ROLAND OMNÈS

KUANTUM FELSEFESİ



Çağdaş Bilimi Anlamak ve Yorumlamak

ALFA BİLİM

3127 | ALFA | BİLİM | 128

KUANTUM FELSEFESİ
Çağdaş Bilimi Anlamak ve Yorumlamak

ROLAND OMNÈS

Paris-Sud Üniversitesinde Emeritus Fizik Profesörü olan Roland Omnès, kuantum fiziğine katkılarıyla bilinen bir fizikçidir. Ayrıca felsefe camiasında da ünlü bir isimdir. *Kuantum Felsefesi* dışında yüzlerce makale ve çok sayıda daha teknik olan eserleri bulunmaktadır.

ERCÜMENT AKAT

Boğaziçi Üniversitesi Fizik Bölümü mezunu olan, yüksek lisans ile doktora eğitimlerini de aynı bölümde tamamlayan Dr. Ercüment Akat halen Yeditepe Üniversitesi Fizik Bölümü öğretim üyeliği görevini yürütmektedir. *Katıhal Fiziği Temelleri* adlı kitabı 2011 yılında TÜBA (Türkiye Bilimler Akademisi) tarafından Doğa Bilimleri dalında "Kayda Değer Eser" ödülü kazanmıştır. Einstein'ın *Göreliliğin Anlamı* eserini Türkçeye kazandıran Dr. Akat'ın ayrıca Fransızca ve İtalyancadan çeviri kitapları (*Matematik Masalları*, *İnsanlığın Kozmik Serüveni*, *Dünya'nın Yaşı*, *7'den 77'ye Satranç Öğreniyoruz*) bulunmaktadır.

Kuantum Felsefesi
© 2013, ALFA Basım Yayım Dağıtım San. ve Tic. Ltd. Şti.

Philosophie de La Science Contemporaine
© 1994, Editions Gallimard, Paris

Kitabın Türkçe yayın hakları Alfa Basım Yayım Dağıtım Ltd. Şti.'ne aittir. Tanıtım amacıyla, kaynak göstermek şartıyla yapılacak kısa alıntılar dışında, yayıncının yazılı izni olmaksızın hiçbir elektronik veya mekanik araçla çoğaltılamaz. Eser sahiplerinin manevi ve mali hakları saklıdır.

Yayıncı ve Genel Yayın Yönetmeni M. Faruk Bayrak
Genel Müdür Vedat Bayrak
Yayın Yönetmeni Mustafa Küpüşoğlu
Dizi Editörü Kerem Cankoçak
Redaksiyon Mehmet Ata Arslan
Kapak Tasarımı Füsun Turcan Elmasoğlu
Sayfa Tasarımı Mürüvet Durna

ISBN 978-605-171-455-4
1. Basım: Şubat 2017
2. Basım: Temmuz 2018

Baskı ve Cilt
Melisa Matbaacılık
Çiftehavuzlar Yolu Acar Sanayi Sitesi No: 8 Bayrampaşa-İstanbul
Tel: 0(212) 674 97 23 Faks: 0(212) 674 97 29
Sertifika no: 12088

Alfa Basım Yayım Dağıtım San. ve Tic. Ltd. Şti.
Alemdar Mahallesi Ticarethane Sokak No: 15 34110 Cağaloğlu-İstanbul
Tel: 0(212) 511 53 03 Faks: 0(212) 519 33 00
www.alfakitap.com - info@alfakitap.com
Sertifika no: 10905

ROLAND OMNÈS

KUANTUM FELSEFESİ

Çağdaş Bilimi Anlamak ve Yorumlamak

Çeviri
Ercüment Akat

ALFA | BİLİM

İÇİNDEKİLER

Önsöz, 7
Teşekkür, 9
GİRİŞ 11

1. Kısım
MİRAS, 21

I Klasik Mantık 25
II Klasik Fizik 43
III Klasik Matematik 70
IV Klasik Bilgi Felsefesi 87

2. Kısım
KIRILMA, 105

V Formal Matematik 109
VI Matematik Felsefesi 135
VII Formal Fizik 152
VIII Fiziğin Bilgi Kuramı 177

3. Kısım
FORMAL OLANDAN GÖRSEL OLANA: KUANTUM DURUMU, 191

IX. Mantık ve Fizik Arasında 195
X Sağduyuyu Yeniden Keşfetme 219
XI Ölçülebilenden Ölçülemeyene 232
XII Gerçekçilik Üzerine 254

4. Kısım
SORU VE PERSPEKTİF DURUMU, 277

XIII Yeni Bir Başlangıç 279
XIV Bilim Nedir? 289
XV Yöntem 299
XVI Kaybolan Görüş Açıları 315

Sözlükçe, 329
Dizin, 340

ÖNSÖZ

Bu deneme, kökenleri Francis Bacon'ın *Büyük Yenilenme* [*The Great Instauration*] adlı yapıtına kadar dayanan uzun bir yolu içeriyor: Bir gün bilim ilkeleri felsefenin bu ilkelerde temellerini bulabileceği şeylerin özüne ve ruhuna çok yakın olacaklar. Bu dileği biraz yumuşatalım ve yalnızca bilim felsefesinden söz edelim. Tersine, onu besleyerek, öyle bir günün geldiğini ve elinizde bu kitabın özetinin olduğunu söyleyelim. Bilgi kuramında (epistemoloji) yaşanan güncel krizden bizi çıkaracak yolu bulmanın zamanı geldi. Gerçekten de önümüzde bir kriz var, çünkü bilgi tarihindeki gelişmenin tersine, bilim üzerine olan felsefi düşünce yolunu yitirdi (ya da tıkanıp kaldı). Tam da bizim daha önce kapsam ve tutarlılık bakımından eşine rastlanmamış bir bilimin başarısını açıklamamız gereken zamanda, ünlü yazarlar yalnızca belirsizlikleri, sağlam ilkelere dayanmayan paradigmaları, yöntem eksikliğini, rastlantılara bağlı olan devrimleri görürler. Bu güçlüğe karşı koymak için ancak kuşkusuz daha bilge ama aynı zamanda gerekli panzehri sağlamaktan uzak olan eski düşünürlere başvurabiliriz, çünkü onlar için bilim olan şey, aradaki büyük gelişme nedeniyle, artık bizim için değildir. Bu krizin kökeni, bir kuşkunun gölgesinin ötesinde, kimsenin önemini tümüyle kavramadığı bir olayda, yani mantık, matematik ve fizik gibi temel bilimlerdeki formal yaklaşımdaki karşı konmaz patlamada bulunabilir. Sonuç olarak, bu dallar oldukça katı duvarlarla korundular, bu da bize bu konuların nelerden söz ettiklerini merak edenlerdeki kafa karışıklığı bir yana, onca yorumcunun serüven merakını da açıklıyor. Bu kitabın önemli bir bölümü, yalnızca

matematikte değil, aynı zamanda görelilik ve kuantum fiziğinin temellerinde, Evren, uzay ve parçacıklarla ilgili kuramlarda formalleşmeye doğru giden bu yükselişin üzerinden geçiyor. Bir denge unsuru olarak da, kitabın bir başka bölümü bu formalizmin nasıl yumuşatılıp, üstesinden gelineceğini gösteriyor. İzlenen yol kuantum mekaniğinin yorumundaki birtakım ilerlemelerle gösterildi. Bu ilerlemeler sayesinde felsefe ilkelerinin doğanın ilkeleriyle başka hiçbir yerde olmadığı kadar çarpıştığı bu alandaki birçok güçlük çözüldü.

Bu problemin çözümü yavaş yavaş ve kademeli bir şekilde, özel alanlardaki ve teknik sonuçlardaki çabalar yoluyla ortaya çıktı. Ama sonunda, her şeyin hayli basit olduğu anlaşıldı. Bilimin çoktan ayrıntılarına ulaştığı ilkeler; sağduyuyu yakalamak, bunun belli bir yönde gerekliliğini göstermek ve aynı zamanda hem onun hem de ondan türetilen birtakım felsefi "ilkeler"in sınırlarını belirlemek için yeterlidir. Böylece, formal olan yanlarına karşın, bilim yine geçirgen olan ve biz insanların dünyayı nasıl anladığını açıklayabilen bir bilgi kuramını da peşi sıra getirir. Bütün bunlar tam da gerçeğin doğasına ulaşan bir bilgi felsefesine bizi götürebilirler mi? Bilmiyoruz, çoktan şekillenmiş olan bu durumu görsek bile, hâlâ bu konuda düşlerin peşindeyiz.

TEŞEKKÜR

Zaman içinde pek çok kişi bana bu konuda esin verdi, yardım etti ya da yönlendirdi. O nedenle burada yalnızca bu sayfaları yazmakla geçen bütün o uzun yıllar boyunca sabır gösteren, eşim Liliane'a teşekkür edeceğim. Ayrıca bu kitabın eğitim dünyasının kilometre taşlarından biri olan Princeton Üniversitesi Yayınlarından çıkmış olmasından duyduğum mutluluğu belirtmek isterim.

GİRİŞ

Cehennemde sayılırdık ya da daha doğrusu Hades'teydik. Ortam hoştu ve ben de oraya biraz rastlantıyla girmiştim ama Kerberos'un "siz kimsiniz?" sorusu beni önce şaşırttı, neyse ki "Pan'ın çocuklarından biri" diye yanıtlayabildim. Mantıkta hiç kusur yoktu: Pan *faun*'ları* tasarladı, onlar da ne gerekiyorsa onu tasarladılar ve bunu da yalnızca kendi aralarında değil, yaygın biçimde yaptılar. Sonra basit bir hesap benim de onlardan geldiğimi doğrulayacaktı. Kerberos yalan söylemediğimi ve Lethe suyundan içmeden geldiğimi gördü. Böylece, bu gibi garip durumlar nedeniyle kendimi orada pişman bir şekilde, unutmadığım bir dünya hakkında konuşurken buldum. Pekâlâ bir toplantı gibiydi. Ama hepsi de Sokrates öncesi çağdan ve daha önce hiç görülmemiş olanı bulma peşinde olan felsefecilerdi.

"Dünyanın biçimi nedir?" diye sordu biri. Küre olduğunu söyledim, Parmenides buna katılırken, Herakleitos kaşlarını çattı. Bunu pek çok başka soru izledi, birbiri ardına ve hızlıca sorulduğu için şimdi tümünü anımsamıyorum. Herakleitos'a yanıt olarak Evrenin sürekli bir değişim içinde olduğunu ama bir başlangıcının olduğunu; Anaksimander'e dünyamızın sonsuz olduğunu, insanların gerçekten başka yaratıklardan doğduklarını ve sürekli bir gelişim içinde olan tek bir yaşam bulunduğunu söyledim. Leukippos'a ise atomları ve orada yuva kuran parçacıkları tanımladım. Pisagor sayıların dünyaya egemen olduğunu ve fizik yasalarının matematiksel biçimde olduklarını duyduğuna sevindi.

* Keçi bacaklı ve boynuzlu kırsal tanrı –çn.

"Matematikçi" dedi, "yeni misin?" Kendimi hiç utanç duymadan "bugün çoğumuz yeniyiz" derken buldum.

Ne kadar sürdüğünü bilmiyorum ama kendimi yorgun hissettim. Bunu yoğun bir düşünmeyle geçen uzun bir sessizlik izledi. Sonra ilk konuşan Demokritos oldu: Benim ürkek bakışım gözüne ilişince, "şimdi artık böyle geniş kapsamlı bir bilgi edinildiğine göre, insanlık felsefeye sahip olmuş demektir, yoksa yanılıyor muyum?" dedi. Kendinden emin görünmek için elimden geleni yaptım ve teknolojinin her yerini sardığı gezegenden, nüfus patlamasından ve bize daha önce hiç yaşanmamış böyle bir durumla baş etme olanağı sağlayabilecek değerleri arayış konularından söz ettim. Birkaç kişinin gülümsediğini ama pek çoğunun da kaşını çattığını gördüm. "Peki ya tanrılar ne olacak?" diye sordu biri, yanıt vermedim.

Bu noktada sorgulama başladı, ben de orasının bana artık eskisi kadar rahat gelmediğini fark ettim. Benim yargıçlar birbirlerine danışmak için sık sık ara verdiler ama bir yandan da beni sorularına yanıt vermem için sıkıştırdılar. Etikten her söz edişlerinde biraz geriledim, sonra onlar da konuyu değiştirdiler. "Bir barbar" dediklerini duydum, "hatta belki de bir tutsak ya da bir zanaatkâr."

Yanıt verdim: "Evet, bir zanaatkâr, şimdi hepimizin olduğu gibi. Dört yüz yıldır akıldan çok el sanatları aracılığıyla ortaya çıkan gereçleri kullandığımız çeşitli deneyleri yaparak doğayı kurcalıyoruz, bunca şeyi bilmemizin nedeni de bu zaten. Eğer size neden elimizdeki bilgiyi anlamada güçlük çektiğimizi söylersem belki bize yardımcı olmak istersiniz.

"Metapontum'da Pisagor'un müritlerinin hocanın korkunç merakını pek çok çalışma dalına ayırdıklarına benzer şekilde, bilimler de aramızda oluşmaya başladılar. Kimi kendini müziğe verdi, kimi matematiğe, hekimliğe ya da bitkilere, başka bir grup da göktaşları ya da dünyayı oluşturan maddeler üzerinde çalışmaya başladı. Biz uzmanız, gücümüz de lanetimiz de burada, hatta felsefecilerimiz de uzman." Üstümdeki gözlerde hiç acıma görülmüyordu. "*Ama bununla ilgili bir şey yapıyoruz*" diye ekleme yapmak durumunda kaldım.

"Böylece" diye sürdürdüm, "tam şu anda her şey değişiyor olabilir. Uzmanlarımız birbirleriyle iletişim halindeler, her

biri hem hoca, hem öğrenci sayılırlar. Bu sanki aklın kendi bütünlüğünü araması gibi bir şey. Bilgimiz öyle geniş, araştırma içinde olan kişi sayısı da öyle büyük ki, bilimler teker teker ortaya çıkıyorlar. Daha önce ulaşılmamış sınırlara doğru bir arayış var, uzmanlar bir araya geliyor ve şaşırtıcı gruplar oluşturuyorlar. Farklı ailelerden gelenler yeni gruplar oluşturuyorlar ve zorunluluktan ötürü, Agamemnon ile Priam yan yana çalışıyor. Yiyecek öyle bol ki, birlikte şenlik düzenliyorlar."

"*Çok güzel!*" diye bağırdı biri, "*peki ama neden yalnızca şimdi?*"

"Siz bilgelerin de iyi bildiğiniz gibi, insanlar kendi alınyazılarını denetleyemezler, böyle şeyler olursa da, bunun nedeni dayatılan koşullardır. Bu yalnızca şimdi oluyor, çünkü olağanüstü bir olay gerçekleşti, bilimin bir bütün olduğunu yeni keşfettik. Gülmeyin, belki bunu zaten, ama yalnızca içgüdüsel biçimde, bir dilek olarak biliyordunuz, oysa biz kendi bölünmelerimizi arkamızda bırakıyoruz.

"Ne olup bittiğini size göstermek için bir görüntüden yararlanayım. Her biri özel bir bilimin bir özelliği olan parçalara ayrılmış bir gerçeği (Evren, fizik, adına ne derseniz) düşünün. Her bir bilim bir yeri kazmakla, adına yasalar dediği kökleri yerden çıkarmakla uğraşıyordu. Önce, yalnızca ince liflerin birbirine karıştığı bir yumak vardı. Bu kazı işi ilerledikçe, ince kökler bir araya gelip daha kalın olanları oluşturmaya ve bir uçtan ötekine ulaşmaya başladılar. Birazdan kendi çizgilerinden çıkıp, komşu bölgelere uzandılar. Bugün, kuşkusuz daha tamamlanmamış, ama içinde aralarında büyük uçurumlar olmaksızın bulunan öğelerin uyumlu birlikteliğinden oluşan bir örgü söz konusudur. Hayır, Protagoras, bu yalnızca insan istencinin bir sonucu değil, başka bir şey. Bu bir gerçek, bir varoluş, belki de gözlerimizin önünde yapılanıyor.

"Ne zamandan beri diye soruyorsunuz? Uzun zamandır yapılmakta. Altmış yıldan uzun bir süredir fizik ve kimyanın kökenlerinin aynı yasaları paylaştığı biliniyor, biyolojinin kimya ve hatta fiziğin akınına uğraması da dün olmuş değil. Ama sıra uyum demek olan ve yalnızca bileşenlerin karşı karşıya getirilmesine indirgenemeyecek olan birlik bütünlüğe gelince,

doğumunu göreli şöyle bir kuşak kadar oluyor. İnsan ölçeğine göre dün sayılır, düşünce tarzının değişip, nerede olduğumuzu anlamak için ancak yetecek bir süre demektir."

"Bir Olan..." dedi Parmenides düş görür gibi. "Böylece size istenmeden geliyor. Siz ölümlüler bu birliği paylaşıp, bunu akıl yoluyla kavrayabildiğiniz için talihlisiniz."

"Felsefecisi olan talihli kentler" dedi, daha yeni uyanmış biri, "çünkü iyi yasaları var."

Sonra susturdular onu, ama sözleri benim rahatsızlığımı artırmıştı.

"*Aslında*" dedim, "*bu tam da bizim anlamadığımız şey.*"

Aniden patlayan çığlıklar, Demokritos'un sözleriyle kesildi: "Bu nasıl olur? Bugün biliyorsun, o nedenle de aklında net bir düşünce, tıpkı atomlar konusunda bende olduğu gibi, nesnelerin kesin bir görüntüsü var. Bu yüzden, en kolay iletişim yolu sözcükler aracılığıyladır. Evreni anlamak ve açıklamakla ilgili her şey bunlar değil mi zaten? Seni tutan nedir?"

"İzninle bunu bir arkadaşımın sözleriyle açıklayayım. 'Tembellik dışında hiçbir şey bir fizikçiyi biyolojide öncü olan düşünceleri anlamaktan alıkoyamaz' demişti, 'ama benim gibi bir biyolog için hiçbir şey çağdaş fizik ve matematikteki temel düşüncelerden daha anlaşılmaz ve karanlık değildir.' Başkalarının hissettiklerini ifade ediyordu ve o başkaları arasında belki de ilk sırayı felsefeciler alıyordu. Eğer arkadaşım fizikle böylesine ilgiliyse, bunun nedeni fizik yasalarının bir bakıma şeylerin özüne en yakın yasalar olmasıdır (başka biri de zaten bir başka bilim için bundan ötesini söyleyemez). Peki öyleyse sorun nedir? Her ne kadar kimi zaman "edebi" ya da "bilimsel" türde referanslar duyuyorsak da bu iş bir başka düşünme biçimi nedeniyle olamaz. Acaba bazı bilimlerde, bu anlamda müziğe benzer olanlarda ustalığa ancak genç yaşta mı ulaşılır ya da bunlar üzerinde çalışmak çok uzun zaman mı gerektirir? Hayır, bu başka bir şey. İnsan Demokritos'a kulak verince, fizikçiler kendi bilimlerini gerçekten anlıyorlar mı, yoksa fizikle yalnızca yapay bir yakınlıkları mı var, merak ediyor. Akıllarında hiçbir zaman Demokritos'un söylediği kesin net görüntü olmaz, bunun biraz parçalı bir hali olabilir, yani sezgisel bağlan-

tıların iç içe geçmiş parçalarını algılayabilirler ama tam bir görüş edinemeyebilirler."

Demokritos'u gücendirmiş gibi oldum. "Atomları neden aklınızda görmüyorsunuz?"

"Hayır. Onları gözümde canlandırmayı deniyorum ama başaramıyorum, fizik kavramlarını ve yasalarını ancak matematik doğru bir biçimde ifade edebilir. Pisagor bu fikri şaşırtıcı bulmayacaktır, ama korkarım matematik ve sayılarla ilgili olarak aynı şeyleri o da söylerdi. Yani bir şeyi anlamanın akılda o şey için duru bir görüntüyü, o şeyin keskin bir temsilini taşımayı gerektirdiğini ve o şeyin gösterim biçiminin, ancak onun kesinliğini doğrulayacağını o da kabul ederdi. Ben bu noktada ona katılmıyorum.

"Ancak yakın zamanda görülen önemli bir şeyden, yani bilimin aslında bir bütün olduğunun bulunuşundan daha önce söz ettim, ama bir başka şeyin bunun önüne geçtiğini de söyleyebiliriz. Geleceğe dönük birtakım belirtilere karşın, bu birdenbire oldu sayılır, çünkü biri on dokuzuncu, öteki yirminci yüzyılda olmak üzere, yalnızca iki çeyrek yüzyıl kadar sürdü. Birbirine yakın üç bilim, yani mantık, matematik ve fizik hemen hemen aynı dönemlerde bir dönüşüm geçirdiler. Ortak bir neden olmaksızın her üçü de görsel, temsil edilebilir bir yaklaşımdan, görüntüsüz, soyut, formal bir yaklaşıma geçtiler. İnsan, mantığın durumunu anlayabiliyor; zira o, kabul etmese de, her zaman formal olmuştu. Matematiğin, herhangi bir özel nesneyle değil de ancak özel bir içerikten bağımsız, saf bir bağıntıyla haşır neşir olduğu keşfedildi ve o nedenle bu bilimin artık gerçekle hiçbir göbek bağı kalmadı. Fiziğe gelince, onun kendini bir kez daha alınyazısına değilse de, egemen olan ortama bırakması gerekti. Uzay ve zamanın, aynı zamanda atomun doğasına ne kadar derinlemesine dalarsak, kendimize temel olarak kullanabileceğimiz somut kavramların artık 'görünmez' olduklarını, 'sözcüklerle' değil de, ancak saf bir matematikle ifade edilebileceklerini o denli iyi anlamış oluyoruz."

"Şimdi siz fiziğin ileri gitmek ve Evrene daha iyi ulaşmak için temelde matematiğe ve matematiğin gerçekten uzaklaş-

maya başladığı anda güvenmesi gerektiğini mi söylüyorsunuz?" diye soran biri sözümü kesti.

"Evet, tam da öyle diyorum. Kesin konuşmak için deneylerden ve sezgi denen kavramdan da söz etmeliyiz. Bu yüzden bilimin yöntemi hakkında pek çok şey söyleyebiliriz, ama kimilerimiz öyle şaşırmış ya da belki yolundan o denli sapmıştır ki, ortada bir yöntem olduğuna artık inanmazlar. Başka bir grupsa, bilimin yalnızca bir düşünme işi olduğu, çeşitli devrimlerle tümüyle dönüştüğü ya da uzmanlar arasında bir görüş birliğinden başka bir şey olmadığı savını destekler. Bir felsefeci, görüşlerinden vazgeçmelerle, beceriksizliklerle dolu olan bu entrikalar arasından nasıl olur da yolunu bulabilir?"

"Sakin olun", dedi kibar Parmenides, "bu insanlar sadece gizemlerin uygun zamanlarda çözülmesini beklemek için fazla sabırsızlar. Geçmişte bizim ne kadar uzun beklememiz gerektiğini düşünün. Kafanızı kurcaladıklarına göre, bize daha çok matematiğinizin ve fiziğinizin ne olma yolunda olduklarını anlatın."

"Çok güzel" dedim, "Aşağı yukarı böyle gidiyor. Bizim matematiğimiz tümüyle formalizme, simgelerle oynamaya, herhangi bir temsile başkaldıran aksiyomları kullanarak kurulmuş olan kavramlara dayalıdır. Matematikteki yapılar, kendisi de her parçasıyla formal olan bir mantık tarafından desteklenmektedir. Fizik kendi temel konularını, yani uzay-zaman ve maddenin temel parçacıklarını, ilkelerin ve temellerin aklın gözüyle temsil edilemez olduklarını kabul etme pahasına da olsa bulmuştur."

Konudan biraz uzaklaşmıştım. Yüksek sesle, "Bizim bilimlerimiz Homeros gibi kördür ve tıpkı onun gibi bütün Evrene açıktır," diye tamamladım sözlerimi.

Herakleitos araya girdi: "O zaman onlar Homeros gibi, sizin üç kuruşluk şiirselliğiniz gibi deli. Öyle ya da böyle, bana Kara Filozof diyorlar değil mi? Neden anlamanın yalnızca tek bir yolu olsun? Bunu hiç düşündün mü?"

"Evet, kimileri bunu düşünmeye başladılar" diye yanıtladım biraz duraksayarak. "Temel bilimlerdeki karanlığın kaçınılmaz olup olmadığını ve 'anlama' denen şeyin geleneksel sayılan yollar dışında da olup olmayacağını merak ediyorlar.

Yakın zamanda yapılan birtakım çalışmalar o yönü gösteriyor. Bunlar, maddenin en temel yasaları üzerine olan ve formal olmakla en çok gurur duyan bilimle, yani kuantum mekaniğiyle ilgili çalışmalar. Bu çalışmalar yazarları tarafından herhangi bir felsefi kaygı gütmeden, yalnızca kuramın kimi yanlarını aydınlatmak üzere ortaya atıldı. Ama hiç beklenmedik şekilde, bir bakıma hiç kimsenin araştırmadığı ve sizin de önerdiğiniz gibi, pekâlâ yeni bir anlama biçimi de üretebilirdi."

Sabırsız bir ses, "Normalde bilim bilgi üretir, ama aynı zamanda o bilginin doğasını nasıl etkileyebilir ve onu anlama biçimimizi nasıl değiştirebilir?" sorusunu sordu.

"Doğru" dedim, "bilgi felsefesinin bakış açısıyla neyin tehlikede olduğunu dikkatlice düşünmeliyiz. Kuantum mekaniğinin birtakım iyi tanımlanmış ilkeler üzerine oturduğunu bilmek önemlidir. Bu ilkeler birtakım deneysel verilere güvenilerek keşfedildiler ama bunların yarattığı sonuçlar hep çok önemli olmuştur. Bütün fen bilimlerinin temellerinin yeniden formülleştirilmesinin yolunu açtılar ve tümüyle yeni koşullar altında pek çok kez doğrulandılar. Bu ilkeler öyle büyük bir uyum gösterirler ki, daha önce hiç fethedilemeyen kalelere ulaşabiliriz. Yukarıda da söylediğim gibi, bunlar tümüyle *formaldirler*, yani bunlarla ilgili temel kavramlar matematiğe, gözlerimizin görebileceği ya da düş gücümüzün temsil edebileceği herhangi bir şeye, örneğin dalga fonksiyonlarına (daha beterleri de var) olduğundan daha yakındır. Fizik yasaları hiç kuşkusuz bu kavramların üzerine oturmuştur ve onların ifade ettiği maddesel özellikler matematik kurallarının biçimini alırlar. Başka hiçbir bilim bu anlamda daha *formal* olamaz."

"Anlaştık, ama bütün bunların felsefeyle ilgisi nedir?"

"Görüyorsunuz, bu yeni ve güzel oluşturulmuş yasalar felsefi doğası olan başka ilkeleri, oldum olası evrensel olduğu düşünülmüş *anlaşılabilme* (uzay ve zamanda ne olduğunu görebilme), *yerellik* (her şeyin belli bir yeri vardır), *nedensellik* (nedensiz sonuç olmaz) ve benzeri ilkeleri tümüyle çürütüyorlar."

Benim bunu dememle birlikte, yüzlerde meraklı bakışlar görülebiliyordu. Yalnızca Herakleitos mutlu görünüyordu. Demokritos şaşkındı ve duygu dolu bir sesle sordu:

"Peki, bundan kaçınmak için siz ne yaptınız?"

"Büyük bir bilim insanı, Niels Bohr oradaki düzenin korunduğunu gördü. Ama bunun için hayli yüksek bir fiyat ödemesi gerekti. Sağduyuyu ya da sizin doğal olduğunu düşündüğünüz ilkeleri geri getirmek yerine arkasına geçip düşünmenin yasak olduğu güvenlik direkleri dikti. Sonuç olarak, daha önce tartıştığımız felsefi sapmalar önlendi. Böylece, atomlardan söz ettiğimiz zaman onların konumları ya da hareketleriyle ilgili olarak herhangi bir şeyi ileri sürmekten kaçınmamız gerektiğini, ancak belirlenmiş birtakım matematiksel terimlerle konuşabileceğimizi söyledi. Felsefeciler de elbette tıpkı fizikçiler gibi, bu engelleri göz ardı etmek istediler, ama yasak eşiği aşma yolundaki tüm çabaları başarısızlıkla sonuçlandı. Nesnelerin ince eleyip sık dokuyan aklın merceği altındaki bu gerilemesini ifade etmek üzere kimisi örtülü bir gerçeklikten söz etti.

"Bohr'un getirdiği kısıtlamaları çözmenin bir yolu ancak yakın zamanda bulunabildi. Ama bunların yazarları bile neyi elde ettiklerini işin başında anlamamışlardı. Yararlandıkları formal yapıdaki gereçlerin bilgi kuramı bağlamında bir tür deprem yarattığını, bilgi sırasını tersine çevirdiğini ancak sonradan anladılar."

"Yani ne olmuş?" diye sordu bir ses sabırsızlıkla.

"İlk aşama yasaları ve bizim gerçekleri algılama şeklimizi yeniden ele almakla ilgili. Her zaman bilimin deneyden, sözcüklere kolayca dönüştürülen saf ve görünür gerçeklerden yola çıkarak ilerlediğini ve belki her zaman çok net anlaşılamayan ancak gerçeklerin yapay bir özeti olan ilkelere ulaştığını varsaydık. Yeni çıkış noktası artık deney ya da gerçek değil, onun yerine gözlerimizin algılayabileceğinden, sözlerimizin ifade edebileceğinden daha somut ve kesin olduğu düşünülen ilkeler olacak."

"Peki bu mantığa uygun mu?" diye sordu biri. "Kesinlikle. Bütün soru mantığa ve onun fiziksel gerçekle olan ilişkisine, dilerseniz düşünme problemine dayanıyor. Eğer dilin doğal mantığı hâlâ uygulanabiliyorsa, o zaman Bohr neden atom dünyası hakkında düşünmeyi yasaklamaya zorlandı? Hatta kimileri ancak köklerinden yoksun bir mantığın dış dünyayı

tanımlayabileceğini düşünüyordu. Ama yeni sonuçların getirilerinden biri kuramın ilkelerinden yararlanan ve sayesinde kuantum dünyasından kusursuz (ama formal) bir mantıkla söz edebileceğimiz uygun bir yapının varlığını göstermekti.

"Mantığın fizikteki kullanımıyla ilgili yeni bir ilkenin postüla olarak ortaya atılmasıyla pek çok soru daha basit bir hale gelir. Sonuç olarak, Bohr'un kısıtlamalarının kimilerinin, kesin söylersek bizim anlamamızı yasaklayanların konuyla ilgisiz olduğu ortaya çıkar. Temel düşünce, olanı farklı bir şekilde anlamaktır: Eğer mantığın kökleri aklımızda değil de gerçekte yer alıyorsa, o zaman aklımızın, neden hep düşündüğü şekliyle düşündüğü de açıklanabilir. Bugün genellikle aklın, görüntülerimizin geldiği dünya ve dilimizi oluşturan bileşenler gibi duyusal algılamalarımızla koşullandığı varsayılıyor. Ama algıladığımız dünya atomik dünya değil ve her ne kadar atomlardan oluşmuş olsa da, onlardan çok farklı özellikler taşıyan bu dünya su götürmez biçimde atomlardan çok daha büyük nesnelerden oluşuyor. Eğer bu büyük ölçekli dünyanın bütün özelliklerini fiziğin en genel ve soyut ilkelerinden yola çıkarak elde edebilirsek, geri dönüş tamamlanmış olur. Bizim dünyayı görüşümüz ve onunla birlikte giden sağduyu artık herkesçe güvenilen bir başlangıç noktası olarak değil, daha çok doğa yasalarının bir yan ürünü olarak görünecek. Geleneksel olarak felsefeyle özdeşleştirilen ilkelere gelince, bunların hangi bölgelerde hâlâ geçerli olduklarını gösterebiliriz (çünkü gösterim denen bir şey var). Onları pek özlemeyeceğiz, çünkü elimizde daha iyileri var."

"Kısacası" dedi Demokritos, "bilim kendine bir bütünlük sağladı. Formalizmin yükselişiyle birlikte o da karanlığa gömülmüştü, yolu bilgiye doğru geriye çevirince o da yeniden aydınlandı. Bir zamanlar zekânın bilgiden önce gelmesi gerektiğini söylemiştim, o nedenle işlerin böyle sonuçlanması beni ancak sevindirir. Her şey çok açık görünüyor. Yoksa yanılıyor muyum?" diye ekledi, benim onay vermekten çekindiğimi görünce.

"Bu özel bir durum. Şimdilik hiçbir şey kesin değil ve olası sonuçlar çok büyük olduğu için bizim de dikkatlice ilerlememiz gerekiyor."

"Şu anlaması zor şeyleriniz yetti artık! Sorun nedir?"

"Düşünce dünyası ile fiziksel gerçek arasında derin bir uçurum, geniş bir uçurum var gibi görünüyor. Bu gerçeğin en küçük ayrıntılarını açıkladıktan sonra sanki mantığın ve matematiğin gücü işin özüne ulaşmada yetersizmiş gibi bir durum var."

"Yani?"

"Kuram her zamankinden fazla bir şekilde *olasılıklara* ve rastlantıya dayalı, zira dünyanın mantıksal bir tanımının olabilirliği bugün bu olasılık kavramının üzerinde duruyor. O yüzden, kuramın özü neyin olabileceğinin bir tanımıdır, oysa gerçeğin özünün tek olması gerekir, bu nedenle de ikisi arasında bir uçurum bulunmaktadır. Belki de Husserl ve hayranlarınızdan biri olan Heidegger'in *Kartezyen* tasarı dediği 'Dünyanın kuramsal yoldan ve mantık ile matematiği kullanarak açıklanmasının' sınırlarına ulaşmışızdır.

Gürültülü kahkahalarla kesildim, bu Herakleitos'tu. "Engellenemez değişimin yalnızca sürekli durağanlık içinde, logos içindeki evrende sınırlı kalabileceğine inandığın için çok safmışsın" dedi. "Ben ve o (Parmenides'i göstererek) uzun zamandır birbirimize ters düşüyorduk ve sen de bunun yalnızca rastlantı olduğunu sandın. Ama belki de Efesliler kadar saf değilsindir ve eğer eşekler yulafı altına yeğ tutuyorlarsa sen de en azından yem torbasının dibini gördün. Hocası (kahin) Delphi'de olan tanrı konuşmuyor ya da gizlemiyor ama bir işaret verebilir ve bu da her şeyi anlamak ve sonunda düşüncenin o anki sınırlarını sorgulamak için bir işaret sayılır. Sizi gidi talihli ölümlüler, işte oradasınız ama yakınıyorsunuz, aslında ne kadar zengin olduğunuzun farkında değilsiniz. Ruhlarınızı şöyle bir temizleyin ve basit alışkanlıklarınızı bırakın. Hedef işte orada, erişebileceğiniz sınırlar içinde duruyor."

Parmenides'in Zenon'a "felsefeye yeniden ve en başından başlayacaklarını düşünüyor musun?" diye fısıldadığını, Zenon'un da yanıt olarak "bu güzel bir paradoks olurdu" dediğini duydum.

1. Kısım

MİRAS

BUGÜN EĞER felsefe ile bilim arasındaki bağları yeniden ele almamız gerekiyorsa bunun nedeni elimizde kırılmış bir yapı olmasıdır. Bilimlerin en temelleri, uzayla, zamanla, maddeyle uğraşanlar, Yunanların varlık bilimi (ontoloji) diyecekleri, sağduyunun ve geleneksel felsefenin sınırlarını kırıp geçtiler. Bizim amacımız tanımak ve bir bakıma düşünce akışı içinde kesinti yaratan, bilimin durumunu, anlamını ve getireceği sonuçları tam olarak kavramamızı engelleyen o boşluğu onarmaktır. Başlamanın en iyi yolu kuşkusuz böyle bir durumun nasıl yaratılmış olduğunu incelemektir.

Önce biraz geriye gidip, bize miras olarak ulaşana, yani her şey çok açıkken bilimin ne olduğuna bakmak uygundur. Böyle bir arka plana karşı ancak o zaman, bilginin zaman içindeki gelişimini gereğince değerlendirip, dalganın dönüşünü görebiliriz. O zaman adına kendiliğinden günümüzün bilgi kuramı (epistemoloji) diyeceğimiz, kalıcı olan bilimin yaygın kavranışını, fazla uzağı göremese de felsefeciler arasında zaman zaman eski yazarların yapıtlarıyla zenginleşmiş olan bugünün değil dünün biliminden çıkmış bir bilim görüşünü bulacağız. Kendimizi bu görüşten sıyırmak için onun ne olduğunu iyi tanımamız, yani onu oluşturan yoldan geçmemiz gerekir. İşte tam olarak böyle yapacağız.

Üzerinde konuşacağımız, yirminci yüzyılın bilimi değil, her şeyi çok net ortaya koyan o güzel kitapların yazdığı bilim. Bu bilim Bacon'la bir felsefe düşü olarak başladı, aralarında Descartes, Malebranche, Spinoza, Leibniz, Hume ve Kant'ın da bulunduğu onca felsefecinin bundan esinlenmiş olması da hiç şaşırtıcı gelmiyor. Bu adlar onu bize daha da ince işlenmiş bir biçimde aktardılar ve kendimizi bundan kurtarmamızı daha da güçleştirdiler.

Bu düşü iyice anlamak için Sokrates'in öncüllerini anımsamak yeterlidir, buradaki yapıtların çoğu günümüze ulaşamamış, ulaşanların da adı *Doğa Üzerine* olmuştur. Miletlilerin, Pisagorcuların, Elealıların ve saf ama aynı zamanda derin olan, tıpkı çocukların sorduklarına benzeyen onca sorularıyla birlikte Abderalıların yazdıklarında tam olarak hep bu *physis** denen şeyi buluyoruz. Güneşin neden ve nasıl parladığını, göğün neden mavi olduğunu, gezegenlerin nasıl hareket ettiklerini, elementlerin neler olduklarını, yaşamın atalarımızca hayranlıkla izlenen bütün bu gizemlerini araştırmaya nasıl dalınacağını öğrenmeyi büyük bir hevesle istiyorlardı! Yanıtlar elimizde, ayrıca doğru bir anlayışın bundan fazlasını gerektirdiğini de biliyoruz.

Dünyayı algılama biçimimizle uyumlu olarak, kısacası tıpkı Praksiteles'in yontuları ya da Mozart'ın senfonileri kadar klasik ve duru bir gözle, bilimin genç ve hâlâ sezgisel olduğu zamanla ilgili konuşacağız. Tam bir bütünlük zorunlu olmadığı için yalnızca birkaç önemli örneğin yardımıyla doğrudan bu noktaya gideceğiz. Bu amaçla hazırlanmış ansiklopediler var ama çok ayrıntılı bilgilerin anlamayı güçleştirmesi de söz konusu olabilir.

Önce genellikle yanlış anlaşılmış olan mantıktan söz edeceğiz. Elmasta olduğu gibi, mantık da saftır, ışığı geçirgendir ve çoğunlukla da delinmeye izin vermez, ilişkide olduğu her şeyde izini bırakabilir. Ama biz mantığı onca felsefe kitabının bugün yaptığı biçimde tartışmayacak, onun geçmişinin farklı bölümlerini araştıracağız. Doğal olarak, bütün bunların bir amacı var, çünkü mantığın doğası sonuçta bilimin ve felsefenin

* *physis* sözcüğü doğa anlamına geliyor ve doğanın olgularıyla uğraşan *fizik* biliminin adı da buradan geliyor –çn.

en derin sorusunu soruyor. Biz de daha sonra oradaki gizemlerin bir bölümünün üzerindeki örtüyü kaldırmaya çalışacağız.

Ayrıca matematikle ilgili olarak da bir şey söyleyeceğiz. Neden? Çünkü matematiğin fen bilimlerinin yapısının oluşmasında çok temel bir rolü var. Ama matematik bize kendi başına da çok şey öğretebilir. Tıpkı çağdaş bir Logos gibi onun yavaş yavaş bilimin ve felsefenin bir hizmetkârı olma aşamasından bir tür kraliçe konumuna yükselmesini göreceğiz.

Doğa (*physis*) bilimlerine gelince, salt yazarın büyük hayranlığından değil ama kitabın ilerideki bölümlerinde bize çağdaş bilimin temel özelliklerini açıklayacak disiplin olduğu için, kendimizi fizikle sınırlı tutacağız. Belki kimi okuyucular fiziğin çok temel yanlarına vereceğimiz vurguyu aşırı bulabilirler. "Böyle bir yol izleyen insanın kafası elbette türlü bulmacalarla karışabilir. Bununla birlikte, bilimin büyük bölümünün hâlâ açık olduğu, her geçen gün daha da duru bir hal aldığı pek çok insan için ulaşılabilir olduğu doğrudur. Ondaki gizemlerin teker teker çözüldüğünü görebiliyoruz" da diyebilirler. Bilimin bu şeffaflığı konusunda size katılıyorum sayın okuyucu. Sizin gibi ben de gezegenleri, kıtaların yer değiştirmesini, birbirine yapıştırılmış bir öbek top gibi görünen DNA moleküllerini sergileyen yeni fotoğraflara bakmayı severim. Ama madalyonun bir de öbür yüzü, yani yasalar ve bu yasaların geçici önemleri, kışkırtıcı bütünlükleri var. Biz aslında bunların peşindeyiz. Kitabın ilk bölümü, biraz beceriksizce de olsa, seslenilen sevgilinin duruluk, açıklık olduğu bir aşk şarkısı gibi gelebilir. Ama bu şarkının Schubert'in melankolik bir yapıtı gibi bittiği söylenebilir, çünkü gelin kaçırılmıştır. Hiçbir şey bunu felsefe tarihine bir göz attığımız son bölüm kadar güzel gösteremez. O sırada felsefe de bir aydınlanma çağı yaşıyordu. Yunan merakı ve varlık üzerine derin sorgulayış da açıkça unutulmuştu, her şey apaçık ve yalındı. Ama bu çok kısa sürdü. Zamanda ilerledikçe, öyle kocaman bir kırığın izlerini değil de yavaş yavaş büyüyen minik yarıkları göreceğiz. Bunları dev uçurumlar olmadan önce, daha ilk göründüklerinde tanımamız gerekir, tarihi geniş bir bakış açısıyla yeniden gözden geçirmemizin nedeni de budur. Aklımızda başka bir amaç da yok zaten.

I

KLASİK MANTIK

Tıpkı demokrasi, trajedi, hitabet, tarih, felsefe ve matematik gibi, mantık da Yunan'ın kızıdır. Eski uygarlıkların çoğunda düşüncenin bir yapı halinde oluşturulmaktan çok "ortaya atılma" yoluyla oluştuğu ve gerçeğin de daha ayrıntılı hale gelmek üzere bir analiz sürecinden geçmeden, birdenbire tanındığı yolunda bir izlenim vardır. İnsanın, çok uzun zamandan beri düşünüyorsa, bir akıl yürütmek üzere kendi yöntemlerini bulup çıkarması için uzun zaman beklemesi gerekmiştir. O zaman da bu akıl yürütme denen şeyin kendi kurduğu yasalara uyduğunu ve bunları kuranların isteğine ya da tanrıların buyruklarına boyun eğmediğini de anlaması gerekir.

Mantık, her ne kadar onu oluşturan şeyleri ve ona olan güvenimizin temelini hiç bilmesek de bugün bizim için akıl yürütmenin omurgası olmuştur. Uzmanlar mantığın amacını özetle "çıkarılan sonuçların doğruluğu üzerine ilkeler" olarak tanımladığında yapılması olanaksız bir tür angaryadan içeriği boş sözlerle sıyrılmaya çalıştıkları açıktır.[1] Bununla birlikte, mantığın doğası hakkında akla hemen gelebilen bu sorular çok temeldir, çünkü bunları izlemek isteyenler üzerinde bir ağırlık oluşturmayı sürdürürler. Düşünür bunu bilir, bilimcinin bunda kaygıları vardır, öncü rolü üstlenir, ozansa bunu "ben bir söz işçisinden başka bir şey değilim. Şu sözcüklerin ne kadar önemli olduğuna

[1] *Bkz.* William ve Martha Kneale, *Mantığın Gelişimi* [*The Development of Logic*], Oxford, Clarendon, 1978 (1. Basım 1962). Temelde dayanak aldığımız yapıt bu önemli çalışmadır.

bakın, bir de benim..." diyerek en güzel ifade edendir: Nietzsche de bu trajik itirafı felsefe kitaplarından birinde değil de bir şiirde dile getirmiştir ve bu konuda Saint-John Perse'ün ünlü dizelerinin üstüne söyleyecek bir şey de yoktur: "Ey ulu dil ağacı ve bilginin beşgenlerinde (beşli dikilen ağaç) fısıldayan doğuştan körlerin fısıltıları."[2] Yani, bilgi üzerine yazılan tüm kitaplar bilgisizliğe dayanmaktadırlar. Ben en başından beri bütün bu talihsizlikleri kovmak isterdim. Benzeri bir söz pek iyi olmaz, çünkü dili oluşturan önceden belirlenmiş bir temelin yokluğunda mantıksal olarak *mantıktan* konuşulamayacağını söylemek gibidir. Düşünce için başlama noktası diye bir şey yoktur, bir şey üretme gücü olan, yakın, uygun bir yerden başlaması gerekir. Daha sonra belki bu karanlık başlangıç noktası ulaşılmasına izin vereceği bilgi tarafından aydınlatılmış ve bir bütünlük içinde yerini almış olarak görünecektir. Tohumu verecek meyve olacaksa, eninde sonunda ulaşılmak istenen yer de budur. Bunu dedikten sonra, şu anda daha ileri bir şey söylenemeyeceği için, hiçbir şey yokmuş gibi devam edelim.

Bu bölümde ilerlemekten kasıt, klasik olarak nitelendiği dönemde, daha sonra "formal mantık" adını alacağı yere dek mantığa eşlik etmektir.

PİSAGOR VE PARYA

Bana göre insanlığın en büyük düşünürünün kim olduğunu söylemem gerekseydi, tanınmayan Pisagor derdim. Adını anmadan geçemeyeceğimiz Pisagor belki de krallığı önceden duyuran birinden başkası değildi. MÖ 6. yüzyılın başlarında Samos Adasında doğduğu ve Amon rahiplerinin, insan başlı Thebes tanrısının yanında kendini eğittiği yer olan Mısır'ı ziyaret ettiği biliniyor. Ayrıca Hindistan'da "*çıplak filozoflar*" olarak bilinen düşünürlerle tanıştığı söylenir. Yaşamının son dönemini yalnız ve mistik bir mezhep kurduğu, Güney İtalya'da bir Yunan kenti olan Kroton'da geçirdi.

[2] Şiir çevirmek güçtür. Şiir dil ve duygu bağlamında zaman zaman yaşadığımız acıyı aktarabilir, çünkü şiirsel bir tümce, bir mantık önermesinin tam tersidir. Hiçbir söz değiştirilemez, birbiriyle uyumlu birçok anlam birlikte şarkı söyler.

Yalnızca tarihin adlarını unuttuğu çok sayıdaki gurudan biri olabilirdi, ruhların dönüşümünü öğretmesi ya da altından bir bacağı olduğunun söylenmesi bizi hiç ilgilendirmez. Eğer ilgileniyorsak, Yunan düşünce tarzını özümseyecek entelektüel birikime kaynak olduğu her yerde kanıtlanan varlığı nedeniyle ilgileniyoruz. Gerçekten de onun için zekâ insanın sahip olabileceği özelliklerin en önemlisi, taşıdığı güç sayesinde gerçeğin daha sağlam ve derin biçimine götürebilecek olanıydı. Onun doğayı görme biçimi bize aşırı sert gelebilir. Dünyayı sayıların yönettiğini söylüyordu. Onun bu inancı basit bir gerçeğe dayalı gibiydi: Lir çalgısından çıkan seslerdeki uyumun telin tam olarak neresine dokunulduğuyla ilgili olup, kulağa hoş gelen müzikal aralıkların sekizli, üçlü ya da beşli uzunluklarının boyları tam sayılarla basit şekilde orantılı olan tellerden geldiğini gözlemiş ya da öğrenmişti. Bununla birlikte "her şeyin sayı" olduğunu öne sürmek (kimilerinin fizik ve matematiğin doğumundan çok önce saçma bir şekilde "*matematiksel fizik*" programı olarak değerlendirdikleri şeyler) birbirine çok güzel karşılık geliyor ve bu bizi şaşkın, hayran ve itiraf edelim ki, kuşkuda bırakıyordu.

Sokrates öncesi düşünürler arasında, her ne kadar genellikle yanlış olduğu açıkça belli olan düşüncelerle karışmış halde olsa da, başka pek çok şaşırtıcı aydınlanma örneği daha vardır. Hatta Pisagor'daki ve onun öğrencilerindeki zekâ düşüncelerinin *gösterilmesine* ve oradan da bunların doğruluğunu kanıtlamaya giden ilk adımları atmıştır. Kuşkusuz bunu tümüyle başarmaktan uzaktılar ama düşünceler tarihinde sıklıkla rastlandığı gibi, buldukları şey aradıklarından daha önemli olacaktı. İlk zaferleri dik üçgendeki ünlü kuramın bulunuşu oldu. Oraya nasıl vardıkları bilinmiyor, ancak tarihçilerin çoğu öyle derin akıl yürütmeler gerekmeden, dikkatli bir gözün de hemen sonucu bulabileceği bir şekle dayanmaları gerektiği konusunda görüş birliği içindedir. Başka şekilde söylemek gerekirse, paralel doğrular hakkındaki Thales kuramı gibi, Pisagor kuramı da akıl yürütme konusunda somut bir ilerleme kaydedildiğini kanıtlamaya yetmez ve her ikisi de gözlem bazında bir doğrulama sağlamakla yetinir. Bu kuram, kuşkusuz

çok sıkı bir akıl yürütmenin ürünü olmaktan çok, bir gözlemden ibaretti, ama bir karenin köşegen uzunluğunun kenarlarına oranı olan ve bizim $\sqrt{2}$ (kare kök 2) olarak adlandırdığımız gizemli sayıyı sorgulamaya çağırıyordu. Dünyayı yöneten tam sayıların bir oranı olması gerektiğine göre, burada hangi kesir söz konusu olabilirdi?

Kendisine büyük bir hayranlık duyulmasını hak eden, oysa adı dışında her şeyini göz ardı ettiğimiz büyük bir adam işte tam da burada olaya katılıyor. Güney İtalya'dan gelen bu Yunan çocuğun, parlak zekâsı nedeniyle, hep genç olduğu düşünülür ve ben de genellikle bu düşünce kahramanının bilinmeyen yüzünün nasıl olduğunu kafamda canlandırmaya çalışırım. Hangi cesaretle, boşa giden hangi araştırmalarla ya da hangi düşle insanın düşünülemeyeni düşünmeye girişmesi sağlanabilir?

Peki böyle bir kuşkudan nasıl sıyrılmalı? Alışık olmadığı zemine ayak bastığı için uzun süre derinden düşünmek zorunda kaldığını varsayabiliriz. İnsanlık tarihinde ilk kez biri çürütülemez bir gerçeği yalnızca akıl yürütmenin vereceği güçle oluşturacaktı. Bu savın ayrıntılarını geçiyoruz ama fazla da seçenek yok, yakında onu izleyecek olan matematikçilerin bıraktıkları kayıtlarsa son karar niteliğindeler. Karesi alındığında 2 sonucunu verecek ve tamsayılardan oluşan bir p/q oranı bulunmadığını kanıtlamak mantıksal bir savın bütün gücünü gerektirir. Çift sayı olan her karenin (4, 16, 36, vb) bir çift sayının karesi, tek sayı olan her karenin de (9, 25, 49, vb) bir tek sayının karesi olduğunu, yani p ve q sayılarının en azından birisi tek oluncaya kadar, sürekli olarak (aynı sayıya) bölünebileceklerini göstermek gerekir. Bu sav özellikle arada hiçbir boşluk bırakmadan başarılı bir sonuca taşınabilmeli ve $\sqrt{2}$ sayısının iki tamsayının birbirine bölümü olduğu varsayımıyla zorunlu olarak bir çelişki yarattığı gösterilebilmelidir. Onun kusursuz savını yıkamayan, yüzlerini tozla sıvayan Eski çağ insanlarını gözümüzün önüne getirebiliriz. Lanetlenmiş ve dinden çıkmış (kâfir) biri olduğu açıklanmıştı. Bir söylenceye göre, tanrılar adaleti bir gemi yıkıntısı biçiminde gerçekleştiriyorlardı. Eskiler onu Calabria kıyılarının yakınlarındaki keskin kayalıklarda denize kırık dökük bir tekneyle atmış olabilir-

lerdi.[3] O yüzden bitik, belki de adı hiçbir zaman anılmayacak biri bize aklın ışığını, Apollon'un merhemiyle getirmiş, onun öncüsü olan Pisagor tam bir kehanet olmuştur. O sınırsız bir yol açmıştı ve iradeyle güçlendirilmiş, özenle dizginlenmiş aklın gerçeğe, ancak ustaca denetlenmiş bir konuşmayla erişim sağlayabileceği artık biliniyordu. Akıl kendi gücünü anlamış ve sonuca kendi de şaşırmıştı. Mantık, birtakım gerçeklerden başlayarak (ve her türdeki çelişkilerden kaçınarak) sonuçlar çıkarma becerileriyle birlikte kesinlikle doğmuştu. Aynı sıralarda matematik de doğmuştu, çünkü artık bir özelliğin doğru olduğunu bir örnek ya da şekil kullanarak göstermekle sınırlı değildi, şimdi o özelliği salt akıl yürüterek de kanıtlayabiliyordu. Geometri bu yepyeni gereci hemen kapıp, onu başka harikaları yaratmak için kullanmada gecikmeyecekti.

PLATON VE LOGOS

Platon'dan söz etmeden bilgi kuramına değinme olanağı yoktur. Her ne kadar kimi karşılıklı konuşmalarında mantığın temel ilkelerine rastlanırsa da kendisi genellikle bir mantıkçı olarak görülmez. Ama mantık konusundaki deneyimi sistemli bir çalışma sonucu değildir, hatta önerdiği kuralların kimileri de tümüyle yanlıştır. Yeteneğini başka alanda, bugünün biliminde bile önemli yerler tutan birtakım temel soruları sorarak, kendini mantığın ilk düşünürü olarak tanıttığı *Theaitetos* ve *Sofist* gibi yapıtlarda gösterir. Gerçek nedir ve biz onu nasıl tanırız? Akıl yürütme denen şeyin doğası nasıldır ve bu bir gerçeği başka bir gerçekten yola çıkarak kestirme anlamındaki bu "yetenek" nereden gelmektedir? Peki ya bir tanımın doğası ve sözcüklerle tanımlanan şey nedir? O bu sorulara yanıt bulmaya çalışıyor ama önemli olmaları bir yana, daha çok tarihsel bir değerleri olduğu için onları tartışmayacağız. Bir yandan da

[3] Çok kesin olmamakla birlikte yalnızca Metapontumlu Hippasos için bir mezarın kendisi daha yaşıyorken hazırlandığını biliyoruz. ("Onun ölü olduğu açıklansın! Bunun anlamı "biz onun ölmesini istiyoruz" değil de "biz onu çoktan ölü sayıyoruz"du.) Onun bütün yaptığı birbiriyle karşılaştırılamayacak olan şeylerin gizemini konuyu daha hiç bilmeyenlere açıklamasıydı.

çok daha ilginç olan onun bu soruları içine yerleştirdiği çerçeveden söz etmek uygun olacak.

Platon kuramını *Devlet* adlı son diyaloglarından birinde baskın bir Pisagor esintisiyle geliştirdiği, "form" (biçim) denen (kimi zaman büyük "İ" olarak yazılan ve "İdealar" olarak çevrilen) şeyin varlığını kabul eder. Form kavramını örnekler yoluyla kapmak daha kolaydır ve Platon'unkini (kendi zamanına fazla bağlıdır) ödünç almaktansa, yeterince açık olan Descartes'ınkilerden birini kullanacağız:

> "Ben bir üçgeni kafamda canlandırdığımda, böyle bir şekil dünyada benim kafam dışında hiçbir yerde bulunmuyorsa ve daha öce hiç görülmemişse bile, bu üçgenin birtakım özelliklerinin gösterilmesi durumunda olduğu gibi, yine de belli bir formu ya da bu şeklin değişmez ve benim yaratmadığım, benim aklıma hiçbir şekilde bağlı olmayan bir özünü sergiler."[4]

Platon'un bakış açısından ve Descartes'ın tanımladığı haliyle bir İdea, bizim işaret edebileceğimiz somut bir şey değildir. Bir kâğıt parçasının üzerine çizilen bir şekil, *bir* üçgenin yalnızca bir görüntüsüdür, üçgenin *kendisi* değildir (aynı türdeki tüm olası şekiller için geçerlidir). Platon'un üçgen *İdeasının* varlığından, yani bu dünyadan olmayan ve sadece her biri bir küçük '*d*'yi hak eden bir grup şeklin akıldaki temsili olan ideal bir şeyden hiç kuşkusu yoktur. İdea bir 'Form', yani üstün modelin birbirinin yerini alabilecek onca örneği olan ikinci dereceden ideaların barınabileceği bir mükemmel kalıptır. *Devlet* adlı yapıtın iki bölümünden alıntı yapacağız. Bunların ilki çeşitli dışavurumlarının uyum gösterdiği modelin *tek* oluşunu vurgular: "Güzel çirkinin tersi olduğundan, aslında iki adettirler ve iki oldukları için de her biri tektir. Aynı değerlendirme haklı ve haksız, iyi ve kötü, bütün Formlar için de geçerlidir. Bunların her biri tek başına birdir, ama kendilerini eylemlerle, cisimlerle ve birbirleriyle uyum içinde her yerde gösterdiklerinden ötürü de her biri pek çokmuş gibi görünürler."

[4] Descartes, *Metafizik Meditasyonlar*, 5. Basım.

İkinci alıntıysa Formlar kuramının çözmeye kalkıştığı problemin, yani dilin bir şeyi hem tanımlama hem gösterme gücünü güzel betimler: "Alışık olduğumuz üzere, aynı adı atadığımız pek çok şeyin her biriyle bağlantılı olarak tek bir formu varsayarız." O nedenle doğruya akıl yoluyla erişim sağlarız, çünkü *dil* doğrudan, bağımsız bir varlığı olan ve bütün dünyevi şeylerin kalıbını oluşturan Forma işaret eder. Formlar bu dünyaya ait değildir. Onlar Platon'un *Logos* olarak adlandırdığı kendi yüce dünyalarında bulunurlar. Platon bunu betimlemek için ünlü mağara mitine döner: İnsanlar doğumlarından başlayarak buradaki dünyayı temsil eden bir mağaranın duvarlarına zincirli tutsaklar gibidirler. Gerçek dünya, yani Logos'unki dışarıda, o mağaranın girişinin önünde, insanların özgürce dolaştığı, ağaçlar ve gezinen hayvanların bulunduğu ışık içinde olan dış dünyadır. Güneş mağaranın duvarlarına bunların gölgelerini vurur, yalnızca bu gölgeleri gören tutsaklar da bunları salt gerçekler olarak alırlar.

Bu yüzden, gücü ve tek olan Formu, çeşitli görünümler arasından özgür bırakmaya yarayacak olan tanım ilkesini aramamız gereken yer İdeanın varlığıdır. Akıl yürütme becerisi, Descartes'ın yukarıda işaret ettiği bu olanak, "oluş", "aynı", "öteki" gibi sözlerle ifade edilen bütün geri kalanlarla bağlantısı olan belli birtakım Formların varlığından ortaya çıkar.

İdealar kuramı Aristoteles'in saldırısına uğrayacak ama birçok kez farklı kılıklarda yeniden görünecektir. Teolojide (din bilimi) yüce bir krallık idesinin yaradılıştan daha büyük bir önemi olduğunu çok iyi biliyoruz. Platon'un felsefi gerçek öğretisini kavrayışı bozulmayacak. Ortaçağda çok popüler olan bu öğretiye göre kavramlar ve idealar, bizim duyularımızın algıladığından daha üst dereceden kendi gerçeklikleri olan Formlara işaret ederler. Aynı İdealar parça parça da olsa hâlâ, Descartes gibi matematiksel kavramların maddesel dünyadan farklı bir biçimde bağımsız bir varlığı olduğuna inanan pek çok matematikçi tarafından paylaşılan, bugünkü adıyla "matematiksel gerçekçilik"te bulunabilirler.

ARİSTOTELES VE HRİSİPPOS'UN MANTIĞI

Şimdilik Platon'un gündeme getirdiği güç soruları bir yana bırakıp, bir bilim ve yöntem olarak, o dönemde daha kendi kurallarını aramakta olan mantığa dönebiliriz. Burada amaç ondaki ikna gücünün kaynağını belirlemek değil, o denli iddialı olmamakla birlikte daha pratik olan, yanlışlara karşı sağduyu tarafından yeterince korunmuş bulunan, doğru akıl yürütme biçimini öğrenmekti. Daha çıkışta iki farklı uygulama alanının açıldığını görebiliriz. Bunlardan biri matematiktir, genellikle güzel sözlerle renklendirilen ötekiyse günlük yaşamdaki sözcüklerin ve kavramların doğru kullanımını amaç edinir. Mantık oldum olası bu iki kutup arasında kalmıştır. İlk alan, yapısı ve üretkenliği nedeniyle, mantığın gücü hakkında yeterince güçlü bir kanıt sağlar ve matematikle sıkı bir ilişki içinde olması nedeniyle mantık, aradan iki bin yıl geçse de, sonunda kendi en saf halini bulacaktır. Öte yandan, ikinci alan, yani gündelik yaşamdaki sözcüklerin ve nesnelerin alanı sürekli olarak sözcüklerdeki bulanıklığın ya da nesneler hakkındaki bilgide bir eksikliğin taşıyabileceği tuzaklar tümenini akla getirecektir ve mantığın kendini saflaştırmaya ilk başlayacağı yer de bu alandır. Yunan uygarlığı bize somut, temelleri yüzyıllara yayılan bir mantık bırakmıştır. İki farklı ve genellikle birbirine ters okul onun yapılanmasına katkı sağlamıştır. Bunlardan tarih sırasına göre ilki Korent kıstağı üzerinde bir Attica kenti olan Megaris'in katkısıdır. Bunun kurucusu Megarisli Öklit'tir ama İskenderiyeli ünlü matematikçi Öklit'le karıştırılmamalıdır. Bizim Öklit Platon'un çağdaşı ve Parmenides'le başlayan bir geleneğin mirasçısıdır. Meagris okulu ise Hrisippos'un (MÖ 281-205) çalışmaları sayesinde, sevinç ya da üzüntüye karşı ilgisizlik demek olan ve mantık alanında sıkı araştırmaları bulunan Stoa Okulunu başlatacaktı. Öbür temel okul ise Aristoteles (MÖ 384-322) tarafından kurulan gezginci akımdı (Peripatetics).

Bu iki okul arasındaki farkların ve benzerliklerin çözümlemesini uzmanlara bırakacağız (zaten bunlar da eninde sonunda birbirine yaklaşacaktı). Bizim için daha önemli olansa, bunların ortak katkısını saptamaktır. Biz de bunu, kökenlerini

araştıracağımız çağdaş düşüncelere olabildiğince yakın kalarak yapacağız (elbette eleştiriye açık bir yaklaşım).

Aristoteles'in tasım (*silojizm*) yoluyla akıl yürütmeyi, mantığın ilk mükemmel örneği saydığı iyi bilinir. Onun kullandığı, yüzyılları aşarak bize ulaşan örnek de tanınmıştır: "Tüm insanlar ölümlüdür; Sokrates bir insandır, demek ki Sokrates ölümlüdür." Bizi yıllar önce bırakılmış, hantal bir mantık sistemine götürdüğü için, bu yöntem aslında topladığı bu ilgiyi hak etmiyor. Tasım yönteminin inandırıcı bir örneğini, eski olsun, yeni olsun, iyi bir matematik ders kitabında bulmak zordur. Aristoteles'in analizinin önemi aslında başka yerdedir, keza bu önem en çok "Sokrates ölümlüdür", "Bir üçgenin üç kenarı vardır" ve benzeri öncüllerdeki çalışmalarda kendini gösterir. Bunların sıradan basit tümceler olmayıp, özel ifade biçimlerinden bağımsız olarak aynı anlamı taşıyan *önermeler* olduklarını gözlemler. Örneğin, "*Sokrates ölümlüdür*" tümcesi ile "*Xanthippe'nin eşi bir gün artık var olmayacak*" tümcesi arasında ortak tek sözcük olmasa da, aynı anlamı taşırlar. Aristoteles, mantığın dilden ayrılamaz görülmesi halinde, onun daha üst (en azından farklı) bir formal düzeyde, yani bizim anlambilim [semantik] dediğimiz bir alanda bulunduğu sonucuna varır.

Dili anlambilimden ya da bir tümceyi bir önermeden ayırmak her zaman kolay değildir, mantık da sıklıkla böyle engellere takılır. Gerçekten de sözcüklerin binlerce anlamı, çağrışım yaptığı şeyi olabilir, biz örneğin "Sokrates bir güldür" dediğimizde, bir insanı gülle karşılaştırmak pek çok simgesel yoruma açık olduğundan, bir önerme söylemediğimiz, kesinlikle açık değildir. Başlangıçtaki bu güçlük günümüzdeki formal mantık ve düşünmemize izin verilen önkoşulsuz önermeleri dikkatlice sınırlamak demek olan "konuşma evreni" yoluyla çözülürdü.

Önermeler, mantığın ileri uzattığı ve yenilerini yaratmak üzere birleştirdiği, birbiriyle karşılaştırdığı, karşı çıktığı, birleştirdiği piyonlardır. Peki bunu nasıl yapar? Aristoteles ile Megarisli Öklit önermelerin hem farklı hem birbirinden ayrılmaz, biri olumlu, ötekiyse olumsuz, örneğin "Sokrates ölümlüdür" ile "Sokrates ölümlü değildir" gibi iki biçim alabileceği-

ne dikkat çekiyorlar. Mantık, bir kâhinin yaptığı gibi, kendini gerçeği bulma ve duyurmayla sınırlamaz, onun yerine doğruyu ve yanlışı, daha başlangıçta, bir karar almadan önce aynı düzeyde değerlendirir. Bu ise Aristoteles'e borçlu olduğumuz bir temel kurala, "üçüncü halin olanaksızlığı" diyebileceğimiz, "bir önerme ya doğrudur ya da yanlıştır" gibi bir *ilkeye* (ya da *yasaya*) dayalıdır. Bugün bile, bu ilke mantığın temel taşıdır ve bir önerme biçiminde olan ama bu ilkeye uymayan herhangi bir şeyin mantık bahçesine girişinin yasaklanması gerekir.

Aristoteles ayrıca "*her canlı insanın bir başı vardır*" gibi evrensel önermeler ile "*kimi erkekler kızıl saçlıdır*" gibi özel önermeler arasındaki farkı ayırt edip, bu farkı net olarak gösterdiğinde, yeni bir alana geçer. Modern matematiksel mantık bu biçimlerin her biri için özel simgeler getirir, "bütün ... için" gibi durumlar ile "öyle bir ... vardır ki ..." gibi özel önermeler için ayrı simgeler bulunur. Böylece yukarıda verilen örnekler "*tüm canlı erkeklerin başları vardır*" ve "*kızıl saçlı erkekler vardır*" şekillerini alırlar.

Bundan sonra artık Aristoteles'e eşlik etmeyip, daha çok sevincini, üzüntüsünü belli etmeyen "stoacılar"ın, özellikle Hrisippos'unkilerin çalışmalarını izleyeceğiz. Nasıl Homeros şiirin, Aristoteles bilimin, Platon felsefenin ustalarıysa, İskenderiyeli Hrisippos'un da mantığın babası olduğunu belirtmekte yarar var.

İfadelerdeki öncüllerin sayısı arttıkça kısa sürede altından kalkılmaz hale gelecek olan tasım yöntemi yerine, Hrisippos önermeleri birleştirmede birtakım basit ve daha iyi yöntemlere dikkat çeker. "Veya", "ve" gibi kısa sözcükleri akıllıca kullanmak yeterli olacaktır. Dışlayan "veya" terimini dışlamayan "veya"dan ayırt eder. Buradaki birinci duruma örnek "*gazeteyi ya satın alırsın ya da geriye tezgâha koyarsın*", ikinciye örnek ise, birbiriyle çelişmeyen "*romanları ya da gülmece kitaplarını okumayı seviyorum*" gibi tümcelerdir. Bu ikinci örnekte kimi romanlar pekâlâ gülmece öğesi taşıyabileceği için birbirini dışlama durumu yoktur.

