

Keyifli Okumalar Dileriz

Binlerce kategoride milyonlarca PDF e-kitap, ders kitapları, dergiler ve romanlara platformumuz üzerinden ücretsiz ulaşabilirsiniz.

RESMİ WEB SİTEMİZ

<https://rantey.org>

Yedek ve Duyuru Kanallarımız

Sitemize erişim engeli gelmesi veya adres değişikliği durumunda aşağıdaki kanallardan güncel giriş adresine erişebilirsiniz:

- Telegram: <https://t.me/birkitapbir>
- WhatsApp Kanalımız : <https://whatsapp.com/channel/0029VbDHv8uE50Us4lvMoc0Y>

Kırılğan Nesneler

Pierre-Gilles
de Gennes

Jacques Badoz



5. Basım

Kırılğan Nesneler P. G. de Gennes • Jacques Badoz



KIRILGAN NESNELER

Pierre-Gilles de Gennes

Jacques Badoz

Kırılğan Nesneler / Les Objets Fragiles

Pierre-Gilles de Gennes - Jacques Badoz

Çeviri: Anahid Hazaryan

Türkçe metnin bilimsel danışmanı: Prof. Dr. Ayşe Erzan

© Plon, 1994

© Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, 1997

Bu yapıtın bütün hakları saklıdır. Yazılar ve görsel malzemeler,
izin alınmadan tümüyle veya kısmen yayımlanamaz.
Türkçe yayın hakları Kesim Ajans aracılığı ile alınmıştır.

*TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları'nın seçimi ve değerlendirilmesi
TÜBİTAK Yayın Komisyonu tarafından yapılmaktadır.*

ISBN 975 - 403 - 141 - X

İlk basımı Aralık 1998'de yapılan
Kırılğan Nesneler
bugüne kadar 10.000 adet basılmıştır.



5. Basım Haziran 2003 (2500 adet)

Yayınlar ve Tanıtım Daire Başkanı
Şefik Kahramankaptan

İşletme Müdürü
M. Kemal Bostancıoğlu

Kapak Tasarımı: Aytaç Kaya
Sayfa Düzeni: Yılmaz Özben

TÜBİTAK
Atatürk Bulvarı No: 221 Kavaklıdere 06100 Ankara
Tel: (312) 427 33 21 Faks: (312) 427 13 36
e-posta: kitap@tubitak.gov.tr
İnternet: kitap.tubitak.gov.tr

Asır Matbaacılık Ltd. Şti. - İstanbul

Kırılğan Nesneler

Pierre-Gilles
de Gennes
YAKINIKI BİLİMİN EN İYİ ANLATILAN KİTAPLARI
Jacques Badoz

ÇEVİRİ
Anahid Hazaryan

TÜBİTAK POPÜLER BİLİM KİTAPLARI

İçindekiler

Giriş	I
I. Bölüm	
Yumuşak Madde	1
<i>Kızılderilinin çizmesi ve Bay Goodyear</i>	1
<i>Şehriye çorbası</i>	6
<i>Hortumsuz sifon ve hızlı gemi</i>	19
<i>Mısırlı yazıcılar, arapzamkı</i>	
<i>ve çini mürekkebi</i>	34
<i>Sıvı kristaller ve balık sürüsü</i>	46
<i>Nesnelerin yüzeyinde: Islanma ve kuruma</i>	62
<i>Kabarcıklar ve köpükler</i>	86
<i>Kırılğan nesneler</i>	109
II. Bölüm	
Araştırma	113
<i>Araştırmacılık mesleği</i>	113
<i>Keşif</i>	130
<i>Pozitif bilim</i>	148
<i>Çevre</i>	158
III. Bölüm	
Eğitim	173
<i>Gerçeğin pedagojisi</i>	173
<i>Matematik İmparatorluğu</i>	192
<i>Biraz oksijen</i>	202
<i>Yeni sancaklar</i>	209
Son Notlar	215
Sözlük	217
Teşekkür	223

Giriş

Okul çocuklarına masallar

Bu kitap Fransa'daki ve denizaşırı ülkelerdeki liselere yapılan bir yolculuğu anlatmaktadır.

Çok uzun zamandan beri lise öğrencilerine hitap etmek istiyordum. Ancak bu mümkün değildi. Ben kendim de Fransa'da, (biraz şatafatlandırılarak) büyük bir okul olduğu söylenen –küçük bir büyük okul da diyebiliriz– Fizik ve Kimya Okulu'nun (École de physique et chimie) müdürüyüm. Eğer bir lise müdürüne, öğrencilerine konferans vermeyi önerecek olsaydım, bana, haklı olarak, bunun okulum için *gizli bir propaganda* anlamına geleceğini ve bu nedenle ziyaretimin mümkün olmadığını söyleyecekti.

Ancak kaderde, Nobel Komitesi'nin bana bir ödül vermesi varmış; böylece, 1991 yılının sonlarından itibaren, kendiliğinden liselere davet edilmeye başladım. Bu davetler çoğu kez öğrencilerin doğrudan girişimiyle gerçekleşti. Bazen bu davetler öğrencilerin oluşturdukları dernekler ve bilim kulüpleri vb. aracılığıyla iletildi; bu gençlere girişken öğretmenleri de yardım ediyorlardı.

Böylece, dialarımı kolumun altına alarak araştırmacılarımın yaşamını anlatmak üzere yola koyuldum; amacım onların birbirlerine ne tür sorular sorduklarını, çalışmalarında nasıl bir biçim benimsediklerini, başarılarını, başarısızlık-

larını, tartışmalarını, yanılgılarını göstermekti. Bilimin ilerlediğini duyumsatmak ancak, aynı zamanda, çalışmaların düz bir çizgi üzerinde yürümediğini, bu sürecin zikzaklar, tuzaklar ve beklenmeyen kestirme yollarla dolu olduğunu gözler önüne sermek, araştırmacının peygamber ya da olağanüstü yeteneklere sahip bir bilgin olmaktan çok –genellikle ikircimli ve yorgun– bir kâşif olduğunu anlatmaktı.

İlk ziyaretlerimden itibaren büyük bir mutluluk duygusu içimi doldurdu. Üstelik araç gereç eksikliğinden kaynaklanan sıkıntılara rağmen mutluydum. Ses donanımından bütünüyle yoksun salonlar, diyapozitiflerin gösterilememesi, bir pul büyüklüğündeki ekran... gibi ayrıntılar, özellikle uzak bir banliyöde bin ya da iki bin hevesli çocukla karşılaştığınızda daha da önem kazanıyor.

Ama yine de her şeye rağmen çok mutluydum çünkü daha ilk sözcükleri söyler söylemez büyü- lü bir sessizlik oluşuyor ve bir akımın geçtiği hissediliyordu. Anlattığım öykü bittiğinde ise sıra tartışmaya geliyordu. Tartışmayı başlatmak her zaman zordur (özellikle de o bölgenin yetkilileri bulunuyorsa). Ancak biraz üfledikten sonra ilk kıvılcımlar görünüyor ve insan kendisini bir kor yığınının ortasında buluyordu: Tam 1-2 saat süren bir soru yağmuru!

Önce, kauçuğun ya da tutkalın şu ya da bu özelliğiyle ilgili biraz teknik noktalar, daha sonra ise daha büyük çaplı amaçlar dile getiriliyordu:

- Araştırma için hangi yöntemleri izlemek gerekiyor?

- Tek bir araştırmacı tipi var mı?

- İyi matematik bilmek şart mı?

- Liselerimizdeki öğretim düzeyi nasıl?

Ve yavaş yavaş, tam anlamıyla genel sorulara geçiliyordu:

- Niçin bilimle uğraşmalı?

- Tehlikeleri nelerdir?

- Bizi çevreleyen dünyayı derinlemesine değiştirmek iyi bir şey mi?

En son ise şu sorular gündeme geliyordu:

- Bu dünya nedir?

- Nereden geliyoruz, nereye gidiyoruz?

- Evrende başka yaşam türleri var mı?

- Öteki dünya var mı?..

Bu tür sorular insana meydan okuyor; bunların yanıtını kimse tam olarak bilmiyor fakat yine de bu soruların sorulması gerekiyor. (Bu noktada felsefeyi, bana yabancı olan bir bilimi tanımlıyorum).

Ancak her şeye karşın, bir grupta beraber düşünmek, hep birlikte bazı şeyleri yoklamak ne büyük bir zevk!

Bu tartışmaların önceden kestirilebilir diğer bir yönü ise eğitimle ilgiliydi; nitekim, konuşmalarımın başından itibaren Fransız sisteminin eksiklikleriyle ilgili kışkırtıcı cümleler ortaya atmaya başladım. Bu sözlerime tepki geldi: (oyunu sürdüren) öğrenciler ve (topu taca atan) öğretmenlerle (topu olabildiğince geri göndermeye çalışan) benim aramda bir tür üçgen oluştu.

Ziyaretlerim çoğu kez başka yönlerde de sekiyordu: Örneğin, sınıflardan biri güzel bir deney, diğeri ise sergi ya da atölye hazırlamış oluyordu. Bazen küçük gruplar halinde laboratuvarlarda, çimenlerin üzerinde ya da birkaç kadeh bir şeyler içerken daha rahat konuşabilme olanağı doğuyordu.

Ne de çok anı birikti!

Büyük klasik liselerden daha küçük, genellikle de daha canlı meslek liselerine uzanan bir sürü anı! Örneğin, gençlere plastik malzeme üretiminin öğretildiği Rochefort aklıma geliyor. Rochefort'da konuşmam için yeterince büyük bir oda yoktu. Bu nedenle makinelerin bulunduğu yerde konuştum; öğrenciler bir tarafta, mavi giysiler içindeki teknisyenler diğer tarafta toplanmıştı; bu ortam bana Jules Verne'i anımsattı.

Ayrıca Asnières Lisesi'ni de kesinlikle unutamam; burada en uygun yer tiyatro salonuydu (hevesli bir müdür tarafından düzenlenmişti). Bu tiyatro o kadar dolmuştu ki, konuşurken sürekli yürüdüğüm için sahnede yerlere çömelmiş olan dinleyicilerimin üzerinden atlamak zorunda kalıyordum.

Bu öyküde pek çok tiyatro salonu var: Nancy'deki ya da Besançon'daki klasik ve sevimli salonlar, geçmiş zamanlardaki gibi düzenlenmiş sinemalar ve hatta stadyumlar; bunlar arasında ünlü Orthez ya da Martinik'teki Lamentin stadyumlarını sayabilirim. Antiller'deki çocukların cesaretle ve coşkuyla sordukları soruları ya da pratik çalışmaların yapılabileceği çok basit bir laboratuvarın açılışını, on altı yaşındaki bir öğrencinin burada gerçekleştirdiği deneyi nasıl unutabilirim?

Böylece bir sürü anı biriktirdim. Ancak bir noktada kesmek gerekti; bunalmıştım ve bitkindim; bu nedenle, istemeyerek de olsa, son bir yıldır tüm davetleri reddetmek zorunda kaldım. Kısacası, aktif, sempatik ve yaratıcı 150 liseli gruba "hayır" dedim.

Ancak anıları kalıcı kılmaya çalışmadan yaşamımın bu mutlu sayfasını kapatmak mümkün değildi; böylece bu öykülerin bir kitapta derlenmesi fikri doğdu. Bu biraz safça bir girişimdi. Elimde pek çok belge vardı: ses kayıtları, fotoğraflar, video filmleri (bunlar hep konuşmacıyı yakalar ama onun ilham aldığı görüntüleri hiç kaydetmezler). Bu aşamada, bana destek olacak bir arkadaş bulmam büyük bir şanstı. Bu kişi, aynı zamanda Fizik ve Kimya Okulu'nda öğretmen olan Jacques Badoz'du. Badoz, bu küçük yolculuklarla ve özellikle de bu yolculukların yol açtığı tartışmalarla ilgilendi. Tüm metinleri topladı ve yeniden gözden geçirdi. En önemli eksik gedikleri belirledi ve bu dağınık parçalardan bir bütün oluşturdu. Bakış açısı da benimkine çok yakındı; bu nedenle, büyük bir hızla ve birbirimizle çatışmadan çalıştık.

Şimdi bu noktada durmalı ve sevgili okuyucularımı uyararak (çok daha büyük bir duygusal Yolculuğun yazarının yaptığı gibi) onlara bu sayfalarda neler *bulamayacaklarını* söylemeliyim:

Lise öğrencilerinin sorularını sınırlı kaynaklarının elverdiği kadar içtenlikle ve düşüncelerime göre yanıtladım. Örneğin, herhangi bir çevre sorunuyla ilgili bir görüş ortaya attımsa, kendi başına bir kitabı gerektirecek ayrıntılı bir çözümlemeye girişmedim. Bu kadar geniş çaplı bir konuda fikir edinmek isteyenler Zaher Massoud'un, Claude Allègre'in ya da (en yenisi) Gérard Lambert'in yeni çıkan kitaplarına başvurabilirler.

Kısacası burada çağdaş sorunlarla ilgili rakamlar, istatistikler ya da ayrıntılı veriler bulmayı ümit etmeyin. Bu kitap bir anı derlemesinden başka bir şey değildir!

VI • Giriş

Üstelik anılar da sağlam temellere dayanmıyor: Gençlerin özel soruları çoğu kez kaydedilmediği için bunları aynen koruyamadık. Bu soruları toparlamak, düzeltmek ve de değişik dileyici toplulukları önünde dile getirilen aynı konuyla ilgili yanıtları yoğurmak zorundaydık. Bundan dolayı, söyleşi doğaçlama özelliğini yitirdi. Ancak sayfalarımızda, bu liselerde var olan merak ve coşkunun “küçük alevi”ni olabildiğince korumak istedik.

Pierre-Gilles de GENNES

I. Bölüm

Yumuşak Madde

Kızılderilinin çizmesi ve Bay Goodyear

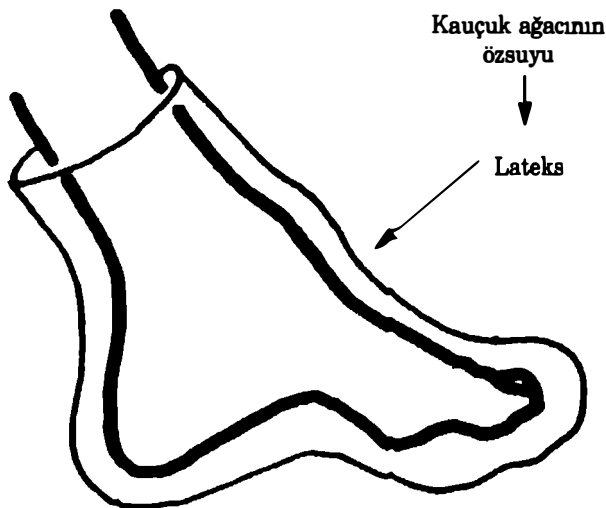
Uzun zincirli moleküllerden, yani polimerlerden [1]* söz edebilmek için bir Amazon deneyini aktarmak hoşuma gidiyor. Amazon Kızılderilileri kauçuk ağacının özsuyunu –karahindibanınki gibi gibi beyaza çalan bir tür su– çıkararak ayaklarına sıvarlar. Başlangıçta, sıradan bir sıvı olan kauçuk ağacının özsuyu akışkandır; ancak yirmi dakikalık bir süre sonunda donar ve Kızılderili, böylece, bir çizmeye kavuşur (Şekil 1)!

Bu dönüşüm ilginçtir. Kızılderililer'in beş bin yıl önce yaptıkları bu kurnazca keşfin, bugün nasıl anlaşıldığını açıklamaya çalışarak söze başlayacağım.

Başlangıçta sıvı olan kauçuk ağacı özsuyu ya da *lateks* uzun zincirli *moleküller* [1b] içerir; bunlar az çok, şehriye çorbasının içindeki çok esnek, çok yumuşak şehriyeleri andırırlar. Yediğimiz şehriyelerin boyu 100.000 kez küçültüldüğünde lateksin yapısıyla ilgili bir fikir edinilebilir.

Kızılderili ayağını bir sıvı ile kapladıktan sonra yeni bir etmen devreye girer: Bu, havadaki oksijendir. Oksijen oldukça önemli bir tepkimeye yol açarak bazı noktalarda *zincirleri birbirlerine*

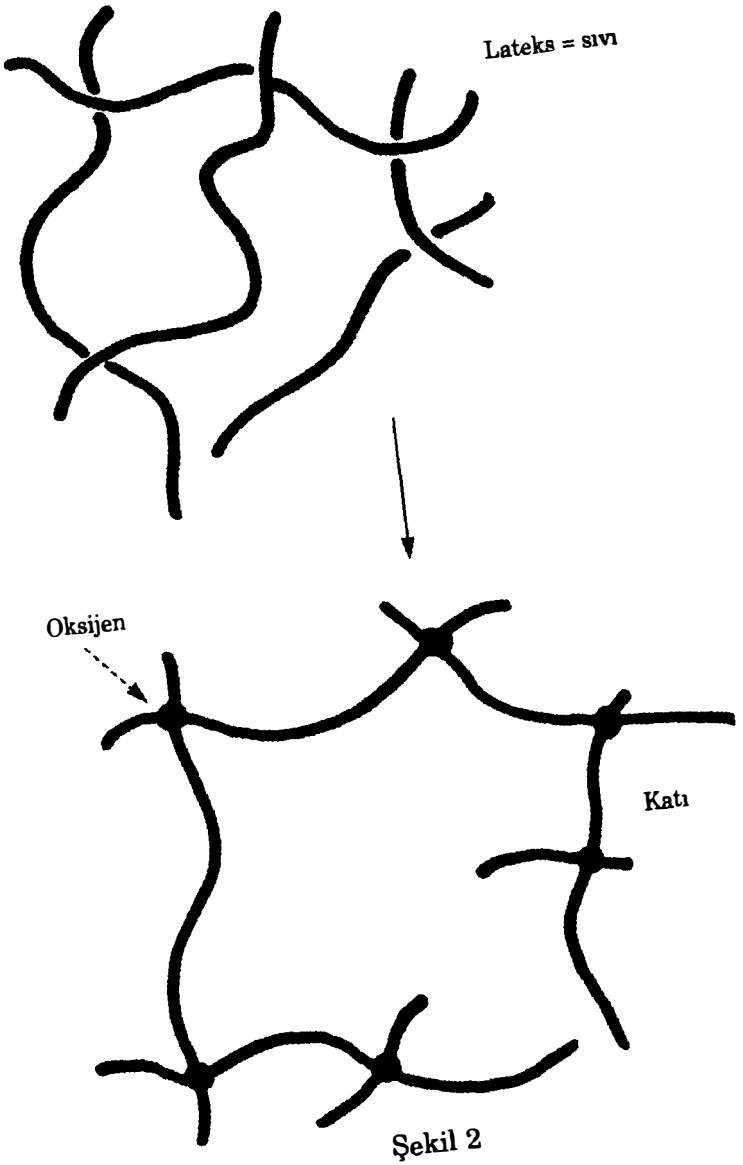
*Köşeli ayraçlar, örneğin [1], kitabın sonundaki sözlük bölümüne gönderme yapmaktadır.



Şekil 1: Kızılderililerin yaptığı deney

bağlar (Şekil 2). Bir tabak şehriyenin içinden bir tanesi kolaylıkla çekilip yutulabilir. Ancak bunları birkaç noktadan birbirlerine bağlayınca böyle bir şey artık olanaklı değildir; aralarından biri çekildiğinde tümü hep birlikte karşı koyar: artık, *sıvıdan katı duruma geçilmiştir*.

Ancak bu katı madde biraz özeldir. Bu yapının içine birkaç *atom* [1a] ölçeğinde çok küçük bir balık yerleştirecek olsam havadaki oksijenin etkimesinden önceki ve sonraki durumları ayırt edemem. Her şey aşağı yukarı aynı şekilde hareket edecek ve söz konusu madde hâlâ bana akışkan gözükecektir. Sonuç olarak kıızılderilinin ayağında, ayakkabı işlevini üstlenen nesne büyük ölçekte katı, küçük ölçekte ise akışkandır. İşte bu, *kauçuk* adı verilen maddedir. (Bu arada, sözünü ettiğim küçük araştırmacı balığın da imgesel olmadığını belirteyim; bu, moleküllerin bazı



çekirdeklerinin içerdği küçük bir mıknatıstır. Birkaç *angström* [2] ölçeğindeki bir molekülün çok yakın çevresini araştırmamızı sağlar. “Nükleer manyetik rezonans” bu küçük atomik mıknatıslar tarafından yayılan sinyalleri araştırır ve kauçuğun hâlâ yer yer sıvı olduğunu doğrulamamızı sağlar).

Kızılderilinin çizmesi dâhiyane olmasına karşın çok tatmin edici sayılamaz çünkü bu lateks sıvası bir gün içinde dağılmaktadır! Dağılmasının nedeni ise şudur: Havadaki oksijen, zincirleri birbirlerine bağlarken ilk önce yararlı bir tepkime üretir. Ancak aynı zamanda, yeterince etkin olmasından dolayı yapı üzerinde kimyasal etkisini sürdürür ve ikinci aşamada zincirleri *keser*. Bu durum, elimizdeki makasla bir balıkçının ağındaki düğümleri rasgele kesmemize benzetilebilir. Bir anda ağ kendini koyverir. Kızılderilinin çizmesinin başına gelen de budur; böylece çizmenin şekli bozulur ve her şey berbat olur.

Bu sorun, 1849 yılında bulunan bir yöntemle giderilmiştir. Bu buluşu, adını herkesin bildiği bir Amerikalıya borçluyuz: yani Goodyear.

Basit bir nedenden kaynaklanan önemli sonuçlar

1849’da kimyada baş döndürücü gelişmeler yaşanmaktadır. Bu dönemde kimyacılar, pek çok yeni molekül üretmeye başlarlar; her şeyi az çok denerler, her şeyin birbiri üzerindeki etkisini ölçerler... Bunlardan özellikle Charles Goodyear (1800-1860) sırf meraktan, kauçuk ağacının lateksini alıp kükürtle beraber kaynatmaya karar verir. Lateksin ne olduğu hakkında hiçbir fikri olmayan Goodyear’ın bildiği tek şey bunun kar-

bon ve hidrojen içerdigiidir. Uzun zincirli moleküllerin varlığı kavramı ona tamamen yabancıdır. Ancak dener... ve ilerleme kaydeder. Aynı zamanda hem esnek hem de sağlam, siyaha çalan bir madde elde eder: Bu, *doğal kauçuktur*. Goodyear'den bir buçuk yüzyıl sonra bu kauçuk, endüstriyel üretimin temel direği olma niteliğini korumaktadır. Sıradan bir otomobilin basit bir lastiği değişik işlevlere sahip yaklaşık on altı elastik katman içerir; bu on altı katmandan çoğu günümüzde bile hâlâ Goodyear'in doğal kauçuğundan yapılmaktadır.

Goodyear'in kükürt kullanma fikrine nasıl vardığı kesin olarak açıklanamamakla beraber başarısının anahtarı bilinmektedir. Kükürtle oksijenin kimyasal özellikleri az çok aynıdır –ikisi de “*elementlerin periyodik tablosu*”nda [4] aynı sütunda yer alır– ancak kükürt daha az reaktiftir. Zincirleri bazı noktalardan birbirlerine bağlayabilir fakat onları kesecek kadar etkin değildir. İşte, doğal kauçuğun uzun ömrünün sırrı burada yatmaktadır.

Bu ürünle ilgili son bir düşünceyi daha belirtelim. Kükürtle tepkiyen karbonlar (C) sayıldığına, örneğin 200 karbon atomundan yalnızca bir (C) atomunun tepkidiği görülür. Bu kimyasal tepkime son derece zayıf olmasına karşın fiziksel durumda bir karmaşa yaratmaya yeter ve sıvıdan katı şekle geçilmesine yol açar: İşte bu kauçuktur. Heykeltıraşın başparmağını hafifçe bastırarak kilin biçimini değiştirmesi gibi bu olgu da maddenin *zayıf dış etkilerle* değişikliğe uğrayabileceğini kanıtlamaktadır. İşte “yumuşak madde”nin esas tanımını budur.

Kauçuğun öyküsü, bakanlık “yetkilileri” önünde hiçbir zaman anlatılmamalıdır: Onlara genellikle “Yeni malzemeler hazırlamak için ilk önce maddenin yapısı anlaşılmalıdır; bu işlem de pek çok araştırma gerektirir. Ancak daha sonra, belli bir uygulama için aranılan özelliklere sahip doğru malzemeyi oluşturabiliriz” türü bir söylem yöneltiriz. Bu düşünce biçimi bazı durumlarda geçerlidir (yarıiletkenler, lazer) [3] ancak doğal kauçuk örneğinde olduğu gibi pek çok kez, pratik buluş, olgunun kavranmasının çok önünde gitmiştir.

Şehriye Çorbası

Biz yine doğal kauçuğumuza dönelim. Daha önce de belirttiğim gibi Goodyear 1849’da, ne mucizevi ürününün oluşumu ne de uzun zincirli moleküllerin –polimerler ve makromoleküller– varlığı hakkında herhangi bir fikre sahipti. Ancak kendisi bu konuda yalnız sayılmazdı; o dönemde kimyacılardan hiçbiri bu tür bir ürünle ilgilenmiyordu; yanlışlıkla böyle bir kimyasal yapı elde edecek olsa onu lavaboya atardı. İşte, bu ciddi yanılğı elli yıllık bir kayba yol açtı.

Bu tavır nasıl açıklanabilir? 19. yüzyılda bir kimyacı yeni bir bileşiği hazırlamaya çalışırken, bilinen iki bileşiğin birbiri üzerindeki etkisini denerdi. Kuşkusuz, ortaya çıkacak ürünün –aradığı budur– ne olacağını tam anlamıyla bilmez ancak en çok, onun birkaç katı kadar atom içeren (başlangıç ürünlerinin kapsadıklarına

yakın bir sayı) bir madde elde edeceğini sanırdı. Her molekülünün bir milyon atom içereceği bir bileşikle karşılaşacağından habersizdi! Ayrıca günümüzdeki kimyacılarla karşılaştırıldığında bir tane mi yoksa birden çok ürün mü oluşturduğunu bilecek donanımdan yoksundu. O dönemdeki uygulama, saf bir cisim elde edinceye kadar son ürünün birçok kez kristalleştirme ve damıtım işlemleriyle arıtılması yöntemine dayanmaktaydı. Safılık ilkesinin başlıca ölçütü ergime noktasıdır. Saf bir madde elde edilmişse bu belli bir ergime noktasına sahiptir: Söz konusu madde ısıtıldığında tam olarak belli bir sıcaklıkta katı halden sıvıya dönüşür. Ancak bu bir karışımsa durum farklıdır; madde bir sıcaklıkta erimeye başlayıp, koca bir sıcaklık aralığında tamamıyla sıvı haline gelir.

İşte, bu ölçütü temel alan kimyacımız böylece üzerinde araştırmalarını sürdürebileceği saf cisimleri seçiyordu.

Öte yandan, uzun zincirli moleküllerin genelde kesin bir ergime noktası yoktur; bu moleküller tam anlamıyla kristalleşmeyi reddederek ısıtıldıklarında az çok cam gibi davranırlar. Katı madde sıvıya dönüşmeden önce yumuşamaya başlar ve katıdan sıvıya geçiş oldukça geniş bir sıcaklık yelpazesinde meydana gelir.

19. yüzyılda kimya biliminin benimsediği safılık ilkesinin ölçütleri nedeniyle bu moleküller kabul edilmemişler ve o çağdaki kimyacılar bunlarla ilgilenmemişlerdi.

Öykünün bu bölümünden bir ders çıkarılabilir. Öğretimde her zaman fizik ve kimya olgularını yasalar, öğretiler ve kurallar öne sü-

rerek açıklamaya çalışırız. Bunlar, pek çok bilgiyi birkaç önerme içinde toparlayabildikleri için gereklidirler. Ancak aynı zamanda insan özgürlüğünü ve konuya mesafesini korumalı, bazı anlarda kendi kendine yeni baştan sorular sorabilmelidir. Örneğin, “Elde ettiğim bu madde, incelediğim bu olgu şimdiye dek öğrendiklerimize uymuyor. Bu basit bir deney hatasının meyvesi mi ve biz bunu yok saymakta haklı mıyız, yoksa yeni bir özelliği anlayabilmek için bunu başka bir açıdan mı gözlemlemeliyiz?” diyebilmelidir.

Biz yine polimerlere dönelim. Uzun zincirli moleküller –makromoleküller– kavramının kimya ve fizik çevrelerince benimsenmesi için 1920 yılını beklemek gerekecekti. Bu da, 1920 yılına doğru nazik bir işlemi başarıyla sonuçlandıran büyük bir kimyacının –Staudinger– sayesinde gerçekleşti. Staudinger (bin ya da yüz bin yerine yirmi kadar birim içeren) bir bireşim elde etti. Bu molekül zincirleri, kristale dönüştürebilecek ve belli bir ergime noktası içerebilecek kadar kısadırlar; böylece, tam anlamıyla belli özelliklere sahip saf cisimler olarak gözükmemektedirler. Bu moleküllerin kütlesi hesaplanabilir.

Staudinger daha sonra, birbirini izleyen bir dizi işlemle, gittikçe daha uzun molekül zincirleri hazırladı; bunlar, ergime noktalarının gitgide belirsizleşmesine karşın salt, hazırlanış biçimlerindeki “süreklilik” sayesinde saf olarak tanımlanabilmektedirler. Bu gözlemlerinden yola çıkan Staudinger çok uzun zincirlerin üretilbileceği sonucuna vardı. Goodyear’ın doğal kauçuğunun üzerinden seksen yıl geçmişti...

Ancak Staudinger'nin bile, dönemindeki öğretilerin biraz fazla tutsağı olduğu görülür. Kendisi bazı polimerlerin oluşumunda geçerli olan kimyasal işlem dizisini doğru bir şekilde ortaya koymasına karşın bu molekül zincirlerinin uzaydaki dağılımlarıyla ilgili düşüncesi yanlıştır. Ürettiği her makromolekölü küçük (yaklaşık 1 mikrometre uzunluğunda) [2] ve sert bir çubuk şeklinde düşünür.

Kuhn adındaki bir başka büyük Alman araştırmacının, bu makromoleküllerin sert çubuklar değil de daha çok esnek nesneler (söz ettiğimiz şehriyeler) olduğunu kanıtlaması için bir yirmi yıl daha beklemek gerekecektir. Bu fikir daha sonra Kuhn'un, kauçuğun olağanüstü esnekliğini açıklamasını sağlamıştır.

Kuhn üstün nitelikli bir bilim adamıydı. Kendisi makromoleküllerle ilgilenmeden önce, yirmili ila otuzlu yıllar arasında yeni "kuantum mekaniği"nin öncülerinden biri olarak elektronların atomlar ve moleküller içindeki hareketini tanımladı. Ayrıca spektroskopinin en önemli kurallarından birini de -kendi adını taşır- ona borçluyuz. Ancak Kuhn, atom fiziği alanındaki başarısına rağmen otuzlu yıllarda çalışma konusunu değiştirmeye karar verdi ve makromoleküllerin fiziksel kimyasıyla ilgilenmeye başladı. Biraz tuhaf ve biraz da "uygunsuz" görülen bu nesnelerin araştırılmasına, onların esnek olma özelliğini yakalayıp bundan bazı sonuçlar çıkartarak, olağanüstü katkıda bulundu.

Makromoleküllerin bulunuşuyla ilgili bu -özet- anlatı pek çok soruyu gündeme getirdi. Bunlardan ilki, "temel" ve "uygulamalı" araştırmalar arasındaki ilişkiye yönelikti.

*İşte bütünüyle deneylere ve uygulamaya yönelik bir keşifle başlayan bir öykü; yani doğal ka-
uçğun öyküsü. Ancak daha sonra pek çok siste-
matik araştırmayla devam eden bir süreç:*

*a) İlk önce uzun moleküllerin yapısının anla-
şılmasına yönelik araştırmalar*

*b) Molekülü oluşturmak için tekrarlanan kü-
çük kimyasal dizilerden –“temel tuğlalar”dan–
uzun moleküllerin üretiminin öğrenilmesi için
yapılan araştırmalar*

*c) Bu moleküllerin özelliklerinin –örneğin, şu
ya da bu plastiğin mekanik niteliklerinin– belir-
lenmesine yönelik araştırmalar.*

*Bu öykü pek çok pratik sonucu beraberinde geti-
riyor: Çevremizde yer alan nesnelerin ve üstümüz-
deki giysilerin ne kadarının bu malzemelerden
üretildiğinin bilincinde miyiz? Hatta bizim de bu
tür moleküllerden oluştuğumuzu biliyor muyuz?*

*Ayrıca Kuhn'un tutumundan kaynaklanan so-
rular da var. Bir araştırmacı ne zaman, niçin ve
ne şekilde işini yeniden yönlendirmek zorunda-
dır, yeniden yönlendirebilir, yeniden yönlendir-
meyi ister? Niçin –bu bana soruldu– süperilet-
kenlerle ilgili araştırmadan yumuşak madde-
ninkine geçtiniz?*

*Bu soruları yanıtlamak için kurallar geliştiri-
mek tehlikeli olabilir; tarih ve koşullar hedefini-
zi belirlemelidir. Bu nedenle soruları daha çok
araştırma sürecinde yaşanan günlük olaylardan
örnekler vererek, fıkralar anlatarak yanıtladım.*

Uygulamalı araştırma - Temel araştırma

*Geçmişte sürekli birbirinin karşısına koyulan
bu şeytani ikiliyle sözlerimize başlayalım.*

Temel araştırma - Gelişmiş ülkelere düşen sorumluluk

Atomdan galaksilere, minerallerden canlı varlıklara kadar dünyanın nasıl işlediğini bilmek insana coşku veren bir araştırma sürecidir. Bilgi alanındaki bu gelişme, buradan ortaya çıkabilecek pratik / yararlı sonuçlardan bağımsızdır. "Voyager" adlı uzay mekiğinin güneş sisteminin sınırlarına kadar uzanan yolculuğunu haklı göstermek için, bu araştırma gezisinden elde ettiğimiz bulgular yeterlidir. Genetik kodun çifte sarmal yapısının bulunuşu, günümüzde az çok kestirilebilen olağanüstü sonuçları olmadan bile, tek başına yeterince doyurucudur. Son yıllarda gerçekleştirilen ve (şimdilik) uygulama alanından yoksun diğer önemli bir deney de bir atomun tek başına bir hücre içine hapsedilip lazer demetleriyle mutlak sıcaklığın on milyonda bir derecesine kadar "soğutulması" işlemidir.

Temel araştırma bazen, içinde saklı, gizil yararlılığıyla haklı gösterilebilir. Katı cisimlerin elektronik özelliklerine yönelik araştırma, içinde rüşeym halinde transistörün bulunuşunu, mikroelektronik ve mikrobilgisayar alanındaki şaşırtıcı gelişmeleri barındırır; spektroskopi, telekomünikasyon dünyasını karıştıran lazerin bulunuşuna yol açar.

Ancak bilimsel çalışmaların tüm maddi yararlarından bağımsız olarak, bilmek için bilgiye yönelik araştırmanın yerinin doldurulamayacağına inanıyorum.

Gelişmiş bir ülkenin, tüm insanlığın ortak malı olan bilginin çoğaltılması sürecine katılması ve hiçbir maddi karşılık beklemeden kaynakları

nın bir bölümünü buna ayırması bence zorunludur. Bir de fazladan, hesapta olmayan uygulamalar ortaya çıkacaksa ne âlâ!

Ancak bu arada bazı uyarıları da göz önünde bulundurmak gerekiyor.

Bu “saf” bilim, gerçek anlamda özgün sonuçların üretilebilmesi zorunluluğunu içerir; istenilen, daha önce yapılmış bir deneye ilişkin ayrıntıları yeniden elde eden araştırmalar değildir.

İkinci sorun yenilikle ilgili bir kanıya varılmasıdır... Bilimsel topluluk bu zor değerlendirmeyi, bazen hataya da düşse, genelde belli bir başarıyla sürdürür..

Dikkat: Belli bir amaca ulaşmak için ara sıra, bazılarının uzun çalışmalar sonucu hazırlandığı, diğerlerinin ise daha basit ve daha ucuz olduğu çok değişik yöntemlerden yararlanarak çeşitli yollar denenebilir. Örneğin, uzaya insan göndermek gerekiyor mu ya da otomatik sondaj aygıtları mı kullanılmalı? Araştırmanın, kısmen gerekli olmayabilecek büyük projeler üzerinde odaklanmaması için sürekli dikkat edilmelidir. Bu noktada bilim adamları ülkelerindeki vergi yükümlülerine karşı sorumluluklarını unutmamalıdır.

Uygulamalı araştırma: Düş gücünün okulu

Her tür uygulamalı araştırma bir meydan okumadan doğar: Bu, yeni bir ürün elde etmek, var olan sistemde tam anlamıyla başarısız olan bir görevin yerine getirilmesi, insanların daha iyi yaşamalarının sağlanması olabilir.. Ve bu meydan okuma, en temelden (örneğin, interaktif disk için üretilen manyetik filmlerin özellikleri) en pratiğine (ilk tükenmez kalemde mürekkebin düzgün bir şekilde

nasıl akıtılacağı) kadar tüm bilgi yelpazesine yönelik olmalıdır. Uygulamalı araştırmanın büyüklüğü de bu paletin zenginliğinden, renklerinin seçimindeki çeşitlilik ve beklenmediklikten kaynaklanır.

Benim düşünceme göre büyük bir mucidin değeri en azından büyük bir kuramcının değerine eşittir. Belki de ben, mucide daha çok saygı duyuyorum. 19. yüzyılda o, inanılmaz bir inatla (pek çok cephede) savaşması gereken yalnız bir insandı. 20. yüzyılda yeni nesneler, endüstri alanındaki, daha iyi donanımlı ancak yine de acımasız rekabetin baskısı altında bulunan ekipler tarafından ortaya konuluyor.

Bunlarla ilgili olarak benim vardığım sonuç şu: Uzaylı bir yaratık bize bakıyorsa –ve bizi değerlendiriyorsa– insanların kara delikleri düşleyebildiklerini fakat aynı zamanda fermuarı da akıl etmiş olduklarını saptayacaktır..

Temel ve uygulamalı araştırmaların evliliği

Temel araştırmayla uygulamalı araştırmanın birbirleriyle olan ilişkilerinden elde ettikleri karşılıklı yararlar üzerinde de durmak istiyorum. Collège de France'daki küçük ekibimiz polimerlerle ilgili araştırmaların başlangıcında, bütünüyle temel araştırmacıya özgü bir merakla çözeltideki büyük moleküllerin hareketlerinden etkilenmişti. Daha sonra endüstri çevreleriyle girdiğimiz diyalog sonucunda, gittikçe artan çok çeşitli sorunlarla karşılaştık. Bir öğleden sonra New Jersey'deki Allied Chemicals'ı ziyaretimiz sırasında bize bir sorunu aktardılar: Bazı polimerler çözücüler içinde zor çözülüyorlardı ve teknisyenler de işlemi hızlandırmak için ne yapılması gerektiğini pek bilemiyorlardı. Kuşkusuz, tozlar incelidikçe daha iyi

çözülürler. Ancak tozun hangi incelik derecesine kadar “öğütülmesi” gerektiği önceden kestirilemez. Ben o an, kuramcı saflığıyla bir açıklamada bulundum: “Bu, kanımca ortak yayınma sorunudur ve şu kural uygulanabilir.” Bana kibarca, “hayır”, dediler; “biz bunu düşündük fakat deneyler açıkça sorunun daha karmaşık olduğunu gösteriyor”.

Paris’e dönünce meslektaşım Françoise Brochard’la aylar boyunca bu sorunu tartıştık. Sonunda, iki sürecin bileşiminden ortaya çıkan ve polimere özgü yeni bir karakteristik uzunluğu günde me getiren heyecan verici bir mekanizma bulduk. Bunu “sihirli uzunluk” olarak adlandırdık.

Bu buluş, daha iyi çözülebilmesi için polimer tozunun ne kadar küçültülmesi gerektiğini açıklıyordu. (Bu ölçeğin makromoleküllerin kendi ölçeklerinin çok üzerinde olduğunu da belirtelim). Sihirli uzunluğun altına inmek gereksizdi. İşte başlangıçta son derece pratik ancak bizi karmaşık polimerlerin dinamiğiyle ilgili derin düşüncelere sürükleyen bir sorun.

Bizim araştırma alanımızda bu durum sık sık ortaya çıkar. Bilimsel çevreden gelen bir insan size, “burada garip bir şey var” dediğinde onu büyük bir alçakgönüllülikle dinlemek ve sonra dediğini düşünmek, sindirmeye çalışmak gerekir. Bazı olaylarda şans eseri çözüm bulunabilir. Çoğu kez ise sonuç başarısızlıktır... Ancak genelde temel araştırmacı olarak karşılaştığımız durum oldukça hoştur, problemlerinizi, anlama zevkini tatmak için seçer ve bazen çözümün (önemsiz de olsa) pratik bir sonucu da içerdiğini görürüz.

Genç kuramcı öğrencilerle çalışıldığında uygulama bağlamında ortaya çıkan sorunları ele

almak daha sağlıklıdır. Böylece tezlerini bitirdiklerinde bu gençler belki de temel araştırmalara yönelecekler fakat aynı zamanda –doğrudan yararı olan– araştırma mühendisliği mesleğini de seçebileceklerdir. Eski öğrencilerimden birisinin, Philips'in en önemli araştırmacılarından biri olması en büyük övünç kaynağımdır.

İşte, temel ve uygulamalı araştırmaların karışımını içeren başka bir problem:

Bir petrol yatağının tükenmesinden sonra kalan petrolün nasıl elde edileceğini düşünüyorduk. Gözenekli kayaların içinde büyük oranda petrol kalmasına rağmen dışarı çıkmaz. Biz (diğer yöntemler arasından) köpükler aracılığıyla bu petrolü çıkarma yöntemlerini araştırdık: Buna göre, bir kuyudan köpük veriliyor ve her şey yolunda giderse petrol yakındaki bir kuyudan yeryüzüne çıkıyordu. Bu yöntem tuhaf gözüküyor ancak kalan petrolün bir bölümünün bu şekilde elde edilmesi yönünde (küçük) bir umut vardı.

Köpüğün gözenekli bir ortamda devinimini anlamak statistik fizikle ilgili nazik bir sorundur. Bu kuramsal fizik sorunu üzerinde çalışan öğrencilerin gelecekte petrol endüstrisi alanında yer almaları hiç de uzak bir ihtimal değildir (varil fiyatı yükseldiğinde)!

Kuhn örneği... konuyu değiştirmeyi bilmek

Ulusların "bilgeliği" –"taş yerinde ağırdır"– Kuhn'a hak vermiyor gözüküyor. Daha önce de belirttiğim gibi Kuhn, yeni ortaya çıkan atom fiziğinden vazgeçerek polimerleri (ya da makromolekülleri) araştırmaya (son derece riskli bir çalışma) başlamıştı.

O halde değiştirmek mi gerekiyor?

Her araştırmacının bilim alanındaki yaşamı “nevi şahsına münhasır”dır. Ancak burada bazı anılardan söz etmek yararlı olabilir.

1961-1965 yılları arasında süperiletken metal-lerle [3] ilgileniyorduk. Bunlar, çok düşük sıcaklıkta hiçbir kayba uğramadan akımı ileten şaşırtıcı metallerdir. Örneğin kurşun, kalay, civa bunlar arasında sayılabilir. Bu olgunun varlığı 1911 yılından beri bilinmektedir. 1957 yılına doğru genç bir öğrencinin (Leon Cooper) dahice fikri sayesinde bunun nasıl gerçekleştiği anlaşılmaya başlanır. Biz bu oyuna 1961 yılında girdik. Başlangıçta kurşun-kalay alaşımları gibi hazırlaması kolay sistemler kullanabiliyorduk. Araştırmalarımız ilerledikçe, nayobiyum-kalay gibi daha üstün nitelikleri olan maddelerin incelenme sürecine gelindi. Bu madde kolay kırılır, çok zor işlenir ve bir dizi metalürjiyle ilgili sorunlar yaratır. Manyetik akıyı zaptetme eğiliminde olan küçük çökeltileri kontrol altında tutmak gerekir. Bu tür hassas metalürjide ağır ve pahalı bir aygıt (büyük elektronik mikroskoplar) gereksinim vardır. Bu aşamada, ya metalürji dalına kayıp yeterli bir merkez oluşturmak için büyük paralar talep edecektik ya da “hafif” bilimle ve daha ufak tefek işlerle uğraşmayı yeğleyip parmak uçlarımıza basarak geri çekilecektik; işte, ben bu ikinci yolu seçtim.

Bu kararımnda başka bir etken de rol oynadı. Bu alanda çalışmalarını sürdürmeyi isteyen ekip-teki insanlar ben olmadan çalışacak kadar “yetişkin”diler. Ben bu alanda çalışmaya devam edecek olsaydım, onları ancak rahatsız edecektim.

Gitmek, ancak nereye?

Yüzyılın başında –yirmili yıllarda– sıvı kristallerle ilgili çalışmalar Georges Friedel sayesinde Fransa’da dikkat çekecek derecede ilerlemişti. Georges Friedel, sıradan bir mikroskoptan ibaret olan malzemeye, bizim ölçeğimizdeki gözlemlerden yola çıkıp sıvı kristallerin moleküler ölçekteki düzenini ortaya çıkarabilmişti... Bu inanılmayacak bir buluştu! Daha sonra otuzlu ve kırklı yıllar arasında Sovyet fizikçileri konuyu ele aldılar ve önemli gelişmeler kaydettiler. Ancak Sovyet bilim adamları da az çok bizimkilere benzer yanılgılara düşüyor, kurama fazla inanıyorlardı. Gerçek moleküllerden çok, onlardan oldukça uzak soyutlamalarla uğraşıyorlardı. Maden ocağını kazmışlar ama burunlarının dibinden geçen damarı görmemişlerdi... Biz, 1968’e doğru bu damarın varlığından kuşkulandık. Bu aşamada yeni bir grup kurmadık. Var olan grupları sıvı kristalleri inceleyen bir “federasyona” dönüşmeleri için ikna ettik... Üç yıl içinde Orsay federasyonu uluslararası öneme sahip bir konuma erişmişti.

Bu olaydan beş, altı yıl sonra bu alan daha teknik, daha endüstriye yönelik ve daha güçlü aygıtlar gerektiren bir şekle büründü. O aşamada artık ben yolumun ayrıldığını düşündüm.

Aynı anda (1972’ye doğru) polimerlerle ilgili pek çok soru ortaya atılıyordu. Gerçekten de, Kuhn’un esnek uzun zincirler şeklindeki tanımı –tavuk suyundaki şehriyeler– bu alanda önemli gelişmelere yol açmıştı. Ancak hâlâ bu zincirlerin çözücü içinde nasıl bir dağılım sergilediklerini anlamak için giderilmesi gereken pek çok istatistiksel sorun vardı. İki molekül zinciri birbirini iter. Aynı zincirde bir parça diğer parçayı iter.

Tüm bunlar, incelenmesi zor bir durum yaratıyorlardı. Neyse ki, elimizde bazı kozlar da vardı. Hal değişimleri ve kritik görüngüler (fenomenler)le ilgili bilgilerimizden kaynaklanan bir kültüre sahiptik. Su, buhara dönüşürken, her ikisi neredeyse aynı yoğunluğa sahipse, yani hemen hemen aynı şeyse, kritik noktanın yakınındayız demektir; ve işte orada olağanüstü özellikler gözlenir. Damlaların içinde başka damlalar ve onların da içinde çok küçük damlacıklar vardır... Eh, biz de, kritik noktalarla ilgili araştırmalarda geliştirdiğimiz kavramları tamamen farklı bir alana, bir çözücü içinde yüzen polimer zincirlerine taşıyabildik (tavuk suyunun içinde yüzen şehriyeler).

Şehriye çorbası

Sırası gelmişken, bilimin görünüşte farklı gibi duran iki alanı arasında yöntemlerin yer değiştirmesinin önemini de vurgulamak istiyorum. Belli bir konuda öğrenilenler çoğu kez tamamen farklı başka sorunların çözümüne olanak tanır. Bu önemli bir tasarruf sağlar; nitekim, polimerlerle kritik görüngülerin ilişkisi saptandığında birdenbire, kritik noktalardan kaynaklanan yirmi yıllık, gelişkin bir kültür birikimini önümüzde buluverdik. Böylece her şeyi baştan yapmak zorunda kalmadık!

Ayrıca Atom Enerjisi Komisyonu'nda nötronlarla çalışan genç bir ekip (G. Jannick'in ekibi) polimerlerle ilgilendiği için şanslıydık. Makromoleküllerin incelenmesinde nötronlar olağanüstü bir araç olarak karşımıza çıkarlar.

Son olarak, Strasbourg'da büyük fiziksel kimyacı Charles Sadron tarafından kurulan çok güçlü bir merkez –Makromolekülleri Araştırma Merkezi

(Centre de recherche sur les macromolécules; CRM)–bulunuyordu. Bizi burada büyük bir coşkuyla karşıladılar. Bu durum çoğu kez saçmalamamızı önledi.

Makromoleküllerin kendi aralarındaki davranışlarıyla ilgilenirken doğal olarak bunların yabancı maddeler, özellikle asıltı halindeki katı taneciklere göre hareketini incelemeye başladık. Bu araştırma bizi, ince taneciklerin asıltılarını konu alan “koloid” bilimine götürdü. Bundan daha ilerde söz edeceğiz.

“Gitmek, biraz ölmektir” (E. Haraucourt)

Ben gelişmeleri betimlerken biraz fazla hayalci davrandım. Gerçekte, bir kuramcı için bile araştırma konusunu değiştirmek kolay değil; her defasında belli bir düzeye ulaşmak için üç yıl çalışmak gerekiyor.

Bir deneyci ise ayrıca aletlerini bütünüyle değiştirmek, araç gerecini yenilemek zorunda olduğu için bu durum onun açısından daha zordur. Konu değiştirmek, bir bilimsel topluluktan başka bir topluluğa geçmek demektir. Bu topluluklar genelde aynı dil, aynı kitaplar ve aynı aletlerle donanmamışlardır; her şey farklıdır.

Bir iki kere, bu tür bir değişikliğe katıldığım ve yardım ettiğim için mutluyum.

Hortumsuz sifon ve hızlı gemi

En baştan beri büyük moleküller günlük yaşamın gelişiminde büyük bir rol oynadılar. İnsan-oğlu uzun süre doğanın kendisine sunduğu çok sayıda molekülü (dönüşüme uğratmadan) kul-

lanmakla yetindi: Pamuk ve keten selülozlarının uzun molekülleri; ipeğin liflerini oluşturan doğal olarak az çok sıralanmış moleküller; ayrıca odunun, çoban yastığı yününün, Mısırlı yazıcının papirüsünün molekülleri gibi.

Öte yandan, oldukça erken dönemlerden itibaren, insanın deneyimlerinden yola çıkarak yararlanılmaya başlanan kimyasal tepkimeler sayesinde, bu moleküllerin dönüştürülmesi de tekniğin tarihinde yerini almıştır. Kızılderilinin çizmesindeki kauçuğun oluşumundan söz etmiştim; öte yandan Rönesans ressamı ise ketenin yağından yararlanacaktır. Havadaki oksijenin keten yağının içindeki uzun molekülleri sağlam ve dayanıklı bir katıya dönüştürünceye kadar (kızılderilinin kauçuğundan farklı olarak) pek çok noktadan bağladığını bilmeden resminin “kurumasını” bekler. “*Kurutucu*” –oksitleyen– bir madde eklediğinde ise daha kısa süre beklemesi yeterlidir. Oksitleyen madde havadaki oksijenin etkisini hızlandırır ve böylece kuruma süresini kısaltır.

Güzel bir kadının saçlarını kıvıran berber, elinde tuttuğu maşanın ısısının (saçlardaki keratinin içerdiği kükürt atomları nedeniyle) buklelerin biçimini koruyacak köprüler oluşturduğunu genelde bilmez.

Uzun pamuk zincirlerine renklendiricilerin küçük moleküllerini tutturan kumaş boyacısı, bu dönüşüme daha bilinçli bir şekilde müdahale etmektedir. Az ya da çok başarılı sayılabilecek gerçek bir kimyasal tepkime gerçekleştirir. Varsın, çivit pamuk ipliğine tam asılmasın; biz zaten Sahra’daki “mavi insanların” efsanesini biliyoruz: Onların keyfesinin rengi deri üzerine çıkmaktadır.

Bir lego oyunu

1930'a doğru Hermann Staudinger'in (1881-1965) çalışmaları kimyacıların hemen dalecekla-
rı iki yol açar.

Birinci yol, doğal makromoleküllerin kimyasal yapısının analizidir. Yani, genellikle, epey basit moleküllerin, birbirlerine zincirleme eklenerek meydana getirdikleri büyük molekülde ortaya çıkan kimyasal motifler incelenir. Bu alanda en çarpıcı iki başarıdan söz etmeden geçemeyeceğim: Bunlar,

- İpeğin yapısının belirlenmesi.

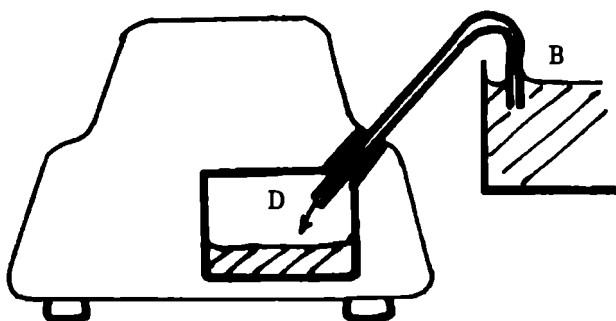
- Daha yakın zamanda, hücrelerimizdeki çekirdeğin DNA (dezoksiribonükleik asit) yapısının tanınmasıdır. DNA kişinin genetik bilgilerini saklar. Bu bilgi, tüm DNA zinciri boyunca arka arkaya sıralanan ve dört küçük molekül-
den oluşan dört harfli "sözcüklerin" düzeninde gizlidir.

