece maddenin içindeki atomları ve molekülleri birbirlerine yaklaşmaya zorluyoruzdur. Eğer bunun tersi bir eylem düşünürsek, yani pistonu bastırmak yerine çekersek, silindirin içindeki gazı genleştirmiş ve moleküllerin birbirinden uzaklaşmasını sağlamış olurduk. Burada karşılaşacağımız problem, sıradan, klasik bir gaza negatif baskı uygulayamayacağımızdır; bu imkânsızdır.

Basıncı normal atmosfer basıncından (+1 bar) daha düşük bir seviyeye indirebiliriz ama bu durumda basınç azaldıkça gaz giderek seyrelir seyrelir ve sonunda basıncı ve yoğunluğu sıfır olur. Bu ideal gaz kanunudur; gazı gaz yapan molekül ve atomların birbiriyle girişimi olmazsa, ortamda gaz kalmaz. Diğer yandan, negatif basıncı bir katı cisme veya klasik bir sıvıya uygulamak kolaydır; bunun anlamı, cismi sert biçimde çekiştirmektir. Yüksek ağaçların üst kısımlarında, bitkinin özsuyunu taşıyan damarlardaki basıncın negatif olduğunu görürüz. Ama Evren, bir katı veya sıvıdan çok, içeriğinde yıldızlar olan bir gaz gibidir ve moleküller arasındaki sıkı bağlar onun kurallarını belirler.

Evren'in negatif basınç altında olması için, orada klasik olmayan bir sebebe ihtiyacımız vardır; aslında kuantum bir nedene ihtiyaç vardır. Bunu açıklaması biraz zor işte ama hiç de şaşırtıcı değil; bu durum birçok araştırmacının karşı çıktığı bir saptamadır. 21. yüzyılın başından beri, Evren'i çekiştiren karanlık enerjinin varlığını biliyoruz; aynı karanlık enerjinin, ister görünsün ister görünmesin, Evren'in dinamiği üzerindeki etkisinin, Evren'de yer alan toplam maddenin etkisinden üç kat daha yoğun olduğunu da biliyoruz. Ve son olarak, söz konusu karanlık enerji nedeniyle Evren'in hızlanarak genişlediğini ve bunu 5 milyar yıldır sürdürdüğünü, aksi takdirde, böyle bir etki olmasaydı genişlemenin zaman içerisinde yavaşlaması gerektiğini de biliyoruz. Sadece arka plan radyasyonu üzerinden değil, bazı belli yıldızların patlaması ve kütle çekimi serapları üzerinden yapılan hesaplamaların da katkısıyla, bu sonuçla tutarlı bilgiler veren hesaplamalar yapılmış bulunuyor. Dolayısıyla, karanlık enerji dediğimiz olgunun varlığından eminiz ama nereden gelmiş olabileceği konusunu henüz bilmiyoruz. Bazıları, "boşluğun kuantum dalgalanmaları" adını verdikleri bir önermeyle öne çıkıyor ama bunun için, gerçeği gözlemlemek adına benzeri olmayan devasa miktarlarda karanlık enerji gerekmekte. Dolayısıyla kaynak başka yerdedir. Acaba Evren'de bilinmeyen bir simetri mi var? Yoksa genel görelilik ve kuantum mekaniğini bir araya getiren "süper simetri" adı verilen teoriler mi bundan sonraki keşiflere öncülük edecek?

İşte burada, çağımız araştırmalarının öncü koluna ulaşmış bulunuyoruz; fizikçilerin bilmediklerini, anlamadıklarını itiraf ettikleri bilgilerin ileri koluna. Bir yüzyılda Evren'le ilgili birçok şey öğrenmemize rağmen şimdi sorulan sorular, önceki sorulardan çok daha gizemli.

Bu bölümü bitirirken Einstein hakkında bir söz daha edeyim. Şu işe bakın ki, yukarıda sözünü ettiğim tür gizemli bir kuvvetle ilgili ilk kez ortaya bir fikir atan da yine Einstein'dir. Bu fikri 1916 yılında, adına "kozmolojik sabit" dediği bir sabitle ortaya koymuş, Evren'in dinamiğini tarif eden bir formülüne eklemiştir. Bunu yapmış olması çok ilginçtir çünkü o tarihte henüz Büyük Patlama teorisi ortada yoktu ve Einstein Evren'in durağan olduğunu düşünüyordu. Fakat yıldızlar birbirlerini çektiklerinden, kurduğu modelde Evren'in kendi içine çökmesine engel olan bir kuvvete ihtiyaç duymuştu. Dolayısıyla, aslında Einstein formülüne eklediği sabitle, bugün bizim "karanlık enerji" dediğimiz unsuru tarif ediyordu. Sonradan, hiçbir fiziksel doğrulaması olmayan bu sabitin zorlama olduğunu ve böylesine bir sabiti ortaya atmasının hayatının hatası ("en büyük gaf") olduğunu hissetti. Bugün, Einstein'ın sayesinde (belki de kendisine rağmen), kozmolojik sabit yeniden gün yüzüne çıktı.

Bu konuyu düşündüğümde, hepimizin, Evren'in, doğanın, Dünya üzerindeki yaşamın -hepsinin- durağan ve bonkör olduğuna ve bütün bunların bize armağan edilmiş güzel dengesini bozmadığımız müddetçe geleceğin büyük felaketler getirmeyeceğine inanma eğilimi taşıdığımız hissiyatındayım. Bu düşüncenin ardında, Dünya'nın sonsuza dek varlığını sürdürmek üzere yaratılmış olması gerektiğine duyulan bir inanç olmalı. Ancak, şu gerçek itiraf edilmek zorundadır ki, bu görüş yanlıştır; Evren durağan değildir ve Güneş ve Dünya üzerindeki hayat bir gün sona erecektir. Bu durum, söz konusu sona daha hızlı varmak için bir neden değildir ama yaşam ve özellikle de insan yaşamı, Evren'in uzun hikâyesinde sadece kısa bir bölümdür.

2. Bölüm

Kuzenim Pırasa

21 Ocak 2001,

Dün, ruh hastalıkları uzmanı (nöropsikiyatrist) arkadaşım Pascale ile öğlen yemeğindeydim. Bana Rorschach Testi* konusunu anlatıyordu. Bir kâğıdın üzerine biraz mürekkep koyuyorsunuz. Kâğıdı ikiye katlıyorsunuz sonra tekrar açıyorsunuz. Böylece kâğıtta simetrik iki mürekkep lekesi elde ediyorsunuz. Sonra da karşınızdakine, bu lekelerin kendisine ne düşündürdüğünü soruyorsunuz.

Arkadaşımın çalıştığı hastanede, bu sonuçları ve eski test sonuçları analizlerini, testi tamamlayan kişiler hakkındaki bilgileri ve onları tekrar nerede bulacaklarına dair detayları saklıyorlarmış. Sonradan da, bu insanların ne olduğu konusunda bilgi almayı umuyor, yıllar önce kendileri hakkında yapılan psiko-analitik analizler ve teşhislerle, o anda içinde bulundukları durumu karşılaştırıyorlarmış.

"Mükemmel bir iş!" diye düşündüm. Bu yöntem, insanın işinde kullanabileceği çok güzel bir bilimsel metodoloji örneğiydi ve daha da etkileyici olan yönü, bu psikiyatrların, ilk analiz-

* Rorşah Testi: Nörotik eğilimleri saptamada kullanılan bir kişilik testi. Ç.N.



Resim 1. Hermann Rorschach'ın psikolojik testini hazırlarken yarattığı simetrik mürekkep lekelerinden biri.

leri sırasında yapmış olabilecekleri herhangi potansiyel hataların açık delilleriyle yüz yüze gelme cesaretine sahip olmalarıydı!

Bu deneylerin sonucunda ortaya çıkabilecek çeşitli senaryolar üzerine konuşup gülüştük. Söz konusu deneylerin insanlarla ilgili olan yanının ötesinde, muhtemelen Rorschach testinin olası zayıf yönlerini ortaya çıkarmak ve bu teşhis yönteminin gelişmesine katkıda bulunmak anlamında da yararları vardı.

Askerliğimi yaparken, zorunlu olarak Rorschach testine girdiğim zamanı hatırladım; şimdi gerçekten merak ediyorum, test programını yöneten o psikiyatr albay benim için nasıl bir tanı koymuş olabilir acaba. Bu konuda hiç kimse benimle bir daha konuşmadı ve dolayısıyla ben de, testin bana uygulanmasındaki amacın tam olarak ne olduğu yönündeki merakımı yüksek sesle dillendirmek durumunda kaldım. Acaba askerin psikolojisini anlamak amacıyla herkese mi yapılıyordu? Veya bazı isimler, bir çeşit Büyük Abi (Big Brother) arşivinde dosyalanıyor muydu?

Psikiyatr arkadaşımla yine birbirimize gülümsedik.

Her ikimiz de birbirimize gerçekten güvendiğimizden, Pascale'ye görünürde kritik şu soruyu sorma özgürlüğümü kullandım:

"Nasıl oluyor da, simetrik mürekkep lekeleriyle gerçekten insanların psikolojilerini test edebiliyoruz?"

Simetri, hepimiz için tanımsız bir kavram olmaktan çok uzak. Bedenlerimiz hemen hemen simetrik bir yapıya sahip; en azından görünürde öyle. Aynaya baktığımızda, sol yarımızın sağ yarımıza benzediğini açıkça görüyoruz.

Benzemek... Ama hepsi bu kadar; sağ elimiz ve sol elimiz var ve birbirinin tam olarak aynısı değiller. Gayet iyi biliriz ki, sol eldiveni sağ elimize giyemeyiz. Vücudumuz da simetrik iki yarıdan oluşur (düzlemsel olarak), sol yarı ve sağ yarı, ama tıpatıp aynı değildirler.

Bazılarımız ideal bir uyuma, tamamen simetrik bir vücuda sahip olmaya özenebilirken, bazılarımız da tam tersine, insan vücudunun tam olarak simetrik olmayışından keyif alır. Bir diğer psikolojik araştırmacılar grubu da, doğru bir yüzün yarısını tamamlayıp, diğer yarısını bilgisayarda sentezleyip hesaplayarak tam simetriği ile birleştirerek portreler elde etmişler. Bu mükemmel sonuçlar biraz tuhaf görünüyor. Arka plandaki beyinle birlikte görüntüleri analiz eden gözler, simetriden kaynaklanan en ufak farklılıkları tespit edebildiği ve bu beceri aynı zamanda bilinçaltının gücüyle de alakalı olduğundan, bütün bu sistem merak uyandırıcı ve etkileyici hassasiyete sahip bir makinedir. Sanırım psikologlar bu tür soruları sürekli düşünüyorlardır... Ama Pascale, bu çeşit sorunları nasıl çözmeyi denedikleri konusunda bir şey söylemedi.

O zaman ona başka bir soru sordum:

"Yaşayan organizmalardaki simetriyle ilgili büyük bir bulmaca olduğunu biliyor muydun?"

Bu soruyla nereye varmak istediğimi anlamamış göründüğünden, ona nasıl bütün canlı organizmalarla kuzen olduğumuzu açıkladım. Sadece büyük bir aile olarak biz insanlarla değil, fakat pırasayla, köpek balığıyla ve porcini mantarıyla veya eğer tercih ederseniz, girolle mantarıyla da bağımız vardır.

Canlı organizmalarda bulunan moleküllerin çoğu simetrik değildir. Bununla söylemek istediğim, aynadaki görüntü misali, birbirlerinin tıpatıp benzeri değildirler. "Chiral", yani sol elimin aynadaki görüntüsünün sağ elim olması gibi bir özelliğe sahiptirler.

Dolayısıyla, solak ve sağlak moleküller vardır. Bunlar DNA içerirler ve DNA, çok uzun, kendi etrafında dolanmış, kromozomlarımızı oluşturan moleküllerdir. DNA kalıtsallığın temelidir ama eğer bu konuda konuşmaya başlarsam, sol ve sağ meselesiyle ilgili yoldan çıkmış olacağım. Bu konuya ileride dönme şansımız olacak.

Burada beni ilgilendiren, DNA molekülünün kendi etrafında dolanan helezonik, çift sarmallı gibi iki şeritten oluşan bir zincir olması. Tirbuşon da helezoniktir ve bir yönü vardır. Mantara sokarken, eğer elinizdeki solaklar için yapılmış bir tirbuşon değilse, genelde sağa doğru çevirerek ilerletirsiniz. Aynı sağlaklar için ve solaklar için ayrı tirbuşonlar olduğu gibi, sağlak ve solak helezonlar da vardır. Her durumda DNA sağlak bir helezondur! Bu durum sadece insan DNA'ları için değil, bütün canlı organizmalarınkiler için de doğrudur. Buna ilaveten, başka birçok 'chiral' molekül de vardır; amino asitler gibi. Ancak bunların her iki formunu birden asla bulamazsınız; her bir amino asit veya diğer bir biyomolekülün, her canlı organizmada ya sağlak olanları ya da solak olanları bulunur -bu konuda doğa herkes için aynı seçimi yapmıştır.

Yaşamdaki bu simetri, 1844 yılında bir Alman kimyager olan Misterlich tarafından keşfedilmiş, sonra Pasteur tarafmdan, kabuklu tortuları oluşturan kristal yapılar veya şarap fıçılarında bulunan tartar için yaptığı araştırmalarda üzerinde titizlikle çalışılmıştır. Bu tür kristal yapılar çok farklı optik özelliklere sahiptirler; ışık titreşimlerini toparlayıp sağa doğru çevirirler. Ama 1848 yılında Pasteur, tartar kristallerini test tüpünün içinde sentezlerken, tıpkı aynadaki görüntü gibi, hem solak hem de sağlak kristaller buldu. Gerçekte kimyasal sentezleme esnasında sağlak kristal olduğu kadar solak kristal olduğunu bulmak gayet normal görünüyor çünkü her iki durumda da atomlar mole-

külün içerisinde, ister solak olsun ister sağlak, tamamen aynı bağlara sahiptirler.

Ama durum böyleyse, neden bu biyomoleküller vivolarda (yaşayan organizmalarda) sadece sağlakken, vitrolarda (test tüpünün içerisinde) hem sağlak hem de solak olabiliyorlar ki? Bu sorunun cevabının, genel olarak Dünya üzerindeki yaşamın başlangıcıyla ilgili olduğuna inanılıyor.

Dünya üzerinde yaşam, nerdeyse 4 milyar yıl önce, tam olarak anlaşılamamış bulunan koşullar altında ortaya çıktı ama genel inanç odur ki, hepimizin ilk atası tek hücreli bir organizmaydı. Eğer birçok organizma farklı yerlerde aynı zamanda belirmişse, bazı organizmaların sağlak bazılarının da solak olmaması için hiçbir neden yok demektir -moleküller anlamında demek istiyorum. Bu durumda solak organizmaların sağlak olanlara oranla daha fazla yaşama şansı olması gibi bir durum da düşünülemez. Dolayısıyla birçok bilim insanı, tüm canlı organizmaların ortak bir atadan geldiğine inanırlar. Yani, bu tek hücreli ilk ata, birkaç milyar yıl önce, yaşamını sürdürmek amacıyla kendini çoğaltmaya başlamış olmalı. Bu aşamadan sonra gelişmiş olduğunu bildiğimiz mutasyonları da, bitkileriyle, mantarlarıyla, memelileriyle, balıklarıyla, türlü türlü böcekleriyle devasa evrim ağacının dallarını açıklama işini biyologlara bırakıyorum. Bu biyologlar söz konusu tek hücreli ataya bir de isim takmışlar: LUCA, "Last Universal Common Ancestor" (Son Evrensel Ortak Ata).

Bu bakış, Adem'in, ve tabii onun kaburga kemiğinden dünyaya gelen Havva'nın (elbette Adem'i bir varsayım olarak düşünmüyorsak bu mümkün) durumundan bambaşka bir senaryo. Bilim insanlarının ortaya çıkarttığı ve doğrulamak için çok çalıştığı gerçek çok daha basit ve heyecan verici; bizler pırasalarla, köpek balıklarıyla, porcinis yabani mantarıyla aynı uzak ataya sahibiz. Acaba kaç kişi bunu biliyor ve üzerine düşünüyor? Korkarım birçok kişi büyük bir bağlılıkla hâlâ Adem ve Havva efsanesine inanıyor ve kendi gerçek başlangıcını merak bile etmiyor.

Sol ve sağ arasındaki eşitlik, Dünya üzerindeki yaşamın başlangıcı konusuyla kesintiye uğradı. Yaşam, sağ-sol simetrisini kırdı.

Bunun fizikle ne alakası var? Canlı organizmaların neden sağlak ve solak moleküllerden oluştuğunu (yine basitleştiriyorum) merak ettiğimiz gibi, neden Evren'in maddeden oluşup, maddeye simetrik başka bir şeyden, yani karşı-maddeden oluştuğunu düşünmeyelim ki? Belki biraz bu karşı-madde kavramının bilim kurgu romanlarından çıkma bir fantezi olduğunu düşünüyorsunuzdur? Veya sadece kütle ihtiva eden şeylerin madde olduğunu? Yirminci yüzyılda bu inanışların hepsini gözden geçirmek durumundaydık ve bu gözden geçirmenin hikâyesi, fiziğin de bazen sürprizler ve hayal temelli sıçramalarla gelişme kaydedebileceğini gösteren, hayretler uyandıracak yollar çıkardı ortaya.

İlk sürprizlerden biri, 1928 yılı gibi ortaya çıktı. 1902 yılında Bristol'de doğan İngiliz fizikçi Paul Dirac, ki daha sonra Cambridge'de Newton'dan sonra aynı kürsünün başına geçecekti, günümüzde kendi adıyla anılan eşitliği yazdı. Görecelilik Kuramı ve kuantum mekaniği daha gençliklerini yaşamaktaydılar. Einstein, kütle ve enerji arasında bir ilişki kurarak (ünlü eşitlik $E=mc^2$) uzay ve zamanı sıradan algılayışımızı altüst etmiş ve Galileo ve Newton tarafından geliştirilen klasik mekanik kanunlarının, nesnelerin hızı evrensel sabite, yani ışık hızına yaklaştığında neler olacağının düşünülerek yeniden yapılandırılmaya ihtiyacı olduğunu ifade etmişti. (Umarım, böylesine belirleyici bir bilimsel devrimi bu kadar az kelimeyle özetlemekten dolayı affedilirim.) Kendi payına kuantum mekaniği, parçacıkların davranışlarını -ki dalga formunda hareket ediyorlardı- tanımlamada -ki bu da küçük bir şey sayılmazdı- kontrolü eline almıştı ama temel eşitlik, yani Schrödinger'in eşitliği, sadece parçacıkların hızları ışık hızına göre daha düşük olduğu sürece geçerliydi. Ama hidrojen atomunun bünyesindeki elektron hızlı hareket ediyor ve dolayısıyla sadece kuantum mekaniğiyle değil, görelilik ile de açıklanması gerekiyordu. İşte Dirac, hızla hareket

eden elektronların davranışlarını tarif edebilmek için, Schrödinger'in eşitliğinin bir genellemesini yazdı.

Eşitliğinden elde ettiği sonuçlar arasında Dirac, başlangıçta aradığına karşılık gelen ikiliyi buldu. Bunlar, mıknatıslanmaları (kuantum fiziğinde buna elekronların "spin"i deniyor) ya aşağı, ya da yukarı doğru yönlenen elektronlardı.

Sonra Dirac başka bir şey daha buldu. Yazdığı eşitlik, başlangıçta içine koymuş olduklarından daha fazlasını veriyordu. Çözümlemelerinde, Dirac'm anlamakta sıkıntı yaşadığı başka bir tip parçacık daha beliriyordu. Bu yeni parçacıklar ya negatif enerjiye sahipti -ki bunu kavramak zordu-, ya da elektronun tersi yüke -yani pozitif yüke- sahipti. Dirac önce bu pozitif yüklü parçacıkların protonlar olduklarını düşündü ama çalışmaları üzerine Robert Oppenheimer ve Hermann Weyl tarafından yapılan bazı yorumlardan sonra, 1931 yılında, bu diğer parçacıkların ancak elektronlar kadar kütleye sahip olduklarını (protondan yaklaşık 2000 kat daha küçük) ama pozitif yüklü olduklarını ortaya koydu.

Bu durum matematiksel bir fantezi miydi? Teorik bir merak mı? Hiç değil! Sadece bir yıl sonra, 1932 yılında, Carl D. Anderson bu yeni karşı-elektron parçacıklarını deneysel olarak keşfetti ve adlarım "pozitron" koydu. Bu parçacıklar, atmosfer üstü tabakada kozmik ışınlar tarafından, yani Güneş'ten gelen radyasyonca üretiliyorlardı. Mamafih, her kütlesi olan şeyin madde olması gerekmediği doğruydu; karşı-madde olabilirdi, yani ters elektrik yüklü bir çeşit başka madde.

Daha sonra Richard Feynman bu parçacıkları daha genel bir şekilde tanımladı ve bu tanımda karşı-parçacıklar (anti) parçacık olarak temsil edildiler -ancak parçacıklar zaman içerisinde ileri doğru hareket edeceğine geriye doğru hareket ediyorlardı.[5]

Fizikçiler bizi karşı-maddeyi maddenin simetriği olarak düşünmeye zorladıktan sonra -elektrik yükleri dışında-, şimdi de normal zamanın aynadaki görüntüsünü düşünmeye zorluyorlar; yani geri doğru akan zamanı düşünmeye. Feynman aynı zamanda, madde ve karşı-madde birbiriyle buluştuğunda birbirini nasıl yok ettiğini ve bu sırada bir tür çok yüksek enerjili ışık

ürettiklerini açıkladı: "gama ışını fotonları." Sürecin tersindeyse, yüksek enerjili bu ışık ışını, toplam kütleyi bir madde parçacığı ve bir de karşı-madde parçacığı kadar artırmaktaydı. Işık ve madde arasındaki fark da böylece ortadan kalkmaktaydı.

Maddenin ortaya çıkıp sonra yok olması, kendini ışığa dönüştürüp sonra tekrar geri maddeye dönüşmesi, bir kez daha maddenin düşündüğümüz şey olmadığını kanıtladığı gibi, defalarca deneylere konu edilerek doğrulanan şaşırtıcı fenomenlerdir. Söz konusu deneylerin yapılabilmesi için yüksek enerji seviyelerinde gerçekleştirilen olaylar üzerinde çalışılması gerekmekteydi ve bu koşullar, 1955 yılında Stanford Üniversitesi'nde başarıyla kurulan bir parçacık hızlandırıcı aracılığıyla sağlanmıştı. Günümüzde, bilinen bütün parçacıklara simetrik olan karşı-parçacıklar keşfedilmiş durumdadır. Fotonlar gibi bazı parçacıklar -ışık kuantumları- aynı zamanda kendilerinin karşı-parçacıklarıdırlar ama bunların dışındaki karşı-elektronlar, karşı-protonlar vs. açıkça varlıkları kanıtlanmış kütlelerdir. Yakın bir geçmişte, hidrojenin karşı-atomu da, anti-proton etrafında dönen bir pozitron aracılığıyla başarıyla türetilmiştir ve şimdi merakla görmek istediğimiz de, bu anti-atomun Dünya'nın kütleçekim alanına, aynı normal hidrojen atomu gibi bir hızla düşüp düşmeyeceğidir. Bu alandaki gelişmeler konusunda daha fazla konuşmayacağım ama karşı-madde keşfinin çok yakında tetikleyeceği başka bir konuya geçeceğim.

Karşı-madde, velhasıl, var olduğu bilinen bir gerçektir. Evren'in bilinen tarihinin başlangıcında, Büyük Patlama'dan hemen sonra enerji o kadar yüksekti ki, madde ile radyasyonu birbirinden ayırmak mümkün değildi. Eğer durum gerçekten böyle idiyse -ki hemen herkes böyle olduğuna katıldığını itiraf etmektedir- maddenin ışıktan ayrılıp ortaya çıkması, Evren yeterince genişleyip enerji yoğunluğu düşünce gerçekleşmiş olmalıdır. Ama o zaman, eğer madde ile karşı-madde arasında gerçekten simetri varsa, neden Evren'de madde kadar karşı-madde yok ki? Sonuçta, fizikçilerin devasa parçacık hızlandırıcılarda gözlemeye çalıştıkları da budur; maddeyi yarattıklarında, aynı miktarda karşı-madde de yaratmaktadırlar.

Problem şu ki, eğer Evren'de eşit miktarda madde ve karşı-madde olsaydı, bunların bir araya gelmeleri birbirlerini yok etmeleri anlamı taşıdığından, ortaya muazzam miktarda enerji çıkardı. Şimdi gelin, söz konusu büyüklüğü birlikte hesaplayalım; burada $E=mc^2$ eşitliğini kullanma fırsatı gerçekten çok çekici. Bir kilogram hidrojenin, yine bir kilogram karşı-hidrojenle birleştiğini düşünelim. Astronomik ölçekte çok küçük kütlelerden söz ediyor olmamıza karşın, ortaya çıkan enerji miktarı $2mc^2$ kadardır. Formüldeki m=1 kg ve c(ışık hızı)=300 000 000 metre/saniye olduğuna göre, çıkan sonuç 180 katrilyon jül, yani, altı nükleer santral barındıran bir enerji tesisinin bir yılda üreteceği toplam enerji miktarına eşit olacaktır.

Eğer Evren'de böyle bir buluşma meydana gelseydi öylesine büyük bir ışık saçardı ki, bugün bile hâlâ görünüyor olurdu. Peki, Evren'de neden madde var da (yani hepimizi meydana getiren şey) karşı-madde yok? Bu, başarılı Dirac eşitliğinin sonucunda ortaya çıkan can sıkıcı bir sorudur ve gerçekte hâlâ çözümlenebilmiş olmasa da, bazı cevapların hangi yoldan gidilerek bulunabileceği bilinmektedir.

Evren'in başlangıcında ortamda bulunan dalgalanma, Büyük Patlama'nın ilk anlarında simetriyi bozmuş ve bunun sonucunda da arta kalan az miktarda fazladan karşı-maddesiz madde bugüne kadar gelmiş olabilir. Bir kurşun kalemin ucunu bir zemine dayayıp serbest bıraktığımda, bu serbest bırakma anındaki tam pozisyonuna bağlı olarak kalem bir yana doğru düşecektir. Bu kalem, ideal bir fizikçi tarafından ideal biçimde tasarlanıp, en ideal biçimde dengelenerek zemine dayansa bile, modern fiziğin bize öğrettiği üzere her şey dalgalandığından ve bu durum söz konusu ideal kalemin serbest bırakıldığı tam o anda da geçerli olduğundan, kalemin bir yana hafifçe yatık durmadığından emin olmamız imkansızdır. Bu hafif dengesizlik sorunları veya rasgele simetri bozulmaları, sıvıdan katıya geçiş ve birçok diğer benzer halde olduğu gibi, durum değişimlerini anlamakta fiziğin geldiği gelişme çizgisinin tam da merkezindedir. Ancak Evren'de olduğu gibi, madde ve karşı-madde arasındaki simetri çok derin nedenlerin sonucuymuş gibi görünmektedir.

Uzun bir süre fizikçiler, Dünya'nın aynadaki görüntüsünü gözlemlediklerinde bütün fizik kanunlarının yine aynı olacağına inandılar ve bir ayna olmaksızın Dünya'nın doğrudan gözleminin daha farklı olabileceğini akıllarından geçirmediler. Şimdiyse biliyoruz ki bu düşünce yanlıştır; "P değer eşitliği -parite" olarak da adlandırılan ayna simetrisi, bazı etkileşimler için ayniyetini korumaz. Elektriksel veya manyetik etkileşimlerle ilgilendiğimiz sürece veya kütle çekimine bağlı olanlarda bile (kütleler arasındaki çekim) problem olmaz. Ama doğada iki tane daha etkileşim biçimi vardır; bunlardan birincisi, nükleer maddenin bağlarından sorumlu olan "kuvvetli" etkileşim ve bir diğeri de, nükleer ayrışma işlemlerinde oyuna katılan "zayıf" etkileşimdir. 1956 Yılında T. D. Lee ve C. N. Yang, zayıf etkileşimin ayna simetrisine saygı göstermeyebildiğini iddia etmiş ve C. S. Wu da, radyoaktif kobalttan elektron salınımı üzerine yaptığı çalışmalarla bu simetri bozulmasını açıkça göstermiştir. Velhasıl, zayıf etkileşimin ayna dünyasında aynı biçimde görülmediği ispat edilmiş bir gerçektir; fizikçilerin dediği gibi, "pariteyi bozar."

Varolan bilgi seviyemize göre, fiziksel bir sisteme üç dönüşüm uygularsak, tam olarak aym kanunlara itaat eder hale geleceğine inanırız; solak bir 'chiral' nesneyi (sol el gibi) kendi sağlak ayna yansımasına (sağ el gibi) dönüştüren ayna simetrisi P; zamanın yönünü tersine çeviren dünyevi-geçici simetriye karşılık gelen T ve son olarak da, madde ile karşı-madde arasındaki geçişi sağlayan yük simetrisi C'yi işin içine katarsak. Sovyetler Birliğinin sahip olduğu hidrojen bombasını icat ettikten sonra, kahramanca ülkesinin rejimine başkaldıran ve bu nedenle 1975 yılı Nobel Barış Ödülü'nü kazanan büyük fizikçi Andrei Sakharov'u biliyor musunuz? 1965-67 yılları arasında, kendisiyle karşıt görüşte olan ülkenin aydın dehâlarını bir araya toplayan Sakharov, elektrik yüklerinin işaretlerinin ve paritenin (benzerliklerin) yerlerini değiştirmenin (örneğin, bir CP dönüşümü uygulayarak), Evren'de mutlaka bir değişikliğe sebep olacağını söyledi. Bunun anlamı, zamanın ilerleme yönü tersine döndürüldüğünde, Evren'i idare eden kanunların da değişmek zorunda oldu-

ğuydu -en azından, Evren tarihinin başlangıcında yer alan yüksek enerjilerle ilişkili kanunların.

Zamanın yönüyle ilgili şu işi biraz daha belirgin hale getirelim. Boltzmann'dan[6] bu yana biliyoruz ki bizim ölçeğimizdeki, yani "makro seviyede bir sistemde" bir cisim için zaman, giderek artan bir biçimde akar; oyun kartlarından bir ev kurar ve başında, ona dokunmadan bir süre beklersem, büyük ihtimalle bir süre sonra kartlar nihayet yere yapışacak ve yapı bozulacaktır. Ve eğer sonradan bir hava akımının esmesini ve karttan yapılma evimi yeniden kurmasını ümit edersem, çok beklerim; çünkü bunun olasılığı yoktur. Dolayısıyla, akan zamanı algılayışımızdaki yön konusu, düzen ve istatistiksel olasılık üzerine sorularla belirlenir. Ama uzunca bir zaman, bu durumun parçacıklar için farklı olduğunu düşündük. İki bilardo topunun çarpışmasını izlediğimiz bir film seyrederken, aslında filmi ileri doğru mu, yoksa geri doğru mu izliyor olduğumuzu tam olarak bilemeyiz. Aynı biçimde, parçacıklar için geçerli kanunların da, zamanın akış yönünden bağımsız olduğunu düşündük. Ama bu yanlıştı; oysa şimdi, "nötür K mezonları"* olarak adlandırılan belirli parçacıkların ayrışma işlemlerine aşinayız ki bu işlemler, zamanın simetrisini bozan işlemlerdir.

Dolayısıyla, Evren'in başlangıcında bazı belli parçacıkların bozunmasının, karşı- maddeden daha fazla madde doğmasına neden olması veya bazı parçacıkların yaşam sürelerinin kendi karşı-parçacıklarının ömründen farklı olması mümkündür. Bazı fizikçiler aktif olarak bu tür işlemler arıyorlar ve onları buluyorlar da. 2004 yılında, "BaBar" olarak adlandırılan bir deney sırasında, B mezon adı verilen bu tür egzotik parçacıkların kendi karşı-parçacıklarından daha uzun yaşadıkları keşfedildi. Evren'in başlangıcında madde/karşı-madde simetrisini bozan mekanizmaların bilindiğini iddia etmeye kesinlikle cesaret edemem, zira anlaşıldığı kadarıyla bu konuda birçok olasılık var. Yine iddia edemeyeceğim bir diğer konu da, neden maddenin yoğunluğunun, hâlihazır Evren'de bizim gözlemlediğimiz şekil-

* Mezon: Elektronla proton arasındaki parçacıklar. Ç.N.

de olduğunu anlayabildiğimizdir. Esasen bu konu, parçacık fiziği açısından yirmi birinci yüzyılın heyecan verici yönlerinden biridir. Büyük olasılıkla fizikçiler, hâlihazırda bilinen parçacıkları da açıklayan bir "standart model" oluşturan davranışlara sahip diğer parçacıklar da keşfedecekler ve giderek bu konuyu geliştireceklerdir. Ve sonra belki biz de, var oluşumuzu sağlayan -ve hepsi bizler gibi maddeden yapılma yıldızlara, kara deliklere ve elbette sevgili kuzenlerimiz pırasalara var olmalarını sağlayan- asimetrinin gizemli kaynağı hakkında kafa yorabilmek için daha iyi bir fikre sahip olacağız.

Belki de bu nedenle şu simetrik mürekkep lekeleri konusunda bu kadar heyecanlanıyoruz ve ortaya çıkan şekiller insanı böylesine kendini dışa vurmaya, içimizdeki içgüdülerle tepki vermeye itiyor; bir şekilde bize orijinimizi ve Evren'deki diğer her şeyle ilişkilerimizi hatırlatıyorlar.

3. Bölüm

Ben Radyoaktifim

Evet, ben radyoaktifim ve bu bağlamda bakıldığında siz de radyoaktifsiniz. İnsandaki doğal radyoaktivite kilo başına yaklaşık 100 bekerel (100 Bq/kg) olarak saptanmış ve örneğin ben 80 kilo olduğumdan, benim radyoaktivite toplamım da 8000 Bq. Eğer siz 55 kilo ağırlığında bir kadınsanız, sizin doğal radyoaktiviteniz de 5500 Bq olacaktır.

8000 Bq radyoaktivite çok mu? "1 bekerel" ne kadar radyoaktivite demek? Tehlikede miyim?

Bekerel çok küçük bir birimdir ve bunun ne kadarının radyoaktivite olarak kullanıldığı ve anlaşılmasının ne kadar kolay olduğu herkes tarafından bilinmelidir. Radyoaktif elementler kararsızdırlar ve "nükleer" olarak sınıflandırılan reaksiyonlar altında tasnif edilirler çünkü işin içinde elementin çekirdeği bulunur. Bu rasgele reaksiyonlar sırasında, "radyoaktif" atomların çekirdekleri, belli bir süre sonra gayet rasgele bir şekilde bozunurlar. Söz konusu bozunmada madde, örneğin helyum çekirdeği ve elektronu, çok yüksek enerji ışıması veya pek çok başka, daha egzotik şeyler içerebilen radyasyon yayar. Bir parça maddenin bekerel miktarı, o maddenin saniyede gerçekleştirdiği bozunma sayısına eşittir. Her bir insan vücudu biraz potasyum

40 ve karbon 14 içerir.' Bunlar, vücudumuzda sürekli radyasyon saçan iki radyoaktif elementtir. Karbon 14, basit bir yaklaşımla, birer birer elektronlarını salarak yavaşça azot 14'e dönüşür; potasyum 40 da benzer bir yolla ya kalsiyum 40'a ya da argon 40'a dönüşür. Dolayısıyla benim vücudum sürekli biçimde saniyede 8000 adet nükleer reaksiyonla ışık saçar. Neyse ki ben 50 milyar milyar milyar atomdan oluştuğumdan, tam olarak ölçülebilen 8000 reaksiyon, göreceli olarak oldukça küçük bir oran teşkil ediyor.

Bütün bu rakamları ortaya atıp durmamın nedeni, ne zaman bir gazetede bir sürü sayı verilip, bu sayıların diğerlerine oranları hakkında hiçbir bilgi olmadığını görsem, on üzerli değerlere karşı duyduğum tutku nedeniyle olsa gerek, bir boşluk duygusu içine düşerim. 2001 yılının Nisan ayında Le Monde gazetesinde, CRIIRAD (Bağımsız Radyoaktivite Araştırmaları Komisyonu), adında yer alan "bağımsız" sözcüğünden de anlaşılacağı üzere, bağlı hiçbir kurumla alakası olmayan özel bir komisyondur bu- tarafından ortaya atılan bir takım suçlamaların duyurulduğu haberde de benzer bir durum vardı. 3000 örnek üzerinden yaptığı araştırmalarla alarm durumu neticelerine ulaşmış bulunan CRIIRAD'm raporuna göre, Chernobyl'deki Sovyet reaktöründen yükselen radyoaktif bulut, 1986 yılında Fransa'ya kadar ulaştığında ciddi bir radyoaktif sezyum 137 kirliliği yaratmış, söz konusu kirlilik 2000 yılına gelindiğinde Languedoc civarındaki bazı bölgelerde metrekare başına 5000 bekerel, Mercantour'da da 50 000 Bq/m^2 seviyesine ulaşmış bulunuyordu.

Şimdi, kaç insan bu sıfırlarla dolu rakamlar karşısında korkuya kapılmıştır, kim bilir? CRIIRAD'ın insanların kafalarında yarattığı bu endişeden sağlamaya çalıştığı kazanç neydi? Radyum 226'nın bir gramındaki radyoaktiviteyi gösteren (saniyede 37 milyar bozunma) curie (Ci) gibi büyük bir birim kullanmış olsalardı, Mercantour'un fazla derin olmayan vadilerinde ölçülen radyoaktivite, bir curie'nin sadece 1,4 milyonda biri olarak çıkacak ve daha az gürültü yaratacaktı. Umarım daha fazla gazeteci, manşetlerini atmadan önce fizikçilerinkine benzer reflekslere sa-

hip olup, bu tür rakamları ortaya koyarken on üzeri kaçlık değerlerden bahsettiklerini düşünür.

Languedoc'un bazı belli bölgelerinde beş bin bekerel olarak elde edilen ölçümler, modern radyasyon ölçer Geiger cihazlarıyla gayet net biçimde okunabilir ve bu değer, ölçümü yapan kişinin kendi bedeninde doğal olarak bulunan radyoaktiviteden daha düşüktür! Ve bir asansöre altı kişiyi bir anda bindirdiğinizde oluşacak $1m^2$ içerisindeki 50 000 Bq radyoaktivite yoğunluğu, bazılarının "leopar lekesi" diye adlandırdığı maksimum alarm durumunu işaret eden Mercantour'daki seviyeyle aynıdır. Acaba kaç kişi, granitin insandan 100 defa daha fazla radyoaktif olmasından dolayı, 5 kg ağırlığındaki granit çakılın (bir yürüyüş yolunun sadece birkaç santimetresini kaplayacak miktardır) CRIIRAD tarafından facia seviyesinde olduğu söylenen 50 000 Bq radyoaktivite için yeterli olduğunun farkındadır?

Eğer CRIIRAD, Fransa'daki kamu görevlilerini Chernobyl radyoaktif bulutunun[8] geçişiyle alakalı ciddi tehlikeleri hasıraltı etmekle suçluyorsa, Alp Dağları'na tırmanışın, Britanny Körfezi'nde yürünmesinin yanı sıra, altı kişinin bir asansöre binmesinin ve granit kaldırım döşemelerinin de yasaklanmasını talep etmesi mantıklı olacaktır. Öyle değil mi?

Ben bir nükleer enerji yanlısı değilim. Tam tersine, eğer enerji üretmek için gelecekte nükleer güç santralleri kullanma zorunluluğundan kaçınabilirsek, bunu tercih ederim. Ama bu mümkün müdür? Muhtemelen değil. Bu tartışma, gelecekte sürdüreceğimiz yaşamla ilgili hayati bir öneme sahip. Ama belirli bir grubun veya diğerinin propaganda veya baskısından etkilenmeden ve görüşleri salt slogan atışması haline getirmeden, soğukkanlı biçimde söz konusu tartışmaya katılabilmek için, her bir vatandaşın radyoaktivite hakkında en azından birkaç basit noktayı öğrenmeye ihtiyacı vardır.

Geleceğin enerji üretimi ve Dünya üzerindeki tüketimle ilgili konulara geri döneceğim. Ama şimdi, biyoloji, arkeoloji ve tarih üzerine -Dünya ve kızı Ay konularında bilimin gerçekliğinin bazen kurgu bilime taş çıkartır nitelikte olabileceğini sizlere göstermek amacıyla- birkaç kafa karışıklığını gidermeye çalışacağım.

Zamanında, Henri Becquerel ve Pierre ve Marie Curie'nin doğal radyoaktiviteyi keşfettiği yıllarda, bu fenomen öyle sıra dışı görünüyordu ki, bazıları, insanları sadece radyasyona tabii tutarak onların bütün dertlerini iyileştirebileceklerini bile düşünmüştü. Ama Marie Curie, gün boyunca radyum elementi ile bir arada olması sonucunda büyük miktarlarda radyasyona maruz kalmasının sebep olduğu kan kanserinden öldü. Ve sonra, elbette, Amerikalılar iki adet atom bombasını Hiroshima ve Nagasaki'ye attılar. Bunu yapmalarındaki sebep, muhtemelen zaten kazanılmış bir savaşı tekrar kazanmaktan ziyade, bütün dünyaya bir korku salmaktı. Ve bu amacı mükemmel bir biçimde başardılar ve insanlık, nükleer silahların yok edici muazzam gücünden gerçekten çok korktu. Bir önceki yüzyılın anlamsız ümitleri ve bugünün panik halindeki korkuları arasında hâlâ, radyoaktivitenin ne olduğu konusunu soğukkanlı biçimde anlatmayı ve düşünmeyi sürdürmeye çabalamalıyız. Bunu yaparken de, her zaman her yerde var olan küçük miktarların bilinmesi, bazı kullanışlı uygulamaların hazırda tutulması (ilaçlar dahil), nükleer güç santralından yayılan atıklara müdahale etmeyi başarabilirsek, yedek bir enerji kaynağı bulundurulması (ki bu yöntem henüz çözüm olmaktan çok uzak durmaktadır) ve gerçekten bütün gezegenin infilak etmesini sağlayabilecek bu muazzam büyüklükteki yıkıcı gücün fiziksel çalışma prensiplerinin öğrenilmesi gibi konulara eğilmeliyiz.

Ama radyoaktiviteye karşı mantıklı bir tavır koymak da o kadar kolay bir iş değil. Genel olarak, bir cismin radyoaktif olup olmadığı bariz biçimde görülemez. Bunun da ötesinde, hepimiz, yaşamımızı etkilemeyecek miktarlarda doğal radyasyona maruz kaldığımızdan -Brittany gibi granit rezervlerinin olduğu bir bölgede oturuyor olmak, kanser riskine, başka bir yerde yaşayan kişilerden daha yakın olmak anlamına gelmiyor gibi görünmektedir. Buradan riskin göz ardı edilebileceği veya gerçekten yüksek bir eşik olduğu anlaşılmaktadır. Ama böyle bir eşik gerçekten var mıdır? Eğer varsa, bu eşiği tam olarak tanımlayabilir miyiz? Bu oldukça ilginç bir sorudur çünkü cevabını henüz hiç kimse tam olarak veremiyor gibi görünmektedir. Bildiğimiz odur ki,

hücrelerimizde, kromozomlarımızı oluşturan DNA moleküllerini onaran mekanizmalar vardır. Bu mekanizmalar, radyasyon olmadığı durumlarda da gereklidir; kopya oluştururken ve mesajların tercüme edilip iletilmesinde yer yer hatalar olabilmektedir. Hücreler, zayıf veya güçlü radyasyona maruz kaldıklarında DNA'larını onaracak zamanı bulabilirler mi? Bunu bilmiyorum. Herkesin de bunu bilmediğini bana düşündüren şey, legal radyasyon eşiğinin daima, doğal radyasyon miktarı temel alınarak hesaplanan bir değer olmasıdır; yani, homojen doğal radyoaktif ışınlamaya maruz kalındığında, tehlikede olunup olunmadığına fizik kanunları karar verir. Ama radyoaktiviteye maruz kalışımız bariz biçimde doğal radyoaktivite sınırlarının ötesine geçerse, alarm zillerinin çalınıp çalınmayacağına yasa koyucular karar vereceklerdir. Radyobiyologlarm hücrelerde DNA moleküllerinin nasıl onarıldığını daha iyi anlamalarını beklerken, yasa koyucuların koyacağı buna benzer tavırlar bana gayet mantıklı görünüyor; radyoaktivite yokmuş gibi yaşamaya devam edemeyiz, dolayısıyla, buna bir kural getirmeliyiz ve daha fazla bilginin ortaya çıkmasını beklerken, temkini elden bırakmamalıyız.

Nükleer enerji karşıtlığı konusunda saplantılı bazı insanlar, ne türden olursa olsun, bütün radyadyon esaslı kaynakların yasaklandığını görmek istiyorlar ama bu istekleri saçma, çünkü doğal radyasyonu göz ardı edemeyiz. Böyle söyledim diye, işin duygusal yönünü yok varsaydığımı ve kendimi, duygusal alanı küçültme arayışıyla meseleyi sayılara indirgeyip dar bir bilimsel bakışla sınırlandırdığımı düşünmüyor musunuz? Aslında ben de, bilim insanlarının bu konulardaki tavırlarının pek rasyonel olmadığının pekâlâ farkındayım. Sanırım radyumu çıplak elle dokunan Marie Curie de (bir gramı tam olarak 37 milyar bekerel ve örneklerdeki radyoaktivite, rue Lhomond'daki laboratuarını bütün gece boyunca aydınlatmaya yetecek enerjiye sahipti,) kendini böylesine açık biçimde radyoaktif yayınıma maruz bıraktığı deneyleri sırasında sağlığının karşı karşıya olduğu tehlikeden tamamen habersiz olamazdı. Fakat onu her şeyden çok ilgilendiren, diğer insanların kanser hastalığında kullanılabilecek olan radyasyon tedavisiydi.

Eğitim Bakanlığı bünyesindeki bir organizasyon olan "Milli Müfredat Konseyi" içerisindeki sınırlı görevim sırasında, bütün lise öğrencilerinin radyoaktivite konusunda az da olsa bilgi sahibi olmaları gerektiğini öne sürmüştüm. Eğer 2001 yılından sonra Fransa'da "terminal S" kategorisinde kayıt yaptırmış bir lise öğrencisi iseniz, karbon 14 keşfinin arkeoloji dünyasını sarsmış bir keşif olduğunu öğrenmiş olmanız gerekir. Bu öykü, iki perdelik, çok güzel bir hikâyedir. 1934 yılında Amerikalı fizikçi F. N. F. Kurie,[9] azotu nötron bombardımanına maruz bıraktığında, radyoaktif karbon ^{14}C üretebildiğini fark etti. Ardından, 1946 yılında Willard Franck Libby, ^{14}C izotopunun, azot ihtiva eden Dünya atmosferinin üst tabakalarına gelen güneş ışınlarının ortamda yarattığı ışınlama sonucunda sürekli olarak üretildiği fikrini ortaya attı. Güneş, nükleer füzyon (kaynaşma) reaksiyonlarıyla ısınan devasa bir gaz topudur ve temel olarak hidrojen yakar ve helyum üretir; bunu yaparken de, eş değer devasalıkta başka başka çeşitlerde "kozmik ışın" adı verdiğimiz radyasyonlar salar. Bırakın bir uzay gemisinde seyahat etmeyi veya Ay yüzeyinde zaman geçirmeyi, atmosferin yüksek tabakalarında uzun süre uçuş yapmak bile sağlığınız açısında tehlikelidir. Atmosferde yeterince oksijen ve dolayısıyla, yaşayan organizmaları Güneş'in zararlı etkilerinden koruyacak yeterince ozon (bünyesinde üç oksijen atomu bulunan bir molekül) birikene kadar Dünya üzerindeki hayat gelişmedi.

Atmosfer üstü katmanlarda başarılı reaksiyonların oluşum sürecinde protonların nötronlara dönüştüğü ve sonra azot atomlarının çekirdekleri tarafından yakalandığı doğrulanmıştır; kararlı azot ^{14}N, radyoaktif ^{14}C karbon izotopuna dönüşmektedir. Bu oluşum gerçekleştiğinde de, ^{14}C, ortamdaki oksijen atomlarıyla birleşerek, daha sonra atmosferin geri kalan kısmıyla karışacak olan $^{14}CO_2$ karbon dioksit gazını ortaya çıkarmıştır. Elbette bu karbon dioksit molekülleri içerisinde bulunan ^{14}C izotopları ağır ağır tekrar ^{14}N elementine dönüşmüş ve bütün bu gelişme sürecinin yayıldığı zaman aralığında yeniden dengeli ve kararlı bir ortama ulaşılmıştır. Bütün atmosfere yayılmış olan ^{14}C karar-

lı bir haldedir. Bitkiler CO_2'i soğurur ve biz de bitkileri yeriz. Dolayısıyla bütün canlı organizmalar aynı oranda ^{14}C içerir. Gördüğümüz gibi, bünyemizdeki radyoaktivitenin nedenlerinden biri işte budur. Diğer yandan, canlı organizmalar öldüklerinde atmosferle aralarındaki alışveriş biter ve ^{14}C izotopu ^{14}N haline dönüştüğünden, karbon konsantrasyonu kaybolur. Ama ne kadar?

Her radyoaktif element, nükleer fizik terminolojisinde söylendiği üzere, belli bir "yarıömre" sahiptir ve bu ömür, elementin yarısının bozunuma uğrayacağı süredir. ^{14}C için bu süre 5700 yıldır. Bunun anlamı, eğer bir gram ^{14}C dakikada 13,6 elektron yayımlıyorsa ve 5700 yıl sonra radyoaktivitesini ölçtüğümüzde yarı oranda ^{14}C'nin ^{14}N haline dönüşmüş olduğunu ölçüyorsak, bugün (5700 yıl sonra) aynı ^{14}C izotopu dakikada 6,8 elektron yayımlıyordur. O halde, bir testi parçasının veya mağarada bulunmuş bir kül yığınının ya da tarih öncesinden kalma herhangi bir nesnenin yaşını nasıl ölçüyoruz? Yapılması gereken bütün iş, nesneden yayımlanan elektronları saymak ve nesneyi tartmaktır. Bu yaş bulma metodu Nobel ödülüne değer nitelikteydi ve Libby de onu 1960 yılında kazandı (doğa biliminin iki disiplinini birbiriyle ilişkilendirme başarısıyla, kimya alanında.) Yaş bulma konusunun getirileri öyle büyüktü ki, söz konusu metot, kozmik ışın akışının zaman içerisinde sabit olup olmadığı gibi birçok soruya cevap bulabilmek için oldukça geliştirildi. Günümüzde bu metot nesnelerin yaşını, 5700 yıldan çok fazla genç (^{14}C konsantrasyonu yeterince değişmemiş olacağından) veya çok daha yaşlı (bu durumda da kalan ^{14}C olmaması nedeniyle) olmamak koşuluyla, kayda değer bir hassasiyetle bulmamızı olanaklı kılıyor.

Sonuç olarak, sadece doğal radyoaktivitenin bir gerçek olması değil, nesnelerin yaşlarını bulma konusundaki çalışmalarla arkeoloji alanına getirilen katkılar da, ne yazık ki daha önceleri bilinmeyen şeylerdi. Ve hepsi bu da değil; Dünya üzerinde bulunan birçok başka radyoaktif izotop sayesinde, daha da geniş bir ölçekte yaşlar tespit edilebiliyor. Şimdi artık farklı metotlarla bu-

lunan yaşlar birbirleriyle kıyaslanabiliyor ve tüm yöntemlerle yaşın aynı çıkıp çıkmadığına bakılarak, hangi radyoaktif elementin kullanıldığından bağımsız olarak doğrulanabiliyor.

Örneğin, Dünya'nın kaç yaşında olduğunu biliyor musunuz?

Elbette bu eski bir soru. Tevrat'ın yorumlanışıyla ilgili tartışmaları hızla geçmeme izin verin; aşağı yukarı birkaç bin yıllık bir yanılma payıyla, bütün bu iyi yürekli insanlar Dünya'nın yaşının 5000 yıl olduğu konusunda hemfikir oldukları gibi, aynı zamanda insanlığın yaşının da aynı olduğuna inanıyorlar. Mamafih, sadece 1974 yılında Etiyopya'da keşfedilen insansı Lucy (kadın) yaklaşık 3 milyon yaşında çıktı ve 2001 yılında Çad'da bulunan insansının da (Toumai) yaklaşık 7 milyon yaşında olduğu saptandı ancak en eski atalarımız oldukları düşünülen bu her iki cinsin de, Dünya'nın yaşıyla kıyaslandığında gayet genç oldukları anlaşıldı. Hele Homo Sapiens: Kutsal kitaplardaki insanlardan oldukça yaşlı olmasına karşın, Dünya'nın yaşından çok daha genç; yaklaşık olarak 150 000 yaşında. Dünya, Homo Sapiens'den otuz bin kat daha yaşlı; 4,5 ± 0,2 milyar yaşında. Dolayısıyla insan, evrim tarihinin geç dönem bölümlerinden biri ve çağdaş bilimin sonuçları bizi daha da mütevazı yorumlar yapmaya zorluyor; insan, Dünya'nın oluşum sürecinde resme yeni katılan bir canlı ve zaten Dünya da Evren'in merkezinde değil. Güneş Sistemi'nin kendisi de, bırakın Evren'in merkezinde olmayı, kendi galaksimizin bile merkezinde değil ve aslında iyi ki de değil, zira eğer orada olsaydı, orada bulunan kara delik tarafından çabucak yutulmuş olurdu. Yaz gecelerinde gözlemlediğinizi ümit ettiğim Galaksimiz Samanyolu, bütün gök kubbeyi kaplayan bir örtü gibi olmakla beraber, o da Evren'in merkezinde değil.

Geçmişte de birçok bilim insanı Dünya'nın yaşını hesaplamayı denemiştir. Örneğin 19. yüzyılda Lord Kelvin, Dünya'nın bugünkü sıcaklığına kadar soğuması için ne kadar zaman geçmesi gerektiğini hesaplamış ve söz konusu sürenin 20 milyon ile 400 milyon yıl arasında bir zamana karşılık geldiğine kanaat getirmişti. Ama o zamanlar Kelvin bulduğu ölçüm metoduna, Dünya'nın doğal radyoaktivite aracılığıyla kaybettiği ısıyı dahil ede-

mezdi –en başta, ayağımızı bastığımız hemen her yerde bulunan uranyumdan yayılanı– çünkü böyle bir radyoaktivitenin varlığından habersizdi. 1905 Yılında Ernest Rutheford, Dünya'nın ihtiva ettiği uranyum ve uranyumun bozunmasıyla ortaya çıkan helyum arasındaki ilişkiye bağlı olarak 140 milyon yıl sayısını önerdi. Ama çok hafif bir gaz olan helyumun sürekli olarak Dünya'dan kaçtığı gerçeğini düşünmemişti. Fizikte ölçümleri yorumlamanın kullanılan modele ne kadar bağlı olduğunu görürüz. Ama ne olursa olsun Rutherford yine de, belli nükleer reaksiyonlarla dışarıya "alfa" parçacıkları salan helyum çekirdeğini incelerken, bir atom çekirdeğinin, aslında atomun kendisinden çok daha küçük olduğunu göstermek için kullanmıştı. Sonuçta, Dünya'nın yaşını bulmak için geliştirilecek metodun, nükleer reaksiyonlar tarafından ortaya çıkan elementlerin konsantrasyonlarını karşılaştırmak yoluyla, radyoaktiviteyi kullanarak çıkacağına yönelik bu fikir, iyi bir başlangıçtı. 1950'lerde, kayaların ihtiva ettiği potasyum ve argon elementlerinin yanı sıra, rubidyum ve stronsiyum miktarlarını karşılaştırarak, Dünya'nın yaşı 3,5 milyar yıl olarak tahmin edildi. Giderek, bugün artık netleştirdiğimiz gerçeğe daha çok yaklaşıyorduk.

1994 yılında bir gün, Jean Jacques'in *Sıradan Bir Kimyagerin İtirafları* kitabını okurken, Victor Hugo'nun *William Shakespeare* kitabından yapılmış muazzam bir alıntıyla karşılaştım. Sanat ve bilimi karşılaştıran Hugo, "Bilim, gerçeğin asimptotudur. Kesintisiz biçimde giderek ona daha çok yaklaşır ama asla dokunmaz. Buna karşın, büyük bir ihtişama sahiptir. İradenin gücü, hassasiyet, heyecan, coşkulu odaklanma, içine işleme becerisi, incelik, dayanıklılık, arkasını bırakmama sabrı, fenomenleri sürekli izleme becerisi, gelişme gayreti ve hatta marifet gösterisi dokunuşu hep ondadır," diyordu. Ne büyük saygı!

Sonuçta, her bir yeni buluşla gerçeğe biraz daha yaklaşıyoruz. Dünya'nm yaşıyla ilgili en son araştırmalar, tektonik levhaların yapısıyla ilgili soruların ortaya atılmasına odaklanmış bulunuyor. Levhaların yapıları teorisi, farklı "levhaların" sürekli ağır ağır yer değiştirdiği yerkabuğunun hareketlerini açıklıyor. Bu plakalar her yıl birbirlerinden en az birkaç santimetre uzak-

laşıyorlar -ki bu hareket fazlasıyla yavaş görünüyor ama milyonlarca yıldır sürekli devam ediyor. Sonuçta, kıtasal ayrışma adıyla anılan hareket, örneğin Hindistan yarımadasının Asya kıtasının içine doğru girmesinden ve bağlantı noktasında meydana gelen sıkışma sonucunda görkemli Himalayalar'ın oluşmasından sorumlu ve bu işlem hâlâ da devam etmekte; özellikle bu bölgede ve diğer yerlerde vuku bulan trajik depremler de bu hareketliliğin birer kanıtı. Peki, bu plakalar neden hareket ediyor? Çünkü yeryüzünün altında, Dünya çekirdeğinin etrafındaki kabuk aslında hareket halinde akışkan, koyu ağdalı bir sıvı. Dünya'nın merkezi, burada bulunan uranyumun bozunması sonucunda sürekli olarak bir ısı açığa çıkarsa da, gezegenin oluşumundan bu yana yavaş yavaş soğumasını sürdürmekte. Dolayısıyla, içeriden dışarıya doğru bir ısı akışı var. Ama alttan ısıtılan bir tenceredeki suya ne olduğunu izlemiş bulunan herkes, yeterince yoğun bir ısı akışının, ısının uygulandığı sıvıda da bir hareket yaratabileceğini bilir; sıcak suyun soğuk sudan daha düşük yoğunluğa sahip olması sonucunda yükselmesi, sonra yükselen suyun yüzeyde soğuyarak sıcak sudan daha yoğun hale gelmesi ve tekrar çökmesi neticesinde, bir yuvarlanma hareketi gözlenir. Aynı biçimde yerkabuğu da, Dünya'nm merkeziyle yeryüzü arasında ısıyla tetiklenen akışın neden olduğu büyük hareketlerle kıpırdanır. Hareket, tektonik levhaları boylu boyunca çeker ve levhaların birbiri üzerine binmesi sonucunda sıklıkla büyük sarsıntılara neden olur. Yaş bulma konusunda, maalesef bütün bu sarsıntılar Dünya'nın derinlikleriyle yüzeyi arasında büyük miktarda maddenin yer değiştirmesine neden olduğundan, yüzeyde bulunması beklenen en eski kaya blokları kaybolmuşlardır. Bundan dolayı da, Dünya'nm yaşı hakkındaki 3,5 milyar yıl tahmini biraz afaki kalmıştır.

Ve sonra Ay'a çıktık ve oradan birkaç kaya parçasını Dünya'ya getirdik. Bu kayaların analizleri sonucunda, Ay'ın da yaklaşık 4 milyar yaşında olduğu anlaşıldı. Aradaki fark çok fazla değildi ve bu durumda bütün Güneş Sistemi'nde bulunan cisimlerin aynı yaşa sahip oldukları yolunda bir hipotez çıkıyordu ortaya. Bu fikir, her gün Dünya yüzeyine düşen küçük ölçekli me-

teorların kendi aralarındaki analizlerinin uzlaşmasıyla da doğrulandı. Bütün bu tartışmalardan sonra sonuç rakamı biraz daha yüksek olmakla birlikte, artık değişmeyecek gibi görünüyor; 4,5 milyar yıl.

Bu soru konusunda da, diğer sorularda olduğu gibi, 20. yüzyıl fiziği muazzam gelişmeler göstermiş, kültürümüzü dönüştürmüştür. Artık bizlerin, zaman ve uzayda ebeveynlerimizin konumunda olması mümkün değildir. Dünya'nın yaşı, Güneş'in ve diğer bütün gezegenlerin yaşlarıyla aynı. Ama bu süre, Evren'in var oluş süresi olan 13,7 milyar yıldan biraz daha az. Mamafih Güneş, göreceli olarak genç bir yıldız ve bu öngörüler bundan sonra daha fazla değişirse gerçekten çok şaşırırım –Büyük Patlama modeli giderek sadeleşen bir teori iolarak görünüyor ve artık ciddi olarak sorgulanmıyor. Olur ya, bu söylediklerimde yanlışım varsa, fizikçiler için bu gelişme çok ilginç olacaktır; yapılacak yığınla iş çıkacaktır! Kafamıza işlenmiş dogmaların tersine bilim, yaşayan bir olgudur; bilimsel doğrular tartışılacak ve karşı görüşler geliştirilerek sonsuza dek sorgulanacaktır.

Söz bilimsel doğrulardan açılmışken, şimdilerde kendini geliştirmekte olan bir diğerinden de bahsedelim; bu alan Ay'ın oluşumuyla ilgilidir. Bugün, yıldızların kütle çekim kuvvetleri nedeniyle içlerine çökerek oluştuklarını anlıyoruz; yıldızların içinde atom bulutları ve kozmik tozlar arasında madde maddeyi çekiyor. Ama bütün kozmik bulutlar çökmediğinden ve sistem kendi ekseni etrafında döndüğünden, yıldız, içerisindeki madde gruplarıyla beraber, giderek gezegenlerin küresel biçimine benzeyen dönen bir disk şeklini alıyor. Aynı yoldan, söz konusu diskler (helezonik olarak dönen halkalar) bazen gök cisminin yörüngesinde kalıp, Jüpiter ve Satürn'de olduğu gibi uyduları oluşturuyorlar. Yine de bu uydular, etrafında döndükleri gezegenden genel olarak çok daha ufaklar.

Fakat Ay'ın büyüklüğü ile Dünya'nınki arasında yukarıdakilere kıyasla çok büyük fark yok. Acaba Dünya–Ay çiftinin, Güneş'in etrafını saran gezegenler sistemi içerisinde ikiz bir oluşum halinde bir çift gezegen olarak bulunuyor olması mümkün

müdür? İmkânsız görünüyor. Her şeyden önce, Ay'ın yapısındaki maddeler Dünya'nınkinden farklı; Dünya yüzeyi ile Ay yüzeyi benzeşse de, Ay'ın çekirdeğinde ağır, demir bazlı bir kor bulunmuyor. Bu faktör, Ay'ın çapı (3476 km.) Dünya çapının (12 756 km.) bir çeyreği kadar olmasına karşın, kütlesini Dünya'nın kütlesinden 81 kez küçük yapıyor. Ortaya atılan bir diğer hipotez de, kendi ekseni etrafında hızla dönen Dünya'nın, bu dönüşten dolayı sünerek yüzeyinin bir kısmını kaybetmesiyle Ay'ı yaratmış olduğu yönünde. Fakat, Ay'ın dönme hızı bu hipotezle örtüşüyor gibi görünmüyor. Bir başka önermede de, Dünya'nın, yakınından geçmekte olan yabancı bir uzay cismini yakalayıp yörüngesinde döner halde tuttuğu yolundadır; fakat bu durumda da, eğer bu uzay cismi o sırada Güneş Sistemi'nin bir parçası idiyse, neden Dünya gibi çekirdeğinde metalik bir kor barındırmıyor? Bilgisayarların ve karmaşık hesapların çok gelişmiş olduğu günümüzde, Hartmann ve Davis tarafından 1975 yılında ileri sürülen fikir kabul edilmiş görünmektedir; Ay, Dünya'nın yeni oluştuğu dönemlerde Mars büyüklüğünde (çapı 6800 km) bir uzay cismiyle devasa büyüklükte bir çarpışma yaşaması sonucunda ortaya çıkmıştır. 2004 Yılında, Boulder'dan (Colorado) Amerikalı bir bilim adamı olan Robin Canup tarafından yapılan hesaplamalara göre, eğer Dünya ile çarpışan o gezegen Dünya'ya tam ortasından değil de yandan çarptıysa, yüzeyinden büyük bir parçanın kırılıp uzaklaşmasına neden olmuş ve sonra da merkezdeki kora yapışarak Dünya ile bütünleşmiş olabilirdi. Ardından, Dünya'nın etrafında oluşan muazzam büyüklükte ve şimdi kolayca yayılan hafif elementler bulutu toparlanıp ya da yavaş yavaş katılımlarla bir araya gelip Ay'ı oluşturmuşlardı. Söz konusu toparlanma sürecinin sadece birkaç yıl almış olabileceği bile tahmin edilebilmektedir! Sonuç olarak Ay, giderek enerjisini kaybetmiş ve böylece yavaşça Dünya'dan uzağa, bugün olduğu noktaya sürüklenmişti; yaklaşık olarak Dünya'nın çapının 50 katı bir uzaklığa.