Hrisippos bugün mantık fonksiyonları denen "ve", "veya", "değil" gibi terimleri kullanmak için uygun kuralları bulmayı

başardı. Bunlar böyle adlandırıldılar, çünkü tıpkı matematiksel fonksiyonlar gibi bunlar da iyi tanımlanmış bir ya da daha fazla nesneye (bizim durumda önermeye) işaret ediyorlar. Belli bir *a* önermesi verildikten sonra, "değil" işlemi " değil–*a*" gibi bir başka önermeyi aynı biçimde tanımlar; (*a*, *b*) gibi iki önerme verilmişse, o zaman da "*a* ve *b*" ile "*a* veya *b*" gibi yeni önermeler oluşturulabilir. Hrisippos yalnızca aralarındaki bağlantıları saptamakla kalmadı, aynı zamanda "*a* ve *a*" = *a*; "*a* ve değil–*a*" olanaksız gibi birleşik önermeler için de kurallar belirledi (üçüncü halin olanaksızlığı adı verilen yasa budur). Varlıklarını Hrisippos'a borçlu olduğumuz bir düzineden fazla kural vardır, ama kendisinin katkısını öncüllerinin bu alandaki katkılarından ayırt etmek güçtür. Neyse, Aristoteles'in, Hrisippos'un ve bizim de yukarıda yaptığımız gibi, önermelerin temsilinde harfleri kullanmanın Yunanlar arasında yaygın olduğuna dikkat edelim. Çıkarım yapmak gibi önemli bir kavram da belirlendi ve netleştirildi. "Eğer *a* olursa, o zaman *b* olur" gibi tümcelerde görülür ve simgesel olarak *"a➔b"* şeklinde gösterilir.

Tümdengelim hiç kuşkusuz mantıkta çok önemlidir, çünkü onun sayesinde varsayımlardan çıkarımlara giden savlar oluşturabiliriz. Yine büyük önemi olan iki kural da şimdi geliyor: geçirgenlik ("*a➔b*" ve "*b➔c*" ise, o zaman "*a➔c*") ile karşılıklılık ("*a➔b*" ile "*değil–b➔değil–a*"nın özdeş olmaları). Son olarak, ilk gerçeklerin doğası aydınlatılmış oluyor. Bunlar, ya kendiliğinden açık (aksiyom gibi) ya da üstünde ortak anlaşmaya varılması nedeniyle (postüla), doğruluğu daha en başta varsayılan önermelerdir.

Toplamda bakarsak, mantığın temelleri antik çağın sonundan önce kurulmuştu. Eğer mantık herhangi bir şeyden çok fazla içeriyorsa, bunun nedeni gerçekten kendisine ait olmayan ama fen bilimlerinin gelişiminin akıl yürütme denen şeyin izlerini sürmekten ortaya çıkışıdır. Ayrıca, tasımcıların hatırı sayılır mantık deneyimi ya göz ardı edilecek ya da uzunca bir süre yanlış anlaşılacaktır, çünkü ortaçağ boyunca doğru biçimde aktarılmamıştır ve Aristoteles'in (ve onu yorumlayanların) çalışmalarından yana sistemi bir biçimde olduğundan aşağıda değerlendirilmiştir.

Mantığın 19. yüzyıl boyunca geçirdiği yeniden canlanma dönemine kadar uygarlığımız açıkça mantığın ilgi alanının gerisinde kaldıktan sonra, bu eski bilgi modern çağda yeniden gözden geçirildi. Şimdi bu mantığın temel çizgilerini, daha sonra kullanmak üzere toparlayalım: Öncelikle, *önermeler alanı*[5] ya da düşünce alanı (Almancası *Denkbereich*) diyebileceğimiz bölgenin sınırlarını belirlemek esastır. Bu önermelerin açık bir biçimde üçüncü halin olanaksızlığı yasasına uymaları gerekir. Sonra da aksiyomlar gelir. Bunlar ya kendiliğinden açık olan gerçekler, ilkeler ya da kısaca varsayımlardır. Önermeler, yeni önermeleri doğurur, bunu da "ve", "veya", "değil" gibi mantıksal işlevleri kullanarak yaparlar. Yenilerin doğruluğu (ya da yanlışlığı), aksiyomların (varsayılmış) doğruluğundan tümdengelim yoluyla elde edilip edilemeyeceklerine bağlıdır.

Eski mantığın tartışmasız başyapıtı Öklit'in Hrisippos'tan bir parça etkilenerek yazdığı *Öğeler* [*Elements*] adlı kitabıdır (matematikçi ile mantıkçı birbirleriyle çağdaş olmakla birlikte, bunlardan ilki İskenderiye'de, ikincisiyse Atina'da yaşamıştır). Mantık kendisini matematik kadar net biçimde göstermez, çünkü doğa gibi, tanrılar gibi pek somut olmayan şeylerle uğraşmada kullanılan mantık bunu sağlamada her zaman başarılı olmaz.

PARADOKSLAR

Ana hatlarıyla konuşacak olursak, bizim klasik mantık adını verdiğimiz disiplinin MÖ 3. yüzyılda sona erdiğini, işin can suyunun kuruduğunu söyleyebiliriz. Mantık ortaçağda Skolastik felsefe aracılığıyla yeniden canlanacak, ama önceden bilinenlere doğru dürüst hiçbir yeni şey eklemeyecekti. Hatta tersine, yukarıda da gördüğümüz gibi, karşılaştırma okulundan geriye kalanların bir bölümünün kaybolduğunu bile söyleyebiliriz. Şaşırtıcı bir biçimde, Rönesans ve klasik dönem bir gerileme gösterdi. Kraliyet kapısının ünlü *Mantığı* [*Logique*; Arnauld ve Nicole], Albertus Magnus ve Ockhamlı William'ın

[5] Teknik terimleri kullanmaktan kaçınmaya çalıştık, ancak okuyucuya her zaman tanıdık gelmese de, bunların bir bölümünün kullanılması uygundur. Kısa bir sözlükçe kitabın arkasında yer almaktadır. "*" simgesi böyle terimlerin ilk kullanımlarında eklenmiştir.

ortaçağ çalışmalarının düzeyine ulaşamadı. Bu dönemsel gerileme bilimdeki gelişmeyle açıklanabilir. Yalnızca akıl yürütme yoluyla ve genellikle keyfi olan postülalarla yapmak yerine, bilim gözlem ve deney üzerinden yeni bir güdüleme yolu buldu. Çok az sayıda düşünür, örneğin en büyüklerden biri olan Leibniz mantığın kararsız alevinin üzerinden durumu gözledi. Belki de bu tam da entelektüelliğin getirdiği yükten ve onun yanıltıcı düşlerinden kurtararak, bilimin doğmasına olanak sağlayan şeydi. Doğrusu mantık ancak on dokuzuncu yüzyılda, matematikten kaynaklanan yeni ve güç soruların yarattığı baskı altında yeniden ortaya çıkacaktı.

Mantığın uzunca bir süreyi uykuda geçiren ana eğilimlerinden uzaklaşacak ve kısaca antik çağdan kalan tohum artıklarını toplayacağız. Yukarıda da sözünü ettiğimiz gibi, yalnızca üçüncü halin olanaksızlığı kuralına uyan önermeleri dikkate almak gerekir. Kanıtlaması her zaman kolay olmamakla birlikte, bu koşula uymamak kimi zaman bizi paradokslara götürebilir. Dil anlamında köken bakımından bir "paradoks" sağduyuya aykırı bir şey söyler gibi görünen bir önermedir, ama sözcük zaman içinde yerini yavaş yavaş eskiden "aporia" denen, tutarlı yanı olmayan, genellikle kendisiyle çelişen şeyler anlamına gelen terime bıraktı.

Megaris Okulunda paradokslar mutlu bir şekilde, genellikle oyun havasında değiş tokuş edilirdi. Buna örnek olarak evlilikte sadakatten uzaklık anlamındaki "boynuzlanmış" terimini verebiliriz. Bu iş "yitirmediğin şeye hâlâ sahipsindir" öncülüyle başladı. Saf kişiye "boynuzlarını yitirmemişsin, demek ki hâlâ sendeler" dendikten sonra neşeli kahkahalar Megaris avlularında çınlardı. 'Canım bu sadece şaka' diye düşünebilirsiniz ama Platon'un ciddi olduğu varsayılan kendi savları da bundan çok daha iyi değildi. Mantığın kendi yolunu arayışta olduğu dönemdi ve paradokslar ona kendisini, kendi kurduğu tuzaklara karşı nasıl koruyacağını öğrettiler.

Paradoksların ataları çok eski çağlara dayanır. Parmenides'in bir öğrencisi olan Elealı Zenon'dan kaynaklanır ve Megarisli Öklit'ten daha yaşlıdır. Zenon, Parmenides'in "varoluş sabittir" savını, Herakleitos'tan gelen birtakım itiraz-

lara ve sağduyunun dayattığı, başka, daha az ciddi eleştirilere karşı savunmak istedi. Gerçekten de, aralarında dev gökcisimlerinin de olduğu her şey hareket halinde olduğu ve bu dünyada sonsuza dek hareketsiz kalacak bir şey için yer olmadığından, Parmenides'in önerisini saçma buldular. "Bu bir yanlış ve yanılsama" diye yanıtladı Zenon, hareket diye bir şey yoktur, çünkü kendisiyle çelişmektedir. İşte benim kanıtım: Akhilleus kanatlı ayaklarıyla stadyumun kenarındaki taşa ulaşabilir mi? Bu yolun yarısını almak için ona belli bir zaman gerekli, kalan yolun yarısını almak için de bir başka zaman aralığı gerekli ve bu böyle sürer, gider ($^1/_2$, $^1/_4$, $^1/_8$, ...). Bu yüzden, taşa ulaşmak için ona sonsuz sayıda zaman aralığı gerekiyor, ama bu, sizin de katılacağınız gibi, sonsuz uzunlukta bir zaman olur. Zenon Akhilleus'u durdurdu, yalnız sözcüklerle bakarsak, "uzun adımlarda hareketsiz" dedi.

Ama artık bu paradoksu sorun etmiyoruz, çünkü sonsuz sayıdaki (birbirine eşit olmayan) zaman aralığının toplamının sonlu olabildiğini biliyoruz. Bu örnek yine de ilginçtir, çünkü bize sonsuzluğun mantıksal olarak ele alınışının çok ince bir kavram olduğunu çağrıştırır. Thomas Aquinas'ın kendisi de burada yanılgıya uğramış ve mantık da sonsuzluk sayesinde on dokuzuncu yüzyılın sonlarında yeniden doğmuştur.

Örneğin, Megarris'in bir paradoksundan daha, bu kez hâlâ çok popüler olan birinden söz edelim: Yalancı paradoksu. Burada "yalancı" sözünden alışkanlık halinde arada yalan söyleyen birini değil, hiçbir zaman doğruyu söylemeyen birini anlıyoruz. Bu paradoksun en tanınmış biçimi şöyledir: "Giritli Epimenides tüm Giritlilerin yalancı olduklarını söyler." Bu açık bir paradokstur, çünkü eğer Epimenides doğruyu söylüyorsa, doğru konuşan bir Giritlidir, bu durumda da yalan söylemiştir. Yok eğer yalan söylüyorsa, o zaman da (söylediğinin tam tersi olacak şekilde) Giritliler hiç yalan söylememektedirler. Yani o zaman da gerçeği anlatmaktadır.

Bu, bir paradokstan öte, insanın sözcüklerin anlamıyla nasıl oynayabileceklerini gösterir. Gerçekten de, "Tüm Giritliler yalancıdır" tümcesinin tersi "Kimi Giritliler (zaman zaman) doğruyu söyler" ifadesidir ama "Giritliler hiç yalan söylemez"

değildir. Yani böylece bir çıkış vardır. Peki ya "ben yalancıyım" diyen adam için ne demeli? Ya gerçeği söylüyor, ki o zaman yalancı olduğu anlaşılıyor ya da yalan ifade vermekte, ama o zaman da dediği şey doğru çıkmış oluyor. Bu zaten açıklaması güç bir şey ve biz de burada konu edilenin üçüncü halin olanaksızlığı yasası olduğunu görebiliyoruz.

Çağdaş mantık bu soruyu ikiye ayırır. "*X* ... diyor" türündeki önermeler Anglosakson dil felsefecileri tarafından incelendi, mantıkçılarsa genellikle bunların mantık alanına girmediğine inanıyorlardı. Ama Epimenides'in örneği için bir başka bakış açısı daha vardır, o da bir kümenin (tüm Giritliler) bir öğesinin (Epimenides) bütün kümeye işaret eden bir önerme içinde görünmesidir. Mantıkçılar bu bakış açısındaki önemi ve "tüm" sözcüğünü kullanırken çok dikkatli olmaları gerektiğini gördüler. Bütün bunlardan çıkarılabilecek iki ders, sonsuzla ve bütünlükle uğraşırken saçma olana yenilmemek için dikkatli olma zorunluluğuydu.

YARARLI İKİ KAVRAM

Aşağıda mantığın ilgi alanından gelen iki kavramın uygulamaya dönüştüğü durumları görme olanağı bulacağız. Bu temel kavramlardan ilki genellikle Latince olan "*modus ponens*" adıyla anılır. Daha çok mantık felsefesi alanına ait olan ikinci kavramsa, "*Ockham'ın usturası*" adıyla bilinir. Modus ponens saf mantığın bir konusudur. Her ne kadar açıkça ifade edilişi Abélard (1079–1142) tarafından olduysa da, Öklit (matematikçi olan) eski kuramlardan yola çıkıp, her seferinde geriye, ilk aksiyom ve postülalara gitmeden, yenilerini kanıtlamak için sistemli biçimde bunu kullandığı için, eskilerce de biliniyordu. Günlük yaşamda, her türde insan (mühendisler, teknisyenler, araştırmacılar, öğretmenler ve öğrenciler) kanıtlanış biçimini ayrıntılı olarak anımsayamadıkları bir kuram ya da formülü her kullanışlarında "*modus ponens*"i kullanmış olurlar. Hemen hemen aynı şeye mantıkta da, öne sürülen bir savın tam ortasında daha önce yapılmış bulunan bir önermeden, bu önermeyi kanıtlamaksızın başlayabilme olanağı şeklinde rastlarız. Hiçbir şeyi halının altına süpürmeme konusunda çok dikkatli

olan çağdaş mantıkçılar *modus ponens*'in sağlamlığını gösterdiler. Bunu şimdilik bir yana bırakıyoruz.

"Ockham'ın usturası" daha çok, düşünce için bir kılavuz gibidir, felsefe ya da mantıktan başka alanları da tıraşlayabilir. Buna burada değiniyorum ama kitabın sonuna dek bir daha kullanmayacağım. Hakkında ancak ölüm yılını 1349 ya da 1350 olarak bildiğimiz Ockhamlı William bir Franciscan'dı. *Gülün Adı* adlı romanında Umberto Eco'nun duyarlı, keskin zekâlı ve doğurgan yazar kahramanına model olarak seçilebilirdi. Daha çok Oxford çevrelerinde şu kuraldan ötürü bilinir: *Entia non sunt multiplicanda sine necessitate.* ("Gerek olmadıkça varlıklar çoğalmazlar", başka bir deyişle, eğer bir şeyin azı yetiyorsa, çoğaltmaya ne gerek var? Tek bir neden yeterliyse, birden çoğunu düşünmeyin, her zaman varsayımların sayısını en düşükte tutmaya çalışın, tartışma alanınızı olabildiğince kesin olarak belirleyin). Mantıkta aksiyomlarınızın sayısını büyütmeyin, Öklit'in de kitaplarında yaptığı gibi, gereksizlikleri eleyin. Aynı ilkeleri metafiziğe uygulamaktan da çekinmeyin: Tanrı'dan ya da Yaratandan söz ederken, yaradılışın başka yanlarını da varsaymaya kalkmak gereksiz olur, çünkü bunlar zaten Tanrı'nın doğası içinde vardır. Tersine, eğer din yönünüz çok kuvvetli değilse ya da sezginiz size bu yüce doğayı tam gösteremiyorsa, yerküreyle ilgili düşüncelerinizi Tanrı hakkındaki görüşlerinizle karıştırmayın. Felsefe ve bilimde de böyle yapın, elinizdeki ilkelerin sayısını azaltın. Aydınlanma arkadan gelecektir.

EVRENSEL DEĞERLER

Bu bölümü ortaçağda yazılmış, mantık tarihinden önemli bir sayfayla kapayacağız. Bu konu, mantıkla ilgili bir soru tutkuyla tartışıldığı zaman derin toplumsal tartışmalara ve kralların, papaların ve azizlerin araya girmesine neden olan kuşkusuz tek tarihsel örnektir. 11. yüzyılda, küçük bir öğrenci ve rahip topluluğu dönemin büyük aydınlarına karşı çıkarak, felsefi bir tartışmada coştuğunda yaşananları anlatır. Bunlardan bir bölümü bugün bile akademik çevrelerin dışında da tanınır. Bilgi edinmeye aç, şamatacı öğrencilerin atılganlığını dürtmeyi bilen, kışkırtma işinin ustası Abélard'ı kim duymamıştır? Haç-

lıların rahibi ve manastır yaşamının kurucusu, tutkulu ve gizemli kişiliğiyle kendisine papaların ve kralların bile üstünde bir yer edinmiş olan Aziz Bernard'ı kim tanımaz? Tartışmalar bu iki adamı olduğu kadar, sürdüğü iki yüz yıl boyunca onların ardından pek çok başkalarını da karşı karşıya getirdi.

Nominalizm-gerçekçilik üzerine olan bu tartışma mantık felsefesinin tam da göbeğindeki, felsefenin bütün çerçevesine, hatta doğasına bile yayılabilecek kadar önemli bir soruyla ilgilidir. Gerçeğe ya da başka deyişle bilgi kuramının temellerine ulaşmada bir araç olarak dilin değeri sorusudur. Bertrand Russell'ın da *Batı Felsefesinin Tarihi* adlı yapıtında doğru biçimde gözlemlediği gibi, bu tartışma çağdaş düşüncenin tam ortasında ve konuyla hiç olmadığı kadar yakından ilgili bir soruyu gündeme getirmiştir.

Bu sorunun ilk formülleştirilmiş hali hem daha kesin hem de Russell'ın daha sonra koyduğu şekilden daha dardı. Felsefeyle o dönemde öğretildiği haliyle ilgili olup, Aristoteles ve Platon'un birleşik etkisi altındaydı. Bizim günlük dilimizden büyük ölçüde çıkmış bir terim olan ve eskiden sözcüklerle ilgili kavramlara değinirken kullanılan "Evrensel değerler" denen şeyin doğası nedir? O nedenle, bir evrensel, bir "adam", "incelik", "hayvan", "ruh", "varlık" gibi, felsefedeki bilgiyle ilgili sözcük dağarcığıydı. Bilgi sözcüklerin doğru kullanımıyla oluşturulan analizler yoluyla geliştirilir, oradan çıkarılan sonuçlar sözcüklerle ifade edilir. Ortaçağda bilgi edinmek için tek araştırma yolu konuşma, yani sözcüklerin bitmek bilmez bileşimiydi. O nedenle, felsefede herhangi bir gelişme sağlamadan önce temel olan dilin anlamı ile rolü ve özellikle de evrensel şeylerin doğası üzerinde anlaşmaktı. Felsefenin temel amacının teolojiye hizmet etmek olduğunu ve bu ikincinin ilahi bir mesaja akademik bir yorum getirmekten başka bir şey olmadığını, içerdiği sözcükler tarafından hem açığa çıkarılıp hem de gölgelendiğini unutmayalım. Ama bu özel nokta üzerinde pek durmayacağız.

İki temel tez işin daha başında çarpışırlar. Onları, her şeyi kapsama iddiası taşımadan özetlemeye çalışacak ve zaman içindeki gelişimlerini izlemeye de girişmeyeceğiz. İlk konum, gerçek-

çiliğin destekçilerinin konumu olup, İdeaların (ya da evrenseller-in) gerçek olduğu Platoncu büyük kuramdır. Bununla birlikte, ortaçağ gerçekçileri Platon gibi, İdeaların maddesel gerçeklikten daha gerçek olduğunu öne sürecek kadar ileri gitmezler, yine de bunların sonsuza dek Tanrı tarafından tasarlandığına inanırlar. Buna karşıt olan bakış açısı "adcılık"tır [nominalizm]. Bu ikinci tez tartışmadan en büyük kazancı sağlamaya ve tartışma ilerledikçe daha incelmiş bir hale gelmeye çalışır. Başlangıçta kendiyle dalga geçecek kadar şeffaf bir biçimde göründü: Genel kavramlar ağzın sözcükleri söylerken yaptığı uyumlu tınılardan başka bir şey olmayıp, bizim gözlediğimiz şeyleri tanımlarken az çok keyfi bir biçimde kullandığımız seslerdir. Ya da (bu tartışmaya ilk girenlerden biri olan) Roscelinus'un belirttiği gibi, bunlar yalnızca sesin yükselmesidir.

Bu tartışmanın belirgin bir kazananı olmadı, yorumlarsa kaynaklara, örneğin Dominikan tarikatından olanlar (özellikle Albertus Magnus ve Thomas Aquinas) ile Fransiskan'dan olanlara (Duns Scotus ve Ockhamlı William) göre değişkenlik gösterdi. Sonuç olarak, adcılığın ılımlı bir hali ayakta kaldı. Evrensel şeyler insanların erişebileceği (ilahi gerçekliğin bir bölümünü de içeren) gerçeklere dayanarak modellenir. Bu gerçek, ne kadar genel olduğuna bağlı olarak, bir aile (örneğin *ağaç*, *taş* ya da *insan*) veya tür (bu kez de ilklere uygun biçimde, *meşe*, *yakut* ya da *çapkın*) benzerliklere giden bir düzen sergiler. Bununla birlikte, insan aklı, bir yere kadar, adlandırmaya karar verdiği sınıfların sınırlarını belirleme ayrıcalığına da sahiptir.

Skolastik çağın büyük ustalarını, insanlara başlarda irkiltici gelen ilk bilimcilerden ayıran kısa bir süre olmuştur. Burada üzerinde durulacak şey doğada bulunan düzendir ve bu düzen, evrensel olan şeylerin pratikteki ve anlambilim [semantik] açısından uygulamalarının kökeninde vardır. Rönesans boyunca doğal olayları tanımlamada kullanılan sözcüklerin aralarındaki karşılaştırmalardan oluşan bir araştırma yöntemi de geliştirilmişti. Ne olursa olsun, bu soru mantığın anlambiliminde Locke ve Hume sayesinde yeniden canlanmıştır. Bu konuya yeniden döneceğiz.

II

KLASİK FİZİK

Şeylerin gerçekten göründükleri gibi oldukları, fizik için doğal, yalın, hatta biraz uç olsa da naif denebildiği kadar, "klasik" de dendiği bir dönem oldu. Burada söz konusu edilecek olan da köklerinden 19. yüzyılın sonlarına dek sürecek olan bilimin bu gençliğidir. Burada bütün tarihini izleyecek değiliz ama formel bir hale nasıl geldiğini ve aynı zamanda bilimsel düşünme mantığının nasıl kurulduğunu görebilmek için gerekli kimi belli başlı yerlere değineceğiz. Neredeyse masumiyet dönemi olarak nitelenebilecek bu çağın sonu, ortaya atıldıktan sonra artık hiçbir şeyin aynı olmadığı, Maxwell'in elektrodinamiğiyle geldi.

ASTRONOMİ, HİPPARKOS'TAN KEPLER'E

Kendi kendine "eğer insan gökteki barışçıl ve düzenli yıldızlara hayran kalmasaydı, bilim hiç doğabilir miydi?" diye soruyordu Henri Poincaré. Venüs çevresindekiler gibi sonsuz bulutlar yüreği olduğu kadar aklı da karartmayacaklar mıydı? Güneş ışığına gelince, hangi kesinliğin aydınlanma arzusunu insanda uyandıracağını kim söyleyecek? Babilliler, Çinliler, Hintler, Mısırlılar ve İnkalılar göğün kaydını tuttular ve Stonehenge'den Moğollara kuzeyliler, bu sonsuz maviliğin hayranları, yıldız kümelerini ve onların mevsimlerle uyumlu dengesini anlatan işaretleri çizdiler.

Matematikteki ilk çiziktirmeler gökle ilgili gözlemlere bağlanmış görünüyor, çünkü uzaydaki düzen sayılar aracılığıyla

bunu doğruluyor, kesin kılıyor ve beklenen bir şey olmasını sağlıyor. Batı dünyasında ve Babillilerde bu gerçeğin kanıtlandığı düşünülürken, Yunan aydını da gerçek matematikle tanıştıktan sonra bu alana dalar. MÖ 284-192 yılları arasında yaşamış Eratosthenes'in dünya çevresinin uzunluğunu yeterince kesin biçimde bulmasından önce yalnızca dünyanın Ay üzerindeki gölgesinin şeklinden yola çıkarak, Yerkürenin yuvarlak olduğunu böylesine erken bir çağda bilen aklın inceliğine hayran kalmamak elde değil. Bundan kısa süre önce Samoslu Aristarkhos (MÖ 310-230) dünyanın güneşe ve aya olan uzaklıklarını kestirmişti.

Bu meraklar elbette yalnızca bilgiye ve anlamaya duyulan susuzlukla açıklanamaz. Bunların kökü onlar için daha öncelikli olan dünyanın bir temsiline dayanıyordu. Yıldızları zamanla uzayda yer değiştirme biçimlerine duyulan hayranlık ve bunu önceden daha büyük bir başarıyla kestirme isteği çok eski bir inanışla, imparatorlukların ve insanların yaşamları üzerindeki etkilerine olan inançla iç içeydi. Yalnız Pisagorcu akıl bile karşı konulmaz biçimde yıldızlar alemini, Aristoteles'i de bunların ancak gizemli olarak açıklanabileceği algısına yönelten mükemmellik düşüncesiyle eşleştirir. Doğa gözlemlerindeki bu modele göre yıldızların izlediği yolun mükemmel olması gerekir ve sonuç olarak da eğrilerin en mükemmeli ve aynı zamanda her yerde kendisine benzeyen tek seçenek olan çember biçiminde olmalıdır. Benzer şekilde, adını andığımız aynı Aristarkhos'a örnek olarak dünyanın geleneksel temsilinin hangi noktasını değiştirmenin güç olduğu da görülüyor. Dünyanın güneş çevresinde dönen bir yıldızdan başka bir şey olmadığının varsayılması halinde uzayla ilgili olgular daha kolayca anlaşılmaz mıydı? Ama bu da ne yazık ki izleyeceği yola, tanrıların bulunduğu Olimpos'u da katması anlamına geliyordu. Bunu suçlayacak ve uzun süredir unutulmaya bırakacak olan dinsiz ve kutsal şeylere saygısızdır.

Hipparkos Yunan gökbilimcilerin rol modeli oldu. MÖ II. yüzyılda yaşadığı sanılıyor ama tarihler zamanın efendisi olan böyle biri için ne yazık ki çok kesin değildir. O da bütün kendisinden öncekiler gibi yıldızların küresel biçimdeki ve Dünya-

nın çevresinde yirmi dört saatte dönen bir gökyüzünde belli konumlara çakılı olduklarını sanıyordu. Böylece her bir yıldız eğrilerin en mükemmeli olan bir çember boyunca yer değiştiriyordu. Hipparkos zaman içinde yıldızların gökyüzündeki konumlarını gösteren gözlemlerinin ayrıntılı bir kaydını tuttu ve kendinden öncekilerin tuttuğu ve onu dönencelerin presesyonunu* bulmaya götürecek olan verileri de kullandı. Bulduğu bu olay onun için üzerinde yıldızlar küresinin döndüğü eksenin yavaş bir salınımıydı. Ayrıca aralarında güneşi ve ayı da saydığı gezegenlerin deviniminin dairesel bir düzen taşımadığı sonucuna da vardı. Demek ki bunlar, dünyayla büyük yakınlıklarının da gösterdiği gibi, yalnızca mükemmele yakındırlar. Böylece Hipparkos, her ne kadar gökcisimleri bunu hak ediyorlarsa da, hangi "daha az mükemmel" hareketin bu cisimleri canlandırabileceğini araştırmaya koyulur. Kuşkusuz kendisini çok şaşırtan bir biçimde, iki farklı yanıtın söz konusu olabileceği sonucuna varır. Bunlardan birincisine göre, bir gezegenin sabit bir çemberde dolanıp, hareketinin iki dairesel hareketten, diyelim C_1 ve C_2 gibi oluşması ve C_2'nin C_1 üzerinde dönmesi yerine, iki çemberi iç içe sokmak gerekir. C_2'nin merkezi C_1 üzerinde, düzgün bir biçimde dolaşır ve bu süre içinde gezegen hareketli C_2 çemberi üzerinde de yine düzgün olarak gezinir. Eğer gezegenin izleyeceği ve bu iki hareketçe belirlenen yol çizilirse, oldukça karmaşık bir eğri elde edilir ve buna "episikloid" adı verilir (epi – üst, sikloid – çember biçimli). İkinci çözümse "eksantrik" olandır. Örneğin ayın bir çember üzerinde düzgün olarak ilerlediği, ama bu dairesel yolun merkezinin dünyanın merkeziyle çakışmadığı düşünülebilir. Bu iki çözümün varlığının (bugün ikisinin de tam doyurucu çözümler olmadığı biliniyor) felsefe tarihinde önemli bir rolü olması ve dünyayı anlamak üzerine geliştirilen en eski ve en derin düşüncelerin bir bölümünü getirmesi gerekirdi. Buraya daha sonra yeniden döneceğiz.

* Basit bir salıncak ya da sarkaç düşünelim. Bu salıncağın tepede bağlı olduğu yatay eksenin zamanla düşey bir eksen çevresinde dönmesi halinde bizim salıncak da bir yandan ileri geri salınacak, ama öte yandan da içinde salınım yaptığı düşey düzlem dönecektir. Fizikteki önemli kavramlardan biri olan presesyon, en basit anlatımıyla böyle bir devinimdir –çn.

Hipparkos'tan sonra gözlemlerin daha kesin ve daha uzun süreli olmalarıyla birlikte, eksantriklerin ve episikloidlerin Mars'ın ve Jüpiter'in hareketlerini tanımlamaya yetmediği sonucuna varıldı ve birbiri üzerinde devinen ve "episikl" [ilmekler] denen çok karmaşık yörüngelere yol açan üç ya da daha çok çembere geçmenin işi daha da karıştıracağı anlaşıldı. Yapılması gereken ve o dönemin koşullarında çok karmaşık olan hesaplar özellikle İskenderiyeli Ptolemaios'a (MS 90-168) dayanıyordu ve bunların tutulmaları, yıldızların aynı ya da ters yönlerdeki hareketlerini bulmadaki kesinlikleri şaşırtıcı şekilde başarılıydı.

Bizim buradaki amacımız astronomi tarihini anlatmak olmadığından, Çinlilerin ya da ortaçağdaki Arap ve İranlı gökbilimcilerin değerli gözlemlerinden söz etmeyip, doğrudan Kopernik'e (1473-1543) geçeceğiz. Ölümünden kısa bir süre önce yıllar boyunca Aristarkhos'un derlediği ama unuttuğu ya da önemsemediği, gökcisimlerinin uzaysal hareketlerini yeniden hesapladığı bir çalışmasını yayımladı. Buna göre Yerküre evrenin merkezinde değildir, bu ayrıcalıklı konum yalnızca güneşe aittir ve Yerküre güneşin çevresinde dönmektedir. Gezegenlerin hareketleri de ilmeklere göredir ama çok daha basittir. Örneğin, bu yeni kurama göre Jüpiter'in dünyadan gözlenen hareketi her ikisi de güneş çevresinde dönen dünya ile Jüpiter'in hareketlerinin bir bileşimidir. Güneşin görünür hareketinden yola çıkarak dünyanın devinimini kestiren Kopernik, buradan da her gezegenin hareketini belirledi ve ilmekler sistemini büyük ölçüde basitleştirdi.

İki çok farklı yanı olan "Kopernik devrimi" üzerine çok yazı yazılmıştır. Tümüyle deneysel olan ilki önemli bir gelişmedir ama yalnızca bilimcilerin değerlendirebileceği kadar teknik-tir. Her ne kadar çok az sayıda insan bunu yapabildiyse de, hesapların basitleştirilmesiyle birlikte, ilmeklerin sayısı da azaltıldı. Oysa ikincisinin insanlık tarihinde bir benzeri yoktur. İnsanlık yalnızca bir kuşaklık bir sürede dünyanın uzaydaki temsilini değiştirmiştir.

Bundan önce belki yüz kez söylenen şeylere dönmek yerine, olan biteni, çok iyi bir örnek olan Giordano Bruno (1548-1600)

üzerinden anlatacağız. Cesur düşünceleri nedeniyle dışlanan, çok iyi eğitim görmüş ve anlamaya aç olan bu adam için Kopernik'in kuramı ikinci bir açıklama gibiydi. Onun gözünde Dünya basit bir gezegen, Güneş ise başka ışıklı yıldızlardan farklı olmayan sıradan bir yıldızdı. Bu yıldızın dünyanın merkezinde olması için bir neden yoktu, bu merkez her yer olabilirdi ve Evren de sonsuzdu. Her yerde sonsuz sayıda ve gördüğümüz zayıf ışıklarının da gösterdiği gibi, birbirinden büyük uzaklıklarla ayrılan yıldız vardı. Her birinin çevresinde, kuşkusuz bizimki gibi, birilerinin yaşadığı başka gezegenler olmalıydı. Bruno gerçekten bir fizikçi değildi ve bu bilime katkısı zaten yaygın olarak bilinen birkaç şeyle sınırlıydı, bunlar da merkezcil kuvvet, atmosferin dünya tarafından sürüklenmesi, böylece gezegenimizin biz farkında olmadan kendi çevresinde dönmesi gibi konulardı. Onun bizim gözümüzde büyük bir insan görünmesi daha çok bir din adamı ve düşünür olmasındandı. Bruno, Thomist yöntemi kendine uygulama yürekliliğini göstermiş ve böylece yeni düşüncelerin en gözü pek sonuçlarını çıkarabilmiş, en kutsal sayılan dogmaların altını kurcalamış ve yaratılan ile Yaratıcının birbirine karıştığı panteist dünya görüşüne varmayı başarmıştı. Bunlarınsa kendisine yakılarak ölmeye mal olduğu biliniyor.

Şimdi bu parantezi kapayıp Tycho Brahe'ye (1546–1601), gök gözlemlerinin en önemli adamına geçelim. Brahe soylu bir Danimarka ailesinden geliyordu ve Uraniborg adasında kendi için yaptırdığı gözlemevinde önceden yapılmamış duyarlılıkta ama elbette hiçbir optik donanımı olmayan usturlap ve gönyeler ürettirmişti. Yirmi beş yıldan uzunca bir süre yıldızları gözlemiş, konumlarını ve gökyüzü olaylarını Rodolfin çizelgelerinde kaydetmişti. Bunları Ratisbon'da tamamlamış ve orada kendisine yardımcı olarak hesap konusunda yetenekli genç bir Almanı, Johannes Kepler'i (1571–1630) tutmuştu.

Gözlemlerin ustasından sonra işte kuramların ustası, burada şöyle bir durmaya değer. Hangi garip yolların Yunan astronomisini kuramsal bir biçime soktuğu görülüyor. Başlangıçta görsel gerçeklik, yani yıldızlar, sonra da mükemmelleştirme, yani işin düşsel yanı var. Amaç bu ikisini birleştirmekti ve bu

da elde edilebilecek bir şeydi. Ancak birtakım farklılıklar vardı ve bunlar ilk düşünceleri geriye boş bir gelenekten başka şey kalmayıncaya dek değişmeye zorluyordu. Kepler'in zamanında ilk rüya dönemini tamamlamıştı ve artık bırakılabilirdi. Bununla birlikte ardında somut bir iz bırakmıştı: gökcisimlerinin devinimlerini belirleyen uzun ve yorucu hesaplamalar. Şimdiki durum daha akıcıdır, bu da belki Kepler'in dünkü başarısızlık ile yarınki inatçı iyimserliği arasındakine benzer biraz mızmız kişiliğini bir ölçüde açıklayabilir. Nedeni ne olursa olsun, Brahe'nin topladığı o dev veri grubuna, metafiziksel öngörülerden çok, sayıların doğrudan kendilerini kullanarak matematiksel bir düzen vermek üzere yola koyuldu.

Aslında Kepler, rönesansı kuran uyumun sürekli peşinde olup, acılar çeken bu adamlardan biridir. Tycho Brahe adlı gökbilimcinin yıllarca topladığı veriler üzerinde bir bulmaca çözer gibi çalışmış, orada saklı olup, yavaş yavaş ortaya çıkacak bir düzeni aramıştır. Önce, 1604 yılında, "*Güneş ile herhangi bir gezegeni birleştiren doğrunun eşit zaman aralıklarında uzayda eşit alanlar taradığını*" ifade eden yasayı bulmuştur. 1605 yılında da gezegenlerin devinimiyle ilgili yeni bir varsayım ortaya atmış, gezegenlerin, odaklarından birinde güneşin yer aldığı elips biçimli yörüngelerde dolaştıklarını söylemişti. Yeni varsayımların sınanması çok güç hesapların altından kalkmayı gerektirmiştir. Bununla birlikte, karmaşık hesaplarla içli dışlı olma fırsatı bulanlar, o zamana dek geçilmemiş yeni bir yolu keşfetmek için sayılar arasındaki rastlantısal bir buluşma ötesinde fazla bir şeyin gerekmediğini bilirler. Böylece, çok basit bir geometrik varsayımın Kepler'in hesaplarında ortaya çıkmasına, yalnızca öncesinde başka hesaplar olduğu için çok şaşırmamak ya da (sonradan akla gelen) derin bir neden aramamak gerekir. Burada asıl yeni olan şey, onun ne pahasına olursa olsun, bir düzen arama konusunda gösterdiği inattır. Bu kez veriler varsayımla çok güzel bir uyum içinde olmuş, bu da ilmeklerin sonu olmuştur. Son olarak da, 1618 yılında Kepler güneş sistemimizin gezegenlerinin üçüncü bir özelliğini daha bulur: Herhangi iki gezegenin elips biçimli yörüngelerinin ana eksenlerinin oranının küpü, o iki gezegenin güneş çevresinde dönme sürelerinin (kendi yıllarının) oranının karesine eşittir.

Böylece önemli bir düşünce yavaş yavaş şekillenir: Acaba yaşam bulunmayan doğa matematikçe belirlenen bir düzene uyabilir mi? Aslında bu düşünce Pisagor'a kadar gidiyorsa da bugünkü biçimi tartışmaya açıktır. Önceden ortaya atılmış ve matematiksel terimlerle ifade edilmiş düşüncelerle işe koyulmak artık söz konusu değildir. Tam tersine, işe somut gerçeklerle başlanır ve bunların birtakım matematiksel kurallara uygun bir yapıya girip girmediğine bakılır. Bu kurallar bir bakıma deneyseldir, bunların derin anlamını mutlaka anlamasak da kabul ederiz. Kepler yasalarından da görüleceği gibi, bu kurallar genellikle yüksek bir düş gücünü ve hatırı sayılır bir çabayı gerektirebilirler. Kepler'in üç yasası, sürekli belirtildiği üzere, bu deneysel bakışın bir paradigmasıdır. Şu ana dek maddesel gerçekliğin kendini sayısal birtakım kurallara uydurduğunu görmeye öyle alışmışız ki, zaman zaman böyle kuralların hiç var olmayabileceğini kavramamız güç oluyor. Şaşırtıcı olan, böyle bir kural bulma amacıyla yola çıktığımızda mutlaka bir adet bulmamız, daha da şaşırtıcı olansa, tüm bu kuralların birbiriyle çelişmek yerine büyük bir uyum içinde olmalarıdır. Kepler aracılığıyla astronomi, matematiksel bir biçim alan deneysel yasaları ortaya koyarak, gökbilim denen bilimin doğumunda üstlendiği ebe rolünü yerine getirmiştir.

MEKANİĞİN DOĞUŞU

Mekanik, kökenlerinin yalın oluşu nedeniyle insanı hayran bıraktığı kadar, bir bilimin temel kavramlarının günlük yaşamın sıradan deneyimlerinden çıkarılabilmeleri açısından da oldukça sağlamdır. Dünyanın temsilinde en son gelinen nokta yalnızca kendi önsezilerimizle tümüyle uyum içinde olmanın yanı sıra aynı zamanda onları tamamlıyor. İnsanlığın bilimi gece gökyüzünü görmeksizin keşfedip keşfedemeyeceğini merak eden Poincaré gibi, biz de bu buluşun günlük yaşamla bilim arasında olan ve çoktan yitirdiğimiz bu süreklilik olmadan sağlanıp sağlanmayacağını kendimize sorabiliriz. Tarihin bu yeni bölümüne Einstein'ın şu ünlü sözünden daha iyi bir başlangıç yoktur: "*Tanrı kurnazdır ama kötü değildir.*"

Görmek isteyene açık olan bu yalınlık kuvvet kavramıyla kendini gösterir. Herkes bir ağırlığı kaldırmanın bir arabayı çekmenin ya da bir yayı bükmenin ne demek olduğunu bildiği için bu kavram çok eskilere gider. Tartı sayesinde ağırlık bir kuvveti ölçme olanağı sağlar. Arşimet (MÖ 287–212), kaldıraçlar için de temel olan, bir kuvvetin uygulanacağı noktanın önemini vurgulayan ilk kişi olmuştur.

Bundan yüzyıllar sonra, Brüjlü Simon (1548–1620) olarak bilinen Stevin, durağan bir cisim üzerine etkiyen kuvvetlerin denge durumunu, başka bir deyişle, statiğin kurallarını açıklayacaktı. Bir kuvvetin, denge yasaları için önemli olan büyüklüğü, yönü ve uygulama noktasıyla tanımlandığını, ipler, kaldıraçlar, makaralar yardımıyla ve kuşkuya yer bırakmayacak bir şekilde gösterdi. Ayrıca, farklı doğrultularda birden fazla kuvvetin uygulanması halinde bunların yerine geçecek eşdeğer bir "bileşke" kuvvetin nasıl bulunacağını da gösterdi. Bunu yaparken daha sonra vektörlerin toplanması olarak bilinen "paralelkenar" yönteminden yararlandı. Bu bakımdan, yalnızca fizik değil, matematik kavramlarının da deneysel bir kökeni olduğu görülebilir. Buradaki örnek de yeni bilginin fizikle, onunla ilgili matematik arasındaki çok daha gizemli kesişime doğru olduğunu gösteriyor.

Statiğin ilkeleri oluştuktan sonra sıra dinamiğin ilkelerine, yani kuvvetle devinim arasındaki ilişkiye gelmişti. Eski çağlarda yaşayanlar, atın arabayı çekmesinde olduğu gibi, bir kuvvetin bir devinimi yaratabileceğini belirlemişlerdi. Aynı zamanda, Aristoteles'in de dediği gibi, bunun tersinin de olabileceğine, yani bir hareketin ancak bir kuvvet etkidiği sürece söz konusu olabileceğine inanıyorlardı. Eğer bu mantık doğru değilse, bunun hakkında ne diyebiliriz? Geçerli sırayı biliyoruz, bir okun yolunda ilerleyebilmesi için üzerinde sürekli bir kuvvet olması gerekir. Çağdaş yorumcular skolastiklerin çözümünü bu kuvvetin bir melek tarafından uygulanmasına dayandırırlar. Bu "çözüm" üzerine gülümseyebiliriz, ama bu büyükçe bir gülümseme olmalı, çünkü benzeri türde bir açıklama daha sonra da (*esir* konusunda), hatta belki bugün bile *boşluk* ve *kuantum alan kuramı* gibi biraz gizemlice konular nedeniyle görülecektir.

Bu konu yavaş gelişimini ortaçağ boyunca, "bir cismin, üzerinde herhangi bir kuvvet etki etmeden de hareket edebileceği" görüşünde olan Galileo'ya (1564-1642) dek sürdürür. Bu düşünce Oresme'in (1320-1382) çalışmalarında da görüldüğü için tümüyle yeni değildir, ancak Galileo'nun temel katkısı deneysel yöntemi sistemli bir biçimde uygulamasındadır. Bir topun yatay bir düzlem üzerindeki devinimini inceler. Statik bilimi bize top durmaktayken üzerinde hiçbir yatay kuvvet olmadığını söyler. Galileo da aynı şeyin top hareket halindeyken de geçerli olduğunu ve kendi gözlemlerinin bunu doğruladığını varsayar. Sürtünmenin bulunmadığı (topu yavaşlatmadığı) bir ortamda, top düz bir çizgi üzerinde sabit bir hızla gider. Fizik tarihinde önemli bir rol oynayan *eylemsizlik ilkesi*' budur. Üzerinde hiçbir kuvvetin etkimediği bir cisim düz bir çizgi boyunca ve değişmeyen, sabit bir hızla ilerler. Aslında bu ilkenin tam olarak formülleştirilmesi biraz zaman almıştır ve bizim verdiğimiz biçimde olanı Galileo'ya değil, Descartes'a dayanır. Galileo hareketin düz değil de dünyanın dönüşüne uygun olarak, çembersel olacağına inanıyordu ama bunu şimdilik geçelim.

Galileo'nun aynı zamanda düşmekte olan cisimleri de incelediğini ve bunun için de, eğik düzlem üzerine koyduğu topları, ağırlığın etkilerini azaltıp, hareketi yavaşlatarak daha kolay incelemek gibi deneysel yöntemlerden yararlandığını biliyoruz. Kendisinin çıkardığı ve iyi bilinen sonuçları yinelemeye gerek yok ama buradaki yalınlığın altını çizelim. Bu sonuçlar şu ünlü sözünü de doğruluyor: "*Doğanın kitabı matematik dilinde yazılmıştır.*"

Huygens ve Wallis (1670'li yıllarda) dinamiğin bu temel yasalarına, çarpışmalarla ilgili kuralları da eklediler. O sıralarda "ağırlık"la iyice ayırt edilmiş "kütle" kavramı burada önemli bir rol oynuyordu ve iki yeni kavram ortaya çıkmıştı. Bunlar "momentum" ve o sırada *vis-viva* denen, bugünse "kinetik enerji" olarak bilinen kavramlardı. Bütün bu "yasalar" temelde deneysel kökenliydi ve daha önce Kepler'in kurduklarından daha kolaydı.

Sözünü etmemiz gereken son bir gereç daha var, o da dinamik açısından geniş bir kullanım alanı olan ve Descartes tara-

fından 1637 yılında kurulan "analitik geometri"dir. Bu kavram temelde geometrinin bir noktanın bir gözlem çerçevesindeki üç eksene göre konumunu tanımlayan üç sayı üzerindeki cebirsel hesaplara indirgenmesini sağlıyordu. Öklit geometrisi kimi özel eğrileri, örneğin konikleri ve dönemin matematikçilerini ilgilendiren ünlü "sikloid" gibilerini ayrıntılı incelemek için tümüyle yeterliydi. Ancak bu geometri daha karmaşık biçimli eğrileri tanımlamada yetersiz, hatta yararsız oluyordu. Bu tanımlamaları hesaba döken Descartes değerli bir gereci sağlamıştı. Buna göre her bir bileşen, zamanın bir fonksiyonu olarak düşünülebiliyordu ve bu fonksiyonun biçimi kuramca belirlenebiliyordu.

Bununla birlikte, Descartes'tan gelen her şeyden nefret eden Newton, onun bu yönteminden yararlanmayı da kendine yediremiyordu. O olmadan da yapabilirdi, çünkü uğraştığı en önemli problemler "konik eğriler"le ilgili olanlardı. O nedenle bu büyük yapıtta Descartes'tan söz etmedi. Ama Newton'ın ardından gelenler, onun bu gizli yasağını pek önemsemediler. Konulara daha farklı, önceden geleceği daha iyi kestirmeye uygun bir açıdan da bakabiliriz. Dinamik açısından uzay fiziksel bir kap rolünü üstlenir, onu cebir yoluyla soyut olarak tanımlama olanağı bulunması da, tam kesin olmamakla birlikte, bu bakımdan ilk işarettir. Ama herhangi biri bunu nasıl görebilir?

NEWTON DİNAMİĞİ

Newton'ın (1642-1727) dinamik alanındaki çalışmaları, hiç kuşku götürmez bir biçimde bilimin doruklarından birini oluşturmaktadır ve eşit sayılabilecek başka başarılı çalışmalar yapılmış olsalar da, hiç geçilmemişlerdir. Newton bunları daha sonra kendisi tarafından bütün gençlik yılları boyunca hazırlandığı söylenen ve 1687 yılında basılan *Doğa Felsefesinin Matematiksel İlkeleri* (*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*) adlı yapıtında yayımlamıştır.

Biz burada onun üstün aklının çok çeşitli yönleri içinde fizik "yasa"larına getirdiği yeniliklere vurgu yapacağız. Ondan önce bu yasalar büyük bir veri birikiminin özenli bir çözümünün ardından çıkarılmış tümüyle deneysel kurallar gibi görü-

nüyorlardı. Ancak Newton doğanın uyduğu evrensel yasaları, eski deneysel yasaların mantıksal ve matematiksel sonuçlar olarak izlediği "ilkeleri" ortaya attı. Bu da özellikle, en azından düşünce bazında, kendimizi dünyevi koşullardan ve bunun bize dayattığı sınırlardan kurtarmamız gerektiği anlamına gelir. Düşen cisimler, titreşen sicimler, gezegenlerin devinimi, çarpışmalar gibi birbirinden çok farklı olgulara yasalar bulmaya girişecek yürekliliği göstermek bugün için büyük takdiri hak eden bir şeydir.

Yine de, evrensel ilkeler arama yolundaki bu arayışların Newton'la başlamadığını, Descartes'ın ondan önce kendini buna adadığını eklememiz gerekir. Bu ikisi arasındaki fark, Fransız filozofun dinamiğin gerçek ilkelerini bulmadaki talihsizliği, fırsat yoksunluğu ya da yeterince dahi olamaması, önerdiği ilkelerinse yanlış ya da bütünlükten uzak olmalarıydı. Ayrıca deneyden çok akla dayanan yöntemini de büyük olasılıkla olduğundan büyük görmüştür. Bu öncelik ve Descartes'ın büyük bir düşünür olarak değerlendirilmesi gerçeği (her ne kadar bu nitelik Newton için o kadar belirgin değilse de), Husserl ve Heidegger tarafından ortaya konan *Kartezyen Proje*'ye* bu adın verilmesini sağlamıştır.

Bu ikincinin ardından ve elbette projenin kendisine itirazını paylaşmadan, bu ifadeyi benimseyeceğiz. Bu günlerde çoğu bilimci için temel bir öğreti haline gelen bu proje, doğanın mantık ve matematik yoluyla ifade edilebilen kimi evrensel ilkelere uymasına dayanmaktadır. Eğer bu düşünceye şöyle bir göz atarsak, içinde bir çılgınlığı da barındırdığını kabul etmemiz gerekir. Doğadaki bunca farklı şeyin, bu zengin çeşitliliğin, bu şiirlerin, fantezilerin bir demir yumrukla disipline sokulabileceği nasıl düşünülebilir? Bu düşüncenin kimilerince giderek ve çok yoğun bir biçimde kavranıp, sorgulamanın gerekli görülmeyerek artık bir inanç haline gelmesi, kuşkusuz her yıl yenileri eklenen buluşların ağırlığı, tarihin akıllarda neden olduğu gelişim ve sistemli haldeki bir öğretinin etkisi nedeniyledir.

Bu tutkulu bakış açısı daha işin en başından, Newton'ın dinamiğe getirdiği çerçeve tanımından ortaya çıkar: Uzay ve za-

man mutlaktır. Newton'a göre, fiziksel uzay artık yatay ve düşey doğrultularda, yani yerküreye göre yapılandırılmamış, mutlak hale gelmiştir. "Kendi doğası gereği dışarıdan olan bir şeyle ilişkisi bulunmayan mutlak uzay, hep kendisine benzer olarak kalır ve yerinden kımıldatılamaz. Göreli uzay, duyularımızın cisimlere göre olan konumu ve sıklıkla hareket ettirilemediği düşünülen mutlak uzayın yerinden oynatılabilen bir boyutu ya da ölçüsüdür." Benzer şekilde, "mutlak, doğru ve kendine özgü matematiksel bir zaman" vardır ve bu zaman dışarıdan herhangi bir şeyle ilgisi olmadan akar. Göreli ve yaygın zaman, hareket aracılığıyla ölçülen bir zaman aralığı ölçüsüdür.

Fizikte sıkça kopya edilip, alıntılanan ve üzerinde yorum yapılan bunun gibi başka bir konu yoktur. Gereken her şey bulunmaktadır: Hemen hemen metafizik denebilecek ve Kant'ın ön yargısız düşünme sistemine çok yakın bir mutlaklık savı. Ama bu mutlak uzayı, en azından ilke olarak, tanımak amacıyla deneysel bir yöntem önerdiği ve başka türlü inanışların ipucunu verdiği için, Newton bu kadar kategorik değildir. Dahası (ve dehasının kanıtı), mutlağa olan referans eylemsizlikten (merkezkaç kuvvet gibi) etkilerinden doğan güçlükleri, kendi başlarına çözümleme yerine temel ilkelerden yola çıkarak çözdüğü anlaşılmaktadır. Tüm bunlara karşın, bu verimli yalınlık Einstein'ın da daha sonra gösterdiği gibi, somut ve sarsılmaz bir gerçeği garantilemeye yeterli değildir: "Tanrı ince düşünür."

Newton'ın önerdiği ilkeler (ki bunlara Newton yasaları denir) ünlüdür ve toplamda üç adettir. İlki, Galileo'nun eylemsizlik ilkesinden başka bir şey olmayıp, mutlak uzay ve zamanda Descartes'ın önerdiği biçimle formülleştirilen, "üzerinde (mutlak uzayda) hiçbir kuvvetin etki etmediği bir cisim düz bir çizgide ve değişmeyen, sabit bir hızla hareket eder" diye ifade edilir. Sonra statikte zaten bilinen "etki-tepki" eşitliği gelir. Genellikle dinamiğin temel ilkesi olarak adlandırılan üçüncüsü ise, lise-üniversite öğrencilerinin eski bir dostu olup, "bir cismin kütlesi ile (mutlak uzayda) ivmesinin çarpımının, o cisim üzerindeki toplam kuvvete eşit" olduğunu söyler.*

* hani şu ünlü $F = ma$ –çn.

Burada önemli bir rol üstlenen ivme kavramı Newton'ın bir başka büyük buluşuna, diferansiyel hesaba dayanır. Eğer cisim üzerine etkiyen kuvvet biliniyorsa, üçüncü ilke diferansiyel denklemler cinsinden yazılabilir ve bunların çözümleri de cismin konumunu zamanın bir fonksiyonu olarak (her an için) ifade ederler. Newton bu denklemlerin çözüm yöntemi olarak matematiğin yine kendi yarattığı bir dalı olan integral hesabını göstermenin yanı sıra anlamlarını da verdi.

Newton'ın ilk işi kendi kuramının temel mantığını kurmaktı ve bunu fiziğin gelişiminde pek çok kez karşımıza çıkacak olan bir yöntemle, deneysel kurallar biçiminde zaten bilinen kimi sonuçları yeni ortaya atılan ilkelerin mantıksal ya da matematiksel sonuçları olarak yeniden elde edilmesi biçiminde yaptı. Söz konusu sonuçlar sarkacın, düşen cisimlerin ve çarpışmaların devinimini içeriyorlardı.

Ama hepimizin bileceği gibi, en büyük başarısı, yukarıdaki sonuçlardan pek de farklı olmayan, "kütleçekim kuramı"dır. Burada sorun Kepler'in deneysel yasalarını genel ilkelerden yola çıkarak elde etmekti. Tek ciddi güçlük iki cisim (örneğin güneş ve bir gezegen gibi) arasındaki kütleçekim kuvvetinin kesin biçimini belirlemektir. Ama bu da Kepler'in iki yasasından yararlanarak yapılabilir. Alanlar yasası gerçekten merkezi kuvvetin evrensel bir imzasıdır, yani, bu durumda güneş ile gezegeni birleştiren doğru üzerinde etkiyen bir kuvvettir. Bir gezegenin yörüngesinin büyük ekseninin uzunluğunun o gezegenin periyoduyla (yani bir yılı) ilişkisini veren deneysel bağıntıdan yukarıdaki kuvvetin uzaklığın karesiyle ters orantılı olduğu çıkar. Şimdi artık dinamiğin temel ilkelerinden çıkan hareket denklemlerini çözmek için gerekli her şeyi biliyoruz. Bunların çözümü gezegenlerin yörüngelerinin, beklendiği gibi, elips biçiminde olduğunu ve bu elipslerin iki odağından birinde güneşin bulunduğunu doğrular.

Bu arada, bir bilim tarihçisinin kuşkusuz Newton'ın ilkeleri ile Kepler'in kuralları arasındaki bağıntıyı çıkarma biçimimize itiraz edebileceğini belirtelim. Çünkü ünlü ters kare yasasının, tartışmalar bir yana, çok daha kapsamlı ve tereddütlerle dolu olduğunu ve adı geçen yasanın Hooke tarafından

tam keşfedilmediyse bile, önceden sezilmiş olduğunu söyleyebilir. Bu tarihçi ayrıca bizim sunduğumuz savların aslında çok daha yakın geçmişe ait olduğunu gösterebilir. Kimi bilim felsefecileri buna, Feyerabend'in de iddia ettiği gibi, bir yöntem bulunduğuna, rastlantıdan, karmaşadan ve tahminden başka şey olmadığına inandırmak üzere tarihi kötü temsil eden bilimcilerin içinde bulunan sahteciliği doğruladığımızı eklerlerdi. Vicdanın sesinin dinlenmediği böyle durumlar pekâlâ yasalara uygundur ve bizim de okuyucuya bir açıklama yapmamız gerekir. İlk olarak, bu kitabın tarihle yalnızca çok küçük bir ilgisi olduğunu ve tek amacının (eğer bir anlamı olacaksa) anlaşılmak olduğunu belirtiyoruz. Yeterince açık ve uygun olmaları koşuluyla en son düşüncelerden de yararlanmaktan mutlu oluyoruz. Bilimsel yönteme gelince, bu sorunun, genellikle benimsenenden biraz daha ince bir konu olması nedeniyle, özellikle varlığından kurtulmak istendiğinde, biraz beklemesi gerekiyor.

Bu parantezi kapar ve kütleçekim kuramına geri dönerken, geçmişte birçok tartışmanın kaynağı olan bir güçlüğü inceleyelim. *Kütleçekim* adı verilen bu kuvvetin, arada boşluk bulunmasına karşın, güneş ve gezegen arasında doğrudan etki ettiği varsayılıyordu. Pekiyi ama bir *etki* ya da bugün diyeceğimiz biçimiyle bir *bilgi* boşluk tarafından nasıl iletilebilir? Boşluğun hiçliği ile kuvvetin varlığı arasında yasaklı bir denklem olmakla birlikte, felsefi açıdan da saçma olan "uzaktan etki" konusundaki bu kavramsal güçlük genel kanıya terstir. Newton bunu iyi bilir ve "*Principia*" [*İlkeler*] kitabının üçüncü basımındaki dipnotta düş kırıklığını açıkça kabul eder. Einstein bu kuvvetin sorgulanacak bir özelliğini daha, bunun yalnızca güneş ile gezegen arasındaki eylemin olduğu andaki uzaklığa bağlı olmasını gündeme getirir. Bunun da anlamı güneşin gezegenin konum bilgisini anlık bir şekilde (gecikme olmaksızın) edindiğidir.

Anlık uzaktan etki Newton'ın kütleçekim kuramının ilk zayıf noktasıdır. Ama bilim alanında çalışanların çoğunca hemen unutulmuştur. Aslında farkında olmadan, her şeyin göz önünde canlandırılabileceği ve insanın sağduyusuyla uyum içinde

olacağı, sezgiyle ilgili bir bilimden resmi ve katı öğeler içeren, temelde pek de akla yatmayan bir bilime doğru kayıyorlardı.

Bu kayma, Laplace, Lagrange ve kısa süre sonra Hamilton'ın saf matematiksel çalışmalarıyla, on sekizinci ve on dokuzuncu yüzyıllara girerken daha şiddetli olacaktı. Özellikle Lagrange ve Hamilton, Newton'ın ilkelerini ilk olarak formülleştirildiklerinden çok daha farklı bir matematiksel biçime sokarlar. Burada temel rol "eylem" kavramındadır. Newton tarafından kullanılan kavramlardan farklı olarak, bu kavram tümüyle matematikseldir ve sezgiye ya da görselliğe dayalı bir içerik taşımamaktadır. Burada "*eylem*" adı verilen şey, *kinetik* ve *potansiyel* enerjiler arasındaki farkın zaman üzerinden alınan integralidir. Kuşkusuz bunların toplamı anlamlı bir şekilde *toplam enerji* değerini verir, pekiyi ama *farkları* ne anlama geliyor? Dahası, eylemin tek başına bir anlamı yoktur, yalnızca aracı olarak görev yapar: Gerçek hareketin gizemli bir özelliği vardır, o da "*eylem*"i en aza indirmektir (*en küçük eylem* ilkesi). Ama neden *en küçük* ya da *en büyük* olsun? Anlamayı beklemeden, bir şey *görmeden* yalnızca merak edebiliyoruz, çünkü bu *eylem* denen şeyin ne olduğunu ya da nereden geldiğini bilmiyoruz.

Lagrange ve Hamilton'ın yöntemleri sayesinde dinamik hesaplamaların doğrudan merkezine inilebildi ve bu hesaplar çok daha etkin biçimde yapılabildi. Ama tümüyle matematiksel öğeler taşıyan bu işlemlerin fiziğin özüyle pek ilgisi yoktu. Daha etkin hesaplar daha derin kavramsal içerik sağlayacak diye bir şey olmadığı için hiç kimse yeni yöntemlerin bilimin temellerini sorgulamaya açtığını öne süremez. Üstelik, ...

ESİRDEKİ DALGALAR

Bizim amacımız elbette bilim tarihinin ayrıntılarına girmek değil, ama yine de optikle ilgili birkaç söz etmeden geçemeyeceğiz. Bunun çeşitli nedenleri var. Birincisi, katı cisimlerin, gizem taşımayan nesnelerin devinimlerini inceleyen dinamikte olduğundan farklı olarak optik, büyük bir soru sorar: Işık nedir? Bu açıdan, optik dinamikten daha derin, edinmesi daha güç bir kavrama düzeyi gerektirir. Fiziğin bu dalı da bilimin

bütünlüğünün en güzel örneklerinden biridir ve bu bütünlük de bizim izleyeceğimiz temel çizgilerden biri olup, sonunda elektromanyetizmayla birleşmeye varacaktır. O yüzden, kısaca da olsa incelemeye değer.

Tarih bize miras olarak Leukippos ve Demokritos'un atomcu okulundan gelen, *ışığın özel bir türdeki atomlardan oluştuğu* yolundaki çekici bir varsayımı bırakmıştır. Bu varsayıma göre bu atomlar ışıklı cisimlerden yayılırlar ve aydınlatılmış bir nesneden yansıdıktan sonra göz tarafından algılanırlar. Lucretius'un *De natura rerum* adlı yapıtına konulan bu varsayım da eskilerin bir açıklamanın nasıl olması gerektiğini düşündüklerine güzel bir örnektir: İnsanın kendi için oluşturduğu ve başkalarına sözlü olarak aktarılabilecek doyurucu bir görüntü.

Bilimsel optik, başka deyişle, deneyler yoluyla deneysel kurallar arama disiplini gerçek anlamda Descartes'ın 1637 yılında basılan *Dioptrik* adlı yapıtıyla başlar. Bu kuralların kimileri uzak geçmişten gelir. Işığın düz bir yolda yayılması ya da örneğin aynalardan yansıma yasaları Arşimet zamanına dek gider. Öteki yasalar, örneğin (daha önce Snell tarafından bulunan) kırınımla ilgili olanlar daha yenidir. Bunlar bir ışık ışınının, iki ortamı (su ile hava gibi) birbirinden ayıran düzlemi geçerken yön değiştirmesiyle ilgilidirler. Descartes ayrıca çeşitli sonuçlar da çıkarmış, kendi çağdaşı olan bilimcileri, su damlacıklarının yansıma ve kırılmaları yoluyla açıkladığı *gökkuşağı kuramı*yla etkilemiştir.

Bu, bilimin doğanın en ilginç gizemlerinden birinin üzerindeki perdeyi kaldırmasına bir örnek olması nedeniyle çok önemli bir açıklamadır. Gökkuşağı ne felsefecilerin genellikle üzerinde kafa yordukları bir şeydir ne de o beyni kurcalayan derin bulmacalardan biridir. Öte yandan, gökkuşakları onlardan türlü yorumlar çıkarabilecek olan ozanlara esin verirler. Bilim böyle şiirsel bir olgunun gerçek doğasını verdiğinde, onu şiirin ve düşler evreninin karşıtı gibi alanlar olabilir. Tersine, kimileri de daha iyi görmeyi, kuramın varlığını bildirdiği, birinciden daha sönük olan ikinci derece gökkuşaklarını ayırt etmeyi, bunların tadını çıkarmayı öğrenirler. Şiir yasaklanma-

mıştır, yalnızca yeni bir boyutu, Evreni dolduracak olanı seçer. Durum hangisi olursa olsun, bilim böyle birçok buluşun yardımıyla sonunda bizim sanal dünyamızı da dönüştürür.

Anlama isteğiyle yanıp tutuşanların imgelemi düş kuranlarınkinden daha zayıf değildir. Işığın dalga kuramının doğuşu bize bu gerçeğin güzel bir gösterimini sunar. Gerçek yöntemi kavramak isteyenlere bilimin yüzünü sunan bu örnek önemli bir aşamadır. Aklın gücüne çok güvenilmesi halinde, doğru düşünceye şanslı bir sıçramayla varmada yanılgı olabilir.

Temelde deneye değil, akla dayalı olanı destekleyen Descartes'ın ana ilgi alanı yöntemdir. Descartes çözüm kendisini açık bir biçimde ortaya koyana dek problemi küçük ve daha yalın parçalara ayırma yanlısıdır. Son tahlilde amaç, aklın her şeyi net ve akıcı bir biçimde kavrayabileceği tam bir çözümleme oluşturmaktır. Bu yaklaşım Descartes'ı (gerçeğin en doğru bilgisini edinmeye olan inanç anlamındaki) *gerçekçilik** akımının en tipik örneklerinden biri yapmıştır. Onun fiziğe ilişkin görüşünün temel bir bileşeni maddeyi kapladığı yerle ya da uzayla birlikte tanımadır. Uzay aynı zamanda maddedir ve hatta en iç bölümleri bile hareket halinde olabilir. Işığa gelince, Descartes onun tanecikli yapısını reddeder. Çünkü bu bakış, kırınımlarda ortaya çıkan yön değiştirmeleri açıklamaya pek uygun değildir. O daha çok maddenin o zamana dek özellikleri çözülmüş bulunan ses dalgalarında olduğu gibi, dalgalanması (ya da uzaması) görüşünden yanadır.

Bu dalga varsayımı daha sonraki kuşağın temsilcilerinden Robert Hooke ve Christian Huygens sayesinde destek bulacaktır. Sesin hava içinde yayılması gibi, ışığın da geçirgen bir ortam içinde yayıldığı varsayılmaktadır. Ortamın her bir noktası titreşir ve tüm bu titreşimler noktadan noktaya yayıldıkça dalgayı oluştururlar. Huygens bu kuramın ayrıntıları üzerinde çalışır ve bunu kesin bir matematiksel dile döker. Buradan ışık dalgalarının düz çizgiler boyunca gitmeleri gerektiğini öngörür ve ayrıca da kırılım yasalarını dikkate alır. Çok daha önceki yıllarda Leonardo da Vinci tarafından gözlenen, daha sonra da Grimaldi tarafından incelenen "*kırınım*"* olgusu da dalga düşüncesini doğrulamaktadır. Bunu en iyi ortaya koyan şey-

lerden biri gölgelerin keskinlikten yoksun oluşu, yakından bakılınca hafif bulanıklık ya da örümcek ağındaki küçük ölçekli (mikroskobik) parçacıkların ışığı yaymalarıdır. Tüm bunlar ışığın dalga boylarının, çok kısa olsalar bile erişilmez derecede küçük olmadıklarını gösterir.

Bununla birlikte, dalga varsayımı peşinde Descartes'ın ilk düşüncelerinin bırakılmasından çok sonraya kadar kalacak bir eksikliği de getirir: Eğer bir şey titreşiyorsa, bu nedir? Işık maddesel bir ortamda ilerlediğinde atomlar işi görebilir. Ama ya boşlukta durum nedir? Huygens'in buna yanıtı (yani *esir** varsayımı; *eter* dendiği de olur) fizik tarihini yıllarca etkileyecektir. Huygens için esir denen şey maddesel olmayan, maddenin içine işleyebilen, içinden geçilebilen ve boşluktan başka şeyin olmadığı yerlerde de geçerli olmak üzere, her yerde bulunan bir ortamdır. Yine de, mekanik bir ortamdır, çünkü ışık dalgaları içinden geçtiğinde titreşmektedir.

Eğer aklın hemen yorumlayacağı kavramları kullanarak klasik bilimi gerçeğin bir tanımı olarak nitelemede anlaşırsak, o zaman Newton'ın "uzaktan etki" kavramını kullanmasından kısa süre önce Huygens'in esir konusunu ortaya atması bu anlayışta bir kırılmaya işaret eder. Ama hemen sonuca atlamayalım.