Kimyacıların keşfettiği ikinci yol ise, tamamen yeni makromoleküllerin üretilmesidir. Onlara sunulan olağanüstü yap-boz oyununu bir düşünün. Yapacakları tek şey, 1830-1930 tarihleri arasında kimyacıların büyük bir özenle betimledikleri ve hazırladıkları sayısız organik molekülle ilgili kataloğa başvurmaktan ibarettir. Buradan, neredeyse ısmarlama bir biçimde, çok sağlam bir ipliği (ipeğin yapısını andıran *nylon* ipliği) ya da hafif ve dayanıklı bir malzemeyi (çelik yeleklerde kullanılan *kevlar*) ya da özellikle günlük yaşamımızdaki eşyaların üretimine giren, kalıba dökülmesi kolay çeşit çeşit *plastikleri* sağlayacak olan makromolekülü bulmak işten bile değildir!

Hortumsuz sifon

Katı cisimleri meydana getiren makromoleküllerin nitelikleri şaşırtıcı bir çeşitlilik sergiler. Ancak burada, en az onlar kadar çarpıcı bazı başka özellikleri betimlemek niyetindeyim: Bunlar, çok az miktarda polimerin –örneğin bir sıvıya katkılıandırıldıklarında– belirleyici bir rol oynadığı özelliklerdir.

Düşüncesiz bir otomobil sürücüsünün benzinsiz kalması deneyiminden yola çıkalım. Varsayalım ki sürücümüz, gün boyunca süren şanssızlığına karşın bir benzin istasyonu bulup bidonunu doldurabildi. Ancak arabanın deposunun ağzı bu değerli yakıtın boşaltılmasına uygun değil! Bu durumda sürücünün yapacağı tek şey, bir hortum bulup bidondaki benzini bir sifon yardımıyla depoya aktarmak. Benzini ağzıyla çekip hortumu doldurduktan sonra içini boşaltmadan ucunu deponun içine sokacak. Bu arada tabii ki her şeyden önce, bidonun depo seviyesinden daha yükseğe yerleştirilmesine dikkat etmeli (Şekil 3).



Şekil 3: Sifon

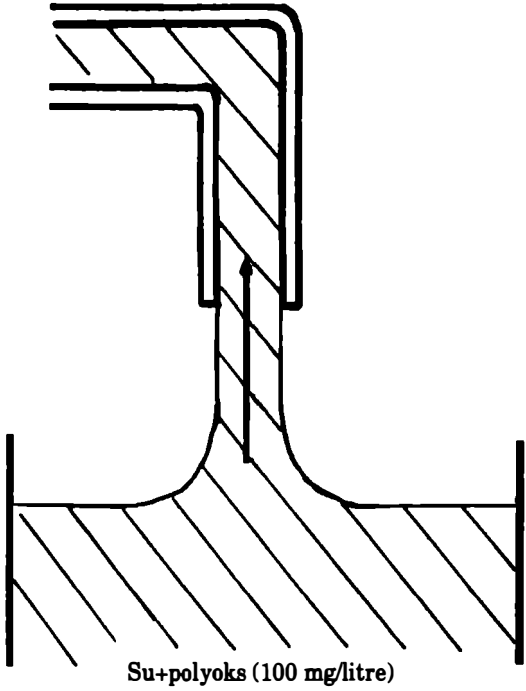
İşlem sırasında hortumun ucu (Şekil 3B) bidondaki benzinin içine batmıyorsa (bir milimetrelilik bir mesafe dahi yeterli) hava kabarcıkları hortumun içine girer ve “sifon”un işlemlerini engeller. Bu durumda her şeye baştan başlamak gerekir ve bu da hiç hoş değildir.

Yaklaşık 15 yıl önce (Kanada’nın Toronto kentinde) meslektaşım James bu alanda olağanüstü bir deney yaptı. Sifonun işlemlerini engelleyen koşullar su ya da benzin için aynı olduğundan James suyu (laboratuvar için daha az tehlikeli ve daha kolay) seçti.

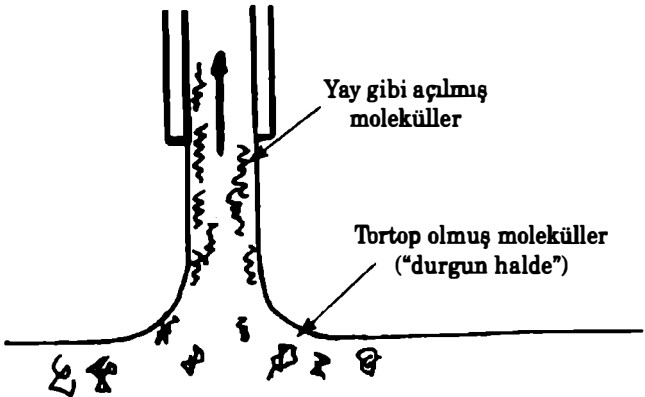
Suda çözülebilen 1 gram polimeri 10 litre suya karıştırdı (10.000’de bir oranında). Bu iş için polyoksietilen (polyoks) kullandı. Böylece, hortumun ucunun (Şekil 3B) suyun dışına çıkmasına izin verilerek deney tekrarlandığında sifon işlemeye devam etti; hatta hortumun ucu yüzeyden 20 cm yukarı kaldırıldığında bile değişiklik olmadı! *Suyun hiçbir destek olmadan sütun şeklinde havaya yükseldiği* görüldü. Bu olgu *hortumsuz sifon* adıyla tanımlanır (Şekil 4).

Bu durumu bir şemayla açıklamaya çalışacağım.

Suda çözülen polyoks molekülleri tortop olurlar. Suyun akıntısına yakalandıklarında ise yay gibi açılırlar fakat su üzerine, yayın uzatılması için gereken kuvvete benzer bir kuvvet uygularlar (Şekil 5) –sabah jimnastiğini yaylı aletle yapan delikanlılar bu kuvvetin, yayı ne kadar gerdiğimizize orantılı olduğunu bilirler! Suyun akışıyla uzayan polyoks molekülleri, suya “kuvvetle asılarak” sütun şeklindeki suyun ağırlığını dengelerler.



Şekil 4: Hortumsuz sifon

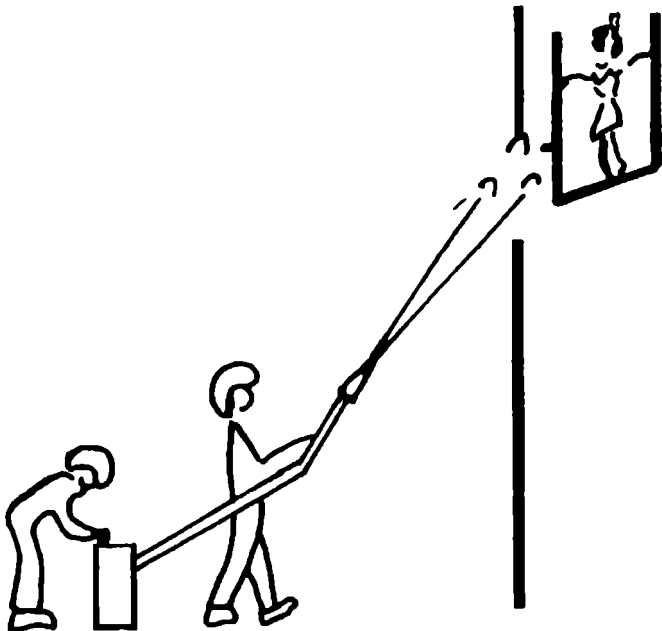


Şekil 5

Hızlı gemi

Polimer çözeltilerinin daha başka “mucizevi” özellikleri de vardır.

- Büyük bir binada yangın çıkıyor. İtfaiyeciler hortumlarını uzatıyorlar (Şekil 6). Tulum balar güçlü olmasına karşın püskürtülen su ancak sekizinci kata ulaşabiliyor... Bu durumda on birinci kattaki genç kız nasıl kurtarılacak? Tulumbadaki suya bizim mucizevi polimerden –polyoks– biraz karıştırılınca püskürtülen suyun yüksekliği yaklaşık % 30 oranında artacak ve böylece de genç kızımız kurtulacaktır!... Burada da yine çok az miktarda polyoks gerekiyor (10 litre suya 2 gram). Üstelik bu malzemenin satış fiyatı da pahalı değil (kilosu yalnızca birkaç frank değerinde).



Şekil 6

- İngiltere'de Bristol belediyesi atık su sistemini yenilemek zorundaydı (Kraliçe Victoria döneminde sağlam bir biçimde yapılmış ancak zamanla yetersiz kalmıştı). Bu ağın yeniden yapılması çok pahalıya mal olacaktı. Oysa biraz pol-yoks kanalların debisini artırmaya yetti ve de böylece vergi yükümlüsünün cüzdanını (geçici olarak) kollamış oldu.

- Polimerler bazen şakacıdırlar. Paris'te bir *gemi havuzu* vardır. Gemi mühendisleri bu yapay su yüzeyinde gemi maketleri yüzdürürler; amaçları eğlenmek değil mühendislik bürolarının hesap ve projelerinin (yeni bir geminin yapımına başlamadan önce) doğruluğunu belirlemektir. Örneğin, 200 metre uzunluğundaki bir geminin tasarımı için hazırlanan maket iki metredir (ölçek: 1/100). Böylece maket üzerinde ölçülen değerlerden yola çıkılarak az çok deneysel olarak gerçek geminin nitelikleri ortaya konulabilir. Örneğin, seçilen motor gücüne göre hızı kestirilebilir. Ancak gerçek birer bilim adamı olan mühendisler elde ettikleri sonuçlardan emin olmak isterler. Bu nedenle birkaç aylık aralıklarla aynı koşullarda, yani aynı maketi, aynı motor gücünü, havuzdaki aynı suyu kullanarak deneylerini tekrarlarlar. Ama bir gün büyük bir panik yaşanır: Aynı sonuçlar elde edilememektedir. Birkaç ay sonra tekrarlanan ölçümlerde maketin hızı % 40 oranında artmıştır! Bu, olası deney yanlışlarının çok üzerindedir ve bu tür belirsizliklerin kabullenilmesi söz konusu olamaz. Gerçekten büyük bir şaşkınlığa uğrayan mühendisler suçluyu bulduktan sonra soğukkanlılıklarına kavuşurlar; hesapları altüst

eden etken havuz suyudur. Su (sık sık değiştirilmesi çok pahalıya geleceğinden) bu büyük havuzda aylarca kalmaktadır. Bu arada üreyen küçük yosunlar ise bazı polimerler (polisakarid, yani uzun zincirli şekerler) salgırlar. Bu zincirler de tıpkı, Bristol'deki atık su sisteminin içerdiği polyoks gibi, akış sürtünmesini azaltma etkisine sahiptir!

Bu gözlemlerine güvenen mühendislerimiz hemen sorunu çözerler ve yosunların oluşumunu engellemek için havuza çamaşır suyu katarlar. Böylece gemi maketleri de daha yavaş ilerlemeye başlar.

Ancak temeldeki soru hâlâ yanıt beklemektedir. Niçin tüm bu örneklerde az bir miktar çözünür polimer sıvının herhangi bir yüzeyle olan *sürtünmesini azaltıyor?*

Kuramın sınırları

Bir sıvının tüp içindeki akışı ya da sıvı içindeki bir cismin (gemi havuzundaki teknenin) hareketi sırasında sürtünmenin azaldığının gözlenmesi son derece *şaşırtıcıdır*. Bu durumda suya büyük moleküller eklendiğinde (çorbadaki şehriylerimiz) *sıvının koyulaşacağı* düşünülebilir. Koyu bir sıvı ise daha hareketli bir sıvıdan daha yavaş akar (Kanaan ülkesinde bile bal süttten daha yavaş akar!)... Oysa bunun tersi gözlenmektedir.

Meslektaşlarımdan birisi olan, Cornell'den (ABD) John Lumley bu çelişkinin üzerine gitti.

Akış biraz hızlı olduğunda, sıvıyı şiddetle karıştıran çevriler, girdaplar oluşur; öte yandan tüpün iç kenarının yakınında kendine has özelliklere sahip bir bölge vardır: Bu bölge, *türbülanslı son katmandır*.

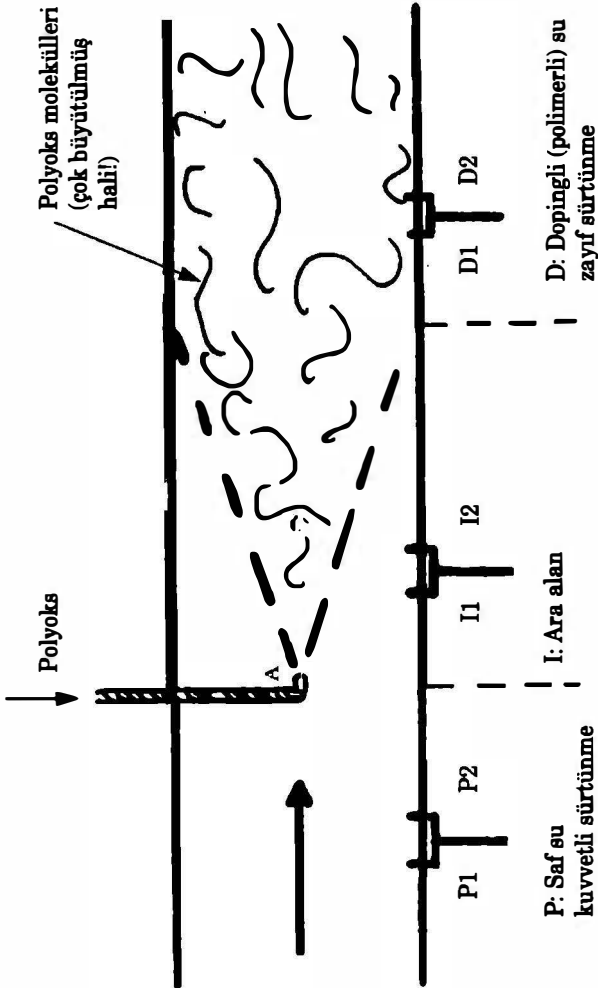
Bu bölgede iç kenar çevrileri “öldürür” ve bu alan, sıvıyla yüzey arasındaki sürtünmede önemli bir rol oynar. John, çözeltide polimerlerin varlığının bu katmanın yapısını değiştirebileceğine ve böylece, bütünün akışı göz önünde bulundurularak ölçülen kayıpları azaltabileceğine kanaat getirdi.

Öğrencilerime uzun zaman –inandırmacı bulduğum– bu açıklamayı yaptım. Ancak daha sonra, yavaş yavaş, kafamda kuşklar belirmeye başlayınca bu konuda biraz farklı bir hipotez tasarladım: Aca-ba, akış sırasında itilip kakılan, gerilen küçük pol-yoks yumakları sıvının içinde, “hortumsuz sifon” örneğinde görüldüğü üzere elastik bir etki yaratan küçük yaylar gibi davranıyor olamazlar mıydı?

Hiçbir şey çok ince ayrıntılara dayanan bu uzun tartışmayı noktalayamıyordu. Nihayet bu konuda kuramlarla değil de (Almanya’da) akıllıca yapılan bir deneyle gelişme sağlandı.

Oldukça uzun (metrelerce uzunlukta) bir tüp içinde türbülanslı bir akış meydana getirildi. Akış içindeki sürtünmeleri değerlendirmek amacıyla birbirine yakın iki noktadan sıvı içindeki basınç ölçüldü: Örneğin, Şekil 7’deki P1 ve P2’de. P1 ve P2 arasındaki basınç farkından sürtünme hesaplanabilirdi.

Bu deneyde polimerler küçük bir tüpün ucundan (Şekil 7, A noktası) büyük tüpün ortasına salıverildiler: İşte bu uygulamanın inceliği buradadır. A ucundan çıkan polimerler sıvı tarafından sürüklen-diler. Akışın karıştırdığı bu polimerler birkaç metre içinde, tüpün tüm kesitini kaplayacak biçimde yayıldılar. (Toplam akış yüksek olduğu için polyoks molekülleri akıntının tersi yönde hareket edemiyorlardı). Böylece akış içinde üç bölgeyi ayırt etmek mümkündü:



Şekil 7: Çok önemli bir deney

1) Küçük tüpün yukarısında bulunan saf su bölgesi (P). Yerel olarak sürtünme kuvvetini belirlemek amacıyla P1 ve P2 arasındaki basınç farkını ölçersem yüksek bir sürtünme değeri bulurum.

2) Küçük tüpün ucundan en uzakta bulunan ve polimerin epey düzgün bir şekilde suya karışmış olduğu (akıntının türbülans olmasından dolayı) bölge, (D). Burada ölçülen sürtünme daha azdı. Bu durum, şimdiye kadarki gözlemlerimizle –itfayeciler, atık sular...– uyuşmaktaydı.

3) Nihayet, polimerin giriş noktası (A) ile D bölgesi arasında bulunan ara alan (I). Burada polimer molekülleri, tüpün ortasına yayılmaya başlıyorlar ancak *daha kenarlara ulaşmıyorlar*. Buna karşın yine de (büyük bir şaşkınlıkla) sürtünmede bir azalma gözlemledik. Oysa bu ara bölgede polimer henüz “türbülanslı son katman”a ulaşmamıştı.

Sonuç: Sürtünmenin azalması türbülanslı son katmanla ilgili bir özellik değildir.

Lise öğrencilerinin önünde “sürtünmenin azalması”yla ilgili bu deneyden söz etmeyi seviyorum. Bu deney, yaklaşık elli yıldır bilinen ve on yıldan beri de üzerinde tartışılan (ve hâlâ iyi açıklanmamış) bir konuda kuramsal tartışmalara oranla çok daha fazla ilerleme kaydedilmesini sağladı.

Bu örneği gündeme getirirken dileğim, büyük ölçüde kuramın egemenliği altında bulunan eğitim sistemimizin gerçekliği çarpıttığını anlatabilmektir.

Lise öğrencilerinin ve öğretmenlerinin sorduğu pek çok soru, bu kuram/deney tartışmasının önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Bu kitabın araştırmaya ve eğitim sistemine ayrılmış son bölümlerinde bu konuya tekrar değineceğim.

Ancak şimdiden bazı noktaların altını çizmek istiyorum.

Elmas saflığında dört denklem

Bizim ülkemizde, eğitim büyük ölçüde kuramın egemenliği altındadır; bilimsel öğretim ise –Anglosakson ülkelerinden farklı olarak– daha çok dogmatik bir yapı içerir. Bu sistem her zaman için öğrencileri, birkaç teoremin, birkaç temel ilkenin bilinmesiyle tüm görüngülerin açıklanabileceğine (hatta kimi örneklerinin icat edilebileceğine –bu arada bu tür bir yaklaşımın hiçbir zaman eğitim sistemimizin başlıca kaygısı olmadığını da belirtelim–) inandırmaktadır.

“Maxwell denklemleri” örneğini ele alalım. 1867’ye doğru İngiliz fizikçi James Clark Maxwell (1831-1879), o ana kadar bilinen ve akımları, elektrik alanlarını, manyetik alanları ilgilendiren tüm görüngüleri, dört denklemde topladı.

Maxwell’in bu dört denklemi saf bir mücevher değerindedir! En azından günümüzde yazıldıkları şekliyle, yani zerafet ve sadelikleriyle.

Hepimizin ortak eğilimi ise öğrenciye bu denklemlerin aldıkları en gelişkin ve en son biçimleriyle gösterilmesi ve açıkladıkları tüm görüngülerin bu denklemlerden çıkarsanmasıdır: Bunlar, elektrik akımı geçen bir tel üzerine bir mıknatısın etkisi, radyo ya da ışık dalgalarının –elektromanyetik dalgalar– yayılması olabilir; bu arada dinamoyu, kamyon ralantisörünü ya da mikrodalga fırını da unutmamak gerekir!

Ancak bir düşüncenin gelişme sürecinin uzunluğu (bu denklemler herhalde gökten düşmediler!), Maxwell’in gözlenen görüngülerden yola çıkarak bu denklemleri yazmadan önce aşmak zorunda kaldığı engeller, ender olarak öğrenciye

gösterilir. Maxwell önce bunları yaklaşık olarak yazar, yazdıklarını sınar, yeniden dener, formülleri daha tutarlı hale getirmek için bazı terimler ekler; ancak daha sonra bu terimlerin daha geniş bir çerçeveye işaret ettiklerini ve yeni görüngülerin önceden kestirilebilmelerini sağladıklarını keşfeder. Böylece zaman içinde değişmeyen ya da yavaş yavaş değişen görüngülerden yola çıkılarak elde edilmiş bu denklemlerden, uzay içinde elektrik ya da manyetik alanın yayılımının ortaya konulabileceğini farkeder. Laboratuvarında ölçülen elektrik ve manyetik büyüklüklerden ötelenme hızını, yayılma hızını hesaplayabilir. Hesaba göre bu hız, boşluk içinde (ya da havada) saniyede yaklaşık 300.000 km'dir. Öte yandan aynı çağda Fransız L. Fizeau (1819-1896) ve J. B. Foucault (1819-1868) ışığın hızını ölçerler ve buna yakın bir değer elde ederler. Eureka! Maxwell ışığın, denklemlerin içinde saklanmış dalgalardan birisi olması gerektiğini düşünür. Kısa bir süre sonra Alman H. R. Hertz (1857-1894), benzer fakat görünmeyen diğer dalgaları deneylerle ortaya çıkaracaktır: Bunlar, radyo dalgalarıdır.

Fikirlerin gerçek anlamda doğuşu

Maxwell'in denklemleriyle karşılaşan öğrenci için, bu tür bir yapının eşsizliğinden etkilenme, hatta kendini dizginleme tehlikesi söz konusudur. Öğrencimiz hiçbir zaman böyle bir şey gerçekleştiremeyeceğini düşünecek ve araştırmalara girişmeye cesaret edemeyecektir. Onu özendirmek ve mesleğimizin belirsizliklerini sezdirmek ise bizim görevimizdir. Bu amaçla biraz bilim tarihinden söz etmek yararlı olur.

Aşırı tümdengelimli bir öğretim, öğrencilerin büyük bir bölümünün cesaretini kırar ve öğrenme tutkusunu bastırır. Hepsi, soyut nesneler üzerinde düşünmeye hazırlıklı olmayabilirler. Bu da bilim ile öğrenciler arasında bir duvar oluşmasına yol açar. Nitekim bana sık sık sorulan soru şudur: “Bu neye yarar?”

Bilimsel öğretimin elektriğe, mekanığa, plastik malzemelere ayrılmış bölümleriyle büyük bir katalog olmadığı apaçık ortadadır... Öğretilecek bilgilerin çokluğu karşısında var olan olguları toparlayarak sunan denklemlerden vazgeçilemez. Bu denklemler o kadar güzel ki! Ancak aynı zamanda bunların “On Emir” gibi gökten inmedikleri gösterilmelidir; Maxwell, Newton gibi en büyüklerin bile denemeler ve yanlışlarla kuramsal yapılarını nasıl oluşturduklarını belirtmek, onların bile yanlışlıklarını anımsatmak gerektiğine inanıyorum. Newton, optik, yerçekimi, matematik alanlarındaki buluşlarını ortaya koyduğu parlak döneminden sonra on beş yılını simyaya ayırarak boşa harcamıştı.

Evet, gençlere, fikirlerin düz bir çizgi halinde gelişmediğini, bu sürecin dolambaçlar ve tuzaklarla dolu olduğunu sezdirmenin gerektiğine inanıyorum.

Bitirirken, Max Born’un “Fizikte deney ve kuram” başlıklı koferansından son cümlesini aktarmak istiyorum. Çok büyük bir kuramcı olan Max Born bu konferansı 1943 yılında İngiltere’de vermişti.

“Bilimsel öndeyi sanatını öğrenmek isteyenlere soyut mantığa yönelmek yerine doğal belgelerden Doğanın gizli dilini çözmelerini öneriyorum: Bu doğal belgeler ise deneysel olgulardır.”

Mısırlı yazıcılar, arapzamkı ve çini mürekkebi

İngilizlerin *Indian Ink* –Hint mürekkebi– olarak adlandırdıkları çini mürekkebi gerçekte bize Mısırlılardan gelmiştir. Bu önemli buluş 4000 yıl önce yazı yazma gereksiniminden doğmuştur.

İs karası

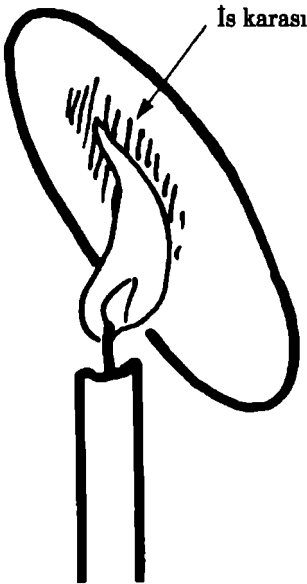
İnsanoğlu muhtemelen, ilk kaya resimlerinin yapıldığı çağdan itibaren yüzeye iz bırakmak yani çizmek için renkli bir sıvı kullanması gerektiğini fark etti. Günümüzde mürekkep ya da boya olarak adlandırdığımız maddeyi üretebilmek için en basit ve en açık yöntem, çok ince öğütülmüş doğal bir boyar maddenin suya serpiştirilmesidir. Siyah renk için *is karasından* ya da odun kömüründen; kahverengi, sarı, kırmızı renkler için ise doğal oksitlerden yararlanılır. Sıvı kullanımı pek çok açıdan elverişlidir: Yontulmuş bir odun ya da kamış parçası veya kuş tüyü yardımıyla, daha sonra ise metalik kalem ucu, bir kürk topağı veya kıl fırçadan yararlanılarak mürekkep ya da boya; odun, taş, papirüs, kâğıt vb. gibi gözenekli bir taban üzerine kolayca konulabilmektedir.

Sıvı kullanımının ek bir avantajı daha vardır. Yüzeyi ıslatır ve incelik oranı arttıkça daha iyi yapışan taneleri beraberinde sürükleyerek zeminin içine sızar. Taneler nesnenin içine işledikten sonra su buharlaşsa bile renkler korunur; renkli taneler ilk üfleyişte dağılması; oysa nesneye işlememiş olsalar dağılırlar.

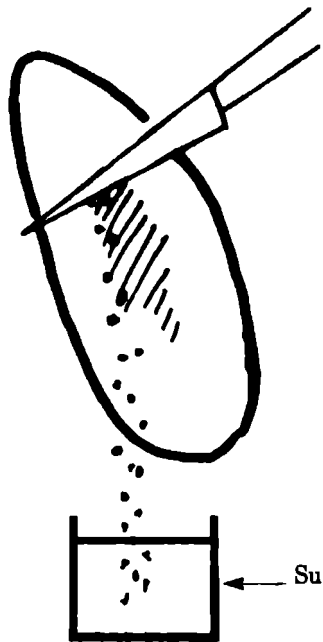
Ancak bu yöntem önemli bir sakınca içerir; mürekkep kararlı olmadığı için hazırlanışından sonra çabucak kullanılmalıdır.

Eski Mısır İmparatorluğunun yazmanı bu yöntemden yararlanarak siyah bir mürekkep üretmek istediğinde önce bir mumun alevini bir plaka üzerine düşürüyor ve son derece ince taneli bir is yığını elde ediyordu: bu, is karasıydı (Şekil 8a). Daha sonra bu siyah tanecikleri suya dökerek (Şekil 8b) hepsini var gücüyle çalkalıyor ve böylece siyah bir mürekkebe sahip oluyordu.

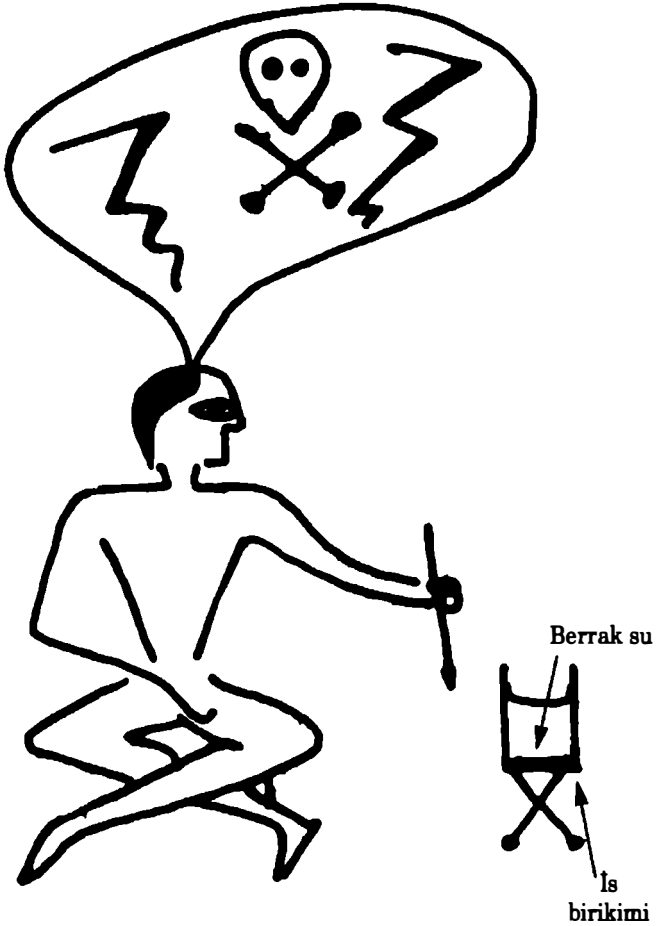
Ancak ne yazık ki, is karasını suya karıştırdıktan bir gün sonra yazmanımız renksiz bir sıvı ve mürekkep hokkasının dibinde, yeniden karıştırılması çok zor bir is tortusuyla karşılaşılıyordu (Şekil 9). Bu nedenle tüm işlemi baştan tekrarlamak zorundaydı.



Şekil 8a

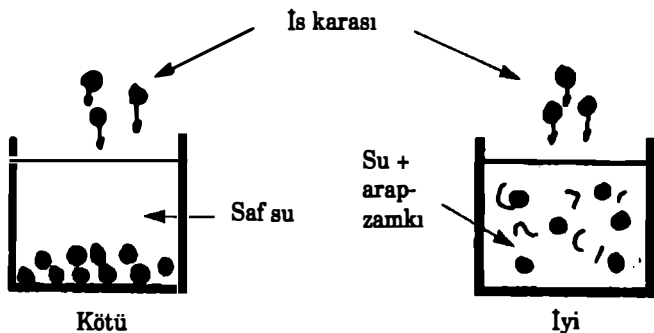


Şekil 8b



Şekil 9

Hangi dahi yazıcı ikinci bin yılda suda biraz arapzamkı eritip daha sonra bu çözeltiye is karasını katmayı akıl etti? Bunu bilmiyoruz ancak sonuç çok önemliydi: Bu yöntemle mürekkep en az bir yıl dayanabiliyordu (Şekil 10). (Bu yöntem günümüzde de suluboyaların hazırlanmasında hâlâ uygulanıyor!).



Şekil 10: Çini mürekkebi

Olanaksız aşklar

Sorular:

- Neden is karasının küçük taneleri bir araya toplanarak, mürekkep hokkasının dibine çökecek büyük taneleri oluşturuyorlar?

- Neden arapzamkı bu *topaklanmayı* engelliyor?

Bu soruları yanıtlamak için suya biraz alkol karıştırarak işe başlayalım. Alkol olsun su olsun, tüm moleküller sürekli her bir yana hareket eder, sallanan bir elekteki buğday taneleri gibi çarpışırlar. Karışmayı kolaylaştıran *ısıl hareket*dir. Ancak iki alkol molekülü de birbirlerini çekmelerine yol açan bir kuvvetin etkisi altına girerler. *Van der Waals kuvvetleri* olarak adlandırılan bu olgu, ilk kez bu yüzyılın başında aynı adı taşıyan Hollandalı fizikçi tarafından açıklanmıştır.

Isıl hareket olmasaydı iki alkol molekülü birbirine doğru çekilecek ve böylece (Van der Waals kuvvetlerinin etkisi altında) birbirine yapışıp kalacaktı. *Ancak bu ikili alkol molekülü kendisini çevreleyen su moleküllerinden kaynaklanan sayı-*

sız çarpışmaya maruz kalmaktadır. Bu ısı hareket alkol moleküllerini ayırmakta gecikmeyecektir.

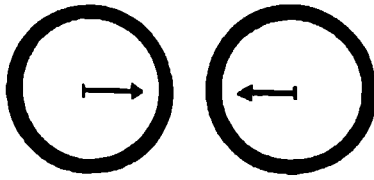
Gelelim bizim tanelerimize. Bunlar bir molekülünden çok daha iridirler (5-10.000 kat) ve bu her şeyi değiştirir; bu durumda Van der Waals kuvvetlerinin çekimi ısı hareketten daha üstündür.

Artık elimizde büyük bir enerjiyle (örneğin, temas halindeki iki molekülün enerjisinden yüz defa daha büyük) birbirine bağlanmış iki tane bulunmaktadır. Isıl hareketten meydana gelen darbeler bunları ayıramazlar.* Bu taneler diğerlerini çekip topaklar oluşturmakta gecikmezler; bir mercan gibi dallanmış büyük kırılğan nesneler olan bu topaklar, ağırlıkları nedeniyle mürekkep hokkasının dibine çökeceklerdir.

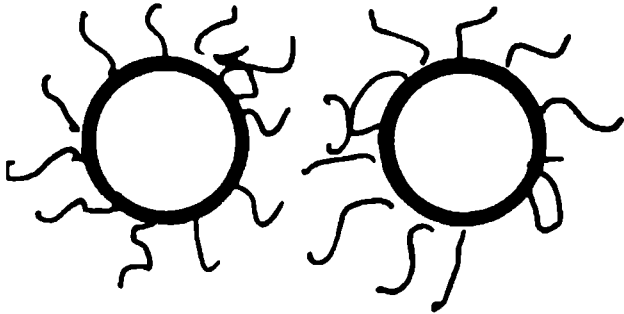
Arapzamkı bu topaklanmayı niçin engellemektedir?

Arapzamkı yarı çöl bölgelerde yaygın olarak görülen bir tür dikenli akasyanın öz suyundan elde edilir. Bu zamk uzun zincirli şeker molekülleri içerir (asit polihyalüronik). Suda iyi çözünebilen bu moleküller büyük bir kuvvetle is tanelerine yapışırlar. Ancak bunlar aralarında yarış halinde oldukları için bir tek molekül tanenin üzerine bütünüyle “yatamaz”. Yalnızca birkaç noktadan taneye bağlanır. Bu bağlar taneler üzerinde, *korona* olarak adlandırdığımız bir tür tüy ormanı (Şekil 11) oluştururlar. (Bu tüylü oluşum, tam güneş tutulması sırasında ay güneşi bütünüyle örterken oluşan korona ya da güneş tacı görünümündedir).

*100 darbenin etkisi birleştiginde bunların iki taneyi ayırabileceği düşünülebilir. Ancak darbeler her yönden geldiği için etkileri daha çok yok olma eğilimindedir.



Birbirine doğru çekilen çıplak taneler



Polimer tarafından korunan taneler

Şekil 11

Bununla birlikte Van der Waals kuvveti kaybolmamıştır. Etkisini sürdürür ve iki tane büyük bir kuvvetle birbirine doğru çekilir. Ancak bunlar birbirlerine yaklaştıklarında, koronaları (ve şeker makromolekülleri) birbirlerine değeler. Bu makromoleküller suda çözünürler: Başka bir deyişle *hidrofildirler*, suyla çevrelenmeyi “severler” ve suyla ilişkide olmayı türdeşlerine “yeğlerler”.

Bu mekanizma koronalar arasında bunların birbirlerine fazla yaklaşmasını önleyen itici bir kuvvet geliştirir. İşte, bu şekilde is taneleri birbirlerinden uzak kalırlar!

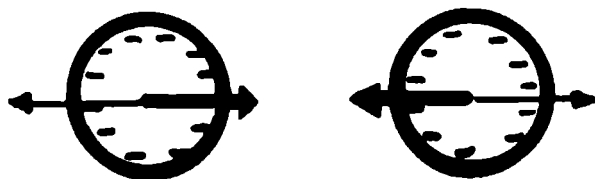
Böylece, is karasının koloidini *kararlı* bir duruma getirdiğimizi söyleyebiliriz.

Farkı sağlayan katkı maddesi

Çini mürekkebinin bulunmasından dört bin yıl sonra mürekkebin polimer koronası aracılığıyla kararlı duruma getirilme mekanizması bütünüyle açıklanabilmiştir (aşağı yukarı on yıl önce). Burada da buluşun tarihi açıklamadan çok daha eskidir! Ve yine bu açıklama, katedilen uzun bir yolun, buluşların ve birbirini izleyen yanılgıların meyvesidir. Burada, “büyük atalarımızdan” biri olan İngiliz kimyacı ve fizikçi Michael Faraday’ın (1791-1867) önemli bir deneyinden söz etmeyelim. Bizler, elektrolizin mekanizmasını, pek çok gazın ilk kez sıvılaştırılması işlemini, elektrik endüksiyonunun yasalarını... ona borçluyuz.

Faraday bu deneyinde altın bir koloid hazırladı. Pile bağlı iki altın elektrodu suyun altında birbirine sürttü. Meydana gelen kıvılcımlar, su da asıltı halinde duran ve sıvıya güzel bir kırmızı renk kazandıran çok ince altın tanelerinin çubuklardan ayrılmasını sağladılar. Ancak bu koloid kararlıydı. Parçacıklar Van der Waals çekim kuvvetinin etkisi altında kaldıkları halde birbirlerinden uzak durumlarını koruyorlardı.

Burada Faraday, koloidlerin kararlılığını sağlayan başka bir mekanizma daha bulmuştu: bu, elektrostatik etkileşimden kaynaklanıyordu. Gerçekte, altın parçacıkları kendiliğinden negatif elektrik yükleri taşırlar (Şekil 12). Aynı işareti içeren iki elektrik yükünün birbirini ittiği bilinmektedir. Bu elektrostatik kuvvet Van der Waals çekimini nötrleştirir ve bu şekilde taneler birbirlerinden uzak kalırlar. Böylece koloid kararlı bir hale gelir.

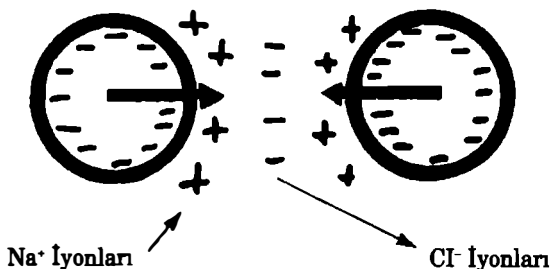


← Elektriksel geritepki

→ Van der Waals çekimi

Şekil 12

Bunu kanıtlamak için Faraday, asılıtısının içinde tuz (sodyum klorür) eritti. Renk değişerek maviye dönüştü: Taneler daha büyük yapılar oluşturmak üzere bir araya toplandılar. Bu nasıl olmuştu? Suda eriyen sodyum klorür (Na Cl) molekülleri, biri pozitif (Na^+), diğeri negatif (Cl^-) yük taşıyan atomlarına ayrıştılar. Na^+ iyonları negatif tanelere yaklaşarak (birbirine zıt işaretli iki yük birbirine doğru çekilir) her tanenin elektrik alanını dengelediler. Birbirlerine doğru çekilen ve topaklanan taneler arasında yalnızca Van der Waals kuvveti (Şekil 13) varlığını sürdürdü. Asılıtının optik görünümünü değişerek maviye dönüştü.



Şekil 13

Ancak Faraday başka bir deney daha yaptı. Kararlı durumdaki kırmızı altın koloidin içinde, hidrofil uzun zincirli moleküllerden oluşan ve arapzamnının şekerleriyle aynı işlevi üstlenen *jelatinden* az miktarda eritti. Bu çözeltiye tuz eklediğinde koloid kırmızı rengini ve kararlılığını korudu. Burada Faraday, koloidi dengelemek için Mısırlıların yöntemini, yani koronayı yeniden keşfetti. Gerçekte, jelatin eklenen kırmızı altın koloidi, hem tanelerin içerdiği elektrik yükleri ve hem de her tanenin çevresindeki jelatin koronası tarafından çift yönlü olarak kararlı hale getirilmişti. Eklenen tuz elektrik etkileşimini gerektiği gibi yok ettiğinde, korona mevcut olmaya devam etmektedir ve çini mürekkebinin koloidi gibi buradaki altın koloid de kararlıdır.

Çini mürekkebinin öyküsü birçok nedenden dolayı bana göre örnek oluşturmaktadır. Her şeyden önce, çok ince taneli maddelerin özelliklerini bize göstermektedir. Bu tür maddeler besin endüstrisi (kremalar, margarinler, mayonez sosu vb.), petrol ve kozmetik gibi endüstrilerin ürünleri aracılığıyla günlük yaşamımızda büyük bir rol oynamaktadır.

Ayrıca, fazla önemli gözükmeyen bir işlemin, yani az miktarda polimer eklenmesinin fiziksel özelliklerde yol açtığı kökten değişimin yeni bir örneğini sunmaktadır; bu etki, yumuşak madde olarak adlandırdığım malzemelerin temel özelliğidir.

Boya = sihirli bir sıvı

Çini mürekkebinin öyküsünü, görünüşte çok basit olduğu için dikkatimizi çekmeyen bir ürü-

nün yaratımındaki düş gücünü ve bu ürünü açıklayan fiziksel görüngülerin hayranlık verici ayrıntılarını göstermesinden dolayı da seviyorum. Günlük yaşamımızda kullandığımız endüstri ürünleri için de bu durum geçerlidir.

Örneğin duvara ya da tavana sürdüğümüz beyaz boyayı ele alalım. Beyaz boya, suda asıltı halinde bulunan ince titan oksidi (en çok kullanılan beyaz boyar maddelerden biri) taneleri içerir.

Kuşkusuz, bu asıltı bir polimerin yardımıyla kararlı hale getirilmiştir, bu da asıltının koyulaşmasına yol açar. Öte yandan, boyanın düzgün bir biçimde sürülebilmesi için ruloyu duvar boyu sürmeyi kolaylaştırmak gerekir. Boya, fırçanın ya da rulonun yüzeye karşı mekanik etkisi altında, kaşıkla çırpılan yoğurt gibi akışkanlık kazanmalıdır. Buna karşılık fırça sürülür sürülmez, boya katmanının akmaması için tekrar koyulması gerekmektedir.

İşte peşpeşe ve aynı zamanda birbirine karşıt üç gerekli unsur (modern bir boyanın hazırlanışının gerektirdiği 5 ya da 6 ilkeden üçü). Doğru seçilen katkı maddelere sayesinde boya bu niteliklerin hepsine birden sahip olabilmektedir!

Yukarıda aktarılan bu açıklamalar, öğrenciler tarafından bize genel sorulardan çok bilimsel ya da teknik soruların sorulmasına yol açtı. Bunlardan çok tipik olan ikisi aklımızda kalmış:

1. Van der Waals kuvvetleriyle yerçekimi kuvvetleri arasındaki fark nedir. Maddenin taneleri arasında bir çekime yol açıyorlar mı?

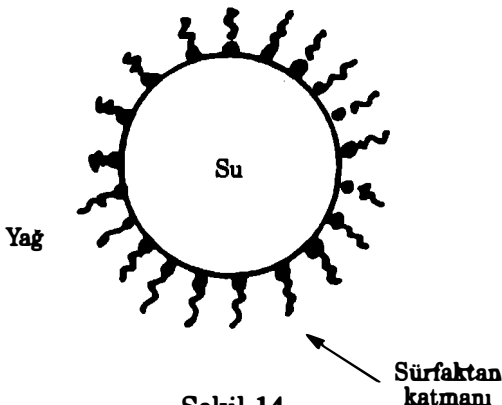
2. Topaklanma ve tekleşme arasındaki fark nedir?

1. Yerçekimi kuvvetleri çok zayıftır ancak nesnelerin ağırlığıyla orantılıdır. Uzaklıkla yavaş bir biçimde değişikliğe uğrarlar. Bunlar, büyük ve birbirinden epey uzak nesneler için baskındırlar; örnek olarak gezegenleri verebiliriz. Van der Waals kuvvetleri ise uzaklık arttıkça hızla azalır; bunlar, ancak mikrometreden daha küçük aralıklar için önem taşırlar.

2. Topaklanma, çini mürekkebinde gözlemlendiğini anlattığım şeyden ibarettir. Is karasının taneleri birbirlerine doğru çekilir ve onları kararlı duruma getiren bir unsur olmadığında hepsi birbirine yapışır. Bunlar çok irileştiklerinde kabın dibine çöklerler.

Tekleşme, bir başka sıvı içinde asılı sıvı damlacıklarının (katı taneciklerin değil) birbirleriyle birleşmelerine denir. Bu tür bir asılı ya da sütsü karışımlar çevremizde yaygın olarak bulunur: örneğin, kuvvetle çalkalanmış sirkeli zeytinyağı sosu, mayonez sosu... gibi.

Su ve yağ gibi iki sıvı birbirine karıştırılamıyorsa, biri diğerrinin içinde sütsü karışım haline getirilebilmektedir. Örneğin, yağın içine çok küçük su damlacıkları karıştırılabilir (Şekil 14).



Şekil 14

Bu sütsü karışımı kararlı duruma getirmek amacıyla, bir ucu suyu, diğer ucu ise yağı "seven" uzun zincirli moleküllerden oluşan bir "sürfaktan" kullanılır. Sürfaktan katmanı, su damlasını kararlı hale getirir. Damlacık etkin olarak hidrofıl kümelerle çevrilmiştir. Oysa yağ molekülleri sürfaktanın yalnızca kendilerine benzeyen uçlarını "görürler". Bir sürfaktan molekülünün uzunluğu yirmi angström ($\text{\AA}$) kadar —bu, yaklaşık olarak koruyucu katmanın kalınlığıdır— çapı ise $5 \text{\AA}$ 'dır. İki su damlası birbirine yaklaşıp daha iri bir damla oluşturmak üzere birleştiğinde tekleşme meydana gelecektir. Bunun için iki sürfaktan katmanının birbirini delmesi gerekir. Ne damlalar ne de sürfaktan katmanları sert olmadığı için buna olanak vardır. Bu katmanların biçimi ısı hareket darbelelerinin etkisi altında bozulur. Tekleşme yaklaşık $30 \text{\AA}$ çapındaki "delikler" in ortaya çıkmasıyla gerçekleşir. Bu yaklaşık olarak 100 moleküle eşdeğerdir.

Genellikle sütsü karışımların ya da asıltıların kararlı duruma getirilmesi için uğraşılır. Ancak bazen dengelerini bozmak, bunları parçalamak da gerekir; örneğin, suyun arıtılması için, asıltı halindeki parçacıkların topaklanması için.

Aşırı kararlı bir asıltıya, "koronalar" in tam oluşmamaları için çok az miktarda polimer eklerim. Polimer molekülü bazen bir yerine iki parçacığa yapışabilir. Bu şekilde oluşan parçacık "kol-yesi" hemen, topaklanmak için yeterince büyük bir yığın meydana getirecektir. Bu uygulama belki suyun işlenmesi için yararlı olabilir. (Burada sorun, zehirli olmayan ve bozunduğunda herhangi zararlı bileşimlere dönüşmeyen katkı maddeleri bulabilmekte).

Aynı şey petrol arıtımı için de gündeme gelebilir. Ham petrol, oldukça hafif ve ağır ürünlerin koyu bir karışımıdır. Hafif bileşenlerden yakıtlar ve kimyada kullanılan bileşikler, ağır ürünlerden ise (hatta bunlar katı taneler de içerirler) asfalt elde edilmektedir. Bu değişik kısımları ayırmak için arıtma tesislerinde hepsi bir tür imbik içinde ısıtılır. Hafif bölümler buharlaşarak damıtım borusunun tepesinde toplanır ve daha sonra yoğunurlar. Aygıtın dibinde kalan ağır kısımlar işlem sonunda toplanır. Oldukça kaba olan bu yöntem fazla enerji tüketir. Bu nedenle, yakın bir gelecekte ham petrolün önce polimerlerle işlenmesi gündeme gelebilir; polimerler, suyun arıtılmasında olduğu gibi, katı parçacıkları birbirine bağlarlar ve bu parçacıklar da çekim kuvvetinin etkisiyle dibe çökerler.

Böylece, yollarımızı kaplayan bileşime katılan "asfaltenler" elde edilebilir. Geriye kalan daha temiz sıvı ise hafif ürünlerin kendi aralarında ayrıştırılması için çok daha kolay bir biçimde işlenebilir.

Sıvı kristaller ve balık sürüsü

Maddenin üç hali

Hepimize okulda maddelerin katı, sıvı ve gaz olmak üzere üç halde bulunabileceği öğretilmiştir.

- *Katı maddeler* kendilerine verilen şekli korurlar. Bunlar sağlam bir yapı oluşturan birbirlerine yakın atomlar içerirler. Katılar genellikle anizotropiktirler; başka bir deyişle, özellikleri ölçüm yönüne göre farklılıklar gösterir. Örneğin, sesin hızı yayılma yönüne göre farklıdır. Kristallerde (Şe-

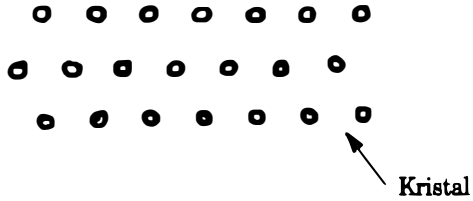
kil 15) (katı maddelerin “ideal” biçimi) atomların sıralanışı düzenlidir. Kristalin anizotropisi atomların düzenli konuşlanmalarından kaynaklanır.

- *Sıvı maddelerin* belli bir şekli yoktur. Bunlar içinde bulundukları kabın biçimini alırlar. Hafif bir kuvvet uygulanarak sıvıların biçimi rahatlıkla değiştirilebilir. Sıvı maddelerin yapısı izotropiktir: Ölçüm yönü ne olursa olsun özelliklerinde herhangi bir fark görülmez.

Sıvı molekülleri sabit değildir, ısıl hareketten dolayı sürekli yer değiştirirler. Sıvılar “düzensiz”dirler diyebiliriz.

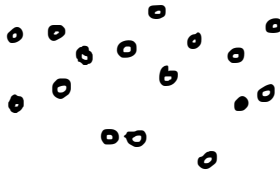
1. KATI

- Sert
- Anizotropik



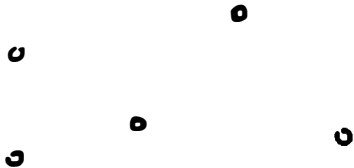
2. SIVI

- Akışkan
- İzotropik



3. GAZ

- Akışkan
- İzotropik
- Düşük yoğunluk



Şekil 15: Maddenin üç hali

- *Gazlar* da akışkandır. Genelde içinde bulundukları kabın tüm hacmini kaplarlar. Gaz halindeki maddeler de düzensizdirler. Ancak moleküllerin arasındaki uzaklık sıvıdakilere oranla daha fazladır. Gazın yoğunluğu sıvınıninkine kıyasla bin kat azdır. Ayrıca moleküllerarası kuvvetler de daha zayıftır. Yalnızca, iki molekülün çarpışması sırasında etkin olan kuvvetler önemlidir.

Ancak bu sınıflandırma *çok özet* niteliğindedir. Nitekim maddenin sıvı ve katı halleri arasında birçok ara durum da söz konusudur: Bunlar *sıvı kristallerdir*. Yüz yıl önce keşfedilen sıvı kristaller yirmi yıldan beri tanınan nesnelere dönüştüler. Küçük hesap makinelerinin ve saat ekranlarının etkin kısmını oluşturan temel madde sıvı kristallerdir.

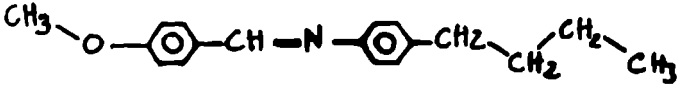
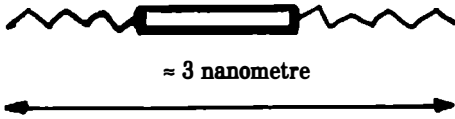
Bu olağanüstü buluş üzerinde biraz duralım: Küçük bir pil kolumuzdaki saati iki yıl boyunca besleyebiliyor ve bu süre boyunca her saniye beyaz (ya da gri) kadran üzerinde rahatlıkla okunabilen yeni bir siyah rakam görünüyor. Söz konusu kadranın niteliklerini değiştirebilmek için *çok küçük miktarda enerji* yetiyor.

İyi seçilmiş moleküller

Sıvı kristalleri elde edebilmek için çoğu kez *uzamış* moleküller gerekir; bunun genelgeçer modelini 16 no'lu şekilde sergilemeye çalıştım.

Ortada gözüken sert kısım sıvı kristali oluşturmak için yetersizdir; moleküllerimiz tamamen sert olsalardı normal sıcaklıkta sıvı yerine bir kristal oluşturacaklardı. İşte bu nedenle, *sıvı hali tercih eden*, uçlardaki esnek zincirler de gerekiyor.

16 no'lu şekilde bu tür bir sıvı kristal görülüyor (meslek dilinde MBBA olarak adlandırılır).



Şekil 16

Nematik hal

İzotropik sıvıda moleküller (uzamış olsalar bile) uzayda farklı doğrultularda gelişigüzel yayılmışlardır. İşte bu düzensizlik akışkan maddenin izotropik olmasını sağlar.