Laf lafı açtı ve ben radyoaktiviteden Dünya tarihine geldim. Bu noktaya gelmişken de, iki tane daha konu ekleyebilirim; biri dinozorlar hakkında ve diğeri de uzaylılar hakkında. Önce dino-

zorlardan başlayalım. Bütün yirmi birinci yüzyıl okul çocukları, bir zamanlar Dünya üzerinde birçok tür dinozorun yaşadığını ve bugün tümünün nesillerinin tükendiğini bilir. Bütün bunlar ne zaman oldu? Bunu da, bir kez daha, yaş bulma metotlarıyla öğrenmiş bulunuyoruz ve son dinozorun tam 65 milyon yıl önce öldüğünü, bunun da İkinci Zaman'ın sonu (mesozoik dönemin sonu) ve Üçüncü Zaman'ın başına karşılık geldiğini biliyoruz. Peki, böylesine korkunç ve vahşi bir olay neden yaşandı? İşte size bir diğer, çok sayıda bilim insanını tutarlı açıklamalar yapmak için galeyana getiren, özellikle hareketli bir tartışma örneği daha. Bu konuda, her biri ateşli biçimde birbirine karşı çıkan jeofizik ekollerince savunulan iki temel görüş çatışmaktadır. Gruplardan biri, büyük volkanik patlamalar sonucunda devasa miktarlarda toz ve külün atmosfere yayılarak, belli bir sıcaklık düşüşüne neden olduğunu tahmin etmektedir. Yıllarca Dünya üzerinde gece yaşanmıştır. Eğer Dünya'da nükleer bir savaş çıksa yaşanacak olan "nükleer kış" benzeri bir durum gelişmiştir. Bugün geleceğimizle ilgili kurguladıklarımız bir yana, 65 milyon yıl önce gerçekleşen kışın ardından bir global ısınma süreci yaşandığı kesindir ve gezegenin ekosistemi öylesine altüst olmuştur ki, geniş bir skaladaki hayvan çeşitlerinin nesli tükenirken, diğer birçok yeni çeşit ortaya çıkmıştır.

İkinci hipotez de birinciye benzer, ancak yaşanan kış felaketinin sebebi farklıdır; bu hipoteze göre sebep, çapı en az 10 kilometre olan bir meteorun Dünya'ya çarpmış olmasıdır. Söz konusu çarpışmada ortaya çıkan enerji 100 milyon megaton dinamitin (TNT) yaratacağına eşdeğerdir. Bu ikinci hipotez, jeolojik katmanların oluşumuyla dinozorların ortadan kaybolmasının eş zamanlı olması ve ortamda sıra dışı biçimde bir iridyum konsantrasyonu gözlemlenmesi gerçeğiyle desteklenir -ki iridyum nadir rastlanan bir element olup, okulda öğrendiğim üzere, standart metrenin Sevres'deki Breteuil ölçeğinde sabit tutulması için kullanılmıştır.[10] İridyum konsantrasyonu bir meteorda, Dünya yüzeyinde olduğundan 10 000 kat daha fazladır. Muhtemel çarpışma noktası da, Meksika'nın kuzeyindeki Yucatan ya-

rımadasında yer alan birkaç kilometre çapında devasa krater olarak tespit edilmiştir. Velhasıl bu bulgular tartışmaların bitmesine neden olmamış, zira volkanik lavlarda bulunan iridyum miktarının da Dünya yüzeyindekine oranla hayli yüksek olduğu keşfedilmiş ve bilim insanları Hindistan'da, aktivitesi meteor çarpmasına eşdeğer bir kuvvetle Dünya'yı etkileyerek türlerin ortadan kalmasına neden olabilecek bir volkan tespit etmişlerdir. Dolayısıyla, yakın geçmişte geliştirilen sayısal modellerden elde edilen sonuçların ikinci hipotezi birincisine oranla daha çok desteklediği görülüyor; bu büyük felaketin ispatı olarak, sadece, yalnız başına Hindistan'daki bir volkandan çıkabilecek iridyumdan fazlası gerekiyor gibi.

O halde Dünya'daki yaşam 65 milyon yıl önce neredeyse tam bir ölüm noktasına geldi. Böyle düşününce akla başka bir soru geliyor; başka dünyalar var mı? Elbette bununla söylemek istediğim, üzerinde yaşam olan başka gezegenler var mı? Belki bu noktada bilim kurguya kaydığımı düşünüyorsunuzdur ama hiç de öyle yapmıyorum. 2008 Yılının Şubat ayında, "Güneş sistemi dışında" yer alan 300 gezegene yakın ("eksoplanet" olarak da adlandırılıyorlar) uzay cisminde, bizim Güneş sistemimize benzer koşullar keşfedildi. Bu gezegenlerin varlıklarını tespit etmek için yıldızların parlaklıklarını ölçmek gibi yöntemler kullanıyoruz. Bir gezegen yıldızın önünden geçerken, yıldızdan bize gelen ışığın gücünde bir düşüş oluyor ve bu kısmi tutulma sona erdiğinde de yıldızın ışığı yine başlangıçtaki gücüne dönüyor. Henüz bu yabancı gezegenlerin tam görüntülerine sahip değiliz ama bunu da elde etmemize çok kalmadı! Şu anda geliştirilmiş bulunan teleskopların her biri, giderek daha uzakları görebilen devasa bir çift göz gibiler. Dolayısıyla, 2025 yılına kadar, söz konusu eksoplanetlerin görüntülerini de, üzerlerindeki kıtaları ve bulutları ayrıştıracak çözünürlükte elde etmemiz mümkün görünüyor. Kuşkusuz 2025 yılında bilinen eksoplanetlerin sayısı da kayda değer bir seviyeye ulaşmış olacak. Dolayısıyla, en azından aralarından birinin Dünya'ya benzer olma olasılığı yükselecek. Orada da yaşam olduğunu ve hatta uzaylıların yaşadıklarını mı keşfedeceğiz?

Eğer mesele, sadece Dünya ile aynı ölçülere sahip ve Güneş'e benzer bir yıldızdan yaklaşık olarak aynı uzaklıkta olan bir gezegen bulmaksa, Evren'de başka yaşamların olasılığı bir hayli yüksek olacaktır. Ama iş bununla bitmiyor; bu koşullar yeterli görünmüyor. Başlangıç olarak sıvı suda gelişmiş, Dünya'dakine benzer kimyasal içeriğe sahip bir yaşam formu aradığımızı farz edelim. Bunun için ortam sıcaklığının, aynı Dünya'daki gibi, 0°C = 273 K değerinden çok da uzak olmayan bir değerde olması, böylece sıvı suyun, buzun ve su buharının, yani suyun üç temel halinin varlık bulabilmesi gerektiği genel olarak kabul edilmiştir. Ama bir şeyin, bu Dünya-dışı yaşamın buharlaşma yoluyla suyunu kaybetmesine engel olması gerekmekte ve bunun için de, Dünya'nın kendi ekseniyle yaptığı açının kararlı olmasının önemli olduğu anlaşılmaktadır. Eğer Dünya, kendi ekseni üzerindeki 23 derece 27 dakikalık eğikliğe sahip olmak yerine, Güneşe yatay bir eksende dönüyor olsaydı, Dünya'nın bir yarısında altı ay gündüz altı ay da gece yaşanacak, diğer yarısında da tersi biçimde aynı durum olacaktı. Anlaşılan o ki, böylesi bir durum, Dünya'nın suyunu kaybetmesi için yeterli olacaktır. Dünya ekseni ufak sapmalarla birazcık fazla değişse bile, ki bazen bu uç noktaya gelindiği de olmaktadır, su hemen buharlaşacaktır. Dünya eksenindeki eğim bozulmaları son derece ufak olmalarına rağmen, iklim üzerine önemli etkiler yapar. Bu bozulmalar, birkaç on bin yılda bir görülen, soğuk dönem olarak adlandırılan (buzul çağı) ve onu izleyen ısınma (buzul çağları arası dönem) periyotları yaşanmasına neden olmaktadır.

Dolayısıyla, bir gezegenin üzerindeki su rezervlerini korumanın, dönüş ekseninin kararlılığıyla ilişkili olduğunu ve Dünya eksenindeki gibi, Güneş'e yatay olmaması gerektiğini düşünüyoruz. Ama Dünya'nın kendi ekseninin bu denli kararlı olması da Ay tarafından sağlanır; Ay, sadece basit bir uydu değildir -büyüklüğü, Dünya'nın büyüklüğüne göre kayda değer bir değere sahiptir ve gel-git olaylarından bildiğiniz üzere, Dünya ve Ay'ın hareketleri birbirlerini doğrudan etkiler. Haliyle, bir gezegenin üzerinde yaşam tespit edebilmek için dış-Ay'ı olan bir dış-Dünya keşfetmemiz gerekiyormuş gibi görünüyor ve bu

şart da işi biraz daha zorlaştırıyor. Az önce gördüğümüz gibi Ay, oluşumlarından kısa bir süre sonra Mars büyüklüğünde bir gezegenin Dünya'ya ufak bir açıyla çarpmasının sonucu ortaya çıkmış olabileceğinden, bu olasılığı hesaba katarsak, bir dış-Dünya/dış-Ay çiftinin, yıldızlarına benzer uzaklıkta benzer bir çarpışmayla meydana gelmiş olması ihtimali bir hayli düşüktür. Ama yine de, arayışlarımızı sürdürmeğe değer.

Muhtemelen, Dünya benzeri, üzerinde yaşamın varlık bulabileceği bir gezegen bulmak için düşünülmesi gereken unsurlardan ilki, ozonun varlığıdır. Suyun altındaki yaşam oksijen üretir ve oksijen zamanla sudan kaçar ve Güneş'ten gelen radyasyonun etkimesiyle kısmi olarak tekrar ozona dönüşür. Bundan sonra da ozon, yeryüzünü Güneş'in kızılötesi radyasyonundan korur ve yaşamın sudan çıkmasına olanak verir. Ama bütün bunlar zaman alır! Suyun altındaki yaşam 3,5 milyar yıl önce vücut bulurken, su dışındaki yaşam bunun sadece altıda biri olan 600 milyon yıl önce başlamıştır. Bizim bildiğimize benzer bir yaşamı kanıtlayan izleri bulabilmek için keşfedeceğimiz bir exoplanetin pek de genç olmaması gerekmektedir. Eğer kurgu bilim romanlar sizde, bize radyo mesajları gönderecek kadar yeterli fizik bilgisine sahip gelişmiş varlıklarla tanışma arzusu yarattıysa, çok fazla şey istiyorsunuz demektir. Aslında *Homo Sapiens*, evrimin çok yakın bir geçmişinde, 100 000 ile 200 000 yıl arası bir zaman önce başlayan bir maceradır. Modern insan, sadece iki buzul çağı arasında ve evrimin sudan karalara çıkmasından yüzlerce milyon yıl sonra, iklim koşullarının uygun hale gelmesiyle gelişebilir. Fakat 200 000 yıl, jeolojik zaman skalasında hiçbir şey değildir. İnsan türünün, aşırı petrol tüketicilerinin hâlihazırda tetiklediklerı iklimsel sapmalar sonucunda meydana gelmesi olası iklim değişiklerini bir yana bırakın, bugünden sonra 20 000 yıl içerisinde muhtemel bir buzul çağında bile yaşamını sürdürebileceği hiç de kesin değildir. Dolayısıyla, uzaylı diğer insanları bulmak ve bizimle benzer evrim sürecinde bulunan dış-dünyalarını tanımak için oldukça büyük rastlantılara ihtiyacımız olacak. Kısacası, bir zamanlar dünya dışı canlılarla tanışacağımız olasılığına gayet gönülden inanmış biri olarak bugün

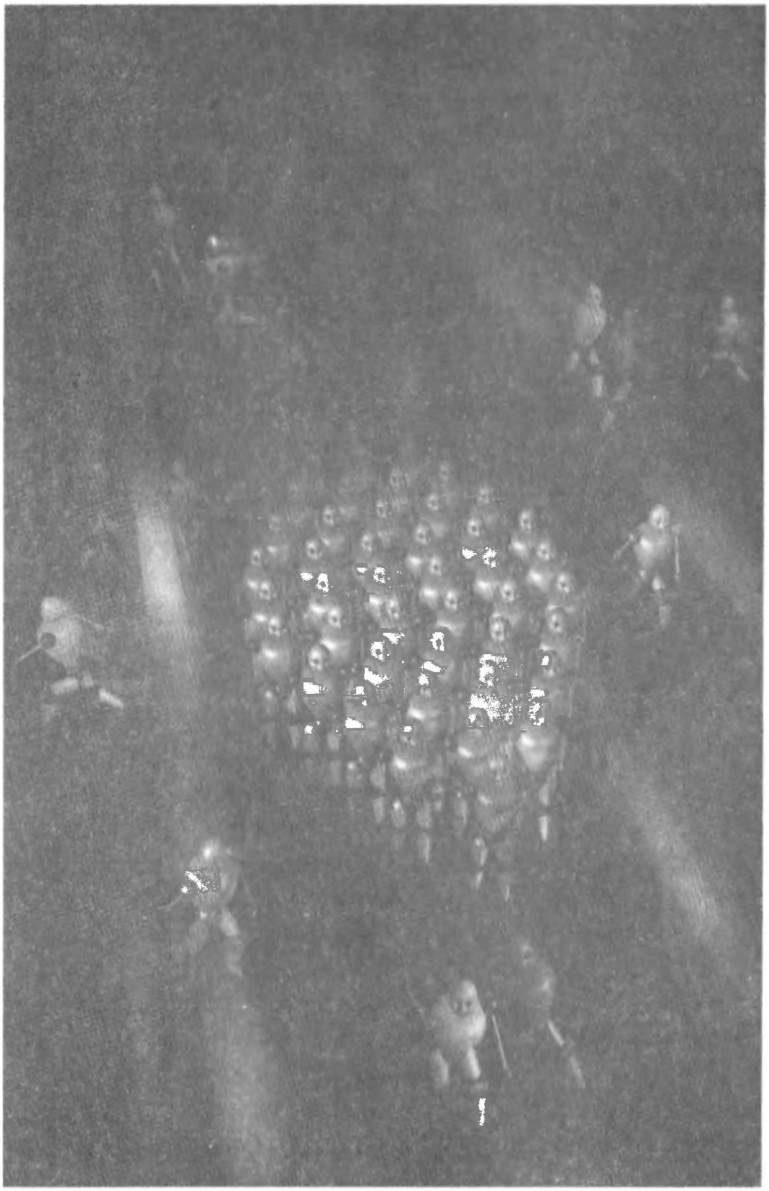
ben de, bu konuda tutarlı bir karamsar haline gelmiş bulunuyorum.

Ama yine de aramaya değer. Eğer gerçekten farklı bir yaşam şekli bulursak, heyecanlı olmaz mı? Dünya'yı algılayışımız, doğrusunu isterseniz, biraz sarsılacaktır kuşkusuz. Bu arada, 2025 yılının ne getireceğini bekleyip göreceğiz ve ona göre geleceğimizi düzenleyeceğiz -tıpkı radyoaktivite konusunu konuşmak için ipin ucunu çekip, bunca şeyi öğrenmenin bir sürpriz olduğu gibi- ve aynı Dünyamız'ın, Güneş sistemimizin tarihini anlamak için araştırmaya devam ettiğimizde veya hayli ışık yılı uzaktaki olası yaşamlara ev sahipliği yapan gezegenleri kendi yuvamız olan Dünya ile karşılaştırırken olduğu gibi, belki de tekrar tekrar sürprizlerle karşılaşmaya devam edeceğiz.

4. Bölüm

Einstein, Hüt ve Kuantum Çiyi

Yıl 1995'di. Einstein tarafından düşünülmüş özel bir çeşit yoğunlaşmayla ilgili bu sinir bozucu işin bir hayal mi, hata mı, yoksa gerçek mi olduğu üzerine araştırmalardan bu yana yetmiş yıl geçmiş bulunuyordu. İşin içinde, Einstein'in 1924 yılında, genç bir Hintli teorisyen olan Satiendra Nath Bose'nin çalışmalarını esas alarak öngörmüş olduğu maddenin yeni durumunun deneysel olarak doğrulanması var. 1995 yılında, maraton yarışçılarının koşularını bitirirken attıkları son depar gibi, iki Amerikalı grup eş zamanlı olarak, on yıllardır Bose-Einstein eşitliğinin öngörmüş olduğu sonucun gerçekten de doğru olduğunu keşfettiler. Fizikçiler üst perdeden atıp tutuyorlardı. Bu adamların bilimsel öngörüleri, ilk bakışta herkese şaşırtıcı görünmüş olmasına ve bunca bekleyişten sonra doğması muhtemel her türlü kuşku ihtimaline inat, doğru çıkmıştı. Yaptıkları bilim, güvenilir öngörü kapasitesine sahip olduğundan çok güçlüydü. Aynı Einstein ve Bose'nin öngördüğü gibi, Massachusetts'deki sodyum, Colorado'daki rubidyumla aynı şekilde davranmıştı. Dünyanın her yanından binlerce araştırmacı bu fenomenle ilgili çalışmaya atlayacak ve çıkan sonuçları insafsızca eleştirmek için bütün ayrıntılarını öğreneceklerdi. Böylesine bir başarı karşısın-



Resim 2. *Science* dergisinin kapağından. 22 Aralık 1995, sayı 270. Steve Keller ve AAAS'nin izinleriyle basılmıştır.

da Stockholm Akademisi, bu uzun mesafe koşusunun üç atletini fizik dalında paylaşacakları bir altın madalyayla ödüllendirmek için daha fazla beklemeyecekti: 2001 Nobel Ödülü onlara verilecekti.

Ve sonra, 1995 yılının Aralık ayında, bu başarılı keşfin haberini yapmak konusunda acilen harekete geçmek zorunluluğuyla karşı karşıya gelen Amerikan dergisi *Science*, kapağında askeri bir bölük edasıyla uygun adım yürüyen mavi atomlar olduğu halde çıktı. Bu kapakta beni rahatsız eden şey, atomların mavi renkle gösterilmesi değildi. Neden olmasın ki? E tabi, aslında sodyum, kendine has sarı rengiyle bilinirdi -ateşe bir çimdik sodyum attığınızda çıkan alevde söz konusu sarı pırıltıları görecek ve bazı yer altı çarşılarında ve metro istasyonlarında gördüğünüz avaz avaz bağıran sarı ışığın nereden geldiğini anlayacaksınız. Sodyum gibi bazik bir element olan rubidyum düşünüldüğündeyse -sadece daha ağır ve periyodik tabloda daha alt sıralarda yer alan özellikte- kırmızı renk daha çok akla gelecektir ki elementin ismi de 'rubi' köküyle buradan gelmektedir. Bu kapakta yer alan atomlarda kullanılan gece mavisiyse, hiç kuşkusuz bunların büyük soğukluğunu sembolize etmekte ve gelişme aşamasını yaşayan bilimsel bir gerçeklikle çok uygun düşmekteydi.

Hayır, kapakta beni rahatsız eden şey, atomların uygun adım yürüyüşleriydi -askeri birliklerde görülen cinsten. Doğru, benim de kendi tecrübelerimden, askeri birliklerin yürüyüşleriyle ilgili hatırladığım kötü anılarım vardı. 1968 yılının Mayıs ayından önce, Ecole Polytechnique idarecileri, okullarındaki isyankâr öğrencilerin antikalıklarına karşı çok sınırlı bir sabra sahiptiler ve benim normalin dışındaki davranışlarım bana hapiste geçirdiğim bir on beş güne mal olmuş, Champs Elysees'de okul arkadaşlarımla bir yürüyüşe katıldım diye demir parmaklıkların ardına tıkılmıştım.[11] Ama gençlik anılarım ne olursa olsun, o atomların uygun adım yürüyüşlerinde, o günlerde keşfedilmiş olan "Bose-Einstein" yoğunlaşmasının ne olduğu üzerine yapılan basit bir yorum hatası görmüştüm. Gerçekte yoğunlaşma kuramının ortaya çıkardığı düzen, bana o magazin kapağın-

da yapılan askeri düzen benzetmesinden radikal biçimde farklı görünüyordu.

Science dergisinde bu kapağı tasarlayan sanatçı elbette bu geçit resmi hayalini kendi başına çıkartmış değildi; bilimsel söylemin halk arasındaki bu asker benzetmesi uzun zamandır ortalıkta dolanıyordu. Hiçbir şey olmasa, bu ün yapmış imaj, yapılan keşfin doğru anlaşılmasını çarpıtmak tehdidi içeriyordu. Söz konusu yaklaşımı şiddetle eleştirmek istedim.

Fizikte imajların rolünün şaşırtıcı olduğu söylenmek zorundadır. Biz fizikçiler, sadece doğayı gözlemlemekle kalmaktan pek de tatmin olayız; gözlemlediğimiz şeyin ne olduğunu anlamayı da talep ederiz. Bunun, bir yandan yapmakta olduğumuz ölçümleri açıklayan eşitlikler yazmayı ve genel olarak, gelecekte yapılacak ölçümlerin nasıl sonuçlar çıkartacakları üzerine önermeler geliştirmeyi içerdiğini düşünebilirsiniz -örneğin, eğer bir deneyin belli bazı koşullarını değiştirirsek ne olacağını hesaplamak gibi. Ama bazı fizikçiler tanıyorum ki, bu yöntemle önermelerinin sağlamasını yaparlar. Sanki mükemmel rasyonaliteyi göstermiş olmaları, nihayetinde analojilerinin içine kök salmış bulunan bir çeşit sezgiyi tercih etmelerine hâlâ engel olmaz gibidir -bu sezgi, bir yaklaşıklığı içerse bile. Ben de, her ne kadar dik kafalılık olarak algılansa da, her türlü açıklanamaz görünen hurafeye, doğrulanmamış inanca, yukarıdan aşağıya ezberletilmiş dogmaya ve çeşitli bağnazlıklara karşı kanımın son damlasına kadar mücadele edeceğimi açıkça ortaya koymayı görev bilirim. Salt hesaplama sonuçlarına bakarak öyle kolayca tatmin olmam; hayal gücümü besleyecek betimlemelere de ihtiyaç duyarım -yani önermemi destekleyen kelimeler ve imajlara. İspat ciddi bir iştir, kuşkuya yer bırakmaz ama derin önermeler, gündelik hayatımda onlarla yapısal bir bağlantı kurmaksızın bana ispatlanmış gibi gelmez.

Örneğin, okulda öğrendiğimiz Ohm Kanunu'nu anlatırken, bakır bir telin elektriği nasıl ilettiğini gerçekten anladığımızdan emin miyiz? Elektriksel direncin, nasıl olup da telin kesitine ve uzunluğuna bağlı olduğunu anlayabiliyor muyuz? Kendimize, elektrik akımının bir borudan akan suya benzediğini, potansiyel

farkının da su borusunun üst seviyesiyle alt seviyesi arasındaki yükseklik farkına benzediğini ve dolayısıyla, yükseklik farkı daha büyük ve borunun çapı daha geniş olduğunda su akımının da daha yoğun olacağını söylemek kolay değil midir? Ve elektrik akımının bir devrenin üç koluna nasıl dağıldığını açıklayan Kirchhoff'un akım kanununu öğrenmek yerine, su her yerde aktığı ve hiçbir yerde birikmediğinden, bir nehirdeki su akımının, kendisine dökülen kolların su akımları toplamına eşit olduğunu hayal etmek daha kolay değil midir?

Bazen bu imajlar, benzetmelerin yanlış yapılması nedeniyle aldatıcı da olabilir; gerçekten de, belirli çok hassas elektrik telleri üzerine yirminci yüzyılda yapılan bir çalışma göstermiştir ki, Ohm Kanunu'ndan çok iyi bildiğimiz elektrik direnci, *her zaman* kablonun uzunluğuyla orantılı bir ilişki içerisinde değildir. Bu gerçeği ortaokul öğrencilerinden saklamaya devam mı etmeliyiz? Bana hiç de kolay cevaplanası görünmeyen bu soru, aslında bir pedagoji sorusudur; bilim öğretirken, verdiğimiz bilgileri bilimin bir avuç şartlı doğrularıyla sınırlı mı tutmalıyız? O zaman, meseleyi kavratmak için imajlara ihtiyacımız olduğu bir gerçektir; eşitlikler bize yeterli olmayacaktır. Bizler rasyonel bilim insanlarıyız ve bizim bile hâlâ olayları tam olarak anlamak için hayal gücüne ihtiyacımız var. Cefakâr, ancak bir o kadar da hesaplamalarının sınırlarını onca çizimle ispatlama gayreti içindeki matematikçi meslektaşlarımın, bu yolda ne kadar ilerleme kaydettiklerini merak ediyorum.

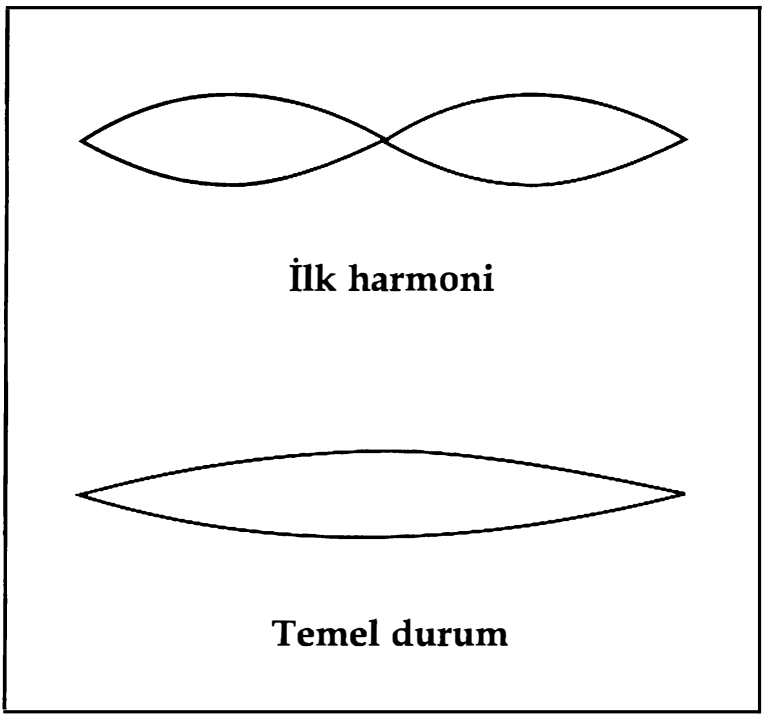
Science dergisi, anlaşılır biçimde iletişim kurabilmek amacıyla, "Einstein-Bose yoğunlaşması" öngörüsünü, fizikçiler arasında ne anlama geldiği çok iyi bilinen bir imajla vermeye çalışmıştı. Peki, bu durumda, bugün bile beni böylesine kızdıran söz konusu kapakta yer alan mavi askeri bölük ne anlama geliyordu? Ve ben, Einstein tarafından keşfedilen bu yoğunlaşmayı tarif etmeyi ve açıklamayı becerebilir miyim? Kuantum fiziği arenasındaki bir keşfin doğasını açık ve sade bir dille açıklamak mümkün müdür -fiziğin, gündelik tecrübelerimizden tamamen çıkarılmasıyla ünlü bir kolunu yani?

Görelim bakalım.

Yaklaşık yüz yıl kadar önce, kuantum fiziği, atomun yapısını açıklamak ihtiyacından ötürü doğdu -ki bir sonraki bölümde bu konuya geri döneceğim. Bohr, Einstein, Heisenberg, Schrödinger, Bose, Fermi, Dirac, de Broglie ve birçok diğer bilim insanı, her şeyin hem dalga ve hem de aynı zamanda parçacık olduğunu keşfederek, maddenin ve dalganın, özellikle de ışığın ne olduğu konusundaki anlayışımızı altüst ettiler. Kuantum fiziği, sonuçları anında bariz biçimde görülebilir olmadığından ve ben bütün matematiksel formaliteleri anlatımımdan uzak tutma amacı güttüğümden, söz konusu şaşırtıcı teorinin içindeki paradoksları ve belirgin çelişkileri netleştirme gayretim beni benzetmeler yapma çabasına yönlendiriyor. Aslında, tamamen gündelik yaşamla yapılan karşılaştırmalar kuantum fiziğine son derece büyüleyici bir görünüm kazandırdığından, sırf bu yüzden, yüz yıldır bazı fizikçiler azimle bu teorinin yanlış olduğunu ispat etmeye çalışıyor. Baştan peşinen söyleyelim. Bu çabalar fena halde boşunadır. Kuantum fiziği, kendisine yöneltilmiş saldırıların hepsine, gayet tutarlı bir çerçevede organize olduğundan, başarıyla direnmiş ve Niels Bohr tarafından dendiği gibi, genelde "Kopenhag yorumu," olarak anılır hale gelmiştir.

Şimdi Bose-Einstein yoğunluğu meselesine dönelim. Söz konusu yoğunlaşma, çiy yoğunlaşmasından -yani su buharının bir kış sabahı mutfak camlarında damlacık formuna geldiği yoğunlaşmadan- tamamen farklıdır ki ben bunu "klasik" yoğunlaşma olarak adlandırıyorum. Bizim ilgilendiğimiz yoğunlaşma, atomların "tek bir kuantum halinde" bir grup durumuna gelmesidir. Peki, kuantum fiziğinde "durum" ne anlama gelir?

İlk benzetme: Titreşen bir tel düşünelim; tıpkı bir kemanın üzerinde görebileceğimiz türden bir tel gibi. Kemancı yayını bu telin üzerinde gezdirdiğinde, telde bir titreşim yaratır. Ondan bir ses çıkarır ve bu ses, belli bir tonu olan kemanın gövdesi tarafından büyütülür. Söz konusu ton, telin uzunluğu ve gerginliğine bağlıdır. Kemancı, parmağını enstrümanının sapında hareket ettirerek telin uzunluğunu değiştirmedikçe veya kemanın sapı ucunda yer alan akort mandallarını çevirmek suretiyle telin gerginliğiyle oynamadıkça, kemandan çıkan ses daima aynı ses



Resim 3

olacaktır - bu, aynı tonun ses titreşimidir veya bilimsel dille söylersek, aynı "frekanstır."[12]

Tel, önce daima ondan çıkan en düşük frekans olan kendi temel "durumunda" titreşir. Mamafih kemancı, "harmoni" olarak adlandırılan sesleri üretmenin, bir parmağıyla uygun noktadan tele hafifçe dokunup onu farklı bir titreşim durumuna zorlayarak mümkün olduğunu gayet iyi bilir. Telin iki ucunda sıfır olan ve bu iki nokta arasında en yoğun biçimde bulunan -ki bunlar titreşimin iki "düğüm" ve bir de "karın" noktaları olarak adlandırılırlar- bir tek titreşim yerine, söz konusu aralığın tam orta noktasından tele basarak üçüncü bir düğüm yaratmak da mümkündür. Titreşimin bu orta düğümdeki frekansı, temel halin iki misli olacak ve tel, bir oktav yukarıdan bir ses üretecektir.

Bir flütteyse titreşen, flütün borusunun içinde bulunan hava kolonudur; titreşim görülemez ama aynı keman teli gibi duyulabilir. İyi bir flütçü, parmaklarını kıpırdatmadan, yani titreşen hava kolonunun boyunu değiştirmeden, sadece dudaklarının pozisyonunda küçük değişimler yaparak, frekansları başarıyla temel frekansın tam katları olacak şekilde (iki katı, üç katı, dört katı vs.) altı yedi farklı nota çalabilir. Örneğin, parmaklarıyla bastırarak flütün üzerindeki bütün delikleri kapatmışken flütçü, frekansı yaklaşık 262 Hz olan bir pes C sesi çalabilirken, aynı durumda frekansı iki kat büyük olan bir oktav sonraki C'yi ve hemen onun üzerindeki G'ye yakın bazı başka notaları (frekansı üçe katlayarak), bir diğer C'yi (dört kat) bir E (beş kat daha yüksek), bir diğer C (altı kat) ve belki bir de B-flat (yedi kat) bile çalabilir.

Flütün farklı titreşim durumlarına karşılık gelen ses frekansları -flütün içindeki hava kolonunun titreşimiyle elde edilen- herhangi frekans değerleri olamazlar. Bir flütün frekansı sürekli bir değişken değildir. Bir diğer deyişle, söz konusu frekans, aynı kuantum fiziğinde olduğu gibi, bir niceliğin "katsayılı" ("quantized") değişkenidir. Bunun anlamı, söz konusu değişken için basit bir ilişkiyle birbiriyle ilintili belli değerlerin öngörülebileceğidir. Bu örnekte, iki, üç, dört vs. katlarla elde edilen nihai, bölünmez bir çokluk, yani fizikçilerin deyimiyle bir "quantum" elde edilmiştir. Çıkan muhtemel değerler, bizim "kesikli" adını verdiğimiz, onu sonsuzluktan ayırt ettiğimiz sürekli bir seri meydana getirir.

Pekâlâ! Durum bir kuantum parçacığı için de aynıdır. Küçük bir kutudaki bir elektron, eğer klasik bir elektronsa, yani klasik fiziğin kurallarına itaat ediyorsa, herhangi bir hızda hareket edebilir ve dolayısıyla da her değerde kinetik enerjiye de sahip olabilir. Eğer squash veya baseball oynuyorsanız, bu oyunlarda kullanılan topu -ki klasik bir nesnedir- istediğiniz hızda (veya atabildiğiniz kadar hızla) fırlatabildiğinizi gayet iyi bilirsiniz. Mamafih, bir kuantum elektronu aynı zamanda bir dalgadır ve eğer bir kutuya konursa, aynı şekilde, bir keman telinin iki sabit nokta arasında titreşmesi veya flütteki hava kolonunun titreş-

mesi gibi o da titreşiyor olacaktır. Bu nedenle, kutudaki elektronik dalganın titreşim frekansı, dolayısıyla enerjisi, herhangi bir değerde olamaz. Bu elektron sadece "kuantum halleri" adı verilen belli titreşim hallerine girebilir ve bunlara bağlı kuantumun temel frekansının olası katlarında enerjilere sahip olabilir. Dolayısıyla, "kuantum kutusundaki" elektronun enerjisi titreşen bir dalga olduğundan, "katsayılı" ("quantized") olacaktır.

Bir kuşku içinde olduğunuzu hissediyorum. Ama bütün bunlar, doğrulanmamış bir teoriden çıkan soyut fanteziler değil. Bu tür kutuları bugün yapabiliyoruz. Ebatları da, içerisine enjekte ettiğimiz elektronun dalga boyuna bağlı olarak, bir metrenin birkaç milyonda biri kadar, birkaç nanometre büyüklüğünde oluyor. Bu kutuları imal ettiğimizde bir imalat hatası olmamasına ya da içinde titreşen elektronların enerjilerini emme ihtimali yaratabilecek bir çapak bırakmadığımıza emin olmaya dikkat ediyoruz. Elektronlar bir titreşim halinden diğerine geçtiğinde, kutunun boyutlarıyla sabitlenmiş haller arasındaki frekans değişimine bağlı olan renkte ışık salarlar. Sonuçta, deneyi yapan kişi, bu kuantum kutularından salman ışığın rengini, kendi isteğine göre ayarlayabilir. Bu kutular aynı zamanda, "tümleşik lazer" olarak adlandırılan, geleceğin mikroskobik ışık kaynaklarını da temsil ederler.

Tekrar kuantum fiziğinin prensiplerine geri gelelim. Parçacıklar aynı zamanada dalgadırlar, o halde, kuantum kutusundaki erişilebilir halleri katsayılı değerlerdir. Ve bir atom da, elbette, bir çekirdek ve hapsedilmiş elektronlar ihtiva eden bir çeşit kuantum kutusudur. Bu nedenle, örneğin, her sodyum atomu aynı sarı ışığı ve her oksijen atomu da aynı mavi ışığı çıkarırlar. Ama biliyorsunuz, yoksa bilmiyor musunuz, gökyüzü farklı bir nedenle mavidir ve bu neden, atmosfer tarafından saçılan ışıkla ilgilidir? Ve bunun da ötesinde, gökyüzünün maviliği her yerde aynı değildir.

Şimdi iki, hatta daha fazla elektronu bir kutuya koyduğumuzu düşünelim. Ne olacak? Elektronların hepsi birden aynı biçimde davranıyor olabilir mi veya bunun yerine, her biri başka türlü davranmak mı zorundadır? İkinci durumda, farklı kuantum

hallerini temsil eden her bir kademede elektronlar kendilerini hep beraber aynı basamağa mı konuşlandıracaklardır, yoksa düzenli bir şekilde kendilerini, her basamakta en fazla bir tane olacak şekilde dağıtacaklar mıdır?

İki tip kuantum parçacığı olduğu gösterilmiş bulunmaktadır: Hepsi aynı davranışı benimseyebilenler ve bunu yapamayanlar. Bu konuda yaygın olarak kullanılan benzetme, "bosonlar" olarak adlandırılan Bose parçacıklarının sürü gibi hareket ediyor olmalarına karşın, "fermiyon" olarak adlandırılan Fermi-Dirac parçacıklarının özgün davranışlara sahip olduklarıdır. Elektronlar fermiyondurlar ve dolayısıyla hepsi birden aynı katmana yerleşemezler; diğer bir deyişle, aynı kuantum halini işgal edemeyecekleri söylenebilir. Söz konusu parçacıkların davranışlarına ilişkin bilgileri görsel bir dille ortaya koymayı deniyor olsam da, aslında bu bilgiler hassas istatistiki kanunlarla oldukça ihtimamlı bir biçimde düzenlenmiştir. Kuantum parçacığı gruplarının gerçekten sadece iki tip olası davranışı mı vardır? Bu soru, yeni keşfedilmiş bulunan parçacıkların veya daha doğrusu, kimi başka parçacık gruplarının, yani ne fermiyon ne de boson olmayan parçacıkların -bu parçacıkların ne olduklarını basit biçimde açıklayabileceğimi sanmıyorum- davranışlarını incelemede fiziğin geldiği son noktadır ve dolayısıyla bu tür yeni tuhaflıkları göz ardı edip, burada sürdürdüğümüz tartışmada sadece iki tür davranış biçimi olduğunu kabul ederek devam ediyorum.

Bir kuantum parçacığını fermiyon veya boson yapan nedir? Basitçe açıklarsak, bu faktör, parçacığı "spin" dediğimiz ve belli bir kuantumun ya tamsayı katlarmca (0, 1, 2, 3, ...) ya da yarı katlarınca ($^1/_2$, $^3/_2$, $^5/_2$, ...) değerler alarak manyetize olmaya götüren içsel dönüş sorunudur. Elektronlar, protonlar ve nötronlar spin $^1/_2$'lik özgün fermiyonlardır. Diğer yandan, ışık kuantaları olan fotonlar sürü davranışına sahip bosonlardır. Ama bir çift fermiyon bir araya geldiğinde spinleri de birbirine eklendiğinden, bir boson oluşturabilirler ($^1/_2 + {}^1/_2 = 1$) (Fazla basit açıklamalara girdiğimi düşünüyorsanız özür dilerim.) Velhasıl, bir proton ve bir de elektron barındıran hidrojen atomu bir bosondur; aynı helyum 4 atomu gibi (iki proton, iki nötron ve iki elektron

barındırır), ancak helyumun daha hafif izotopu olan helyum 3 (iki proton, tek bir nötron ve iki elektrondan oluşur) bir fermiyondur. Bu gerçekler içlerinde kayda değer çoklukta olasılıklar barındırırlar. Örneğin, bir metal çiftinin elektronları çift çift bir araya geldiklerinde, söz konusu metal, bir süper-iletken haline dönüşür, elektriksel direnci kaybolur ve devasa miktarda elektrik akımı hiçbir dirençle karşılaşmadan akıp gidebilir. Bu fenomen sayesinde, bugün hastanelerde kullanılan modern tıbbi görüntüleme tekniklerinde işe yarayan manyetik titreşim tarayıcılarının ihtiyaç duyduğu yoğun manyetik alanları üretebiliyoruz. Bu konuya daha sonra birkaç kez daha geri döneceğim.

Boson veya fermiyon, aynı veya farklı ortak davranış -bunlar soyut meraklar değil fakat doğrulanmış gerçekliklerdir- ve uygulamada sağlığımız için sayısız getirileri vardır. Einstein ve Bose'nin öngördüğü yoğunlaşma meselesine neredeyse ulaşmış bulunuyoruz. Bütün bunların içinde, üzerinde açıklama yapmadığım yegâne eksik parçalar, ısının etkileriyle ilgili birkaç noktadır.

Sıcaklık, maddenin sahip olduğu titreşimle ilgili bir ölçümdür. Durağan bir gazın sıcaklığı, en basit biçimiyle, sahip olduğu kinetik enerjiyle orantılıdır; yani atomlarının veya moleküllerinin hızının karesiyle. Bu basit kanundaki yegâne incelik, işin içindeki ısının, genelde evlerde kullanılan sıradan termometrelerin ölçeklendirildiği selsiyus derece (°C) birimi yerine, "mutlak" olarak adlandırdığımız ve sembolü K ile gösterilen Kelvin derece birimiyle ölçülen sıcaklık olmasıdır. Ancak K, kolayca bir biçimde C değerine 273,15 eklenerek de türetilebilir. Haliyle, örneğin su, 0 °C = 273,15 K'da donar ve 100 °C = 373,15 K sıcaklıkta da kaynar. Elbette Fahrenheit dereceyi Kelvin dereceye döndürmek biraz daha güçtür.

Sıcaklık ve termal titreşim arasındaki ilişkiye dair bir fikir vermek için, bir örnek vasıtasıyla, yaklaşık 27 °C = 300 K sıcaklığa sahip olabilen temmuz ayı sıcaklığındaki havada bulunan oksijen moleküllerinin, ortalama 200 m/saniye = 720 km/saat hızla hareket ettiğini söyleyebiliriz. Bu hız neredeyse bir yolcu uçağının hızı kadardır. 100 K veya -173 °C sıcaklıkta oksijen mo-

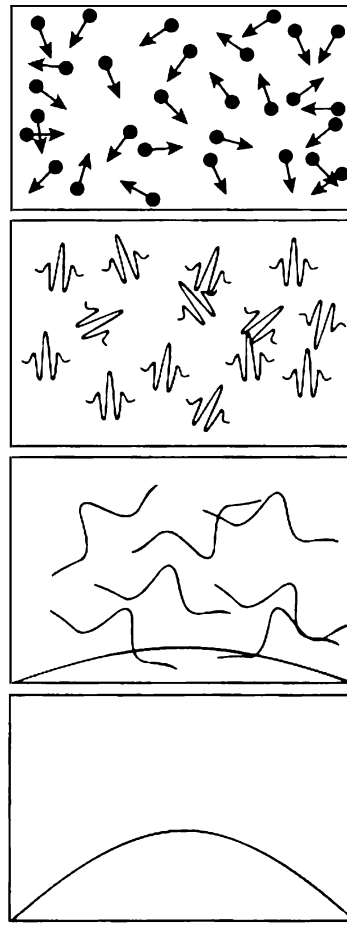
leküllerinin ortalama hızı sadece 114 m/saniye, yani Fransız TGV hızlı trenlerinin hızına yakın bir değerde olacak ve bu oksijen, sıvı hale dönüşmekten çok da fazla uzak olmayacaktır. Ve nihayetinde eğer sıcaklık "mutlak" sıfır dediğimiz (0 Kelvin veya -273,15 °C) noktaya yaklaşırsa, termal çalkantı duracak ve prensip olarak madde hareket etmez olacaktır. İşte bu durumda sıvılaşma ve donma gündeme gelir -yani kristalize olma durumu görülür (camlar ve sıvı helyum istisnadır) 1995 yılında gerçekleştirilen Bose-Einstein yoğunlaşma deneyini gözlemlemek için atomların bir mikrokelvinin altında sıcaklık değerine kadar soğutulması ve böylece atomların hızlarının saniyede bir santimetre hareket edecekleri kadar yavaşlatılması gerekliydi.

Bir gazın içindeki atomlar veya moleküller, gaz sıcak olduğunda klasik, soğuk olduğundaysa kuantumdurlar. Neden? Onları çevreleyen bir ortam olmadığında parçacıklar aynı zamanda dalgadırlar ama uzayda dalgaların genişlemesi sıcaklığa bağlıdır. Aslında, daha ayrıntılı bir açıklamayla bunlar, Louis de Broglie tarafından hesaplanmış ve yukarıda belirttiğim termal hızla ters orantılı olan tipik dalga uzunluklarına sahip dalga paketleridirler. O halde, iki durum söz konusudur. Birinci durum: Uzantılarının en az aralarındaki ortalama mesafeye eşit olması nedeniyle üst üste gelen parçacıklara ait dalgalardır. Böyle olunca parçacıklar komşularının dalgasal karakterinden etkilenirler ve birbirlerinden ayırt edilemez hale gelirler -gaz, parçacıkları ister boson, isterse fermiyon olsun, kuantum durumundadır. İkinci durum: Dalga paketlerinin uzamsal izlerinin hafif olmasıdır. Parçacıklar Broglie dalga uzunluğuna kıyasla birbirinden çok uzaktadır, komşularının dalgalarından etkilenmezler, dolaysıyla da birbirlerinden net biçimde ayrıştırılabilir, tek tek tespit edilebilir biçimde klasik formdadırlar; kuantum durumda değillerdir -ve böylece ne boson ne de fermiyondurlar. Wolfgang Ketterle bu durumu, Bose-Einstein yoğunlaşmasını açıklamak amacıyla kendi internet sayfalarında göstermiş, bu da ona Nobel Ödülü'nü kazandırmıştır.

Düşük sıcaklıklarda, iki tip parçacık arasındaki fark kendini bariz biçimde gösterir. Eğer bosonları soğutursanız, hepsi sade-

ce birbirinden ayırt edilebilir duruma gelmekle kalmayıp aynı zamanda ortak bir temel halde toplanıp kendilerini grup haline getireceklerdir; örneğin, tüm bosonlar benim hayali merdivenimin aynı basamağında toplanacaklardır -en aşağıda olan basamakta. Diğer yandan, eğer fermiyonları soğutacak olursanız, onlar da birbirinden ayrı ayrı görülemez biçimde, fakat bu kez topluca, parçacık sayısına eşit miktardaki farklı hallerde bulunacaklardır; yani bir bulut olarak, fermiyon sayısı kadar basamağın üzerine yayılacaklardır. "Bose-Einstein yoğunlaşması", bosonlara göre öngörülmüştür (tahmin edebileceğiniz üzere). Öngörü, sıcaklığın yüksek orandaki atomun en düşük enerji haline düşmesi için yeterince soğutulması düşünülerek geliştirilmiştir. Eğer buraya kadar beni izleyebildiyseniz, ortaya konan fenomenin bir parça soyut olduğunu düşündüğünüzü sanıyorum. Size katılıyorum. İşte bu yüzden, bütün diğer fizikçi arkadaşlarım gibi, Bose-Einstein öngörüsünde neyin yoğunlaştığını ve bu yoğunlaşmanın nasıl görünebileceğini -yani atom kümelerinin aynı halde bulunmasını- önce kendime doğru biçimde göstermem gerekiyor.

Acaba, askeri bir birliğin tören adımıyla yürümesi gibi mi görünüyor? Böylesi bir betimlemeyi benimseyenler, eğer bütün atomlar aynı halde bulunuyorlarsa, hep beraber, aynı hızda hareket ettiklerini düşünüyorlar demektir. Yani, hareketlerinin belli bir düzen içinde geliştiğine inanıyorlar. Böylesine düzenli bir davranış da, bazı insanlara tören adımıyla yürüyüşü anımsatıyor olmalı. Ama eğer bu doğruysa, pozisyon sırasıyla gelişen bir hareket düzeni temsil ediliyor demektir; atomların, hareket halindeki bir ağın düğüm noktaları üzerinde çok düzgün bir sırayla dizildiğini gösteriyorlar. Böylesine bir yoğunlaşma sadece hareket halindeki bir kristalde görülebilir. Ama gerçekte, bu imaj hiç de genel doğruyu yansıtmıyor. Yukarıda açıklamaya çalıştığım üzere, söz konusu düzen, atomik dalgalar üst üste geldiğinde görülüyor. Bu durumda da atomlar, artık birbirlerinden ayrışmış biçimde seçilemiyorlar bile. Eğer böylesi bir kompozisyondaki atomları parçacıklar şeklinde betimlemekte ısrar edersek, bunların sürekli yer değiştirdikleri anlaşılacaktır ve bu yorumu dalgalara adapte edersek, gerçeğin tersine, gazın yayıla-



Resim 4. Wolfgang Ketterle'nin Einstein-Bose yoğunlaşmasını yorumlayışı. Yüksek sıcaklıkta gazın atomları her yöne gelişigüzel hareket eden titrşimli parçacıklardır. Sıcaklık düşerken, aynı atomların dalga benzeri karakterleri açıkça ortaya çıkar ve atomlar giderek artan biçimde dışa doğru etki alanlarını genişleterek üst üste çakışan dalga paketlerine dönüşürler. Sonunda, kritik sıcaklık TC'nin altına inildiğinde, ortak bir dalga formunda "yoğunlaşırlar." Mutlak sıfır noktasındaki atomlar, kendilerine has özellikleri kaybedip, tıpkı bir keman telinin bağlı iki ucu arasında yaptığı gibi, kutunun içinde büyük bir tek madde dalgası halinde titreşirler. Yukarıdan aşağıya doğru yüksek sıcaklık (T>>TC) ve düşük sıcaklık T = T_C, T = 0 olarak düşünülmüştür.

bilmesi için müsait bütün hacmin yüzeysel dalgalar tarafından işgal edildiği sonucuna varılacaktır.

Askeri tören yürüyüşlerine katılmış olan herhangi biri, eğer bu yolla yanında yürüyenlerle yer değiştirme fikrini kafasına koyduysa, bu yaptığının tutuklanma riski anlamına geleceğini bilir. Ben olsam hemen görülürüm, mesela! Çünkü gayet açıktır ki, böylesine bir yürüyüşe katılmış olan her bir asker, yanındaki diğer askerlerden ayırdedilebileceği özellikleri kendinde saklı tutar. İkiz kardeşler yan yana veya arka arkaya yürüyor bile olsalar, sağda yürümekte olanla solda yürümekte olanı veya önde ve arkada yürümekte olanı, sıranın ortası, kenarı gibi pozisyon özellikleriyle bir kez tanımlamak mümkün olacaktır. Kuantum yoğunlaşmasında, mamafih, özgün özelliklere sahip atom kalmamış, sadece makroskopik ölçekteki maddenin büyük dalgası bulunmaktadır. Ketterle'nin çizimi, tören kıtasında yürüyen asker atomlardan daha az şirin görünmekle birlikte, bilimsel olarak kesinlikle çok daha nettir. *Science* dergisinin kapağındaki imaj, aynı biçimde davranmakla düzenli pozisyon almayı birbirine karıştırmıştır. Kuantum fiziğinin başını belaya sokacak bir paradoksu göz ardı etmiştir; yeterince düşük bir sıcaklıkta atomlar, etrafa yayılan ve birbirinin üzerine binen dalgalara dönüşerek, birbirlerinden ayırdedilemez bir şekil alırlar.

1995 yılında yapılan keşif, parçacıkların dalga-benzeri karakterlerinin ilk kez ispatlanışı olmaktan çok uzaktı. Bir yüzyıldır, elektronları kullanarak kesişen örüntüler elde etmeyi biliyoruz ki bu durum, bir havuzda buluşan dalgalar yaratmak için iki adet dalga yapıcı cihaz kullanılarak elde edilen sonuca tam olarak benzer. Bu dalgalar eğer faz halinde (eşfazlı) iseler birleşip büyürler ama faz dışı iseler birbirlerini yok ederler; yani, eğer dalganın biriyle su yükseliyor ve diğeriyle alçalıyorsa. Bugün, burada anlatılan yöntemle giderek daha büyük parçacıkların girişimleri sağlanabilmektedir; örneğin, 60 adet karbon atomunun bir çeşit küresel ızgara, futbol topunun üzerindekine benzer analog bir ağ formu oluşturduğu C_{60} molekülleri gibi. Kuantum maddesi ve klasik madde arasındaki büyüklük bağlamında sınırların nereye kadar -eğer gerçekten bir sınır varsa- genişleye-

bileceğini anlamak için giderek daha büyük nesnelerin kuantum özelliklerini ortaya çıkartmaya çalışıyoruz.

Futbol topundan bahsetmişken, kuantum fiziği üzerine tartışmamı, matematiksel bir merakla sona erdirmek istiyorum. Düzeli altıgenlerden oluşan bir ızgara düşünün. Bu ızgarayı kıvırıp bir silindir şekline sokmak gayet elastik ve kolay olacaktır. Ama altıgenlerden oluşan bu ızgarayı küresel bir forma sokmak isterseniz, her bir altıgeni de eğmek, bükmek zorunda kalacaksınızdır. Büyük matematikçi Euler, altıgen bir ızgarayı küresel bir forma kolayca sokabilmek için, 12 aynı büyüklükteki altıgeni, 12 adet aynı beşgenle değiştirmek gerektiğini ispat etmiştir. Fulbol topları da bu nedenle, aynı C_{60} molekülleri gibi, belli sayıdaki altıgenin arasına sokulmuş 12 beşgenden oluşmuştur. Bu ağın içine yedigenler de yerleştirebiliriz ama bu durumda, Euler teoremine göre, beşgenlerin sayısından (N5 diyelim), yedigenlerin sayısını (N7 diyelim) çıkarttığımızda sonuç 12'ye eşit olduğu sürece, küremizdeki altıgenlerin sayısı her hangi bir sayı olabilir. Genel olarak futbol toplarında yedigenler yoktur ve dolayısıyla 12 beşgen vardır ama bazı mimarlar (ızgara formlarını sıkça kullanan Buckminster Fuller gibi) eğer küresel yapılarına yedigenler de sokmak isterlerse, Euler teoremi ile bağlı olduklarını gayet iyi bilirler. Sonuç olarak bu teorem, N5–N7 sonucunda çıkacak sayının, ortaya çıkması istenen nihai şekle, yani deliklerin sayısına bağlı olduğunu, bu sayının küre şekli oluşturmak için 12 iken, silindir veya bisiklet tekerlekleri ve donatlar gibi bir geometrik şekil olan halka yapmak için 0 olduğunu geneller. İki deliği olan, Alman tuzlu halka krakerleri biçimindeki bir şekil için ne kullanmak gerektiğini bulmayı size bırakıyorum.

5. Bölüm

Masam Kuantum mu?

Bir ilkbahar sabahı, bahçe işleri konuşmak üzere beşinci katta oturan komşularımın evine gittim ama bahçe yerine, komşumun kızı fizik üzerine konuşmayı tercih etti! Hem gerekli meraka hem de doğru sezgilere sahip olmasına rağmen, onunla biraz dalga geçmeye çalışıp, aynı zamanda da modern fiziğin konularından bahsettim. Sonuçta geldiğimiz nokta şuydu:

"... Yani, benim bir kuantum masam var, öyle mi? Hayır, sen benimle dalga geçiyorsun, Sebastien!"

Elbette, üzerinde yemek yenen gündelik bir nesne olarak bir masanın kuantum fiziğiyle bir alakası yoktu. Mamafih, farz edin ki size, masanın ağırlığının ne olduğunu sordum. Veya bu soruyla aynı kapıya çıkan, masayı oluşturan kerestenin birim hacminin kütlesinin ne olduğunu -yani kısacası, yoğunluğunu- sordum. Kereste suda yüzer, dolaysıyla kerestenin yoğunluğu, santimetre küpü bir gram (1 g/cm^3) gelen suyunkinden biraz daha düşük olmalıdır. Aslında bütün masif maddelerin 1 g/cm^3 ile derecelendirilmiş bir yoğunluğu vardır. Ama neden 1 cm^3 hacimdeki katı veya sıvı madde yaklaşık olarak 1 gramdır ki? Bir gazın yoğunluğu çok düşük olabilir çünkü atomları birbirinden çok ayrıktır ama katı bir maddede atomlar birbirine yapışık ve

sıkış sıkış haldedir. Yani, katı bir cismin yoğunluğunu sormak, bir atomunun işgal ettiği hacmi sormakla aynı kapıya çıkar. Fakat bu soruya verilecek cevabın, kuantum mekaniği ile ilgisi olmak durumundadır. O halde, atomun hacmi nedir?

Bütün katı cisimler benzer yoğunluğa sahiptir çünkü bütün atomlar benzer ölçülerdedirler; hepsinin çapları hemen hemen 0,3 nanometre içerisindedir.[13] Bir milyar atomu yan yana, kolyede dizili inciler gibi dizmek için yaklaşık 30 santimetrelik (çok ince) bir tele ihtiyaç vardır. Atomların statülerinin sadece hipotezlerle açıklandığı günlerden, gerçekliklerinin doğrulandığı bugünlere gelineli uzun bir zaman geçmiş bulunuyor. 1979 Yılında, Zürih yakınlarındaki IBM laboratuarlarında çalışan iki fizikçi, Gerd Binning ve Heinrich Rohrer, sadece atomların tek tek görüntülerini ortaya çıkarmakla veya silikon atomuyla oksijen atomu arasındaki farklılıkları gözlemlemekle kalmayıp, söz konusu atomların birini bulunduğu yerden alıp az ötede başka bir noktaya taşıyarak konumu ile ustaca oynamak ve böylece, bir çocuğun çakıl taşlarıyla sahilde yazı yazması gibi, atomların yerleriyle oynayarak yazı bile yazabilen yeni bir tür mikroskop, "tünel tarama mikroskobunu" keşfettiler.

Şimdi, en basit atom olan hidrojen atomunu düşünelim. Bu atom aynı zamanda en küçük ve en hafif atomdur ve yoğunluğunun 1 g/cm^3'den biraz daha az olduğu bilinir. Aslında, eğer gaz halindeki hidrojeni aşırı biçimde soğutursak, 20 Kelvinde (-253 °C) sıvı hale ve 14 Kelvinde de (-259 °C) katı hale geçer. Katı hidrojen 0,08 g/cm^3 yoğunluğa sahiptir ama yaklaşık hesaplamalarda bu yoğunluk da aslında 1g/cm^3'den çok da fazla farklı sayılmaz. Bir hidrojen atomu, merkezindeki çekirdekte bir proton ihtiva eder ve bunun çevresinde de bir elektron döner. Proton pozitif elektrik yüküne sahiptir ve kütlesi oldukça büyüktür; elektronsa aynı değerde negatif elektrik yüküne sahipken, kütlesi protonunkinden yaklaşık 2000 kez daha küçüktür. Bu durum, minyatür bir Güneş ve etrafında dönen bir gezegene benzetilebilir -ama dikkat!!! Bu analoji yüzyıl önce ortaya atılmış bir görüştür (gerçi hâlâ birçok lisedeki fizik derslerinde bu şekilde anlatılmaktadır). Klasik Newton mekaniği kanunlarına

itaat eden her nesne gibi, gezegenin de bir yörüngesi vardır; her hangi bir anda onun nerede bulunduğunu ve hızını, tıpkı yere düşmekte olan bir elmanınkini ölçebildiğimiz gibi ölçebiliriz. Ancak kuantum parçacıklarını ele aldığımızda, artık bu kanunlar geçerli değildir; *kuantum mekaniği yörünge kavramını terk etmiştir* ki bu da bizi dosdoğru konunun tuhaf yönlerine getirir: Belirsizlik İlkesi. Bu ilke, Heisenberg tarafından formüle edilmiştir ve parçacığın tam olarak nerede ve hangi hızla hareket ettiği bilgilerinin her ikisinin birden aynı anda bilinemeyeceği koşulunu getirir; yani söz konusu değerlerden birini iyi biliyorsak, diğerini tam olarak bilemeyiz. Bazılarının bu prensipten riskli biçimde fizik ötesi anlamlar çıkarma eğilimi olduğundan, şu an kendilerini biraz olsun tatmin etmeleri için uygun bir zamandır, zira açıklamalar geliştikçe bu şanslarını kaybedeceklerdir!

Gerçekte, Belirsizlik İlkesi, kuantum fiziğinin temel önermesini kabul ettikten sonra anlaması çok da zor bir prensip değildir. Temel önerme de, parçacığın aynı zamanda bir dalga olduğudur. Dalgayı bir kutuya yerleştirmek de, onun nerde olduğunu bilmek içindir –kutunun içindedir işte– ama bu aynı zamanda onun hareketinin yönünü ve hızını bilme olasılığımızı ortadan kaldırmak anlamına gelir. Tersini düşündüğümüzde ise, dalganın hızını doğru dürüst ölçmek için, onun uzayda özgürce titreşmesine izin vermemiz gerekir ki, bu durumda da nerede olduğunu tam olarak tespit edemeyiz. Hidrojen atomunun elektronu, atomun küçücük nanometre küplük hacmi içinde bulunur. Bu küçük hacimde elektron, heyecanla hemen hemen her yöne hareket eder ve hacim küçültüldükçe elektronun heyecanı da artar. Bu durum bir bakıma flütün içinde titreşen havaya benzer; borunun içinde hareket eden hava kolonu kısaldıkça, ses dalgaları da iki uç arasında daha sık ileri geri gider, titreşimin frekansı artar ve böylelikle ses perdesi yükselir.* Geçen bölümde açıkladığım gibi, bugün böyle kuantum kutularıyla, kutunun boyutlarını küçülterek, içerisinden çıkan yüksek ışık frekansına ve dolayısıyla yüksek enerjiye sahip lazerler üretiyoruz. Belirsiz-

* Ses tizleşir. Ç.N.

lik İlkesi, pozisyon ve güçlü bir hassasiyete sahip hız arasındaki çatışmayı açıklıyor; eğer bir kuantum parçacığını sınırları belli bir hacme hapsedersek, parçacığın ortalama hızı ne kadar yüksek olursa, doğal olarak kinetik enerjisi de o denli yüksek oluyor.

Atomun tipik boyutları, bir anlaşmazlığa bulunmuş karşılıklı bir uzlaşıdır; proton elektronu çeker çünkü bu parçacıklar zıt elektrik yüklerine sahiptirler. Söz konusu elektriksel kuvvet, elektronun protona doğru çekilmesine, böylece atomun elektriksel enerjisini minimize etmek amacıyla hacminin minimum boyutlarına inmesine neden olur. Ama eğer bu hacim haddinden fazla küçülürse, Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi'ne göre, elektronda meydana gelecek kuantum uyarımı da çok yüksek olacaktır. Bu durumda elektronun hızı, sonu gelmez biçimde her yönde yüksek değerler arasında düzensizce dalgalanacak, bu da elektrona yüksek bir ortalama kinetik enerji verecektir. Fiziksel bir sistemin dengede olduğu hal, en düşük enerjiye sahip olduğu hal olduğundan, elektron, kendini protondan öyle bir uzaklıkta bulur ki, bu nokta, proton tarafından uygulanan elektriksel çekim ile kuantum uyarımı sırasında ortaya çıkan bir nevi itme arasındaki uzlaşı noktasıdır. Teoride, her iki parçacığın da kütleleri olması nedeniyle, proton ve elektron arasındaki kütle çekim kuvveti etkileri de hesaba katılmalıdır, zira Güneş'in kendi etrafında dönen gezegenleri çektiği gibi, bu iki parçacığın da aynı biçimde birbirlerini çektiklerini düşünebiliriz. Ama kütle çekiminin yarattığı çekim, elektrostatik çekimden (yani protonla elektron arasındaki çekimden) çok daha zayıftır ve bu yüzden de güneş sistemlerindeki mesafeler, atomlarda olandan çok çok daha büyüktür.

Mamafih, bu noktada yaptığım karşılaştırmalar konusunda biraz temkinli olmam gerekiyor. Ses dalgası, kendi kendini yayan basınç ve yoğunluk titreşimidir; ışık benzeri elektromanyetik dalga ise, elektriksel ve manyetik alanlar titreşimidir. Ama parçacığı temsil eden kuantum dalgası, sadece bir parçacığın belli bir yerde bulunmasıyla ilgili bir *olasılık* titreşimidir. Söylediğim şey kesinlikle tuhaftır ama buna çok da fazla şaşırmayın:

Kuantum fiziği hakkındaki her şey tuhaftır.[14] Ne olursa olsun, kuantum mekaniğinin bu olasılığa dayalı karakteri önemli bir sonuca sahiptir: Atomun içerisindeki elektron, bu küçük hacimde etrafa saçılmış bir dalgadır. Bir gezegen gibi yörüngesinde dönmez; bir bakıma, olasılığa bağlı doğasınca dağılmış bir çeşit rasgele konuşlanmış buluttur.

Elektronun vardığı bu nihai uzlaşmanın tam değerini nasıl bulabiliriz? Sorunun cevabı, elektronun kesin elektrik yük değeri ve Heisenberg kuantum uyarımı genliğinin* -ki bu değer Planck sabitiyle orantılıdır- hesaba katıldığı bazı gerçek hesaplamalar gerektirir; yani iş biraz zorlaşır. Biz yine, az önce basitçe verdiğim sonuç değerini hatırlayalım: Atomun çapı 0,3 nanometredir; hidrojen atomunun, Avagadro sayısı adı verilen ve $1/(6 \times 10^{23})$ değerinde olan gram cinsinden kütlesini hesaba katarak, yoğunluğuyla ilgili doğru sonucu alırız. Katı cismin yoğunluğu, yaklaşık olarak onu oluşturan atomlarınkine eşittir ve bu durum, kuantum fiziğinin temel ilkesi olan Heissenberg Belirsizlik İlkesi'nin bir sonucudur. Bilim insanları, ancak kuantum fiziğinin ortaya çıktığı 1920'lerden sonra madde ile ilgili en temel gerçekleri ayrıntılarıyla anlayabildiler.