Işığın dalga kuramının, Newton'ın ağırlığını koyduğu parçacık varsayımıyla yarışması gerekiyordu. Girişim kavramının bulunmasının uzunca bir süre askıya alacağı bu büyük tartışmanın ayrıntılarıyla ilgilenmeyeceğiz. Thomas Young *girişim** etkilerini 1801 yılında ilk gözleyen kişi oldu. Kendi adıyla bilinen çift yarık deneyini yapabilmek için üzerinde bir çift dar ve paralel yarık bulunan bir levhanın bir yüzünü aydınlattı ve levhanın öte yanına konmuş bir ekranda sırayla "bir aydınlık–bir karanlık–bir aydınlık..." saçaklar gözledi. Augustin Fresnel iki yarık yerine hafif eğimli iki ayna kullanarak yöntemi geliştirdi. Bu yenilik daha iyi gözlemlere ve deneysel çalışmanın daha sistemli biçimde yapılmasına olanak verdi. Su yüzeyindeki dalgalar da girişim etkileri gösteriyorlardı. O zaman, bu deneylerin sonuçlarının dalga kavramını (varsayımını) desteklediği yolundaki yorumlar doğaldır ve Young ile

Fresnel'in yaptığı da tam olarak budur. Aynı zamanda Fresnel, Huygens'in kuramını daha da geliştirmiş, bu da ona girişim saçaklarını nicel bir biçimde değerlendirme ve onları kırınım kavramına uygulama olanağı verdi.

Tam bu noktada daha önce pek çok kez belirtilen ama yeniden söylemeden geçemeyeceğimiz bir olay oldu. Bu bize kaba olarak adlandırılabilecek bir deney örneğini gösterme olanağı sağlayacaktır. 1819 yılında Paris Bilimler Akademisi bir kurulu kırınım olgusu üzerindeki çalışmaları değerlendirmekle görevlendirdi. Bu kurulun üyeleri Biot, Arago, Laplace, Gay-Lussac ve Poisson'du. Bu fırsatla Fresnel bu konu üzerindeki görüşlerini ayrıntılı biçimde ve ek hesaplarla güçlendirilmiş olarak sunar. İnsan, kurulun daha sonra problemin toptan bir değerlendirmesi olduğu anlaşılacak olan kararına ancak hayranlık duyuyor. Eskiden yaşamayı, yaşanmaya değer kılan yalnızca iki şeyin, yani matematikle uğraşmanın ve onu öğretmenin bulunduğunu söyleyen korkusuz matematikçi Poisson, Fresnel'in çalışmasının kapsamlı bir analizini yapmayı üstlenir. Poisson, büyük olasılıkla Fresnel için fazla ileri birtakım matematiksel teknikler kullanarak çembersel bir ekranın gölgesinin iç bölgelerindeki ışık şiddetini hesaplar. Onun hesaplarındaki sonuç akıl alacak gibi değildir: Gölgenin tam merkezinde şiddeti neredeyse gelen ışığınkine eşit parlak bir alan olması gerekir. Bu sonuç bir hata gibi görünmektedir. Şaşkınlığını Arago'yla paylaşmaya karar veren Poisson neredeyse Fresnel'in tüm çalışmasını reddetme aşamasına gelir. Fresnel ise söz konusu parlak alanın, çok küçük olması nedeniyle o güne dek fark edilmemiş olabileceğini belirtir. O zaman da deneyi yalnızca kendisini çok şaşırtan bu durumu, yani bu inanılmaz parlak noktanın gerçekten orada olduğunu kanıtlamak için yeniden yapar!

Bu türden çarpıcı şeyler genellikle sabırla toplanan çok sayıdaki kanıt parçalarından daha inandırıcıdır. Poisson-Arago gösteriminden sonra dalga varsayımı kaçınılmaz bir hale geldi ve hiç kimse artık ışığın bir titreşim olduğundan kuşku duymadı. Bu öyküyü burada, yalnızca bir loş konunun, biraz rahatsız edici esir kavramının hâlâ önümüzde durduğu bu mutlu anda noktalayalım.

ELEKTROMANYETİZMANIN BAŞLANGICI

Uzunca bir süre bilimin yalnızca tümevarım[1] yoluyla ilerleyebileceğine inanılıyordu. Temel fikir, olguların titizlikle incelenmesinin bunların altında yatan kural veya yasaları ve uygun kavramları belirlemeyi sağlayacağına inanılmasıydı. Elektrik ve manyetizmanın tarihi bu kavramlara güzel bir örneği oluşturur. Aynı zamanda eğer kuramsal bir taban oluşturmak üzere yapılan ama pek olgunlaşmayan girişimleri önemsemezsek, bu bize tümüyle deneysel olan bir yaklaşımın kuşaklar boyunca nasıl gidebildiğini gösterir.

Eski çağlarda bu konularda fazla şey bilinmiyordu. Bilinenler de kehribar bir çubuğun kumaşa sürtülmesinin garip etkiler yaratmasından ya da Çinlilerin mıknatıs gibi bir demir oksidi yön gösteren bir pusula olarak kullanmalarından başka bir şey değildi. Aslında Tanrı çok ustadır, çünkü bugün biliyoruz ki bu sıradan görünümlerin altında aslında maddenin tam göbeğindeki gizemler saklıdır.

Elektriksel olarak yüklenmiş bir cismin bir başka cismi elektriklemesini (Gray sayesinde) gözlemek ve maddelerin "iletkenler" ve "yalıtkanlar" olarak ayrıldığını keşfetmek için 1729 yılına kadar beklemek gerekti. 1730 yılında du Fay elektriklenmiş cisimlerin birbirlerini çektiğini ya da ittiğini gözler. Bu gerçek onu doğada biri artı, öteki eksi olan iki tür elektrik yükü bulunduğunu, aynı işaretli yüklerin birbirlerini ittiğini, ters olanların çektiğini varsaymaya yönlendirir. Bu kuvvetler elektrik yükü kavramıyla, hâlâ biraz bulanık olan elektriğin çok küçük bir birimin tam katı olarak ifade edilebilmesine olanak sağlar. Eğer *A*, *B*, *C* elektriklenmiş cisimler ise ve *A* ile *B* üzerine, sırasıyla eşit uzaklıkta durdukları *C* tarafından eşit (*ya da iki katı*) bir kuvvet uygulanıyorsa, o zaman *A*'nın yükünün *B*'ninkine (*ya da iki katına*) eşit olduğu söylenebilir.

Watson ve Franklin 1747 yılında baştan net bir yükü bulunmayan iki cismin karşılıklı etkileşme (örneğin birbirlerine

[1] Felsefe literatüründe tanımlandığı biçimiyle tümevarım sorunu, ona uygun yalnızca sınırlı sayıda örneğe erişim sağlayabileceğimizi bildiğimiz ve hatta ilgili kuralları önerdiğimiz için bilimsel bir kuralın ya da ilkenin mantığa uygunluğunu kestirmekten oluşur.

sürterek) yoluyla yüklenebileceklerini ve bunların yüklerinin eşit büyüklükte ve ters işaretli olacağını gösterirler. Bunun üzerine, yüklerin etkileşme sürecinde oluşmadığı, zaten maddenin içinde bulunduğu ve birbirini tam olarak götürdüğü, böylece elektriklenmenin var olan yükleri kalıcı olarak ayırdığı sonucuna varırlar.

Bu bulgular Priestly, Cavendish ve özellikle (asıl katkıları 1785 yılında yayımlanacak olan) Coulomb'un çabalarıyla nicel bir biçime sokulur. Coulomb çok küçük kuvvetleri ölçebilecek çok duyarlı bir burulma tartısı tasarlar ve elektrikle yüklenmiş çok çok küçük iki cisim arasındaki kuvvetin Newton'ın (aradaki uzaklığın karesiyle ters orantılı olan) kütleçekim kuvvetine çok benzediğini bulur. Bu kuvvet yüklerin çarpımına da eşitken, kütleçekim örneğindeki kuvvet kütlelerin çarpımına eşittir. Burada tartışılan uzaktan [değmeden] etkileme yönteminin çok daha sınırlı bir uygulama alanı vardır. Böyle benzerlikler, Laplace, Poisson ve Gauss'un kütleçekim üzerinde elde ettiği sonuçların elektriğe taşınmasıyla, elektrostatik kuramının hızla gelişmesine olanak sağlar. Bu yaklaşımın bir sonucu olarak elektriksel potansiyel kavramı da yakında ortaya atılır. Elektrik üreteçlerinin bulunuşu (Volta pili 1800 yıllarına dayanır) düzenli olarak elektrik akımı üretmeyi olanaklı kılar. 1826 yılında Ohm bir devreden geçen akım ve bu akıma neden olan gerilim farkı arasındaki bağıntıyı deneysel bir kural olarak oluşturur, böylece direnç kavramına ulaşılır. İkisi arasındaki bağlantı ve ortaklık ilk olarak 1820 yılında Oersted'in bir buluşu olan "akım taşıyan bir telin bir mıknatıs üzerinde kuvvet uygulaması" olarak önerilmiştir. Bundan hemen sonra Biot ve Savart elektrik akımları ile mıknatıslar arasındaki bağlantıyı formül haline getiren ifadeleri ortaya koyarlar, Ampère de bunları her akımın ayrı ayrı etkidiği, daha yalın bir biçime sokar. Yine 1820 yılında Ampère içinden elektrik akımı geçen iki tel arasındaki kuvveti ölçer ve akım taşıyan bir kangal telin mıknatıs gibi davrandığını bulur.

Böylece bir elektrik akımının manyetik etkiler yaratabileceği ve bir mıknatıs gibi davranabileceği anlaşılmış olur. Bu da akla hemen tersini getiriyor: Acaba bir mıknatıs da elektrik

üretebilir miydi? Bu sorunun yanıtı yalnızca şöyle bir on yıl sonra, 1831'de gelir. Faraday'ın öne sürdüğüne göre hareket halindeki bir mıknatıs yakınındaki bir tel üzerinde bir akım oluşturmaktadır. Faraday ayrıca sığa adı verilen yük biriktirmeye yarayan aracı icat etti ve bir yerde yalıtkan olmasının elektriksel kuvvetlerin şiddetini önemli ölçüde değiştirebileceğini fark etti. Daha sonra bu yalıtkanlar üzerinde yapılacak çalışmalar önemli rol oynadılar.

BİR DÖNÜM NOKTASI: MAXWELL'İN DENKLEMLERİ

İnsan 1840'lı yıllarda elektriksel ve manyetik konuların tümünün bilindiğini sanabilir ama biraz daha düşününce bir şeyin hâlâ eksik olduğu anlaşılıyor. O günkü bilgiler yüklerin, akımların ve manyetik momentlerin başka yükler, akımlar ve manyetik momentler üzerinde bir kuvveti nasıl oluşturacaklarını ifade eden yasalar içermektedir. O dönemde ayrıca Ohm ve endüksiyon (uzaktan etki yoluyla akım oluşturma) gibi yasalar da biliniyordu. Bununla birlikte, bu deneysel yasalara şöyle bir bakış atılınca, Newton'ın ilkelerinin tersine, bunların kapsamlı bir dinamik içermediği anlaşılıyor. Başka bir deyişle, bunlar bize ne yüklerin ve akımların belli bir andaki değerleri bilinince, daha sonraki gelişimlerini verirler ne de maddenin elektriksel ve manyetik özelliklerinin nasıl belirlendiğini açıklarlar.

Ama bu matematiksel tamamlanmamışlık kimi araştırmacıların ana konusu değildi. Onların doyumsuzluğu daha çok sonuçlanmamış bir anlama tutkusundan kaynaklanıyordu, onlar yüklerin ve maddede bulunan ve etkileşmeleri gözlenen deneysel olguları verebilecek manyetik parçacıkların hareketinin doyurucu bir görüntüsünün peşindeydiler. Eğer kastedilen anlayış nesnelerin ne olduğunu "*görmek*" ise, kesinlikle anlamamışlardı. Başlamak üzere olan serüven tam olarak kuşaklar boyunca biriktirilen deneysel bilgi zenginliğinin anlamını kavramaktı. Bu hedef hemen hemen olanaksız bir düştü, çünkü tam bir uyum gerektiriyordu ama bu aynı zamanda birçok sezgisel gösterimin de sonu demekti.

Fizikçiler arasındaki en iyi matematikçiler olan Gauss, Ampère, Biot, Savart ve başkaları çözümlemelerini hep yük-

ler, akımlar, manyetik çiftkutuplar [dipoller] gibi daha kesin ve göz önüne getirmesi görece daha kolay olan belli kavramlar üzerinde yoğunlaştırmışlardı. Bunların kuramları zaman zaman elektriksel ve manyetik potansiyellere gönderme yapsa bile, bunlar tıpkı kütleçekim kuramındaki gibi, tümüyle kuvvetlerin hesaplanmasını kolaylaştıran matematiksel aygıtlar olarak yorumlandılar.

Ama Faraday'ın bakış açısı bu değildi. Demir tozlarının mıknatısın etkisiyle belirli bir doğrultuda yönlendiklerini görünce bu manyetik alan çizgilerinin arkasında, kuramcıların önerdiği *uzaktan etki eden* kuvvetlerden daha önemli, gerçek bir şey beklemeye başladı. Uzaktan etki düşüncesini reddediyor ve demir tozlarının ya da yalıtkanlardaki moleküllerin nasıl şekiller oluşturduklarını ve birbirlerini nasıl etkilediklerini anlamak istiyordu. Daha sonra maddenin davranışıyla ilgili, iki önemli alanın, elektrik alanıyla manyetik alanın baş rolleri oynadığı modelleri oluşturmaya koyuldu. Demir tozları örneğini kullanarak, bir alanın bir büyüklüğü ile yönü olan ve uzayın her noktasında tanımlı bulunan, büyük olasılıkla zamanla da değişen bir "*şey*" (yani bir vektör) olduğunu anımsayalım.

Faraday birinci sınıf bir deneyci ve çok zeki bir fizikçiydi ama aynı zamanda kendi kendini eğitmişti ve kafasındaki düşünceleri matematiksel bir biçime sokacak gerekli bilgilerden yoksundu. Böylece onun modelleri, ne kadar akıllıca olsalar da formülleştirilme açısından eksiktiler. Bunları matematiksel açıdan doyurucu biçime getirme onuru kendi yolunu izleyen James Clerk Maxwell'e (1831-1879) aittir.

Maxwell'in katkısını daha iyi anlayabilmek için elektromanyetizmanın temel yasalarına ve bunların o sıralarda hangi biçimlerde bilindiklerine bir göz atalım. Bu yasalar o zaman için (bugün için de) dört adetti. Bunlardan ilki, iki elektrik yükü arasındaki kuvveti veren Coulomb yasasıdır. Gauss sayesinde bu kuvvetin elektrik alanı kullanılarak nasıl ifade edileceği de biliniyordu. İkinci yasa iki mıknatıs arasındaki kuvveti ilkine benzer biçimde veriyordu. Bu yasa bir manyetik alandan yararlanarak ilkine oldukça benzeyen bir biçime sokulabilir. Üçüncü yasa Ampère (ya da Biot-Savart) yasasıdır. Bir akımın

yarattığı manyetik alanın değerini Faraday'ın bakış açısından verir. Son olarak, dördüncü yasa Faraday'ın kendi bulduğu "endüksiyon" [etkileme] yasasıdır, bir devrede manyetik akının değişiminden kaynaklanan elektrik alanının büyüklüğünü verir. Özellikle Faraday sayesinde elektromanyetizma yasalarının ya alanları ya da yükler arasında etkiyen kuvvetleri ve akımları kullanarak formülleştirilebilecekleri söylenebilir.

Maxwell'in ilk işi, 1855 yılında bunları bir düzene sokmak oldu. O ana dek bilinen yasaları inceleyerek başladı. Bu zorlu bir girişimdi, çünkü o dönemde bilinen matematiksel araçlar bu amaca pek uygun değillerdi. Vektör hesabıyla ilgili çağdaş yöntemler daha elde değildi, Maxwell'in matematiksel teknikleri fiziksel öngörüyle birleştirmesi gerekiyordu, o da sıvıların dinamiği olan hidrodinamikten benzerlikleri kullanmaktan geri kalmamıştı. Elde ettiği sonuçların en çarpıcılarından biri elektriksel enerjiyi yalnızca elektrik alanının bir fonksiyonu olarak ve yüklerin dağılımından bağımsız olarak yazabilmekti.

1861-1862 yıllarında Maxwell daha ileri gider: gerçekliği "anlamaya", yani oradaki şifreyi doğru çözmeye çalışır. Maddenin içinde, bir alanın etkisiyle nelerin olup bittiğini "görmek" ister ve oradaki "esir"in elektromanyetizma açısından nasıl görüneceğini merak eder. Esirin varlığını kabul etmek gerekliydi, çünkü eğer bir elektrik kuvveti boşluk boyunca etki edebiliyorsa, bu boşluğun kuvvetin etkisini aktarabilecek bir "*şey*" olması gerekiyordu. Moleküllerin davranışlarını "görebileceği" maddeyle başlayıp, boşluğa doğru ilerleyince, esir denen şeyin oldukça çarpıcı bir modelini gözünde canlandırır. Esir, manyetik alanın iletimini sağlayan mikroskobik akımların yarattığı hücrelerden oluşmaktadır. Tüm bu esir boyunca esnek sicimlerden, yüklerin üzerinde ilerlediği elektrik alanı çizgilerinden oluşan bir ağ vardır. Jérôme Bosch'un sezinlemeyi başardığı bütün bu düşsel yapı maddeyle esir arasındaki benzerlikten yararlanılarak adım adım geliştirilmiş, Maxwell de bunu çok sıkı bir biçimde çözümlemiştir. Maxwell sistemin farklı bileşenleri arasında etkiyen kuvvetleri ve bu kuvvetlerin hareket üzerinde yaratacakları etkileri Newton'ın ilkelerine uygun biçimde hesaba katmıştır.

Maxwell böylece elektromanyetizmanın bilinen yasalarını, ama önemli bir farkla elde etmeyi başarır. Aslında yalnızca kökeni Laplace ile Biot ve Savart'a dayanan üçüncü yasanın gözden geçirilmesi gereklidir. Bu yasa, daha önceki haliyle bir akımın, bir manyetik alanı nasıl üreteceğini tanımlıyordu. Maxwell bir manyetik alanın aynı zamanda değişen bir elektrik alanı tarafından da oluşturulabileceğini fark etti. Bu yasa, manyetik alandaki bir değişimin bir elektrik alanı yaratabileceğini öngören "endüksiyon" yasasına çok benzemektedir. Maxwell manyetik alanın elektriksel kaynağını (her ne kadar ortada yüklerin yer değiştirmesi söz konusu olmasa da) "yer değiştirme akımı" olarak adlandırdı. Oysa bunun o dönemin deneysel koşulları nedeniyle çok zayıf olan etkisinin kavramsal bir bakış açısına göre önemli sonuçları vardır, çünkü Maxwell'in denklemleri adıyla bilinen ünlü "elektromanyetik alan denklemleri"ni elde etmeye olanak sağlar. Bunların iki ana özelliği vardır: (i) herhangi bir başlangıç anındaki değerlerinin bilinmeleri halinde daha sonraki bir anda alabileceği değerleri çözebileceği için bir alan dinamiği sağlamak, (ii) manyetik alandan kaynaklanan enerjinin doğru algılanması halinde enerji korunumunu sağlamak.

Bütün bu çabanın sonucunda Maxwell kendini benzersiz bir konumda bulur. Bir yandan, daha önceden bilinen deneysel kuramlarla uyumlu yeni yasalar bulmuştu. Dahası, bulduğu yeni yasalar daha ileri düzeyde bir matematiksel ve fiziksel bütünlük içeriyordu. Ama diğer yandan da onu bu sonuçlara götüren hücreler ve sicimlerle dolu esir modeli, yaratıcısı için bile pek olası görünmüyordu. Ortaya çıkan son ürün iyiydi, ama bunu oluşturan kalıbın yok edilmesi gerekiyordu. Böylece 1864 yılında, Maxwell konuya döner ama bu kez çok başka bir yöntem seçmiştir. Esiri modele katma konusu kapanmıştır, tersine, fiziksel anlamından sıyırılmış ve saf matematiksel hale getirilmiş kavramlarla işe başlar. Uzayın her noktasında bulunan "şeyler" elektrik alanıyla manyetik alandır ve bunlar nerede varsa orada mutlaka enerji de vardır. Bu enerjinin elektriksel bileşeninin potansiyel, manyetik bileşenininse kinetik enerjisi vardır. Matematiksel bakış açısından yöntem

tümüyle farklıdır. Değişkenleri (alanları) ve enerjinin iki biçimini belirledikten sonra, Lagrange ve Hamilton'ın soyut dinamik yöntemleri ve "*en küçük eylem ilkesi*", sistemin doğası daha fazla bilinmeden de uygulanabilir. Maxwell'in temelde yaptığı ve Hertz'in kısa süre sonra yöntemi daha ayrıntılı hale getirdiğinde yapacağı da budur. Böylece Maxwell, neredeyse otomatik bir biçimde, alan sistemleri için dinamik denklemleri elde etmiş olur. Bunlar kendisinin daha önce tümüyle farklı yollarla türettiği denklemlerden başka bir şey değildir.

Maxwell'in bu son başarısı fiziğin dönüşümünde bir dönüm noktası olur. Eğer gerçekliğin sezgiyle kavranan biçimde gösterilerek açıklandığı fiziği "*klasik*" olarak anlıyorsak, o zaman klasik fizikte perde kapanmış demektir. Bu klasik fiziğin yerini somut biçimde ilk olarak, temel kavramları (burada alanlar) güzel bir matematiksel tat içeren, sağlam bir fizik almıştır. Bu fiziğin ilkeleri (Maxwell'in denklemleri ya da Lagrange'ın en küçük eylem ilkesinin matematiksel eşdeğeri) Newton'ın temel ilkelerinden soyut ve daha derin bir biçimde elde edilmişlerdir. Aynı nedenle, Lagrange'ın *en* küçük eylem ilkesi yeni bir önem kazanmış ve bir bakıma dinamiğin *öncü ilkesi* olmuştur.[2]

Hertz'e Maxwell'in denklemlerinin temelinde hangi ilkenin yattığı sorulduğunda "denklemlerin kendileri" olduğunu söylemiştir. Günümüzün sezgisi en güçlü fizikçilerinden biri olan Richard Feynman da öğrencilerine bir elektromanyetik alanın gözde canlandırılamayacağını anlatmıştır. Doğrusu Maxwell'den sonra fizik artık gerçekten de insanın pek gözünde canlandırıp, günlük dille iletişim kurabileceği bir şey olmaktan çıkmıştır. Fiziğin kavramları, en azından matematiğin dilinin yardımı olmadan tümüyle anlatılamaz. Matematikse günümüzde, yalnızca fizik yasalarının nicel biçiminin değil, fiziğin kendisinin de iç bileşenlerinden biri olmuştur. Voltaire Newton'ı açıklamayı başardıysa da, ne kadar inandırıcı olsa da hiçbir felsefeci Maxwell'i doyurucu biçimde açıklayamaz.

[2] En küçük eylem ilkesi, klasik biçimiyle, hâlâ bir tür gizemle sarılmıştır. Richard Feynman 1946 yılında bu ilkeyi kuantum mekaniğinden türetmiştir.

Yine de Maxwell'in denklemleri sayesinde, Hertz'in de 1888 yılında yaptığı gibi, elektromanyetik alan titreşebilir, bu da aynı zamanda ışık olan bir titreşimdir.

19. yüzyılın bu son yıllarında geleceğe ilişkin olan ama giderek körleşen sezgisel birtakım öngörü belirtileri vardır. Temel kavramlar yavaş yavaş yardıma gelir, örneğin entropi ısının yerini alır. Tam da kimilerinin hemen hemen tamamlanmış bir fiziğin yapısını açıklamaya hazırlandığı dönemde zaman bir başka fiziğin doğumu için uygundur.

III

KLASİK MATEMATİK

Günümüzde bilim felsefesinin matematikle yakın bir ilişkide olmaması düşünülemez. Kimi yazarların yaptığı gibi, matematiğin tüm incelikleri ve zenginlikleriyle kavramları ve yasaları kucakladığı çağdaş bilim için durup işin mantığını düşünmek pek uygun olmaz.

Pek çok kimsenin matematikten kaçınmasındaki gerçek güçlük ve gerekçe matematiğe doğru yeri uzun yıllar süren bir çalışma olmadan vermekte yatmaktadır. Matematiğin çok geniş olan yelpazesi etkileyicidir ve tıpkı bir okyanus gibi çeşitli lezzetli besinler içerir. Ondaki çekiciliğe kendini kolayca kaptıranlar doğrudan içine dalarak, ömürlerinin geri kalanını orada geçirir, başkaları zaman zaman kıyıya yakın yerlerde yüzmekten mutludurlar, daha başkaları da kibirli kediler gibi, ayaklarını daldırmayı bile reddederler. Yani sınırları tam belirlenmemiş olan matematik insana konuksever de görünebilir, düşmanca da. Yine de vazgeçilmezdir ve Platon'un özdeyişi olan "geometri bilmeyen buraya giremez" felsefeye girişi daha iyi gösterememiştir.

Biz burada bilgi kuramını temellendirirken kendimizi ana ögelerle sınırlı tutacağız. Ayrıca, tarihin de yardımıyla, zaman zaman burnu havada olan ve matematiği niteleyen kaba şekilciliğin, kimsenin anlamaması için kasten değil, gereklilikten ve tutarlılıktan ortaya çıktığını göstereceğiz. Bunlar dışındaki şeyleri de göz ardı edeceğiz. Bu yaklaşımdaki ana sakınca matematiğin zenginliği, doğurganlığı ve vizyonunda rol oynayan

düşünceleri ve yöntemleri dışarıda bırakmaktır. Başka bilim dalları için çok temel olan kavramlar ve hesaplama yöntemlerini de dışarıda tutmak gerekecektir ki bizi bu ataklığa zorlayan neden de budur. Yardımcı olamadığımıza göre, vazgeçeceğiz.

KLASİK MATEMATİK

İnsanlar ne zamandan beri sayılara ve şekillere hayranlık duymuşlardır? Çok eski zamandan beri, neredeyse tüm eski uygarlıklar, farklı yer ve dönemlerde kimi sayıların gizemli bir özelliği olduğuna inanmışlardır. On bir düşünür, Olimpos'un on yedi tanrısı ya da dünyanın yaratılışının sekiz günü göz önünde canlandırılabilir mi? Küçük sayılara daha çok hayran olmamız anlaşılabilir, ama üç, dört, yedi ve on iki neden beş ya da dokuzdan daha önemli olsun, öte yandan sekiz ve on bir kimseye bir şey ifade etmesin? Bunların ötesindekiler hep çok büyük sayılardır. Çember, eşkenar üçgen ya da kare gibi kimi geometrik şekillerin insanı çekmesi bunların çoklu simetrisiyle açıklanabilir. Ama çemberin tek mükemmel eğri olması gibi garipçe bir savın Yunanların cüretli akıllarını alıp, onların gökcisimlerinin başka her biçimini reddetmelerini sağlamasını nasıl açıklamalı? Sayılar ve şekiller için her zaman bir yücelik, mükemmellik duygusu var olmuştur. Garip bir şekilde, kimi zaman çocuklarda da görülen bu duygu bize bu yapının beyinlerimizde var olduğunu gösterir gibidir.

Genellikle matematiğin pratik deneylerden doğduğuna inanılır. Bir çemberin üzerinde bir sicimle dolaşabiliriz, düşeyle yatay arasındaki dik açı kararlılığı gösterir, dikdörtgen biçimli bir şekil Nil ırmağının çamuru tarafından doldurulan bir alanın sabit olduğunu belirtir ve gerekli dik açıları oluşturmak için iple 3, 4, 5 sayılarıyla orantılı kenarları olan bir dik üçgen kurulabilir. Thales çok önceden, güneşten paralel gelen ve bulutlu bir göğü deldiklerinde görülebilen ışık demetlerinin bir ağacın boyunu, gölgesinin bir çubuğa oranlanmasıyla bulmada kullanılabileceğini ortaya çıkardı. Bütün bunlardan hem kesirlere duyulan bir ilgi hem de şekiller ile sayılar arasında yakın bir ilişki doğar.

Dik üçgenlerle ilgili olan ve yukarıda değindiğimiz ünlü kuramıyla Pisagor daha da öteye gitti. Bunu basit bir çizimle de kestirebilirdi ama matematiğin zaten kendi temel mantık gerecini içerdiği, tanınmayan Pisagor'un hiçbir kesrin bir karenin köşegenini ölçemeyeceğini kanıtladığında belliydi. Mantık matematiğin ikiz kardeşidir ve yalnızca mantık bir *kanıtı* olası hale getirir. Ama bunu daha önce söylemiştik.

Köşegenin irrasyonel bir sayı olduğunun bulunuşu bize Kuhn'un ünlü kuramını çağrıştırıyor. Bu kurama göre bilimin ilerleyişi *paradigmalar,** yani, insana neredeyse dinsel bir şeyi kabul etme derecesinde çarpıcı ve esin veren örnekler yoluyla olur. Bu irrasyonel sayıların bulunuşu bir tür paradigmaların paradigmasıydı, çünkü içlerinde sonsuz bir bilimin tohumlarını taşıyordu. Değerli Pisagor'umuzun Sokrates'ten kısa süre önce yaşamış olması gerekiyor.

Platon birtakım güzel matematiksel sonuçları biliyordu ve onun çağdaşı olan Eudoks geometride ve sayılar kuramında birçok teoremi daha önce bulmuştu. Hakkında tek bildiğimiz, (MÖ 347'de ölen büyük usta) Platon'un kimi müritlerinden yıllar sonra ve Arşimet'ten (MÖ 287-212) önce yaşamış olan İskenderiyeli Öklit'in katkılarıyla matematik hızla olgunluğa erişecek olmasıydı.

Her ne kadar tarih bu dönemden yalnızca birkaç kayda değer adı barındırıyorsa da, Öklit'in matematiksel tarzı, çalışmalarından önce gerçekleşen (tutkulu Yunanlar arasında olduğu sanılan) uzun tartışmaları, kuşkuya hiç yer bırakmadan ele veriyor. Burada çok basit bir varsayımın, yalnızca çürütülemez savlar hazırlamaya yönelik bir çabanın ve en iyiyi bulma yolunda sonu gelmez gözden geçirmelerin ve itirazların sonucu olabilecek gereksiz şeylerin bir yana bırakılmasının izlerini buluyoruz. Platon'un bu tartışmaların bir yansıması olan eski diyalogları aklımıza heyecanlı konuşmaları getiriyor. Bunların kimileri, örneğin Öklit'in paraleller üzerine söylediklerıyle ilgili olanı tam anlamıyla kurallara uygundur: belli bir doğruya paralel olan ve o doğru üzerinde olmayan bir noktadan geçen yalnızca bir tek doğru vardır (burada "paralel" diye hiç kesişmeyen doğruları kastediyor). Pisagor'un yıldızların gökteki

bir küreye sabitlendiğine inandığını ve başkalarının da daha ötede uzay olmadığını sandıklarını unutmayalım. O zaman da varsayılan paralel çizgilerin tetikleyeceği tartışmanın nasıl olacağını düşünelim. Öklit'in postülası aslında sonsuz bir uzay varsayar, böylece o dönem için Evrenin yaratılışıyla ilgili bir varsayımı gizler. İnsan bu postülanın geçersiz olduğunu düşünmeye eğilimli olabilir, ancak o zaman da birçok değerli sonuç, örneğin bir üçgenin iç açıları toplamının 180 derece olması artık gösterilemez.

Bu tür açmazların varlığı Öklit'in farklı varsayımları, örneğin aksiyomları, postülaları, tanımları ve varsayımları ayırt ederken gösterdiği özeni açıklar. Bir aksiyom hiçbir Yunan'ın bir tartışmada sorgulamayacağı, örneğin "birbiriyle kesişen iki farklı düz çizginin bir ortak noktalarının olduğu" gibi bir gerçektir. Bir postüla, durumu geçmişte soru işaretleri uyandırmış olsa bile, doğru olduğunu varsaydığımız bir tümcedir. Bir postülanın doğruluğu matematik oyununu oynayanlarca kabul edilir, çünkü onlar bunu reddetmeleri durumunda oyunun çekiciliğini bir ölçüde yitireceğini iyi bilirler. Aksiyomlar ile postülalar arasındaki bu dikkatli ayrım ancak daha sonraları bırakıldı ve ikincisi, tıpkı ilki gibi kuşkusuz doğru sayıldı. Öklit'in tanımlarına gelince, bunlar çok çeşitlidir. Kimileri, bize kuşkuya düşmeyecek açıklıkta savlar sağlama bakımından (örneğin "*merkez adı verilen bir noktadan eşit uzaklıkta olan noktalar topluluğu*" diye tanımlanan çember gibi) birçok duru ve doğru tanımlamalardır. Başka tanımlarsa, çok kesinlik içermeden söylenmiş sözlerdir, örneğin "ben nasıl diyeceğimi bilmiyorum ama siz kuşkusuz ne demek istediğimi anlıyorsunuz" gibi (bir doğru tüm noktalarının üzerinde düzgün biçimde yerleşmiştir). Son olarak varsayımlar da yalnızca tartışılan konuyu ve bunun hangi bağlamda olduğunu netleştirmeye yararlar. Bunlar genelde "... *olsun*" diye biterler (Üçgenin bir geniş açısı *olsun*).

Antik çağın sonlarına dek geometri alanında elde edilen bilgi önemli düzeydedir. Üçgenlerin, çokgenlerin, çemberlerin ve elips–hiperbol–parabol gibi koniklerden, basit hareketlerle oluşturulan eğrilerin özelliklerine kadar birçok şey öğrenil-

mişti. Uzayda asıl önemli olanlar küreler, koniler, silindirler ve (bir eğrinin bir eksen çevresinde dönmesiyle elde edilen) elipsoid denen hacimlerdi. İster düzlem, ister küresel olsun, astronomik gözlemler için kaçınılmaz olan trigonometriyi de unutmayalım.

Aritmetiğe gelince, gösterişsiz ama yararlı bir bilim olmasının ve MS 3. yüzyılda İskenderiye'de yaşayan Diyafontos sayesinde cebirin doğumunu sağlamasının ötesinde bir şey demeyeceğiz. Ömrünün altıda birini çocuk, on ikide birini ergen olarak geçirmesi ve babasının yarısı kadar yaşayacak olan oğlu doğmadan önce yedi yıl daha yaşaması ve son olarak da oğlunun ölümünden sonra kendi yaşının altıda biri kadar daha yaşamasının dışında Diyafontos'la ilgili pek bir şey bilmiyoruz. Bütün bu hesapların sonucu bize Diyafontos'un yaşını seksen dört olarak veriyor. Cebir bir öğretmen tarafından da icat edilebilirdi. Çünkü hep aynı aritmetik hesaplara varan savları yinelemekten yorgun düşen zavallı bireyin, sonunda sayıların özel değerlerinin birbiriyle ilgisiz olduğunu ve önemli olan tek şeyin bu sayılar üzerinde yapılan işlemler olduğunu anladığını düşünmek zor olmasa gerektir. Ne olursa olsun, cebiri Öklit tarzında aksiyomlar haline getirmenin gerekli olduğunu kimse düşünmedi, çünkü bu zaten sayılar kuramında yapılmıştı ve dahası cebir (inanıldığına göre) birtakım bilinen aritmetik süreçleri özetleyen bir "reçeteler" dizisinden başka bir şey değildi.

Cebirin gelişmesi Yunan ve Roma dünyasında kullanılan karmaşık sayısal simgeler yüzünden uzun süre gecikmiş oldu. Bu engel daha sonra bugün de kullandığımız rakamları kullanan ve Hindistan'dan getirilmiş ve çok zekice bir düşünce olan "*sıfır*" kavramını da ilk kez ortaya atmış olan Arap uygarlığınca giderildi. Bunu eksi sayıların icadı izledi. Sayılar üzerindeki işlemleri temsil eden cebirsel gösterim de (+, – , = vb gibi) ilerliyordu.

Matematikte gösterimin önemi büyüktür. İyi seçilmiş bir gösterim doğru işlemleri önerir ve aklı anlamsız soyutlamalardan kurtarır, oysa kötü seçilmiş bir simgeler dizisi doğru düşünme yolunda bir engeldir. Mantığın bakış açısından ise

gösterim pek önemli değildir ama imgelem ile bunun formlara uygun biçimde ifade edilmesi arasındaki ilişkiye dayanır. Etkin bir gösterimin, konuya uygun olmanın yanı sıra anlamlı, neyi ifade ettiği açık, bizim o konuda gözümüzde canlandıracağımız şeyle uyumlu olması gerekir. Cebirin, herhangi bir görüntüyü reddeden ve cebire adını veren Arap uygarlığının bir ürünü olmasının nedeni bu mudur? Eski çağlarda yaşayanlar ikinci dereceden bir denklemi ($ax^2 + bx + c = 0$) ve birinci dereceden ($ax + bx + c$ ve $dx + ey + f$ gibi) doğrusal denklem sistemlerinin nasıl çözüleceğini biliyorlardı. Rönesans döneminde matematik Avrupa'da yeniden gündeme geldiğinde Cardan ve Tartaglia üçüncü ve dördüncü dereceden denklemleri çözmenin de yolunu bulurlar. Bunu yaparken ilk kez olarak ($\sqrt{-1}$ örneğiyle bilinen) sanal sayılara atlarlar. Kübik (3. dereceden) bir denklemi, soruda geçen bilinmeyen için somut bir sayısal değer elde etmek üzere çözerken, (çözümde bir tür aracı rol üstlenen ama ilk denklemde ya da sonuçta görünmeyen) sanal sayılardan yararlanmak gereken durumlar da vardır. Cebirin, Öklit'in iyi kodlanmış matematiğine göre daha tekil olan yapısını ilk vurgulayan ve cebiri aritmetiğin bir eki gibi görmeyi güçleştiren de bu garip olgudur.

17. yüzyıl, Descartes ve Fermat sayesinde analitik geometrinin bulunmasıyla geometrinin parlak dönemi oldu. Burada temel düşünce geometrik bir noktayı bileşenleri (o noktanın konumunu kullanılan eksen sisteminde gösteren sayılar) aracılığıyla tanımlamaktır. O zaman bir eğri üzerindeki noktaların bileşenleri tarafından doğrulanan bir denklemle belirlenebilir. Geometrideki birçok problem böylece cebirsel hesaplara indirgenebilir.

Geometriyi, eğrilerin ancak düzlemler, doğrular, çemberler, küreler ve konilerden elde edilebildiği Öklit'in yöntemlerinin belirlediği dar yapıdan kurtardığı için, bu adım ileri doğru kaydedilmiş önemli bir aşamaydı. Yeni yöntemler ayrıca eski çağların sonunda ortaya atılan birtakım eğrilerin, örneğin bir tekerleğin çevresine tutturulmuş bir çivinin tekerlek yuvarlanırken izlediği yol olan "sikloid" gibi ünlü eğrilerin de daha kolay yollardan ele alınmasını olanaklı kıldı. Bu güçlü yöntemler

matematiğin doğasını gizlice değiştirebilen birtakım güçlükler de yarattılar. Öklit geometrisine eklenen dev parçalar, artık geometrik bir özelliğin aksiyomlarına değil, yalnızca cebire dayanıyordu, ama daha önce de gördüğümüz gibi, cebir kimi mantıksal eksiklikleri hissediyordu. Bu güçlükler nasıl çözülür? Bu kuşkulara uygulamada verilen yanıtlar akla Öklit'in özenli mantığından daha çok Kördüğümü kesen İskender'i getiriyordu, bu sanki savaşı kazanan ordunun yanıtıydı: "engellere aldırmayın, ilerleyin."

Buradan toplanacak çok ürün olduğu için hiç zaman yitirmemek gerek. 17. yüzyıl görkemli bir başarıyla, integral hesabın aşağı yukarı aynı sıralarda Newton ve Leibniz tarafından icadıyla sona erer. Bu aslında dönemin bütün büyük matematikçilerinin bir ölçüde katkısıyla sağlanmış, sürekli bir ilerlemenin sonuydu. Ama aynı zamanda tam anlamıyla bir fırtınanın, peşinde çözümler olduğu kadar yeni problemler, Euler'in 23 kalın cildini doldurmaya yetecek ve hatta 19. yüzyılın başlarına dek buluşlarını sürdüren Bernoulli kardeşler, Lagrange, d'Alembert, Fourier için de yeni ve büyüleyici sonuçlar taşıyan, taşkın biçimindeki bir akış döneminin de başlangıcıydı.

Euler $1 - 1 + 1 - 1 + \ldots$ toplamının ½ olduğunu, her ne kadar dizi içinden parça parça alınan toplamlar yalnızca 1 ve 0 olsa da, çekinmeden söylediğinde Yunan ideali çok uzaktı. Dahası, böyle biraz gevşekçe olan yöntemler, çok sık olmasa da, akılcı beklentilerin ötesinde başarılıydılar. Bu dalga sönmeye başladığında ve biraz durup edinilenlerin muhasebesi yapıldığında birçok kişi matematiğin nasıl yeniden üretken hale getirileceği ve doğruluk açısından mantığın gereklerini nasıl sağlayacağı konusunda düşünmeye başladı. İkinci soruya verilen yanıtın öyküsü bölümün geri kalanını oluşturuyor. Birazdan göreceğimiz gibi, bu ikinci yanıt ilk soru için gerekli anahtarı da içeriyor.

ON DOKUZUNCU YÜZYILDAKİ BOLLUK VE KESİNLİK

Bir matematikçi de işi yuvarlak hesapla geçiştirmeyip, tam kesin sonuç almaya ancak bir siyasetçi kadar yönelir, her ikisi

de ancak gerekli olduğunda buna başvurur. Kılı kırk yaran kesinliğin Eski Yunan'da nasıl oluştuğunu gördükten sonra şimdi de bunun daha sonraki kuşaklarda nasıl etkili olup, onları mükemmelciliğe nasıl yönelttiğini inceleyeceğiz. Yer yer birbirine ters olan iki akım matematik için kutlu bir dönem olan 19. yüzyılda ortaya çıkar. Bunlardan biri kesinlikteki artışı seçerken, öteki kısa bir duraklamanın ardından birbirini izleyen keşifleri yeğler.

Bu akım Carl Friedrich Gauss'la (1777-1855) başlar. Kendisine o zamanlar *matematiğin prensi* denirdi, bu unvan da tıpkı ozanların prensi demek gibi, çağdaşlarının bir ömür boyu süren ve üretken olduğu kadar somut da sayılan çalışmalarına olan hayranlığının bir ifadesiydi. Öyle ya da böyle, kesinliğin icatların anası olduğunu göstermesi nedeniyle tanınmayı hak ediyordu.

Gauss'tan önce, genellikle herhangi bir cebir denkleminin, kimi zaman karmaşık (sanal) bir sayı da olabilen köklerinin bulunması gerektiği varsayılıyordu. D'Alembert ne yazık ki başarısız bir şekilde, cebirin ve analitik geometrinin büyük bir bölümünün dayandığı bu temel gerçeği kanıtlamayı denedi. Laplace buna yaklaştı, ama sonunda, 1815 yılı dolaylarında inandırıcı bir kanıt sağlayan kişi Gauss'tur. Karmaşık sayıların cebirde kullanımı üzerinde tam anlamıyla uzmanlaşılmıştı.

Gauss'un, Öklit'e göre daha keskin bir mantıksal algısı vardı ve matematiğin ilerideki olası gelişimini daha iyi öngörebiliyordu. Tuttuğu kişisel notlar kesin olarak zamanının ötesinde olduğunu ve özellikle Öklit geometrisinin postülalarını sorgulamaktan çekinmediğini gösteriyor. Özellikle paralellerle ilgili olanlar kafasını kurcalıyordu. Kendinden önceki matematikçiler bunu postülaların kalanından çıkarmayı denemiş ve (biraz da rastlantıyla) Öklitçi olmayan geometrinin ilk parçalarını elde etmişlerdi. Oysa Gauss'un yaklaşımı tümüyle farklıdır, çünkü beşinci postülanın doğruluğuyla ilgili somut kuşkuları vardır. Bunun dışında Kant'a göre matematikçilerin algıladığı uzay ile duyularımıza göre olan uzay arasında kesinlikle bulunması gereken uyuma aklı yatmış değildir. Jeodezi üzerinde-

ki çalışması ona dağ doruklarının köşeleri oluşturduğu geniş bir (fiziksel) üçgenin açıları toplamının gerçekten iki dik açının toplamına eşit olduğunu doğrulama olanağı sağlar. Elde ettiği tam olarak budur ama kaçınılmaz deneysel hatalar akılcı bir kuşkuya hâlâ yer bırakmıştır. Bununla birlikte, Kantçılık o zamana değin Almanya'da yerleşik felsefe olduğundan ve Gauss steril tartışmalarla ilgilenmekten hiç hoşlanmadığı için pişmanlıklarını açıkça dillendirmekten fazlasını biliyordu. Bu yüzden sessiz kalma yolunu seçti.

Onun kadar sağduyulu olmayanlar risk alarak ilerlediler. Lobaçevski ve Bolyai bu konuda öncü oldular. 1830 yılı dolaylarında belli bir doğruya paralel olan ve aynı noktadan geçen doğruların sonsuz sayıda olduğu bir geometri geliştirirler. Bunu 1854 yılında belli bir doğruya hiç paralel bulunmadığı geometriler gibi başka seçeneklerin de olduğunu gösteren Riemann izler. Rahatça bekleneceği gibi, bunun üzerine bilimsel çevrelerde fırtınalı tartışmalar kopar ancak sonunda herkes yeni geometrilerin mantıksal tutarlılığının yalanlanamayacağı üzerinde görüş birliğine varır. Dahası, bu geometrilerin kimilerinin modelleri bir Öklit uzayında da kurulabilmektedir. Örneğin, bu modellerden biri geniş bir çemberin "doğru" olarak alınması koşuluyla, sıradan bir küre tarafından da sağlanabilmektedir. Bu tür tartışmalar daha çok gözde canlandırılarak yorumlamaya dayanan eski tanımların bulanık ve alışılageldik yanlarını daha iyi anlamaya yarıyordu. Elde edilen sonuçlara gelince, bunlar da yeni ve gelecekte sık sık kendini gösterecek olan bir olguyu açığa çıkardılar: daha kesin sonuçları araştırma sürekli yinelenecek boş bir iş değil, tersine yeni ve o güne dek göz ardı edilmiş olanakları ortaya çıkarmaya yarayan bir şeydi.

Aynı yıllar boyunca kesinlik analizin temellerine de giriyordu. İntegral kavramı bugün de alanlar, hacimler, kütleler yoluyla sezgisel bir formülleştirme ve yalnızca birtakım özel durumlarda geçerli olan (türevi bilinen) ilkel fonksiyon arasında kararsızdır. Hatta neredeyse metafizik denebilecek ve "görünmez" niceliklerin varlığıyla bağlantılı olan durumlar da vardı. Bu kafa karışıklığı Augustin-Louis Cauchy (1789-1857)

ve Bernhard Riemann (1826-1866) tarafından giderildi. Bu iki matematikçi belli bir fonksiyonun integralinin, miktar olarak artan ama büyüklük olarak "sonsuz küçük" olana kadar azalan elemanlardan oluşan bir toplamın sınırı (limiti) olarak nasıl tanımlanabileceğini gösterdiler.

Bu düşünce gerilere, Leibniz'e kadar gider, integral için kullanılan simge uzamış bir *S* harfidir ve toplamı temsil eder. Cauchy'nin elde ettiği ve Riemann'ın 1854 yılında tamamladığı ilk sonuçlardan sonra, bu toplam düşüncesi algısal bir yaklaştırım değil, resmiyet kazanmış bir tanım olmuştu. Söz konusu sınır vardır ve tektir, yani, herhangi bir alanı (yüzeyi) küçük küçük parçalara kaç türlü parçalayabilecek olmanızdan bağımsız olarak, tektir. Analizin temelleri iyi kurulmuş görünüyordu, şimdi artık integral ve türev kavramları üzerinde çalışıldı (bir fonksiyonun türevi de bir sınır olarak görülüyordu).

Ama türev ya da integralden daha temel olan ve tümüyle bulanık kalan bir kavram daha vardı, bu da analiz denen şeyle bağlantılı olması beklenen "*fonksiyon*" kavramıydı. On sekizinci yüzyıl analizin geometri ve dinamikte bir gereç olarak doğumuyla eşleşmişti. Bu alanların uygulamaları öyle önemliydi ki analizden ortaya çıkan fonksiyonların polinomların, sinüslerin, kosinüslerin, üstel fonksiyonların (e^x) ve başka yaygın fonksiyonların bir derlemesinden başka bir şey olmayacağından kimsenin kuşkusu yoktu.

Kısa süre sonra fonksiyon yaratmanın yeni yolları bulundu ve o basit varsayım çökmeye başladı. Karmaşık değişkenlerin fonksiyonları ve Fourier dizileri (buna daha sonra döneceğiz) ilk çerçevenin fazla dar olduğunu ortaya çıkardı. Bundan kurtulma gereksinimi matematikçilerin kendilerini elde ettikleri sonuçları olabildiğince genelleştirme yolunda dürtmeleriyle hızlandı. Böylece hangi fonksiyonların "kurallara uygun" olduğu sorusu soruldukça bunu yanıtlama da bir ayrıcalık gibi oldu.

Matematiğin içinden gelen bu konularda derinlemesine düşünme çağrılarına sosyal yapıdaki bir dış etkeni de eklememiz gerekir. Bu etken de gerek üniversitelerde, gerekse başka eğitim kurumlarında yüksek öğrenimdeki araştırma

düzeyinin yükselmesiydi. Öğretim riskli, genellikle bilginin sınırlarında gezinen, çelişkilere düşme tehlikesi taşıyan ve temelde birtakım şeylere meydan okuyan bir doğası olan bir iştir. Cauchy'nin École Politechnique'teki sınıfında integralle ilgili edindiği sonuçların ilk çıkışı da böyledir. Bu arada matematikçilerin toplumsal konumu açısından önemli bir değişiklik meydana gelmişti. Şimdi artık hemen hepsi derslerini matematik camiasını temel kavramlara dönüşe yönelten bir biçimde öğretmekteydiler. Son olarak gençlikle yüz yüze gelmenin, dolayısıyla işin temeline taze bir bakışla yaklaşmanın getirdiği baskı (Eski Yunan'a dayanan kökenler...) vardı. Aynı zamanda yapılacak alıştırmaların öğretmenleri itirazlara karşı daha hazırlıklı hale getirip, onlara diyalektik tartışmalarda üstünlük sağlaması gerekir. Ama bunlardan başka en büyüklerin bile en basit tekniklerde ustalaşmak için çok dikkatli olmaları gibi iyi bilinen ama şaşırtıcı gelebilecek daha soylu bir neden de bulunabilir.

Kesinlikte usta olan ve matematiksel düşünme biçimini neredeyse beton sağlamlığında oluşturan Karl Weierstrass (1815-1897) oldu. Kendisi sürekli bir fonksiyon ya da aritmetik dizilerin çeşitli türdeki yakınsamaları gibi çok yaygın olarak kullanılan kimi kavramların netleştirilmesinde ustadır. Burada çok teknik bir anlatıma girmemek için ayrıntıları atlayacağız. Weierstrass ve başka bir grup matematikçi sayesinde analiz denen şey sonunda sağlam bir temele oturmuş ve analiz kuramlarının amacına ulaşılabilmiştir. Bu kuramlar ne kadar genelse, bir o kadar da insanı büyüleyici olmuşlar ve matematiğin kardeşi sayılabilecek estetik açıdan da o denli doyurucu hale gelmişlerdir. Bir şeyi genelleştirmeye duyulan istek sürekli olarak daha derin temeller ve daha büyük özgürlüğü de gerektirir. Böylece, uygun temel bulma ve yapıya olası ekler yapma arayışı da birbiriyle uyum içinde sürer.

Bu arada analizde daha ileri gelişmeler de olmaktaydı. Bunlar, mekanikte, fizikte ve geometrinin uygulamalarında görülen diferansiyel denklem sistemleri üzerindeki çalışmalardan ve elbette bu yeni sonuçların genellemelerinden ortaya çıkmıştır. Bilinen fonksiyonların küçük ailesinin eliptik

ve hipergeometrik fonksiyonlar ile Bessel, Hermite, Legendre, Jacobi ve benzerlerinin her biri ayrı bir alanda olan fonksiyonları (bunların bir listesi dönemin matematikçileriyle ilgili yazılan *Kim Kimdir?* ansiklopedilerinde bulunabilir) gibi işe yeni katılanlar ordusuna yer açması gerekir. Tek karmaşık değişkeni olan fonksiyonlar başlangıçta çok merak edilmişler ve sonradan çok temel oldukları ve şaşırtıcı biçimde her türdeki hesaplamada yararlı oldukları anlaşılmıştır. Son olarak, analizin temel ilkeleri ayrı bir şekilde tartışılmayı hak eden önemli birtakım soruları da peşlerinde getirmişlerdir.

Cebir ve geometrinin aynı dönem boyunca görülen hayranlık veren gelişimini yansıtmak kolay değildir, çünkü her yerde yeni adımların uygulamaya konulması söz konusudur. Cebirde, yalnızca meraktan kaynaklanan eski bir soru hiç umulmadık bir yarık açacaktır: Herhangi bir cebirsel denklem (en azından ilkesel olarak), dördüncü dereceden olan örnekler gibi, açıkça yazılmış bir denklemle çözülebilir mi? Bunun yanıtı olumsuzdur ve Abel ile Galois tarafından bulunacaktır. Ama bunlardan ikincisinin kullandığı matematiksel gereç, yani grup kuramı, çözülmesine yardım ettiği problemden çok daha ilginçtir. Bu yanıt matematiksel nesnelere yönelik resmi bir yoruma giden yolda bir sonraki basamağı işaret eder, çünkü denklemler, var olduklarını bilsek de, kesin olarak hesaplanamayan sayısal çözümler içermektedirler.

Doğrusal denklem sistemleri de incelenmekteydi. Bunlar eski çağlardan beri bilinmektedirler ve çözüm yöntemleri de uzun bir zamandan beri vardır. Bilinmeyen sayısı üçü geçmediğinde, her doğrusal denklem üç boyutlu uzayda bir düzlemi temsil eder ve geometrinin önemli bir bölümü böylece cebirsel bir yapıya konabilir. Genel sonuçlara ulaşma isteği cebir ile geometri arasında her iki disiplinin de zaman zaman ötekini havaya kaldırdığı bir tür bale halini alır. Geometrik düşünce artık üç boyutlu bir uzayla sınırlandırılamaz, çünkü cebir farklı sayıda boyutlardaki uzaylardan aynı açıklıkla söz etmeye izin verir. Kimi yeni kavramlar cebirde ve geometride aynı derecede yaşarlar, örneğin bir matris cebirdeki bir bilinmeyen değişimine ve geometride bir çerçeve ekseni değişimine karşılık gelir.

Poncelet, Chasles, Plücker ve Cayley'in "modern geometri"lerinde bu *birbirine katma* yeni düzeylere ulaşır. Onların kullandığı *nokta, doğru, konik, düzlem, kuadrik* gibi sözcükler, her ne kadar cebir kavramlarını belirtiyorlarsa da, geometri kavramlarını da kullanırlar. Bir doğru bir birinci derece denklem, koniklerse ikinci derece denklem olarak görülürler. Oyunun amacı bu cebirsel kavramlardan olası her tür geometrik yararı, tek bir hesaplama bile yapmadan sağlamaktır. Amatörlere uygun, son derece eğlendirici bu alıştırma matematiğin yeniden yapılandırılmasında çok etkili olacaktır. Örneğin, Gergonne'un icat ettiği ters kutup dönüşümleri nokta ve doğru kavramlarının birbirleriyle yer değiştirebileceğini gösterir. Matematiğin doğasının tanımlayıcı olmaktan çok formel olduğu birdenbire ortaya çıkar: *Matematikte önemli olan şeylerin doğası değil, aralarında var olan bağıntılardır.*

Ayrıca kimi geometrik özelliklerin uzaklık, çember ya da dik açıya göre tutarlı bir bütün oluşturduğu bilinir. Böyle özellikler kendi içlerinde bir geometri olarak görülebilir ve *metrik geometri* adı verilebilir. Başka özelliklerse bir izdüşüm altında (bir düzlemden ötekine) değişmezler, bunlar izdüşümsel özelliklerdir. Bu türde özerk özellikler ailesinin var olması 1872 yılında Felix Klein tarafından Erlangen Üniversitesindeki bir açılış dersinde açıklandı. İzdüşüm geometrisi bir grup koordinat dönüşümü, yani izdüşümsel dönüşümler grubu altında değişmez kalan cebirsel özellikleri kuramlar biçiminde ifade etmeye indirgenir. Bunun benzeri, kuramları farklı bir dönüşüm grubuna (bir dik koordinat sisteminden bir başkasına) göre değişmeyen cebirsel bağıntıları ifade eden metrik geometri için de geçerlidir. Daha genel söylenirse, bir geometri her zaman belli bir grupla eşleşmiştir. Böyle koşullar altında ilginin giderek nesnelerin (noktalar, uzaklıklar, izdüşümler) kendilerinden, matematiği daha sistemli hale getiren yeni "yapılara" doğru kaydığını görmek şaşırtıcı değildir.

Böylece 19. yüzyılın kapanışına doğru pek çok yeni sonuç belirmiştir. Bunlar çoğunlukla derin ve zaman zaman da şaşırtıcıdır. Disiplinlerarası sınırlar yeniden tanımlanmış ve en belli başlı olanlarının aralarındaki farklar neredeyse ortadan

kalkmıştır. Matematiğin doğası değişmiştir. Kendi özel inceleme alanları olan bir bilimden, giderek bir evrensel bağıntılar bilimi, bir bakıma herhangi bir bilimde ortaya çıkabilecek yapıların bilimi olma yoluna girmiştir. Bu bolluk matematiğin kendi evine bir çeki düzen vermesini gerektirmiştir.

MATEMATİK VE SONSUZLUK

Matematiğin ilgi alanı yeni başarı arayışlarıyla genişledikçe, temel kavramlara dönüş de sürdü ve bu iki hareket birbirini besledi. Matematikte uzman olmayanlar neden bu iki yaklaşımın kesinlikle gerekli olduğunu bugün anlamayabilirler. Bu durum özellikle temellerin saflığı ve evrenselliği açısından doğrudur, ki bu konu yanlış bir biçimde mantığın saplantı haline gelmesine dönüşmüştür, oysa tersine araştırmanın her aşaması ayrıntılı (ve genellikle somut) bir probleme yanıt olmuştur.

Şimdi örneğin analizin hangi fonksiyonlarla uğraşabileceği ya da uğraşması gerektiği sorusuna dönelim. Kolayca hesaplanabilen fonksiyonlardan sonra (18. yüzyıl analizcilerinin öncelik sırasına göre) ilk olarak başka özel fonksiyonlar geldi. Bessel, Legendre ve başkalarının adları verilen bu fonksiyonlar bugün yararları tartışılmaz biçimde elektrikte, yer bilimlerinde ve elektronikte karşımıza çıkmaktadırlar. Bu fonksiyonlar genellikle, Newton'ın da yıllar önce kestirdiği gibi, sonsuz bir dizinin terimlerinin toplamı olarak tanımlanırlar. 19. yüzyıl matematikçilerinin, özellikle Cauchy'nin ilk katkılarından biri böyle bir dizinin gerçekten de kullanılabileceğini, yani, dizinin iyi tanımlanmış bir toplamı olduğunu, teknik terimle ise *yakınsayacağını* belirlemekti. Bu, böyle fonksiyonların hesaplanması sırasında doğan hatanın ne büyüklükte olduğunu kestirmeyle ilgili olan ve kimsenin göz ardı edemeyeceği doğal bir koşuldur.

Bir fonksiyon, normalde her değeri alabilecek tek bir değişkene bağlıdır, ama elbette değişkenin sonsuz farklı değeri için fonksiyonu hesaplamak olanaksızdır. Şimdi eğer fonksiyon, değişkeninin belli bir değeri için hesaplanmışsa, (değişkenin) ilkine çok yakın olan yeni bir değeri için ne kadar değişebilir? Öyle

anlaşılıyor ki, sayısal hesaplamalarda kullanılabilen fonksiyonlar, değişkende küçük bir değişim olması halinde fonksiyonun kendisinde de yine küçük bir değişim oluşanlardır.

1807 yılında Fourier'nin yararlı fonksiyonları tanımlamak ve hesaplamak için bir başka yol önermesine dek geçerli olan durum buydu. O zamana dek üzerinde çalışılan dizilere "üslü diziler" denirdi, yani kabaca söylersek, daha büyük üslü terimlerinin katsayıları yeterince hızlı biçimde küçülen sonsuz polinomlardı. Öte yandan, Fourier (ya da trigonometrik) dizilerinin salınımları giderek kuvvetlenen sinüs ve kosinüslerin sonsuz toplamlarıdır. Böyle bir diziye en basit örnek bir müzik aygıtının sesini çeşitli harmoniklerine ayrıştırmayla elde edilir, bu da bize Fourier'nin düşüncesinin değersiz bir merak olmayıp, fiziğin kaçınılmaz gereçlerinden biri olduğunu gösterir. Fourier dizileri ve bunların genellemeleri bugün teknik ve bilim alanlarının tümüne yayılmıştır ve günümüzün mikro işlemcileri onların kimi robot bileşenlerinde yüksek hızda hesaplanmasında kullanılmaktadırlar.

Bununla birlikte, Cantor'un sonsuzluk üzerine olan ünlü düşüncelerinin Fourier dizilerindeki bir problemden yola çıktığı fazla bilinmez. Bunlarla baş etmek kolay değildir ama çok değerli oldukları da kesindir. 1830 yılında Bolzano bu türden bir diziyi bir aralık sınırları içindeki sonsuz sayıdaki noktada türevi olmayan, sürekli bir fonksiyonu oluşturmak amacıyla kullandı. Bir uyarı ışığı çaktı, çünkü hep açık biçimde tanımlanmış olan (yalnızca bir diziyle tanımlanmış bile olsa) herhangi bir fonksiyonun bir türevinin olacağı varsayılmıştı. Ama şimdi Bolzano'nun sonucu, fizikte olduğu kadar matematikte de en yararlı gereçlerden biri olan türevlerin garantili bir şey olarak görülemeyeceğini, bir fonksiyonun türevine her gerek duyulduğunda (örneğin bir hesaplama sırasında) önce bunun var olduğunun kanıtlanması gerektiğini ortaya koydu.

Fizikçiler böyle gariplikleri doğada bu türden kusurlar olacağına güvenerek göz ardı edebilir (ama aslında böyle bir durum yoktur). Kimi matematikçilerin de bu konuda kuşkuları vardı: "Türevi olmayan bu sürekli fonksiyonlardan biriyle karşılaştığımda korkuyla arkamı dönerim" demiştir Hermite,

şakayla karışık. Ama aslında eğer hekimler bir Hipokrat andı içiyorlarsa, matematikçilerin de kendilerini öne sürdükleri kuramları kanıtlamaya zorlayan, yazılı olmayan bir Öklit antları olması gerekliydi. O zaman gerekli engelleri kurarak o tür kazaları önlemeye zorlanırlardı. (Böyle yaparak nasıl kuşkulanabilirler? Bir gün fiziğin eninde sonunda gereksinim duyacağı kavramları geliştirmeye yöneleceklerdi; ama bu başka bir konudur.)

Dedekind ile Cantor'un sonsuzluk kavramıyla karşılaşması böyle olmuştur. Aslında sonsuzluğu matematiğin hemen her yerinde buluyoruz. Eğer bir dizinin toplamını elde etmek ya da bir integrali tanımlamak durumunda kalırsak, terim sayısı zorunlu olarak sonsuza gideceğinden bir sınır (limit) almamız gerektiği anda sonsuz karşımıza çıkar. Dizilerle uğraşırken daha büyük üslü terimleri ele almamız gerekir ve bir türevi tanımlamak değişkenin giderek birbirine daha yakın değerlerini almayı gerektirir. "Gerçek sayı" kavramı (Eudoks ve Öklit'in gerçek bir uzunluğu ya da büyüklüğü ölçme sonunda elde ettiği), bunu matematiksel olarak ifade etmeye karar verdiğimiz anda sonsuzluğu getirir (bunu görmek için ondalık noktadan sonra genellikle sonsuz sayıda basamağın gerekli olduğunu gözlemek yeterlidir). Weierstrass ve Dedekind bir gerçek sayıyı art arda uygulanacak yuvarlamaların sınırı olarak görmeyi yeğlediler ama bu sınır yine sonsuz bir sürecin sona ermesidir.

Geometri de sonsuzluktan kaçınamaz. Öklit uzayı sonsuzdur ve koordinatları ifade etmek için gerçek sayılar (sonsuzla birlikte) gereklidir. Her bir doğru parçasının üzerinde sonsuz sayıda nokta bulunur. Sonsuzluk gidericilerin evreninden uzak durmak gerektiği unutulmamalıdır. Bunların ilklerinden biri ve kuşkusuz en büyüğü Georg Cantor'dur (1845-1918). Parmak uçlarında girilmesi gereken ve önermelerin yasaklanmasının anlamsız olduğu bir tapınaktır. Sonsuz, yeni bir şey değildi: Yunanlarda Anaksimander'in "*apeiron*"u ve Zenon açmazında Akhilleus'un sonsuz sayıda adımları vardı. Ortaçağ teolojisi ve felsefesinde Tanrı'nın sonsuz sayıdaki sıfatı da bir inceleme ve tartışma konusu olmuştu. Ancak, garipliği görüleceği üzere, geçmişteki tüm savlar kimsenin çözmeyi beceremediği mantı-

ğa aykırı şeylerle yayıldığı için başlık hemen hemen dokunulmadan kalmıştı. Her şey yapılmayı bekliyordu ve "Hilbert'in dediği gibi, "Cantor'un bizim için yarattığı cennet gerçekten de tek olası cennettir" sonucunun oluşması dışında her şey yapılmıştı. Günümüzdeki matematiği soyut, içine girilemez ve (kimi felsefeciler için) büyülenmenin, (başkaları içinse) korkunun kaynağı olarak nitelemek gereken tek şeydi. Kırılmanın ortaya çıkışı da bir ölçüde bundan kaynaklanır.

IV

KLASİK BİLGİ FELSEFESİ

Anlamak ne demektir? Anlamak nasıl sağlanabilir? Şimdi değineceğimiz bu sorular felsefenin en eski ve en önemli soruları arasındadır. Platon'un *Theaitetos*'uyla başlayan birçok yanıt önerilmiştir, ama bunlar kolayca iki ana grupta toplanabilir. Bunlardan ilkine göre dünya güvenli bir şekilde aklımızdaki imgelerle ve sıradan bir dille temsil edilir. İkinci grup yanıta göreyse, dünya temelde bizim onu algılamamızdan farklıdır. Bu aslında felsefenin başlangıcından beri var olan, o dönemlerde Aristoteles ile Platon arasındaki çekişmenin de konusudur.

Bilimin doğuşu ilk tür yanıtın varsayılan açıklığında gerçekleşti ve bu bölümün amacı bunun o dönemde felsefeyle bağıntısına kısaca değinmekti. Bir kez daha, kendimizi daha sonra yararlanacağımız birtakım gerçeklerin tartışmasıyla sınırlandıracağız.

FRANCIS BACON VE DENEY

Francis Bacon (1561-1626) adı ilk anılması gerekenlerden biridir, çünkü deneysel yöntemin felsefecisidir. İyi düzenlenmiş, tutarlı bir bilim elde etme yoluna giren Bacon, belki de felsefeyi bilim üzerinden yeniden gözden geçiren ilk kişiydi. Benim düşünceme göre bütün bunlar onun (katkısının sıklıkla küçümsendiği) yöntem üzerindeki hayli esinlendiği belli olan *Instauratio Magna*'sının [*Büyük Yenilenme*] önsözünde sunulan düşüncelerinden daha önemlidir.

İlk olarak bir bilim kurmayı ya da kendi sözleriyle, bilimi *yeniden oluşturmayı* önerir. "İnsanları bunun taşınması gereken bir düşünceden çok yapılması gereken bir iş olduğuna inanmaya çağırıyorum... Şimdi bilimlere gerekli olan, işin deney boyutunu çözümleyip, onu bileşenlerine ayıracak olan bir tümevarım biçimidir. Duyuların deneyi yalnızca yargılaması, deneyin de kendisini o şey hakkında sorgulaması gerekir. Umudunuzu yitirmemenizi ve bu önerdiğim *yenilenmenin* sonsuz ve insan gücünün ötesinde bir şey olmadığını bilmenizi diliyorum. Bacon'ın Yunanlara ve skolastik felsefeye atfettiği bu "*hata*" "hemen duyulardan ve özel şeylerden en genel önermelere doğru uçuşa geçmekti. [Bu] kuşkusuz kısa ama aynı zamanda özlü, ayrıca da her ne kadar kolayca sorgulamaya gidiyorsa da hiçbir zaman doğaya ulaştırmayan bir yoldu."

Bilimin yeniden oluşması "kesinlikle ölümün ve insanlığın koşullarını unutmayacak (tüm işin yalnızca bir kuşak boyunca bitmeyip, ikinci kuşağa da sarkacağını varsayarak) ve son olarak insan aklının küçük hücrelerine kibirli bir biçimde tıkılmayıp, çevresindeki daha büyük dünyaya da değer veren bilimlerin arayışında olacaktır."

Galileo'nun aynı ilkeleri uygulamaya koyduğu bir dönemde insan bilimin geleceği için daha iyi bir tanım düşünebilir mi? Eğer iki insanı sıralamam gerekseydi, Galileo "bilimin matematik dilinde yazıldığını" gördüğü için, fizikçiyi felsefeciye yeğ tutardım. Bacon'ın durumu bu algılamadan çok uzaktır ve onun bilgiyi mantık yoluyla edinmeye getirdiği eleştiri son derece olumsuzdur ve kuşkusuz bağnazlığa bir tepkidir.