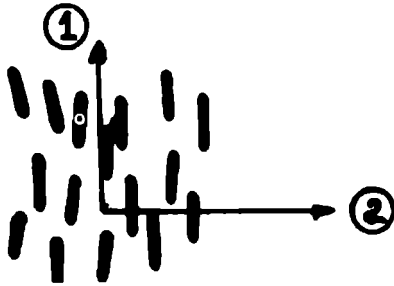
Nematik sıvıda (bkz; şekil 17) uzamış moleküller uzayda belli bir yöne paralel konumdadırlar; bu görünüm balık sürülerini andırır. Ancak değişik moleküllerin görelî konumları sabit değildir. Bunlar yer değiştirirler ve anizotropik bir sıvı oluştururlar. Bunların özellikleri, moleküllerin sıralandıkları doğrultuda (1. yön, Şekil 17) ya da buna dik yönde göre ölçümler yapıldığında farklılıklar sergiler. Söz konusu moleküller herhangi bir yöne doğru sıralanabilirler. Genelde bu diziliş yönü dış koşullarla, örneğin, nematiki barındıran cam kabın dibine çizilen birkaç çizgiyle belirlenir.

Smektik hal

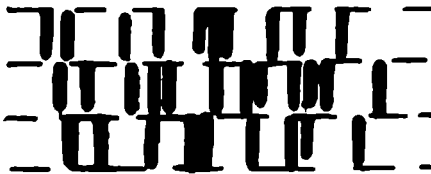
Smektikler son derece farklı bir yapı sergilerler. Moleküller katmanlar şeklinde sıralanmıştır ve bunların tümü bir milföy görüntüsündedir. Sabun-



İzotropik sıvı



Nematik
Anizotropik sıvı



Smektik
(Örn: Sabun)

Şekil 17: Sıvı kristaller, 2 büyük grup: nematikler ve smektikler

lar bu yapıya sahiptirler; nitekim smektik terimi de Yunanca '*smektikos*' yani sabundan türemiştir. Bu yapıda her katmanın kalınlığı kesin olarak belirlenmiştir.

Katmanın içinde belirgin bir biçimde birbirlerine paralel olan moleküller iki boyutlu bir sıvı oluştururlar. Moleküller burada hapsedilmelerine karşın ısı hareketin etkisiyle (katman içinde) yer değiştirebilirler. Moleküllerin merkezleri ise katman boyunca düzensiz bir şekilde dağılmışlardır.

Smektiklerin temel grubu olan "smektik A"lar kümesinde moleküller milföy düzlemine dikey doğrultudadırlar. Bu sıvı kristaller anizotropik yapıdadırlar; özellikleri de katmanlara dikey ya da paralel doğrultuda ölçülmelerine göre değişir.

Sıvı kristaller nasıl fark edilebilirler?

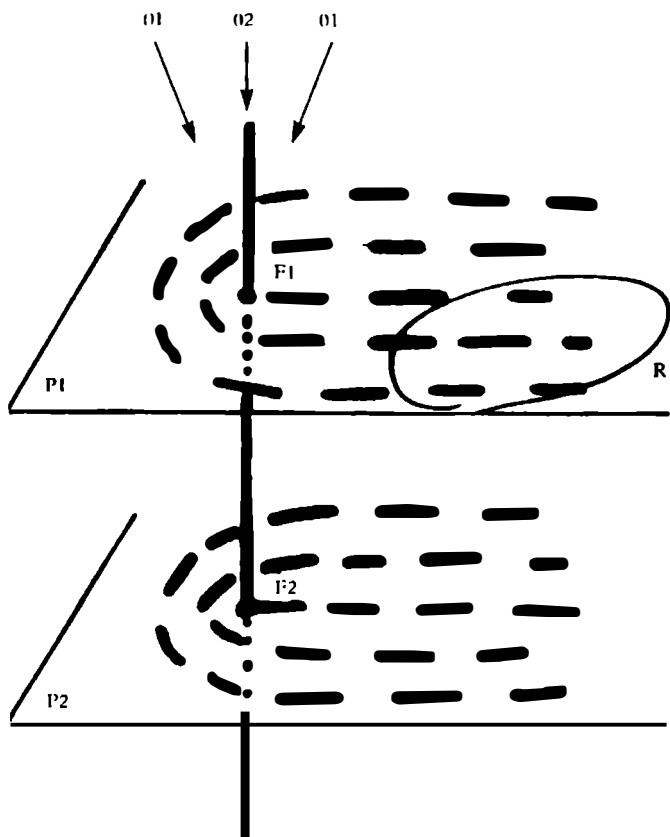
Sıvı kristal hali ilk defa, gerçek anlamda kavrayan Georges Friedel'di (1865-1933). Kendisi, bilim adamlarının yetiştiği olağanüstü bir aileden geliyordu. 1870 savaşından sonra Fransa'ya göç eden bu Alzash protestan aileden, 19. yüzyılda ilk önce büyük bir kimyacı olan Charles Friedel (1832-1899) çıktı. Organik kimyada temel bir tepkime onun adını taşır: Bu, Friedel-Kraft tepkimesidir. İkinci kuşakta, sözünü etmeye hazırlandığım Georges Friedel görünür. Üçüncü kuşakta, Friedellerden biri Madencilik Okulu'nun müdürü olur. Dördüncü kuşağa gelindiğinde ise, Fransa'da maden biliminin öncüsü olan Jacques Friedel'i görürüz.

Yirmili yıllarda Georges Friedel, basit bir mikroskobun yardımıyla, göremediği moleküllerin (uzunlukları 20-40 Å arasındadır) uzaydaki diziliş biçimini anlar. Milimetrenin otuz-kırkta biri uzunluğundaki bazı çizgileri inceledikten sonra Goerges Friedel smektiklerin yapısını açıklığa kavuşturur. Bir kez daha her şey birkaç angström ölçeğinde gerçekleşmektedir ($1 \text{ Å} = 1/10000$ mikrometre!).

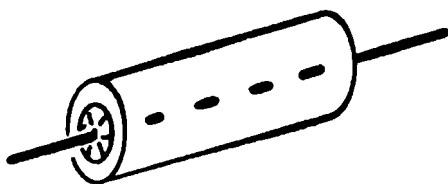
Daha kesin olarak belirtecek olursak, Georges Friedel'in mikroskobun altında gördüğü çizgiler moleküllerin dizilişindeki *kusurlardır*. Gerçekte, sıvı kristallerle ilgili betimim biraz fazla idealize edilmiştir. Anlattıklarım yalnızca milimetrenin otuz-kırkta ya da yüzde biri kadar olan bir bölge için geçerlidir. Bu mesafede, nematiğin molekülleri, örneğin, kendi aralarındaki paralel konumlarını korurlar. Ancak daha öteye gittiğimizde bu ayrıcalıklı yön değişebilir.

Bir nematiği ele alalım (Şekil 18). Buradaki P1 düzleminin R bölgesinde, moleküller belli bir doğrultuda yaklaşık olarak paraleldirler. Halbuki, bu "molekül-balık" sürümüzü bir süre izleyecek olursak, daha ötede bu doğrultunun değiştiğini ya da çizgi etrafında döndüğünü görürüz. Şekil 18'de, bu virajın ortasında kalan ortadaki balık sırası, F1 noktasında bu çizgiye toslamaktadır; bu durum az çok, soğuk Labrador akıntısıyla inen ve sıcak Gulf Stream akıntısıyla önü kesilen morina balıklarının durumuna benzer.

Çok kısa bir mesafe içinde moleküllerin aniden yön değiştirdikleri F1 noktası (bir molekü-



Şekil 18

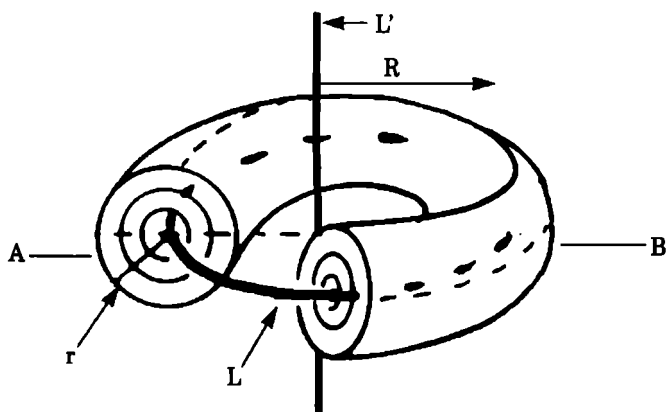


Şekil 19a

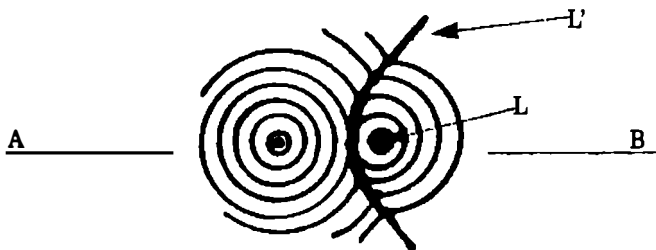
ler uzunluk kadar) bir tür “felaket” noktasıdır; bu nokta *tekil nokta* olarak adlandırılır. Moleküller uzayın küçük bir bölgesinde (yalnızca P1 düzleminde değil) birbirlerine paralel oldukları için, P1 düzlemine paralel diğer düzlemlerde de benzer bir yapıyla karşılaşırız. Düz bir çizgi üzerine düşen F1, F2... gibi tekil noktalar, 01 doğrultusundan bakınca bir “ipilik” gibi, 02 doğrultusundan bakınca da bir nokta gibi gözükürler.

Smektiklerin kusurları biraz daha karmaşıktır (Şekil 19). Bir smektigi, bir silindir oluşturacak biçimde rulo yaptığımızda (Şekil 19a) bu silindirin eksenini bir tekil çizgi L’yi oluşturur. Bu silindirin eksenine en yakın katmandaki moleküller, eksenini katettiğimizde doğrultularını ani olarak değiştirmektedirler.

Şekil 19a’daki silindirin eksenini bükerek kendi üzerinde kapattığımızda, perde halkasına benzeyen bir *torus* (simit) meydana getiririm



Şekil 19b



Şekil 19c

(Şekil 19b'de bu *torus*'un bir parçasını çıkardım). Böylece yukarda sözü edilen tekil çizgi daireye dönüşür.

Daha sonra, bu halkaya (Şekil 19b) ilave dış katmanlar eklediğimde, *torus*'un kesitinin yarıçapı r büyür; dairenin yarıçapı R 'den daha da büyüdüğünde, birbirine zır yönelimleri olan katmanlar sırt sırta gelirler. Bunların karşılaşma noktasında, dairenin eksenine rastlayan ikinci bir tekil çizgi oluşur.

Dairenin biçimi bozulup elipse dönüştürülerek daha genel kusurlar oluşturulabilir. Bu durumda ikinci tekil çizgi bir hiperbole dönüşür.

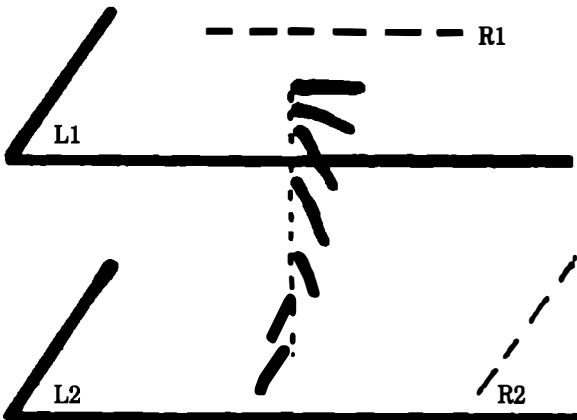
Georges Friedel tekil çizgileri inceleyerek elipsleri ve hiperbollerini fark eder (Şekil 19c). Elipslerin ve bağlı oldukları hiperbollerin birbirlerine göre konumlarını araştırdığında, bunun birbirine eşit uzaklıktaki katmanların üst üste yığılmasına işaret ettiğini böylece smektiklerin bükülebilir katmanlardan oluştuğunu bulur. Bunlar sıvı katmanlardır!

Günümüzde geometri öğretimine verilen ağırlık bu tekil eğrileri tanımamız, onları tanımlamamız ve onlardan smektiklerin yapısını ortaya çıkarmamız için yeterli olur muydu?

Sıvı kristalde düzen nasıl sağlanır?

Sıvı kristallerin genelde kullanıldığı yer gösterge kadranlarıdır (kol saatleri, elektronik aygıtlar...). Kadranın temel ilkesi şu özelliklere dayanır:

1. Nematik moleküllerinin az çok balık sürüleri gibi göründüklerini söyledik. Bunlar kendi aralarında paraleldirler. “Sürü” herhangi bir yönde olabilir ve bu yön, genellikle içinde bulunduğu kabın dibindeki çizikler tarafından belirlenir. Paralel iki cam tabakası üzerine (Şekil 20a), R1 ve R2 çiziklerini oluşturayım. R1 ve R2 birbirlerine dikey olsunlar. Bu iki cam tabaka arasına yerleştirdiğim bir nematik bir anlamda “güçlük çekecektir”. L1 cam tabakasının yakınında moleküller, R1 çizgilerine paralel doğrultuda yönelirken L2 lamı üzerinde, R1’e dikey R2 çizgilerine paralel olarak yöneleceklerdir. Moleküller kendi aralarında paralel olmayı sevmelerine karşın iki tabaka arasında bir yönden diğerine uyum sağlamak zorundadırlar.

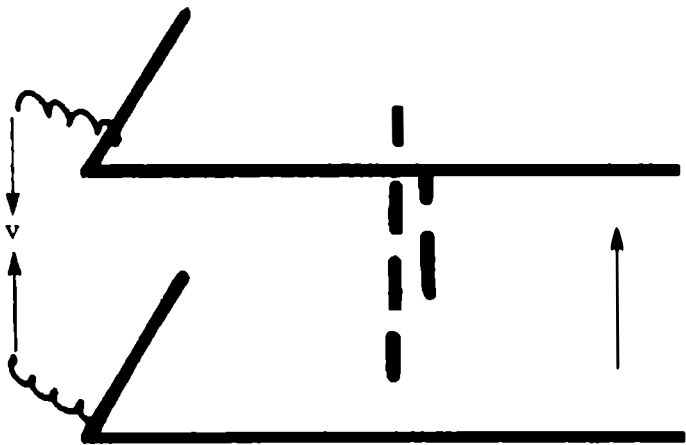


Şekil 20a

Bu durumda, yeğledikleri biçime en yakın biçime bürünecek ve sarmal biçimini alacaklardır (Şekil 20a). İlk kez Charles Mauguin tarafından gözlemlenen bu diziliş biçimi *burkulma bölgesi* olarak adlandırılır.

2. Elektrik özellikler. İki cam plaka* üzerine elektrik gerilimi uygulandığında ikisi arasında bir elektrik alan oluşturulur. Moleküllerin eksenini alana paralel doğrultuda dizilir (Şekil 20b).

3. Optik özellikler. Moleküller, uzunluklarına paralel ve dikey olarak aynı optik özelliklere sahip değildirler. Bunlar, optik olarak *anizotrop turlar*.



Şekil 20b

Bu anizotropiden yararlanılmasını sağlayan kutuplanmış ışıktır (bkz; çerçevesiz bölüm).

*Camı iletken hale getirebilmek için, onu, saydam ancak elektriği ileten kalay oksidiyle kaplarız.

Güneşten gelen ışığı inceleyecek olursak, bir ışık ışını boyunca, ışının doğrultusuna dik yönleri birbirinden ayırt edemeyiz (Şekil 21a). Genelde aynı belirsizlik diğer kaynaklardan (mum, elektrik ampülü...) yayılan ışık için de geçerlidir.

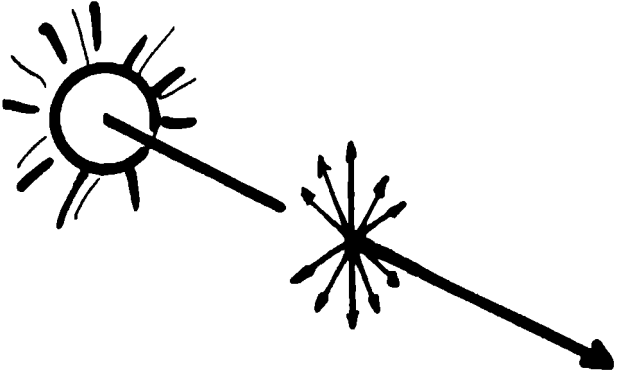
Ancak güneş ışığı cam bir yüzey tarafından yansıtıldığında bu durum değişir. Yansıyan ışığın çevresinde bir yön ayrıcalıklıdır: Bu yön, gelen ışının ve yansıyan ışının yönüyle oluşan düzleme dikeydir (Şekil 21b).

Bu durumda ışığın *kutuplandığı* söylenir. Bu “*kutuplanma yönü*”nün, ışık dalgası tarafından iletilen elektrik alanının yönü olduğu gösterilebilir.

Günümüzde kutuplanmış ışık üretimi için çok basit yöntemler vardır: Bunlar “polarizör”lerdir. En yaygın olanı ise plastik bir tabakadan ibarettir. Gerektiği gibi işlendiğinde bu tabaka, yalnızca, kutuplanma yönü polarizatörün doğrultusuna sahip ışığı geçirir. (Şekil 22a). Polarizatör süzgeç işlevini de üstlenebilir, yani, kutuplanma yönü karakteristik doğrultusuna paralel (P1) olan ışığı geçirir, dikey olanı (P2) durdurur (Şekil 22b).

Şimdi kadranın işleyiş biçimini anlatacağım. Elektrik ileten ve uygun şekilde “çizilmiş” iki cam elektrot (Şekil 20) bir burkulma bölgesi meydana getirirler. Bir P1 polarizörü kutuplanmış ışık üretir (bu ışığın kutuplanma yönü polarizörün süzme yönüne paraleldir).

Ancak bu ışık nematiğin içinde yayıldığında değişime uğrar (Şekil 23a). *Dönen bir merdiveni indiğimizde vücudumuzun dönmesi gibi ışığın kutuplanma yönü de ışının çevresinde döner.*



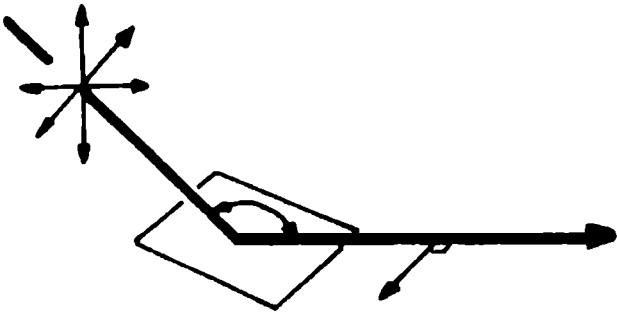
Şekil 21a

Böylece ışık, L2 lamının çıkışına yerleştirilen P2 polarizörünün süzme yönüne dikey doğrultuda L2 lamına ulaşır. Bu ikinci polarizör ışığı emer. *Dip karanlık gözükür.*

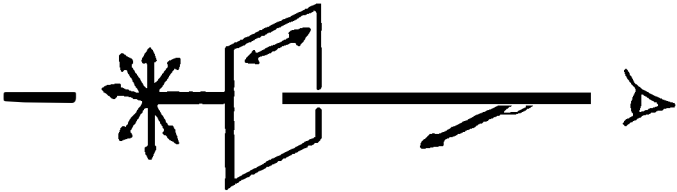
Şimdi iki elektrot arasına elektrik gerilimi uygularsam, bu gerilimin oluşturduğu elektrik alanı molekülleri yönlendirir (Şekil 20b).

İpi boyunca ilerleyen bir dağcı gibi P1 tarafından kutuplanan ışık (Şekil 23b), değişime uğramadan moleküllerin eksenine boyunca nematiği geçer. Böylece ışık, kutuplanma yönü de değişmeden P2 polarizörüne ulaşır. Bu yön, ikinci P2 polarizörün süzme yönüne paraleldir. Işık bu ikinci polarizörü durdurulmaksızın geçer. *Dip aydınlık kalır.*

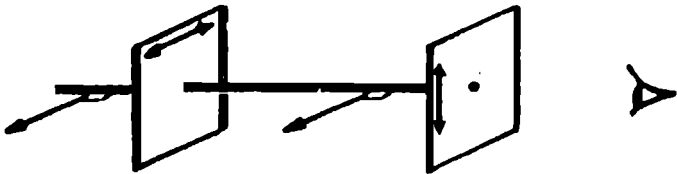
Gerçek anlamda bir kadran oluşturabilmek için her cam lamın üzerine görünmesi istenen işaretler (rakam ya da harf) çizilir. Her işaret küçük doğru parçalarından oluşmuştur; bu doğrular karşılıklı dizilmiş elektrotlardır (Şekil 24). Bu elektrotlardan ikisi arasında gerilim uygulanıp uygulanmamasına göre, o doğru parçası görünür ya da görünmez.



Şekil 21b

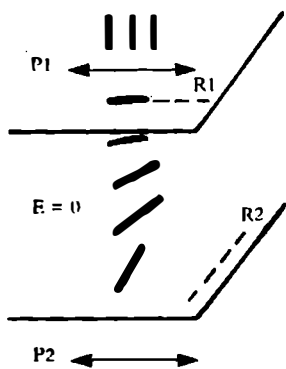


Şekil 22a

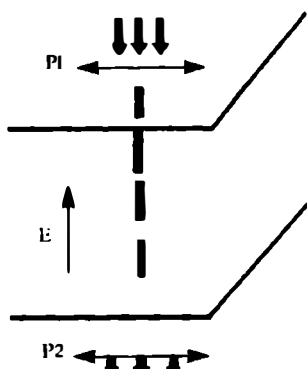


Şekil 22b

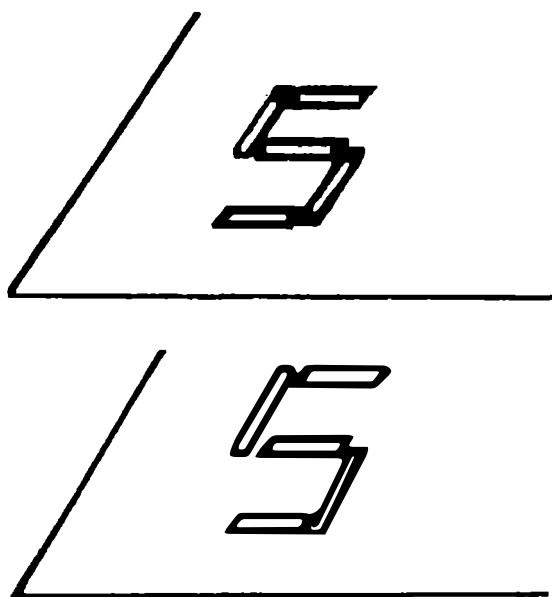
Burkulma bölgeleri sayesinde işleyen gösterge, çağımızın büyük bilginlerinden biri olan W. Helfrich tarafından bulundu. Bu aygıt önemli bir enerji tasarrufu sağlamaktadır. Başlıca ku-



Karanlık
Şekil 23a



Aydınlık
Şekil 23b



Şekil 24

suru ise “yavaş” olmasıdır. Gerçekte, elektrik alanını oluşturduktan ya da kestikten sonra nematiğin moleküllerini harekete geçirmek için saniyenin birkaç binde biri kadar bir süre gerekmektedir.

Bu süre saatlerin ve elektronik aygıtların kadranını çalıştırmak için oldukça kısa olmasına rağmen televizyon ekranları açısından fazlasıyla uzundur. Ancak, burada anlattıklarımın daha karmaşık olan sıvı kristallere yönelik bazı umutlar var: Bunlara da on yıl sonrası için randevu veriyoruz...

Nesnelerin yüzeyinde: Islanma ve kuruma

Ördeğin tüyü üzerinde

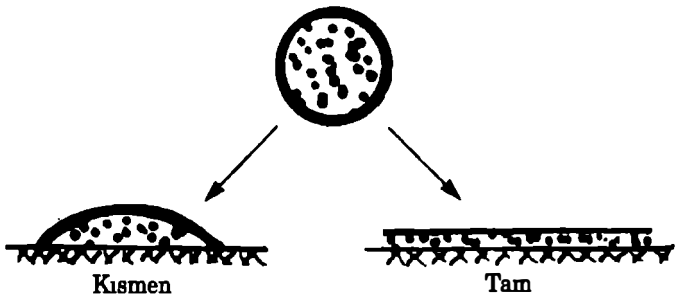
Yüzeylerin özellikleri, günlük yaşamımızda olduğu kadar endüstride de önemli bir pratik rol oynarlar. Örneğin, yağlamayla ilgili sorunlarda ortaya çıkarlar: Kapının gıcırdamasını önleyen ya da motorun yüksek ivmede ve yüksek sıcaklıkta dönmesini sağlayan bir damla yağ gibi. Fakir cevher türlerinin zenginleştirilmesi de yüzey etkileri sayesinde olur. Kimya endüstrisinde pek çok tepkime yüzeyde meydana gelir.

Yüzey iki ortamı ayırır: Bunlar, bir katı ile bir sıvı; bir sıvı ile bir gaz vb. olabilir Önce sıvının ve katı maddenin serüvenlerini inceleyelim ve sonra da onları evlendirelim...

Bir damla sıvı (su) alıp bunu katı bir yüzeyin üzerine koyayım. Seçilen yüzeye bağlı olarak çok farklı iki durum söz konusu olabilir:

1) Yüzey suyu sevmez; bu durumda, yüzeyin *hidrofob* olduğu söylenir. Damla yayılamaz. Küçük bir kubbecik* biçimini alır ve yayılmaz. Bu *kısmen ıslanma* olarak adlandırılır (Şekil 25). Ördeğin tüyüne bir su damlası konulduğunda bu durum gözlenebilir.

2) Yüzey su tarafından ıslatılmayı sever. Yani *hidrofil*dir. Çok temiz bir cam (ya da metal) yüzey buna örnek olarak verilebilir. Damla yayılır, sonunda geniş bir yüzeyi kaplar ve ince bir tabaka meydana getirir (kalınlığı moleküllerin boyutuyla karşılaştırılabilir). Bu durum *tam ıslanma* olarak adlandırılır (Şekil 25). Son hali gözlemek için günlerce ve haftalarca beklemek gerekebilir. Doğal olarak, bu arada suyun (ya da kullanılan sıvının) buharlaşmasını ve kirlenmesini engellemek için bazı önlemler alınmalıdır.



Thomas Young - 1805

Şekil 25

*Bu iki şıkta da damlaların ağırlığının aynı olduğunu, her iki durumda da küçük, (bir milimetreden daha az) yarıçaplı bir damlacık olduğunu düşünelim.

Asıl uğraşısı tıp olan Thomas Young fizikle de ilgileniyordu; kendisi üç farklı alanda döneminin en büyük fizikçilerinden biri olacaktır: bu alanlar ıslanma, elastisite –katı maddelerin eğilip bükülmelerinde esneklik olayı ortaya çıkar; burada, çok önemli bir katsayı söz konusudur: bu *Young'un modülüdür*– sonuncusu ise dalga optiği, girişimsel optiktir. Liselerde yapılan *Young delikleri* deneyi –ekran üzerinde yer alan ve içlerinden ışık geçen iki delik, diğer ekran üzerinde son derece karakteristik özelliklere sahip girişim şekilleri oluştururlar– bilim tarihinde olay yaratmıştır.

Ancak Young'un *etkinlikleri* bu noktada kalmayarak *arkeolojiyi* de kapsar. Mısır yazısıyla ilgilenen Young, bu konuda da bir kez daha J. F. Champollion (1790-1832) adlı bir Fransızla rekabete girer. Ancak Champollion Young'dan birkaç ay önce hiyeroglifleri çözerek bu konuda onu alt eder.

Birbirlerinden bu kadar farklı alanlardaki araştırmalarını bir arada yürütebilen Bay Young'u selamlıyoruz. Acaba günümüzde de bu başarılabilir miydi?

Islanma bilimi 19. yüzyılın başlarına uzanır (1805'e doğru). Bunu Thomas Young (1773-1829) adındaki bir İngiliz ve onun döneminin en parlak bilim adamlarından biri olan, fizikçi ve astronot Fransız rakibi Pierre Simon de Laplace'a (1749-1827) borçluyuz. Bunların arasındaki tek fark, Laplace çağının modern matematiğinden (kısmi türevli denklemler diyebiliriz) yararlanırken, Young'un daha çok

Yunanlıların benimsediği anlamda geometri bilgini olmasıdır. Bu nedenle Laplace döneminin toplumu tarafından genellikle daha çok “in” kabul edilmiştir. Aslında, benim açımdan ikisi de eşit saygınlıktadır.

Böylece, damlaların denge durumuyla ilgili temel ilkeler çok erken kavranmıştır. Bu görüşleri düzenleyen, ara yüzeylerle ilişkili enerjidir. Bu enerji, yüzeyin yakınındaki sıvı, gaz ya da katı haldeki maddelerin moleküllerinin karşılıklı etkileşimlerine bağlıdır. Young, ara yüzey enerjilerinin yardımıyla, kısmen ıslanma durumunda damlaların katı yüzeyle oluşturacağı açının hesaplanabileceğini gösterir.

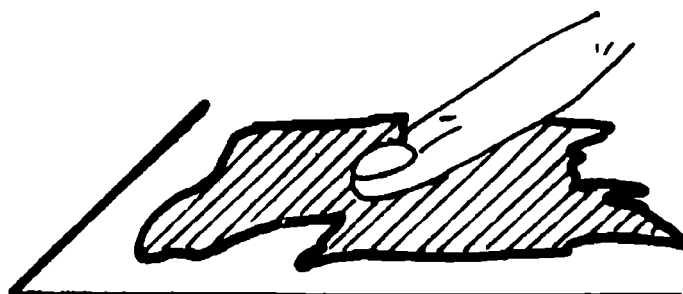
Biz de, birkaç yıl boyunca ıslanmayla büyük ölçüde ilgilenmiştik. Yalnızca damlanın son biçimini değil aynı zamanda bu noktaya nasıl geldiğini, sıvının nasıl yayıldığını da öğrenmek istiyorduk.

Aynı şekilde karşıt olguyla, yani *kuruma* ya da *sıvıların yüzeylerden ayrışmaları* ile ilgili yasaları tanımaya çalışıyorduk. Su, hidrofob bir yüzeyde yayılmaya zorlandığında nasıl kurur?

Basit bir deneyle size sıvıların yüzeylerden nasıl ayrıştıklarını göstereceğim. Önce, polietilenden yapılmış saydam plastik bir tabaka üzerine bir su damlası koyayım. Damlanın yayılmadığını gözlemlerim. Bu durum kısmen ıslanmadır (Şekil 26a), polietilen suyu sevmez, yani hidrofobdur. Şimdi bu damlayı plastik üzerinde yaymak için parmağımla kuvvetle ezsem (Şekil 26b), ne görürüm?

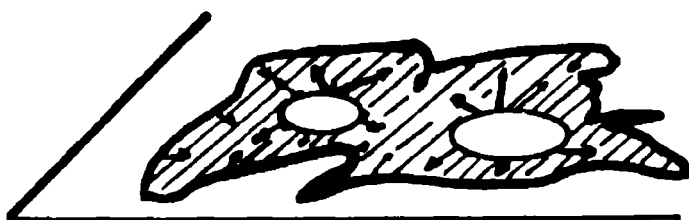


Şekil 26a



Şekil 26b

Suyla kaplı yüzeyde kuru alanlar ortaya çıkar. Bu kuru delikler büyür. Sıvı katı yüzeyden kaçar (Şekil 26c). Deney, bu kuru alanların büyüme hızının gayet iyi tanımlı olduğunu göstermektedir. Sıvıların yüzeylerden ayrışmaları ile ilgili yasalar F. Brochard, J. B. Brozka ve C. Redon tarafından niceliksel olarak ortaya konmuştur; ancak bu sonuçlara kolay varılmamıştır.



Şekil 26c

Ailenin halısı

Şimdi betimlemeye çalışacağım basit bir deney günlük yaşamımızda olduğu gibi endüstri alanında da önem taşıyan bazı olguları örneklemektedir. Yağmur yağmaya başladığında yol yüzeyinde oluşacak görüngüler ya da çeşitli kimyasal dönüşümler, sıvıların yüzeylerden ayrışma mekanizmalarıyla bağıntılıdır.

Islanma ve sıvıların yüzeylerden ayrışmaları ile ilgili araştırmaların, niçin Laplace ve Young'un bulgularından hemen sonra gelmediği sorulabilir. Bunun nedeni esas olarak teknolojidir. Benim betimlediğim basit koşullarda deney yapıldığında kuru ve ıslak alanlar arasındaki sınırın son derece düzensiz olduğu görülür. Bu düzensizlik sayısız yapısal kusurla ilişkilidir. Bunlar fiziksel kusurlar (örneğin, polietilendeki çizikler) ya da kimyasal bozukluklar olabilir (bazı noktalara parmağımla bulaştırdığım yağ). Bu deneyleri tekrar edilebilir bir biçimde yapabilmek, bunların yasalarını çıkarmak için çok temiz, çok kontrollü yüzeyler gerekir. Young'un döneminde bu tür yüzeyler yoktu.

Günümüzde *wafer* olarak adlandırılan (Fransızca İngilizce karışımı bir sözcük) olağanüstü bir malzemeye sahibiz. Bu, silisyumdan yapılmış, çapı 10 cm olan çok ince bir levhadır (tanesi beş yüz franga); bu silisyum monokristali on santimetre üzerinde, kusursuz olarak tam taminine arka arkaya dizilmiş yüz milyon atom sırasına sahiptir! İşte, güzel bir teknolojik buluş. (Geçmişte, Pierre Agrain'in yanında öğrenciyken, yarıiletken kristalleri üretmiş olduğumdan, bu tür bir malzemenin kolay kolay elde

edilemeyeceğine güvence verebilirim). Bu levhalar, günümüzdeki elektronik “yonga”ların üzerine oyulduğu tabandır.

Bu derece güzel bir nesneyle çaba harcamadan olağanüstü bir yüzeye sahip olacağımız ve böylece sıvıların yüzeylerden ayrışmaları ile ilgili ikna edici deneyler gerçekleştirebileceğimiz düşünülebilir. Ancak ne yazık ki, bu doğru değil. Bu eşsiz levhanın yüzeyinde de bazı kusurlar bulunmaktadır: Levha, havayla temas halinde oksitlenmekte ve biraz düzensiz olan çok ince bir silis katmanıyla örtülmektedir.

Bu durumda ne yapılabilir? Bu durumda, aynen aileler gibi hareket edilir. Aileler odanın parkesi eskidiğinde halı satın alırlar. Burada da aynı uygulama söz konusudur: Wafer’ın yüzeyine küçük tüylere benzeyen moleküller bağlanır. Böylece tüm yapı, açıkça görülmeyen kusurları gizleyen, olabildiğince düzgün bir halıyla kaplanır. Ancak tam anlamıyla kusursuz bir halı üretmek kolay değildir; su molekülleri bu yüzeye takılarak tepkimeyi kuvvetle bozarlar.

Burada, sıvıların yüzeylerden ayrışmaları ile ilgili tezi Curie Enstitüsü’nce kabul edilen Jean Bruno Brozka’nın çalışmasını zevkle anmadan geçemeyeceğim. Problem ona şu şekilde sunulmuştu: “Yüzeyi iyi işlenmiş ‘waferlar’ üretmelisin”. Günümüzde genç bir araştırmacı bu isteğe karşılık şunları söyleyecektir: “Oh, ama bu tepkime pisliklere, suya ve toza karşı son derece duyarlı... Bana ‘beyaz bir oda’ gerekiyor”.

“Beyaz oda” bir tek toz olmayan, atmosferin kontrol edildiği ve maskeyle girilen bir odadır; bu tür bir düzenlemenin maliyeti ise 250.000 FF’dir.

Jean Bruno zor koşullarda çalışıyordu: Okurken aynı zamanda Ulusal Meteoroloji'de çalışarak geçinmek zorundaydı. Tezini hazırladığı sırada gecelerini, televizyonda görülen meteoroloji haritalarını hazırlayarak geçiriyordu. Laboratuvara öğle saatlerinde biraz bitkin bir halde varıyordu; ancak kendisi tuttuğunu koparan ve yaratıcı bir kişiliğe sahipti.

Bu problem üzerinde düşündü ve pek çok deney yaptı. Ancak beyaz bir oda isteyeceğine deneyi laboratuvarın parkında, *güneşli bir kış sabahı* gerçekleştirmeyi önerdi. Bu tasarısıyla amacı, meteorolojide iyi bilinen koşullardan, yani havada su buharının bulunmamasından yararlanmaktı.

Yalnızca bu düşüncesinden hareket ederek, zamanında uluslararası topluluğun elde edebileceği en güzel katmanları hazırladı (bundan dört yıl önce).

Bu öyküyü öğretici buluyorum. Bu olay tabii ki bir yandan Jean Bruno'nun kişiliğini ortaya koyarken bir yandan da araştırmada gereksinim duyulan düşünce biçimine tanıklık ediyor; başka bir deyişle, fındığı ezmek için şahmerdanı aramadan önce fındığın üzerinde açılmasını sağlayacak bir işaret bulunup bulunmadığına bakmak gerekiyor.

Aynı zamanda sıvıların yüzeylerden ayrışması kuram ile deney arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. Bu deliklerin büyümesiyle ilgili kuramı anlamak kolay değildir; nedeni ise, her deliğin çevresinde, başlangıçta ıslanan alandan dışarı çıkan suyun toplandığı sıvı bir kıvrım (gözle görülmez) bulunmasıdır. Bu kıvrımın yapısı çok basit sayılmaz; bunu anlamak iki kişinin hidro-

dinamik kuramıyla ilgili altı aylık çalışmasını gerektirmiştir; bu da büyük bir iş olarak görülmemelidir. Buna karşılık Jean Bruno Bozka ve Claude Redon'un ıslanma deneyleri dört yıllık bir çalışmanın ürünüdür; bunun sonucunda, sıvıların yüzeylerden ayrışmaları ile ilgili evrensel yasalar ortaya konulmuştur. İşte burada, görece ağırlık dikkat çekicidir: Kuram için altı ay, deneysel çalışma için ise tam dört yıl.

İnci kolyesi

Sıvı ve katı madde ilişkilerinde, ıslanmayla ilgili olarak çok farklı özelliklere sahip, olası iki durumu anlattım: Bunlar, kısmen ya da tam ıslanmaydı. Bu ikisinden hangisiyle karşı karşıya bulunduğu her zaman bilebilir mi?

Sıvı, görece geniş katı bir yüzeye konuluyorsa genelde deney oldukça açıktır. Ancak bir iplik sıvıya batırıldığında durum değişir. (Tekstil endüstrisinde bu durumla sıkça karşılaşılır). Doğru yanıtı bilmek büyük önem taşır.

Erimiş bir polimerden tekstil ipliği üretmek gerçek bir ustalık gerektirir. Küçük bir delik açılmış bir borudan dakikada 6000 metre koyu polimer çekilir. Bu, büyük bir hızla bobin üzerine sarılmadan önce katılaşır. Makaraya sarma işlemine dayanabilmesi, dokuma sırasında diğer ipliklerin üzerinden kayabilmesi, boyama sürecinde renklerin tutması için ipliğin korunması, bir sıvıyla kaplanması gerekir (meslek dilinde bu, ipliğin banyo edilmesi olarak adlandırılır).

Bu tür sorunlarla uğraşmak zorunda olan mühendisler sürprizlerle de karşılaştılar. İpliği üretmek için kullanılan polimerlere tuhaf

bir şeyler oluyordu. Bunlar tabaka halinde bütünüyle ıslanırken iplik halinde sanki hiç ıslanmıyorlardı! İplik, içine daldırılıp ıslatıldığı sıvıdan çıkarıldığında bir kolyenin incileri gibi küçük damlalarla süslenmiş görünüyordu ... İşte, burada bizim ördek tüyleriyle karşılaşmaktadır. Bu noktada kişi hep bir çelişki bulmak ister.

Tabaka halindeyken ıslanabilen bu malzeme iplik biçimindeyken ıslanmayacak mıydı? Oysa ıslanma, malzemenin geometrik şeklinden çok polimerin ve sıvının fizikokimyasal özellikleriyle bağıntılı olmalıydı.

Kuramcılarımız yavaş yavaş ipliğin gerçekten ıslandığına, damlalar arasında bütünüyle sıvı bir katmanın ipliği örttüğüne ikna oldular. Ancak bunu nasıl kanıtlayacaklardı?

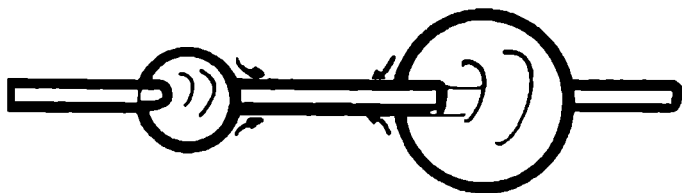
Sıvı katman gözle görülmez. Dahası, kuramsal tahminlere göre bu katmanın kalınlığı yaklaşık olarak birkaç nanometrelik bir değere sahiptir. Doğal olarak, bu tür katmanların varlığını anlayabilmek için son derece gelişmiş ve hassas yöntemler vardır. Ancak ben, Fizik ve Kimya Okulu'nun iki kıdemlisi olan J. M. di Meglio'nun ve D. Queré'nin yaptığı deneyi yeğliyorum. Onlar sade ve kolay bir biçimde bu katmanın varlığını kanıtlamışlar, hatta kalınlığını ölçmüşlerdir.

Yamyam damlalar

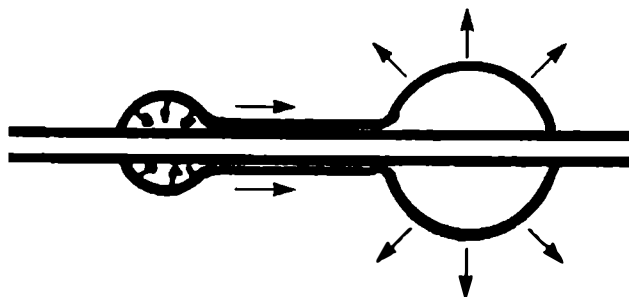
Bu deneyin sırrı, kuru bir iplik üzerine aralarında yaklaşık olarak 1 mm mesafe olan birbirine yakın iki damla koymak (Şekil 27a) ve bakmaktan ibarettir.

İplik bütünüyle ıslanabilecek türdeyse, sıvı damlaların her birinden çıkacak ve bu damlaların arasında yer alan iplik yüzeyini bütünüyle kaplayacaktır. Bu işlem zaman alır fakat katman oluştuğunda, sıvıdan oluşan bir tür ince tüp iki damlayı birbirine bağlar. Bu aşamadan sonra aniden oldukça şaşırtıcı bir gelişme olur ve küçük damla büyüğün içine boşalır (Şekil 27b). Sıvı alışverişi olduğuna göre ıslanma da vardır. Gerçekten de, uçucu olmayan bir sıvı, ipliği “izlemeden” yani onu ıslatmadan nasıl bir damladan diğerine geçebilir?

Büyük damlanın küçüğü yutması, düşünüldüğünde o kadar da tuhaf değil. Hepimiz, yağmurlu bir günde damlaların camın üzerinde aktığını



Şekil 27a



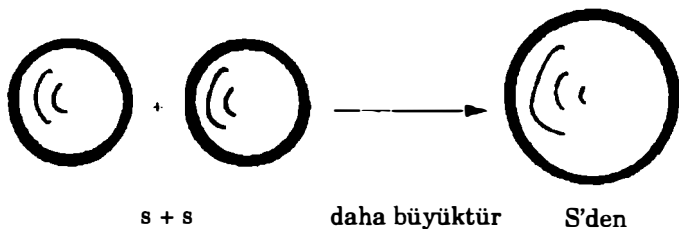
Şekil 27b

ve karşılaşan iki damlanın bir tek damla oluşturmak üzere nasıl doymaz bir biçimde birleştiğini görmüşüzdür.

İki küçük damlanın toplam yüzeyinin ($s+s$), bunlarınkine eşit hacimde sıvı hapseden tek bir büyük damlanın S yüzeyinden daha büyük olduğuna kolaylıkla inanılabilir (Şekil 28). Oysa, sıvının yüzeyine orantılı bir enerjinin varlığını göreceğiz. İki damla yerine, en az yüzey enerjisi içeren ve en kolay oluşturulabilecek sistem tek bir büyük damladan ibarettir. Bu noktaya ulaşabilmek için küçük olan büyüğü doldurur; işte deneycilerimize yol gösteren de damlaların bu fiziksel “yamyamlık” görüngüsüdür.

Bu deney, ıslanma katmanının varlığını kanıtladığı gibi ayrıca kalınlığının da ölçülmesini sağlamıştır!

Gerçekte, küçük damlanın büyüğün içine boşalma süresi oldukça uzundur; bu işlem ortalama bir öğleden sonrasını, bazen bir günü alır. Bu süre büyük ölçüde sıvının ipe sürtünmesiyle bağıntılıdır. Katman inceldikçe sürtünme artacak ve bunun sonucunda boşalma zamanı daha da uzayacaktır; katmanın kalınlığı da boşalma zamanı hesaplanarak belirlenir.



Şekil 28

Benjamin Franklin ruhu

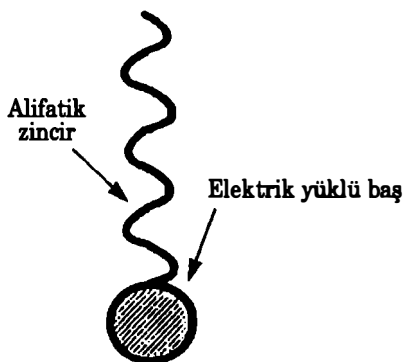
Burada anlattığım, silisyum waferleri ve iplik üzerindeki tanelerle ilgili iki öykü araştırmada önemli olan bir düşünce biçimini açıklamaktadır. Ben bunu “Benjamin Franklin ruhu” olarak adlandıracam.

Bu düşünce biçimini betimlemek için tekrar bir yüzeyi ele alalım. Bu kez yüzeyimiz sıvıyla gazı ayıracak.

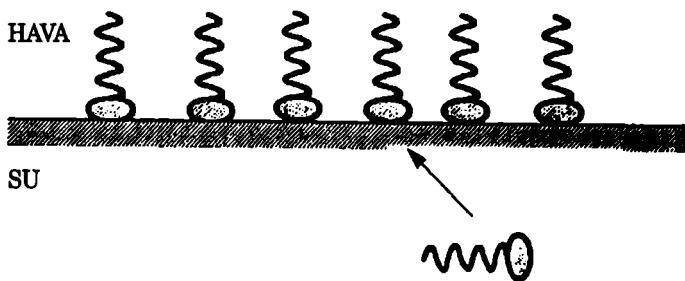
Sıvıyla gaz arasında kabarcıklar ve köpükler de işin içine girer, ancak bunları şimdilik bir tarafa bırakalım...

İlk olarak, suya az oranda “sürfaktan” eklendiğinde neler olduğunu gözlemleyelim (sürfaktan, deterjanların ya da çamaşır suyunun etkin maddesidir). Sürfaktanların molekülleri oldukça ilginç nesnelerdir. Küçük sayılabilecek bu moleküller (1-2 nanometre uzunluğunda) birbirlerine şiddetle karşıt iki özellik içerirler. Bunlar şizofren moleküllerdir... Molekülün uçlarından biri son derece hidrofildir (bu genelde asidik bir kısım). Bunu molekülün elektrik yüklü başı olarak adlandıracamız (Şekil 29). Molekülün geri kalan bölümü kesinlikle hidrofobdur; bu, birbirini izleyen 12-20 CH₂ gruplarından oluşan “alifatik” bir zincir; yeni bir polietilen parçasıdır [1c].

Bu tür bir molekülü tek başına suya daldırdığımda son derece “mutsuz” olur. Alifatik zincirin tek düşüncesi tiksindiği sudan kaçmaktır. Isıl hareketin yardımıyla yüzeye ulaşır. Durum çok parlak olmasa da daha iyidir. Elektrik yüklü baş ise büyük bir mutlulukla su altında kalabilir. Hidrofob zincir havada kuruyabilir. Kümesteki tavuklar gibi birbirlerine sokulan sürfaktanlar



Şekil 29



Şekil 30

böylece hemen hemen tam istedikleri gibi bir konumdadırlar: Kafa suyun içinde, zincir ise havada, yüzeye aşağı yukarı dikeydir. İdeal olanı ise suyun tüm serbest yüzeyinin örtülmesidir. Moleküller, kalınlığı bir moleküler uzunluğa eşit tam anlamıyla düzgün bir katman oluştururlar (Şekil 30). Bu bir *tek katmandır*.

Bazen bir öğrencime sorarım: “Bu kalınlık nasıl ölçülür?”. Okulu bitirmek üzereyse, günümüzde fizikçilerin sahip olduğu X ışını üreteçle-

ri, nötron demetleri üreten reaktörler vb. olağanüstü aygıtlardan söz edildiğini duymuştur.

Biraz düşündüğünde, örneğin, X ışınlarının kullanılmasını önerecektir. Gerçekten de, X ışınları bu problem için çok uygundurlar. Ama öğrencimiz (eğer iyi bir öğrenci ise) bu katmanın çok ince olduğunu fark edecektir; ışınlarla etkileşmeye girebilecek toplam çok az malzeme söz konusudur. Bu nedenle de katmanın göndereceği ölçülebilecek sinyal son derece zayıf olacaktır.

Güçlü bir X ışını üretici olan senkrotronla deneyi yapmak mümkün olabilir... Tabii ki, bu aygıtlarla yapılan bir deney çok pahalıdır.

Neyse ki, Benjamin Franklin iki yüz yıl önce daha basit bir çözüm getirdi. Hepimiz, en azından paratoneri bulan kişi olarak Benjamin Franklin'den söz edildiğini duymuşuzdur. Ayrıca kendisi XVI. Louis zamanında yeni kurulmuş olan ABD'nin Fransa büyükelçisiydi. Geniş bir kültüre sahip, son derece meraklı bir insandı. Aydınlanma Çağında "fizik kabineleri"nde yapılan tüm deneylerle ve özellikle de yağın su üzerindeki etkileriyle ilgilendi. Yunanlılardan beri, denizin üzerine yayılan bir yağ katmanının dalgaları sakinleştirmeye yaradığı bilinir. Franklin önce küçük bir gölün (Londra yakınlarındaki Clapham'da) kıyısına giderek bir kaşık zeytinyağını yavaşça göle döktü (yağ molekülleri yukarıda tanımladıklarıma oldukça benzerler).

Yağ yayıldı ancak yüzeyin optik görünümü değişmedi (çünkü yağ katmanı ışığın dalga uzunluğuna göre çok inceydi). Yine de Franklin örtülen alanları seçebiliyordu: Yağın yokluğunda esinti gölün üzerinde küçük dalgalar oluştururken yağ

olduğunda hiçbir dalgalanma görülmüyordu, yüzey düzdü! Bu kıstas sayesinde Franklin, yağ katmanının yüzölçümünü doğru bir şekilde hesaplayabildi: Bu alan 100 m² mertebesinde, yani son derece büyüktü.

Bu deneyden önemli bir sonuç çıkmaktadır; ama bu sonuçtan Franklin değil yüz yıl sonra Lord Rayleigh yararlanacaktır*. Yağın hacmi yayılma yüzeyine bölündüğünde, nanometre basamağında ortaya çıkan katmanın yüksekliği bulunur: Bu yükseklik (kabaca) *yağ moleküllerinin boyudur*. İşte, öğrencilerimizin başta düşünmesi gereken basit bir deney! Bu deneydeki ustalık gözlem yeteneği, örtülü alanların ayırt edilebilmesini sağlayacak olan püf noktasıdır.

Bu örnek bence çok önemli. Bunu herhangi bir deneyde “Franklin ruhu” olarak adlandırıyorum. Biraz önce anlattığım silisyum waferları deneyi ya da iplik üzerindeki damla kolyesi de “Franklin ruhu”na dayanan deneylerdir.

Kuşkusuz, senkrotronun X ışınmasının ya da reaktörlerin nötron demetinin yararsız olduğunu söylemiyorum. Bunlar çoğu kez vazgeçilemez unsurlardır.

Ben kendim de nötronlarla elde edilen sonuçlardan yararlandım! Ancak Franklin ruhunu unutmamak gerekir...

Sürfaktanların sayısız pratik yararları vardır. Suda çözünemeyen maddeleri suyun içinde yayabilirler. Çamaşır sularının sürfaktanları bu şekilde etkilerini gösterirler.

*Sürfaktan katmanlarının öyküleri için Charles Tanford'un *Ben Franklin stilled the waves* (Duke University Press, 1989) başlıklı (olağanüstü) kitabına başvurmak gerekir.

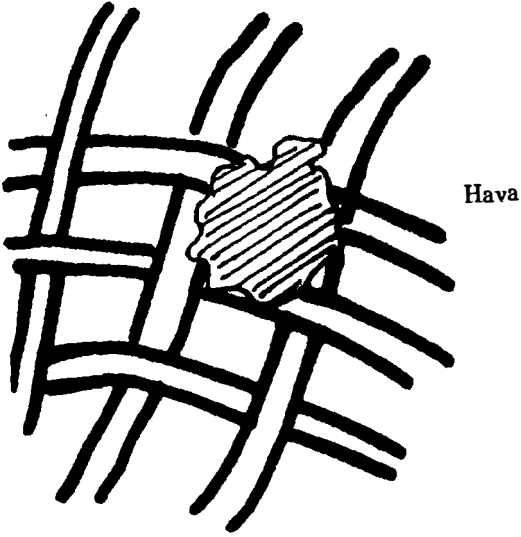
Hidrofob bir kir, moleküllerin karşılıklı etkileşimleriyle kumaş üzerinde kalır (Şekil 31a). Hidrofob olduğu için suda çözünemeyen bu kir suyun geçişine karşı koyar. Bu durumu, yemekten sonra gömleğimizin üzerindeki yağ lekesiyle örnekleyebiliriz. Suyun içine biraz sürfaktan koyduğumda, hidrofob zincirler kirin üzerinde asılı kalır, sudan tarafta ise elektrik yüklü başlardan oluşan bir kabuk oluşturur; bu kabuğun tek amacı suda yüzmektir (Şekil 31b)...