Şimdi, biraz atomların rengi üzerine ve biraz da atom saatleri hakkında konuşmanın zamanıdır. Flüt borusu içindeki hava bloğu titreşiminin farklı hallerini hatırlarsanız (bundan önceki bölümde), elektronun da hem düşük enerjili bir temel hal içerisinde olabileceğini, hem de aynı zamanda, belki de titreşim frekansının daha yüksek olduğu farklı uyarılmış hallerinde bulunabileceğini de anlayacaksınızdır. Her bir hale karşılık gelen, kuantum mekaniği tarafından sabitlenmiş belli bir enerji vardır. Peki, maddenin rengi nereden gelir? Birkaç istisna dışında,[15] bu özelliğin altında yatan, elektronun bir halden diğerine geçerken ya ışığı soğurduğu ya da saldığı gerçeğidir. Elektronun içinde bulunması olası kuantum halleri, tamamen ait olduğu atomun doğası tarafından belirlendiğinden (atomun proton, nötron ve

* Genlik: Dalganın en yüksek noktasıyla en düşük noktası arasındaki mesafenin değeri. Ç.N.

elektron sayılarına göre), tek bir çeşit maddenin bütün atomlarında göreceğimiz renk aynı renktir; yani atomların bünyesindeki elektronlar bir halden diğerine atlamak yoluyla, aynı özellikte ışık zerreleri -fotonlar- soğurur veya salarlar. Parisli biri ateşe bir tutam tuz attığında alevlerde göreceği sarı renk, bir Japon'un Kyoto'da aynı şeyi yaptığında önündeki alevlerde göreceği renkle tamamen aynıdır; sodyum atomları Paris'te de, Kyoto'da da aynı renge sahiptirler (ve bunun nedeni, bu iki kentin kardeş kentler ilan ediliş olması değildir). Bu durum, öbür gezegenler de dahil, diğer bütün her yerde de böyledir.

Atomun bu özelliği -ki atomlar Evren'in her yerinde birbirinin aynıdırlar- yüksek derecede duyarlılığa ihtiyaç duyulduğunda bir standart oluşturmak amacıyla atom saati yapımı için ıslah edilmiştir. Renk, soğurulan veya salman ışığın frekansı ile ilişkilidir ve atom saatleri, bu frekansın tersine çevrilmiş halinin ölçülmesiyle çalışırlar ki, bu da mutlak zamanı gösterir. Söz konusu saatler, içlerinde aynı tip atom kullanıldığı sürece, Evren'in her yerinde aynı zamanı gösterirler. Genellikle bu iş için sezyum kullanılır ve sezyum atomlarının optik özellikleri, kuantum mekaniği açısından Evren'in her yerinde aynıdır. Ve bu yolla, yakın geçmişte, Evren'de bulunan büyük sayıdaki gezegen sistemlerinin gözlemlenmesi sonucunda bu gezegenlerin kendi güneşleri etrafındaki dönüş periyotlarının her seferinde farklı olduğunu anlamış bulunmaktayız. Böylesi sistemlerin, söz konusu periyot içinde belli, sabit bir değere sahip olmaları için de herhangi bir sebep yoktur, zira bunlar kuantum parçacıkları değil, klasik nesnelerdir.

Genç komşumla sohbetimiz birden bire başka bir yöne döndü:

"Ama şimdi düşününce, eğer atom, çevresi bir bulutla sarılmış küçük bir çekirdekse, bir kolye üzerine dizilmiş boncuklardan veya incilerden tamamen farklıdır. Bu durumda, iki atomu yan yana getirip, bulutları iyice birbirini sıkıştıracak veya birbirinin içine girecek biçimde ve çekirdeklerini, atomun bulutlu çapından daha kısa mesafede birbirine yaklaşacak şekilde sıkışık bir düzende yan yana dizebilir misiniz?"

İlginç bir soru, fakat yanıtı hayır; söz konusu bulutlar ne sıkıştırılabilir ne de birbirinin içine sokulabilir. Elektronların fermiyon olduklarını hatırlayın (bir önceki bölümden), yani bunlar kendilerine has davranış sergileyen ve aynı kuantum halinde hep birlikte barınamayan parçacıklardır. "Pauli Dışlama İlkesi"[16] adı da verilen bu istatistikî özellik, yaptığım kolye benzetmesini doğrulamaktadır. İki elektronun aynı kuantum halini işgal edebilmesi, ancak birbirlerinden yeterince ayrışmış, farklı farklı iki atoma ait oldukları sürece mümkündür. Eğer atomların bulutları tek bir bulut oluşturacak biçimde birbirinin üzerine örtüşmüşse, iki elektron o andan itibaren artık aynı kuantum halinde olamaz. Elbette moleküller atomların birleşmiş halleridirler ama bu ayrı bir hikâyedir; şimdilik bunu bir yana bırakıp genel ilkelere bakmaya devam edelim. İki aynı tip atom yakın mesafede birbirini iter çünkü elektronları fermiyondurlar ve bulutları birbirine karışamaz. Yakın mesafede iki aynı tip atom, ortak tavır olarak birbirinin içine sızamaz niteliktedir; yan yana iki sert küre gibi dururlar.

Burada bir parantez açmama izin verin: Dışlama İlkesi, kimyaya büyük zenginliğini kazandıran bir faktördür. Her bir element farklı sayıda elektron ihtiva ettiğinden, -hidrojen için 1, helyum için 2, lityum için 3, karbon için 6, azot için 7 elektron ve benzeri gibi- ve bu elektronların atomları da her bir element için farklılıklar barındırdığından, doğada elektriksel, manyetik ve kimyasal özellikler açısından kayda değer bir çeşitliliğin ortaya çıkmasına neden olurlar. Burada bir benzetme yapalım: Her atom türü, kendi özgün karakterine sahiptir ve dolayısıyla, ilişkiye girmek konusunda da tercih ettiği bazı belli diğer atomlar vardır (kimya dilinde buna, "afinite" -hısımlık- denir). Kimyanın karmaşıklığı, elektronların bu özgün bireyselliklerinin de bir sonucudur aslında. Bu konuya değinmişken şunu da ilave edelim ki, tıpkı atomların renkleri gibi, kimyanın bu çeşitliliği de Evren'in her yerinde aynıdır -burası ister midenizin içi olsun, ister hoş bir parfüm, isterse de yıldızlar arası kozmik bulutlar...

"Peki, o zaman masam kuantum mu?"

-Her zaman her yerde var olan kuantum fiziğine başvurmadan, masanın da bütün özelliklerini açıklayamayız- ama bu du-

rum bazı insanlar için saklı kalırken, diğer bazıları için gayet açıktır; zevk meselesi.

"Ama o halde, eğer masamla ilgili kuantum bir durum varsa ve kuantum fiziği maddeyle dalganın aynı şey olduğunu söylüyorsa, bizim de 'masa-dalgaları' iletiyor olabilmemiz gerekmez mi?"

"Aha! İşte şimdi duyduğun bu heyecan seni biraz daha ötede bir alana taşımış bulunuyor. Bu soru bana Schrödinger'in kedisi hikâyesini düşündürdü ve eğer bu hikâyeyi sana anlatmayı becerebilirsem, bilimin bir diğer hâlihazır öncü gelişimini sorgulayabilecek yeterli kuantum mekaniği bilgisine sahip olacaksın."

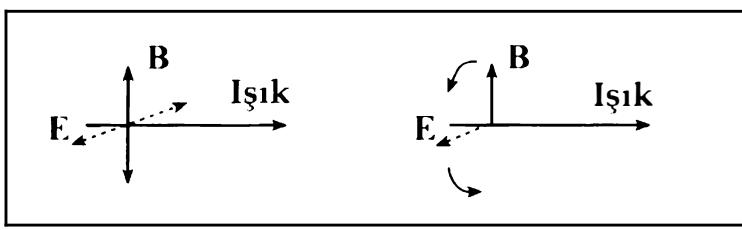
Kuantum fiziğinin bir diğer kâşifi olan Schrödinger, sürekli olarak kendisinin ve başkalarının bu konudaki anlayışlarını sorguladı. Schrödinger'in kedisi, *aynı anda* hem ölü, hem de yaşıyordu. Evet, biliyorum, elbette bu olacak şey değil; aşina olduğumuz hiçbir şey aynı anda hem bir halde ve hem de onun tam tersi başka bir halde bulunamaz. Dolayısıyla bu ölü/yaşayan kedi var olamaz. Fakat, söz konusu çıkarım, Erwin Schrödinger tarafından ulaşılan bir paradokstu ve bir şekilde düşünülmeye değer nitelikteydi.

Bir topaç alın. Topacı döndürüp serbest bıraktığınızda, sola doğru ya da sağa doğru dönebilir. Ve kedi örneğinde olduğu gibi, topaç da aynı anda hem sağa hem de sola doğru döner vaziyette olamaz; ama kuantum parçacıkları olabilirler.

Elektrik yüklenmiş birçok parçacık, fiilen bir eksenin etrafında dönerler ve dönen elektrik yükleri de manyetik alan üretirler. Dolayısıyla, birçok parçacık küçük bir mıknatıs gibidir ve kutup yönleri de dönen elektrik yükünün yönüne bağlıdır. Bu küçük mıknatıs katsayılı bir değere sahiptir (quantized): Manyetik alanının yerleşim yönü "spin" olarak adlandırılır ve yukarı doğru (bu durumda parçacık "yukarı spin"e sahiptir deriz) veya aşağı doğru (buna da parçacık "aşağı spin"e sahip diyeceğiz) yönlendirilebilir.

Klasik topaç, aynı anda hem saat yönünde hem de saat yönünün tersinde dönemez; tıpkı bir pusula okunun aynı anda hem kuzeyi hem de güneyi gösteremeyeceği gibi, ama bir kuantum

parçacığı, aynı anda hem yukarı-spin, hem de aşağı-spin hallerinde bulunabilir ki bu duruma biz, üst üste bindirilmiş haller diyoruz (süper pozisyon). Hal böyleyken, parçacığın spin değerini, yani mıknatıs alanının yerleşim yönünü -döngüsel durumunu- ölçersek, belli bir olasılıkla "yukarı" ve bu olasılığı tamamlayan ihtimalle de tersine halde olduğu sonucunu alırız. Bir kez daha, parçacığın aynı zamanda dalga olduğunu kabul ettiğimiz sürece, karşımıza çıkan bu durumu biraz daha iyi anlayabiliriz. Örneğin ışık, elektromanyetik bir dalgadır; manyetik bir dalga ve elektriksel bir dalganın kendilerini çoğaltırken sürekli biçimde uzayda salınmaya devam etmeleri sonucunda oluşur. Su dalgasını düşünün. Dalga ilerlerken su sürekli olarak bir yükselip bir alçalır. Aynı yolla, ışığın ilerlediği yöndeki elektriksel alan E ve ona dik yöndeki manyetik alan B'yi içeren ışık da, bu alanların sürekli salınımıyla ilerler.



Resim 5

Ancak bu alanlar birkaç yolla titreşirler. Dikey yönde veya yatay yönde olduğu gibi dalgalanmanın değişen yönünde de salınabilirler. Dikey salınım, bir yöndeki döngüsel hareketle, tersi yöndeki diğerinin toplamı olacaktır. Ve yatay salınım da, birbirine ters iki döngüsel hareketin bir diğer toplamıdır. Buradan çıkan sonuç, bir dalganın aynı anda hem sağa hem de sola doğru dönebildiğidir -bu bir kutuplaşma meselesidir ve optikçiler, söz konusu özelliği polarize güneş gözlüğü camlarının yapımında kullanırlar ve arabaların üzerinden, sudan, ve benzeri yüzeylerden yansıyan parlamaların göze gelişlerini azaltmayı sağlarlar.

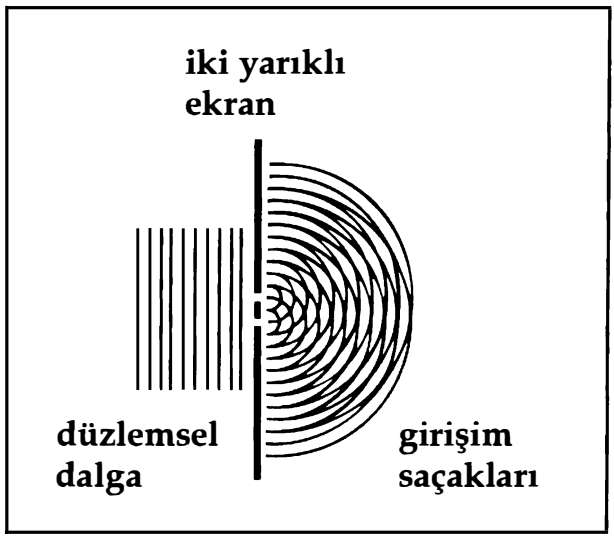
Schrödinger, şimdi anlatacağım deneyi düşünmüştür. Parçacığı bir kutuya yerleştiriyoruz. Bir detektör, parçacığın mıknatıslanmasını (spinini) ölçüyor. Schrödinger, bu kutunun hemen yanına yerleştirdiği kafeste de bir kedi olduğunu hayal ediyor. Eğer detektör yukarı-spin ölçerse, kediyi öldürecek bir mekanizmayı harekete geçiriyor. Diğer yandan, tersi bir ölçüm sonucu alırsa, yani detektör aşağı-spin ölçerse, kedi hayatta kalıyor. Bu durumda Schrödinger şöyle düşünüyor: Deneyinde kullandığı parçacık, iki zıt spin halinin bir üst üste gelmesi (süper pozisyon) olduğundan, buradan yaptığı çıkarımla, kedi aynı anda hem ölü hem de yaşar halde bulunuyor!

Elbette böyle bir şey mümkün değil, ama neden? Burada bir ince eleyip sık dokuma gerekiyor ama özellikle bir noktayı netleştirmek çok önemli. Bir fizik sisteminde, bir halin, karşıtı diğer bir halle üst üste gelebilmesi için, bunun dalga olarak da açıklanabilecek bir kuantum sistemi olması zorunludur. Söz konusu dalganın, bir kutunun içinde titreşen bir dalga mı, yoksa özgürce uzayda yayılan bir dalga mı olduğunun hiçbir önemi yoktur; önemli olan, anlamsız bir uğultu değil, dalga olmasıdır (bir frekansa ve her bir döngüde fiziksel büyüklüğünün nerede bulunduğunu anladığımız açısal bir faza sahip olması gereklidir.) Şimdi, klasik bir sistemle (yani çevremizde aşina olduğumuz bütün nesnelerle) kuantum nesnesi (her şeyin bünyesinde, kayda değer birkaç istisna ile bulunan parçacıklar) arasındaki farkın özüne geliyoruz: Tutarlı bir uyum nosyonu. Kendi kendime dalgaları açıklamak için, su yüzeyinde oluşan dalgaları düşünmeyi severim. Suyun içine, düzenli olarak titreşen küçük bir tetikleyici koysam, suyun yüzeyi boyunca yayılan dalgalar oluşturacaktır -dairesel, eş merkezli ve belli bir hızla tetikleyicinin bulunduğu kaynaktan uzaklaşan dalgalar. Böyle yaparak, dairesel ve ahenkli dalgalar elde etmiş olurum. Ama bunun yerine, suyu başka başka yönlerden ve rasgele biçimde ajite edip, örneğin bir tencerede kaynatırsam, yüzeyi fazla tetiklenecek, ancak ben yüzeyde oluşan dalgaları ayrı ayrı algılayamayacak, tetikleme kaynağından çıkan öncü dalgaların belli aralıklarla yayılmasını göremeyeceğim. Kuantum sistem, klasik olup kuantum olmayan

bir sistemin tersine, uyum içindeki bir dalgadır. Örneğin lazer, eşevreli bir kuantum ışığı kaynağıyken, sıradan bir lamba, eşevreli olmayan, klasik bir ışık kaynağıdır.

Klasik ve uyumu olmayan bir sisteme karşın, kuantum ve uyumlu bir sistemi birbirinden nasıl ayırabiliriz? Girişim örüntüleri oluşturarak. Üzerine iki yarık açtığım bir ekranı aydınlatmak için lazer kullanırsam, ekrana yolladığım ışığın bu yarıklara denk gelenleri, her bir yarıktan ekranın diğer yanına geçecektir. Diğer yana geçen ışık, üst üste gelmiş çakışmalar, ya da başka bir deyişle, her bir yarıktan geçen ışığa ait bir toplam olacaktır. Bu süper pozisyon düzenli olmayıp, karanlık ve aydınlık saçaklar şeklinde belirir. Belli yerlerde, her bir yarıktan gelen ışık yoğunluğu (salınım genliği) birbirine eklenmiş olduğundan, bu bir girişim örüntüsü oluşturur (iki elektriksel alan birden, örneğin, yukarı doğru yönlenir) ve bu sırada, diğer yerlerde söz konusu alanlar ters işaretli geldiklerinden, birbirlerini yok etmişlerdir. Girişim örüntüsünü suda da yapabilirsiniz: İki tane dairesel dalga yayan tetikleyiciyi birden çalıştırırsanız, suyun yüzeyinde bu dalgaların üst üste bindiği bir alan oluşacaktır. Ya da şöyle yapabilirsiniz: -Neden olmasın?- Küvette parmaklarınızla bu dalgaları yaratarak da aynı etkiyi deneyebilirsiniz. İki kaynaktan gelip kesişen dairesel yayılımlı dalgaların belli bir yapısı olduğunu, bazı bölgelerin kıpırdamaz hale gelirken, bazılarının hâlâ hareket ettiğini göreceksinizdir -ve bunlar, girişim örüntüsü içindeki karanlık ve aydınlık bantların eşdeğerleridirler. Ama üzerinde aynı iki yarığın olduğu ekranı, lazer yerine sıradan bir lambayla aydınlatırsanız, girişim örüntüsü göremezsiniz; arka taraftaki ışık genel bir aydınlanma olarak kalır. Bu yöntemle de, eşevreli olanı ve olmayanı ayırt edebiliriz; esasında bu yaptığımız, dalgaların belirgin bir uyum biçiminde mi yoksa belirsiz mi olduğunu sormayı ifade eder.

Boş uzayda yayılımını sürdüren bir parçacık düşünün. Eğer kuantum mekaniği doğruysa, bu parçacık, hiçbir şeyle kesişmeyen özgür bir dalgadır ve dolayısıyla her iki yarıktan da aynı anda geçerek ekranın ardında bir girişim saçakları üretecektir.



Resim 6: Üzerine iki tane yarık açılmış ekrana çarpan düzlemsel bir dalga, ekranın diğer yanına iki kaynaktan yayılan ve kesişen dalgalar olarak geçer ve birbiri ardına oluşan aydınlık ve karanlık saçaklar üretir.

"Bir dakika! Eğer üzerinde iki yarık bulunan düz bir alana bir elektron yollarsam, elektron sağdaki ve soldaki yarıktan aynı anda mı geçecek?"

"Evet! Biliyorum, sezgilerin bunun doğru olamayacağını söylüyor ama bu doğru; doğrulanmış bir gerçek. Tıpkı elektron, aynı anda hem sağa hem de sola doğru dönebildiği gibi, *aynı anda sağdaki ve soldaki yarıklardan da geçebiliyor*. Size inanılmaz gibi gelse de gelmese de, bu deney artık klasik bir deney halini aldı. Bir elektron demetinin iki yarıktan birden geçişini saptayabiliyoruz; içinde elektron barındıran bölgelerle, barındırmayan bölgeleri, tıpkı aydınlık ve karanlık bölgeleri tespit edebildiğimiz gibi bulabiliyoruz. Belli bölgelere elektronları birer birer bile gönderebiliyor ve başka bölgelere değil, onları yolladığımız bölgelere ulaştıklarını saptayabiliyor, böylece her iki yarıktan birden, tıpkı dalgalar gibi -ki onlar da dalga zaten- aynı anda geçtiklerini ispatlayabiliyoruz."

Kuantum fiziğinin rahatsız edici paradokslarına daha fazla girmeden önce, zavallı kedinin kaderiyle ilgili kararı verelim. Bir şey ve aynı anda onun tam tersi başka bir şey olabilmek için, fiziksel sistemin eşevreli olması gerekiyor; şimdi Schrödinger'in kutusu eşevreli olabilir ama elektron + kedi toplamı değil. Bu nedenle de kedi, aynı anda hem ölü hem de yaşıyor halde olamaz. Peki, neden kedi de bir kuantum sistem değil ki? Kuantumla klasik sistem arasında eğer gerçekten bir sınır varsa, nerede? Bu soru, temel bir sorudur ve günümüz araştırmalarının dönüm noktasıdır; sorunun yanıtı, aynı zamanda potansiyel olarak devrim niteliğindeki uygulamalara da öncülük edecektir.

Sorunun yanıtı sanki büyüklükle ilgiliymiş gibi bir intiba yarattım galiba; 'parçacıklar küçüktürler ve kuantum olabilirler; kediler ve masalar büyüktür ve dolayısıyla klasiktirler' der gibi oldum. Anlaşıldığı kadarıyla bu söylem, aslında gerçeğe oldukça yakın. Biz yine dalgamızı düşünmeye devam edelim; özgürce salındığı sürece problem yok; su bloğunun uzay ve zamanda periyodik biçimde alçalıp yükseldiğini net olarak görebiliyoruz. Eğer dalga bir küvetin içinde titreşiyorsa, tıpkı flütün sesi gibi, duran bir dalga haline geliyor ve hâlâ tanımlanabilir nitelikte bulunuyor. Kenarlardan yansıması, enerji kaybı söz konusu olmadığı sürece, dalganın eşfazlı kalmasına zarar vermez. Bu durum biraz bilardo topunun durumuna benzer: Başlangıç hareketi baz olarak alınarak, topun kenarlardan sekerek yapacağı sonraki hareketlerinin neler olabileceği öngörülebilir. Ama kenar yastıkları enerji soğuruyorsa -eğer o noktada parçacıkla (bir dalga, bir bilardo topu...) içinde bulunduğu ortam arasında bir enerji değiş tokuşu varsa, dalganın eşevreliliği kaybolur. Eğer bir lazer ışını, bir parça karabiber tarafından soğuruluyor ve sonra tekrar dışarı salmıyorsa, dalga, aynı dalga olmaktan çıkar -rengi bile aynı olmaz (veya frekansı). Bu durumda, çevre koşullarıyla girilen her ilişki dalganın ahengini bozabilir. Sistem ne kadar büyük olursa, etrafındakilerle kesişme olasılığı da o denli artacak ve ona kuntum özelliği kazandıran ahengi korumak o kadar az mümkün olacaktır. Masa, sıkı biçimde etrafında yer alan diğer nesnelerle birlikte var olan bir cisimdir; yere dayanır,

ışığı soğurur veya yansıtır (yeniden yayar). Kedi ses çıkartır, böylelikle ses ve aynı zamanda ısı yayar. Toplamda, etraflarıyla çift oluşturan makroskopik nesnelerin etkileşimleri o denli kuvvetlidir ki, onlar için, düşünülebilir en kısa zaman biriminde bile dalganın uyumunu korumak imkânsızdır. Netice olarak, kedileri, elmaları veya masaları aynı anda çift yarıktan geçmeleri için göndermeyi denemeyin; bir işe yaramaz ve diğer tarafta girişim örüntüsü gözlemleyebilmek konusunda da hiç umut yoktur.

Fakat sorumuz hâlâ baki: Klasik dünya ile kuantum dünyası arasındaki sınır nerede? Bu bir zaman, büyüklük ve bağlantı meselesidir. Eşfazın ne kadar uzun sürmesini isterseniz, o kadar daha nesneyle çevresi arasındaki etkileşim miktarını, dolayısıyla da nesnenin büyüklüğünü sınırlamak gerekecektir. İki yarıktan geçirip hayati girişim örüntüsü testi yapma işine geri dönersek, 2001 yılında Viyana'da Anton Zeilinger, daha önce değindiğim C_{60} moleküleriyle -futbol topu görünümündeki 60 karbon atomlu küresel ızgaralar- girişim örüntüsünü ölçmeyi başardı. Söz konusu deney bir gövde gösterisi niteliğindeydi ve aynı deneyi, C_{60} moleküllerinden daha büyük nesnelerle de başarıyla yürütmenin mümkün olup olmadığını hâlâ bilmiyoruz. Mamafih, bu konuda iki kayda değer istisna var ve bunlar, süper-akışkanlarla süper-iletkenler. Onlar hem kuantum, hem de makroskopik madde dalgalarıdır.

Bose yoğunlaşması konusunu hatırlıyor musunuz? Bir önceki bölümde, yeterince soğutulmuş atomlardan oluşan bir gazın, atomları birbirinden ayırdedilemez duruma gelmiş birleşik bir maddenin tek bir dalgası halinde gruplaştığını görmüştük. 1995 Yılında, Boulder'daki Colorado Üniversitesi'nden ve Massachusetts Inst. Tech.'den araştırmacılar, bu kuantum fenomeninin aynen Einstein'ın yetmiş yıl önce öngördüğü gibi olduğunu keşfettiler. Bu keşif, gerçek bir mihenk taşı olmakla birlikte, aynı fenomenin, hem düşük sıcaklıktaki sıvı helyumun şaşırtıcı özelliklerini, hem de birçok metalin, yine düşük sıcaklıklarda "süper-iletkene" dönüşmesini sağlayan faktör olduğu konusunda bilim insanları uzun süre ikna edilmeye çalışılmıştı.

2,17 Kelvin (-271 °C) üzerindeki sıcaklıklarda sıvı helyum, hafif ve normal, klasik bir akışkandır; eğer bu sıvı helyumu bir kaba akıtırsanız, bir süre sonra hareket etmeyi tamamen kesecektir -biraz yoğun bir sıvı olduğundan, bir süre salınıp, kabın yüzeylerine sürtündüğünden, sürtünme kuvvetinin etkisiyle giderek salmımı yavaşlayacaktır. Ama söz konusu sıcaklığın daha altındaki sıcaklıklarda -ki bu sıcaklıklar gayet soğuk derecelerde olsa da, laboratuarlarda sağlanabilmektedirler- sıvı helyum, kıvamını kaybeder. Bazı deneyler göstermiştir ki, yeterince soğutulmuş sıvı helyumu çok ince ama gözenekli cam bir halkanın içinden akıttığınızda, akış hiç bitmemektedir -ölçülebilir bir yavaşlama olmaksızın akış aylarca sürmektedir. Rus fizikçi Piotr Kapitza bu istisnai akış özelliğini gözlemlediğinde, söz konusu fenomeni ifade etmek için, ona "süper-akışkan" adını vermişti. 1937 yılının sonlarında yapılan bu keşfin hikâyesi, elinizdeki kitabın bir sonraki bölümüne konu olacaktır. Orada, Kapitza'nın bu ismi kazara vermediğini, fakat benzer bir fenomen olduğunu düşündüğü "süper-iletken" kavramıyla ilişkilendirdiğini de göreceğiz.

Süper-iletkenlik, 1911 yılında Leiden'de, H. Kamerlingh tarafından keşfedilmişti. Hollandalı araştırmacı, düşük sıcaklıklarda katı ve metalik görünüm arz eden cıva elementinin elektriksel direncini ölçmüş ve yaklaşık 4 Kelvinin altında direncin ortadan kalktığını keşfetmişti. Metaldeki elektriksel direncin varlığı, elektrik yükü ihtiva eden parçacıkların, genellikle de elektronların akışından meydana gelen elektrik akımının, enerji kaybı içermesinden ortaya çıkar; elektron gazı, metalin iyonları arasında hareket eder ve hareket ederken de bu iyonlara sürtünür. Kapitza, belli bir ısının altındaki helyumun, konduğu kabın çeperlerine sürtünmeyi kesmesiyle, elektron gazının bazı metallerdeki davranışının tamamen benzer olduğunu düşündü. Haklıydı ama bilim insanlarının olup bitene ikna olmaları çok uzun zaman aldı. Süper-iletken teorisinin temellendirilmesi, 1954 yılında, BCS kısaltmasıyla bilinen, John Bardeen, Leon Cooper ve Robert Schrieffer üçlüsü tarafından gerçekleştirildi ve elbette kendilerine 1972 Nobel Ödülü'nü kazandırdı. BCS, metaldeki

elektronların bosonlara dönüşebilmeleri için çift çift ilişkilenmeleri gerektiğini ve böylece yoğunlaştıklarını, yani Einstein'm terimleriyle hareket ettiklerini buldu. Üçlü aynı zamanda, söz konusu elektron eşleşmesini teşvik eden kaynağı da buldu. Burada, önceki bölümlerde kullandığım benzetmeye dönersem, yumuşak bir yatakta yatan iki insanın durumuna bir benzerlik var; her bir beden (her elektron) yatağın üzerinde bir çukur oluşturur (metalin kristalize haldeki ağı içerisinde oluşan çukurlaşmalar gibi) ve bu çukurlaşmanın yarattığı eğim nedeniyle diğer beden de oraya doğru yuvarlanma eğilimi gösterir. Ancak her şeyi burada açıklamam mümkün değil. Velhasıl, bilim insanları sonunda sıvı helyumun süper-akışkan olmasıyla, metallerin süper-iletken olmalarının aynı sebepten kaynaklandığına ikna oldu; hâlâ kuşku duymakta ısrar eden birkaç isyankâr zihin dışında... Bose-Einstein yoğunlaşması gerçekten oluşmaktadır. Fizikçileri, bunca zaman bu gerçeği kabul etmek konusunda geri durmaya zorlayan etken, bir sıvının içindeki atomların hep beraber, sıkı bağlarla birbirlerine bağlı oldukları, buna karşın Einstein'm hesaplamalarının ise, söz konusu bağların olmadığı bir gaz üzerinden yapıldığıydı. Einstein'ın sonuçlarını genelleyebilmek ve aynı fenomenin bütün bu anlatılanlara neden olduğuna ikna olabilmek için çok fazla iş yapılması gerekiyordu. Aslında bugün bile, sıvı helyumun yapısının tam olarak hesaplanabilmesi oldukça güç bir iş olarak düşünülmektedir. Oysa Einstein'ın yaklaşımında, yoğunlaşan soğuk atomlara sahip gazda her şey büyük bir hassasiyetle hesaplanabiliyor ve böylece teori, hiçbir kuşkuya yer bırakmaksızın doğrulanabiliyordu.

Önemli bir sıra dışı özelliği işaret etmek adına, süper-akışkanlar, süper-iletkenler derken, esas konudan epey uzaklaştım; diyordum ki, kuantum nesneleri her zaman mikroskobik olmak zorunda değillerdir. Bir şeyin kuantum mu, klasik mi olduğunu anlamanın en iyi yolu, girişim deneyidir demiyor muyduk? Kesinlikle! Bir süper-iletken akımının iki farklı yoldan ilerlemesini sürdürmesi veya süper-akışkan helyum akışının iki yarıktan birden aynı anda akıp geçmesi yoluyla girişim örüntüleri gözlemlemenin mümkün olduğu anlaşılıyor. Gerçekten de, yapıcı

ve yıkıcı girişimlerini açıkça görüyoruz -lazer ışığının karanlık ve aydınlık bantlarının eşdeğerleri olarak- ve bu da, elimizdeki maddenin eşevreli bir dalga olduğunu kanıtlıyor.

Bu nasıl mümkün? Karmaşık nedenlerden dolayı, söz konusu süper-iletken veya süper-akışkan akımları, çevreleriyle herhangi bir enerji alışverişine giremezler. İşin içinde bulunan büyük sayıdaki kendi atomlarına ve büyük sayıdaki komşu atomlara rağmen, eşevreli durumları daimidir. Her şeyi olduğu gibi anlatabilmek için bu istisnayı da işaret etmek istedim. Şunu da söylemem gerekir ki, son yirmi yıldır kendi laboratuarımda süper-akışkan helyumu hemen hemen her gün görüyorum ve beni hâlâ şaşırtmaya devam ediyor.



Kuantum fiziği, profesyonel fizikçiler için bile zor bir konu. Bu bölümü, son zamanlarda haber programlarında duymuş olabileceğiniz kuantum bilgisayarları üzerine birkaç sözle bitirmek istiyorum.

Eğer basit bir masada bile kuantum mekaniğinin iş başında olduğunu kabul ettiyseniz, o zaman bir bilgisayarda kuantum mekaniğinin bolca miktarda söz konusu edilebileceğini varsaymak da sizin için fazla abartılı görünmüyor olacaktır. Elbette bu bir perspektif meselesidir. Bilimi, teknik nesnelerle birbirine karıştırmamalıyız, zira onları imal edebilmemizi sağlayan, bilimin kendisidir. Bilgisayarların içinde birçok transistor olduğu ve transistorların da kuantum teorisinin bir uygulaması olan yarı-iletkenlerin keşfiyle ortaya çıktığı kesinlikle doğrudur. Ancak bilgisayarın mantığı aslında klasiktir. Bununla söylemek istediğim, bilgisayarlarda yapılan hesaplamalar elektronik devreler aracılığıyla yapılmakta, hiçbir belirsizliğe meydan verilmemektedir. Örneğin, bilgisayarınızdaki hiçbir mantıksal kapı aynı anda hem açık hem de kapalı olamaz. Hiçbir hafıza birimi, 0 ve 1 değerlerinin her ikisini birden aynı anda ihtiva edemez. Ama şimdi bazı hesaplamalar, tamamıyla değişik biçimde çalışan kuantum mantığı ile yapılmaya başlanmıştır. Şimdilik daha temel

aşamaları çözülmekle birlikte, yakında ilerletilecek gibi görünmektedir. Bu mantıkla yapılan hesaplamalar, hallerin bir üst üste konumlandırılması olarak düşünülmekte, birkaç elementin aynı anda, birbirine paralel biçimde ele alınması yolu kullanılmaktadır. Bunun ne faydası vardır? Burada beslenen ümit, "karmaşık" olarak adlandırılan birçok diğer konuyla birlikte, gizli mesajların deşifre edilmesi alanında devrim niteliğinde bir dizi problemin çok daha hızlı çözüme ulaştırılmasıdır.

Ortak dildeki "karmaşıklık" kelimesi, hele de birçok bilim insanı arasında sıkça kullanıldığı düşünülürse, aslında pek açıklayıcı bir tanımı olmayan bir terimdir. Bir problemin karmaşık olarak adlandırılması, sıklıkla, o problemin kolayca nasıl çözüleceğinin bilinmemesi sonucunda ortaya çıkar. Kimi zaman, bazı belli durumlarda karmaşıklık gerçek bir matematiksel tanıma sahip olur ve bu tanım son derece net ve anlaşılması hiç de zor olmayan bir hal alır.

Karmaşık bir problem, matematik uygulamalar açısından bakıldığında, durmadan seyahat eden bir satıcının problemine benziyor; bu kişi belli sayıda (N) şehri ziyaret etmek zorunda olduğundan, hepsine uğrayabileceği en kısa güzergâhı bulmayı ister. Elbette, eğer ziyaret edilecek iki tane şehir varsa, bu bir problem olmaz. Eğer N=3 ise, çözüm hâlâ basittir; tüm şehirlerden geçen olası çok fazla güzergâh yoktur ve satıcı en kısa güzergâhı kolayca bulacaktır. Ama eğer N çok büyük bir sayı ise, olası güzergâhların sayısı da kayda değer biçimde artacaktır; dahası, olur ya, bir güzergâha karar verip yola çıktıktan sonra, çok daha kısa bir güzergâha tesadüf edersek ve bu güzergâh başlangıçta saptadığımızdan çok daha kısa olsa bile tamamen değişikse ve sonradan ufak sapmalarla başlangıçtakine dönmek de imkânsız hale gelirse... Modern satıcı bu problemini bilgisayarında çözer ve görür ki, hesaplamaların yapılıp sonuçların çıkarılması orada bile belli bir zaman alır. Söz konusu zaman, şehir sayısına bağlı bir fonksiyonla nasıl değişir acaba? Acaba bu zaman, şehir sayısı N ile doğru orantılı mıdır? Şehir sayısının karesi (N^2) veya küpü (N^3) gibi mi değişir? Aslında bu tür bir problemi çözmek için gereken zamanın, N, N^2, N^3 vs. gibi polinom fonksiyonlarından

daha hızlı biçimde, gitgide hızlanarak artan bir değere sahip olduğu görülmüştür. Bu artış gerçekten çok hızlıdır ve eğer ziyaret edilecek şehir sayısı hakikaten fazlaysa, hepsini ziyaret etmek amacıyla bulunacak doğru güzergâhın hesaplanması için gereken zaman, Evren'in yaşına eşit veya ondan büyük bile olabilir. Velhasıl, bu durumda matematikçiler, söz konusu problemin "polinom olmayan-karmaşık" nitelikte olduğunu söylerler ki, bunun anlamı da, parametre sayısının çok fazla olmasından dolayı problemin çözülemeyeceğidir.

Karmaşık problemlere bir diğer örnek de, çok basamaklı devasa bir rakamı asal çarpanlarına ayırmakla ilgili problemdir. Basamak sayısı küçük olduğu sürece bu problemi kısa zamanda çözmek gayet kolaylaşır. Örneğin, 15'in 3x5'e eşit olduğunu, hatta 210'un 2x3x5x72'ye eşit olduğunu bulmak, ne sizin için, ne de bilgisayar için büyük bir problem teşkil etmez. Mamafih, eğer sayı 15 basamaklıysa, sayıyı bütün asal sayılara ardı ardına bölmek gerekecektir ki, bu da kayda değer bir zaman alacaktır. Gizli mesajların çözümlenmesi için de yine asal sayılara ayırma benzeri bir yöntem kullanırız ama sayı o kadar büyüktür ki, bilgisayarın doğru harfleri bulması bir insan ömrünü geçebilir.

Bütün bunların kuantum bilgisayarlarıyla ne ilgisi var? Gerçekte karmaşıklık, bir problemin esas sorunu değildir. Her şey bilgisayarın çözüm için benimsediği hareket tarzına bağlıdır. Dolayısıyla bu konu, problemin ve bilgisayarın birlikte ele alınacak bir özelliğidir. Eğer devrim niteliğinde, şu anda var olan bilgisayarlardan daha verimli biçimde hesap yapabilen bir bilgisayar keşfedersek, belli karmaşık problemlerin çözülmeleri daha kolay olacaktır. Bu hedef, günümüzde kuantum hesaplamalarıyla uğraşan araştırmacıların çoğunu motive eden bir faktördür. Teoride, büyük miktarda kuantumsal olarak eşleşmiş elementi (uzmanlar bunlara girift-"entangled" diyorlar) aynı anda hepsinin üzerinde birçok hesaplama yaparak kullanmanın mümkün olduğu ve böylece hesaplama için gereken zamanın da kayda değer biçimde düşeceği öngörülüyor.

Hemen yarın, kuantum bilgisayarları işin içine girecekler mi? Kuantum bilgisayarları bir gün klasik bilgisayarların yerini ala-

cak ve böylece hesaplamada bir devrim gerçekleşerek, bugün karşılaştığımız problemlerin karmaşıklıkları azalacak mı? İşin içindeki teknik zorluklar cesaret kırıcı nitelikte. Bunların başında gelen zorluk, Schrödinger'in kedisi meselesindekine benziyor: Bilgisayar büyük bir makroskopik nesne. İki veya üç çift kuantum parçacığı üzerinde paralel olarak hesaplama yapmak mümkün ve bu zaten yapılmış durumda; bazı araştırmacılar muzaffer bir edayla 15'in, 3 çarpı 5 olduğunu başarıyla hesapladıklarını duyurmuş bulunuyor. Diğerleri de gülümsüyor. Yeni hesaplama ilkeleri her ne kadar ilginç görünseler de, bu sistemi bugün hayata geçirmek hâlâ ulaşılması zor bir nokta gibi duruyor. Eşleştirilmesi gereken kuantum elementlerinin sayısı arttıkça, gerekli kuantum uyumunun çevreye karşı direnç göstermede aldığı zaman kısalıyor ve bilim insanları, benim bildiğim kadarıyla, şu anda bu temel zorlukla nasıl baş edeceklerini bilemiyorlar. Ama ilerleme kaydedebilecekleri bir yol arıyorlar. Ve bilgi teorisi ile kuantum mekaniği arasındaki kesişmenin verimli bir araştırma alanı olduğu da çok açık; en azından kâğıt üzerinde. Belki de araştırmacılar şu anda aradıklarından başka bir şey bulacaklar; bu da sık sık olan bir durumdur. Her durumda, kuantum fiziği bir yüzyıldır bizi sürekli şaşırtıyor ve muhtemelen heybesinden daha nice sürprizler çıkacaktır.

6. Bölüm

Kelimelerin Gücü

2003 yılının Mart ayında bir gün, dekoratif sanatlar okulundan iki öğrenci, Aiko Oshima ve Vincent Ciccone, beni görmeye geldiler. Benden, kendileri için bir metin yazmamı istediler; daha açık olarak, işimle ilgili 20 kelime seçip, bu kelimelerin anlamlarını kaleme almamı istiyorlardı. Bu anlamda birkaç kişiden topladıkları benzer tanım metinleriyle, sakinleri arasındaki birçok araştırma-geliştirme kurumuyla, kimsenin pek fazla haberi olmasa da, bilimi ve sanatı omuz omuza götüren Paris'in bu kalburüstü Latin mahallesi la montagne Sainte-Genevieve'de, yaratıcı, katılımcı bir yolla hayatın tarifini ortaya çıkartmayı umuyorlardı. Bu iki öğrenci, benim yazacağım metni de ellerindeki diğer metinlerin yanma koyup sergilemeyi planlıyorlardı. Düşüncelerini sevdim. İstediklerini yaptım ama yazdıklarımın bazıları, gerçekten bir şeyleri tanımlamaktan ziyade, heyecanlı bir merak uyandırmayı hedefliyordu. Aşağıdaki metin, yaklaşık olarak onlar için yazdıklarımla aynı:

Bahçe: İçinde bitkiler bulunan alan. Latin mahallesinde seyrek görülür. Dekoratif sanatlar yüksekokulu, Ecole Normale Superieure (ENS) ve Madam Curie Enstitüsü'nden ayıran bahçeyse, deney yapmak amaçlı bir botanik bahçesidir. Bir gün

ENS'nin fizikçileri, yöneticileri Edouard Brezin önderliğinde bu bahçede bazı düzenlemeler yapmak amacıyla kollarını sıvamaya karar verip, burayı, yaz aylarında piknik yapabileceğimiz iç açıcı bir mekân haline getirdiler.

Yeşil: Yazı tahtamın rengi. Diğer yazı tahtaları hep beyaz. Bildiğim kadarıyla, bu mahallede sadece College de France bünyesindeki Pierre Gilles de Gennes kırmızı bir yazı tahtasına sahip.

Helyum: Soy gazların en hafif ve basit olanı. Fizikte sıklıkla üzerinde çalışılan bir elementtir çünkü doğal olarak kimyasal etkinliği yoktur. Çocuklar için balonların içine doldurulur ve böylece, Arşimet prensipleri uyarınca, balonlar havaya yükselir. Helyum, aynı zamanda bütün akışkanların en soğuk ve saf olanıdır ki bu ayrıcalığı onu, maddenin özelliğinin klasik mi kuantum mu olduğu üzerine yapılan çalışmalarda istisnai bir aday haline getirir. Sıcaklığı mutlak sıfır noktasına yaklaştırmada da vazgeçilmez bir soğutucudur ve tıbbi görüntüleme cihazları onsuz bugün geldikleri noktaya gelemezlerdi.

Kahve: Moskova'daki Kapitza Enstitüsü'nde, lokal "kahve kulübü" üyelerinin her gün fizik alanında en son gelişmeler üzerine bitmek tükenmek bilmeyen fikir alışverişlerini yapabilmek için bir araya geldikleri küçük, karanlık bir oda hatırlıyorum. 1984 yılının Haziran ayında ben de bir ruble (sembolik üyelik bedeli) ödeyip bu kulübe katılmıştım. O odada, binanın diğer bütün odalarında yapıldığından daha fazla bilim yapılıyordu. Söz konusu bina, Kapitza'nın zorla yeniden ülkesine iade edilmesi vesilesiyle, Mendeleev'in yüzüncü doğum günü şerefine Stalin tarafından inşa ettirilmişti. Kapitza, Cambridge'deki Rutherford'da öğrencilik yapmış ve ilerleyen yıllarda, süper-akışkanlığın keşfedilmesine yaptığı katkılardan dolayı Nobel Ödülü almıştı. Paris'de, Rue Lhomond, No: 24 adresindeki yönetici Albert Libchaber de haftalık olağan seminerlerine kahveyi dahil etmeye çalışmıştır zira binada gerçekten de meslektaşlarının kolayca birbirleriyle karşılaşabilecekleri başkaca bir yer yoktur. Ancak bu örnekte, söz konusu alan korunmuş olmakla birlikte, aslında orada çalışan insanların arasındaki doğal işbirliğine zarar vermiştir.

Diyagonal: Sezyum, alkali elementler arasında en ağır olanıdır. Periyodik Tablo'da en alt satırın solunda yer alır ki aynı tabloda Helyum, en üst satırın sağındadır. 1991 yılında Jacques Treiner ve üç Amerikalı meslektaşı, Cheng, Cole ve Saam, bu diyagonal ayrımın, sıvı helyumun katı sezyum üzerine yayılmasına engel olduğunu keşfetmişlerdir. Bir diğer Jacques da, bizim tasarım ofisinin başındadır ve kendini bisiklete adamış bir kişidir; onun da "diyagonal" konusunda birkaç kredisi vardır; mesela Brest kentinden Nice kentine giden yol gibi...

Bisiklet: Bir ulaşım aracıdır; özellikle de Rue d'Ulm'e çok uygundur zira Madam Curie Estitüsü'nden çıkan ambulanslar, Lübnan Kilisesi'ndeki cenaze törenleri ve çöp kamyonu bolluğu nedeniyle sıkça araç trafiğinin birbirine girmesi durumlarında oldukça kullanışlıdır. Benim yoluma devam etmeme duyduklar kıskançlık nedeniyle, trafik sıkışıklığında tıkanıp kalmış sürücüler, onların yanından bisikletimle sıvışıp geçerken bana klakson çalarlar. Bense o sırada, solumda dizilmiş muhteşem çınar ağaçlarını yüzyıl önce bu yol boyunca diktirmiş olan Madam Merie Curie'yi düşünüyor olurum.

Soğuk: Sıfır santigrat derecenin (0 °C) altındaki sıcaklıktır ve dolayısıyla rue Lhomond soğuk bir yerdir. Soğuk, benim araştırmalarımda hayati bir öneme sahiptir ve laboratuarımdaki seyreltme soğutucusu -273 °C kadar sıcaklığı düşürebilir. Mutlak sıcaklık yelpazesinde sıfır noktası (0 Kelvin = -273,15 °C) aşılamaz bir sınırdır ve bu noktada maddenin sıcaklığa bağlı titreşimi durur. Ama hâlâ kuantum titreşimi vardır ve bu titreşim sıvı helyumun donmasına engel olur (basınç altına almadığınız sürece).

Kozmonotlar: 1968 yılının Mayıs ayında, yanlış bir boya fırçası darbesinin ortaya çıkardığı güzel bir tesadüf sayesinde, göstericiler rue Lhomond üzerindeki rahibe manastırını yeniden adlandırdılar: "Kutsal Ruhun Misyonerleri" ifadesi, "Bilinç Altının Kozmonotları" şeklini aldı. NASA'nın bizim misyonumuzun gök kubbenin üzerindeki cennete insan yollamak olduğunu düşünüp düşünmediği bir yana, aslında insanları uzaya göndermek bir hata. Bir kere çok pahalı, sonra tehlikeli ve robotların, oraya gitmeyi değerli kılan yegâne iş olan, Dünya'nın ve çevre-

mizi saran kozmosun izlenmesi görevini insanlardan daha iyi yapabilecekleri de bir gerçek.

Vakum: Yirminci yüzyılda fizikçiler, vakumun boş olmadığını öğrendiler. Vakum, atomlar tarafından rasgele ışık yayımına neden olan dalgalanmaların yer aldığı bir hacimdir. Bu gerçeğe rağmen, sımsıkı kapanmış bir fanusun içindeki havayı dışarı pompaladığınızda, başlangıçta fanusun içinde olan bütün atomları pratik olarak oradan ayırıyorsunuzdur ve bu durum, içerdeki yapının özelliklerini değiştirecektir; özellikle de boşaltılan alandaki ısı geçirgenliğini -vakum, iyi bir ısı izolatörüdür.

Sızıntı: Düşük sıcaklık fizikçilerinin kâbusudur. Boş hacimlerin (ki ısı izolasyonu olarak kullanılırlar) gazla dolması suretiyle, sızıntı her türlü soğutmayı imkânsız hale getirir. En kötü sızıntılar -"süper-sızıntı" olarak da bilinirler- sadece süper-akışkan helyumun sızmasına imkân verenlerdir -mutlak sıcaklığın 2 derece altındaki (-271 °C) süper-akışkan helyum, yoğunluğu olmayan bir kuantum sıvıdır ve en küçük delikten bile, devasa bir açık tüneldeymişçesine hızla dışarı fırlar.

E-posta: Elektronik bir mesaj. Genişletilmiş olarak, iletişim ağının kendisi. Dünyanın her yanından bütün araştırmacılar, günümüzde sürekli biçimde bilgisayarları vasıtasıyla birbirlerine bağlı durumdalar. World Wide Web (WWW) üzerinden birçok bilimsel veri, arkadaşlık ve bazen daha fazlasını paylaşıyorlar. Bu ağ, 1989 yılında, Cenevre'deki CERN (Avrupa Nükleer Araştırma Örgütü - le Conseil Europeen pour la Recherche Nucleaire) bünyesinde çalışan araştırmacılardan Tim Bernes-Lee tarafından keşfedildi. Uzun bir süredir bilim insanları, dünyanın her yanına dağılmış büyük bir aile gibi yaşıyor.



Seçtiğim bu kelimelerin, genç hemşerilerime gündelik hayatımın belli açılımlarını başarıyla yansıtacak güce sahip olduklarını umuyorum. Eğer temel parçacıklar üzerine çalışıyor olsaydım, muhtemelen bilimsel terminolojideki bazı kelimelerin metaforik gücünü daha iyi kullanmış olurdum; Örneğin, parçacığın

"çekiciliği" çok isabetli bir içerik olur ve sadece atletik vücutlu olmak anlamına gelmeyebilirdi. Bu konuda, anlatılan konuyu metaforlar kullanarak sunan bilim insanlarına hiçbir itirazım olmaz. Mamafih, bazı parçacıkların aynı biçimde davranma eğilimini taşıdığını ifade etmek için onlardan "sokulgan bosonlar" diye bahsedilebilir. Ama, Jacques Lacan veya Julia Kristeva gibi bazı psikanalistlerin, kuantum fiziğine veya matematiksel mantığa dair kelimeleri, kendilerini bu konularda sahte otoriteler olarak ilan etmek amacıyla yanlış kullanmalarını, Alan Sokal ve Jean Bricmont ile birlikte ben de protesto ediyorum.[1]

Her durumda sözcükler, sadece konuları birbiriyle ilişkilendirmenin gücüne sahip olmakla kalmazlar. Aynı zamanda, düşüncenin de temelini oluştururlar. Ama bir bilim insanının ortaya attığı her söz aynı zamanda bir içerik midir? Bilim insanı seçtiği basit bir kelimeyle, sadece bir fikri iletmeyi kolaylaştırmaya çalışıyor olamaz mı? Keşifle ilgili bütün krediyi, doğru sözcükleri bulan ya da daha doğrusu, iletişim konusunda diğerlerinden daha iyi olan bilim insanlarına mı vermeliyiz? Bu soru, bizimki gibi rekabetin yüksek olduğu, araştırmacıların düzenli olarak denetlendiği ve çeşitli ödüllerle onurlandırıldığı -konferanslara davet edilmeler, ülke çapında ve uluslar arası ödüller vermeler gibi- konuların açıklanmasında sıkça karşımıza çıkar. Kendi yarattığımız küçük dünyalarda, günümüzde birçok örnekte olduğu gibi, gerçekte bir grubun başarısı olan keşifler sanki tek kişinin buluşuymuş gibi, sunumu yapan bireyleri ödüllendiririz. Araştırma camiası bu tür ödüllere karşı çok duyarlıdır ve haklıdır da. Ama sadece ödül kazananları hatırlamak gibi de bir eğilim vardır ve ödül kazanan biri anons edildiğinde, bütün jürinin bir araya gelip seçimini yapmasında -özellikle de Nobel Ödülleri'nde- yaşanan tereddütlere rağmen, bazen katılımcılar hakkındaki yargımıza da biraz ince ayar eklememiz gerekir.

Bence süper-akışkanlık konusundaki durum da böyledir. Bu örneği ele almamın bir nedeni, bizzat kendimin de bir kuantum özelliği olan süper-akışkanlık meselesi üzerine çalışıyor olmamdır. İlgim, belki bu konunun bendeki özel yeriyle alakalı görülebilir ama kayda değer bir diğer neden de, bu alanda 1937-38 yıl-

larında yapılan buluşların tarihine bakıldığında görülen birkaç özellik ve bunların gerçekleştiği sorunlu döneme ışık tutulmasıyla beraber, süper-akışkanlık teriminin ortaya atılmasının yarattığı etkilerdir.

"Süper-akışkanlık", bazı belli akışkanların, belirli sıcaklık değerlerinin altındaki sıcaklıklarda sürtünmesiz olarak akma özelliğidir -yani, sanki yoğunlukları sıfırmış gibi davranmalarıdır. Deneyler sırasında ortaya çıkmış bu buluş, 1978 yılında Nobel Ödülü kazanmış olan Piotr Kapitza'ya ve söz konusu buluşun değerlendirilmesi de, Sovyet teorik fizik arenasının büyük siması ve buluştan 16 yıl önce, 1962 yılında Nobel Ödülü sahibi olan Lev Landau'dur. Bu iki atıf konusunda, *Journal of Low Temperature Physics*- Düşük Sıcaklık Fiziği dergisinde tartışma açmaya cüret ettiğimden, camiada birkaç düşman bile edindim (bazıları arkadaşlarım arasından).[18] Şimdi geri dönüp, bu olayın karmaşık öyküsüne bir bakalım.

8 Ocak 1938 tarihinde İngiliz *Nature* (Doğa) dergisi yan yana iki makale yayınlamış. Derginin 74. sayfasında yayınlanan birinci makale, Moskova Fizik Problemleri Enstitüsü'nden P. Kapitza tarafından 3 Aralık 1937 tarihinde gönderilmiş: "Lambda-noktası altındaki sıvı helyumun yoğunluğu." 75. Sayfadaki ikinci makaleyse, Cambridge'deki Kraliyet Mond Laboratuvarı'ndan J.F Allen ve A.D. Misener tarafından 22 Aralık 1937 tarihinde, yani birinci makaleden on dokuz gün sonra yollanmış: "Sıvı helyum II'nin akışı".

"Lambda noktası", 1927 yılında Amsterdam yakınlarındaki Leiden'de Willem Keesom tarafından, çok soğutulmuş sıvının fiziğindeki normal dışı davranışın keşfi sırasında tespit ettiği bir sıcaklık değerine (T_λ = 2,17 Kelvin derece = -271 °C) karşılık gelmektedir. Söz konusu sıcaklığa helyumu getirmek özellikle zor bir iştir. Fizikçilerin helyumun "özel sıcaklığı" dedikleri bu nokta, olabilecek en soğuk noktadır. Miktarı sıcaklığın bir fonksiyonu olarak gösteren çan eğrisinin formu, Yunan alfabesindeki lambda harfine benzediğinden, Keesom ona bu ismi vermişti. Sonra da, Te üzerindeki sıvıyı "helyum I" ve T_λ altındaki sıvıyı da "helyum II" olarak isimlendirmişti. Bu sırada da, üzerinde

uğraşmakta olduğu sıvının kimyasal reaksiyon özellikleri bulunmayan, minik, yuvarlak atomlardan oluşmasına karşın, iki farklı akışkanlık hali gösterdiğini anlamıştı -bu gayet hayret uyandırıcı bir keşifti.

1937 Yılının Nisan ayında, J.F. Allen, R. Peierls ve M.Z. Uddin'in, helyum II'nin ısıyı mükemmel bir biçimde iletiyor olduğunu bulmasıyla, Cambridge'de gelişen olaylar hızlanmış. Bu sırada, Moskova'daki rakipleri Kapitza, derhal bu davranışın nedenlerini bulma çabalarına başlamış. Eğer yoğunluk düşükse, sıvının içindeki hareketler de özellikle daha rahat olacağından, ısıyı böylesine mükemmel iletmesine katkıda bulunuyor olabilir mi? Denemiş. Yüzeyleri parlatılmış iki diski, aralarında bir mikrondan az mesafe kalacak şekilde birbirine iyice yaklaştırarak, sıvının bu ince aralıktan geçişi üzerine çalışıp, yoğunluğunu ölçmüş. Tc üzerindeki helyum I'in söz konusu ince aralıktan geçmekte zorlanırken, Te altındaki helyum II'nin kolayca aktığını görmüş. *Nature* dergisinde çıkan makalesinde, ölçümlerinin hiçbir sayısal sonucunu vermemiş, sadece sıvının ince aralığın girişindeki ve çıkışındaki basınç farkının, akış hızının karesiyle doğru orantılı olduğunu beyan etmiş ve buradan çıkan sonucu, *akış bir türbülanstır* şeklinde açıklamış. Sözlerini sürdürürken de (bana epey bir kafası karışmış gibi geldi), *eğer akış türbülans olmasaydı*, yani düzgün olsaydı, *sıvının yoğunluğu yine de çok fazla düşmüş olacaktı* -bir poise'nin[19] milyonda birinden daha az, ki bu da suyun yoğunluğundan on milyon kez az olması anlamını taşıyordiye belirtmiş. Sonuçta, Kapitza'nın bu saptaması ve ardından söyledikleri bir dönüm noktası niteliğinde olmuş: "Süper-iletkenlerle bir analoji yapılmak suretiyle, lambda noktasının altındaki helyum özel bir hale girer ki bu da süper-akışkan olarak adlandırılabilir." 'Süper-akışkan' sözünü Kapitza icat etmiştir.

Bir önceki bölümde özet olarak değindiğim üzere, elektronlar sürtünme olmaksızın aktığında, metalin elektriksel direnci kaybolur ve süper-iletken hale dönüşür. Sıvı helyum da sürtünmesiz akışa bir diğer örnek teşkil eder ve her ne kadar aralarındaki ilişki onlarca yıl sonra net biçimde anlaşılacak olsa da, Kapitza bu iki fenomeni birbiriyle kıyaslamakta haklıdır.

Toparlarsak, Kapitza'nın makalesi şaşırtıcı bir inceliğe sahip ve kısmen yanlıştır ama nihayetinde dahice edilmiş iki önerme içerir. Şimdi, bu makalenin hemen yanında yayınlanmış olan diğer makaleyle bir karşılaştırma yapalım.

İngiliz bilim adamlarınca yazılmış olan bu makale söyle başlıyor: "Sıvı helyum II'nin çeşitli özellikleri üzerine yapılan bir araştırma, bize bu elementin viskozitesi üzerine daha dikkatli çalışmalar yapmak gerektiğini göstermiştir. İçimizden biri yakın zaman önce, helyum II viskozitesinin, titreştirilen silindirden süzmek yoluyla ölçüldüğünde, üst sınırının 10^{-5} cgs olduğu sonucuna varmıştı. Biz de Kapitza'nın yukarıdaki makalesinde vardığı sonucun aynısına ulaşmış bulunuyoruz; yani, işin içine yüksek Reynolds sayıları girdiğinden, ölçümler muhtemelen düzgün olmayan bir akış göstermektedir." 3 Aralık ile 22 Aralık 1937 tarihleri arasında Allen ve Misener, rakipleri Kapitza'nın makalesinin dergiye ulaştığını öğrenmişlerdi. Bunun nasıl olduğunu buldum. Ama önce, Allen ve Kapitza'nın kendi türbülans niteliğindeki tarihi karşılaşmalarını ortaya koyalım.

Kapitza doktorasını, Cambridge Üniversitesi'nde -ki bu üniversite Newton ve onun gibi birçoğunun da okuluydu- Maxwell tarafından Rutherford programı kapsamında kurulmuş Cavendish Laboratuarları'nda yapmış bir Sovyet araştırmacısıydı. Ludwig Mond'un cömert bursu sayesinde Kraliyet Camiası, onun adını taşıyan Mond Laboratuvarı'nı kurmuştu. Orada Kapitza, yeni bir helyum sıvılaştırıcısı keşfedip, bu sistemi kurmuştu. Aynı zamanda çok yüksek manyetik alanlar yaratarak, tehlikeli deneylere de girişmişti; laboratuar, binanın diğer ucunda konuşlandırılmış olan yöneticileri, olası herhangi bir patlamadan korumak amacıyla uzunlamasına kurulmuştu.

Kapitza her yaz Moskova'ya giderek ailesini görmeyi zaten alışkanlık haline getirmiş olmakla birlikte, 1934 yılında Leningrad'da Mendeleev'in yüzüncü doğum günü kutlamaları yapılacağı açıklanınca, ülkesine gitmek için iki nedeni olmuştu. İşte bu gidişinde Stalin, onun bir daha ülke dışına çıkmasına izin vermemişti. Büyük diktatör, endüstri atılımında gerekli oksijeni imal etmek için yapılan çalışmalara ve daha sonra da Sovyet

bombalarının üretimine -ki bu alan Kapitza'yı utanç içinde bırakmıştı- yardımcı olacak büyük bilim insanlarına ihtiyaç duyuyordu. 1934 Yılında Stalin, zorla ülkede tuttuğu bu bilim adamını işe koşmak istedi. Onun için Moskova'da, parkın içinde büyücek bir ev görüntüsündeki, şimdilerde adı Kapitza Enstitüsü olan Fizik Problemleri Enstitüsü'nü kurdu. Zorla ülkede tutulma hikâyesinin duyulmasıyla birlikte Rutherford devreye girerek, Kapitza'ya geride bıraktığı ekipmanlarını iki şartla göndermeyi teklif etti: Birincisi, Sovyetler Birliği bu ekipmanı satın alacaktı ve ikincisi de, Cambridge Kapitza'nın orada kurduğu değerli helyum sıvılaştırıcısını elinde tutmaya devam edecekti.

Şunu netleştirmeliyim ki, o yıllarda helyum, modern fizikteki özel yerini almaya başlıyordu. Kuantum fiziği fenomenleri makroskopik seviyede kendilerini ortaya çıkarmadan önce bile, bilim insanları helyumun düşük sıcaklık sağlamak için kaçınılmaz bir ihtiyaç olduğunu anlamışlardı. Mutlak sıfıra yakın (0 Kelvin derece) sıcaklıklarda, maddenin içindeki sıcaklığa bağlı hareketin durduğunu ve maddeyi oluşturan bileşenler arasındaki hassas ilişkilerin ölçülebilir hale geldiğini, durumun, tıpkı sis kalktığında manzaranın netleşmesi gibi olduğunu da biliyorlardı.

Ama sıvı helyumun nasıl elde edileceğini bilen laboratuarların sayısı bir elin parmakları kadardı: Leiden, Toronto, Oxford, Cambridge ve Kharkov. Bir diğer sıvılaştırıcı kurmak ve bilimsel çalışmalarına başlamak için Kapitza, Cambridge'de kendisine yardım eden iki teknisyen Laurman ve Pearson ile birlikte, öğrencilerinden birini üç yıllığına Moskova'ya getirmeyi de becerdi -David Schönberg, sonradan Mond Laboratuvarı'nın yöneticisi olacaktı. Buradan da, Stalin'in Kapitza'ya ne kadar ihtiyacı olduğunu anlıyoruz; o kadar ki, Sovyetler Birliği'nde rasgele tutuklamalar ayyuka çıktığında, Kapitza Fok adında genç bir teorisyenle birlikte, Landau'nun da serbest bırakılmasını sağlayabilmişti. Sovyetler Birliği'ndeki teorik fizik alanının gelecekteki liderlerinden biri olan Landau, Moskova'da Kapitza ile birlikte çalışmak üzere davet edilmeden önce, doktorasını Leningrad'da, doçentliğini Kopenhag'da Niels Bohr ile yapmış, Khar-

kov'daki (Ukrayna) ilk işinde çalışmaya başlamıştı. Ama 1938 yılının Mart ayında, bu küstah genç deha, rejime karşı gelmekten dolayı tutuklanmış ve hapse atılmıştı. Kapitza onu hapisten çıkartmak için Molotov'a, Landau'ya karşılık teminat olarak kendi özgürlüğünü teklif etmiş, buna rağmen istediğini elde etmesi bir yılını almıştı (1939 Yılının Nisan ayı). Kapitza, burada söz konusu ettiğim makalesini *Nature* dergisine, Stalin ve Molotov'a karşı başkaldırısı başlamadan hemen önce (Hiç de cesaret yoksunu değildi!) yollamıştı.