Instauratio Magna'ya yazılan önsözü alıntı yapmadan edemeyeceğim, çünkü yakıcı bir paragraf içerir: "Şimdi benim planım düzgün olarak ilerlemek ve bir aksiyomdan bir başkasına yumuşak bir biçimde geçiş yapmaktır. Böylece en genel olanlara, sonuncuya varana dek ulaşılmaz ama o zaman, siz bunlara vardığınızda onların boş kavramlar değil, iyi tanımlanmış ve doğanın kendisinin gerçekten temel ilkeler olarak belirleyeceği, işin iliğini kemiğini oluşturan şeyler olduğunu görürsünüz."

Buraya kişisel bir parantez sokma özgürlüğümü kullanacağım. En sevdiğim düşlerimden biri (ki bu kitapta da bir ölçüde payı vardır) bir gün bilimsel bilginin çok açık ve net bir biçimde oluşmasıyla felsefenin Sokrates öncesindeki kökenlerine döndüğünü, kendi temellerini bilimde bulduğunu görmektir. Böyle bir günün yaşanacağı zamanlar olduğuna inanıyorum. Ne olursa olsun, yazarın söylemek istediği şeyden çok, bizim beklediğimiz şeyi okumaya olan garip eğilim (Paul Valery'nin uzun uzadıya analiz ettiği şey) yüzünden, bir zamanlar düşüncemin ifadesinin Bacon'ın son söylediklerinden çok etkilendiğini fark ettiğimi sanmıştım. Oldum olası kime değer verip güveneceğimi bilmek istediğimden (büyük bir şemsiyenin altına sığınmak iyidir), ona güvendim ve kimi derslerde (pek bilgece olmasa da) kullandım. *Instauratio*'yu ikinci bir kez okumanın ardından fikrimi değiştirmem gerekti, çünkü bu düşünce başka bir yerde açık biçimde ortaya çıkmıyor. Belki Bacon da yalnızca sağduyulu bir yaklaşımla, çıkarılan ilk sonuçlara atlamayarak, kendi önerdiği şeylerle çelişmemeye dikkat etmiştir. Her ne kadar bir doğrulama olmasa da ve ilk sezgimin doğru olması halinde, bu onuru Husserl'den önce başkasına vermemek için, bu fikri ona atfediyorum.

DESCARTES VE AKIL

Bacon'ın deneysel felsefesi Büyük Britanya'da bilimin gelişimini gösterirken, René Descartes'ın (1596-1650) akılcı felsefesine de kıta Avrupası'nda saygı duyuluyordu.

Descartes, Bacon'la temel bir noktada anlaşmazlığa düşerek, gözlem yapmanın bir zorunluluk olduğunu yadsımaksızın yine de bilimsel araştırmanın temelinin tümdengelimci mantık yürütme olduğu savını öne sürer. Bu durumun kanıtını bir geometrici olarak birinci elden bulmuştu ama şimdi insan aklına dayandırmayı amaçladığı tek şey, doğayı ve insanlığı anlamadaki tek güvenli temel olan felsefedir.

Ünlü "düşünüyorum, öyleyse varım" sözüyle başlayan düşünce akımı çok açık bir ilkeye uyar: düşünce varlıktan önce gelir ve bu düşüncenin kullanılması bizi tam bir anlayışa götüren yöntemi sunar. Çıkış noktası, doğanın kendisinden daha çok, "*akıl*"dır.

Burada Descartes'tan söz ediliyor, çünkü O, aklın bayrağını başka herkesten yüksekte taşıyordu. Öyle yüksekte taşıyordu ki, kendisinin sunduğu "sistematik kuşku" açıkça bir oyun oluyordu. Descartes'ın kitabın ancak daha sonraki bölümlerinde karşılaştığını iddia ettiği Tanrı, zaten *Cogito*'da tümüyle var olmaktadır ve kendisi için akıl tarafından ayrılan tahtı doldurmaya hazırdır. Mantık ya da akıl, adına ne dersek diyelim, her zaman bizim en güçlü ve gizemli hizmetkârlarımızdır. (Yoksa efendilerimiz mi?)

Her ne kadar (yıllar sonra aynı yoldan geçen) Wittgenstein buna bir son verse de, bu kitapta Descartesçı yoldan gitmeyeceğiz. Wittgenstein "*Felsefi Sözler*" adlı yapıtında ayrıntılı olarak, aklın bir aygıtı ve önkoşulu olan dilin ortaya çıkışını ve gelişimini inceler. Yalnızca ünlü bir örneğe değinmekle yetineceğiz. Bir duvarcı çırağına, işin tuğlalarını ve gereçlerini adlandırarak konuşmayı öğretir. Çırağın her seferinde adı söylenen nesneyi gösterip "şu/o" demesi gerekir. Wittgenstein sözcüklere anlam yüklemenin başka bir yolu olmadığını öne sürer. O nedenle, felsefe yalnız akılla başlayamaz, çünkü akıl dili gerektirir, dil de ancak gerçekliğe doğrudan değerek anlamlı hale gelir. Eğer aklın gizemi (ki bilimin açık bir önkoşuludur) dokunulmaz kalırsa, bunun kökenlerini aklın kendisinde değil, yalnızca gerçeğin sergilediği düzenlilikte arayabiliriz. Bu yüzden de *cogito* yolu uygun bir yol değildir ve felsefe tarihi üzerindeki etkisine karşın bugün onu, biraz pişmanlık duysak da, geriye bakmadan kapayabiliriz.

Descartesçı düşüncenin bir başka ünlü yanı *Yöntem Üzerine Konuşmalar* ve ayrıca *Aklın Doğru Yönü İçin Kurallar* adlı yapıtlarında açıklanan süreçtir. Burada yöntem bir problemi, güçlük düzeyi çözümün apaçık görüneceği biçimde düşene kadar, başka ve daha kolay problemlere ayrıştırmaktan oluşur. Belki sıradan günlük sorunlarla uğraşırken aklı doğru yönlendirmede yararlı bir yöntemdir. Ama varlığımızın büyük sorunlarıyla baş etmeye çabalarken hemen hemen hiç işe yaramaz. Böyle sorunlar daha temel parçalara ayrılmazlar ve bunların yanıtları, eğer bir basitlik varsa, varılan bir sonuçtan daha çok, bir araştırmanın başlangıcına benzer.

Daha önce Descartes'ın maddeyi temelde fiziğin geometriye indirgenmiş bir hali olarak gördüğünden söz etmiştik. İnsan onun durumunda Einstein'ın madde hakkındaki algısına karşıt bir bakış görmeye çalışabilir ama bu daha çok Kartezyen yöntemin başarısızlığına bir örnektir, çünkü Descartes'ın (kendi yöntemiyle) türettiği çarpışmalara ilişkin on önermeden ancak biri doğru çıkmıştır. Bacon'ın sözleriyle söylersek, Descartes nihai sonuca hem biraz aşırı hem de daha gelişmemiş bir biçimde atlamak istedi. Bilimde yöntem sorunu daha ince bir konudur, buna daha sonra yeniden döneceğiz.

Fiziksel dünya ve onun çeşitli olguları bir makine ve onun çeşitli parçaları olarak görüldüğünden, gerçeğin yalnızca mekanik yoldan bir kavranışı şeklinde ve formül burada da aşırı olsa bile, Descartes'ın hepimiz üzerinde bir iz bıraktığı yadsınamaz bir gerçektir. Galileo'ya olduğu kadar Descartes'a da, bilimle uğraşanların sınırlarını sorgulamayı akıllarından bile geçirmedikleri inatçı, garip bir düşünceyi, doğanın matematiksel biçimdeki yasalarla yönetildiği düşüncesini borçluyuz. Heidegger'in "*Descartesçı tasarım*" dediği, düşüncenin matematikleştirilmesi budur. Biz bunu Descartes'ın bıraktığı en önemli miras olarak görüp, sık sık buna döneceğiz.

Son olarak Descartes'ın ardıllarından söz ederken en azından büyük Spinoza'yı anmadan geçemeyiz. Kendisi her şeyden önce uyumun felsefecisidir, günümüzün bir bilimcisi onun eşliğinde doğrusu çok rahat ederdi. Spinoza felsefenin bir gün yalnızca (zayıf bir destek olan) akla dayanmayı bırakacağı, hatta aşacağı yeri hem de belki birden fazla biçimde öngörür, ama bunu doğayla ilgili daha geniş bir bilgi çerçevesinde, logosla ve gerçekle yapar.

LOCKE VE DENEYCİLİK

John Locke (1632-1704) tarafından 1690 yılında yayımlanan *İnsanın Anlama Yetisi Üzerine Bir Deneme* adlı kitaptan daha hoş ve daha inandırıcı bir kitap yoktur. Buradaki her şey açıktır, çok açık bir dille sunulmuştur ve çok rahat izlenir. Kitabın amacı bir ölçüde bu olmasaydı, Descartes'ın yönteminin en inandırıcı uygulaması yanıltıcı olabilirdi.

Locke'un tezi yalındır: Bize düşünme ve konuşma araçlarını sağlayan çevremizi saran dünyadır. "İster düşüncenin ürünü, ister bütün bireyler için ortak bir kavram olsun" der, "hepimiz bir düşüncenin ne olduğunu biliyoruz." Düşünce ya da ilkelerimizden hiçbiri doğuşta bize yerleştirilmemiştir, çünkü öyle olmasaydı daha küçücük çocukken de bunları edinmiş olurduk. Oysa, der Locke, küçük çocuklar bir şeyin aynı anda hem olmasının hem de olmamasının söz konusu olamayacağını bilmezler (Aristoteles'in bunu yasaklayan kuralını önemsemezler).

Başka düşünürlerin çeşitli yanıtlar verdiği bu geçiş ilginçtir, çünkü ilk olarak bir felsefeci çocukların gözleminden bir şey öğrendiğini kabul etmiştir. Gençlerde kavram oluşumunun sistemli bir şekilde incelenmesi olan genetik epistemoloji yüzyılımızda Jean Piaget tarafından başlatıldığı Locke'un sezgisinde de her bakımdan onaylanmıştır. Tüm düşünceler ya beş duyu yoluyla ya da düşünsel/tepkisel bilinçten gelirler. Düşüncelerin temelinde, yani varlığımızın içinde, duyularımızla algıladığımız somut nesneler vardır. Daha genel, başka düşünceler, aklımızın bunlar üzerindeki işlemlerinin, akıl yürütmenin sonucudurlar. "Ruh yalnızca algılamaya başladıktan sonra fikir edinmeye başlayabilir."

Locke'a göre, düşünceler hiyerarşisi, her zaman saf veri halinde olmayıp, onları oluşturan öğeler halindeki basit fikirlerle başlar, örneğin buz düşüncesi "sert" ve "soğuk" olarak ikiye ayrışır. Tek bir duyu organınca algılanan basit düşüncelerle birçok duyudan gelen veriyi birleştirenler arasında yapılması gereken bir ayrım vardır. Bu ikinci grup içinde örneğin uzay, şekil, durgunluk ve hareket de vardır. Bir sonraki aşamada akıl basit düşünceler arasından düşünme yoluyla benzerlikler çıkarır ve soyutlamalara varır. Son, yani dil aşamasındaysa, oluşturulmuş düşünceler, yalnızca algıladığımız şeylere somut atıflar yapan sözcüklerle tanımlanırlar. Böylece, her şey çok açık görünür: anlamak, kendini akılda temsil biçimi bulan, dili ve aklı üreten dünyaya açmaktır. Ya da o kadar açık mı gerçekten?

YAN KONU: ALGILAYICI BİLİMLER

Locke'un yaklaşımındaki güçlük ya da ince nokta kendisinin oluşturduğu düşünceler hiyerarşisinde açıkça görülmektedir. Bu nokta çok eleştirilmiş ama önemi bugün bilim tarafından da tümüyle kabul edilmiştir. Katı ve soğuk olmak üzere ikiye ayrışan buz örneği şaşırtıcıdır, çünkü duyularımızın dış dünyayı algılamasının çevremizin genel ve güvenilir bir görüntüsünden çok, önceden seçilmiş özelliklerin özenli bir bileşimi olduğunu ima eder. Bu noktada diretmeye değer, çünkü insan gözünde dünyanın temsili bizim öne sürdüğümüz temel savla ilgilidir: Daha sonra resmi bir temsil yerine görsel bir temsili yeğleyeceğiz, o yüzden bunların ikincisinin ne olduğunu bilmek önemlidir.

Bu amaçla ilgimizi gelişimi çok hızlı olan beyin biliminde bugünkü bilgiye yönelteceğiz. Şöyle bir on yıl kadar önce, o zamana kadar bağımsız olan çeşitli disiplinler kaynaklarını, örneğin beyin anatomisi, nörofizyoloji, hormon biyolojisi, biyokimya, deneysel psikoloji gibi bilgi temelli bilimlerini oluşturmak için çeşitli araştırmalar yapıldı. Gerek insanlar, gerekse hayvanlar üzerinde yapılan ve beyin hastalıklarından yakınan hastalar üzerindeki psikolojik deneylere ya da klinik gözlemlere dayanan fizyolojik çalışmalar bu gelişime katkı sundu. Kullanılan gözlem teknikleri güçlüydü: Örneğin bilimcilerin beyindeki kan dolaşımını *görmelerine* olanak sağlayan pozitron kamerası, kimi atomların gittiği yolu izleyebilen NMR (nükleer manyetik rezonans) tarayıcıları vb vardı. Verileri çözümlemede elbette hesaplama teknikleri kullanılır ama birçok yerde akılla ilgili süreçleri modellemede bilgisayar da işe katılır. Tümüyle yeni bir bilgi alanı açıldı, hızla gelişti ve çoktan doyurucu sonuçlar vermeye başladı bile.

Algının bilgi felsefesinin temellerinde önemli bir rol oynadığı Epikuros'tan beri bilinmektedir. Bunun üzerindeki çalışmalar garip bir karmaşıklığı da ortaya koymuştur. Buna iyi bir örnek olarak görme duyusunu ele alalım. Retina üzerinde oluşan hemen hemen fotografik görüntünün, çözümleneceği beyne bozulmadan aktarıldığına uzun zamandır inanılmıştır.

Böylece, algılamanın ve anlamanın aşamaları kesin biçimde ayrılacak ama işler pek de o kadar kolay olmayacaktır.

Retina gelen görüntünün ayrıntılı bir analizini yapan çok karmaşık bir sinir dokusudur. Belli birtakım sinirsel alanlar görüntünün düşey çizgileri olup olmadığını, başka bölgeler yatay çizgi bulunup bulunmadığını anlar, başka bir grup da renkleri, ışığın şiddetini ya da orada bir hareket olup olmadığını algılarlar. Görüntü böylece neredeyse anlık bir biçimde çeşitli bileşenlere ayrılır, bu bileşenlerinse daha sonra görülen nesneyi yeniden oluşturacak şekilde beyin tarafından birleştirilmeleri gerekir. Ayrıca, retinanın iç bağlantılardan oluşan karmaşık bir ağ yapısı vardır ve bunun sayesinde görüntüde bulunan birtakım ilişkilerle ilgili bilgileri kaydedebilir ve aktarabilir. Bu bilgiler algılanan nesneler arasındaki birtakım benzerlikler olabileceği gibi, farklılıklar da olabilir. Ama en çok da hâlâ çözülmemiş olan büyük gizem, yani örüntü tanıma olabilir.

Retinadan beyne bir süreklilik vardır çünkü birinci, ikincinin bir bölümüdür. Beynin görüntünün bileşenlerini algılayan farklı alanları üzerine de çok şey biliyoruz. Bu alanlar dört adet olup, birbiriyle etkileşim içindedirler ve görüntünün hareket, renk ve biçim gibi farklı özelliklerine tepki gösterirler. Bu son bileşen, işlenmesi beynin iki alanını gerektirecek zenginlik ve karmaşıklıkta bilgiyi temsil eder.

Tam bir algılama için gereken sentez beynin daha da geniş bölgelerini işe katmayı zorunlu kılar. Belli bir anda etkin olanlar pozitron kamerasıyla doğrudan gözlenebilirler. Kamera beynin hangi bölümlerinin etkinleştiğini oralardaki kan akışını sergileyerek gösterir. Görmeyle ilgili çalışmalarda bu veriler gözün hareketlerinin bir kamerayla izlenmesi yoluyla, görülen nesneyle eşleştirilebilir. Bu türdeki deneyler hayvanlarda, beyinlerine nöron sinyalleri alan elektrotları doğrudan yerleştirerek yapılmıştır. Bu yöntem, deneğin gözlerindeki görüntünün renk, devinim etkileri, şekil değişiklikleri, tanınabilir biçimlerin olup olmadığı gibi özelliklere dayanılarak, beynin farklı bölümlerinin nasıl çalıştığını ortaya çıkardı. Sürecin eşgüdümü kısa süreli belleğin yerleştiği ön lob korteksinde

gerçekleşir. Bu ikinci, örneğin, başka herhangi bir yerinde değişiklik olmayan bir sahnede yeni bir öğenin varlığını algılayabilir. Gövdenin değişik bölgelerine, göze, ele ya da ağıza giden komutlar da buradan yollanır. Ön lobların dikkati ve tepkiyi de denetlediği söylenebilir.

Böylece, dış dünyanın, görüntüdeki anlamın kavranmasından önce birçok bileşene ayrıldığı yer olan algılama aşaması çok karmaşık bir süreç olarak ortaya çıkar. Algının görüntüyü sentez yapmaya gitmeden kırarak başlayan bu analitik özelliği son yıllarda ağırlığını yavaş yavaş koydu ve felsefe de bunu artık göz ardı edemez.

Konudan biraz uzunca ayrılmış gibi olduk ama en azından daha önce Locke tarafından fark edilen bir noktanın bugün artık inandırıcı olduğunu vurgulamaya yaradı. Akıllarımızdaki öğeler, çevremizdeki dünyadan kaynaklansalar bile, bir tür yeniden oluşumlardır. Bunlar öyle basit ya da apaçık olmaktan uzaktır. Doğrulukları ise, özellikle bilim bizi tanımadığımız çevrelere, örneğin elektronlara ya da bir bütün olarak evrene götürdüğünde sorgulanır niteliktedir. Bu yüzden insan bir şeyin açık ve anlaşılır olmasının eninde sonunda yalnızca tanışıklık mı, yoksa bildik ortamların dışında yalnızca bir benzerlik mi olduğunu merak edebiliyor.

HUME'UN PRAGMATİZMİ

David Hume (1711-1776) felsefi anlamda doğrudan Locke'un bir ardılıdır, ondan gelir. Bilginin bütünlüğünü deneyciliğin bir ürünü olmaya indirger ve hatta deneysel olarak nitelenebilecekler dışındaki sorulara önem vermeme açısından kendi öncülünden daha köktencidir. Özellikle kendi çağdaşlarını etkiledi ve felsefe tarihinde evrensel ahlak ilkelerini ve hatta özgürlük gibi moral kavramlarını yalanlama noktasına kadar her türlü metafiziği reddetmesiyle iz bıraktı. Felsefi yazılarının bu yönü doğal olarak en tartışmalı olanlardı ama biz bununla ilgilenmeyeceğiz. Burada yalnızca Hume'un insan anlayışı ve bilimin doğası üzerinde tartışacağız.

Gençlik döneminde yazdığı yapıt olan *İnsan Anlama Yetisine İlişkin Soruşturma* [*Inquiry Concerning Human Unders-*

tanding] 1748 yılında yayımlandı. Bu kitap bugün bile bilimsel çevrelerde genişçe izlenen, kendisinin pragmatik felsefesinin bir anlatımını içermektedir. Hume'un kendi temel tezini nasıl toparladığına bakalım: "Ama her ne kadar düşüncemiz sınırlanmamış bir özgürlüğe sahip gibi görünüyorsa da, daha yakından bakılınca bunun aslında çok dar sınırlara kıstırılmış olduğu ve aklın tüm bu yaratıcı gücünün bize duyularımızın ya da deneyimlerimizin sağladığı şeyleri birleştirme, dönüştürme, büyütme ya da küçültmeye götüreceğini anlıyoruz." Böylece aklımızın tek işlevi *gerçeklerden* yararlanmak, onları kullanmak oluyor. Düşünme denen şey gerçeklerin sağladığı bilgiye maddesel hiçbir şey katmıyor. Bu durumda, basit bir denemenin de gösterdiği gibi, spekülatif felsefenin pek çok kavramı anlamsız kalıyor. Gerçekten de şu soruyu sormak yeterlidir: Varsayılan bu düşünce hangi duyusal izlenimlerden çıktı? Eğer bunu yanıtlayamazsak, herhangi bir anlamı olmayan bir kavramdan söz ediyoruz demektir.

Bunun arkasından bizim tartışmayla daha yakından ilgili bir şey geliyor: Bilimin deneyler aracılığıyla keşfettiği yasalar, gerçekler arasında (herkesin üzerinde anlaşmaya vardığı) bir kesişimi açığa çıkarmaktadır. *Bilimsel yasalar kısaca gözlenen gerçeklerin bir özetidir.* Bu demektir ki, gerçekler bizim dünyayı temsil etme biçimimizin kaynağıdır ve bu da gerçeklerin aklın ve dilin yararlı olacağı kadarlık bir düzen taşıması sayesinde böyledir. Bu düzen en iyi bilimin açık bir biçimde ortaya döktüğü yasalarla tanımlanır ama bu yasalar gerçeklerin yalın özetine hiçbir şey katmazlar.

Aklın dünyanın zayıf bir kopyasına indirgendiği bu kapsamlı araştırmanın sonunda Hume'un bir uyarı olmadan kendi kurallarını ele verdiğini ve birdenbire kökten bir metafizikçi olduğunu görmek şaşırtıcıdır. Eğer metafizik dünyayı olduğu gibi kabul etmek yerine, ne olması gerektiğini bir buyruk olarak duyuruyorsa, en azından benim yorumum böyledir. Tam emin olmak için, gerçekler arasında yasaların ortaya çıkardığı iç bağlantılar olduğunu kabul eder, ama bu bakımdan başka herhangi bir şeyi öğrenmenin olanaksız ve inanılmaz olduğunu da tam bir kesinlikle savlar. Bizim mantığımızı kesinlikle

iflah olmaz bulup, onun sonuçlarını da yalnızca kendilerini sonsuza dek yineleyen gerçekleri taklit etmenin oluşturduğu bir alışkanlık olarak niteleyerek lanetler.

Hume'un düşüncesinin bu yanı çok önemlidir ve bilgi felsefesinin en sıcak konularından biri olmak durumundadır. Pek çok sorunun, anlamsız değilse bile, hiçbir zaman yanıtlanamaz olduğu, hatta yalnızca bilim açısından bile sınırların dışında kaldığı Hume tarafından açıklandı. Gerçekler deneylerin ortaya çıkardığı tutarlı örüntülerle neden ilişkilidirler? Newton mekaniğininkiler gibi doğa "yasaları" nasıl oluyor da bize daha önce hiç yapılmamış deneylerin sonuçlarını kestirme olanağı sağlıyor ve bilimin bu önceden kestirebilme gücü nereden geliyor? Hume bütün bu soruları bizim bilmeyi umut edebileceğimiz sınırın ötesinde görerek reddeder. Kimi zaman bu sınırın ötesine geçebileceğimiz gerçeğinin yavaş yavaş bulunuşu, birazdan göstermeye çalışacağımız gibi, bugünkü bilgi felsefesinin gerçek ilgi alanını oluşturur.

KANT

Ünlü nörobiyolog Jean Didier Vincent *Tutkunun Biyolojisi*[1] adlı yapıtında Spinoza'nın insan aklının işleyişine ilişkin, genellikle bu alandaki en güncel sonuçlarla uyum gösteren, olağanüstü gözlem yeteneğine hayranlığını belirtir. Vincent'ın sözleri ayrıca Aydınlanmanın ve daha önceki dönemlerin, kuşkusuz aynı zamanda keskin psikologları da olan en önemli felsefecilerine uygulanabilir. Bunların içinde Locke ve Hume olduğu kadar, Descartes (*Meditasyon*) ile Malebranche da vardır. Kant için daha kökten bir şey söylenebilir, çünkü kendisinin bilgi felsefesine yaptığı temel katkının daha çok saf psikoloji olduğunun düşünülmesi gerekir. Immanuel Kant (1724-1804), yalnızca derinliği ve kesinliği bakımından bile, tüm zamanlardaki en önemli felsefecilerden biri olarak yerini almıştır. Her ne kadar büyük ölçüde Locke ve Hume'un etkisinde kalmış olsa da, bu ikincisinin doğa yasalarının köklerini daha ileri ölçüde araştırmaktan vazgeçmesini kabullenememiştir. Bu soru Kant

[1] *Biologie des passions*, Paris: Odile Jacob, 1986.

için, kendi deyişiyle, *crux metaphysicorum*'du [metafizik kabuk]. *Saf Aklın Eleştirisi* adlı ünlü yapıtında bunu güzel bir şekilde ifade etmiştir: "İnsan aklı, bilişselliğinin bir türü olarak kendine özgü bir talihin yükünü taşımaktadır. Bu yük, aklın ne kendine sormaktan kaçınabildiği ne de onlara yanıt oluşturabildiği sorulardır; yanıtlanamazlardır çünkü, insan aklının tüm yetilerine aşkındırlar."[2]

Peki ama akıl nedir? Kant'ın "birtakım ilkelere göre anlamanın kuralları arasındaki birliği üretme yetisi" tanımı bu konuda fazla yardımcı olmuyor. Bu soruya yanıt *Eleştiri*'nin temel varsayımlarının doğruluğunu gerektiren uzun bir yapının sonunda geliyor. Çağdaş bilimlerde aklın önemi daha çok, 18. yüzyılda da bulunmayan iki yalın ama temel düşünceyi dikkate alır: Düşünme beyinde oluşur ve akıl ile mantık da insanlık tarafından uzun bir tarihsel sürecin sonunda edinilmiştir. İletişim ve kültürle iç içe olan kuvvetli bir toplumsal bileşeni vardır.

Kant beyne işaret etmez ve o çağlarda bu alanda çok az şey bilindiği için, bu açıdan kuşkusuz haklıdır da. Bununla birlikte, zorunlu olarak kısa tutulan bir tartışmada kapsamı biraz daraltsa da, Kant'ın beyin konusundaki yorumu uygundur. En azından Kant'ın ortaya attığı iki tür bilgi olan *a priori* ile *a posteriori* arasındaki farkı açıklar. *A posteriori* bilgiyi anlaması kolaydır, çünkü bu deneysel görüden (Almancada en kesin anlamına gelen *Anschauung* sözcüğü) çıkaracağımız her şey demektir. Kant ana hatlarıyla, herhangi bir *görü*nün zeminini oluşturan şeylerle ilgilidir. Bu *a priori* veriyi yorumlamanın uygun bir yolu, bunu beynin çerçevesi ve işlevi olarak düşünmektir.

Kant'ın yaklaşımının temel bir yönü onun *fenomenlerin* doğası üzerindeki vurgusudur. Bir fenomen "deneysel görünün tanımlanamayan nesnesi", yani daha çok dışarıdan bir şey ya da gövdenin içindeki bir süreci algıladığında beynin durumunu tanımlamaya çalışacağımız bir şeydir. Algı konusundaki

[2] *Critique of Pure Reason*; Max Muller'in çevirisi, Walter Kaufmann'ın Felsefe Klasikleri; Cilt 2 (Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1968.

bugünkü anlayışımız gerçek şeyleri, algılama yoluyla oluşan temsillerinden ya da gerçeği "fenomen"den ayırt etme gereğiyle uyum içindedir. Bununla birlikte, beynimizin fizik, kimya ve biyoloji yasalarına uyduğu gerçeğini de göz ardı edemeyiz. Ya Kant'ın *fenomenden başka bir şeyin bilinemeyeceği* yolundaki düşüncesini kabul edecek ve onu (ve daha sonra Husserl'i) fenomenoloji yolunda izleyeceğiz ya da (Hume'a vazgeçme eyleminde katılma dışında) metafiziğin kabuğunda doğa yasalarını ve onların görkemli birlikteliklerini daha derinden araştırmaya atılacağız.

Kant fenomenleri düzenleyenlerin iki temel "*a priori* sentetik yargı" olan uzay ve zaman olduğunu görür. Bunlar *a priori* kavramlardır, çünkü gözleyebildiğimiz şeylere değil, aklın alanına aittirler (en azından Kant böyle söylüyor). Değişik fenomenlerin düzenlenme ve çözümlenmeleriyle ilgili oldukların-dan, "sentetik" sayılırlar. Örneğin, farklı nesneler uzayda *akıl tarafından* yan yana yerleştirilir ama karıştırılmazlar, benzer şekilde zamanda da farklı olaylar birbirini izlerler. Bizim sezgimiz ya da içimizdeki veya dışımızdaki dünya hakkındaki farkındalığımızın mutlaka dışarıdan bir gerçekliği olmayan bu uzay ya da zaman kalıplarına oturtulmaları gerekmez.

Uzay ve zaman kavramları Kant felsefesinde temel bir yer tutar ve ayrıca bütün düşünce türlerinde bir paradigmadır. *Eleştiri* adlı yapıtın "popüler" bir biçimi olan *Gelecekte Bilim Olarak Ortaya Çıkabilecek Her Metafiziğe Prolegomena* kitabında Kant bu temel noktayı şöyle açıklar: "(Bir şeyi) anlama, kendi yasalarını doğadan türetmez, onları doğayı anlamada bir reçete olarak kullanır." Bilginin üretimi açısından yapılan bu temel referans değişikliği genellikle felsefe kitabı yazarlarınca Kopernik devrimiyle karşılaştırılmıştır. Kant bunu, Hume'un metafizik kabuğundan sıyrılmanın bir yolu olarak sunar. Dünyanın yasalarının ve kurallarının varlığını açıklamada akıl yeterlidir!

Kant'ın düşüncelerinin günümüzdeki değerini anlayabilmede onun yaklaşımını, aradaki dönemde ortaya çıkan kimi formal bilimlerle karşılaştırmak ilginç olabilir. Uzay ve zaman ilk anda görelilik kuramıyla bir karşılaştırmayı akla getirirler.

İlk olarak, Kant'ın da, onun ardıllarının da varsayımlarından tümüyle yararlanamadıkları dikkatimizi çekiyor. Bunlar farklı gözlemcilerin, farklı görülerin mutlaka *a priori* yargılarında görüş birliğine varmaları gerektiğinden emindiler. Buradaki akıl yürütmede bir yanılma var gibi geliyor, çünkü böyle bir karşılaştırma deneysel alana aittir, oysa doğaüstü, *a priori* bir analizin çeşitli seçenekleri, yani, değişik gözlemcilerin temsilleri arasında bir uyumu ya da uyumsuzluğu göz önüne alması gerekirdi. Bu açıdan, Einstein'ın Kant'ın savlarını daha ileriye ve önceden olduğundan daha dikkatli bir biçimde taşıdığı söylenebilir. Başka bir deyişle, görelilik Kant'ın yaklaşımındaki ilkeleri, Ernst Cassirer'in gözlediği gibi, doğrudan yanlışlamaz.

Çatışmanın tam olarak nerede olduğunu bulmak için *Eleştiri* adlı yapıtın, ünlü antinomilerinin* tartışıldığı daha sonraki bir bölümüne bakmamız gereklidir. Bunlar Kant'ın hiçbir zaman akıl yoluyla karar verilemeyeceğini öne sürdüğü dört çift birbirine zıt tezdir. Bu savın kanıtlarını "transandantal" yöntemleri kullanarak (yani, yalnızca aklın ilkeleriyle) sunar ama bununla birlikte, bu "kanıt"ların bir çoğu Aristoteles'in çalışmalarında yer alanların çoğundan daha inandırıcı değildir. Dördüncü antinominin Tanrı'nın varlığıyla, üçüncününse nedensellikle ve özgür iradeyle ilgisi vardır, o yüzden de bunların her ikisinin de bizim tartışmamızla ilgileri bulunmamaktadır. İkinci antinomi bilimle daha doğrudan ilgilidir, çünkü bileşik bir cismin yalın bölümlerden oluşup oluşmadığı konusunda kararsızdır. Başka bir deyişle, atomların varlığı anlamlı bir varsayım olarak onay görmüştür, ancak bunun hiçbir zaman kanıtlanamayacağı gösterilmiştir. Bu noktada, Cassirer'e karşın, her ne kadar ne olduğunu ve nerede görüldüğünü tartışmaya kalkmayacaksak da, insan yanlış bir şeyin tartışmanın içine sızdığını hissediyor.

İlk antinomide iki tez birbirine karşıdır: ilki "Dünyanın zamanda bir başlangıcı vardır ve ayrıca uzay bakımından da sınırlıdır" derken, ikincisi "Dünyanın bir başlangıcı yoktur, uzayda da sınırlı değildir, hem zaman hem uzay açısından

* çelişkiler –yn.

sonsuzdur" görüşünü savunur. Bu, sağlam savlarla Evrenin bir başlangıcı olduğunu gösteren ve Evrenin sonluluğunun (ya da sonsuzluğunun) temelde maddenin uzaydaki ortalama yoğunluğunu ölçerek belirlenebileceğini düşünen birçok çağdaş evrenbilimcinin düşüncesiyle karşılaştırılabilir. İnsan burada bu bilimcilerin Kant tarafından belirlenemeyeceği söylenen şeyleri çözdüklerini nasıl iddia ettiklerine şaşırıyor. Burada temel nokta, evrenbilimcilerin sezginin alanının kesinlikle dışında kalan matematiksel bir kavrama, yani "uzay-zaman" kavramına (bunun uyduğu birtakım fizik yasalarıyla birlikte) güvenmeleridir. Kant'ın olgularından oluşan sisteme ait olmadığı için onun yargılarıyla da ilgisi yoktur.[3]

Her ne kadar Hume ve Kant'ın sözleri bize göz ardı ettiremese de, öyle anlaşılıyor ki birtakım bilimler ne görüyle (*Anschauung*: hemen ortaya çıkan şeyin görünümü) ne de algılama yoluyla ulaşılabilen gerçekleri araştırabiliyorlar. İleride daha ayrıntılı göreceğimiz bu formal bilimlerin varlığı o nedenle felsefe açısından temel bir konudur (hem de değerli bir ipucudur). Kant bizim formal bilimleri anlamamıza yardım edecek bir şey söyleyebilme durumunda değildir. Bununla birlikte, biz bu bilimleri tam olarak neyin "formal" yaptığını, bunların ne zaman ve nerede klasik düşünceden saptıklarını ve onu nasıl yaygınlaştırdıklarını saptarken, Kant çok yardımcı ve güvenilirdir. Kant bize bu düşünce biçiminin, bu "saf aklın" doruğunu sağlıyor, ayrıca açık arayla, her şeyi sezgiyle değerlendiren gelmiş geçmiş en derin analizci oluyor. Doğru, onun aklın doğa yasalarını tanımladığı yolundaki tümcesini kabul edemeyiz ama ona *klasik düşünceyi,* yani yalnızca sezgi, görüş ve formal olmayan açıklık üzerinden gelişen düşünceyi çok güzel tanımladığı için güvenebiliriz. Kant, sahip olduğu akılcı bilincin içyüzünü kavrayan psikolojisi düşünüldüğünde, kla-

[3] Burada söylenen ile daha önce dediğimiz arasında açık bir çelişkiden kaçınmak için (görelilik ile Kant'ın değerlendirmeleri arasında çelişki olmaması), özel görelilik kuramında uzay-zaman kavramının uygun olduğu ama gerekli olmadığı vurgulanmalıdır. İlk tersliğe evrenbilim açısından vermeyi deneyeceğimiz yanıtlar uzay-zaman kavramının çok temel bir kavram olduğu görelilik kuramına (genel görelilik) dayanıyorlar.

sik düşünceyi tanıma ve tanımlama bakımından değişmez bir referanstır. İlk bakışta uygun değilmiş ve tartışmaya açıkmış gibi görünebilecek ama doğruluğu şu ana dek açıklık kazanan çalışmasına olağanüstü değer atfetmemizin nedeni de budur.

Kant'ın analizi klasik düşüncenin başka önemli yönlerine de yayılabilir. Özellikle onun anlama biçimleri (akıl bir bilgi kaynağı olarak görüyü, yalnızca görüyü kullanmayı amaçladığında) akıl yürütme yollarına dikkatli ve sistemli bir inceleme yolu sunar. Bu on iki tür arasında gerçeğe ve nedenselliğe ait olanlar özel bir dikkati hak etmektedirler. Çağdaş edebiyatta bu güç türler üzerine uzun tartışmalar atlanıp, doğrudan Kant'ın kitabına gidilerek gerçekliğin ve nedenselliğin niçin içsel bir biçimde klasik düşünme tarzına ait olduğu orada bulunabilir. Bu türlerin neden kuantum fiziğinde olmadığını tam olarak değerlendirmede bu önemli olacaktır. Ayrıca Kant'ın ayrılmazlık kategorisi (eğer doğru anlıyorsam) Leibniz'in ayırt edilemez nesnelerle ilgili tartışmasıyla uyumludur: Klasik düşünme tarzında iki nesnenin (iki maddenin) her zaman bir özellikleriyle ayırt edilmeleri gerekir. Kuantum fiziği bu *ayrılmazlık* kavramından en önemli ilkelerinden biri olan Pauli'nin dışlama ilkesinde de vazgeçmiştir.

Bu çok kısa analizden bile çeşitli sonuçlar çıkarılabilir. Bu sonuçların en temelinden Bacon'ı tartıştığımızda söz etmiştik. Bilimin bizi Kant'ın şemalarından ne kadar uzağa götürdüğünü düşünürken ve aradan geçen zamanda *Saf Aklın Eleştirisi*'ndeki kadar sistemli hiçbir şeyin üretilmediğini fark ettiğimizde, yeni bir felsefe temeline duyulan gereksinim de açıkça kendini dayatmaktadır. Husserl bunu daha önce söyledi ama ne yazık ki onun da aklı Kant'ın bıraktığı fenomenoloji mirasıyla karıştı.

Her ne kadar kimi insanlar onu makinelere yaysa da, *anlama* denen şey insana özgü bir niteliktir. Yeni temeller aranırken Kant'ın anlama üzerine verdiği psikolojik derslerin hiçbir zaman göz ardı edilmemeleri gereklidir. Beyni açık biçimde hesaba katmadığından, aklın herhangi bir a priori –transandantal– ediminden önce her zaman bir deneyim olacağını da Kant değerlendiremezdi. Oysa biz, her insandaki bebeklikten

başlayan ontolojik beyin yapısının yanı sıra *Homo sapiens*'in filogenetik evrimini de biliyoruz. İşte hem Kant'ın yanlışının yattığı hem de Hume'un temel problemini çözme yolundaki yürekli girişiminin başarısızlığa uğradığı yer, tam burasıdır.

Acaba bu, felsefenin en azından Kant'ınki kadar tutkulu olması gereken gerçek bir temelinin, beynin tam olarak anlaşılmasını beklemesi gerektiği anlamına mı gelmektedir? Eğer elde etmesi olanaksız bir tam bütünlüğü amaçlamıyor ve Kant'ın bıraktığı yerden işi üstlenmeyi düşünmüyorsak, bu soruya yanıtımız büyük olasılıkla hayır olacaktır. Çok daha iyi bir durumdayız, çünkü araştırmamız gereken artık Hume'un problemi değil, bu metafizik kabuğun bilim tarafından nasıl ve neden gözden kaçırıldığıdır. Büyük olasılıkla, aklın değilse bile mantığın kökenlerinin bizim aklımızın yapısı içinde değil, onun dışında, fiziksel gerçeklikte aranması gerektiğini göreceğiz. Bu da kuşkusuz Kant'ın yaklaşımının tam olarak tersi demektir.

Felsefeyi kısaca gözden geçirmeyi burada bitirmemiz gerekiyor. Geçmişteki düşüncelerin akıllarımızı kültür ve eğitim yoluyla hâlâ büyük ölçüde etkilemeleri yüzünden, her ne kadar eksikli olsa da, bu bize çabalarımızda bir temel oluşturacaktır. Eğer bunları yeneceksek, açık şekilde ortaya koymak durumundayız. Öyle ya da böyle, bu inceleme en azından bize yapıcı bir bilim felsefesinin hem ne kadar zorunlu hem de ne denli güç olduğunu gösterdi.

Bu iş elbette Kant'ta bitmiyor. Nietzsche ve Freud gibi başka büyük psikologlar da vardı ama onların bize, bu girişimimizde öğretecekleri fazla bir şey yok. Bir bilgi kuramı oluşturmaya girişen başka psikologlar arasında Bertrand Russell (1872-1970), Alfred Whitehead (1861-1947), Ludwig Wittgenstein (1889-1951) ve Edmund Husserl'i (1859-1938) sayabiliriz. Bunların tümü, bir bakıma, hem fazla geç hem de fazla erken doğmuş sayılırlar: Günümüzdeki bilimsel buluşların getirdiği sonuçları tam olarak kavramak için fazla erken, kendi görüşlerinin yeni görüşlerle sert bir biçimde çarpışmalarını önlemek içinse fazla geç. Böyle zorlayıcı tarihsel koşullar altında günümüzün en büyük filozofu pekâlâ Niels Bohr olabilir ama bunu daha ilk bölümde söylemek çok erken olurdu.

2. Kısım

KIRILMA

Kuşkusuz algılanan ilk örnekleri dört yüz yıl önceye, çağdaş bilimin doğumuna kadar giden bir kırılma döneminden geçiyoruz. Ama eğer bir "kırılma"dan söz ediliyorsa, bu tam olarak nedir?

Yaygın biçimde kabul edilen bu kırılmanın iki önemli yüzü vardır. Bunlardan ilki insanoğlunun Evrendeki yeri ve bizim bunu nasıl algıladığımızla, ikincisiyse çağdaş teknolojinin her alanda yayılan sonuçlarıyla ilgilidir. İlki aklı, ikincisiyse yaşamı tümüyle etkiler.

Bugün kim, bütün türlerin gelişiminin yaşamın akışının bir parçası olduğunu, güneşin ve dünyanın soyumuzu zamanda daha geriye, maddeye, ilk yaratıkların soluduğu oksijene, bizi oluşturan atomlara ve bir zamanlar çoktan ölmüş yıldızların bir bölümü olan atomlara dek götüreceğini göz ardı edebilir? Bütün bunları bildiğimizi ve bunların yüzyılımızın entelektüel geçmişini oluşturduğunu varsayacağım. Teknolojinin gelişimine, uçaklarla, dalgalarla, bilgiyle, günlük yaşantımızdaki değişimlerle, tıbbın etkisiyle ve acı çeken bir dünyanın çığlığıyla iç içe olan yerküremize gelince, bunların ne denli önemli olduklarını biliyoruz, ama yine söyleyelim, bu şeyler çok iyi bilinmektedir ve bu konuları tartışan kitaplara ve denemelere ekleyecek bir şeyim yoktur.

Şimdi daha az bilinen ama önemli bir kırılmayla ilgili konuşmak istiyorum. Bu, bilimdeki derin dönüşümle, tarihsel ölçekte daha yeni oluştuğu söylenebilecek ve düşünce biçimimizin doğasını, anlama eylemini büyük ölçüde etkileyen bir dönüşümle ilgilidir. Kesinlikle yapıcı bir akışın Önsözde değindiğimiz uyum ile düzene götürecek güçlü ve bilimlerin her birinden doğan yasaların bütünlüğü sağlayacak tek bir demet oluşturacak eğilimin bir parçasıdır. Bununla birlikte, bu yasaların, ortalama bir aklın ya da klasik felsefenin gözünden bakınca, tümüyle anlaşılmaz olduğu gerçeğinin tam içindedir. Kısaca söylemek gerekirse, ne kadar çok bilirsek, o kadar az anlamış gibiyiz.

Genellikle çağdaş fiziğin ya da matematiğin hiçbir popülerleştirme çabasının ilgi uyandıramadığı birtakım ilkelerini anlayamayanlardan haklı yakınmalar duyarız. Bu durumda ortada gözün gördüğünden, derin bir uzlaşmanın getirdiği sonuçlardan ya da orta düzeyde bir soyutlamadan daha fazlası var demektir, o da işin kendi doğasından kaynaklanan bir karanlıktır.

Daha sonra göreceğimiz gibi, iş aslında biraz daha kötüdür ve felsefenin kalıplaşmış temelleri şimdi bilimin baskısı altında pes etmişlerdir. Bu çöküşü birkaç sözle tanımlama olanağı yoktur, çünkü bağlantısı bulunan dalların tümünde tanındığı bile kuşkuludur. Yalnızca eskiden her düşüncenin temelinde olan dünya biçimini yitirdiğimizi, felsefi ilkeler oluştukça, bunları üreten sağduyu kavramının da giderek yenilgiye uğradığını söylemekle yetinelim. Gerçeğin tam merkezinde baskın bir soyutluk, kurallara sıkı bağlılık bulunmaktadır. Buna yalnızca bir çözüm olabilir, o da yeni bir anlayış biçimi yaratmaktır.

Kırılmayı haber veren çatırtılar açıkça duyuluyordu ama derindeki uğultular dikkati çekmemişti, o zamana dek felsefenin değerlendirilme biçimi de bu eksik yöntemdi. Birincisi, formal ve iç gözleme yönelik olduğu zaman, mantıkta bir gerileme vardı. Russell'dan Wittgenstein'a ve Carnap'tan Quine'a ya da Popper'e dek kitaplar bununla doludur. Kuralcı mantık matematiği hâlâ gerçekliğe bağlayan son ipleri de keserek, ma-

tematikte bir başka ve daha geniş bir yenilenmeye yardım etti. Matematik özerk ve yalnızca bir bağıntılar oyunu oldu, genel yapı yenilendi, biçimler de artık somut olmaktan çıkıp, herhangi bir şeyin yerleşmesine hazır hale geldi. Yukarıda sözü edilenler kadar, aralarında Jean Cavaillès ve başka çağdaşlarımızın da olduğu birçok yazar bunu tartıştı.

Fizikte önemli kıpırdanmalar görüldü. Bunların ilki, görelilik kuramı ve onun Kant tarafından kuramlaştırılan anlama biçimlerini sorgulaması, ikincisi de özellikle doğa yasalarının, birden fazla yerde bulunabilen ve neredeyse algılanamayan parçacıklardan oluşan bir dünyadaki genel ifadesi olan ve kuantum mekaniği adı verilen evrensel diyebileceğimiz bilimdir. Bizi sağduyunun sınırları ve örneğin akıl, yerellik ve nedensellik gibi kimi temel felsefi ilkelerin çökebilme olasılığına karşı uyarmış olan da bu bilimdir. Sözcükler bizi yanıltır, onlar yalnızca nesnelerin en aldatıcı görünümlerini içerirler ve birbirleriyle çeşitli çelişkilere düşerler. Yalnızca matematik, fizik kavramlarını salt eski çağlardaki bilim gibi, kesin kılmak için değil, aynı zamanda onları sözel olarak ifade etmek anlamında da yakalayacak kemende sahiptir (ve başka bir şey de onun yerini tutamaz).

Bu ikinci kısmın temel noktalarını şöyle çıkarabiliriz: Görmesi güç olan noktaların tanısı, bilimin bulanık görüntüsü, (kısaca değineceğimiz) formal mantık, çağdaş matematik ya da kuantum mekaniği. Bunlardan başka, matematik ya da kuantum bilgi kuramı gibi bilimlerle bağlantılı olarak ortaya çıkan felsefi sorunları da geniş bir taslakta ele alacağız.

Bunu yaparken, ortamı kitabın son bölümünde değinmek üzere, bu temel analizi gerekli kılacak olan son aşamaya hazırlıyoruz. Bilgi felsefesini bugün geçerli problemlerin karmaşıklık düzeyine uygun olarak yenileme yolundaki herhangi bir girişim (bir parça mantık, az bir şey matematik ya da fizik gibi) buradaki veya başka başka kitaplarda bulunan, birbirinden kopuk düşünceler demeti tarafından desteklenemez. Her ne kadar konuların uzmanları pek hoşlanmayacaksa da, buradaki kilit nokta, bu üç ayağın üçüne birden, aynı anda dayanmaktır. Şimdi onları oluşturma nedenimiz de budur.

Bu üç bilim için ortak olan felsefi özellikleri ve bunların gelişimindeki iki ana etabı daha iyi vurgulamak amacıyla benimseyeceğimiz terminolojiyle ilgili olarak son bir söz edelim. Kırılma öncesinde fiziğe "klasik" bilim, daha sonra da matematiğe "formal" bilim demiştik. Böylece, Newton ve Leibniz'in diferansiyel hesabı gibi, Aristoteles'in mantığı da klasiktir, oysa kuantum mekaniği, çok somut uygulamaları olmasına karşın, formal olacaktır. Bu yalnızca savımızı daha kolay görünür kılmak için yapılan uygun bir sınıflamadır.

V

FORMAL MATEMATİK

FORMALİZM ÇAĞI

Buradan başlayarak, matematik tarihinin giderek hızlanan akışını izlemeyi bırakacak ve büyük ölçüde, daha önce rastladığımız üç düşünce üzerine odaklanacağız.[1] Bunların ilki, amacı özellikle yalnızca sayıları, geometrik şekilleri ya da başka bir alanı incelemek olmayan matematiğin doğasıyla ilgilidir. Bunlar matematiğin yalnızca çeşitli uygulamalarıdırlar ama onun özü değildirler. Bu öz, kendi doğalarından bağımsız olarak, kavramlar arasında var olan bağıntıların, kısacası, *biçimin* soyut bir incelemesidir.

On dokuzuncu yüzyılın sonu ile yirminci yüzyılın başı *biçim* alanını fethetme, kurallarını yerleştirme ve genel anlamda bir haritasını çıkarma yolundaki yoğun bir çaba dönemi olarak nitelendirilir. Böyle bir girişim, alışkanlıkları ya da düşünce tembelliğini kırmak üzere, aldatıcı görünümlere karşı acımasız bir avla işe başlayan büyük bir dikkat gerektirir. Düşünce ovalarının yerini simgeler ordusunun almasının nedeni de budur. Sezgiye davetiye çıkaracak bir girişim kesinlikle yasaklanmıştır. Hilbert işi (yarı şaka yarı ciddi olarak) "nok-

[1] Bu bölüm, editörlüğünü Jean Dieudonné'nin yaptığı, 1700-1900 yılları arasındaki çalışmaların bir toplu derlemesi olan 2 ciltlik (Paris: Hermann, 1978) *Abrégé d'histoire des mathematics* ile editörlüğünü Jean Van Heijenoort'un yaptığı *Frege'den Gödel'e, Matematiksel Mantıkta bir Kaynak Kitap,* 1879-1931 (Cambridge, Mass.: Harvard Üniversitesi Yayınları, 1967) adlı yapıtlara dayanmaktadır.

ta", "doğru" ve "düzlem" gibi sözcüklerin bırakılarak, yerlerine "masa", "sandalye" ve "bardak" gibi sözcüklerin kullanılmasını önermeye kadar götürmüştür.

Formalizmle böyle yoğun bir şekilde meşgul olmanın ve sezgisel temsillere duyulan bu güvensizliğin kaçınılmaz olarak mantık üzerinde de bir etkisi olacaktı. Bu ikincisi artık yalnızca aklın önerdiği duru ama yapay görüntülerle uğraşmayı kaldıramazdı. Formalizme ilişkin, yani formal mantık olması gerekiyordu.

Bu ikinci düşünce matematikteki sonsuzluğun önemiyle ilgilidir. Birkaç özel alanı saymazsak, sonsuzluk her yerdedir. Bu ayrıca mantığın ele alması gereken en güç kavramlardan biridir ve mantığın gelişimini de gerektirmektedir.

Üçüncü önemli düşünce ise tutarlılık arayışıdır. Analiz Öklit'in mantık standartlarını sağlamak üzere yeniden formülleştirildiğinde, Öklit'in kendi aksiyomatik modelini de yeniden sorgulamak gerekti. Varsayımların rolü açıklığa kavuşturuldu. Bir aksiyom artık ne açıkça görülen bir gerçek ne de varsayılmış bir postülaydı. Bunların ikisi de daha çok yalnızca mantıksal sonuçları çoğaltmak üzere araştırmaya değer, olası gerçekler olarak görülüyorlardı.

Ama onu fiziksel uzaydan ve başka referanslardan ayırırken, matematik de gerçeğin garantilediği (gerçek ya da varsayılmış) kesinliği yitirdi. Yeni ve beklenmedik engeller, saklı hatalar ve iç çelişkiler de o zaman tehdit edici bir olasılık haline geldi. İşlerin böyle oluşu matematiksel doğruluk konusunda, bugün tam anlamıyla bir mantıksal tutarlılık olan çelişkilerden kurtulma özgürlüğü olarak anlaşılması gereken yeni bir düşünme biçimi doğurdu.

Formal yaklaşıma doğru olan bütün bu gelişimin şaşırtıcı şekilde verimli olduğu ve korkulacağı gibi içi boş bir kabuk olmadığı ortaya çıktı. Matematiğin kendi içinde pek çok yeni alan açtı ve belki garip gelebilir ama gerçeklikten kopmak bir yana, onunla yeni bir bağlantı kurdu. Gerçekten de matematiğin dönüşümünden kısa bir süre sonra fizik de göreliliğin, göreli kütleçekim kuramının, kuantum fiziğinin ve doğa yasalarının formülleştirilmesinde matematiğin kaçınılmaz biçim-

de yer alacağı en ileri yapılanmaların yeni ufuklarına doğru yelken açacaktı. Bu şaşırtıcı karşılaşmayı açıklayan bir şey olduğu görünmüyor ama kuşkusuz bu, çağımızın tam anlamıyla tanıklık edeceği *felsefi bir buluş* olmalıdır.

Günümüzün bu formal matematiği bundan sonra ele alacağımız konumuz olacak. Buradaki güzellikler ve teknik özellikler arasında kaybolmayı istemiyoruz ama orada yatan birtakım güzel izlerin bizi çekeceği tuzaklara düşmeyi de istemiyoruz. Bir bakıma Alpler'e giden yolda, çevredeki tepelere bakmaksızın, kendine temel aldığı şeylere odaklanan aziz, Saint Bernard gibi yapacağız.

FORMAL MANTIK

Günümüzde mantığı yeniden canlandırmak için en büyük çabayı harcayan kişi kuşkusuz Gottlob Frege'dir (1848-1925). Bu yeniden canlandırma isteği 19. yüzyılın sonlarına doğru, matematikte ilerleyebilmek için yol üzerindeki sonsuz kavramının aşılması gerektiğinde hissedildi. Elbette, soyutlama düzeyindeki zorunlu artışa karşı, tıpkı bugün sonuç olarak formal mantıkla çalışan makineler olan bilgisayarların yapabildiklerine hayran olanlar gibi kişilerce bir direnç vardı.

Frege'nin ya da Cantor'un uzun erimli katkılarının hakkını birkaç cümlede vermek güçtür. Yine de, eğer günümüzdeki matematiği tartışmak istiyorsak, mantıkla ilgili bir şeyler söylememiz gerekir, zaten kuantum fiziğini anlamaya çalışırken bununla yeniden karşılaşacağız. Ancak, Frege'nin anlaşılması daha zor olan çalışmaları üzerindeki analizlerle uğraşmamız gerekmiyor, çünkü onun öncülü olan George Boole'un (1815–1864) çalışmalarıyle ilgili birkaç söz yeterli olacaktır.

Boole'un elde ettiği en temel şey Leibniz'in düşlerinden birini gerçekleştirmek, yani mantıksal işlemleri yalın ve otomatik bir biçimde yürütebilmek için gerekli bir grup güvenilir kuralı tam olarak elde etmenin yanı sıra simgelerden oluşan pratik bir sembolizm tasarlamaktı. Onun en belli başlı düşüncelerinden biri, bir nesnenin özelliklerinin tanımını, o özellikleri taşıyan tüm nesneleri referans alarak değiştirmekti. Örneğin, "kırmızı" sözcüğünü elbette yeterli olamayacak sözcükleri

kullanarak tanımlamak yerine, insanın her zaman belli bir nesnenin kırmızı olup olmadığına karar verebileceğini önerir, o zaman da tüm kırmızı şeyler, "*kırmızı nesneler*" kümesini oluştururlar. Bu yüzden Boole, kesin tanımlar gerektiren kavrama yerine, yaygınlaştırmaktan ya da küme yaklaşımından yanadır. Benzer şekilde, tüm insanlar kümesi (*İ*) ile tüm ölümlüler kümesi (*Ö*)'nün var olduğu varsayılır. "Tüm insanlar ölümlüdür" gibi basit bir önerme, *İ* kümesinin *Ö* kümesi tarafından içerildiğini söyleyerek ifade edilebilir.

Boole ayrıca bir çarpımı temsil etmekte kullandığı mantıksal bağlaç "ve" için yalın ve şık bir simge önerir. Örneğin, eğer siyah saçlı insanlar kümesini *S*'yle ve tüm dişileri de *D*'yle göstereceksek, siyah saçlı dişiler kümesini *S*·*D*'yle göstermemiz gerekir. Bu bileşim kümesi (yani *S*·*D*) hem *S*'ye hem de *D*'ye ait olan elemanları temsil etmektedir. Benzer şekilde, mantıksal bağlaç "ya da" için de "+" simgesini kullanır. Dişiler ya da siyah saçlı insanlar *S* ve *D* kümelerinin bileşim kümesini oluştururlar, bu da Boole tarafından "$S + D$" olarak gösteriliyor (aslında bu "kapsayan veya", "kapsamayan veya"dan farklıdır, çünkü ikincisindeki anlam "*ya biri, ya öteki, ama ikisi birden değil*"dir. Bu da Boole'un kendisince düşünülmemiş, Jevons tarafından önerilmiştir).

Boole'un düşüncelerinden bir başkası mantıkçıların hissettikleri ama belirlemeyi başaramadıkları bir noktadaki eksiği gidermek, yani evrensel kümeler konusundaki gereksinimdi. Bunlardan biri boş küme (yani hiçbir öğesi olmayan küme) dir ve Boole bunu 0'la gösterir. Bir başkası, herhangi bir mantıksal savın işaret ettiği "evren"dir (daha önce sözü edilmiş dil evreni: *Denkbereich*). Bu kavramı bir örnekle gösterebiliriz. Evlilikten söz ettiğimizi varsayalım. Bu, evli insan kavramını, yani evlenmiş bulunan erkekler ve kadınlar kümelerini gerektirir. Onun ardından evli çiftler kümesini düşünebiliriz ama hangi evliliklerden söz ediyoruz? Tek eşli mi, çok eşli mi, yoksa çok kocalı mı (yakın zamana dek Tibet'te var olduğu gibi, birden çok kocası olan kadınlar)? Bunlar üç olası konuşma evrenidir ve altta yatan kümenin yapısı ve özellikleri her durumda çok farklı olacaktır. Mantık bizim, her şeyden önce konuyla ilgili

evreni ya da evrensel referans kümesini belirlememizi gerektirir. Boole bu "evren"i 1 simgesiyle temsil eder.

Yanlışlama (*değil*) da o zaman kümeler cinsinden tanımlanabilir. Boole bir önermeyi *birtakım öğelerin birtakım kümelere ait olduğunu öne sürme* olarak görür. Örneğin, eğer evrensel küme 1 tüm insanların kümesi ise, bu kümenin bir öğesi Sokrates'tir ve tüm sarışın insanlar kümesi *S* de 1'in içindedir. Şimdi "*Sokrates sarışındır*" önermesi tam olarak Sokrates öğesinin *S* kümesine ait olduğu gerçeğini ifade eder. Bu önermenin değili ("*Sokrates sarışın değildir*") 1 kümesinin *S*'ye ait olmayan öğelerinin bulunduğu bir *B′* kümesini tanımlamaya denktir ve Sokrates'in *S′* kümesine ait olduğunu söylemektedir. *B′* kümesi Boole tarafından $1 - B$ olarak gösterilir.

Yukarıdaki mantıksal simgeleme, dikkatli yürütüldüğü sürece güzel çalışır. Başka bir deyişle, (., +, –, 1, 0) simgeleriyle yapılacak işlemler cebirin kurallarına benzeyen (ama tam aynı da olmayan) birtakım kurallara uygun olarak yürütülür. *S* (sarışınlar) ile *D* (dişiler) kümelerine dönersek, $S \cdot D = D \cdot S$ (her sarışın dişi, sarışın olan dişi cinsiyette biri olduğundan) eşitliğinin doğruluğunu açıkça görürüz. Ama ayrıca $S \cdot S = S$ gibi de bir bağıntımız vardır (çünkü her dişi kadın dişidir). Bu mantık cebirinin kesin kuralları Boole tarafından net bir biçimde açıklanmış ve daha sonra A. de Morgan ve C. S. Peirce tarafından da tamamlanmıştır. Bugün mantık, elektrik ya da bilgisayar mühendisliği alanındaki ders kitaplarında bulunabilir.

Sonra mantığın şifre anahtarı, yani belli öncüllerin ardıllarını veren tümce gelir (Stoacılarca bilinen bir şey). Boole'un sisteminde, eğer bir *a* özelliğine karşılık gelen bir *A* kümesi, *b*'ye rastlayan bir *B* kümesi tarafından kapsanıyorsa, bu *a* önermesi, *b* önermesini gerektirir. Bu da $A \cdot B = A$ "denklemi"yle yazılır.

Daha genel konuşursak, Boole'un çalışmaları mantık ile küme kuramı arasındaki yakın bağıntıyı sağlamayı başarmıştır. İnsan bir özelliğin bir küme cinsinden tanımına katılmayabilir (birazdan, Frege'nin de yaptığı gibi, simgelerle yazılan başka bir seçeneği göreceğiz). Ama yine de mantık hep bir referansı, yani konu evrenini oluşturan önermelerin bir derlemesini gerektirir.

Bu arada bir süreliğine, önceden kestirilebilir bir soru bir süreliğine gündeme gelir: Matematiğin tümü mantığa indirgenebilir mi? Russell ile Whitehead'in iki kalın ciltlik *Principia Mathematica*'sı, bu soruya verilen olumlu yanıtın üzerine kuruludur. Birkaç yıl sonra Bourbaki daha çok küme kuramını matematiğin temeli olarak alıp, mantığa ikincil bir rol verme yolunu seçer. Bunların hangisi doğru başlangıçtır? Buna tam bir yanıt hâlâ verilememiştir ve büyük olasılıkla da verilemeyecektir.

SİMGELER VE KÜMELER

Buraya dek mantıkla ilgili söylediğimiz az miktardaki şeyler kuşkusuz yetersizdir, ama bizim gerçek konumuz başka bir yerde bulunmaktadır. Bizim amacımız çağdaş matematiğin doğası hakkında, bunun özünün bir parçası olan formal yapısını da katarak bir fikir vermektir. Bu simgeler ve bağıntılar bilimini tanımlayabilmek için işe simgelerle başlayacağız.

Her şey *üçüncü halin olanaksızlığı* ilkesinin en saf haline dayalıdır: Başlangıçta 0 ve 1'le gösterilen iki *farklı* simge vardır. Bunlar yerine başka simgeleri de, örneğin bir çember ile bir çarpıyı ya da (bu kitap renkli basılsaydı) bir mavi ve bir kırmızı noktayı da kullanabilirdik. Öyle ya da böyle, burada önemli olan 0 ile 1'in birer sayı değil, birer simge olmalarıdır. Pekiyi ama bu simgeler neyi temsil ediyorlar? Yalnızca kendilerini. Günümüzün bir Descartes'ı "bana bir 0 ve bir 1 verin, ben de size düşünce vereyim" diyebilir. O kadar uzağa gitmeden, şimdilik yalnızca bir simgenin ne olduğunu söylemekle ilgili olduğumuzu ve bunlardan yalnızca ikisinin tümünü üretmek için yeterli olduğunu söyleyelim.

Bir bilgisayarımızın olduğunu ve onun içinde (adına kısaca bit denen) 0 ve 1 gibi simgeleri ve onlardan oluşan zincirleri saklayabileceğimiz bir belleğinin bulunduğunu varsayalım. 0 ve 1 simgelerinden her biri makinede, bir tranzistörün uçları arasında bulunan ve yalnızca iki değerden birini alabilen elektriksel gerilim aracılığıyla kullanılır. Bilgisayarın belleği çeşitli bölümlere ayrılmıştır ve bu bölümlerden her biri belli bir amaç için kullanılmaktadır. Sonlu, yani sınırları olan bilgi-

sayarın, tıpkı beynimiz gibi, çok geniş de olsa, sınırlı bir belleği vardır.

0 ve 1 gibi temel simgelerle başlayarak ve bunları yeniden dizi halinde yazarak, başka (bileşik) simgeler de oluşturulabilir. Sonuç, 0'lardan ve 1'lerden oluşan, 0, 1, 10, 11, 100, 101, 110, 111, 1000 vb gibi dizilerdir. Her dizinin boyu ve bizim (sonlu) bilgisayarda saklanabilecek bütün bu diziler sonludur. Bu simgelerle pek çok düşünceyi ifade edebilir, sayılar yazabilir, noktalar, çemberler çizebilir, mantıksal ya da aritmetik işlemler yapabiliriz.

0'lar ve 1'lerden oluşan diziler bize, kendilerinden yararlanarak matematiğin tümünü kurabilmemiz için yeterli iseler de bizim aklımız, bilgisayardan farklı olarak, bu süreğen (monoton) basitlikte pek rahat edemez. Bu nedenle matematiği, biri onu gerçek haliyle tanımlayan, öteki de biz insanların onu duymayı istediği biçimde olmak üzere, iki farklı düzeyde tartışmak uygun olacaktır. İlk durumda (bilgisayar için) her şey iki temel simge cinsinden yazılır ve ifade edilir. Böyle bir dil soyut düşünceye çok uygundur, çünkü oradaki sadelik simgelerin bizim imgelemimiz tarafından yanlış yorumlanmasına karşı bir kalkandır. Ama öte yandan, böyle saf bir dil birazdan aklımızın kavrayamayacağı bir hale gelir. Bu yüzden, zaman zaman "kendi aramızda", yani insanlar arasında ya da yazar ile okuyucu arasında, günlük dilde konuşuruz.

Burada ilk görevimiz bilgisayara temel küme kuramını öğretmek olacaktır. Ama Boole'un mantık cebiri yoluyla değil, çünkü açık basitliğine karşın bu bilgisayarın sınırlarının ötesindedir ya da başka deyişle, bunu formülleştirmek hâlâ sezgisel bir şeydir. Siyah saçlı kadınlar kümesi bizim için bir şey (bir görüntü, bir düşünce) ifade eder, ama bunun sözcükleri, hele de "küme" sözcüğünü anlamayan makine için hiçbir anlamı yoktur. Daha derin bir düzeyde başlamamız ve anlamla, neyin algılanacağıyla ilgilenmeden, makineye kuramın bir tür dilbilgisini, kısacası, bilgisayarımıza kuramın *formal dilini** öğretmemiz gerekir.

Belleğin her birimi ayrı bir rol oynar. *Öğeler*, *Küme Adları*, *Kümeler* ve ayrıca *İşaretler* ve *Önermeler* gibi birimlerdir.

Başka birimler de yer alabilir ama formal yöntemi göstermek olarak seçtiğimiz amacımıza bu kadarı yeter. *Öğeler* biriminde belli bir simgeler dizisi, yani 0'lar ve 1'lerden oluşan bir dizi bulunmaktadır. Bunları "kendi aramızda" *a*, *b*, *c*, vb gibi küçük harflerle göstereceğiz. *Küme adları* bellek birimine, *Öğeler* biriminde saklanan kümeyi adlandırmak üzere bir simgeyi katıyoruz. Kendi aramızda *E* olarak adlandırılan bu küme (kural olarak, kümeleri adlandırmada büyük harfleri kullanıyoruz) *evrensel küme* (ya da Boole'un gösteriminde 1) olarak görülebilir. Onu bilgisayara küme kuramını kolay bir biçimde öğretmede, yani makineye farklı simgelere ne yapacağını göstermede kullanacağız.

Bir sonraki aşama *E*'nin tüm alt kümelerini oluşturmaktır (ve inanın bu da çok basittir). İlk olarak, tek öğeli alt kümeler bulunur, bu da *Öğeler* belleğinin içeriğini, *Küme Adları* belleğine taşımak demektir. Şimdi, bellek birimini değiştirdikleri için eski "öğeler" artık aynı kavramı temsil etmemektedir, çünkü şimdi matematikçilerin "tekli" (singleton) dedikleri ve örneğin {*a*} olarak yazılan, yalnızca *a* öğesinden oluşan kümeler olmuşlardır. Benzer bir şekilde, iki (farklı) öğeden oluşan alt kümelere {*a*, *b*} gibi adlar veriyoruz ve bu *E*'nin (kendisi için de geçerli olmak üzere) tüm alt kümeleri yazılana dek sürüyor. Doğru değerlendirmek için küme adları arasına bir başka simgeyi daha katıyoruz: Elemanı bulunmayan boş küme matematikçiler tarafından genellikle Ø ile gösterilir (Boole'un gösteriminde 0 ile simgelenir).