Çift katman ve yuvar

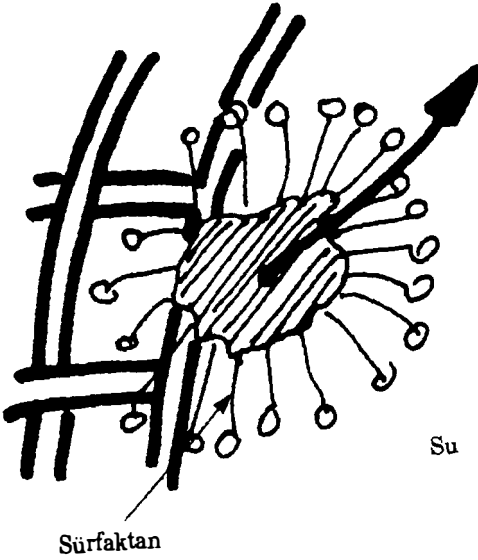
Tek katmanın (su/hava ara yüzeyinde tek moleküllü katman) oluşumu sürfaktan moleküllerinin ikili yapılarına yanıttır. Ancak bu moleküllerin bulduğu diğer bir çözüm ise suyun içinde çift katman yaratmaktır. Bunu yapabilmek için bir kısmı baş aşağı, diğerleri başı yukarı gelecek şekilde yerleşirler: Sevdikleri komşuları tarafından sudan korunan alifatik zincirler memnundurlar; elektrik yüklü başlar suda yüzen birbirine paralel iki hidrofil yüzey oluştururlar (Şekil 32).

Doğa bu dikkat çekici (ancak “kırılgan”) nesneyle harikalar yaratacaktır! Bir çift katman, bir su katmanı, bir çift katman, bir su katmanı vb. üst üste geldiğinde sabun elde edilecektir. Bu tür bir yapıyı daha önce “smektik” sıvı kristallerde de gördük. Georges Friedel bu ismi (smektikos: sabun) onlara boşuna vermedi.

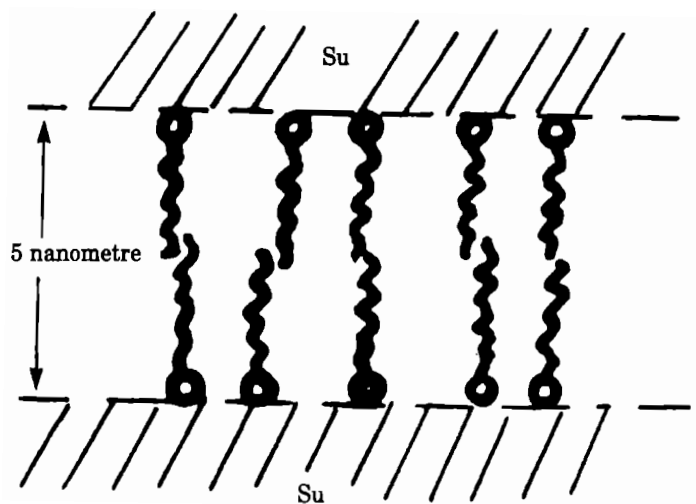
Çift katmanı kendi üzerine katlarsam bir tür torba elde ederim (33. şekilde, tüm yüzeyi kaplayan moleküllerin salt bir bölümü betimlenmektedir).



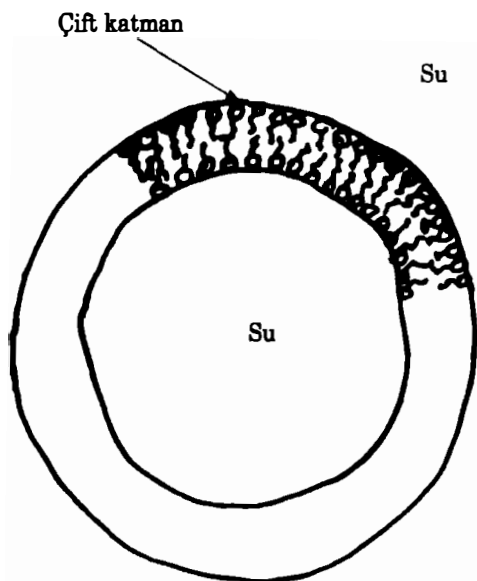
Şekil 31a



Şekil 31b



Şekil 32

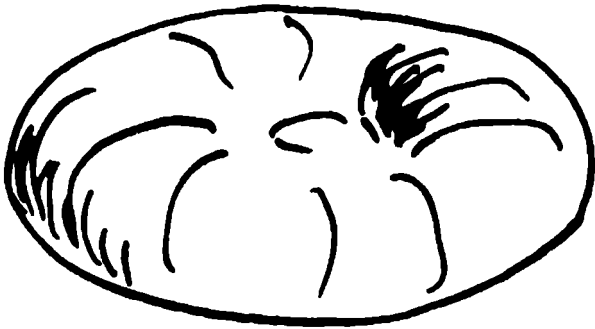


Şekil 33

Organizmamızın hücreleri de farklı bir biçimde oluşmamışlardır. Doğal olarak, bunların çeperleri özgül işlevlere sahip başka moleküller de barındırırlar ancak temel yapıları bu şekildedir.

Bu hücrelerden biri olan kanımızdaki alyuvar üzerinde biraz duralım. Alyuvarlar, mikroskopta görülecek kadar büyük, yirmi mikrometrelik çapı olan içbükey küçük bir disk biçimindedirler (Şekil 34).

Bu oldukça özgün, ya da daha doğrusu soysuzlaşmış, çekirdeksiz bir hücredir. Ancak akciğerlerimizde oksijeni alan ve hücrelerimize geri veren hemoglobini taşıdığı için önemlidir. Bu “nesne” esas olarak, son derece esnek bir çift katmandan oluşmuştur. Bu yuvar en küçük kan damarlarının (kılcal damarların) içine sokulmak zorundadır; bunlar çoğu kez kendisinden daha dardır. Her canlı hücre, temel maddesinin çift katman olduğu bir çeperle korunmuştur. Lise öğrencilerinin çoğu bunu bilir! Ancak çift katmanın varlığının ilk kez nasıl gösterildiğinden çok az sayıda



20 Mikrometre

Şekil 34

insan haberdardır*. Bu olgunun ortaya konulmasını sağlayan düşünce yapısı, Benjamin Franklin'inkine çok yakındır. 1925'te iki Hollandalı doktor (Gorter ve Grindel) içerden ve dışardan sulu bir ortama maruz kalan hücre çeperinin çift katmanlardan oluşması gerektiğini düşündü. Bunu kanıtlamak için alyuvarların bir asaltısını optik mikroskopta inceleyerek bunun toplam yüzeyini hesapladılar. Daha sonra klasik yöntemlerle, var olan lipidleri (sürfaktanlar) çıkardılar. Bu işlemden sonra ise lipid hacmini yüzeye bölerek çeperin kalınlığını hesapladılar; bu kalınlık, *iki* molekül kalınlığına eşdeğerdi. Burada da Benjamin Franklin ruhu gelişmiş teknik özelliklerle donanmış aygıtlardan (elektronik mikroskoplar) çok daha önce önemli bir zafer elde etti.

Yaklaşık iki yüz yılı aşkın bir süreden beri alyuvarlarla ilgili araştırmalar yapılıyor. 20. yüzyılın başında da özellikle ilginç bir nitelik gözlemlendi: Bunlar, iyice berrak ve karanlık bir gecede yıldızlar gibi parlıyorlardı...

Böylece doğa bilimcileri hayal güçlerini sonuna kadar kullandılar ve hatta bazıları bu parıldamanın yaşamın bir göstergesi olduğunu düşündüler. İşte, anlaşılması zor bir felsefe...

Sonunda biz bu durumun hiçbir şey demek olmadığını kanıtlamayı başardık. Bir doğa bilimcisi olan J. F. Lennon bu parıldamayla ilgili çok güzel deneyler gerçekleştirdi. Kendisi, hücrenin bütününe bakmakla yetinmeyerek (Şekil 35) aynı zamanda bağıntılar da kurdu. Lennon parıldamayla şu açılardan inceledi:

*Bu öyküyü Charles Tanford'un düzenlediği bir seminer sayesinde kısa bir süre önce öğrendim.



Faz kontrastı mikroskobu



Çift katman

Şekil 35

- Herhangi bir anda hücrenin herhangi bir noktasından.

- Daha sonraki bir zaman aralığında başka bir noktadan.

Bu parıldamanın, iki nokta arasındaki uzaklığa ve incelemenin yapıldığı zaman aralığına göre nasıl değiştiğini saptadı. Bu tür bir çalışma karmaşık bir optik düzenek gerektirir ancak yüzeylerle ilgili pek çok ayrıntının ortaya çıkarılmasını sağlar.

J. F. Lennon ile ekibimizdeki bir kuramcı, F. Brochard, iyi bir işbirliği gerçekleştirdiler. Brochard, parıldamanın kesinlikle canlıdan kaynaklanan karmaşık bir ileti olmadığını, yalnızca basit bir şekilde ısı hareketinin sonucu olduğunu göstermeyi başardı.

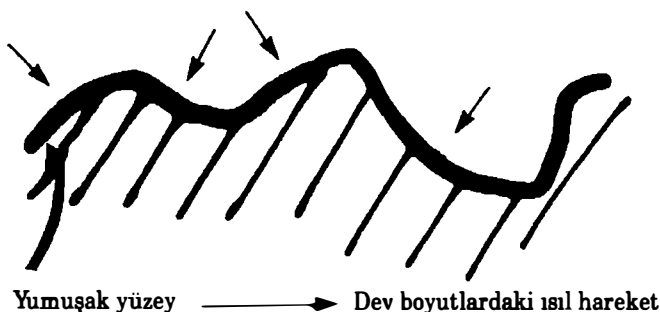
Bu olguyla daha önce de karşılaştık. Sıvı içinde, moleküller çeşitli yönlerde doğru büyük bir hızla hareket ederler; sıcaklık arttıkça moleküllerin ivmesi de artar ve bunlar sık sık birbirlerine çarparlar. Moleküller, mikroskopta görülemeyecek kadar küçüktürler. Böylece ne devi-

nimleri ne de bu devinimin nedeni olan ısı hareket doğrudan görülebilir.

Sıvının içine küçük bir parça (bizim alyuvar gibi, birkaç mikrometre boyutunda ancak sert) yerleştirdiğimde bu, ısı hareketi “ele vermez”. Bir saniye içinde, sayısız molekül kendisine çarparsa bile kılmıdamaz. Çok ağırdır ve çeşitli yönlerden gelen sayısız darbeler birbirlerinin etkilerini yok ederler.

Bizim alyuvarımız ısı hareketin etkisi altında bütünüyle yer değiştirebilmek için çok büyüktür. Ancak bu arada olağanüstü bir açılma olanağı sunar. Kendisini saran çift katman gerçekte *son derece yumuşak* bir yüzeydir. Şeklinin fark edilebilecek kadar bozulabilmesi için çok küçük miktarda enerjiye gereksinimi vardır; bunun için, molekül darbelerinin yarattığı enerji yeterlidir.

Parıldamaya yol açan bu yerel ve rastlantısal biçim bozulmalarıdır (Şekil 36): Yüzeyin her bir küçük bölümü sallanan küçük bir ayna gibidir. Sonuçta, bu parıldama ısı hareketin “çevirmeni”dir.



Şekil 36

Bu tarihten itibaren (1973-1974), kolayca şekil değiştirebilen bu *rasgele yüzeylerin* ilginç bir çalışma alanı sunduklarını sezinledik. Daha sonra bu konuda önemli çalışmalar yapıldı ve canlı hücreler arasındaki temas (biyolojide önemli bir rol oynayan temaslar) sorunuyla ilgili bazı sonuçlar ortaya konuldu. Bu çalışmalar özellikle W. Helfrich'le beraber yürütüldü; Helfrich sıvı kristal kadranı bulan kişidir.

Rasgele yüzeylerle ilgili bütünüyle geometrik çalışmalar da pek çok araştırmamanın yapılmasını sağladı. Bu bilim dalı günümüzde ilginç olmaya başladı çünkü temel parçacıkların –maddenin nihai yapıtaşlarının davranışlarının– açıklanmasına yönelik geleceğin kuramlarına temel oluşturmaktadır. Bu parçacıklar, sıradan özelliklerle (bir kütle, bir elektrik yükü...) donanmış basit noktalar şeklinde değerlendirilemez. Bunlar küçük halkalar olarak “hayal edilmektedir” (az çok duman halkaları gibi). Zaman içinde yer değiştiren halka, rasgele bir yüzey olan bir çeşit tüp meydana getirmektedir

İşte, birkaç santimetrelik ölçeğe uygulanabileceği gibi (duman halkası örneğinde olduğu gibi), on milyar kat daha küçük (canlı hücreler arasındaki temaslarda olduğu gibi) ve hatta bundan da on milyar kat daha küçük ölçeklere (temel parçacıklar) indirgenebilecek şaşırtıcı bir kavram.

Oldukça mütevazı bir sorunun (bir alyuvarın parıldaması) bu derece farklı görüngülerle ilişkilendirilebilmesi sevindiricidir. Bilimsel çalışmalarımızın bize verdiği mutluluk, düşün bağlamında her şeyin birbiriyle ilintili olduğunu görmektir.

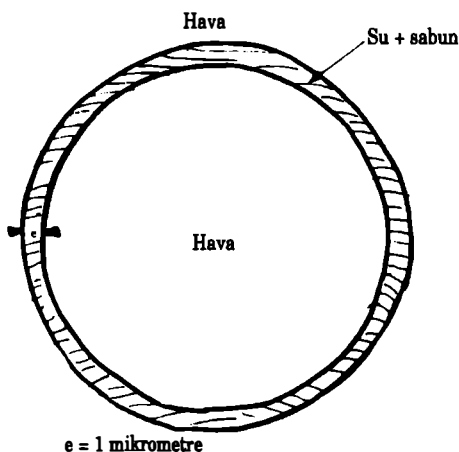
Kabarcıklar ve köpükler

Sabunun kabarcıkları güzel, renkli, hareketli ve narindirler. Bunları çocuklara göstermek ne büyük bir mutluluktur! Gittiğim liselerde çoğu kez Chardin'in (bir çocuk ve bir kabarcık) resmi-
nin ya da kabarcığı yakalayabilmek amacına an-
nesine asılan bir bebeği betimleyen, çağdaşı Ja-
pon bir ressamın eserinin (Shibakoyan) bir say-
damını gösterirdim.

Sabunun kabarcığında yaşamın tüm evreleri
görülebilir. Kabarcık doğar, büyür ve gelişir, yaş-
lanır ve en sonunda... yok olur.

Gökkuşağının tüm renkleri

Kabarcıklar, bir su ve sabun katmanından
oluşur (Şek. 37). Bu katmanlar niçin renklidir-
ler? Bu sorunun yanıtı oldukça basittir. İlk ön-

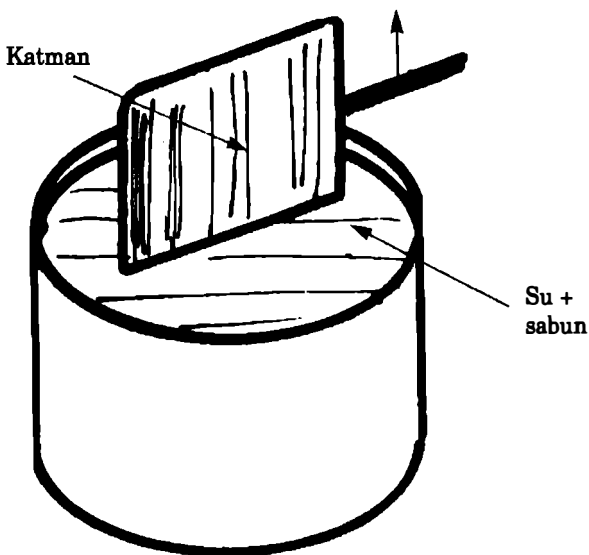


KABARCIKLAR • Renkli
• Hareketli
• Narin

Şekil 37

ce, örneğin, bir yumurta çırpıcısı –“bilimsel” biçimi demir telden yapılmış bir çerçeve (Şekil 38)– ile bir katman oluştururum. Bu çerçeveyi su ve sabun çözeltisine batırıp çekerim. Bu sırada katman birkaç mikrometre kalınlığındadır (metrenin birkaç milyonda biri) ve görece kalın sayılır.

Böylece, katmanın bir ön bir de arka yüzeyinden yansıyan ışık dalgaları “girişim” yaparlar, yani, dalga boyunun, katmanın kalınlığına olan oranına göre ya birbirlerine eklenir ya da birbirlerini yok ederler. Farklı dalga boyları (λ), başka bir deyişle, katmanı aydınlatan ışığın değişik renkleri, aynı şekilde yansıtılmazlar. Bu durumda yansıyan ışık renkli gözükür.



Şekil 38

Kalınlığı, sarı rengin yansıyamayacağı biçimde seçilmiş bir katmanı ($\lambda=0,6$ mikrometre) beyaz ışıkla aydınlattığımda, yansıyan ışıktaki yalnızca mavi ve kırmızı renkler kalır. Bu durumda katman mor görünür.

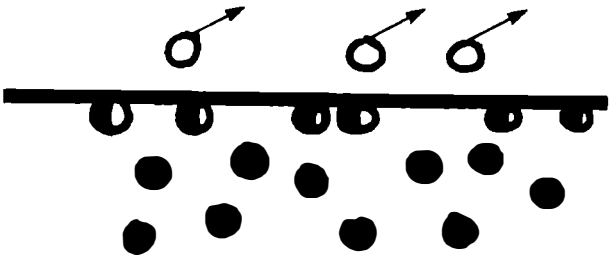
Katmanın kalınlığı mikronun onda birinin altındaysa ışık yansımaz; bu koşullarda katman siyahtır.

Bu görüngüleri ilk kavrayan Newton olmuştur.

Suyun derisi...

Kabarcıklar ve sabun katmanları renklidirler. Biraz önce bunun nedenini gördük. Şimdi sıra şu soruda: Kabarcıkları oluşturmak için neden suya sabun katmak gerekiyor?...

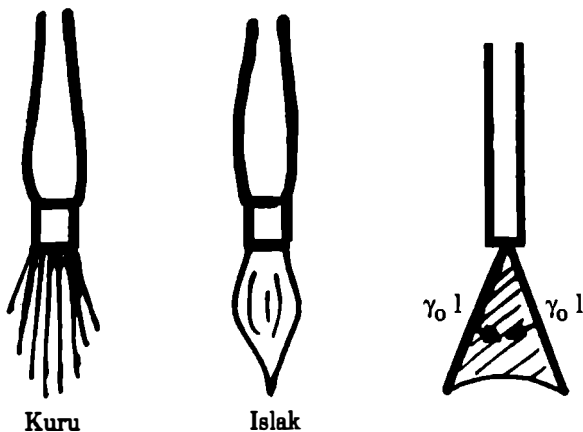
Çünkü kabarcık oluşturmak, suyu havayla büyük bir yüzeyi paylaşmaya zorlamak demektir. Bu da, su moleküllerinin nefret ettiği bir durumdur. Her su molekülü türdeşlerince çevrelenmekten hoşlanır. Yüzeyde yer alan moleküller komşularının yarısından yoksundurlar. Bu yüzeyi oluşturmak için, üzerinde yer alan molekülleri uzaklaştırmak zorundayım (Şekil 39). Demek



Şekil 39: Suyun derisi

ki, suyla hava arasında bir yüzey yaratmak için suya bir miktar enerji vermem gerekiyor (bu, yüzey enerjisi olarak adlandırılır); söz konusu enerji oluşturulan yüzeye orantılıdır.

Her sistem enerjisini azaltmaya çalışır. Su, bir suluboya fırçasının kıllarını toparlarken bu durum gözlenebilir. Kuru bir fırçanın diken diken olan kılları (Şekil 40) ıslandıklarında birbirlerine yapışırlar. Aslında bir kuramcı olarak, çok sayıda kılı olan bir resim fırçasının çok karmaşık olduğunu da hemen belirteyim. Bu nedenle, iki kılı olan bir fırçayı ele alalım. Bu fırça suya daldırıldığında iki kılın arasında oluşan su katmanını, yüzeyini küçültmeye çalışır. Bundan dolayı kıllar üzerine, bunları birbirlerine yaklaştıran bir kuvvet uygular. Bu kuvvet ($\gamma_0 l$) her kılın ıslanmış haldeki uzunluğu olan "l"ye orantılıdır. (Bu, enerjinin yüzeye orantılı olduğunu söylemenin başka bir şeklidir). Orantı katsayısı (γ_0), *yüzey gerilimi* diye bilinir.



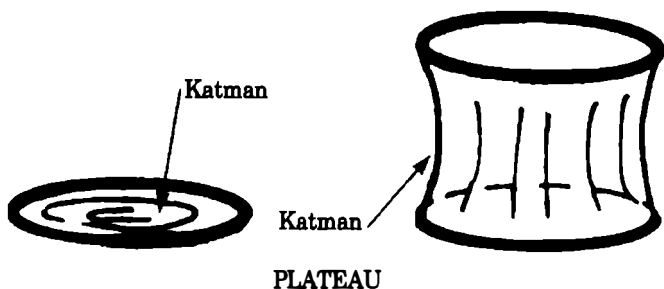
Şekil 40: Islak resim fırçası

Kabarcıkların renginin kökenini açıklayan Isaac Newton ve yüzey geriliminin işlevini kavrayan Thomas Young'dan sonra bu alanda, bize daha yakın olan bir başka büyük deneyci Plateau'yu da anmak istiyorum. Plateau, bir gün laboratuvar günlüğüne şunları yazar: "Bugünden başlayarak buraya kaydedilen deneyler benim tarafımdan gerçekleştirmeyeceklerdir çünkü bunları yapabilmek için yeterince görmüyorum." Plateau görme duyusunu yitirmek üzereydi fakat deneylerini sürdürüyordu.

Bir katman her zaman en küçük yüzeyi oluşturmaya çalışır. Katmanı bir halkayla çekersem yassı bir disk elde ederim. Bu işlemi iki halkayla yaptığımda, elektrik santrallerinin "bacaları"na benzeyen bir yüzey ortaya çıkar (Şekil 41). İşte, Plateau bu tür katmanlar oluşturmuştu; matematikçiler bunları minimal yüzeyler olarak adlandırırlar.

Sürfaktanlar yüzey enerjisini azaltırlar

Şimdiye kadar genel olarak, suyun derisi diye adlandırılabilen bir şeyden ve derinin yüzeyindeki enerjiden söz ettim. Sabun, kabarcıklara ya da katmanlara nasıl katkıda bulunur?



Şekil 41: Minimal yüzeyli katmanlar

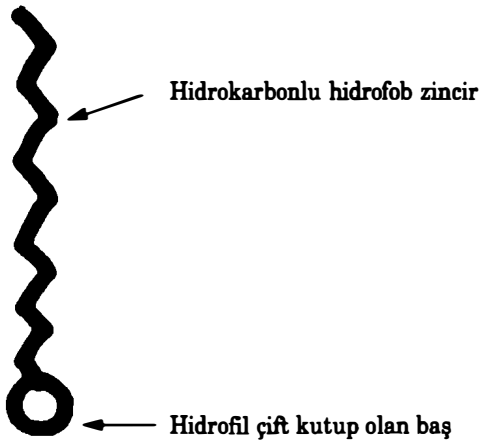
Sabun, yüzey enerjisini değiştirerek duruma müdahale eder. Bir sabun molekülü nedir? Bu, daha önceki bölümde gördüğümüz karşıt özelliklere sahip moleküllerden biridir. Bir sabun molekülünün, (uydu hidrojen atomlarıyla birlikte) 12 ya da 18 atomluk bir zincire ilişik, suyu seven bir çift “kutup başı” vardır. Bu molekül *sümfaktanlar* ailesine girer (Şekil 42).

Bu moleküllerin suyun yüzeyinde yan yana yerleşmekten hoşlandıklarını daha önce görmüştük. Bunların çift kutup olan (hidrofil) başları suyun içine dalarken, hidrokarbonlu (ya da alifatik) zincirleri kendi aralarında paralel sıralanarak suyun dışına çıkarlar (Şekil 43). Bu moleküllerin son derece az bir miktarı suyun yüzeyini bir tek katmanla bütünüyle örtmeye yeter. Yaklaşık 2 miligramı suda bir metrekaarelik bir alanı kaplamak için yeterlidir.

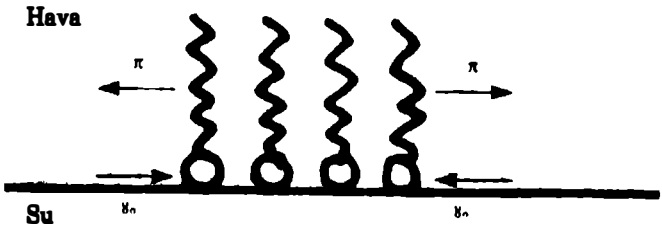
Bu moleküller yüzeyde daha “mutludurlar”: bu da fizik dilinde, (γ_0) yüzey enerjisinin azaldığı anlamına gelir (yaklaşık 10 kat kadar). Sümfaktanların varlığı büyük yüzeyli katmanların oluşumunu kolaylaştırır.

Katmanların doğuşu

Sümfaktanın etkisi, bu özet niteliğindeki açıklamadan daha karmaşıktır. Bir çerçeveye katmanı su dışına çekelim (Şekil 44). Bu katmanın tabanı görece kalın, tepesi ise daha incedir. Ayrıca renklidir, yani, tabanı 10 mikron kadar, tepesi ise birkaç mikrondur. Bu katmanın nasıl durduğu belli değildir. Aynı işlemi saf suyla yapmaya çalışsaydım, hepimizin bildiği gibi, katman kesinlikle duramayacaktı. Aslın-



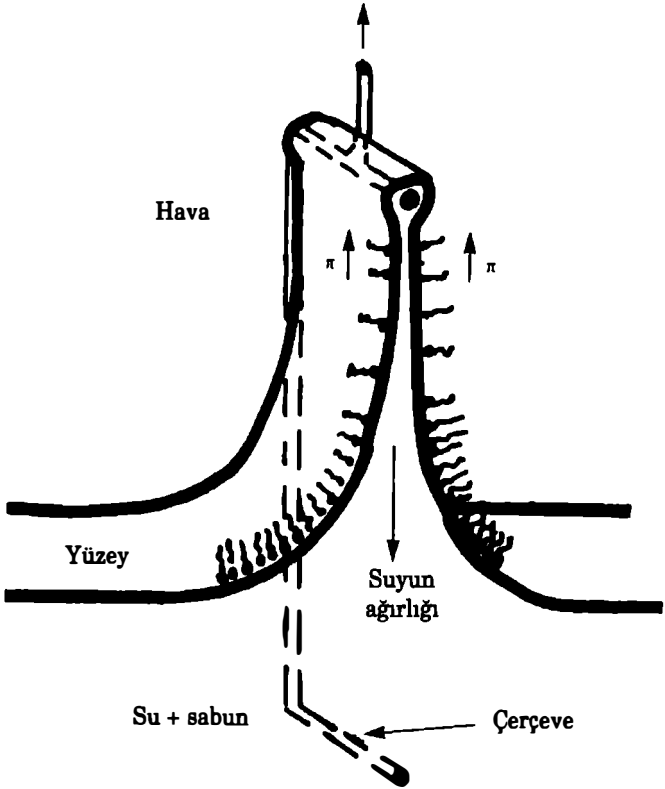
Şekil 42: Sürfaktanlar



I. LANGMUIR ~ 1930

Şekil 43

da katmanın ağır olması kendi açısından ciddi bir sorun oluşturmaktadır. Su hep düşme eğilimindedir. O zaman, buna nasıl karşı koymaktadır? Bunu sağlayan, sürfaktanın tek katmanıdır; bu tek katman, tabana yakın bölgelerde son derece yoğun, yukarda bulunan alanlarda ise daha az yoğundur. Sürfaktanın



Şekil 44

hareketi, fazla sıkışık bir kalabalıkta dirseklerle birbirlerini iten insanlara benzetilebilir; bunlar π yüzeyine bir basınç uygularlar (bu konu otuzlu yıllarda Langmuir tarafından ayrıntılarıyla araştırılmıştır). Bu yüzey basıncı alta çok, üstte ise daha az kuvvetlidir. Böylece “alt”, “üst”ü iter. Burada ağırlığa karşı koyan bir mekanizma vardır ve katmanın durmasını sağlayan da bu mekanizmadır.

Bu mekanizmanın ayrıntılarına inmek ve bir katmanın hangi yüksekliğe kadar çekilebileceğini kestirmek çok eğlencelidir. Elde edilmeleri hiç güç olmayan sürfaktan konsantrasyonlarıyla bir katman birkaç metre yüksekliğe çekilebilir. Bunun bir örneği sirklerde, oyuncuların kendilerini büyük bir kabarcıkla çevreledikleri numaralarda görülebilir; bu oyuncular, yükseklikleri yaklaşık 2 metreye ulaşabilen kabarcıklar oluşturabilmektedirler.

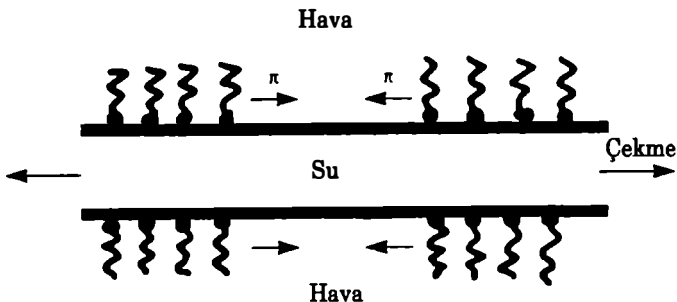
Kendi kendine pansuman

Sürfaktan “kendi kendini iyileştirmek” gibi ilginç bir özelliğe sahiptir. Bu niteliği, 1890’a doğru J. W. Gibbs (1839-1903) tarafından saptanır. Gibbs büyük bir kuramcı ve istatistik fiziğinin kurucusudur. Ancak kendisi, kabarcıklarla yapılabilecek deneylerle de ilgilenmiştir.

Gibbs aylarca kabarcıkları inceledi. Daha sonra, bu örnekten esinlenerek ara yüzeylerin termodinamiği olarak adlandırdığımız olguyu ortaya koydu. Ayrıca katmanların kendi kendilerini onarmaları gibi önemli bir özelliğini kavradı.

Herhangi bir nedenden dolayı katmanda bir delik oluştuğunda (Şekil 45), komşuları tarafından itilen sürfaktan molekülleri aceleyle deliği kapatmaya çalışırlar. İnsan kalabalığını düşünelim: Tören sırasında polis meydanının ortasında güvenlik amacıyla boş bir alan bırakır. Tören bittiğinde polis çekilir ve kalabalık boş alanı doldurur...

Katmana büyük bir kararlılık sağlayan bu özellik başka alanlarda da önemlidir; örneğin, yağla mayla ilgili sorunları ele alalım. Büyük bir hızla hareket eden temas halindeki iki metal yüzeyi ko-



J. W. Gibbs -1890

Şekil 45: Kendi kendine pansuman

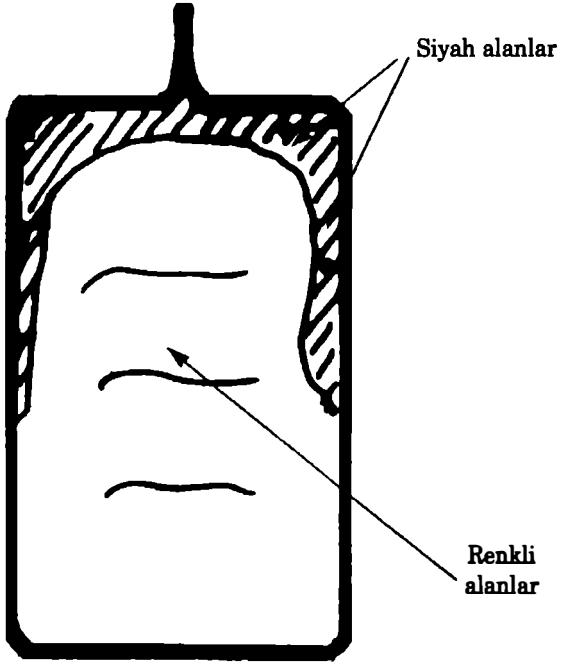
rumak için araya kaygan cisimler katılır. Bunlar, kendi kendini iyileştirebilen sürfaktanlardır. Sürfaktanların oluşturdukları katman zorlu koşullara, yüksek sıcaklığa ve yüzlerce atmosferik basınca maruz kalır ve hızla kimyasal olarak bozunur; ancak neyse ki bu, dönüşü olmayan bir felaket değildir. Nedeni ise, katman bozulduğunda, kendi kendilerine doğru yere gelen diğer taze sürfaktan moleküllerinin katmanın yerini almalarıdır. Bu da yağlama işleminin harikalarındandır.

İşte, “akıllı materyaller” üretmek amacıyla yoğun bir çaba harcanan çağımızda kendi kendini iyileştiren materyalle ilgili basit bir örnek sunduk.

Yaşam böyle sürer

Kabarcık doğar, büyür, olgunlaşır, yaşlanır...

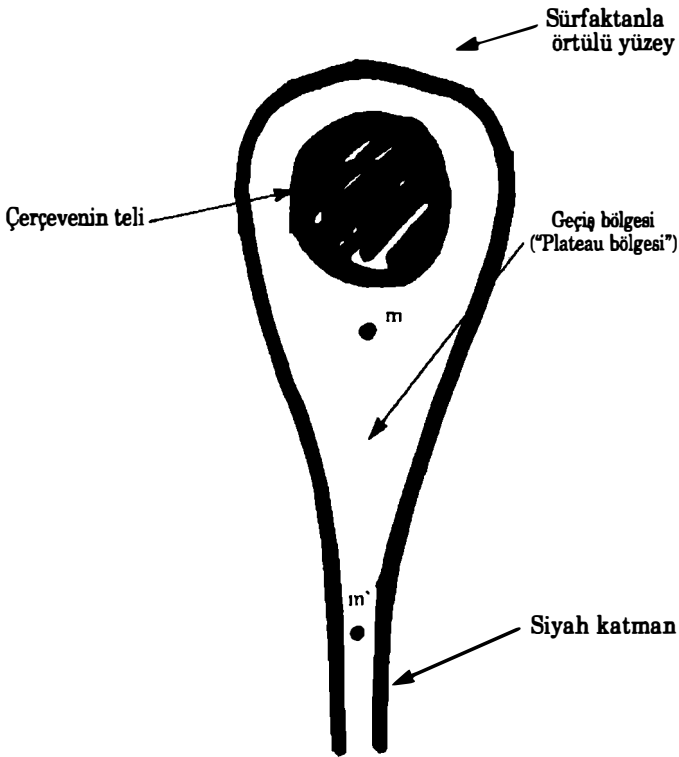
Katmanların yaşamı büyük bir bilim adamı olan Karol Mysels tarafından incelendi; kendisi, ellili yıllarda bu konu hakkında çok güzel bir kitap yazdı; üstelik kitap, masalları andıran şaşılacak fotoğraflarla süslüydü. Şimdi emekli olan ve San



Şekil 46

Diego'da (Kaliforniya) yaşayan Karol "olağanüstü" güzellikteki deneylerini sürdürüyor. Katmanların yaşamına geçmeden önce biraz ara verelim ve Karol'un gözlemlerini kaydettiği laboratuvar günce-sinde yazılı bir olayı anlatalım. Kendisi birgün, nazik bir deneyle uğraşırken çalışmasını keser ve defterine şunları yazar: "Şu saatte deneyimi durduruyorum. Parazit bir sinyal var. Bu sinyal aygıtlarımdan değil bütünüyle dışardan geliyor. Sanırım deprem oluyor.." Bilim adamımız San Francisco'da (Kaliforniya'nın öteki ucunda) meydana gelen depremi saptamıştı. Ne müthiş bir deneyci!

Biz tekrar olgunluk dönemindeki katmanlarımıza dönelim.



Şekil 47

Çerçeve üzerine çekilen katmanda, üstte ve yanlarda siyah alanlar oluşur (Şekil 46). Siyah, Newton'un dilinde çok ince anlamına gelir. (Katmanın iki yüzünün yansıttığı ışıklar arasındaki farkın yapıcı bir girişime olanak sağlayabilmesi için katmanın kalınlığı yeterli değildir. Bu nedenle yansıyan ışınlar birbirlerini tam olarak yok ederler).

Bu çok ince bölgeler niçin oluşurlar (Şekil 47)?

Daha önce pek çok kez karşılaştığımız Van der Waals kuvvetlerini anımsayalım. Bunlar oldukça uzak bir mesafeden (10 nanometre) kendilerini hissettiren moleküller arasındaki çekim kuvvetleridir.

Çerçevenin çok yakınında bulunan sulu kıvrım katmandan daha kalındır. Bu kıvrımın molekülü (m) yakında ve uzakta bulunan komşuları tarafından çevrelenmiştir; bu nedenle “mutlu”dur. Katmanın molekülü (m) de yakın çevresinde komşulara sahip olmasına rağmen uzaktakilerin çoğunu yitirmiştir; bundan dolayı daha az “mutlu”dur. Böylece telaş içinde, sulu kıvrımdaki kalabalığa karışmaya çalışır (buna “Plateau” bölgesi denir). Katman, moleküllerle iyice donanmış kalın alana boşalır (“yalnızca zenginlere borç verilir...”). Katman gittikçe incelir ve siyahlaşır.

Türbülanslı bir kabarcık

Kabarcıkların ilginç bir özelliğinin de yüzeyde hüküm süren olağanüstü hareket olduğunu belirtmiştim.

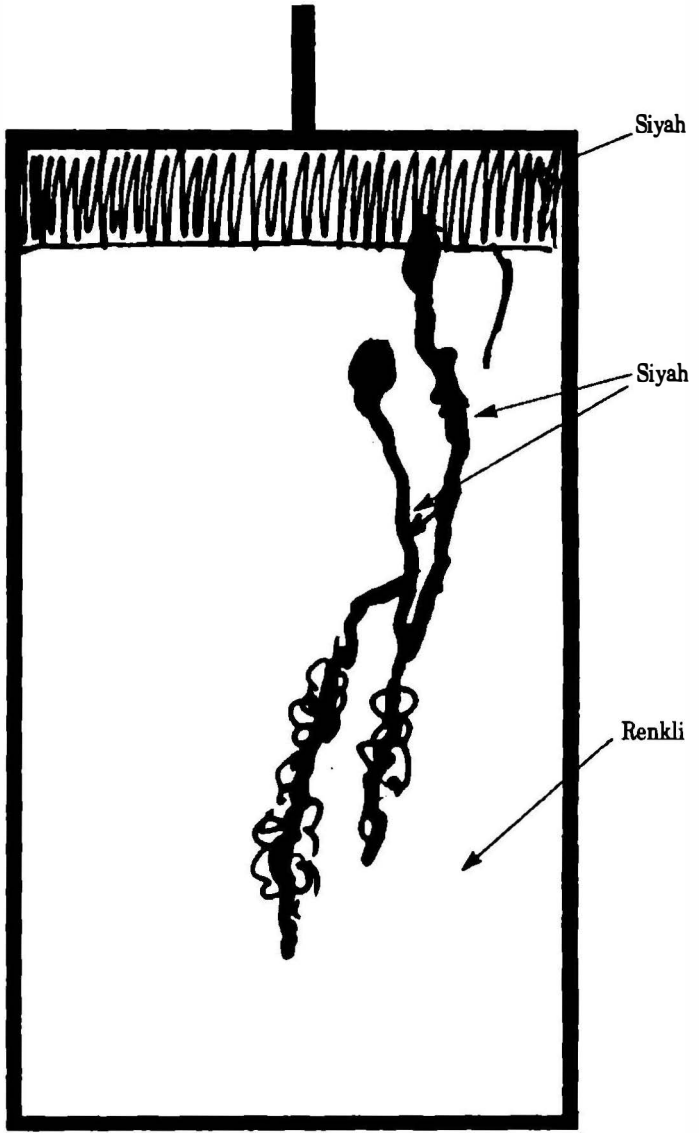
Renkli bir katmana bakalım (Şekil 48). Renkli, yani Newton’un bize öğrettiği gibi kalın bir katman.

Bazen, çerçevenin yukarısına doğru yükselen siyah (yani çok ince olan) bir leke (M) görürüz. Bu nasıl açıklanır?

Bir balonun içindeki sıcak hava –ki soğuk havadan daha hafiftir– balonu yukarı doğru kaldırır.

Burada da aynı durumla karşı karşıyayız. Küçük siyah yuvarlak (M) çok incedir. Az miktarda su içerir, bundan dolayı kendisini çevreleyen renkli, kalın ve ağır alanlardan daha hafiftir. Tıpkı balon gibi yükselir.

Şekil 46’daki çerçevenin dikey bölümleri siyah bir katmanın oluşmasına yol açarlar ve sıcak alanların benzeridirler; bunlar, duvara yapışık bir radyatörün yanındaki havanın hareketi gibi yukarıya doğru karışık (türbülanslı) bir akım yaratırlar.



Şekil 48

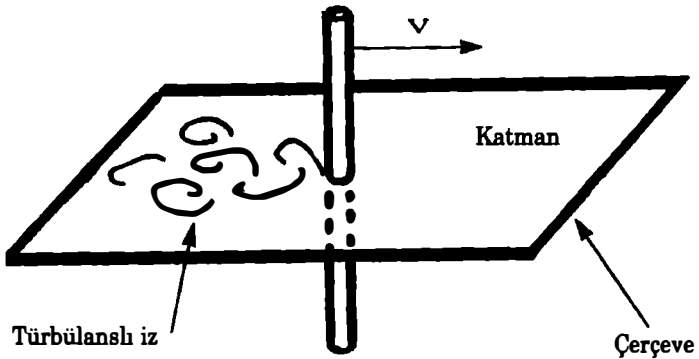
Ayrıca –daha tumturaklı bir şekilde– bir katmanda *türbülans* gözleminin kolay olduğu da söylenebilir.

Bu noktada, bir nesnenin gerisindeki türbülansla ilgili “Benjamin Franklin” türü başka bir deneyden söz etmeden geçemeyeceğim. Bir köprü’nün az çok hızlı akan bir nehrin içindeki ayaklarına bakıldığında ayağın arkasında garip ve “türbülanslı” bir akış göze çarpar. Nehir derinse türbülans gözlemlenebilir (dipte az bir sürtünme vardır). Sabun katmanları her tür katı yüzeyden uzakta oldukları için türbülansa uygundurlar. Dip yoktur: Katmanların hareketini azaltabilecek sürtünmeler çok zayıftır; katmanı çevreleyen son derece hafif hava, devinimlerini çok az yavaşlatır. Bu akışları özel bir durum oluşturan iki boyutta (bir düzlemde ya da bir katmanda) incelemek ilginçtir. Bu araştırma özellikle, büyük bir kuramcının (E. Siggia) ilk CRAY* bilgisayarlarını kullanmasıyla gerçekleştirildi.

Siggia yaptığı hesaplar sonunda olağanüstü türbülanslı bir yapı buldu. Ancak Fransız mekanikçi Yves Couder, Benjamin Franklin’in rolünü üstlendi. Couder’nin uygulaması büyük bir sabun katmanını (belki 1 m uzunluğunda, 25 cm genişliğinde) yatay bir çerçeve üzerinde gererek bu katmanın içinde bir çubuğu hareket ettirmeye dayanır. Couder, çubuğu saniyede birkaç cm hızla sallar (Şekil 49). Bu işlem sırasında son derece şaşırtıcı şeyler görülür. Bu iz çok düşük bir ivmede ölçüldüğünde çok iyi bilinen basit bir şeye benzemektedir: Nesnenin arkasında bir çevri, daha sonra başka

*CRAY, Cray Research Inc. kuruluşu tarafından üretilen ve pazarlanan dünyadaki en güçlü hesap makinelerinin adıdır.

bir çevri belirmekte ve bunlar yol boyunca dizilen ağaçlar gibi düzenli bir sıra oluşturmaktadırlar; bu, von Karman'ın yolu olarak adlandırılmaktadır. Ancak burada (iki boyutta) türbülans daha güçlüdür ve bu yol kendi kendine düzensizleşir. Şekil 50'de (Couder tarafından verildi) bu iz görülmektedir. Çevriler birbiri üzerine etki eder, bazen de itişip kakışırlar. Çevri çiftlerine sıkça rastlanır; çiftlerden biri belli bir doğrultuda dönerken diğeri onun zıt yönünü izler... Bunları durduran olmazsa bu ikili sonsuza kadar hareketini sürdürür. Ancak bazı çiftler çarpışırlar; birtakım çarpışmalar çeşitli zoolojik olaylara yol açabilir. Couder'nin ortaya koyduğu rakamlar biçim, ayrıntı ve ilişki açısından Siggia'nın hesapladıklarıyla aynı ama kullandığı aygıtların tutarı 2000-3000 Frank'tı. Oysa bir Cray'in maliyeti başka bir büyüklük mertebesindedir. Hidrodinamiğin sayısal hesaplamalara gereksinimi vardır. Ancak aynı zamanda Couder'nin "B. Franklin" ruhu da unutulmamalıdır.



Y. COUDER ~1987

Şekil 49: Bir düzlemdeki türbülans



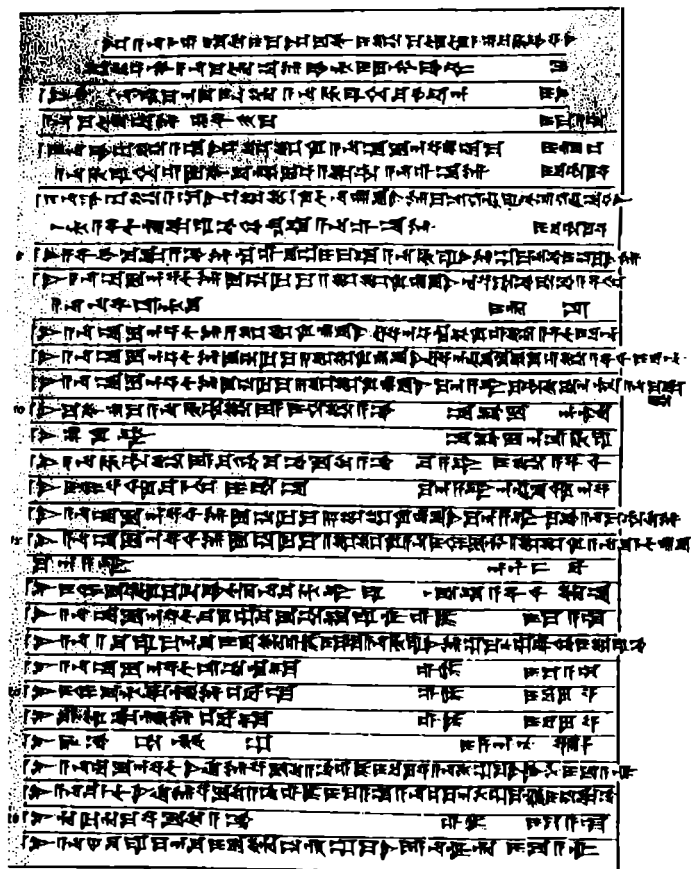
Şekil 50: Türbülans Y. Couder
Karşılaştırma : E. Siggia'nın Hesabı

Newton ve Babilli müneccim

Siyah katmanları ilk kez kim inceledi? Biz uzun zaman bu kişinin Newton olduğunu sandık. Bu zaten görece eski bir kaynaktı. Oysa yanlışlıyorduk; gerçekte –günümüzden yaklaşık dört bin yıl önce– siyah katmanların betimlendiği ilk belge bir Babil tabletidir ve bunun başka örnekleri de vardır. Örneğin, Collège de France’da benzer tabletlerden oluşan bir koleksiyon bulunmaktadır (Şekil 50 (2)).

Babilliler için geleceği önceden kestirmek (bizde olduğu gibi) önemli bir sorundu. Geleceği öngörmek amacıyla en karmaşığına varana kadar tüm yöntemleri araştırıyorlardı. Bizde, süper bilgisayarların meteorolojik olayları tahmin etmeye yarayan mevcut yöntemlerden birisi olduğu söylenebilir. (Kahve falının da belli bir ünü var; üstelik diğerlerine göre daha ucuz).

Müneccimlik yöntemlerinin çoğunda, son derece kararsız ve doğal olarak karmakarışık durumlara yol açacak sistemlerden yararlanılır. Asurlular, su ve yağ dolu bir çanak kullanıyorlardı. Bunu salladıklarında katmanlar oluşuyordu. Katmanlarda siyah bölgelerin ortaya çıktığını gözlemlediler. Siyah bölgeler onların yorumlarına temel oluşturuyordu. Örneğin, evlenmeye hazırlanan bir çifti karşılayan rahibi düşünelim. Bu çift evlenmeli mi yoksa evlenmemeli mi? Müneccim katmandaki iki siyah bölgeyi bulmaya ve bunların ortaya çıkışını izleyen türbülanslı hareket içinde siyah alanların birleşip birleşmeyeceklerini ya da daha da kötüsü başka bir siyah delik tarafından yutulup yutulmayacaklarını belirlemeye çalışırdı.



BABİLLİ MÜNECCİMİN SİYAH KATMANI: Çok açık bir tanımlama (Kopyanın alındığı kaynak: *Cuneiform Text from Babylonian Tablets in the British Museum*, c. 5, Londra, 1898).

Collège de France'ın (Paris) Asurbilim bölümü tarafından verilmiştir.

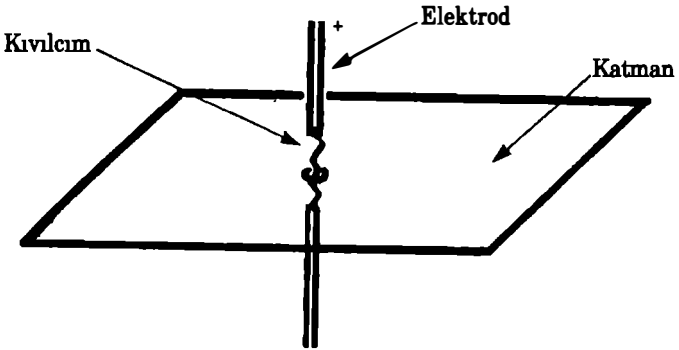
Şekil 50 (2)

Bu müneccimlik yöntemi lekanomansi olarak (lekano=çanak) adlandırılmıştır. Bu işlemi açıklayan metinler son derece heyecan vericidir; bunlar, siyah katman kadar narin ve dikkate değer bir nesnenin ilk tanımını sunmaktadırlar.

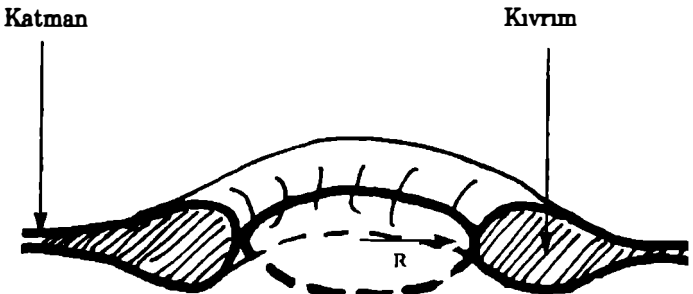
Gül, onun yaşamı da diğer güllerinki gibiydi

Bir kabarcığın çabucak patladığını biliyoruz. Ancak bizim görme hızımızla (saniyenin otuzda biri) hiçbir şey algılayamayız. Bu çok ani bir ölümdür.

Karol Mysels bu konuda da parlak deneyler yaptı. Hazırladığı güzel katmanlardan birini alarak onu öldürdü. Katmanın her iki yanına yerleştirdiği iki elektrodun arasında (Şekil 51) bir kıvılcım oluşturdu. Bu kıvılcım yüzey geriliminin (γ) etkisi altında çabucak büyüyen küçük bir delik meydana getirdi. Deliğin çevresinde, delik büyüdükçe katmandaki suyu toplayan bir kıvrım oluştu (Şekil 52).



Şekil 51



Şekil 52

Delğin R yarıçapının büyüme hızı, saniyede 10 metrelik sabit bir değere sahipti. Aydınlatma süreleri bir mikrosaniye olan bir flaşla bu görüntülerin fotoğrafı kolaylıkla çekilebilir. (Çapı 10 cm olan bir kabarcık saniyenin 1/100'i kadar kısa bir sürede patlayacaktır).

“Drowning by numbers” (sayılarla boğulmak)...

ya da bir kabarcık, iki kabarcık... ve bir köpük

Kabarcıklara yönelik bu çalışma doğal olarak köpüklerinkiyle de yakında ilgilidir. Aslında köpük çok sayıdaki küçük kabarcığın yığını olarak görülebilir.

Köpükler günlük yaşamımızda önemli bir rol oynarlar. Ancak bunları yaratmak kadar yok etmesini bilmek de önemlidir.