Bütün bilimsel araştırmacılar için yayınların önemi azımsanamaz. O yıllarda bilimsel bir dergide yazısı yayınlanmak demek, bir bilgi parçasının üretildiğinin yegâne ispatıydı. Uzun süre en iyi dergiler uluslar arası nitelikte olanlardı ve her birinin bir 'editörden duyuru köşesi' olur, orada bariz sebeplerden dolayı belli bir öncelik sistemi oturtmak amacıyla, makalelerin dergiye ulaştığı tarihler verilir ve makaleler, eleştirmenlerin değerlendirebilmesi için gereken zaman süresince gizli tutulurdu. Bu aşamada, yazının içeriğinin tutarlı olup olmadığına, net ve anlaşılır bir dille yazılıp yazılmadığına ve adı saklı iki hakemin eleştirilerine cevap verip vermediğine bakılırdı. Bu denetim mekanizması önemli ve çok hassas bir konuydu ve hepimiz buna zaman zaman kendi aramızda çıkabilen tartışmalar ne kadar ağır olursa olsun, dürüstçe saygı duyardık. Eleştirisiyle birlikte yazımızın uluslar arası bir dergide yayınlanmasının kabul edilmesi, işimizin bilimsel kalitesi yönünden ilk donanıma sahip olmaya karşılık geliyor ve bulduğumuz sonuçlarla gerçeğin ilk karşılaşması şansını veriyordu. Ve elbette, kimin buluşu önce yayınlanırsa, kâşif de o oluyordu; ondan sonra aynı konuda yazanlar, birincinin sonuçlarıyla konuyu yenıden ele almış sayılıyorlardı. Üstüne üstlük, prensipte her bir yayın, bir başka araştırmacının konuyu sorgulayabilmek amacıyla teoriyi yeniden kurgulayabilmesi için gerekli bütün detayları da ortaya sermeliydi. İster ölçüm yoluyla yapılmış olsun, isterse eşitliklerin çözülmesiyle, bu bir kuraldır. Bilimsel sonuç, yeniden üretilebilir nitelikte olmalıdır. Nitekim, kendi araştırmasını aşağı yukarı başkasınmkiyle aynı zamanda bitiren birinin, önce biten işi yeniden üret-

mekle suçlanması mümkün müdür? İşte bu, biz bilim insanlarının karşılaştığı problemlerden biridir.

Kapitza, makalesini *Nature* dergisine göndermişti. 1937 Yılında Moskova'yla İngiltere arasındaki iletişim zorluklarını, Kapitza'mn sabırsızlığını ve biran önce yazısının yayınlanmasını arzuluyor olmasını tahmin edebiliyoruz. Bu nedenle de, Rutherford şemsiyesi altında çalışırken tanıdığı meslektaşı John Cockcroft'dan, yazısındaki ispat düzeltmelerini kendisi yerine yapmasını rica etmiş. Cockcroft, Kapitza ayrıldıktan sonra Mond Laboratuvarı'nın yöneticisi olmuştu. Ayrıca 1951 yılında, Einstein'ın meşhur eşitliği $E=mc^2$ formülünü ilk kez doğrulamış kişi olarak Nobel Ödülü alacaktı! Kendi yönettiği laboratuarda çalışan Allen ve Misener'in bulduğu sonuçların aynılarını Kapitza'nın da yayınlamak niyetinde olduğunu görünce Cockcroft, kendi adamlarından buldukları sonuçları biran önce yayınlanabilecek hale getirmelerini istemiş. Şunu da ilave etmem gerekiyor ki, bu konulardaki rekabet, olması gerektiği üzere, gerçekten çok sıkıdır; Jack Allen, Cambridge tarafından Kapitza'nın yerine alınan iki genç bilim adamından biriydi. Diğeri de, kuantum maddesi üzerine yaptığı işle meşhur olan teorisyen Rudolf Peierls idi. Sonuç olarak, Jack Allen Cambridge'e gelmeden önce Toronto'da çalışmış olduğundan, gelirken yanında bir de öğrencisini getirmişti; Don Misener. Toparlarsak, her ikisi de Cambridge'de Kanadalı göçmen olan Allen ve Misener, orada kendilerinden önce çalışmış bir başka göçmen olan (SSCB göçmeni) profesörleri ve rakipleri Kapitza'nın Stalin tarafından alıkonması sonucunda, ardında bıraktığı materyaller sayesinde araştırmalarını sürdürüyorlardı.

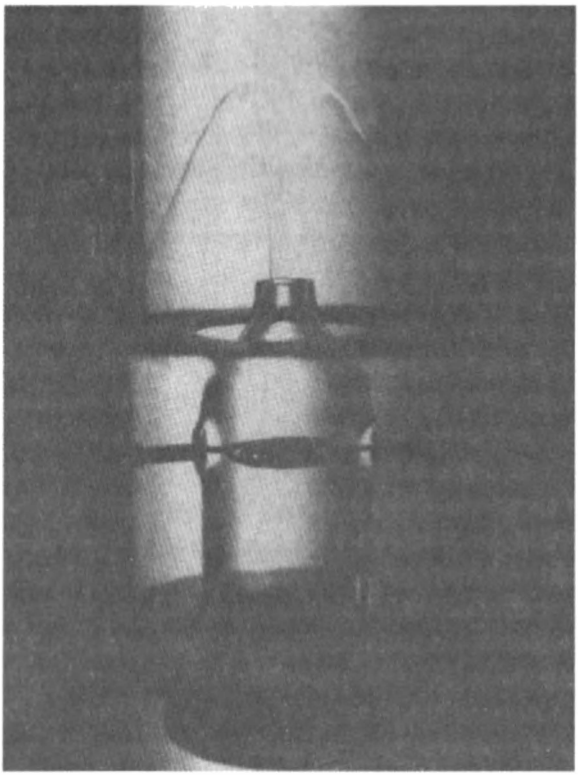
Şimdi o günkü tartışmaya dönelim. Sovyet fizikçisi Andronikashvili, kitabında, Kapitza'nın Allen'e göre önceliği olduğunu çünkü makalesini on dokuz gün önce teslim ettiğini söylüyor. Ama bu saçma; Allen doğrudan Kapitza'nın yaptığı işi yeniden üretmemişti ki! Misener'le birlikte yazdıkları makale, sıvı helyumun, saç kılı inceliğinde "kılcal" olarak adlandırılan bir tüp boyunca akışıyla ilgili gayet isabetli ve detaylandırılmış değerler içeren bir işti. On dokuz günde yapılabilecek olandan çok daha

fazla kayda değer miktarda iş vardı ortada. Hatırlarsanız, her bir deney, diğer her şeyi soğutacak olan sıvı helyumun üretilmesiyle başlıyordu! Dolayısıyla Allen kanadı Kapitza'yı entelektüel dürüstlüğe aykırı davranmakla suçlayarak, yaptıkları ölçümlerden çıkardıkları üç şaşırtıcı sonucu ortaya koydu:

(1) Helyum II, helyum I'den çok daha hızlı akar. Sıcaklıktaki küçük bir değişiklik, akışkanın davranışının tamamen değişmesi için yeterlidir.
(2) Helyum II'nin akış hızı, kesinlikle kılcal boruların uçlarındaki basınçtan bağımsızdır; çimenleri sularken hortumun ucundan çıkan su, musluğun ne kadar açık olduğuna bağlıdır -mamafih, helyum II bundan çok değişik davranmaktadır.
(3) Bu akış hızı aynı zamanda, binin katlarınca değiştirilerek denenmiş kılcal borunun çapından da bağımsız görünmektedir. Klasik bir tüpte, sulama için kullanılıyor da olsa, akış hızı, tüpün kesit alanıyla doğru orantılıdır -bu hız en büyük kılcal boruda en küçüğüne oranla 1000 kez daha büyük olmalıydı.

Helyum II'nin davranışı her hangi bir klasik kanuna karşılık gelmediğinden, araştırmacılar bu durumda bir yoğunluk değerine karar vermenin imkânsız olduğunu belirtiyorlardı. Bu sonuç gayet net, açık ve isabetliydi. Helyum II'nin bilinmeyen kanunlara uyar biçimde davrandığının ilk ispatını, yeni bir tür akışkanla uğraştıklarını ileri sürerek yaptılar. Kaldı ki, Kapitza'nın hassas değerler olmaksızın ileri sürdüğü ikinci dereceden bir denklemle ortaya koyduğu kanun, tam olarak akışın bir türbülans olduğunu doğrulamıyor ve ispat etmiyordu. Allen ve Misener'in makalesindeki bilimsel değerler gayet net biçimde Kapitza'nınkilerden daha iyiydiler ama nasıl oldu da Nobel Ödülü'nü Jack Allen değil de Kapitza aldı?

Bunun nedeni sadece psikolojik ya da politik meseleler değildir. Burada enteresan bir bilimsel problem vardır: Süper-akışkanlık ve dördüncü bölümde konuştuğumuz Bose-Einstein yo-



Resim 7. Fıskiye olayı, fotoğraf: J.F. Allen ve J.M.G. Armitage, 1971. J.F. Allen'in sonradan profesör olduğu St. Andrews Üniversitesi, Fizik ve Astronomi Okulu arşivinden.

ğunlaşması arasındaki teorik bağlantı. Dolayısıyla, bu noktada hikâyeye bilimin üç tane daha büyük ismini sokmam gerekiyor: Fritz London, Laszlo Tisza ve Lev Landau. Buyurun size bir münakaşa daha!

Olayların akışını değerlendirelim. 5 Şubat 1938 günü, yani 4 hafta sonra Jack Allen *Nature* dergisinde bu kez Harry Jones ile birlikte ikinci bir makale yayınladı. Süper-akışkan helyumun içinde olduğu kılcal boruyu bir ucundan ısıttığında, lokal basıncın arttığını ve böylece helyum seviyesinin yükseldiğini, hatta

diğer uçtan fışkırarak çıktığını keşfetmişti. Bu yeni keşfini "fıskiye etkisi" olarak da adlandırmıştı. Yapılan deneyin kurulumuna bakıldığında, eğer buradaki akışkan klasik bir akışkan olsaydı, ısıtılan uçtaki sıvı seviyesinin düşüyor olması gerekirdi. Bunun tam tersini gözlemlemeleri, Allen ve Jones'un söz konusu sıvının doğasıyla ilgili tuhaf bir hipotez ileri sürmelerine neden oldu. Bu kez teorisyenlerin başka seçeneği kalmamıştı; maddenin bu yeni halindeki davranışları üzerine radikal olarak değişik bir yoruma ihtiyaçları vardı.

Fritz London'un *Nature* dergisine "Lambda fenomeni ve Bose-Einstein dejenerasyonu" başlıklı makalesini göndermesi için sadece bir ay yetmişti ve 9 Nisan sayısında yazı çıktı. 1900 Yılında Brelau'da (günümüz Polonya'sında Wraclaw şehri) doğan Fritz London, Ervin Schrödinger ile çalıştığı ve Walter Heitler ile birlikte kuantum kimyası teorisini kurduğu Nazi Almanya'sından kaçıyordu. Paul Langevin, Jean Perin ve Edmond Bauer, Fransa'nın en solcu hareketi olan sivil direnişin güçlendiği o günlerde, London'u sevinerek Henri Poincare Enstitüsü'ne kabul ettiler. Kendisi 1939 yılma dek Paris'te kaldıktan sonra, Birleşik Devletler'deki Duke Üniversitesi'nden profesörlük unvanı aldı. London, lambda noktasındaki sıcaklığın (2,2 K), Einstein tarafından ortaya atılan kuantum yoğunlaşmasının tahmin edilen sıcaklığına (3,3 K) yakın olduğunu fark etmişti. Ayrıca, sıvı helyum atomlarının düşük kütleleri nedeniyle yüksek kuantum çalkantısı ihtimaline yakın maddelerden olduğunu da anlamıştı. Sonuç olarak, sıvının belli ısılardaki sıcaklık değişimlerinin -ki Keesom bu değişim grafiğinin Yunan harfi lambdaya benzediğini düşünmüştü- Einstein tarafından kuantum yoğunlaşması fenomeninde tahmin edilen değişimlere benzediği dikkatini çekmişti.

London, sıvının bu davranışlarının nedenini doğru anlamıştı ama o zamanlarda çok az sayıda insan, "Bose-Einstein yoğunlaşması" diye bilinen öngörüye inanıyordu. Einstein'ın kendisi, "Bu teori sevimli bir teori ama içinde hiç gerçek var mı?"[20] diye yazmamış mıydı? Maddenin hal değişimleri teorisi henüz erken bir evresindeydi. Örneğin, Hollandalı fizikçi George Uhlenbeck,

dengelendiklerini gözlemlemek imkânsız ise, nasıl olup da iki akışkan halin var olabildiğini anlamadı. Buzu bir bardak suyun içine koyarsanız ve sıcaklık da 0 Santigrat dereceyse, buz ve su birbiriyle dengede olacaktır. Ama böyle bir denge, klasik bir gazla, aynı gazın Einstein'a göre yoğunlaşmış hali arasında mümkün değildir. Bu problem üzerine, 1937 yılında, Van der Waals'ın yüzüncü doğum günü kutlamaları kapsamında yapılan konferansta, Einstein, Ehrenfest ve Kramers arasındaki görüşmelerden sonra bazı gelişmeler kaydedilmişti. London, kuantum gazları teorisinin sıvı maddenin yeni halini açıklıyor olmasının bir çeşit saplantı biçiminde görüldüğüne dair ciddi kuşkular taşısa da, eğer gerçekse, bunun yapısal bir devrim olduğunu düşünerek konferansa katıldı. İlerde göreceğimiz üzere, Landau inatla bu görüşe inanmayı reddetti. Ama bu konuya girmeden önce, hikâyenin bir diğer bükülme noktası var.

Fritz London, Paris'e kaçan yegâne yabancı değildi. Kendisiyle birlikte gelmesi için 1907 yılında Budapeşte'de doğmuş olan Laszlo Tisza'nın da aklını çelmişti. Göttingen'de Max Born'un eski öğrencisi olan Tisza, Leipzig'de Heisenberg'in yönetimi altında Teller ile birlikte çalışmış ama sonra Macar Nazi hükümeti tarafından düşünce suçlusu olarak tutuklanmıştı. On dört ay hapis yattıktan sonra, sığınma ümidiyle Krakov'daki doçentlik kadrosunda yer almak üzere Landau ile birlikte oraya gitmişti. Paul Langevin onu, "Yabancı Bilim İnsanlarını Koruma ve İş Bulma Komitesi" yardımıyla Paris'teki College de France okuluna getirmişti. College de France'den, Henri Poincare Enstitüsü'ne gitmek sadece Place du Pantheon caddesini geçmekten ibaret olduğundan, Tisza için Fritz London'la çalışmak son derece kolay olmuştu. Jacqueline Hadamart da o günlerde Paul Langevin'in laboratuarında çalışıyordu ve Tisza'nın, yönetimin kendisine Birleşik Devletler sığınma vizesi almayı başardığı 1941 yılına kadar Fransa'da kalmasına yardımcı olmuştu. Sonunda, anti-semitik zulümden kaçmayı başararak gemiye binmeyi beceren Tisza, Massachusetts Inst. Tech.'in kendisine teklif ettiği pozisyonda çalışmaya başlamıştı.

E-posta gerçekten mükemmel bir icat. 2001 Yılının başlarında Tisza'nın 94 yaşında emekli bir profesör olarak hâlâ aktif olduğunu öğrendikten sonra, e-posta adresini arayıp bulmak çok kolay oldu. Ardından, muziplik olsun diye, kendisinin Massachusetts Inst. Tech.'deki e-posta adresine bir mesaj yolladım ki bu yaptığımın aslında şişe içine mesaj yazıp denize atmak gibi olduğunu düşünüyordum. O zamanların bunalımlı politik ortamında nasıl olup da onca bilinmezi ortaya çıkaran yoğun bilimsel faaliyetler yürütüldüğünü daha iyi anlamak istiyordum. Tisza sadece bu muzip e-postama cevap vermekle kalmadığı gibi, aramızda geçen birkaç mesajlaşmayı takiben, kendisini süper-akışkanlarla ilgili bir seminer vermek üzere Ecole Normale Superieure'ye davet bile edebildim. Benim laboratuarım, Henri Poincare Enstitüsü'ne iki yüz metre uzaklıkta ve bu binanın önünden onunla birlikte yürüyüp geçtik. Tisza yavaş yavaş yürüyordu ve rue Pierre et Marie Curie Caddesi üzerindeki iri kırmızı tuğlalı binanın önünde bir an durduğumuzda, ona destek olmak amacıyla koluma girmesini teklif ettim. 1938 yılının bütün hatırası gözünün önüne gelmişti. London'la birlikte yürüyüş yapmayı severlermiş ve bu yürüyüşlerden birinde London ona düşüncesini açmış: Süper-akışkanlığın, her ne kadar bir sıvıyla ilgili olsa da, Einstein'ın gazlar için öngördüğü kuantum yoğunlaşmasıyla aynı tür bir durum olduğuna inandığını söylemiş. Buna karşılık Tesza, London'un hipotezlerini temel alan ve durumu izah edebilmeyi sağlayan, süper-akışkan helyumun bilinen bütün özelliklerine dair bir dizi muhteşem fikre sahipmiş ve bazı ilave tahminlerde bulunmuş. Yine *Nature* dergisinin 21 Mayıs 1938 sayısında "iki sıvı modeli" başlığını verdiği, çığır açan bir başka makalesi yayınlanmıştı. Anlaşılacağı üzere söz konusu bu model, sıvı helyumun birbirinden ayrılamaz iki akışkanın karışımı olduğu, ancak birbirinden bağımsız hareket ettikleri yönünde, devrim niteliğinde bir görüş ortaya atıyordu. Nasıl olur da aynı sıvının bir parçası, diğer parçaları olmaksızın hareket edebilirdi ki? Suyla alkolü birbirine karıştırın, sonra da alkolü

oynatmadan suyu hareket ettirmeyi deneyin! Ama Tisza, bu inanılmaz olasılığın Bose-Einstein yoğunlaşmasıyla ilgili olduğunu anladı. Söz konusu olasılık London'a bile imkânsız görünüyordu ama sonunda Tisza'nın haklı olduğu ortaya çıktı.

Bu karmaşık hikâye, tereddütlerin ve anlaşmazlıkların hep birlikte bilimsel disiplinlerin içinde yumak haline geldiğini ve böylesine yoğun rekabetin yaşandığı bir ortamda olayların gelişim hızını gösteriyor; bütün bu makaleler ve hatta Kharkov ve Oxford'da çalışan ekipler tarafından ortaya çıkartılan diğer başka sonuçlar da -ki burada hepsim açıklayarak daha fazla vaktinizi almayacağım- *Nature* dergisinin Ocak ve Mayıs ayları arasında çıkan sayılarında yayınlanmıştı. Kapitza, Landau'yu Stalin'in hapishanelerinden kurtardıktan sonra yeniden işin içine soktu. İngiltere'de yapılan deneysel araştırmalar kısa bir süre sonra savaş nedeniyle durmak zorunda kaldı Sonra Landau da dahil herkes yeniden çalışmalarına başlayacaktı. 1941 Yılında *SSCB'de Fizik* adlı dergide, "Helyum II'nin süper-akışkanlığı teorisi"[21] adında bir makale yayınladı. Bu makalede Landau, süper-akışkanlık teorisinin hâlâ baz aldığı Tisza'nın modellerinden bile daha net kanıtlarla, iki sıvı modeli daha geliştiriyordu. Makale, bir kuantum sıvıyı tarif etmek için "quasi-parçacık" içeriğini ortaya atmak açısından gerçekten büyük bir takdiri hak ediyordu. Hem süper-akışkan helyumun nasıl aktığını ve hem de termodinamik özelliklerini (nasıl ısındığını, mesela) açıklıyordu. Söz konusu makale, fiziğin büyük bir alanı için temel niteliklere sahip olsa da, diğer yandan aşikâr biçimde Jack Allen, Laszlo Tisza ve diğerlerine karşı adaletsizlik yapıyor, Fritz London'un adını bile anmıyordu. Burada psikoloji, politika ve bilim üzerine birkaç söz daha etmeğe değer doğrusu.

Landau'nun makalesi şöyle başlıyor: "Sıvı helyum tuhaf özellikler geliştiriyor olmakla biliniyor. Bunların arasında en önemlisi, *Kapitza tarafından keşfedilen süper-akışkanlık* özelliği." Landau hayatını Kapitza'ya borçluydu, bu kesin, ama Kapitza'nın kendisi bile bu keşfin salt kendisine ait olduğu yalanını böylesine ortaya atmamıştı. Landau, süper-akışkanlıkla Bose-Einstein yoğunlaşması arasında bağlantı olduğu yolundaki

"öneriler" konusunda da Tisza'ya atıfta bulunup, bu fikrin esas sahibi olan London'dan hiç bahsetmeden devam ediyor. Sonra şöyle yazıyor: "Bu konuda Tisza tarafından geliştirilen açıklamalar, sadece önerilerin mesnetsizce ortaya atılmasıyla kalmıyor, asıl düşünceleriyle de doğrudan çelişkiler barındırıyor." İşte bu noktada eski doçentine karşı gerçekten acımasız oluyor. Sekiz yıl sonra, kendi teorisindeki küçük bir hatayı düzeltmek için yazdığı bir makalede de, Tisza hakkındaki görüşünü netleştiriyor:

"Tisza'ya karşı manevi borcumu açıklamaktan asla gocunmam, aksine mutluluk duyarım. 1938 Yılında, Helyum II'yi ikiye ayırıp, her bir parçaya ayrı hızlar vererek bana gösteren odur. Tisza'nın detaylı bir makalesi, [Journal du physique et du radium 1:165 ve 350 (1940)] o tarihlerde savaş nedeniyle SSCB'ne ulaşmamıştı ve daha önce yazdığı diğer iki mektup da, maalesef gözümden kaçmış [Comptes rendus de l'Akademie des sciences (Paris) 207:1035 ve 1186 (1938)]. Yine de, tümü değerlere dayalı teorileri (mikroskobik ve termo- ve hidro-dinamik), bence topyekûn yanlıştır."

Buradan iki şey öğrenmiş bulunuyoruz. Birincisi, Landau'nun eski doçentinin işlerini küçümsemeye devam ettiği; ikincisi de, Landau'nun *Nature* dergisine yazdığı kısa mektuptan hemen sonra Tisza'nın aynı dergide çıkan makalesini okumamış olduğunu. Bu ikinci noktada merak ettiğim şey, benim uluslar arası yayınlarla ilgili endişelerimle (bkz. 12. Bölüm) aynı zamana rastlayan söz konusu Tisza makalesinin, sadece Fransızca olarak yayınlanması mıydı? Ama bana, 1962 yılında kazandığı Nobel Ödülü'nü kişisel olarak alamamasına neden olan ciddi bir trafik kazası sonrasında komaya girdiği ve bilinci yeniden geri geldiğinde de Landau'nun ilk olarak Fransızca birkaç söz etmiş olduğu söylenmişti. Buradaki kafa karıştırıcı sorunun cevabını tam olarak anlamak amacıyla, Landau'nın eski bir öğrencisiyle temasa geçtim; Sovyet rejimi çöktükten sonra Birleşik Devletler'e göç eden ve orada süper-akışkanlık üzerine çalışmalarına devam eden ünlü bir fizikçi, Alexei Abrikosov ile. Abrikosov, SSCB'de fizik alanında bir idol olarak görülen Landau'nun

Fransızca bildiğinden kuşku duymam karşısında şoke olmuş göründü. 15 Ocak 2001 tarihinde Abrikosov'dan gelen cevabi e-posta iletisi şöyleydi:

"Sayın Dr. Balibar,

Landau yabancı diller konusunda çok yetenekli biriydi. Almanca, İngilizce, Fransızca ve Felemenkçe dillerini bilirdi. Dolaysıyla, Tisza'nın Fransızca yazılarını da okuyabilirdi. Ama gazeteleri sık sık, kendisi okumak yerine onun okumasını istediği Lifshitz Fransızca bilmezdi. İkinci sorunuzla ilgili konuda da kuşkularım var, zira özellikle bilincinin geri geldiği günlerde sürekli orada, hastanede kendisinin yanındaydım (ilk sarf ettiği söz de benim adımdı ayrıca) ama Fransızca tek bir söz ettiğini bile duymadım (Benim Fransızcam iyi olmaktan çok uzaktır ama Fransızcayı İngilizceden ayırt edebilecek kadar bilgim de vardır.)

Saygılarımla,
Alex Abrikosov

Öğretmenine karşı böylesine hayranlıkla dolu bir öğrenci görmek duygulandırıcı; o öğretmen ki, her ne kadar haklı olsa da, manyetik alanın bir süper-iletkenin içine girişimi üzerine öğrencisinin teorisini yerle bir etmeye çalışmış ve buna rağmen öğrencisi Abrikosov 2003 Nobel Ödülü'nü almıştı. Ama Abrikosov, Landau'nun neden Tisza'nın helyum II üzerine yazısından haberdar olmadığı konusunda bana alkışlanacak bir açıklama getirmişti: Kendisi, bilimsel literatüre dair konuları okumada Lifshitz'den servis alıyordu. E.M. Lifshitz, Landau'nun yazdığı ve bütün dünyadaki fizikçilerin bugün bile hâlâ kullandığı bir seri fizik kitabının yazar asistanı olacaktı. Lifshitz, Tisza'nın detaylı çalışmasını ustasına nakletmeyi unutmuş olabilir miydi? Hiç şüphe yok ki, Landau'nun etkisi çok güçlü hale gelmişti; bir şeyi Landau söylediyse, o şey doğru olmak durumundaydı. Süper-akışkanlık Kapitza'nın tek başına yapmış olduğu bir keşifti ve bu teoriye Tisza'nın herhangi bir katkısı da yoktu.

Tisza'nın olmadığı gibi, London'un da katkısı yoktu. Ama Landau, London'un bütün işlerinden haberdardı. London'la birkaç yıl önce tanışmıştı. Fritz London'un bir de yayınlarını birlikte çıkardıkları kardeşi vardı, Heinz. Landau, fıskiye etkisini tarif eden matematik formülünü çıkarttığında bu kardeşe gönderme yapmıştı: "6.1 ve 6.4 formülleri, Tisza'nın fikirlerinden başlanarak, H. London tarafından zaten çıkarılmıştı (Kraliyet Cemaati Tutanakları, 1939)"

Demek ki Landau kasıtlı olarak Fritz London'u bilmezden geliyordu.

Bu nasıl olabilirdi ki?

Landau, London'un Bose-Einstein yoğunlaşmasıyla ilgili değinmelerini ona karşı delil olarak kullandı. Bu konudaki kendi işleri aracılığıyla Landau, sistemli biçimde London'a gönderme yapmaktan uzak durdu. Uzun bir süre Landau'nun mükemmel bir gazın özelliklerinin bir sıvıya da uygulanabileceğine yönelik Einstein tarafından öngörülmüş bu fikri irdelemeye karşı direndiğini düşündüm. Mükemmel bir gazda, tanım olarak atomlar birbirinden tamamen bağımsızdırlar ve kendi aralarında herhangi bir ilişkiye girmezler. Bunun tersine, yoğun bir sıvıda atomlar birbirlerine çok yakındırlar ve dolayısıyla sürekli bir ilişki halindedirler. Kaldı ki, bir gaza Bose yoğunlaşması düşüncesi uygulanmasının ilk uzantısı (atomlar arası ilişkinin zayıf olması durumunda) 1947 yılına dek tamamlanmamış bir teoriydi (diğer bir Rus, Bogoliubov tarafından geliştirildi) ve bunun bir sıvıya uyarlanışının Penrose ve Onsager tarafından genelleştirilmesi de bir diğer on yıl daha aldı. Aslında, Tony Leggett'in dediği gibi, (o da 2003 yılında, Abrikosov'la aynı zamanda Nobel Ödülü almıştır), bir sıvıdaki Bose-Einstein yoğunlaşmasından bir gazdakine geçişin kolayca ve çabucak mümkün olup olmadığı da net değildir. (Gazdaki Bose-Einstein yoğunlaşması 1995 yılında tam olarak keşfedilmiş ve ispatlanmıştır.) Süper-akışkanlık ve Bose-Einstein yoğunlaşması arasındaki ilişki, aslında hâlâ tamamıyla tartışmaya kapanmış bir konu da değildir; örneğin, meslektaşım Yves Pomeau hâlâ bunların birbiriyle alakalı olması zorunlu olmayan iki farklı fenomen olduklarını düşünmektedir.[22]

O zamanlar, Landau tarafından London'a yapılan haksızlığın kökeninde, her ne kadar Landau'nun görüşlerini fizik camiasına aktarırken vicdansızca eleştiren kişiliği dillere destan olsa da, aralarındaki bir takım bilimsel anlaşmazlıklardan kaynaklanan sürtüşmelere bağlı olması gerektiğini düşünmüştüm. Oysa sebebin gerçekten bilimsel olduğu kadar, benim düşündüğümden biraz daha farklı yönleri bulunduğunu Lev Pitaevskii'den öğrendiğimde çok şaşırdım. Lev Pitaevskii, Landau'nun 25. öğrencisiydi; Landau öğrencilerini zor bir sınavdan geçirerek kabul eder ve isimlerini büyük bir deftere alt alta yazarmış. Buradan bakarak, Evgueny Lifshitz 2 numara, Tisza 5 numara, Abrikosov 12 numara, Pitaevskii 25 numara ve helyum kristalleri üzerine on beş yıl boyunca polemik yaşadığım Sahsa Andreev de 32 numaraydılar.

Lifshitz gibi, Lev Pitaevskii de yirminci yüzyıl fiziğini etkin biçimde şekillendiren seri kitapların yazılmasında büyük rol oynadı. Pitaevskii aynı zamanda, Landau'nun 1941 yılında yayınlanan makalesini çevre koşullarına göre tartıştığı çok ilginç bir de makale yazdı.[23]

Sovyetler Birliği çöktüğünde Abrikosov Birleşik Devletler'deki Argonne'ye göçtü ama Pitaevskii İtalya'da Trento'ya gitmeyi tercih etti. Dolayısıyla, Trento'da organize edilen konferansta aklımdaki muammaya netlik getirmek için bir şansa sahip oldum; Pitaevskii'ye, ona göre neden Landau'nun süper-akışkanlıkla Bose-Einstein yoğunlaşması arasında herhangi bir ilişki olduğunu ısrarla reddettiğini ve dolayısıyla da London'a hiç kredi vermediğini sordum. Pitaevskii, bilim insanlarının gerçekten süper-iletkenliği bile tam anlamadıkları zamanları düşünmemi sağladı. Ona göre Landau, süper-akışkanlık ve süper iletkenliğin temel olarak aynı fenomen olduklarına inanıyordu. Neden? Nasıl? Bu bir sır, ama Einstein'm nedenselliği "boson" olarak adlandırılan parçacıklara uyarken (çünkü onların istatistiki özellikleri Bose'nin kanunlarıyla bulunabiliyordu), elektronlar diğer gruba, yani "fermiyonlara" (bunlar da Fermi-Dirac istatistiği ile bulunabiliyordu) dahildiler. Landau'ya göre, helyum ve süper-iletkenler, farklı istatistik kanunlarına

uyan parçacıklar tarafından oluşmuş olsalar da, aynı özelliği gösterdikleri için, her ikisinin de kuantum istatistiğine bağlı sorunlar olarak ele alınmaması gerekiyordu. Dolayısıyla, Landau fazlasıyla aceleciydi! London'un işlerini temel alan süper-iletkenlikle ilgili bir teoriye sahip değildi. 1957 Yılında, hepsi de Nobel Ödüllü Bardeen, Cooper ve Schrieffer, elbette elektronların çiftler haline gelerek bosonlara dönüştüklerini ve böylelikle de Bose-Einstein yoğunlaşması kapsamına girdiklerini buldular.

Bu durum, neden London'un yandaşlarıyla Landau'nunkilerin, hafif helyumun izotopu olan helyum 3'ün süper-akışkan olup olmadığı sorusuna odaklandıklarını anlamamıza da yardımcı oluyor. Gerçekte, helyum 3 atomu helyum 4 atomundan bir nötron eksiktir ve bu nedenle de bir fermiyondur. Eğer London haklı idiyse, sıvı helyum 3, bir süper-akışkan olmamalıydı; en azından karşılaştırılabilir sıcaklıklarda. Bu durum, gerçekten de 1949 yılında Argonne Milli Laboratuvarları'nda D.W. Osborne, B. Weinstock ve B. Abraham'ın yüksek miktarda helyum 3 ile gerçekleştirdikleri deneyler sonucunda keşfettikleriyle örtüşüyordu (helyum 3, hidrojen bombası imal etmek amacıyla trityum elementi üzerinde yapılan çalışmaların bir yan ürünüydü). London ve Tisza bu konudaki heyecanlarını saklamamışlardı. Daha sonra, 1973 yılında David Lee, Douglas Osheroff ve Bob Richardson, helyum 3 atomlarının da, tıpkı süper-iletkenlerin elektronları gibi, Bose'nin istatistik kanunları uyarınca çiftleşebildiklerini, böylece helyum 3'ün de bir süper-akışkan haline gelebildiğini ama bu dönüşümün 1.000 kez daha soğuk bir sıcaklıkta gerçekleşebildiğini keşfettiler. Landau'ya dönersek, buluşlar onu da haklı çıkartıyordu ama süper-iletkenliğin diğer alanlarında; örneğin, süper-akışkanın akabileceği maksimum akış hızı açıklamasında veya sıfırdan farklı sıcaklıklardaki "quasi-parçacıkları" ihtiva eden bir süper-akışkanın termodinamiğinin tanımlanması konusunda.

1954 Yılında London, geçirdiği bir kalp krizi sonucunda genç yaşında öldü. Adını taşıyan bir ödül organize edildi ve 1960 yılında söz konusu ödülün seçici jürisi, ödülü kazanan kişiyi açık-

ladı... Landau. Bunu öğrendiğimde doğrusu biraz şaşırdım.[21] Bu iki adam ciddi biçimde birbirlerine karşı çıkmış, bütün fikirleri ve kişilik davranışlarıyla çatışmışlardı. Ama şimdi düşündüğümde, Landau'nun amansız rakibine karşı biraz olsun saygı duymayı öğrendiğine inanıyorum. Basit biçimde, kendisinin kabul etmediği bir çıkış noktasından hareket eden birinin işinden bahsetmek bile istemedi. Eğer London böylesine genç yaşında ölmeseydi, Nobel Ödülü'nü Landau ile paylaşıyor olabilirdi, zira Einstein'ın bizzat kendisi London'u en büyük ödül için aday göstermişti. London, muhtemelen kimya dalında da bir Nobel Ödülü hak etmişti. Jack Allen için de durum farklı değildi ve inanıyorum ki o da çirkin bir bariz haksızlığın kurbanı oldu; Landau'nun prestiji öyle kuvvetliydi ki, bir söz söyledi mi, o söz doğru addediliyordu; dolayısıyla süper-akışkanlık, ona göre bu deyimi bulan kişi tarafından keşfedildi -Kapitza. Macar Fizik Topluluğu'nun 1991 yılında yüzüncü kuruluş yıldönümü nedeniyle düzenlenen kutlamalar kapsamında yapılan bir konuşmanın sonunda Tisza'nın yazdıkları şöyle: "Eğer tarihten öğrenilecek bir ders varsa, o da, 'kazanan her şeye sahip olur' tavrının ne kadar birbirimize karşı toleranssız davranmaktan uzak durmaya çalışsak da insanı değişik geleneklerin en iyi mirasçılarından biri olma zevkinden yoksun bıraktığıdır." Sonuçta, London ve Allen, bilim dünyasının büyük, tarihi mücadelelerinde tek bir muzafferin hatırlanması genel eğilimi yüzünden acı çektiler. Tisza, kendini süper-akışkanlık konusundaki bu iki yaklaşım arasında -ki nihayetinde uzlaşma on yıllar aldı- sıkışıp kalmış buldu.

İşte bilim böyle ilerledi -kavramsal frenler, terimlerin bulunması, birden fazla yazar ve yer yer polemiklerle. Fakat bu ağır çalışma tarihi, sıvı helyuma uygulanmış haliyle sonunda bizi nereye getirdi? Diğer birçok şeyin arasında, sıvı helyum günümüzde nükleer manyetik titreşim teknolojisi kullanan bütün tıbbi görüntüleme cihazlarında (hastanelerdeki MRI tarayıcıları) soğutucu olarak kullanılıyor ve CERN projelerinden birinde 27 kilometrelik dev bir süper-akışkan helyum halkası inşa edilip içine daldırılan mıknatıslar aracılığıyla yeni bir parçacık hızlandı-

rıcı imal edilmiş bulunuyor. Belki de bu hızlandırıcı, fizikçilere parçacık fiziği alanında standart bir model yaratmada yardımcı olan kilit bir rol oynayacak ve yakında keşfedilmeyi bekleyen gizemli parçacıkları tanımlamak için bulunmuş yeni terimler öğreneceğiz.

7. Bölüm

Kristaller ve Camlar

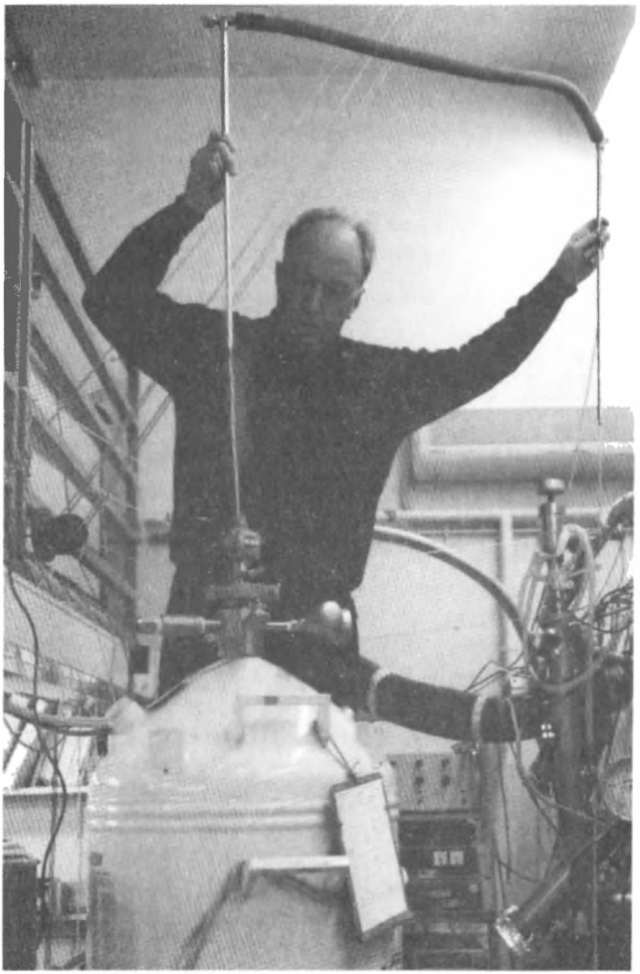
"Daha etkileyici bir şeyler bekliyordum!"

Bu sözler, genç bir araştırma yöneticisi olduğumda (yardımcı profesöre eşit bir pozisyon), laboratuarıma getirdiğim babamın gösterdiği ilk tepkiydi.

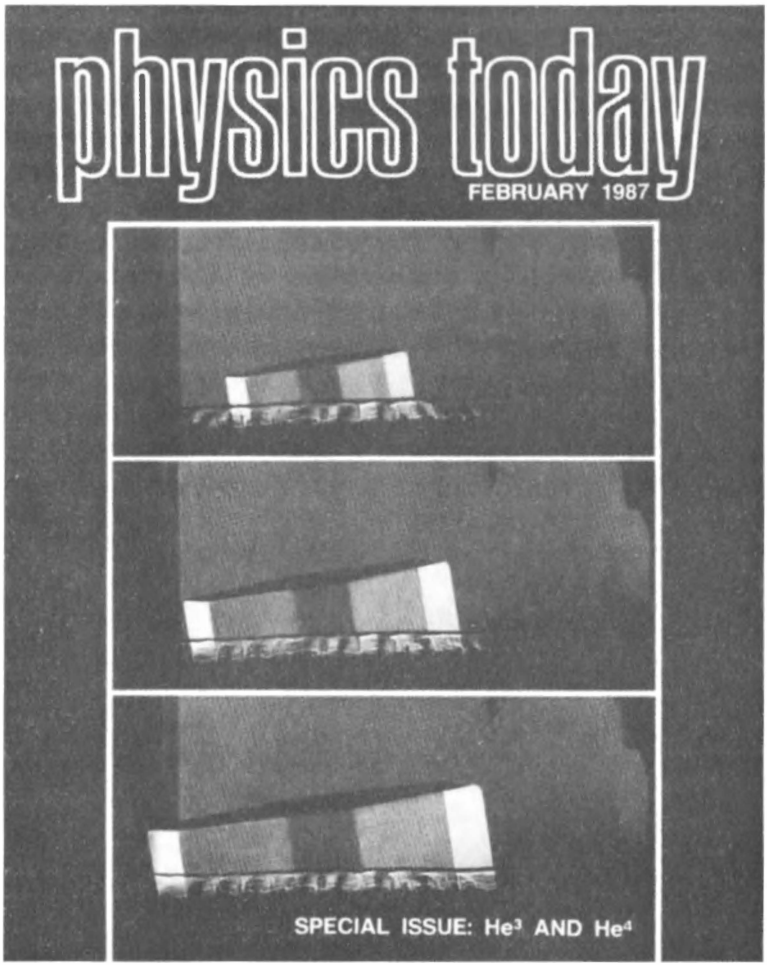
Akşam saatleriydi ve kapıyı açtığımda hemen dönüp tavandaki neon lambalarını yakmaya üşenmiştim. Optik tablasında oturan sabit düşük sıcaklık kabının delikli kapağından dışarı kırmızı lazer ışınları sızıyordu; kontrol panelinde turuncu göstergeler ve yeşil düğmeler parıldıyor, bir kameradan TV ekranına, dünyanın en mükemmel kristali ya da en azından en soğuğu ve en safı olduğunu düşündüğüm –altıgen helyum kristallerinden oluşan– bir imaj düşürüyordu. Pompalar uğulduyor ve defterlerim, sürdürdüğüm yoğun çalışmanın birer kanıtı olarak, bu çok renkli yılbaşı ağacı süslemesini andıran görüntünün önünde etrafa yayılmış duruyordu. Sabit düşük sıcaklık kabımın tepesinden bile soğuk buhar çıkıyordu. Ama sanıyorum gerçek görüntü, oğluna duyduğu sevginin aşırı coşkusuyla bir babanın beklentilerine uyacak ölçüde değildi.

1986 yılının Kasım ayında, Amerikan Fizik Enstitüsü'nün aylık dergisi *Physics Today* (Günümüz Fiziği) yayınının sonradan

kapağında kullanacağı fotoğraflardan birini alıp, arkasına, "Bu fotoğraf, hayatımdan on yılın muhtemel bir sembolüdür," yazmıştım. O fotoğraf, tahtta oturur gibi babamın şöminesinin üstündeki rafta bir on yıl kadar durdu. Ama ben ne diye bu kadar uzun zaman kristallere kölelik ettim ki?



Resim 8: Sıvı helyumun transferi, rue Lhomond, 2004. Fotoğraf Th. Bouet



Resim 9: *Physics Today* dergisinin izniyle yeniden basılmıştır. (Vol. 40), ©1987, Amerikan Fizik Enstitüsü.

Her zaman basit soruları sevmişimdir. Bu bölümdeki soru şu: Neden kristallerin yüzleri vardır? Ve eğer bu soruyu yanıtlamak, birkaç mükemmel öğrencimin de yardımlarına rağmen benim on yılımı aldıysa, şüphesiz bunun zor bir soru olmasındandır.

Tuza bir mercekle bakın; küçük kristallerinin kübik olduklarını göreceksiniz. Şekerlemelerin yapımında kullanılan şeker de, düzenli, çok yüzeyli ve küçük simetrik yüzeylerin birbirine bağlandığı şekillerdedirler. Kuvars kristalleri içinse, kuyumcu dükkânlarında onlara yakından bakabilir veya daha iyisi, Jussieu No: 6'daki Paris Üniversitesi'ne gidip, oradaki muazzam mineral koleksiyonunu ziyaret edebilirsiniz! Kuvars kristalleri çok yüzlü, iğne benzeri nesnelerdir ve uçlarıyla gövdeleri altıgendir. Olağanüstü biçimdeki bu simetriler -tuz için kübik, kuvars için altıgen- kristalin içyapısını ortaya çıkarır; moleküller öyle bir biçimde düzenlenmiştir ki, aynı simetrileri, önce Başrahip Haüy, sonra Auguste Bravais ve son olarak da on dokuzuncu yüzyıl içerisinde Pierre Curie tarafından açıklandığı üzere, maddenin bütün formunda da görmek mümkündür.[25] Simetrinin bu karşılıklılığı öylesine hassastır ki, silika molekülleri dediğimiz, tam olarak altıgen olmayan bir simetriyle düzenlenmiş olan kuvars kristalleri, yüzeyleri üçerli iki grup halinde bir araya gelmiş ve yine tam anlamıyla altıgen olmayan bir şekle sahiptirler.

Bu yüzler, kristalize yüzeyde öylesine açık biçimde görülür ki, varlıkları sık sık kristalize halin kendisinin tanımı olarak ele alınır. Ve bazı kristallerin formları -doğal, işlenmemiş, silinmemiş, oluştukları gibi duran kristalleri kastediyorum- onları oluşturan atomların gerçekten düzenli biçimde organize olmuş bir ağın bağlantı noktalarında bulunmaları ve böylelikle basit bir desenin sürekli tekrarı olarak vücut bulmaları sayesinde, tam anlamıyla bütün yönlerde aynı yuvarlaklığa sahiptirler (ve bu da kristalin doğru tanımıdır). 1980 Yılında bizim keşfettiğimiz de budur: Helyum kristallerimiz sıcaklıkları yüksekken yuvarlak durmaktaysa da, soğutuldukça yüzeyleri yuvarlaktan düz satıhlara doğru değişmektedir -yani "fasat" olarak adlandırılan hale gelmektedirler. Ve biz, bunun neden böyle olduğunu anlamak istedik.

Aynı biçimde, bütün katı maddeler kristalize bir yapıya mı sahiptirler? Hayır. Bir sıvıda olduğu gibi, katı bir cisimde de, yoğunluğu çok yüksek ve gaz gibi çok seyrek olmayan tüm maddeler buna örnek teşkil edebilirler. Ama katı maddeler ve sıvılar

farklı mekanik özelliklere sahiptirler. Gerçekte katı maddeler, şiddetli baskı uygulamalarına karşı dirençlidirler; eğer bir katı nesnenin üst kısmını sağ tarafa doğru iterken, alt kısmını da sol tarafa çekersem, ondaki deformasyon fazla olmuyor ve dahası, bu uygulamayı kestiğimde, elastik olarak orijinal şekline de dönebiliyor. Diyelim demir gibi, oda sıcaklığında sert duran katı cisimler olduğu üzere, yumuşak katı cisimler de vardır; -bu örnek sizi biraz şaşırtacak ama derhal dediğimi netleştireceğim- jöle veya sabun köpüğü gibi.

Yoğun bir sabun köpüğü konsantrasyonuna üflediğinizde onun elastik olduğunu göreceksinizdir; jöleyi hafifçe salladığınızda da aynı etkiyi gözlemleyeceksiniz. Diğer yandan, sıvıya güçlü bir baskı uygularsanız akar. İki plakanın arasına biraz yağ koyun ve sonra plakalardan birini diğerine göre hareket ettirin. Yağ akacak ve plakaları serbest bıraktığınızda başlangıçtaki orijinal durumlarına geri dönmeyeceklerdir. Ama dikkat! Katı bir cisme çok fazla baskı uygularsanız -sabun köpüğü ve jöle örneklerinde bunun için çok da ileri gitmenize gerek kalmaz- madde "plastik" dediğimiz bir duruma gelir; yani bu cisim, geri dönemeyeceği kadar deforme olur ve baskı kaldırıldığında başlangıçtaki orijinal haline dönmez. Dolayısıyla, *bir cismin katı veya sıvı karakter taşıması, onun özüne dair bir özellik değildir*; daha ziyade uygulanan kuvvete bağlıdır. Dahası, sabun köpüğü ve jöleden başka birçok şeyi de akar hale getirmenin kolay olduğunu biliyoruz. Metal de eritmeden akar hale getirilebilir; demir telleri, metali ince bir oluktan geçmeye zorlayarak bu şekilde yapıyoruz ("presliyoruz").

Şimdi sorumuza dönelim: Bütün katı maddeler kristalize bir yapıya mı sahiptir? Sabun köpüğü ve jöleden bahsederek, sorunun cevabını zaten vermiş olduk; hayır, değildir. Her neden yapılmış olurlarsa olsunlar, sabun köpüğü ve jöle düzenli ve periyodik bir dizilime sahip değildir. Camı da bu kristalize yapıya sahip olmayan katı cisimlerin arasına dahil etsek iyi olur ama cam, biraz daha fazla açıklama gerektirir. Bir cam levhayı bükersem, uyguladığım kuvvete karşı katı madde gibi direnç gösterir ve sonunda kırılır ama bir sıvı gibi akmaz. Mamafih, cam bir

kristal değildir; bilim insanlarının adlandırdığı biçimiyle cam, atomları veya molekülleri bir alanda düzensiz biçimde dağılmış, tıpkı trafik sıkışıklığında olduğu gibi hareket etmeleri engellenmiş, "sıkışmış" bir sıvıdır. Jellere veya yoğurda benzer ancak bunlardan daha serttir.

Şimdi, "cam" kelimesiyle "kristal" kelimesi iki farklı çağrışıma sahiptir; biri ortak dilde kullanılırken diğeri bilimseldir, dolayısıyla burada yolu kaybetmek gayet mümkündür. Cam, hem eşya yapımında kullanılan bir nesne ve hem de benim doğasındaki düzensizlikle ilgilendiğim bir malzemedir.

Bu bana, günün birinde çocuklar için bir dergi olan Astrapi'de çalışan bir gazeteciden gelen telefonu hatırlattı. Gazetecinin, gündelik hayatımızdaki farklı seslerle ilgili soruları vardı ve kendisini bana, Bilimle İletişim adlı dernek yönlendirmişti.

"Neden kristal bardaklar sıradan diğer bardaklardan daha farklı bir ses çıkartır?" diye sordu.

Bu tür sorular ciddi bir hassasiyete sahip olabilirler ve ben de takdire şayan hızda bir cevap vermiş olmaktan dolayı mutlu olurum. Sorunun konusu titreşim meselesiyle alakalıydı ve çıkan sesin tonu, madde ne kadar katıysa o kadar yüksek olacaktı. Kadeh kaldırdığımızda, cam bardağın birinin diğerine çarpması, bardağın tüm bünyesinde titreşen bir salınıma neden olur; ki bardağın üst kısmı daireseldir, çarpışma sırasında hafifçe esner, sonra tekrar düzleşir ve ardından yeniden esner ve bu böyle sürer. Hızlı çekim ayarı olan bir kamerayla yapacağımız çekimlerde bu hareketin detaylarını inceleyebiliriz. Eğer cam bardağı bir tutma çubuğu ile tutuyorsak, yukarı kısmında başlayan titreşim durmayacak, ses daha güzel çıkacak ve titreşimi durduran bir faktör olmadığından daha uzun süre devam edecektir. "Kristal" bardakların yapıldığı malzeme daha serttir ve dolayısıyla yayılan sesin tonu da daha yüksek olur; tıpkı bir keman telinin gerilerek daha az esner hale getirildikçe daha ince ses çıkarması gibi.

"Peki, kristal bardaklar camdan mı, kristalden mi yapılıyor?"

"Kristal" olarak adlandırdığımız bardaklar gerçekten de camdan yapılmışlardır, yani bu düzensiz katı malzemeden. Sıra-

dan bir anlayışla "kristal", malzemeyi daha yoğun ve sıkı hale getiren kurşun oksit yüklenmiş camdır; ses, sıradan camın içinde yayıldığından daha hızlı yayılır ve dolayısıyla daha yüksek çıkar. Bir fizikçi olarak bana göre "kristal cam" deyimi gayet aşina olduğum bir söylemdir ama aslında çelişik bir terimdir.[6] Dahası, "kaya kristali" olarak bilinen madde de kuvarstır ve yarı-kıymetli maden olarak kabul edilir. Neyse ki durumun böyle olması, viskimi bu kadehlerden birine doldurup içmeme engel değil. Bardağımı dibindeki yoğun bölümden tuttuğumda çıkan sesin süresi, aldığım yudumun lezzetinin ağzımda yayılması boyunca devam eder.[27]

Bilimsel yönden bakınca, camların fiziği, benim çalışma disiplinimdeki en etkin alandır -daha genel bir deyişle, dejenere olmuş alanlar. Bu noktada uzun bir konudan sapma iyi olacak sanki. Sonra tekrar kristallere döneceğiz.

Konuyu basitçe anlatabilmek için, camın bir sıvı olduğunu ve çok hızlı soğuduğu için kristalleşmeye vakit bulamadığını söyleyebiliriz. Pencere camlarını, erimiş silikayı -ki sıvı haldeki silikon oksittir- aniden soğutarak yaparız. Eğer bu soğutma sırasında cama biraz daha zaman verecek olsak, kuvars olarak kristalize hale dönüşecektir. Ama erimiş malzemeyi soğuk suyun hızla aktığı bir küvete dökerek, aşina olduğumuz camı elde ediyoruz.

Silika neden kristalleşmiyor? Kristalizasyon için, moleküllerin kendilerini verilen hacimde düzene sokabilecekleri belli bir zamana ihtiyaçları vardır ve bu zaman, birlikte giden iki nedenden ötürü uzun olabilir. Bir yandan, elimizdeki sıvının yoğunluğu çok yüksek olabilir, diğer yandan da, oluşması beklenen periyodik konfigürasyon, dikkate değer biçimde, diğer hallerden daha sıkı ve kararlı olmayabilir. Bu durumda cam, sanki hava şartlarına karşı tereddüde düşmüş gibi veya periyodik bir konfigürasyona girmemiş gibi davranır ki bu da enerjisini iyi kullanmadığı yönünde bir görüntü verir. Söz konusu ihtimal özellikle çok ilginçtir, zira bir madde çelişkili kuvvetlerin ortasında kaldığında ne oluyorsa, camı da onun gibi buluruz. Benzetmelerden hoşlanan fizikçiler burada, gündelik hayattaki çatışmalara zemin hazırlayan "bunalım" sözcüğünü kullanırlar.

İki farklı renkte bir grup insan düşünelim; yarısı kırmızı yarısı mavi olsun. Varsayalım ki kendilerini yeniden organize etmek istiyorlar ama her bir birey de diğer renkten biriyle yan yana olmayı tercih ediyor; başka bir deyişle, burada söz konusu ettiğimiz grup, kadın ve erkeklerden oluşan ve herkesin karşı cinsten biriyle yan yana olmak istediği bir kalabalık olarak da düşünülebilir. Şimdi, bu insanlardan, herkesin dörtlü gruplar halinde kare masaların etrafına geçmesini istediğimizi düşünelim; buna kolayca bir çözüm bulacaklar, böylece de herkes tatmin olacak, her masada iki mavi iki de kırmızı insan bulunacaktır. Böylelikle durumu, iki aynı rengin yan yana gelmediği karelerden oluşmuş büyük bir ağa genelleyebiliriz ki satranç tahtası görmüş herkes, farklı renkte komşuluk ilişkisi içerisindeki karelerin nasıl dizildiğini biliyor olacaktır. Fakat bir de altıgenlerden oluşan kırmızı ve mavi renklerdeki bir ağı denediğinizde -arı petekleri gibi-, burada aynı renklerin yan yana gelmesine engel olacak altıgenleri dizmenin imkânsızlığını göreceksinizdir. Dolayısıyla, insanlarla yapacağımız bu deneyde bazılarını mutsuz edeceğimiz kesindir ve bu da belli seviyede genel bir bunalıma yol açacaktır. Grup değişik olasılıkların konfigürasyonlarını deneyecek ancak hiç birisi tam anlamıyla tatmin edici bir sonuç vermeyecektir. Çatışan gerilimlerin yol açtığı olası konfigürasyonların çeşitliliği ve diğer birçoğundan daha iyi bir konfigürasyonu bulmadaki büyük zorluklar, camların oluşumundaki karakteristiklerdir.

Dahası, bu durumun oluşturduğu çok ilginç bir sonuç da var: Camın yaşı-sıralı kristallerin böyle bir özelliği yokken, camların bir geçmişleri vardır. Çelişik gerilimler içeren sıvıyı soğuttuğunuzda, genelde en düşük enerji seviyesinde bulunmayan bir halde sonlanarak, cam formunda donar ve dolayısıyla dengeli ve kararlı bir halde olmaz. Bunu yaptığında sıcaklığı hâlâ sıfır değildir ve termal hareketliliği sürmektedir, dolaysıyla da işlem sürecini devam ettirir, mamafih yavaşça, kararlı ve dengeli olabileceği, böylece de enerjisini en optimum şekilde kullanabileceği halin arayışını sürdürür. İçsel hareketliliği nedeniyle cam, hiçbir zaman değişimini durdurmaz. Bunun tersine, kristaller mad-

denin dengeli ve kararlı konfigürasyonuna sahip olduklarından, daha kararlı bir yapıya kavuşmak için süreci devam ettirmeye ihtiyaç duymazlar –bu hale zaten ulaşmışlardır. İçsel hareketlilik her ne kadar yavaş olsa da, burada açıklamak istediğim, camın söz konusu hareketlilikten dolayı çektiği eziyettir. Velhasıl cam, ona kısa bir süre zarfında bakarsanız bir katı madde, ama uzun süre gözlerseniz de bir sıvıdır. Demek ki katı maddeyle sıvı madde arasındaki fark da, sadece üzerlerine uygulanan kuvvete bağlı olmayıp, bu maddeleri gözleme süresine de bağlıdır. Karmaşık bir mesele olmakla birlikte gayet şaşırtıcı ve dolayısıyla da ilginçtir.

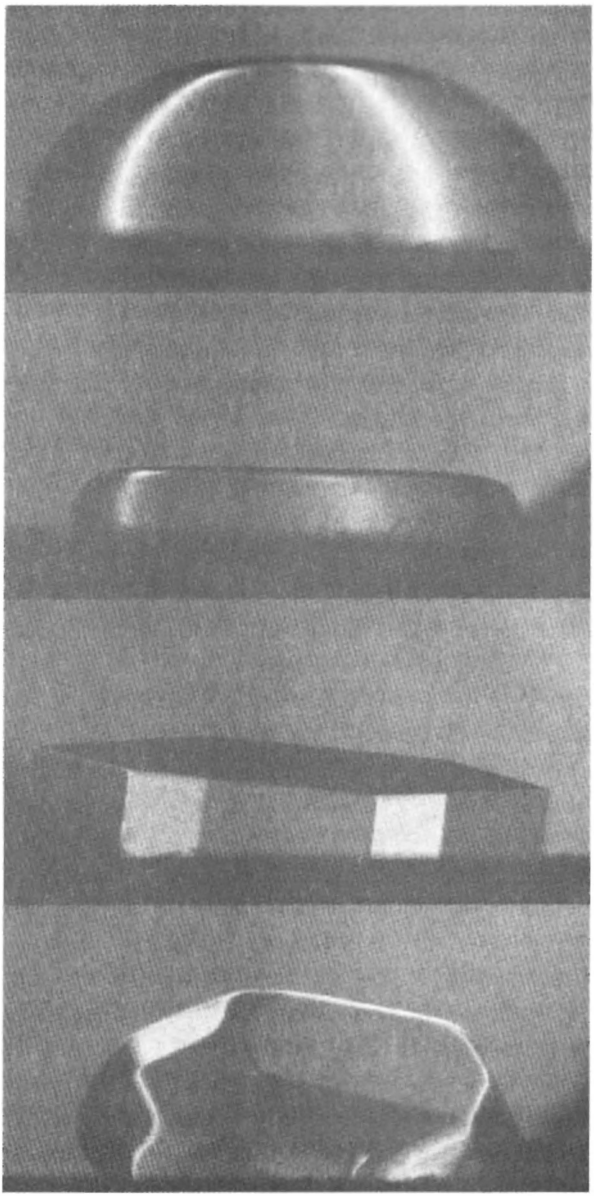
Bazı fizikçiler, burada örneklediğimiz bunalım metaforunu biraz daha öteye götürüp, Tolstoy'un şu söylemine atıfta bulunurlar: "Mutlu insanların tarihi yoktur." Diğer bir deyişle, bunalmış camın tarihi vardır. Bu yaklaşım meseleyi gayet güzel açıklıyor ve ben kendim de, çelişkilerden kaynaklanan içsel hareketlilik meselesini diğer mecralara yayarak genişletmenin çekiciliğine yer yer kapılıyorum. Örneğin, ressam François Rouan, şoke edici bir söylemle "iğrenç güzellik" deyimini kullanırken, resim sanatında çelişkinin –veya sanatçının dediği gibi "çarpışmanın"– duygusal bir tepki geliştirdiği ve yapılan işe dünyevi bir boyut kattığı yolundaki duygularını açığa vuruyor. Bir resmin yapısal çerçevesi içinde bir tek unsura dikkatle bakarsak, karşıt bir unsura baktığımızdan başka bir şey görürüz. Bakmaya devam ettiğimizde de görme biçimimiz gelişir ama değişen şeyin resmin kendisi olduğu etkisine kapılabiliriz. Aslında, eğer araştırmacılık yapmayı öğretmenlikten daha zevkli buluyorsam, bunun bir sebebi de, araştırmacının bilinmeyene bodoslama dalarken ve düşünceleri onu harekete geçmeye zorlarken, öğretmenin, kendisini oturmuş, tutarlı ve dolayısıyla sabit gibi görünenlerle sınırlandırma eğilimine sahip olmasıdır. (Yine de, öğretmenin bu tavrı hayata geçirmesinin ardında, doğru pedagojik sebepler olduğunun da farkındayım.)

Uzun bir aradan sonra şimdi şu benim kristallere geri dönelim. Camların tersine, kristaller düzenli periyodik sistemlere sahiptirler. Bizim laboratuarda, çok yüzeyli düzgün yüzlerden

oluşan şekillerinin, söz konusu düzenin sonucu olduğunu ve sıcaklıktaki değişimlerin şekildeki değişimlerle beraber yürüdüğünü, çünkü şeklin maddenin içsel hareketliliğine bağlı olduğunu göstermiş bulunuyoruz. Kristallerimiz yeterince sıcak olduklarında, şekilleri de tıpkı bir sıvı damlası gibi tam anlamıyla yuvarlak olmaktadır.

Burada sözünü ettiğim şekil, hâlâ kristallerin doğal olarak oluşturdukları ham şekildir; örneğin, bir kapta tuzlu suyu kaynatıp suyunu buharlaştırdığımızda elde ettiğimiz tuz kristallerinin veya doğada bulduğumuz minerallerin şekilleri; yoksa işlemden geçmiş ve parlatılmış olanlarınkiler değil (yani mücevhere dönüştürülmüş değerli taşların şeklileri gibi). Bir kristalin şekli, yüzeyinde düzenli biçimde yerleşmiş düzgün köşegen yüzlerden oluşur ve sıcaklık düştükçe kristalde de daha fazla köşegen yüz meydana gelir, yani kristalin yüzeyi, giderek artan çeşitlilikte ve yönde konuşlanmış, daha fazla, küçük, düz alanlarla kaplanır.

Yukarıdaki dört fotoğraf, giderek düşen sıcaklıktaki helyum kristallerini gösteriyor; yukarıdan aşağıya ilk fotoğrafta 1,4 Kelvin, sonra 1 Kelvin, 0,4 Kelvin ve 0,1 Kelvin. Kelvin skalasının sıcaklık için mutlak skala olduğunu ve bu skalanın Santigrat skalasmdan 273,15 derece düşük hesaplandığını hatırlayın (0 K = –273,15 °C). 1 Kelvin gayet soğuk bir sıcaklıktır ama helyum atomları da ancak bu sıcaklıkta birbirlerine karşı çekim güçlerini yitirirler; bu sıcaklıkta birbirleriyle girişim enerjileri çok zayıflar. Bir sonuç olarak, 1 K civarındaki sıcaklıkta bile helyumun özellikleri hâlâ sıcaklığa bağlıdır; Dünya tarafından çok zayıf biçimde çekilen hafif bir nesne gibidir; en ufak bir nefes bile onu hareket ettirmek için yeterlidir. Dolaysıyla, en üstteki fotoğraf tamamen yuvarlak bir kristali gösteriyor; görseniz, bunun bir sıvı damlası olduğunu düşüneceksinizdir. Fakat biliyoruz ki atomlarının altıgen yerleşimiyle bu bir helyum kristalidir; biraz daha soğuttuğumuzda, şeklinin üst kısımdan başlayarak düzleştiğini, sonra yan yana gelmiş altı düzgün yüzle altıgen bir prizmaya dönüştüğünü ve son olarak da, önceden oluşmuş prizmalarla yaklaşık 60 derecelik açı yapan altı tane daha düzgün yüzün ortaya çıktığını gözlemliyoruz.



Resim 10: Soğudukça, helyum kristallerinin yüzleri daha belirgin hale geliyor.

Katı helyumu keşfedenler bizler değiliz; bu keşfi 1926 yılında Hollanda'nın Leiden kentinde çalışan Willem Keesom yaptı. Sıvı helyumun kristalize olma noktasını araştırırken termodinamik değerlerini de ölçmüş ancak hiçbir şey göremeyip, "[...] Görülecek tuhaf bir durum yoktur," diye yazmıştı. Helyum kristalleri özellikle şeffaf olduklarından çıplak gözle yüzeylerini ayırt etmek, saf suyun içinde yüzeye çıkmış buz küpünü fark etmek kadar imkânsız olduğu doğrudur. Etienne Rolley, Claude Guthmann ve ben, renkli olarak bu resimleri çekmeyi becerdiğimizde, Keesom'dan biraz daha iyi bir iş yaptığımızı hissetmiştik doğrusu ama bu işi ondan altmış yıl sonra başardığımızdan, beklenen bir başarıydı elbette. Aslında, biz daha ziyade resimleri çekmekte kullandığımız metodun başarısı karşısında çok etkilenmiştik. Metodumuz, kristallerimizi bir prizmadan dağılan ışıkla aydınlatmayı–gökkuşağı gibi– ve küçük bir siyah panelle, kullandığımız merceğin odaklanma noktasında değişik perdelemeler yaparak kameraya görüntüleri almayı içeriyordu. Her bir yüzey çifti küçük birer helyum prizmasından oluşuyor ve farklı renkte görünüyordu. Ama bu metodu da kendimiz düşünmemiştik; emekliliğini Bristol'deki garajında su damlacıklarının dönüşünü fotoğraflayarak geçiren bir mühendis olan Pierre-Gilles de Gennes'in arkadaşı Leonard Tanner'in önerisiydi. Sanıyorum çıkarttığımız işin başarısı, bu fotoğrafların mükemmelliği kadar, ortaya çıkarttığımız güçlü bilimsel içerikti de aynı zamanda.