İşaretlere ayrılan bellek biriminde kendi aramızda $\in$, $\notin$, $\subset$, $\not\subset$ ile gösterdiğimiz yalnızca dört simge bulunur. Bunlar, elemanlar ya da kümeler arasında, bizim "aittir", "ait değildir", "... tarafından kapsanmaktadır", "... tarafından kapsanmamaktadır" gibi sözlerle ifade ettiğimiz birtakım bağıntıları temsil ederler. Örneğin, *a* öğesinin *A* kümesine ait olduğunu göstermek için $a \in A$ yazarız. Bilgisayar bu önermenin anlamını, *a* öğesinin, *A* kümesinin öğeleri içinde bulunup bulunmadığını denetleyerek "anlayabilir". Eğer durum öyle ise, o zaman *Önermeler* biriminde $a \in A$ simge dizisini saklama komutu kendisine verilecek, öyle değilse, $a \notin A$ yazacaktır. Benzer şekilde, bir

B kümesinin tüm öğelerinin A kümesine de ait olmaları halinde, B kümesinin, A kümesi tarafından kapsandığını ve bunun $B \subset A$ olarak yazıldığını söyleyebiliriz. Bilgisayar bu savı da doğrulayabilir ve *Önermeler* biriminde $B \subset A$ ya da $B \not\subset A$ (artık hangisi geçerliyse) olarak saklar.

Ama okuyucu makinenin yapabileceği işlemler konusunda neleri varsayabileceğimizi merak edebilir. Bunun yanıtı, bilgisayarın formal mantığın Frege ve Peano tarafından oluşturulmuş temel kurallarına (ki onları burada tartışmayıp, yalnızca kabul edeceğiz) uyacağıdır. Bunun dışında, bizim bilgisayar bu yapı için temel bir şey sayılmaz, o yalnızca mantığın saf simgesel özelliğini ve görsel bir temsil biçiminden bağımsızlığını vurgulamak için uygun bir araçtır.

Yukarıdaki temeller biraz yavaş ve sıkıcı gelebilir, ama yine de bunların buraya dek anlatılan kavramların, yalnızca simgeler aracılığıyla ve altta yatan sezgisel bir temsil olmadan, nasıl ifade edileceğini göstereceğini umuyoruz. Bu örnekte, bir matematiksel kuramın sistematik bir biçimde, anlamını daha ileri bir düzeyde belirtmeden, simgelerden oluşan mantıksal bir düzenlemeyle nasıl kurulabileceğini görebiliriz. "Öğeler", bir üniversitenin öğrencilerinin adları, bunun bir alt kümesi de bir futbol takımı olabilir, ama öğeler aynı zamanda bir elma ağacının meyveleri olabilirken, alt küme de bir sepette bulunan şeyler olabilir. Simgeler evreninde anlamlı olan tek gerçek, bunların arasındaki bağıntılardır.

ÖNERMELER

Şimdi soyutlama düzeyimizi biraz artıracağız. Matematiğin önemli bir özelliği onun gerçek şeylerle ve yalnızca olası sayılabilecek nesnelerle eşit biçimde ilgili oluşudur. Bir doğru parçası iki gerçek dağın, örneğin Atina'daki Akropol ile Lycabeth'in tepelerini birleştiren bir doğru da olabilir, aynı zamanda kısaca "AB bir doğru parçası olsun" dediğimizdeki gibi bir çizim de olabilir. Benzer biçimde, bir sayıdan söz ettiğimizde bu 8 de olabilir, hakkında hiçbir şey bilmediğimiz bir n sayısı da. Bizim bilgisayara iletmek istediğimiz tam da bu düşünce çeşitliliğidir.

Kimi nesnelerden gerçek, başka kimilerinden olası diye söz etmek yerine, ilk gruba *somut*, ikinci gruba da *soyut* diyeceğiz. Bu iki tür nesneyi yerleştirmek üzere bize biraz bellek alanı gerekiyor. Daha önce *Öğeler* dediğimiz birim şimdi *Somut Öğeler* ve *Soyut Öğeler* gibi iki ayrı kesime ayrılırken, *Küme Adları* da aynı işleme uğrayacak.

Bu düşünceyi göstermek amacıyla *E*'nin öğelerinin 0, 1 ve 10 (2 tabanına göre yazılmış bu sayıların günlük dilde kullanılan 10 tabanına göre sırasıyla 0, 1 ve 2 sayıları) olduğunu varsayalım. Bunlar şimdi *Somut Öğeler* adlı bellek biriminde saklanacaklar. Kendinden başka öğeleri üretebilecek bir öğe ya da "*a* öğesi"nden (cebirdeki *x* sayısı) söz edebilmek için, *a* harfini temsil eden bir simge seçiyor ve bunu *Soyut Öğeler* biriminde saklıyoruz. Eğer mantıksal bir işlem sırasında $a = 2$ bulursak (ya da eğer $a = 2$ bizim varsayımlarımızdan biriyse) o zaman *Soyut Öğeler* birimindeki 10 simgesini (yani bildiğimiz 2 sayısı) içeren bellek hücresini, *Soyut Öğeler*'de *a*'nın saklanmış olduğu bellek hücresiyle ilişkilendirmek kolay olacaktır.

Soyut öğeler ya da kümeler arasındaki bağıntıları ifade etmede $\in$ ya da $\subset$ gibi işaretler de kullanılabilir. İşte bir örnek: Eğer *P* çift sayılar kümesini gösteriyorsa, o zaman $6 \in P$ önermesinin bizim bilgisayarca (temel aritmetik işlemlerini yapacağını varsayarak) doğrulanacağı düşünülebilir, çünkü kullanıcı makineye 6 sayısının 2'ye (kalansız) bölünüp bölünemeyeceğini denetlemeyi öğretebilir. Ama bilgisayara ek bilgi vermediğimiz sürece, $a \in P$ gibi bir önerme bu şekilde doğrulanamaz. Şimdi iki yeni kavramı, *soyut önerme* ve *üstdil** kavramlarını tanıtalım.

Formal bir önerme aslında belli sözdizimi kurallarına göre oluşturulan bir simgeler dizisidir. Örneğin, $a \in A$ önermesinden, *a* öğesinin *A* kümesine ait olduğunu anlıyoruz. Bu da ilk simgenin *(a)*, ister soyut, ister somut olsun, *A* kümesini oluşturan, öğe adları listesine ait olması gerektiğini getiriyor (bu *A* simgesi de soyut ya da somut bir kümenin adıdır). $\in$ simgesine gelince, eğer simgeler dizisinin bir anlamı olacaksa, yalnızca bir öğe ile bir küme adı arasında yer alabilir. Matematikte bunlara benzer daha pek çok simge ve işaret vardır

ve bunların en sondaki diziyi (ya da formal önermeyi) anlamlı hale getirmek için uygun bir biçimde bir araya getirilmeleri gerekir. Temel küme kuramında bu öbür işaretlerden birkaçı, iki kümenin kesişimi için $\cap$, iki kümenin bileşimi için de $\cup$ simgesi kullanılır (ilk olarak Boole tarafından • ve + olarak önerilmişlerdir). "Tümceler"in yazımıyla ilgili kuralların bizim bilgisayarın öğrenmesi gereken bir tür dili vardır.

Dilbilgisi açısından doğru olan bu tümcelerden biri şöyledir: $((a \in A) \bullet (a \in B) \rightarrow (a \in A \cap B))$; ve anlamı (bizim dilimizde) "eğer bir a öğesi hem bir A kümesine hem de bir B kümesine aitse, o zaman bu iki kümenin kesişim kümesine de aittir" olarak söylenebilir. Biz insanlar kümeler arasındaki böyle bağıntıları gözlemler yoluyla çıkarmış olabiliriz ama bu gerçeğin burayla bir ilgisi yoktur. $((a \in A) \bullet (a \in B) \rightarrow (a \in A \cap C))$ gibi başka pek çok tümce de, bunları neden yazdığımızı göremesek bile, bilgisayarımız için dilbilgisi anlamında doğrudur. B kümesinin yerini alan bu C nereden geliyor? Bilmiyoruz, ama belli özel bir C için yukarıdaki tümce doğru bir tümce olabilir. Bir dizi dilbilgisi kuralı tanımlayarak aslında bir dil (bu örnekte kümeler üzerinde konuşmak için) tanımladık ve bu dilde pek çoğu formal olan önermeler yapabiliriz. Mantığın bakış açısından, yeni bir konuşma evreni de tanımlamış olduk.

Belli bir dil kuralları dizisine göre birleştirilmiş simgeler kümesinden soyut önermeler yazmak, *Zarif Ölüler*[2] diye adlandırılan ve gerçeküstücülerce icat edilmiş bir oyun oynamakla karşılaştırılabilir. Bir kişi bir makale ve bir sıfat yazar, önceki sözcükleri görmeyen bir başkası bir ad ekler, tümcenin başlangıcını göz ardı eden bir üçüncü bir fiil yazar vb. Varılan sonuç, örneğin "yarı şeffaf tavus kuşları ruhlarını Tunus yağmurunda satarlar" gibi dil kuralları açısından doğru ama anlamdan yoksun, formal ve kimi zaman şiirsel yoruma açık bir tümcedir. Bu şekilde "birbirine dik iki çizgi her zaman kesişirler" tümcesini kurma olasılığı, kullanılabilecek sözcük dağarcığının daraltılması halinde bile zayıf sayılır. Elimizde bir dilbilgisi kuralları dizisi var ama daha anlam, yani doğruluk standardı yok.

[2] Zarif Ölüler (*cadavres exquis*) ifadesi ilk oyunlardan biri sırasında ortaya çıktı. Oyuncular bunu çok şiirsel bulunca oyunun adı olarak benimsendi.

Başlangıçta, bilgisayarımız somut öğeler ve kümeler ile onların arasındaki birtakım bilinen bağıntılardan söz etmek üzere gerekli bir dilin temellerine sahipti. Ancak bu dil soyut önermeleri ifade etmede yetersizdi. Bunları oluşturmak yeni bellek birimlerini ve ilkini büyütecek yeni ve daha geniş bir dili gerektiriyordu. İlkinin ifade edebileceği her şeyi ve dahasını içeren bu genişlemiş dile (ilkine göre) "üstdil" [*metalanguage*] denir.

GERÇEK ÜZERİNE BİRTAKIM SÖZLER

Zarif Ölüler oyunu, eğer zaman zaman bir önermede bulunan bir tümce oluşmazsa sıkıcı olur. Eğer o değerli inciyi, yani *gerçeği* üretemeseydi, matematikçilerin daha ciddi olan oyunu daha da sıkıcı olabilirdi. Pekiyi ama formal matematikte, gerçek nedir?

Örneğin, $a \in A$ önermesini ele alalım. Burada iki olası durum vardır: (i) a öğesi ve A kümesi gerçekten bilgisayarın belleğinde bulunmaktadır, (ii) bunlardan biri (ya da her ikisi birden) bir içeriğe sahip olmadan, yalnızca ad olarak durmaktadırlar. İlk durumda bilgisayar a'nın gerçekten A'nın öğeleri arasında olup olmadığını araştırabilir ve böylece önermenin doğru mu yanlış mı olduğuna karar verebilir. İkinci durumda ise, önermenin doğruluğu (ya da yanlışlığı) daha önceki bir sonuçtan çıkarılabilir ya da doğruluğu kısaca bir varsayım olarak varsayılabilir. İlk durum çok açıktır, ama ikincinin üzerinde biraz daha düşünmekte yarar var.

Matematiksel doğruluk böylece dört aşaması olan "*aksiyom yöntemi*"nin bir sonucudur. İlk olarak, dilin kuralları açısından doğru olan önermelerden oluşan bir konuşma evreni bulunduğu söylenebilir. Daha önce açıkladığımız gibi, bunlar nesneleri (öğeleri, kümeleri, ...), bağıntıları ($=, \in, \subset$, ...) ve işlemleri ($\cap, \cup$...) temsil eden simgelerden oluşurlar. *Önermeler matematiği** insana mantık kurallarına göre doğru önermeleri kurma olanağı sağlar. Boole tarafından ortaya atılanlara benzer olan bu kurallar bilgisayara kolayca öğretilebilir. Temelde bu bir "*ve*", "*veya*", "*değil*", "=", "*eğer... ise, o zaman ...*" gibi işlemlerin nasıl ele alınacağı sorunudur. Eğer dil anlamında

doğru (*Önermeler* adlı bellek biriminde saklı) önermelere *a*, *b*, *c*, ... gibi adları atarsak, o zaman Mantık adlı (bir başka bellek biriminde saklı olan) bir alt program "*a* ve *b*", "eğer *a* ise, o zaman *b*" gibi her biri *Önermeler* biriminde saklanacak yeni önermeler oluşturabilir. Yöntemin ikinci aşaması da böylece tamamlanır. Mantık konusunu bilgisayara kadar sürdürmeye gönüllü olmayan okuyucuyu düşünerek, mantığın kendisinin, Frege ve Peano'nun sarsıcı çalışması sayesinde formalleştirilebileceğine ve aksiyomlaştırılabileceğine vurgu yapalım.

Aksiyomatik yöntemin üçüncü aşaması her önermeye iki "*doğruluk değeri*"nden birini atamaktan oluşur. Bunlar ayrıca *Doğruluk Değerleri* adlı bellek biriminde depolanmış, (şimdi yanlış olarak yorumlayacağımız) 0 ile (doğru sayacağımız) 1 simgeleriyle temsil edilirler. Bilgisayarca doğrulanabilecek tüm somut önermeler doğruluk değerlerini hemen alabilirler (örneğin, doğruluğu açık olan "$3 \in \{1, 2, 3\}$" gibi). Özellikle soyut kavramlar içerdiklerinde (örneğin "$3 \in A$," gibi) başka önermelerin kararsız bir durumu vardır ve bunların doğruluk değerleri ancak soyut cebirde kullanılan bir tür bilinmeyene benzer soyut bir "doğruluk değeri"ni, yani 0-1, yanlış-doğru gibi bir değer alabilir.

Mantıksal işlemlerin uygulanmasından doğan bir önermenin doğruluk değeri, onun önerme bileşenlerinin doğruluk değeriyle belirlenir. Örneğin, eğer *a* ve *b* önermelerinin her ikisinin de doğru olduğu varsayılırsa, o zaman bileşik önerme "*a* ve *b*" de doğrudur. Bu tür bir kural (Hrisippos'tan bu yana bilinir) *Mantık* alt programının içine katılabilir. Buradan da anlaşılacağı gibi, formal dildeki tüm olası önermelerin üzerinde bir tür olası doğruluk değerleri bulutu asılı durmaktadır.

Bu son aşama aksiyomatik yönteme adını verir. Burada belli bir sayıda önerme ile bunların doğru olduklarına kesin biçimde karar verme söz konusudur. Bunlar, doğrulukları yukarıdan dayatılan aksiyomlardır. Bir örnek olarak temel küme kuramının yirmi garip aksiyomunun içinden ikisinden söz edebiliriz:

Eğer $a \in A$ ve $A \subset B$ ise, o zaman $a \in B$," ve "eğer $A \subset B$ ve $B \subset C$ ise, o zaman $A \subset C$".

Okuyucunun yöntemin genel fikrini kavramasına yardımcı olmak üzere bir görüntüye başvuracağız. Bilgisayarımızın (burada yalnızca retorik bir aygıttır) sonlu olduğunu unutalım ve formal küme kuramının (ya da herhangi bir matematik kuramının) konu evrenini gözümüzde, olası tüm önermeleri temsil eden sayısız ağacın serpiştirildiği çok geniş bir alan olarak canlandıralım. Bu ağaçların kimileri, yani aksiyomlar gerçeğin kaynağıdır. Mantık kuralları da (bu kaynağın sağladığı) suyu ağaçtan ağaca taşıyan sayısız kanalların oluşturduğu ağı belirler.

Önermeler matematiği pek çok önerme ürettiğinden ve yeni önermelerin doğruluk değerleri eskilerinkinden çıkarılabildiğinden ötürü, gerçek kaynaktan (yani aksiyomlardan) başlayarak akacak ve kademeli olarak tüm önermeler alanını sulayacaktır. Doğruluk değeri bu şekilde oluşturulan bir önermeye teorem denir. Bunlar arasında bu atamayı hak eden tanıdık kuramları ve ayrıca bizi hiç ilgilendirmeyen kuramı da buluruz. Ama bunların tümü doğrudur. Mantıksal çıkarım zincirine, yani gerçeği aksiyom kaynağından kuram aşamasına dek taşıyan kanala bakarak bunu doğrulayabiliriz. Üzerinde gerçeğin yürüdüğü böyle bir yola *kanıt* adı verilir.

Aksiyom yöntem, yüksek ve sanki tepeden bakan soyutluk düzeyi nedeniyle insana genellikle zorlayıcı gelir. Pek çok kişi oradaki sezgiye yer bırakmayan yapıyı beğenmezken, kimileri de tersine, ondaki saflığın sakınca yaratabilecek varsayımlara ya da yanlış yönlendirebilecek yorumlara karşı bir koruma işlevi gördüğüne inanırlar. Bundan başka, deneyimli bir matematikçi her zaman gerçekten ilginç olan aksiyomları seçmede sezgisini kullanabilir ve kanıt arama yolunda zekâsını da işe katabilir. Eğer aksiyomlar bu önermeler ormanından rastgele seçilseydi sonuç bizi bir yere yönlendirmeyecek (belki birkaç sıradan kurama götürebilir) ya da daha kötüsü, aksiyomların üçünün, dördüncünün yanlış olmasını gerektirdiği gibi, çelişkilere götürecekti. Matematiğin son mucizesi kimi aksiyomların sürekli yeni gerçekler üretmelerini (ki bu gerçeklerin kimileri çok güzeldir ve ince noktalar barındırır) olası kılar, aynı aksiyomlar yeniden yeniden kullanılır ama yine de her zaman doğurgandırlar.

Aksiyomlardan kaynaklanan ve önermeler alanı boyunca yayılan gerçeklik görüntümüze dönersek, bu önermelerden kimilerine gerçeklik akışıyla ulaşamamamız ve bunların yararsız, önemsiz ve ölmeye mahkûm olmaları anlaşılabiliyor. Bununla birlikte, yeni bir aksiyomun eklenmesi durumunda yeniden canlanabilirler de. Ayrıca kimi önermelere yalnızca sonsuz ve hiçbir insanın sonuna dek izleyemeyeceği bir kanal ağıyla ulaşılabilmesi olasıdır ve Gödel'in birazdan tartışacağımız ünlü kuramındaki önemli nokta da tam burasıdır.

Her önermenin onu yalanlayan bir tersinin olduğuna, bunların birinin doğruluğunun açıkça ötekinin yanlışlığını ortaya koyduğuna dikkat ediniz. Eğer bir önermenin ve aynı zamanda tersinin doğruluğu bir aksiyomlar sisteminden çıkarılabiliyorsa, o zaman o aksiyom sistemine çelişkili denir. Sıradan bir perdenin gerisindeki bir aksiyom sistemi derine gömülmüş bir çelişkiyi gizliyor olabilir. Aksiyom sistemlerindeki bu *tutarlılık* sorunu matematikçilerin kafasını kurcalayan temel sorulardan biriydi. Kimi çok basit sistemlerdeki, örneğin sonlu kümelerin temel kuramı ya da sonlu sayılar aritmetiğindeki tutarlılık belirlendi. Gerçekten önemli ve yararlı kuramlar içinse tutarlılık sorununun çözülmesi gerekir, bu da kimi matematikçileri rahatsız edebilir.

SONSUZLUĞU TERBİYE ETMEK

Sonsuzluk matematiğin her yerini sarmıştır. Bir türev ya da integral örneğinde bu, sürecin bir parçasıdır, çünkü istenen büyüklüğe doğru adım adım yaklaşan sonsuz sayıda basamak vardır, π gibi önemli bir sayıyla uğraşırken de onu kesirli olarak yazmak için gereken, art arda gelen sayılar dizisinde sonsuz görünmektedir. Sonsuzluk burada, şurada ve her yerdedir. Pekiyi onunla nasıl başa çıkılır? Onun sevdiği yerler gözümüzün önündedir, örneğin 1, 2, 3, vb derken. Pekiyi burada "vb" derken ne demek istiyoruz ve "vb" ne kadar uzaktadır? Sonsuz uzak.

Hem garip hem de aynı zamanda doğal ve anlaması güç bir kavram. İlk olarak Sokrates öncesi dönem boyunca, Anaksimander'in *apeiron*'unda, sonsuz, hiç yok olmayacak ve bozulmayacak, her şeyin kendisinden geldiği bir madde ola-

rak görünür. Felsefe sonsuz kavramını uygun karşılar ve bu konuda kurulacak yeni düşlere açıktır. Yeni Platonculuğun kurucusu olan Plotinus (MS 204-270) bunu mistik bir cübbeyle örter; ilahi yücelik, her bakımdan, incelik, akıl, güç açılarından sonsuzdur, hatta sonsuzluğun kendisidir. Bu düşünce, sonsuz niteliklere ve sonsuzluğun kendisine ilk kafa yoran pek çok teolog arasında değer görecektir. Bu teologlar çoğu kez çarpıcı bir paradoksla (mantığa aykırı görünen şey) yüz yüze gelirler.

Arşimet'in *en büyük tamsayı* denen bir sayının var olmadığını göstermesinden sonra (çünkü eğer var olsaydı, ona 1 eklenmesiyle daha büyük bir sayı elde edilebilirdi) matematikçiler bu kadar uzağa gitmediler ve sezginin dayattığı şeylerle yetindiler. Diferansiyel ve integral hesabın, özellikle de bir doğru parçasının çok çok küçük seçilebilen uzunluklara bölünmesi kavramının ortaya atılmasından sonra, sonsuzluk yeniden güncel bir konu halini aldı. Yine de, bu yönde fazla bir ilerleme sağlayamadılar ve ancak 19. yüzyılda, artık ondan kaçamadıklarında boğayı boynuzlarından yakalamaya karar verdiler.

Bütün başka durumlar için geçişi sağlar gibi görünen özel bir sonsuz türü vardır, o da doğal sayılar için sonsuzdur. Bu yüzden önce onu tartışacağız ve kendi aklımızın bize oynayabileceği oyundan kaçınmak üzere bir kez daha sevgili dostumuz bilgisayara başvuracağız.

Bilgisayar sayı saymayı biliyor: Bir, iki, üç... ta ki içindeki bellek biriminin simgesel biçimde saklayabileceği en büyük sayıya kadar. Makine için o (en büyük) sayıdan ötede hiçbir sayı yoktur, "daha ötesini düşünmek" için aksiyom yöntemine dönmek ve daha karmaşık bir üstdil kullanmak gerekecektir.

Belli bellek bölgelerinin bilgisayar tarafından doğal sayıları işlemek (yazmak, saklamak vb) için kullanıldıklarını varsayalım. Bunlar, 10 basamakla yazabileceğimiz 0, 1, 2, 803 712, 13... gibi sayılardır. Bilgisayar her zaman iki doğal sayıyı toplayabilir, yeter ki bunların toplamı bellek kapasitesini aşmasın. Başka bellek birimlerinde saklanan küme kuramının işaretleri ve işlem simgeleri, mantık kuralları, önermelerin nasıl değerlendirileceği ve bunların doğruluk değerlerinin nasıl bulunacağı vb üzerine birtakım yönergeler vardır. "Aramızda konuşmayı"

sürdürelim, bütün bunların anlamı bizim doğal sayılar kuramını ancak mantığı geliştirdikten ve bir aksiyom ile bir kuram arasındaki farkı gördükten sonra ele aldığımızdır.

Soyut sayıların (simgesel) adlarını içermek üzere yeni bir bellek birimine gerek olacaktır. Bunları n, p, q, vb gibi harflerle göstereceğiz. Soyut bir sayıyı somut bir sayıyla tanımlayıp, örneğin $n = 13$ demek her zaman olasıdır. Bu tanıma bir varsayım (yani bizim karar verdiğimiz bir şey) olabilir. Örneğin, eğer $n = 6 + 7$ yazarsak, buradan $n = 13$ sonucu çıkar. "+" ve "=" işaretlerinin yardımıyla bilgisayar (soyut ya da somut) sayılarla ilgili önermeler, örneğin $n = p + q$ yazabilir.

Bu yeni oluşum, doğal sayıların N ile gösterilen bir kümenin öğeleri olduğunu kabul ederek, temel küme kuramının içine yerleştirilir. Bu küme, soyut yapısına karşın, Dedekind, Frege ve Peano tarafından formülleştirilen birtakım aksiyomlar sayesinde, doğru biçimde tanımlanabilir. Bunlar şöyle sıralanabilir:

1. 0 ve 1 doğal sayılardır.

2. Eğer n herhangi bir doğal sayı ise, o zaman n'nin ardılı adı verilen bir başka doğal sayı daha vardır ve bu sayı $n + 1$ olarak yazılabilir.

3. Her n doğal sayısı için elimizde $n + 0 = n$ vardır (yani, 0 bir ardıl sayı değildir).

4. Eğer p ve q doğal sayılarsa ve $p + 1 = q + 1$ ise, o zaman $p = q$'dur (ya da aynı ardılın izlediği iki sayı birbirine eşit olmalıdır).

5. S kümesi, N'nin bir alt kümesi olsun ve şu özellikleri taşısın:

(i) 0 sayısı S'ye aittir, (ii) eğer bir p sayısı S'ye aitse, o zaman $p + 1$ de ona aittir. Bu koşullar altında S, tüm doğal sayılar kümesi N ile çakışıyor.

İkinci aksiyom adını Arşimet'ten alır. Sonsuz doğal sayılar dizisini üreten de bu aksiyomdur. Peano'dan gelen son aksiyomsa, birçok matematiksel kanıtta önemli bir rol oynayan tümevarım ilkesinin temelidir. Bizi konudan biraz saptıracak olsa da, bunun uygulamasına ilişkin bir örnek vermek öğretici olacak. Anlatılan bir öyküdür, Gauss'un öğrencilik yılların-

da, öğretmeni sınıftakilere 1'den 100'e kadar sayıları toplama ödevi vermiş. Öğretmen büyük olasılıkla çocukların bu ödevle uzun süre oyalanacakları varsayımıyla güzel ve uzunca bir yemek yemeği umuyormuş. Ama yalnızca birkaç dakika sonra Gauss'un hesap yapmayı bitirdiğini görmüş. Merakla yanına gidince Gauss'un 100 sayısını 101 ile çarptığını, sonra da 2'ye bölerek 5050 olan doğru yanıtı elde ettiğini görmüş. 5 numaralı aksiyoma güvenmesi halinde Gauss'un $1 + 2 = 3$, $1 + 2 + 3 = 6$, $1 + 2 + 3 + 4 = 10$,... gibi bir gidişle, eğer eklenen son sayı n ise, o zaman toplamın da $n(n + 1)/2$ olacağını fark edebilirdi. Böylece yaptığı basit hesap doğru yanıtı verir.[3]

Sıra şimdi yukarıdaki formülün neden her doğal sayı n için doğru olduğunu göstermeye geliyor. Burada tümevarım ilkesi yardıma geliyor.

Toplama kuralının (yani, $1 + 2 + \ldots + n = n(n + 1)/2$ geçerli olduğu n doğal sayılar kümesi S olsun. Kolayca anlaşılabileceği gibi, eşitliğin her iki yanına $n + 1$ eklenirse, sağ taraf $(n + 1)$ (n + 2)/2 olur. Bu yüzden, eğer n sayısı S kümesinin öğesiyse, $n + 1$ de öyledir. Ama $n = 0$ sayısı da S'ye aittir, çünkü $0 = 0(0 + 1)/2$. Böylece, 5. aksiyoma göre, S ile N kümeleri çakışırlar, başka bir deyişle, formül evrensel anlamda doğrudur.

Peano'nun sistemi doğal sayılar kümesini, yalnızca çok açıkça görünen ve uygulanması kolay olan birkaç aksiyomla nitelemiş olur. Bir yandan buradaki basitliğe, ama aynı zamanda bunun bulunmasının iki bin yıl almasına şaşırıyoruz. Aksiyom yöntemi tüm sayıların sistemli bir biçimde oluşturulmasını sağlıyor. Önce tam sayılar, sonra (artı ya da eksi) kesirler (rasyonel sayılar da denir, çünkü bunlar tam sayıların oranları halindedirler), daha sonra da ondalık biçiminde (belki noktadan sonra pek çok basamak halinde) yazılabilecek olan gerçel sayılar, en sonda da karmaşık sayılar. Tüm bu oluşumlar her aşamada çok net ve somut olan bir yönteme dayalıdır. Aynı aksiyom yaklaşımı başka önemli kavramlara da, örneğin bir gruba, çeşitli geometrilere ve analizin her türüne uygula-

[3] Aslında genç Gauss 1'e 100'ü ekledi ve 101'i buldu, sonra 2'ye 99'u ekleyerek aynı sonucu elde etti vb. Böylece, yalnızca 101 sayısını bu türdeki parçalı toplamların sayısıyla (yani 50 çift) çarpması yeterliydi.

nabilir. Doğal sayılarda görülen sonsuzdan çok daha ürkütücü çeşitli sonsuz türleri yolumuza çıkabilir, ama burada da altta gerili bir mantık aksiyomları ağı onları destekleyecektir. Bu yolda daha ileri gitmeyeceğiz, çünkü buradan modern matematik deryasına sürüklenmek de var.

GÜNÜMÜZDEKİ MATEMATİK

Bugünün matematiği tümüyle aksiyom yaklaşımı üzerine kuruludur ve bu yaklaşımın kökeninde gerçekliğe doğrudan bağlı olmayıp, kendi kurallarıyla yönetilen bir simgeler sistemi vardır. Bu matematiğin temel özelliği, aslında kendisi de formal ve simgesel olan mantığa teslim olmaktır. Bu düzeyde bir soyutluk, artık imgeleme yer kalmaması demek değildir. Tersine, ilgili aksiyomların, uzak erimli kuramların seçimi, kanıt arayışları ve esin kaynağı olabilecek, tüm matematiği kapsayabilecek benzerliklerin bulunuşu; bunların hiçbiri yaratıcı hayalgücü olmadan başarılamaz.

Bu düş gücü yenilik arayışındaki çabaları engellemez, eğer temelde simgeler olacaksa hiçbir komut matematikçiye sınırları içinde kalmasını emredemez. Matematikçiler aslında simgeleri kullanmaktansa, ağırlıklı bir şekilde, gündelik dile olabildiğince benzeyen bir dil konuşmayı yeğlerler. Bir anlam ifade eden görüntüleri de küçümsemezler ve kullandıkları sözcükler sıklıkla, hesap makinelerince işlem gören anlaşılması güç simgelerden oluşan diziler çölünden uzaklara doğru atılan çığlıklar gibidir. "Kümeler", "uzaylar", "sayılar", "komşuluk", "ideal", "metrik", "eğrilik", "süzgeç", "seçenek", "uygulamalar", "gruplar", "kesişim", "birleşim", "dağılım" derler ve her sözcük kesin bir aksiyom sistemine dayalı bir kavrama gönderme yapar, o nedenle de bir çağrı demektir. Daha ürkütücü sözcükler de vardır, örneğin "izomorfizm", "functor", "topoloji" gibi, ama bu sözcüklerin dilsel kökenini biraz bilmek anlamaya yeterli olabilir. Her şeyi hesaba katarak konuşursak, matematiğin dili konunun uzmanı olmayanlara tıp terimleri kadar sıkıca kapalı değildir, o daha çok botaniğin diline benzer. Burada güçlük bu dili öğrenmekten çok, onu akıcı konuşabilmektedir.

Çağdaş matematik çok zengindir ve onu tümüyle araştırmak bir ömür sürer. Onun bir atlasını çizmek söz konusu ola-

maz (hele klasik çağdan sonra kıtalarının yer değiştirdiğini de düşünürsek). Toplam bilginin giderek artması ve işlenen konuların çeşitliliği yüzünden, aritmetik (ya da sayılar kuramı), cebir, geometri ve analiz gibi sözcükler artık eski anlamlarını taşımıyorlar. Birçok farklı "yapı", örneğin ortak özellikler (kümeler), yakınlık özellikleri (topoloji), işlem özellikleri (halkalar, gruplar,...), fonksiyon özellikleri (çeşitli biçimleri olan ve her yerde bulunan bir kavram) ayaktadır ve bu yapıların her biri dallanarak başka pek çok altyapıya götürebilir. Bu yeni haritacılık aksiyomları gruplamanın özel yollarına karşılık gelir, böylece uygulamada birbiriyle hiç ilgisiz görünen alanlar arasında beklenmedik bağlantılara yol açar.

Aksiyomların seçimi keyfi değildir. Eğer insan ciddi bir inceleme yapmadan yeni bir aksiyomu ortaya atmak isterse, büyük olasılıkla ulaşmak üzere yola çıkılan altın damarları yerine bir yığın değersiz taş bulmakla yetinilir. Şu ya da bu aksiyomun seçimi, bir kuramı sadeleştirmek ya da yeni bir kurama ulaşma yolu aramak ancak yüzlerce örnek üzerinde çalışılmasının ya da çabanın meyvesi olduğu kadar zekânın da ürünü olabilecek keskin bir sezginin sonucu olabilir. Önerilen yeni bir aksiyom ya da kavram, ancak sonuçlarının yeni sonuçlar ve açık sorulara çözümler sağlaması durumunda benimsenir.

Matematiksel düşünceler yaşayan ve birbiriyle yarışıp, çekişen canlılar gibidir: canlı kalabilmek için kullanışlı, doğru uyarlanmış ve her şeyden önemlisi, verimli olmalıdırlar. Bu kadarı sanırız açıktır, çünkü öbür türlü dikkat çekmeyeceklerdir. Daha az açık ve daha olağan durumsa, bu verimliliğin ne büyüklükte olduğu, yani kapsadığı alanın genişliğidir. Düşünceler tarihindeki en şaşırtıcı gerçeklerden biri olmakla birlikte, hiç kimse böyle bir olguyu doyurucu biçimde açıklayamaz. Dahası, matematikteki potansiyelin sınırları görünmez.

Ama matematikten yeterince söz ettik. Şimdi onun tarihiyle ilgili yazdığımız kısa taslağı tamamlayalım. Aksiyom yaklaşımı üzerinden, böyle büyük bir girişime eşlik eden kaçınılmaz hatalı çıkışlarla yeniden düzenlenme dönemi, 1850–1950 arasında, yaklaşık yüz yıl kadar sürer. Bu dönemde Weierstrass, Dedekind, Cantor, Frege, Peano, Hilbert, Russell ve Whitehead

gibi çeşitli adlar öne çıkar. Başka pek çoklarının da bu çabada katkıları oldu, ama ne yazık ki onların katkılarının ayrıntılarına giremiyoruz. Programın çoğu, birkaç yüzü olan Nicolas Bourbaki (ki bu takma ad, üyeleri sürekli değişen bir matematikçiler grubunca takılmıştır) tarafından bir şekilde işletildi.

Yirminci yüzyılın ortalarından bu yana köklü aksiyomlar sahneden biraz çekildiler. Sonradan daha iyi anlaşıldığı üzere, birtakım gözden geçirmeler yapıldı ve verim sağlamaktan uzak genel aksiyomatik sistemlerden vazgeçildi. Güzel bir denge sağlandı ve bugün temeller üzerinde yapılan çalışmaların sonucunda yeni bir hasada tanık olmaktayız.

KÜME KURAMININ TEMELLERİNDE OLUŞAN KRİZ

Eğer yukarıda anlatılana benzeyen, sakınca ve itiraz yaratmadan oluşan dönüşüm gibi bir izlenim verseydik, tarihin biraz çarpıtılmış bir resmini aktarmış olacaktık. Gerçekleşen değişimlerin çapını göstermek üzere, bu dönemden iki ünlü anıyı aktarmakta yarar var. Bunlardan biri 1902 yılında küme kuramının temellerinde oluşan kriz, ötekiyse 1930-31 yıllarında Gödel'in tamamlanmamışlık [*incompleteness*] kuramını buluşudur.

Küme kuramındaki kriz olarak bilinen şey yeniden canlandırılmayı hak eden çarpıcı, heyecan dozu eksik olmayan bir olaydır. Öyleyse olayı sahnede yaşayalım. Perde kalkarken iki karakter görünür, biri Gottlob Frege, ötekiyse Bertrand Russell'dır. Sahne kutsal bir yerde, Matematik ve Mantık tanrıçalarının bulunduğu bir tapınakta geçmektedir. Arka plan dönemin büyük din adamlarının büyük boy portreleriyle doludur. David Hilbert ve Henri Poincaré. Bunlardan biraz daha küçük boyda olmak üzere Dedekind, Peano ile Cantor'un resimleri de bulunmakta, ön plandaki bir ressam sehpasında ise Frege'nin uzun süre depoda durduktan sonra oraya konan bir portresi durmaktadır.

Frege'yi oynayan oyuncu ellili yaşlarda görünmektedir. Gösterişsiz biridir ama içindeki ancak doğruluğun sağlayabileceği tutkuyu dışa vurmaktadır. Mantık üzerine yazdığı ve başlarda hiç ilgi çekmeyen kısa kitabının basılmasının üzerinden neredeyse yirmi beş yıl geçmiştir. Bertrand Russell

otuz yaşındadır. Keskin aristokrat izleri taşımakta ve hafif bir Cambridge vurgusuyla konuşmaktadır.

FREGE: Evet, küme kuramı üzerine yazdığım yeni kitabım yakında çıkacak. Yirmi yılımı alan zorlu bir çalışma ama sanırım bu çabaya değecek.
RUSSELL: Onunla ilgili ne düşündüğümü çok iyi biliyorsunuz. Aristoteles'ten bu yana sizin mantık üzerine yazdığınız ilk kitap kadar önemli başka bir şey yazılmadı, son yazdığınızsa sanırım matematiği sağlam bir temele oturtacaktır. İnsan aklı için ne onurlu bir başarı![4]
FREGE: Abartmayalım lütfen. Evet, mantığın yeterince açık olduğu doğrudur. Matematiğe gelince, sanırım insanın işe önce küme kuramıyla başlaması, sonra da her şeyi onun üstüne kurması gerekir. Aslında bir kümeden daha yalın ya da daha şeffaf bir şey yoktur. Bir grup nesne üzerinde konuştuğunuzda herkes neden söz ettiğinizi bilir.
RUSSELL: Evet, çok açık olduğu görünüyor ama yine de biraz rahatsız edebilecek bir kuşkum var.
FREGE: Nedir?
RUSSELL: Sizin şu *Begriffschrift* adlı yapıtınızdaki bir şey kafamı karıştırıyor. Orada özetle, rastgele bir kümenin, ben "rastgele" sözü üzerinde durmak istiyorum, her zaman bir başka kümenin bir öğesi olarak alınabileceğini söylüyorsunuz. Hâlâ böyle mi düşünüyorsunuz?
FREGE: Daha bile çok. Kitabımın önemli bir bölümü bu gerçeğe dayalıdır ve bu düşünce sıklıkla kullanılmaktadır. İtirazınız mı var? Bunun açık olduğunu sanıyordum. Herhangi bir nesnenin her zaman için bir kümenin içinde başka nesnelerle birlikte bulunabilmesinin nesi yanlış?
RUSSELL: Sezgimizin bize söylediği de tam olarak bu zaten. Ama her zaman buna güvenip güvenemeyeceğimizi merak ediyorum, ya bir an için de olsa denetleyemediğimiz sezgilerimiz bizi aldatıyorsa?
FREGE: Pekiyi, sanırım dolapta bir iskelet buldunuz. Çıkarsanız iyi olacak. Nedir bu?
RUSSELL: İlkeler bazında birtakım kümelerin kendilerini, kendi öğeleri olarak içerdiklerine katılıyor musunuz?

[4] Bu ifade Hilbert'indir.

FREGE: Her nasılsa, bu daha önce söylediklerimizin doğrudan bir sonucudur. Eğer benden bir örnek istiyorsanız, size bir kitaplığın, raflarından birinde durmakta olan kataloğunu ya da bir sözlükteki "sözlük" sözcüğünü ya da "kimsem oyum" diyen Tanrı'yı ya da bir kitabın içindekileri gösteren "içindekiler" sayfasını ya da ... gösterebilirim.
RUSSELL: Görüyorum. Ama bunun yerine bütün öbürlerini düşünelim ve kendilerinin öğesi olmayanların kümesine *A* diyelim. Şimdi size bir soru sorayım: Bu *A* kümesi kendisine ait midir?
FREGE: Bakalım, bu çok zor olmamalı. Diyelim kendisine ait, yani *A* kümesi *A*'ya ait. Şimdi tanım gereği, *A*'nın öğeleri kendilerine ait olmayan kümelerdir. Böylece, sizin sorunuzun yanıtının "evet" olduğunu varsayarak bir çelişkiye düşüyoruz. O nedenle, yanıtın "hayır" olması gerekir.
RUSSELL: Emin misiniz?
FREGE: Eğer "hayır" olarak yanıtlarsam, bunun anlamı *A*'nın *A*'ya ait olmadığıdır. Ama o zaman da *A*'nın kendi tanımından, *A*'nın *A*'ya ait *olduğu* sonucu çıkar. Ulu Tanrım, kesinlikle haklısınız! Hangi yolu seçersek seçelim, bu bizi çelişkiye götürüyor. Bu bir paradoks, neler diyorum? Bu bir çöküş, bozgun! Burada konu ettiğiniz şey, "üçüncü halin olanaksızlığı ilkesi" dediğimiz şeydir. Ama bu olanaksız, bu ilkeyi reddedemeyiz, çünkü o zaman ortada mantık kalmaz, tüm düşünce çöker.
RUSSELL: Yalnızca bir çıkış yolu görüyorum: Geçmişte söylediklerinizi iptal etmek ve yeniden, baştan başlamak.
FREGE (*Bir an düşündükten sonra*): Başka da bir yol yok. Doğal olarak, benim matematiği yeniden kurma projem parçalandı. Tam da başardığımı düşündüğüm anda! Ama biliyorsunuz, sizin bulduğunuz şey gerçekten şaşırtıcı, olağanüstü. Kutlarım! Şu anda aklıma ilginç bir şey geldi! (*Birden yürümeyi bırakır, gülümser ve kendi kendine konuşur*).
RUSSELL (*giden Frege'nin arkasından bakarak*): Ne büyük bir zekâ gösterisi, ne yücelik! Doğruluğun peşinden onun kadar içtenlikle koşan birini görmedim. Sonunda ömür boyu süren bir çabayı sonuçlandırmak üzeredir, o ki çoğunlukla hiç de hak etmeyen başkaları tarafından

ezilmiştir... Aldırmamıştır ama kendisinin en temel varsayımlarından birinin yanlış olduğu söylenince nasıl tepki verecektir? Entelektüel açıdan sağladığı doyum, kişisel kırgınlıklarını bastırmaktadır, o sanki bir üstün insandır. Boş yere onur ve ün peşine düşmek yerine, kendini tümüyle bilgiye ve yaradılışa veren bir insan için ne büyük bir içsel tutarlılık! Ne büyük bir ders![5] (*O da oradan ayrılır.*)

KORO: Tapınak sarsıldı ve hâlâ çatırdıyor. Deprem mi oldu? Paradokslar toplanıyor. Giritli yalancı yeniden dirildi. Russell'ınkinden başka, Richard'ın ve Burali-Forti'nin paradoksları da var. Dokuz sözcükten oluşan bir tümcenin "on sözcükten daha azıyla adlandırması olanaksız en küçük sayıyı" tanımladığında biz âleme gülünç mü olacağız? Mantık yalnızca bir yanılsama mıdır?

HILBERT, *odaya girerken*: Sakin olun lütfen, paniğe gerek yok. Gözünüzün önündeki şu korkunç paradokslara bakın. Hepsi birbirine benziyor. Tümü aynı işareti, yani ayrı olduğu sanılan bütünün işaretini taşıyor. Kitaplıktaki katalog *tüm* kitapların bir listesidir. Giritli Epimenides, *tüm* Giritlilerin yalancı olduklarını söylüyor. Sizin dokuz sözcükten oluşan tümceniz bir sayının *tüm* olası tanımlarına işaret ediyor. Bu öykü yalnızca bir şeyi, Frege'nin matematiği formüllere dökme çalışmalarında yeterince ileriye gitmediğini gösteriyor. Kendisi, çok açık görünen kümeler hakkında sezgisine az da olsa güvenebileceğini sandı. Tek yanlışı da buydu. Bunu düzeltmek de bizim görevimiz. Buradan sonra, mantık ve matematik tümüyle formal olacak. (*Oradan ayrılır, peşinden de anılan görevi üstlenebilecek Zermelo düşünceli bir biçimde çıkar.*)

GÖDEL'İN "TAMAMLANMAMIŞLIK KURAMI"

Matematikle ilgili bir olayın dış dünyaya ulaşması (ve şaşırtması) pek sık rastlanan bir şey değildir. Ama 1930'lu yıllarda, Gödel'in insan aklına indirdiği şamar olarak düşünülen kuramında olan, tam da budur.

[5] Bunlar, Jean Van Heijenoort'a yazdığı ve Frege'den söz ettiği mektupta, Russell'ın tam olarak kullandığı kendi sözleridir.

Peki bu neyle ilgiliydi? Kurt Gödel, David Hilbert'in yolundan giden öğrencilerinden biriydi ve ustasının büyük projelerinden biri üzerine çalışıyordu:, aritmetik aksiyomlarının tutarlılığını göstermek ve böylece matematiğin en azından bu dalının iç çelişkilere karşı bağışıklığı olduğunu ispatlayan ilk kişi olmak. Hilbert, (Romalılar gibi) "burada tüm sonsuzluk için bir anıt yaptırmak istiyorum" diyebilmeyi istedi.

Hilbert'in aritmetikteki aksiyom sistemi (daha önce gösterdiğimiz gibi) toplama, (sonuç bir doğal sayı olduğunda) çıkarma, çarpma, kalanla birlikte bölme ve üs alma gibi sıradan işlemleri içeren simgeler ve işaretler cinsinden formülleştirilmişti. Gerekli aksiyomlar doğal sayıların ve bu işlemlerin temel özelliklerini aldılar. Hilbert da o zaman (doğal sayılarla ilgili) tüm önermeler kümesinin formal dille ifade edilebileceğini düşündü. Sorun bu türden her önermenin, en azından kâğıt üzerinde, kanıttan (yani, kaynağını aksiyomlardan alan, belli bir sayıdaki mantıksal çıkarım zincirinden) kaynaklanan bir doğruluk değeri olduğunu göstermekti.

Gödel belli önermelere (formal) bir kanıt olmaksızın, bir doğruluk değeri atanabileceğini, ama bunun yalnızca bir üstdille* donatılmış daha üst bir kuramla yapılabileceğini (bu da daha önce tartıştığımız bir kavramdır) gösterdi. Hilbert'in sorusunu yanıtladı ama bu pek de Hilbert'in beklediği biçimde değildi.

Gerçekten de, Gödel'in başarısı (üstdilin bakış açısından) doğru ama bu doğruluğun sonlu uzunlukta bir kanıtla sağlanamayacağı önermeler olduğunu (böylece aritmetiğin aksiyomlaştırılmasının "tamamlanmamış" olduğunu) göstermekti. Böylece, eğer bir matematikçi yalnızca aksiyomlardan mantıksal yolla kanıtlanabilecek bir şeyi doğru olarak kabul ederse, hâlâ (kendi açısından) çözümlenmemiş birtakım önermeler kalmış demektir, çünkü bunların ne doğruluğu kanıtlanabilir ne de yanlışlığı.

Eğer bir kez daha kaynaktan ağaçlara (yani aksiyomlardan önermelere) doğru akan doğruluk benzetmesini kullanırsak, Gödel'in sonucu kolayca anlaşılabilir. O zaman, Gödel bize ağaçlardan oluşan bütün bir ormanın sonlu boydaki kanallar

ağıyla sulanamayacağını ve belli önermelere ulaşmanın sonsuz uzun bir yol gerektireceğini söyler. Ayrıca da, bu sonuçta şaşılacak bir şey yoktur. Eninde sonunda, insan aklının darbe yediğini öne sürmek dışında bu sonuçta şaşırtıcı sayılacak bir şey yoktur. Çözümü olmayan problemlerin (hem de pek çok sayıda) bulunduğunu kabul etmek zorundayız. Bu problemlerden kaçı gerçekten bulundu? Yalnızca birkaçı. Her ne kadar yavaş kanıtlama süreci her zaman hangisi olduğunu belirleyemese de, her önermenin mutlaka doğru ya da yanlış olması neden şaşırtıcı gelir? Bunun tersi daha doğal görünmez miydi? Daha ciddi olansa, aritmetik açıdan tutarlılıktaki belirsizliktir. Aksiyomların gölgesinde saklanan bir çelişki olup olmadığını bilmiyoruz. Ama elde edilecek verimli sonuçlar için ödenecek fatura da bu değil midir zaten? İnsan tutkusunun çılgınca sayılabilecek beklentisi, kendi sonsuzluğunu oluşturma düşü bir kez daha kendi düşmanıyla karşılaşmış oldu. Bu da olması gerektiği gibi oldu.

Her şey ele alındığında, Gödel'in tamamlanmamışlık kuramı gerçekten de insan aklının bir ürünü gibidir. Ama aynı zamanda, edinimlerine zarar vermekle birlikte, kendi sınırlarını da belirler. Akla, onun da belki ölümlü olduğunu getirir.

GEÇİCİ BİR SONUÇ

Şimdi öyle görünüyor ki, matematik bir bağıntılar bilimidir ama bu bağıntıların geçerli olduğu özel nesnelerden bağımsızdır. Her ne kadar matematik fiziksel bilimlerde ve özellikle fizikte bir gereç, bir dil, bir mantık çerçevesi olarak kullanılsa da, kendi başına bir anlamı yoktur. Matematik gözlüğüyle bakınca, her fiziksel bilim, özel bir anlamı da getiren kendi üstdilini sağlar. Aynı şey, daha basit yolla, matematiğin bize formal bir bilimdeki gerçek anlamı bulmada yardım edemeyeceğini, anlamın o bilimin kendisinde bulunması gerektiğini söyleyerek de ifade edilebilir. Kuantum mekaniğinin uçurumlarıyla karşılaşınca, bu dersin temel olduğu anlaşılacak.

VI

MATEMATİK FELSEFESİ

Şimdi matematiğin anlamı konusunu inceleyeceğiz. Özellikle de konulara felsefi açıdan bakmaya eğilimli düşünürlerin ve matematikçilerin bu bilim hakkında nasıl düşündüklerini dinleyeceğiz. Bunların verecekleri yanıtların onaylanıp onaylanmayacakları görülecek, ama şu anki durum, en azından, gidilecek yolun ne uzunlukta olduğunu kestirmenin yeterince karmaşık olduğunu gösteriyor.

MATEMATİK NEDİR?

Matematik, aklın bu garip büyümesi nedir, nereden gelir ve doğası nedir? Bu soru konunun kendisi kadar eskidir, ancak genellikle yalnızca az sayıda bir felsefeci ve matematikçi grubunun ilgisini çeker. Zaten de başka kim bununla ilgilenir? Hiç kimse. Bununla birlikte, doğanın ve gizemlerinin birçok açıklamasında bulunan formal özellik belli olduğuna göre, daha yakından baksak iyi olacak. Eğer "geometri bilmeyen buraya giremez" ifadesi, hiç beklenmedik bir şekilde, felsefeye giden kraliyet yolunun yukarıdaki soruyla başlaması anlamına geliyorsa, ve matematiğin bilginin anahtarlarından birini saklaması gerekiyorsa ne olacak? Onu kim göz ardı etmek ister?

Matematiğin genellikle çok iyi aydınlatılmış, yüce bir dünyada bulunduğu düşünülmüştür. Cusalı Nicolas ve başka birçok isim gibi Platon'un görüşü de böyledir. O zaman matematikçinin verdiği kanıtların, güvenli ve başarılı bir yöntemle ulaşılmış o mükemmel doğruluk modellerinin sağlamlıkları-

nı yüce bir makamdan, saygıda kusur edilmemesi gereken ve başka alanlara da başarıyla uygulanan bir makamdan edinildiğine inanılabilirdi. Böylece, eski çağların sonunda ve Skolastik dönemde egemen olan ve Aziz Augustinus ile Thomas Aquinas'yla son bulan teolojinin büyük bir bölümü matematiği bir esin kaynağı olarak kullanmıştır. En çarpıcı örnek de Spinoza'dan gelir. ***Etik*** adlı yapıtındaki önermelerin doğruluğu, en azından yazarın sözleriyle "geometrik önermeler düzeyindedir." Bir Spinoza hayranı olan Leibniz'in felsefi yaklaşımı da bu yöndedir.

Bu türden bir benzerlik matematiğin doğası konusunun kimi zaman bir felsefeci için daha çekici olan başkalarıyla da karıştırılabilmesi demektir. Aslında, onu aklın özellikleriyle ve gücüyle ya da doğada bir düzen olup olmadığıyla ilgili sorulardan tümüyle ayırmak güçtür. En azından bu sorunun başlangıçta göründüğünden daha önemli ve kuşkusuz daha güç olduğunu söyleyebiliriz. Matematiği tanımlamak umutsuz vakadır, çünkü bu ya zaten ne olduğunu bilmek ya da yalnızca onun dış özelliklerini kavramak demek olurdu. Etimoloji (sözcüklerin nasıl türediğini inceleme) de burada işe yaramaz, çünkü bu ancak iyi bilinen ve doğru anlaşılan şeyleri ya da belki (mathesis olduğunda) yeni başlayanlarda bir bilgiyi akla getirir. O yüzden, matematiğin kimi çarpıcı özelliklerinden söz etmekle başlayacağız. Bunlar çeşitli felsefi kuramları değerlendirmeye yarayacaktır, çünkü doyurucu bir matematik felsefesinin onların tümünü göz önüne alması gerekirken, bunların çoğu bu özelliklerin birini ya da öbürünü dikkate almayacaktır.

Matematiğin ilk özelliği olan güzelliği genellikle ortaya konulmuştur. Yalnızca onun çok yakınına girenlerce bilinen bu güzellik biraz kendine özgüdür (ama bu zaten her güzellik için geçerli değil midir?), onun kendi dili dışında bir dilde tanımlanması güçtür ve şiirin dilinin içeri girmesine izin vermez. Doğru, kimi zaman önermelerin uyumunda ya da sanatsal bir çalışmanın şık biçimlerinde şekillenmiştir. Bertrand Russell'a göre, matematikte yalnız gerçek değil, üstün bir güzellik, bir yontudakiyle karşılaştırılabilir sert ve soğuk bir güzellik de vardır. Gerçek güzellik, coşku ve kendini insan olmakta daha

üstün hissetme gibi duygular, şiirde olduğu kadar matematikte de yaşanabilir. Çok yıllar önce Plotinus daha da öteye gitmiş, hatta yorumu çevirmişti. Sanatçı işin özünü, biçimini mermere aktarmayı başardığında, bir yontunun, örneğin Zeus'un güzelliği mükemmele ulaşır (günümüzün bir yeni-Platoncusu belki de, aynı bakışla, Velasquez ya da Monet'nin ikisinin de ışığın özünü yakaladıklarını söyleyecektir). Plotinus için matematiğin ya da daha doğrusu felsefenin güzelliği bir sanat yapıtını oluşturmada olası en iyi modeli sunmasıdır.

Matematiğin bir başka önemli özelliği, bir önceki bölümde vurgulamaya çalıştığımız doğurganlığıdır. Ama acaba "doğurganlık" doğru terim midir? Deniz kadar engin olan, *Mahabharata*'dakine benzer bir dünyanın doğuşuna benzeyen bu bolluğu tanımlamada belki bereket daha uygun bir sözcük olabilir. Bu özel benzetmeyi amaçlı olarak seçtim, çünkü matematiğin yüz kolu, bin göğsü vardır ve onun uzağı göremeyenlerce küçük, zayıf bir şeymiş gibi görülmesi insanı sinirlendiriyor. Bu üretkenlik açık bir biçimde onun doğasının, insana bunu sağlayan şeyin ne olduğunu merak ettiren, belirgin bir izidir.

Matematiğin üç başka ayırt edici özelliğinden daha önce söz edilmişti. Bunlardan ilki onun mantıkla olan yakın ilişkisidir ve bu ilişki öylesine yakındır ki birinin nerede bittiğini, ötekinin nerede başladığını ayırt edebilmek olanaksızdır. İkinci özellik, matematiğin simgelerle oynamaya indirgenmesidir ve bununla kendisini her türdeki gerçeklikten koparabilmektedir. Her ne kadar matematiğe ilk hareketi veren şey gerçeklik ise de, aslında başka hiçbir şey gerçek dünyadan matematikten daha kopuk değildir. Burada olan en derin haliyle bir soyutlamadır (bir tür köklerinden ayırma) ve Yunan geometrisinin doğuşundan beri bu soyutlama matematiği fiziksel gerçeklikten ayırmıştır. Yine de, tüm bunlara karşın, matematiğin üçüncü özelliği gerçeklikle kurduğu yakın ilişkidir ve fen bilimleri (özellikle de fizik) matematik dili ve kavramları olmadan yapamazlar. Şimdi çok sıradan olsa da unutulmaması gereken son bir özellikten söz edelim: Matematik insan beyninin bir ürünüdür ve bir toplum içinde yaşayan insanlarca yaratılmıştır.

Eğer (üzülerek de olsa) sözlerle anlatması güç olan güzelliğini bir yana bırakırsak, matematiğin ayırt edici özellikleri üretkenliği, simgelere indirgenebilmesi, gerçeklikle yakın ilişkisi ve insan çalışmasının bir ürünü olmasıdır. Bu çerçeve içinde, matematik felsefelerini ontolojik (varlık bilimi) ve sosyolojik olmak üzere iki dala ayırmak uygun olacaktır. İlki ondaki iç niteliklerle, matematiğin kendisini nasıl düşündüğüyle ilgilidir. İkincisi ise, matematiği insani açıdan, insanların büyük matematik yapısını kurduğu koşullarda anlamaya çalışır.

MATEMATİKSEL GERÇEKÇİLİK

Bugün de çok canlı olan en eski felsefe kuramı, somut gerçeklikten farklı ve matematiksel doğruların bulunduğu bir dünyanın olduğunu söyler. Bunu ilk öneren Platon oldu ve ona göre bu öbür dünya "Düşünceler evreni"dir. Kökleri geriye, Pisagor'a dek uzanan bu bakış açısına genellikle Platonculuk denir. Kimileri de ayrı bir gerçekliğin varlığını vurgulamak amacıyla bunu matematiksel *gerçekçilik** olarak adlandırır. Biz, karışıklığa meydan vermeyecek olan bu ikinci adlandırmayı kullanacağız.

Matematiksel gerçekçilik Descartes'ın daha önce değindiğimiz 5. Meditasyonundan bir parçayı çağrıştırdı ama burada yeniden anmaya değer: "Bir üçgeni düşündüğümde, bu şekil kendi aklımdan başka hiçbir yerde, hiçbir zaman olmamışsa bile, yine de belli bir biçim sergiler ya da bu üçgenin kimi özelliklerinin gösterilebilmesi gibi, bu şeklin benim yaratmadığım, benim aklıma bağlı olmayan, değiştirilemeyecek bir ruhu vardır."

Hermite de Stieljes'e yazdığı bir mektupta temelde aynı şeyi söyler: "Sayıların ve fonksiyonların aklımızın rastgele yarattığı şeyler olmadığına inanıyorum. Sanırım bunlar tıpkı nesnel gerçekliğin getirdiği şeyler gibi bir zorunlulukla bizden bağımsız olarak varlar ve biz onları buluyor ya da fizikçilerin, kimyacıların, zoologların yaptığı gibi keşfediyoruz." Felsefi açıdan elbette bir acemi sayılamayacak Bertrand Russell 2 sayısının akıllarda olmasa bile ontolojik bir gerçekliğe sahip bir varlık olduğunu yazdığında, aynı düşünceyi ifade etti.[1]

[1] *Matematiğin İlkeleri* adlı kitabında.

Ona göre bilgi zorunlu olarak tanıma demektir (*cognition is recognition*), çünkü başka türlü düşten farklı olmazdı. Kristof Kolomb'un Batı Hindistan'ı keşfi gibi, aritmetiğin de keşfedilmesi gerektiğine ve bizim sayıları tıpkı onun Hintleri yarattığı gibi yaratmamız gerektiğine inanıyordu. 2 sayısı yalnızca saf haliyle akıldan yaratılan bir şey değil, aynı zamanda düşünce nesnesi de olabilecek bir varlıktır. Russell'a göre, düşünülebilecek herhangi bir şey ontolojik bir gerçekliğe de sahiptir. Bu, düşüncenin bir önkoşuludur ama sonucu değildir. Düşünce nesnelerinin varlığına gelince, hiçbir şey bunların düşündükleri gerçekten sonuç olarak çıkarılamaz, çünkü bunlar kuşkusuz onları düşünen akılda değildirler. Sonuç olarak, Russell bizim temsil ettiğimiz nesnelerin herhangi bir özel türde gerçekliklerinin olmadığında diretir.

Jean Dieudonné[2] içinse "matematikçilerin taşıdıkları ve kişiden kişiye değişen düşünceleri tanımlamak çok güçtür." Bununla birlikte, "matematiksel nesnelerin duyuların anlayacağı türde bir gerçeklikten farklı, belki Platon'un Düşünceler adlı yapıtında öne sürdüğü türdeki gerçekliğe benzer bir gerçeklik taşırlar" diye de ekler.

Alain Connes'a[3] gelince, o "sanırım benim konumum gerçekçi bakış açısından pek uzak değil" diye bir itirafta bulunur. "Benim için örneğin asal sayılar dizisinin gerçekliği bizi saran maddesel gerçeklikten daha kalıcıdır. En azından bir örnek vermek gerekirse, aksiyom yöntemi matematikçiye iyi tanıdığı bölgenin ötesinde bir girişimde bulunma olanağı sağlar... Matematiksel gerçekliğin bizim akıl yürütme sistemimizden bağımsız olan ve açıklanmayan bir uyum olan sezgisel tutarlılıktan daha üstün bir tutarlılığı vardır."

Gerçekçilerin bakış açısını destekleyen pek çok kanıt vardır. Bunların hemen hepsi yaratıcı matematikçilerdir ve sürekli yenilenen, üzerinde konuşup durdukları, bir keşif yapma duygusunu iyi bilirler. Matematikçinin görüşünü başka her türdeki

[2] Matematik Tarihi Özeti - *Abrégé d'histoire des mathématiques* (Paris: Hermann, 1978) adlı kitabın Giriş bölümünde.

[3] *Bkz.* Jean-Pierre Changeux and Alain Connes, *Matière à pensée* (Paris: Odile Jacob, 1989).

sanat biçiminden ayıran şeyi, örneğin Pisagor kuramından, en yakın dönemde elde edilen sonuçların kanıtına dek, kendi bütünlüğü içindeki matematiği Connes uyum olarak adlandırır. Bu, bir araya getirilmiş sayısız parçadan çok, tek bir çalışma gibidir. Bu uyum, insanın sorabileceği soruyla almayı beklediği yanıt arasında eşsiz bir uyum biçimini de alabilir, kendi halindeki bir teoremi güçlü bir kurama dönüştüren bir genelleme de olabilir, hatta her yerde rastlanabilecek, kendilerini binbir şekilde yineleyen ve güçlendiren benzerlikler bile olabilir. Uyum, keyfi olduğu açıkça belli olan icatlardan çok üretken oldukları belli olan yeni yapılar, örneğin dağılımlar, metrik uzaylar, Hilbert ya da Banach uzayları birdenbire ortaya çıktığında da kendini gösterir. Bu örnekler de ne yazık ki matematikçilerin gördükleri şeylerle iletişim kurmada yaşadıkları güçlükleri gösteriyorlar. Yalnızca onlar kendilerini böylesine mutlu eden harikaları gerçekten bilebilirken, başkaları matematikçinin getirdiği tanımdan gözlerine şöyle bir ilişen, soluk ve basit görüntüyle yetinmek durumundadırlar.

Gerçekçiler her zaman var olan ve yalnızca incelemek istedikleri sağlam zeminde ilerlediklerinden hiç kuşku duymazlar. Onların yaklaşımı bir bakıma balta girmemiş, vahşi bir ormanı araştırmaya benzer. Araştırmacılar zaman zaman bu orman içinde bir aydınlığa rastlayabilirler, ama gelişme genellikle yalnızca yavaş, her adımı ancak iyice güvendikten sonra atmayı gerektiren bir yolda, neredeyse sürünerek sağlanır. Matematikçi iş başında gözlerini temele odaklayarak, olağanüstü gerçeklere ancak uzun bir yolculuktan sonra ulaşılabileceğini ve ortaya çıkacak eşsiz görünümün bu gerçeklerin en tepesinden ufuk çizgisine dek uzanacağını bilerek ilerler. Spinoza, aslında yalnızca "ikinci türden" olan bir bilgiyi, sabırlı bir kanıtla elde ederek onu "üçüncü türden" olarak görüyordu.

Tarih boyunca tüm bu adamlar ve kadınlar edindikleri izlenimleri ve gözledikleri şeyleri rapor ettiler. Örneğin her birinin bir ölçüde araştırdığı geniş bir kıtanın varlığı, gerçekler ormanını ziyaret etmenin verdiği neşe, altlarındaki karanın sağlamlığı ve aradaki bağlantılar (uyum)... Gizem meraklıları gibi, ışık okyanuslarını hayranlıkla izledikleri başka ufuklardan

söz ederler. Dinleyeni kuşkular sarabilir. Peki bunlar düşlerle kandırılmadılar mı, kendi gücüyle fazlasıyla övünen bir beyin tarafından aldatılmadılar mı ya da gerçeklikten daha gerçek görünecek kadar kuvvetli bir hayalin etkisinde kalmadılar mı? Matematiksel gerçekliğin kuşkucular tarafından böyle sık biçimde ılımlı bir aydınlanma olarak görülüp, göz ardı edilmesi de bu yüzdendir.

Bu türden itirazlar ancak, akıl konusunda tek nesnel etken olan tarihin yardımıyla yanıtlanabilir. Matematikçilerin algıladığı biçimiyle uyumun herhangi bir akıl yürütme mekanizmasından bağımsız olduğunu söylediğinde, yeniden Alain Connes'a kulak vermek ilginç olacak. Bunu daha iyi anlatmak için matematikçilerin tümünün araştırılan alanın aynı özelliklerinde, kendi izledikleri yoldan bağımsız olarak görüş birliğine vardıklarını söyleyebiliriz. Buna bir örnek olarak, 17 ila 19. yüzyıllarda analiz tarihine gidelim. O yıllarda, gerçekten şaşırtıcı pek çok sonuç elde edilmişti, ama bunların temellerindeki zayıflık birçok matematikçiyi rahatsız ediyordu. Düşünceler tarihinde hiç rastlanmadığı kadar uzun bir gözden geçirme ve eleştiri programına girişildi. Matematikçilerin kendi alanlarına gösterdikleri kızgınlığın yanında, skolastik dönemin sonunda teolojiye karşı yapılan sert saldırılar okşama gibi kalır (aslında tüm yapının çökmesi ve sağa sola saçılan yıkıntıların hüznü kalmalıydı). Peki ne oldu? Yapı direnç ve saygınlık kazandı, önceki halinden de yukarıya yükselip, hacim kazandı, eski çatlaklar kapandı, zayıf yerler onarıldı. Yine de, bir bakıma her şey değişti, aksiyomlar sezginin yerini aldı, yapı artık yeni bir düzeni yansıtıyordu. Akıl yürütme yöntemleri değişmiş, ama yeni olsun, eski olsun, sonuçların tutarlılığı artmış ve daha iyi korunur olmuştu.

Matematikçiler araştırmaları süresince hep bu türden derslerle karşılaşırlar. Buldukları şeyin mutlaka bekledikleri şey olmadığı, daha çok koşulların ve zorunlulukların onlara dayattığı şey olduğu izlenimine kapılırlar.

Matematiksel gerçekçiliğe karşı yapılan itirazlar temelde gerçeklik hakkında önceden edinilmiş düşüncelerden kaynaklanır. Ama modern fiziğin getirdiği gerçeklik görüntüsüyle

karşılaşınca, bu önceden edinilen görüşler daha az inandırıcı gelmeye başlar. Burada kendimi bir örnekle sınırlı tutacağım. Felsefeci André Darbon, Russell'ın "mantıksal" kuramlarına adanmış, değerli bilgiler ve düşünceler barındıran bir kitap yayımlar.[4] Ne yazık ki, son bölümde Russell'ın gerçekçiliğine keskin bir biçimde karşı çıkar, onu "çocukça" diye niteler, aynı zamanda da bu savını sağlam görüşlerle destekler. Darbon bunların arasından temelde algılanamaz şeylerin olanaksızlığına kesin gözüyle bakar (bu konuda Leibniz de onun yanındadır) ama onun konumu deneysel fizik tarafından yirmi yıl önce çürütülmüştür. Bu örnek gerçekçiliğin eleştirisinde sürekli baş gösteren bir öğeyi ortaya çıkarır, o da önceden tasarlanmış ve en az reddetmeye uğraştıkları kadar inanılmaz olan ontolojilerin varlığıdır. Bu konu üzerinde daha derin bir incelemede bulunmayacağız.

Söz edilmeye değer, daha yakın tarihli ve başka bir türden eleştiri ise Alain Connes ile birlikte karşılıklı konuşma biçiminde yazılan *Matière à pensée* [*Düşünülmesi Gereken Şey*] kitabında Jean-Pierre Changeux bir doğabilimci ve beyin uzmanının bakış açısını sunar. Algılama ve çeşitli işlevlerin düzenlenmesi için olan beyin yapılarının, simgelerle uğraşmak üzere bilinçli ya da bilinçsiz olarak bir ön düzenleme gösterdiklerini belirtir. Beynimiz simgeler icat eder, çünkü zaten kendisi somut simgeler, yani kendi sinyalleri aracılığıyla çalışır. Yalnızca düşünce gücü aracılığıyla yaptığı keşiflere şaşırdığında, aslında kendine hayranlık duyuyor olabilir, çünkü doğa harikası olan kendisidir. Beynimizin yarattığı ürünlerde karşılaştığımız uyum kendi düşünce makinemizin şaşırtıcı iç uyumunun bir yansıması olabilir.