Şampuanın köpüğünü severiz ama çamaşır ya da bulaşık makinelerinde köpükten özenle kaçınmamız gerekir. Bu deterjanları üretenler bizi acemi büyücününkine benzer kötü bir maceradan uzak tutmaya dikkat ederler; yani, köpüklerin makinemizi daha sonra da mutfagımızı amansızca doldurmasını engellemeye çalışırlar.

Kimya endüstrisinde de bazen aynı tür zorluklarla karşılaşılabilir; dev reaktörlerin, yirmi, otuz metre yükseklikteki kolonların istenmeyen köpüklerle dolması tam bir felakettir.

Birkaç yıl öncesine kadar atık suların büyük bir bölümü doğrudan nehirlere boşaltıldığında büyük köpük dağlarının oluştuğu görülüyordu. Ancak günümüzde katmanları kırabilen, köpüğe karşı etkili ürünlere sahibiz. Bunlar sihirli mad-

delerdir; bir damlası büyük bir köpük teknesine boşaltıldığında kabarcıklar gözünüzün önünde yok olmaktadırlar.

Bazı durumlarda köpükler yararlı bir işlev üstlenirler; örneğin, yangınla petrol yatağı arasında geçici bir duvar oluşturabilirler. Yangın söndürücülerin çoğu köpük üretmektedirler.

Ancak bu arada evde kullanılan ürünlerin, çamaşır suları ve deterjanlarla beraber sürfaktan endüstrisinin en önemli pazarını temsil etmediğini ve tam tersinin söz konusu olduğunu da vurgulamak gerekir. Bu endüstri yeryüzünde, kişi başına yıllık 10 kg sürfaktan üretmektedir. Bu ürünlerin en büyük bölümü fakir minerallerden *metallerin çıkarılmasında* kullanılmaktadır. Cevher bakımından fazla zengin olmayan (bazen % 1 oranında) maden yatakları eskiden önemsenmezken günümüzde bunların işletilmesine yönelik çabalar gittikçe artmaktadır. Çok ince öğütülen bir maden filizinde, arınan metalin parçacıkları (çoğu kez oksit şeklinde) köpük kabarcıkları aracılığıyla diğer maddelerden ayrılmaktadırlar. Buna *flotasyon* yöntemi denmektedir.

Köpük ve Evrenin sınırları

Bu konuşmanın bitiminde sorulan tüm sorular arasından, bizi gündelik yaşamdan uzaklaştıracı nitelikte olan bir tanesi aklımda kalmış.

Soru: Maddeyi sonsuz küçüğe doğru inceliyorsunuz; bu durum zorunlu olarak sonsuz büyüğe de bakmanıza yol açıyor; Evreni nasıl algıladığınızı bize açıklayabilir misiniz?

Yanıt: Astrofizikle ilgili tam bir bilgiye sahip değilim. Bu nedenle sorunuzu ciddi bir şekilde yanıtlayamam. Ancak, size anlattığım bilim dallarından bütünüyle uzak olmayan bir noktaya değineceğim.

Pek çok gözlemin işaret ettiği görüş doğrultusunda, Evrenin sıfır anında son derece yoğun bir sistem olduğu düşünülmektedir. Bu sistem genleşti; zamanla yoğunluklar ve sıcaklıklar azaldı. Sonuçta (şimdi) görece değişmeyen ve belki de bize, big bang'den saniyenin binde biri kadar bir süre sonraki durumu gösteren bir Evrenle karşı karşıyayız... Burada çok çelişkili bir durum var. O zamandan kalan kızılötesi termik radyasyon tamamen izotroptur; gökyüzünün tüm doğrultularında aynıdır. Buna karşılık, uzaktaki galaksilerin dağılımına bakıldığında, gökyüzünde tekdüze bir dağılım olmadığı görülür; bu biraz köpüğe benzetilmektedir (buna bir "fraktal yapı" denir.)

Öte yandan, bu fraktal yapılar hal değişimlerinde meydana gelen ortak görüngülere özgüdürler. Su-buhar ve su-sıvı geçişlerinde, buhar aşağı yukarı sıvınıninkine eşit bir yoğunluk içeriyorsa (kritik noktada) özellikle ilginç bir durumla karşılaşılacaktır. Bu noktanın yakınında, çok küçük ölçekte bakıldığında, küçük buhar ve sıvı damlacıklarının dizilişinde fraktal yapılar görülmektedir.

Çok büyük ölçeklerde de az çok benzer olguların gözlenmesi, Evrenin yaşamının erken bir döneminde de hal değişimini andırır bir olayın meydana gelmiş olabileceğini düşündürmektedir. İşte, günümüzde galaksilerin dağılımında görebileceklerimiz de bu değişimin anısı şeklinde nitelendirilebilir.

Kırılgan Nesneler

Arapzamkının az bir miktarı çini mürekkebi-
nin bir yıl boyunca kararlı olmasını sağlıyor.
Şampuanın birkaç damlası bir köpük bulutu
oluşturuyor. Havadan alınan çok az miktardaki
oksijen kauçuk ağacının özsuynunu kauçuğa dö-
nüştürüyor. Küçük bir pil saatimizin kadrani-
nın görünümünü değiştirebiliyor. İşte, yumuşak
maddeyle ilgili birkaç örnek. Tıpkı heykeltıraşın
kile şekil vermesi gibi, az bir etkiyle nesneleri
değiştirebiliyor, düzenleyebiliyoruz.

Üstelik, elde ettiğimiz ürün de kil gibi genelde
esnek ve narin bir yapıya sahip: Bu bir kauçuk
(katı ve sıvı arası bir madde), köpük, alyuvar (en
ufak kılcal damarlarımıza giriyor) ya da dokuma
ipliği (boru lülesinden dakikada 6000 metre hız-
la çıkıyor) olabiliyor.

İnsanoğlu önce çakmaktaşı, bronz, taş, tuğla
ve hatta tahta gibi sert nesneleri işlemiş. Ancak
biraz farklarla, esnek maddelerle de ilgilenme ge-
reksinimini duymuş –deri, doğal lifler, balmumu
ve kola gibi. Fenikelilerde denizciliği başlatan
belki de kalafatlama bilimidir. Aynı şekilde, 20.
yüzyılda madde fiziği de ilk önce sert maddelere
yöneldi: Metaller, yarıiletkenler (tüm çağdaş ile-
tişim yöntemlerinin ortaya konulmasını sağladılar)
ve kısa bir süre önce de seramik ele alındı.
Ancak günümüzde yumuşak maddeye doğru bir
gelişme görülüyor; polimerler, deterjanlar, sıvı
kristaller yumuşak maddenin çevremizde en sık
görülen türleridir.

Yumuşak maddesiz bir yaşam olamaz; tüm bi-
yolojik yapılar –genetik kodun molekülleri, pro-

teinler, zarlar— aynı kavramları içermektedir. Ancak bu söylediklerimin yayımlacılık anlamına gelmediğini de hemen belirteyim. Auguste Comte'un düşündüğü gibi, biyolojiye yol göstermesi için fiziğe başvurulması gerektiği savına kesinlikle inanılmamalıdır. Fizik konuya ancak genel bir çerçeve sunar. Oysa biyoloji kendine özgü yöntemlerle gözlemler ve keşfeder. Yeni bir örnek olan, komşu hücreler arasına özgün temas noktalarını oluşturan yapıştırıcı molekülleri ele alalım. Bu, zarlara bağlanan proteinlerle ilgili oldukça karmaşık bir konudur. Saf bir fizikçi bunları kavrayabilmek için söz konusu moleküllerin önce izole edilmeleri ve kristalleştirilmeleri, daha sonra ise yapılarının röntgen ışınlarında incelenmesi vb. gerektiğini düşünebilir. Ancak bu programlar son derece yavaş ve hatta bu amaca uygun değildirler. Biyologlar ise, moleküller genetiği akıllıca kullanarak her zincirin kimyasal dizilimini çok çabuk belirleyebilmiş ve bu bulgulardan yola çıkarak molekülleri yeniden gruplandırmış bulunuyorlar. Her grupta hücrenin içine gömülü bir “kuyruk”, zarın sardığı bir “gövde” ve dışardaki bazı yardımcılarını tanıyan bir “baş” bulunduğu anlaşılmış durumda. Bu biyolojik yaklaşım sayesinde fizikçilerin ağır süvari birliği kımıldayana kadar başın biçimi ve etki şekli kavranmaya başlandı.

Kısacası, canlı malzemedede de yumuşak maddenin ilkelerinden yararlanılıyor; ancak bu işlem, çoğu kez fizikçileri aşan bir incelikle gerçekleştiriliyor. Üstelik tersi bir yaklaşım da ilginç olmaya başlıyor; biyolojik sistemler bir kez tanıdıklarında yeni nesnelerin icat edilmesi için

bize fikir veriyorlar. Örneğin, omurgalıların kemiğini ele alalım; bu, kendi kendini onarabilen olağanüstü bir yapı. Benzer biçimde davranacak sentetik bir malzeme acaba düşünülebilir mi? Biraz daha ileri gidelim; artık, hırpalandıklarında ağrıya benzer bir şey duyabilen yapılar üretilmektedir: Optik lifler ağıyla, bozulmuş olan bölge saptanarak zararın derecesi ölçülmekte ve bu bölgenin yeri saptanabilmektedir. İkinci aşamada ise bunu onarmak gerekiyor. Burada henüz emekleme dönemindeyiz. Ancak bu işlem için kimyasallar içeren kılcal ağları düşünülebilir; kimyasallar, darbenin etkisi altında kırıldıklarında içerdikleri ürünlerini serbest bırakırlar ve bulundukları yerde yeni polimerler bireşimleyebilirler. Gelecekteki bu “biyomimetik” yapı bilimi yumuşak madde alanındaki gelişmelerden büyük ölçüde yararlanacaktır.

Özet olarak, kırılğan nesneler ileriye dönük teknolojik gelişmelerin önemli bir unsuru ve aynı zamanda yaşamın temelidirler. Ancak bizim bu sayfalarda özellikle vurgulamış olduğumuzu ümit ettiğimiz nokta, bunların kültürel katkılarıdır. Bu bilim, uygulama ve incelik bilimidir; karşıtların kullanılmasıdır. (Tekrar sıvı kristalleri düşünelim; buradaki ustalık, aynı molekülün içine sert ve yumuşak parçaların yerleştirilmesidir). Burada sık sık andığımız “Benjamin Franklin ruhu” da yumuşak maddede en iyi şekilde kavranabilir. Bu biçem basit işlerin yapılmasına (ve de anlatılmasına) dayanır. Nitekim hayat bilgisi dersinin özü de –Jules Ferry zamanındaki öğretmenler gibi– bir su damlasına hayran olabilmektir .

II. Bölüm

Araştırma

Araştırmacılık mesleği

Halk arasında, araştırmacılık mesleğinin doğuştan matematiğe yatkın ve kendine özgü bir psikolojik yapısı olan daracık bir topluluğu ilgilendirdiğine inanılır. Oysa bu fikir kesinlikle yanlıştır. Kültürel kalıplar araştırmacıyı tanımlamak için yeterli değildir. Özellikle de matematik, biraz safça düşünüldüğü gibi, beyaz kâğıdın önünde otururken birdenbire $E=mc^2$ denklemini çiziktiren bir Einstein ya da elma ağacının altındaki Newton'da somutlaşan “dahi bilim adamı”nın ortamı hiç değildir. Çağdaş bilim bu Epinal çizimlerine* kesinlikle benzemez. Harika çocukların mülkü olarak da görülmemelidir. Fizik alanında çalışan çok genç bir araştırmacı zaten ender olarak üretkendir. Laboratuvarlarda çalışmaya başlarken ne özgün ne de özel bir şey ortaya koyabilmişim. Nitekim, Saclay'deki Atom Enerjisi Merkezi'nde (Centre de l'énergie atomique; CEA) çalışan bir mühendis olarak bana izotopların ayrılmasında gözlenen tuhaf olgularla ilgili sorular sorulmaya başlanması ve benim de yanıt verme riskini göze almam için görece uzun bir süre beklemem gerekti. Ancak o sıralarda zaten yirmi dört yaşındaydım.

*Epinal: 18. ve 19. yüzyılda renkli resim baskılarıyla ün kazanan müze. (ç.n.)

Araştırma belli bir yetenek gerektiriyor mu? Bu soruyu yanıtlamak zor. Kendi açımdan konuşmak gerekirse, on altı yaşındayken bilim kadar yazın ve sanat da ilgimi çekiyordu. Sonunda, neden sağıın bilimlerde karar kıldım? Belki de, bilimsel alanda ağzı bol laf yapanların daha çabuk elenebilmelerine duyarlıyım. Ya da, belki de Claude Lévi-Strauss'un "yitik meslek"ten söz ederken resim sanatıyla ilgili olarak dile getirdiği anlamda meslek aşkıydı beni çeken. Çağdaş resim sanatı, artık İtalyan Rönesansı veya Flaman resminin ustaları dönemindeki gibi kesin kuralları olan bir meslek değildir. Günümüzde her türlü vuruş serbesttir. Oysa bilimde ve daha genel olarak teknolojiye durum farklıdır. Atölyede ortaya koyduğunuz yapıt "beğenilmelidir", yani tamı tamına düzenlenmiş olmalıdır: Aynı zorunluluk kuramsal fizik için de geçerlidir. Bu, kusursuz bir yapıt elde edileceği anlamına gelmez fakat günümüzde var olan teknik olanaklarla oluşturulabilecek en düzgün ürün sunulmalıdır. Hile yapmak ya da işi laf kalabalığına boğmak mümkün değildir.

Diğer bir fark ise şu. Bazıları yazın ya da sanat eleştirmenliğini meslek edinmektedirler; ancak, neyse ki bilimde bu tür bir çalışmaya yer yoktur. Bilim eleştirmenliğinin olmaması da birtakım anlamlar içerir. Bir sanatçı yaşamı boyunca yapıtının değerinden emin değildir. Bu bağlamda bilimsel mesleklerde ortam daha sakindir. Yapılan işin ilginçliği daha serinkanlılıkla değerlendirilebilmektedir. Bu görece serinkanlılık büyük ölçüde, günlük etkinliklerin yalnız değil de grup halinde gerçekleştirilmesinden kaynaklanmaktadır. Ekip

çalışmasının egemen olduğu bir dünyada yaşıyoruz; bu ekipler yapıları, bilimsel kültür ve yetenekleri bakımından çok farklı kişilerden oluşmaktadır. Bu gruplar, çeşitlilik ve bütünleyicilik ilkeleri çerçevesinde çalışmaktadırlar. Young, Faraday, Rayleigh ya da Ampère gibi bilginlerin yalnız gelip geçtiği 19.yüzyıla bile karşılaştırıldığında ortak çalışma, çağımızın en büyük gelişmelerinden biridir.

Grup çalışması

Bizimkisi gibi zanaatsal bir bilim dalında, yani “yumuşak madde”de dört, beş kişilik küçük birimler oluşturulur. Örneğin, bir kimyacı, bir optik bilimci, belki bir yoğun madde fizikçisi, bir elektronikçi-bilgisayarcı ve destek sağlayacak bir yarı-kuramcı. Grup ne kadar farklı kişilerden oluşursa o kadar iyi anlaşır. Kimsenin çözemediği bir sorun ortaya çıktığında diğerlerini harekete geçirecek ve tartışmayı başlatacak birisi her zaman bulunacaktır.

Bu küçük birimde, bir içki sofrasında oluşan ortama az çok benzer bir hava egemendir. Hem kuramsal düzlemde hem de uygulamalı alanlarda sert bir rekabet yaşandığı için bu küçük birimden yoksun olmaları durumunda araştırmacılar son derece sinirli olacaklardır. Araştırmacı bir iz üzerindeyken, dünyadaki pek çok ekibin de aynı şeyi kovaladığını bilir. Bir fikir ya da bir aygıt zamanında ortaya çıkacak mıdır? Ya da yeni bir gözlem? Bir yöntem? Veya diğerleri onu geçecekler mi? Birkaç denemeden sonra daha güçlü ve daha iyi donanımlı laboratuvarların kendisini aştığını gören yalnız bir araştırmacı işi bırakmaya yelte-

necektir. “Her zaman yenileceğim, başarısızlığa uğradım...”. Buna karşı alınacak en etkili önlemlerden birisi grup çalışmasıdır. Böylece insanlar yanlarında destek bulunduğunu hissedeceklerdir.

Yirmi sekiz yaşındayken bir kuramcı olarak tüm saflığımla, süperiletkenler üzerinde çalışan bir grup deneyciyi yönetmeye karar vermiştim. Bu delice bir fikirdi; deneyle ilgili fazla bir şey bilmiyordum; üstelik, süperiletkenliğin araştırmanın en uç noktası olduğu bir dönemdeydik. Bell, RCA, Philips, General Electric... gibi ağır toplarla büyük bir itiş kakış içindeydik. Bizler, işe yeni başlayan araştırmacılar olarak yeni şeyler yapmak üzere yola çıkıyorduk. Peki, ayakta kalmayı nasıl başardık? Tabii ki, el ele vererek. Evdeki (ya da daha iyisi, barakadaki, çatıların üzerine tünemiş olan barakadaki) tüm potansiyeli, genelde yapıldığı gibi dört, beş, altı teze bölmek yerine bir konu üzerinde yoğunlaştırdık... Altı kişi tek bir konuyla ilgilendi. Böylece bir yıl sonra, üzerinde çalışılan alanda belli bir ilerleme sağlandığında bir diğerine geçiliyor ve bu böyle sürüp gidiyordu. Bu taktik büyük ekiplerle rekabet edebilmemizi sağladı.

Rekabet bir bilim dalından ötekine değişir. Büyük parçacık hızlandırıcıları ile çalışan parçacık fiziğini ele alalım; işte, özellikle acımasız bir rekabetin egemen olduğu bir alan. Dünya üzerinde bu tür araştırmalar yapan üç ya da dört merkez bulunuyor. Bu büyük aygıtlardan birinde bir deney başlattığınızda çevrenizde bir kalabalık oluşur. Siz araştırmayla uğraşırken insanlar çevrenizde dolanırlar, iyi bir şeyler üretmeden zaman harcadığınızı ve sizin yerinize başka-

larının bilimi ileri götürüyor olabileceklerini size duyumsatırlar. Bu alanda çalışmak son derece zor bir deneyimdir. Bizim daha küçük çaptaki bilim dallarımızda araştırmacılar üzerindeki baskının daha az olduğu söylenebilir.

“Publish or perish” (“Yayınla ya da yok ol”)

Araştırmacıyı köstekleyen zorluklar ülkeden ülkeye değişir. Günümüzde, bana göre Fransa bu alanda nispeten daha saygılıdır (en azından kamu yetkilileri, İkinci Dünya Savaşından beri izlenen yolu terk etmedikleri sürece). ABD’de şimdiki durum oldukça gergin, hatta fizikte tehlikeli sayılabilecek bir noktadadır. Bu ülkede rekabet son derece çetindir; iş güvencesi elde etmek, yani, üniversitede kalıcı bir görev üstlenebilmek için uzun bir süre dayanmak gerekir. Araştırmacılar zamanın büyük bir bölümünü yükseltmeler için dosyalarını kabartmak ya da fon bulmaya çalışmakla geçirirler. Bu koşunun diğer bir olumsuz yönü ise genç proje şeflerinin daha çok şey yayımlamak ve daha çok iş yapmış görünebilmek amacıyla çok fazla sayıda “doktora öğrencisi”ni işe almalarıdır. Bazen, gerçek anlamda bir eğitim sunma yeteneğine sahip olmayan proje şeflerinin etrafında on öğrenci toplanabilmektedir. Çalışmalar çok hızlı yürütülmekte, ayrıca moda akımların da çok olumsuz etkileri görülmektedir.

ABD’nin bizim Ulusal Bilimsel Araştırmalar Merkezinden (CNRS) esinlenmesi yararlı olacaktır; burada araştırmacılar, daha dengeli ve daha cesur çalışmalar gerçekleştirmelerini sağlayacak kalıcı kadrolara sahiptirler.

Gökyüzünün iki yarısı

Araştırmacılar, çok fazla belirgin niteliklere sahip olmamakla beraber kendi içlerinde bütünleşmiş bir topluluk oluşturuyorlar mı? Bu topluluğun, uzmanlık ve görev paylaşımı dışında karma bir yapı da içermesi genel anlamda tanımlanmasını zorlaştırır. Araştırmacılık mesleği, temel ve uygulamalı olmak üzere bilimin iki kıyısında kamplaşıyor. Nitekim 2. altbölümde de gördüğümüz gibi bunlar biraz farklı dünyaları yansıtıyor. Bilimdeki renk yelpazesi, bilim adamlarının en ağır kuram ile en uçtaki uygulama arasında sınıflandırılmasına izin verirken akademi ya da üniversite çevreleriyle endüstri alanındaki araştırmacılar arasında da bir bölünme meydana gelmiştir. Bu durum büyük ölçüde düzelmesine rağmen başlangıç noktasını anımsatmakta yarar görüyorum.

Eskiden, üniversite araştırmacılarının sanayicilere bakış açısı oldukça olumsuzdu. Gençliğimde endüstri alanında çalışanlar zengin –araç gereç bakımından– ve biraz basit görünürlerdi. Bu yaklaşım da, temel araştırmanın uygulamalı araştırmadan daha saygın ve daha zekice bir uğraş olduğu yönündeki inanç gibi, Fransız anlayışının önemli bir yanılgısıydı. Gerçekte sanayi alanındaki araştırmaların ortaya koyduğu pek çok ürün, en az kuramla ilgilenen gruplarınkine eşdeğer bir yaratma gücünün varlığını kanıtlamaktadır. İşte, sanayicilerin hayal gücünü gösteren yüzlerce örnekten biri. Bir ara yüzeyi (örneğin, su ve yağ arasındaki) değiştirmek için genelde deterjanlardan yararlanılır; bunlar, başın suyu, kuyruğun ise yağı sevdiği küçük molekül-

lerdir. Collège de France'da moleküller yerine taneler, küçük parçacıklar oluşturmaya çalışarak bu sorunu ele aldık; bu taneleri de, eski bir Roma tanrısı olan ve birbirine karşıt yönlere doğru çevrilmiş iki yüzle temsil edilen *Janus taneleri* olarak adlandırdık. Bu taneler, biri suyu seven, diğeri ise sudan nefret eden iki yüze sahip olma özelliği taşıyorlardı. Bizim teknik perimiz (C. Casagrande), karşıt nitelikli taneler elde etmeyi başardı; üstelik bu işlemi oldukça ilkel yöntemlerle gerçekleştirdi: Küçük, cam bilyeleri sıvı bir vernik üzerine üst yarıları dışarda kalacak şekilde yerleştirdi. Bu arada, verniğin dışında kalan bölümü hidrofob hale getirmek için (sudan nefret etmesi için) kimyasal yöntemlerle işledi ve daha sonra verniği çözerek yok etti. Böylece ara yüzeylerde hoş özellikler sergileyen bilyeler elde edildi.

Ancak bu tanelerden büyük miktarlarda üretmek olanaklı değildi; işlem sonunda yalnızca birkaç miligramlık bir miktar elde edilebilmişti. Oysa bir Alman firması –Goldschmidt– çok daha akılcı bir üretim yöntemi buldu. Onlar, küçük içi boş cam parçacıkları olan “aerojel”den yola çıktılar. Aerojel günümüzde kullanılan bir endüstri ürünüdür. Buradaki püf noktası, parçacıkların dış yüzeyinin (iç yüzeye dokunmadan) hidrofob hale getirilmesi ve daha sonra bilyeleri kırarak bir yüzün hidrofil, diğerrinin ise hidrofob olduğu küçük parçalar elde edilmesidir. Böylece, çok az bir harcamayla tonlarca “Janus taneleri” üretilabilmektedir. Goldschmidt'teki araştırmacıların düşünce biçiminden etkilenmiştim.

Fransa'daki ağır sanayi önemli araştırma laboratuvarlarına sahiptir. Ancak çoğu kez şirketlerimiz, bunları daha uzun vadeli uygulamalara yöneltecek kaynaklardan yoksun buluyorlar. Araştırma mühendisleri genellikle kısa vadeli çözümler bulmaya zorlanıyorlar; onların başlıca işi var olan ürünleri korumak, rekabet karşısında daha da geliştirmek. Araştırmacılar, patronun şu tür sözlerine yanıt bulmak zorundalar: "Japonlar bizimkinden daha ince (ya da birimi 1 lira daha ucuz) bir sığaç (kondansatör) ürettiler; altı ay içinde yöntemimizi geliştirmezsek pazarımızı kaybeder ve kapanırsınız". Bu bağlamda, endüstri araştırmacılarının yaşamı hiç kuşkusuz temel araştırmacılarınkinden daha gerilimlidir.

Umut veren bir formül: Karma laboratuvarlar

Bir öğrenci, endüstri araştırması laboratuvarı ve temel araştırma laboratuvarından hangisini seçmesi gerektiğini kendi kendine sorduğunda ilk tepkim olayı abartmamak olacaktır. Bu konudaki kararlar görüldüğü kadar zor değildir. Yaşamda önemli olan sözleşmeden çok bu sözleşmeye nasıl uyum sağlanacağı düşüncesidir. Tıpkı evlilikte olduğu gibi.

Endüstriye yönelmeden önce temel araştırma ortamında eğitilen bazı araştırmacılar tanıyorum. Eski öğrencilerimden bazıları endüstride öncü konumlara geldiler. Buna karşılık, polimerlerin en büyük kuramcısı (Paul Flory) ilk etkinliklerini endüstri alanında gerçekleştirdi. Kısacası, hiçbir şey geri döndürülemez değildir! Zaten, bu iki sürecin birbiriyle

ilişkiye girdiği noktalar zaman içinde çoğaldı. Bunun en güzel örneklerinden biri de (yalnızca ağır endüstriyle ilişkili olsalar bile) *karma laboratuvarlardır*. Nitekim bu tür laboratuvarların en iyilerinden biri de *cam yüzeyleriyle* ilgili olarak CNRS'yle Saint-Gobain'in işbirliği sonucu kurulmuştur; *çok ince* bölünmüş maddenin ele alındığı bir diğeri ise Rhône-Poulenc ve CEA tarafından yönetilmektedir. Bu küçük birimler 5 üniversite araştırmacısı, 5 mühendis, 5 doktora öğrencisi ve birkaç teknisyenden oluşmaktadır; ancak bunların işlevleri her iki taraf için de önemlidir. Karma laboratuvarlarda, üniversite araştırmacılarının toplayabildikleri bilgiler (üniversitedekiler bilgi toplamada endüstri araştırmacılarına göre daha başarılı oluyorlar çünkü sanayi alanındakiler üretim sırları nedeniyle daha ağzı sıkı davranmak zorundalar) endüstri araştırmacılarına sunulmaktadır. Bu, çalışmanın ilk adımını oluşturmaktadır. Öte yandan, endüstri kesiminin sorduğu soruların ele alınması temel araştırmacı açısından da önemli bir deneyimdir; bu sorular genellikle temel araştırmacı için olağanüstü ve kışkırtıcıdır. Bu özelliklerinden dolayı, karma laboratuvar kararsız öğrenciye bir ara çözüm sunar. Ancak bir kez daha, yapılan seçimin niteliğini vurgulamakta yarar var. Uygulamalı araştırma ne su sızdırmaz bir olgu ne de tek parçadan oluşmuş bir yapıdır.

İp cambazı

Benim küçük "büyük" okulumda, yani Paris'teki Kimya ve Fizik Okulu'nda bulunan

(aşağı yukarı) on sekiz laboratuvarı, genelde uygulamalı ve büyük ölçüde endüstrinin parasal destek sağladığı araştırmalar yürütülmektedir. Ancak burada herhangi bir uygulamalı araştırmadan söz etmiyoruz. Bizde, sanayicinin ortaya attığı ve ürettiği sistemler üzerinde fazla klasik ve fazla yinelenmiş ölçümler yapmaya eğilimli ekipler uyarılır. Öte yandan, aşırı temel araştırmaya yönelenler ise (kibarca) fildişi kulelerinden dışarıya itilirler. Araştırmalarının giderleri vergi yükümlülükleri tarafından karşılandığında yalnızca sanat için sanat yapmanın sağlıklı olmadığını düşünüyorum. Buna karşılık, “hızlı uygulama” saplantısının araştırmacı açısından taşıdığı riskleri de biliyorum. Tekniğe çok yakın bir noktada çalışmak insanı boğabilir.

Sonuçta şunları söyleyebilirim: Okul müdürü olarak zamanımın büyük bir bölümünü insanları gruplara ayırarak ve özellikle de kimsenin, araştırmacılık ve teknik merkez mühendisliği mesleklerini birbirine karıştırmamasına dikkat etmekle geçiriyorum; her iki uğraş da aynı derecede saygın olmakla birlikte ayrı niteliklere sahiptirler.

Fizik ve Kimya Okulu (PC)

PC'nin kökeni 1870 yılındaki savaşa dayanır; savaş kaybedilir, Alsace, Lorraine ve Mulhouse elden gider... O dönemde Mulhouse'da, öğrencilerin laboratuvarındaki uygulamalarının kuramsal derslerle bir arada yürüdüğü Fransa'nın tek kimya okulu vardı.

1880 yılında Paris'teki belediye konseyi belediyeye ait bir okul kurmaya karar verir. Bunun için öncelikle iki ilke benimsenir:

- Bu okulda fizik ve kimya beraber öğretilmektedir.

- Temel derslerin daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla öğrenciler laboratuvarda kendi kendilerine deneyler yapacaklardır.

Belediye konseyinin (dikkate değer) tartışmaları sırasında bu ilk iki görüş geliştirilir. Pratik bir eğitim tarzına sahip Alman eğitimine yakın Alsaceli göçmenler sayesinde bu proje hızlı bir atılım yapar. Bu sistemi kabul ettirenler Alsaceli göçmenlerdir. Akıllıca davranarak yirmi beş yaşındaki Pierre Curie'ye görev verirler. Böylece, çok çabuk, girişimci öğrenciler PC'ye çekilir: Bunlar arasında istatistiksel fiziğin kuramcısı ve aynı zamanda Sonarı bulan Paul Langevin; ya da Air Liquide'in öncüsü Georges Claude vb. sayılabilir. Biz de, kendi çapımızda bu geleneği korumaya çalışıyoruz.

Günümüzde PC, çok değişik alanlarda yol gösterici bir rol üstlenmektedir: polimer metalürjisi, akustik, elektronik ve hatta, yumuşak madde kuramı! Aynı zamanda kimyasal bireşim, katı madde fiziği, optik gibi daha klasik bilim dallarına da yeni boyutlar kazandırılmaktadır.

Okulumuzda, elektronik alanında Jacques Lewiner ya da biyomühendislikte Georges Charpak ve daha pek çokları gibi gerçek anlamda mucitler çalışmaktadır.

Nobel Ödülünün bana sağladığı doyumlardan birisi de Parislilere seslenebilmem ve bu okula yatırdıkları paranın yararlı işlere harcandığını hissettirebilmem oldu.

Mesleğim, sirkte cambazın ip üzerindeki adımlarına eşlik eden Bay Loyal'ın işine benzer. Araştırmacının her iki tarafa da düşmesi önlenmeli, ne aşırı uygulamaya ne de uç noktadaki temel çalışmalara yönelmemesi için uyarılarda bulunulmalıdır. Benim, cambazı cesaretlendirmem, biraz sola, biraz sağa doğru yönlendirmem fakat bunu yaparken de kesinlikle sertçe davranmamam gerekir.

Doğal olarak, uygulama konusunda hiçbir endişe taşımadan yalnızca temel araştırmalarla ilgilenme isteğinin de bütünüyle haklı gerekçeleri olabilir. Örneğin, bazı astrofizikçiler ve yüksek enerjiyi ele alan fizikçiler bu grubun kapsamına alınabilirler. *Aşırı soğuk atomları* üreten, atomları hücreler içinde ışık demetleri ile derecenin on milyonda birine kadar soğutan optik bilimcileri kendilerini tamamen bilimsel bir oyuna adanmış görünmektedirler. Bununla beraber, bu araştırmamanın kurumlar tarafından desteklenmeyi hak ettiğine inanıyorum. Bilimsel kültürü sistematik olarak doğrudan doğruya uygulamanın hizmetine sokmak en azından bizim Batılı toplumlarda anlamsızdır.

Bizim bilim dallarımızda her zaman seçenekler vardır. Bizi nereye götüreceğini bilmeden çok zevkli bir sorunla boğuşabiliriz. Genelde doğa çok kötü davranmaz ve temel araştırmayla uygulama arasında köprüler kurarak yardımımıza gelir. Nitekim, sıvıların yüzeylerden ayrışmaları ile ilgili çalışmalarımız beklenmedik uygulamalara yol açtı: Örneğin, dergilerin baskı işini hızlandırdı!

Gençleri, gerçeklerle bağlantılı ve onlara mesleklerinde daha büyük bir serbestlik sağlayan konulara yönlendirebildiğim zaman kendimi daha rahat hissediyorum.

Günümüzde, kuramcının ve deneycinin etkinliklerini kaynaştırabilen çok az sayıda bilim adamı vardır. Yine de bazıları bu işi iyi beceriyor; fakat bunlar istisnaları oluşturunlar.

İnsanların hem deney yaptıkları hem de bunu ana çizgileriyle yorumlayabildikleri durumlar bana daha erişilebilir gözüküyor.

Burada, bir denge gereksinimi ortaya çıkıyor. Bana göre, insanın hayatta zayıf yönlerini düzeltmeyi öğrenmesi en büyük kazançtır. Köşesine çekilip düşünmeyi seven kuramcıyı zaman zaman ellerini kullanarak çalışmaya, buna karşılık deneyciyi de genel kültürle ilgili kitaplar okumaya özendirmek gerekiyor.

Önceden mesafe katetmek

Araştırmanın, “temel” ve “uygulamalı” diye açıkça ikiye bölünmüş olmadığını tekrar vurgulamak istiyorum. Her iki mantığın birbirine yaklaştırılması, sadece arzu edilen bir şey olmaktan öteye ekonomi ve endüstride sahip olduğumuz düzeyimizi korumamız için vazgeçilmez bir koşuldur. Üniversite camiasından bazı kişiler, “uygulama alanında yolunu şaşırın”, değerlerini yitiren, endüstriye satılan vb. araştırmacılar görmekten korkuyorlar. Bunlar, 1968’den sonra son derece yaygın olan bir görüşü dile getiriyorlar. O dönemde pratik kullanımı olmayan, tamamen yararsız işlerle uğraşmak “olmazsa olmaz” bir kuraldı. Bilim ve endüstri çevrelerinin birbirleri-

ne yaklaşımları ve böylece birbirlerini daha iyi tanımaları sonucu bu tür bilimsel züppelikler azaldı. Ancak ip cambazına dikkat! İlişkiyi sürdürmek ama tüm araştırmayı sanayinin bir uydusuna dönüştürmemek gerekiyor. PC’de öğrencileri endüstriye dönük olarak eğitmemiz var olan pazarları izlemek anlamına gelmiyor; amacımız daha çok, piyasaya yeni şeyler sunmak.

En karmaşık, en gelişmiş aygıtları kullanarak çalışan araştırma mühendisleri bu iki kesim arasındaki geçiş noktasında bulunuyorlar. (Ben General Electric’te, Philips’te, Exxon’da ve Rhône-Poulenc’de mühendis sıfatını almadan çalıştım).

Birgün önemli okullardan birindeki topluluğa konuşurken bende “mühendis” sözcüğünün tanımını inceleme merakı uyandı. 12. yüzyılda bu terim makineler, özellikle de askeri makineler üreten kişi için kullanılıyordu ve bu uzun süre böyle devam etti. Ancak bu mesleğin gelişimi incelendiğinde, uygarlıklarımızdaki ilerlemeyle yakından ilintili olduğu, Modern Zamanları başlattığı ve bu sürece eşlik ettiği görülür. Günümüzde hâlâ Batılı ülkeler görece bir üstünlük sergiliyorlarsa bunun nedeni, tabii ki, Rönesans’tan beri mühendislerin gittikçe daha geniş kapsamlı bir etkinlik göstermesidir (özellikle İtalya’da ve daha sonra tüm Batı dünyasında). Bu öyküyü genç kuşaklara anımsatmak önemlidir. Onlar, önceden mesafe katetmemizi sağlayan araştırma ve yenilik üretme düşüncesini korumadığımız zaman Batılı ülkelerin sahip oldukları üstünlüğün –bunun kazanılmış bir hak olduğunu düşünüyorlar– fazla uzun sürmeyeceğinin bilincinde olmalıdırlar.

Mühendislik mesleğinin ilk tanımlarında, “yapımcı”nın yanında “mucit” sözcüğü de yer alıyor. Mühendislerin eğitiminde buluş unsuru göz ardı edilmemelidir. Son zamanlarda mühendisler, idari ya da ticari yöneticiliğe ya da herhangi bir edilgen konuma aşırı yönelme eğilimindedirler. Günümüzde Çinli göçmenlerin katkısı olmadan ABD’deki bilimsel araştırmalar tehlike altında bulunacaktı. Böyle giderse, yeni şeyler yaratmadıkları için bunları satın alan, lisans altında işleyen ve fabrikaları yöneten üçüncü dünya ülkelerine benzeyeceğiz.

İsviçre’de saat endüstrisinin geçirdiği karanlık dönem, uzun vadeli araştırmanın önemsenmediği bir sanayi sektörünün nasıl etkilenebileceğinin göstergesidir. Bu endüstri dalının büyük bir güven içinde olduğu sanılıyordu; bu alanda çalışanlar, üstünlüklerinden o kadar emindiler ki sıvı kristal kadranların sağladığı olanakları göremediler. Üreticiler körleşmenin bedelini çok ağır ödediler. İsviçrelilerin kendilerine gelebilmeleri için on yıl gerekti (Swatch çıkana kadar). Bu durum bize ders olmalıdır.

Örneğin, geleneksel şekliyle ölüme mahkûm olan kilitçilik sektörünü ele alalım. Artık gelecekte, kumanda için bütünüyle mekanik aygıtların kullanımına gerek kalmayacak. Bu nedenle kilitçilerin eğitimi salt kilit diliyle, sürgüyle ilgili bilgilerle sınırlanamaz; onlara öğretilenler bilgisayar, manyetik detektörler gibi yeni teknolojileri de kapsamalıdır... Bazı kilitçiler rüzgârın yön değiştirdiğini gördüler. Üstelik rüzgâr yön değiştirmekle de kalmadı! Yarın, eli ya da sesi tanıyan yeni aygıtlar kartların yerini alacak...

Tüm bu gelişmeler ise uzun vadeli araştırmayı gerektirmektedir.

Kısacası, bana göre, gelişmiş bir toplum olarak varlığımızı sürdürebilmemizin koşullarından biri, gerçek anlamda bir diyalog ortamı oluşturarak –buna, üniversiteliler için verilen dinlenme ve araştırma izinleri de katılabilir– bilim adamlarını endüstri çevreleriyle sağlam ilişkiler içerisinde tutabilmektir.

Tenis oyunu

Endüstri çevreleri kışkırtıcı öneriler ve sorular ortaya atarlar. Bu bir tenis oyunudur. Benim alanımda, tetiğe basan genelde yepyeni bir şey üretmeyi başarabilen sanayicidir. Örneğin, günümüzde ineklere, kapsül şeklinde amino asitler yutturuluyor; yani bunlar büyükbaş hayvanların midesinde salgılanan tripsin tarafından parçalanamıyor ve böylece bağırsaklarda doğrudan emiliyor. Bu tür bir ürün belki de hayvanın beslenme düzenini altüst edecektir.

İneklerimizin midelerinde dayanabilecek ve aynı zamanda besinin zamanında yayılmasını ve emilmesini sağlayacak bir kaplamanın, yani bir kapsülün hazırlanması basit bir buluş değildir. İşte, bilimsel düşünceyi zorunlu kılan bir endüstriyel yenilik.

Bu tür alışverişler büyük bir yatırım gerektirmiyorlar. Üstelik tek yönlü değil, karşılıklı bir yarar sağlıyorlar.

Ancak toplumlarımızın temel araştırmacılarla endüstri çevreleri arasında diyalog sağlama gereksinimine karşın bu iki grup arasında saydamlık her zaman mümkün değil. Üretim sırları

söz konusu olduğunda kolayca tartışılmıyor. Bazen, olağanüstü bir fikrin erken açıklanması durumunda bir kuruluşu tehlikeye sokabileceği için bundan çok geç haberimiz oluyor. Özellikle büyük şirketlere göre daha güçsüz olan küçük ölçekli işletmelerde bu sırrın korunması gerekiyor.

Bu küçük sanayi birimleriyle ilgili olarak yapılacak çok şey var. Buna en güzel örnek de, ülkemizde iş olanağı bakımından da güçlü bir büyüme potansiyeline sahip sektörlerden ve kaynaklardan biri olan tarım endüstrisidir. Tarım alanında etkinlik gösteren işletmeler sayıca fazla ve günümüzde bunları birbirine yaklaştırmak zordur. Bu nedenle, PC’de büyük gurur duyduğumuz basit bir olayı anlatmadan geçemeyeceğim. Okulumuzdaki ekiplerden biri, kamamber peynirinin yoklanması için garantili bir yöntem geliştirdi. Buna göre, peynir hamurunun kıvamının belirlenmesi için alışlagelmiş şekilde parmakla yoklamak yerine “benek holografisi” denilen bir akustik tekniğinden yararlanılıyor. Bu hassas yöntem, salt kamamberlerin değil aynı zamanda marketlerde satılan peynirlerin büyük bir bölümünün denetlenmesini sağlıyor.

Genelde, küçük ölçekli işletmelere ulaşılması için gerekli olanaklardan yoksunuz. Kuşkusuz, kontrat üzerinde araştırma kurumları bulunuyor (İsviçre’deki Battelle ya da Fransa’daki Bertin gibi). Küçük çaplı bir kuruluş ilke olarak, rekabete daha açık bir yöntem üzerinde araştırmaya girişilmesi için bu tür bir kuruma başvurabilir. Gerçekte, kontrat üzerindeki bu kuruluşlar, küçüklerden çok büyük müşterilerle çalışmaya hevesliler. CNRS, küçük ölçekli işletmeler için

bilgi merkezleri oluşturdu. Ancak bu konuda daha çok şey yapılması gerekiyor; bunun için örneğin, kamu sektöründeki her genç araştırmacı için ayda bir gün orta büyüklükteki bir kuruluştaki çalışma koşulu getirilebilir.

Keşif

Edison ve Feynman

Yorulmak bilmez bir mucit olan Thomas Edison, bilimin “% 5 esin ve % 95 terleme” gerektirdiğini söylerdi. Bu formül günümüzde de geçerlidir. Bir şeyi ortaya koyabilmek için bazen mutlu bir rastlantıdan yararlanılsa bile büyük bir sabır ve dayanıklılık her zaman şarttır. Kısa bir süre önce Collège de France’daki ekibimiz, erimiş plastiğin bir tüpün içine akma şeklini araştırıyordu. Örneğin bir plastik şişenin yapımında, plastik malzeme, bir tüpe dış macunu doldurulur gibi bir kalıbın içine sıkılır. Bu işlemin aşamaları tam anlaşılamamıştır. Polimerin tüpün yüzeyinde kaymakta mı yoksa yüzeye yapışmakta mı olduğunu belirleyebilmek amacıyla katı bir yüzeyin çok yakınında (500 angströmde, yani mikrometrenin 5/100’inde) hızları ölçmek gerekir. Bu da çok ileri bir optik sistemle gerçekleştirilebilir. Bu sistemin geliştirilmesi beş yıl sürdü. Deneyden güzel sonuçlar elde edildi; polimerin iç kenara yapıştığı düşük süratte bir düzen ve polimerin kaydığı yüksek hızlarda geçerli bir düzen ortaya konuldu. Şans eseri biz kuramcılar neredeyse aynı zamanda, bu “kayma hal değişimi” için bir açıklama getirebildik. Herkes bu konuda uzlaştı.

Ancak bu ender rastlanan bir mutluluktur. Genelde bu tür işler her iki tarafta da ağır aksak ilerler. Yeniden başlar, dener, yoklarız; bazen kuramsal bir ilke, bazen de deneysel bir yenilik bizi yönlendirir. Örneğin, günümüzde, salt mikron ölçeğinde değil, aynı zamanda bundan bin kat daha küçük bir ölçekte bakmamızı sağlayan yeni mikroskopi yöntemleri bulunuyor ("tünel" mikroskopisi). Bu küçücük aygıtlar yeni kavramları gündeme getiriyor, düşünce ufkunu genişletiyorlar.

Genelde olayları başlatan, kıskırtıcı bir soru (araştırmayı harekete geçirecek bütünüyle gizemli bir görüngü) ve sabırla oluşturulmuş bir kültür birikimidir. Ancak bu koşullar gerekli olmalarına karşın yeterli değildir: İlk sınavda sağlam görünen düşünce şemaları son derece önemli bir deney sırasında ya da farklı bir ölçeğe geçiş sonucu yıkılabilirler. Bu durumda hedefi sürekli düzeltmek ya da fikir değiştirmek gerekir.

Kuramın buluştaki yeri nedir? Kuram bize kesin kurallar sunuyor mu? İşte, sık sık duyduğum sorular. Ve de tüm bu sorulara açıklama getiren tek bir yanıt. Benim kuşağımın çok şey borçlu olduğu Amerikalı bilim adamı Richard Feynman'ın (temel parçacıkların kuramcısı) kuram için çok sevdiğimiz bir tanımını vardı: "Theory is the best guess" (kuram en iyi tahmindir). İşte yalın ve doğru bir açıklama.

Peki, şansın rolü nedir?

Her araştırmanın kumara benzer bir yönünün olduğu kuşkusuz doğrudur. Ancak şans birçok etmenden yalnızca birisidir. Bir ekibin uzun dönemde pek çok kez doğru numarayı çekmesi çalışmaktan yüksünmediğini gösterir.

Yolculuk anıları

Gitmek ya da gitmemek... Yeni bir konuyu ele alma kararı sonucu hiçbir zaman önceden belli olmayan bir oyuna oturmak gibidir. Ancak bu karara varmadan önce kültürel birikimin, bireysel seçimlerin ve yaşamdaki rastlantıların oldukça karmaşık bir şekilde iç içe girdiği başka yollardan geçilmiştir.

Elverişli koşullarda kuluçkadan çıkmayı becerebilmiş bir kuşağa ait olduğumun bilincindeyim. Savaşın yol açtığı felaketin tamamıyla içine çekilmeyecek kadar gençtim ve araştırmalara son derece olumlu koşullardan yararlanabilmek için tam zamanında (1950'ye doğru) başladım; ülke yeniden kuruluyor ve bilimsel alandaki gecikme gözle görülür bir şekilde telafi ediliyordu. Mesleğimin başlangıcında, yurtdışında eğitim gören ve bize, yani şımartılmış kuşağa yeni şeyler öğretmeye gelen araştırmacılar bana yol gösterdiler; benim konumla ilgili olarak günümüzdeki Fransız Fizik Okulu'nu kuran Albert Messiah'ı, Anatole Abragam'ı, Claude Bloch ve Jacques Friedel'i örnek verebilirim.

Benden üç, dört yaş büyük olanlar genellikle bu şansa sahip değildiler. Yaşadıkları dönemde, Fransa'da onları eğitecek ne kitap ne de öğretmen vardı. Örneğin, kuantum mekaniğini ele alalım (dalgalara dayanan ve bundan böyle, atomları, çekirdekleri anlamamız için vazgeçilmez olan mekanik). Benden büyük olanlar kuantum mekaniğini gerçek anlamda benimseyemeyecek kadar geç öğrendiler. Bazıları yaşam boyu bunun acısını çektiler. Bu tam olarak, on altı yaşında viyolonsel öğrenimine başlamaya benzer; o

kişinin parmaklarının çevikliği ve ataklarının doğruluğu, on iki yaşındayken enstrüman üzerinde çalışmaya başlayan öğrencininkiyle karşılaştırılmaz. Bir, iki yıllık fark temel bilginin edinilmesinde son derece önemlidir.

Ben bu açıdan çok şanslıydım. Buna, çoğu kez itiraf edilmese bile duygusal, hatta tamamen gerçek dışı diyebileceğimiz ölçütlere dayanan ilk meslek seçimi de dahildir. Nitekim Atom Enerjisi'ndeki ilk işimi de bu etkenlere borçluyum. Atom Enerjisi Merkezi'nin (CEA-Saclay) patronlarından biri olan Jacques Yvon'un, ilk iş görüşme gitmem için bana "şoförlü" bir araba göndermesi, kendimi başkan gibi hissetmeme yol açmıştı! İkinci tuzak ise şuydu: Saclay'e geldiğimizde, dev yapılarla ve parçacık hızlandırıcılarıyla karşılaştım... Bu dekora kanarak hemen çalışma sözleşmemi imzaladım. Oysa bu ölçütlerle son derece aptalca davranabilirdim. Tanrı da biliyor ya, modern dünya hiçbir işe yaramayan dev yapılarla dolu! Neyse ki doğru yere düşmüştüm. Atom Enerjisi Merkezi gerçekten yaratıcı insanları çatısı altında barındırıyordu; bunlardan biri de –sonradan arkadaşım olan– patronum André Herpin'di. Onunla beraber kuantum fiziğinden, onun doğal türevi olan katı madde fiziğine yöneldim. Böylece manyetik maddeler üzerinde çalışmaya başladım. Grenoble'da manyetizma üzerine daha çok Louis Néel'in başlatmış olduğu hummalı bir faaliyet ve çok hızlı bir gelişme sürüyordu.

Araştırma reaktörleri bize Saclay'de olduğu gibi –nötronların kullanımıyla– manyetik ortamların incelenmesi için yeni bir yöntem sunu-

yorlardı. Bernard Jacrot'nun öncülüğünde bu konuyla ilgilendim. Daha sonra, patronum ve aynı zamanda arkadaşım olan Charles Kittel'le Berkeley'de (harika) bir çalışma yılını tamamladıktan sonra yirmi yedi ay askerlik yaptım. Fransa'ya dönüşümde, Orsay'de genç bir doçent olarak, süperiletken metallere –çok düşük sıcaklıkta elektrik akımını kayba uğratmadan ileten metallere– ilgili bir deney grubunu yönetmek gibi saf bir düşünceye kapıldım. Bu olağanüstü görüngü kısa bir süre önce ilkesel olarak açıklığa kavuşmuştu (elli yıllık bir çalışmadan sonra). Orsay'deki “süperiletken grubu” başlangıçta zorluklarla karşılaştı fakat gerçekten cana yakın bazı meslektaşların (P. Perio, A. Guinier, J. Friedel) yardımıyla oldukça başarılı çalışmalar yaptı (1962-1968).

1968'de tamamen farklı bir konu olan sıvı kristallerden söz edilmeye başlandı; *sıvı kristaller*, Fransa'da 1920'lere doğru Georges Friedel sayesinde son derece etkin bir alandı. Ruslar bu konuyu incelemeyi sürdürmüşler (otuzlu yıllarda) ancak kurama körü körüne inançlarından dolayı “kimyayla ilgili” ve “uygunsuz” sıfatlarıyla değerlendirdikleri bu bilim dalına yönelik çalışmalarından vazgeçmişlerdi. Mayıs 1968 olaylarından hemen sonra, bir Sovyet dergisinde yayımlanan bir yazı sayesinde bu olaydan haberi-miz oldu. Bu yazı, Rusların sıvı kristaller alanında elde ettikleri bilgi birikimini tam olarak sunuyordu. Bu bizim açımızdan beklenmedik ve önemli bir açıklamaydı. Konu, Rusların gözden kaçırdıkları, son derece heyecan verici noktalar içeriyordu. Kısacası, gerçek anlamda bir altın

madeniyle karşı karşıyaydık! Birkaç ay içinde tüm ekip maden ocağının işletilmesi gerektiğini anladı. Böylece beş, altı grup (kristalografi, kimya, kusurlar, optik, nükleer rezonans, kuram) tüm silahları ve donanımıyla sıvı kristallere yöneldi. Yeni laboratuvarlar oluşturmaya gerek yoktu. Biraz para ve zaman harcayarak, uluslararası önemli bir konuma erişmiştik. Herkes mutluydu; her şeye açık ve işbirliğine hazır bir düşünce ortamı egemendi..

Ancak burada da, zanaatsal olanaklarla temel deneyler yapamayacak bir aşamaya geldiğimizde bu işten çekildik. Daha sonra, yetmişli yılların başında eğlenceli sorular sorduran *polimerleri* ele aldık. Nötronlar, yazgımızın da yardımıyla polimerlerin araştırılmasında çok önemli bir işlev üstlendiler. Saclay'deki arakadaşım Gérard Janninck bu durumu kavradı ve bundan yararlandı; daha sonra da, özellikle Strasbourg'da Henri Benoit tarafından harekete geçirilen pek çok ekip nötronları kullandı.

1978'e doğru ise ilgi alanımız *koloitler* –çok ince bölünmüş madde– daha sonra ise genel anlamda *ara yüzeylerle* ilgili sorunlar ve (yapıştırıcının gücünü sağlayan) *yapışma* mekanizmalarıydı.

İşte, genel çizgileriyle izlenen yolu anlatmaya çalıştım. Her aşamada öne atıldık çünkü yararlı olabilecek kavramlara ve deneysel yöntemlere sahiptik.