Sonuç olarak, helyum kristallerinin değişken sayıda yüzleri olduğunu keşfettik ama bunu bulan sadece bizler değildik. Aynı konuda rakibimiz olan en az iki grup daha vardı: Moskova'da Konstantin Keshishev ve Alexandr Parshin ve Haifa'da Judd Landau ve Steve Lipson. Her bir grup kendine özgü deney metotlarına ve teorilere sahipti. 1978'den 1994 yılına kadar olan dönem, bir anlamıyla, her konferansın bize kimin araştırmalarının daha hızlı ilerlediğini görebilmek, diğer yandan da aynı fenomeni gözlemleyip gözlemlemediğimizi test edebilmek ve gözlemlerimizi benzer biçimde yorumlayıp yorumlamadığımızı irdelemek anlamında şans tanıdığından, gayet canlı bir periyot idi.

2004 Yılına geldiğimizde, Rus meslektaşlarımla benim aramdaki rekabet, kendi araç gereçlerimizden çok daha güçlü makinelerin başında toplanma ve çalışmalarımızı sürdürme şansı bulduğumuz Finlandiyalılar sayesinde bir çeşit işbirliğine dönüştü. Alexandr Parshin ile dostluk ilişkimizi, birlikte yazığımız uzun bir dergi makalesiyle perçinledik.[28]

Başlangıçta karşılaştığımız en zor sorulardan biri, kristal yüzlerinin görünümlerinin termal hareketlilikle doğrudan bağlantılı olup olmadığı veya bu işte helyumun kuantum özelliklerinin rol oynayıp oynamadığı ile alakalıydı. Bu konu, elinizdeki kitapta detaylarıyla irdelemek için fazla geniş bir konu ama neden termal hareketliliğin kristallerin şekilleriyle ilişkili olduğu yönünde bir fikir edinmek de zor değil.

Kristalize olmuş bir yüze tünel mikroskobuyla baktığınızda -Zürih'de Gerd Binning ve Heinrich Rohrer tarafından icad edilmiş ve kendilerine 1986 Nobel Ödülü'nü kazandırmış küçük bir mucizevî alet-, söz konusu yüzeyin, atomların birbiri ardına düzenli olarak sıralandığı biçimde düz olduğunu görürsünüz. Kristal, üzerinde atomların dizili olduğu katmanların düzenli biçimde birbiri üzerine binmesiyle oluşmuştur ve görünen yüz, en üstteki katmandır. Eminim herkes herhangi bir zamanda bir meyve tezgâhı görmüştür. Satıcılar, örneğin portakalları, genellikle düzenli tepecikler halinde, en azından bu dizilime olanak sağlayacak benzer büyüklükte olan portakallar kullanarak dizip sergilerler ve bizim örneğimizde de, aynı cins atomlar kesinlikle aynı büyüklüktedirler. Daha büyük bir ölçekte düşündüğümüzdeyse, portakal tepecikleri kristal gibi görülebilir ve tepeciğin üst yüzeyinde bulunan portakal katmanı da son katmandır. Sabahları ilk müşteri gelmeden önce portakal tepeciğinin en üst katmanı doludur ve satıcı genelde bu katmandan portakalı satmamaya çalışır çünkü tepeciğin söz konusu üst katmanı, sergileme için belli bir açıyla biraz eğimli olarak dizilmiş ve neredeyse düz hale getirilmiştir.

Fakat sıcaklık değişimi neden yüzeyin düzeniyle ilgili herhangi bir durumu değiştirsin ki? Madde, ısının bir ölçüt olduğu dalgalanma ile hareketlenir. Gövde ne kadar ılıksa, içsel hareket-

lenme de o kadar büyüktür. Bir kristalin sıcaklığı düşük olduğu sürece, en üst atom katmanı da düzdür. Ama içsel hareketlilik yükselirse, tıpkı portakal tepeciğini sallamaya başladığınızda yüzeyinde oluşacak deformasyon gibi, kristal yüzlerinde de bozulmalar olur. Tepeciğin üst sırasında yer alan bazı portakallar bir noktadan diğerine zıplamaya, yüzeyde çukurlar, çıkıntılar oluşmaya, başlangıçta ayarlamış olduğumuz bütün o güzelim düzen bozulmaya başlayacaktır. Kristalin yüzeyi, sıcaklık yükseldikçe düzenli yapısını kaybeder; artık kristalize ağ bir düzlem değildir ve yüzler, şeklin içinden kaybolurlar. Fizikçiler yüzeyin bu düzensiz durumuna "kaba" derler; tıpkı sert rüzgârda denizin yüzeyinin geldiği duruma dedikleri gibi. Kristalize hallerin fiziği konusuna, deniz metaforuyla yaklaşmayı daima sevmişimdir.

Peki, neden sadece helyuma odaklanıp, bütün bunları onun üzerinde deniyoruz? Mutlak sıfır noktasında çalışmanın keyfinden mi, yoksa kristalleri, her bir ek yeri her an sızıntıya meyilli çoklu pencerelerden gözlemenin güzelliğinden mi etkileniyoruz? Bütün bir yıl boyunca el arabalarıyla sayısız miktarda ağır azot tüpünü ve sıvı helyumu oradan oraya taşımayı mı çok seviyoruz? Bir Kelvin'den düşük sıcaklığa ulaşmak ve onu o noktada tutmak, bu arada optik, elektronik ve criyojenik (soğutma) unsurları bir araya getirmek, sisteme ısı ilave etmeden ölçümleri dikkatle yapmak ve binanın yakınlarından geçen kamyonların yarattığı titreşimleri çok fazla almamak için çalıştığımız yeri tamamen dışarıdan tecrit edilmiş bir mağaraya çevirmek hiç de kolay şeyler değil. Bütün bunları kusursuz biçimde gerçekleştirmek birkaç yılımızı aldı. Helyumu seçmemin nedeni, karşıma çıkardığı bunca sorunla boğuşmayı sevmemden değil, maddenin genel özellikleri üzerine çalışma yapmak için ideal durumu sağladığmdandır.

Helyum en küçük asal gaz olduğundan, atomları diğer elementlerin hepsinden daha az birbirini etkiler. Bu neredeyse yokluk seviyesindeki etkileşimin anlamı, eğer helyum atomlarını içinde bulundukları dağınık gaz halinden çıkarıp, bırakın katı

formda, sıvı formda düzenlemek bile istesek, söz konusu atomları hayli düşüklükteki sıcaklıklarda soğutmamız gerekecektir. Böylelikle de maddenin içindeki termal hareketliliği neredeyse tamamen durdurmuş oluruz. Yani, sıvı helyumu saflaştırmak için bütün yapmamız gereken, onu soğutma filtresinden geçirmektir; diğer bütün maddeler bu sıcaklıklarda donmuş olacak ve dolayısıyla kolayca helyumun içinden ayrıştırılabileceklerdir. Elementlerin en saf, en durağan ve en basiti olması helyumun ana karakterleridir ve onu model bir sistem haline getirir. Bütün kristallerin yüzleri vardır ama helyumda bu yüzlerin bağlı olduğu parametreleri daha iyi kontrol edebiliriz. İlaveten, son birkaç on yıl içinde düşük sıcaklık fiziği ve özellikle de mutlak sıfır civarında duyarlı ileri ölçüm tekniklerindeki hızlı gelişmeler -termometreler ve basınçölçerler gibi- işimizi biraz daha kolaylaştırmıştır.

Bütün bu işlerden sonra, helyumdan öğrendiklerimizi diğer bütün kristalize maddelere de genelleyebiliyoruz. Örneğin, helyumla silikonu -modern elektroniğin kristal malzemesi- karşılaştırabiliyoruz. Karmaşık özelikler gösteren yüzeyler için -ki bunlar eğilmiş atomik basamaklar gibi görünüyorlar- benzer davranışlar saptadık. Ve laf basamaklardan açılmışken, Pawel Pieranski Orsay da bazı sıvı kristaller keşfederek -saat göstergelerinde kullanılanlar değil fakat sabun gibi zarlardan oluşan muazzam ağlara sahip diğer kübik kristaller-, oda sıcaklığında 60 değişik tipte kristal yüzü sergilediğinde, Philippe Nozieres ile birlikte helyum kullanarak geliştirdiğimiz fikirlerin hepsini tekrar gözden geçirdik. Birkaç ay süren tartışmalardan sonra, bu sıvı kristallerin neden "şeytan merdiveni" şeklinde -yüzlerden oluşan bu merdiven sonsuz sayıda basamak barmdırabiliyor ve yükseldikçe daraldığı için de tırmanması giderek güçleştiğinden böyle bir metaforla anılıyor- gruplanmış yüzler gösterdiklerini çözdük.

Bence helyum fizikte özel bir rol oynuyor. Kaldı ki, önce köpüklerin davranışını ve sıvı helyum içindeki oyukları anlamak için kullandığımız akustik metodu mükemmelleştirmeseydik, suyun içsel bağları üzerine çalışmaya da başlamış olamazdık.

Buna karşılık, beni çok etkileyen bilimsel kitaplardan biri olan Primo Levi'nin *Periyodik Tablo* adlı eserinde helyuma hiç yer verilmemiştir. Kitap şöyle başlar:

"Argon. Soluduğumuz havada asal gazlar adı verilen gazlar bulunur. Bunların merak uyandırıcı, alimane çağrışımlı, antik Yunanca isimleri vardır ve 'Yeni olan,' 'Gizli olan,' 'Aktif olmayan,' ve 'Yabancı olan' gibi anlamlar taşırlar. Gerçekten de öylesine sıradışıdırlar ki, durumlarından fazlasıyla memnun olsalar gerek, hiçbir kimyasal reaksiyona karışmaz, başka elementlerle bir araya gelmez ve muhtemelen bu nedenle de, yüzyıllardır tespit bile edilmezler. 1962 yılı gibi geç bir dönemde, gayretli bir kimyagerin uzun ve dâhiyane çabaları, 'Yabancı olan' (ksenon) gazını, herkesle birleşmeye can atan, hayat dolu flor elementi ile çabucak bir birleşmeye zorlamayı başardı ve bu kahramanca iş insanlara öyle sıradışı göründü ki, kendisine Nobel Ödülü verildi. Bu gazlara *asil gazlar* da denir -ve burada tartışmak için bir alan daha oluşur: Bütün *asil gazlar* gerçekten asal ve bütün asal gazlar da asil midir? Son olarak, bu gazlara bir de nadir gazlar deniyor; her ne kadar bunlardan biri, argon (aktif olmayan), havada dikkate değer miktarda, yani yüzde bir oranında bulunsa ve bu oran, o olmaksızın bu gezegen üzerindeki hayattan hiçbir iz kalmayacağı kesin olan karbondioksitten yirmi ya da otuz kez daha bol bir miktara karşılık gelse de..."[29]

Levi, kitabında bir kimyager olarak kendini tanıtmadan önce, anti-Semitizm tarafından Piedmont nüfusundan ayrı düşmüş olan ailesini tanıtıyor ve başka bir yerde tarif ettiği korkunç Auschwitz günlerini de, burada tek bir sözle bile anmıyor. Ve yine aynı Levi, bütün diğer asal gazları anarken, en basitleri olan helyumdan hiç bahsetmiyor. Kuşkusuz bunun nedeni, helyumun etimolojik olarak daha az şiirsel bir karşılığının olması: Helyum, onun bu dünyadaki varlığını bizim öğrendiğimiz zamanlardan çok önceleri antik Yunan'da, adını güneşten alıyor (*helios*) (yani, uranyumun ayrışması sonucu sürekli olarak üretildiği yerden). Benim içinse helyum, tıpkı Perrault'un masallarındaki minik Petit Poucet (ya da Tom Thumb) gibi, maddenin özellikleri ormanlarında bize yol gösteren küçük bir element.

8. Bölüm

Tanrı, Helyum ve Evrensellik

1999 yılında, bir keresinde Luc Ferry ile biraz tuhaf bir görüşmemizi hatırlıyorum. O zamanlar hâlâ Eğitim Bakanlığı Müfredat Konseyi'nin (Conseil national des Programmes) başkanıydı. Benden de, orada fizik camiasını temsil etmem istenmiş ve o sırada Ferry'nin konseyimizden bütün bilimlerin bilgisini içeren "tek bir kılavuz" (veya ders kitabı) derlemesi istemiş olduğunu öğrenmiştim. Bu fikir, ortaokul ve liselerdeki öğrencilerin anlayabilecekleri bir formda, bütün bilginin bir araya getirilip sunulmasından başka bir şey değildi. Ve konsey, gayet haklı olarak, böyle bir çalışmanın "anlamlı" olması gerektiği fikriyle çalışmasına devam ediyordu. Bizden, sıkıştırılmış ve iyi organize edilmiş formda, elbette hem öğrencileri hem de öğretmenlerini çok mutlu edecek, "bilginin temelleri" esaslı bir derleme sunabilmemiz bekleniyordu. Ve bunun 200 sayfa olması isteniyordu. Tabii ki! Bütün bilgiyi 200 sayfalık bir kılavuza sıkıştırmak kolay bir iş olmalıydı!

Neye uğradığımı şaşırmış biçimde (o sıralarda işe yeni başlanmış, benim de katkıda bulunmam bekleniyordu), ateş püskürerek uzun bir tartışmaya girdim ve öncelikle, daha kendi başına fizik konusunda bile böylesine bir birleştirme yokken, nasıl

olup da bütün bilimlerin bilgilerini bir araya getireceğimizi anlamadığımı açıkladım. Sekiz tane felsefecinin önünde, bütün bilginin bir araya getirilebilirliği üzerine itirazlarımı ortaya dökme cesareti gösterdim. Böyle bir varsayım, bana gerçekte razı gelmeyi reddedeceğim bir inancın üzerine oturtulmuş gibi görünüyordu; böylesine bir bütün bilginin birleştirilmesi ilkesi, tanrının kendisinden başka bir şey olabilir miydi?

Tabi ki bu büyük girişim yerle bir oldu. Yine de, ben bu birleştirme problemini soğukkanlı bir biçimde tartışmaktan, eğer sürseydi büyük zevk alacaktım. Zira böylesine bir girişim bana, *evrenselliğin* fiziksel içeriğini düşündürecekti.

Yalnızca doğanın dört temel kuvvetinden üçünü global bir teoride birleştirmiş bulunduğumuzu fark eden tek kişi kesinlikle ben değilim. Etkileşimlerin "standart modeli" diye bir girişim var. On dokuzuncu yüzyılda Maxwell ve diğerleri, elektrik ve manyetizmayı bileştirdiler. Yirminci yüzyılda da bilim insanları gerçekten elektromanyetizma konusunu birleştirmeyi veya daha isabetli deyimiyle, kuantum elektrodinamizmini, yani elektrik yüküne sahip maddeyle ışık arasındaki etkileşimi kuantum teorisi altında birleştirdiler; çekirdeğin bağıntısından sorumlu olan kuvvetli etkileşim ve belli nükleer bozunmalarada rol oynayan zayıf etkileşim vasıtasıyla. Fakat bu açıklayıcı teoriye, elmanın yere düşmesine neden olan kuvvet, yani en çok aşina olduğumuz kütle çekim etkisi dahil değildi. Bütün kuvvetlerin birleştirilmesi gerçekten de yirminci yüzyılın büyük bir mücadelesiydi ve yirmi birinci yüzyıla kaldı.

Şimdilerde bazı teorisyen meslektaşlarım eğer maddenin dört temel etkileşim teorisini birleştirmeyi başarırsak bir çeşit "her şeyin teorisi" fikrini inşa edebileceğimizi iddia ediyorlar. Bu iddia, tartışılabilir türden bir entelektüel emperyalizm olarak her zaman düşündüğüm bir şey olagelmiştir; gerçekten de doğayı anlamayı, temel parçacıkları tanımaya ve aralarındaki etkileşimleri kestirmeye indirgeyen bir model bu.

Elbette böyle bir şeyin doğru olduğunu sanmıyorum.

Suyun nasıl donduğunu, baskı uygulayarak bir parça demirin şeklinin nasıl değiştiğini veya türbülanslı bir atmosferin na-

sıl dalgalandığını anlamak, her şeyin teorisi denen fikrin şampiyonlarını bir köşeye sıkıştırıp, birleştirilmiş temel etkileşimler aracılığıyla çözmelerini isteyeceğim üç örnek soru olurdu. Hayır; bir grup parçacık, bu özgün parçacıkların ve hatta söz konusu parçacıkların çift çift olmuş özellikleri bazında kolayca anlaşılamayacak niteliklere sahip olabilir. Bir insan grubu da, söz gelimi, içinde barındırdığı özgün kişiliklerde olmayan bir toplu özelliğe sahip olabilir. Tek tek atomların özeliklerini anlamak, elmaları anlamak için yeterli değildir.

Pascal şunları söylerken gayet incelikli düşünmüştür: "Çünkü her şey... birbirini doğal bağlarla var ettiğinden,... parçaları anlamanın bütünü anlamadan, ya da bütünü anlamadan özellikle de parçaları anlamanın imkânsız olduğunu savunuyorum." Bence karmaşıklığın *tek bir* teorisi yoktur, her ne kadar bazen düşüncenin başlığında bunun olduğunu okuyor olsanız da... Türbülans gibi bazı fenomenler için olduğu gibi, onları anlamak zor olsa da (bir sonraki bölüme bakınız), ne fenomendeki karmaşıklığın ayrımına varmanın onunla ilgili bir teori oturtmaya yardımcı olacağını, ne de temel parçacıkların doğasını ve etkileşimlerini anlamanın, bir kayığın sürüklenmesini veya fırtınayı neyin tetiklediğini hesaplamamıza yardımcı olacağını sanmıyorum.

Dolayısıyla, fizik, birleştirilebilir olmaktan çok uzaktır.

Fakat tamamen farklı yapıda bilgi parçaları yığını da değildir. Birincisi, gücünü, bütün uygulayıcıları için ortak olan net bilimsel metotlardan alır ve genel kanı olarak Galileo tarafından keşfedilmiştir; her ne kadar Arap dünyasından habercileri olsa da... Gözlemleriz, teorik bir model geliştiririz, yeni gözlemlerle bu modeli karşı karşıya getiririz, gerekiyorsa modeli yeni durumlara göre uyarlarız vb. Öngörülerin bu üç aşaması, gözlem, modelleme ve doğrulama, bütün bilimimizin çerçevesidir.

Hepsinden öte, Jacques Treiner'in dediği gibi,[30] bütün fizikçiler için ortak prosedür, "çeşitlilik içinde benzer olanları araştırmak yoluyla bir şeyi basitleştirmek, ya da Jean Perin'in söylemiyle, *karmaşık olan görünürün ardındaki görünmez basitliği araştırmaktır*. Ve onu bulmaktır." Genellemeleri birleştirmek ve çeşitli-

lik arz eden fenomenleri tarif eden tek bir kavramsal çerçeve bulmak için yapılan araştırma, zihni geliştirmek için verimli bir davranıştır. Mexwell'den Eistein'e fizik tarihi dolu dolu bunu kanıtlar. Gerçekten de, aslında ben kristaller üzerine, doğadaki hal değişimlerini evrensel kanunlarla tanımlamak peşinde olduğum için böylesine uzun süre çalıştım.

Marcel Grossmann'a gönderdiği 1901 yılı tarihli mektupta Eistein şöyle yazıyor: "Anlık algılamayla tamamen birbirinden ayrı şeyler gibi görünen bir fenomenler topluluğunu kavramak harika bir duygu." Bunu yazdığında yirmi iki yaşında. Fiziği birleştirmek için o kadar çok çalışması sırf zevk için miydi yani? Einstein'in ışığın kuantizasyonunu keşfi, gerçekten de böylesine bir yaklaşımın sonucuydu. 1905 Yılında beş teorik tebliğden oluşan bir dizi görüş yayınladı ki bunlar, yirminci yüzyıl üzerinde büyük etki yarattılar. Bu tebliğlerden birinde, "fotonlar" olarak da adlandırılan "ışığın kuantası" kavramını tanıtıyordu (Annalen der Physik 17:132 [1905]). Burada Einstein, fizikçilerin dalgalar ve maddeleri ele alış biçimlerine yaklaşımındaki farkı belirtiyordu: "Hâlihazır fizikçilerin kavramlarına göre tartılabilir kütlenin enerjisi atomlara ve elektronlara kadar uzanan bir toplam olarak tarif edilirken, Maxwell'in teorisine göre enerji, bütün salt elektromanyetik fenomenler -ve buradan çıkan sonuçla, ışık dasürekli bir fonksiyonun açılımı olarak düşünülüyor. Tartılabilir bir kütlenin enerjisi, keyfi çoklukta, keyfi küçük parçaya bölünemez, ama Maxwell'in teorisine göre bu... bir ışık kaynağından çıkan ve düzenli olarak yükselen bir ışık ışınının yaydığı enerjidir." Einstein, genellikle gaz parçacıkları için kullanılan ve sonunda bir sayıya ulaşılan hesaplamayı, ışık dalgalarına uyguladı. Bu sayı, frekans ve Planck sabitine bölünmüş radyasyon enerjisiydi. Sonra bu ilişkiyi kuanta sayısı olarak yorumladı -bunu ışık zerrelerinin sayısı olarak da düşünebilirsiniz. Vardığı sonuç, nihayet, üzerinde çalışılması gereken konunun, fotoelektrik etkinin (bir metalin elektron yayılımının ışığın anlık radyasyonundan etkilenmesi etkisi), söz konusu ışık kuantalarının varlığını doğrulamak için kullanılması önerisiydi. Bu alanda yapılan testler doğrulayıcı sonuçlar verdiler ve fotonların varlıkları ke-

sinlikle kabul edildi. Mamafih, dalgaların sürekliliğine karşın, maddenin sürekli olmamasını birleştirme arayışında Einstein, çağdaşlarından daha genel bir teorik çerçeve geliştirdi ve fotoelektrik etki gibi yeni fenomenleri (ve bunun ötesinde daha birçok diğerini) açıkladı.

Einstein'in motivasyonu tamamen estetik miydi? Olabilir, ama ben bundan biraz kuşkuluyum. Bana öyle geliyor ki, fizikte yapılan genellemeler sürtüşmeyi gerektirir - yani karşıt teoriler arasındaki çatışmayı... Bazı gözlemlere göre, örneğin ışık, bir dalga gibi görünmekte ama başka koşullar altında da bir parçacıklar kümelenmesi olarak algılanmaktaydı. Kısaca itiraf etmek gerekilirse ışık, basit ve tek bir fiziksel fenomen değil, aynı anda her iki görüşü de içinde barındıran teorik bir genellemeydi. Dolayısıyla, dalga teorisiyle, karşısındaki parçacık teorisi arasındaki sürtüşme, Einstein'in teorisine yol gösterdi. Bu sürtüşme olmaksızın, neden bir genelleme yapılmaya ihtiyaç duyulsundu ki zaten? Bazıları Einstein'in ışığı nicelemesini, fotoelektrik etkisini açıklamak için yaptığına inanır, oysa o, önce ışığı nicelemiş ve sonra bu fenomenin fotoelektrik etkisini keşfetmişti.

Şimdi konudan biraz ayrılıp kuantum buharlaşmasına göz atmak için iyi bir zaman. Doçentlik tezini 1977 yılında veren Adrian Wyatt, söz konusu olayı isimlendirmek için iyi bir fikre sahipti. Ama olayın kendisini ondan birkaç yıl önce bitirdiğim doktora tezinde ilk olarak keşfeden benim. Helyumun içinde yayılan küçük bir ısı taşkınının, atomları dışarıya doğru itip açık yüzeye ulaştırdıktan sonra, bir bakıma, elementi buharlaştırma eğiliminde olduğunu fark etmiştim. Sonra, yeterince düşük sıcaklıklarda bu atomların dikkate değer bir 79 m/s ortalama minimum hızla dışarı doğru hareketlendiklerini keşfettim.[31] Ve bu bulduğumu, aslında Phil Anderson[32] 1969 yılında yaptığı deneyler sırasında, helyumdaki sıcaklığın "rotonlar" olarak -ki Landau bu parçacıkları süper-akışkan helyumun termodinamiğini açıklamak için icat etmişti- enteresan biçimde ayrışması karşısında öngörmüş bulunuyordu. Foto-elektrik etkide, metalik bir yüzeye yönlendirilen ışığın kuantumu (foton), metalin bir elektronunu açığa salıyor ve bu elektronun kinetik enerjisi de, foto-

nun enerjisiyle elektronu metale bağlayan bağ enerjisi arasındaki fark kadar oluyordu. Benim durumumdaysa, "rotonlar" atomları belli bir kinetik enerjiyle açığa salıyor, bu kinetik enerji de, anlık parçacığın enerjisi ve bağ enerjisi arasındaki aynı temel farka eşit oluyor, 79 m/s değeri de gayet pratik bir hesaplamayla ortaya çıkıyordu. Dolayısıyla benim ısı taşkınım gayet tanımlanmış bir parçacıklar paketi olarak (Landau bunlara "quasi-parçacıklar" diyor) gayet tanımlı bir enerjiye sahipti. Şüphesiz bu buluş, Einstein'den yetmiş yıl sonra fizikçiler için daha az şaşırtıcıydı ama ne olursa olsun benim için bir gurur kaynağıydı zira ısının da nicelleştirilebileceğini doğrudan göstermiş bulunuyordum.

Gene bilimlerin birleştirilmesi konusuna geri dönelim. Bildiğim kadarıyla fizik ve biyoloji arasında herhangi bir sürtüşme yok ve dolayısıyla aynı anda hem fiziği hem de biyolojiyi yakalayan daha fazla teoriye de ihtiyaç yok. Elbette bu, söz konusu iki bilim dalının, diyelim biyolojik moleküllerin mikromekaniği veya kaslarımızın kasılması ya da hücrelerimizin bölünmeyi sürdürmesi sayesinde çalışan moleküler motorların işleyişi alanlarında iki bilimin birbirini desteklemesine engel de değildir. Ne de fizikçilerle biyologların arkadaşça birbirleriyle dalga geçmesine...

Bilimleri birleştirme konusundaki birkaç girişimin verimli sonuçlar vermesi, bilimin bazen karşılaştığı zorlukları çözerek gelişimini sürdürdüğünün bir kanıtı da olabilir. Mamafih, bilim her zaman bu yolla gelişmez.

Şu konuda yanlış anlaşılmamalıyım ki, fizik biliminin gelişimini işaret eden asıl nokta, başarılı bir genellemenin nihai sonucudur. Bu genellemeler, bizim disiplinimizdeki bilimsel gerçeğin gelişimini gösterir. Teori bir kez kabul edildi mi, sonradan teorinin yanlış olduğunun ilan edilmesi pek rastlanan bir durum değildir; diğer bir deyişle, ender olarak geçersiz kılınır. Umumiyetle genellemeler, teorinin erken dönemlerini de barındıran ve doğayı anlayışımızda bize bir adım daha ileri gitme olanağı tanıyan formda yapılır -yani, geliştirme sürecinde ortaya çıkan ilave fenomenlerin yorumları, doğayı tarif edişimizi daha da

zenginleştir. Aslında Maxwell'in teorisi kayda değer bir genellemeydi ve bilgi bilimciler (epistemologlar) bilimin gelişimini tarif ederken, Einstein'in Genel Görelilik Teorisi'nden çok daha sık biçimde bu teoriye gönderme yaparlar. Bu olay da, konudan biraz dışarıya çıkmaya gerçekten değer.

Einstein'den otuz yıl önce, İskoç bilim adamı James Clerk Maxwell, elektrik ile manyetizmayı birleştirme işine girişmişti. Bunu yapmak için de, örneğin sarılmış bir teldeki elektrik akımı tarafından indüklenen manyetik alanın ne olduğunu hesaplayabilmemize veya bunun tersine, mıknatısı etki alanında hareket ettirdiğimiz bir sarımda meydana gelen elektrik akımının ne olduğunu bulabilmemize imkân veren formüller gibi, dört eşitlikten oluşan bir grup denklem yazdı. Günümüz araştırmacıları, 1873 yılında, yani Maxwell'in Cambridge'deki ünlü Cavendish Laboratuarı'nın başına geçtikten iki yıl sonra bu eşitlikleri yayınlamış olduğu gerçeğini takdir edeceklerdir; o zamanlarda büyük laboratuarların yönetilmesi işi, kişinin etkin biçimde kendi araştırmalarıyla uğraşmasına engel teşkil ediyordu!

Hikâyenin en can alıcı bölümü ise, Maxwell eşitliklerinin, kendisinin bile düşündüğünden daha fazlasını içeriyor olmasıydı. O muazzam ve henüz kimsenin düşünmemiş olduğu elektromanyetik dalgalar fenomeniyle ilgili söz konusu denklem çözümlerinin arasında, elektriksel alan ve ona dik bir manyetik alanın vakum da dahil her ortamda titreşim üretme olasılığı da vardı. Maxwell denklemleri, Heinrich Hertz'in ondan kısa bir süre sonra, 1887 yılında keşfettiği ışık ve radyo dalgalarının yayılımını da öngörüyordu. Ama gerek Maxwell'in teorisi ve gerekse ondan daha güçlü olan Einstein'in kuantum teorisinin ortaya çıkışı, ne mutlu ki bizi, Maxwell teorisine ihtiyaç duymayan Descartes'in optik kanunlarını kullanmaktan geri bırakmadı. Optiğin (veya ışık ışınının) geometrisinin kendi uygulama alanları var ve bütün bu gelişmelere rağmen de işlerliğini koruyup sürdürüyor.

Daha sonraları aynı laboratuarda Dirac, elektronun göreceli ve kuantum karakterlerinin her ikisini birden tanımlayan bir eşitlik kurdu ve bu eşitlik, karşı-maddenin keşfedilmesine öncü-

lük etti. Fakat neyse ki söz konusu keşif, kimseyi Schrödinger'in daha basit formülünü kullanmaktan etmedi; bu formül, hızları ışık hızından düşük olan kuantum parçacıklarının evrimini tanımlıyordu.

Kendi araştırmamın seviyesi beni hiçbir zaman sözü geçen devlerin mertebesine getirmedi ama fizikte evrensel içeriği hesaba katarak, merak ettiklerimle ilgili ilk elden bilgi edinmenin keyfini daima yaşadım. Sonuçta, çalışmalarımda beni en fazla ilgilendiren konu kristallerin şekilleri oldu. Bu konuda birkaç söz edeceğim ve bu, aynı zamanda devamlılık ve devamlılığı olmayan arasındaki farkı hatırlamak açısından da iyi bir fırsat olacak; fakat Einstein'in ışığı nicelleştirmesinden çok farklı bir görüş açısıyla...

Söz konusu evrensellik, maddenin bizim daha aşina olduğumuz değişimlerinin tersine *sürekli* olarak adlandırılan belli hal değişiklikleriyle ilgilidir; söz gelimi kristalleşme veya bir sıvının kaynaması *sürekliliği olmayan* değişimlerdir. Örneğin, sıvı haldeki su buhara dönüştüğünde yoğunluğu bir sıvı için yüksek bir değerden bir gaz için düşük bir değere sıçrar ve bu değişim, arada bir takım ara değerler olmaksızın gerçekleştiğinden devamlılığı olmayan olarak nitelendirilir. Söz konusu devamlılığı olmayan değişimler aynı zamanda ilginç problemler de çıkarır ama önce benim kristallerin devamlı şekil değişimleri meselesini bitirelim.

Ben ve en yakın çalışma arkadaşlarım ve bu uzun macerada görev alan öğrenciler -Etienne Wolf, François Gallet, David Edwards, Etienne Rollet, Claude Guthmann ve François Graner- sadece bilimsel günlükleri süsleyen şahane fotoğraflar çekmenin keyfini yaşamadık. Ölçümler de yaptık ve yaptığımız bu ölçümleri, aynı konuda bir matematiksel teori geliştirerek öngörülerde bulunmuş olan Philippe Nozieres'in sonuçlarıyla karşılaştırdık. Philippe'nin hesaplamaları oldukça karmaşıktı ve korkusuzca bu işe girişmiş olmaktan dolayı mutluydum. O ise, deneyler için gerekli olan ve bir hayli uğraştıran soğutma teknolojisiyle bizlerin ilgileniyor olmamızdan dolayı halinden çok memnundu. Modelle gerçeği birbirleriyle karşılaştırabilmek için belli bir böl-

gede yüzleri belirmeye başlayan kristallerin sayısıyla, artan sıcaklık arasında bir çan eğrisi çıkartacak şekilde ölçümler yaparken, aynı zamanda yuvarlak şekillerin düz satıhlara dönüşümünün nasıl bir hızla arttığını, yuvarlak yüzlerin çaplarının, sıcaklığın "atlayarak dönüşüm" seviyesine geldiğinde nasıl sıfır noktasına kadar büzüştüğünü ve yüzlerin nasıl kaybolduğunu gözlemledik. Ve burada formülleri göstermeden açıklaması zor olan diğer birçok özelliği de ölçtük. Teori, maddenin hal değişimleriyle ilgili fizik biliminde gerçekleşmiş son dönem gelişmeleri de kapsıyordu; örneğin, "yeniden-normalleşme" tezini -ki bu buluş, Amerikalı Ken Wilson'a 1982 Nobel Ödülü'nü kazandırmıştı. Söz konusu teori, kristallerimizde oluşan şekil değişikliklerinin, doğada birçok diğer hal değişimleriyle benzer bir biçimde meydana geldiğini söylüyordu. Kristalize olmuş yüzeylerin matematiksel model, üzerinde oluşan katmanların pozisyonları iki koordinat değeriyle tanımlanabilecek incelikteki yüzey nedeniyle bizi, "iki boyutlu" diye adlandırılan birkaç başka sistemde de aynı eşitliğe yöneltiyordu.

Teorinin estetiği konusunda da oldukça duyarlıyımdır; yani genel bir temayı, özel durumlardan başlayarak araştırmanın mümkün olması gerekir. Aynı davranışları gösterdiklerini öngördüğümüz bu iki boyutlu sistemleri hâlâ muhteşem buluyorum; muazzam bir çeşitliliği açıklar. İnce bir katmanın soğutulduğunda manyetize hale dönüşmesi, pozitif ve negatif elektrik yüklerinden oluşan gruplaşmanın iletken hale dönüşmesi, kristalleşmekte olan veya süper-akışkana dönüşen çok ince bir film halindeki sıvıdaki dönüşüm vb. Mamafih, örneğin bizim kristallerin oluşumunu gösteren grafik eğriyle, manyetik katmanların manyetize oluşunu gösteren eğri, aynı karekök esasına göre çıkıyordu. Bu öngörü bize öylesine şaşırtıcı göründü ki, doğrusu bütün bir yıl süren tüm çabalarımıza değdi ve gerçekten de yaptığımız deneyle söz konusu teoriyi doğrulamış olduk. Yirminci yüzyıl istatistikî fiziğinin en büyük başarılarından biri de, doğadaki bütün devamlı hal değişimlerini birkaç basit kritere bağlı fonksiyonla sınıflamasıydı. Örneğin, değişimin meydana geldiği alanın boyutları ne? Üç boyutlu bir hacim mi? Yoksa iki boyutlu

bir katman mı? Nasıl bir sıralama oluşuyor? Her ne kadar bu sistemler birbirinden tamamen farklı görünüyorsa da, evrensel kanunlarla yönetildiklerini gösterdik ve doğruladık. Böylelikle de fiziğin küçük bir köşesindeki birleştirme/bütünleştirmeye bir katkıda bulunduk.

Şimdi, helyum kristallerinin şekilleriyle ilgili çalışmamıza başladıktan sonra ele aldığımız kristalleşme ve suyun kaynamasına geri dönelim. Suyu kaynattığımda, yoğunluğu yüksek bir değerden düşük bir değere sıçrıyor ve bu durum *sürekliliği olmayan* hal değişimine tipik bir örnek teşkil ediyor. Aynı yolla, suyu soğutursam da donacak ve devamlılığı olmayan bir biçimde, sıvı halden (yani moleküllerinin düzensiz olduğu halden), kristalize hale (moleküllerinin düzenli biçimde dizildiği bir hale) dönüşecek ve uzayda kapladığı hacim anlamında da simetrileri, sıvı haldeki suyun simetrilerinden farklı yerleşecektir. Su, düzensiz sıvı halden düzenli kristalize hale geçerken herhangi başka ara bir halden geçmez.

Fiziksel bir sistem nasıl olup da bir halden diğerine atlar? Hepimiz ilkokulda 0 santigrat derecenin (0 °C) "buzun erime sıcaklığı" olduğunu öğrenmişizdir. Aslında, suyu soğutmaya başladığımızda genel sıcaklığı düşmeye başlar ama bir kez buz küpleri ortaya çıktıktan sonra sıvı haldeki su tamamen bitene kadar suyun sıcaklığı sıfır santigrat derecede sabit kalır. Burada, suyun iki hali arasında bir denge kurulmuştur ve her iki hal de ortamda var oldukları sürece sıcaklık sabit kalacaktır: 0 °C. Fakat sıcaklık sıfıra ulaştığında ilk buz küpü de ortaya çıkar mı? Hayır, çıkmaz! Çok temiz bir kap içinde, gayet saf bir suyla bu deneyi gerçekleştirirsek, buzlanmayı görmek için sıfırın birkaç derece altına inmemiz gerektiğini anlayabiliriz. İlk buzlanmanın görülebilmesinden önce belli bir miktarda "süper-soğutma" gereklidir. Bulutların içindeki su hiçbir duvara değmeden askıda kalmış su damlacıkları halindedirler ve bu durumda yaklaşık -20 °C'ye kadar sıvı halde kalabilirler; buradaki sıcaklık değeri havadaki kirliliğe bağlıdır. 0 °C'nin altındaki su "süper-soğutulmuş" adı verilen bir haldedir ve fazla rahatsız edilmediği sürece dengededir (dolayısıyla biz buna "yarı-kararlı" hal deriz). Ba-

zı insanlar dağlık bölgelerdeki göl sularının sıfır santigrat derece sıcaklıktan oldukça aşağı değerlerde ölçülmesinin, suyun gerçekten temiz ve saf olduğunun bir kanıtı gibi görüyorlar. Su, söz konusu sıcaklıkta çok kırılgan bir dengededir; tıpkı bir kurşun kalemin, ucu yukarı doğru bakacak şekilde dengede durması ve en ufak bir nefes etkisiyle bile devrilebilecek olması gibi -belki bu dengedeki suya sokulan bir ayak parmağı değilse de, içine atılacak bir buz kütlesi kesinlikle dengeyi bozacaktır.

Dolayısıyla suyun sıvı ve kristalize halleri bir kutunun içinde bariyerle birbirinden ayrılmış iki bölüm gibidir. Bir bölümden diğerine geçmek için, yani bir fiziksel halden diğerine geçmek için, suyun söz konusu bariyeri geçmesi gerekir. Denge sıcaklığı (0 °C) iki bölümdeki suyun da aynı yükseklikte olduğu duruma karşılık gelir. Sıfırın altındaki sıcaklıkta kutunun biraz eğildiğini varsayarsak, bu durumda bölümlerden biri daha aşağıda olacak ve o bölümdeki su da daha kararlı bir halde olacaktır. Eğer kutuyu biraz daha eğersem (ki bu durumu, suyu sıfırın daha altında bir ısıya doğru soğutursam diye okuyun), yüksekte kalan bölmedeki su bariyeri aşıp alçaktaki bölmeye geçecek, hele bunu kutuyu biraz da çalkalayarak yaparsam geçiş daha da artacak (aslında termal hareketliliği yaratan başka bir etmen olsa benim işe karışmama gerek bile kalmayacaktır) ve donmanın giderek hızlandığı bir an gelecektir. Söz konusu durum suda tam olarak kaç derecede meydana gelir? Suyun süper-soğutulması konusu, fizikçilerin uzun süredir ilgilendiği bir konudur ama görünen o ki, -40 °C altındaki sıcaklıkta suyun buza dönüşmesinin önüne geçmek imkânsızdır. Bu oldukça düşük sıcaklık, bariyerin bir tarafından diğer tarafına geçen suya artık direnemediği bir nokta mıdır? Mümkündür ama kesin değil. Bu tür özellikler, karmaşıklığı gayet iyi bilinen sıvı haldeki suyun yapısına bağlıdır (buz daha az karmaşıktır). Ve fizik teorilerinin etkileyici bir gelişmişliğe erdiği yirmi birinci yüzyılın başında hâlâ suyun yapısını tam olarak bilmiyoruz. Söz konusu alanda araştırma yapmaya bizi çeken de işte bu.

Eğer suyun yapısı hakkındaki bilgimiz, onu donmaktan daha ne kadar uzak tutabileceğimiz yönünde öngörülerde bulun-

mak için yeterli değilse, kaynamasıyla ilgili de aynı zorluklarla karşılaşmayı beklemeliyiz. Birçok güvenlik önlemi alarak, suyun normal koşullarda +100 °C olan kaynama noktasını aşıp, bundan çok daha yüksek, +200 °C sıcaklığa kadar kaynamasının önüne geçebiliyoruz. Bu konuyla ilgili bir olay da, *çukurlaşma* (cavitation) ile ilgilidir. Sıcaklık ve basınç, saf maddenin hal değişimlerinin bağlı olduğu iki fiziksel özelliktir. Eğer suyu normal hava basıncı altında ısıtmak yerine (bir atmosfer, yani yaklaşık 1 bar), oda sıcaklığında basıncı düşürürsek, yine suyun içindeki kabarcıkları görebiliriz ve sıvı haldeki su gaz haline dönüşür. Bu olay kaynama ile aynıdır ama değişik bir ismi vardır; biz buna "çukurlaşma" deriz ve örneğin hidrolik sistemlerde çok önemli bir yere sahiptir. Bir teknenin pervanesi altında oluşan anafor etkileri, basıncın düştüğü yerleri gösterir. Bunlar kasırgaların gözlerine benzerler. Aslında, bulunduğunuz bölgede atmosfer basıncı düştüğünde ve hava durumu servisleri size bunu bildirdiğinde, üzerinizden geçmekte olan dev bir atmosferik anaforun ortasmdasınız demektir.

Bunların hepsi, "Bernoulli Kanunu" adı verilen ve hidrodinamik içerisindeki enerjinin korunumunu tarif eden konuyla ilgilidir. Kraliçe I. Catherine[33] tarafından Saint Petersburg sarayını onurlandırması için davet edilmiş İsveçli fizikçi Daniel Bernoulli[34] tarafından geliştirilmiştir. Pervane tarafından yaratılan anaforların merkezleri köpükler oluşturur. Bu köpükler, çeperlerdeki suyu merkeze doğru çökertir ve küçük boşluklar oluşturarak pervanenin verimini düşürür ve durum giderek artan biçimde kötüye gider. Doktorların ultrason makineleri aracılığıyla hastalarını böbrek taşlarından kurtarmasını sağlayan da bu köpüklerin yıkıcı kapasitesidir. Sonuçta, bitki biyolojisiyle ilgili bazı araştırmacılar, ağaçların belli bir yüksekliğin üzerinde büyüyememesinin nedeninin, yere dik olarak yükselen gövde kolonunun içindeki özsuyun bütün ağırlığıyla üst kısımlardaki özsuyu aşağıya doğru çektiğini ve böylece ağacın kendi bünyelerinde *çukurlaşma* etkisi yaratarak hücrelerini imha ettiğini düşünürler. Öyle ki, dikkatli dinlenirse, bu olayın sesinin de duyulabildiği söylenir.

O halde çukurlaşma önemli bir olaydır. Sıradan suda çukurlaşma kolayca meydana gelebilir. Tekrar ağaçları düşünün. Ağacın gövde kolonunda yükseldikçe, yukarı doğru olan basınç düşecektir. Suya daldığınızda da aynı fenomen görülür ama bu kez tam tersine bir etkiyle kendini gösterir; derine indikçe basıncın yükseldiğini hissedersiniz. Her 10 metrede 1 bar basınç artışı olur ve bunun muhtemel nedenini tahmin ediyorsunuzdur; üst kısmınızda kalan bütün suyun ağırlığı üzerinize binmektedir. Alternatif olarak, ağacın özsu taşıyan damarlarında gövde boyunca aşağı yukarı gidip gelebildiğinizi düşünün; bu durumda yer hizasındayken basınç 1 bar (atmosfer basıncı) olacak ve aslında özsu sizi yukarı doğru çekecektir. 10 metre yükseldiğinizdeyse basınç 0 bara (20 metrede -1 bar, 30 metrede -2 bar ve benzeri) düşecektir. Negatif basınçtan söz etmem size şaşırtıcı gelebilir ama bunun pozitif gerilimden bir farkı yoktur -negatif basınç bir gerilimdir. Bir dala kuvvetle yeterince gerilim uygulayacak biçimde asılırsanız, dalın kırılacağı hepimizin bildiği bir durumdur. Aynı kural sıvılar için de geçerlidir. Fakat asıldığımız dalda küçük çatlamalar varsa daha kırılgan olacağı da bilinen diğer bir gerçektir. Aynı biçimde, sıradan suyun bünyesinde birçok deformasyon barındırdığı da gayet iyi bilinir -özellikle de mikro seviyede hava kabarcıkları. Bu da, hafif bir negatif basınçla ortaya çıkan çukurlaşma etkisi sonucunda suyun kırılmasına neden olur; pervanenin ardında kalan deniz suyu için bu sınır -1 bar ve en yüksek ağacın gövdesindeki özsu için de yaklaşık -10 bar değerindedir. Aslında gövdedeki akış da bu işte rol oynar, özellikle de kuraklık zamanlarında yapraklar aracılığıyla büyük miktarda buharlaşma yaşandığında. Dolayısıyla ağaçlar, çukurlaşmaya karşı çok daha fazla negatif basınç karşısında direnç gösterebilirler.

Sonuç olarak, çok saf bir sıvının içinde ne hava, ne de başka tür gaz karışımları olmaz ve böylelikle çukurlaşma, sadece molekülleri birbirinden ayıracak güçte gerilim uygulanırsa meydana gelir ki bunu becerebilecek negatif basıncın da gerçekten büyük olması gerekir. Bizim üzerinde çalışma yaptığımıza benzer çok saf suda çukurlaşma limiti, ancak bizim nasıl üretildiğini bil-

diğimiz çok güçlü ultrason yoluyla sağlanabilen -1.500 bar seviyesinde öngörülmektedir (yani, 15 kilometre yükseklikteki bir ağacın yaratabileceği negatif basınç). Ama aslında tam olarak suyun yapısını veya moleküllerinin arasındaki kuvvetleri neyin harekete geçirip ilk içsel bağlantıları ortaya çıkarttığını anlayamadığımızdan, gerçekten saf suyun kırılma limitini de bilmiyoruz. Yaşam için bu denli hayati öneme haiz bu sıvının yapısını bilmiyor olmak, gerçekten de fena halde sinir bozucu. Bu sinir bozukluğudur ki, beni ve Frederic Caupin'i de üzerinde çalıştığımız yeni maceraya sokmuştur.

Yirminci yüzyılın bitimi, devamlılık arz eden hal değişimleri probleminin sonucunu gördü ama hâlâ maddenin bazı devamlılığı olmayan hal değişimlerini tam olarak anlamış değiliz -ve özellikle de suyun bilinmezleri listenin başında geliyor. Eğer bu yap-bozun parçalarından birini de biz yerleştirebilirsek, biyolog meslektaşlarımızla birlikte daha fazla işler yapabilmemizi de mümkün kılmış olacağız. Biyologlar, yirminci yüzyılın bilimsel krallarının fizikçiler olduğunu kabul ediyor ve fakat yakında tahtı onlardan alacaklarına inandıklarını söylüyorlar.

9. Bölüm

Bisikletçi ve Kelebek

Chevreuse Vadisi'nde rüzgâr genelde batıdan eser ve dolayısıyla her pazar sabahı Ramboillet ormanına gitmek üzere bisikletlerimizle yola çıktığımızda rüzgâra karşı ilerliyor oluruz. Dönüşteyse rüzgârı arkamıza aldığımızdan daha az zorlanırız ve böylesi daha iyidir. Rüzgâr bisikletçinin düşmanıdır; düzlüklerde, pratik olarak bütün enerjimizi rüzgârın direnciyle mücadele etmekte kullanırız.

Yerçekiminin 80 kiloluk kütlemi aşağıya çektiğini hissedeceğim ve Paul'ün yine beni geçeceğini bildiğim -ve tabi benden daha hafif olan Michael'in de kolayca beni arkada bırakıp gideceği- bir sonraki yokuş için biraz enerji saklamaya çabalarım. Önümde ilerleyen geniş cüsseli birinin arkasına mümkün olduğunca sokulup ilerlemek için kendimi sıkıştırırım; örneğin oğlum Lucien gibi; ya da Rino, hatta Remy ama Sophie değil, Mark da değil Benjamin de... Bu son saydıklarım benim arkamda kalıp kendilerini rüzgârın etkisinden benim vasıtamla korumayı tercih edeceklerdir; neyse ki böylece hiçbir zaman en arkada kalmam. Ama daima rüzgârın yönünü hissetmem gereklidir çünkü onun hızıyla bisikletçinin hızı bir araya gelecektir. Fazla bir çaba göstermeden pedalları çeviriyor olabileceğim, sanki ileri doğru

çekiliyormuşum gibi hissedebileceğim hassas bir pozisyon var; bu korunaklı pozisyon ya rüzgâr tam karşıdan estiği sürece önümdeki bisikletçinin hemen arkasında olmak, ya da hızımız ciddi bir farkla rüzgârınkinden fazlaysa kendini hissettirecektir. Eski halimizde, küçük lider grubumuz tek sıra halinde uzar giderdi. Genelde rüzgâr biraz yandan gelir ve ondan doğru dürüst korunmak için de, ön tekerleğimi neredeyse önümdeki kişinin arka tekerleğinin dibine kadar yanaştırmam gerekir. Bir yönde veya diğerinde, önümdeki bisiklete beş santimetrelik bir farkla bile yanaşmış olsam, rüzgâr beni yine etkileyecek ve sanki onun önündeymişim gibi yorulacağım. Başka bir bisikletlinin arkasında aerodinamik koşulları değerlendirip kolayca dinlenme pozisyonu bulmak binlerce kilometrelik eğitim gerektiriyor ve 40 km/saat hızla ilerleyen benim gibi bir amatör, tekerleğinin öndeki bisiklete dokunması sonucunda meydana gelebilecek tehlikeli bir kaza ihtimali karşısında çok dikkatli olmak zorunda. Herkes çok fazla risk almaksızın enerjisini verimli olarak kullanabilmek adına elinden geleni yapar ve ben de bu anlamda, akışkanlar mekaniği bilgimden oldukça yararlanırım.

Antony'li bir kasabın kocaman Mercedes'iyle kırmızı ışıkta geçip bana çarpması sonucunda yüzümden yaralandığım günden beri bisiklet kullanırken başlık takarım. Başlığımın, kenarlarından aşağı doğru kulaklarımın yanından geçip çenemin altından birbirine bağlanan kayışları var ve bu kayışlar rüzgârda yol alan yelkenlilerin halatları gibi ıslık çalarlar. Duyduğum bu ıslık bana otuzlu yaşlarımdayken giriştiğim flüt çalma denemelerim sırasında Yamaha'mm ağızlığındaki kesik kısma nefesimi doğru dürüst ayarlayıp üfleyemediğimde çıkan korkunç sesleri hatırlatır. Bu yüzden, söz konusu flüt hevesinden vazgeçip tekrar piyanoya dönmüştüm fakat aynı zamanda bu tecrübeyle, rüzgârın çıkarttığı ıslığın bir engel etrafında dolanan hava akımının kararsızlığından kaynaklandığını öğretmiştim; bu engel, yelken ipleri, başlık kayışı veya ağızlıktaki eğim olabilirdi. Söz konusu hava akımı sabit bir rotada akamadığından, daha ziyade engelin bir yanıyla diğeri arasında gidip gelerek salınıma girer ve değişken bir girdap yaratır. Hava akımı tarafından itilip genişletilen

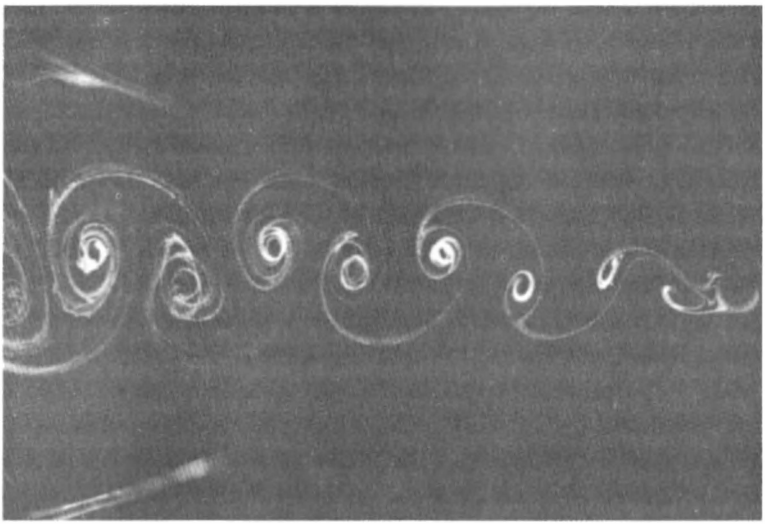
ve bir "yolun" kenarlarındaki dalgalanmalar olarak ortaya çıkan bu girdaplar, Theodor von Karman[35] tarafından analiz edilmiş çok hoş fotoğraflarda gösterilir. Söz konusu değişken girdapları yaratan frekans, engelin etrafındaki hava akımının ortalama hızı tarafından yükseltilir; böylece hava daha hızlı hareket ediyorsa ıslık da daha yüksek sesle çıkar. Benim durumumdaysa, Lucien'in arkasına doğru dürüst sığındığımda daha az rüzgâr aldığımdan, doğru pozisyonu bulmak için kullandığım bir yöntem vardır: Başlığımın kayışlarında von Karman "yollarının" sesini dinlerim. Sol tarafa biraz fazla kaydığımda kulaklarımdaki rüzgâr ıslığı yükselir. Sağa doğru fazla yanaşırsam da aynısı olur. Ve sonunda doğru yerde ses düşer. Elbette bir yandan da yol almam zorlaşınca yanmaya başlayan bacak kaslarımı ve o biteviye giden korkunç hızda doğru noktaya kendimi konuşlandıramadığımda paniğe kapılan kalbimin ritmini de dinlerim. Bu işaretlerin hiçbiri anında bilgi vermez ve rüzgâr sürekli değişir, yol döner ve benim sürekli yeni durumlara uygun pozisyon bulmam gerekir. Profesyoneller bütün bunları içgüdüsel olarak yapabilirler; ben fizik bilgimle yapma fırsatını kullanıyorum.

Rüzgâr karşımızdan estiğinde ve bizler sırayla birbirimizi bu yöntemlerle dönüşümlü olarak rahatlatırken, yaban kazlarını düşünürüm. Havada daha geniş bir alana sahip oldukları ve karşıdan gelen trafik gibi bir sorunları bulunmadığından, topluca V şeklinde bir formda uçarlar. Akışkanlar mekaniği eğitimi almamış oldukları söylense de bu muazzam kuşlar hava türbülanslarını da takım arkadaşlarının dümen suyundan hissediyorlarmış. Tıpkı bizim bisiklet kullanırken yaptığımız gibi, onlar da birbirlerini dönüşümlü olarak rahatlatıyor ve grup halinde, tek tek olduklarından çok daha hızlı ilerleyebiliyorlar. Balıklar da okullarda kendilerini düşmanlarından korumak için uygulamalı hidrodinamik pratikleri geliştiriyor olmalılar. Mamafih karıncalar, onları bu denli motive eden her ne ise, akraba ve komşularının izini takip etmek için sanıyorum, daha ziyade kimya bilimini kullanıyorlar.

Kuantum mekaniği ve görelilik araştırmalarının bilimsel dergi kapaklarını tekeline almasından bir yüzyıl sonra türbülans

konusundaki çalışmalar yeniden gündeme geliyor. Aslında bilim insanları bu konuyu anlamadıklarını, ya da en azından yeterince anlamadıklarını idrak ediyorlar. Dahası, türbülans akışları istisnai olmaktan daha çok genel bir kural gibi: Bir yıldızın atmosferinde, Dünya'nınkinde de, okyanuslarda, araba ve teknelerin arkalarında, motorun içinde, kimyasal bir reaktörde meydana gelen bütün akışlar aslında birer türbülanstır. Dolayısıyla türbülans konusunu düşünmek, *neyi bildiğimiz ve neyi henüz bilmediğimiz* (örneğin, bir teknenin veya arabanın maksimum hızını sınırlayan çekiş gücünü nasıl hesaplayacağımızı) ile *neyi bildiğimiz ve neyi asla bilemeyeceğimiz* (iki haftadan daha ilerisi için hava durumunu nasıl tahmini edeceğimizi, mesela) arasındaki ayrımı idrak etmemiz anlamında bir fırsat sağlıyor. Türbülans olmayan akışlar "düzgün [laminar]" olarak adlandırılıyor; uzay ve zamanda durağan olan akışlar yani. Bir nesnenin etrafında dolanan hava veya su akımlarının içine mürekkep enjekte ederek bu akışların hareketlerini görünür hale getirebilir ve eğer akış yeterince yavaşsa veya yeterince küçük boyutlarda ise ya da gözlediğimiz sıvı çok yoğun bir sıvıysa, bu akışların düzgün ve durağan bir forma sahip olduklarını gözlemleyebiliriz. Bal veya gliserini akıttığınızda genellikle düzgün bir akış elde edersiniz. Tabi eğer sonradan çöpe atmaya kıyabilirseniz, söz konusu akışın düzgün durumunu tam olarak doğrulamak için içine biraz mürekkep enjekte edebilir ve bir kaşıkla karıştırabilirsiniz. Bunun tersine, sabunlu bir suyu parmağınızla veya kahvenizi kaşıkla karıştırdığınızda, sıvının içine sokmuş olduğunuz parmağınız ya da kaşığın etrafında anafor oluştuğunu göreceksinizdir –buradaki akış düzensizdir, yani türbülans özelliği taşır.

Hasılı, çeşitli derecelerde türbülanslar vardır. Göreceli olarak düşük hızlardaki akış periyodik biçimde de salmabilir; yelken iplerindeki rüzgârda olan budur ve aşağı yukarı ağızla çalınan ıslık veya insan sesiyle taklit edilebilecek, gayet tanımlı frekanslarda sesler çıkabilir. Ama çok yüksek hızlarda büyük nesnelerin etrafında rüzgâr hiç de tanınabilir tonlarda sesler çıkartmaz; akış o kadar büyük anaforlar yaratır ki, sadece kaotik sesler duyulabilir.



Resim 11. Yuvarlak bir engelin ardında akan bir sıvı, bir yandan diğerine değişken formda anaforlar yaratır. Bu olay, teknelerdeki yelken iplerinde rüzgarın çıkarttığı ıslığı da meydana getiren olaydır. © ONERA

Bir parça musiki akustik bilgisi, buradaki kaosun içeriğini anlamamıza yardımcı olacaktır ki bu konu, sadece türbülansın fiziği için değil, genel olarak çağdaş fizik için çok önemlidir. Net ve tanımlanabilir temiz bir ses, örneğin ucuz elektronik aletlerden bile çıkarılabilecek hava basıncının basit bir periyodik titreşimidir. Muzikal ses, kulağımızın tonunu ayrıştırabildiği bir biçimde her zaman periyodiktir ve bu sesin armonisi de temel frekans salınımının iki katı, üç katı, dört katı ve benzeri biçimde katlarıdır. Bütün bunlar, enstrümanın yapıldığı malzemeyi de belirleyen oranlara bağlıdır; velhasıl bir obuanın sesini bir flütünkinden kolayca ayırt edebiliriz zira birinci enstrümanın sesi armonik olarak ikincisinden çok daha zengindir.

Elbette akor, aynı anda birkaç notayı birden çalmak gerektiğinde kullanılacak bir birimdir ve aslında birkaç sesin aynı anda üst üste çalınması durumudur; dolayısıyla, daima sonlu, tanılanabilir frekansların titreşim sayıları toplamıdır. Akorları vokal

olarak çıkartmak her zaman kolay iş değildir ama bazı şarkıcılar bunu başarabilirler -Sardunya'dakiler mesela. Fransız Bilimler Akademisi'nde çalışan ve kayda değer bir müzisyen olup, hem şarkı söyleyip, hem de aynı anda ıslık çalabilen birini de tanıyorum; böylelikle Bach'ın iki bölümlü füglerini hiçbir enstrüman kullanmadan icra edebiliyor. Fakat önemli olan ve burada bizi ilgilendiren konu, bir sesin üst üste gelmiş farklı frekanslarda sonsuz sayıda titreşimden meydana geldiği ve fizikçilerin deyimiyle, spektrumunun "sürekli" olduğudur. Periyodik ve her zaman tekrar edilebilen, aynı zamanda da mükemmel biçimde ne olduğu tahmin edilebilen bir sesten farklı olarak, gürültü olarak nitelenebilecek "kaotik" bir sesin tonunun ne olduğu tahmin de edilemez. Böyle bir gürültüyü bir noktaya kadar kaydetseniz bile rasgele bir doğası olduğundan o noktadan sonra nasıl devam edeceğini tahmin edemezsiniz. Kuvvetli bir türbülans akış da kaotiktir; hem uzayda hem de zamanda nasıl devam edeceği tahmin edilemez.

Geçtiğimiz yüzyılın sonunda hakkında birçok gelişme kaydedilen bir soru da, başlangıcında düşük hızlara sahip düzenli bir akışın da farklı yollarla hızı yükseldikçe kaotik bir biçime dönüşüyor olmasıdır. Birkaç tane "kaosa giden yol" vardır ve ben bunlardan birinin nasıl keşfedildiğini yakından gördüm.

1980 yıllarında, neden kristallerin yüzleri olduğunu merak etmeye başladığımda, Albert Libchaber sıvı küplerini düşük dereceden ısıtmaya başlıyordu. Albert, bir yandan da benim tezimin danışmanlığını yapıyordu, dolayısıyla ona iki kat borçluyum; merakımı geliştirmemde beni gerçekten cesaretlendiren biriydi ve kendi araştırma konumu tanımlamam konusunda beni çok desteklemişti. Özellikle seçkin bir mühendis olan Jean Maurer'in odasının hemen yanındaki odada çalışıyordu. Maurer, küçük, plastik bir kutu yapmış ve kutuya sıvı helyum doldurmak için de içine minik bir tüp yerleştirmişti. Genel sorularımızın cevaplarını bulduğumuz bu sevimli model sıvıyı hepimiz çok takdirle karşılamıştık. Maurer'in küçük kutusu, altına yerleştirilmiş ısıtıcı bir rezistans teli, üstünde bir ısı sübabı ve bir de mikro-termometreyle donatılmıştı. Düşük ısı gücünde sıcaklık

kolaylıkla sıvının ısı iletkenliği uyarınca küpün dibinden tepesine kadar yükseliyor ve sıvı helyum hareketsiz olarak duruyordu. Isı gücü daha yükselince, sıvı helyum hareket etmeye başlar; bu "ısıyayım" hareketi küpün altından üstüne kadar devam eden iletkenliği giderek arttırır ve bunun kaynağı da Arşimet prensiplerinden başka bir şey değildir. Genel olarak bir sıvıyı ısıtmak, aslında bir genleşme yaratır ve Dünya'nın çekimi altında daha hafif hale gelen sıcak sıvı yükselir, içinde bulunduğu kabın tavanıyla ilişkiye geçince de soğur, yoğunlaşır ve tekrar aşağıya doğru çökmeye başlar. Yüzeyde kalma, yani yüzme özelliğiyle bağlantılı olarak, termal genleşme sıvıyı dengesiz hale getirir ve ısıyayım topakları oluşturur. Bu topakların şekilleri kutunun şekline bağlıdır; eğer kutu köşeli bir küp şeklindeyse, sadece bir tek topak oluşur ve herhangi bir yönde döner. Eğer kutu, eni boyunun yaklaşık iki katı olan bir dikdörtgen prizması şeklindeyse, bu kez orta kısmı yükselen sıvıda iki topak oluşur ve kenarlara doğru dağılırlar. Son olarak, eğer kutunun eni boyundan çok daha genişse, birden fazla uzun topaklar oluşur, birbirlerine paralel olarak dizilebilir ya da altıgen hücrelerden oluşan bir ağ oluşturabilirler. Böylesine bir topak yapılanmasını bir tavaya koyduğunuz ince yağ tabakasını ısıtarak gözlemleyebilirsiniz. Daha önce de değinmiş olduğum gibi (3. bölümde) söz konusu termal ısıyayım Dünya'nın alt katmanlarında da çalışmakta, yer kabuğu plakalarını yerlerinden oynatmakta ve depremlere neden olmaktadır.