Bu itiraz daha büyük bir etki de yaratabilir, çünkü tam da matematikçilerin neredeyse kutsal saydığı bir yerden vurmuştur. Ama bana öyle geliyor ki Changeux'nün eleştirel bakışında, bir doğa bilimcinin fark edeceği, matematik harikasının bir başka harikaya, yani kendi beynimizdeki harikaya indirgen-

4 *La Philosophie des mathématiques* (Paris: Presses universitaires de France, 1949).

diği eksikler var. Başka bütün canlı varlıklarda olduğu gibi, bu doğa harikası da milyarlarca yıllık bir evrimin sonucudur, ideale yakın oluşunu açıklaması gereken de budur. Ama daha fazlası da var. Eğer canlı kalabilmek için gerekli değilse, evrim hangi nedenle beyne dış dünyayla uyumlu, gerçek bir düzeni benimseyen böyle özellikler kazandırmış olabilir? Bilim bu düzeni araştırıp, sonuçta fiziğin ilkelerini keşfederken, matematiğe bir kez daha, ama şimdi artık beynin bağımsız eyleminin bir ürünü olarak değil de, gerçekle ilgili bir zorunluluk olarak atlar. Özetleyecek olursak, birtakım çemberlerin çevresinde koşmaktayız ve Changeux'nün önerdiği yanıt gerçek yanıt değil, olsa olsa, resmin bir bölümünü aydınlatmaya yarayacak projektörlerden biri olabilir.

Bu soruya yeniden dönmemiz gerekecek, ama şimdi de basit bir gözlemle başlayabiliriz: Matematiksel gerçeklik üzerindeki hiçbir ciddi tartışma fiziksel dünyanın yasalarını incelemekten bağımsız olarak yürütülemez, yani, matematiğin doğası bu yasaların doğasından ayrı tutulamaz. Bunların garip özellikleri birbiriyle yakından ilişkilidir ve hiç kimse de kâğıt üzerinde, sağduyu adı verilen ve elle dokunulamayan bir gerçeğin varlığını, bu sağduyu fizik tarafından zorlandığında, reddedemez. Bugün fen bilimlerinin felsefesinden bağımsız bir matematik felsefesi oluşturmak yanlış olur.

Önceki bölümün sonunda sıralanan (estetik, uyum, üretkenlik, fizik yasalarıyla uyumluluk gibi) matematiksel özelliklere geri dönersek, matematiksel gerçekçiliğin bunların tümünü içerdiğini görürüz. Gerçekçilik konusundaki tek, ama pek de küçük olmayan sorun insanları elle tutulmayacak, öyle elle gösterilip de "işte orada" denemeyecek bir şeyin, kısacası kendini hemen belli etmeyen ve algılanamayan bir gerçeğin varlığına inandırmaktır.

NOMİNALİZM

Her gerçekçilik, bir nominalizmle [adcılık] kaçınılmaz biçimde burun buruna gelir. Elimizdeki durumda nominalizmin en uç hali, matematiğin satrançtakine benzer şekilde, ama daha karmaşık olmak üzere, birtakım keyfi kurallara göre oynanan bir

oyun olduğunu öne sürmektir. Bu konum matematikçiler arasında değil, daha çok yukarıda sözünü ettiğimiz André Darbon gibi felsefeciler arasında bulunacaktır.

Darbon matematiği "varsayımsal-tümdengelimci" bir yapı, özgürce seçilebilen varsayımlara dayalı ve eğer istenirse, akıl yürütme kurallarını da içeren insani bir buluş olarak düşünür. İnsan bu oyunu, verilen kurallara göre varsayımlardan sonuçlar çıkararak oynar.

Elbette yukarıdaki tanım matematikle uğraşmanın çeşitli yönlerinden biriyle çok güzel uyuşur. Bununla birlikte nominalizmdeki felsefi sav matematiğin böyle bir "oyuna" indirgenmesi ve başka da bir şeyin olmamasıdır. Her ne kadar bu öğreti Leibniz'den kaynaklanıyorsa da, *monad* felsefecilerinin (felsefede minimal anlayışı, "*bölünmez töz*" kavramını destekleyenler) düşüncelerini bu kadar basit bir biçime sıkıştırmak da pek âdil olmaz. Bu konuda bir uzmanın söyleyeceklerine kulak vermekte yarar var. Jean Dieudonné'nin varlık ve matematikte tümüyle rastgele oluşturulmuş şeyler üzerine görüşü şöyledir: "Matematiksel çıkarım problemleri sanki "doğal" bir evrimi olan ve saygı göstermenin işimize geldiği canlılarmış gibi görünüyorlar. Aksiyomların yalnızca birtakım tanıdık problemleri keyfi bir biçimde genellemek üzere yaratılmış yapay sistemlerinin, nadiren dikkate değer bir sonuçları olur." Başka bir deyişle, matematiksel varsayımların kolayca ve keyfi olarak üretilebildiğini varsayan bir kuram, hemen onların gizemli yaratıcılığı ve uygulanabilme kolaylığıyla karşılaşır.

Darbon geometri ve aritmetiğin kökenlerinin somut gerçekliğe dayandığını öne sürebilir. Ama bu sav yalnızca gerçeğin neden ancak matematiğin ifade edebileceği yasalara uyduğu konusunu kanıtlanmış sayar. Sonuç olarak, keskin bir nominalizm üç temel noktada başarısızlığa uğrar. Bunlar yaratıcılık, uyum ve matematikle gerçek arasındaki bağıntıdır.

Darbon gibi nominalistler "formal" olarak adlandırılan ve üyeleri aksiyomcu yöntemin sıkı savunucuları olan okulun getirdiği sonuçlara dikkat çekerek durumlarının doğruluğunu göstermeye çalıştılar. Aslında, bu yöntemin kullanımının (ya da reddinin) matematiğin doğasıyla bir ilgisi yoktur, o yalnız-

ca hangi yöntemin daha uygun olduğuyla ilgili bir konudur. Bir gerçekçinin aksiyomcu yöntemi kullanmasını hiçbir şey engelleyemez, böyle davranan matematikçilerin elinde de sayısız örnek vardır. Matematiğin bir yöntem sorunu olduğunun ve matematiksel sonuçların geniş yelpazesi üzerine düşüncelerle, bu sonuçların uyumunun reddedildiğinin varsayılması halinde, aksiyomcu yöntem, bir bakıma, nominalizme doğru yön değiştirir. Ölümüne formalizmden yana olanların matematiğinin, tümüyle simgeler üzerinde yapılacak işlemlere indirgenebildiği ve bu anlamda bunun nominalizmle örtüştüğü doğrudur. Bununla birlikte, çok az matematikçi o kadar uzağa gitmek için hazırlıklıdır.

Formalist okulu daha yeni tartıştığımız için dikkate değer birkaç başka görüş açısından da söz edebiliriz. Bunlardan biri aksiyomcu yönteme dayalı olan ama akıl yürütme süreçlerine odaklanan mantıkçılık sayılabilir. Burada önemli olan "kanıtlar" oluşturmaktır, bunların dayalı olduğu mantık aksiyomlarının da en temel şeyler olduğu varsayılmıştır. Bunların tümüyle genel, rastgele üyelerden bağımsız ve akılcı düşüncenin her türüne rahatlıkla uygulanabilir olduğu düşünülür. Biz bunları sezgisel olarak biliyoruz ya da Hume'un belirttiği üzere, biriken gerçeklerin bir sonucu olarak ve dilin yapısını oluşturan rolleriyle biliyoruz. Bu algı en çok Russell ve Whitehead tarafından geliştirildi, zaman zaman şematik olarak da matematiğin mantığa indirgendiği söylenerek tanımlandı. Bunun anlamı mantığın, matematiğin bir bölümünün asıl temelini belirlediği bir tabanının oluşudur. Demek ki, matematik temelde gerçekçidir ama onun bir bölümü de keyfidir.

Ana mimarı Brouwer olan ve *sezgisel* okul denen tür, matematiğin ilgi alanını imgelemin akılda canlandırabilecekleriyle sınırlamak ister ve çağdaş formalizmin aşırılıkları olarak gördüğü şeylere karşı durur. Uygulamada bu bizi birtakım aksiyomları elemeye ve sağlam kalabilenlerin geçerli olduğu bölgeyi de sezgicilerin kurala uygun gördüğü yere kadar götürür. Daha çok teknik sayılabilecek bu tartışmalı konu üzerinde çok durmayacağız. Açıkça görüleceği gibi, sezgiciliğin matematiksel gerçekçiliğin bir türü, ama oldukça kendine özgü bir türü

olarak görülmesi gerekir. Bu durum, sezgiciler için, sezgi yoluyla erişilebilecek matematiksel bir gerçek bulunduğu, ama bu gerçeğin öyle her yerde olmadığı (yani, bir kez verildikten sonra kendi başına var olmadığı) söylenerek tanımlanabilir. Tersine bu, matematikçilerin yapısını giderek geliştirdikleri bir gerçektir. Başka biçimde söylemek gerekirse, ilk gerçek, kimileri daha sonra matematikçi olacak olan insanları ortaya çıkaran evrendir ve bu matematikçilerin görevi evrendeki entelektüel içeriği zenginleştirmektir.

MATEMATİKSEL SOSYOLOJİZM

Yukarıda söylenenlerden başka bir önemli durum daha vardır, ona da "bilimsel topluluk kuramı" ya da "matematiksel sosyolojizm" adı verilir. Bunu izleyenlere göre, matematik temelde, matematikçiler topluluğunun ne olduğunu belirledikleri şeydir. O nedenle, matematiksel sosyolojizm, nominalizmin bir türüdür ve bu türün ana ilgi alanı, mikro ölçekte bir topluluk, uluslararası bir birlik yaratan erkeklerin ve kadınların günlük eylemlerini aydınlığa çıkarması gerçeğinde yatar.

Özel seçilmiş üyelerden oluşan herhangi bir kulüpteki gibi, buradaki kardeşliğin yeni üyelerinin de karşılarına başlangıçta, sınavlar ve sonuçta bir tez gibi birtakım ritüeller çıkarılır. Öğretimin amacı belli bir zamanda geçerli olan öğretileri yaymak ve denetim altında tutmaktır. O yüzden, yirminci yüzyılın ortasında baskın olan inanç, Hilbert'in formülleştirdiği ve Bourbaki'nin de kitaplarında kodlanmış hale getirdiği gibi, aksiyomatikti. Kısa bir süre sonra, zafer kazanmış bir edayla ve "modern matematik" adıyla okul müfredatına girdi. O zamandan beri, bilgisayarların gelişimi matematik topluluğunun ilgilendiği şeyleri yeniden yönlendirmeye katkı sağladı ve biz de sonsuzluk kavramının çok temel bir rol oynadığı analiz gibi alanlardan, işlemlere (combinatorics) doğru bir kaymaya tanıklık ediyoruz.

Bu okuldan etkilenen Raymond Wilder ile René Thom gibi felsefeciler ve matematikçiler, matematiğin her alandaki zenginliğini, özellikle yaratıcılığı kullanarak, geleneksel nominalizmin çok ötesine geçtiler. Matematikteki yaratıcılık,

Poincaré'nin tam otobüse binerken adını Lazarus Fuchs'tan alan "Fuchs fonksiyonları" fikrinin aklına nasıl geldiğini anlatmasından beri derinlemesine analiz edildi. Bu konudaki yoğun araştırmalardan görünen odur ki, yeni düşünceler insana birdenbire çakar, yeter ki araştırmacı düşüncelerini hep o noktaya odaklamış olsun. Bu "özel bilgi kuramı" açısından, matematik topluluğu hem eleştirmen hem de yayıcı rolü üstlenir ve sonunda yeni düşüncelerin kaderiyle oynar. Üzerine düşünülmeyi hak edip etmediklerini, bir köşeye bırakılıp bırakılamayacaklarını belirler.

Kimileri matematiğin böyle bir oybirliğine indirgenmesinin onu yalnızca bir uygunluk onayı makamına dönüştürmesinden ve ancak çok az kişinin bir matematik topluluğunu bir briç kulübünden ayırt edebilecek olmasından korkar. Böyle bir eğilimi dengelemek içinse, matematiğin ayrıca bilgi edinmede de iyi bir gereç olduğu gerçeğini vurgulamakta yarar vardır. Bununla birlikte, bu durumun destekçileri arasında matematiğin başka bilimlerde kullanıldığında neden böylesine etkin olduğu konusunda ortak bir görüş yok gibidir. Yeni araştırma yollarına olan potansiyel ilgi için bir ölçüt olma dışında, bu gizem onların temel ilgi alanlarından biri değildir. Matematiğin en karakteristik özelliğinin, bu disiplini bütün öteki bilgi alanlarından ayıran yön olan ***kanıt*** kavramı olduğunu düşünürler.

Imre Lakatos kanıt konusunda hem kuramsal hem de uygulama açısından ayrıntılı ve derinlikli bir analiz yaptı. Matematiksel bir *gerçeğin*, matematikçinin ve matematik topluluğunun özel bilgi kuramında nasıl yer alacağını inceledi ve bu süreci çeşitli aşamalara ayırdı. Lakatos'a göre her şey bir varsayımla, belli bir kuramın büyük olasılıkla doğru olacağını varsayan bir varsayımla başlar. Bu varsayımı birtakım örnekler önermiş ya da matematikçinin aklına, taşıdığı güzellik nedeniyle daha fazla incelenmeyi hak eden bir düşünce tarafından taşınmış olabilir. Matematiksel literatür (o güne dek o alanda yayımlanmış makale, kitap gibi tüm yayınlar) ünlü olsun olmasın, yüzyıllardan süzülmüş pek çok varsayımı barındırır. Hem sosyolojik okul hem de Lakatos bu varsayımların nasıl ortaya çıktıklarıyla ilgilidir ama işin bu yönü daha önce değindiğimiz yaratıcılık üzerine olan düşünceye aittir.

Belli bir varsayımı kanıtlama amacının peşine tek bir matematikçi, büyük bir grup ya da birlikte veya birbirine rakip olarak çalışan pek çok grup takılabilir. Bunlardan hangisi olursa olsun, işe kanıt hakkında umut verici görünen yöntemlerin incelenmesiyle başlanır. Bu aşamayı bunların her birinin başarı kazanma olasılığının değerlendirilmesi aşaması izler. Lakatos'un "kanıt şeması" adını verdiği şey temel savın bir dizi yardımcı önerme (lemma) ya da ikincil varsayıma ayrılması işlemidir. Bu yardımcı önermelerden bir bölümü fazla güçlük çekilmeden kanıtlanabilirken, kimileri de doyurucu bir kanıt bulunana dek varsayım düzeyinde kalır.

Daha sonra kanıt şeması başlangıçta doğru olduğuna inanılan bir yardımcı önermeyi çürütecek karşı örnekleri araştırarak yeniden sınanır. Bir karşı örneğin bulunuşu ya bir yardımcı önermeyi geçersiz kılar ve kanıt şemasını baştan değerlendirmeye açar ya da bütün varsayımın toptan yanlış olduğunu göstererek konuyu kapatır. Bu ikinci durumda, bir kanıt arayışı tümüyle bir zaman kaybı sayılmaz, çünkü harcanan entelektüel çaba yeni olasılıklar önermiş ve yeni bir yaratıcı yöne götürmüş olabilir. Kimi durumlarda ise, bulunan karşı örnekler öyle abartılıdır ki, varsayımı yanlış diye reddetme yerine onun doğruluğunu sağlayacak varsayımları sınırlamak yolu seçilir (Lakatos bu yolu *canavar engelleme* olarak adlandırır). Araştırma böylece aşamalar halinde ilerler ve sonunda ilk varsayımın (ya da onun biraz değiştirilmiş halinin) doyurucu bir kanıtını üretebilir. Belki de varsayımların sorgulanması, kimi aşırı durumlarda, varsayımın dayandığı kuramdaki aksiyomların yeniden gözden geçirilmesiyle sonuçlanabilir.

Lakatos bunun tam olarak matematik topluluğunun kabul etme olasılığının yüksek olduğu bir süreç olduğunu öne sürer. Buradan da "doğru" kavramının, mutlak ve tartışılmaz bir şey olmaktan çok, bir tür üzerinde görüş birliğine varılmış şey olduğu fikrine geliyoruz. Bu bakış açısı analiz örneğiyle gösterilebilir: on sekizinci ve on dokuzuncu yüzyıllar arasında kesinlik ölçütleri önemli ölçüde keskinleştirilmiş ve daha önce andığımız aksiyomlara yeniden bir tür yama yapılmıştı. Matematiksel kanıtlar da tıpkı matematiğin kendisi gibi, zamanla olgunlaşırlar.

Yukarıdaki değerlendirmeler tümüyle geçerlidir ve gerçeği güvenilir biçimde yansıtırlar. Bunlar matematiğin yapılma şekli üzerine olan ciddi araştırmalara dayalıdırlar. Ama bununla birlikte, matematiğin doğası hakkında çok şey öğrenip öğrenmediğimizi merak ediyor olabiliriz. Bir gerçekçi buna benzer bir çalışmanın eski çağlarla Rönesans arasında haritaların ve planların gelişimi hakkında da yapılabileceği yönünde itiraz edebilir.

Gezginlerin ve denizcilerin anlattıkları öykülerden, ister karadan ister denizden olsun, yalnızca katettikleri uzaklıkların önemli olduğu, bütün başka ayrıntıların ancak bu gezginlerin "yaratıcılıklarına" bir gönderme yapacağı sonucuna varıyoruz. Alınan yollar konusunda yeterli bir görüş birliği söz konusu kıtalarla ilgili bir şeye parmak basıyor ama bunların varlığını kesinlikle kanıtlamıyor. Başka bir deyişle, matematiksel sosyolojizmin nominalist bakış açısından yapılan bir analiz bize yapıldığı varsayılan yolculukların gerçekliğini kanıtlamıyor ama bu olasılığı tümüyle de ortadan kaldırmıyor.

Bu kuram, başlangıçta sıralanmış ölçütlerle değerlendirildiğinde, ortalama denebilecek bir not alıyor. Matematik topluluğu bu bileşene karşı çok duyarlı olduğundan ve aynı şey simgesel bakışa da uygulanabileceğinden, bu estetik koşul doyurucu biçimde sağlanıyor. Matematiğin doğurganlığı kalıcıdır, tersine, büyük gizem yaratıcılığı sarmalayan psikolojizmde örtülmüştür. Son olarak, matematikle fiziksel gerçek arasındaki bağıntı daha çözülmemiş olarak durmaktadır.

MATEMATİK VE FİZİKSEL GERÇEK

Matematiğin çeşitli felsefelerini karşılaştırmada kullanılan ölçütler arasında, fizik yasalarının formülleştirilmesinde bu bilimin oynadığı temel rolü de saydık. Bu, genellikle ikinci derece sayılan, biraz olağandışı bir ölçüttür. O nedenle, buna daha yakından göz atacağız.

Çoğunlukla matematikte bilgisayarda yürütülen ya da doğrudan doğada nesnelerin kendilerinin neden olduğu sonlu bir süreç dışında herhangi bir şeyi görmeyi reddeden fizikçilerden

ve bilgisayarcılardan oluşan "aşırı sonsuzluk karşıtı" bir grup vardır. Bu, üzerinde pek durmayacağımız aşırı bir durumdur.

Tüm olası matematiksel kavramlar arasında bir seçim yapmak söz konusu olduğunda herkesin fiziksel gerçeğe başvurması elbette doğrudur. Gerçekten de, formalizmden yana olanlar, Hume tarafından da açıklandığı gibi, büyük olasılıkla mantığa yol açacak kuralların kaynağını bu gerçekte bulurlar. Sezgiden yana olanlar da onlarla tümüyle görüş birliği içindedir. Nominalist olanlar da kendi adına, Yunan geometrisinin kökenlerini doğrulama amacıyla da olsa, formal oyunlarının aşırılıklarını zaman zaman dış gerçeklerin etkisiyle biraz yumuşatırlar. Mantıkçılar sonunda, kümeler halinde gruplanabilecek fiziksel nesnelerin varlığında mantığın iki temel ayağı olan *küme kuramını* ve *doğal sayıları* görürler.

Böylece matematik üzerine çağdaş bir değerlendirme mantıkla ve nesnelerin varoluşuyla başlar, ama gerçeğin bütün başka yanlarını göz ardı eder. Pek çok matematikçi böyle bir bakış açısının, hiç tartışılamaz değilse bile, kurallara uygun olduğuna, o yüzden de matematiğin köklerinin gerçeğin yalın öğelerinde olup, zamanla özerk bir biçimde gelişeceğine inanır.

Ne yazık ki, böyle basit bir dünyaya inanarak kendilerini kandırıyor gibidirler. Belki bir yüzyıl kadar önce gerçek hâlâ çok net biçimde ayrılıp, sayılabilecek nesnelerden oluşmuş gibi görülüyordu, ama bugün işler artık bu kadar basit değil. Bugün fiziksel gerçeğin, bir nesnenin varlığı için çok temel bir gerçek olan kuantum yasaları tarafından belirlendiğini biliyoruz.

Tersine, insan birtakım çok basit nesneleri, yani elektronlar, protonlar, kuarklar gibi temel parçacıkları fiziğin yapı taşları olarak görme eğiliminde olabilir. Yine de, bu nesnelerde onlara dayalı bir küme kuramını oluşturmak için gerekli özellikler eksiktir. Bu parçacıklar kesinlikle ayırt edilemezler ve hiçbir şey bize bir elektronu bir başkasından (uzaydaki konum açısından bile) ayırma olanağını vermez. O nedenle, bunlardan birinin bir alt kümeyi tanımlayacak özelliği taşıdığı, ama bir başkasının taşımadığını söylemek olanaksızdır. Günümüz fiziği, içinden alt kümeler oluşturulabilecek bir büyük kümenin elemanları olarak düşünemeyeceğimiz nesnelere dayalıdır.

"Öyleyse nedir?" diye sorulabilir. İnsan ölçeğinde böyle sakıncalardan uzak, ağaç, taş, kibrit gibi ve matematiğin abc'sini incelerken gönderme yapabileceğim binlerce başka nesnenin bulunduğunu görebiliyorum. Bu, deneyciliğin dayattığı eski ve saygın bir bakış açısıdır. Ancak, burada öncekinden biraz daha ince ama en az onun kadar gerçek bir sorun da vardır. Eğer, kuantum fiziği yasalarının geçerli olduğu bir dünyada bu nesnelerin doğasını anlamaya çalışırken onların doyurucu bir tanımını yapmaya girişirsek, o zaman matematiksel karmaşıklığın beklenen sırasında, beklenmedik bir tersine dönüşle karşılaşırız. Nesnelerin varlığını aktaran fizik yasaları ancak küme kuramının abc'sinden hayli uzaktaki en ince analiz yöntemlerini kullanarak ifade edilebilir.[5] Başka bir deyişle, matematik için uygun bir başlangıç noktası gibi görünmüş olan şey şimdi, bilginin bugünkü durumunda, madde kuramı açısından özellikle uzak bir noktadır. Fiziksel gerçeğin hiçbir yerinde matematik için başlangıç konumu olarak görülüp de demir atılacak bir nokta bulunmamaktadır.

Karamsarlığın bizi yenmesine izin verip de bitmek bilmez sorgulamalarımızın sonucunun yalnızca bilginin yok olması demek olduğunu mu düşünmeliyiz? Öyle olduğuna inanmıyoruz. Ama bu da daha ince eleyip sık dokumamız ve her şeyden çok da matematiği bağımsız bir alan olarak değil de her şeyi içeren bilgi felsefesinin bir parçası olarak görmemiz gerektiği konusunda bir göstergedir.

[5] Bu gözlem 10 ve 12. Bölümde yer alacak olan ve büyük ölçekli cisimlerin kuantum yasalarından çıkarılmış klasik özellikleriyle ilgili tartışmaya gönderme yapıyor.

VII

FORMAL FİZİK

Klasik fiziğin doğası 19. yüzyılın sonunda Maxwell'in çalışmalarıyla derin değişimlere uğradı. Konum, hız, kuvvet gibi eski görsel kavramların, matematiğin o zamana değin bunların anlamlarını değiştirmeksizin giderek artan bir kesinlik sağladığı öncü rolleri artık sona eriyordu. Bu duru görüşün bir bölümünün yerini şimdi artık çok soyut kavramlar, örneğin matematiksel ifadeleri hiç de basit bir sezgiden gelmiş olmayıp, çok açık olan elektrik alanıyla, manyetik alan almıştı. Sonuç olarak, bu yeni fiziğin yasaları bu büyüklükler arasında matematiksel bağıntılar oluşturdu, yasaların bir bölümü bağlantıları tanımlarken, geri kalanları da dinamiği, yani bunların zaman içinde nasıl geliştiklerini ifade ediyordu. Eğer fizikçinin aklı hâlâ kavramların sezgisel temsilini olabildiğince korumaya çalışıyorsa, fiziksel kavramların ve yasaların matematiksel biçiminin tüm öteki anlayış biçimlerinin önüne geçeceği yeni bir alan doğuyor demektir.

Bu andan sonra, fiziğin tümü genellikle sağduyumuza açıkça karşı çıkmadığı zamanlarda sezgisel yorumlara geçit vermeyen formalizme daha da çok uyan ilkeler üzerinde duracaktır. Bununla birlikte, bu şaşırtıcı ve kimi açılardan ürkütücü olan gelişmede, birkaç derin akıl ya da hiç kısıtlanmamış ve uçuk düşlerini nesnelerin doğal basitliğine yeğ tutan birkaç metafizikçinin yol göstermesiyle bir komplo sonucu çıkarmak yanlış olur. Aslında duyularımızı çürütecekmiş gibi görünen kavramlara güç katmak, yaşam vermek için bir çaba harcan-

madı, eğer bugün bilgilerimizin merkezinde yıkılmaz sağlamlıkta ve geçerli iseler, bunun nedeni kimsenin bunları tahttan indirememesidir.

Soyutlanma yarışında fiziğin daha sıkı matematik giysilerine sarınmak uğruna kendisini gerçeklikten kopardığına inanmak da aynı ölçüde yanlış olurdu. İşin doğrusu, ilgi alanı (en uç sınırlar dışında) çözülmemiş hiçbir gizem kalmayıncaya dek neredeyse sınır tanımadan yayılan fizik bu hasatta iyi meyve topladı. Aynı zamanda, somut gerçekler daha ayrıntılı anlaşılmaya başlandı ve teknik uygulamalar çeşitlendi. Sezgi tümüyle dışlanmadı ve fizikteki birçok fikir için esin kaynağı olmakta hâlâ etkin bir rol oynuyor. Yalnızca kaynakları kuruttu ama artık sonuna geldi. Bu serüvenin ana bölümleri biliniyor ve söz konusu bölümler fazla da değil.

Serüvenimiz Einstein tarafından 1905 yılında özel görelilik kuramıyla başlar. Bu "fantastik" kurama göre uzay ve zaman, herkesin aklındaki, Newton tarafından bir postüla olarak ortaya atılmış olan mutlaklıklarını yitirirler. Uzaklık ve zamanın geçişi onları ölçen gözlemcinin hareketine bağlı olur. Bundan kısa bir süre sonra da, Newton'ın çözülmeden bıraktığı büyük soruya yanıt veren Einstein'ın göreli kütleçekim kuramı gelir. Buna göre, kütleçekim kuvveti belli bir uzaklığa anında etki etmez, etkisi ışık hızında ilerler. Bu önemli zafer de büyük bir bulmaca yaratır, uzay ve zaman birbiriyle yalnızca hareketin sonucu olarak ilişkilendirilmez, ikisi birlikte yeni bir varlığı da oluştururlar, ona da "uzay-zaman" denir ve bizim sezgimize pek uygun değildir. Hatta artık bir de eğrilik kazanmışlardır. Yalnızca matematik bu yeni nesne için bir tanımlama getirebilir. Sağduyumuz, aptalca olmasa da, bu konuda işimize yaramaz.

Bizde yarattıkları hayranlığa karşın, uzay ve zamanın hiç tam olarak anlaşılmadıkları gerçeğini kabul etmekle yetinebilirdik, bu yüzden de bunlar üzerinde düşünmek bir tür metafizik sayılır. Ayrıca kütleçekimin kuramca öngörülen yeni etkileri çok küçük olduğundan, kısaca bir yandan madde için (hâlâ görüp, dokunabildiğimiz madde) net bir görüşü korurken, öte yandan da fiziğin dış sınırlarındaki gizemli bir bölgenin var-

lığını tanıyabilirdik. Ama bunu yaparken, en iyi olduğu kadar, en kötünün de daha önümüze gelmediği gerçeğine gözlerimizi kapamış olurduk.

En iyi de, en kötü de zaman zaman şeytani de olabilen eşsiz kuantum fiziğidir. Ama bu taze konuyu kısa zamanda tüketmesek iyi olur, çünkü uzun uzadıya inceleme fırsatımız olacak. Yine de, bu konunun nerelere dek uzandığını hemen söyleyebiliriz. İşte bu konunun öne sürdüğü ilk sav: Maddenin her türü ile ışınımın her biçimi çok çok küçük parçacıklardan, elektronlardan, protonlardan, nötronlardan, fotonlardan ve birkaç başka parçacıktan oluşur. Kuantum mekaniği bu parçacıklar için geçerli olan fizik yasalarının ifadesidir.

O nedenle belki yalnızca uzay ve zamanı saymazsak, fiziğin tam da özüdür, en azından kâğıt üzerinde olsa da, fiziğin geri kalanının kendisinden türetilebileceği evrensel bir kuram, her şeyin kuramıdır. Bu yüzden kuantum mekaniği fiziğin yoğun bir şekilde birkaç yasaya indirgenmiş halidir ve bu nedenle de harika olduğu söylenir. Birazdan onun şeytani de olabileceğini ama yeterince tanımadan hakkında kötü konuşmamak gerektiğini göreceğiz.

Bütün bunları söyledikten sonra, bu kuramları ayrıntılı olarak tartışmaya olanak kalmıyor ve biz de bilimle yalnızca yüzeysel olarak ilgilenmek isteyenler için gerekli olan temel şeylerle sınırlı kalacağız. Özel görelilik ve göreli kütleçekim kuramlarına da kısaca değineceğiz. Bunu konunun özlü içeriğini hak etmediği biçimde değerlendirmek olarak değil de, kuantum fiziğini entelektüel iştahımızı doyurmak için yeterli bir besin olarak yorumlamak daha uygun olacak.

Daha önce yaptığımız gibi, bu soruları tarihin akışı üzerinden incelemeyi sürdüreceğiz. Ne yazık ki, tarih tüm yönleriyle izlemek için fazla zengin ve karmaşık, serüvenlerle, coşkunluklarla, pişmanlıklarla, atılan geri adımlarla, büyük sürprizlerle dolu. Bu nedenle olabildiğince sadeleştirmeye çalışacağız. Bu şaşırtıcı bilimlerin sınırlarını oluşturduktan sonra, her ne kadar matematiksel açıdan karmaşık olsalar da, sonuçlarını daha iyi kavramak için onlardan birtakım temel ilkeler çıkarmaya uğraşacağız. O yüzden de bugün bilgi kuramının temel-

lerini attığı, etkileri uzun erimli olan kimi felsefi problemleri tam olarak göreceğiz.

GÖRELİLİK

19. yüzyıl sonlarındaki elektrodinamik, formal yönlerine karşın, geçmişten gelen ve biri güçlü, öteki basit olan, ayrıca da ikisi birlikte bir saplantıya götüren iki düşünceyi elinde tutmuştu. Güçlü olan düşünce uzay ve zamanın mutlaklığıydı. Basit olansa, ışığın titreşimsel olan yapısının ilerleyebilmek için maddesel bir ortam, "esir (ya da eter)" diye adlandırılan ve titreşen bir şey gerektirdiğinin varsayılmasıydı. Saplantıysa, esirin varlığının bir deney aracılığıyla kanıtlanmasıydı.

Günler geceler boyu süren çalışmaların, kuramların hatıraları ve bu esir konusunun neden olduğu yanlış başlangıçlar bugün bir ölçüde geçmiştir. Yine de bu, bilim tarihinde yalnızca konunun uzmanlarınca iyi bilinen, önemli bir bölümdür. İşte ana başlıklar: Esirin ışık geçerken titreşen, ışığın yayıldığı her yerde olması gereken bir tür madde olduğunu ve özellikle yıldızlardan gelen ışığın içinden geçtiği yıldızlararası boşluğu doldurması gerektiğini varsaymak doğaldı. O nedenle bu, Newton'ın önerdiği mutlak uzayın maddesel hale gelmesi oluyordu.

Böyle bir düşünce yalnızca bir spekülasyon değildi, aynı zamanda birtakım mantıklı temellere de dayanıyordu. Önce hızların nasıl birleştirileceği konusu vardı. Mutlak bir uzay ve zamanın varlığı, bir cismin hızının, gözlemcinin kendisinin de mutlak uzaya göre hareket ettiği durumda, basit bir yasayla bulunabileceğini gösteriyordu. Böylece, eğer bir ışık sinyali mutlak uzayda belli bir hızda yayılıyorsa, hareketli bir gözlemcinin ışığın hız vektörü ile kendi hız vektörünün farkını algılayabilmesi gerekir. Işığın gözlenen hızı da bu yüzden ölçümün yapıldığı deney ortamının hızından etkilenmelidir, çünkü bu deney ortamı dünya tarafından taşınmaktadır ve dünya da güneş çevresinde dönmektedir. Maxwell'in denklemleri ise, ışık hızı için c ile gösterilen ve çok kesin biçimde tanımlanan bir değer belirlemiştir ve bunun başka bir seçeneği de yoktur. O zaman da Maxwell'in denklemlerinin fizik yasalarını, adına

esir denen ve mutlak uzaya göre hareketsiz olduğu varsayılan çok özel bir ortamda temsil ettiklerini düşünmek mantıklı idi.

Hızların ifade ediliş biçimi için bu son söylediğimiz şey bu varsayımın, temelde ışığın hızını yeterince duyarlı olarak ölçerek, sınanabileceğini gösteriyor. Dünyanın güneşe göre olan hız vektörü her altı ayda bir yön değiştirdiği için bir farkın gözlenebilmesi gerekir. Hatta altı ay beklemek bile gerekmez, çünkü dünyanın herhangi bir andaki hızının mutlak uzaya göre zaten belli bir yönü vardır ve o nedenle, ışık hızının gözlenen değerinin ışığın bu yönde mi başka bir yönde mi (örneğin ilkine dik) olduğuna göre değişmesi gerekir. Ama ne yazık ki bir sorun vardır: Dünyanın hızının ışığın hızına oranı olan *v/c* kesri çok küçüktür, neredeyse on binde bir gibidir ve o zaman kullanılan ölçüm aygıtları bu kesinliği ölçememektedir.

Bu demektir ki, deneysel olarak sezilebilecek başka etkilerin de araştırılması gerekir. Girişim konusu bu konuda umut veren bir alandı, çünkü girişim saçakları ışığın hızındaki beklenen oynamaları fazlasıyla büyütebilme olanağı sağlıyordu. Somut konuşmak gerekirse, beklenen etki, zaten çok küçük olan *v/c* kesrinin karesiyle orantılıydı, yani sonuçta *yüz milyonda bir* düzeyindeydi. Ancak, yeterince geniş ve sabit durabilen bir girişim ölçer kullanılması koşuluyla, beklenen büyütme etkiyi algılanabilir hale getirecekti. Amerikalı fizikçi Albert Michelson'ın girişim ölçerlerin tasarımında ve çalışmasında Edward Morley ile birlikte sağladığı teknik gelişmeler sayesinde, "esir rüzgârı" sonunda 1887 yılında ölçüldü.

Sonuç beklediklerinden tümüyle farklıydı. Tüm kanıtlar aynı sonucu gösteriyordu: laboratuarın hızının, ışığın ölçülen hızı üzerinde hiç etkisi yoktu. Daha önce kabul edilen birçok düşünce bu buluşla geçerliliğini yitirmişti ve her koldan bu duruma bir açıklama aranıyordu. 1893 yılında İrlandalı George Fitzgerald hem dikkat çekici hem de kafa karıştıran bir açıklamayla ortaya çıktı: Bunun nedeni acaba maddesel cisimlerin, örneğin standart metre olarak kullanılan bir çelik metrenin büyüklüğünün, esire göre olan hareketin etkisiyle değişmesi olabilir miydi? O zaman da, bir metre çubuğunun uzunluğu, boyu yönünde gitmesi halinde kısalıp, boyuna dik yönde git-

mesi halinde değişmeyecekti. Hatta Fitzgerald böyle küçük değişimler için bir formül bile önerdi. Maddelerdeki elektrodinamik kuramı üzerinde bir kitap yazmış olan Hollandalı fizikçi Hendrik Lorentz bu olayı uzunluk standardı olarak kullanılan (ve başka her türdeki) maddesel cisimlerdeki atomlar arası kuvvetin değişimine bağladı. 1903 yılında söz konusu etkiye atomlar içindeki periyodik devinimdeki, daha büyük ölçekte ise, saatlerin hareketindeki bir değişimin eşlik etmesi gerektiğini gösterdi. Birbirine doğru hareket eden iki gözlemci kendi ölçümlerini karşılaştırınca, her iki etki uzunluk ve zamandaki değişimleri veren ünlü Lorentz dönüşümünde birleştirildi.

1905 yılında Albert Einstein eskinin üzerine sünger çekecek kavramsal bir gözden geçirme önerdi. Fitzgerald'ın büzüşmesinin nedeninin, esire göre hareket olduğunu varsaymak yerine, bu büzüşmelerin kökeninde, uzay ve zamanın doğasını gördü. Aynı standart metrenin boyu, onu elinde tutan kişi için aynıdır, saatin akrep ve yelkovanı da o saati takım elbisesinin cebinde taşıyan kişi için aynı aralıklarla atar (1905 yılında gözlemcilerin erkek, giysilerinin de ceket olacağı varsayılıyordu). Bu gözlemci uzayı metre çubuğuyla, zamanı da saatiyle ölçer. İlkine göre sabit bir hızla yol alan ikinci bir gözlemci de böyle yapabilir, ama ikisinin aynı olay için yaptıkları ölçümlerin tıpatıp aynı olmaları gerekmez. Başka bir deyişle, ne mutlak bir uzay ne de mutlak bir zaman vardır; yalnızca gözlemcinin hareketine bağlı olan uzunluk ve zaman ölçümleri söz konusudur. İki farklı gözlemci tarafından alınan ölçümlerin birbiriyle ilişkisi yalnızca birbirlerine göre olan hızlarıyla, yani *göreli* hızlarıyla ilgilidir.

Bunu izleyen kavramsal devrim, Kant'ın uzay ve zaman konusundaki sentetik *a priori* yargıları ile karşılaştırıldığında daha iyi değerlendirilebilir. Dilersek, bunların bizim dünyayı algılama biçimimizi şekillendiren, içimizden doğan düşünceler olduğunu varsaymayı sürdürebiliriz. Ama bu türdeki düşüncelerin, söz konusu tüm hareketlerin ışık hızına göre çok düşük olması dışında (ki bu da en yaygın durumdur) doğayla tam örtüşmediğini de kabul etmek gerekir. Uzay ve zaman her zaman akıl gözümüzde, yaklaşık da olsa, temsilini bulabilir

ama tek güvenilir tanım gözlemler arasındaki bağlantıların matematiksel olarak formüllere dökülmüş halidir. İlk şaşkınlığımızı yenebilsek de, cebir dışında başka hiçbir biçimde tanımlanamaz. Göreliliğin ilerlemesiyle, bilgi kuramı tek özgün formülasyonu matematiksel bir biçim içeren kavramlara dayalı, sezgisel bir temsile oturmaktan sonsuza dek çıktı.

Ama acaba Einstein'ın uzay ve zaman üzerine düşünceleri genelde onay görmek için yeterince inandırıcı mıydı? Lorentz'in kuşkusuz çok daha klasik olan önerileriyle karşılaştırılınca fazla radikal görünüyorlardı. O nedenle onay yukarıdaki genel değerlendirmelerden değil, bunların dinamiğe uygulanmasından gelecekti. Newton'ın dinamik üzerine ortaya attığı ilkeler yeni kuramla hiç uyuşmuyordu. Bunları uzlaştırmak için momentum ve kinetik enerjinin hareket eden cisimlerin hızının bir fonksiyonu olarak ifade ediliş biçimlerini gözden geçirmek gerekliydi. Böylece, Newton'ın denklemlerinin, ancak söz konusu hızların ışık hızına yaklaşmaları durumunda yeni ve eski formüllerin birbirinden ayrılacağı bir biçimde yeniden yazılmaları gerekti. Einstein'ın olağanüstü bir başarıyla yaptığı da tam budur.Yani, yalnızca kütleden kaynaklanan ve ünlü $E = mc^2$ formülüyle verilen bir enerji vardır.

Kütleden kaynaklanan bu enerjinin varlığı daha sonra kendini çekirdekteki protonlar ve nötronlar arasındaki bağlanma enerjisinin çok iyi biçimde ölçülebilen bir kütle eksilmesine neden olduğu çekirdek fiziğinde gösterecektir. Elbette bu yalnızca görelilik kuramının deneysel olarak doğrulanması değildir, bununla ilgili başka pek çok şey daha bilinmektedir. Bununla birlikte, onlar da birer uzmanlık alanı olduğundan, burada onlara değinmeyeceğiz. Şimdi olanlara sırayla bakalım.

GÖRELİ KÜTLEÇEKİMİ KURAMI

Elde ettiği başarıya karşın, görelilik kuramı iki önemli problemi çözümsüz bıraktı. Bunlardan biri, gözlemcilerden birinin düzgün hızla gitmemesi durumunda kuramın nasıl uygulanacağı, ötekiyse, Newton'ın kütleçekim kuramının yeni bakış açısında nereye oturtulacağıydı.

Einstein'ın ilk kuramında mutlak uzay ve zamandan izler

kalmıştı. Bu kuramda kullanılan Lorentz dönüşümleri yalnızca iki gözlemcinin düzgün (değişmeyen) hızlarla yol almaları, yani birbirlerine göre ivmelerinin *olmaması* durumunda geçerliydi. Şimdi ise, Newton'ın dinamik ilkelerinin, en yalın halleriyle, yalnızca uzay ve zamanla sınırlı olmadıkları anlaşılmıştır. Aslında, bunlar mutlak uzaya göre düzgün hızla yol alan her gözlem çerçevesinde (ya da ölçümlerin yapıldığı laboratuar ortamında) aynı biçimi korurlar. Bu özel gözlem çerçevelerine Galileo çerçevesi adı verilir, çünkü bu çerçevelerde, "*üzerinde net bir kuvvet etkimeyen herhangi bir cisim düz bir doğru üzerinde ve sabit bir hızla ilerler*" diye ifade edilen Galileo'nun eylemsizlik ilkesi geçerli olur.

Özel görelilik kuramı hâlâ Galileo'nun gözlem çerçevesi kavramını korumaktadır. Dinamiğin Einstein tarafından yeni ve basit bir formüle sokulması ancak bu tür çerçevelerde söz konusudur. Dolayısıyla, mutlak bir uzay ya da zaman olmasa bile bu özelliği taşıyan belli bir gözlem çerçevesi sistemi seçilir. George Orwell'den alıntılarsak, olası tüm gözlem çerçevelerinden ya da uzay ve zamanı tanımlamanın biçimlerinden kimileri, öbürlerinden daha eşitti. Bu ise üzerinde daha fazla düşünmeyi gerektiren bir konuydu.

Öteki konuysa kütleçekimle ilgiliydi. Newton'ın kendisi de kütleçekim kuvvetinin uzaktan etki etmesi konusunda şaşkındı.[1] Bu güçlük, herhangi bir fiziksel etkinin ışık hızından daha büyük hızla ilerlemesine izin vermeyen yeni göreli kuramda daha da büyüdü. Nedeni şuydu: Kütleçekimsel bir etkiye yol açan bir A nedeni olduğunu varsayalım, örneğin güneşten belli bir kütle atılmış olsun ve bu da bir gözlemci tarafından algılanmış olsun. A nedeni, belli bir uzaklıkta B gibi bir sonuç yaratacak, diyelim dünya üzerinde bir gelgit dalgasına yol açacak. Gözlemci bu etkinin olayın nedeniyle aynı anda olduğu sonucuna varabilir mi? Kuşkusuz hayır, çünkü Lorentz dönüşümlerinin bir sonucu olarak, ilk gözlemciye göre hareket eden başka gözlemcilerin *nedeni sonuçtan önce görecekleri*

[1] Aslında, Newton ve çağdaşları her şeyden önce kütleçekimin boşluk içinde nasıl yayılabildiğine şaşırmışlardı, anında nasıl çok uzaklara iletilebilmesi sorusu daha sonra gündeme geldi.

kanıtlanabilir. Uzaktan etkileşmedeki güçlükler artık yalnızca metafizik anlamda can sıkıcı olmaktan çıkıp, iç çelişkilere de yol açmaya başlıyorlar. Tam da bu nedenle, yarattıkları sorun analize açık hale geliyor ve Einstein'ın 1911 ile 1916 yılları arasında çözmeye girişeceği şey de tam budur.

Güç olduğu açıkça belli olan iki soruyla uğraşması gerekir: Biri, dinamik yasalarını herhangi bir gözlem çerçevesinde, özellikle de ivmesi sıfır olmayan bir çerçevede yeniden formülleştirmek, öteki de kuvvetlerin belli bir uzaklığa anında (hiç zaman geçirmeden) etki edemeyeceği bir kütleçekim kuramı bulmak.

Bu iki soru, onun da kısa sürede anlayacağı gibi, birbiriyle ilişkilidir. İvmenin kendini iç kuvvetler aracılığıyla gösterdiğini biliyoruz. Her ne kadar ortada kuvveti uygulayan bir "aracı" görünmese de, lunaparktaki alçalıp yükselen oyuncaklara bindiğimizde gerçekten karnımızda hissettiğimiz ya da sıkı bir ivmelenme sürecinde pilotun deneyimlediği şeyden söz ediyoruz. Ayrıca bunun etkisini hızlı bir asansörde de algılayabiliriz. Einstein'ın gözlemine göre, (dışarısının görünmediği) bir asansörün içinde olan bir kişinin hissettiği ağırlığın asansörün yukarı doğru ivmelenmesinden mi, yoksa aşağı doğru etkiyen bildiğimiz kütleçekimden mi ya da her ikisinin bir bileşimi mi olduğunu ayırt etme olanağı yoktur. Aracın içinde yapılacak hiçbir deney bunun doğru yanıtını veremez. Bunun nedeni daha önce Newton tarafından belirtilen garip bir uzlaşıda bulunabilir: Bu da eylemsizliğe yol açan kütlenin (yani ivmeye karşı gösterilen tepki) kütleçekimsel kütleyle (yani başka cisimlerin çekim kuvvetini belirleyen) denkliğiydi.

Böylece, dinamik yasalarını keyfi bir gözlem çerçevesinde yeniden formülleştirerek kütleçekim yasalarının göreli ortamda hangi biçimi alacaklarını anlayacağımızı umabiliriz. Bu aşamada Einstein çok temel bir gözlem yapar, uzay ve zamanın göreli özelliklerinden dinamiğe giden yolu ters yönde izler. Bu kez, ivmelenen bir gözlem çerçevesindeki uzayın geometrisini, o sistemde göründüğü haliyle inceleyerek dinamik yasalarını açıklığa kavuşturur.

Verdiği bu örnek burada sunmak için uygundur. Göreliliğin

yaratacağı etkileri hissedeceğimiz kadar hızlı dönen bir atlı karıncaya bindiğimizi varsayalım. O zaman, (tam eksene oturmamamız koşuluyla) yaratacağı iç kuvvet yalnızca merkezkaç kuvvet olan bir ivmeyi deneyimleriz. Ama bütün olan biten bu mudur? Atlı karıncanın dairesel düzleminin yarıçapını bir cetvel yardımıyla ölçelim. Hız her yerde yarıçapa dik olduğundan (yani çembere teğet) bizim cetvel Fitzgerald büzüşmesine uğramaz ve biz de böylece yarıçap için bir değer buluruz. Şimdi de platformun çevresini, pek çok (küçük) cetveli bu çevre boyunca arka arkaya koyarak ölçelim. Bu kez de hız her yerde cetvellere paralel olacak ve göreli bir büzüşmeye uğrayacaktır. Çevrenin uzunluğunu yarıçapın boyuna bölünce, beklendiği gibi 2π sonucunu değil, düzlemin yarıçapına ve çevre üzerindeki noktaların dönüş hızına bağlı bir değeri bulacağız. Şaşırmak için çok nedenimiz var. Bizim uzay artık bir Öklit uzayı değil!

Böylece ivmelenen bir gözlem çerçevesindeki uzay geometrisi artık Öklit geometrisi gibi görünmez olur. Buna benzer değerlendirmeler zamanın geçişinin saatler tarafından ölçümünün de ivmeden etkileneceğini gösterir. Biri yukarıda sözünü ettiğimiz dönen platformun ortasına, öteki çevresine yerleştirilen iki tıpatıp özdeş saatin ölçeceği zaman değerleri de aynı olmayacaktır.

Peki ama Öklit uzayı olmayan bir uzay nasıl görünür? Eğer iki boyutlu bir uzay söz konusuysa, yanıt kolaydır. Örneğin, bir düzlemi bir küreyle ya da bir patatesin yüzeyiyle karşılaştıralım. Düzlem bir Öklit uzayıdır, üzerindeki herhangi iki nokta arasında olabilecek en kısa yol, bunları birleştiren bir doğru parçasıdır ve buradaki bir üçgenin iç açıları toplamı derece olarak 180^0, radyan cinsinden de π radyandır. Patatesin yüzeyinde yaşayan iki boyutlu yaratıklar burada bir noktadan ötekine olan en kısa yolun bir "doğru parçası" olduğu konusunda görüş birliğine varabilirler. Matematikçiler de buna "jeodezik" adını veriyorlar (bu terimin başı bize *dünya* üzerindeki iki noktayı çağrıştırıyor). Bizim sanal yaratıklar kısa zamanda Öklitçi bir uzayda yaşamadıklarını, bir kürenin ya da patatesin yüzeyindeki bir üçgenin iç açılarının toplamının 180 derece olmamasından anlayabilirler. Küre örneğinden de

anlaşılacağı üzere, uzayın bir *eğriliği* vardır.

Burada elbette patatesin Öklitçi olan üç boyutlu uzayda bulunduğunu söyleyebilirsiniz. Gerçekten de öyle, ama ya göreli atlı karıncada olduğu gibi, bizim şu üç boyutlu uzayımızın da Öklitçi olmadığını keşfedersek ne olacak? O zaman onun dört, beş ya da daha fazla boyutlu sanal bir uzaya gömülmüş olduğunu mu varsayacağız? Öklit'e olan saygı ve hayranlığımız oraya kadar uzamalı mıdır?

Einstein'ı izlemek ve bir gözlemcinin algılayıp ölçebileceği, örneğin üç boyutlu ama Öklitçi olmayan bir uzayda karar kılmak çok daha basittir. Gauss'tan başlayarak matematikçiler bize onun daha yüksek boyutlu bir Öklit uzayına gömüldüğünü varsaymadan nasıl tanımlanacağını öğrettiler ve onların yöntemlerini uygulamak da yeterlidir. Böylece, bir kez daha, yalnızca matematiğin açıklayabileceği ve sezgiye kafa tutabilecek kavramların göz önüne alınmaları gerekir.

İzlenecek yol şöyle görülebilir: Önce uzay ve zamanla ilgili değerlendirmelerin tek bir formal nesnede, dört boyutlu "*uzay-zaman*"* adı altında birleştirilmeleri gerekir. Bu nesne eğriliği gösteren soyut bir geometri uzayı olarak düşünülecek. Sonuç olarak fizik yasalarını ifade etmek için Galileo'nun gözlem çerçevesine başvurmak artık gerekmeyecek. Şimdi rastgele bir gözlem çerçevesinde yazılabilirler, böylece Newton'dan kalan son kabuktan da kurtulabilirler. Eylemsizlik ilkesi artık Galileo çerçevelerini yeğlemez ve kütleçekim etkisini de içerir, *kütleçekim kuvvetinin* etki ettiği bir cisim uzay-zamanda bir jeodezikle tanımlanır.

Geriye Newton'ın kütleçekim kuvvetinin yerine koyacak bir şey bulmak kalıyor. Yeni eylemsizlik ilkesi kütleçekimi de içerdiğinden kuvvetten artık söz etmemiz gerekmez, çünkü uzay-zamanın jeodeziklerini doğru yerleştirebilmek yeterli oluyor. Bu da geometrisini bilmemiz halinde sağlanabilir, oradan da eğriliği öğrenilebilir. Bütün bir göreli kütleçekim kuramı bu yüzden uzay-zamanın eğriliğinin, içerdiği kütle (ya da daha doğrusu enerji) aracılığıyla nasıl belirleneceğini bulmaya indirgenmektedir. Ama hangi denklemlere göre?

Gerekli matematiksel yöntemler fizikçiler tarafından daha

bilinmediği için, bu son engel Einstein'ın uzunca bir zaman daha çaba harcamasına neden olur. Sonunda başarılı olur, çalışmalarıyla ilgilenmesini sağladığı Hilbert de aynı sıralarda bunu başarmıştır. Böylece burada tanımlamanın pek de uygun olmayacağı Einstein denklemleri de gün yüzünü görmüş olurlar. Bu bakımdan Einstein'ın imajıyla ilgili bir anı vardır: Genel kamuoyu için O bir matematikçiydi, oysa her şeyden önce saygın görüşleri olan ve nasıl kaçınılacağını iyi bildiği karmaşık hesaplamalara yönelmeyen bir fizikçiydi. Hilbert onun için "Bay Einstein fiziği geometriyle yer değiştirmek istiyor ama Göttingen caddelerindeki herkes geometriyi ondan daha iyi bilir" dememiş miydi? Buradaki "herkes" açıkça Hilbert'in gerçekten de sayıca fazla olan öğrencileri demek oluyordu. Bu tatsız sayılacak küçük öykü bizim göreli kütleçekim kuramının formalizmini geliştirememizin, Einstein'ın kendisi için zor bir deneyim olduğu sonradan anlaşılan kuramı sözlere dökmeye çalışan biri için bizim özürümüz mü olacak? Ayrıca, bu kuramın kara deliklere ya da sonunda evrenbilim olarak tanınan bir bilime, yani uzay-zamanın tümünü ya da Evrenin tarihini içeren bir bilime uygulanmasından söz etmekten kaçınacağız. Enerjimizi fiziğin son formal kuramı olan, ilgi alanıysa bilgi kuramındakinden daha kapsamlı ve sonuçları da onunkilerden daha önemli olan kuantum mekaniği için saklasak iyi olacak.

ATOMUN UZAK GEÇMİŞİ

Şimdi de ilgimizi maddenin ve ışınımın mikroskobik bileşenlerine, ilk olarak da atomlara yöneltiyoruz. Atomlar doğada en baştan beri ya da en azından Evrenin doğumundan bir milyon yıl sonrasından bu yana vardırlar. Bizim etimiz, kemiğimiz olmaları için hazırlandıkları şu milyarlarca yılı bırakalım da bir kez daha Yunan aydınlanmasıyla başlayalım. Sokrates'ten bir kuşak kadar önce yaşayan ve hakkında hemen hemen hiçbir şey bilmediğimiz Leukippos'un aklında atomlar için garip bir tasarı vardı. Önce onun müritlerinden olan Demokritos, daha sonra Epikuros, sonunda da konuları basitleştirmede usta olan Lucretius izleyecek kuşakların unutamayacağı sonuçlar çıkardılar. Ama bunu kısa keselim ve hemen Descartes'ın

atomlarına bir bakış atalım. Bunlar birbirine kanca şeklinde geçmek üzere pençe gibiydiler. Buraya dek gerçekten yeni bir şey yok ama işte daha ilginç bir şey: On sekizinci yüzyılda Daniel Bernoulli gazların atomlardan oluşması halinde basıncın bunların kabın duvarlarıyla çarpışmalarından kaynaklanması gerektiğini, bunun da basıncın neden sıcaklığa bağlı olmadığını açıklayacağını gösterir. Bunun olması için atomların botanikçi Robert Brown'ın mikroskopta gördüğü bir damla suda toz taneciklerinin sürekli kımıldadıklarını gözlemesine benzer biçimde, bir tür kesintisiz devinimle (devr-i daim) canlandırılmaları gerekir. Ama ilerleyelim.

On dokuzuncu yüzyıl boyunca atom fikri, özellikle kimyacıların çalışmaları sayesinde yavaşça şekillenir. Bir önceki yüzyılda basit ve karmaşık cisimler arasındaki ayrım belirlenmişti bile. O zaman, Dalton ve Gay-Lussac kimyasal tepkimelerde her zaman doğal sayıların belli oranları biçimindeki basit cisimlerin (ya da gaz hacimlerinin) söz konusu olduğunu keşfederler. Bu ise basit cisimlerin tek türdeki atomlardan, karmaşık olanlarınsa pek çok atomdan oluşan moleküllerden meydana geldiği varsayılarak açıklanabilir. Böylece, bu düşünce yavaş ama güvenli bir şekilde sağlamlaştı, kimi zaman birden yükseldi, kimi zamansa sıkı bir dirençle karşılaştı. Atom kuramının destekçileri elektroliz yasalarının bulunuşuyla, sonra da organik kimyadaki çeşitli olguların açıklanmasıyla ikna oldular. Moleküllerin uzaysal dizilimi anlaşılmaya başlıyordu ama kimi güç problemler hâlâ duruyordu. Atomların bir yandan maddenin sıkıştırılmasına çalışılırken birbirlerini itmeleri, öte yandan moleküller oluşturmak üzere bir araya gelmeleri gerçeğini nasıl açıklamalı? Direnç olarak bilinen başka garip özellikler de kuşkucuların eleştirilerine gaz verdi.

Yüzyılın sonlarına doğru atomların maddenin en küçük hali olmadığının anlaşılmasıyla yeni güçlükler ortaya çıktı. 1897 yılında J. J. Thomson çok hafif ve eksi yüklü bir parçacığı keşfetti ve adına "elektron" dedi. Bu elektronlar bir *x*-ışını tüpünün katodundan yayılıyorlar ve öteki uçtan, yani anottan da bunlardan çok daha ağır olan ve adına iyon denen başka parçacıklar çıkıyordu. Acaba ("bölünemez" anlamına gelen)

atomlar da aslında daha küçük parçacıklardan, özellikle de elektronlardan oluşmuş olabilirler miydi? Bu akla yatan bir düşünceydi, Lorentz de bunun maddenin elektriksel ve manyetik birçok özelliğini açıklamaya yaradığını gösterdi. Ne yazık ki, bir kez daha önemli bir engel yolun üzerindeydi, çünkü hiçbir şey bir iletkeni bir yalıtkandan ayırt edemiyordu.

Bu arada, işin güzelliğine de değinmek adına, Rayleigh'in 1899 yılında gökyüzünün maviliğini, Güneş ışınlarının atmosferdeki moleküllerden yayılması olarak açıkladığını belirtelim. Kalanı da anlatmaya değer: Bu yayılma nedeniyle güneşten gelen ışık, enerjisinin çoğunu özellikle tayfın mavi bölgesinde yitirir ve her yönde saçılır. Güneş ışınları atmosferin daha derinlerine işledikçe, yeşil ve daha sonra da sarı olarak gözden kaybolurlar. Atmosfer zırhının kalınlığı en büyük değerini aldığında, yani gün doğumu ve batımında yalnızca kızılımsı bir turuncu kalır. Ama bu öykü burada bitmez. Bir gün, Himalayalar'ın eteklerinde bir köy olan ve İngiliz sahiplerin yazın yakıcılığından kurtulmak için sığındıkları Darjeeling'deyken, Lord Rayleigh Everest'in birkaç yüz kilometre ötedeki donmuş yokuşlarının yeşilimsi bir renkte göründüğünü fark etti. Işığın dağa ulaşmak için sızması gereken atmosfer katmanı kalınlığından Avogadro sayısına, yani belli bir kütledeki atom sayısına, örneğin 1 gram hidrojendeki hidrojen atomu ya da 8 gramlık oksijen gazındaki oksijen atomu sayısına ulaştı. Bu sayı 24 basamak uzunluğundadır ve atomların ne kadar küçük olduklarını gösterir. Atomların büyüklüğünü ölçebilmek için özel bir birim olan ve bir metrenin on milyarda birine denk olan Angström kullanılır.

Einstein 1905 yılında Brown devinimini, yani daha önce de sözünü ettiğimiz bir damla sudaki tozların rastgele hareketini incelemeye koyuldu. Onun deyişiyle, bu hareket su moleküllerinin toz tanecikleriyle ya da başka çok küçük parçacıklarla yaptığı çoklu çarpışmalardan kaynaklanıyordu. Bu görüşünü yaratacağı nicel sonuçlarına kadar izleyerek, bir parçacığın belli bir zaman aralığında alacağı ortalama yolu kestirebildi. Onun öngörüsü kısa zamanda Jean Perrin tarafından deneysel olarak doğrulandı, bu olay da atomların varlığının genel an-

lamda tanınmasının başlangıcı olarak yerini aldı.

1911 yılında, Ernest Rutherford sayesinde atomların doğası hakkında çok daha fazlası öğrenilecekti. Radyumun bozunumundan üretilen alfa parçacıklarının (yani helyum çekirdeklerinin) ince bir metal levhadan geçirildiği deneyler üzerinde çalışıyordu. Parçacıkların izlemeye başladıkları yoldan hafifçe saptıkları gözleniyordu. Alfa parçacıkları yüklü olduklarından, ortaya çıkan bu etkinin elektriksel kuvvetlerden kaynaklandığı sanılıyordu, ama atomlardaki elektronlar bu sapmaları sağlamak için fazla hafiftiler. O zaman da Rutherford verileri analiz etti ve bunun ancak her atomun merkezinde artı yüklü bir "çekirdek" bulunduğunu ve atomun hemen hemen tüm kütlesinin bu çekirdekte toplandığını varsaymakla açıklanabileceğini gösterdi. İlk doyurucu atom modeli de buydu, ortada bir çekirdek ve çevresinde elektronlar. Çekirdek elektronlar üzerinde büyüklük olarak olmasa da, biçim olarak kütleçekime benzer bir elektriksel kuvvet uyguluyordu. Atom için ortaya çıkan bu resimde en büyük yeri açık arayla boşluk alırken, elektronlar çekirdek çevresinde dönüyorlar ve mekaniğin bilinen yöntemlerinin uygulanacağı bir düzen oluşturuyorlardı.

İnsan "ne kadar güzel ve ne kadar basit!" diye düşünebilir. Ama acı gerçekler birazdan karşımıza çıkacak. Atomun öyküsü uzun süre tam ilerleme olacakken yeni problemlerin araya girmesi şeklinde oldu. Rutherford'un modeli moleküllerin kimyasal özelliklerini açıklamaya bir katkı sağlamadı ama en güç problem başka bir yerde idi. Bir çekirdeğin çevresinde, onun çekiminin etkisiyle dönmekte olan bir elektronun ivmelenmesi gerekirdi ve Hertz'in zamanından beri bilinen bir şey vardı, o da ivmelenen yüklü parçacıkların elektromanyetik dalgalar yayacak olmalarıydı. Atomdaki elektron için de bu hem de daha güçlü biçimde geçerli olmalıydı, çünkü atomun içindeki elektron kütlesinin çok küçük olması, oysa söz konusu kuvvetin hiç de önemsiz olmaması nedeniyle, hayli büyük bir ivmeye uğrayacaktı. Basit bir hesap bize çöküşün ipucunu verir. Saniyenin çok küçük bir kesrinde elektronun çok hızlı bir şekilde ışınım yayması ve aynı zamanda çekirdeğe doğru çok büyük bir hızla yol alarak, enerji kaybını karşılaması gerekir. Bu demektir ki,

atomun neredeyse anında çökmesi bir zorunluluktur. Kuşkusuz bir yerde bir hata vardı ama kimse bulamadı. Yeter ki ..., yeter ki fiziğin bilinen yasaları çöküp, atomik ölçekte geçersiz hale gelmesin.

Tümüyle mantıksız bir varsayım değildi, çünkü buna benzer bir şey on yıl kadar önce tümüyle farklı bir problemde görülmüştü. O da bir siyah cismin ışınım tayfı idi. Fizikçilerin siyah cisim dediği şey kısaca hiç optik ışın yaymayan, siyah bir nesne oluyor. Bu cismin, rengi, yani tayfı yalnızca cismin sıcaklığına bağlı olan bir ışınım yaydığı gözlenebilir. Bu etki, bir metal ya da bir parça kömür yüzlerce santigrad dereceye kadar ısıtılıp kızdığında, sonra da sıcaklık binlerle ifade edilen derecelere çıkıp, beyaz görünmeye başladığında kendini gösterir. Işınım tayfı olarak adlandırılan şey ışık enerjisinin, ışınımın frekansının (ya da dalga boyunun) bir fonksiyonu olarak dağılımı demektir. Bu durumda da, fizikçiler bu problemi kuramsal olarak çözüp, termodinamik yasalarını kullanarak tayfı hesaplayabileceklerine inanıyorlardı. Ama böyle bir düşünce tarzı anlamsız bir yere götürdü, çünkü küçücük bir parça kömür sonsuz şiddette ışık yaymalıydı!

Max Planck 1900 yılında bizim belki biraz küçümseyerek "*hileli*" olarak adlandıracağımız bir yol buldu. Kömür atomlarının, elektrodinamik ilkelerine göre beklenebileceği gibi, sürekli bir biçimde ışınım yapmadıklarını, ışınım enerjisini "*paketler*" ya da kuanta[2] olarak yaydıklarını ve bu paketlerin enerjisinin frekansa bağlı olduğunu varsaydı. Daha ayrıntılı söylemek gerekirse, böylece yayılan enerjinin, frekans ile şimdi "Planck sabiti" adını verdiğimiz ve insan ölçülerine göre çok çok küçük bir değerde olan bir sayıyla çarpımına eşit olduğunu öne sürdü. Böylesine basit olan, üstelik de ilk bakışta doğru dürüst anlaşılmış bile olmayan bir varsayımın gözlediğimiz ve ölçtüğümüz her şeyle böylesine uyum sağlaması da çarpıcı bir gerçektir.

Planck'ın varsayımı ışınım konusundaki bir güçlüğü çöz-

[2] Latince kökenli olan "kuantum" sözcüğü kısaca "bir tam sayı olarak ölçülen belli bir miktar" anlamına gelmektedir.

düğü için benzeri bir düşüncenin Rutherford'un atomundaki denetlenemeyen ışınımı açıklamasını beklemek pek hayalci sayılmazdı. İş şimdi Planck sabitini oyuna sokmak için bir yol bulmaya kalmıştı.

DELİ GÖMLEĞİ İÇİNDEKİ KLASİK FİZİK

Çözümü bulma onuru o sıralarda Rutherford'un yönetiminde çalışan genç bir Danimarkalı olan Niels Bohr'undur. Bohr 1913 yılında, Planck'ın ve Rutherford'un sonuçlarını bir araya getirerek, atomlar için daha sonra ün kazanıp başarılı olacak yeni bir dinamik önerdi. Klasik fiziği olabildiğince küçük ölçüde değiştirmesi bakımından biraz tutucu bir modeldi, aslında tüm klasik yasaları koruyor, yalnızca bir ek koşul getiriyordu. Bohr, basitliği nedeniyle özellikle hidrojen atomu üzerinde çalıştı. Bu atom tek bir elektrona sahiptir ve o da Kepler'in yasalarına göre, bir çekirdeğin çevresinde, kütleçekim kuvveti yüzünden, elips biçimli yörüngelerde dolaşmaktadır. Elektronun çekirdeğe doğru çökmesini önlemek için, Bohr yalnızca belli yörüngelerin tanımlı olabileceğini ve elektronun bunların en küçükleri boyunca gittiği sırada ışınım yapamayacağını varsaydı. Elektron ışınım yaptığında da bir paket, yani bir kuantum kadarlık ışıklı enerji salabilir.

Peki izinli yörüngeler nasıl belirlenecek? Buradaki yanıt aslında çok basittir, çünkü yalnızca Planck sabiti dışında yeni veri olmadan, bir koşulu işe katmayı gerektirir. Herhangi bir formül yazmadan, temelde bir tek kural olduğunu ve onun da Bohr tarafından (postüla olarak) ortaya atıldığını söyleyelim. Kısaca, tümüyle klasik atom kuramına, içinde Planck sabitinin bulunduğu bir yasa daha ekler. Bohr'un çözümünün çarpıcı ve daha kapsamlı sonuçlar getirecek bir şey olduğu sonradan anlaşılır. Her izinli eliptik yörüngenin tanımlı, belli bir enerjiye karşılık gelmesi gereklidir ve bunu veren ifadede elektronun kütlesi, elektriksel yükü ve Planck sabitiyle birlikte, adına kuantum sayısı denen ve en küçük yörüngeyle başlayıp, daha sonraki yörüngeleri de etiketleyip, numaralayan bir sayı yer alır. Bohr ayrıca ışınım yapmak için elektronu birdenbire bir yörüngeden daha alt enerji düzeyine karşılık gelen bir başkasına geçeceğini (şu ünlü kuantum sıçramaları) ve bu şekilde

ortaya çıkan enerjinin salınan ışığın frekansıyla Planck bağıntısı üzerinden ilişkili olduğunu yine bir postüla olarak ortaya atar. Kendi kuramını kullanan Bohr hidrojen atomunun kendiliğinden salacağı ışınım frekanslarını da kestirir. Bu frekanslar, Bohr'un döneminden çok önce gözlenmiş ve ölçülmüş, adına atomik ışınım tayfı dediğimiz şeyi oluşturuyorlar. Modelle ölçümler arasındaki uyum da çok iyidir.