Medya bizi (beni ya da benzer biçimde çalışan diğer araştırmacıları) her şeye el atan, duvarlardan geçerek konudan konuya atlayan kişiler olarak sunma eğilimindedir... Ben her yerde bulu-

namam. Gerçek şu ki, her defasında öğrenci kimliğine bürünmek ve yeniden öğrenmek gerekir! Polimerler üzerinde çalışmaya başladığımızda, yararlanılabilecek bir fikir ortaya koyabilmemiz dört yıl sürdü. Strasbourg'da (Charles Sadran tarafından kurulan) Makromolekülleri Araştırma Merkezi bize önemli yardımlar sağladı. Oysa başlangıçta, bu alandaki bilgisizliğimiz nedeniyle inanılmaz derecede saçma sapan şeyler söylüyorduk. Henri Benoit'nın yönettiği ekibin sabrı ve aklı sayesinde eğitildik. Daha sonra, biraz farklı fikirler önerdik (çünkü başka bir dünyadan geliyorduk). Ancak ilk önce, bizden öncekilerin yaptıklarını öğrenmemiz gerekiyordu.

Nehrin sığ yeri

Bu günlerde aklımı en çok kurcalayan şey, yapışma ile ilgili sorunlar. Şimdiye kadar bundan pek söz etmedim fakat bu bilim dalı, bir konunun seçimi ve sürdürülmesiyle ilgili olarak araştırmacının karşılaştığı ikilemin en güzel örneğidir. Yine burada da üç, dört yıllık bir araştırma süreci gerekiyordu.

Tutkalın geçmişi çok eskilere dayanır! İnsanoğlu eski çağlardan beri yapıştırma işlemini biliyor. Asurlular ve Romalılar balıktan elde edilen bir zambak kullanırlardı. Fenikeliler aynı zamanda hem yapışkanlık hem de su geçirmezlik sağlayan maddeler bulmuşlardı; bu teknik yenilik büyük ölçüde denizcilikteki üstünlüklerinden kaynaklanıyordu. Yüzyıllar boyunca mobilya ustaları yapıştırma sanatını bir kuşaktan diğerine devrettiler. Ta ki, 20. yüzyılın başında 1) sentetik polimerlerin bulunuşu (günümüzde, tüm ya-

pıştırıcılar polimerlerdir) ve 2) havacılık endüstrisinin gelişmesi (otuzlu yıllara kadar, uçakların büyük bir bölümü yapıştırma yöntemiyle toparlanması gereken tahta bir yapıya sahiptiler) sayesinde tutkal sanayisinde büyük bir patlama yaşanana kadar. Kaydedilen gelişme göz kamaştırıcı idi. Çağımızda, örneğin kauçuğu metal üzerine yapıştırmamızı sağlayan çeşitli maddeler bulunmaktadır; oysa gençliğimde, aynı işlem büyük zorluklarla gerçekleştirilirdi. Bu, pratik olarak büyük bir başarıdır. Yapışmayla ilgili önemli bir endüstri alanı oluştu. Ancak bu bilim dalının öğrencilere öğretilmesinde son derece yetersiz kalınıyor; konuyu işleyen dersler salt birer reçete olmaktan öteye gidemiyor.

Yapışma konusu yumuşak madde fizikçileri olan bizler açısından gündeme geldiğinde bahsi kazanacağımız söylenebilir mi? Şimdilik yalnızca nehrin sığ yerinde bulunuyoruz.

Bazı basit ilkeleri, aydınlatıcı fikirleri ortaya çıkarmaya çalışıyoruz. *Esnek* nesnelerin (ya da giderek, *esnek* nesnelerin *katı* nesneler üzerine) nasıl yapıştıklarını anlamaya başlıyoruz ve kavramlar da belirginlik kazanıyor. Ancak bunun bir alt sektörü olan epoksi yapıştırıcıları (bu malzemede polimer, pencere camına benzer bir durumda bulunmaktadır) alanında tam bir sıkıntı içindeyiz.

Burada araştırmacı olarak durumumuz, geçen yüzyılda Afrika kıtasını keşfe çıkan Livingstone'un ya da Brazza'nınine benzetilebilir. Nil'in çeşitli kolları aşarak kaynakları bulunmaya çalışılıyor. Bu çalışmalarda, kusursuz bir gösterinin taşıdığı estetik boyutu yakalamak hiç olası değil.

Fransa'da, az sayıda kuramcı ve birkaç deney ekibi yapıştırmayla ilgileniyorlar. Mulhouse'da fizik ve kimyanın iyi bir biçimde birleştirildiği çok iyi bir laboratuvarımız var. Ancak mekanik sektörüyle etkileşim gereken düzeyde değil. En parlak mekanikçilerimizin bile kimya ve polimer bilimi hakkında yeterli bilgiye sahip oldukları söylenemez. Oysa yapışma konusunda pek çok bilim dalının söyleyeceği sözü var. Umarım Paris'te, kimyacıların, fizikçilerin ve mekanikçilerin uzmanlıklarını bu konu etrafında birleştirecek karma bir grup oluşacaktır.

Nano-newton

Yapışmanın mekanizmalarıyla ilgilenmem, Nobel ödülünün verilmesi sırasında bazı medya çevrelerinde tuhaf yorumların yapılmasına neden oldu. Bir gazeteci, benden çok önce varolan yapıştırıcıların benim tarafımdan bulunduğunu ileri sürdü; bir başkası, televizyondaki bir söyleşi sırasında koloidlerle (maddenin çok ince bölünmüş bir hali) yapıştırıcıları birbirine karıştırdı. Diğerleri ise ödülün, gerçekte en az hakim olduğum epoksi yapıştırıcılarıyla bağlantılı olduğuna karar verdiler! Başka bir yerde ise beni Newton'la karşılaştırdılar! Benim bu kişiyle bir ilgim varsa bile, bu ancak *nano-newton* düzeyinde, yani Newton'un milyarda biri kadardır... (Bu kuvvet birimi, kimyasal bir bağı kesmek için gereken kuvvete karşı gelir. Biz bunu bazı yapışma deneylerinde ölçeriz).

Kuşkusuz Newton'dan söz etmeyi severim; fakat bunu yaparken amacım yalnızca araştırmacıyı dikkatli ve alçakgönüllü olmaya özendir-

mektir. Isaac Newton: korkunç, sert, kararlı, çok genç yaşta bilimde parlayan bir insan. Onun özelliklerini yeniden anlatalım: On üç yaşında İngiltere'nin bir köyünde komşularının merakını çeken hidrolik makineler üretir. On sekiz yaşında teleskopu bulur. Yirmi yaşındayken optik bilimini kavrar (ışığın dalgalı yapısı). Yirmi, yirmi beş yaş arasında gezegenlerin hareketini, yerçekimini açıklar. Bunu yapabilmek için de, modern matematiğin temel direklerini oluşturur (Diferansiyel hesap ve entegral). Kusursuz bir çizgi! Ancak yirmi yedi/yirmi sekiz yaşına doğru Newton aniden konu değiştirir ve yolunu şaşırır. Simyayla ilgilenmesi, onun tamamen kayıp sayılabilecek bir on yıl geçirmesine yol açacaktır.

Bu kaybedilmiş bahis, bilim tarihinin en anlaşılmasız olaylarından birini teşkil eder.* Newton, bir yüzyıl sonra Lavoisier gibi bilim adamlarının kimyanın temelini oluşturmalarını sağlayacak olan hemen hemen bütün araç gereçlere sahipti. Bunun yerine, bağınaz protestan kimliğiyle Kut-sal Kitap'a yani "Tanrı'nın Kelamı"na bütünüyle bağlı olan Newton, simyanın biçimciliğinde onun elementlerinde, sayılarında, geometrik şekillere dayanan sınıflandırmalarında bilginin anahtarını bulacağını sandı. Bu nedenle de, *Gülün Adı* romanındakine benzer karanlık bir labirentte yolunu kaybetti.

Her şeye karşın, daha sonra bu durumdan da bazı yararlar sağlayabildi ve Cromwell iktidarı zamanında İngiltere Darphane Müdürlüğü'ne getirildi. Kimya alanında epey pratik edinmiş ol-

*Bkz; L.Verlet, *La Malle de Newton* (Gallimard, 1993).

duğundan geliştirdiği karşı yöntemlerle, alaşımların bileşiminde hile yaparak atölyelerden altın ya da gümüş çalan sahtekârlara engel olma olanaklarına sahipti.

Yanılgılar

Her bilim adamı ileriye dönük kestirimlerinde saçmalayabilir. Geçen yüzyılın en büyük mekanikçilerinden biri olan Lord Rayleigh havadan daha ağır bir motoru uçurmaya çalışmanın zaman kaybından ibaret olduğunu yazmıştı! (Clément Ader'in *l'Eole* isimli uçağının ilk uçuşundan birkaç yıl önce). 1908 yılında Nobel Fizik Ödülünü kazanan Lord Ernest Rutherford (1871-1937) 1933'te nükleer enerjinin işletilmesini "masal" diye nitelendirmişti. Aşağı yukarı on yıl sonra, İtalyan Enrico Fermi (1901-1954) Chicago'da ilk atom reaktörünü gerçekleştirdi. Ancak hiçbir fizikçi otuzlu yılların başında bu tür uygulamaları öngörecektir olanaklara sahip değildi.

Bilim, bazı yazın yapıtlarında ise gerçekte örtüşmeyen öngörü yetileriyle donanmış gibi gösterilmektedir. Büyük Sicilyalı yazar Leonardo Sciascia'nın *La Disparition de Majorana*'da (Majorana'nın kayboluşu) okuyucularına anlattığı öykü, sanki yaşanmış olan, ancak gerçekte yazar tarafından uydurulan bir kurama dayanır. Enrico Fermi'nin çalışma arkadaşı olan Majorana genç bir İtalyan araştırmacısıdır. 1936 yılında ruhsal bir bunalım geçirir ve altı ay bir odaya kapandıktan sonra Napoli'den Palermo'ya gitmek üzere bir gemiye binerek arkasında iz bırakmadan kaybolur. Sciascia, çekirdek fiziğinin

den yola çıkılarak üretilme olasılığı olan silahların korkunç görüntüsünün bu adamda saplantı haline geldiği sonucuna varmıştı. Oysa bu gerçekdışı bir varsayımdı. Ben o dönemde (1932-1936) çalışan İtalyan fizikçilerle görüştüm; hepsi de o sırada kimsenin, uranyumun zincirleme tepkimeleriyle ilgili en ufak bir fikri olmadığını doğruladı... Ayrıca Majorana gerçekte, kuantum fiziğinin soyut sorunlarıyla ilgilenen bir kuramcıydı, nükleer fiziğin pratik yönü hakkında hiçbir uzmanlığa sahip değildi. Ancak bazen edebiyatçılar, gerçek kuramcılardan daha çok kuramcı geçinebiliyorlar....

Bilim adamları kâhin değildirler. Geleceği oluşturmaya çalışsalar bile ileriye dönük kehanetlerde bulunamazlar. Örneğin ben, öğrenimi tamamladığımda optiği ölü bir bilim dalı olarak görüyordum. Bu konuda her şeyin bilindiğine ve artık bu alanda çalışmanın öküz altında buzağı aramaya dönüştüğüne inanmıştım... Ancak bazı buluşlardan sonra, bu düşüncelerimden dolayı pişmanlık duydum; söz konusu yeniliklerden birisi de *lazer*di. *Lazeri, lineer olmayan optik* bilimi izledi. Optik, kendi küllerinden sürekli olarak yeniden doğan anka kuşudur.

Aynı şekilde ileriye görememezlik, gençliğimde büyük bir titizlikle üzerinde çalıştığım süperiletkenlik için de geçerliydi. Bana, birkaç yıl önce bu bilimin gelişimiyle ilgili sorular sorulmuş olsaydı saçma yanıtlar vermiş olurdu. Bana göre her şey kontrol altındaydı. Kuram, endüstri alanında işlenebilmeleri için alışlagelmiş metallerin salt çok düşük sıcaklıkta süperiletkenlik kazanabileceğini ortaya koymuştu. Bazı ilginç uy-

gulamalar vardı fakat bunların sayısı sınırlıydı; örneğin (tıpta yararlanılan manyetik rezonansla görüntüleme cihazlarında çok başarılı bir biçimde kullanılan) yüksek manyetik alanların elde edilmesinde olduğu gibi.

Kısacası on yıl önce amacım, salt süperiletkenlerle ilgili olarak küçük çaplı bir çalışma yürütmek ve grupların büyük bir bölümünü farklı alanlara yönlendirmektir. Oysa, günümüzde bu bilim dalında yepyeni bir patlamayla karşı karşıyayız! Alex Muller ve arkadaşları (Zürich'teki IBM'de), sıradan metallere göre çok daha yüksek sıcaklıkta süperiletkenliklerini koruyabilen yeni bileşikler olan oksitleri keşfettiler. Bunun sonucunda, birkaç ay içinde binlerce araştırmacı bu yeni buluşun üzerine atladı. Niçin oksitlerle bu derece başarılı ve beklenmedik sonuçlar elde ediliyordu? On yıllık bir çalışmadan sonra hâlâ bu sorunun yanıtı tam olarak bilinmemektedir. Bu konuda en az üç önemli görüş birbiriyle çatışmaktadır. Hatta ortam o kadar gergin ki insanlar yumruk yumruğa gelmemek için ayrı ayrı kongreler düzenliyorlar. Ben ise küçük bir ekip- le, şimdilik fazla göze batmayan bir alanda araştırmalar yapmayı yeğliyorum.

Durmayı bilmek, değiştirmeyi bilmek

Benim düşünceme göre nükleer fizik (atom çekirdekleri bilimi) şu anda yolun sonuna ulaşmıştır. Bu bilim dalı, altmışlı yıllarda Fransa'da (özellikle CEA'nın kuruluşuyla) büyük ölçüde gelişti. Nitekim nükleer santral birikimimizi de bu gelişmeye borçluyuz. Nükleer fizik pahalı donanımlar gerektirmesinin yanı sıra güçlü bir lobiye

de dönuştü. Ancak kültürel açıdan tükendiği inancındayım. Bazı arkadaşlarımı üzdüğümün bilincinde olsam bile yine de durmamız gerektiğini söylemek zorundayım. Tabii ki, bu durdurma işlemi gelişigüzel bir şekilde gerçekleştirilmeyecek. Bu, hızla giden bir treni durdurmayı istemek kadar aptalca bir davranış olur. En iyi yöntem trenin makasını değiştirerek, onun daha yeni ve ortak çalışma açısından daha yararlı bir yola yöneltilmesidir.

Nükleer fizik kadar ağır bir bilim dalına yeni bir yön vermek kolay bir iş değildir. Burada sorun, insanları yeniden hem çekici hem de aynı zamanda yararlı alanlara yöneltmektir. Örneğin, nükleer fizikçilerin bir bölümü moleküler çarpışmaları ya da atmosferi vb. konu alan fizik dallarına yönlendirilebilir.

Bir kuramcı olarak, benim açımdan konu değiştirmek üç yıllık bir çalışma demektir. Bu tür bir girişim mevcut olanaklar çerçevesinde gerçekleşebilmektedir. Ancak deneyci için bu daha da zordur. Altmışlı yılların ortalarında, çok düşük sıcaklıklar ve süperiletkenlerle ilgili fizik dallarını bırakıp sıvı kristallere yöneldiğimde, oldukça cesur birkaç deneyci arkadaş beni izledi. Konu değiştirmek, ülke değiştirmek kadar tedirginlik vericidir. Bir bilim dalından diğerine geçen deneyci kendisine tanıdık bir dili, aletleri, kitapları kaybeder ve okula dönmek zorunda kalır. O, bavulu olmayan bir yolcudur. Ayrıca dünyanın çeşitli yerlerindeki arkadaşlarından da kopmalıdır (oysa ilişkiye dayanan bu sistem son derece önemlidir; böylece sürekli olarak bilgi edinebilirsiniz. Örneğin, bir kimyacı yeni bir ürünü

bireşimlediyse, bunun bir örneğini size gönderir). Tüm bunlar, akşamdan sabaha yitirilir.

Öte yandan, fazlasıyla yerine oturmuş, alışılmış ve açıkça vergi yükümlüsünün parasıyla geçinen bir yapı içinde keyif çatmak da kabul edilebilir bir davranış sayılamaz. Eski Sovyetler Birliği'ndeki elit sınıfı oluşturan bilim adamlarında büyük bir hareketsizlik gözleniyordu. Seksenli yılların sonlarında, Rus fizikçi meslektaşlarımı uyarmaya çalıştım: "Dikkatli olun; korkunç bir sefillik içinde çırpınacak olan yurttaşlarınıza yararlılığınızı hemen kanıtlamazsanız para alamayacak ve açlıkla karşılaşacaksınız". Bana inanmadılar. Sovyet fizikçileri, toplumun her tür sorgulamasından uzak, bir nevi serada eğitilmişlerdi. Onlar, her tür riskten uzak memurlardı. Şimdi, gerçeği kavramaya başladıkları için (gecikerek) daha yararlı bir bilime yönelmeye çalışıyorlar.

İnsanları kımıldamanın gerekliliği konusunda ikna etmek için öğütlemek, bıkmadan öğütlemek gerekir. Benim bu konudaki girişimlerim çok dar kapsamlı olsa bile, en azından Collège de France'da çalışan yirmi kadar araştırmacıyı ikna edebildiğim için mutluyum. Bir zamanlar, herkes polimerlerin sorunlarıyla ilgileniyordu. Bir gün, iki kuramcıyla beraberken şöyle dedim: "Tüm bunlar artık klasikleşti; oysa, ıslanmanın dinamiğinde büyüleyici şeyler var.." Bu sözleri laboratuvarında söyledim ve birden mucize gerçekleşti; bir buçuk yıl içinde üç ekip harekete geçti. Onları bu işe cesaretlendirmek gerekiyordu. Ancak bu araştırmacılar özellikle hep değişim halinde olan bir düşünce yapısına sahiptiler. Öte yan-

dan, gençleri işe aldığımız için de şanslıydık. İnsanlar çabuk dönüş yapılabiliyorlardı; eski alanları içinde donup kalmamışlardı.

Zaman geçtikçe sizde konuyu değiştirme isteği uyanır. Altmışlı yılların sonunda süperiletkenlerde benden daha iyi çalışan bir araştırmacı kuşağı yetiştirmiştik. Onlar için, hâlâ öğüt veren benim gibi büyük bir amcaya sahip olmak yerine sadece kendi sorumlulukları doğrultusunda girişimlerde bulunma, zorluklarla karşılaşma saati gelip çatmıştı.

Patlamalar ve havai fişekler

Bir asır içinde, Ingres'in klasik yapıtlarından izlenimciliğe geçen ve daha sonra soyut sanatın çeşitli biçimlerini benimseyen resim sanatı gibi bilimde de altüst oluşlarla büyük eserlerin tamamlandığı dönemler birbirini izler. Patlama devreleri olduğu gibi aynı derecede olağanüstü sayılabilecek değerlendirme ve derinleşme evreleri görülür. Kişinin hangi anda bulunduğunu doğru algılaması gerekir.

On dokuzuncu yüzyıl kimyayı ön plana çıkarırken, 20. yüzyılın ilk yarısında fizik* sivrildi; günümüzde ise, moleküler biyoloji sahnenin ön tarafında yerini alıyor; yarın belki de sıra beyin fizyolojisine gelecek... Dünyamız daha Galileo'nun, Newton'un, atom fiziğinde ise Schrodinger'in ve Dirac'ın çalışmalarının sonuçlarıyla karşılaştırılabilecek devrimlere tanık olacak. Ancak halk bu patlamaların daha uzun ömürlü

* Fiziğin gelişimiyle ilgili olarak günümüzdeki en güzel kitap bana göre Freeman Dyson'ın *Disturbing the Universe* adlı yapıtıdır.

havai fişekleri yarattığını unutuyor. Thomas Young'ın rakibi Pierre Simon de Laplace 20. yüzyılın hemen başında *Gök cisimleri mekaniği kitabı*'nı ortaya koyduğunda, iki yüz yıl boyunca etkisini hissettiren Newton'un fikirlerine dayanmaktaydı.

Hiçbir araştırmacı düşüncelerinin sonuçlarını önceden kestiremez. Bunlar, uzun bir olgunlaşma sürecinde, yol boyunca ortaya çıkarlar. Günümüzde derinlemesine çalışmalar temel parçacıklar bilimi gibi son derece uzmanlık gerektiren, büyük ölçüde temel araştırmalara dayanan sektörlerde sürmektedir.

Bu buluşlar, günlük yaşamda görülebilecek uygulamalar ortaya koymadıkları için toplum her zaman bunların bilincinde değildir.

Astrofizikte devrimler birbirini izliyor. Uzay konularında uzman olmamama karşın bu bilim dalındaki keşifler benim için günlük sevinç kaynaklarıdır. Henüz genç bir öğretmenken, öğrencilerime tamamen kuramsal bir fikri (Oppenheimer'ın ve diğerlerinin görüşleri) nasıl açıkladığımı anımsıyorum; konu, yerini nötronlardan oluşan çok yoğun bir tür küçük bir topa bırakan olan *süpernovayla* (kendi kendine yok olan bir yıldız) ilgiliydi. Hiç görülmemiş bu nesneyi eğlenceli özelliklerle donatarak anlatıyordum: Güneş kadar ağır ancak çapı 10 km olan, üzerinde meydana gelebilecek birkaç milimetrelik dalgalardan oluşan en ufak bir deprem hareketinin, Dünya'dan bile görülebilecek sonuçlar doğuracağı, nötronlardan meydana gelen bir yıldız. Bu, gerçekten insanı şaşırtan bir alemdi. Dersi verdiğim süre içinde, bu ilginç konuda değişiklikler

yapma zevkini tattım. Artık görünmeyen değil, bütünüyle görünür hale gelmiş bir nesneden söz etme durumundaydım. Röntgen ışını detektörleriyle donanmış füzelerin gönderilmesiyle, anormal röntgen ışını kaynaklarının varlığı saptanabilmişti. Bunları açıklamamanın tek yolu da nötronlu yıldızlardı.

Her zaman aşılması gereken sınırlar olacaktır. Bunlardan bazıları, örneğin uzaklığın dayattığı sınırlar çok çabuk kavrandı. Teleskoplar ya da gittikçe daha hassas bir yapıya bürünen aygıtlar sayesinde her gün daha uzak noktaların gözlemlenmesine çalışılmaktadır. (Üstelik daha uzaklar görüldükçe daha eski zamanlara gidilebilmektedir). Öte yandan parçacık hızlandırıcılarıyla enerji artırılmakta, bu da uzayda gittikçe daha *küçük* alanların incelenmesini sağlamaktadır. Kısacası, uç boyları her zaman var olacaklardır.

Diğer sınırlar ise daha yakın ve belki de daha açık seçik bir şekilde ortadadırlar; *beynin işleyişi* son derece nazik bir konu olmaya aday. Genç kuşaklar büyük bir olasılıkla bu araştırmayla (içerdiği tüm tehlikelerle beraber) ilgileceklerdir.

Aynı şekilde, sosyoekonomik alanda da kilitler açılacak. Ancak bu bilim dalı henüz büyüme aşamasındadır. Ama yine burada da her şey, bölümün başında söz edilen kültürel ve araçsal bağlamla koşullu olacaktır. Bilim ancak belli bir olgunluğa eriştiğinde meyve verir. Uygun teknik araçlar ve kavramlar olmadan bilimi gelişmeye zorlamak başarısızlığa mahkûm olmak demektir.

Neticede, daha basit ancak hâlâ anlaşılmamış sorularla karşılaşmak için her zaman uzaklara bakmak gerekmiyor.

Tanıdık nesnelerle iç içe yaşıyoruz; hatta çocukların eğlendiği ve fiziğin de pek açıklayamadığı oyuncaklar da bunlara dahildir. Örneğin, marketlerde satılan ve ince uzun bir plastik parçasından oluşan (biraz bükülmüş küçük bir kano gövdesine benzer) bir oyuncak ele alalım. Bunu bir masanın üstüne koyup da burnunu aşağıya doğru bastırmak üzere hafifçe vurduğumuzda nesne hep aynı doğrultuda dönmeye başlıyor! Baş tarafa yandan dokunup oyuncak diğer tarafa çevirmeye çalıştığınızda ise, nesne birkaç tur istediğiniz yönde döndükten sonra durup yeniden kendi istediği doğrultuya yöneliyor. Neden? Bazı hesaplar yapmamıza rağmen henüz basit bir açıklama getirebilmiş değiliz.

Pozitif Bilim

Karar verme yetkisi değil, bilgilendirme görevi

Batı dünyasında insanların bilim adamlarına bakış açısı genelde yanlıştır. Ya toplum onlara peygamber yetkisi vermeye eğilimlidir ya da onları büyücü çıraklarına benzetir. Her iki durumda da basmakalıp tipler söz konusudur.

Bilim adamı, sorun yaratacak yeni bir kavram ya da uygulamanın doğuşunu gördüğünde onun önde gelen toplumsal sorumluluğu zaman kaybetmeden yurttaşlarını bilgilendirmek olmalıdır. Bu yenilik bir hap, bir silah ya da teknik bir yöntem olabilir.... Ancak bilimle uğraşanlar çağdaş-

ları için neyin iyi, neyin kötü olduğuna karar vermemelidirler. Genel anlamda, bilim adamlarının ya da uzmanların iktidarına karşıyım! Demokrasi, toplumları ilgilendiren seçimlerin sorumluluğu yurttaşlara ve onların seçtiklerine aittir. Mesleğinin dışında bilim adamının sorumluluğu, bazı kararlar verilmesi gerekeceğini anlatmaktır.

1941'de bir grup Batılı araştırmacı atom çekirdeğinin bölünmesinden [5] askeri amaçlarla yararlanılabileceğini kavrarlar –uranyumun zincirleme tepkimesi sayesinde, o zamana kadar kullanılanlardan binlerce ya da milyonlarca kat daha güçlü bir patlayıcının üretimi hayal edilmeye başlanır. Böylece araştırmacılar bilgi vermek üzere Başkan Roosevelt'e giderler. ABD'nin bu silahı üretip üretmeyeceğine karar vermek yetkisi yönetimin birincil sorumlusu olan başkana aittir. Roosevelt atom bombasının yapılmasını kararlaştırır (bu karar haklı gerekçelere dayanıyor gibi gözükmektedir). Nazi Almanyasının sahip olduğu bilimsel ve teknik güç bilindiğinden, kollar kavuşturularak oturulamazdı; nitekim, Almanya da silahı üretmeye başlayabilirdi*.

Bu sorun insanlık tarihinde her zaman var olmuştur. Amazon kabilelerinin kullandığı ağız tüfeklerinden atılan zehir veya Arkhimedes'in Siracusalı Denis için hazırladığı makineler ya da hidrojen bombası olsun, bilim adamı ya da teknisyenler her zaman kabilelerine ya da uluslarına, onları mutlaka zorunlu kılmaları gerekmeden, mümkün olan bazı şeyleri sunmuşlardır.

* Alman bilim adamları, etik kaygılarla değil, gereken plütonyumun miktarını fazla hesapladıkları için bu işi gerçekleştiremediler.

Tabii ki bu arada, çok sayıda ve çok çeşitli felaketin de meydana geldiğini yadsımıyorum ama bunlar genellikle, bilim ve teknolojiadaki ilerlemelerden çok insanların bilgisizliğinden, açgözlülüğünden ya da kendini beğenmişliğinden kaynaklanmaktadır.

1955'te Amerikalı biyolog G.G. Pincus (1903-1967) ovülasyonu engelleyen ilk doğum kontrol hapını bulduğunda, yasama yetkisini de üstlenerek bu ilacın satışını onaylamakla yükümlü değildi. Toplum, buluşların kötü amaçlarla kullanılabileceği riskini öne sürerek sorumluluklarını araştırmacının üstüne yıkamaz.

Araştırmacı yalnızca fikri ortaya koyar, bunun sosyal bağlamda nasıl kullanılacağını anlatmaz. Bu, ortak olarak alınması gereken bir karardır. Tabipler Odası Konseyi kürtaja karşı çıkmayı kararlaştırdığında (galiba buna benzer bir olay Polonya'da meydana gelmişti) yetkisini kötüye kullanmış olur. Bu soruya yanıt vermek yurttaşların görevidir. Bilim adamı Demiurgos* değildir; ahlakı, politikayı ve yasaları ilgilendiren bir konuda diğerlerinden daha güvenilir bir kişi olarak görülmemelidir.

Bazı araştırmaları yasaklamak isteyen çevrecilere de kuşkuyla bakıyorum. Her zaman, izin alarak ya da almayarak bir projeye atılan birileri olacaktır; üstelik, bu kişilerin karşı karşıya bulundukları tehlikeler olasılıkla, izin verilmiş ancak denetlenen bir yolu izlemeleri durumunda karşılaşacakları risklerden çok daha büyüktür. Bunlar belki de çalışmayı yapanlarla aynı kişiler olmayacaklar; kuşkusuz bu insanlar başka ne-

* Platon felsefesinde evreni düzenleyen tanrı. (ç.n.)

denlerle harekete geçecekler, önlem almadan gizlilik içinde paralı asker gibi davranacaklar ve bu da çok tehlikeli gelişmelere yol açacaktır.

Başka alanlarda olduğu gibi araştırmada da diktatörlük tehlikesi gündeme gelebilir; nitekim, ufukta bu tür olumsuzlukların belirdiğini göerek korkuyorum; söz konusu tehlikeler İslamcılardan kaynaklandığı gibi ABD'nin "politik açıdan doğru" yaklaşımı da bilim açısından tehdit oluşturmaktadır.

Sonuç:

1) Bilim çevreleriyle ülkenin temsilcileri devamlı birbirleriyle temas halinde olmalıdırlar. Uzun vadeli düşünebilen ve toplumu yönetenlere çözümler öneren ortak kurullar oluşturulmalıdır. Kısacası, sorunlar ele alınırken pragmatik ve tartışmalara dayanan bir yaklaşım benimsenmelidir. Bu alanda Fransa hafife alınamayacak bir konumdadır. Ulusal Etik Komitesi –üyeleri olmadığım için çok rahat konuşabiliyorum– bana göre yararlı ve akıllıca oluşturulmuş bir kurumdur.

2) Kamuoyunun, daha sağlıklı seçimler yapabilme yeteneği geliştirilmelidir. Günümüzde, çok fazla gizli baskı ve parazit veri ortak alınacak kararları bulandırmaktadır. Bunu aşmak için gençlerin bilimsel eğitim düzeyini yükseltmek, onları kitle iletişim araçları karşısında bilinçlendirmek gerekir.

Bir tehlike diğerini gizleyebilir

Genetik üstün zekâyla ilgili tartışmalar günümüzde birinci sırada yer almaktadır. Ka-

nımca daha yakın olan tehlike, bu edinilmesi çok zor karmaşık tekniklerde değil, bakteriyo-lojik silahların çoğalmasındadır. Pek çok kuruluş bunları üretmektedir. Beyine yönelik araştırmalar ise çok daha tehlikeli ve halkın bilmediği sorunların ortaya çıkmasına neden olacaktır. Örneğin, bilişsel ya da motor işlevi uyararak fakat yan etkileri olan bir ilacın bulunduğunu varsayalım; bu durumda ne yapılacaktır? Bu madde yalnızca birkaç kişinin kullanımına mı sunulacak yoksa herkese satılabilecek mi? Ya da ilaç yasaklanacak mı? Beynin fizyolojisiyle ilgili bilgilerin gelişimi toplumun zor seçimlerle karşı karşıya kalması tehlikesini gündeme getirecektir. Bu konu, ciddi bir etik çalışma yapmamızı gerektiriyor.

Fizik ve metafizik

Öğrenimim sırasında felsefecilerden rahatsızlık duyduğum zamanlar oldu. Her tür yaşam deneyiminden yoksun kuramcı yazın adamlarından oluşan bir ortamda bulunuyordum. Onlar her şeyi şaşmaz bir güvenle (ve büyük bir tartışma inceliğiyle) açıklıyorlardı.

Doğal olarak felsefe, bilimsel ilerlemenin sağladığı toplumsal seçimlerde rol oynamalıydı. Bilindiği sanılanların ötesini sorgulamadan yaşamak olanaksızdır. Ne yazık ki, Aydınlanma Çağı örneği, kuramcı filozofların (J. J. Rousseau) kanlı ve saçma bir devrimle sonuçlanan bir düşünce akımını nasıl yarattıklarını göstermektedir. Ümidimiz "Politik açıdan doğru siyasal hareketi"yle beraber Batı'da bu olayın tekrarlanmamasıdır.

Benim kuşağım siyasal yükümlülükler sorunuyla sarsılmıştı. Yüksek Öğretim Okulu*’ndayken sınıftaki öğrencilerin çoğu (genelde en adanmış ve en çok güdülenmiş olanlar) kesin inanmış Marksistlerdi. Bu okulda yanılmaz bir kâhin olarak geçinen felsefeci Althusser ders veriyordu. Son derece saygın bu insanlar çıkmaza sürüklenmişlerdi. Bunlar iktidarı ele geçirseler bizi nereye götüreceklerdi? Gençliğimde yakından izlediğim bu tür öğretisel bağlılıklar beni kuşkucu kıldı.

Bir gün lise son sınıftaki öğrencilerden biri felsefe bitirme sınavında sorulan iki konuyu yorumlamamı istedi: “Fizikçinin gerçekte herhangi bir alışverişi var mıdır?” ve “Madde var mıdır?”. Anlaşılması güç sorular. Olgunluk sınavını vermiş, yaşamı çok az tanıyan lise mezunlarının bu konular üzerinde kuramsal bir tartışma kotarma yeteneklerine göre seçilecek olmaları beni büyük bir şaşkınlığa uğrattı. İlk soruyu oldukça saf bir biçimde yanıtladım.

Gerçek olarak adlandırdığımız bana, gençliğimizde az çok kavradığımız deneyimlerin ve konuların toplamı gibi gözükmetedir. Daha genel anlamda pek çok soyut tanım gerçekte belli bir *öğrenim süreciyle* ilintilidir: Bizim küçük dünyamızdaki “fiziksel anlamın” tanımını buna örnek olarak verilebilir. Bir önermeyle ilgili olarak fiziksel anlamı var dediğimde, bu önermenin on sekizle yirmi bir yaş arası –laboratuvarda ya da fizik kitaplarında– öğrendiklerime uygun düşüğünü ima ederim.

* Ecole Normale Supérieure: Şu anda, temel bilimlerde Fransa’nın en prestijli okulu. Bu okuldan mezun olanlar, lise öğretmeni, eğer doktora tezi de yaparlarsa, üniversiteye öğretmen oluyorlar. (ç.n.)

Batı'da dinle bilim arasındaki büyük savaşlar çağı bana göre kapanmıştır. Kilise, tanrıbilimsel postulatları bilimsel kanıtlarla doğrulamaya çalışmanın kendisine bir şey kazandırmayacağını kabul etti.

Ancak bu durum her zaman geçerli olmadı: Bu konuda en güzel örnek 1633 yılında, Galileo'nun Dünya'nın hareketiyle ilgili tezlerinin Engizisyon Mahkemesi tarafından mahkûm edilışıdır. Günümüzde tek tük rastlanan olaylar dışında yolların genelde ayrıldığı söylenebilir.

Metafizik alanında araştırmacılar diğer çağdaşları kadar bölünmüş durumdalar. Bazıları dinsel inançlar taşıırken diğerleri bilinemezliği savunuyorlar...

Günümüzde sahip olduğumuz bilgiler, Evrenle ilgili global bir Proje'nin varlığını dışlamamıza yetmiyor. Ancak aynı zamanda çalışmalarımızın bu varsayımı içermesi için de herhangi bir şey bizi zorlamıyor.

Tüm bunlara rağmen bazıları yanlış fikirlerle kapılıyorlar. Kimileri Evrenin yaratılmasında tanrısal etkeni öne sürmek için *big bang* olayını bahane ediyorlar. (Big bang modeli Evrenin devasa bir patlama sonucu doğduğunu ortaya koyuyor). Gerçekte big bang'in, sürekli genişleyen ve büyüyen bir Evrenin doğuşuna yol açan tekil bir olay mı olduğu yoksa, Evrenin belli bir noktaya kadar genleştikten sonra tekrar büzülüp sıfır noktasına geri döneceği bir salınımdan mı söz edilebileceğini henüz kimse bilmiyor.

Diğerleri ise daha yaşamın kökeni üzerinde tartışmaya devam ediyorlar. Ellili yıllarda ya-

şamın ortaya çıkışıyla ilgili iyi bir şemaya sahip olduğuna inanılıyordu. Basit organik bileşikler okyanusların içinde uzun sürede demlenererek oluşmuş ve bunlardan da uç noktadaki koşullar (morötesi ışınlar, elektrik boşalmaları) sayesinde ta yaşamın belirmesine kadar gidecek daha karmaşık moleküller türemiştir. Kanımca günümüzde bu konuda daha dikkatli davranılıyor. Birçok nedenden dolayı yaşamın ortaya çıkışı iyi açıklanmamış bir görüngü olarak duruyor.

Tüm canlı varlıkların aynı genetik kodu içermeleri insanı şaşırtıyor. Özellikle çok çeşitli sistemlerin (bitki/hayvan, omurgalı/omurgasız) bir arada yaşamalarını engellemeyen evrim kurallarına başvurulduğunda bu durum biraz olağandışı gözüküyor. Doğal seçimin, aynı yapı taşlarıyla genetik kodun birçok biçiminin eşzamanlı gelişmesine olanak tanınamaması nasıl açıklanabilir? Bu gerçekten tuhaf görünüyor.

“Çifte sarmal”ı (DNA’nın moleküler yapısı) bulanlardan biri olan biyolog Francis Crick Dünya’nın ekilmiş bir sistem olduğuna ve özel bir kodu şu veya bu şekilde devraldığına inanmış gözüküyor. Bu ekimin kökeni ne olabilir? Crick bu konuda, dünyadışı varlıkların katkısından, yavaş yavaş yıkılan bir uygarlığın kalıtlarından söz ediyor. Biz, bunu bilmemizi sağlayacak deneysel olanaklardan yoksunuz. Beklemek ve özellikle de çok çabuk varılan tanrısal çıkarsamalardan kaçınmak gerekiyor.

Aynı zamanda kiralite olgusuyla ilgili bir kuşku beliriveriyor. (“Kiralite” sözcüğü Yunan-

cada el anlamındaki “*kheir*” sözcüğünden geliyor; sol elin sağ elden farklı oluşu gibi bir molekülün de aynadaki görüntüsünden değişik olabileceğini anlatıyor). Hepimiz belli bir kiralite içeren aminoasitlerden oluşuyoruz. Bir aminoasit laboratuvarında bireşimlendiğinde, % 50 “sol el” ve % 50 “sağ el” türleri elde edilmektedir. Oysa canlı madde % 100 “sol el” içerir. Bu nasıl açıklanabilir? Francis Crick’in görüşü benimsenirse hepimize yalnızca sol moleküller “ekilmiş” olabilir. Ancak bu görüş doğru değilse, başka ne tür açıklamalar getirilebilir? Geçmişte üzerinde biraz tartıştığım bir olasılık da –belli bir tür rekabet nedeniyle– “sol” organizmaların çoğunluk oluşturduğu bir ortamda “sağ” organizmaların diğerlerine göre daha az gelişebileceğidir. Aynı şekilde sağlar çoğunlukta iken sollar daha az büyümektedir. Bu durumda sağ/sol yarışının meydana geldiği dar sınırlarla ayrılmış sol ve sağ bölgelerini içeren doğay haritasının benekli bir görüntü sergilemesi beklenir. Bu arada istatistiksel çalkalanmalardan dolayı bir sol bölgesi genişleyip tüm Dünya’yı kaplayabilir. Öte yandan aynı senaryo sağın galibiyeti ile de sonuçlanabilir. Ancak bu senaryoyu deneyle karşılaştırma olanağımız olmadığından şimdilik soyut bir model olmaktan öteye gitmemektedir.

Sonuç olarak şunlar söylenebilir :

1) tüm yaşayan varlıkların aynı genetik kodu içermeleri ve 2) canlıların kiralitesi bilimin, yaşamın kökeniyle ilgili geleneksel görüşünü kısmen bozmaktadır. Ancak işin bu yanı fizik ve biyoloji bilginlerini şimdilik uğraştır-

sa da kesinlikle metafizik bir etki yaratmamaktadır.

Ölçüm yapmadan yargıya varmamak

Günlük yaşamın yeterince ya da hiç açıklanmamış bazı görüngüleri karşısında, önyargılardan kaçınmak gerekir. Biraz şaşırtıcı şeyler ortaya çıktığında kesin ölçümler yapmaya çalışmak doğru bir yaklaşımdır. Örneğin, otuzlu yıllardan bu yana büyük bir bilim adamı, mühendis ve sanayici olan Yves Rocard (Michel Rocard'ın babası) *su kaynakları tarayıcılarıyla* yakından ilgilenmiştir. Kendisi her şeyi bilirdi ve yararlı şeyler üretmeye müsait bir zekâyâ sahipti; aynı zamanda Yüksek Öğretmen Okulu'nda öğretmenim olmuştu. İnsanoğlu bahçesinde kuyu kazmak istediğinde binlerce yıldan beri su kaynakları tarayıcılarından yararlanıyor. Oysa biz, bu aygıtların suyun varlığını saptayıp saptamadığını ya da bunu nasıl yaptığını tam olarak bilmiyoruz. Yves Rocard'ın kendisi de bu konuda tatmin edici bir açıklama geliştiremedi.

Ancak yine de bu konuda sistematik bir deney programı tasarlanabilir. Örneğin, toprağa gömülmüş bir kanalizasyon ağı oluşturulur, daha sonra sinyalleri ölçmek amacıyla bunların üzerinde (birkaç metre yükseklikte) su tarama aygıtları dolaştırılır. Ancak kanalizasyon için kullanılan malzeme bu etkiyi yok edebileceği ya da tersine çevirebileceği için işlem sırasında çok dikkat etmek gerekir! Günümüzde hiçbir kuruluş bu tür bir araştırma programına girişmeye cesaret edemez.

Çevre

Bilimi duyurmak

Bir deneyi başarıyla tamamlamak ya da gerçeğe uygun bir kuram oluşturmak mutluluk yaratır ve kişi bu mutluluğu paylaşmak ister. Ancak bazen kültürel engeller aşılamaz. Temel parçacıklar fiziği gibi bir bilimin estetiğinin uzman olmayanlar tarafından algılanması nasıl sağlanabilir? Atom ölçeğinde ya da atomdan daha küçük ölçeğe inildiğinde bu dili edinmek ve onu anlayabilmek için yıllarca sürececek bir çıraklık dönemi gerekmektedir. Bazı sevinçlerin ve zaferlerin çok sınırlı bir uzman topluluğu dışında da tanınması için uzun süre beklemek gerekir. Bu engel –ben de dahil olmak üzere– pek çok araştırmacı için üzücü bir durumdur.

Sartre'ın şöyle bir cümlesi vardır: “Müziğe aşık olmak için birkaç nota dinlemek yeter”. Bu doğrudur. Müzisyen bir melodinin güzelliğini birkaç saniye içinde herkese hissettirebilmek gibi olağanüstü bir ayrıcalığa sahiptir. Oysa bir bilim adamı, gerçekten önemli ve güzel olduğunu bildiği bir şeyi ancak uzun açıklamalar sonucu ya da, en iyi koşullarda bir sürü çizim ve şema aracılığı ile başkalarına iletebilir. Yumuşak maddeden de daha karmaşık konularda ise bilim adamının işi daha da zorlaşmaktadır.

Güzel deneyler gerçekleştirmiş olan ve bunları toplumla paylaşmaktan zevk alabilecek genç araştırmacılar görüyorum, fakat onları çoğu kez bu alana yönlendirmekte tereddüt ediyorum, çünkü her şey bir anda yapılamaz. Nobel Ödülünü aldıktan sonra bu iletişim sorununu ele almayı de-

nedim ve bu amaçla liselere gittim. Ancak daha önce de belirttiğim gibi bu tempoyu 18 aydan fazla sürdüremedim. Tüm sorumluluğu tek bir kişinin omuzlarına yüklemek ödüllerin (ve medyanın) suçudur. Lise öğrencilerinin önünde ben-den daha başarılı olabilecek en az yirmi fizikçi tanıyorum. Ancak medya, kısa bir süre önce pod-yuma çıkan araştırmacıyı istiyor. Ziyaret edemediğim kuruluşlara, onların medyadan daha olgun davranacaklarını ümit ederek konuşma yapabilecek kişilerin listesini gönderdim. Mesleğimizle okullar arasında köprüler oluşturma zamanı gelmiş bulunuyor; üstelik bu köprülerin tesadüfe bırakılmaması gerekiyor.

Sayısız bilim dalında çok ilgi çekici, canlı sunuşların yapılması mümkündür. Jeofizikçiler gezegenin yaşamı, dinazorların ölümüyle ilgili olağanüstü öyküler anlatabilirler. Başka bir sektö-rü, *hidrodinamiği* ele alalım. Öğrencilerin çoğu, bir hesap çığının altında kalacaklarını düşünerek bu bilim dalından korkuyorlar. Oysa hidrodinamikçiler, herkes tarafından kavranabilecek, heyecan uyandıran buluşlar yapıyorlar.

Tozların mekaniği gibi az bilinen bir alanda anlatılacak çok şey var. Bir televizyon programı sırasında tozla yapılan bir işlemi (çok da başarılı olduğumu söyleyemem) göstermiştim. Tuz (ya da kum) dolu bir kap hoparlör üzerine yatay şekilde yerleştirilerek yukardan aşağıya doğru titreşim yaratılıyor. Titreşim belli bir genliğe ulaştıktan sonra toz-kum katmanının görüntüsü bir volkana, küçük bir Fujiyama'ya dönüşüyor. Bunun nasıl gerçekleştiği henüz tam olarak bilinmiyor. (Evesque ve Rajchenbach adlı iki Fransız bu etki-

yi keşfettiler.) Televizyondaki bu küçük gösterimden sonra bu görüngüyü çabucak açıklayabileceklerini öne süren hevesli kişilerden mektuplar aldım. Gerçekte, tozların mekaniği henüz aydınlatılmamıştır. Kum saatinin işleyişi gibi mütevazı bir olay bile tam olarak açıklanamamıştır. Oysa bu olayların kavranmasına gereksinim duyulmaktadır; dökümhanelerdeki büyük çaplı uygulamalarda, dökümü yönlendirmek için tozlardan yararlanılmaktadır; aynı şey tohum siloları için de söz konusudur. Akarsu deltalarında tortuların oluşumunu belirleyen mekanizmalar hakkında da fazla bir şey bilinmiyor...

Günlük yaşamı ilgilendiren, yıkama ya da durulama mekanizmalarında da benzer bir durum gözleniyor. Çoğu insan sürekli kullandığı nesneleri daha iyi tanımak ister; bu alanlarda da onlara basit açıklamalar verilebilir.

Bu sorunları Paris'in 19. bölgesinden 200 ilkokul öğretmeniyle tartışma olanağını buldum. İlkokul öğretmenliği mesleği, kendiminki dışında seçmeyi düşünebileceğim ender uğraşlardan birisi olduğu için bu topluluğa seslenmek beni heyecanlandırıyordu. (Gençliğimde aynı çatı altında toplanmış değişik yaş ve düzeylerdeki çocuklara zor koşullar altında ders veren ve onları başarıyla oratokullara taşıyan pek çok olağanüstü köy öğretmeni tanıdım. Bu mesleğe karşı sonsuz bir saygım var).

Öğretmenler, bilimin ilköğretimdeki etkisini tartışmak amacıyla beni davet etmişlerdi. 19. bölgedeki ilkokulların, genellikle entegrasyon sorunu olan ailelerin çocuklarına eğitim sunmaları hayranlığımı daha da artırmıştı. Bu, gerçekten zor bir

meslekti! Yine de, bu öğretmenler olası pedagojik iyileştirmeler konusunda düşünmek için zaman ayırmışlardı. Onların ilk sorularından birisi de şuydu: “Çocuklar, ilkokulun ilk yıllarında bilimle tanışmak için henüz çok küçük değiller mi? Düşünce tarzları büyüye daha yakın değil mi?”

Evet gerçekten de öyle; çevremizdeki olağanüstü olayların varlığını hissedebilmek ve bu olaylara hayran olabilmek güzel bir şey. Ancak bunlar çocukları ürkütmediği sürece. Modern dünya karmaşık yapısıyla biraz korkutucudur ve bu da kişinin yılmasına neden olabilir.

İşte, bunun önlenmesi gerekir. Onlara bazı temel noktalar hissettirilmeli ancak bu, bizzat kendilerinin yapmaktan hoşlanacakları deneylerle gerçekleştirilmelidir. Nitekim, onların bu keşifleri yapmalarını sağlayacak deney kitapları bulunuyor.

Örneğin, içine bikarbonat ve sirke konulan bir şişe, su dolu bir küvete yatırılıyor. Bu durumda şişenin arkasında sanki bir jet motoru oluşuyor ve şişe ilerliyor. Çocuklar bunun tamamen sihirli olduğunu düşünebilir, fakat en azından *kendi elleriyle* bir şeyler üretmiş olurlar; bu, televizyonda edilgen durumda izledikleri bir olaya benzemez.

Bizim ülkemizde beni özellikle rahatsız eden şey (buna ABD’de daha az rastlanıyor), belli bir yaşa kadar (17-18 yaş) öğrencilerin çalışma yaşa-mıyla hiç temas etmemeleri, el becerisinin çok önemli olduğu bir iş yapmamalarıdır.

Benim düşünceme göre, basit ve ucuz yöntemlerden yararlanılarak, çocuklar ilkokul sıralarındayken bilimle tanıştırılabilir. Kendi alanımla il-

gili olarak Fransız Fizik Derneği'ne (Société française de physique; SFP) başvurulabilir; bilimle uğraşan bu kuruluşun çatısı altında iyi niyetli insanlar toplanmıştır. Son zamanlarda SFP bir haberleşme birimi oluşturmuş bulunmaktadır. Bu birimin, belge ya da bir deney şeması vb. araştıran öğrencilerin telefonla sordukları soruları tek bir merkezde toplayan özel bir hizmet sunacağını umuyorum. Elinde kapsamlı bir adres defteri bulunan sorumlu kişi, soruları kaydedip bunları yanıtlayabilecek araştırmacılara dağıtacaktır.

Bu tür anında yapılabilecek işlerin, ulusal eğitim sisteminin tozlu raflarında unutulup gidecek didaktik reformlardan çok daha etkili olacağına inanıyorum.

Kültürel eksiklik

Fransa'nın yeni bilimsel bilgi kanalları açmaya gereksinimi var. Bilgi düzeyinin yükseltilmesi için büyük medya kuruluşlarının ideal bir araç olacağından emin değilim. Günümüzde, genel anlamda Fransız basını ve görsel işitsel kitle iletişim araçları Japonya ya da Anglo-Sakson ülkelerinde var olanlarla karşılaştırıldığında bana biraz yetersiz görünüyor. Bilimsel bilgi aktarımı özel bir yetenek ve eğitim gerektiren bir meslek. Astrofizik medyada kendisine iyi bir yer edinebildi. Bu alanda, Cornell'de (ABD) öğretim üyesi olan ve astrofiziği halkın anlayacağı bir düzeye indirgemeyi ikinci işi haline getiren Carl Sagan'ı az çok biliyorum. O, bu işi başarabildi. Fransa'da ise, Hubert Reeves daha kısıtlı olanaklarla ancak üstün bir beceri göstererek ve çok zaman

harcayarak bu sorunları ele aldı. Bunlar olumlu ama tekil örneklerdir. Ben üç yıl önce ortaya çıkmaya; yani, kameraların önünde gözükmeye ve mikrofonların önünde konuşmaya karar verdim. Fakat bunu yaparken amacım, biraz kuşkuyla bakılan Fizik ve Kimya Okulu'yla ilgili konulara girmek değildi. Bundan dolayı pişman değilim; medya bu okulu ve özelliklerini daha iyi tanıtmamızı sağladı.

Genelde bakıldığında, eğitici olarak tanımlanan programlar izleyicilere çok tehlikeli telkinlerde bulunmaktadır. Bu alanda aklıma gelen örneklerden biri Roma mimarisiyle ilgili; ancak aynı şey herhangi bir konu için de söylenebilir. Kameraman, Vezelay'deki Madeleine Bazilikasını, özellikle sütun başlıklarını yakın plan çekimle tüm ayrıntılarıyla gösteriyordu; bu ayrıntılar ilginçti ama onları televizyon izleyicisi kendisi arayarak bulmamıştı. Görüntüler iyi seçilmiş olsalar bile bunları sırf seyrediyor olmak kişiyi edilgenliğe sürüklüyor.

Ekoloji ve bilgisizlik

Okullara konferans turnesine başlamadan önce, toplumumuzun doğru ekonomik ve ekolojik kararlar almalarını sağlayacak temel bilimsel kültüre sahip olmadıklarının bilincinde değildim. Halk eğitilmediğinde demokrasi de işlemez. Bu nedenle, yeni kuşaklara yeterli derecede bir bilimsel bilgi sunmak zorundayız.

Dünyamızda, *nüfus artışı* ve *çevre* acil olarak çözülmesi gereken en önemli sorunlardan ikisidir. Oysa, bu iki kavramla ilgili bilgiler eksik olmalarının yanı sıra tehlikeli bir bakış açısını da

yansıtmaktadırlar. Her şey duygusal açıdan irdelemektedir; doğanın erdemlerine ilişkin adeta dinsel birtakım inançlar ve bazı çarpıcı görüntülerin yarattığı korku arasında sağlıklı bir yargıya varmak olanaksızdır. İnsanlar bir görüngünün boyutları hakkında fikir edinmeyi, görelî ve mutlak önemini ve çözümünün maliyetini vb. değerlendirmeyi öğrenemediler. Bunun için öğrencilere derin bilgiler vermek gerekmiyor; yalnızca sağduyu ve maddenin özellikleri, yapısı ve davranışına dair bazı basit veriler üzerine temellenmiş bir anlayışın ana hatlarını aktarmak yeterli.