Libchaber ve Maurer aynı tip ısıyayım olayını, aslında gayet iyi bilinen böylesi bir fenomeni üretmiş oldukları küpte bir kez daha gözlemlediler. Fakat ısı gücünün daha da fazla arttırılmasıyla, sıcaklığın zaman içerisinde titreşmeye başladığını gözlemlediler. Sıcaklık titreşiyordu çünkü sıvının bu topak biçimindeki hareketinin kendisi de titreşiyordu. Artırmaya devam ettikleri ısıyla ortaya çıkan iki kat titreşimi görünce başlangıçta şaşırdılar. Sonra ısıyı daha da artırınca bir kez daha titreşimin ikiye katlandığını, sonra tekrar katlandığını, tekrar ve tekrar katlana katlana arttığını ve sonunda, topakların periyodik hareketinin kaotik bir devinime dönüştüğünü gördüler. Periyodun ikiye katlan-

ması, frekansın yarıya inmesi anlamındaydı ve eğer Libchaber ve Maurer yaptıkları kutuyu dinleyebilselerdi, duydukları sesin giderek, her defasında bir oktav kadar düşerek daha da derinleştiğini ve sonunda şekilsiz bir gürültüye dönüştüğünü fark edeceklerdi. Daha sonra akustik araştırmacıları söz konusu fenomeni tekrar yaratarak, sistemin kurucusu Mitchell Feigenbaum'un tarifiyle, "katlanarak artan periyot çağlayanını" etkin biçimde duydular. Albert içinse, "kaosa giden yollardan" biriyle ilgili bu deneysel keşif, rüyalarından birini gerçekleştirmesine yol açmış, Amerika'da bir kariyer edinmesini sağlamıştı. Bu tür titreşen ısıyayım, o günden bu yana birçok diğer alanda da (elektronik, optik, kimya) keşfedilmiş geniş anlamda yaygın bir fenomendir.

Şüphesiz sizin de dikkatinizi çekmiş olacağı üzere, kaosla ilgili çoğul "yollar" kelimesini kullanıyorum. Çünkü gerçekten bu anlamda başka yollar da var. 1971 Yılında, yani koridorun öbür ucunda çalışan komşularımın gerçekleştirdiği deneylerin yapılmasından on yıl önce David Ruelle ve Floris Takens dinamik bir sistemin kaotik hale gelmesi için üç farklı tarzda, her biri kendini katlar biçimde titreşen sistemler olması gerektiğini göstermişlerdi. David Ruelle bu konuda kayda değer bir kitap da yazdı (Hasard et chaos [Odile, 1991]; Değişim ve Kaos [Princeton Üniversitesi Yayınları, 1993]). Bu konu beni taşra gecelerimin gezegenlerine geri götürdü. Eğer Dünya Güneş etrafında dönen yegâne gezegen olsaydı, Dünya-Güneş çifti düzenli periyotlarla (bir yıl) çalışan bir titreşim birimi oluşturacak ve gelecek mükemmel biçimde tahmin edilebilir nitelik kazanacaktı. Şüphesiz bu varsayım doğru olmamakla kalmayıp, diğer gezegenlerin varlıklarından bağımsız bir fikirdir. Doğrusu, her bir gezegenin kendi periyodunda dönüşünü sürdürdüğü ve bütün hareketleri kendi aralarındaki kütle çekim kuvvetlerinin etkisi nedeniyle çiftler halinde yaptıklarıdır. Bir gezegenin diğerine yakın bir noktadan geçişi, her ikisinin de yörüngelerini az da olsa yeniden düzenler ve bu yeniden düzenlemeleri büyüten de zamandır. Ruelle ve Takens'e göre -ki haklılardır- genelde hareketin kaotik olabilmesi için böylesine bir çiftler haline gelişin üç gezegen içermesi yeterlidir. Jacques Laskar'm da açıkladığı gibi,

yüz milyon yıllık bir skala içinde, Güneş sistemindeki gezegenlerin hareketleri tahmin edilemez niteliktedir.

Yirminci yüzyılın son 30 yılında bilim insanları, büyük Lev Landau'nun bir sıvının türbülansında görünen kaosun nedenini giderek artan biçimde daha geniş sayıda, her biri başka frekansta titreşimin ilerleyen ayrışmaları şeklindeki tarifinin yanlış olduğunu göstermiş bulunuyor. Üç yeterli; ya da sadece kendi içinde bölünebilen bir tek tane bile. En büyük fizikçiler bile bazen yanılabilir.

Ama şimdi tahmin edilebilirlik nosyonuna geri dönelim. Fiziksel bir sistemin hafızasına bakalım. Saatteki hareketler o denli düzenlidir ki, eğer hareketin bir andaki halini biliyorsanız, herhangi bir sonraki zamanda o hali yeniden tahmin edebilirsiniz. Saat, geçmişiyle ilgili mükemmel bir hafızaya sahiptir; gelecekteki hali, tamamen geçmişteki hali tarafından belirlenir. Diğer yandan kaotik bir sistem belli bir süre sonra bütün hafızasını kaybeder ve bu nedenledir ki hava durumunu tahmin etmek bu kadar zordur. Bu zorluk ve hafıza kaybı bazen "kelebek etkisi" olarak da adlandırılan ve açıklanmayı gerçekten hak eden bir etkiden gelir.

Kelebek etkisi, adını 1972 yılında meteorolog Edward Lorenz'in Washington'da yaptığı bir konuşmadan alır: "Tahmin edilebilirlik: Bir kelebeğin Brezilya'daki kanat çırpışı Teksas'daki tayfunu başlatabilir mi?" Burada altı çizilen nokta, bir kelebeğin herhangi bir yerde kanat çırpmasının, bütün atmosferde takip eden evrimsel gelişimi tamamen değiştirmeye aşağı yukarı yeterli olacağıdır; yani, başlangıç koşullarına yapılan hassas etki böylesine büyüktür.

Kaotik bir sistemin hassasiyetinin başlangıç koşullarına bağlı oluşunu, merkezinde yuvarlak bir blok bulunan bilardo masasını düşleyerek anlayabiliriz. Bu bloğa doğru bir top yuvarladığımızda, bloğa çarpan top, bloğun sol tarafına veya sağ tarafına çapmasına bağlı olarak masanın ya bir tarafına, ya da diğerine doğru sekecektir. Sonra aynı top, masanın kenarından da sekecek ve belli bir rotayı takip ederek çuha üzerinde hareketini sürdürecektir. Eğer topu ikinci kez yuvarlayarak aym rotada hare-

ket etmesini sağlamayı deneyecek olursak çok çok dikkatli davranmamız gerekecektir. Zira ilk çarpmanın açısında yapacağımız en ufak bir değişiklik, bu çarpışmadan sonraki yönde meydana gelecek bir farka sebep olacak, böylece top farklı bir noktadan masanın kenarına çarpacak ve takip eden bütün hareketlerin yönlerinde de sapmalar olacağından, nihayetinde bambaşka bir noktada hareketini sonlayacaktır. Dolayısıyla, ortadaki bloğa çarpan topun iki atışta da aynı rotayı izlemesini, ilk atışın hassasiyetini sonsuz değerde aynı uygulamadığımız sürece sağlayamadığımızdan, ortasında yuvarlak bir blok olan bilardo masası kaotik bir sistemdir. Bu kaotik bilardo masalarının çeşitli konfigürasyonları, bugün Princeton'da çalışan matematikçi Yakov Sinai tarafından, bazı masaların ortasındaki blok olmasa da, ortasında düz ve iki ucunda yarım daireden oluşan parçalarla stadyuma benzer tipteki masalarda denenmiştir.

Kaotik sayı serileri de oluşturabiliriz. 0 ve 1 arasındaki sayılardan başlayalım; 0,33 diyelim. Sonra bunu ikiye katlayalım: 0,66; ve tekrar ikiye katlayalım: 1,32. Sonuç 1'in üzerindeki çıktığında sayının tam sayı kısmını atarak onu tekrar 0 ve 1 aralığına sokarız; bu durumda 1,32'nin sonucu 0,32'ye karşılık gelecektir. Ve devam edelim; 0,64 sonra 0,28 ardından 0,56 ve akabinde 0,12 vs. vs. Şimdi komşu sayılarla yeniden başlayalım; örneğin 0,34 ile. İlk serimiz aşağıdaki gibiyken,

0,66 - 0,32 - 0,64 - 0,28 - 0,56 - 0,12 - 0,24 ve 0,48

0,34 ile başladığımız yeni serimiz,

0,34 - 0,36 - 0,72 - 0,44 - 0,88 - 0,76 - 0,52 ve 0,04 olacaktır.

Bu iki sayı serisinin birbirinden hızla ayrıldığını ve tamamıyla farklılaştığını görüyoruz. Söz konusu farklılık, gerilimin kombinasyonundan ve bu sayılara uyguladığımız ikiye katlama ve sonra sayıyı 0 ve 1 aralığına indirmekten geliyor. Aynı yolla, kaotik bilardo masamın üzerindeki blok, topun rotalarını birbirinden ayırmakta, kenar yastıkları da topu tekrar masanın üzerinde tutacak şekilde içeriye doğru sektirmektedir. Türbülanslı akışta, akım çizgileri de gerilir ve anaforlar tarafından katlanır.

Matematikçiler, bu "esneme- katlanma" kombinasyonuna metaforik bir isim vererek, "Baker Dönüşümü" diyorlar ve öne-

mini kabul ediyorlar. Hiç kat kat puf böreği yaptınız mı? Ben şahsen, fırıncı Lenotre'nin "hızlı" metodunu takip ederim. Bir yufka hamurunu, eni boyunun üç katı olacak biçimde uzunlamasına tezgâha yayarım ve üçte ikilik bölümünü tereyağlarım. Bu işlemi yapmak için de, iki parça yağlı kâğıdın arasına tereyağı parçalarını uzunlamasına dizip oklavayla düzledikten sonra bu "sandviçi" beş dakika buzdolabına koyarak yağlı kâğıt arasında düzleşmiş tereyağını kolayca çıkarıp kullanmanızı öneririm. Ardından, hamuru uzunlamasına üçe katlayıp (yağsız üçte birlik parça ortada kalacak şekilde), 90 derece çevirerek oklavayla yeniden açarım. Tekrar aynı işlemi yaparak önce üçe katlar ve yine döndürüp açarım vb. Bu işlemi birkaç defa tekrarladıktan sonra, her bir tereyağı parçası ilk başta sahip olduğu komşuluklardan çok uzaklaşmış olur; yani tereyağı kaotik biçimde çeşitli katmanlar arasında dağılır.

Özet olarak, aritmetik ve hamurun ortaklaşa sahip oldukları şey, her ikisinin de, aslında gayet basit, ne karmaşık ne de olasılık hesaplarına dayalı, net kuralları olan ve gayet kolay anlayabileceğimiz işlemlerin tekrarı sonucunda kaotik davranış göstermesidir. Meteorolojiye dönersek, bir haftadan daha uzun bir periyottaki hava durumunu zar zor tahmin edebiliyor olmamızın sebebi, atmosferdeki ve okyanuslardaki hareketlerin kaotik olmasındandır. Burada önemle akılda tutulması gereken, hidrodinamiği yöneten temel Navier-Stokes denklemlerinin mükemmel kararlılığıdır. Tıpkı, gezegenlerin hareketlerini yöneten yerçekimi kanunu gibi...

Atmosferi hareket ettiren nedir? Güneşin ısısı. Yeryüzüne yaklaştıkça havanın sıcaklığı üst katmanlarda olduğundan daha yüksektir ve ekvatora yaklaştıkça da sıcaklık kutuplardakinden daha yüksektir, dolayısıyla Maurer'in deneyinde olduğu gibi, bu sıcaklık farkları devasa ısıyayım hareketlerini tetikler. Dahası, Dünya kendi ekseni etrafında döndüğünden, meydana gelen anaforların da eğilimli oldukları bir yön vardır ki bu nedenle Fransa'yı etkisi altına alan rüzgârların büyük bölümü batıdan gelir. Okyanuslar için de durum aşağı yukarı aynıdır; ekvatora yakın bölgelerdeki deniz suyu kutuplarda olduğundan daha

tuzlu ve sıcaktır ve bu fark devasa okyanus akıntılarına neden olur. Dünya'nın kendi ekseni etrafındaki dönüş yönü de bunda rol oynar ve bu nedenledir ki meşhur Gulf akıntısı Atlantik Okyanusu'nun kuzeyinde batı yönünde ılık akarken, Amerika sahilleri boyunca doğu yönünde çok soğuk bir akıntıyla geri döner. Dünya dev boyutlarda bir termal makinedir ve solar radyasyon enerjisini temel olarak rüzgârlara ve akıntılara, bunun yanı sıra bitkiler için bilinen sırasıyla yağmur ve kara dönüştürür.

Yirminci yüzyılın ortalarına kadar, dünyanın çeşitli bölgelerindeki veya daha uzun bir zaman aralığında belirleyici iklim özelliklerine sahip yerlerin hava durumlarını gözlemleyip anlatmaktan çok memnunduk. Hava durumunu tahmin edebilmek için önceki yılların ortalamasını alıp tahmin diye verecek kadar düşmüştük. Peki, nasıl olup da bu işi bugün daha iyi yapıyoruz ve en azından gelen birkaç günü net olarak tahmin edebiliyoruz? Bunun üç temel nedeni var: Birincisi, bütün Dünya'yı gözlemlememizi sağlayan uydular; elbette hâlâ daha fazla geliştirilmeleri mümkün ama uydular aracılığıyla rüzgârları, basıncı, sıcaklığı, nem oranını ve hangi tür bulutların nerede olduklarını her zaman biliyoruz. İkincisi, bunca veriyi işlemek için yeterince güçlü bilgisayarlarımız var ve bunlar, söz konusu bilgileri başlangıç koşulları olarak alıp, okyanus ve atmosferdeki gelişmelerin nasıl gelişeceklerini hızla hesaplayabiliyorlar. Bu hesaplamaları yapmak için de bilgisayarlar gayet iyi bilinen hidrodinamik kanunlarını kullanıyor. Son olarak da, elimizde orada burada oluşabilen karasızlıkları tanımlayan birçok model var; bulutların formasyonları ve bölgesel sıcaklık değerleri, güneşten gelen radyasyonun yansımaları vb. gibi yağışa neden olan çökelmeleri etkileyen koşullara ilişkin modeller. İyi meteorolojik modeller sürekli gelişiyor ama tahminlere güvenilirlik konusunda şüphesiz herkesin kendine göre bir görüşü var. Benim kişisel düşüncem, yılın bazı zamanları veya havanın özellikle dengesiz olduğu bazı belli bölgeler dışında, yirmi dört saatlik hava tahminlerinin göreceli olarak güvenilir oldukları yönünde. Fakat bütün bildiğimiz, sadece birkaç gün ötesinden fazla bir sürede-

ki hava durumu tahminlerine güvenilemeyeceği. Hiçbir kuruluş, önceden bir haftadan daha uzun bir süreyi kapsayan hava durumu tahmini konusunda ciddi bir girişimde bulunmuyor -ve bu belirsizliğin temel nedeni de, kaotik sistemin başlangıç koşullarına karşı olan duyarlılığı. Bir gün atmosfer koşullarını her bir kilometre yerine her metrede bir yapabilen uydulara sahip olacağımızı hayal edebiliriz ama bu kez de uzaydaki evrimin kaotik olması gerçeğiyle karşılaşacağız. Belki birkaç gün daha uzun süreli hava durumunu daha güvenilir biçimde tahmin etmeyi başarabiliriz ama asla iki haftadan fazlasını değil. Yörüngede dolanan şahin gözlü uydular ormanı sürekli biçimde bir çiçekten diğerine uçuşurken bölgesel hava koşullarını her ne kadar çok az etkileseler de bütün kelebeklerin pozisyonlarını kaydediyor ve bilgisayarlar bu muazzam büyüklükteki veriyi yirmi dört saat içinde işleyebiliyor bile olsalar hava durumu tahminlerini iki haftadan öteye götüremeyiz. Dünyanın diğer bir yakasında oluşan fırtınaları çıkaran makine, bazılarının Lorenz'in düşüncesini çarpıtarak yorumladıkları üzere kelebekler değil, Güneş'in ta kendisidir. Kelebeğin bir yerlerde kanat çırpması da ondan çok uzaklarda önceden ya da sonradan veya bütün bunlardan daha değişik kompozisyonlarda fırtınalar çıkmasına neden olabilir ve bu durum tamamen tahmin edilemez niteliktedir.

Velhasıl, meteorologların işe yaramaz olduklarını düşünmemeliyiz -hiç de öyle değiller. Bir defa, tekrar ediyorum, kısa dönemli tahminleri gayet isabetli ve sürekli daha iyiye gitmekte; ikincisi de, atmosfer ve okyanuslar, tanımlanmış ve meteorologların tahminlerine temel teşkil eden daha büyük yapılara bağlı fenomenlere sadece sahne olurlar. Bu konuda en iyi bilinen örnek, El Nino Kasırgası'dır. Bazen Pasifik Okyanusu'nun batısından doğusuna geçen devasa hacimdeki ısınmış su, Güney Amerika sahillerini ısıtmaya gelir ve bu durum bölgedeki karideslerin ve diğer canlıların hızla çoğalmasına neden olur. Her ne kadar söz konusu değişkenlik rasgele nitelikteyse de, bu durumu altı ay önceden tahmin etmemiz mümkündür. Dahası, iklim bilimciler daha uzun dönemli hareketliliklerin ortalamalarını çıkardıklarında ve iklimin kendi içindeki evrimini gözlediklerin-

de, tahmin edilmesi güç hareketlilikler konusunda rahatlayarak, tahminlerini çok daha tutarlı hale getirebilmektedirler. Bu gerçek, şükürler olsun, genel durumun giderek kötüye gitmesi sonucunda artık gazetelerin baş sayfalarına kadar ulaşıyor. İklim modelleri, insanların etkinlikleri nedeniyle global bir ısınmaya doğru kayıyor (zira her geçen gün daha ve daha fazla karbondioksit salıyoruz). Bilim insanları şu anda global ısınmada sadece 3 veya 6 santigrat derece yükselme tahmini yapmak konusunda tereddüt ediyorlar ve bu tereddüdün nedeni de, okyanus ve atmosferin evrimindeki belirsizlikler değil, nüfusun nasıl bir artış göstereceği, artan nüfusun nasıl bir enerji tüketimi sürdüreceği ve "sera gazları" üretip üretmeyeceğini gerçekten bilemediklerinden kaynaklanıyor.

Bütün bu bilimsel problemler üzerine düşünürken, Daniel Cohen'in radyoda, artık ekonomistlerin tahmin yapmasından ziyade, tahmin meselesini meteorologlara bırakmamız gerektiği yolunda kinayeli bir yorumunu duydum! Bu büyük ekonomist -Başbakanlık ekonomik analiz konseyi üyesi, Ecole Normale Superieure'de profesör ve birçok uluslar arası ödülün sahibi- bana, sorumluluklarını biraz hafife alırmış gibi göründü. Ekonomistlerin tahminlerinin ne denli kötü olduğu hesaba katılarak, bu kişiler tahmin yapmaktan af mı ediliyorlar yani? Bu muhterem için, ekonomistlerle, gerçekten de tahmin yapan ama burada tartıştığımız onca etmeni göz önünde bulundurarak tahminlerini yürüten meteorologları karşılaştırmak biraz fazla ileri gitmek olmuyor mu? Cohen'in bizim laboratuarda 2005 yılı Ocak ayında verdiği bir seminerde söylediklerileyle ne kastettiğini şimdi daha iyi anladığımı hissediyorum.

Dünyanın ekonomik durumu, dünyadaki karışıklıkların bir dışa vurumu ve bir bakıma da ortaya çıkan kaosun sorumlusu fenomenlere bağlı; gerçekten de atmosferdeki fenomenlerle karşılaştırılabilir nitelikteler. Örneğin, ekonomistler de bölgesel halk arasında kişi başına düşen gelirin evrimiyle ilgilenirler. Şüphesiz meseleyi basitleştirmek arzusuyla öncelikle bunu serbest pazar ekonomisi içerisinde ele alırlar; yani her bir birey kendi ekonomik çıkarları doğrultusunda bir arayış içinde olacak,

dolayısıyla bu bireyin kazancı, yapabilecekleri konusunda ona belli imkânlar sunacaktır. Eğer herkes her yerde aynı seçme fırsatlarına sahip olsa, globalizasyon gereği, bütün gezegende homojen bir gelir düzeyi yakalanacaktır. Ama böyle olmuyor. Eğer siz, emeğini pamuk tarlalarında satan bir Afrika köylüsünden on kat daha zenginseniz, yatırım yapabilir ve her defasında bu köylünün kazandığından on kat daha fazla para kazanabilirsiniz. Gelirleriniz arasındaki fark her defasında geri dönüşü olmayan bir biçimde büyür. George Soros, finans dünyasında milyar-milyon dolar mertebelerinde oynadığında beklediği kar, küçük yatırımcıların beklentileriyle karşılaştırılamaz oranlardadır; tek başına para kurlarını etkisi altına alabilecek güce sahiptir. Dolayısıyla ekonomi "doğrusal olmayan" adı verilen kanunlarla yürütülür, zira etkiler amaçlarla orantılı değildir. Ve doğrusal olmayan etmenler kaosun en baş içeriğidirler. Eğer hidrodinamiğin kanunları doğrusal olmayan özellikler taşımasaydı, birkaç hareketi birbirini etkilemeden üst üste getirebilirdik.

Bir sistemin kaotik olup olmadığını nasıl tahmin edeceğimizi tam olarak bildiğimizden emin değilim ama söz konusu sistemin birçok parametresi olduğunda ve doğrusal olmayan kanunlarla yönetildiğinde muhtemelen kaotik olduğu söylenebilir. Ve bu hal, bir bütün olarak sadece dünya ekonomisinin durumu için değil başka alanlar için de doğrudur; eğer hisse senetleri dünyasında ve temel ihtiyaç maddelerinin fiyatlarındaki dalgalanmalara bakacak olursanız, üzerinize atlayan rasgele bir gürültüye benzediklerini, genel eğilimlere veya dönüşüme dayalı bir üst katmanla asla üst üste gelmediklerini fark edeceksinizdir. Finans dünyasındaki bu dalgalanmalar, hidrodinamik türbülansla başka bir ortak yöne daha sahiptirler; her ikisi de, "düzensiz duraklama" adı verilen bir özelliğe sahiptir. Ekonomide değişiklik yapmak zar atmak kadar kolay değildir. Hepimiz gayet iyi biliyoruz ki, bazı dönemlerde ciddi krizler yaşanıyor ve borsalar çöküyor. Fakat tıpkı fırtınalar ve depremler gibi bu büyük ölçekli olaylar da eğer basitçe rasgele fenomenler olsalar çok daha ender görüleceklerdir. Şu bir süredir devam eden huzur bo-

zucu pazar kargaşası gibi ciddi krizler, tıpkı depremler ve fırtınalar gibi uzun erimli artçı etkiler bırakmaktalar.

Velhasıl, ekonomik değişkenlerin evrimi, tıpkı atmosferde olduğu gibi, muhtemelen kaotik bir sistem, yani başlangıç koşullarına hassas ve dolayısıyla tahmin edilemez nitelikte. Ama Gerard Jordan,[36] ekonomiyle ilgili başlangıç koşullarının ölçülmesinin kur değerlerinin sürekli dalgalanması nedeniyle çok zor olduğunu belirtmekte haklı. Dahası, en azından şunu biliyoruz ki, ekonomiyle ilgili verilen herhangi bir başlangıç noktasından, onun gelişimini hesaplamamıza imkân tanıyacak güvenilir, global bir matematiksel modele de sahip değiliz. Haliyle, şu ekonomistlerin gerçekten değişkenlerinin evrimini hesaplayabileceklerini sanmıyorum. Bunun anlamı, ekonominin belli bir bilimsel içeriğe sahip olamayacağı değildir; en azından ekonomistlerin kendi teorilerini eleştirdiği çöküş zamanlarındaki yaklaşımlarına bakarak.

Daniel Cohen'e, "Eğer tahmin yürütmezseniz, Başbakan sizin fikrinizi sorduğunda ona nasıl karşılık vereceksiniz?" diye sordum. Cevap olarak, ekonomistlerin tavsiyelerini etkiler hakkındaki tecrübelerine dayalı bilgilerini esas alarak verdiklerini, söz konusu etkilerin de benzer koşullardaki şu şu politik kararlarla üretilebildiğini söyledi. Velhasıl benim anladığım, ekonomistlerin 1950 öncesi meteorologlarla bir çeşit benzer durumda oldukları, önceki yılların aynı dönemlerindeki değerlerin ortalamaları üzerinden tahminlerde bulunmaktan daha iyisini yapamadıkları oldu. Kuşkusuz başka seçenekleri yok. Fakat hâlâ, düşündükleri benzer koşulların yeterince benzer olup olmadığını bilmeleri gerekiyor.

Nitekim bu noktada bir diğer soru çıkıyor: Eğer ekonomistler, ekonomi hakkında matematiksel bir modele sahip olsalardı, güvenilir tahminlerde bulunabilirler miydi? Her şey ekonomideki kaosun derecesine bağlı olurdu.

Atmosfer sadece türbülansa girmiş akışkan değildir. Atmosferdeki kaosun, yüzlerce milyon yıl ölçeğindeki Güneş Sistemi'ne bağlı gezegenlerle de ilgili olduğuna değinmiştim. Daha

genel uzaydaki manyetik gelişmeleri de hesaba katabiliriz. Aslında hepimiz, pusulaların daima ve sonsuza dek aynı yönde Kuzey istikametini gösterdiklerine ve bundan sonra da aynısını yapmaya devam edeceklerine inanmak eğilimindeyiz. Fakat uzayın manyetizmasının Dünya ile ilişkisi, Dünya'mızın merkezine doğru 2900 km ve 5150 km derinlikler arasında bulunan sıvı demir korunun ısıyayım hareketine bağlıdır. Tıpkı bütün elektrik akımları gibi, ergimiş metalin hareketi de bir manyetik alan doğurur. 2007 Yılında bu etki, Stephen Fauve ve Fransız meslektaşları tarafından laboratuar ortamında yeniden üretilmiş ve Dünya'nın kor tabakasındaki türbülansın, gezegenin manyetik alanının anlık görüntüsünde asli bir etkiye sahip olduğu onaylanmıştır.

Sonuç olarak Dünya'nın bu içsel türbülansı kayda değer bir sonuca neden olur ve bu bilgi de doğrulanmıştır. Manyetik alanımız, jeolojik zamanlar perspektifinden ele alındığında, hiç de sabit ve dengeli değildir. Rasgele biçimde, son birkaç milyon yıl içerisinde yaklaşık 20 kez, sanki devasa miktardaki sıvı demir koru akıntısı aniden akış yönünü değiştirmişçesine kendini tersine çevirmiştir. Ama içinizi ferah tutun, insan ömrü skalasında pusulanız muhtemelen yönünü değiştirmeyecek ve Grönland'a gitmeye çalışırken sizi Antarktika'ya göndermeyecektir.

O halde, üzerinde çalışılan kaotik sisteme bağlı olarak, sistemin davranışının tahmin edilemez olduğu zaman ölçeği bir haftayla (atmosfer için) bir milyon yıl (Dünya'nın kor tabakası) ve hatta 100 milyon yıl (bütün Güneş sistemi) arasında çeşitlilik gösterir.

Eğer ekonomik durumun, ister milli isterse global ölçekte olsun, kaotik özellik taşıdığını anladıysak, doğal olarak onun tahmin edilemez nitelikte olduğunu da anlamışız demektir; ama hangi zaman ölçeğinde? Bu bana çok ilginç görünen bir soru ve ekonomistlerin bu soruya cevap verebileceklerinden kuşkuluyum. Ama kim bilir? Belki de bu alanda büyük gelişmeler yoldadır. Eğer öyleyse, ekonomiyle meteoroloji arasındaki benzetme çok daha isabetli hale gelebilir.

Sonuç olarak, yeni binyılın başlangıcında kaosun düzenli olarak bilimsel yayınların kapak konusu olmasıyla radyolarda politik fırtınalar kopar ve günlük gazeteler aşırı nüfus artışı hikâyeleri ve yorumlarıyla dolar taşarsa, hassas sınırların ötesinde laf söyleme talepleri de ayyuka çıkar tabi; tekil bir rastlantıdır, o kadar.

10. Bölüm

Diğer Elmalar

Kutsal kitabın şiirsel bir metin olduğu ve orada yazılanların aynen yazıldığı şekliyle algılanmasının beklenmediği konusunda kendimi olabildiğince ikna etmeye çalışsam da, Tevrat'ın Yaradılış kısmını şiddetli tepkiler vermeden okumakta gerçekten çok zorlandım. Bu metin hem Yahudiler hem de Hıristiyanlar tarafından kutsal sayılıyor:

Ve RAB Tanrı adama buyurdu, Bahçede istediğin ağacın meyvesini yiyebilirsin; ama iyiyle kötüyü bilme ağacından yeme: Çünkü ondan yediğin gün kesinlikle ölürsün. [...] Ve kadın ağacın meyvesinin yemek için uygun, göze güzel görünen ve bilgelik kazanmak için çekici olduğunu gördü, sonra meyveyi kopardı ve yedi [...]

Ve bahçede yürüyen RAB Tanrı'nın sesini duydular [...]

Ve RAB Tanrı kadına sordu, Nedir bu yaptığın? [...]

Kadına dedi ki, Çocuk doğururken çektiğin acıları katlayacağım; ağrı çekerek doğum yapacaksın; [...] Ve RAB Tanrı Adem'e dedi ki, Karının sesini duyduğun ve sana meyvesini yeme dediğim ağaçtan yediğin için, toprak senin yüzünden lanetlendi; [...]

Toprağa dönünceye dek ekmeğini alın teri dökerek yiyeceksin; çünkü sen topraktan alındın... [37]

Kısacası, Havva meraklıydı. İyiyle kötüyü, *bilgelik kazanmak için* bilmek istedi. Otoriter Tanrı ise Havva'yı dinlediği için Adem'i suçladı, Havva ki onun kaburga kemiğinden, "onunla buluşturulmak için" yaratılmıştı...

İyi ama, merak harika bir özellik değil mi?

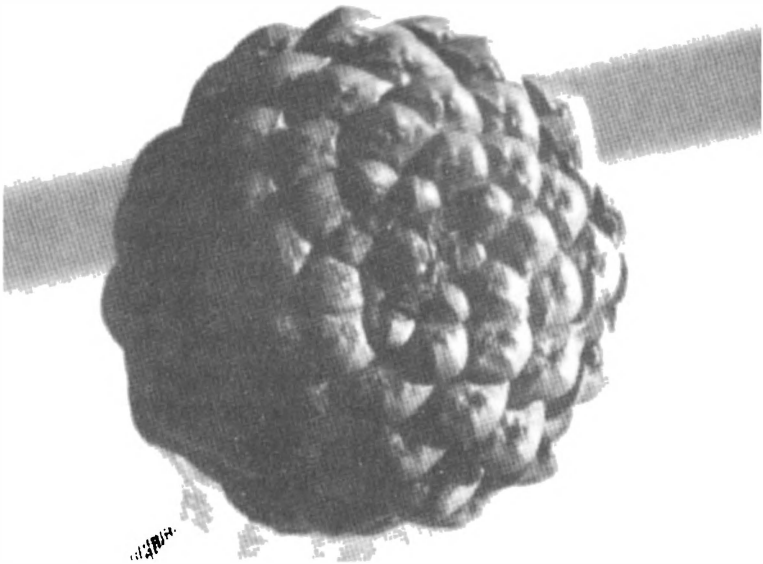
Pek çok insan bu metni kendini sınırlayan bir hissiyatla, iyi olanı saflıkla ve kötü olanı da cinsellikle bir tutarak yorumluyor; Havva'nın dişlerini elmaya geçirmesi fikrinden yola çıkarak, yani arzusuyla ilgili duyduğu merakla Adem'i de ikna ederek ilk günahı Havva'nın işlediğine inanılıyor. Bu denli basit bir yorumu anlamakla birlikte, sert ve gerçekçi olmayan bu ahlaki anlayışa baş kaldırdığımı itiraf ediyorum. Sevgi dolu bir ilişkide, diğerinin zevk aldıklarına ilgi duymaktan daha meşru, daha saygılı ne var? Duyarlılıklarımızı ve mutluluğumuzu paylaşımımızı mı geliştirmeliyiz, yoksa kendimize kahredip acı çekerek ve dolayısıyla etrafımızdakilere de acı çektirerek mi yaşamalıyız?

Fakat bu metindeki "iyiyle kötüyü bilme ağacı", genel olarak bilgiden bahsetmenin bir yolu. Havva, düşüncenin özerkliği için talebinin sınırlarını çiziyor –neyin iyi neyin kötü olduğu konusunda kendini anlama hakkını saklı tutuyor. Ve her neyse, metin bilgelikten bahsediyor –her şeyi anlamaktan. Tabulara meydan okumak adına Havva, düşünmek konusundaki bencil arzularını dışa vuruyor ve dolayısıyla anlıyor; başlangıç olarak iyiyle kötüyü ve sonra da gerisini. Fakat Yahova bu hakkı sadece kendi elinde tutmak istiyor.

Havva kutsal kuralı takip etmekten mutluluk duymalıydı ama o kendi araştırmasını yapmak istedi ve bu durum Yahova'nın keyfini kaçırdı!

Eğer günah buysa, ben günahtan yanayım.

Dünya'nın nasıl oluştuğunu, yaşamın onun bir köşesinde nasıl ortaya çıkmış olabileceğini ve doğanın nasıl davrandığını anlamak, benim sağlıklı merak duygumun konuları ve bu kitabın dişlerinizi geçirmeniz için size sunduğu elmalar da bunlar. Ve ben sizi bilgi elmalarının lezzetini benimle paylaşmaya davet ediyorum, zira çağdaş bilim bu elmaların taze, yeni ve heyecan verici olanlarını hâlâ buluyor.



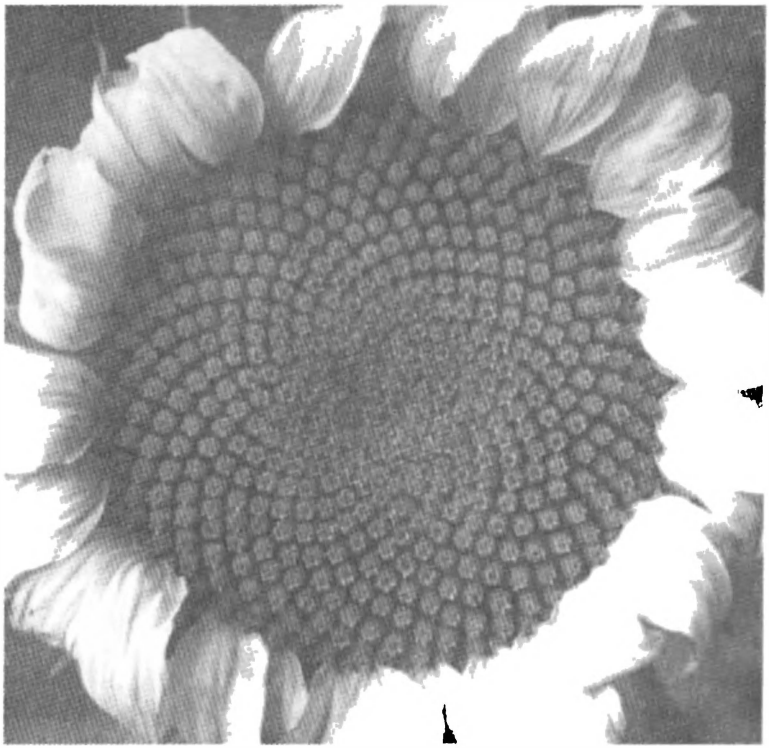
Resim 12

Elmalardan bahsederken ve bazı araştırmacıların doğada formların nasıl ortaya çıktığı gizemiyle günümüzde karşı karşıya geliş biçimi üzerine özellikle hoşuma giden bir kaynak da, Stephane Douady ve Yves Couder'in çalışmasıdır.

Douady ve Couder benimle aynı fizik laboratuarında, koridorun diğer ucundaki odada çalışıyorlar. 1990'ların başlarında bilimsel araştırma yapmanın fantezi ya da estetik zevklerle alakasının pek kurulamadığı bu laboratuarda onlar çam kozalaklarını incelemeye başlamışlardı.[38]

Spiral sarmal şeklinde dizilmiş gibi görünen kozalak pulları bir merkeze doğru tırmanıyordu. Gözlerimiz bu spiral sarmalları, her bir pulun komşularıyla ilişkisi sayesinde görüyordu ama bu işi iki farklı yönde de yapabiliyorduk; spiralleri sağa doğru veya sola doğru izlememize bağlı olarak.

Şimdi bu spiralleri Douady ve Couder'in yaptığı gibi sayalım. Resim 12'de, bir yönde 8 tane, diğerinde de 13 tane spiral sa-



Resim 13

yacaksmız. Eğer sedir ağacının daha ufak ve pulları daha sık kozalağındaki spiralleri sayacak olursanız, bir yönde 5'li bir spiral, diğer yöndeyse 8'li bir spiral göreceksinizdir. Çam kozalağı ise, 3/5 ailesine dahildir. Tuhaf sayılar, öyle değil mi?

Yine Douady ve Couder'in yaptığı üzere, ayçiçeğini ele alalım; güzelce açmış ve olgunlaşmış, büyürken bir kazaya uğrayıp darbe almamış bir ayçiçeğini...

Bir yönde 21 çekirdek barındıran bir spiral ve diğer yönde 34'lü spiral ya da 34'lü ve 55'li, veya 55'li ve 89'lu ve hatta, eğer ayçiçeği gerçekten iriyse 89'lu ve 144'lü spiraller görmeniz gerek. Ender olarak başka sayılarda spiralli çiçeklere de rastlayabi-

lirsiniz. Kesinlikle çok tuhaf! Ayçiçekleri sayı saymasını, bir yönde 8 ve diğerinde 13 pul barındıran spirallere sahip ananaslardan ve palmiye ağaçlarının gövdelerinden ya da Japon güllerinden daha mı iyi öğrendiler?

Belki fark etmiş bulunuyorsunuzdur, bu sayılar "Fibonacci serisi" içerisine dahil sayılardır. 1202 yılında matematikçi Fibonacci üreyen tavşanların nüfusunu, tek bir çiftten başlayarak saymış. Her bir sayının, bir öncekilerin toplamı olan bu seriyi bulmuş: 1 ile başlamış, ardından gelen yine 1 olmuş, sonra gerçekten 1+1=2, sonra 1+2=3, 2+3=5, 3+5=8, 5+8=13, ve ardından 21, 34, 55, 89, 144 vs.

Fakat doğa nasıl oluyor da her defasında bu özel sayıları buluyor ki? Böylesi bir matematiği 13. yüzyılda veya ne zaman olursa olsun, tahayyül etmesi gayet güç ve bu bilgi bitkilerin kromozomlarında bir yerde kayıtlı olmalı. Ama o zaman, yaşayan organizmaların formları tamamıyla genetik bir oluşum değil mi? Matematik, biyolojiyle mi karışıyor? Fibonnaci serisinin bazı dinamik sistemlerin evriminde, ki bitkiler sadece örneklerden biri, nasıl ortaya çıktığını açıklayarak Douady ve Couder, doğadaki fiziksel gelişimleriyle canlı organizmaların nasıl basit bir form seçimi kaynağı olduğunu gösterdiler. Bu keşif 1992 yılında yapıldı ve bilim insanlarını bir buçuk yüzyıl uğraştıran problemin çözümünün hiç de kolay olmadığını gösterdi. Kişisel olarak böyle bir ereğe sahip olmak, bunu daha da fazla anlamaya çalışmayı benim için bir zevk haline getiriyor. Sözün burasında, bilim tarihinden bir hikâyeyle sizi biraz rahatlatayım.

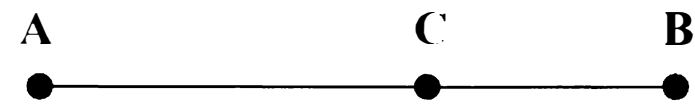
Leonardo Fibonacci'nin kariyeri sıradan bir kariyer değildi. 1170 Yılında Piza'da dünyaya gelmiş ve 1250 yılında da yine orada ölmüştü. Pizalı tüccarların Kuzey Afrika elçisi Guglielmo Bonacci'nin oğluydu ve Fibonacci onun takma isimlerinden biriydi. Kendisinde iş adamlığı yeteneği olmadığını keşfettiğinden, Leonardo Bigollo Pisano'nun yanından ayrılmıyordu. ("İşe yaramaz Pizalı" diye anılıyordu). Bay Bonacci, hayta oğlunun hiç değilse muhasebe işlerinde kendisine yararlı olmasını düşünerek, onu Araplardan matematik öğrenmesi için itekledi. Fibonacci otuz yaşma kadar, şimdilerde Cezayir'in Bejaia şehri olan

yerde, zamanın en iyi matematikçileriyle bir arada kaldı. Orada ondalık sayıların ve Arapların Hindistan'dan aldığı hesaplama tekniklerinin meziyetlerini öğrendi.

O sıralarda Bağdat'tan Kuzey Afrika'ya uzanan topraklarda hükümranlık süren büyük Arap âlimleri cebiri, yani eski hesaplama tekniklerini ve birçok diğer konuyu keşfediyorlardı; terminolojilerinin hepsinin Arapçadan türetildiği algoritma, alembic [imbik, damıtma], alchemy [simya] gibi bütün alanlarda büyük buluşlara imza atıyorlardı. Fibonacci Piza'ya döndüğünde Cezayir'de öğrendiği Hint-Arap rakamlarını ve ondalık hesaplama tekniklerini Avrupa'ya tanıttı ve bu bilgiler anında uygulamaya geçti; bu şekilde, Roma rakamlarının kullanımına da son verdi. Bu bir devrimdi. Tıpkı Arap hocaları gibi Fibonacci de Euclid'in işleri üzerine çalıştı ve Avrupa'nın her yanında kendi eserleriyle ünlü oldu. Hatta o tarihlerde Haçlı Seferleri sayesinde (zira altıncısı yapılmıştı) uzak diyarlar Sicilya ve Kudüs'ün de kralı olan Alman imparatoru II. Frederick'den maaş almaya bile başladı.

Fibonacci serisine duyulan ilgi dört yüzyıl sonra, Kepler bu seri ile Euclid'in Altın Oran teorisini ilişkilendirdiğinde yeniden dirildi ki, Fibonacci'nin kendisi bu ilintiyi fark etmemişti. Altın Oran, Leonardo da Vinci'den Le Corbusier'e kadar çeşitli ressamlar ve mimarlar tarafından ideal olduğu düşünülen bir orandır ve Mısır piramitlerinde, Atina'daki Parthenon'da ve tabi insan vücudu gibi birçok alanda varlığı keşfedilmiştir.

Milattan önce 325'den 265'e kadar İskenderiye'de yaşamış olabileceği düşünülen veya aynı yıllarda bir grup matematikçinin kendilerine verdikleri rumuz olabileceğine inanılan Euclid,[39] bu oranı bir bütünü parçalara ayırmaktaki ahenkli uyumu ararken buldu. A ve B arasındaki doğruyu iki parçaya ayırmak için, (bkz. Resim 14) aralarında bir C noktası seçebiliriz ve nokta öyle bir yerde olur ki, AC/AB=BC/AC eşitliğini sağlar. Oran konusundaki soru, daha önce de Pythagoras'ı (M.Ö. 569 yılında Türkiye'ye yakın bir Yunan adası olan Samos'da dünyaya gelmiş ve M.Ö. 475 yılında da ölmüştür) meşgul etmiş gibi görünüyor ama sonuçta bu oranın $(\sqrt{5} - 1) / 2 = 0{,}618$ olduğunu keşfe-



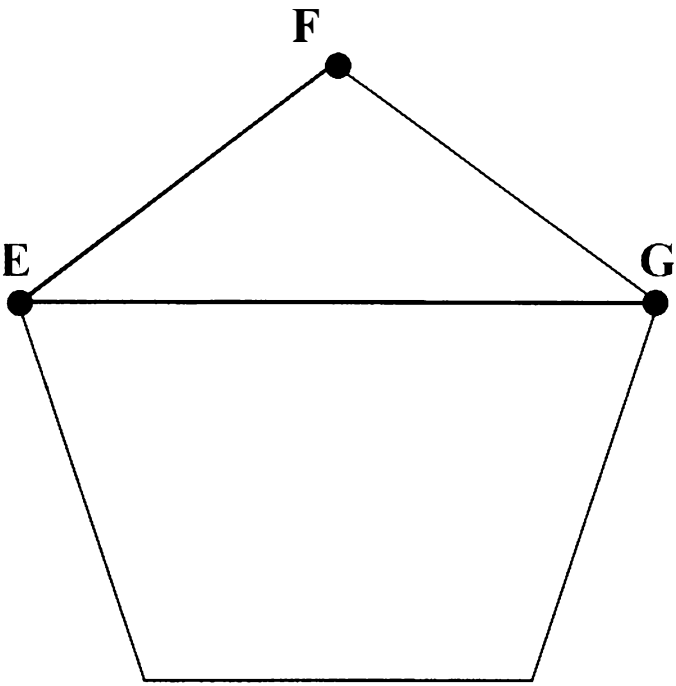
Resim 14

den Euclid olmuştur. Sonra bu oranın, aynı zamanda sıradan bir dışbükey beşgenin kenarları ve diyagonalleri arasındaki ilişki olduğu dikkatini çekmiştir (bkz. Resim 15, EF/EG). Beşgen içerinde kolları ve bacakları açık biçimde çizilmiş ve "Vitruvius man" (İnsan oranları) olarak tescillenmiş çiziminde Leonardo da Vinci, bütün uyumuyla insan vücudunun ideal oranlara sahip olduğunu gösterir. Ancak Fibonacci serisinde yer alan rakam çiftleri arasındaki ilişkinin (3/5, sonra 5/8 ardından 8/13 vb.) seriyi devam ettirdiğimiz sürece Altın Oran ile uyumlu olduğunu keşfeden Kepler oldu.

Daha sonra bu sayı, yirmi beş yüzyıl boyunca bir çeşit tutarlılık ve güzellik sembolü halini aldı.

Eminim ki Douady ve Couder bütün bunları biliyordu ve çalışmalarına öncelikle Bravais kardeşlerin işlerini okumakla başladılar. Auguste Bravis bir fizikçiydi ve kristalleri tasnif etme konusundaki ününü kazanmadan on yıl kadar önce bitkilerle ilgilenmeye başlamıştı. Kuşkusuz bunun nedeni kardeşi Louis'in bir botanik uzmanı olmasındandı. Dolayısıyla, 1837 yılında kardeşiyle birlikte Altın Oranın bitkilerin şekillerinde de (phyllotaxis-yaprakların dalda dizilişi) göründüğünü keşfettiler. Douady ve Couder'in bilgeliği, Fibonacci serisi ve Altın Oranın yaprakların dallardaki dizilişindeki varlığının, bitki hücrelerinin gelişimindeki fiziksel şartların bir sonucu olduğunu açıklamış olmalarındaydı.

Bütün bitkilerde olduğu üzere çiçekler "apex" adı verilen bir nokta etrafındaki hücre çoğalması yoluyla büyürler. Apex'in hemen yanında ondan belli bir uzaklıkta müstakbel yaprağın, taç yaprağının veya pulun (çam kozalağında olduğu gibi) ya da ayçiçeği çekirdeğinin öncüsü olan filiz belirir. Büyüme sürerken apex filizi ardında bırakarak öne çıkar. Fakat her bir yeni filizin



Resim 15

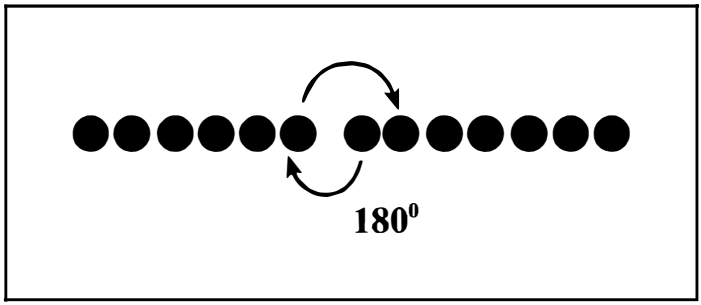
apexin yakınında oluşabilmek için belli bir alana ihtiyacı vardır; bu da, yakın mesafedeki komşusunu itekleyerek yaratılır. Eğer oluşan filizlerin çıkma sıklığı çok yavaş ilerliyorsa, her bir yeni filiz bir diğerini itekleyerek çıkacaktır -ki bu itilen filiz yeni filizden bir önce meydana gelen olur- çünkü büyüme o zamana kadar diğer filizleri alıp götürmüştür bile. Dolayısıyla, apex etrafından yeni çıkan iki filizin arasındaki açı 180 derecedir: Yeterince yavaş büyüyen bitkilerin saplarında çıkan yapraklar birbirine karşıt yönde olurlar. Ama filizlerin ortaya çıkma hızı biraz daha yüksekse, her bir yeni filiz kendinden önce çıkmış birkaç filizin kendisini istemediğini ve geri ittiğini hisseder ve karşılıklı olarak belirme konfigürasyonu da bu durumda ideal şekilde meydana gelmez; filizler, kendilerini diğerlerinden olabildiğince

uzak kalacak şekilde birbirleri üzerinde kaydırarak çıkarlar. Bu durumda iki yeni filiz arasındaki açı 180 dereceden küçük olur. Filizler arasındaki açıyı, yeni filiz çıktığında bir önceki açıyı not ettiğimiz sürece sürekli farklı olarak ölçebiliriz. Bravais kardeşler, söz konusu açının 137,5 dereceye yakın olduğunu, yani 360 çarpı 1 eksi Altın Oran değerine karşılık geldiğini keşfettiler ve buna Altın Açı veya Seksiyon dediler. Sonra büyüme sürer ve filizler giderek merkezi apexden uzaklaşırlar fakat birbirleriyle aralarındaki açı aynı kalır.

Douady ve Couder, sözünü ettiğimiz "Altın spirallere" nasıl basit büyüme kurallarının öncülük ettiğine bakmak için ilk önce bir fizik deneyi yaptılar. Bu deney, içinde biraz yağ bulunan bir kabın ortasına yağmur şeklinde damlayan bir manyetik sıvı akıtmayı içeriyordu. Bir dış manyetik alan nedeniyle damlacıklar birbirlerini itiyor ve kabın dış çeperlerine doğru çekiliyorlar, böylece de yavaş yavaş merkezden uzaklaşıyorlardı. Deneydeki bu damlacıklar, yeni çıkan filizlere eşdeğerdiler ve yağlı yüzeyde merkezden dışa doğru yavaş hareketleri de, filizlerin bitkinin büyümesi sırasındaki yer değiştirmelerine karşılık geliyordu.

Manyetik damlacıkların birer birer çok yavaş biçimde damlamasını devam ettiren Douady ve Couder, gerçekten de her bir damlacığın bir öncekiyle ters yöne gittiğini buldular. Fakat damlaların düşüş sıklığını giderek hızlandırdıklarında, damlacıkların kendilerini çaprazlama spiraller şeklinde düzenlediklerini gördüler; ilk olarak 3'lü ve 5'li spiral, sonra 5'li ve 8'li, ardından 8'li ve 13'lü ve benzeri. Damlaların düşme sıklığı yükseldikçe, her bir yeni damlanın kendinden önceki damlayla arasındaki açı giderek ortadan kayboluyordu ve damlalar zaman içinde tamamen bir araya toparlanıp, artarak gelen diğer damlacıklar tarafından topluca itilmeye başlıyorlardı.

Bu durum, yağın yüzeyinde biriken damlacık grubunu bölünmeye zorluyordu ki Douady ve Couder söz konusu bölünmeleri, 3 ve 5, 5 ve 8, 8 ve 13 vb. spiral içeren örüntüler arasındaki bütünlüğü koruyan başarılı çatallaşmalar olarak değerlendirdi. Alan kaplamakla ilgili bu model temel iki fizik kuralını

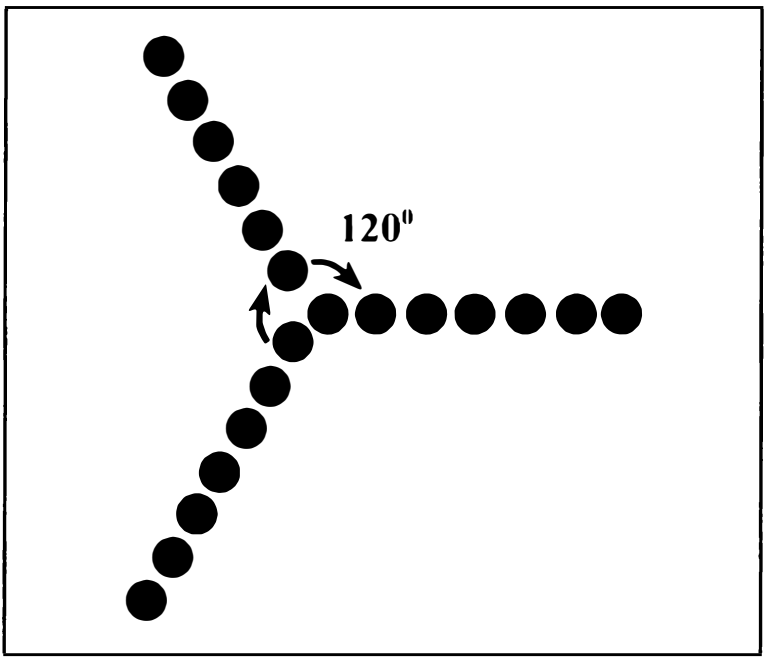


Resim 16

esas alarak başladığından –damlacıklar arası bir itme ve dış çeperlere doğru yavaşça ayrışma– olup biteni bir bilgisayar programıyla simüle etmek gayet kolaydı. Dolayısıyla, sonsuz hızda yağmurlamaya kadar her türlü veriyle sonucu görebildikleri dijital bir deney daha yaptılar. Seçilen formun oluşumundaki asıl etkenin, sonuçta düşen damlacıkların sıklığı olduğunu gösterdiler; bu deneyde ayrıca Fibonacci serisinin diğer rakamlarıyla da sonsuza kadar devam edebildiler ve nihayetinde, iki damlanın arasındaki açının Altın Açı'yı, yani 360 * (1 – 0,618) = 137,5 dereceyi tutturma eğiliminde olduğunu buldular.

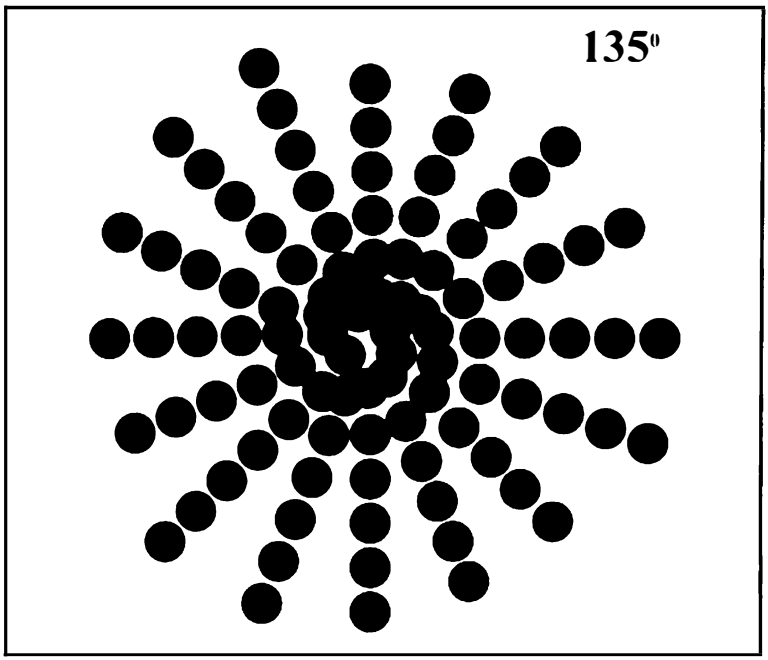
1995 Yılında yayınlanan bu sonuçlar üzerine bir değerlendirme yazısında Ian Stewart,[40] bana ilginç görünen bir yorum yaptı, zira bu yorum deneylerin sonunda neden Altın Oran çıktığını daha da netleştiriyordu. Eğer filizler birbirine zıt taraflara doğru ortaya çıksa ve aralarındaki açı 180 derece olsa, göreceğimiz örüntü ortasından ayrılmış iki yarım olacaktı.

Eğer açı 360 derecenin bilinen basit oranlarından biri kadar olsa, örneğin 1/3'ü kadar olsa ki bu da 120 derece demektir, filizler üç kollu yıldızlar gibi dizilecektir. 360 * (3/8) = 135 derecelik bir açıyla olsa, bu defa tam sayıda filize ulaşmamız için on beş kollu bir yıldız çıkacaktır. Aslında, iki tam sayının oranına eşit herhangi bir açıda, merkezden yeterince uzaklaşmış düzenli bir yıldız elde ederiz ama bu form yeterince tam olmayacaktır; merkezden uzaklaştıkça filizler arasında boşluklar oluşacaktır.



Resim 17

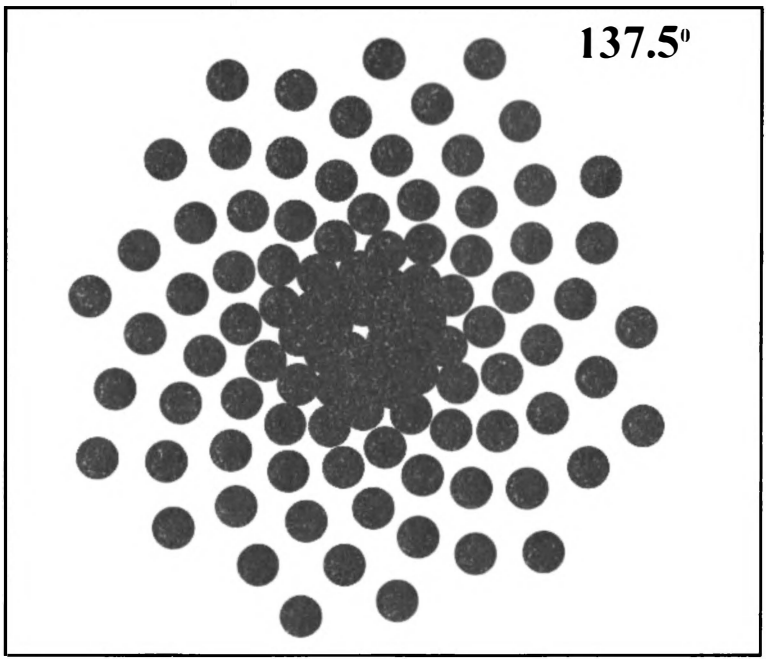
Elde olan alanı en iyi biçimde doldurmak için oluşum açısının rasyonel sayı dediğimiz, yani iki tam sayının oranına karşılık gelen bir değer olmaması tercih edilir. Altın sayı bunu sağlamaktadır ve olabilecek en irrasyonel sayıdır –yani bir rasyonel sayıdan en farklı olan sayıdır. $\sqrt{2}$, $\sqrt{5}$, π ve benzeri bütün irrasyonel sayılar, ardışık rasyonel sayıların bir sınırı olarak elde edilebilirken, Altın Sayı için ona çabucak yaklaşma eğiliminde olan bir dizi tamsayı oranı bulamıyoruz. Fibonacci serisinde yer alan sayıların peş peşe oranları ona yaklaşıyor ama yavaş olarak. Ve Ian Stewart, Altın Açı yoluyla başarılan örüntünün, özellikle sıradan yıldız şeklinden farklı olduğunu ve dolayısıyla da en tamlaşık örüntüye karşılık geldiğini açıklıyor. Şekil 18, ardı ardına filiz oluşumları açısı Altın Açı'ya eşit olarak yapılandırılmış örneği ve açıkça alanı en sık biçimde dolduran bir iç içe geçmiş spi-



Resim 18

raller birikimini gösteriyor. Şekil 17'de görülen 135 derecelik oluşum açısıyla aralarında çok küçük bir fark olmakla birlikte, bu farkın nasıl bir sonuç verdiği de bu iki resim karşılaştırılarak anlaşılabiliyor.

Velhasıl, burada görülebilen yaradılış harikasının kafa karıştırıcı gizemi, gerçekte iki tane küçük, basit fizik kuralının işletilmesi ve özel bir sayı olan Altın Oranın varlığı neticesinde meydana geliyor. Peki, bu durumda biyolojinin bu işlerde hiç mi bir rolü yok? Durumun böyle olduğuna yegâne kanıt, deneyde kullanılan prensiplerin biyolojiyle alakalı olmaması mı? Douady ve Couder'in damlalarında kromozomların olmaması gerçeğinin ötesinde, eğer apexin üzerinde bir yarık açarsak, normalde karşılıklı yapraklar açarak büyüyen bir bitkiyi spiraller halinde apexin etrafında dolanarak büyümeye yönlendirebiliyoruz. Dolayı-



Resim 19

sıyla, bütün çamlar 3'lü ve 5'li spiraller yaparken, hiçbir ayçiçeği bunu yapmadığına göre, biyoloji burada bir rol oynuyor olmalı. Douady ve Couder'e göre biyoloji, sadece büyüme hızına ve filizler arasındaki itişmeye karar veriyor ki her iki bilgi de kromozomlar içindeki kimyasal şifrelemede bulunuyor. Bu iki bilim adamının büyük başarısı, bitki spiralleri problemini günümüz fiziğinin çok etkin bir alanı olan dinamik sistemlerin genel çerçevesi içerisinde yeniden ele almış olmalarıdır.

Aslında, uzay ve zamandaki evrimi basit kanunlara itaat eden dinamik sistemin rasgele organizasyonu, bilim insanlarını yarım yüzyıldır meşgul eden bir problem. Örneğin, 1952 yılı gibi yakın bir zamanda Alan Türing,[41] her ikisi de birbiri içinde dağılan ve birbirine tepki veren kimyasal ürünleri karıştırdığınızda, rasgele örüntülerin meydana gelmesi üzerine ilk kez dü-

şündü. Türing aslında bitki spirallerini düşünüyordu ama aynı zamanda zebraların çizgilerini ya da leoparların lekelerini de... Kimyasal reaksiyonlardaki spirallerin formasyonu 1990 yılında V. Castets ve Bordeaux'da çalışan ekibi tarafından keşfedilecekti. Bu keşif, en az dört disiplinin kesişme noktasındaki bir araştırma konusu üzerineydi: Biyoloji, kimya, fizik ve matematik. Söz konusu çalışma, bana göre yakın geçmişte yapılan, gerçekten disiplinler arası bir özelliğe sahip, yani birkaç bilim dalını birden aynı anda ilgilendiren bilimsel bir gelişmeye en iyi örnektir. Böyle araştırmalar günümüzde giderek daha büyük heveslerle yapılıyor.

Bazı fizikçiler, bir protein veya uzun bir DNA molekülünün kendini nasıl olup da uzayda bükerek belli bir üç boyutlu şekle soktuğunu, X veya Y şeklinde örüntülenerek dolandığını merak ediyor; özellikle de söz konusu şeklin gen kontrolünü ifade etmesi bakımından. Deli dana hastalığının nedenlerinin araştırıldığı çalışma biyolojik bir molekülün bu şeklinin değişmesinin hastalık yapıcı bir durum yarattığını gösterdi. Söz konusu formların anlaşılmasında hızlı bir gelişme gösteriyoruz; örneğin, artık DNA zincirindeki zayıf bağlantıları, diğer bağlantılardan daha kolay eğildikleri için tanıyabiliyoruz ve yakında hücrelerimizin içinde bulunan bütün DNA molekülünün nasıl doğal şeklini aldığını anlamayı umuyoruz.

Bir embriyonun nasıl geliştiğini de merak ediyoruz. Neler kayıtlı, neler değil? Gelişiminin erken evrelerindeki bir sinek embriyosuna hafifçe bir baskı uyguladığımızda, bir yerine iki midenin gelişmesine neden olabiliyoruz; dolayısıyla bir kez daha her şeyin de kayıtlı olmadığını anlıyoruz. Normal gelişim sırasında gövdenin (gövdenin bir önü, bir başı, bir sırtı ve bir de kuyruğu vardır) ve belli sayıda çift ayak veya böcekler için halka gibi bölümlerin görünürdeki yerleşimini yönlendiren nedir? Yine kimyasal içeriklerin dağılma ve reaksiyon probleminin aynısı mıdır? Bunlar ucu açık ve hâlihazırda cevabı araştırılan sorulardır.

Ben de kendi yolumda kristallerin yüzleri üzerine çalışarak, yukarıda değindiğim bazı formlardan çok daha basit gibi görünen formlar hakkındaki soruların cevaplarını bulmaya uğraşıyo-

rum. Kristal yüzlerini incelemek, yüzeylerin fiziği, hareketliliği ve termal kaynaşmasıyla ilişkili nedenlerden ötürü oldukça güç ve enteresandır. Düşündüğümde, çeşitli formları anlamanın peşine düşerek, basit, genel ve tahmin edilebilir bir model aradığımdan, meseleye bir fizikçi olarak nedensellikler buluyorum; ama günün sonunda, aynı zamanda doğadaki formların çeşitliliğinin başlangıç noktasını açıklığa kavuşturmayı da deniyorum -yani gizemli olanın yerine basit fizik kanunları geliştirmeye uğraşıyorum.

Embriyonun basit bir hücreden, başıyla, kollarıyla, fizikle ilgilenebilirliğiyle veya bisiklet üzerinde dengede kalabilirliğiyle bir insana dönüşmesine olanak veren adımların hemen yarın tamamen anlaşılacağını kesinlikle söylemiyorum -buna daha çok var. Fakat bilim bu alanda hızla gelişiyor ve bugün hiçbir bilim insanı doğal formları yaradılışın içine sızılamaz ve anlaşılamaz gizemleri olarak algılamıyor.