Bu güzel sonuca pek çok kişi, özellikle Einstein hayran kaldı. Bunun gösterdiği yön genel olarak, onu ancak mutlu edebilirdi. Bilinen ve yeni bir katkıyla zenginleşen fiziğin artılarını elde tutarken, bu katkı da atomun eski modelin temel özelliklerini koruyan olası durumlarını seçebilmek için bir koşuldu. Kısaca, fizikçiler bilinen yasaların listesini genişlettiler ama olaylara bakış açılarını değiştirmediler. Yeni koşullara uymak durumunda kalan bildiğimiz fizik de bu biraz yüreklice "deli gömleği" dediğimiz düşüncedir.

Bunu Bohr ve Arnold Sommerfeld'in katkılarının başı çektiği yoğun bir araştırma dönemi izledi. Çabalar hidrojende elde edilen başarıyı daha karmaşık atomlara da yaymaya yönelikti. Ne yazık ki, sonuçlar düş kırıklığı yaratmış ve kuram daha inceltilip deneyler çoğaldıkça, başarıdan çok başarısızlık gelmişti. Örneğin, manyetik alanın ya da elektrik alanının (Stark olayı) atomik tayfın frekansları üzerindeki etkisi kötü olası durumlara yol açabilmekteydi. Sonuçlar, kimi atomların belli tayf çizgileri için doyurucu, başka bir grup atom içinse tümüyle yanlıştı, bunların nedenini de kimse açıklayamıyordu. Herkesin beklediği kimyayla aradaki bağlantılara gelince, onlar da her zamanki gibi ulaşılmazdı. Mendeleyev'in çizelgesindeki atomların sınıflanması bir ölçüde anlaşıldıysa da, kimyasal özelliklerin nasıl belirlendiği konusunda hiçbir iz yoktu. Sözün özü, fizik sıkışıp kalmıştı.

KLASİK FİZİĞİN ÖLÜMÜ

Bu olayların yaşanmasından kısa süre önce Fransız ozan Arthur Rimbaud "katillerin çağının" geldiğini görmüştü. Kimileri çok küçük olan bu gençler atalarının kalıtını çiğnemekte tereddüt göstermedi. Bütün bir insan ırkının, yüzyıllar boyunca

edindiği sağduyu düşünülürse, Newton ve Maxwell için çok kötü bir durum. Fiziğin bu fırsatın üzerine atlayıp, yeterince açık ve yalın olsun, olmasın, önemli değil, tüm gerçekleri açıklayabilecek bir kuramla çıkmanın zamanı gelmişti.

O iyi huylu genç insanların elbette bizim onlara yakıştırmaya çalıştığımız gibi bir başkaldırma niyetleri yoktu. Her bakımdan güzel bir çözüm peşindeydiler ve bu çözümün ileride görüleceği gibi devrim yaratıp yaratmaması onların suçu değildi.[3] Ama şimdi tanıştırmaya başlayalım: Bu, köklü bir aileden gelen, eğitimini tarih üzerinde alan, oynaması gereken role pek iyi hazırlanmamış ve bir *x*-ışınları uzmanı olan kardeşi Maurice aracılığıyla fiziğe tutkuyla bağlanan Louis de Broglie'dir. Fizik alanında çalışmaya başladığında otuz üç yaşındadır. Bu arada bir başka fizik tutkunu olan Werner Heisenberg Alman okullarında eğitim almış ve özellikle klasik Yunan'a büyük ilgi duyan bir kişiydi. Fiziğe ilk önemli katkılarını yapmaya başladığında da yalnızca yirmi iki yaşındaydı. Onun yanında daha yirmi yaşına varmadan görelilik kuramı üzerine önemli bir araştırma makalesi yazmış cin gibi bir fizikçi olan Avusturyalı arkadaşı Wolfgang Pauli vardı. Ötekiler kadar genç olan ve saygın Cambridge Üniversitesinden gelen İngiliz Paul Dirac da oradaydı. Ayrıca bu genç kuşaktan on yaş kadar daha büyük olanlar, yani Hilbert'in fizikle ilgilendiği yıllarda Göttingen'de onun yardımcılığını yapan ve kendisi Evren üzerinde çalışan Alman fizikçi Max Born, neden çağrıldığı konusunda kuşkuları bulunan ama sağlam matematik eğitimiyle katkı sağlayabilecek Sommerfeld'in bir başka öğrencisi olan yine Avusturyalı Erwin Schrödinger. Onları salona Einstein ve Bohr'un dikkatli bakışları altında girerken görüyoruz, duruma göre bu iki ustayı yüreklendirecekler ya da düzeltecekler.

Heisenberg tartışmayı başlatır, ona bir süre kulak veriyoruz. Klasik fiziğin temellerini tartışmaya açmaktan hiç kaçınmamaktadır, hatta buradaki birçok kavramı da sorgular. "*Emin miyiz*?" diye sorar, "*konum ve hız kavramlarının da elektron*

[3] Dünya savaşını izleyen bu dönemde, örneğin gerçeküstücülük gibi başka çağrıların da söz konusu olabileceği gösterildi. Ama bu gerçek bizim ana savımızı etkilemez.

gibi nesnelere uygulanabileceğine?" Elektronun atomun içinde tam olarak nerede olduğunu bilmeye olanak yok, çünkü gözlem yapabilmek için kullanmamız gereken aygıtın kendisi gözlediğimiz şeyin konumunu bozacak.* Acaba konum belirlemedeki bu yetersizlikten başka, fizik yasalarının bu düşünceyi bozacağını ve yalnızca deneysel olarak doğrulanabilecek kavramları kullanmamıza izin vereceğini söyleyebilir miyiz? Bu son soruyu sorarken, kendisinin, uzay ve zaman gibi geleneksel kavramları sorguladığında yalnızca laboratuarda metre ve saatle ölçülebilecek kavramları geçerli sayan Einstein'dan esinlendiğine inanır.

"*Ama eğer klasik konum ve hız kavramlarını kullanmayacaksak onları neyle değiştirmemiz gerekir?*" diye sorar Heisenberg. Görsel algılamanın desteği bir yana bırakılacaksa, formal kavramlara başvurması gerekecektir. Ama öncelikle bilindik kavramlarla değiştirmek üzere matematiksel nesneler bulmalıdır. Heisenberg de teknik bir altyapı bilgisi olmadan izlenemeyecek bir yola girişir. Önünde geniş bir taslak vardır. Işınımın temelinde olan bir elektronun ivmelenmesi ancak atomun iki *kuantum* durumu arasında sıçrama yaparken söz konusudur. Böylece, "ivme" denen şey bizim genellikle düşündüğümüz gibi bir sayı olmayıp, sıçrama anında yalnızca atomun ilk ve son durumlarına bağlı olan ve yalnızca o anda bir anlam ifade eden bir şeydir. Bu yüzden, eğer atomun olası durumlarını (yani enerji düzeylerini) Bohr'un yaptığı gibi numaralandırırsak, o zaman ivme ilk ve son durumların kuantum sayılarına bağlı bir büyüklük olur. Demek ki, ivme ilk ve son durumları temsil eden sayıların indis olarak yazıldığı bir çizelgeyle değiştirilebilir. Heisenberg konum ve hız için de benzeri yollara yönelir ve onları da yine sayıların yazılı olduğu çizelgelerle gösterir. Böylece, mekanik yasalarının temellerini bu türde çizelgeler kullanarak formül haline getirir. Max Born 1924 yılında, kendisine buluşları kadar başarısızlıklarını da açıklıkla anlatan Heisenberg'i elde ettiği sonuçları yayımla-

* *Bkz.* Çevirmenin notları –çn.

mak konusunda yüreklendirir ve ona yaptığı çizelgelere, matematikçiler tarafından matris dendiğini anlatır. Böyle az kullanılan matematiksel alanlardaki bilgisiyle gruba yeni katılmış olan Pascual Jordan'ın yardımıyla kısa zamanda yeni bir mekaniğin tam hali, yanında pek çok öngörü ve sonuçla birlikte, ayrıca da hepsini çok inandırıcı bir biçimde hazırlanır. Bu yeni kurama da "*matris mekaniği*" adı verilir.

Bundan kısa süre önce, 1923 yılında Louis de Broglie tümüyle farklı bir görüşü yayımlamıştı ama onun da meyveleri ancak Heisenberg'in sonuçlarının yayınından sonra toplanacaktı. O sıralarda bu iki katkının tarih sırasına göre ters biçimde tartışılmasının nedeni de budur. De Broglie'un düşüncesi Einstein'ın daha önceki bir çalışmasına dayanıyordu. Einstein bu çalışmasında Planck'ın ışık enerjisi (taneciklerini) kuantumlarını ve (bir metaldeki elektronların, uygun ışık verilmesi halinde metalden ayrıldıkları) fotoelektrik olayının özelliklerini yorumlamış ve bu ikisinin ışık tanecikleri olan *foton*lardan kaynaklandığını yazmıştı. Bu şekilde Einstein ışığın tanecikli yapıda olduğu yolundaki eski düşünceyi yeniden canlandırdı ve tümüyle olmasa da, fotonların varlığının girişim olayıyla çelişmediğini göstermiş oldu. Normalde kendini dalga olarak hissettiren ışık, (aynı zamanda) parçacıklardan oluşmuştur. "Neden?" diye sordu de Broglie, "her temel nesne, örneğin bir parçacık gibi görünen bir elektronun şimdilik daha algılayamadığımız bir dalgayla, bir *dalga fonksiyonu* ile eşleştirildiğinin varsayılmasıyla, bu düşünce neden ters çevrilip, genelleştirilmesin?"

Bu düşüncenin deneysel olarak kırınım olayıyla, yani girişimdekine benzeyen, bir kristalin içinden ilerleyen elektronların yarattığı ve yalnızca dalgalara özgü etkilerle doğrulanması için yılların geçmesi gerekti. De Broglie'un düşüncesi daha önce Einstein'a iletilmiş, o da bunu Sommerfeld ile tartışmıştı. Bu sonuncu da öğrencisi Schrödinger'e şu soruyu sormuştu: Bir atomun içindeki bir elektron için de Broglie'un dalgası nasıl hesaplanır ve bu dalganın dinamiği, yani zamanın fonksiyonu olarak ne gibi bir gelişim göstereceği nasıl formülleştirilir?

Bunun hemen arkasından, aynı 1926 yılında Schrödinger bu probleme bir çözüm bulur ve sonradan kendi adının verileceği bir dalga denklemi önerir. Hidrojen atomunun tayfını hesaplayarak sınama yoluna gider, sonuçlar da Bohr'unkilerle uyum içindedir. Aynı zamanda Bohr'un ya da Sommerfeld'in yöntemleriyle açıklanamayacak birçok ince konuya da açıklık getirir, özellikle de Heisenberg'in sonuçlarını yeniden elde etmeyi başarır.

Acaba Schrödinger'in bu sihirli denklemi sözlerle ifade edilebilir mi? Pek öyle görünmüyor ve anlaşılan yeniden formal fiziğe dalıyoruz. Voltaire'in bir zamanlar Newton mekaniği için söylediği gibi, "*görüyorsunuz, kuvvet ile kütle arasındaki bağıntıyı ivme sağlıyor, gerisi sadece basit bir hesap*" diyemiyoruz. Yalnızca Schrödinger denkleminin elektronların kendi aralarında olduğu kadar, çekirdekle elektronlar arasındaki etkileşmelerde konu edilen elektriksel enerjiyi içerdiğini söyleyebiliriz. Elektronun ve çekirdeğin kütleleri de orada yerlerini alıyorlar ama ikincisinin önemi biraz daha az. Her ne kadar derin özellikler taşıyan, örneğin Maxwell denklemlerini hafif andıran, parçalı türevler içeren bir parçalı diferansiyel denklem olsa da, ilk bakışta çok ilgi çekici gelen bir eşitlik değil. Bunlara daha neyi ekleyebiliriz? Aslında hiçbir şey. Yalnızca yazmakla yetinebiliriz ama elbette burada onu da yapmak söz konusu olmuyor.

Bu yeni mekanik ne kadar yararlı olduğunu deneylerle tam bir uyum içinde olan sonuçlarıyla hemen gösteriyor. Yeni fiziğin çocukluk yıllarını uzun süre etkileyen lanet sonunda yok edilmiş ve ileri atılan her adımın yeni güçlükler getirdiği dönem kötü bir düş gibi unutulmuş görünüyordu. Bu kez, her engel kısa sürede bir gelişmeye kaynak olacak ve başka olgular için de açıklamalar getirecekti. Schrödinger ve de Broglie'un dalga mekaniği ile Heisenberg'in matris mekaniği, aynı sonuçları sağlamış ve çarpıcı biçimde kendilerini göstermişlerdi, sadece görünüşleri çok farklıydı.

Aslında ne Schrödinger herhangi bir matrisi kullanmıştı ne de Heisenberg'in sisteminde dalgalara yer vardı. Peki son sözü bu iki kuramdan hangisi söyleyecekti? Garip gelecek ama

hiçbiri. Çünkü aynı 1926 yılında Dirac ve Schrödinger'in ikisi birden açıkça farklı görünen bu iki mekaniğin aslında tek kuram olduğunu ve birinden ötekine yalnızca matematiksel işlemlerle geçilebileceğini gösterdiler. O yüzden bunların birini ötekine yeğ tutmak yerine, ikisinin bileşimine kuantum mekaniği denmesine karar verildi. Günümüzde, temelde Dirac ve von Neumann nedeniyle kuramın daha soyut olan biçimi yeğlenir. Ama bizim amacımız açısından bunu ele almak gerekli değildir, çünkü buradaki vurgu daha çok teknik üzerindedir ve genel olarak farklı ilkeleri de içermemektedir. Ötekilerle özdeş olan ve aynı zamanda kuramın kimi yönlerine ışık tutan bir başka versiyon da 1950'li yılların başlarında Amerikalı fizikçi Richard Feynman tarafından önerilmiştir. Doğanın Kutsal Kitabının çeşitli çevirilerindeki ince ayrıntılarsa yalnızca fiziğin teologlarının ilgi alanına girer.

SONUÇLARIN HASADI

Kuantum kuramının ilkelerini ve onun bilgi felsefesi üzerindeki etkilerini sunmadan önce, konunun önemini vurgulamak adına belki de bu kuramın nerelere uzanacağı ve ne ölçüde verimli olacağı konusunda bir fikir vermek uygun olabilir. O yüzden, tarihlere ve gerçekleşme sırasına pek aldırmadan, onun çarpıcı sonuçlarının hasadını çok kısaca gözden geçirelim, çünkü çeşitli alanlardaki uygulamalarda daha 1927 yılında hemen görülmeye başlandı. Kuram aynı yıl olgunluğa erişti ve bugüne dek hemen hemen değişmeden geldi.

Şimdi işe ne de olsa tüm öykünün temelinde yer alan kimyayla başlayalım. Schrödinger denklemi bize herhangi bir atom ya da moleküldeki elektronların dalga fonksiyonunu hesaplama olanağı sağlar (aslında gerekli hesaplamalar çok karmaşıktır da bilgisayarların gelişiminden sonra kolaylaşmıştır). İki ya da daha çok atomun bir arada bulunması halinde, bir molekülün olası enerji durumlarından hangilerinin var olacağı hesaplanabilir. Bu atomların molekül içindeki konumu da bilinebilir ve birçok durumda oluşacak kimyasal tepkimenin türü, verimi ve hızı bile hesaplanabilir. Önce elbette Mendeleyev'in çizelgesinin tam olarak anlaşılması, ama ayrıca moleküllerin

yapısının (örneğin DNA molekülünün sarmal biçimi) ve kimyasal özelliklerinin tam kavranmasıyla, kimyanın tümü erişilebilir hale geldi. Her ne kadar altta yatan nedenler formalizmde saklı kaldıysa ve basit görüntülerle ifade edilememişse de, eskiden çetrefilli gelen rezonans olgusu ve kimi moleküllerin uğradığı formal değişimler açıklığa kavuştu. Günümüzde yeni bir molekülün yapısını, o molekülü gerçekten oluşturmadan önce belirleyebiliyoruz ve bu özellikleri deneysel olarak sonradan doğruluyoruz. Eğer kimya böyle bir sıçramayı özgün yapısını ya da kendine özgü teknikleri yitirmeden sağladıysa, o zaman onun temellerinin fiziğin temellerinden ayırt edilemeyeceği de doğrudur.

Madde için geçerli olan fizik, özellikle katıhal fiziği de önemli ölçüde değişikliğe uğramıştır. Sonuç olarak kuantum mekaniği iletkenlerle yalıtkanlar arasındaki fark konusunda da bir açıklama getirmiştir. Aynı şey ısıyla ilgili özellikler (ısı sığası, evre dönüşümü, ısıl iletkenlik), optik özellikler (geçirgenlik, renk, kırma indisi), manyetik özellikler (elektromıknatıstaki demir) ve mekanik özellikler (sertlik, esneklik) için de geçerlidir. Üstüniletkenlik kavramına 1958 yılında getirilen açıklama bir dönemin bitişini simgeler. Ama tüm bunlar hasadın sonu demek değildir. Gelişmeler çoğunlukla bilinen sonuçların biraz daha ince ayarla, sistemli bir biçimde uygulanmasına dönük ama her yıl aralarında bunların ve başka daha karmaşık konulardaki (sıvı kristaller, yüzey olayları) incelemelerin de olduğu birtakım önemli gelişmelere tanık oluyoruz. Pratikte elde edilenlerin en çarpıcıları arasında bilgisayar çağını gerçekleştiren tranzistörün ve görece yüksek sıcaklıklarda sağlanan üstüniletkenliğin bulunuşunu görüyoruz.

Lazer denen aygıt tümüyle kuantum temeline dayalıdır çünkü bir atomun yakınlarındaki fotonlar, bu atomu yeni fotonlar salmak üzere uyarırlar, optik de lazerin bulunuşundan çok yarar sağlamıştır. Daha temel bir bakış açısından bakılırsa, her ne kadar bunları söze dökmek zor olsa da, optik, ışığın dalga özelliğini, fotonların varlığıyla uzlaştırmada başarılı olmuştur.

Kuantum mekaniğinin artçı şoku fiziğin birbirinden tümüyle farklı iki yeni dalı üzerinde de etki yaratır, bunların biri

atom çekirdekleri (çekirdek fiziği), ötekiyse temel parçacıklardır. İlki 1930'lu yıllarda, ikincisiyse 1950'lerde başlayan her iki alan da çarpıcı gelişmeler göstermiştir. Ama bunlarla ilgili daha fazla şey söylemeyeceğiz, çünkü burada amacımız bu değil. Yalnızca kuantum mekaniğine duyulan güveni sarsmak için harcanan onca çabaya karşın onun hep en tepede kaldığını ve aralarında bir angströmün milyarda biri kadar uzaklıklar ya da protonun durgun kütlesinin binlerce katı kadarlık enerji farkları bulunan parçacıkların söz konusu olduğu deneyler olsa bile, bugün artık gelişimini tümüyle tamamlamış olup, kesin bir kuram olarak görülebileceğini ekleyelim. Kuram ile deney arasındaki uyum kimi durumlarda ondalık noktadan sonra onuncu basamağa kadar ulaşmıştır ve bu da bilimin başka hiçbir alanında benzeri olmayan bir kesinliktir.

Aslında, yukarıda sözü edilen sonuçlar bu görkemli kuramın yaptığı zengin katkılar hakkında ancak kabaca bir bilgi veriyor. Bütün bir fizik ve kimya bilimi, sonuç olarak doğanın vereceği her şey doğrudan ya da dolaylı olarak, onun üzerine kuruludur. Ona gerçekten de Alaaddin'in sihirli lambası denebilir ve bu lambadan ne tür bir cin çıkacağını da sonradan göreceğiz. Ama kesin olan bir şey var, o da konuştuğu dilin bir biçimi var ve o da bizim dilimiz değil.

VIII

FİZİĞİN BİLGİ KURAMI

Matematikte de yaptığımız gibi, fiziğin de formal bir hal almasının ardından, fizik felsefesinin de durumunu incelememiz gerekiyor. Bir felsefeci görelilik kuramının teknik güçlükleriyle uğraşabilirken, kuantum fiziğinin çıkardığı engeller önemli düzeydedir ve bu da fizikçilerin ve felsefecilerin onun bilgi kuramı üzerinde edindikleri görüşlerin belli bir uyum göstermesini açıklayabilir. 1930'lu yıllarda fizikteki en önemli kişiler tartışmaya katkıda bulundular ve yakın zaman değin bu konuya ilgi duyan bir felsefeci Bohr, Einstein, Schrödinger, Heisenberg, Pauli, de Broglie ve birkaç başka fizikçinin görüşlerini tartışmakla kısıtlıydı.

Bu konuda çalışan herkesten söz etmeye değil, daha çok en önemli örneklere odaklanmaya çalıştım. O nedenle, uzay ve zamanla ilgili her şeyden uzak duracağız (aslında birçok yazar metinlerinin büyük bölümünü Einstein'ın bu konu üzerindeki görüşlerini tartışmaya ayırır).

Dürüst olmak gerekirse, yakın zamanda yapılan birtakım çalışmalar elde edilen son sonuçlarla ilgilidir ve eğer yazarlar genellikle çılgın spekülasyonlar yapmasaydı, bu da çok güzel bir haber olurdu. Ama yazarlar arasında birtakım ünlü fizikçiler de olduğundan ötürü bu, kamuoyu için olduğu kadar, izleyeceği yolu bulmakta güçlük çekebilecek felsefeciler için de tehlikeli bir eğilimdir. Güncel araştırma alanlarında izlenen yollardan söz ettikleri için kuşkusuz övgüyü hak ediyorlar ama okuyucuyu bu yolların hiçbir yere varmayabileceği konusunda

uyarmadıkları için onu yanlış yönlendiriyorlar. Genel göreliliğin harikalar diyarında biraz matematiğin de yardımıyla düşler kurmak çok kolaydır.

Bu yüzden kendimi kuantum fiziğiyle sınırlı tutacağım ve kısa olmaya çalışacağım, çünkü üçüncü bölümde kuramda yakın zamanda elde edilen kimi gelişmelerin onun bilgi kuramı açısından elde edeceği sonuçlara nasıl ışık tuttuğunu göreceğiz. Şu an için kendimizi işin genellikle onay gören kısmıyla sınırlayacak ve Niels Bohr'un usta kuramının olağanüstü özelliklerine ışık tutacağız. Bohr'un kuramın daha en başında bu çerçeveyi oluşturmaktan başka seçeneği olmadığını ve bunun üzerinde katı ve oldukça kısıtlayıcı düşünce kuralları koymak zorunda kaldığını göstermek isterim. Yayımladığı olağanüstü yasaklar fizikçilerin yararınaydı, belki de onların yoluna taş koyabilecek sorulardan koruyordu (çünkü sone yazan herkesin kabul edeceği üzere, katı kurallar işi kolaylaştırır). Ama ne yazık ki böyle kurallar aynı zamanda büyük felsefi karışıklığa da yol açmıştır.

Bugün Bohr'un bu üstün yapıtında neyi saklamak, neyi atmak konusunda karar vermede daha iyi bir konumdayız. Bu alanda çalışan bir fizikçinin gözüyle fazla da bir şeyi değiştirmek gerekmez, ama bir felsefecinin bakış açısından kuram dikkate değer ölçüde değişmelidir. Eğer yalnızca neden bu şekilde kurulduğunu anlamak istiyorsak, yine de, Bohr'un çalışması üzerinde bir bölüm uzunluğunda yazı yazmayacak kadar tanıdık bir referanstır.

NEDEN YORUMA GEREK DUYUYORUZ?

Bir cisme, herhangi bir cisme, hatta en sıradan olanına, örneğin bir bilardo topuna bakalım ve onu nasıl düşündüğümüzü, çağdaş fiziğin onu nasıl tanımladığıyla karşılaştıralım. Bizim için daha basit bir şey olamaz. Herkes böyle bir cisim görmüştür ve siz daha bu paragrafın ilk tümcesini okurken gözünüzde bir top görüntüsü oluşmuştur bile. Bundan bir yüzyıldan daha kısa bir süre önce bir fizikçi başka türlü düşünemezdi, ancak belki biraz daha ince eklemeler yapardı (örneğin topun kütle merkezinin konumunu birtakım sayılarla tanımlardı). Bu top

bir atomcuya her bir atomun çok küçük bir tür top olarak canlandırılacağı yoğun bir atom yığını olarak görünürdü.

Kuantum fiziğinde buna benzer bir şey yoktur. Fizikçi topu düşünmeye çok çok büyük sayıda bir atom grubuyla başlar ama bu düşünce yerini hemen o topta ne kadar elektron ve atom çekirdeği varsa o kadar değişkene bağlı olan bir dalga fonksiyonuna bırakır. Onun topun kütle merkezinin konumu hakkındaki düşüncesi bir klasik fizikçininkinden çok farklı değildir. Ama fizikçi hız hakkında konuşmak için ilk olarak dalga fonksiyonunun birtakım değişkenlere göre türevlerini alması, sonra sanal sayı olan *i*'ye (burada *i*, –1 sayısının kare kökü oluyor) bölmesi, ardından da "*topun hızını tam olarak bildiremem* (merkezin konumunu kesin biçimde biliyor) *ancak topun şu şu hızlarda gidiyor olmasının olasılık dağılımı şöyledir*" diye sonucu açıklamadan önce başka birtakım karmaşık işlemleri yapması gerekir. Çağdaş fizikçinin elinde artık topun kesin bir görüntüsü yoktur, olsa olsa bir olasılık bulutunun bulanık izlenimi kalmıştır.

Üstelik top da orada gibi görünmekte, yuvarlanmaktadır. Maddenin atomik doğası ile parçacıkların uydukları ve her deneyde doğruluğu kanıtlanan kuantum yasaları ortada yalnızca olasılıkların bulunduğunu yalanlanamaz biçimde göstermektedirler. Aynı derecede yalanlanamaz olan bir gerçek daha vardır, *top oradadır*. Eğer gülme yeteneği olsaydı, top bizim bu çabamıza katıla katıla gülerdi. Anlamıyoruz, artık anlamıyoruz, gerçeğin *a*'sı, kuramın *z*'siyle çelişiyor görünüyor.

Burada *yorumun** amacı bu iki uç arasında bir uzlaşma sağlamak, eğer olabilirse, bunları ikisine de zarar vermeden bir araya getirmek üzere, bunların uyumlu olduklarını göstermektir. Bundan daha felsefi bir girişimi düşünmek de zordur, çünkü dünyayı nasıl düşüneceğimizi ele alma noktasına kadar gitmektedir.

En azından iki yorumlama biçimi vardır. Bunlardan biri insanlığın ortak deneyimine, onun gerçeklerle dolu bir dünyayı temsil şekline, atalarının sağduyusuna dayanmaktadır. Bu yaklaşım fiziğin keşifleriyle uyumlu olan şeyleri seçer, bu kavramları daha saf hale getirir, amaçlarını sınırlar ve son olarak

da dünya hakkında bir kedinin dikkatiyle söz eder. Bohr'un izlediği yol işte budur. Başka bir yolsa, yorumları kuramsal fiziğin özel bir dalı olarak görür. Belli birtakım ilkelerle (örneğin parçacıkların, dalga fonksiyonlarının varlığı vb) işe başlayarak ve matematiksel kanıtlar aracılığıyla, bizim insani ölçekte çevremizde algıladığımız görece büyük nesneleri sağduyumuzla yorumlamaktır. Bizim birazdan kısaca tartışacağımız daha güncel yaklaşım da bu ikincisidir.

Yorumun (eğer böyle adlandıracaksak) yanlışı doğruya çevirmek istediği şeyin bilimin formal özelliğinden, başlangıçtaki kavramların insanın imgelemi için erişilebilir olmamasından kaynaklandığı açıktır. Tüm fiziğin, bizim klasik fizik dediğimiz şeyle birlikte, öyle ya da böyle formal olduğu varsayılırsa, her yerde mutlaka bir yoruma gerek vardır. Bunu Newton fiziğinde fark etmek kolay değildir, Maxwell'in elektrodinamiği kimilerine (en zekilerine) bir parça sıkıcı gelebilir ama görelilik kuramında kesinlikle kendini gösterir. Bununla birlikte, bu son alanda bir yorum elde etmek için basit bir yöntem vardır, o da şurada ya da burada, nerede gerekliyse, hareket halinde gözlemciler düşünmektir. Yöntem öyle uygundur ki, birçok kişi sanal gözlemciler varsaymanın amacının aslında bir yorum elde etmek olduğunu fark etmez bile.

Kuantum mekaniğinde yorum en azından şu üç neden yüzünden temeldir. Çünkü (i) bilginin formalizmi oldukça derin ve karanlıktır, (ii) bir gözlemci olması düşüncesi artık açık değildir ve bunu kullanmış olanlar, bilimin nesnel karakterinin tersine, sonunda gözlemcinin bilincini ima etmiş olurlar[1] ve (iii) kuramın olasılıkla ilgili yanlarının gerçeklerin yadsınamaz varlığıyla uzlaşması gerekir, bu yüzden de yorum artık yalnızca bir dönüşüm olmaktan çıkar ve kendi başına bir kuram olur.

BELİRSİZLİKLER

Kuantum mekaniğinin en çarpıcı özelliklerinden biri onun olasılığa dayalı yapısıdır. Kuantum dünyasındaki her şey rastgele bir biçimde ortaya çıkar ve bu olayların doğrudan bir nedeni

[1] Kant'a göre nesnel bir bilim yalnızca akıldan bağımsız nesnelerle ilgilenir.

yoktur. Dahası, bu olayların gerçekleşme olasılıkları, Laplace döneminden bu yana klasik fizikte kullanılan olasılıklardan çok farklıdır. Bunlar kabaca şöyle açıklanabilir. Her şey klasik fiziğin yasalarına uyar ve her olayın bir nedeni, bir yerde işleyen bir mekanizması vardır. Bir elma bir ağaçtan düşer, çünkü dalı zayıflamış, rüzgâr esmiş ya da bir kuş çarpmıştır. Düşme görüldüğünde bunların hangisinin gerçek neden olduğunu söyleyemeyiz ama doğrudan bir mekanik nedenin işe karıştığı açıktır. Eğer ağacın dallarındaki kılcal damarların durumunu ve zaman içindeki gelişimini bilseydik, elmanın ne zaman ve neden düşeceğini söylerdik. Ama bilmiyoruz, zaten bilmeyi de pek umursamıyoruz. Bu yüzden de olasılıklara başvuruyoruz. Olasılıklar da o konudaki gizli ayrıntıları bilmememize karşın, bize akla uygun bir beklenti ifade ediyorlar. Kısacası, klasik fizikteki her şey belirlenmiştir ve olasılıkların kullanımı yalnızca etkin nedenler hakkındaki kesin bilginin yerine konacak bir şeydir.

Oysa kuantum mekaniğinde işler çok farklıdır, çünkü orada olaylar rastgele gerçekleşir. Uyarılmış bir atomun belli bir anda daha alt enerji düzeyine inmesini sağlayacak bir neden yoktur. Elbette, tüm süreç için geçerli yasalar vardır, ama bunlar yalnızca olayın neden şu anda değil de, öbür anda olduğunu ifade ederler. Kuantum olasılıkları olaydaki gizli noktaların ayrıntılarının yerine geçecek şeyler değildir, özel ayrıntılar söz konusu değildir, yalnızca rastlantı vardır.

Bu düşünce Max Born tarafından ortaya atıldı ve doğruluğu sayısız deneyce (özellikle tuzaklanan ve üzerine lazer demeti tutulan tek bir atomun, "kuantum sıçramaları" göstermesi dışında sürekli floresan ışınım ürettiğinin gözlenmesi gibi yakın tarihli olanlar) kanıtlandı. Born kuantum olasılıklarını dalga fonksiyonu cinsinden hesaplamak üzere kurallar açıkladı ve bunlar her zaman deneysel verilerle çok güzel bir uyum gösterdiler. Yine de Einstein bu düşünceden hayli irkilip, "Tanrı zar atmaz" diyecekti.

O zaman kavramsal bir uçurum, klasik fiziği kuantum fiziğinden, belirlenimciliği [determinizm] de olasılığa bağlılıktan ayırıyor gibiydi. Açıkça birbiriyle uzlaşmayan bu durumun

ilginç özelliği, fizik için her iki zıddın da gerekli oluşuydu. Olasılığa bağlı olma kuantum fiziğinin temel bir özelliğidir ve deneylerle de tam olarak doğrulanmıştır. Peki deneyler nasıl yapılmaktadır? Bu deneylerde laboratuar donanımı, ölçüm aygıtları vb gereklidir. Ama bu donanımla ilgili olarak, "neden bunlara güvenelim?" ya da "buna neden laboratuar aygıtı deniyor?" gibi sorular sorabiliriz. Buradaki yanıt, doğru düğmelere basılması koşuluyla, bunların beklendiği, öngörüldüğü biçimiyle çalışmaları, özetle, belirlenimci olmalarıdır.

Kuantumdaki olasılık yaklaşımının deneysel olarak da doğrulanması bakımından belirlenimciliğin gerekli bir koşul olduğu düşünülebilir. Aslında, kuantum mekaniğinin öngördüğü olasılıklar deneysel olarak, onları geniş bir veri grubunun içindeki gerçekleşme sıklıklarının karşılaştırılmasıyla sınanırlar. Bu karşılaştırma ancak yeterince verinin toplanmasıyla yapılabilir ve bunun için de (dün defterde, bugün bilgisayar belleğinde) eldeki kayıtlı verilere güvenmek durumundayız. Bu kayıtları geçmiş gerçeklerin, yani her bir verinin kaydedildiği anın güvenilir tanığı olarak düşünmemiz doğaldır. Ama eğer bu kayıtlar güvenilirse, bunun nedeni o anda sisteme girilmiş olan her bir verinin, bugünkü kaydın durumunu tam olarak belirlemesidir.

Fizik genelde iki ayak üzerinde durur: Kuram ve deney. Kuram olasılığı gerektirir, deneyse ancak o deneyin işleyişindeki temel bir şeyin belirlenimci olması halinde bir anlam taşır. Birbiriyle açıkça çelişen bu iki gereğin birbirinden ayrılmaları yakın geçmişteki kuramların en büyük başarılarından biri olmuştur ve daha sonraki bir bölümde ele alınacaktır.

Olasılıklara bağlı olmanın kuantum kuramının kimi formal yanlarının değerini tam ortaya koyamayan bir sonucu daha vardır, o da Heisenberg'in ünlü belirsizlik bağıntılarıdır. Bu bağıntılar bir parçacığa uygulandığında, özetle şunu söyler: "Parçacığın konumunu daha kesin bilmenin maliyeti, aynı parçacığın momentumunu daha kaba biçimde bilmek zorunda kalmaktır ve aynı zamanda bunun tam tersi de geçerlidir." Bunlar kuramın temel ilkelerinin doğrudan, tartışılmaz sonuçlarıdır.

Yunan felsefesi ya da aklımızda kalan Yunan düşüncesi böyle bir tümceyi yalanlardı. Neden? Çünkü bir cismin momentumu, o cismin hızıyla doğru orantılıdır. Varsayalım ki, aklımdaki bir parçacığı "görmeye" çalışıyorum. Bu parçacığın bir yol boyunca, belli bir hızla ilerleyen bir konumu var. Ama eğer keskin (tam olarak bilinen) bir konum hızı bulanıklaştırırsa, o zaman yoldan nasıl söz edeceğiz? Artık göremiyorum demektir. Eğer Aristoteles bir şeyi anlamanın onun akılda kalan net bir görüntüsüyle başladığını söylerken haklı ise, insan ne olup bittiğini merak edebilir. Atomların açıkça akla uymayan bu tutumları şu saçma satırlarla anlatılabilir: Formal bilimler kör eder, gerçek dışı yapar.

TAMAMLAYICILIK İLKESİ

Kuramın altında yatan ilkeler fiziksel büyüklükleri, birbiriyle sıra değiştirme özelliği göstermeyen birtakım matematiksel nesnelerle, yani *işlemciler** ile eşleştirir. Ayrıntılara girmeden, bu gerçeğin aslında Heisenberg'in *belirsizlik bağıntıları*nın* resmi temeli olduğunu ve bizi eşzamanlı olarak bir parçacığa hem iyi tanımlanmış bir konum hem de yine iyi tanımlanmış bir hız atamaktan alıkoyduğunu söyleyelim. Benzer şekilde ışığı da aynı zamanda hem bir elektromanyetik dalga hem de ışık tanecikleri olan fotonlardan oluşmuş şeklinde tanımlayamayız.

Bohr'un yoruma ilk önemli katkısı yukarıdaki olanaksızlıklara kadar gider. "*Bir atomun belli bir andaki konumundan ya da hızından söz edebilirim*" der ana hatlarıyla, "*ama bir seçim yapmam gerekir.*" Bu konuşma biçimleri, bu tanımlamalar *tamamlayıcıdır*. Bununla, onların her birinin, iç çelişkiler olmaksızın kendi içinde doğru olduğunu, ama bunların birleştirilemeyeceğini demek istiyorum. Sağduyu açısından bakılınca, sanki bizim 'o' diye adlandıracağımız biri hakkında demişiz gibi, elbette garip geliyor. "'O'nunla telefonda konuştuğumda, insan gibi konuşuyor, ama 'o'nu gördüğümde hiç konuşmuyor ve kediye benziyor." Bu 'o' dediğimiz şey bir atom, bir elektron ya da ışığın kendi olabilir. Parçacıkları ve dalgaları duymak ya da görmek yerine, daha çok onları (girişim aracılığıyla) algı-

larız. 'O' bir dalga mıdır, yoksa bir parçacık mı? Nasıl olur da, hem bu biçimlerin her birinde var olabilirken, ikisinde birden aynı anda var olamaz? Birbirini dışarlayan böyle özelliklerin birleştirilememesi yorumun ilk ilkesi olarak ortaya atılmış ve adına *tamamlayıcılık ilkesi** [complementarity] denmişti. Bohr bu ilkenin önemine öyle inanmıştı ki, daha sonra bunun felsefede olduğu kadar, biyoloji ve psikolojideki başka örneklerini de aramaya girişmişti. Şaşırtıcı şekilde, mantığın çok önceleri açıkladığı tartışma evreninin farkında değilmiş gibi görünür.

Tamamlayıcılık ilkesi iki riski de yanında taşır. Bunların birincisi *paralojizm* (mantığa aykırı düşünüş) tehdididir, yani nasıl olur da bir şey iki hatta belki yüz farklı biçimde göz önüne getirilebilirken, aynı zamanda mantık çerçevesi içinde kalabilir? İkinci tehlikeyse, rastgele bir seçeneğin seçilebilmesinde yatar. Düşünen ve konuşan bir birey olarak, eğer kendi özgür irademle seçemiyorsam, bir tanımı bir başkasına hangi ölçütlere göre yeğ tutmam gerekir ki, nesnelliği bozmayayım? Bohr'un buna yanıtı çok açıktır: "*Atomik nesnelerden hiç söz etmememiz gerekir*" der, "*formalizmi yalnızca onun bize sunduğu, sayılar, olasılıklar gibi şeyler için kullanmalıyız.*" Şu atomik nesnelerden konuşup da bu kısıtlamayı uyulması zorunlu bir kural yapmayalım.

Bir an için bu ilahi emri düşünelim: "*Atomik dünyanın kendisinden söz etmeyeceksin.*" Başkaları da olurdu, ama bu Bohr'un yorumu değerlendirme biçimini güzel yansıtıyor. Dünyanın normal temsil biçimini koruyoruz ama bunun erişeceği sınırların kısıtlı olması gerekir.[2] Yasaklanmış şeyler de vardır. Kant'ı ve onun her zaman göz ardı edilemeyecek sorularla didiklenen kendine özgü akıl yürütme biçimini düşünmekten kendimizi alamıyoruz. Çünkü bunlar aklın kendi doğasından geliyor ve onun gücünün sınırlarını aşıyor. Kendinden önceki Hume gibi, Bohr da birtakım nedenlerle bir yasaklamayı duyuruyor ve ulaşılamaz, düşünülemez olanın varlığını dayatıyor. Öyleyse, dünyanın düzeninin kaynağı hakkındaki bilgiyi

[2] Bu tam olarak 1913 tarihli ünlü modelini ortaya attığında Bohr'un izlediği yaklaşım oluyor.

reddeden Hume'u, Kant ile çözümsüz antinomilerini ve Bohr'u yasak bölgenin prensleri olarak alabiliriz.

Peki o zaman Bohr'a göre neyi düşünmemize izin var? Açıkça söylüyor: Yalnızca görüp dokunabileceğimiz şeylerden, yani fizikte kullandığımız gereçlerden ve durumlardan söz edeceğiz. Bu gereçlerin yapıldığı maddenin atomik yapısını ve bunlarla ilgili kuantum yasalarını göz ardı edeceğiz. Akıl açısından çekinceler koymaksızın, yalnızca gerçekleri dikkate alacağız. Evet, gördüğümüz şeyler, tam da onları gördüğüm biçimdeler, klasikler ve onlardan bir başka türlü söz etmeyi yasaklıyoruz. Bu yasaklara başkaldırmak isteyenlere uyarı: Onlar kötü düş kırıklıklarını ve düşünce uyumsuzluklarını yaşamaya adaydırlar.

Bohr ayrıca onu böyle bir konum almaya yönelten nedenleri açıklar. Klasik fizikten söz ederken, gerçekten de Newton mekaniğini ya da insan aklının bir ürününü kastetmez. Onun kökenleri daha derine, açıkça ve tam olarak temsil edilebilen şeylere, onun bir gerçeği açıklayabileceğini ve eski kayıtları anımsayabileceğini, kesin bir biçimde akıl yürütebileceğini düşündüğü yere kadar gider. Onun nedenleri klasik mantığa aittir ve bu da insan ölçülerine göre en güvenilir şeydir. Klasik yol seçilir, çünkü dünyayı mantıksal çerçevede kavramak için tek seçenek budur ya da öyle görünmektedir.

Bohr ilk edinim olarak tamamlayıcılık ilkesinde saklı olan keyfi bileşeni ortadan kaldırır: Yani, yalnızca bir ölçme aracının doğrudan verdiği atomik büyüklüklere değinmek gerektiğini söyler. Örneğin, zayıf bir elektromanyetik ışınımdan nasıl söz edeceğiz? Kısaca, gözlenmediği durumlarda söz edemeyeceğiz (kuantum dünyasının kendisini anlatırken adı geçen yasaklamayı unutmayalım). Eğer ışınım bir anten aracılığıyla algılanmışsa, o zaman sorun yok, bu durumda bir dalgadan ya da eğer istenirse, bir elektrik alanından söz edebiliriz, çünkü bu, antenin ölçtüğü şey olur. Eğer ışınım bir foto çoğaltıcı, bir foton sayıcı tarafından algılanmışsa, o zaman fotonlardan söz edebiliriz.

Bohr'un çözümü yararlı sayılabilirdi, çünkü fiziğin yeni buluşlara doğru ilerlemesine olanak sağlıyordu. Ama öte yandan,

çok büyük bir güçlük de çıkarıyordu. Fizik şimdi birbirine ters iki yasa sistemine ayrılmış gibi görünüyordu: Klasik olanı belirlenimci ve sanki kesinliğin limanı gibiyken, tümüyle olasılığa dayanan ikinci kuantum sistemi bütünleyiciliğin getirdiği olanaklarla ve rastlantı ile belirsizlikle iç içeydi. Nasıl olur da aynı insan iki efendiye hizmet edebilir, aynı bilim iki ayrı türde yasalara uyabilir? Bohr gerçeklere bağlı kalarak ve tek doğrunun onlar olduğunu duyurarak mantıksal bir yarık hem de tehlikeli bir yarık açtı, çünkü bu bilimin uyumunu ve birliğini tehdit ediyordu.

Birçok kimse gözünü maddenin temelde kuantum doğasını taşıyan yapısına kapayıp, yalnızca klasik dış görünümü korumayı reddediyordu. Daha sonra göreceğimiz Schrödinger'in kedisi böyle bir durumun resimlenmiş halidir ve tıpkı ünlü kedinin konu dışındaki kimseleri uyarmasına benzer şekilde, von Neumann'ın ölçüm gereçlerinin kuantum kuramını oluşturma yolundaki girişimleri de fizikçilere bir uyarı gibi geliyordu. Einstein hiçbir zaman Bohr'u izleme yoluna gitmedi ve onun bu konudaki güvensizliği kendisini kuantum olguların kendine özgü rastlantısal özelliklerini de sorgulamaya götürdü. Louis de Broglie ve Bohm kuantum mekaniğini belli bir ölçüde değiştirmek ya da onu tamamlamak amacıyla başka kuramlarla ortaya çıkmaya çalıştılar. Einstein, Podolsky ve Rosen, yeniden Bohm, daha sonra da Bell, tamamlayıcılık ilkesini özellikle çok kritik durumlarda sınamak üzere farklı yollar aradılar. Sonunda Bohr bütün bu girişimler karşısında hep dimdik ayakta kaldı.

DALGA FONKSİYONUNUN İNDİRGENMESİ

Deneylerden söz ederken dalga fonksiyonları pek kullanılmadığına göre, insan bunların hâlâ gerekip gerekmediğini merak edebilir. Emin olmak için, Bohr kuantum formalizmini reddetmez, ama onu hesap yapma konumundaki aygıt olmakla, yani olasılıkların falcısı rolüyle kısıtlar. Bir dalga fonksiyonu da budur zaten. Olasılıklar üreten bir makinenin yakıtı. Kuantum kuramı yalnızca bir gerçek olmasıyla değil, aynı zamanda gerçekleri birbiriyle ilişkilendiren kurallar dizisi olarak da doğ-

rudur, ki bu kurallar da ölçülen büyüklüklerin birbirine göre görülme sıklıkları cinsinden deneylerle desteklenmişlerdir. Göreli sıklık kavramı bildiğimiz olasılık kuramıdır, örneğin bir rulet pek çok kez döndürüldüğünde, oradaki sayılar içinden, diyelim 12 sayısının gelişlerine düşen paydır. Rulet yerine, bu kez atomlarımız; Pascal'ın kullandığı kombinasyon hesapları yerine de dalga fonksiyonlarımız var.

Tamam, ama burada bir uyumsuzluk yok mu? Kuantum dünyasının kendisinden söz etmememiz gerekir ve onun yerine yalnızca klasik verileri biliyor gibi yaparken, bir atomun dalga fonksiyonunu nasıl bilebiliriz?

Bohr bu engeli yeni bir kural getirerek aşar. Ona göre, yalnızca ölçüm aygıtlarını değil, ayrıca parçacık sayıcılarını olduğu kadar, üretimi yapan aracı, parçacık hızlandırıcılarını da hesaba katmamız gereklidir. Genellikle üretimi yapan mekanizma bir ölçüm aracından ayırt edilemez ve Bohr'un ilgisini hem de bunu genel bir kural yapacak kadar çeken de budur. Ardışık iki ölçüm aracının bulunduğu durumları özellikle önemli olarak görür. Eğer bir atomun birinci ölçüm aracından çıkan dalga fonksiyonunu biliyorsak, o zaman ikinci aracın olası sonuçlarının olasılıklarını da önceden kestirebilir, böylece kuramı deneysel olarak doğrulayabiliriz.

Bohr bu dalga fonksiyonunu özel bir kuralla, dalga fonksiyonunun "*indirgenmesi*" ile tanımlar. Bu aslında burada ayrıntısına girmeyeceğimiz teknik bir kuraldır ama aşağı yukarı şununla eşanlamlıdır: Sen bana ilk ölçümün sonucunu söyle, ben de sana hangi dalga fonksiyonuyla ikinci ölçümün sonuçlarının olasılıklarını hesaplayacağını söyleyeyim.

Bu durum anlambilim açısından bir soruyu doğurur: Bu reçete ne anlama geliyor? Bu ancak koşullu olasılık denen değerleri, yani, ilk ölçümün sonuçlarının verilenler şeklinde gerçekleşmesi varsayımıyla, ikinci ölçümün hangi olasılıklarda gerçekleşeceğini veren, deneysel bir kural olmalıdır. Bu bilgi, iki sütunlu bir çizelgeyle ya da bir ilk ölçüm sayısı kadar sırası ve ikinci ölçümün olası sonuçları kadar sütunu olan bir matrisle sunulabilir. Bu çizelgedeki ya da matristeki her bir kutucuk o zaman iki sonucun sırasıyla oluşmasının göreli sık-

lığını gösterecek ve Bohr'un kuralı da kısaca bu sayıların nasıl hesaplanması gerektiğini belirleyecektir. Eğer bu indirgeme kuralı özetle böyle bir reçeteyse, kuramın temel ilkelerinden çıkarılabilir ve bu da tam olarak son zamanlarda yapılmış olan şeydir. Ama Bohr böyle bir çıkarımın yapılabileceğini sanmıyordu ve tümüyle farklı bir yaklaşım izledi. İlk ölçümün yapılmasının ardından, atomun dalga fonksiyonunun birdenbire bütün belleğini yitirerek geçmişte ne olmuş olabileceğini tümüyle unutacağını ve o anda *reçetenin* onun için öngördüğü şey olacağını varsayar. Kural da o zaman başkalarına benzemeyen bir fizik yasası olur. Kural olmadan, ne dalga fonksiyonunu bilebilir ne de olasılıkları hesaplayabilirdik, kuramla deneyi karşılaştırmak da olanaksız hale gelirdi. Öyleyse, dalga fonksiyonunun indirgenmesi deneysel anlambilim dışında olmazsa olmazdır.

Bohr'un fiziğin tam kalbinde açmış olduğu, klasik ve kuantum yasaları arasındaki uçurum daha da genişledi. Eğer ölçüm aracının kuantum atomlarından oluştuğunu kafamızda canlandırır ve Schrödinger denkleminin hem atomu hem de onu ölçen aracı tanımladığını kabul edersek, o zaman Bohr'un önerdiği indirgenmenin matematiksel olarak ünlü denklemle uyuşmadığını görürüz. Böylece, bu indirgenme bizi yalnızca gözlerimizi aygıtların atomik doğasına kapamakla yetinmeyip, onu tümüyle reddetmeye zorlar. Özellikle kimileri çok duyarlı, kimileri de hayli kritik olan sayısız deney bir nokta üzerinde görüş birliğine varıyorsa garip bir durum var demektir. O da, dalga fonksiyonunun indirgenmesi kuralının, en azından iki sütunlu bir çizelgeyle temsil edildiği kadarıyla, tümüyle doğrulanmasıdır.

Buradaki açmaz şudur: Acaba aslında iki tür fizik kuralı ve bunların ikisine de uymayan çok garip bir indirgenme olgusu mu var? Yoksa yalnızca zorunluluktan kaynaklanan genel bir tür kural (yani kuantum yasaları) var da indirgenme kuralı sadece öteki ilkelerin doğrudan bir sonucu mu olmaktadır? Kuantum fiziği üzerine olan felsefi değerlendirmelerin çoğu, Bohr tarafından seçilen ve uzun zamandır tek doğru olduğu düşünülen ilk seçeneği desteklemiştir. İkinci seçeneğin doğru

olması halinde felsefi sonuçların kökten değişmiş olacağı da açıktır. Bununla birlikte, buradaki açmaz felsefenin değil, fiziğin çözmesi gereken bir ikilemdir, çünkü ikinci seçenek gerçekten de buna ya olumlu, ya olumsuz yanıt vermesi gereken kuramsal fiziğin bir problemidir.

Bilim zamana gerek duyar, felsefe ise aklın sabırsızlığı ve açlığına karşın, zamana daha da çok gerek duyar. Bohr'un ortaya attığı koşullar, geçici olsalar bile, eğer fizikçi için pratik, düşünceyi yönlendirmede gerekli sağduyu açısından kurallar, yani aslında ne oldukları üzerine olsaydı, aklı yansıtan çok güzel örnekler olurlardı. Bunun ötesine geçmesi yazık olmuş, çünkü başka türlü tarihte, (kesinlikle önemli bir edinim olmakla birlikte) gerçek anlamda büyük bir fizikçi olmakla kalmayıp, bir bilge adam örneği oluşturacaktı.

3. Kısım

FORMAL OLANDAN GÖRSEL OLANA: KUANTUM DURUMU

Burada formalizmin bilimin içine ne ölçüde girdiğini kestirmeye çalıştık. Eğer tutkularımız felsefi izler taşıyorsa (başka bir deyişle, eğer anlamayı umuyorsak) en azından ilk bakışta düş kırıklığı yaratabilir ve bize umut vermiyor gibi görünebilir. Kim kendini bize *görebileceğimiz* bir şey vermeyen, bir ışık sağlamayan işaretlerin diline, sinir bozucu mantığa teslim ederek anlayış düzeyinin yükseleceğini söyleyebilir? İnsanın dünyanın soğuk ve kavranması güç temellerine, yani dibe vurduğumuzu söyleyeceği geliyor. Öyleyse, pek çok meraklı beynin umutsuzlukları yenerek, bilimin karanlığından sıyrıldığına nasıl şaşırabiliriz?

Neredeyiz peki? Kendi sezgimizden ve alışık olduğumuz dilden önemli ölçüde vazgeçmeye zorlandık, ki bunlara da bundan sonra pek güvenilmez zaten. Bizim dünyayı temsil ediş biçimimizin bir bölümü kaldırıldı, geri kalanı da matematikteki gibi işaretlerin çeşitli yorumlarla birlikte egemen olduğu atomların dünyasıdır. Ağır bir kayıp yaşadık ama kazancımız da az sayılmaz. Bilim sayesinde yasalara, evrenin bugün geçerli olan ve belki biraz itici gelebilecek biçiminin yeni bir umut beslemeye elverişli olan bir çerçevesine erişebildik.

Yasalar ve bu yasalardaki tutarlılık. Peki ya hiçbir şey yitirmeyip, her şeyi kazandıysak? Bunu yeniden kurabildiğimizi, ilk görüşümüze ve hiçbir şeyin yabancı olmadığı sezgi dünyamıza geri döndüğümüzü düşünün. Bunun olabilmesi için, görünen dünyanın hiç de Hindu felsefesindeki Maya gibi olmadığını anlamak üzere, tutarlılığa biraz daha yaklaşmak yeterli olacaktır. Yalın görüşümüzün ve sıradan dilimizin yasaların doğal ürünleri olduklarını ve bunlara güvenmeye hakkımız olduğunu göstermek yeterlidir.

Sizi şimdi incelemeye çağırdığım yeniden yapılanma da budur işte. Görevimiz hayli tutkulu, çünkü bizi felsefenin geleneksel yaklaşımının tersine götürecek. Dünyanın gerçekliğiyle başlamak ve apar topar söylenen şeyler ile kırılgan genellemeler eşliğinde ilkeleri üzerinde çıkarılacak sonuçlara atlamak yerine, ters yönde, bir bakıma yukarıdan aşağıya doğru gideceğiz. Hayli sıkıntı çektikten sonra ulaşılmış olan yasalarla işe başlayarak, ilk olaya dönmemiz ve onu yeniden kurarak doğrulamamız gerekir. Eğer böyle uyumlu bir görüş sağlanabiliyorsa, eğer işin sezgisel ve formal yönleri birlikte var olabiliyorlarsa, o zaman hangisini başlangıç olarak aldığımızın bir önemi yoktur, çünkü uyum denen şey başı sonu belli olmayan bir çember gibidir. Ben, bir insan olarak, dünyaya görüşle de işaretlerle de girebilirim, arada fark yoktur.

Fizikçiler yakın zamanlara dek onları ilgilendiren işlerle uğraştılar. Formalizmin kalesi olan ve ileri düzeyde soyutlukla işlenmiş bulunan ilkeleri, bizim algıladığımız kadarıyla, gerçekliğin şeffaflığından hayli uzak sayılacak kuantum fiziğine saldırdılar. Yine de, böyle bir şeffaflığın bu ilkelerden geldiğini gösterdiler.[1] Şimdi bunların izlerini süreceğiz. Gideceğimiz yol

[1] Bu çalışmalar, özellikle fizikçiler Murray Gell-Mann, Robert Griffiths, James Hartle ve bu kitabın yazarının çalışmaları, yine bu kitabın yazarı R. Omnès'in "*The Interpretation of Quantum Mechanics – Kuantum Mekaniğinin Yorumu*" adlı kitapta (Princeton, N. J. : Princeton Üniversitesi Yayınları, 1994) ayrıntılı olarak tanıtılıyor. Bunlar ayrıca, son edinilen sonuçlarla birlikte, yazarın bir başka, fizikçiler için fazla teknik olmayan kitabında, "*Understanding Quantum Mechanics – Kuantum Mekaniğini Anlamak*" (Princeton, N. J.: Princeton Üniversitesi Yayınları, 1999) adlı yapıtta sunulmaktadır.

hiç de kolay değil, çünkü bilimin tuzaklarla, gerçek mayınlarla dolu bir bölgesinden geçiyor. Ama umarım, yeterince temizdir. Kimi okuyucular neden yine kuantum mekaniğini seçtiğimizi merak edebilir. Onlardan bu güçlü yaklaşımın daha önce araştırılmamış yeni yönlerine giden yollar açan yalnızca bir örneğini görmelerini rica edeceğim. Bu düşünceler, başarılı biçimde uygulanacakları başka yerlerde daha da etkin ve inandırıcı olabilirler. Yapılması gereken iş budur.

Benim savlarımı destekleyen sonuçların da bütün insani girişimlerde olduğu gibi, biraz kırılgan ve bundan sonra yapılacak yeni buluşların ışığında çürütülmeye açık olduklarının elbette farkındayım. Bununla birlikte, gelecek ne getirecek olursa olsun, benim izlediğim yol yeniden yapılabilir, yöntem de yeniden uygulanabilir. Son olarak da, en önemli olanın bu yeni yöntem, bu yeni felsefi araç olduğunu söylemeliyim.

IX.

MANTIK VE FİZİK ARASINDA

PROGRAM TASLAĞI

Hiçbir şey kuantum mekaniğinin ilkelerinden daha kurak ve çorak olamaz. Onun kavramları ve yasaları soğuk, kaçınılmaz bir matematiksel biçimde, sezgiye hiç yer olmayan bir şekilde, çevremizde görünce ne olduğunu hemen açıkça gördüğümüz nesnelerdeki açıklıktan uzak olarak konulmuştur. Ama yine de, bu kuram gerçekliğin içine, duyularımızın bizi götüremeyeceği yere kadar sızıyor. Yasaları, evrensel ve bize çok tanıdık gelen şeyleri bu yasalar yönetiyor. Biz, bu dünyada yaşayanlar, kendi dünya görüşümüzü, kavramları bizim görüp, dokunup, sıradan sözlerle söylediğimiz şeylerden esinlenen yasalara göre bir kat üstte olan şu kibirli yasaların üstüne çıkaramayız.

Böyle geniş bir kuramın bilginin geleneksel varsayımlarını altüst etmesi de kaçınılmazdır. Kuşkusuz, Hume'un da yaptığı gibi, dünya hakkındaki kendi sezgisel temsil biçimimizin gerçekliği algılamamızın bir sonucu olduğunu varsayabiliriz. Öte yandan, bizi anlamaktan alıkoyan ve Hume'un yıkılmaz saydığı duvar şimdi artık hemen hemen yerle bir olmuştur. Hume insanların dünyada neden bu kadar sıkı, görüp, üzerinde konuşabileceğimiz bir düzen olduğunu bileceklerine inanmıyordu. Bugün bunun tersi olan bir sorunla karşı karşıyayız. Sonunda çevremizde gördüğümüz nesneleri yöneten ve onlara anlam veren gizli düzene ulaşmış bulunuyoruz. Bacon'ın savunduğu deneysel yol bizi nesnelerin özüne çok yaklaştırdı. Kendimi-

zi Kant'la birlikte, insanın içine doğan düşünceler hücresine kapamamız da gerekmiyor, bunlar olsa olsa düşünceyi sınırlayabilir, oysa düşünce denen şey, formalizmin gelişiyle sınırsız olanakların bulunabileceği bir geleceğe doğru atılır.

Bunu söyledikten sonra, kendi benliğimizin aklımızdaki formalizm ile gözlerimizin önündeki somutluk arasında ikiye ayrıldığını kabul etmemiz gerekir. Eğer anlamayı gerçekten istiyorsak, yapacağımız ilk iş bu ayrımla uzlaşmak olmalıdır. Formal bilimi fethetmemiz ve Bohr'un dayattığı yeni kısıtlamaları kaldırmamız gerekir, kuantum mekaniği de bunun için iyi bir örnektir.

Kuantum mekaniğinin ilkelerinin sağduyuyla çatıştığı su götürmez. Birtakım yapay uzlaşmaları ne pahasına olursa olsun aramaya kalkmaktansa, bunu kabul etsek iyi olacak. Ama böyle bir tanımanın, biz onsuz yapamıyoruz diye, sağduyuyu değersiz görüp, silip atmanın gerekçesi olmaması gerekir. Her şeyden önce bilim deneyimin bir ürünüdür ve deney de, düşünceyle yürütülse bile, bir eylemdir. Bir voltmetreyi kurmak da tıpkı bir Geiger sayacını ve radyoaktif bir kaynağı kurmak ve sayacı bir yerden başka yere götürmek gibi bir eylemdir. Bütün bu eylemleri sıradan, günlük dili kullanmadan nasıl tanımlayabilirim? Elbette voltmetrenin dalga fonksiyonundan söz etmeden. "*Voltmetreyi şöyle bir dalga fonksiyonuna sahip olacağı şekilde kurun*" gibi bir tümce kimseye sevimli gelmez. Sürücülük kursu veren bir öğretmenin öğrencisine trafik ışığından çıkan fotonların dalga fonksiyonu şöyle bir şekil aldığında, frenlerin dalga fonksiyonuna ne yapılması gerektiğini anlattığını düşünmek de pek akla yakın olmaz. O zaman caddelerdeki hiç kimse güvencede olmazdı. Birine yönergeler vermek, onun eylemlerini düşünmek, gördüğümüz şeylerle iletişim kurmak, ..., kısacası, *uygulamayla* ilgili her şey, aynı zamanda sağduyumuzla da ilgilidir. Biz yalnızca bilimle ilgilendik, ama genel olarak, günlük yaşamımızın parçası olan her şey ancak bildik, tanıdık bir biçimde temsil edilebilir.

Ama sağduyumuzdaki mantık atomik ölçekte olup biten şeylerle baş edemez. Böyle olaylar tümüyle farklı, bizim "gördüğümüz" dünyaya egemen olan fizikten daha genel, daha

kapsamlı, evrensel bir fizik tarafından yönetilmektedir. Bizim sezgimize tanıdık gelen klasik fizik, kuantum fiziğinin, bizim ölçeğimize uygulandığında alacağı uç biçimidir.

Dolayısıyla, eğer anlamayı gerçekten istersek, çürütülebileceği ortaya çıkana değil, evrensel olduğu ve gerçeklere dayandığı bilinene güvenmek durumundayız demektir. Fizik terimleriyle söylemek gerekirse, klasikle değil, kuantum dünyasıyla işe girişip, ilkini tüm dış görünüşüyle çıkarmaya çalışmamız gerekir. Bu çıkarım sadece klasik dinamiğin birtakım parçalarını yeniden elde etmek değildir, aynı zamanda sağduyumuzun (yani, bildiğimiz mantığın) onu nasıl açıklayabileceğini de ortaya koyabilmelidir. Bizim yaklaşımımızdaki özgünlük "*sağduyuyu kuantum kavramının öncüllerinden ve sınırlarından çıkarma, yani aynı zamanda sağduyunun hangi koşullar altında geçerli olacağını ve yanılma payını göstermede*" yatıyor. Yaklaşımımızın Yunanlara kadar dayanan geleneksel açıklama sürecini ters yüz edeceğinin farkındayız. Artık gerçekliği onun aklımızda bulunan ve doğruluğundan kuşku duymadığımız temsil biçiminden yola çıkarak açıklama yoluna gitmiyoruz, ama *açıklamak* istediğimiz de bilimin bize açıkladığı yasalar hakkındaki bilgimizle başlayan bu temsil biçimi ve onunla birlikte giden sezgi ve sağduyudur.

SAĞDUYU MANTIĞI

Kuantum dünyasındaki gariplikler arasında kendimizi Harikalar Diyarında hangi yolu izleyeceğini ve hangi büyüye güveneceğini bilemeyen Alice kadar kaybolmuş hissedebiliriz. Ama Alice'in babası Lewis Carroll onu gizlice yönlendiren akıllı bir mantıkçıydı. Sonuç olarak, zaten mantık da yolunu yitirenler için izlenecek en iyi çizgi değil midir? Öyleyse, neden bu karışıklıktan bir anlam çıkarmak için yardım istemek üzere ona dönülmesin? Daha önce de gördüğümüz gibi, mantık her konuya uygulanabilir, yeter ki üç temel öğeyi açık biçimde tanımlayabilelim. Birincisi, neyin üzerinde konuştuğumuzu, bir önermeler alanı mı, bir konuşma evreni mi, yoksa başka deyişle bir düşünce bölgesi mi olduğunu belirlememiz gerekir (*Denkbereich*). İkinci öğe akıl yürütme gereçlerini, yani önermeler

üzerindeki işlemleri (değil, ve, veya) ve mantıksal denklik ile çıkarım (eğer ... ise, o zaman ...) bağıntılarını sunar. Mantığın üçüncü bileşeni ise bize bir önermenin doğru olup olmadığına karar verme olanağı sağlayan bir ölçüttür.

Bu evrensel gereçleri kuantum dünyasının duru biçimde açıklanmasına uygulamadan önce, onları biraz ete kemiğe büründürerek, soyut yapılarını zayıflatacağız. İşe onları Newton mekaniğini tartışmada kullanmakla başlayacağız, çünkü bu alan bizim sağduyumuzdan çok da uzak değildir. Bu yüzden de işin doğasını bir ölçüde aydınlatabilir. Aslında, formal kuantum dünyasını bizim sağduyumuzdan ayıran yolda, ikinciye de biraz formalizm katarak, yarı yola kadar gideceğiz.

Şu an için yalnızca fiziksel bir nesnenin belli bir andaki konumu ve hızıyla ilgili önermeleri ele alacağız. Bunlar dinamiğin (doğal sıraya göre) öncülü olan klasik mekaniğin, olayın nedeninden bağımsız olan devinimini inceleyen "*kinematik*" dalını oluştururlar.

Örneğimiz düşey bir düzlem içinde salınımlar yapmakta olan bir sarkaç olacak. Bize sarkacın konumunu, yani düşeyle yaptığı açıyı belirlemek üzere bir sayı, hızını göstermek üzere de ikinci bir sayı daha gerekiyor. Bu durumda, en basit önerme kısaca bu iki büyüklüğün (x, v) değerlerini ortaya atar. "Konum bileşeni x sayısı, hız ise v sayısı ile gösterilmektedir." Bu önermenin her iki sayının, yani x ile v'nin tam olarak, ondalık noktadan sonra ne kadar isteniyorsa o kadarlık basamakla, kesin biçimde bilindiğini varsaydığına dikkat ediniz. Ama böyle bir önerme deneysel bir gerçeği tanımlayamaz, çünkü uygulamada ölçüm araçlarının sınırları nedeniyle sonsuz kesinlik sağlanamaz. Dahası, yukarıdaki önerme önkoşulsuz olarak, Heisenberg'in belirsizlik bağıntıları nedeniyle, kuantum mekaniğiyle uyumlu değildir. Böylece, soruya hangi açıdan dalarsak dalalım, deneysel gerçeklikleri daha iyi yansıtan ve en temel yasalar oldukları bilinen kuantum yasalarıyla uyumlu başka önermelere başvurmak durumundayız.

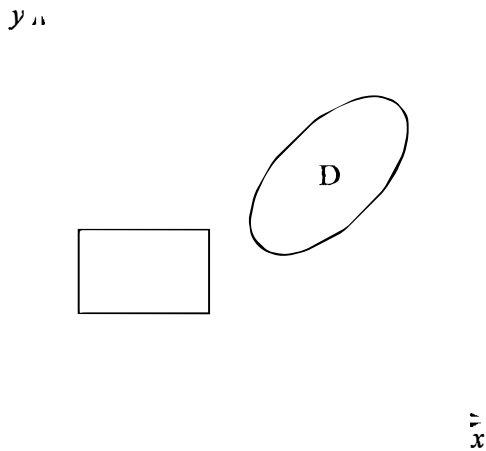
Diyelim, sarkacın ilk konumunu açı derecesinin 1/3600'ü demek olan açı saniyesini ölçecek kadar duyarlı bir aygıtla ölçüyor ve x için örneğin 1123 saniye gibi bir değer buluyo-

ruz. Aygıtın duyarlılığı düşünülünce, ancak x'in 1122 saniyeden büyük ve 1124 saniyeden küçük olduğuna güvenebiliyor ve 1 sayısını geçmeyen bir Δx hatasıyla, x = 1123 diyebiliyoruz. Benzer şekilde, ortamdaki hava akımlarının etkisi, sarkacı bırakırken elimizin az da olsa titremesi ya da aklınıza gelebilecek herhangi bir salınım düşünüldüğünde, ilk hızın v = 0 olduğunu 0,01 mm/s değerini geçemeyecek bir Δv hatasıyla söyleyebileceğiz. Buna karşılık gelen deneysel önerme de o zaman "sarkacın konumu 1122 ile 1124 arasında, hızı ise –0,01 ile +0,01 arasındadır" olacaktır.