Çevre sorunları çoğu kez “simülasyon” uzmanları, yani, bilimsel verilerden çok bilgisayar alanında uzman olan kişiler tarafından araştırılmaktadır. Büyük bir bilgisayar aracılığıyla, veriler yetersiz olsa bile önemli gibi görünen tahminler üretilebilmektedir. İşte, çağımızın en büyük yanılgılarından biri de budur.

Pek çok insanın hâlâ, bilgisayarın doğruyu ve kaçınılmaz olanı saptadığına inanması büyük bir talihsizliktir (aynı inanç 19. yüzyılda basılı metinler için de geçerliydi). Bilgisayar simülatörüne güvenilebilir çünkü bu makine, hiçbir insan beyninin sahip olmadığı bir hesaplama gücüne ve hızına sahiptir. Sayıların cıfcaflı gücü görüntünün etkisiyle birleştğinde, sağduyunun ötesinde büyüye benzer bazı çağrışımlar beslemektedir.

Örneğin, “sera etkisi”ni ele alalım. Günümüzde dünyanın atmosferi gittikçe ısınıyor. Karbon gazı yoğunluğundaki artış insanoğlunun etkinliklerinden kaynaklanıyor olabilir. Örneğin, CO₂ yoğunluğundaki yükselme güneş ışınlarını atmosferde “hapsederek” atmosferin ve böylece

dünya yüzeyinin ısınmasına yol açıyor. Kutuplardaki buzlar eriyerek okyanusların su miktarını artırıyorlar ve bu da alçak yükseltideki karasal bölgelerin sular altında kalmasına neden oluyor.

Gerçekte, bu konuda öngörülerde bulunmak oldukça zor: 1) Başlıca sera etkisi sudan kaynaklanmaktadır; CO₂'ninki ise karmaşık bir şekilde suyunkine bağlı olan ikincil bir etkidir. 2) Okyanus ortamında karbon gazının davranışını daha iyi tanımak gerekmektedir. Okyanusun, çözelti halinde büyük oranda karbon gazı içerdği biliniyor, fakat gaz ve okyanus arasındaki denge ve karbon gazının emme-geri verme döngüsünün süresiyle ilgili (yirmi yıl, elli yıl?) fazla bir bilgi yoktur. 3) Gerçekte, gelecekteki iklimi önceden kestirmek için 1994'te kullanılan modeller günümüzdeki iklimi bile saptayacak yeterlilikte değiller! Simülatörler aracılığıyla, atmosfer/okyanus değiş tokuş oranı düzenlenerek bu hatalar giderilmektedir. Bu işlemler, sonuçlara güvenilir bir görünüm sunuyorlar. Ancak aynı zamanda bu uygulamalar, MIT'teki yeni bir araştırmanın ortaya koyduğu gibi, tüm öngörülerin doğruluğunu zayıflatıyor olabilirler.

Önemli bir dergi olan *Science*'ta bir yorumcunun dediği gibi: *İklim modellerinin oluşturulmasında hemen hemen herkes (biraz) hile yapıyor.*

Sera etkisi sorunu büyük bir dikkatle izlenmelidir; ancak herhangi bir sonuca varmadan önce pek çok çalışma yapılmalıdır. Öte yandan, basında sürekli olarak sera etkisiyle ilgili, rastgele simülasyonlardan kaynaklanan heyecan uyandıran kehanetlere yer veriliyor. Halk ve onların temsilcileri iyi bir bilimsel eğitim almadık-

ları için (doğal bir görüngüyle aceleyle oluşturulmuş modeli arasında) bu tür saptırmaları kendi kendilerine ayırt edecek olanaklardan halen yoksundur.

Ancak bu arada ekoloji dışlanmamalıdır. Araştırmacıların olduğu kadar, mühendislerin ve halkın da ekolojiye yönelik ilgisi canlı tutulmalıdır. Ancak bunun için de, sözde bir uzman dünyanın sonunun geldiğini haber vermek için toplantılar düzenlediğinde alarm zilleri çalınmamalıdır.

Bilinçlendikçe daha çok bilimsel çalışma gerekiyor

Enerji alanındaki ikilem önemli bir sorun oluşturmaktadır (bu konuda kötümser olduğumu itiraf etmeliyim). Fosil enerji (kömür, petrol) mi yoksa nükleer enerji mi yeğlenecek? Başka bir deyişle, karbon gazı (CO_2) üreten bir uygarlık mı yoksa nükleer enerjiye dayanan bir uygarlık mı isteniyor? Günümüzde Amerikan toplumunun bakış açısıyla, alınacak kararların yanlış ölçütler üzerinde kurulacağından korkuyorum.

Başlangıçta Amerikalılar nükleer enerjiye son derece karşıydılar. Three Miles Island'daki kazayı unutmamışlardı. Yine de bu düşüncelerinin az çok değiştiği görüldü; başlangıçta bunun nedeni, petrol taşıyan gemi kazalarıydı. Ancak aynı zamanda Amerikan Bilimler Akademisi'nin yayımladığı raporda, nükleer enerjinin tehlikelerinin (bu güç kaynağının doğru bir şekilde kullanılması durumunda) atmosferdeki CO_2 atıklarının çoğalmasından kaynaklanan risklerden daha az ciddi olduğunun bildirilmesi de bu konuda önemli bir rol oynadı. Her şeye rağmen, Rusya'daki

bir santralin teknisyeninin votkayı fazla kaçırarak bir reaktörü havaya uçurması Amerikan kamuoyunun fikrini yeniden değiştirmesine yetecektir. Termik ve nükleer enerji arasında yapılacak seçim yıldırım bir habere bağlıdır.

Halk nükleer enerjinin tehlikelerini abartmaktadır (en azından Batı ülkelerinde yapılan santrallerle ilgili olarak durum böyledir). Sayısız madencinin kömür çıkarırken yaşamlarını yitirdiği dönemleri unuttuk. Hâlâ işçiler grizu gaz patlamalarından ölmekte, silisden zehirlenmektedirler. Ancak bu tür olaylar özellikle üçüncü dünya ülkelerinde meydana gelmekte ve bunlardan fazla söz edilmemektedir. Petrol ise çevre kirliliğine, büyük boyutlara varan gerginliklere ve çatışmalara neden oluyor. Nükleer enerji ise atom bombası ile, Hiroshima ve Nagasaki'nin yıkılmasıyla ilişkilendirildiği için cezasını çekiyor.

Ben ne petrol taraftarlarını ne de nükleer enerji lobisini savunuyorum; yalnızca toplumların, tartışmaların kazandıracaklarını ve kaybettireceklerini kavrayabilmeleri için belli bir bilimsel olgunluğa erişmelerini istiyorum. Nükleer enerji tehlikelerden uzak değil fakat bize bildirilen kazaları da her zaman en ciddi olaylar olarak değerlendirmemek gerekiyor. Fransa'da CEA ve EDF, daha ucuz bir fiyata elektrik üretebilecek güvenilir nükleer santrallerin bulunduğu bir parkın oluşturulabileceğini kanıtlamış bulunuyorlar. Fakat bu verileri üçüncü dünya ülkelerine taşıdığımızda nükleer silah üretimi tehlikesi gündeme geliyor. Günümüzdeki reaktörler plütonyum üretimi için elverişlidir. Bu sivil teknolojinin askeri amaçlarla kullanımı iştah kabartmakta-

dır. Buna karşı korunmak için nükleer enerjiyi gelişmiş ülkelere saklamak ve politik açıdan istikrarsız olduğu savıyla üçüncü dünya ülkelerini bu enerjiden yoksun bırakmak mı gerekiyor? Doğurganlık oranı göz önüne alındığında bu toplumların nükleer enerjiden vazgeçemeyeceklerini sanıyorum. Bu da, bizi asıl soruna, yani nüfus artışına getiriyor. Araştırmacılar, plütonyum elde etmek için yakıtın yeniden işlenmesini engellemek amacıyla küçük kaplanmış tanecikler şeklinde üretileceği reaktörlerin tasarımı üzerine çalışıyorlar. Ancak bu derece önemli bir nükleer programın gerçekleştirilmesi on ya da yirmi yıl sürecektir. Bu arada, Pakistan ve Kuzey Kore gibi ülkeler, komşularına savaş ilan etmek için gerekenden çok daha fazla silah üretmiş olacaklar.

Başka enerji kaynaklarına mı oynamalı? Kuşkusuz, güneş enerjisi çok da düşük olmayan bir verimle (büyük çabalardan sonra) elektrik enerjisine dönüştürülebilecek. Bol güneşli ve sıcak bazı ülkelerde güneş enerjisi kartı oynanabilir fakat bu en iyi koz değil. Hedefin iyi belirlenmesi durumunda bu enerji tamamlayıcı ve yararlı olacaktır. İsrail bunun güzel bir örneğidir. Devlet, evlerde sıcak su üretimi için çok basit bir güneş enerjisi sistemini mali açıdan destekliyor. Ancak elverişli iklim koşullarına ve ucuz yöntemlere rağmen güneş enerjisi ikinci derecede rekabet edebilir bir nitelik taşıyor. Elektriğin depolanması sorunu tam olarak çözülmüş değil; güneş yalnızca gündüz enerji sağlıyor. Enerji gereksinimleri ise 24 saate dağılıyor. Pillerin maliyeti, kapladıkları alan, bunların yol açtığı kimyasal kirlenme güneş enerjisinin geniş çaplı kullanımını kısıtlıyor.

Bir gün Sahra çölüne dev boyutlarda güneş enerjisi alıcıları yerleştirilebilecek mi? Bu soruya ne yanıt vereceğimi bilemiyorum. Bu konuda pek çok bilinmeyenden biri de iklimle ilgili riskler (bu tehlike bana P. Aigrain tarafından bildirildi). Çölde 1 km²'lik kara bir alanı güneş enerjisi toplamak için siyaha boyadığınızı varsayın, burası çevresinden çok daha sıcak olacaktır. Bu, çevresinden çok büyük çapta hava emen bir baca yaratmak demektir –tabii onu izleyen türbülans, kum fırtınaları vs. ile beraber—... Yani, iş o kadar basit değil.

Denizdeki gelgitlerin gücüne dayanan enerji söz konusu olduğunda ise melankolik bir duyuya kapılıyorum. Saint-Malo yakınındaki Rance koyunda bu enerjiyle çalışan bir fabrika kuruldu. Daha iddialı projelerden ise (Mont Saint-Michel koyu, New Brunswick'de (Kanada) Fundy koyu) vazgeçildi. Bu fabrikalar mühendislerin kâbusudur. Türbinleri bu derece aşındırıcı bir sıvı içinde, üstelik dalgaların yol açtığı titreşimlerin de bulunduğu bir yerde düzenli bir şekilde çalıştırmak çok yüksek işletme masrafları gerektirmektedir. Üretim ise düşüktür (Fransa için 540 GWh). Projelerin dayandığı ilkeler ilginç olduğu için bunların uygulanamaması gerçekten üzücü bir durum.

Uzak gelecek için büyük umutlar vaat eden diğer bir yöntem ise nükleer füzyon [5]. Uzun süre, bu alanda yatırım yapmak gerektiğini düşünme karşın günümüzde düşüncelerimin biraz değiştiğini söyleyebilirim; çünkü füzyon çok zor teknik sorunları da beraberinde getiriyor... Ne kadar büyük olursa olsun, bu tür bir hidrojen bombası bir hangarda nasıl muhafaza edilebilir?

Bu soruyu kimse yanıtlamıyor. Toplumun füz-yonla ilgili bilgileri ise baskı grupları tarafından televizyon aracılığıyla yönlendiriliyor.

Her ne olursa olsun, ekolojik sorunlar geriye dönüşle çözülemez. Ne bir yol işçisi kompresörlü beton kırma aletini bırakıp kazmaya sarılacaktır ne de ev kadınları deterjanlardan vazgeçip kül-lerden sabun yapmaya kalkışacaklardır! Alümin-yum endüstrisinin dumanlarından haklı olarak yakınan Alp vadilerinde yaşayan halkın çıkarla-rına alüminyum üretimini durdurarak değil, bu dumanları yok eden bir yöntem bularak hizmet edilebilir. Çevreyi kirleten maddeler, belli bir en-düstrinin iflasıyla değil kimya bilimiyle giderile-cektir. Bu yine bir sağduyu sorunudur

Bazen kamuoyu boş serapların peşinden gide-biliyor. ABD'de, kâğıt ambalajdan daha çok "çev-reyi kirletiyor" gibi görünen plastik ambalaj malzemelerinin kullanılmaması yönünde bir eği-lim gözleniyor. Plastiğe karşı olanlar (herhalde) iyi niyetliler fakat ölçü kavramı hakkında hiçbir fikre sahip değiller. Plastik ambalaj malzemeleri ürettiğiniz zaman, plastik fabrikasının yanında kurulu bir petrol arıtma tesisine gereksiniminiz vardır; bu da birkaç km²'lik alanı kaplayan bir endüstri bölgesi demektir; ABD'nin tümünün ta-lebini karşılamak için bu türden üç tesis gerekir; yani, üretime aşağı yukarı 15 ya da 20 km² ayrı-lacaktır. Oysa plastiğin yerini bütünüyle kâğıdın alması durumunda, Kuzey Amerika'daki beş *eyaleti* kaplayacak büyüklükte bir bölgenin ağaç-landırılması gerekir. Bu, beş eyaletin boşaltıla-rak orman işletme alanlarına dönüştürülmesi demektir. Bu arada, geçmişte kâğıt endüstrisi-

nin çevreyi kirleten en önemli etkenlerden birisi olduğunu da hesaba katmıyoruz (selüloz lifi zararlı kimyasal maddelerle işleniyordu). İskandinav ülkeleri bu konuda deneyimliler; kâğıt sanayisinin atıkları Baltık Denizini önemli derecede kirletti. Günümüzde, endüstri alanındaki sabırlı çalışmalar sayesinde kâğıt üretimi daha temiz bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Ancak halk, kâğıdın yarattığı gerçek sorunlardan tamamen habersizdir.

Plastik malzemeler ise, atıklar nedeniyle çevreyi kirletmektedirler. Bu konuda da araştırmalar, bizi adım adım çözüme götürecektir:

1) *Atıkların yeniden işlenmesi* (kamuoyunun safça onayladığı bir yöntem) genellikle son derece pahalı ve kötü bir çözümdür. Yeniden işlemek yerine polietileni uygun şekilde yakmak ve biraz enerji elde etmek daha doğrudur. Bazı durumlarda akılcı bir yeniden işleme politikası düşünülebilir: Polistiren ham petrol içinde çözünebilmektedir. Böylece belki, polistiren atıkları artırma tesisinin normal devresine sokularak yeniden organik baz ürünlerine dönüştürülebilir.

2) *Biyolojik olarak ayrışabilen* plastikler özellikle kırsal bölgelerde kullanılacaktır (buralarda, atıkları topraktaki bakterilerin öğüteceği geniş alanlar vardır); ancak bu yöntem kentlerdeki atık sorunlarına çözüm getiremez.

3) *Güneş ışığıyla ayrışabilen* plastikler, yol, plaj vb. yerlerdeki kirlenmenin sınırlandırılmasına katkıda bulunabilirler. Ancak bunlar şimdilik çok pahalı; bu alanda araştırmaların sürdürülmesi gerekiyor.

III. Bölüm

Eğitim

Gerçeğin pedagojisi

İyi Öğretmenler

1948'de lise son sınıftayken (burada, liseli öğrenci sayısının çok az olduğu geçmiş yıllardan söz ediyorum; o zamandan beri, lise bitirme sınavı adaylarının sayısı on kat arttı), her konuda çok başarılı öğretmenlerim oldu (bunlar günümüzde üniversitelerde öğretim üyesi olabilirlerdi). Böylece bizler çok iyi bir eğitim aldık.

Liseyi bitirdiğimde, artık ne yazık ki (anlayamadığım nedenlerden dolayı) var olmayan hazırlık sınıfına girdim: bu “Normale Sciences Experimentales” di (NSE)*. Rastlantılar doğru yolu seçmemi sağlamıştı. Bu sınıf geleneksel politeknik** hazırlık sınıflarından çok farklıydı; burada matematik, fizik, kimya ve *biyoloji* öğretiliyordu. En fazla buluş yapılabilen –ve en çok çalışmayı gerektiren!– alan biyolojidi.

İki yıl sonra NSE'den çıktığımızda, diğer “hazırlık sınıfı” öğrencilerine göre daha somut bir dünya görüşüne sahiptik. Örneğin, fizikte bir girişimölçeri (enterferometre) ayarlamayı, kimya-

* “Grandes écoles”e girebilmek için devam edilen iki yıllık hazırlık sınıfının fen derslerine ayrılmış olanı. (ç.n.)

** Politeknik: Bir tür teknik üniversite. Eskiden askeri okul olup, burayı bitirenler, askerliklerini de yapmış sayılıyorlardı. (ç.n.)

da da *nitelik çözümlemesi* yapmayı biliyorduk –size bilinmeyen iyonlarla dolu bir çorba verilir; bunları uygun yöntemlerle tanımlamanız gerekir. İşlem, gözlem ve düşünme açısından bundan daha eğitici bir şey olamaz (üstelik bu uygulama fazla bir harcama da gerektirmiyor).

Benim bir başka ayrıcalığım da, on sekiz yaşındayken bir deniz biyolojisi laboratuvarında (Banyuls'de Arago laboratuvarı) staj yapmamdı. Her öğrenci, biyolog olmayı istemese bile biyolojiden üstünkörü bir şeyler bilmek zorundadır. Bu bilim dalı her şeyden önce gençlere canlılar dünyasını ve bu dünyadaki olağanüstü çeşitliliği doğanın hayal gücünün zenginliğine sürekli kanıt olarak sunmaktadır. Bir staj gününde dağlara çıkıp küçük bir akrebi yakalamak (hayvana zarar vermeden onu ele geçirmek belli bir beceri gerektirir), skalpel işlevini üstlenen iki iğneyle kesip parçalamak için mikroskobun (büyük bir büyüteç de uygun olabilir) altına yerleştirmeden önce parafine batırmak, daha sonra ise bir dizi kroki çizip görülen her şeyi yazıp çizmek doğanın hayal gücünün zenginliğini ilk kez gözlemlene olanağı tanımaktadır. Bu tür pratik çalışmalar daha iyi görebilme, gözlem yeteneği, özenli çalışma zevki ve becerisi gibi önemli ve değişik yetilerin değerlendirilmesini sağlamaktadır.

Ancak bu hayat bilgisi dersi biraz gecikmişti; artık on sekiz yaşındaydım ve gerektiği gibi bakmayı ve çizmeyi üç yıl önce öğrenmiş olmayı tercih ederdim.

Yüksek Öğretmen Okulu'na kabul edildiğimde, yarışmayı bitiren her öğrenci gibi artık amacıma ulaştığıma inanmıştım... Böylece altı ayı hiçbir şey yapmadan ya da akustik bir zincir

oluşturma, okulda balo düzenleme vs. gibi derslerle ilgili olmayan şeylerle uğraşarak geçirdim. Bu gevşeme dönemi çok fazla uzadığında pahalıya mal olabilir! Yeni bilgilerin depolanmasını sağlayan nörolojik yetenek zaman içinde gelişir. Bir konuda içinden çıkılamaz duruma gelmek ve daha sonra bu konuya dönmeyi ümit etmek kötü bir oyundur; daha sonra insan hevesini yitirir, her zaman yapacağı başka işler olduğundan bir kenara ittiği sorunları tekrar ele alamaz.

Şans eseri, Yüksek Öğretmen Okulu bizi sıra dışı pedagoglarla karşı karşıya getirdi. Bunlar arasında üç önemli kişi beni etkileyecekti.

Bunlardan ilki, daha önce sözünü ettiğim Yves Rocard'dı; kendisi lambalı radyonun, tüm otuzlu yıllardaki mekaniğin ve hatta köprü yapımının gelişmesine katkıda bulunmuştu; her şeyi bilen, pragmatik ve hoş bir adamdı.

Alfred Kastler ise pırıl pırıl ve basit açıklamaları seven dahi bir optik bilimcisiydi. Üçüncüsü ise, içlerinde en küçüğü olan Pierre Aigrain'di; Aigrain, Fransa'da yarıiletkenlerle ilgili araştırmaları başlatmıştı; kendisi, kuramsal olduğu kadar deneysel alanda da sınırsız bir hayal gücü olan gerçek bir kasırgaydı. Öğrencileri hâlâ onun derslerini kazasız belasız atlatmış olmalarına şaşırırlar fakat bu öğretmenleriyle ilgili anıları da unutulacak gibi değildir.

Bir yaz mevsimini de "Ecole des Houches" da geçirme mutluluğunu tattım. Fizikçiler Cécile de Witt'e çok şey borçlular; genç ve cesur bir kadın olan Cécile de Witt kısa bir süre önce bu okulu kurmayı ve yeri doldurulamaz bir kültür yuvasına dönüştürmeyi başarmıştı.

Daha sonra öğretmenliğe başladığımda verdiğim dersler oldukça kolaydı; kritik dönem sayılan üniversite eğitiminin ilk iki yılında görev üstlenmedim. Öğretim döneminin sonunda seçilmiş öğrencilere, daha sonra ise çeşitli ancak her zaman motivasyonlu toplulukları barındıran Collège de France'da ders verdim.

Savaş sonrası "şımartılmış kuşağa" ait olduğum ve öğretmenlik mesleğimi rahat kurumlarda sürdürdüğüm için eğitimle ilgili sorunlardan söz etme hakkına sahip değilim. İyi öğretmenler ve iyi öğrencilerle karşılaştım. Ancak yine de bu son bölümlerde, eğitimle ilgili bazı kaygıları dile getirmemin ve birtakım önerilerde bulunmamın yararlı olabileceğini düşündüm.

Aşırı bilgisizlik

Eğitim sistemimizden, yan öğretim kuruluşlarından ve seçim ölçütlerinden memnun değilim. Bu eleştiriler bana yakın olan bilim ve teknoloji alanlarında odaklanmakla beraber tüm eğitim kadrosunu yakından ilgilendiren temel sorunları içeriyor. Amacım ne öğretmenlerin yeterliliğini ne de kendilerini işlerine adamalarını (çoğu durumun bilincinde) ne de öğrencilerin iyi niyetini tartışma konusu yapmak; sözlerim sistem, düşünce yapıları ve köhneleşmiş alışkanlıklarla ilgili olacak. Bu eksiklikleri genel bir reformla düzeltme gibi hayallere kapılmıyorum (okur daha önceki bölümlere baktığında benim daha çok, iyi tanımlanmış amaçlar ve kısıtlı olanaklarla sürdürülebilecek pilot çalışmalara güvendiğimi anlayacaktır). Ancak bazıları açısından bu eleştiriler haksız ve ağır olsa bile

aksaklıkların söylenmesi gerekiyor. Bilim—özellikle gençlerin bilime, bilimsel yetkinliğe ulaşabilmeleri ve bilimin sosyal açıdan getirebileceği kazanç ve kayıpları kavramaları— bu sistemin ataletine teslim edilemeyecek kadar ciddi bir iştir.

Bu alanda insanların fazla bilgisiz olduklarına inanıyorum. Şu tutum gerçekçi değil: “Bilim tehlikelidir; bu, salt sanayicilerin çıkarlarına hizmet eden ve zararlı olmasına rağmen gerekli sayılan bir gelişmedir. Çocuklarımızı bundan korumaya çalışalım”. Çocuklarımız meslek olarak seçmeseler bile ayakta kalabilmek için bilimsel ve teknik becerilere gereksinim duyacaklardır. Çocukları ve büyüme çağındakileri bilimsel kültürden uzaklaştırmak ya da yıldırma gerçek anlamda suçtur. Çünkü böylelikle onları, kendilerini bekleyen sorunlar karşısında savunmasız bırakmış oluruz. Gençler, günümüzdekinden çok daha farklı, somut bir bilimle tanıştırılmalıdırlar.

İşte, yirmi yıldan uzun bir süre önce, öğretmenlerimden biri olan Alfred Kastler şunları yazıyordu: “Bizim eğitimimizde bilimsel öğretime giriş dönemi bütünüyle, gittikçe daha çok soyut olmaya yönelen matematiğin egemenliği altındadır. Çocukta tek yanlı olarak tümdengelim geliştirilmektedir. El becerisi, daha iyi görme, gözlem, bizi çevreleyen dünyayla ilgilenme gibi özellikler ihmal edilmekte ve önemsenmemektedir. Bir öğrencinin bilime yatkınlığı yalnızca matematik ve mantıkla arasının ne kadar iyi olduğuna göre değerlendirilmektedir”. Bu saptama günümüz için de geçerlidir.

Elleri kullanarak çalışma

Fransız lise öğrencilerinden oluşan bir topluluk önünde konuşurken günlük, pratik olayların üzerinde dururum. Oysa Amerikalı gençlerin karşısında konuşmam çok daha kuramsal olacaktır. Her iki sistem tamamen birbirine zıttır; Amerikalılar lisede çok az matematik görürler. Tartışma biçimi bile farklıdır. Fransa'da öğrenciler öne atılmaktan, sorular sormaktan çekinirler. ABD'de ise bu tür bir kompleks görülmez; sorular fıskırır. Fransız lise öğrencisi Amerikalı yaşıttan (herhalde bizim eğitim değerlendirme ölçütlerimize göre çok tembel sayılacaktı) daha çok şey bilir ancak Amerikalı genç kendine daha fazla güvenir ve gerçekleri öğrenmeye daha meraklı ve daha heveslidir. İşte, her birinde de dengesizlikler görülen iki farklı kültür ve iki farklı eğitim. Bizde programlar çok fazla kurama dayanıyor, onlarda ise kuram yeteri kadar önemsenmiyor. Ancak Amerikalılar, öğrencilere eksiklerini kendi kendilerine tamamlamalarını sağlayan yüksek nitelikli bir eğitim sunuyorlar; oysa "Fransız modeli" sorunları daha da büyütüyor; özellikle de, Fransızlara özgü bir sistem olan "grandes écoles"*a girme yarışını (Almanya'da ve Anglo-Sakson ülkelerinde bunun eşdeğeri yok) kastediyorum; buna daha sonra değineceğiz.

*Fransızcada "les grandes écoles" olarak tanımlanan (Türkçe'de büyük ya da önemli okullar olarak adlandırabiliriz) bu okullar Fransız eğitim sisteminde üniversitenin de üzerinde olan yüksek eğitim kurumlarıdır. Her lise diplomasını alan üniversiteye girebilirken, bu önemli okullardan birine girebilmek için liseden sonra iki yıl hazırlık sınıfına devam edip, özel bir sınavda başarılı olmak gerekiyor. Bu okullardan en önemlileri Paris'te bulunan Politeknik ve *Ecole Normale Supérieure*'dür. Bu okuldan mezun olanlar lise öğretmeni, bir de doktora tezi yazarlarsa üniversiteye öğretmen oluyorlar. (ç.n.)

Fransız ilkokul öğrencisi Japon ilkokul öğrencisiyle karşılaştırıldığında ikisini birbirinden ayıran –ve hiç de lehimize olmayan– net bir çizgi görülür. Bu, yazı öğretimidir. Japonya’da çocuğun harfleri doğru bir şekilde yazmayı öğrenmesi yedi yıl sürer. Bu zorluk bir dezavantaj olmadığı gibi çocukta, iyi yapılmış bir işten zevk alma duygusunu geliştirir; bu da önemli bir niteliktir. Bizim ilkokullarımızda bu yetenek gittikçe daha az önemsenmekte ve hatta engellenmektedir. Örneğin, güzel bir resim çizmeye çalışan bir anaokulu öğrencisini ve bu işi şişirme yapan sıra arkadaşını ele alalım. Öğretmen kimseyi gücendirmemek için her iki resmi de eşit derecede başarılı bulacak ve gelişigüzel bir şeyler çiziktirene biraz daha fazla uğraşmasını söylemeye çekinecektir. Böylece idare edilen öğrencide yavaş yavaş, hayatta da her şeyi gelişigüzel yaparak işin içinden sıyrılabilceği fikri gelişecektir. İşte, Fransa ve Japonya arasındaki önemli bir fark, nitelikli olana gösterilen saygıdır. Bizim kurnazlığımız hiçbir zaman bu el becerisinin, nesnenin ayrıntılarına özen gösterme yeteneğinin yerini tutamaz. Almanlar da Japonlar gibi, bir işin özenle yapılmasına değer veriyorlar. Onlardaki bu geleneğin nereden kaynaklandığını bilmiyorum (bu gelenekleri sayesinde, özellikle Alman mekanik endüstrisi büyük bir ün kazandı) ancak çok karmaşık anlamlar içeren bir yapıta hizmet eden olağanüstü bir teknik beceriyi görmem için (en ince ayrıntılara gösterdiği dikkat ve gerçekçi yaklaşımıyla) Rönesans döneminin Alman ressam ve yontucusu Albrecht Dürer’in bir yapıtına bakmam yetiyor. İtalya’da ise onun benzeri

Giovani Bellini'dir; o da zaten Dürer'in, hem eserlerini hem de kendisini tanımıştır.

Fransızlar zekâyâ aşırı değer veriyorlar. Matematiksel bir ispat yaparken parlak bir zeka gösterisinde bulunmak yeterliliğin tek ölçütü sayılamaz. Bize zanaatçılar, sanatçılar, duyarlı insanlar ve mükemmeliyetçiler de gereklidir. Biz akıllı (ya da becerikli) olmakla övünüyoruz; bize göre, matematik problemini hemen çözüveren kişi akıllıdır. Bizim zekâ anlayışımız budur. Kuşkusuz, basit matematik problemlerini çabuk yanıtlayabilmek yararlıdır çünkü zamandan tasarruf sağlar ama bu yeterli olamaz.

Kanımca, eğitimin hedefi bir işi iyi yapma bilincini oluşturmaktır. Bir boş zaman uygarlığına doğru ilerlediğimiz söyleniyor; bu doğru olabilir –üstelik, üçüncü dünya ülkeleriyle dayanışma gereği fazla aylaklık yapmamıza izin vermemesine rağmen... Ancak çalışmaya daha az zaman harcayacaksak, işimizi de o kadar iyi yapmak zorundayız.

68 olaylarından beri öğrenci kitlesi önemli bir baskı grubu oluşturuyor; bu güç genç seçmenlerin ve tüketicilerin elindedir; bunlardan büyük bir bölümünün ise *işle gerçek anlamda bir teması olmamıştır*. Bazıları yazın çalışmasına rağmen gençlerimizin tatilleri genel olarak uzundur ve pek de verimli bir şekilde değerlendirilememektedir. Oysa küçük şirketler liselilere staj olanakları sağlamaya özendirilebilir. Bana göre, otomobil servis istasyonunda çalışmak iş yaşamı için iyi bir başlangıçtır. Burada, hiç de küçümsemeyecek uygulamalar öğrenilir; üstelik diğer çalışanlarla, patronla ve müşterilerle her zaman da kolay olmayan ilişkiler kurulmalıdır. Bu tür

bir eğitim, bir işi iyi yapma anlayışının edinilmesine katkıda bulunur. Ancak bunun için süregelen alışkanlıkları bütünüyle değiştirmek gerekir. Çalışma yasasında yeni düzenlemeler yapılmalı ve aynı zamanda tamirhane sahipleri, stajyerlere atölyeyi süpürtmekten (bu gerçekten de tehlikeli!) başka şeyler de yaptırmaya ikna edilmelidir; gerektiğinde izleme ve denetim için mekanizmalar oluşturulabilir; nihayet, çıraklık uygulamasını cezalandırmaktan kaçınılmalıdır.

Öte yandan, gelişmiş araştırma merkezlerinin ve büyük fabrikaların öğrenci grupları tarafından ziyaret edilmesinin sağlayacağı yararlardan oldukça kuşkuluyum. Gerçek anlamda bir diyalog ortak çalışmalardan doğar. Aynı nedenle, grup halindeki yolculukların uygun olduğundan da emin değilim. Bana göre, çocukları sürü sürü otobüslere doldurarak Yunanistan ya da İngiltere yollarına salmanın pedagojik açıdan yararı sıfırdır. Bu tür gezilerde ülkeyle, insanların düşünce yapıları ve becerileriyle doğrudan temas kurulamamaktadır. Çocuklarımızı yabancı ülkelere göndermek istiyorsak bu yolculuklar çalışma amaçlı olmalıdır. Bir ülke turizmle değil, ortak çalışmayla tanınabilir.

Gemici barı

Eskiden Fransa'nın kırsal bölgelerinde yaşayan çocuklar, günlük yaşamlarında kendilerinde gözlem ve elleriyle çalışma anlayışını geliştiren doğayla ve zanaatkarlarla iç içeydiler. Ne yazık ki, kentlerimizde bu alışkanlıklar yitirildi ve biz, bunların yerini alacak başka etkinlikler bulmak zorundayız.

Bilgisayar bir gereklilik; ancak çocukları ortaokullardan itibaren bilgisayar ekranının önüne oturtmakla (buna bayılıyorlar) yetinirsek çok değerli bazı şeyleri kaybetme tehlikesiyle karşı karşıya kalırız. Yalnızca ekran önünde tuşlara basmayı (ve rapor yazmayı) bilecek kuşaklar yetiştirmek bana korku veriyor. Bu tür çalışmalarını belli saatlerle sınırlamak ve açık havada da gerçekleştirilebilecek pratik eğitimle dengelemek gerekiyor... Ben botanik ya da jeolojik gözlemler için yapılan gezilerin tiryakisiyim. Bir çiçeği incelemek, bir yerdeki toprağın yapısını belirlemek, fosilleri aramak, minerallere bakmak... gerçek dünyayı incelemeyi, oradaki nesneleri ortaya çıkarmayı, görüngüleri yorumlamayı öğretir. Bu işi yapmak çok da zor değil; bir otobüs, basit araç gereçler yeterlidir ve genelde hoş bir ortam oluşur. Gezinin sonunda ise çoğu zaman bir kafedeki masanın çevresinde toplanılır! Herkes de bundan yararlanır.

Amerikalı lise öğrencilerine gelince, onların güçlü oldukları yönlerden biri de aşağı yukarı 12 yaşından itibaren kollarını sıvamayı öğrenmeleridir. Amerikalı çocuklar çimenleri kesiyor, arabaları yıkıyorlar... Bu, orada bir gelenek. Daha sonra ise büyük bir bölümü, bazen çok sıkı çalışarak eğitim harcamalarının bir kısmını karşılıyor. Şu anda bilim dünyasında büyük bir lider olan bir arkadaşım Boston'daki şantiyelerde beton dökerek üniversite eğitimi için para kazanmıştı. Ayrıca okul yıllarında bir barda garsonluk yaparak geçimini sağlayan ve şu anda Rhode Island bölgesinde başsavcı yardımcısı olan genç bir kadın tanıyorum. Ceza davalarıyla uğraşırken bu tür bir deneyim hiç de gereksiz değildir.

Fransa'da kaç yargıç öğrenciyken hukuk fakülteleri ve Ulusal Yargıçlık Yüksek Okulu dışında farklı bir ortamda bulunmuştur?*

Çok sayıda annebaba, olgunluk sınavları nedeniyle çocuklarını aşırı derecede koruma eğilimindedir. Hem özerkliğe ilk adım olan, hem de bir yaşam deneyimi ve okulla ilgili olmayan yeteneklerin ortaya konulması için fırsat sağlayan yaz çalışmaları ya da ufak tefek öğrenci işleri bu derece yüklü bir program içerisinde yer bulamamaktadır! Özellikle de elleri kullanarak yapılan çalışmalar bütünüyle dışlanmaktadır. (Ben bile gençliğimde, yardımcı öğretmen olarak para kazanma kolaylığına boyun eğdiğim için pişmanım. Örnek alınmaması gereken bir tutum!)

Deneysel sağduyu

Günümüzden yüz yıl önce, köylü çocukları belki at nallamayı bilmiyorlardı ama bir tırpanı bilebiliyor ve kullanabiliyorlardı. Günümüzde eksik olan pratik bilgilere ve gözlem gücüne sahiptiler. Ben hiç de doğaya dönme taraftarı değilim fakat mühendislerin ve araştırmacıların, denklemleri kullanmadaki ustalıklarını, somut olgulara geçişte de gösterebilmelerini arzu ederdim. Yaşamımın büyük bir bölümünü kâğıt kalemle, kuramsal modellerin oluşturulmasıyla ge-

* Konferanslarda kendilerini örnek olarak göstermeme üzülen Ulusal Yargıçlık Yüksek Okulu (Ecole nationale supérieure de la magistrature; ENSM) idaresi bana hoş bir mektup göndererek öğrencilerinin dışarda, özellikle de hastanelerin idari bölümünde staj yaptıklarına dair güvence verdi. Bu övgüye değer bir girişim olmakla beraber idari bir staj yapmak ile gemici barında çalışmak bütünüyle farklı deneyimlerdir...

çirdim; bu nedenle onlardan vazgeçemem fakat bu öğelerin bilim öğretiminde ilk ve son söze dönüştürülmesi beni son derece rahatsız ediyor. Gerçekliğin bilinmemesi çok büyük çarpıtmalara yol açabiliyor.

Gençler hangi alana yönelecekleriyle ilgili olarak benden bilgi istediklerinde onlara, gereğinden fazla kişinin uygulamalı matematik ve yöneticilikte kutuplaştığını söylüyorum. Bunlar her şeye rağmen insancıl yanı oldukça kıt konular.

Bilimsel olduklarını ileri süren pek çok okul, başlıca nitelikleri raporları olabildiğince çabuk sindirerek, rekor sayılabilecek kadar kısa bir süre içinde analiz edilmeleri için bu kez yenilerini hazırlayan mühendisler yetiştiriyorlar. Raporları yutan ve kullanan bir makineye dönüşmek bana dengeli bir yaşamın anahtarı gibi gelmiyor! Buna karşı bir örnek ele alalım: Biyoloji araştırmalarından (bir sanat olan) kliniğe kadar çok geniş bir yelpazeyi kapsayan tıp bana çok daha çekici gözüküyor.

Bu tür düşünce ve davranış çarpıklıklarının gerisinde *araç gerece tapma*, *araç fetişizmi* yatmaktadır. Her çağın oyuncakları vardır. Laplace zamanında bunlar diferansiyel geometri ve diferansiyel denklemlerdi. Günümüzde ise bilgisayarla allanıp pullanan *model* ön plandadır; bir kişinin matematik modeliyle yola çıkıp, kur hareketleri, idari sorunlar ya da bir şirketin işleyişi hakkında hiçbir pratik deneyimi olmadan, dolaylı yoldan ekonomik bir sorunu çözeceğini iddia etmesini korkunç buluyorum. Daha çok fizik konularında sık sık bu tür aptallıklarla karşılaşıyorum. Birisi kalkıp, bir görüngüyü açıklamak

üzere olduğunu ileri sürüyor ve neden söz ettiğini gerçekten anlaması için gerekli yılları harcamadığı için tartışmanın ilk on beş dakikasında ortaya koyduğu kuram fosluyor.

Tabii ki, bilgisayarların da gerekli olduğu yerler var: Laboratuvarlarımızda pek çok deney otomatikleştiği için bir aletin önünde sabahlamaya gerek kalmamaktadır. Ancak, örneğin moleküler ölçekte gerçekleştirilen bazı simülasyonlarda bilgisayarda model oluşturma, büyük ölçüde bu işi yapanın sağduyusuna bağlıdır. Bu iş uzmanlık alanlarını bir araya getiren ve entelektüel dürüstlüğe sahip grupları gerektirir.

Fizikte denklemlerden vazgeçilemez: Son derece ayrıntılı sayısal çalışmalara ve doğrudan incelenmesi çok uzun sürecek ya da çok pahalıya mal olacak görüngülerin simülasyonuna da gerek vardır. Kısacası denklemlere karşı, bilinemezci bir düşmanlık doğru olmadığı gibi mutlaka denklemleri savunan bir diktatörlük de kesinlikle yanlış bir tutumdur.

PC’de (Fizik ve Kimya Okulu) yeni lisansüstü öğrencilerini karşılarken polit teknik adaylarının hiç bilmediği ve bana göre, eğitim sistemimizde çok az değer verilen bu kavramlar üzerinde duruyorum. Bu “yeniden eğitim” çalışması en az iki yıl sürüyor. Pek çok yeni mezun olmuş genç mühendisin sağduyudan yoksun olması beni şaşkına çeviriyor! Onlara, Enrico Fermi’nin* New York’ta Columbia Üniversitesi’nde öğrencilerine verdiği

* Bu kitapta daha önce sözü edilen Fermi, hem kuantum statistiği hem de nükleer fizik alanlarında büyük bir kuramcı ve aynı zamanda makine yapımcısıydı: ilk pil, ilk atom reaktörü, ilk akseleratörler onun buluşlarıdır.

testi uygulamayı çok seviyorum. Fermi, derslerin ilk gününde şöyle der: “Sizlerden, New York şehrindeki piyano akortçularının sayısını tahmin etmenizi istiyorum”. Burada yürütülecek mantık son derece basit: New York’un nüfusunu 10 milyon olarak düşünsek, 30 aileye (bir ailede 3 kişi) aşağı yukarı 1 piyano düşer; bu da 100.000 piyano eder; bir piyano, çok sert bir iklimde kötü hava koşullarına ne kadar süre dayanabilir Diyelim ki üç yıl, yani 1000 gün; bu hesap, günde 100 piyanonun akort edileceğini ortaya koyar. Bir akortçu günde 2 piyanoyu akort edebilirse, bu durumda 50 akortçu gerekir; hafta sonları, taşıma zorlukları da hesaba katılırsa bu sorunun yanıtı 100’lü sayılardır... Fermi daha sonra öğrencilerinin telefon rehberinin sarı sayfalarına bakıp New York’ta kaç piyano akortçusunun yaşadığını denemeyle öğrenmelerini ister. Gerçekten de tahmin edilen rakam doğrudur! İşte, bana göre teşvik edilməsi gereken sağduyu eğitimi budur.

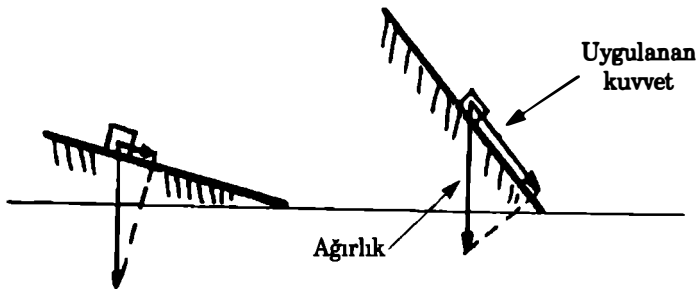
Ekman ve yönlerinden sapan buzlar

Hiçbir şey, Tarih’in sunduğu örneklerden daha anlamlı olamaz. En büyük esine sahip deneycilerden biri olan Ekman adındaki genç İskandinavlı her zaman verdiğim bir örnektir. Kendisi, yüzyılın başında Baltık denizindeki buzların çözülme sırasında, batıdan esen sert rüzgârın etkisiyle izledikleri yolu gözlemledi. Bunlar rüzgârla yer değiştiriyorlardı. Ancak Ekman dikkatini bunlar üzerinde yoğunlaştırdığında olağüstü bir ayrıntı fark etti: buzlar, tam olarak rüzgârın yönünü izlemiyor, biraz daha sola kayıyorlardı. Eve döndüğünde bu olay üzerinde dü-

şündü ve hafif sapmaya Dünya'nın kendi eksenini etrafında dönmesinden kaynaklanan ve sıvı ortam tarafından iletilen bir kuvvetin neden olabileceği kanısına vardı; bu gözleminden yola çıkarak büyük akıntıların dinamiğine ilişkin bir başlangıç noktası olan *Ekman'ın katmanları teorisi*ni ortaya koydu. Ancak bu örneğin vermek istediği mesaj, hesaplama şekli değildir. Herhangi birisi de bu hesabı yapabilirdi; bu olaydaki dâhice yan, buzulların tam olarak beklenen yönü izlemediklerinin saptanmasıdır.

Mekanikçi Leonardo da Vinci

Kısa bir süre önce Collège de France'da Leonardo da Vinci'den (1452-1519) söz ettim. Evrensel bir düşünce yapısına sahip olan Leonardo da Vinci bir gün sürtünmeyle ilgilenir: Bir yüzeye sürtünen nesneyi kaydırabilmek için gereken en az kuvvet nedir? Kendisi, eğim arttıkça nesneye uygulanan kuvvetin de arttığı eğik düzeylerde deneyler yapar (Şekil 53). Eğim azaltıldığında, "eşik" açısının altında nesnenin kaymadığı gözlenir. Bu açıda uygulanan kuvvet *eşik kuvvetine* karşı gelmektedir. Bu deney Leonardo'nun, bir anlamda inanılmaz da diyebileceğimiz bir kuralı keşfetmesine yol açar. Aynı nesneyi aynı yüzey üzerine koyduğu fakat nesnenin değişik yüzlerini, dolayısıyla temas eden yüzeyin farklı büyüklüklerde olduğu (ve yerel basınçların da farklı olduğu) durumları dener. Büyük bir şaşkınlıkla, hep aynı eşik kuvveti bulur! Sürtünmenin bu olağanüstü yasası ancak çok kısa bir süre önce İngiliz okulu tarafından açıklanabildi.



Şekil 53

Bu yasanın Leonardo da Vinci tarafından (daha pek çok şeyin yanında) keşfedilmesi güzel; fakat aynı zamanda 1699'da Guillaume Amontons (1663-1705) yeniden ele alınca ve Bilimler Akademisi yayımlayınca kadar (bir karşı sınavdan sonra: Akademisyenler bu yasa-yı son derece tuhaf buldukları için ikna olabilmek amacıyla başka bir mekanikçiden (La Hire) deneyleri tekrarlamasını istediler) bu yasanın 150 yıl boyunca unutulmuş olduğunu görmek de üzücü.

İşte, tamamen Benjamin Franklin'in çizgisinden giden, saygı gösterilmesi gereken bir deney biçimi: paradan tasarruf, yaratıcılık ve kesinlik.

Bizim gibi gelişmiş toplumlar fındığı şahmerdanla ezmeyi tercih eder! Bizden öncekilerin tersine, aşırı büyük aygıtlar ve programlarla çalışmayı seviyoruz.*

Öğrencilere, sistematik olarak büyük cihazlara yönelmelerini önleyecek bir eğitim sunulmalı-

*Freeman Dyson (bu yüzyılın en büyük kuramcılarının biri) pek çok büyük programı ayrıntılarıyla araştırdı; uzay, yüksek enerji v.b. konularla ilgili incelemelerini "*From Eros to Gaia*" adlı unutulmayacak bir kitapta topladı.

dır. Bu görüş, hem uygulamayla ilgilenen mühendis hem de temel araştırmacı için geçerlidir.

“Auguste Comte önyargısı”

Şimdi, Auguste Comte’un pozitivizminden miras kalan, Fransız kültürüne özgü bir önyargıdan söz edeceğim. 19. yüzyılda yaşamış olan bu filozof bilimleri sınıflandırarak ün kazandı. Bu hiyerarşinin tepesinde matematik, aşağısında ise “ona göre, zar zor bilim adını hak eden” (!) kimya yer alıyordu; ortada ise astronomi ve fizik vardı. Bu sınıflandırmada, somut ve betimleyici bilim dalları olan coğrafya ve mineraloji büyük ölçüde dışlanmış ve yalnızca kuramsal, soyut ve genel bilime yer verilmişti. Böylece tavır belirlenmiş oluyordu! Bu felsefi oluşumun, bir mektupta: “Tek mutlak doğru, her şeyin görelî olmasıdır” diyen bir düşünce yapısından türediğini belirlemek çok acıdır. Öte yandan Auguste Comte, olgularda gözlemlenebilecek, yani deneylerle kanıtlanmış yasalara kesinlikle inandığını ileri sürüyordu. Bilim öğretimi, bilimsel konular ve bilim adamları hâlâ “Auguste Comte önyargısı”ndan zarar görüyorlar. Bu görüş aynı zamanda elle yapılan işleri küçümseyen düşünce biçiminin tohumlarını atmıştır. Bu küçümseyici tutum, bu mesleklerin ve onlara giden aşamaların değer kazanmasına yönelik reformları yıllardan beri sınırlamaktadır. Bu girişimler büyük ölçüde tutucu gruplar ve ilke olarak bu işlere karşı çıkan ana babalar tarafından engelleniyor.

İnsanların ellerle yapılan çalışmalarla ilgili düşünceleri hiç gelişmedi. Zanaat ve Meslek Okulu (Les Arts et Métiers) mekanik alanında pratik eği-

tim veren ilginç bir okuldu. Ancak korkarım ki, bu kurum da daha çok kurama yöneliyor.

Diğer bir örnek ise katı hal fiziğini öğrenmek için Orsay'e gelen DEA* düzeyindeki polit teknik öğrencileriydi. Onlar genelde her şeyi hesap yoluyla bilebileceklerine inanırlar. Bu öğrencilere yıl sonunda şu soruyu soruyordum: "Bir mikron kalınlığında buharlaşma yoluyla oluşturulmuş bir kurşun katmanı gözünüzün önüne getirin. Bu katmanın üzerine 10 Mev'lik enerjiye sahip kozmik bir ışın gönderiyorum; katmanın sıcaklığı 4°K 'dir. Uçlara bir gerilimölçer (voltmetre) yerleştiriyorum. Bu katman üzerinde ölçebileceğim direnç atımının şiddeti ve süresi ne kadardır? Bu şekilde basit bir detektör yapabilir miyim?"

Bu soruyla karşılaştıklarında, tahtanın bir köşesinde bir saat düşünüyorlardı. Oysa bu eğitim seviyesindeki öğrenciler için çözüm oldukça kolay olmalıydı. Önce, hızlı bir protonun, o ortamda bulunan elektronlara ne kadar enerji vereceğini görmek için iki yüklü parçacığın çarpışması ile ilgili mantık yürütmek gerekir; size enerjiyi verecek olan şey budur.

Daha sonra, bu enerjinin nasıl yayıldığını belirleyebilmek için şunu ekliyordum: "Bu kurşunun % 1'i katışık". Bu basit bir dile çevrilecek olursa, elektronların ortalama serbest yolu** 100 atomik aralıktır demeye gelir; bu da aşağı yukarı 300 angström eder.

*DEA (Diplome d'études approfondies); Fransız eğitim sisteminde göre doktoradan bir önceki aşamayı tamamlayan öğrencilere verilen diploma. (ç.n.)

** Bir katıdaki elektronun ortalama serbest yolu = katkı atomları ile iki çarpışma arasında elektronun düz bir çizgi halinde katettiği yol.

Bu tür bir iki kavramı belirledikten sonra ısılatımın şiddetini ve süresini saptamak için tüm verilere sahipsinizdir. Oysa, o dönemde bana gelen tipik politeknik öğrencisi kara tahtanın önünde ağzı açık bakakalıyordu. Birisi de bana şöyle demişti (bu cümleyi hiç unutmadım!): “Fakat bayım; köşegenleştireceğim hamiltonyen hangisidir?” Öğrencim, bu pratik alıştırmayla ilgisi olmayan kuramsal fikirlerle çözüm bulmaya çalışıyordu. Bu verdiği yanıt büyük ölçüde, Fransa’daki endüstri araştırmalarının zayıf yönünü ortaya koymaktadır.

Pozitivist önyargıdan kaynaklanan tüm felaketler arasında en kötüsü kimyanın küçümsenmesidir. Bu bilim dalının endüstrideki geleceğimiz için taşıdığı önemden, kimyacıların yaratıcılığından, Fransız eğitim sisteminin hiç de hakkını vermediği bu molekül yontucularından daha önce söz etmiştim. Bir gün, yüksek matematik öğrencilerinden birinin anlattığına göre, hocalarından biri daha ilk derste şunları söylemişti: “Ben kimyayı sevmem ama size anlatmak zorundayım. İlk önce size iki saat kimya terimlerini açıklayacağım. Karmaşık bir moleküle ne ad verilir v.b.” Bu iki saatin sonunda tüm sınıf zaten yaşam boyunca kimyadan nefret eder hale gelmişti!...

Lucien Monnerie (PC’nin müdürü) ve ben Kimya ve Fizik Okulu’nda görev aldığımızda kimyaya karşı önyargıların üstesinden gelebilmek için zorlu bir mücadeleye girişmek zorunda kalmıştık. Bizim gelişimizden önce öğrenciler grevdeydiler; hepsi de fizikçi olmak istiyordu! Not sisteminde değişiklikler yapmak, yeni mezu-niyet dalları açmak, hatta ders sistemini altüst etmek ve sözlü propaganda gibi bir dizi önlemlerle

yavaş yavaş zorlukları aştık... Benim insanları ikna edici görünmem oldukça kolaydı; fizik kuramcısı olarak beni, kendi dalımı savunmakla kimse suçlayamazdı. Ancak dengeyi sağlayabilmem on yıl sürdü.

Kimyayla ve kimya mühendisinin yaşamıyla ilgili olarak daha kesin fikirlere sahip olmak isteyenlere, Primo Levi'nin öykülerini bir araya topladığı harika bir kitap olan *Le Système périodique*'i (Periyodik Sistem) okumalarını öneririm. Bu yazılarda yaşanmış olaylar anlatılıyor. Öyküler gerçeği öylesine yakalıyor ve ona yaratıcı bir soluk veriyorlar ki günlük yaşama, kişisel olaylara evrensel bir boyut kazandırıyorlar. Bu kitap, Auguste Comte'un sınıflandırmasının yaydığı zehire karşı olağanüstü bir panzehir niteliğindedir.