11. Bölüm

Piyanolardan Güneş'e

Enrico Fermi (1901-1954) çalışmalarına Pisa'da başladı. Kendisi sadece kuantum istatistikî fiziği ve yapay radyoaktivite konularının büyük teorisyenlerinden biri değil, aynı zamanda nükleer fizik alanında deneyler yapmakta da çok yetenekli biriydi. 1938 yılında Nobel ödülü aldığında (ki 37 yaşındaydı!), karısı Yahudi olduğundan kendileri için tehlikeli hale gelen İtalya'ya geri dönmemeye karar verdi. Birleşik Devletler'e sığındı ve 1939 yılında New York'daki Columbia Üniversitesi'nde profesör oldu. Sonra, radyoaktivite üzerine araştırmalarını Chicago'da sürdürerek, birçok Amerikalı fizikçi gibi o da, Hiroshima ve Nagasaki'ye atılan bombaların geliştirilmesi sürecinde Manhattan Projesinde yer aldı.

Fermi, öğrencilerinin düşünme becerilerini, "Chicago'da kaç tane piyano akortçusu vardır?" gibi sorularla test etmeyi seviyordu. Bu soru kesinlikle bugün Fransa'da birkaç lise öğrencisini şaşkına çevirecek niteliktedir.

"Bu soru müfredatta yok!"

"Bu konuda hiçbir bilgim yok!"

O kadar zor bir soru mu? Bir düşünelim! 1930'ların sonlarında Chicago'da kaç kişi yaşıyordu? Diyelim, 3 milyon? Peki han-

gi oranda insan piyano sahibi olabilirdi? Tamam, %1. Bu durumda, o yıllarda Chicago'da 30 000 piyano olacaktır; mantıklı görünüyor. Ve bu piyanoların yılda bir kez akort edildiği düşünülürse, yılda 30 000 akort yapılıyor demek olacaktır. Bir piyano akortçusu doğru dürüst yaşayabilmek için yılda kaç piyano akort etmelidir? Şimdi durumu günümüze getirelim: Eğer bir akortlama yaklaşık 50 euro getiriyorsa, akortçunun yılda 2000 euro kazanabilmesi için ayda 40 piyano akort etmesi gerekecektir; diyelim yılda 500 akortlama? Dolayısıyla, sonuçta böyle bir şehirde piyano akortlama pazarı, 30 000 bölü 500, yani yaklaşık 60 piyano akortçusunun yaşamasına imkân sağlamalıdır.

Bu hesap elbette ki son derece kabaca. Yine de, çıkan sonuç hiç de gerçek sonuçtan fazla uzak değil. Birkaç mantıklı hipotez yardımıyla, 10 sayısının katlarından biri olan bir sayıya ulaştık. Büyüklük kertesi adını verdiğimiz bu aralık üst limiti alt limitinden on kat fazla olan bir aralıktır. Nitekim, iddiaya girerim ki Chicago şehrindeki piyano akortçularının sayısı 20 ile 200 arasında olmalıdır. Kültürel nedenlerden ötürü, maalesef bu sayı Fermi'nin zamanından bugüne muhtemelen düşmüştür.

Eğer bir piyano akortçusunun her bir piyano için, ulaşım süresi de dahil 3 saat harcadığını, haftada 36 saat ve yılda 50 hafta çalıştığını varsaymış olsaydık, yılda akortçu başına 600 piyano düşecek ve dolayısıyla Chicago'da 30 000/600 = 50 akortçu olacaktı.

İtiraz: Konser piyanoları da var. Chicago'da her akşam piyano kullanılan kaç konser gerçekleşiyor? İki? Bu sayı, toplama yılda 700 akort daha ilave edecektir ki başlangıç değerimiz olan 30 000 sayısıyla karşılaştırıldığında böylesine bir düzeltme ufak sayılacaktır. Her akşam akort edilecek 4 konser piyanosu olduğunu bile varsaysak, bu sayı da bizi yılda 1400 akort fazlaya götürecektir. Bu da göreceli olarak ufak bir değişiklik çıkaracaktır -%5 gibi. İtiraz reddedildi.

Bu yaklaşım, bir fizikçinin olayları nasıl nedenselleştirdiğinin örneğidir. Fizikçi, ilgilendiği olayla ilgili öncelikle bir büyüklük kertesi bularak işe başlar. Sonra bulduğu sonucu eleştiri konusu yapar. Yaklaşımlarının doğrulanıp doğrulanmadığını kontrol

eder. Nedenselleştirmesini deneysel sonuçlarla karşı karşıya getirir. Örneğin, bir telefon fihristi alarak sınırlı sayıdaki sayfalarda gerçekten kaç tane piyano akortçusu bulabildiğini görüp bu tür sayfaların toplam sayısını bularak bir orantı hesabıyla yaklaşık değerler elde etmeyi dener.

Elbette piyano konusundaki bu problem gayet basit bir meseledir. Burada yaptığımız yegâne iş, bir sayının büyüklüğüne dair yaklaşık bir değer elde etmektir; bir teoriyi test etmek değil.

Ancak bu, söz konusu yaklaşımın yararsız olduğu anlamını taşımaz. Tam tersine. Örneğin: Rüzgâr değirmenleri, gezegenimizin ısınmasına neden olan petrolün veya ne yapacağımızı bilmediğimiz tehlikeli atıklar yaratan nükleer enerjinin yerine güvenle kullanabileceğimiz enerji kaynakları mıdırlar? Bunu Fermi'nin yoluyla düşünelim ve örnek olarak da en iyi bildiğim yer olduğundan Fransa'yı alalım.

Devasa bir değirmenin pervanesi yaklaşık 100 metre çapında olabilir. Böyle bir değirmen maksimum 2 milyon watt (2 MW) güç üretir. Mamafih, bunun olabilmesi için rüzgârın hafif esmemesi gerekir yoksa değirmen dönmez. Rüzgâr çok sert de olmamalıdır zira değirmeni kırar. Dahası, rüzgâr kesintili olarak fırtına şeklinde esip, sürekli bir kuvvet sağlamaz. O halde varsayalım ki, iyi seçilmiş bir bölge sayesinde –muhtemelen Fransa'nın batı sahillerinde, zira burada bol rüzgâr olup, göreceli olarak da düzenli bir güce sahiptir–, en verimli koşullar toplam zamanın dörtte birlik bölümünde elde ediliyor. Bu durumda Brittany'deki her bir değirmen 0,5 MW güç sağlayacaktır. Ancak Fransa'da her biri bir GW (gigawatt, bir milyar watt demektir) güç üreten altmış adet nükleer santral var. Ve Fransız nükleer güç santralleri yaklaşık olarak toplam 63 GW güç üretmekte, bu da ülke elektriğinin %78'i anlamına gelmektedir. Bütün bu enerji santrallerini değirmenlerle değiştirebilmek için en azından 63 GW/0,5 MW = 126 000 adet değirmene ihtiyacımız olacaktır.

Vay be! 100 metre çapa sahip değirmenlerden 126 000 adetini yan yana sıkışık düzen dizdiğimizde, 12 600 kilometrelik bir hatta ihtiyaç oluyor! Bunu bir yana bırakıp, sadece 1260 kilometre

boyunca devasa değirmenler kursak (10'da biri kadar yani), bırakın bu yöntemin daha ucuza mal olmasını, Fransa'daki nükleer enerji santrallerinin sağladığı gücün onda birini bile sağlayamıyor olacaktır. Aslında değirmenlerden alınacak verimi en yüksek seviyede tutabilmemiz için her bir değirmenin bir diğeriyle arasında 400 metre mesafe olması gerekiyor ki bu durumda ülkenin toplam elektrik giderinin %8'ini karşılayan 6 nükleer enerji santrali yerine geçecek değirmenler sırası için ihtiyacımız olan mesafe 5000 kilometreye çıkıyor. Belki sonuçlarını görmek amacıyla birkaç tane yapılabilir ama ben bu yöntemin tek başına önemli bir enerji kaynağı olabileceğini sanmıyorum. Rüzgârın kendisi yeterince güçlü değil.

Büyüklük kertesini hesaplamak birçok durumda vazgeçilmez bir ihtiyaçtır. Keşke politikacılar ve çevre eylemcileri de nedenselliklerini bu yolla oluşturmayı alışkanlık haline getirseler. Ve bu basit olarak bir haleti ruhiye sorunu da değildir. Gezegenimizdeki enerjinin geleceği karmaşık bir problemdir ve en baştan ayrıntılı biçimde düşünülmesi gerekmektedir (benim değirmen örneğim gibi). Asıl problemin ne olduğunun saptanması yolunda politik ve bilimsel cesarete sahip olunmalı, problemi nasıl çözebileceğimiz görülmeli ve her ne kadar herkesin bu konuda söyleyecek bir fikri olsa da, fazla önyargılı davranılmamalıdır. Belki de şu an, bu konuda biraz bir şeyler söylemek için uygun zaman ve uygun noktadır.

İnsan kendini, tıpkı Ulysses* gibi, Scylla ve Charybdis'in arasında hissediyor. Bu iki tehlikeden hangisini seçmeliyiz? Petrol, gaz ve kömür gibi, iklim koşullarımızı bozan fosil yakıtları mı yakmaya devam etmeliyiz, yoksa her ne kadar tam olarak atıklarını ne yapacağımızı bilmiyorsak da, daha fazla nükleer enerji santrali mi inşa etmeliyiz? Toplumumuzun yirmi birinci yüzyıl başında karşı karşıya kaldığı ikilem buymuş gibi görünüyor. Ba-

* Ulysses: İrlandalı yazar James Joyce'nin ünlü romanı; Scylla: Homer'in Odiseus'undaki altı başlı canavar; Charybdis: Aynı eserde yer alan girdap karakteri; Joyce'nin romanındaki kahraman Stephen, aynı Odiseus gibi, böylesine iki felaketin arasında kalıp birini seçmek durumundadır. Ç.N.

zı insanların böyle bir problemi önümüzdeki birkaç on yıl içinde çözmemiz gerektiği konusunda hiçbir fikri bile yokken, diğerleri fena halde sabit görüşlere sahipler. Bazıları alternatif enerjiler hakkında konuşuyor, bazıları nükleer enerjiden yana, bazılarıysa buna çok karşı. Zorlu bir bilimsel ve teknik problemle karşı karşıya olduğumuz bu tartışmalarda fizikçilerin görevi, halkı bilgilendirmek ve çözüm arayışına yardımcı olmaktır. Eldeki birkaç veriyle konuyu büyük ölçüde anlamış bulunuyoruz.

Dünyanın enerji tüketimi sürekli artıyor. 2000 yılında bu rakam 6 milyar nüfus için 14 000 GW ya da diğer bir deyişle kişi başına 2 kilowatt -fakir ülkelerde kişi başına düşen bu miktar elbette azalıyor ve zengin ülkelerde yükseliyor (örneğin, Fransa'da kişi başına 5 kW, Birleşik Devletler'de 11 kW iken, gelişmemiş ülkelerde 1kW olabiliyor). Bütün bu enerjiyi nereden alıyoruz? Bunun yaklaşık %32'si petrolden, %26'sı kömürden ve %19'u gazdan geliyor ve bu kalemlerin toplamında, enerjinin %77'sinin yenilenebilir olmayan fosil yakıtlardan geldiği anlaşılıyor. Geri kalan oransa, %5 nükleer kaynaklar, %6 hidroelektrik (barajlar), %10 biyoyakıt denen kaynaklar (çoğunlukla odun) ve sadece %1 veya %2 güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir diğer kaynaklar arasında dağılıyor.[42] Ama fosil yakıt kullanımının atmosferdeki önemli gaz karışımlarını değiştirmesi nedeniyle Dünya'nm ısısını fark edilir biçimde arttırdığından artık kimsenin şüphesi kalmamış durumda. Toplam tüketilen enerjinin %38'inin nükleer santrallerden geldiği (tüketilen toplam elektriğin %78'i) ve bu anlamda Dünya ortalamalarından farklı değerlere sahip Fransa'da bile küresel ısınma konusu acilen ilgilenilmesi gereken bir problem. Sürekli olarak Dünya'yı gözetleyen birkaç uydu sayesinde onu nelerle karşı karşıya bıraktığımız küresel ısınma ve nedenleri kesinlikle biliniyor.

Küresel ısınma, "sera etkisi" nedeniyle ya da daha isabetli bir tanımlamayla sera etkisinin artmasıyla ortaya çıkıyor. Bitkileri sera ortamına koymamızın nedeni onları sıcak tutmaktır. Güneşin görülebilen radyasyonu sera camlarından (veya saydam plastik panellerden) içeriye kolayca girer ama dışarı çıkmakta zorlanır. Çünkü seranın içindeki bitkiler, insanlar, yer ve diğer

nesneler güneş ışınlarını emer ve sonra kızıl ötesi ışınlar olarak dönüşmüş enerjiyi tekrar dışarı salar. Ancak bu görünmez ışık camlardan geçemez çünkü camlar, spektrumun söz konusu ucundaki ışık ışınları için saydam değildir. Aynı biçimde atmosfer de güneşin görülebilir ışınlarının yeryüzüne ulaşmasına izin verirken, kızıl ötesi ışınları, atmosferde bulunan su buharı, karbondioksit (CO_2), metan (CH_4) vb. gazlar nedeniyle dışarı çıkartmaz. Bunlara sera gazları adı verilir.

Sera etkisi Dünya üzerindeki yaşam için çok işe yarar; o olmasaydı Dünya yüzeyi oldukça soğuk bir yer olabilirdi. Ancak buradaki denge çok hassastır; biraz daha fazla CO_2 ısının artmasına neden olur. Ve bizler her gun büyük miktarlarda CO_2 üretecek kadar giderek daha fazla kömür, gaz ve petrol yakıyoruz. Atmosferdeki CO_2 miktarı 400 000 yıl boyunca göreceli olarak dengeli bir orandayken sadece son 50 yılda iki katına çıkmış durumda. Sonuç olarak gezegenin sıcaklığında fark edilir bir ısınma meydana geldi; 2000 yılında 0,6 santigrat derece artış vardı. Söz konusu ısınma sanki küçük bir miktarmış gibi görülebilir ama bu artışın ivmeli biçimde yükseleceği ve 2100 yılında, eğer dikkate değer biçimde CO_2 salımını düşürecek önlemler alınırsa 3 santigrat dereceye ulaşacağı, bu önlemleri kısa sürede almayı beceremezsek 6 santigrat dereceye çıkacağı hesaplanmıştır.

Ve 6 santigrat derece oldukça fazla bir artıştır. 20 000 yıl önce yaşanan son Buzul Çağı öncesinde Dünya'nın sıcaklığı bugünkünden 5 veya 6 derece daha düşüktü ve Avrupa ile Amerika'nın kuzey kesimleri tamamıyla 2–3 kilometre kalınlığında buzullarla kaplıydı! (Bunun CO_2 ile bir alakası yoktu ve sadece Dünya'nın Güneş etrafındaki hareketiyle ilgiliydi.) Deniz seviyesi bugünkü seviyesinden 120 metre daha alçaktı! Elbette bu durum Fransa'dan İngiltere'ye yürüyerek geçme imkânı veriyordu ama tersi bir durumda, 6 °C'lik bir ısınmayla nelerin değişeceğini hayal edebiliriz; buzların erimesi, ekvatorla kutuplar arasındaki akıntıya dahil suların artması, bunun sonucunda uç noktada yaşanan fırtınaların şiddetlerinin ve sıklıklarının çoğalması, okyanus akıntılarının değişmesi ve deniz seviyesinin yükselmesi. Belirleyici iklimsel fenomenlerinin böyle bir derlemesi

insan eliyle önümüzdeki birkaç on yıl içerisinde -ki bu süre jeolojik gelişimin zaman skalasmda hiçbir şey değildir- başıboş kalacaktır.

Gelecek kırk yıl içerisinde fazla petrol kaynağımız kalmayacağı ve dolayısıyla CO_2 salımının düşeceği varsayımı doğrudur. Uzun zamandır yeni petrol alanları keşfediyor ve dünya kaynaklarının sürekli bir artış kaydettiğini gözlemliyorduk. Ama şu son birkaç seneye kadar petrol çıkarılabilecek bütün bölgelere baktık ve kaynakların giderek azalmakta olduğunu net bir şekilde biliyoruz. Bu tüketim hızımızla 2040 yılma kadar ancak yetecek petrolümüz var; çoğu da Orta Doğu'da, Irak, Suudi Arabistan ve Küveyt sınırları dahilinde. İnsan, son yıllardaki en büyük askeri çatışmaların bu bölgelerde başlamış olmasının altında bu konunun yattığını düşünmeden edemiyor. Petrol azaldıkça daha da pahalı hale gelecek ve şüphesiz savaşlar da durumu daha kötü edecek. Sonrasında biraz daha gaz ve kömür kalacak ama küresel ısınma acilen üzerinde durulması gereken bir konu; eğer *derhal* fosil yakıtları tüketmekten vazgeçmezsek, atmosferdeki CO_2 miktarı dramatik biçimde yükselmeye devam edecek ve sonuçları ürkütücü boyutlara ulaşacak.

Bir fizikçinin nükleer enerjiden yana olması beklenebilir. Ama bu doğru değil. Ne dediğimi açıklamadan önce bu konudaki görüşümü ortaya koyayım: Nükleer güç kullanmadan işlerimizi halledebiliyorsak bunun bizim için daha iyi olacağını düşünüyorum ama bunu nasıl yapacağımızı da bilmiyorum.

Bu hususta güvenlik problemleri beni fazla endişelendirmiyor. Örneğin 1979 yılında Birleşik Devletler'in Three Mile Adası'ndaki nükleer reaktörünün hasara uğraması sonucunda etrafa hiç radyoaktif madde saçılmadı. Sadece iki kişi radyasyona maruz kaldı ki, gördükleri miktar da hayati tehlikeye yol açacak dozlarda değildi. Bugüne kadar görülen kazalar arasında sadece bir tane ciddi vaka oldu; Kiev yakınlarındaki Chernobyl'de olan kaza. Reaktörün güvenliğiyle ilgili, özellikle tasarımdan kaynaklı bir dizi insan hatası neticesinde ortaya korkunç sonuçlar çıktı. Radyoaktif sızıntı sonucunda yaşanan faciada yakınlarda bulunan birkaç düzine insanın ölmesinin yanı sıra yaklaşık

2000 kişi kansere yakalandı ve bunlardanyüzlercesi de kanser hastalığı sonucunda erken yaşlarında hayata veda etti. Söz konusu kazada radyasyonun gerçekten tehlikeli biçimde etkilediği alandaki nüfus açıkça bilinemediğinden bu olaya dayalı kanser vakalarının kaç tane olduğunu tam olarak tespit etmek de çok zor. Eldeki rakamlar tedavi için başvurmuş kazazedelerin sayılarından elde ediliyor. Bazıları Ukrayna'daki potansiyel kanser vakalarını 20 000 olarak öngörüyorsa da bu rakam biraz abartılı görünüyor. Olup bitenler her ne kadar trajik olsa da eldeki zarar gören insan sayısı her yıl kömür ocaklarında ölen madencilerin, baraj taşkınlarında yaşamını kaybedenlerin ve kimya fabrikalarında meydana gelen patlamalarda zarar görenlerin (Hindistan Bhopal'deki kimya fabrikası kazasında ölenlerin sayısı 5000 kişiydi) sayılarıyla karşılaştırılmalıdır. Nükleer enerji santrallerindeki güvenlik problemleri her gün daha özenle ve dikkatle hesaba katılmakta, nasıl işleyecekleri ve nasıl tasarlanacakları büyük bir titizlikle irdelenmektedir. Dahası, santrallerin yapımıyla ilgili bilgilerin tamamen şeffaf biçimde halka açık hale getirilmesiyle ilgili haklı mücadele de kazanılmıştır. Dolayısıyla, güvenlik konusunun bu alandaki en ciddi mesele olduğunu düşünmüyorum.

Esas problem atık meselesi. Atıkların arasında bazı maddeler düşük radyoaktiviteye veya kısa süreli yarı-ömre sahipler. Bu maddelerin içinde, örneğin, operasyonlarda kullanılmış ve yüksek radyasyona maruz kalmış eldivenler, filtreler ve çeşitli malzemeler var. Bu tür maddelerin üzerindeki radyoaktivite nispeten hızla kayboluyor ve 300 yıl içerisinde doğal seviyeye dönüyor. Bunlar A tipi atık çeşidini oluşturuyor. Bütün yapılması gereken, bu tür malzemelerin bir yerlere kaldırılıp kendi kendilerine zararsız hale gelmelerini beklemek.

B tipi atıklar, ortalama radyoaktiviteye sahip maddelerdir ve Fransa'da bugüne kadar üretilen toplam radyoaktivitenin %3'ünü oluştururlar. Reaktör başına yılda 20 m^3 bu tip atık çıktığı düşünüldüğünde, 2004 yılında B tipi atık miktarı 40 000 m^3 hacmini bulmuştur. Bu atıkların toplam radyoaktivitesi yüksektir ancak çok az bir ısı yaymaktadırlar ve bilim insanları bu atık-

ları geçici olarak çok derindeki kil tabakalarına gömme metodu üzerinde çalışmaktadırlar. B tipi atıklar da zamanla Dünya üzerindeki doğal radyoaktivite seviyesine gelmektedirler.

Bütün bunların tersine, C tipi atıklar çok uzun süre oldukça aktif halde kalmaktadırlar. Özellikle plutonyum 239 içerirler ki yarı ömrü 24 000 yıldır. Bu atıkların bir başka muameleden daha geçmesi gerekir. Bunu yapmak için söz konusu plutonyum'un bir kısmını yeniden nükleer yakıt olarak MOX adı verilen tutuşturucu formunda kullanmak mümkündür -ama tümünü değil ve bu nedenle de depolanan atık plutonyum miktarı giderek artmaktadır. Uzun vadede bütün bu plutonyumun depolanması için bilim insanlarının onlarca bin yıl dayanacak hazneler ve alanlar imal edebilecekleri teknolojiler üzerinde ustalaşmaları gerekecektir. Bu yöntem böylece ekonomik bir hal alabilecektir ancak henüz hedefe tam olarak ulaşılmış değildir.

Söz konusu zorluklara karşın acaba C tipi atıklar yeniden kullanıma sokulup sabit bir miktardaki plutonyum üzerinde potansiyel enerji rezervi yükseltme anlamında ilave avantaj sağlanması amacıyla bir çalışma yapılabilir mi? Bu soru, hızlı-üreten bir reaktör olarak tasarlanan Superphenix nükleer santralinin cevaplayabileceği sorulardan biriydi ama politik nedenlerle söz konusu reaktör kapatıldı. Atıkların yeniden kullanımı aynı zamanda geri dönüşümü olduğundan bu maddeleri atık olmaktan çıkarıp yakıt haline getirecek ve böylelikle de soruna bir çözüm üretilecektir. Yeni yapılan reaktörler arasında "dördüncü kuşak reaktör" adı verilen teknolojiler kendi ağır atıklarını da yakabilecek kapasiteye sahiptirler. Bunların üzerindeki çalışmalar hâlâ devam etmekte, 2050 yılına kadar hizmete sokulması beklenmektedir. Bu reaktörler bize onlarca bin yıl yetecek elektriği üretebileceklerdir.

Herşeye rağmen, burada iddia ettiğim dördüncü kuşak reaktörlerin bize hiç problem çıkarmayacakları değildir. En azından iki tane problemi hemen görebiliyorum. Bu problemlerin ilki, bütün plutonyum 239'u geri dönüşüme sokabilme için hızlı nötronlara ihtiyaç olacağı, dolayısıyla ilk elde bu tarz istasyonlara çok özel soğutma sistemleri geliştirilmesi gerekeceğidir. Süperp-

henix reaktörü de suyla değil sıvı sodyumla soğutuluyordu. Sıvı sodyum aşındırma özelliği yüksek bir metal ve bu yüzden kontrol altında tutması zor bir malzeme. Bazıları bu iş için sıvı kurşun kullanmayı öneriyor ama bu da başka problemlere neden oluyor. Bütün bunlar gösteriyor ki söz konusu alanda daha çok araştırma yapılması gerekiyor. Bir diğer problem de, söz konusu plutonyumun miktarı. 1 GW elektrik üretmek için hızlı-üreten bir reaktörün ihtiyacı olan plutonyum miktarı yaklaşık 12 ton. Büyük bir miktar. Bunun anlamı, Fransa'daki 60 reaktörün bu tehlikeli maddeden 720 tona ihtiyaç göstereceği ki, söz konusu miktar, bugüne kadar atık olarak üretilmiş miktarın 6 katına karşılık geliyor. Diğer bir çeşit dördüncü kuşak reaktör modeli de uranyum 235 yerine Dünya'da bol miktarda bulunan toryum 232 kullanan reaktörler olarak düşünülüyor. Bunlar plutonyum açığa çıkarmayıp daha az yakıtla çalışıyorlar ve o kadar yüksek hızda ve enerjide nötron da gerektirmiyorlar. Geleceğin reaktörleri belki de bütün bu reaktörlerin bir karmasından oluşacak ve eğer nükleer enerjide bir gelecek görülüyorsa, bunun çözümü de böylesi bir yaklaşımın altında yatıyor olacaktır.

Elbette, dördüncü kuşak reaktörlerin nötron bombardımanı konusundaki araştırmalara hız verilmesinin önemli olduğunu düşünüyorum çünkü bu alanın, gerek iklim ve gerekse atıklar konusunda gerçekten temiz enerji kaynağına giden yol olduğunu biliyorum. Yakıtın optimum düzeyde kullanımı, daha uzun dönemli elektrik sağlayacağı gibi, aslında bir anlamda kaçınılmaz da görünmektedir. Neden kaçınılmaz? Enerjiyi idareli kullanmak konusunda ne kadar uğraşsak da, özellikle bazı ülkelerin gelişme konusundaki haklı talepleri göz önüne alındığında, Dünya'daki tüketim hızını durdurmanın çok zor olduğu görülmektedir. İyimser senaryolar uyarınca, Dünya'nın enerji tüketiminin 2050 yılına dek bugünkünün iki katına çıkacağı beklenmektedir. Eğer CO_2 salımını yarıya indirmek istiyorsak, fosil yakıtların toplam enerji tüketimi içindeki hâlihazır %77'lik oranını dörtte birine, yani %20'ye çekmemiz gerekecektir. Böylesine bir düşüşü nükleer enerji kullanmadan başarmak bana oldukça

imkânsız görünüyor. Ama yine de başka yollar düşünmeye devam edelim.

İnsanlar sık sık termonükleer kaynaşmadan bahsediyor ki temiz ve zararsız bir enerji kaynağıdır. Cadarache'de* Rusya, Çin, Kuzey Kore destekli ve Avrupa menşeyli deneysel ITER reaktörüyle ilgili iddiasıyla zamanın Fransa başbakanı Jean-Pierre Raffarin, Birleşik Devletler ve Japonya'nın ısrarla söz konusu reaktörün Japonya'nın Rokkasho bölgesine yapılmasını istemesine karşın, Fransa'da kurdurmayı başardı. 17 Kasım 2003 tarihli konuşmasında Raffarin, "Bu proje bize suyun içinde bol miktarda bulunan hidrojen sayesinde bitimsiz ve hiçbir belirgin hasarı olmayan geleceğin enerjisini getirecektir," diyordu. Mamafih, "Yıldızların enerji kaynağını çözmek" yoluyla yapılacak bu termonükleer kaynaşma santrali problemimizi gerçekten çözecek gibidir. Başbakanın sözleri, bulunan çözümün dostumuz Güneş kadar iyi bir çözüm olduğunu telkin ediyordu.

Ama maalesef olay o kadar basit değil. Hayali bu "kaynaşma" reaktöründe oluşacak nükleer reaksiyonlar sonucunda aynı klasik "nötron bombardımanı" reaktörlerinin ağır elementlerinin parçalanması sonucunda olduğu gibi (uranyum, plutonyum, thoryum), hidrojenden de atık olarak helyum üreyecek. Helyum gerçekten de zararsız bir gaz ama bu reaktörde yakıt olarak kullanılacak olan hidrojen, öyle suda bol miktarda bulunan sıradan hidrojen olmayacak. Kendi ağır izotopları olan deuteryum ve özellikle de trityumla karışmış halde bulunacak ki bu izotopları gerekli devasa miktarlarda üretmek basit bir iş olmanın çok ötesinde. Termonükleer kaynaşmayı gelecekte kullanmakla ilgili problemler çok güç problemler ve henüz çözülmüş de değiller.

Kolayca hayal edebileceğimiz üzere, izole edilmiş bir kutunun içine küçük bir güneş veya hidrojen bombası parçası koy-

* Fransa'nın Alpes-Côte d'Azur bölgesinde bulunan, Fransa Atom Enerjisi Kurumu tarafından kurulmuş bir araştırma merkezi. 28 Haziran 2005 tarihinde ilgili kurumların Moskova'da aldığı karar uyarınca Cadarache, Avrupa Birliği'nin önderliğinde gerçekleştirilecek Uluslararası Termonükleer Deneysel Reaktörü ITER'in yapım yeri olacak. Ç.N.

mak ITER projesinin başındakilerin pek üzerinde konuşmadıkları basit bir tesisat problemi değildir. Kaynaşma reaksiyonu muazzam büyüklükte enerjilere sahip nötronlar açığa çıkarır -14 milyon elektron volt (14 MeV)- ki hızlı-üretim reaktöründe bile nötronların ortalama enerjisi en fazla 1 MeV olmaktadır. 14 MeV akışında nötronlarla buluşacak olan çelik duvarlar ciddi bir yorulmayla karşı karşıya kalacaklardır. Aslında kaynaşma reaktörünün iç duvarlarında bulunan atomlar sadece onca çarpışmadan ıstırap çekmekle kalmayacak, beş yıl içerisinde her bir atomun normalden yüz kez daha fazla sayıda çarpışma geçirmesi sonucunda çeliğin şişmesine sebep olacak, bunca hoyrat bir hareketliliğin sonunda da izolasyonun yerli yerinde kalması pek mümkün olmayacaktır. Bu hareketliliğin çelikte yarattığı radyasyon "alfa" parçacıkları üretecektir ki bunlar helyum çekirdekleridirler. Eğer helyum dışarı salmmazsa söz konusu etki asıl kaynamaya öncülük edecektir. Pekâlâ, nasıl bir malzeme icat edilecektir ki hem geçirgen olup helyumun dışarı kaçmasına izin verecek ve hem de içindeki çok yüksek vakumda 200 milyon dereceye kadar ısıtılmış deuteryum ve trityum karışımını kesinlikle dışarı sızdırmayacaktır? Bildiğim kadarıyla bu konuda bir fikri olan kimse yok.

Trityuma gelince, bu bir gazdır ve bugüne kadar çok küçük miktarlarda hidrojen bombalarının yapımında kullanılmak üzere üretilmiştir. Lityumdan üretilen trityumun burada gerekecek olan ciddi miktarlarda üretilebilmesi için üzerinde çok çalışılması gerekmektedir. Planlanan yöntemde lityum radyasyona tabi tutulmakta ve dışarıyı bu radyasyondan korumak için de çift duvarlı bir hacimde döndürülmektedir. Ancak deneysel ITER reaktörü lityum üretimini test etmeyecek; bu proje sadece gaz haline getirilmiş iyonize deuteryum ile trityum karışımının devasa yuvarlak bir mıknatıs çemberinin içinde -ki buna "sıcak plazmanın manyetik sıkıştırması" adı veriliyor- büyük bir dairesel kıvılcımla akışını test edecek. Dolayısıyla deney geleceğin ticari enerji kaynağı olarak kaynaşma tekniğine dair ön koşullarla ilgili sorulara yanıt vermeyecektir.

Velhasıl, kaynaşma hemen yanı başımızdaki bir çözüm değil; en fazla, 2050 yılında geleceğin modeli olup olmayacağını öğreneceğiz. Bazı insanlar şu anda deneysel ITER reaktörünün kurulmasının tamamen fuzuli bir masraf olduğuna (5 milyar euro kuruluşuna gidiyor, bir o kadar da çalıştırılmasına), zira bu deneyin plazmalar konusunda çalışan birkaç fizikçinin ilgi alanına girdiğine ve şu anda ticari enerji üretimi konusunda hiçbir şekilde olgunlaşmamış göründüğüne inanıyor.

Birçok İspanyol, Amerikalı ve Japon meslektaşımız, bu deney yeri için kendi ülkelerinin seçilmemiş olmasından dolayı çok memnunlar! Bu devasa makinenin yapımı bazı teknoloji uzmanının paylaştığı bir fikir olan "Büyük güzeldir," söylemi uyarınca uzun bir belirsizliklerle verilmiş kararlar listesini takip ederek sürüyor. Kişisel olarak bu projeyi tamamen işe yaramaz bir girişim olan Uluslar Arası Uzay İstasyonu projesiyle (100 milyar dolar!) karşılaştırıyorum. Bilimsel araştırmalardan sorumlu eski bakanımız Mme Claudie Haignere de bu projenin civarında biraz durup kısaca bir süre geçirmişti. Robotlar daha dengeli ve hareketli olduklarından dünyayı veya bölgesel evrenimizdeki çeşitli diğer nesneleri izlemekte makineleri bozan, yiyecek ihtiyacı, hareket ihtiyacı olan, kalkıp uzaya gönderilmesi sonra geriye getirilmesi gereken ve uzaya gittikleri için başlarına gelebilecek bir sürü tehlikeden korunmaya ihtiyacı olan astronotlardan çok daha iyiler. Aslında pratik olarak bütün deneyler için uzaya gönderilen astronotlar yaptıkları deneyden çok kendi sağlıklarıyla ilgileniyorlar. Fakat uzayın tehlikeleri içinde (radyasyon, yerçekimsizlik) astronotların sağlıklarıyla ilgili çalışma yapmanın ve onları böylesine koşullara bundan başka bir amaç olmaksızın göndermenin ne anlamı var? Benzer biçimde, bir deuteryum-trityum plazmasının 200 milyon derece sıcaklıktaki kararlılığı üzerine, sonuçta burada denenen fenomeni izole edilebilir bir kutunun içine koyup nasıl elektrik üreteceğimizi de bilmiyorsak, çalışma yapmak niye? Böyle kocaman projeler iyi araştırma politikalarının bir parçası olmayabiliyorlar.

Petrol ve nükleer güç üzerine bütün bu problemleri sıraladıktan sonra, neden başka enerji kaynakları aranmıyor? Hâlihazır-

da elimizde bulunan bir kaynak da negatif bir kaynak ve gayet önemli; üstelik para biriktirmemizi de sağlayan bir kaynak. Bu alandaki potansiyel gelişim gerek aydınlanma, gerek ısı yalıtımı, araç kullanımı veya endüstriyel üretim anlamında gerçekten düşünmeye değer. 500 metre öteye gitmek için araba kullanmayı veya bir su birikintisine atlayıp serinlemek için uçağa binmeyi keselim! Kullanıp atılan her türlü ürünü hayatımızdan çıkaralım zira bunların üreticileri muazzam miktarda enerji tüketiyor! Evlerimizi iyice izole edelim ve kışın ısınmak, yazın da klimalarla serinlemek konusunda tasarruf yapalım! Sezon dışı turfanda çilek yemeye son verelim! Bu konu global ölçekte ahlaki bir konudur. Ancak şunu da unutmayalım ki, zengin ülkeler enerji israfına bir son verebilecek lükse sahiptir ve vermek de zorundadırlar ancak fakir ülkelerin daha çok enerji kullanması da gayet meşrudur. 2007 yılına kadar Çin'deki toplam CO_2 salımı Birleşik Devletler seviyesi ile karşılaştırılabilir noktaya geldi. Elinizdeki kitabı yazarken, Çin'deki karbondioksit salımının sermayeye oranı Birleşik Devletler'dekinin dörtte biri kadardı. Demek ki problem sadece teknik bir problem değil; politik, insana dair ve küresel bir problem. Gezegenin toplam tüketiminde dikkate değer bir düşüşü becerebileceğimiz pek olası değil gibi. Ama eğer iklimin hepten bozulmasının önüne geçmek istiyorsak sera gazları salımını en azından yarıya düşürmeye ihtiyacımız var; hem de hemen.

Yeldeğirmenleri (rüzgâr türbini) konusunda araştırma yapmayı ve diğer kaynakların yanında destek olma ihtimalini rafa kaldırırsak yanlış yapmış oluruz ama çözümün orada olmadığı açık. Çözüm çok da kolay değil!

Güneş enerjisi kullanımının bu konuda belli bir potansiyeli olduğuna inanıyorum. Yine Fransa'daki rakamlara bir bakalım. Bölgenin bulunduğu enleme göre metre kareye güneşten ortalama 100 ile 200 watt arasında enerji alıyoruz. Bu rakam, atmosferin ışığı emişi, gece ve gündüz arasındaki değişimler, iyi ve kötü hava koşulları vs. gibi etmenler de hesaba katılarak bulunmuş bir ortalama. Hâlâ oldukça yüksek; metrekarede 100 ile 200 watt arası. Fransa'da yaşayan her bir birey 30 metre kare alandaki gü-

neş enerjisini toplayabilse, bütün enerji tüketimini karşılayabilir. Maalesef, özellikle güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirmek istediğinizde çok fazla kayıp oluyor. Bir de, genellikle bu enerjiyi kullanabilmek için onu önce depolamak zorunda olmanız gerçeği var ve hâlihazır aküler bu işi yapmak için yeterince iyi değiller. Güneş enerjisini, suyu siyah borular içinden geçirerek ısıtmak için kullanmak çok kolay ve böylesi bir termal enerji her yerde her an geliştirilebilir durumda fakat elektrik enerjisine dönüştürmek biraz daha güç.

Bir silikon güneş toplayıcı hücreden teorik olarak alınabilen çıktı %25 oranında. Şu ana kadar monokristalize silikondan yapılan en iyi toplayıcılar pahalı, üretimi güç ve çıktı oranı sadece %12 verim sağlayanlar. Polykristalize silikon toplayıcılar daha ucuz ve çıktı oranları da %10 civarında. Gelecek, inşaat malzemelerinin içine girmiş yarı iletken, ince levhalarda mı (film) yatıyor? Bunlar günümüzde piyasalarda bulunabiliyor ve fiyatları da, eğer büyük miktarlarda üretilmeye başlanırlarsa, doğal olarak giderek düşecek. Ama bu malzemenin çıktı oranı %5. Ve söz konusu malzemenin üretimi için harcanan enerjinin maliyetine dikkat! 30 GW, yani Fransa'da tüketilen toplam gücün %10'u kadar elektrik gücü üretmek için, bu tip toplayıcılarla kaplamak zorunda olduğunuz alan 4000 km^2 - neredeyse ülke yüzölçümünün %1'i veya birey başına 60 m^2. Bu rakam, Fransa'daki bütün çatıların yüzey alanlarından daha geniş bir alana karşılık geldiği gibi, ihtiyacımızın da sadece %10'unu karşılayabiliyor. Fakat Güneş enerjisinin sıklıkla ve akıllıca kullanımı, diğer enerji kaynaklarının yanında, özellikle de eğer güneş toplayıcıları ve akülerde daha çok gelişme kaydedebilirsek, gayet kullanışlı bir katkı sağlayabilir.

Birkaç söz de biyo-yakıtlar üzerine edelim; yani odun ve çeşitli tarımsal alkoller üzerine. Bunlar ancak kullandıkça yeniden ektiğimiz sürece yenilenebilir enerji kaynakları olarak kullanılabilirler. Yeni bitki büyürken, eskisinin yanmasıyla ortaya çıkan karbondioksitin karbonunu yakalar. Dahası, odun, saklaması kolay bir malzemedir. Maalesef şunu belirtmeliyiz ki yaktığımız bitkilerden, odun veya diğerlerinden çıkan enerji aslında yine

Güneş'ten gelmektedir; solar radyasyon fotosentez işlemini sağlar ve bu da enerjinin odun formuna dönüşmesi ve saklanmasına öncülük eder ve sonra biz bunu yakarız. Ancak fotosentez sonucu elde edilen çıktı çok düşüktür; %0,5'den bile küçük. Bunun anlamı, güneş ışınlarından alınan 1 watt değerindeki güçten bir tarlanın ancak 5 miliwatt depolayabiliyor olmasıdır. Doğa bu konuda her nedense pek etkileyici değildir. Şeker ziraatında bile alınan enerji sadece 0,6 W/m^2 seviyesindedir. Dolayısıyla, gezegenin enerji ihtiyacına katkıda bulunabilmek için hâlihazırda tarımsal amaçlarla ekilen alanların 20 ile 100 katı büyüklüğünde yüzey alanlarını biyo-yakıt yetiştirme amacına adamamız gerekecektir. Dahası, tarımsal araçların yakıt tüketimlerini de hesaba katmamız gerekmektedir! Dolayısıyla, biyo-yakıt, toplam enerji ihtiyacına katkı olmaktan öte bir çözüm değildir. Bir de böyle bir alan oluşturulduğunda büyük ölçekte metan gazı, yani karbondioksitten çok daha etkileyici özelliklere sahip bir sera gazı salımı veya suyun kalitesini etkileyecek kadar büyük miktarlarda gübre kullanımı riski alınmış olacaktır -ki bu konu da gezegenin diğer bir hâlihazır problemidir.

O halde enerji problemi ciddi, zorlu ve acil bir problemdir. Eğer sadece esir gücüne dayalı zamanlara geri dönmeyi arzulamıyorsak, enerji üretmek hayati bir öneme haizdir -gerçi esirler de zar zor 100 Watt'dan fazla üretmiyordu (bir ampulü yakmaya yetecek kadar yani)! Ayrıca problem enerjiyi üretebilmekle bitmiyor; onu depolayabilmemiz ve iletebilmemiz de gerekiyor. Şüphesiz petrolün başarısı, her ne kadar tutuşabilir nitelikte de olsa, kolayca taşınabilir bir enerji kaynağı olması gerçeğinden kaynaklanıyor. Petrol-sonrası (ki şimdi başlayan dönemdir), "yakıt hücreleri" adı verilen malzemenin yaygın kullanımına bakıyoruz. Bir elektrik telinin iki ucunu suya sokup tele bir akım verirseniz bir tarafta hidrojen diğer tarafta da oksijen açığa çıkacak, suyu elektrolize etmiş olacaksınızdır. Yakıt hücresi bunun tersini yapar; hidrojeni tüketir ve buna karşılık su ve elektrik açığa çıkarır. Böylesine hücreler uzay araçlarının elektrik ihtiyacını karşılamak amacıyla keşfedilmiştir ve günümüzde birkaç çeşidi bulunmaktadır. Ufak olanları cep telefonlarının güç ihtiyacına

yönelik kullanılmakta, daha büyük olanları arabalara takılmakta ve daha da büyük olanları bile bulunmaktadır (10 MW güce kadar). Gerçekten sadece hidrojenle çalışanları -ki alkolle çalışanları da vardır ve bu kapsama girmezler- hiç karbondioksit üretmezler. Velhasıl, nükleer veya solar enerji yoluyla hidrojen yapabilir ve belki bu hidrojeni geleceğin arabaları, otobüsleri ve uçaklarına yükleyebiliriz ama hidrojeni depolamak hiç de kolay iş değildir. Biyo-yakıtları hidrojene ederek (hidrojenle birleştirerek), enerji potansiyellerini büyük ölçüde artırarak da kullanabilir olmalıyız. Yakıt hücreleri önümüzdeki birkaç on yıl içerisinde nakliye ihtiyaçlarımıza cevap verecek hale gelebilir. Bu durum petrol üretiminin maliyetindeki kaçınılmaz yükselmeye ve acilen CO_2 salımını azaltmak amacıyla imzalanması gereken uluslar arası anlaşmalara bağlı olacaktır. Birleşik Devletler'in iklimi korumak amacıyla karşı karşıya olduğumuz zorlu yolun sadece bir başlangıç basamağı olan Kyoto Anlaşması'nı imzalayarak, Avrupalılar, Ruslar ve Japonlarla işbirliği yapmayı kabul etmesi hayati hale gelmektedir.

Enerjinin tüketimi ve üretimi, depolanması ve dağıtımı ana problemi teşkil etmektedir. Çözümü sadece kısmi olarak bilinmekte ve hatırı sayılır miktarda bilimsel ve teknik araştırmalar gerektirmektedir. Konu, aynı zamanda mümkün olduğunca soğukkanlı bir tavırla kamuoyu tartışmasına açılma ihtiyacı göstermektedir. Fermi stili nedenselleştirme ve hesaplamalarla bulunacak büyüklük kerteleri teknik problemleri çözümlemekte yetersiz kalacaktır. Fakat bu büyüklük kerteleri, inanç eylemi temelli oluşumların, ekonomik ve politik baskı gruplarının göz korkutmalarının ve acımasız demagogların gerçekten enteresan mücadele alanlarını tanımlamak anlamındaki vazgeçilmezlikleriyle hâlâ beni etkiliyorlar.

12. Bölüm

İngilizce Konuşuyorum

"Düzmece araştırmacıların düşüncelerini İngilizce ifade ettiklerinde kendilerini daha ilginç kıldıklarına inanmaları kınanacak bir durumdur!"

Parlamentoda Moselle vekili olarak bulunan muhafazakâr Mr. Jean-Louis Masson, Fransız Ulusal Meclisi'nde 4 Mayıs 1994 günü yaptığı konuşmada böyle söylüyordu. Bir zamanlar aynı sınıfta beraber ders aldığımızı ne kadar hatırlar bilemem -belki de ben yanılıyorumdur- ama kişisel olarak beni kastettiğini sanmıyorum. Her ne olursa olsun, bu nasıl bir anlayışsızlıktır!

Ekim 1957'de altıncı sınıfa geçtiğimde, ailem ilk yabancı dil olarak bana Almancayı seçtirmişti. Bu fikir acaba, işbirlikçi polisle birlik olan fanatik bir azınlığın 1942 yılında büyükbabamı önce Velodrome d'Hiver'den Drancy'ye ve oradan da Auschwits'deki gaz odalarına sürükleyerek götürdükleri o ülkeyle bir barış yapmanın temeli olarak mı düşünülmüştü? Okul yıllarının bitiminde Almancamı geliştirmem için North Rhine-Westphalia'da beni geçici olarak ağırlayacak bir aile bulunmuştu. Daha on bir yaşımda bile olmadığım ve çalışmalarımı sürdürdüğüm bu dönemde kendimi bulduğum bu evin sahibi Herr B. bir öğretmendi ve sınıfında şiddete dayalı cezalar uyguluyordu.

Elindeki değneği hâlâ hatırlarım. Büyük bir onur ve duygu dolu edayla bana çok güzel bir fotoğraf albümü göstermişti. Albüm, savaş sırasında bağlı olduğu Wehrmacht bölüğüyle Brittany işgalindeki anılarıyla doluydu. Herr B. bana ailemi de sormuş, örneğin büyükbabamın hâlâ hayatta olup olmadığını öğrenmek istemişti.

Ailem beni Yahudilerin toptan yok edilmesi ve bu konunun benim ailemle ilgisi konusundan neredeyse tamamen habersiz biçimde yetiştirmişti. Şüphesiz bunu bizleri korumak için yapmışlardı. Belki de bu yöndeki hatıraları dayanılır gibi değildi. Babamın babasının ölmüş olduğunu biliyordum ama bunun nasıl olduğunu bilmiyordum. Baba tarafımın Kiev yakınlarından olduğunu ve bunun büyükbabamın Fransız vatandaşlığı alamamasına neden teşkil ederek büyük hayal kırıklığına neden olması sonucunda memleketine geri dönmek istediğini de biliyordum. Hafifçe tereddüt ederek büyük babamın Fransa'yla memleketi Rusya arasında bir yerde öldüğünü söylemiştim. Doğruydu da; Auschwitz gerçekten o arada bir yerdeydi.

Herr B'nin baba tarafımın arka planı hususunu ne kadar zaman sonra tam olarak anladığını hâlâ merak ederim. Koşulların bu durumuna rağmen orada gayet mutluydum ve o zamanlar hiçbir şeyden haberim de yoktu. Her gün Almancamı biraz daha geliştiriyordum. Altı hafta sonra akıcı biçimde konuşmaya başladım.

Ertesi yıl bir üst sınıfa geçtiğimde Almanca dersinden fena halde sıkılmıştım. Sınıfta başka hiçbir çocuk Almanya'ya gitmemişti ve çok azı iki lafı bir araya getirip doğru dürüst bir cümle kurabiliyordu. Öğretmene gelince, ister inanın ister inanmayın, bize Nazi Marşı dinletiyordu. Sınıfın orta yerinde Horst Wessel Lied!* Ben adamın ismini atlar, söylemezdim. Öyle çok sıkılıyordum ki, bir yılda, 6 haftada öğrendiğim Almanca'yı tamamen unuttum. Lisedeyken yine bir Almanya seyahati yaparak Almanca'yı yeniden öğrenmek zorunda kaldım ve sonra pratik

* 1930 yılında öldürülen s.a üyesi Horst Wessel için yapılmış nasyonal sosyalist bir marş. Ç.N.

yapmadığım için tekrar tamamıyla unuttum. Ondan sonra da bir daha hiç öyle akıcı konuşamadım. Hâlâ Fransız-Alman dostluğunu desteklemeye yönelik bir arzum vardır. Piyanoda eşlik yaptığım bir arkadaşım Shumann'ın *Dichterliebe*'sini söylediğinde Almanca bilgimin Heine'nin şiirini anlayabilecek yeterlilikte olduğunu fark eder, piyanoyu çalışımı şiirin bende uyandırdığı geçmiş aşkların hatırasına adapte ettiğimi söyleyebilirim.

Lisede gördüğüm Almanca eğitimi genelde berbattı. Lise hazırlık sınıfında Rusça öğrenmeye kalkıştığımda da aynı nedenler aynı etkileri yarattı. Pushkin ve Gogol'ü orijinallerinden okumak büyük keyifti ama hiçbir zaman kendimi o dilde kolayca anlatamadım ve sonradan bütün bildiklerim tıpkı öncekiler gibi buharlaşıp gitti. Alfabeyi hâlâ bilirim; sonraki yıllarda bana Moskova'da yol bulmamda çok faydası oldu. Hiç yoktan iyidir diye düşünüyorum.

Bugün bilimsel araştırmalarımı anlatmak için sık sık bütün dünyayı bir uçtan diğerine dolaşıyorum ve farklı milletlerden bilim insanlarının Ingilizce anlatımlarını duydukça ortalama olarak Fransızlar'ın yabancı dil öğrenmek konusunda gayet kötü oldukları sonucuna varıyorum. Bence sadece Ruslar ve Japonlar bizden daha kötüler. Ve gerçekçi olalım, bilimsel bir işi global ölçekte kolayca anlaşılır kılan bir yolla sunmadıkça tezinizin tanınma ve kabul edilme şansı yok. Eğer kimse öğrenmeyecekse bilgiyi ilerletmek için bütün o dökülen terin ve sıkı çalışmanın anlamı ne? Dahası, bir araştırmacının rakiplerinin yaptığı işleri kolayca anlayamadığı sürece içinde bulunduğu sıkı rekabet ortamından kaybetmiş olarak çıkacağı da kesindir. O halde neden Fransızlar İngilizce dilinde Almanlar ya da Hollandalılardan çok daha kötüler ki? Müfredat Konseyinde çalıştığım kısa süre zarfında da aynı soruyu sorduk. Bu sorunla ilgili aşağıdaki hesaplamayı yaptım.

Ortaokul yaşındaki bir öğrenci, öğrenmek için seçtiği yabancı dili yılda kaç saat konuşma şansı buluyor? Diyelim bu yabancı dil İngilizce olsun ve haftada dört ders saati İngilizce dersi yapılsın. Bu durumda bir yılda 35 hafta eğitim yapıldığına göre, bu öğrencinin yıl boyunca 140 saati İngilizce derslerinde geçecek

demektir. Bir sınıfı yaklaşık 35 öğrenci eşit koşullarda paylaşıyorsa ve ilaveten ders saatlerinin bir kısmını da yazılı sınavlar ve öğretmenin konuşması alırsa, öğrencilerin konuştuğu kısım sadece toplam sürenin dörtte biri kadar olacaktır. Sonuçta her öğrenci yılda toplam yalnızca 140/(4x35) = 1 saat konuşma şansına sahip olacaktır! Yılda 1 saat! Ortaokul ve lisenin toplam 7 yıl sürdüğü düşünüldüğünde de bütün bu yıllar boyunca söz konusu toplam yabancı dil konuşma şansı bulma süresi bir günden azdır.

Şaşırtıcı, öyle değil mi?

Fakat genç Hollandalı öğrenci de aynı durumda değil mi? Elbette öyle. Bazı insanlar eğer İngilizce eğitimine ilkokulda başlarsak genç Fransız öğrencilerinin yabancı dillerinin daha iyi olacağını söylüyor. Her ne kadar hepimiz sekiz yaşındaki bir beynin on iki yaşındakinden daha alıcı olduğunu kabul etsek de, yukarıda gösterdiğim hesaplama aynı olacağından, böylesi bir çaba yine anlamsız kalacaktır; bir çocuk yılda 1 saat İngilizce konuşma şansı bularak gerçekten bir gelişme kaydedemez. Sonunda Hollandalı bir meslektaşıma onların İngilizceyi nasıl öğrendiklerini sordum; erken yaşta mı başlıyorlardı (hayır, başlamıyorlardı) ve okulda kaç saat İngilizce dersi görüyorlardı (Hemen hemen Fransa'dakinin aynısıydı)?

"Ama Hollanda'daki çocuklar okulda İngilizce öğrenmeye başlamadan *önce* zaten İngilizce biliyorlar! Bunun için bütün yapmaları gereken de televizyon seyretmek!"

İşte görünen gerçeği böyle öğrendim: Eğer biz de televizyondaki yabancı filmlere seslendirme yapmak yerine onları alt yazılı verirsek, sadece yapılan işin yönetmenine saygılı davranmış olmakla kalmayıp, çocuklarımıza da yabancı dil öğretmiş oluruz. Hollandalı çocuklar İngilizce dilinin temelleri hakkında bilgi sahibi olarak gittikleri okullarda eğitim yoluyla bu bilgilerini mükemmelleştirip söz konusu lisanın edebiyatına girer hale geliyorlar. Bunu yapmak için de sekiz yaşında okullarda dil öğrenmeye başlamıyorlar. Basit, öyle değil mi? Tunuslu yeğenim İtalyancayı böyle öğrendi ve şimdi akıcı biçimde dört dil konuşuyor.

Biraz Almanca ve biraz da Rusça ile kendimi yirmi iki yaşımda seçkin Amerikan fizik dergisi *Physical Review* makaleleriyle karşı karşıya buldum. On beş sayfa dolu dolu bilimsel İngilizce. O zamanlar zekâmla ilgili hâlâ bazı hülyalar içindeydim ve bu sayfalar acımasızca bende eksik olan mütevazılığı sağladı. Kısa bir makalenin bile ne dediğini anlamak kayda değer uzunlukta zamanımı alıyordu. Elbette çağdaş fiziğin bütün terimlerini kendi kendime yeniden keşfedemezdim; bir sözlük kapıp, sessizce acı çektim.

Beş yıl içerisinde olabildiği kadarıyla bu engelimi aştım, doktoramı tamamladığım kadar sürede yani, ve sonra da hiç vakit kaybetmeden İngiltere'ye gittim. Araştırmalarımı kuantum buharlaşması üzerine ilerletmek istiyordum ve bunu yaparken de İngilizcemi geliştirebileceğim bir yerde olmayı seçtim. Robin Hood ve Lord Byron'un ülkesinde meseleye dalışım tam ve etkili oldu. Dinleyerek ve insanların bana söylediklerini tekrar ederek birkaç hafta içinde sıradan görüşmelerle artık başa çıkar oldum ve temel bilimsel İngilizce benim için problem olmaktan çıktı. O seyahat beni kurtardı ve sonrasında da İngilizce kullanmayı kesmediğimden -şüphesiz bazı gramer çukurları açılmış olsa da-, bilimsel söylemlerimde kendimi acı çekmeden açıklayabilmenin ve meslektaşlarımın, ister bilimsel anlamda ister gündelik hayata dair bütün söylediklerini anlayabilmenin büyük tatminini yaşadım.

Artık bundan sonra uluslar arası iletişim aracım İngilizce olmadan yaşayamam. Onu hiçbir şey için bırakmam; bu bir özgürlük meselesi ve ben özgürlüklerimden taviz vermeyi hiç istemem. Velhasıl, acaba Mr. Masson, bilim insanlarının nasıl çalıştıklarını düşünüyor? Kendini hiç en az on değişik ülkeden katılımcıların bir araya geldiği bir konferansta buldu mu? Eğer bulduysa ne yaptı? Bilimsel araştırma alanı uzun zamandır globalize olmuş bulunuyor. İletişim alanında uydu haberleşmesi ve elektronik patlama gezegenimizi oldukça küçülttü.

Dolayısıyla rekabet de hiç olmadığı kadar canlandı ve bu durumda diğerlerinin ne keşfettiğini anlamamak veya kendi bulduklarını diğerlerine aktarmada geri kalmak, bilimsel olarak in-

tihar etmeye eşdeğer nitelikte olacaktır. Dünya'nın daha büyük göründüğü geçmiş zamanlarda bile uluslar arası iletişimi sağlamak için bir dile her zaman ihtiyaç olmuştur. Zamana ve bölgeye göre bu dil Çince, Yunanca, İbranice, Arapça, Latince veya Fransızca olagelmişse de, bugün İngilizcedir. Amerikan hegemonyasından korkmak veya Fransızcayı korumak adına çığlıklar atmak bu durumu zerre kadar değiştirmeyecektir.

1994 yılının başlarında Kültür ve Fransız Dili Bakanı Jacques Toubon, araştırmacıların profesyonel faaliyet alanlarındaki çeşitli durumlarla ilgili Fransızca yazıp konuşmalarını istediğinde şaşkına dönmüştüm. Mr. Masson'un konuşması da, Toubon kanunlarının[43] tartışmaları sırasındaydı. Çok tartışmalı görüşmeler oldu. Sonunda karara bağlanıp geçen yasa şöyle diyordu:

Madde 6

Fransa'da organize edilen bir sunum veya konferansta, doğal olarak veya sonradan ilhak etmiş Fransız vatandaşı bütün katılımcı kişiler kendilerini Fransızca ifade etme hakkına sahiptir. Toplantıdan önce veya toplantı sırasında katılımcılara dağıtılan program içerikli dokümanlar Fransızca yazılmak zorundadır ve içlerinde bir veya birkaç yabancı dile çeviri de içerebilir.

Bir sunum, konuşma veya konferans, katılımcılarına dağıtılacak yabancı dilde yazılmış bir ön hazırlık veya iş dokümanı veya kanun ve tüzüklerle ilgili yayın, çeşitli metin veya sunumlar içerdiğinde, yanında en azından Fransızca bir özet çeviriyle beraber verilmek zorundadır. Bu düzenlemeler, sadece yabancıları ilgilendiren ya da Fransa dışına yönelik ticari teşvik amaçlı tanıtımlarla ilgili sunum, konuşma veya konferanslar için geçerli değildir. Kamu hukuku içindeki kurumsal kişilikler veya özel hukuk içindeki kurumsal kişilikler kamu hizmeti misyonuyla görevlendirilerek bu maddede belirtilen türde sunumlarda bulunduğunda, çeviri hizmetleriyle ilgili bir mekanizma çalıştırılmak zorundadır.

Madde 7

Fransa'da dağıtılan ve kamu hukuku içindeki kurumsal kişilikler, kamu hizmeti ifa eden özel kişiler veya kamu yardımla-

rından kar sağlayan özel kişiler kaynaklı yayınlar, bültenler ve iletişim amaçlı bildiriler yabancı bir dilde yazılmış olduğunda, yanında Fransızca olarak içeriğin en azından bir özeti bulunacaktır.

Eğitmenlik veya araştırma işleri için ayrılan yardımlardan sorumlu bir kamu personelinin vereceği hibe onayı, hibeyi alan tarafından yapılacak işlerle ilgili yayın veya dağıtım materyalinin, araştırmalardan sorumlu bakan tarafından istisnai durum atfedilmedi ise, Fransızca dilinde olacağı veya yabancı dilde yayınlanıyorsa Fransızcaya çevrileceği yönünde verilecek garantiye bağlıdır.

Neyse ki, Madde 7'nin italik olan son paragrafı Anayasa Konseyi tarafından oradan çıkartıldı. Eğer çıkarılmasaydı, araştırma sonuçlarımızı İngilizce yayınlamak, Fransızcasını da yayınlamadığımız sürece bizim için imkânsız hale gelecekti. Hiçbir yabancı meslektaşımız veya rakibimiz tarafından okunmayacağımız konusunda mutabakat sağlanmasaydı, araştırma sonuçlarımızı iki kez yazmak zorunda kalacaktık; bir Fransızca versiyon ve bir de uluslar arası versiyon. Araştırma dünyasındaki acımasız rekabeti hesaba kattığımızda bu handikap Fransa'daki araştırma sektörünü öldürecekti. Mamafih, Anayasa Konseyi'nin kararında araştırma sektörünü korumakla ilgili bir yargı bulunması beklenmese de, kanunların tutarlılığı açısından söz konusu paragraf kabul görmemişti. Zira böylesine bir zorlama, İnsan Hakları Beyannamesinde ve Anayasamızın giriş bölümünde yer alan Vatandaşlık Hakları başlığı altında gayet net bir biçimde tanımlanan ifade özgürlüğüne getirilen bir kısıtlamayı temsil ettiğinden, Konsey, Toubon kanunun yedinci maddesinin son paragrafını kabul etmedi. Geri kalan kısımlar aynen geçti ve bugün teoride uygulanıyor.

Bütün bunlar pratik anlamda ne manaya geliyor? Günümüzde birçok seviyede yayın var ve bunlar sürmekte olan araştırmaların orijinal sonuçlarını verenler -ki biz bunlara "temel yayınlarımız" diyoruz- veya görüş bildiren makaleler, eğitim amaçlı kitaplar ya da uzman meslektaşlarımızdan ziyade daha geniş kitlelere yönelik makaleler barındıran yayınlar olarak tasnif edile-

bilirler. Temel yayınlarımızı düşünecek olursak, prensip olarak bir Fransız dergisi, içinde İngilizce yayınlanan her bir makalenin yanında Fransızca özetini vermediği sürece kamu yardımı alma hakkına sahip değil.[44] Eğer bu yasa uygulanmış olsaydı, böylesine bir engelleme çok kısa bir sürede yabancı araştırmacıları Fransa'da bir yazı yayınlamaktan caydıracaktı. Aslına bakılacak olursa, yazılarını kendi dillerinde yollayan meslektaşlarımız Fransızca öğrenmedikleri sürece çevirilerin aslına uygunluğunu nasıl doğrulayacaklardı? (Yani bu çeviriler kim tarafından yapılacaktı?) Bu koşullarda makalelerini başka yerde yayınlamalarının daha kolay olacağını düşünmeyecekler miydi? Konunun uzmanlaşmış Fransız dergileri hızla piyasadan kalkacaklardı. Makalenin yazarından çokdilli bir özet isteyen bildiğim hiçbir uluslar arası fizik dergisi yok.

Aslında tarih, bazı zamanlarda Ulusal Meclis'in işlerinden daha hızlı ilerliyor ve hiç problem çıkmıyor. Avrupa Birliği'nin ilerlemesiyle beraber farklı ulusların dergilerini daha geniş kapsamlı Avrupa dergilerinde bir araya getirme ihtiyacı ve avantajları hemen kendini hissettirdi. En azından fizik alanında Fransızlar, Almanlar ve İtalyanlar kendi dergilerini birleştirmeye hızla karar verip, Toubon kanunlarıyla ilişkisi olmayan Avrupalı bir hale getirdiler.[45]

Mamafih, konferanslarla ilgili makale sansürlenmedi. Fransa'da uluslar arası konferansların yapılmasına konan resmi engel de böylece efsane oldu. Aslında bu konferansların masraflarını karşılarken devletten en ufak bir yardım aldığımızda konferans kapsamındaki bütün dokümanların ya da büyük bir kısmının çokdilli olması zorunlu olacaktı. Konferansın duyurusu, programı, konferansın başında, çoğunlukla yaklaşık bin katılımcıyı bir araya getiren farklı mekânlara ayrılarak karşılıklı konuşmalarla ilerleyen atölye çalışmalarında kimin ne hakkında konuşacağı üzerine dağıttığımız özetler, hepsi çokdilli olacaktı. Böyle bir zorlamanın yaratacağı kâğıt masrafınıysa unutun. Bir de binlerce giriş metni çevirisinin Fransız organizatörlerin başına açacağı kayda değer miktardaki ilave iş yükünü düşünelim. Eğer metnin yazarı Fransızca bilmiyorsa metnin kendisine ait oldu-

ğunu gösteren imzasıyla Fransızca çevirisini yayınlayamazsınız; böyle bir ayrıntının farkına vardığımız için de mutlu olun. Son olarak, tartışmaların kendileri de, teoride tabi, "çeviri mekanizmaları" ile donatılmak zorundaymış. Bunun ne demek olduğunu anlamak için en iyisi Ulusal Meclis'in tartışma tutanaklarına bir göz atalım.

Daha önce de değindiğim gibi bu yasanın çıkarıldığı oturumda hararetli tartışmalar olmuş ama arada, aşağıda alıntıladığım üzere, birkaç aklı başında(!) an da yaşanmıştı:

Mr. Bardet: Eğer Fransa'da yapılan bütün konferanslarda Fransızca konuşulmasını talep ederseniz, hiçbir yabancı sunucu gelmeyecektir! Ve eğer Mr. Brunhes'in önerdiği gibi konuşmacılar hangi dili isterlerse onu kullanabilirlerse de, konferanslar Babil Kulesi haline gelir.