Matematik İmparatorluğu

Sınavla ilgili sav

Şöyle bir teroem vardır: “Ne zaman bilimsel alanda bir sınav düzenlense, bu sınav bir matematik alıştırmasına dönüşür”. Bu savın, tıp eğitiminde sınavla yapılacak bir seçim için geçerli olduğunu gördüm. Matematik altı ay içinde tüm sistemi yutmuştu. Eskiden, tıpta hazırlık eğitimi, biyoloji, fizik, kimya ve matematiği kapsayan son derece esnek bir programa dayanırdı. Hocalar, önemli gördükleri konuları az çok da kendi eğilimlerine göre, bazen hoşnutlukla, bazen de hoşnut olmayarak seçerlerdi; yani öğrencilerin eğitimi biraz şansa kalmıştı. Tıp eğitiminin bu ilk yılında belli bir yaratıcı heyecan ege-

mendi. Ancak, gelecekteki doktor sayısının belirlenmesi için sınav sisteminin uygulanmaya başlamasıyla denge bozuldu. Öğrenciler, aynı matematik alıştırmalarıyla (matematik demeye dilim varmıyor, aslında aşırı temel matematik terimini kullanmak gerekiyor) boğuşmaya başladılar; fizik sınavı bir tür uygulamalı matematiğe dönüştü; kimya ise, karmaşık denge hesaplarıyla aynı kaderi paylaştı; biyoloji de, genetik kodlarla ilgili kombinasyon hesaplarına yöneldi. Üçer aylık iki dönemde bu yarışma sistemi tıp hazırlık eğitimini kısırlaştırdı.

Sınav sistemi ve bunun sonucu olan matematiğin üstünlüğü, önemli okulların kapılarını açan iki yıllık “hazırlık sınıfları”nın özünü değiştirmektedir.

Niçin matematiğin çevresinde açık seçik bir bütünleşme görülüyor? Bunun nedeni, tabii ki, matematik araştırmacılarından kaynaklanan baskı değil. Bu sorunun yanıtı daha çok, bu sistemi pratik olarak dokunulmaz kılan çıkarların ortak yönelimidir. Bir yandan sınavı düzenleyenler, formüllerin her şeyi açıklamadığı biraz karmaşık bir fizik olgusunu tartışmaktansa bir matematik problemi yazmayı daha kolay buluyorlar. Öte yandan öğrenciler de fazla bilgi birikimi gerektirmeyen ve böylece son dakikada şöyle böyle hazırlanmaya olanak veren bir sistemin üstesinden başarıyla geliyorlar. Bu noktada öğrencilerin tutuculuğu bürokrasiyi ya da loncaları aratmayacak denli güçlüdür. Annebabalara gelince; onlar her şeyden önce çocuklarının “iş güç sahibi” olmalarını istedikleri için her tür değişim fikri karşısında endişelenmektedirler. As-

linda, matematikleştirme eğilimi mezunlarımızı, yani geleceğin mühendislerini, *yarı inmeli* hale getirmektedir.

Biçimsel konuların ağırlıkta olduğu hazırlık sınıflarına gitmiş, önemli okulların giriş sınavlarına katılmış ve bu okullardan çıkmış bir öğrenci yaşamı boyunca gerçeklerden kopuk kalma tehlikesiyle karşı karşıyadır. Kendisi doğal olarak yöneticilik, bilgisayar... gibi mesleklere yönelcektir. Bazı araç gereçleri kullanmayı, rapor yazmayı öğrenecek ancak daha önce sözünü ettiğim inceleme, el becerisi, sağduyu, sosyal ilişkiler kurma v.b. nitelikleri gelişmeyecektir.

Boşa işleyen bir sistem

Kimse yanlış anlamasın. Ben matematik bilimine karşı değilim; bu, kişisel olarak sevdiğim olağanüstü bir dal; nitekim, *rasgele yüzeyler* ya da *düğüm kuramı* gibi aynı zamanda saf matematik, istatistiksel fizik ve temel parçacık fiziğiyle ilişkili bazı konularla (az çok) ilgilendim.

Benim sevmediğim yönü, matematiğin bir *seçim aracı* olarak kullanılmasıdır. Matematikten şikayetçi değilim; yalnızca bu bilim dalının bundan böyle bilimsel yeteneklerin ve bilgi düzeylerinin değerlendirilmesinde bir ölçüt oluşturacağına esef etmekteyim. Tabii ki, “hazırlık sınıfları”nda matematik gereklidir fakat derslerin en önemli unsuru olacak kadar değil.

Hazırlık sınıflarında öğretilen matematik büyük oranda Newton tarafından icat edilen matematiğe (örneğin, diferansiyel ve integral hesap) dayanmaktadır; buna son zamanlarda matrisler gibi daha modern bir, iki öge daha eklenmiştir...

Tüm bu bilgilerin kavranması için, şimdi olduğu gibi iki yıl değil, bir yıl aslında yeter. (Hemen hemen aynı ders kapsamıyla İngilizler, bizden bir yıl daha kısa bir sürede mühendis yetiştiriyorlar). İki yıllık ders programı devam ettirilmek isteniyorsa, matematiğin ağırlığı azaltılarak gerçek anlamda deneysel kültüre –özellikle de biyolojide– yer verilmelidir.

Hazırlık sınıfı öğretmenleri günümüzdeki durumun sorumlusu değildirler. Onların eli kolu bağlıdır. Öğrencilerini, özellikle kalıplaşmış soralardan oluşan sınavlara hazırlamaktadırlar; bu sınavlardan uzak durmaları ise zordur.

Gerçek bir sosyolojik ölçü olan sınav sistemi, yani matematik, Fransızlar için bir tür “vazgeçilmez kültür ufku”, ulusal mirasın bir anıtı, ayrılamayacak bir parçasıdır. Fakat, sınav sistemi iddia edildiği gibi bu derece verimli ve pratisyenlerin eğitiminde son derece etkiliydiyse niçin İngilizler, Almanlar ve Amerikalılar tarafından benimsenmedi? Diplomalılarının sayısına ve araştırmacılarının niteliğine bakıldığında bu ülkeler, görünürde, bu sistemi uygulamadıkları için hiç de sıkıntı çekmiyorlar...

Fransa’da aynı yaş grubunda 600.000-700.000 çocuk bulunmaktadır ve bunlardan 40.000-50.000’i bir sınavdan sonra “bir büyük üniversiteye” girecektir. Bizim eğitim sistemimiz büyük ölçüde bu seçim biçimine yönelmiştir. Sınavları savunmak amacıyla öne sürülen gerekçelerden birisi, bu şekilde sosyal eşitliğin sağlandığı iddiasıdır. Böylece ne zenginliğe, ne de sosyal konuma öncelik tanınmaktadır. Geçmişte bu savın doğruluğu, Devrim’den hemen sonra, 19. yüzyılın

başında kısmen kanıtlanmıştı. Günümüzde, sınavlarda adaylara eşit davranılıyorsa da Fransa'daki seçim sistemi, öğrencilerini dosya üzerinden seçen İngiliz ya da Amerikan üniversitelerinden daha eşitlikçi değildir. (Politeknikçilerin egemenliği, aile ortamına göre seçim, öğretmen okullarında kontenjanların önemli bir yüzdesinin öğretmen çocuklarına ayrılması v.b. tercihler unutulmamalıdır)

İngiltere'de, 1930'lu yıllarda Oxford'a giren genç İngiliz öğrenciler, soylulara ve İngiliz İmparatorluğu'nun zengin ailelerine ayrılmış "public school"lardan çıkarken, 1945'den sonra bu durum önemli ölçüde değişti. Artık İngiliz sistemi bu beylik uygulamalardan bütünüyle uzaktır.

Neyse ki, ABD'de, sosyal ölçütlere göre öğrenci yerleştirme olgusunu gözlemlemiş değilim. Hatta, ABD'de bu alanda neredeyse tersine bir davranış söz konusudur; Berkeley'de başarı notu olarak istenen ortalama, Beyazlar ve Asyalılar için 12.5, İspanyol kökenli Amerikalılar için 11, siyahlar için ise 9'dur.

Yaşam boyu kazanılmış haklar

Adaylar iki yıl ya da daha uzun bir süre çabaladıktan sonra bir OKULA girerler (varsın bu, Madencilik Okulu ya da "Outremont Arpa Şekeri Okulu" olsun). Yani doruğa ulaşmışlardır ve hemen uzun sürecek bir dinlenme dönemi başlar. Artık gelecekleri güvence altına alındığına göre çalışmak için çaba sarfetmek gereksizdir. İşte, bu yaklaşım iki açıdan dehşet vericidir.

Bir yandan, kişinin yirmi yaşında bir sınavı kazanmış olması bahanesiyle toplum üzerinde yaşam boyu hak kazanmasını utanç verici buluyorum! Sosyal nedenlerden dolayı ya da benim biraz önce anlattığım matematiksel kalıplara girmedikleri için bu pasaportu elde edemeyen diğer gençler ise daha can sıkıcı alanlara yönelmek zorunda kalmaktadırlar.

Öte yandan, kadro ve yapı açısından büyük okullar kadar zengin donanımlı kurumların biraz boşuna çalışması bana normal gözükmemektedir. Benim gençliğimde, Politeknik Okulu pek çok konuda gerçekten zayıftı; bunlardan biri de fizikti. Ama, yirmi yıldan uzun bir süredir uygulanan akılcı bir politika sayesinde günümüzde bilimsel konuların çoğunun öğretimi için en iyi Fransız öğretmenler seçilebildi. Böylece okuldaki öğretmenler çok iyi, öğrenciler de çok parlaktırlar. Ancak okul döneminde oldukça az çaba gösterilmekte ve bilimsel konularda yetersiz bir donanımla mezun olunmaktadır. Böylece mesleki açıdan geleceklerini güvence altına alan öğrenciler sakın sakın konacakları bir iş bulmayı beklemektedirler.

Diğer pek çok önemli okulda da aynı sorunla karşılaşılmaktadır. Seçilmiş gençlerin, gerçek sorunlarla ve nitelikli bir eğitimle karşılaştıkları andan itibaren çalışmayı bırakmaları gerçek anlamda bir savurganlıktır.

Bazı durumlarda ise tam tersine, sınavdan sonra çabaların fazlasıyla yoğunlaştırılması istendiği oluyor. Özellikle Yüksek Öğretmen Okulu'nda bu tür bir eğilim görülüyor. Eskiden kişi kendi yeteneklerine göre, fazla zorlanmadan çalışırdı. Ancak on beş yıldan beri eğitim çok daha ağır bir ha-

le geldi. Bilimsel konularda öğretmenliği seçenler iş bulma şansını artırabilmek amacıyla diplomalarını biriktirmekte ve ansiklopedik bir eğitimden geçmektedirler. Bu nedenle de düşünmeye fazla zaman bulamamakta, yani, hazırlık sınıfı öğrenciliği konumundan kurtulamamaktadırlar.

Neyse ki, müdürleri durumun farkında ve her şeyin daha iyiye gittiğine dair bana güvence veriyor.

Genel anlamda, okullarda en nefret ettiğim şey öğretmenlerin, öğrencilerin ve eski öğrencilerin kendilerinden hoşnut olma duygusudur. İşte, tutuculuk ve saçma sapan “yaşam boyu hak” kavramı bu duygudan kaynaklanmaktadır.

Üniversitelerin “yumuşak” eğitimi

Bizdeki öğrenci kitlesi (lise eğitiminden sonra) teknik eğitim –IUT, BTS* ve iyi bilmediğim için burada değinmeyeceğim başka okullar– mühendislik okulları ve en son aşamada ise fakülte eğitimi arasında bölünmektedir.

Fakültelerde de sorunlarla karşılaşmaktadır: girişte, öğrencilerin ortalama düzeyi düşüktür; sınavlar kolay fakat başarısızlık oranı yüksektir; öğretmenler, öğrencilerin gelecekteki meslekleri hakkında fazla düşünmemektedirler. Üniversite kurumunun –sözcükleri iyice tartarak konuşuyorum– çok ciddi olarak tartışmaya açılması gerektiğine inanıyorum; üniversitelerin, yönetimin zo-

*IUT: *Institut universitaire de technologie*; liseden sonra gidilen iki yıllık ön lisans düzeyinde teknisyen yetiştiren okullar. Bunlardan alınan diplomaya BTS (*Brevet de technicien supérieur*) yani “Yüksek Teknisyen Brövesi” deniyor. Aynı zamanda lise düzeyinde, sadece BS (Teknisyen Brövesi) veren meslek liseleri de var. (ç.n.)

runlu kıldığı dıştan gelen değişimlerden bağımsız olarak kendi kendilerini esaslı bir şekilde eleştirmeye gereksinimleri vardır.

1) Bana göre, üniversite sistemi kendi içinde *kapalı dallara* bölünmenin sıkıntılarını yaşıyor. Örneğin, mekaniğin fizikten, malzeme biliminden, biyolojiden... kopuk ve yine burada da özellikle uygulamalı matematik ve bilgisayar üzerinde yoğunlaşmış olmasını görmek beni şaşırtıyor. Bu bölünme zararlıdır. Biz fizikçilerin de bu konuda daha doğru davrandığı söylenemez. Her birinin kendisini en güçlü ve en akıllı sanmak gibi zayıf bir yönü vardır (burada eski "Auguste Comte önyargısı" görülmektedir). Fizikçilerin rahatlıkla kimyayı göz ardı etmesi çağımızda kabul edilemeyecek bir şeydir. Aynı şekilde, kimyacıların da derslerinde bazen fiziği karikatüre dönüştürerek sunmalarından kaygılanmaktayım (örneğin, bazı kimyasal termodinamik dersleri). Aynı olumsuzluklara fiziksel kimyada da rastlanıyor. Paris'te, kabul edilebilir ve endüstri çevrelerinin gereksinimlerine uygun bir fiziksel kimya eğitimini yerleştirmek son derece zor oldu; nedeni ise, loncacı anlayışın karşı koyuşu idi.

2) İkinci gözlem: Fakülte eğitimi çoğu kez *yumuşaktır*. Yani, son "yapılan çalışmaların" konusunun hemen hemen sınavın özünü oluşturacağı ima edilmektedir. Dersleri sessiz sedasız izleyen öğrencilerin sınavı geçeceğine dair güvence verilmiştir. Burada, öğretmen ve öğrenci kesimi arasında gerçek anlamda gizli bir anlaşma söz konusudur; her iki taraf da bindiği dalı kesmektedir.

Öğrenci üzerinde psikolojik baskı olmaması eksiklikler; böyle bir baskının oluşturulmaması halinde öğrenci, görece az çalışarak fakülte sınavlarının düzeyine erişebilir fakat uluslararası rekabetin zorunlu kıldığı gerçek bilgi seviyesine ulaşamaz. En iyi yıllarını boşa harcadığının farkına varmadan, biraz çabayla ilerleme kaydedebileceği gibi yanıltıcı fikirler edinir. Bu aşamada, geleneksel hazırlık sınıfları biraz daha ileridedirler; öğrencilere belirli sürelerde çalışmayı, tahtada sözlü sınavlara alışmayı öğretirler; onları sorguya çekerek v.b. yöntemlerle baskı uygularlar. Fakültelerde çoğu kez daha çeşitli bir öğretim sunuluyor ve düşünmeye zaman bırakılıyorsa öğrencinin bundan yararlanması için son derece bilinçli, enerjik ve çalışma düzeninde özerk olması gerekir.

3) Diğer bir kaygım ise, ülkedeki üniversite eğitim kadrosuyla endüstri yaşamının birbirinden uzaklaşmasıdır. Günümüzde üniversite çevrelerini temsil eden bizlerin, öğrencilerimize araştırma ve teknolojiyle ilgili olarak sunduğu görüntü belirsiz ve modası geçmiştir. Zaman içinde bazı laboratuvarlar ve büyük kuruluşlar (bunlar büyük araştırma laboratuvarlarında yoksundurlar) arasında iletişim kurulmuş olsa bile sözünü ettiğim durum hâlâ geçerlidir.

4) Son olarak, kampüslerimize öğretim görevlilerinin alınmasına yönelik gerçek bir politikanın olmamasına üzülüyorum. Büyük Amerikan üniversitelerinde işe almanın uzun ve oybirliğine dayanan bir süreç olduğunu görüyorum. Bizde ise, özellikle ülkenin gelecekteki

gereksinimleri doğrultusunda değil de kendi ekiplerini tamamlama isteğine göre hareket eden üniversite laboratuvarları bencilce hareket ediyorlar.

Tüm bunlar nereden kaynaklanıyor?

Üniversite birimleri, ortak çıkarlardan çok belli bir ilişki ağına dayanan ve hemen hemen kendiliğinden “yumuşak” bir yönetim olan orta öğretim yönetim modelini benimsemişlerdir. Ben bir okul müdürü olarak en azından eğitimi geliştirecek kesin kararlar alma, dersleri hafifletme, hatta bazılarını kaldırarak yenilerini koyma olanağına sahibim. Oysa üniversitelerde böyle bir şey mümkün değildir.

Tüm bu bozukluklar ve yetersizlikler, son ürün olan diplomalı öğrencide toplanmaktadır. Öğrenci daha sonra araştırmaya ya da endüstriye yöneldiğinde sudan çıkmış balığa dönebilir çünkü hazırlıklı olmadığı bir çalışma temposuyla karşılaşacaktır. Örneğin, fizik öğretmeni olmak isterse seçtiği dalı gençlere somut bir şekilde sunabilecek midir? Bu mesleğe girebilmek için “Institut universitaire de formation de maitre”*den (IUFM) mezun olacaktır. Ancak burada da iki olumsuz nokta görüyorum:

1) IUFM'deki öğrencilerin önemli bir bölümü mesleki güvenceye sahip olabilmek amacıyla bu okulları seçmektedirler ve yeterince motivasyona sahip değildirler. Öğretmenleri onlara ufak bir kıvılcım iletebilmek için çırpınsa bile bunun öğrencilere ulaşabileceğinden ve zaman içinde yok olmayacağından emin değilim.

*İlkokul öğretmeni yetiştiren ön lisans okulu. (ç.n.)

2) IUFM'deki eğitim gittikçe daha çok "didaktizm"e, –bilginin iletimi üzerine muğlak düşüncelerin bellenmesine– yönelmektedir. Öğrencimiz, kendi alanındaki meslek derslerini izlemekten caydırılarak, ona giderek daha çok IUFM'deki didaktik dersler önerilecektir. Eğitimde felaketlere yol açan moda eğilimlerin listesi uzundur; benim zamanımda bunlar marksizm, psikanaliz ve modern matematikti... Günümüzde ise en son örneği didaktizmdir.

Biraz oksijen

Pedagojik deneyler

Eğitim sistemimiz ve okullarımız gelişmek zorundadır. Bu iyileşmenin sağlanması için neler önerilebilir? Mutlak anlamda, sınav sistemine son verilmesinden yanayım; fakat gerçekçi olmak gerekiyor: Önemli yasal düzenlemelerle ulusal eğitim sistemini iyileştirmek politik açıdan olanaksız. Oysa, bu sınav kavramı eğitim sisteminin bütününe etkileyen çarpıklıkların başlıca nedenlerinden birisi. Benim hayalim uzun vadede bu seçim biçiminin kaldırıldığını görmek. Kısa vadede ise, aşama aşama bazı ayarlamaların yapılmasını yeğlemekteyim. Kanımca, bu uygulama birçok basamaktan oluşacaktır.

Sanayiciler, araştırmacılar ve üniversite çevreleriyle görüştüğümde çoğunun "hazırlık sınıfları"nın öğrencileri gerçeklerden kopardığı konusunda hemfikir olduğunu anlıyorum. Ancak sistemin kararlılığı o kadar büyük ki kimse dokunmaya cesaret edemiyor. Bu nedenle, yapıları altüst

etmeden, programlarda ufak tefek değişiklikler yaparak dikkatle hareket edilmelidir. İlk önce, hazırlık sınıflarında kısmen bir reform gerçekleştirerek bunları, daha deneysel bir nitelik taşıyan fizik-kimya sınıflarına dönüştürmek gerekmektedir. Aslında, bu yönde hafif bir kıpırdanma gözlenmesine rağmen sınav sistemini, her şeyi matematiğe indirgeme anlayışını ortadan kaldırmaya-çağı ve okula girdikten sonra öğrencinin kendini koyvermesini engellemeyeceğı için en iyi ihtimalle çok sınırlı bir gelişme söz konusu olacaktır.

İkinci basamak bana göre daha gereklidir: Bu, *fizik-kimya-biyoloji* üçgenine dayanan daha özerk bir yapıya sahip, bazı pilot hazırlık sınıfları açmak olacaktır. Bunlardan on kadarı Paris'te, on kadarı da taşrada bulunabilir; ilgili kişilerin görüşlerine başvurularak hazırlanan ders programlarıyla beraber iyi niyetli öğretmenlerle –bunların bulunacağından eminim– bu sınıflara canlılık kazandırılabilir. Böylece önemli bir başarı elde etmiş oluruz. Ancak bu uygulamanın belli bir kararlılıkta sürdürülmesi de gerekiyor; yeni bir hazırlık sınıfının etkisinin, sanayi çevrelerinin tepkisinin, burardan çıkacak mühendislerin üretkenliğinin değerlendirilmesi aşağı yukarı on yıl alacaktır.

Bu aşamadan sonra da, bu denemeden ders çıkarma ve belki de sınavların kaldırılmasını sorgulama zamanı gelecektir. Kuşkusuz, seçim için yazılı bir deneme, adayların belli bir temele sahip olduklarının saptanması için basit bir eleme testinin yapılması gerekecek. Daha sonra ise her şey sözlü etkileşimler çerçevesinde gerçekleşecek. Bu noktada, Fransız Jeokimya Okulu'nun kurucusu Claude Allègre, ilginç bulduğum bir öneri ortaya

attı; onun düşüncesine göre, her öğrenci gerçekten sevdiği bir, iki konu belirleyecek ve yalnızca bunlar hakkında kendisine sorular sorulacak. Böylece sahip olduğu toplam bilgilere göre değil de daha çok yetenekleri doğrultusunda değerlendirilecek. Ancak bu yöntemin de olumsuz tarafları var. Bazı eğitimcilerin de dikkatimi çektikleri gibi, bu yöntemi bilen öğrencinin her zaman kazançlı çıkacağı biçimde, liseden itibaren salt bir, iki konu üzerinde yoğunlaşmasından ve sadece bunları derinlemesine öğrenmesinden korkulur. Öğrenci topluluğu her zaman sınava karşı –hatta yeni bir sınav şekli bile olsa– önlemler bulmaya hazırdır.

Bazı önemli Amerikan üniversitelerinde verimliliği kanıtlanan diğer bir yöntem ise söyleşidir. Bu sistemde, sözlü sınavın yerine havadan sudan, yani önemsiz şeylerden bahsedilmektedir. Bu da bana göre iyi işleyen bir seçim biçimi olmakla beraber zor bir uygulamadır; motivasyonu olan, hatta şevkli kişilerden oluşan bir jüri gerektirir. Üstelik, bu çalışma uzun sürdüğü için insanların vakti müsait olmalıdır.

Geleneksel sınavların içeriğini belirleyen önemli okullara gelince; bunların seçim sistemlerinde kendi kendilerine reform yapacak yeterliğe sahip oldukları konusunda fazla iyimser değilim. Bu okullardaki ortam müthiş otoriterdir (her okul kendinden son derece emindir).

Sonuç olarak, hükümetten uygulayıcılara kadar uzanan ağacı yukardan aşağıya doğru sallamadan hazırlık sınıflarındaki sisteme nefes aldırmak, en azından sınav yönteminde bazı düzenlemeler yapmak mümkün olmayacak. Bu da çok çalışma ve sabır gerektiriyor.

Fakülteleri “güçlendirmek”?

Daha önceki bölümde belirtilen nedenlerden dolayı üniversite sistemi beni şaşkına çeviriyor. Ancak yine de bazı öneriler getirilebileceğini düşünüyorum:

1) Yalnızca araştırmalarla ilgilenmeleri için değil, aynı zamanda endüstri çevrelerine de yönelmeleri amacıyla öğretim görevlilerinin ve doçentlerin yedi yılda bir, bir yıl boyunca ders vermemelerinin sağlanması yararlı bir girişim olabilir. Görece uzun bir dönemde (bir yıl?) üniversite hocalarının endüstri ortamına girmeleri son derece dikkate değer bir ilerlemeye yol açacaktır. Ancak burada, sistemden kaynaklanan büyük bir zorluk görülmektedir: Genç bir öğretim görevlisine en sevimsiz olarak tanınan dersler verilmekte, daha sonra yıllar geçtikçe o, belki daha özendirici bir derse kavuşmaktadır. Kendisi, bir yıllık iznini kullanmak üzere üniversiteden uzaklaştığında bu ayrıcalığını yitirme tehlikesiyle karşı karşıyadır. Hakkını kaybetmemesi için başlangıçtaki konumuyla okula geri dönmesi sağlanmalıdır (dersleri bir yıl süresince başkaları tarafından sürdürülebilir).

2) Öğrencileri daha da güçlü kılmak ve ayaklarının daha sağlam yere basmasını sağlamak amacıyla, tek tek soru yönelterek baskı uygulamak yararlı olabilir (sınıfta bir öğrenci “ateş altındayken” geri kalanların uyukladığı bir çalışma düzeninde böyle bir şey söz konusu değildir!). Örneğin, tahta dörde bölünerek dört öğrenciye bir saat boyunca dört farklı soru sorulur; bu sırada, öğretmen de onları denetleyerek, tahtaya yazdıkları yanıtlarla ilgili olarak her an müda-

halede bulunabilir ve böylece ipin ucunu kaçırmalarını engeller. Bu tür bir “çimento” bireysel ilişkilerin kurulmasını ve öğrenciye iyi çalışmadığının hissettirilmesini sağlar. Ancak PC’de bile bu tip bir uygulamayı gerçekleştirememenin sıkıntısını yaşıyoruz.

3) İdeal olan, eğitimi *etkin duruma getirebilmek* ve öğrenciyle öğretmen arasında teke tek doğrudan bir diyalog sağlayarak bireyselleştirmektir. Ancak bu girişim fazla zaman, enerji ve personel, dolayısıyla çok para gerektirir.

PC’de Lucien Monnerie’yle beraber şatafath bir şekilde “özel öğretmenlik” olarak adlandırdığımız bir sistem oluşturduk; bu yöntem İngilizlerdeki “tutoring” (özel öğretmenlik, danışmanlık) kavramından esinlenmesine rağmen mali sorunlar nedeniyle onlarınki kadar mükemmel sayılmaz. Oxford’da (ve daha sınırlı ölçülerde Cambridge’de ve Londra’daki Imperial College’da) her öğrencinin okul döneminde haftada bir ya da on beş günde bir danıştığı, bilimsel konularda kendisine destek veren bir öğretmeni vardır... Bu danışmanı ona sorular sorar, okuması için kitaplar önerir, öğrenci kendisini biraz fazla koyverdiğinde alarm zilini çalar. Bu kişi, hem itici güç hem de uyarıcı rolünü üstlenir.

Bizde bire bir temas kurmak mümkün değildi. Bu nedenle bire dört sistemini yerleştirdik; her danışmana dört öğrenci verildi. Özel danışmalarımızı okul içinden olduğu gibi dışardaki genç araştırmacılar arasından da (Montagne Saint-Geneviève’den) seçtik. Bu mükemmel bir katkı sayılabilir çünkü bizim okul da diğerleri gibi kendi duvarları içinde yaşamaya eğilimlidir.

Böylece kütüphane (iyi donanmış, klasik, geniş ve o zamana kadar biraz boş) birdenbire insanlarla doldu. Ancak bu yöntem, bire dört oranı nedeniyle zaman içinde eskidi. Şu anda, danışmanlık hizmeti verilen dört öğrenci arasında biri hevesli görünüyor; diğer ikisi yeterince ilgili (yani, kendilerinden öncekilerin üzerinde çalıştıkları konunun fotokopilerini almakla yetiniyorlar), sonuncusu ise hiçbir şeyi umursamıyor... Bu sorunu aşabilmek için bire bir sistemini oluşturmak ve bunun bedeline katlanmak gerekiyor.

Bu derece önemli pedagojik bir yenilik bir günde gerçekleştirilemez. Özel danışmanlık kurumunu oluşturmamız üç yıl sürdü: Bir yıl İngiltere'deki anket, bir yıl öğretmenlerin bu alanda yetiştirilmeleri ve bir yıl da sistemin uygulanması için harcandı. Bu arada, öğretimde de temizlik yapma fırsatı doğdu. Başlangıçtaki içeriğin yaklaşık olarak % 30'u çıkarıldı. Bu düzenlemenin her on beş yılda bir yapılması gerektiğine inanıyorum. Kültür hacmi inanılmaz bir şekilde arttığı için bazı şeyleri çıkarmak ve aynı zamanda, tabii ki, eklemek de gerekiyor. Ancak genellikle en olgun konular ayıklanabilir çünkü bunlar basitleşmektedir. Örneğin, atomların yapısı ve periyodik tabloyla ilişkisini ele alalım; bu, gençliğimde her zaman, üstünkörü bir biçimde değil de son derece karmaşık diferansiyel denklemlerle açıklanırdı; oysa çok basit simetri kuralları ve bazı basit korunum yasalarıyla kavranabilir.

Eğitim çoğu kez ayrıntılar içinde kaybolmaktadır. Üniversitede kimya derslerine başlandığında atomların yapısı anlatılırken zavallı öğrencilere, yirmili yıllardan kalan ve yüzyılın ba-

şında spektroskopçuların tayflarını ayarlamalarını sağlayan deneysel ya da yarı-deneysel bir kural yığını zorla benimsetilmeye çalışılır. Bu bilgiler, günümüzde artık hiçbir kimyacının işine yaramamasına rağmen fakülte programından çıkarılmıyor...

Yolculuk gençleri eğitir; ama çok sonradan

Öğrenciler günümüzde hazırlık sınıflarının ve fakültelerin dışında Avrupa'nın açtığı üçüncü bir yolu da izleyebilirler. Bizim alanımızla ilgili olarak bu olanak göz ardı edilemez. Örneğin, çok iyi İngiliz üniversiteleri var; bunun mutlaka Oxbidge olması gerekmez; Bristol ya da Imperial College da bizimkinden çok daha dengeli bir eğitim sunmaktadır.

Bu aşamada, Avrupa'nın birleşmesi hakkında da bir, iki söz söylemek istiyorum. Politik düzeyde, Maastricht antlaşmasının imzalanması sırasında bundan çok söz edildi (son Avrupa seçimlerinden daha çok). Bilimsel alanda ise araştırmacılar, günlük yaşamlarında, hem de uzun bir süreden beri bir birlik oluşturmaktadırlar. Bir dergiye gönderilen yazı önce Avrupa'daki –ve diğer ülkelerdeki– pek çok meslektaşımız tarafından okunacaktır. Aramızda bilgi dolaşımı çok çabuk sağlanmaktadır. İnsanlar birbirlerini davet ederek tanışmaktadırlar. Ulusal sınırlar bilgilerin yayılmasında fazla önem taşımazlar. Bizim araştırmacılarımız tezlerini verdikten sonra (yirmi yedi yaşında) çoğu zaman en az bir, iki yıl çalışmak üzere yurtdışına gitmektedirler.

Avrupalı hükümetler öğrenci değiş tokuşunu daha erken dönemde gerçekleştirme, gençleri eği-

timleri sırasında yabancı ülkelere gönderme eğilimindedirler. Bu kadar genç yaştaki öğrencilerin başka ülkelere gönderilmesinin düşünüldüğü kadar yararlı olduğundan emin değilim. Bu durum en azından sağın bilimler için geçerli (ticaret okullarında görünürde bu sistem daha iyi işliyor). Bizim alanımızda öğrenci, alışkın olmadığı bir ortamda kendisine gerekli olanı alma, gerek-meyeni atma olgunluğuna kolay kolay erişemez.

Yeni sancaklar

Doğal olarak, eğitimle ilgili tartışmalar pedagojik çerçeveyi aşan soruları gündeme getirmektedir. Batı toplumlarının en büyük sorunu gençlere, konfor ya da eğlence gibi vasat hedefler sunmaktır. Birinci gereksinim, toplumda belli bir ortak atılımı sağlayacak eksenlerin belirlenmesidir. Bana göre iki eksen var: Bunlardan birincisi *bilgi etiği* (eskiden Jacques Monod tarafından savunulan), ikincisi ise *dünya çapındaki dayanışma* üzerine kurulan eksendir. Bizler, dayanışmayı genç kuşaklarımız için bir meşaleye dönüştürmeyi başaramazsak otuz yıl içinde evrensel bir çatışmaya doğru gidecek ve her şeyi kaybetmiş olacağız.

Etik ve dayanışma

Etik ve dayanışma ortak noktalara sahip iki eksendir. Araştırma, teknik ve eğitimde ortak paylaşım olmadan Kuzey-Güney arasındaki büyük dayanışma hareketi, herkesin ağzında dolaşan bir dilek olarak kalacaktır. Bu gözlem, üniversite hiyerarşisinin zayıf yönlerini ele alırken, sessizce geçti-

ğim bir noktaya değinmemi gerektiriyor: Üniversitelerimizde sunulan eğitim gelişmekte olan ÷lkelere –BM'in terminolojisiyle Geliřmekte Olan ÷lkelere (GOÜ)– bütünüyle uyumsuzdur; oysa buralardan bize gelen öğrenci sayısı oldukça yüksek. Bu öğrencilere, ÷lkelerinin gelişmesine katkıda bulunmaları için gereksinim duydukları bilgilere uymayan çok fazla üst düzeyde bir eğitim sunuyoruz.

Çok somut bir örnek ele alacağım. Geçmişte Fransa'nın, Peru'da bir nükleer rezonans laboratuvarı kurma gibi iyi niyetli bir girişimi oldu. Bu üstün nitelikli ve güzel spektroskopik teknik, büyük aygıtlar (bir Latin Amerika ÷lkesinde bunları işletmek zordur) ve uzmanlık gerektiren bir iştir. Gümrük, yedek parça, bakımı yapacak yeterlilikte teknisyenlerin olmaması gibi sorunlar vardır... Oysa Peru'nun gereksinimleri muhtemelen farklıydı; bu ÷lkeye daha çok mineral kimyayla ilgili, madenlerin işletilmesi ve ulusal ürünü değerlendirmeye yönelik IUT düzeyinde bir öğretim daha büyük yarar sağlayacaktı.

Az gelişmiş ÷lkelerden eğitim için gelen ve kendi memleketlerinde kullanamayacakları bilgi ve teknikleri edinen pek çok öğrenci Fransa'da kalmayı yeğlemektedir; doğdukları ÷lkelere dönenler ise genellikle, gelişme yolunda olan ekonomik düzene uymayan araştırma ya da teknoloji yöntemlerini oraya yerleştirmeye çalışmaktadırlar.

Bu bağlamda, eğitim sistemi tepeden tırnağa yeniden değerlendirilmelidir. Üstelik bu çalışma yalnızca Fransa'da değil tüm gelişmiş ÷lkelerde yapılmalıdır. Ortak bir Kuzey-Güney projesinin hayata geçirilmesi için gereken koşullardan biri budur; aynı zamanda bu ortak hareket, bir ara-

da yaşamayı başarabilmemiz için bir umut mesajı da olabilecektir.

Bilimsel alışveriş soğuk savaşın gerginliğine, ekonomik, kültürel ya da dinsel ayrılıklara karşın açık tuttuğu köprüler sayesinde bu ortak atılımı doğru yönlendirebilir. Bilimsel iletişim, görünürde her şeyin engellediği insanlar arasında temas sağlayabilmektedir. Bu, dayanışma ruhunun oluşturulmasına katkıda bulunmak için sahip olduğumuz ender harçlardan birisidir.

Bir okul mühendislerine ne önerir? Yaratıcı olmak, Fransa gibi eski ve gelişmiş ülkelerin belli bir ekonomik üstünlüğü koruyabilmeleri için yeni yöntemler bulmak. Kendi yetersizliklerimizin ve sürüp giden yoksulluk sorununun belki haklı gösterdiği, geçerli ama biraz miyopça bir yaklaşım. Rönesans dönemindekine benzer bir coşku yaratacak türden bir şey hiç değil.

Onları harekete geçirecek projeler bulunmadığı için toplumlarımız milliyetçi, ideolojik ya da dinci softalıklar içinde sıkışıp kalıyorlar. Bazı çevreci akımlar da Manikeizmi çağrıştıran yaklaşımları (bu İyi'dir, şu Kötü'dür), engizisyoncu tavırları hatta kendi içlerinde mezhep kavgaları ile adeta dinsel bir özelliğe bürünüyorlar. Toplumlarımız basit paçavralar olmayan sancaklar bulmakta zorlanıyorlar.

Daha önceki uyarımı burada da tekrarlamaya gerek görüyorum. Doğurganlık sorununa karşı önlemler alınmadığı sürece çevreyle ilgili sorunları çözümlmek hiçbir işe yaramayacaktır. *Nüfus sorunu genç kuşakları tehdit eden başlıca etkidir.* Bu soruna el atmamak, katliamın ve açlığın sağlayacağı dengeyi kabul etmek demektir.

“Biz, diğer uygarlıklar, şimdi ölümlü olduğumuzu biliyoruz*”

Gelişmiş toplumların yaşam biçiminin kararlı olduğundan –burada fizikçi diliyle konuşuyorum– pek emin değilim.

Günümüzde radyoastronomi alanındaki olanaklar ve bu konuda otuz yıl gibi nispeten kısa bir zaman dilimiyle kısıtlı çalışmalardan, Evrende başka yerlerde organize bir yaşamın bulunduğu izlenimini yaratan hiçbir sinyal bize ulaşmamıştır. Bu nasıl açıklanabilir?

Evrende sayısız gezegen sisteminin bulunduğu (dolaylı gözlemlerle) yönündeki düşünceler gittikçe daha çok kesinlik kazanmaktadır. Bu sistemlerin çoğunda, bizimkinden fazla uzak olmayan bir yaşam biçiminin görünmesine uygun kimyasal koşulların (az çok yumuşak madde) egemen olabileceği göz ardı edilemez. Ancak bizim bu konuda bilgimiz yok. Niçin? Dünya üzerindeki yaşam, milyarlarca yıldan beri var olan genetik bir kod üzerine kuruludur; oysa bizler, radyo sinyalleri göndermeye ancak yüz yıl önce başlayabildik. Bir milyar yıl yüz yıllık zaman dilimiyle karşılaştırıldığında bu süreç, tarihimizin yalnızca on milyonda birini temsil etmektedir. Kısacası, sinyal vermeye başlamamız son derece kısa bir dönemi kapsamaktadır.

Asıl soru, uygarlığımızın *sürekli* mi yoksa özünde *kararsız* bir görüngü mü olduğunun bilinmesidir. Sürekli bir görüngü söz konusuysa ve bir milyar yılın bir kesiri boyunca sinyal gönderimi devam edecekse, diğer gezegenlerde de aynı

* P.Valéry, *La Crise de l'esprit*, 1919.

durum geçerli olmalı. O halde niçin diğer gezegen sistemlerine ait uygarlıklardan hiçbir radyo sinyali almıyoruz?

Belki de, gelişmiş (ve sinyal verebilen) bir uygarlık özünde dengesiz bir görüngü oluşturabilir ve belli bir bilgi ve iletişim düzeyi kaçınılmaz olarak çözölemeyen ve yıkıcı iç çatışmalara yol açmaktadır. Bu çok kısa zaman diliminin de –yüz milyar yıl içinde yüz yıl– sinyal veren döneme rastlamama tehlikesi vardır. Diğer yaşam türleri var olmalarına rağmen bu süreçte sinyal gönderemedilerse bu uygarlıkların saptanması çok zayıf bir olasılıktır.

Jacques Monod tarafından ortaya atılan bilgi ideali (bu idealin toplumun tüm kesimlerine paylaştırılması zordur) ve dünya çapında bir dayanışma sağlama düşüncesi, istikrarlı bir uygarlığa yönelmemiz için yeterli midir? Bu sorunun yanıtını çocuklarımız verecek.

Son Notlar

Bu tartışmaları yeniden okurken nostaljik bir duyguya kapılıyorum. Bu dönemi kapattığım için üzgünüm. Çok az şey söyleyebildiğim, genellikle sorulara yanıt verdiğim için üzgünüm. Özellikle de, araştırmacı olarak bizlerin sıkıntı ve sevinçlerini gerektiği gibi dile getiremediğimden dolayı pişmanım. Deneyin yolunda gitmediği, her şeyin altüst olduğu uzun aylar ve yıllar; ya da bir türlü basitleşmeyen, arınmayan, sıkışıp kalan kuramsal bir tanıma karşı yürütülen savaşlar –bu savaşlar bana, krizalitin emek isteyen sıkıntılı bir dönemden sonra çatlayarak açılmasını çağırıştırır. Ayrıca kuşkuları da hesaba katmak gerekir: bu sorun gerçekten önemli mi? Arkadaşlarımızı bu konuda çalışmaya özendirmeli miyiz?

Ayrıca, bazen de, her şeyin yoluna girdiği ve gizem duvarının yıkılarak manzarayı görünür kıldığı o olağanüstü anlar –bu manzaranın mutlaka Annapurna* olması gerekmiyor; bu, şimdiye kadar hiçbir ressamın çizemediği *Toscane*'in küçük bir tepesi de olabilir.

Öte yandan, daha yolun başındayken tanıdığımız bir fizikçinin tek başına yürüdüğünü ve hatta rehberinden daha çabuk tırmandığını görmek de büyük bir mutluluktur! Ya da gözünü açan bir meslektaşımızın birdenbire yeni, ama deneyimle-

* Himalayalar'ın bir tepesi. (ç.n.)

rine tam anlamıyla uygun bir sorunla yepyeni bir kıvılcımı yakalaması olağanüstü bir duygudur.

Hollanda'da fiziğin en büyük ustası olan H. Casimir bana eskiden şöyle demişti: "Hemen hemen her yaptığımız kuma yazılmakta ve rüzgârın etkisiyle silinmektedir. Ancak yine de, belki birgün, üzerine daha kalıcı bir, iki şey yazabileceğimiz metal bir levhamız olur."

İşte, bu kitap da kuma yazıldı. Ama plaj güzel ve orada yürümüş olduğum için pişman değilim.

Sözlük

1. Bakınız [1a] atom, [1b] molekül, [1c] makromolekül ya da polimer.

1a. ATOMLAR

Madde, atom olarak adlandırılan elementlerden (ya da “tuğlalar”dan) oluşmuştur. Yalnızca doğada 92 farklı element (ya da 92 tür atom) vardır. Daha basit bir tanımla, bu atomlar kürelere benzetilebilir. Bu kürelerin yarıçapı çok küçüktür; uzunluğu 1-2 angström arasında değişir; hidrojeninki ise 0,4 angström'dür (bakınız [2]).

1b. MOLEKÜLLER

Bazı atom türleri serbest halde bulunurlar (örneğin asal gazlar, argon, kripton...) fakat bu atomların çoğu birbirini çeker ve genellikle oldukça sağlam gruplar oluşturur; bunlar molekül olarak adlandırılır.

Moleküller ikiye ayrılırlar:

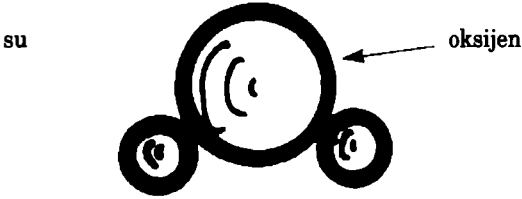
- Aynı atomlardan oluşan moleküller, örneğin:

hidrojen



H₂ olarak yazılır

- Farklı atomlardan oluşan moleküller, örneğin:

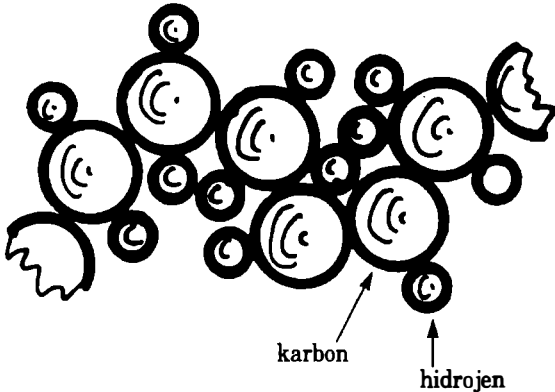


Bu, H_2O olarak yazılır (iki hidrojen atomu ve bir oksijen atomu)

1c. POLİMER, MAKROMOLEKÜL (uzun zincirli moleküller)

Polimer molekülü (Yunancada “pek çok parçadan” anlamında) ya da makromolekül (Yunancada “büyük, uzun” anlamına gelen makro) atom gruplarının (ya da sıralarının) birbirine eklenmesiyle oluşan moleküldür. Bu grupların sayısı oldukça yüksektir (1000, 10.000...).

Örneğin, polietilen



Bu $-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-$ olarak yazılır.

2. ANGSTRÖM

Angström, genellikle mikrofizikte kullanılan bir uzunluk birimidir. Bir metre için 10 milyar angström gerekir. Atomların boyu angströmle belirtilir.

Nanometre (1nm olarak yazılır) metrenin milyarda biridir (1 milyar = 1000 milyon).

Mikrometre (1 μ m olarak yazılır), eski adıyla mikron, milimetrenin binde biri ya da metrenin milyonda biridir.

3. İLETKENLER, YALITKANLAR, YARIİLETKENLER

Kullanılagelen katı maddeler, elektrik akımının geçişine karşı oluşturdıkları düşük ya da yüksek dirence göre ayırt edilirler.

Metaller elektriği kolayca iletirler. Metallerin sıcaklığı düştüğünde dirençleri de azalır. Örneğin: bakır, alüminyum.

Dielektrik olarak da adlandırılan yalıtkanlar elektriği hemen hemen iletmezler. Örneğin, cam, sıvı yağ...

Katı maddelerin üçüncü kategorisi olan yarıiletkenler ise elektrik akımını hafifçe iletirler. Bunların direnci büyük ölçüde kimyasal bileşimleriyle ilintilidir.

Buna örnek olarak silisyum verilebilir; düşük oranda iletken olan silisyumun, bor ya da fosfor gibi az miktarda katışık olması durumunda iletkenliği artar. Metallerin tersine, sıcaklık arttığında yarıiletkenlerin direnci azalır.

Yarıiletkenlerin özellikleri temelde tüm modern elektronığın yapısını yansıtmaktadır.

SÜPERİLETKEN, SÜPERİLETKENLİK

Bir metalin sıcaklığı düşürüldüğünde direnci genellikle yavaş yavaş azalır. Bazı durumlarda (kurşun, niobium-titan alaşımı vb.) bu direnç belli bir sıcaklığın altında *yok olur*. Böylece cisim süperiletken bir nitelik kazanır.

4. ELEMENTLERİN PERİYODİK CETVELİ (ya da periyodik sınıflandırması)

19. yüzyılda atomlar “tartılabilirdi”. Bir element atomunun ağırlığının hidrojen atomunun ağırlığına oranı bu elementin atom ağırlığıdır (hidrojen atomu tüm diğer atomlar içinde en hafifidir). Örneğin, oksijenin atom ağırlığı 16’dır.

Aynı dönemde, bazı atomların benzer fiziko-kimyasal özellikler taşıdıkları gözlemlendi. Bunlar bir tür grup oluşturmuyorlardı.

Rus kimyacı Mendeleiev, o çağda bilinen tüm elementleri kapsayan 8 sütunluk bir tablo oluşturmayı düşündü. Her sütun bir gruba denk düşüyordu. Mendeleiev, tablonun her sırasında ve her sütununda elementleri atom ağırlıklarına göre en küçükten en büyüğüne doğru sıralayarak yerleştirdi.

Başlangıçta sayısız boş hane içeren bu tablo, boşluklara tam olarak uyan atomların bulunmasıyla yavaş yavaş doldu. Bu tablo, bazı olguların önceden belirlenmesinde önemli bir rol oynadı. Otuzlu yıllardan itibaren kuantum mekaniği, bu sınıflandırmanın –çekirdek çevresinde, birbirini izleyen elektron katmanları üzerine kurulu– kavranmasını sağladı.

5. FİSYON, FÜZYON

5a. FİSYON

Fazla enerjik olmayan ve atom ağırlığı 235 olan uranyum yavaş bir nötron* tarafından bombalandığında paramparça olur. İşlem sonunda, daha düşük ağırlıklı iki atom, 3 nötron ve enerji ortaya çıkar. Önemli ölçüde yavaşlayan nötronlar, başka uranyum atomlarını parçalayabilirler; bunlar da sırasıyla diğer nötronların oluşumuna yol açarlar... Bu, zincir halinde bir tepkimedir. Buradan elde edilen enerji türbinleri besler. Bu, “nükleer” santrallerde kullanılan enerji türüdür.

5b. FÜZYON

İki “hafif” çekirdek (örneğin, iki hidrojen atomu) “birleştirilerek” bir tek atoma dönüştürüldüğünde, büyük miktarda enerji elde edilir.

Bu tepkime “hidrojen bombasında” denenmektedir. Füzyonun bir enerji kaynağına dönüştürülmesi için kontrol edilmesine çalışılmaktadır.

* Atom çekirdeğini meydana getiren unsurlardan biri olan nötron “temel” bir parçacıktır.

Teşekkür

Bu kitap, P.G. de Gennes'in çeşitli kurumları ziyaretleri sırasında yapılan görsel-işitsel kayıtlara dayanmaktadır.

Kayıt işlemlerini gerçekleştiren ve bu bantları bize ödünç veren (çok uzun bir süre için) amatör ve profesyonel çalışanlara, video klüplerine ve bu girişime ön ayak olan, aşağıda adı geçen okul müdürlerine, öğretmenlere, belge toplayanlara ve lise öğrencilerine çok teşekkür ederiz.

Alain Lisesi (lycée Alain) - 78110 Le Vésinet
Arsonval Lisesi (lycée d'Arsonval) - 94100

Saint-Maur

Guez-de-Balzac Lisesi ve video kulübü (lycée Guez-de-Balzac et son club vidéo) - 16000

Angoulême

Claude-Bernard Lisesi (lycée Claude-Bernard) -
75016 Paris

Chateaubriand Lisesi (lycée Chateaubriand) -
35000 Rennes

Marcel-Dassault Lisesi (lycée Marcel-Dassault) -
17300 Rochefort

L.R.-Duchesne Lisesi (lycée L.R.-Duchesne) -
78130 La-Celle- Saint-Cloud

Jules-Fil Lisesi (lycée Jules-Fil) - 11000
Carcassonne

Fulbert Lisesi (lycée Fulbert) - 28000 Chartres
Guadeloupe'taki liseler (Fouillole kampüsünde toplantı)

Martinique'deki lise ve kolejler (Lamentin'de ve Schoelcher kampüsünde toplantılar)

Notre-Dame Lisesi (lycée Notre-Dame) - 78000 St-Germain-en-Laye

Notre-Dame-de-Bury Lisesi (lycée Notre-Dame-de-Bury) - 95580 Margency

“Auteuil yetimler ve çıraklar” Lisesi (lycée “Les orphelins et apprentis d'Auteuil”) - 75016 Paris

Les Pierres-Vives Lisesi (lycée Les Pierres-Vives) - 78240 Carrières-sur-Seine

De la Planoise Lisesi (lycée de la Planoise) - 25020 Besançon

Raynouard Lisesi (lycée Raynouard) (ve belediyenin iletişim servisi) - 83170 Brignoles

Auguste-Renoir Lisesi (lycée Auguste-Renoir) - 92600 Asnières

Ayrıca P.G. de Gennes'in konferans verdiği çeşitli kuruluşlara da minnettarız:

Mühendislik Komisyonu (Commission du Titre de l'Ingénieur)

Avrupa yapı gereçleri mühendislik okulu (Lorraine politeknik enstitüsü)

(Ecole européenne d'ingénieurs en génie des matériaux [Institut polytechnique de Lorraine]) - 54000 Nancy

Yüksek laboratuvar teknik okulu (Ecole technique supérieure du laboratoire) - 75013 Paris

Üniversite teknoloji enstitüsü (Institut universitaire de technologie) - 49016 Angers

Physis-Orbis, Fizik okulu öğrenci birliği (Physis-Orbis, association des étudiants de l'Ecole de physique) - Magistère de Grenoble (“Création

DS Vidéo Communication”) - 38000 Grenoble

Ayrıca öğretmenlerle yaptığımız üç verimli toplantıyı da unutmuyoruz:

19. bölgedeki ilkokul öğretmenleri 75019 Paris
Guadeloupe’da bilimsel dallarda çalışan öğretmenler

Lamentin’deki (Martinik) ilkokul öğretmenleri

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesini sağlayan herkese ve dinleyicilere en içten teşekkürlerimizi sunuyoruz.

1991 Nobel Fizik Ödülü sahibi,
sıvı kristaller ve polimerler üzerine yaptığı
çalışmalarla tanınan Pierre-Gilles de Gennes
Paris Üniversitesi'nde katı hal fiziği profesörüdür.

Kırılgan Nesneler,

Gennes'in lise öğrencileri ve öğretmenleri ile
gerçekleştirdiği bir dizi konferans
sonucu ortaya çıkmıştır.

Konferansların çıkış noktası
plastik malzemelerden, sabun kabarcıklarına
geniş bir yelpazeyi kapsayan yumuşak
maddelerdir. Ancak konuşmalarda temel
konunun sınırları büyük ölçüde aşılmakta,
astrofizikten eğitimin nasıl olması gerektiğine,
yeni buluşların kullanımından gelecekteki önemli
seçimlerimizin neler olacağına ilişkin
kamuoyunu yakından ilgilendiren ve
tartışılan konulara değinilmektedir.

Jacques Badoz, tüm konuşma metinlerini
gözden geçirmiş ve bir bütün oluşmasına
katkıda bulunmuştur.



ISBN 975-403-141-X



Fiyatı: 3.500.000 TL (KDV DAHİL)

Basılı fiyatından farklı satılamaz