Çoğunlukta olan milliyetçi bakış açısı aşağıdakine benzer yorumların da duyulabildiği tartışmaların ardından günün kazanan tarafı oldu:

Mr. Sarre: Bilim insanları dilimizi savunan ilk kişiler olmalı. Eğer onlar bunu yapmıyorlarsa, bunun nedeni tamamen kariyer peşinde koşuyor olmalarındandır. Ne kadar çok İngilizce makaleleri yayınlanırsa kariyerleri de o kadar iyi oluyor.

Mr. Masson: Kamu fonlarından para alan bir Fransız araştırmacısının kendisini Fransızca dışında bir dilde ifade etmek zorunda olması düşünülemez.

Mr. Jean-Louis Beaumont: Haklısınız!

Mr. Weber: Cezai hükümler getirmeden buna nasıl engel olabiliriz ki?

Mr. Freville ve Mr. Leroy: Doğru bir nokta!

Mr. Toubon: Cezai hüküm 13. fıkrada mevcut; devlet yardımının kesilmesi.

Toubon kanununa dair kararname başvurusu 6 Eylül 1995 günü yayınlandığında yaptırımların tehditkâr üslubu da alenen

ortaya çıktı. Yasalarının 17. fıkrasında ihlal başına 5000 franka kadar para cezası öngörülüyor,[46] organizasyonu yapanlara da 25 000 frank ceza kesiliyordu. Ve eğer birileri kalkıp da yasaya aykırı davranışı rapor edenlere karşı çıkarsa ceza 50 000 franka kadar çıkıyor, yanında bir de 6 ay hapis cezası ekleniyordu! Üstüne üstlük, Fransızca dilini korumakla yükümlü beş kuruma kanuna uygunsuz davranmaktan mahkeme önünde bize karşı savcı rolü oynama yetkisi veriliyordu (19. Fıkra).

"Çeviri mekanizması" ayarlanması üzerine tartışma bakanın kendi kendine çelme taktığı çelişkileri gösterecekti. Mr. Jacques Brunhes simültane tercümanlık hizmeti talep etti. Böyle bir hizmetin bedeli, kendisinin öngörüsüyle, merkezi sistemde dil başına günde 8000 frank, kişisel tercümanlık hizmet bedeli olarak da 3000 frank tutuyordu ve bu rakamlar aslında kendisine hiç de "caydırıcı" görünmüyorlardı. Acaba bizim çalıştığımız bütçeler hakkında en ufak bir fikri var mı? Mr. Mathus ısrarla, "Hemen o anda çeviri yapmanın ne anlamı var? Gene hiçbir manası olmayan bir yasa mı yapacağız? Kanuna ne diye uygulanamaz mekanizmalar sokmak zorundayız ki?" diyordu.

Mr. Toubon "hemen o anda" çeviri fikrini savunmaya çalıştı ki kendisine göre bu "anında çeviri" olacak, çevirmenler zamanın Fransa devlet başkanı Mitterand ve Rusya devlet başkanı Yeltsin arasındaki görüşme model alınarak, yer yer tartışmanın içine dalıp çeviri yapacaklardı. Sonunda meclis Mr. Fanton'un sunduğu önergeyi onayladı: "Çeviri hizmetleriyle ilgili bir mekanizma çalıştırılmak zorundadır."

Laboratuarda "potansiyel redox" deyiminin, kuşkusuz kimyadaki oksidasyon/azalımı reaksiyonu konusunda bilgisi olmama olasılığı yüksek bazı çevirmenler tarafından "potansiyel red ox"* olarak çevrilme ihtimalini şaka konusu etmiş olmamıza karşın, durum gerçekten çok ciddiydi. Her ne kadar kanun belli derecede belirsizliklerle formüle edilmiş olsa da endişeliydik. Yabancı bir konuşmacıyı konusunun özetini Fransızca yazmaya nasıl zorlayabilirdik ki? Eğer çeviriyi yapmazsak bir "edebi saf-

* Redox: reduction/oxidation; red ox: kırmızı öküz. Ç.N.

lık" yandaşı kurum,[47] tarafından mı kovuşturmaya uğrayacaktık? Konferansta kürsüye bırakılan bir cep sözlüğü, "çeviri hizmetleriyle ilgili bir mekanizma" yerine geçecek miydi? Acaba uluslar arası konferanslar düzenlenirken payımıza düşen işleri yapmaktan vazgeçip ülkemizdeki bazı yasa koyucuların bizlerin mesleklerimizi nasıl icra ettiğimizden hiç haberleri olmadığı özrünü ileri sürmek durumunda mı kalacaktık?

Tüylerimiz diken diken olmuş bekliyorduk ve gelişmeler sonucunda Mr. Mathus ironik biçimde haklı çıkmıştı: Bilimsel araştırma camiasında bu kanun "tamamen uygulanamaz" ve "grotesk/abartılı" bulunmuş, meclis gerçekten de "Gene hiçbir manası olmayan bir yasa" yapmıştı. Elbette bunu Fransa'da yapılacak bütün konferanslara simültane tercüman sağlanması zorunluluğunu onaylamak adına söylemiyorum. Toubon kanunun asla uygulamaya konmamış olmasından dolayı mutluyum ve herkes de bu olayın unutulması yönünde fikrini belirtmiş durumda. Umarım kitapta konuyu açmış olmam bu ölmüş konunun tekrar karşımıza getirilmesine hizmet etmez.

Bütün bunlar Fransızca dilini korumakla ilgilenmediğim anlamına mı gelir? Kesinlikle gelmez. Zamanında yazdığım gibi,[48] Fransız bilim insanları İngilizce öğrenerek dünyadaki konumlarını korumak anlamında güçleneceklerdir. Yabancı insanları Fransa'ya çekebilmek için ödememiz gereken bedel budur ve gelenler bir kez buraya ulaştı mı, şüphesiz Fransızca öğrenip konuşmaktan, Fransız kültürünü incelemekten ve kim bilir, birkaç hafta tamamen içine daldıktan sonra bilimsel düşüncelerini de Fransızca olarak ilerletmekten büyük bir keyif alacaklardır. Velhasıl, burada teklif ettiğim şey yeni bir Majina Savunma Hattı* oluşturma düşüncesinin tam tersine, Fransa'yı bütün sınırları ve bilimsel kültürüyle Dünya'ya açmaktır. Sovyet İmparatorluğu demir perdesini kurdu, bilim insanlarını Rusça yayın yapmaya zorladı ve dışarıdan gelip giden her şey üzerinde sıkı bir kontrol uyguladı. Sonuç, görünür biçimde bir facia oldu. Sovyet bilim

* Maginot: Birinci Dünya Savaşı'ndan önce Fransa'nın Almanya'ya karşı kurduğu savunma hattı. Ç.N.

insanları da ülkedeki diğer bütün yapılarla beraber çöktü ve en iyileri 1989 devrimi başladığı anda Batı'ya göçtü. Bilimsel konularla ilgili uzmanlık terimlerini bilmeyen, çevirileri kaçınılmaz olarak kabul edilemez hatalarla dolu olacak çevirmenlere para ödemek yerine, yüksek kalitedeki işlerimiz sayesinde Fransa'ya çekeceğimiz bütün yabancılara dilimizin kullanımı ile ilgili bilgiler vererek daha iyi bir yol tutturabiliriz. Bu da Fransızca dilini farklı bir yoldan korumak anlamına gelecektir -hem de çok daha iyi bir biçimde. Herşeye rağmen bunun da fazla verimli olacağını sanmıyorum.

Tıpkı adaptasyon olasılıklarından yararlanmak için doğada türlerin çeşitliliğini korumaya ihtiyacımız olduğu gibi, bilimde çokdilliliği korumanın da olasılıkları zenginleştireceği görüşündeyim. Kullandığımız diller arasında geçiş yaptığımızda kişiliğimizin biraz değiştiği hepimizin dikkatini çekmiyor mu? İngilizce dili daha kapsamlı ve kıvrak görünüyor ve belki de bu özelliği onun uluslar arası iletişim dili olma statüsünü kazanmasında büyük ölçüde katkıda bulundu; elbette Birleşik Devletler'in dünya üzerindeki politik ve ekonomik belirleyiciliği hâlihazır ortak dilin statüsü konusunda da net biçimde çok daha bariz bir sebep.

Fakat, Fransızca dilinin de oynayacağı belli kartlar var. Bazı diller retorik sanatına diğerlerinden daha mı uygun acaba? Bir konuşmasında benim görüşlerime benzer bakış açısını ortaya koyan Roger Balian,[49] Fransızcadaki bağlaçlara ve böylesi bağlaçların İngilizcede olmadığına işaret ediyor. Şu da bir gerçek ki, eksiksiz biçimde çokdilli olan bilim insanlarına oldukça ender rastlanılıyor ve Fransız bilim insanları için kendilerini İngilizce olarak açıklamak Fransızca açıklamaktan net biçimde çok daha zor oluyor. Velhasıl, ben fizik üzerine Fransızca düşünmeye devam ediyorum ama bu hiç de kolay olmuyor.

Bir dilde düşünmek kelime dağarcığı yetersiz olduğu sürece kesinlikle imkânsızdır. Ancak yeni kapsamlar ortaya çıktığı ve teoriler rafine edildiği ve hatta bazı metaforların bile bu gelişmelere göre şekillendiği günümüzde bilim durmadan kelime üretiyor ve bazı kalıpları belli kullanımlara adıyor. Eğer hepimiz İn-

gilizcenin bu linguistik evrimi konusunda memnuniyet duyarsak, bilimsel Fransızca gerçekten ölü bir dil haline gelir. Dolayısıyla, söz konusu yeni terimleri çevirmek ve kalıpları adapte etmek bilimsel Fransızcayı yaşatmak için hayati bir öneme sahiptir. Bunu nasıl yapmalıyız?

Temel ders kitaplarının Fransızcaya çevrilmesinde bizlere yardımcı olmak iyi bir girişimdir. Böylece Fransızca eğitim vermeye devam edebiliriz. En çok aşina olduğum, İtalya, Finlandiya ve Hollanda gibi ülkelerde yüksek öğrenimin büyük bir bölümü İngilizce eğitime dönmüş görünüyor; ama bu durumu Fransa için kabul etmeye şahsen hazır değilim. Çeviri yaparak kendi kelimelerimizin anlamlarının daha isabetli hale gelmesi yönünde bir zorunluluk yaşayacağız. Fransızca dili gelişecek ve bizler ana dilimizin uluslar arası iletişim dili olmaması handikapını bir avantaj haline getireceğiz.

Kazanmamız gereken bir diğer alışanlık da bilimsel konuları Fransızca olarak popüler kılan ve uzman olmayanların da anlayabileceği biçimde gazete makaleleri ve kitaplar halinde ortaya çıkartmaktır. Fizik konusunda Fransızca anlatım yoluyla bir parça ifade kıvraklığını yeniden kazanmak benim için çokdilli bir seyirci önünde kendimi İngilizce olarak anlaşılır kılmak kadar büyük bir keyif. Ve bunu yaparken de kelimelerin esas manalarına olduğu kadar çağrışımları ve ilişkilenmelerinin gücüyle isabetli anlatımlar yakalamaya dikkat edilmesini çok sağlıklı buluyorum.

Son olarak, günümüzde artık her ne kadar azalıyorsa da, hâlâ kendi aramızdaki tartışmalarımızın uzmanlık seviyesinde geliştiği yerlerde hiç İngilizceye ihtiyaç duymadığımız zamanlar da yok değil; yurt içi seminerlerinde, Fransızlarla veya ikili iş görüşmelerinde, sınav panellerinde veya yaptıklarımızın değerlendirme toplantılarında olduğu gibi. Neden azalıyor diyorum? Çünkü laboratuarlarımızdaki gelişmeler günden güne daha fazla sayıda uluslar arası jüri tarafından denetleniyor da ondan. Ayrıca, ulusal çaptaki en ufak bir iş toplantısı bile, kibarlık icabı, karşılarında kendimizi doğru ifade edip anlaşılmamız gereken yabancıların ilgisini ve katılımını cezp eder durumda.

Bütün Fransız öğrencilerinin yabancı dil olarak sadece uluslararası iletişim dili olan İngilizceyi değil, ilave olarak diğer yabancı dilleri de öğrenmeleri gerektiği önerisi hiç de o kadar hırslı ve gerçekçilikten uzak değil. Bu noktada gayet anlaşılabilir nedenlerle benim önerim, öğrencinin haftalık ders programı içerisinde sadece bir saat pratikle İngilizce öğrenmesini beklemek yerine, yabancı dilin sağlam oturması için okullarda pratiğe ayrılan sürenin genişletilmesidir. Bir de, yabancı filmleri ve televizyon gösterilerini seslendirmeyle vermek yerine alt yazı kullanımını öneriyorum. Diller arasında gündelik geçişler yaşamak, özellikle entelektüel idman yapmayı sağlıyor. Tanıdığımız çokdilli öğrenciler sıklıkla en parlak öğrenciler olmuyorlar mı? Beynimiz de tıpkı kaslarımız gibi günlük eksersize ihtiyaç duymaz mı? Ve çokdillilik pratiği, yabancı düşmanlığına (xenophobia–zenofobi) karşı bilinen en iyi çare değil mi? Tabi, Toubon, Masson, Sarre, Freville ve Loroy gibi mösyölerin entelektüel mirasçıları uygarlığımızı aşağıya çekmezlerse!

Neyi Bilmiyorum

Annem, Fransızca dilinin dokuzuncu yüzyılda Charlemagne'nin torunu imparatorluğun canına okurken doğuşu ve bu olaylardan çok da sonraya kalmamış olan Fransız edebiyatının çıkışıyla ilgilenirdi. Annemin yazdığı ve Presses Universitaires de France tarafından yayınlanan "Ne Biliyorum?" serisinden iki kitabı vardı.[50] Şimdi ben soruyu biraz değiştirip, "Neyi bilmiyorum?" diye sorarak, annemle belli bir bilgi tadını paylaştığımı göstermek istiyorum ama bir farkla: Aslında ben araştırma yapmanın belirsizliklerini, öğretilen bilimin kesinliklerine tercih ediyorum.

Beni yanlış anlamayın; alınan eğitimin keyfini göz ardı etmemin nedeni, sadece daha fazlasını istiyor olmam. Bilimin ön saflarında ilerlemekle daha çok ilgileniyorum. Sanki bilim karmaşaya düşmüş de gelişme kaydetmiyormuş gibi, bütün bilginin geçici fikirler haline indirgendiğini düşünmediğimin altını çizmek isterim. Hayır, bilim amansızca ilerliyor ve ben daima onun bu derinlemesine anlaşılma periyotlarının hemen akabinde fırlayıp koparak ilerleyişini muazzam buluyorum. Bilimin evrimi ve bilginin öncülüğü ile ilgili zevkimi ortaya koyarak annemin mirasına sadık kalıyorum; onun entelektüel etkinliği zengindi ve

bunu hiç saklamadı. Diğer kitaplarında da üzerinde çalıştığı konuyu sarsacak güçte fikirler ileri sürmekten geri durmadı.

Belli bir ölçüde göz ardı ettiğim konuları itiraf ederek, aslında bazılarınızı benim samimiyetimden kuşkuya düşürme riskini de göze almış oluyorum. Doğrusu, üzerinde gerçekten hiçbir bilgim olmayan soruları göz ardı ettiğimi itiraf etmeye de kalkışmam. Aldırmazlığımı ortaya serdiğim alanlar, tam tersine, bunlar hakkında aldırmaz olanın sadece ben olmadığımı bilecek kadar haberdar olduğum alanlardır -hatta bu aldırmazlar arasında, söz konusu alanlar konusunda uzman olduğunu iddia edenler bile vardır. Bir fizikçi olarak kendi perspektifimden konuşmam ve fizikte neyi anlamadığımı açık etmem, belli bir seviyedeki bilginin var olduğu, aksi takdirde alay konusu olunacağı ön kabulü üzerine oturmuştur. Elinizdeki kitapta, sözünü ettiğim altyapıyı görmediğiniz bir bölüm oldu mu? Zaman her şeyi gösterecek ama benim için asıl en önemli olan bu değil.

En çok istediğim şey, biliyormuş gibi yapmak, herhangi bir gücü veya pozisyonu zorla ele geçirmek, bilimin dil uzatılamaz kutsal bir yapı olduğunu ve tepesinde oturan biz bilim insanlarının da gerçeği ilgisiz kitlelerin önüne serdiğimizi, onların da kendilerine verileni kabul etmeleri gerektiğini iddia etmek değil. Ben de bütün diğer insanlar gibi bazı konulara ilgisizim işte! Bu ilgisizlik, Dünya'nın daha birkaç yıl öncesine kadar bildiğimiz Dünya olmadığı gerçeğini kendi kendime öğrenmenin heyecanını okurlarımla paylaşmak istememle değişmeyecektir.

Gerçekten de Dünya, 1950'de onun olduğuna inandığımız gibi değil. Einstein bile o zamanlarda Evren'in kararsız olduğunu anlamamıştı. Onun bu kararsızlık durumuyla ilgili aldırmazlığı, ününe ya da mutlak zekânın bir sembolü olma statüsüne hiç gölge düşürdü mü?

Bilimsel doğru, gelişimini sürdürüyor. Gerçek şu ki, bilimin kendini sorgulaması, bilimsel doğrunun bir değeri olmadığı anlamına gelmiyor; tam da bunu tersi anlama geliyor. Tanım olarak bir araştırmacı her gün hatalı olup olmadığını sorgular ve işte bu, benim görüşüme göre, söz konusu mesleği hem çok zor, hem de büyük bir iş haline getirir. Bilimsel araştırmacı sürekli

olarak mütevazılığa çağıran güçlü bir metodun sağlamlığına yaslanıp tezlerine diğerlerini de ikna etmeyi becerebiliyor olmalıdır; asla zorla herhangi bir önermesini dayatmak durumunda kalmamalıdır. Korkutarak değil sadece nedenselleştirmenin gücüyle hareket etmelidir!

Velhasıl ben bilime "tapılması" için mücadele eden bir bilim insanıyım. Maalesef düşünmek için her zaman vakit ayırmayan bir toplumda bilim insanları sıklıkla genel kamuoyu üzerinde bir çeşit otorite olduklarını ileri sürmeye meyil ediyorlar ve bunu, terimlerini çoğunluğun bilmediği bir dilin ustası haline gelmeleri üzerine kuruyorlar. Herhangi bir alanda (bu durumda bilimsel alan oluyor) arzulanan otoriteyi diğer bir alana genişletmek gerçekten hak mıdır? Kuantum fiziği veya istatistikî fizik gibi zorlu teorik bir bilgi bütününün tüm detayları üzerine uzmanlaşmış olmak bize genetik olarak müdahale edilmiş bitkiler, bilimin etiği veya endüstriyel gelişimin ahlakı gibi konularda da gerçekleri bildiğimizi iddia etme hakkı kazandırır mı? Eğer yapılan sadece özenli bir düşünme metodunu mütevazı biçimde hakkında az şey bildiğimiz bir alana uyarlamak meselesiyse söz konusu iddia makul karşılanabilir. Bunu yaptığımızda da temkinli olmalıyız.

Aynı zamanda, bilim insanı olmayan birinin de, örneğin ezoterik kelime haznesinin genişliğini göstermeye meraklı olmasını ya da bilge görünmek çabasıyla konuşmalarını bilimsel terimlerle süslemesini rahatsızlık verici bulduğumu itiraf etmeliyim; bunlar benim karşı durmaya çalıştığım bilimin çarpık imajına katkıda bulunuyorlar. Bunu yaparak insanların bağımsız düşünceyle meşgul olmaktan duyduğu heyecanı yükseltmek veya seyircilerinin eleştirel farkındalığını geliştirmek yerine, iddialarını onlara kakalayıp, beyinlerini yıkayıp, jargon kullanma becerileri aracılığıyla kurdukları gücü istismar ediyorlar. Bu, benim yapmaya çalıştığımın kesin olarak tam tersi bir tavır.

Bazı Fransız felsefecileri veya psikoanalistleri bu tarz sapkınlıklar konusunda pek üretkenler. Söz konusu tarzın yazılı örnekleri hakkında özellikle aydınlatıcı bir analiz için, Alan Sokal ve Jean Bricmont'un *Son Moda Saçmalar* adlı eserini okumanızı tav-

siye ederim. Bu mükemmel kitapta çok sayıda hiçbir değişiklik yapılmamış alıntı var ve sözde-bilimin maskesi düşürülüyor. Şunu da eklemeliyim ki, Sokal ve Bricmont saçmalığın kendisine saldırıyor, satıcılarına değil.

Son dönem Fransız edebiyatındaki en çarpıcı örneklerden biri olan başarılı yazar Michel Houellebecq, edebiyat dünyasına girmeden önce bütün fizik ve matematik konularında ustalaşmış olduğundan, kendisini alenen bir dahi olarak sunuyor. Yazarın entelektüel geçmişi konusunda samimi olduğuna inanmakta çok zorlandım. Bu yaptığının, ticari başarısını artırmak için elindeki reçete uyarınca oynadığı bir oyun olduğunu düşündüm. Yazdıkları, en azından gerçek bilim insanlarının yaptığı işleri anlaşılır kılmak için olduğu kadar, bilimi popüler hale getirme konusundaki açık yürekliliği açısından da okumaya değer nitelikte.

Atomized[51] adlı romanında, örneğin, kitabın kahramanı Djerzinski tarafından yazılıp yayınlanan bir makale hakkında bölüm var: "2004 Yılında yayınlanan Hilbert Spaces'de Topoloji üzerine üç tahmin şoke ediciydi. Bazıları bunu 'sürekli dinamik' düşüncesine bir reaksiyon olarak ya da formlar için yeniden bir cebir kurgusu girişimi -tuhaf biçimde platonik titreşimler- diye değerlendirdi."

Bir arkadaşımın New York'da karşılaştırmalı edebiyat okuyan kızı, modern fizikten anlaması gerektiğini düşündüğü biri olarak bana bunun ne anlama geldiğini sorduğunda nasıl şaşırdığımı tahayyül edin. Bu tür abuk sabuk sözlerle yaratılan derinlik illüzyonu o kadar iyi çalışıyor ki, Amerikan Üniversitelerinde bunların olası anlamlarını inceliyorlar!

Daha evvel yazdığı Whatever (Her neyse)[52] adlı romanındaysa Houellebecq 91. sayfada şöyle yazıyor: "13 Yaş civarında, çekicilik gücüne sahip aygıtlar serbest kalır ve ondan sonra da kademeli olarak ya kaybolurlar, ya da daha doğrusu, davranış kalıpları içinde çözülürler ki bu kalıplar nihayetinde sadece suni baskılardır. Başlangıç patlamasının şiddeti, çatışmanın çıktısının yıllar boyunca belirsiz bir halde kalacağı anlamına gelir; buna elektrodinamikte süreksiz rejim denir."

Burada "elektrodinamik" gibi haşin bir sözcüğü kullanan Houellebecq, fizikçi olmayan herhangi bir okurda nasıl bir edebi etki yaratmanın peşinden gidiyor?

Ve 125. sayfada, "Bütün ekonomik ve sosyal sistemler arasında kapitalizm, sorgulanamayacak biçimde en doğal olanıdır. Bu özelliği, en kötü sistem olduğunu göstermek açısından zaten yeterlidir. Böyle bir sonuç çıkarıldığında da bize, içinde çalışılabilir ve önceden karara bağlanmış yargıların pekiştirilmesi yoluyla mekanik eylemlerinin yürümesine izin verilen, tutarlı bir içerik seti geliştirmek kalıyor; yani grafit çubukların bir nükleer reaktörün yapısını pekiştirmesinde olduğu gibi."

Hadi canım -burada bahsettiği grafit, aslında nötronları yavaşlatmak için kullanılıyor, yapıyı desteklemek için değil! Houellebecq bir şeyler öğrenilecek birisi değil; o öğretmeni oynuyor ve kitaplarının başarısına bakılacak olursa bunu yapmakta da çok iyi. Diğerleri gibi o da genel olarak kabul edilmiş Evren kanunlarının gizemli olduğu fikrinin avantajlarını kullanıyor ki eğer bu kanunlarda bir gizem olmasaydı, insan ve Tanrı arasında bir fark kalmazdı. Velhasıl yazar, söz konusu kanunları algılamak için sıra dışı bir yönteme sahip; okuması zor bir biçimde, ya da daha doğru bir tanımla, tamamıyla kavranamaz bir üslupla yazıyor. Ve sahtekârlık yapması bir yana, bu tarz davranış korkunç bir bilim imajının yaygınlaşmasına neden oluyor!

Bu bana, farklı bir damardan, 1999 yılının sonbaharında, benim de orada ortak bir sevdayı paylaştığım günlerde Harvard'da okuyan binlerce öğrencinin üst üste yığılmış Stephen Hawking'in konuşmasını dinleyişlerini hatırlattı. Harvard'ın fizik bölümü her yıl beş prestijli konuşmacı davet edip, Loeb Dersleri adında bir dizi seminer düzenler. Bu konuşmacılardan biri olmak bana da nasip oldu ama kötü şans, Hawking'den hemen sonra konuşacak olmamdı. Hawking, Cambridge'de Newton'un saygın koltuğunda oturuyordu. Kara deliklerle ilgili teorisi ve özellikle çok satan, içlerinden biri *Zamanın Kısa Tarihi* adını taşıyan popüler bir dizi kitabıyla çok ünlü olmuş bir fizikçiydi. İlaveten, yirmi yaşındayken tedavisi olmayan motor nöron hastalığına yakalanmış, bu nedenle tekerlekli sandalyeyle

yaşamaya yazgılı hale gelmiş, kaslarına hükmetmek konusunda çok kısıtlı, zor bir hayat sürmekteydi. Sadece bir tek parmağını oynatabiliyor ve bununla da bir insan sesi sintisayzırına (ses ayrıştırıcısına) komut yollayabiliyordu. Velhasıl, gülümsemeyi ve muazzam yaşama sevincini dışa vurmayı başarıyor, onunla kişisel olarak konuşmak, doğrudan Hawking'in beyniyle konuşuyormuşsunuz hissi uyandırdığından, muazzam bir etki yaratıyordu.

Çaresiz hastalığına rağmen Hawking, yaşamak ve üretmek için savaşıyor. Gündelik yaşamında kendisine yardım etmeleri için iki hemşireyi işe almış, çevresi çalışmalarına yardımcı olmak için mütemadiyen etrafını saran öğrencilerle doluydu. Harvard'a gelişi de bir olaydı. Bütün disiplinlerden binlerce öğrenci için bu garip özelliklere sahip sıra dışı adam Evren'in gizemlerini açıklamaya gelmişti. 3000 kişinin oturabileceği üniversitenin en büyük amfisi tıklım tıklım doluydu. İdareciler, söz konusu seminerin videodan aynı anda izlenebilmesi için bir diğer oda daha açmak zorunda kalmışlardı. Seminer saati geldiğinde de, elektrikle çalışan bir tekerlekli sandalye kendisini takip eden bir spot ışığının altında sahneye geldi. Ve Hawking başladı. Bize, neden Evrenin sonlu ve sınırlı olduğunu açıklamak istiyordu. En başından başlayıp, "de Siter"* uzayındaki "d-katmerler" (d-branes) topolojisi gibi sıra dışı ve karmaşık gelişmelere geçti. Sonradan öğrendiğime göre, "d-katmerler", d'nin üç veya dörtten büyük olduğuna aşinalığımız bulunan uzaysal boyuttaki d-boyutlu perdeler için kullanılan bir genellemeydi. Konuşma sırasında beni özellikle şaşırtan, dinleyici kalabalığın anlatılan konular giderek daha kavranamaz biçime dönüştükçe yükselen heyecanını gözlemlemek oldu.

Bir sonraki seansta da bu coşku hiç sönmedi. Şunu da ilave etmeliyim ki, Hawking aynı zamanda iyi bir komedyen olduğundan, konuşmasını komik öğelerle ustaca süslüyordu. Her on beş dakikada bir ya da söylediklerinin anlaşılma zorluğu retorik

* de Siter uzayı: Birinci kategoriden uzay; hiçbir yerde yoğun olmayan kümelerin sayılabilir bileşimine eşit olan bir topolojik uzay. Ç.N.

bir dönüşüme ihtiyaç gösterdiği her anda duraksıyor, bize, kendisinin Tanrıyla buluştuğunu gösteren bir karikatür gösteriyor ve karikatürde Tanrıya, "Evet, ben buraya kadar gelebildim. Şimdi şunu denememe ne dersin?" gibi konuşma balonları bulunuyordu.

İngilizce dilinde, ikinci tekil şahıslara hitap ederken resmi ve gayrı resmi özne kullanımı farkı bulunmadığından -yani herkese "sen" diye hitap edildiğinden- Hawking'in Tanrıyla görüşmesi sırasında ne kadar yüzgöz olduklarını bilemiyorum ama bu karakterleştirmeyle çok akıllıca oynadığı bir gerçekti. Gerçekten de Tanrıyla buluşmuş, Evren'in yapısındaki gizemin başlangıç noktasını Onunla yaptığı görüşmeler sonunda anlayabilmiş gibi görünüyordu. Acaba çektiği onca fiziksel sıkıntılara rağmen yaşamayı sürdürmesini sağlayan da bu muydu? Sonunda, salondaki kalabalık daha fazlasını istediğini belirtti ve Harvard da ilave bir ders daha organize etti. Bu kez giriş paralıydı ve kentin en büyük salonu kiralanmıştı; hafızam beni yanıltmıyorsa, 5000 kişilik bir mekan. Giriş oldukça pahalıydı ve salon tamamıyla doluydu.

İki hafta sonra sıra bendeydi. Kendimi, "Kristalizasyon ve Çekirdeklenme (nukleation)" konulu bir seminerin duyurusuyla nasıl böylesine büyük bir etkiyle benzer işbirliği içine koyacaktım? Neyse ki, yapacağım konuşma için idare sadece fizik amfisini ayırmıştı ve orada yüz kişi kadar olacaktık. Sahne korkumun bir sonucu olarak benim için mümkün görünen yegâne tavrı sergilemeye karar verdim; basit ve pedagojik esaslara göre davranacak, bütün sözlerimin, iddialarımın, tarif ettiğim fenomenlerin herkes tarafından bütün detaylarıyla anlaşılmasını sağlayacaktım. Ve çözüme kavuşturduğum her bir soruyla birlikte, konuyla ilgili çözülmemiş yeni bir soru getirecektim. Fizikle ilgisi olmayan hiçbir öğrenciyi dersime çekemedim ama orada bulunan küçük grup gayet katılımcıydı. Yakınlarda olan Massachusetts Institude of Technology'den (MIT) gelen bazı genç araştırmacılar olmuştu ve bana hâlâ o günkü semineri ne kadar bağlayıcı biçimde verdiğimi söylerler.

Hawking, benim ilk dersimi izleyen günlerde verilen gala yemeğine de davet edilmiş ve oradaydı. Yemekten sonra yapılan kahve servisi sırasında kendisiyle karşılaştık ve bana söylediği –en azından kendisi gülümserken bilgisayarına söylettiği– dersime katılamadığı için duyduğu üzüntü oldu. Elbette ben de, bunun bir sorun olmadığını, başka bir yerlerde meşgul oluşunu anlayabildiğimi söyleyerek karşılık verdim. Hawking büyük bir bilim adamı. Yaşamını sürdürmesi için gereken harcamaların büyüklüğünü ve kamuoyuna mal olmuş bir kişilik olarak ihtiyaçlarını eksiksiz karşılayabilmek için para kazanması gerektiğini kesinlikle anlıyorum. (Hiç Houellebecq'in durumu gibi değil – özellikle de Hawking'in tartıştığı bilimi her şeyiyle anladığı düşünüldüğünde.) Dilerim bütün bilim insanları, uzmanlık alanlarında çalışma yaptıkları nişlerinden ve birlikte çalıştıkları topluluklardan ayrılıp bir konuşma yapmaya gittiklerinde, olabilecek en büyük insan kitlesi tarafından anlaşılmaya çalışılırlar. Bu yolla bilim, olması gerektiği hale gelir; bir anlatım kaynağı, güç enstrümanı değil.

Eğer bilimin, özellikle de çağdaş bilimin kavranamaz olduğunu düşünüyorsanız –spesifik olarak da fizik alanında anlatılanı anlamadığınız zaman komik duruma düşmekten korkuyorsanız; hâlâ okul yıllarındaki dogmatik bir öğretmenin size not vermek biçimiyle iğnesini ensenizde hissediyorsanız ve bir şeyin ya doğru ya da yanlış olduğunu düşünüyorsanız– ve bunun sonsuza dek böyle devam edeceğine inanıyorsanız; basit sorular sormaya cesaret edemiyorsanız; "bilimselcilik" olarak adlandırılan entelektüel terörizmin bir kurbanıysanız, bu kitabı, neden bilimsel araştırmanın benim tutkum olduğunu anlayabilmenizi amaçlayan birkaç anekdot ilavesiyle, sizler için ve sizleri bilimin ön saflarına çekmek için yazdım –belki biraz da paylaşmak için...

Notlar

1. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı'na benzer bir Fransız devlet kurumu.
2. Burada, Galileo'nun büyük kızından aldığı mektuplar üzerinden, Dava Sobel tarafından ustaca yazılmış muazzam bir biyografik eser olan *Galileo'nun Kızı* (Walker & Co., 1999) kitabını okumanızı tavsiye etmek isterim.
3. Canis takımyıldızları içindeki Sirius Yıldızının Dünya'ya uzaklığı yaklaşık 10 ışık yılıdır, yani yüz trilyon kilometre; ama ortalamaya bakıldığında her 10 ışık yılı uzaklığa bir yıldızdan az sayıda yıldız düşmektedir. Bunun nedeni, galaksiler arasında büyük uzay boşluklarının olmasıdır. Üstüne üstlük, uzaydaki yıldız yoğunluğu her zaman sabit değildir ancak burada yıldız dağılımının değişimini tarif etmek hem fazlasıyla detaya girmek anlamma gelecek hem de izah etmeye çalıştığım noktaya bir faydası olmayacaktır. Konunun uzmanları şundan emin olabilirler: Burada Evrenin "fractal" olarak adlandırabileceğimiz yıldız kümelenmeleri olduğu gerçeğini göz ardı etmiyorum.
4. Bizim galaksimiz, gördüğümüz gökyüzünde Kuzeydoğudan Güneybatıya uzanan muazzam çokluktaki yıldız kümelerini barındıran Samanyolu (Milky Way) galaksisidir ve onu bu şekilde gözlemlememizin nedeni de, içinde bulunduğumuz galaksinin tam ortasında yer almıyor olmamızdır. Galaksimiz, kendi merkezi etrafında eliptik bir yörüngede dönen ve disk şeklinde bir rota izleyen yıldızlardan oluş-

muştur ve biz onu bizim üzerinde olduğumuz düzlemden görürüz. Eğer Güney yarımküreden gözlem yaparsanız, galaksimiz Samanyolu'nun ortasındaki merkezini bile gözlemleyebilirsiniz; burası siyah bir alan olarak görülür çünkü o bölgedeki kozmik tozlar merkeze yakın yıldızların ışıklarını emmektedirler.

5. Richard Feynman, kısa bir süre sonra, tarif ettiği parçacıkların da aynadaki yansımalarına dönüşmeye ihtiyaç duyduklarını onaylamıştır; bunun anlamı, sola doğru dönen (spin) parçacıkların, sağa doğru dönen karşı-parçacıklarla yer değiştirmeye ihtiyaç duyduklarıydı. Yani, yine "chiral" durum vardı.
6. Avusturyalı fizikçi ve felsefeci Ludwig Boltzmann "1844 yılında Viyana'da doğdu ve gazların kinetik teorisinden doğru gelerek, istatistikî fizik kuramını kurdu. 1880 Yılından başlayarak çok fena eleştirildi ve hasta düşerek, 1906 yılında Trieste'de intihar etti.
7. İzotopun ardından gelen sayı, proton sayısını ifade eden Z değeri ve nötron sayısını ifade eden N değerinin toplamıdır. Elementin adı, içindeki proton miktarını belli eder ama her element de farklı izotop formlarında bulunur ve bu izotoplar da farklı sayıda nötronlara sahip olduklarını gösterir. Basit bir biçimde, sıradan karbonun içinde olduğu gibi, eğer Z sayısı N sayısına eşit gibiyse -karbon 12 (Z=N=6) veya karbon 13 (N=7)- izotop kararlı demektir. Ama eğer N çok büyük veya çok küçükse, izotopun kararsız ve radyoaktif olduğu anlaşılır. Mamafih, karbon 14 bir elektron ve bir de "nötrino" olarak adlandırılan bir parçacık salarak azot 14'e bozunur.
8. Söz konusu bulutun Fransa üzerinden geçişiyle ilgili yanlış bilgilendirmeyi onarmak pratik olarak imkânsız olacaktır. O zamanlar Profesör Pelerin tarafından yönetilen resmi "İyonize olan Radyasyona Karşı Korunma Servisi Merkezi", halkla bir iletişim kurmuş ve 2 Mayıs günü Fransa'da "hafif ölçekte bir radyasyon artışı" saptaması yapmıştı. İsviçre'de de bir grup hamile kadın, 1986 yılının Haziran ayında, alarma neden olan mesajlar sonucunda korkuya kapılıp kürtaj yaptırmaya karar vermişti. Fransa'da ise tam tersine, hiç böyle bir panik yaşanmamıştı. Strasbourg ve Kehl arasındaki Avrupa Köprüsü'nün Fransız yöneticileri ile yapılan bir görüşmenin sonunda, bir gazeteci durumu şöyle özetlemişti: "Öyle görünüyor ki, radyoaktif bulut Rhine nehrini geçmemiş bulunuyor." Bir ümit doğmuştu. Bazı kötü niyetli insanlar bu durumu, "Chernobyl bulutu Rhine nehrini geçmedi," şeklinde, Profesör Pellerin'in ağzından çıkmış sözler gibi göstererek onu komik duruma düşürmeye çalışmışlardı. Bu konudaki iftiraları onarmak genelde imkânsızdır.

9. Soyadının Kurie olması ve radyoaktivite üzerine çalışmaları... Bu durum bana, kristalize olmuş yüzeyler ve istatistiksel fizik üzerine çalışmalarıyla muazzam bir teorisyen olan ve soyadı Einstein'a Amerikalı meslektaşımı hatırlatıyor; ama adı, Einstein'la aynı bir ünlü Albert değildi. Ona, cesaret edip de kendisini bu soyadından dolayı mutlu kemmel olmaya yazgılı hissedip hissetmediğini soramamıştım.
10. Bu gayet aktif mecrada gayretlerini yürüten birçok ara... fizikte kullanılan birimlerin, örneğin, platinden yapılandan çok daha hassas olan yeni metrenin birim uzunluğunun sabit... üzerine dikkatle çalışıyorlar.
11. Ecole Polytechnique, ordu tarafından idare edilen bir okuldan ve dolayısıyla öğrencileri askeri geçit törenlerinde normal olarak... alırlar. Örneğin 14 Temmuz'da gerçekleştirilen Bastille... olduğu gibi.
12. Umarım müziğin akustiği ile ilgili uzmanlar, tını ve armonik... lım arasındaki meselelere burnumu soktuğum için beni affederler. Burada beni ilgilendiren konu bu değil ve eğer her şeyi ayrıntılı anlatmaya kalkışırsam tamamen kayboluruz. Ve yine umarım bu... ni, her ne kadar ilginç olsalar da, enstrümanların akort edilmesiyle alakalı sorunlara girdiğim için de affederler.
13. Bir nanometre (1nm) bir metrenin milyarda birine (10^{-9} m) eşittir. İnsan saçı yaklaşık bin nanometredir.
14. Kuantum elektrodinamiği alanında yaptığı çalışmalar nedeniyle fizik dalında 1965 yılı Nobel Ödülü'nü kazanan Richard Feynman bir keresinde, hiç kimsenin aslında kuantum fiziğini anlamadığını itiraf etmiştir.
15. Örneğin, kelebek kanatlarında veya sabun köpüğündeki renk değişiminin nedeni farklı ışık çakışmalarıdır.
16. Wolfgang Pauli, 1900 yılında Viyana'da doğdu ve Zürih'de profesör olarak işe başlamadan önce, Max Born ve Niels Bohr ile birlikte çalıştı. Ardından birkaç yılını Princeton'da geçirdi ve savaştan sonra nihayet yine Zürih'e döndü.
17. A. Sokal ve J. Bricmont. Impostures intellectuelles. Paris, Odile Jacob, 1997 [İngilizce baskısı – Fachionable Nonsense (Picador, 1999)] Türkçesi: Son Moda Saçmalar – çevirenler: Memet Baydur, ONGUN ONARAN – İletişim Yayınları, 2005.
18. S. Balibar, "Süper-akışkanlığın keşfi", *Journal of Low Temperature Physics* 146:144 (2007).

19. Poise, adını bir Fransız doktor ve fizikçisi olan ve on dokuzuncu yüzyılın başında kanın akışı üzerine çalışmalar yapan Jean-Louis Marie Poiseuille'den almış bir yoğunluk birimdir. Diğer yandan suyun yoğunluğu, poise cinsinden yüzde bir değerindedir.
20. "Die Theorie ist hübsch, aber ob auch etwas wahres dran ist?" Paul Ehrenfest'e mektubu. 29 Kasım 1924.
21. L. D. Landau, "The Theory of the superfluidity of helium II." Journal of Physics (SSCB) 5:71 (1941).
22. Bu konudaki karşılıklı mektuplarımız için bkz. Bulletin de la Societe Française de physics, 129: 18, 2001. Bu mektuplar aynı zamanda bilimsel tartışmaların arkadaşlıkları yıkmak zorunda olmadığını da göstermektedir.
23. Lev Pitaevskii, "Landau'nun süper-akışkanlık teorisinin elli yılı," Journal of Low Temperature Physics, 87:127 (1992).
24. Bu prestijli ödül daha sonra John Bardeen ve hatta Abrikosov, Laggett ve birçok diğer Nobel Ödülü kazananların yanı sıra, daha az ünlü fizikçi tarafından da alındı -ben de, tam bu elinizdeki kitabı bitirmek üzereyken bunlara dahil oldum. John Bardeen, Nobel Ödülleri'nden birini taransistörü keşfederek, sonra bir diğerini de süper-iletkenlik teorisini geliştirerek aldı. Bu ikinci ödülde, kendisinin London'a ne kadar borçlu olduğunu yad ederek, ödülden elde ettiği kazancın bir bölümünü bu vakfa hibe etti ve böylece bugün bile London Ödülü'nü kazananlar, ilaveten bir çek daha alıyorlar. Şimdi benim de bu ödülü kazanmış olmam, ödül jürisinin seçimleri konusunda bildiklerimden dolayı, sevincime elbette gölge düşürüyor. 2005 yılında Laszlo Tisza'dan aldığım bir e-postada bana, Landau'yu London Ödülü'ne kendisinin aday gösterdiğini bildirmişti. Bu büyük insan, gerçekten de kin tutmayı bilmeyen biriymiş besbelli.
25. Pierre Curie, simetri ilkesini, "Belli sebepler belli etkileri ürettiğinde, sebeplerdeki simetrik unsurlar, etkilerdekilerin yapılanmasında da görülür. [...] Belli etkiler belli asimetrileri dışa vuruyorsa, bu asimetri, onun ortaya çıkmasındaki sebepler arasında da bulunmak durumundadır," görüşüyle ortaya çıkartmıştır. Journal de Physique, 3.seri, 2 (1894).
26. "Kristal" kelimesi Yunanca'da buz parçası anlamına gelen *krustallos* kelimesinden gelmektedir. (soğutma teknolojilerine verilen "kriyojenik" sözü de aynı kökü paylaşmaktadır.

27. Akustik flütlerle ilgili bir makalemde (La Recherche 188: 36 [1981]) flütten çıkan sesin, yapıldığı malzemeye değil, borusunun şekline bağlı olduğunu yazarak birkaç flütçüyü şoke ettiğimi hatırlıyorum. Büyük Jean-Pierre Rampal, kitabında barok flütlerin tahtasını duyabildiğinizi yazar; altın flütün sesi elbette gümüş flütün sesinden daha iyidir. Ama barok flütlerin şekilleri, modern metal flütlerinkinden tamamıyla farklıdır. Dahası, flütçü iki elini birden enstrümanının üzerinde tutar ve bu nedenle de aslında titreşen içerideki havadır, flütün gövdesi değil.
28. S. Balibar, H. Alles ve A. Ya. Parshin, Helyum kristallerinin yüzeyi, Review of Modern Physics, 77:317 (2005).
29. *Il Sistema Periodico*, İngilizce çevirisi ©1984, Schocken Books, Inc.
30. Liseler için fizik programları reformuna yönelik giriş metni, 1999.
31. S. Balibar, J. Buechner, B. Castaing, C. Laroche, A. Libchaber, "Süper-akışkan 4He buharlaşması üzerine deneyler," *Physical Review* B., 18:3096 (1978).
32. Diğer bir Nobel Ödüllü bilim adamı; bu ödül de 1977 yılında verildi.
33. 18 yaşında Ruslar'a esir düşmüş olan Litvanyalı bir köylü ailesinin kızıdır ve 1712 yılında, önceleri cariyesi olduğu Çar Büyük Peter ile evlenmiştir. Çarın ölümünden sonra (1725) kısa bir süre Rusya tahtına oturmuş ve ölmeden önce de Saint Petersburg Akademisi'ni kurmuştur. 1762-1796 yılları arasında Rusya tahtına oturan ve Voltaire ve Diderot ile vakit geçirmekten çok hoşlanan II. Catherine (Büyük) ile karıştırılmamalıdır.
34. Daniel Bernoulli ve kardeşi Nicholas, Bale'de dünyaya geldi; tıpkı arkadaşları Leonhard Euler gibi onlar da, Leibniz'in arkadaşı ve büyük babaları Jacques Bernoulli'nin öğrencisi olan kendi babaları Jean Bernoulli'den matematik öğrendiler. Leonhard Euler'in babası Paul Euler de Jacques Bernoulli ile matematik çalışmaları yapmıştı. Ne aile ama...
35. 1881 yılında Budapeşte'de doğan Theodor von Karman, önceleri Aachen'da çalıştıktan sonra California'ya göçmüş ve burada 1930'dan 1960'a kadar akışkanlar mekaniği ve özellikle de uçak yapımındaki uygulamaları alanında önemli bir rol oynamıştı.
36. Gerard Jordan, Les paradoxes du capital (Paris: Odile Jacob, 1995).
37. Kutsal İncil, King James versiyonu.
38. S. Douadry ve Y. Couder, Fiziğe Dair Görüş Mektupları, 68:2098 (1992).

39. Zira, Nicolas Bourbaki liderliğinde çalışan bir grup Fransız matematikçisi, onun önerisiyle aynı şeyi yaptı.
40. "Matematiksel tepkiler", Scientific American, Ocak 1995, 76.
41. Türing her şeyden öte kendi icat ettiği "Türing Makinesi" ile meşhur olacaktı ki, bu icadı bir bilgisayar içeriğine sahipti.
42. Rakamlar için İklim Değişiklikleri Hükümetler Arası Paneli (http://www.ipcc.ch) 2007 raporuna bakılabilir.
43. Kanun 4 Ağustos 1994 günü resmileşti.
44. Elbette bu kanun yabancı yazarların karşılıklı haklarına kadar uzanmıyor; Almanlar mesela, Almanca özet koymak durumunda değil.
45. Diğer disiplinlerde de globalizasyonun farklı formlar aldığının veya evrimin öyle hızla ilerlemediğinin de gayet farkındayım. Örneğin Fransız tarihi uzmanları kendilerini Fransızca bilmeyen kitlelere açıklamaya daha az ihtiyaç duyuyorlar. Matematik alanı da sıkça İngilizceleşmek kapsamında anılıyor. Belki bunun nedeni eşitliklerin aslında bütün dillerde aynı biçimde yazılıyor olması (aşağı yukarı).
46. Bütün bunlar olurken durumdan habersiz okurlar için bir açıklama yapmak gerekirse, 2005 yılında bir euro yaklaşık 6 franka karşılık geliyordu. Bu cezaların asgari yaşama giderlerine indeksli olup olmadığını bilemiyorum.
47. Claude Allegre, "La cle de l'anglais," Le Point, 21 Mayıs 1994.
48. "L'anglais pour defendre la langua française," La Recherche, Eylül 1992; "Les chercheurs française face a la loi Toubon," La Recherche, Kasım 1994.
49. R. Balian, "Le physicien français et ses languages de communication," "Bilimde Fransızca," konulu konferanstaki sunumu, Quebec Fransız Konsolosluğu, 19 Mart 1996.
50. Renee Balibar, Le Colinguisme, "Que sais-je?" serisi (Paris: PUF, 1993); Histoire de la lirerature française, "Que sais-je?" serisi (Paris: PUF, 1993).
51. Orijinal adı Les Particules Elementaires (Temel Parçacıklar), Flamarion 1999. İngilizceye Frank Wynne çevirisi (New York: Vintage, 2001) İngiltere'de William Heinemann), p. 356.
52. Orijinal adı Extension du domaine de la lutte, (Alan Çekişmesi Uzantısı), (Maurice Nadeau 1994). İngilizceye Paul Hammond çevirisi Whatever, (Londra: Serpent's Tail, 1998).



Dizin

Abraham, B.; 105
Abrikosov, Alexei; 101-104, 214
Adem; 23, 156-157
Allen, J.F.; 89-91, 94-97, 100, 106
Alp Dağları; 33
Altın Açı; 164-166
Altın Oran; 161-162, 164-165, 167
Altın Sayı; 166
Amerikan Fizik Enstitüsü; 108, 110
Amsterdam; 89
Anderson, Carl D.; 25
Anderson, Phil; 25
Andromeda Nebulası; 9
Andronikashvili; 94
Argonne Milli Laboratuvarları; 105
arka plan radyasyonu; 15-17
asal gaz; 121, 123
asil gazlar; 123
Atlantik Okyanusu; 149
atom altı parçacık; 12
atom saati; 69
Auschwitz; 123, 189
Avagadro sayısı; 68
ayna simetrisi; 28
azot; 32, 36, 70, 121, 212

B mezon; 29
BaBar; 29
Baker Dönüşümü; 147
Balian, Roger; 199
Bardeen, John; 78, 214
Bauer, Edmond; 97
Becquerel, Henri; 34
Bekerel; 31-33, 35
Belirsizlik İlkesi; 66-68
Bernoulli Kanunu; 135
Bernoulli, Daniel; 135, 215
Binning, Gerd; 65, 120
Birleşik Devletler; 97-98, 101, 104, 171, 175, 177, 181, 184, 187, 199
biyoyakıt; 175
Bohr, Niels; 53, 92, 213
Boltzmann, Ludwig; 29, 212
Bose; 48, 50, 52-53, 57-61, 77, 79, 95, 97, 100, 103-105

Bose, Satiendra Nath; 48
bosonlar; 57, 60, 88
Bravis, Auguste; 162
Brezilya; 146
Bricmont, Jean; 88, 204
Bristol; 24, 119
Britanny Körfezi; 33
Broglie, Louis de; 53, 59
buzul çağı; 5, 45-46, 176
Büyük Patlama (Big Bang); 7, 9-11, 15, 18, 26-27, 41
Büyük Patlama teorisi; 7, 18
Büyük Sıkışma (Big Crunch); 11, 13
büyüklük kertesi; 172, 174

Callisto; 4
Cambridge; 24, 85, 89-92, 94, 130, 206
Cambridge Üniversitesi; 91
Canup, Robin; 42
Caupin, Frederic; 137
Cavendish Laboratuarı; 91, 130
CERN; 87, 106
Champs Elysees; 50
Chernobyl; 32-33, 177, 212
Chicago; 171-172
chiral; 22, 28, 212
Cockcroft, John; 94
Cohen, Daniel; 151, 153
College de France; 85, 98
Colorado; 42, 48, 77
Colorado Üniversitesi; 77
Columbia Üniversitesi; 171
Cooper, Leon; 78
Couder, Yves; 158-160, 162, 164, 167-168, 215
CRIIRAD (Bağımsız Radyoaktivite Araştırmaları Komisyonu); 32, 33
Curie, Marie; 34, 35, 99
Curie, Pierre; 111, 214

Çin; 120, 144, 181, 184, 193
çokdillilik; 201
çukurlaşma; 14, 79, 135-136

Dalga boyu; 56
Davis; 42
de Siter uzayı; 207
Dirac, Paul; 24-25, 27, 53, 57, 104, 130
Dışlama İlkesi; 70
DNA; 22, 35, 169
Doppler, Johann; 9
Doppler-Fizeau Etkisi; 10
Douady, ; 158-160, 162, 164, 167-168
Dünya; çok sayıda
Dünya'nın yaşı; 10, 38, 39, 40, 41
düzlemsel dalga; 75

Eaux et Forets; 1
Ecole Normale Superieure; 84, 99, 151
Ecole Polytechnique; 50, 213
Eğitim Bakanlığı Müfredat Konseyi; 124
Einstein, Albert; 13, 18, 24, 48, 50, 52-53, 58-61, 77, 79, 94-95, 97-100, 103-106, 127-131, 203, 213
eksoplanet; 44
El Nino kasırgası; 150
elektrodinamik; 205-206
enerji problemi; 186
Euclid; 161-162
Euler, Leonhard; 63, 215
Europa; 4

Fauve, Stephen; 154
Feigenbaum, Mitchell; 145
Fermi, Enrico; 53, 57, 104, 171-173, 187
fermiyon; 57-60, 70, 104-105

Feynman, Richard; 25, 212-213
Fibonacci serisi; 160-162, 165
Fibonacci, Leonardo; 160
Fizeau, Armand; 10
Fizik Problemleri Enstitüsü; 89, 92
fosil yakıtları; 174, 177
foton; 26, 57, 69, 127, 128
Fransa; 11, 32-33, 36, 97-98, 148, 171, 173-176, 178, 180-181, 184-185, 189, 191, 193-200, 212
Fransızca dili; 197-200, 202
frekans; 10, 54-56, 127, 140-143, 146
Fuller, Buckminster; 63

Galileo; 3-5, 24, 126, 211
Gamow, George; 15
Ganymede; 4
Genel Görelilik Kuramı; 13-14
Gezegenler; 3, 5-6, 13, 41, 44, 69, 153
Girişim örüntüleri; 74, 79
girişim saçakları; 74
Grossmann, Marcel; 127
Guthmann, Claude; 119, 131
Güneş; ix, 3-7, 11, 14, 18, 25, 36, 41, 45-46, 65, 67, 69, 72, 123, 145-146, 149-150, 171, 175-176, 181, 186
Güneş enerjisi; 184-185
Güneş Sistemi; 10, 12, 38, 40, 42, 44, 47, 153-154

Hartmann; 42
Havva; 23, 157
Hawking, Stephen; 206
Heisenberg, Werner; 53, 66-68, 98
Helyum, Helyum I, Helyum II; 15, 31, 36, 39, 57, 58-59, 70, 78-79, 85-87, 89, 90-92, 95-97, 100-102, 104-106, 108, 111, 117-119, 121-124, 128-[illegible], 143-144, 181-182, 215
Henri Poincare Enstitüsü; 92-93
Hertz, Heinrich; 130
hidroelektrik; 175
hidrojen; 12, 24, 26-28, 46, 65-66, 68, 70, 105-[illegible], 186-187
Hindistan; 40, 44, 161-[illegible]
Hiroshima; 34, 171
Hollanda; 78, 97, 119-[illegible], 200
Homo Sapiens; 38-40
Houellebecq, Michel; 200
Hubble, Edwin; 9
Hugo, Victor; 39

Io; 4, 41
Irak; 177
ışık; 4, 6-8, 10-12, [illegible], 32, 47, 56-57, 62-69, [illegible], 89, 119, 125, 127-128, [illegible], 139, 176, 211-214
ışık frekansı; 66
ışık kuantumları; 26
ITER; 70, 112, 181-184
İkinci Zaman; 44
İngilizce dili; 198-199
iridyum; 43-44
irrasyonel sayı; 166

Jacques, Jean; 39
Japonya; 181
Jones, Harry; 96-97
Jordan, Gerard; 151-[illegible]
Journal of Low Temperature Physics; 89, 214-215
Jüpiter; 3-5, 41
Kamerlingh, H[illegible]
kaos; ix, 145
Kaotik sayı serileri; 11

Kapitza Enstitüsü; 85, 92
Kapitza, Piotr; 78, 85, 89-95, 100, 102, 106
kara delik; 14, 30, 38, 206
karanlık enerji; 16-18
karanlık madde (dark matter); 12-13, 16
Karman, Theodor von; 215
Katolik Kilisesi; 4
Keesom, Willem; 89, 119
Kelebek etkisi; 146
Kepler; 161-162
Ketterle, Wolfgang; 59, 61-62
Kharkov; 92, 100
Kiev; 177, 189
Kirchhoff; 52
Kopenhag yorumu; 53
Kopernik; 6
kozmik mikrodalga; 15
kozmolojik sabit; 18
Kraliçe I. Catherine; 135
kristaller; ix, 22, 108, 115-116, 122, 127
Kristeva, Julia; 88
kuantum fiziği; 52-53, 56, 62-63, 66, 68, 70-71, 76, 80, 83, 88, 92, 204, 213
kuantum hali; 57, 70
kuantum mekaniği; 17, 24, 65-66, 68-69, 71, 74, 80, 83, 140
kuantum parçacığı; 55, 57, 67, 71, 83
Kurie, F.N.F.; 36
Kuzey Kore; 181
Küresel ısınma; 175, 177
Küveyt; 177
Kyoto Anlaşması; 187

Lacan, Jacques; 88
Lambda noktası; 89-90
Landau, Lev; 89, 92-93, 96, 98, 100-106, 119, 128-129, 146, 214
Langevin, Paul; 97-98
Laskar, Jacques; 145
lazer; 56, 66, 74, 76, 80, 108
Le Corbusier; 161
Le Monde; 32
Lee, T.D.; 28, 105
Leggett, Tony; 103
Leiden; 78, 89, 92, 119
Lemaitre, Georges; 9
Levi, Primo; 123
Libby, Willard Franck; 36
Libchaber, Albert; 85, 143-145, 215
Lifshitz, E.M.; 102, 104
lityum; 70, 182
London, Fritz; 96-98, 100, 103
Lord Kelvin; 38
Lorenz, Edward; 146
Luc Ferry; 124
LUCA (Last Universal Common Ancestor); 23, 60, 140, 164
Lucy; 38

Madam Curie Enstitüsü; 84
Mars; 6, 42, 46
Massachusetts; 48, 208
Massachusetts Inst. Tech.; 77, 98-99
Maurer, Jean; 143-145, 148
Maury, Jean Pierre; 3
Maxwell, James Clerk; 91, 125, 127, 130
Meksika; 43
Mendeleev; 85, 91
Mercantour; 32-33
Merkür; 13
Misener, A.D.; 89, 91, 94-95
Misterlich; 22
Molotov; 93
Mond Laboratuvarı; 89, 91-92, 94
Mond, Ludwig; 91
Moskova; 85, 89-92, 94, 119, 181, 190
MOX; 179

Nagasaki; 34, 171
nanometre; 56, 65-66, 68, 213
Nature; 89-90, 93-94, 96-97, 99-101
Neptün; 6
New York; 171, 205, 216
Newton; 11, 24, 65, 91, 206
nötrino; 12, 212
nötür K mezonları; 29
nükleer enerji; 33, 35, 173-175, 177-178, 180
nükleer enerji santrali; 174
nükleer kış; 43
nükleer reaksiyon; 11, 32, 39, 181

Ohm Kanunu; 51-52
Olbers, Wilhelm; 8
Oppenheimer, Robert; 25
Orsay, Pawel Pieranski; 122
Orta Doğu; 177
Osborne, D.W.; 105
Osheroff, Douglas; 105
Oxford; 92, 100
Ozon; 36, 46

Paris Üniversitesi; 3, 111
parite; 28
Pasifik Okyanusu; 150
Pasteur; 22
Peierls, Rudolf; 90, 94
Penzias, Arno; 15
Perin, Jean; 97, 126
Periyodik Tablo; 50, 86, 123
Physical Review; 192, 215
Physics Today; 108, 110
Pitaevskii, Lev; 104, 214
Planck sabiti; 127
plutonyum; 179-181
Plüton; 6
poise; 90, 214
Polykristalize silikon toplayıcılar; 185
Pomeau, Yves; 103

radyoaktivite; 31, 32-39, 42, 47, 171, 178-179, 213
rasyonel sayı; 166
Richardson, Bob; 105
Rohrer, Heinrich; 65, 120
Rolley, Etienne; 119
Rorschach testi; 19-20
Rouan, François; 116
rue Lhomond; 35, 85-86, 109
Ruelle, David; 145
Rusya; 181, 189, 197, 215
Rutheford, Ernest; 39

sağlak ve solak moleküller; 24
Sakharov, Andrei; 28
Samanyolu; 38, 211-212
Satürn; 7, 41
Schrieffer, Robert; 78
Schrödinger, Erwin; 24-25, 53, 71, 73, 76, 83, 97, 131
Science; 49-52, 62
sera etkisi; 175-176
sera gazları; 151, 176, 184
sıcak plazma; 182
silikon güneş toplayıcı; 185
simetri; 17, 21-22, 24-29, 111, 133, 214
Sokal, Alan; 88, 204
Soros, George; 152
spin; 25, 57, 71-73, 212
SSCB'de Fizik; 100
Stalin; 85, 91-94, 100
Stanford Üniversitesi; 26
Stewart, Ian; 165-166
Stockholm Akademisi; 50
Suudi Arabistan; 177
süper simetri; 17
süper-akışkan; 77-80, 85, 87-90, 95-96, 99-106, 128, 213-215
Süper-iletken; 58, 77-80, 90, 104-105, 214

Takens, Floris; 145
Tayf; 10
Teksas; 146
teleskop; 3, 6, 44
termal çalkantı; 59
termonükleer kaynaşma; 181
Tevrat; 38, 156
thoryum; 181
Tisza, Laszlo; 96, 98-106, 214
TNT; 43
Toronto; 92, 94
Toubon kanunları; 193
Toubon, Jacques; 193
Treiner, Jacques; 86, 126
Trityum; 105, 181-183
türbülans; 90-91, 95, 125-126, 140-141, 143, 147, 152
Türing, Alan; 168

Uddin, M.Z.; 90
Ukrayna; 93, 178
Uluslar Arası Uzay İstasyonu; 183
Ulysses; 174
Uranüs; 6
uranyum; 39, 180-181

Üçüncü Zaman; 43

vakum; 87, 130, 182
Venüs; 4
Vinci, Leonardo da; 161-162
Vitruvius man; 162

Washington; 146
Weinstock, B.; 105
Weyl, Hermann; 25
Wilson, Ken; 132
Wilson, Robert; 15
World Wide Web; 87
Wu, C.S.; 28

Yahova; 157
yakıt hücreleri; 186-187
Yang, C.N.; 28
Yaradılış; 156, 167

Zeilinger, Anton; 77



İnsan Evren'in neresinde? Atomların içinde neler oluyor? Einstein her zaman haklı mıydı? Yakın gelecekte Evren'de başka yaşam formları bulacak mıyız? Global ısınma konusunda neler yapılmalı? Günümüz fizik dünyasının önde gelen otoritelerinden Sébastien Balibar, kendi yaşamından öyküler kullanarak fizik biliminin en düşündürücü güncel sorularını aydınlatıyor. Atom ve Elma, çevremizde gördüğümüz ancak gerçekte pek az anlayabildiğimiz konular yoluyla gündelik hayatın fenomenleri üzerinden heyecan verici bir maceraya dönüşebileceğini gösteriyor.

Balibar, fiziğin keşif sahası kapsamındaki on iki problemi irdeliyor ve kitabın her bir öyküsünde bunlardan birini işliyor. Kaos teorisi, kozmoloji, akışkanlar mekaniği ve klimatoloji (iklim bilim) gibi alanlara bakıyor. Dünya'nın yaşını nasıl bulduğumuzu, Evren'in giderek hızlanan biçimde genişlediğini nasıl bildiğimizi ve çam kozalaklarının ve ayçiçeklerinin spiral yapılarının neden matematikteki Altın Oran ile alakalı olduğunu açıklıyor. Atomların birlikte davranışlarının nasıl olup da lazer ışınları, süper-iletkenler veya süper-akışkanlar gibi kuantum fiziğinin muazzam sonuçlarını yaratabildiklerini dikkatle inceliyor. Balibar, bizleri bir yandan doğal dünyadan bir seçkiyi incelemeye davet ederken, bir yandan da çocukluk çağı ve tutkuyla bilime adadığı kendi yaşamından kesitler sunuyor.

Sébastien Balibar, halen Paris'deki École Normale Supérieure'da profesör.

"Bu kitap, fiziğin tarihi ve uygulamaları üzerine adeta iştah kabartıcı bir açık büfe; okuldayken bu konuları ürkütücü bulanlar için bile rahatça okunabilecek bir kaynak. Balibar muazzam bir tur rehberi!"

– TONY LEGGETT, *Illinois Üniversitesi*

"Atom ve Elma, sadece bazı çağdaş problemleri derinlemesine incelemekle kalmayıp, gündelik fenomenlerle de ilgileniyor. Balibar, fiziğin keşif alanlarında araştırma yapmanın muhteşem ve büyük bir macera olduğu bilgisini yaygınlaştırıyor."

– PIERRE A. PIROUÉ, *Princeton Üniversitesi*

"Balibar yazmış... araştırmacı olarak çalışmak üzerine, tecrübelerden yola çıkılarak gerçeklerin basit açıklamalarının yapıldığı ve herkese hitap eden problemlerin ele alındığı mükemmel bir kitap. Yazarın tavrı çok dürüst, eğlenceli ve önemli."

– La Recherche

ISBN 9944-344-86-9
9 789944 344869