Eğer durumu bir Kartezyen sisteminde grafikle göstermek istersek, yukarıdaki önermenin doğru olacağı (x, v) noktalarının tümü bir dikdörtgenin içinde kalacaktır (eksenlere paralel olan iki şeridin, yani x ekseninde 1122 ile 1123 arasında, v ekseninde ise –0,01 ile +0,01 arasında kalan şeritlerin kesişimi). Bu yolla kinematikteki her temel önerme düzlemde belli bir dikdörtgenle karışıklığa meydan vermeyecek biçimde eşleşmiş olur. Durumu grafiksel yolla temsil etmenin yararı mantıksal işlemlerin düzleme ya da uzaya uygulandıklarında getirecekleri kolaylıktır. Daha genel önermeleri, belli dikdörtgenler yerine düzlemin rastgele bölgelerine işaret eden önermeleri ele alarak başlıyoruz (Şekil 1). Düzlemdeki belli bir D bölgesi için şu önermeyi yapıyoruz: "(x, v) sayıları D bölgesindeki bir noktanın koordinatlarıdır." Bu önermeyi D ile gösteriyoruz.

Bu büyüklükler belli hata sınırları içinde verildiklerinde, buna karşılık gelen nokta da bir dikdörtgenin içindedir. Daha genel konuşmak gerekirse, nokta burada gösterildiği gibi, D bölgesinin içindedir. O zaman, "*D-değil*" önermesi D bölgesinin dışına karşılık gelirken (D'nin tümleyeni olan $\overline{D}$) "*D ve D*[" önermesi D ile D' kümesinin kesişimine, "*D ya da D'*" ise D ile D' kümesinin birleşimine karşılık gelmektedir. Denklik (=) ve çıkarım (➔) işlemlerinin mantık bağıntılarını şekil kullanarak göstermek de kolaydır. Eğer D ile D' kümesinin birbirine karşılık gelen bölgeleri çakışıyorsa, D ile D' denktir ve $D \rightarrow D'$ çıkarımı, D kümesinin dahil olduğu bölgeyi gösterir.Yukarıda üzerinde anlaşmaya varılan noktaların önemi, Boole sayesinde bildiğimiz gibi, bunların mantığın temel aksiyomlarını sağla-

masında yatar. Böylece mantık işlemleri kümeler arasındaki geometrik işlemlere dönüşür ve kinematiğin tümü (bizim ondan söz etme biçimimizi de buna katabiliriz) kısaca basit bir matematiksel biçime indirgenmiş olur.



Şekil 1. Nesne (burada sarkaç) klasik fizikte, konumunu gösteren *x* ve hızını gösteren *v* ile tanımlanır.

Mantığın, bilimin bu özel dalına uygulanmasını tamamlamak için bir önermenin doğruluk değerinin oluşturulmasındaki ölçütleri belirlememiz gerekir. Gerçeklikle ilgili bir önerme ancak tam olarak ne olduğuyla uyum içinde ise doğrudur. Ya da Tarski'nin şık formülünü kullanarak söyleyelim, "Gül kırmızıdır" ifadesi ancak gül kırmızı olduğunda, başka bir deyişle, söz konusu gülün renginin gerçekten kırmızı olduğunu doğrulayabildiğimizde, doğrudur. Kinematiğe dönersek, sarkacın konumunu ve hızını gerçekten ölçerek sözünü ettiğimiz önermenin doğruluğunu sağlayabiliriz.

KLASİK DİNAMİK VE BELİRLENİMCİLİK

Sağduyumuzdaki mantık anlayışını kinematikten klasik dinamiğe doğru giderek derinleştirebiliriz. Bu yeni evre bir öncekinin sıradan bir yinelenmesi değildir, çünkü belirlenimciliği

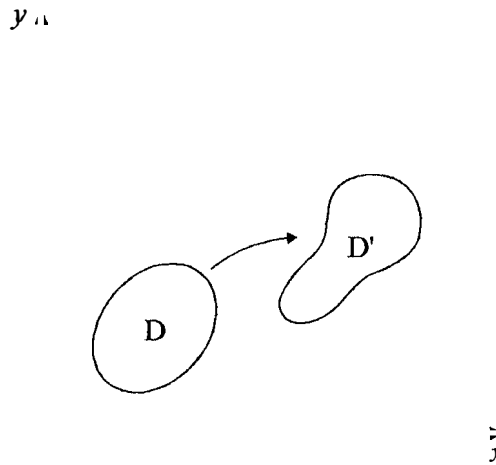
ve bizim anladığımız biçimiyle doğruluk kavramını bir parça aydınlatacaktır.

Formal olarak, dinamikteki basit bir önerme, zamandan açıkça söz edilen kinematikteki bir önermedir. Örneğin, "bir t anında, konum ve hız bileşenleri belli bir D bölgesinin içindedirler" gibi. Bunu geometrik terimlere çevirmek için, içinde (x, v, t) noktalarının tanımlanacağı bir koordinat sistemine gerek duyuyoruz ama ayrıntılara girmeyeceğiz.

Zamanın işe katılışı yalnızca bir boyut daha getirmekle kalmaz, klasik hareket denklemleri için farklı zamanlarda gerçekleşen durumlar arasında bağlantılar da kurar. Eğer sarkacın kinematik bileşenleri olan x ile v'nin t anındaki değerlerinin bilindiği varsayılıyorsa, klasik dinamik bize bir başka (t') anında x' ile v' değerlerinin ne olacağını Newton denklemlerini kullanarak bulma olanağı da sağlar. Bu bağıntı zamanın her iki yönünde de, yani hem ileriye hem de geriye doğru çalışır (sürtünmeyi göz ardı edersek), çünkü t' anı t'den önce ya da sonra olabilir.

Herhangi bir gerçek durumda, son derecede keskin bileşenler söz konusu olmadığında, t anında, x ile v'nin belli bir D bölgesi içinde bulunduğunu öne süren a önermesini düşünebiliriz. Her bir x, v noktası, t anında, devinim tarafından bir başka (x', v') noktasına dönüştürülür. (x, v) noktası D bölgesini tanımlarken, (x', v') noktalarınca yaratılan bölgeyi D' olarak, b ile de kinematik bileşenlerin t' anında D' bölgesinde olduğunu öne süren önermeyi göstereceğiz. O zaman da, bu a ve b önermelerinin mantıksal açıdan denk oldukları açıktır (Şekil 2). Bu da belirlenimciliğin tam bir mantıksal yüzünü açığa çıkarıyor: *Klasik belirlenimcilik Newton dinamiğinin, iki farklı ana göre, iki önermesi arasında mantıksal bir denkliktir.* Konum ve hız bileşenlerinin belli bir anda belli bir D bölgesinde olduklarını söylemekle bir başka anda, bir başka D' bölgesinde olduklarını ve bu D' bölgesinin D'nin klasik hareket yasalarıyla (yani Newtoncı yaklaşım) dönüşmüş hali olduğunu söylemek mantıksal olarak birbirine özdeştir. Bu açıklama fazla basit görünse bile, yine de belirlenimcilik kavramının altında yatan temel düşünceyi yeterince ifade etmektedir. Bu düşünceye göre, geç-

miş şimdiki durumu tümüyle belirler, tersine konuşursak da, şimdiki durum geçmişi belirler (sürtünmenin olmaması halinde). Laplace'ın belirlenimcilikten anladığı buydu.



Şekil 2. Belirlenimciliğin mantıksal doğası.

Zaman göz önüne alındığında, doğruluk kavramının önemi daha da artar. Bir t anında gerçekleşen bir olaya tanıklık edebiliriz ve bu da tartışılmaz bir şeydir. Örneğin, bugün, diyelim 7 Eylül günü, öğle saatlerinde gülün kırmızı olduğunu görebiliyorum. Bu doğru önermenin belirlenimci sonucunun da aynı şekilde doğru olduğunu, mantıksal bir sonuç olarak öne sürebilir miyim ve (ancak daha sonra doğrulanabilecek) "gül 15 Ekim öğle saatlerinde soldu" diyebilir miyim? Önce iki koşulun sağlanmaları gerekir. Bunlardan açık arayla daha önemli olanı, ister kuramsal, ister deneysel olsun, tüm güllerin bir ay içinde solmasını gerektiren evrensel bir doğa yasasının varlığıdır. Dinamik konusunda Newton'ın ilkelerinde somutlaşan da budur, ama sağduyunun birçok başka gizli kuralı baştan varsaydığı da açıktır. Âşık bir adamı sevgililer gününden bir ay önce gül toplamaktan alıkoyan da bilimsel akıl değil, düz sağduyudur. Çıkarılan önermenin doğru olması için gereken

ikinci koşul ise sadece mantıksaldır. Yukarıda sözü edilen evrensel yasanın gerçekten "gül 15 Ekimde soldu" önermesinin doğru olacağını, ilk önerme olan "gül 7 Eylül öğle saatlerinde kırmızıdır" önermesine dayanarak ima etmesi gerekir.

Yukarıdaki tartışma çok basit görünebilir, ama buradaki amaç yalnızca bizi formalizmin ve nesnelerin gerçekliğinin iç içe olduğu görüşüne yaklaştırmaktı.

BİR MELEĞİN YARDIMI

Gerçek güçlükler kuantum dünyasına girdiğimizde başlıyor. Eğer 3. Bölümün başlarında taslağı verilen programı sonuçlandırmak istiyorsak, sağduyunun akıllarımıza bir an bile göz ardı edemeyeceğimiz kadar derin kazılmış olmasına karşın, hemen hemen bütün eski düşünce alışkanlıklarımızdan vazgeçmemiz gerekir. Yine de, eğer sonunda sağduyu yeniden ortaya çıkmak durumundaysa, başlangıçta yalnızca fiziğin en önemli ve en derin olduğunu düşündüğümüz formal ilkelerini varsaymak zorundayız. Bu harika şeye, yani düşünce ile gerçeklik arasındaki eksiksiz uyuma inanmayı diliyorsak, kendimizi teslim etmemiz gereken alıştırma da budur.

Eğer bizi düşünülmüş şemaları alt etmekten koruyan insani doğamız böyleyse, o zaman bizi dünyevi sınırlamalardan sıyıracak yeni bir varlık düşleyebiliriz ve bu öyle bir varlık olur ki, saf kuramın özünü solur ve kendisini bir tür melek yapacak esinleri de oradan alır. Gerçekten de, bizi kurtaracak bir meleği neden çağırmayalım? O zaman bu, Voltaire'in düz aklı en saf haliyle temsil eden çocuksu Huron'una benzer bir hitabet aracı olur. Benzer şekilde, formal yaklaşımda bir uzman rolünü oynayacak ve özellikle herkesçe bilinen ancak yanıltıcı görünümleri olan savlar için kuşkulu olan böyle bir karakteri zaman zaman oluşturmayı yararlı buluyoruz.

Öyleyse, yeni doğmuş ve maddesel dünya dışında, tüm eğitimini alacağı saf düşünce krallığında yaşayan bir meleği düşleyelim. Sonunda varacağı yer dünya olduğu için, ona dünyevi olan her şeyi öğretmemiz ama büyük bir sarsıntı yaşamaması için de hemen göstermememiz gerekir. Biz insanların bu dünyayı kavrama biçimini adım adım öğrenmelidir. Bizim meleğin

sağlam bir mantık ve matematik bilgisi vardır, çünkü bu dallar üzerinde uzmanlaşmak onun cennetinde kolaydır. Öncelikle ona maddenin ne olduğunu açık ve tatlı bir biçimde açıklamak durumundayız. Daha sonra doğanın, özellikle de kuantum fiziğinin temel yasalarını, örneğin dünyanın Schrödinger denklemine göre gelişen dalga fonksiyonlarının tanımladığı parçacıklardan oluştuğunu öğrenerek işe başlar. Melek ayrıca arka plandaki gerekli kuramsal donanımı edinmek zorunda olduğundan, onu insanları sağduyudan, klasik fiziğin mantıksal yapısına götürecek yola, ama ters yönde, yani tam bir matematiksel formalizmden, insanların anlayabileceği ama aynı zamanda saf bir kuramcı olan melek için tümüyle doğru ve açık biçimde sokmamız gerekir.

Fizikte, herhangi bir anda, bir fiziksel büyüklüğün değerini veren bir önermeden daha basiti yoktur. Bununla birlikte, böyle bir önerme göründüğü kadar temel de değildir, çünkü bir fiziksel büyüklük kavramı (bir konum ya da hız bileşeni ya da enerji gibi) kuantum mekaniğinde şaşırtıcı şekilde soyuttur. Ayrıntılara girmeksizin bir fiziksel büyüklüğün (buna aynı zamanda *gözlenebilir** denir) matematiksel olarak bir işlemciyle, yani fonksiyonları oluşturana benzer bir tür aygıt tarafından, girdi olarak bir fonksiyon verildiğinde, çıktı olarak da bir başka fonksiyonu üreten bir şey biçiminde ifade edildiğini söyleyelim. Böyle bir kavramın formal özelliği, asıl söz konusu fiziksel büyüklük bir hız bileşeni olduğunda kendini gösterir, çünkü bu durumda buna karşılık gelen işlemci, dalga fonksiyonunun türevini hesaplar ve onu sanal sayı olan *i*'ye böler ($i = \sqrt{-1}$). O zaman da, onu orada bırakmak ve meleğin burada bir problem görmediğini fark etmek daha iyi olur, çünkü onun böyle bir büyüklüğü somut biçimde yorumlayabilecek bir ölçüm aracına sahip olmanın ne demek olduğu konusunda hiçbir fikri yoktur. Ona göre, her şey yolundadır, çünkü her şey tümüyle soyut, tümüyle matematikseldir.

Onun için önemli olan "*t* anında, fiziksel büyüklük *A*'nın, *D* aralığında" olduğu önermesinin kesinlikle açık olmasıdır. Bizim *özellik** olarak adlandırdığımız ve örneğin belli bir anda, bizim sarkacın düşeyle yaptığı *x* açısının 1123 ile 1124 sani-

ye arasında olduğunu ifade eden şey de budur. Pekiyi ama bu açı meleği neden ilgilendirsin? Onun bir sarkacın (bir atomlar topluluğu olmanın dışında) ya da "konum" denen şeyin sezgisel anlamının (ki o da melek için yalnızca belli bir işlemcidir) ne olabileceği konusunda bile en küçük bir bilgisi yoktur. Melek gerçeklik konusunda daha hiçbir şey bilmediğinden, bize göre yukarıdaki özellik için somut bir anlam veren bir aygıt kullanarak elde edilen ölçümlerden söz edemeyiz. "Somut" kavramı saf kurama ait değildir ve bir ölçüm aracı melek için yalnızca özel bir önemi bulunmayan büyük bir kuantum sistemidir. Melek için, bunun hiçbir yanı konuyla ilgili değildir, yalnızca formal terimlere dökülen ve onun anlayacağı tek dil olan bu vardır. Özelliğin durumu onu tümüyle niteleyen belli bir matematiksel nesneyi tek, benzersiz biçimde belirler.

Kısacası, hâlâ formal alandayız ve bizim için anlayabileceğimiz bir özellik olan şeyin melek için bir anlamı vardır, çünkü kuramın matematiksel sözlüğü ona tam bir çeviri sunar. Bir özelliğin böyle bir matematiksel çevirisine *izdüşüm** (ya da izdüşüm işlemcisi) denir. Bunun da olası değerleri tam olarak 0 ya da yine tam olarak 1 olan bir işlemci olduğunu söyleyelim. Yalnızca tek örnek vereceğiz. Bu örnek bir parçacığın konum bileşeninin 2 ile 3 arasında (burada belirlememiz gerekmeyen belli bir uzunluk birimine göre) olduğunu söylesin. Buna karşılık gelen ve ancak $\Psi(x)$ gibi bir dalga fonksiyonuna uygulandığında anlam kazanabilen izdüşüm işlemcisi olarak görülebilir. Bu işlemcinin $\Psi(x)$ üzerindeki etkisi, onun kanatlarını kırpmak, yani, fonksiyon x'in 2 den büyük, 3 den küçük değerleri için değişmeden kalırken, bu aralığın dışında bütün $\Psi(x)$ fonksiyonunu 0 yapmaktır.

Ayrıca bu örnekte izdüşüm işlemcisinin 0 ya da 1 değerlerini hangi açıdan alabileceğini de görebiliriz. Eğer giriş fonksiyonu yalnızca 2–3 aralığında 0'dan farklı ise, o zaman "kanat-kırpma" işlemi ona etki etmez (yani 1 ile çarpılmış olur). Eğer giriş fonksiyonu bu aralıkta zaten 0 ise, işlemci uygulandıktan sonra her yerde 0 olacaktır (yani 0 ile çarpılmış olur). Bu özellikle basit örneğin ötesinde bir açıklamaya kalkışmak bizi fazla uzağa götürür. Akılda tutmak gereken temel şey her bir

özelliğin, kendisine karşılık gelen ve yalnızca 0 ile 1 değerlerini alabilen bir işlemcisinin olduğudur.

Yalnızca sıfır ya da bir! Yanlış ile doğru değerlerini temsil etmek üzere 0 ile 1 simgelerinin kullanıldığı formal matematik yolculuğumuzu anımsayalım. Şimdi birtakım matematiksel nesneler olan, çeşitli özellikleri temsil eden ve 0 ile 1'den başka değer alamayan izdüşüm işlemcilerini gördük. Acaba bu, tıpkı bizim "orta değerin çıkarılması ilkesine inandığımız gibi, biraz safça inanacağımız şekilde, bir özelliğin yalnızca doğru ya da yanlış olduğuna inanmamız anlamına mı gelmektedir? Şimdi hemen buna bütün bu şeylerin yalnızca kaba bir işaret, yoğun siste hızlı bir bakış olduğunu ve bu siste ormandan çıkmadan önce gideceğimiz uzun bir yol bulunduğunu ekleyelim. En azından doğru yönde ilerliyoruz ve melek de bizimle kendimizinkine benzeyen bir dille konuşmağa başlıyor.

GÖZLENEBİLİR BÜYÜKLÜKLER

Sevgili okuyucu, sizin kendinizi bir melek gibi hissedip hissetmediğinizi bilmiyorum. Belki zaman zaman öyledir ama ne yazık ki ben kendimi bir melek gibi hissetmiyorum. Bununla birlikte, her ikimiz de aynı soruya farklı açılardan bakmanın onu anlamaya yardımcı olabileceğini biliyoruz. O nedenle, biraz çetrefilli olan "gözlenebilir" olma kavramına daha insani bir açıdan bakalım.

Klasik olasılık kuramında "*rastgele değişken*" denen kavramla tanışmış olabilirsiniz. Eğer daha tanışmadıysanız, tam olarak ne olduğunu söyleyelim: Diyelim bir nesne var, örneğin bu altı yüzü olan bir zar olsun ve bu yüzleri de a'dan f'ye kadar adlandıralım. Bu zar masada üst yüzeyi a olacak şekilde durduğunda, biz buna bir "olay" diyor ve a ile gösterebiliyoruz. Böylece her olay bir sayı ile eşleşmiş oluyor. Örneğin, c yüzü bir yandan üç noktayla boyanmış, öte yandan 3 sayısıyla eşleştirilmiş oluyor. Sonuçta, olası her olaya, fiziksel koşullara (yani zarın hileli olup olmaması, nasıl atıldığı gibi) bağlı bir olasılık atanmış oluyor. Üç kavramın, yani "olayların, sayıların, olasılıkların" bileşimine "*rastgele değişken*" adı veriliyor. Oldukça basit ve yararlı olan bu değişkene Las Vegas'a yapacağı-

nız bundan sonraki ziyarette kumarda kaç para kaptıracağınız konusundaki hesaplamalarınızda güvenebilirsiniz.

Şimdi şu sizin zarın bir "kuantum zarı" olduğunu varsayalım. Burada da hâlâ altı farklı olay ve biraz önce onlarla eşleştirdiğimiz sayılar söz konusu olabilir. Şimdi olasılıkları bir yana bırakalım (onlar zarın nasıl atıldığına, zarın durumuna ya da ilk dalga fonksiyonuna bağlı olabilirler) ve onun yerine, daha önce klasik rastgele değişken örneğinde karşımıza çıkmayan yeni bir kavramla tanışalım: Her olay bir tümce ile ifade edilir, örneğin "*a* yüzü üsttedir" gibi. Bu bir bakıma mantığın oyuna girmesi gibidir ve her tümce, doğru ya da yanlış olmasına göre, yalnızca 1 ya da 0 değerlerinden birini alabilir. Burada açık bir şekilde *a* tümcesi doğru olduğunda, tüm öteki tümcelerin yanlış olmalarını bekliyoruz.

Doğruluk değerlerinin bu özelliklerini sağlamanın basit bir matematiksel yolu, temelde meleğin yaptığı gibi, her tümceyi bir izdüşüm işlemcisiyle temsil etmektir. Böyle yapılırsa bir tümcenin mantıksal içeriği, yalnızca sözle söylemekten çok daha iyi ifade edilmiş olur. Örneğin, bir parçacığın konumu olan x için "x, –1 ile +1 arasındadır" ve "x^2 0 ile 1 arasındadır" tümceleri, her ne kadar aynı anlamı taşısalar da sözel olarak farklıdırlar. Onlarla ilgili olan izdüşüm işlemcileri özdeştir ama daha önce bundan söz etmiştik.

Gözlenebilir bir büyüklük, kuantum fiziğindeki bir nicelik böylece hem mantıksal bir içerik hem de nicel bir büyüklük olarak görünür. Bu, "*sayılardan, tümcelerden*" ya da matematiksel terimler kullanırsak, "*sayılardan, izdüşüm işlemcilerinden*" oluşan bir derlemedir. Sonuç olarak, kimi tümcelerin bir fiziksel niceliğin iç yapısıyla ancak olasılık kuramı doğrultusunda bir ilgisi olduğuna şaşmamak gerekir. Bu bir kez anlaşıldıktan sonra, kuantumun gözlenebilir değişkenleri gizemlerinin büyük bölümünü yitirirler. Gözlenebilir bir büyüklük, genellikle anlaşıldığı üzere, her sayının (bu gözlenebilir büyüklüğün her olası değerinin) ona karşılık gelen izdüşüm işlemcisiyle çarpılıp, sonra bu çarpımların toplanmasıyla elde edilir. O nedenle, gözlenebilir değişken o büyüklüğün ve ona

karşılık gelen tümcelerin (izdüşüm işlemcilerince ifade edilen) olası değerleriyle ilgili bilgiyi içerir.

Matematikçiler bu sayılara "özdeğer" adını veriyorlar, izdüşüm işlemcileri de bu izdüşümleri "özvektörler" üzerinde yapıyorlar ve yukarıda sözünü ettiğimiz toplama da Neumann'ın tayf kuramı deniyor. Doğrusunu söylemek gerekirse, bu pek de açık bir dil değil. Ama sonuç olarak, matematik de zaten hiçbir zaman bir anlam sağlamaz. O daha çok gizler ve biraz önce gördüğümüz gibi, o anlamın fiziğin kendi içinden, doğayı tanımlayan özel bir yoldan gelmesi gerekir.

KUANTUM DİYALEKTİĞİNİN TEMELLERİ

Bugün, bizim melek çok konuşkan sayılmaz. O yalnızca "çeşitli A, D ve t için, A fiziksel büyüklüğünün değeri, t zamanında, D bölgesi içindedir" gibi tümceleri yinelemeyi biliyor. Hatta en temel mantığı sağlayıp, örneğin "bir t zamanında, A fiziksel büyüklüğünün değeri ve B fiziksel büyüklüğünün değeri, Δ bölgesi içindedir" diyebilecek gibi bile görünmüyor. Şimdilik daha pek parlak konuşmacı denecek düzeyde değil.

Onun diliyle bizimki arasında "sıra değişimi [komütativite]" kavramı konusunda temel bir fark var. İşlemcilerin sıra değişmezliği kuantum mekaniğinde önemli bir rol oynar. İki kuantum fiziksel büyüklük olan A ile B'nin çarpımı genelde sıra değişimine uymaz, yani, AB çarpımı, BA çarpımına eşit değildir. Bir A fiziksel büyüklüğünün bir işlemci olduğunu, yani herhangi bir Ψ dalga fonksiyonunu, $A\Psi$ gibi bir başka fonksiyona dönüştüren bir bilgisayar programına kabaca denk olduğunu unutmayalım. B fiziksel büyüklüğü ise, $A\Psi$ fonksiyonuna uygulandığında, $BA\Psi$ gibi yeni bir fonksiyon üreten bir başka programla eşleşir. Eğer önce B programını, sonra A programını uygulamış olsaydık, o zaman da $BA\Psi$'ye eşit olması gerekmeyen $AB\Psi$ fonksiyonunu elde edecektik.

Yukarıdaki açıklamayı daha somut bir biçime sokabiliriz. Bir dalga fonksiyonu bir fiziksel sistemin durumuyla ilgili olduğundan, kendi sistemimiz olarak bir patates ile biraz suyu alalım. A ve B fiziksel büyüklükleriyle eşleşmiş olan işlemciler yerine, yine daha öncekiler gibi sıra değişimi sorunu yaşayan

dinamik gelişim işlemcilerini ele alacağız. *A*, ham bir patatesin *F* dalga fonksiyonunu haşlanmış patatesinkine dönüştüren bir gelişim işlemcisi, *B* de bütün bir patatesi püreye çeviren bir gelişim işlemcisi olsunlar. Eğer önce *A*, sonra *B* işlemlerini yerine getirirsek, bu sırayla *BA*Ψ'yi, yani lezzetli bir püreyi elde eder, kaynamış suyu da dökeriz. Öte yandan, sırayı tersten gidip, *AB* olarak uygularsak, yani patatesi haşlamadan önce ezersek, sonunda tatsız bir sıvılaşmış patatese ulaşırız. Aşçılar da melekler ve matematikçiler gibi, işlemlerin mutlaka sıra değişimine uymadığı konusunda aynı görüştedirler.

Bununla birlikte, kimi fiziksel büyüklükler sıra değişimine gerçekten uyarlar. Bir parçacığın (birinci ve ikinci eksen boyunca olan) *X* ve *Y* konum değerlerinde olan da budur. Bu durumda, birbirine karşılık gelen özellikler, "değil", "ve", "veya" işlemcileri tutarlı bir biçimde kullanılarak birleştirilebilir. Örneğin, bir hidrojen atomu için "elektronun *X* bileşeni 0,7 ile 0,8 angström arasındadır *ve Y* bileşeni de –1,1 ile –1,2 arasındadır" denebilir, çünkü bu özelliğin anlamlı olduğu bir izdüşüm işlemcisi vardır. Böyle tümceleri *öğeler* olarak kullanıp, onları "ve", "veya", "değil" gibi terimler aracılığıyla birleştirerek, rastgele bir geometrisi olan konumlar tanımlayabiliriz. *X* ile *Y*'nin temel özellikleri bir düzlemdeki dikdörtgenleri tanımlar ve her yazıcının bildiği gibi, herhangi bir düzlemsel şekil, yeterince küçük olmak koşuluyla, dikdörtgenler kullanılarak çizilebilir.

Eğer konumun bir bileşenini, diyelim *X*'i ve hızın aynı yöndeki *U* bileşenini birleştirmeye kalkarsak, işler tümüyle değişir, çünkü bu iki izdüşüm işlemcisi sıra değişimine uymazlar. Böylece, "*X*'in değeri bir *D* aralığında bulunur *ve U*'nun değeri de Δ aralığındadır" bildirimini yapan bir önerme bizim melek için anlamsızdır, çünkü ona bir işlemci eşleştirme olanağı yoktur. *O nedenle, kuantum mekaniğinde, günlük dilde ifade edilebilecek ama altta yatan formalizm nedeniyle anlamı bulunmayan önermeler vardır.*

Kuantum mantığını kuran John von Neumann bu kısıtlamaya çok takılmıştı ve George David Birkhoff (1884–1944) ile birlikte sıra değişimine uymayan niceliklerle ilgili önermeleri tanımlamanın bir yolunu aradılar. Karşı çıkılan "*X*'in değeri *D*

aralığında *U*'nun değeri de Δ aralığındadır" önermesiyle zayıf bir bağlantısı olan bir işlemci yaratarak, bunda bir ölçüde başarılı da oldular. Ne yazık ki, tümcenin normal anlamı ile izdüşümcü arasındaki bağlantı çok zayıfladı, çünkü önerme izdüşümcüyü belirlerken, ikincisi artık kimseye önermeyi geri kazanma olanağı vermiyordu. Artık doğru bir sözlük ya da bir dil de yoktu, yalnızca birtakım gevezelikler ve anlamsız bir dil vardı, çünkü mantığın tüm kurallarına uymuyordu. O zaman Birkhoff ile von Neumann kuantum dünyasındaki mantığın sonuçta, Aristoteles mantığının kutlu yasalarından farklı (ve daha az kısıtlayıcı olan) yasalara uyup uymadıklarını merak ettiler.

Öncelikle, daha önce gördüğümüz gibi, günlük dilin matematiksel çevirisinin artık güvenilir olmaması nedeniyle, böyle gözüpek bir düşünceyi benimsemek olası görünmüyor. İkinci nedense, eşevrelilikle [coherence] ilgili bir konu. Kuramın altında yatan formalizm matematiksel, yani Aristotelesçi, onun üzerinde de şimdi kuramı yorumlamak, başka bir deyişle, deneysel fiziği sağduyuyla uzlaştırmak üzere, Aristotelesçi olmayan bir yapıya gerek var (sağduyu dilediği kadar Aristotelesçi olabilir). Aristotelesçi olmayan kuantum bileşeni de o zaman matematiksel (Aristotelesçi) ve deneysel (Aristotelesçi olmayan) arasında yerini alır. Sindirilmesi biraz güç olan bir sandviç ise bizi yukarıdaki yaklaşımı reddetmek için üçüncü ve son nedene, yani üzerinden elli yıldan uzun bir süre geçmesinden sonra bile, ilk gün olduğundan pek de fazla gelişmediği gerçeğine götürüyor. O nedenle, bundan vazgeçecek ve daha üzerinde görüş birliğine varılmış, daha akılcı, aslında daha mantıksal biçimlere bağlı kalmanın getirileri üzerinde duracağız.

TARİHÇELER

Temel, yalın ve verimli bir düşünce 1984 yılında Carnegie Mellon Üniversitesinden Amerikalı fizikçi Robert Griffiths tarafından ortaya atıldı. Griffiths, tek bir anda gerçekleşen parça parça özelliklere bakmak yerine, bir fiziksel sistemin tarihçesini, yani ardışık anlarda gözlenen bir dizi özelliği düşünmeyi önerdi. Bu düşünce, basit olmasına karşın, daha önce ince-

lenmemişti, çünkü işlemcilerin sıra değiştirmemesi gerçeğiyle uyumsuz olarak görülmüş, aynı güçlükle von Neumann da karşılaşmıştı. Louvre müzesini gezen bir elektron için "saat 9:12'de Antikalar bölümündedir, 11:30'da hızı 2,3 ile 4,5 km/h arasındadır ve 12:47'de de Corot salonundadır" gibi bir şey söyleyebilme olanağı bulunmadığı sanılıyordu.

Bir tarihçe kısaca, *farklı zamanlarda gerçekleşen bir dizi farklı özellik*tir. Her özellik bir fiziksel niceliğin değerinin, belli bir anda bir değerler aralığında olduğunu ve tarihçenin bunları listelediğini, fiziksel niceliklerin, değerler aralığının ve söz konusu anların aşağı yukarı rastgele olduğunu ifade eder. Bir tarihçe, tek bir özellikle karşılaştırıldığında, ne olup bittiğini tanımlamak açısından çok daha fazla şey içerir. Bir film tek bir kare fotoğrafa göre neyse, bir tarihçenin de çevresinden yalıtılmış tek bir özelliğe göre o olduğunu söyleyebiliriz. Griffiths'in tarihçelerinin tüm fiziği tanımlamada sanki bir dil gibi, bize tüm fiziksel olaylardan söz etme olanağı verecek evrensel bir dil gibi hizmet edebileceği anlaşılmaktadır.

Tarihçelerin bu denli gizemli görünmemeleri gerekir, çünkü biz onları, deneyleri ve fizikteki başka durumları tanımlamada hep kullandık. Şimdi bu önemli nokta için bir örneği görelim, başka pek çok örneği bulmak da zor olmayacaktır. Bir fizikçi bir başka fizikçiye yaptığı deneylerin birinden söz eder: "Bir çekirdek reaktöründe bir nötron zırhlı duvarın ağzından dışarı çıkıyor. Sonra bir silikon kristalini geçiyor ve (kırınımın ardından) dışarıya gittiği yöne bağlı olan bir hızla çıkıyor, hız da nötronu dar bir pencereden geçmeye zorlayarak belirleniyor. Sonra, bir uranyum bloğunu aşarken bir çekirdeğe çarpıyor, bu çarpışma çekirdeğin bölünüp (fisyon), birçok parçaya ayrılmasıyla sonuçlanıyor, bunlardan biri de sonunda sayıcının algılama bölgesine giren bir zenon (Xe) çekirdeği oluyor."

Bu anlatılanlar bir kuramcının, her olayın gerçekleştiği özel anı belirledikten sonra süreci Griffiths'in standart biçimine sokmak için izdüşüm işlemcilerini kullanarak yeniden yazabileceği bir geçmiş oluyor. Bu biçimde olursa melek de olan biteni bizim gibi açıkça anlar.

OLASILIKLARIN ROLÜ

Kuantum olasılıklarının bizim meleğin içinden geçeceği dünyanın başlangıcında daha işe katılmamış olmaları okuyucunun dikkatini çekmiştir. Onların baskın rolü düşünülünce bu biraz garip gelebilir. Şimdi bunların oyuna hem de çok beklenmedik bir biçimde, bir şans ölçüsü olarak değil de, mantığı tamamlamak ve ona tutarlı bir anlam vermek üzere bir araç olarak girdiğini göreceğiz. Aslında olasılıklar sayesinde kendimizi kimi tarihçeler anlamlıyken, başka kimilerinin anlamsız olduğunu ve anlamlı olanlar arasında kuantum dünyasında mantıksal denkliği ve bir şeyin başka bir şeyi gerektirmesini tanımlayanların da olduğuna inandırabileceğiz. Bu demektir ki, olasılıklar kuramın tam da göbeğindedir ve bunların rolü basit bir rastlantı tanımından çok ötededir.

Bu, onların bizim melek tarafından bilinen ve kabul gören matematiksel yapısının bir sonucudur, biz de bunu bir matematikçinin yapacağı gibi, pratikteki uygulamalara bakmaksızın alacağız. Bir matematikçi için olasılıklar çeşitli olaylara (bizim örneğimizde özellikler ya da tarihçeler) atanmış basit birtakım sayılardır. Bu olaylar bütün bir aileyi oluştururlar (birbirini dışarlayacak şekilde, yani biri olursa ötekinin olamayacağı biçimdedirler ve olası tüm durumları içerirler). Olasılıklar için yalnızca üç kural geçerlidir: (i) Pozitif (yani sıfırdan büyük) olmak, (ii) eğer iki olay birbirini dışarlayacak şekilde ise toplanabilmek ve (iii) toplamda 1 sayısına eşit olmak.

Griffiths, tarihçelere bir içerik katmak için bunların her birinin belli bir olasılığa sahip olduğunu varsaydı. Böyle bir varsayım yukarıda tanımlanan nükleer deney örneğinde oldukça mantıklı görünüyor. Gerçekten de, nötron reaktörden dışarı çıkmamış, çıkış penceresini tutturamamış, uranyum bloğunu aşamamış, ya da bunları yapmış olsa bile, bir tepkime gerçekleşmemiş olabilir. Belli bir tarihçenin sahip olduğu olasılığı hesaplamak üzere Griffiths, basit birtakım mantıksal düşüncelerden çıkarılabileceği görülen matematiksel bir formül önerir.

Daha sonra da olasılıkların toplanma özelliğinin, algılanabilecek tüm tarihçeler kümesini önemli ölçüde kısıtladığını

gözler. Bu koşul geçmiş içinde ortaya çıkan çeşitli özelliklerin izdüşümlerini içeren matematiksel bir denklemle, hesaplama yoluyla sınanabilecek bir eşitlikle ifade edilir. Griffiths toplanma koşulunu sağlayan tüm tarihçeleri *tutarlı* olarak adlandırır. Örneğin, bizim nükleer deneyle ilgili olan tarihçe tutarlı bir aileye aittir ve matematiksel bakış açısından doyurucu, iyi tanımlanmış bir olasılık değerine sahiptir.

Okuyucunun tutarlı bir tarihçe kavramını anlamasına yardım etmek için olasılıkların *toplanmadığı* girişim olgusundan ortaya çıkan çarpıcı bir karşı örneği sunacağız: Bu örneğe göre, bir foton bir girişim ölçerden dışarı çıkar ve bir ekrana çarpar. Bu çarpışmayı, bir ekranın çok küçük parçalara bölündüğünü (örneğin her bir parçanın ışığa duyarlı tek bir birimden oluştuğunu) gözümüzün önüne getirerek tanımlayabiliriz. Böylece, ekrandaki parça sayısına eşit, farklı geçmişlerimiz olur. Bizi bu geçmişlerin her birine bir olasılık atamaktan alıkoyacak bir şey yoktur. Bu olasılıkların toplandıkları ve tam uygun oldukları anlaşılır. Bunların kurama göre hesaplanan değerleri girişim desenlerinin varlığını açık bir şekilde ortaya koymaktadır.

Fotonun ekrana çarpmadan izleyeceği yolu belirlemeye kalktığımızda, işler hem daha ince hem de daha ilginç bir hâl almaktadır. Schrödinger denkleminden türetilen dalga fonksiyonu, her biri girişim ölçerin farklı bir kolunda konuşlanan iki bölümden oluştuğunda, belli bir ânı seçebiliriz. Şimdi, fotonun bu özel anda hangi kolda olduğunu kesinleştirerek, önceki geçmişleri daha zengin hâle getirmiş oluruz. Bu noktada, Griffiths'in şu çarpıcı olasılıkların toplanması kuralı kendini gösterir, çünkü ikisini birden sağlamasına olanak yoktur. Ne toplanma var ne olasılık ne de anlam. Buradan da anlaşılıyor ki, bizim genel düşünce alışkanlıklarımızdan farklı olarak, burada bir şeyin eksikliği çok net hissedilmektedir, fotonun bir yolu değil de, ötekini izlemiş olduğunun bildirimi anlamsızlaşır.

Doğrusu bu çok çarpıcı bir sonuç, çünkü en azından yalnızca bir olasılık değeri atayabileceğimiz geçmişlerin bir anlam taşıdığını kabul edersek, kimi geçmişlerin anlamlı, kimilerinin anlamsız olduğunu söylüyor. Peki, hangi anlam? Şimdi göreceğimiz şey de tam bu olacak.

KUANTUM DÜNYASINDAKİ MANTIK

Göstermeye çalıştığım gibi, Griffiths'in kurduğu yapının en önemli niteliği kuantum fiziğine kendi mantıksal düzenini kazandırmaktır. Bize, saf bir formal kuramdan, sıradan sözcükleri kullanarak ve her şeyin ötesinde doğal olarak ve adamakıllı bir biçimde mantık yürütebileceğimiz bir şeye gitme olanağı veren de tam bu özelliktir. Daha önceden de bildiğimiz gibi, kesin akıl yürütme, "değil", "ve", "veya", "eğer... ise, o zaman..." gibi terimleri kullanabileceğimiz önermelerin bulunduğu bir alanla başlayan, tam ve sağlam bir mantığı gerektirir.

Bir kuantum sistemini tanımlamak için uygun bir önermeler alanı Griffiths'in toplama koşullarını (tutarlı bir grup olarak) doğrulayan bir tarihçeler ailesiyle ilgilidir, böylece çeşitli tarihçelere çeşitli olasılıklar atanabilir. "Nötron o anda orada *değildi*", "bu yolu *veya* öbür yolu izlemiş olabilir", "reaktörün duvarındaki bir kanalın içinden *ve* sonra da pencereden geçti" gibi bildirimlerde bulunduğumuzda, "*değil*", "*veya*", "*ve*" gibi mantıksal işlemler de apaçık bir hale gelir. Sağlam bir mantık için son koşul da eğer onsuz akıl yürütmenin olamayacağı, mantıksal bir gerektirme, (yani "eğer ... olursa, o zaman ... olur" gibi bir ifade) için doyurucu bir tanım bulabilirsek sağlanacaktır.

Bunu şöyle sunabiliriz: Bizim tutarlı tarihçeler ailemizde olasılıklara matematiksel bakış açısından bir kusur bulunamaz, bunlar toplama özelliğini taşımaktadırlar. O zaman, klasik olasılık kuramından, koşullu olasılık kavramını ödünç alabiliriz. Tanım gereği bu, "bir a olayının gerçekleşmiş olduğunu varsayarak, bir başka b olayının gerçekleşmesinin olasılığıdır. Bu da Don Juan'ın tanışacağı bir sonraki kızın (zaten güzel olacağını elde bir saydıktan sonra) sarışın çıkma olasılığını merak etmesi gibi bir şeydir. $p(b|a)$ olarak gösterilen böyle bir koşullu olasılık matematiksel açıdan, iki olasılığın oranı olarak tanımlanır. Bu oransa, a ve b'nin (yani bir sonraki kızın hem sarışın hem de güzel olması) birlikte gerçekleşmesinin olasılığının, yalnız a'nın (yani saçının rengi ne olursa olsun, kızın güzel olması) gerçekleşmesi olasılığına bölümüdür. Ku-

antum mantığında, eğer koşullu olasılık $p(b|a)$ 1'e eşitse, buna "a, b'yi gerektirir" diyeceğiz. Kendimi yineleme pahasına şunu bir daha vurgulayacağım: Olasılıkların işe karışması, sonuç çıkarmaya, yani akıl yürütmeye olanak sağlar.

a ve *b* gibi iki önermenin mantıksal eşdeğerliliği bunun doğal sonucudur, çünkü burada hem "a, b'yi gerektirir" hem de "b, a'yı gerektirir" durumları vardır. Burada belki tabancayı beklemeden yarışa başlamış gibi olacağız ama daha sonra tanıtacağımız bir ölçüm kuramına başvurarak, size pek de basit olmayan bir mantıksal denklik örneği sunalım: Eğer bir foton algılayıcısı, bir dairesel ışık kutuplayıcısının arkasına konursa, bu algılayıcının kayıt yaptığını (yalnızca algılayıcıyı içeren deneysel bir önerme) ifade eden önermenin mantıksal açıdan, fotonun *spininin** bir bileşeninin değerini (yani foton spinlerinin nasıl olduğunu gösteren) ifade eden, yalnızca fotonların mikroskobik dünyasında geçen bir başka önermeyle eşdeğer olduğunu göstereceğiz.

Mantık açısından üzerinde görüş birliği bulunan bu noktalar keyfi olarak seçilmemiştir, yeter ki tutarlı (Griffiths'in koşullarını sağlayan "doğru" olasılıklara sahip) geçmişlere uygulanmış olsunlar. Aristoteles ve Hrisippos'un, daha sonra Boole ve Frege tarafından biçimlendirilmiş mantık aksiyomları böylece tümüyle sağlanmış oluyorlar. O nedenle de, Birkhoff ve von Neumann'ın mantıksal konularla uğraşırken karşılaştıkları engeller şimdi giderilmiş oluyor ve Aristoteles de geri dönüyor. Birazdan sağduyu geliyor.

TAMAMLAYICILIK

Ne yazık ki, akla uygun mantığın dönüşü, sağduyunun da dönüşü anlamına gelmiyor, çünkü kuantum dünyası hâlâ pek çok kritik noktayla dolu. Doğrusu, belli bir kuantum sistemi birçok farklı geçmişten oluşan aile olarak tanımlanabilir. Diyelim, yukarıda verilen nükleer deney örneğinde, belli bir anda nötronun konumu yerine hızını belirleyebilirdik. Bu seçimimize bağlı olarak, iki farklı önerme (ya da tarihçe) alanımız, bir başka daha büyük ve tutarlı mantığa yerleştirilemeyecek iki farklı mantığımız olacaktı.

Bohr bu garip gerçeğin çoktan farkındaydı ve onu bir ilke (tamamlayıcılık ilkesi) düzeyine kadar bile çıkarmış, kuantum mekaniğinin temel direklerinden biri yapmıştı. Gerçekte, iki farklı deneysel aygıt kullanarak edinilen bilgiye gönderme yapıyordu. Örneğin, eğer bir silikon kristali bir nötronu kırınıma uğratırsa, Bohr'a göre, bu nötrondan bir dalga olarak söz edecek, ama eğer bir sayıcı tarafından algılanırsa, o zaman da onu bir parçacık olarak yorumlayacaktık. Kuantum mantığı böyle birçoklu temsilin yalnızca dışarıdaki araç gereç tarafından dayatılamayacağını, gözlenmeden geçtiği durumlarda bile, bunun aslında kuantum dünyasının kendi iç özelliklerinden biri olduğunu gösterir. Dahası, kuşkusuz bu yeni bir ilke değil, mantığın başka yasalarca belirlenmiş doğrudan bir sonucudur.

Aynı nesneden söz edildiği farklı mantıksal çerçevelerin oluşu yeni bir şey değildir ve bunun tek eşli ve çok eşli evliliklerle bağlantılı çeşitli örneklerini daha önce gördük. Mantıkçıları yeni bir önermeler alanı kavramını ortaya atmaya yönelten de işte bu evren çeşitliliği oldu. Burada yeni olan, genellikle düşük bir önem taşıyan bu tür ince konuların şimdi maddesel dünyadan söz ederken, yasaların kuantum doğası nedeniyle, temel bir şey haline gelmesidir.

Aynı nesneden söz etmenin binlerce farklı yolunun olması ve bu yolların birbirini dışarlaması iç çelişkilere ya da paradokslara yol açabilir. Örneğin, eğer belli bir mantık çerçevesi içinde bir *a* varsayımı bir *b* sonucunu doğurur, ama bir başka mantığa göre aynı *a*, değil–*b*'yi gerektirirse ne yapmalıdır? O zaman mantığın tümünden vazgeçip, lanet etmekten başka bir şey elimizden gelmez. Neyse ki, kuantum fiziğinde böyle talihsiz bir şey hiç olmaz ve *a*, içinde her iki önermenin de bir anlamının olduğu her mantık çerçevesinde *b*'yi gerektirir. Sonuç olarak, *kuantum mekaniğinde hiçbir iç çelişki ya da paradoks olamaz.* Uzun süre her köşede paradoksların gizlendiğine inanılan bir alan için bu harika bir sonuçtur. "Tanrı kurnaz olabilir ama kötü değildir."

MANTIKSAL BİR FİZİK YASASI

Hâlâ soyut bölgede olsak bile, birtakım işaretler gerçekle daha yakın bir ilişkiyi gösterirler. Tarihçelerin dili bize kuantum dünyasını tanımlama, onun hakkında bizim melek için olduğu kadar, bizim için de açık olan terimler cinsinden *akıl yürütme* olanağı sağlar. Bu dil, bir fizikçinin bir deneyden söz ederken kullandığı, görsel temsillere dayanan ve deneyselliğin en temel halinin bile esin verdiği terimleri kullanan dile çok benzer. Böylece, fizikçi şunu diyebilir: "Bir ksenon çekirdeği algılayıcıya vardı, *böylece* bir bölünme (fisyon) gerçekleşti, *böylece* nötron uranyum bloğuna çarptı, *böylece* ikinci pencereden geçti, *böylece* hızını belirleyebiliyorum ve deneyin ayrıntılı şekilde incelenebilmesi için tüm verileri elde edebiliyorum."

Çok temel olmasına karşın, bu sav şimdi "*böylece*" sözcüğünün her söylenişinde tümüyle doğrulanabilen ve fiziği anlamada gerekli olan şeyleri açığa çıkaran mantıksal bir çıkarıma dayanmıştır. Bizim bakış açımızdan, bu sav sezgiye dayalıdır, oysa bizim melek ya da bir matematikçi için kesinlikle sağlam bir savdır. "Bir ksenon çekirdeği algılayıcıya vardı" şeklindeki tek varsayımı izleyen tümcelerin her biri temel ilkelerden kaynaklanan bir hesapla desteklenmektedir. Griffiths'in koşullarını sınamak ve mantıksal çıkarımları doğrulayacak koşullu olasılıkları hesaplamak yeterlidir. Böylelikle, belki de beklenmedik bir biçimde mantıksal tutarlılığı sağlamak için kabul etmemiz gereken keskin soyutlama, fizikçinin sezgisine çok yakın olan kuantum dünya görüşüne götürdü. Geçerken, aynı zamanda bütün bunların sezgiden çok uzak olan Bohr'un geleneksel yorumuyla ilgisi olmadığını ekleyelim.

Şimdi kuramın temel ilkeleri listesini bir ilke daha ekleyerek tamamlayacağız, bu da dünyayı yalnızca hesaplayarak anlama değil, onun üstüne düşünme olanağı da verecek: *Bir fiziksel sistem için her tanımın tek ve tutarlı bir kuantum mantığına ait olan önermelerden oluşması ve sistemle ilgili her savın, kanıtlanabilecek olan mantıksal çıkarımlarla desteklenmesi gerekir.* Böyle bir ilkenin fiziğin derinliklerinden kaynaklandığını ve herhangi bir gözlemcinin varlığına dayan-

madığının altını çizmemiz gerekir. Gözlemcinin varlığı uzun süredir inanılanın tersine, konuyla ilgisiz ya da tümüyle rastlantısaldır.

Bu yeni ilke sayesinde bizim melek de bizim gibi ya da bizden daha iyi düşünebilir, çünkü neyin düşünülmesine izin çıkacağını çok iyi bilir. Bize gelince, bu kural bize, mantığın yalnızca bizim bir tür imgelemimiz olduğu hayalini kurmaksızın, nesnel ve yansız bir biçimde düşünme olanağı sağlar. Unutulmaması gereken iki çok temel düşünceden biri, mantığın kökenini doğa yasalarından alması, ikincisi de bu mantığın olasılıkların varlığından, yani rastlantının, talihin zorunlu varlığından ayrı tutulamayacağıdır. Tümüyle temel ilkelerden kurulan bu yeni yapıda şimdi hem sağduyuyu hem de dünyanın sezgisel temsilini yeniden kuracağız.

X

SAĞDUYUYU YENİDEN KEŞFETME

Bir sonraki görevimiz dünyayı, sağduyumuza, görsel sezgimize ulaştığı haliyle, gündelik gözle yeniden keşfetmek olacak. Bu kez işe sonuçta kuantum yapıda ve dolayısıyla formal karakterde olan temel doğa yasalarıyla başlayacağız. Bizi yönlendirecek tek şeyin mantıksal tutarlılık olması bilinciyle, yaklaşımımızı da tümdengelim üzerine kuracağız. Bu yaklaşım kuantum mekaniği ilkelerine dayalı olacak ve özellikle de bir önceki bölümün sonunda belirtilen mantık ilkesi önemli bir rol oynayacak. Sonunda başaracağımız şey yalnızca sağduyuyu yeniden keşfetmek değil, daha ince ve sağduyuya güvenip, ama onun tarafından çok az da olsa, yanıltıldığımızda bizi aydınlatacak bir şey olacak.

BÜYÜK ÖLÇEKLİ DÜNYA

Yalnızca kuantum kuramının ilkelerine güvenmeye kararlı olduğumuz sürece, bir kez daha biz insanların dünyayı nasıl gördüğünü matematiksel olarak anlamaya çalışan bizim meleğin yardımını istemek iyi olacak.

Bu insani dünyanın ölçeği, parçacıkların dünyasıyla karşılaştırıldığında çok büyüktür ve atomlar bize çok küçük görünürler, öyle küçük ki onları göremeyiz. O nedenle, gözle görünür, duyularımızla ulaşılabilir, makroskobik, yani çok büyük sayıda parçacıktan oluşan fiziksel sistemleri düşünmek zorundayız. Bir insanın sezgisini geliştirmek üzere görebileceği ya da dokunabileceği her şey, yani toz, ağaçlar, taşlar, makine-

ler, kısaca buradan güneşe, hatta daha uzağa kadar bulunan şeyler, kısacası tüm klasik fizik âlemi bu sınıfa girer.

Önce, sağduyu için çok normal olan düz ve ilkel bir nesnenin kuantum fiziği açısından hiç de öyle olmadığına ve bu yüzden de bizim melek için bir tür bulmaca olduğuna dikkat çekelim. Ona göre, fiziksel bir sistem karşılıklı ilişkileri bilinen, genellikle bir dizi çekirdek ve elektrondan oluşan bir grup parçacıktır. Eğer sıradan bir cismi, örneğin boş bir şişeyi bu gözle değerlendirirsek, kuantum ilkeleri yalnızca şişeyi oluşturan parçacıkları dikkate alacak ve bu yüzden pek çok farklı nesneyi aynı kefeye koymuş olacaktır. Bu durum şişeyi oluşturan atomların, aralarındaki etkileşimleri değiştirmeden binlerce farklı nesneyi oluşturmak üzere, binlerce farklı şekli benimseyebilecekleri, örneğin daha küçük iki şişe, altı şarap kadehi ya da erimiş bir cam külçesi olabilmelerinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca atomları türlerine göre ayırıp, bir kum yığını ile bir tuz yığını da yapabilirdik. Protonlarla elektronların atomların çekirdeklerini değiştirmek üzere, aralarındaki etkileşimlerin doğasını değiştirmeksizin, bir başka biçimde bir araya gelmeleri de işin fazladan getirilerinden biri olabilir. Tüm bu farklı yollar belli bir parçacık sisteminin dalga fonksiyonlarının alabileceği çeşitli biçimler sayesinde gerçekleşebilecek şeylerin alanına girmektedir.

Kesin konuşmak gerekirse, nesneler kuantum mekaniğinde de tanımlanabilirler ve aslında her nesne, yorulmak nedir bilmeyen bilgisayarın tümüyle belirleyebileceği belli bir sınıf dalga boyuna karşılık gelmektedir. O yüzden, bizim melek bu "nesne" kavramını öğrenebilir ve hatta bulanık karakterini (yalnızca iki atomdan oluşan bir şişe hâlâ boş bir şişe midir?) bizden daha iyi değerlendirebilir. Bununla birlikte, melek bizim bir nesne için yaptığımız klasik tanımdan hayli uzaktır. Onun için, bir sarkacın ya da bir saatin akrep ve yelkovanının konumu bu aşamada hâlâ matematiksel bir işlemcidir. Fiziksel niceliklerin kuantum doğası hiçbir şeyi değiştirmez, yalnızca bunların adına klasik diyebileceğimiz kimileri, maddenin ve nesnelerin en küçük bileşenleri olan atomları tanımlayan onca nicelik içinden seçilip ayrılırlar. Fizikçilerin kullandıkları te-

rimlere göre, analizin ardından klasik olabilecek ilk gözlenebilir şeylere toplanabilir (büyük ölçekli) fiziksel nicelikler denirken, ötekiler mikroskobik adını alır. Böylece, sarkacın ya da saatin akrep yelkovanının konumları, klasik fizikte ortaya çıkanlarda olduğu gibi, toplanabilir değerlerdir (büyük ölçekli). Benzer şekilde, hızın büyük ölçekli gözlenebilirleri tanımlanabilir ama bunlar konum bileşenleriyle sıra değişimi kuralına uymazlar. Newton'ın ya da mühendisin nesneler hakkında sunacağı somut temsile katılmadan önce hâlâ önümüzde gidilecek uzun bir yolumuz var. Ama bunu yapmak ve onların dünya görüşü için ellerindeki "adayı" paylaşmak için bizim meleğin başka bir şey daha öğrenmesi gereklidir.

SAĞDUYUNUN MANTIĞI

Genç meleği dünya gizemlerini araştırmaya yönelten baş melek, bizim çırağın varacağı bu son aşamaya giden yola, bir nesneyi dalga fonksiyonlarının bir derlemesi olarak tanımlamakla başlar. Sonra da ona kuramın temel ilkelerinden başlayarak bir nesneyi tanımlayan toplu gözlenebilirlerin nasıl elde edileceklerini gösterir (bu biz insanların şu aşamada yapabileceğinden fazladır, ama bu alandaki araştırmalar hızla ilerlemektedir). Böylece, bir sarkaç melek için (bizim meleğin metallerin kuantum kuramından haberi var), metal bir tele bağlı, metal bir top haline gelir. Dalga fonksiyonu atomların belli bir yarıçaptaki bir topu oluşturduklarını gösterir ve yine buna benzer bir şey de telin şeklini belirler.

Baş melek insanların cisimlerin zengin iç yapıları yerine daha çok en kaba özelliklerinde odaklandıklarını açıklar. Bunun nedeni duyularının kusurlu oluşudur. "Bilge oldukları için böyle yapıyorlar" der melek, "ben de böyle yapmak, yani sarkacın yalnızca dalga fonksiyonunu, onun topun kütle merkezinin konumuna bağlılığını tutup, tüm geri kalanı atmak istiyorum."

Bu noktada baş melek bizim meleğe kuantum dünyadan klasik dünyaya yapacağı kararlı geçişte yardım eder. Her şey bu iki gerçeklik görüşünü ayırıyor gibi görünüyor. Bir yandan elimizde dalga fonksiyonları, işlemci olan fiziksel nicelikler, Schrödinger denkleminin belirlediği bir dinamik, öte yandan

da sıradan sayılar olan konum ve hız değişkenleri var, geçerli dinamik de Newton dinamiği. Birinden ötekine nasıl geçmeli? Geçilebilir, ama kabul etmemiz gerekir ki, güçlü bir matematiksel araç olmadan olmaz. 1960'lı yılların sonlarından bu yana matematikçilerin geliştirdiği de budur, yani, (mikro ölçekte yerel analiz ya da sözde diferansiyel hesap olarak bilinen) yeni bir analiz dalı. Bunun sayesinde sarkacın dalga fonksiyonlarının üzerinde etkiyen bir işlemci, konum ve hız gibi klasik değişkenlerden oluşan bir fonksiyonla eşleştirilebilir. Böyle bir fonksiyona işlemcinin simgesi denir. Bu yolla birçok kuantum terimini klasik terimlere dönüştüren bir sözlük yaratılabilir.

Bir parça alıştırma yapan melek kısa sürede bu klasik dille yakınlık kuracaktır. Baş melekse şimdi meleğe, bizim bir önceki bölümde yaptığımız gibi, klasik kinetikteki bir önermenin ne olduğunu açıklayabilir (temelde bu klasik konum ve hız uzayında bir hücreyi ele almakla aynı kapıya çıkar). "Bu konularla ilgili eğlence amaçlı konuşmaya bir itirazım yok" diyor melek, "ama bütün bunların hiçbir anlamı yok." Bana temel ilkelerin izin verdiği özelliklerin bir kuantum izdüşüm işlemcisiyle eşleştirilebilecek olanlar olduğunu anlattığınız için bana şimdi söylediklerinizin tümüyle farklı gibi görünüyor. Baş melek ona bir kuramı, bir kuantum izdüşüm işlemcisinin yukarıda belirtilenler gibi bir klasik bölgeyle (bölgenin Planck sabitine göre yeterince geniş ve sınırlarının da yeterince düzgün olması koşuluyla) nasıl eşleştirileceğini göstererek açıklar.

"Bu olağanüstü" diye bağırır melek, kuramla ve sonuçlarıyla biraz yakınlık kurduktan sonra. "Bu sonuç açıkça bana klasik önermelerle ilgili anlattıklarınızın bir kuantum önermesine eşdeğer olduğunu gösteriyor." Klasik terimlerle açıklamaya pek uygun olmayabilecek cümleler kurarken dikkatli olmak gerekiyor, o zaman insan kuantum ve klasik dillerin ikisini de, ikinciyi birinciye çevirerek konuşabilir. İnsanların düşünme biçimi bu mudur?

"Doğruyu söylemek gerekirse" diye karşılık verir baş melek, "onların dilleri normalde çok ayrıntılı sayılmaz, ama bütünüyle ele alırsak, evet, dünyayı algılama ve onun üzerinde konuşma biçimleri temelde böyledir."

Meleğin, Schrödinger'in kuantum dinamiği ile Newton'ın klasik mekaniğinin nasıl uzlaştırılacağını anlaması gerekir. Burada da yine gerekli dönüşümleri yapmak üzere matematiğe başvurma zorunluluğu vardır. Özellikle bu bağıntının, biz yalnızca büyük ölçekli nesnelerle ilgili olduğumuzdan ve onları çok yakından incelemediğimizden ötürü, ancak yaklaşık düzeyde kaldığını kavrar. Ana hatlarıyla konuşacak olursak, konum ve hız bileşenlerinin bölgeleri klasik bir Newton devinimi süresince şekilce bozulmaya uğrarlar. Aynı zamanda, bunlara karşılık gelen özellikleri ifade eden kuantum izdüşüm işlemcileri, Schrödinger denklemine göre, paralel bir biçimde gelişirler. Bu bölge ile kuantum özellik arasındaki benzeşme yine de hemen hemen korunur (aradaki birtakım hatalar iyi bilinmektedir). "Ama o zaman" der melek, "büyük ölçekli bir cismin geçmişini, temel kuantum ilkelerini ihlâl etmeden, klasik dilde anlatabiliriz! Eğer insanlara bunun hakkında konuşurken akıcı olacaksam, üzerinde alıştırmalar yapmam gerekir."

Melek artık klasik ve kuantum özellikler arasında bir "benzeşme" olduğuna inanmıştır. Bu benzeşim geçen zamanla birlikte korunur, en azından uygulamada karşımıza çıkabilecek pek çok ilginç durumda, klasik ve kuantum dinamiğinin gelişimlerindeki uyum nedeniyle bu böyledir. Bununla birlikte, aradaki benzeşim bir denklik değildir ve içinde yanlışların da olabileceği birtakım koşullara bağlıdır. Bu yöndeki ilk sonuç Hollandalı fizikçi Paul Ehrenfest tarafından 1927 yılında elde edilmiştir. Bohr daha önce, "benzeşim ilkesi" adını verdiği ve iki tür dinamik arasındaki beklenen uyumu, çok da net olmayan terimlerle ifade ettiği bir kavramı ortaya atmıştı. Kuantum mekaniği tarihinde sıkça olduğu üzere, ilke kuramdan önce gelmişti ve Bohr'un söz konusu benzeşim ilkesi şimdi, daha ileri düzeydeki matematiksel yöntemler sayesinde edindiğimiz mantıksal çerçeveye katılıyordu.

Bunun tam bir uyum değil de yalnızca iki şeyin benzeşmesi olduğunu anlamamız için sınırlarından birkaçını sınamamız gerekir. Örneğin, bir cismin klasik davranış göstermesi için yalnızca ***büyük*** olması yeterli değildir. Özellikle, yaptığı devinimler kaotik olan ve aynı zamanda yukarıda adı geçen

benzeşim kavramının geçersiz olduğu (atmosferik türbülans gibi) nesneler vardır. Böyle sistemlerin hareketi sonuçta klasik hücrelerin büyük ölçüde şekil bozunumuna uğramasıyla sonuçlanır ve klasik ile kuantum fiziği arasındaki benzeşim yalnızca çok sınırlı bir süre için geçerlidir. Ama yine de, yerdeki ya da gökteki nesnelerin büyük çoğunluğu kuantum bölgesinin temel yasalarıyla, içinde yaşadığımız büyük ölçekli dünyanın klasik yasaları arasında iyi bir benzeşim gösterirler.

Şimdi bizim meleğe son bir kez daha kulak verelim: "Ben mutluyum" der, "çünkü insanların dünyayı nasıl tanımladıklarını ve onun gelişimini nasıl gördüklerini şimdi anlıyorum. Eğer görmenin yanında bir de gördüklerini anlamışlarsa, ne büyük bir tat almışlardır kim bilir?"

"Ama gerçekten anlıyorlar!"

"Ne demek istiyorsunuz? Dünyayı tanımlamanın tek anlamlı yolunun tutarlı bir kuantum mantığındaki tarihçeler cinsinden olduğuna beni inandırmıştınız. Bunu bir ilke haline getirmiş ve beni insanın ancak kanıtlanabilecek mantıksal çıkarımları kullanarak akıl yürütebileceğine inandırmıştınız. Buraya dek, bana yalnızca insanların dünyayı nasıl tanımladıklarını gösterdiniz, ama ne tutarlı geçmişlerin kuantum mantığıyla olan bağlantıyı ne de insanların nasıl anlamlı ve temel ilkelerle uyumlu bir biçimde akıl yürütebileceğini görüyorum."

"İnsanlar bunu sağduyu dedikleri şeyle yapıyorlar. Bu da yaşadıkları dünyaya iyi uyan bir tür mantık oluyor. Kendi dünyalarından söz etme ve onu akıllarında canlandırma biçimleri çok kesin sayılmaz, ama yine de ikisi de kuramın sunduğu aynı temsil biçimidir ya da daha çok kuramın doğrudan, *gösterilebilir* bir sonucudur ve kendi uygulama alanında tümüyle geçerlidir. İnsanlar uygulama ve deneyden doğrudan çıkan deneysel bir temsil şekli kullanırlarken, kuram salt formal bir temsil sunar.

"İnsanlar çevrelerindeki nesneleri gördüklerinde, onların konumunu ve hızını duyuları yardımıyla kestirmeye çalışırlar. Ama bunlar kuantum etkilerinin görülmesine yetecek kadar ince ve ayrıntılı değildirler, o yüzden de insanların algı-

ladıkları klasik önermelerle pekâlâ ifade edilebilir. Özetlemek gerekirse, klasik fizikte, kuantum ilkelerinden yola çıkılarak edinilecek önermelerden matematiksel olarak çıkarılacak sonuçlar, insanların sıradan dünyayı nasıl algıladıklarının ve onu akıllarında nasıl temsil ettiklerinin güvenilir bir görüntüsünü sağlar."

Sonra baş melek konuşmasını sürdürür: "İnsanın sağduyusu 'eğer... ise, o zaman ...' diyerek bir şeyi düşünüyorsa, bunun anlamı, insanların konum ve hız uzayındaki bir hücreyi kafalarında canlandırmalarıdır. Bu hücre, çok kesin olmasa da, beyinlerinde aşağı yukarı kestirilir. Ayrıca, ilkinden bir Newton hareketiyle bulunabilecek bir başka hücrenin düşünsel imgesini, akıllarında sezgisel bir biçimde (yani alışkanlıklara dayanarak) yaratırlar. Şimdi de, ilk hücreye karşılık gelen başlangıç durumu gerçekleşirse, ikinci hücreye karşılık gelen durumun da bir süre sonra olacağını, yani, ağaçtan bir elma düşerse, bunun yerde tam altına gelen noktaya çarpacağını söylüyorlar. Elbette, başka pek çok durumda da buna benzer şekilde akıl yürütüyorlar, ama burada ele aldıklarımız onların fiziksel dünyayı görme biçimlerinin tam da ortasındadır."

"Sizin söylediklerinizden" der melek, "insanların kendi sağduyularını kullanarak nasıl akıl yürüttüklerini ve bunu Newton fiziği yoluyla nasıl kesin kıldıklarını görebiliyorum. Ama akıl yürütme biçimlerinin doğruluğundan emin değilim. Dünyanın gerçek yasalarının doğası kuantumdur ve bana yalnızca tutarlı bir kuantum mantığının bize dünyayı tanımlama ve onun hakkında doğru bir tartışma zemini sağlayacağını söylediniz. Şimdi, insan mantığındaki sağduyu kesinlikle bu türden değil, bu yüzden de insanlar ancak hatalı bir biçimde akıl yürütüyorlar."

"Kesinlikle hayır! Onların akıl yürütmesi sağlam, size daha önce onların belli bir durumla ilgili değerlendirmelerinin kuantum izdüşüm işlemcileriyle nasıl dönüştürüleceğini ve o işlemcilerin zaman içindeki değişimlerinin durumun klasik gelişimiyle nasıl at başı ilerlediğini anlatmıştım. Sağduyudaki mantığın aslında tutarlı kuantum geçmişlerinin mantığı da olduğu ve sağduyu savlarının sonuçta kuantum mantığında

kanıtlanabilecek çıkarımların sözel biçimleri olduğu, bu karşılıklılığı kullanarak gösterilebilir. Sağduyu mantığını tanımanın özel bir kuantum mantığı yoluyla olan bu şekli kuşkusuz mükemmel değildir, buna uymayan ayrık durumlar vardır ve bundan yapılacak çıkarımlar yalnızca yaklaşık olmaktan öte değildir. Ama bu yaklaşıklığın düzeyi birçok durumda çok iyidir. Başka bir deyişle, sağduyunun hatalı çıkma olasılığı genelde çok küçüktür, yeter ki büyük ölçekli nesneler söz konusu olsun ve sonsuz küçüklerin dünyasına fazla yaklaşılmasın."

"Sağ olun efendim. Sayenizde insanların dünyayı nasıl gördüklerini ve onun hakkında kendi kafalarında hemen algılayabilecekleri şeylere uygun olarak, ne düşündüklerini anladım. Beni onların kafalarında bu dünyayı nasıl canlandırdıklarının ve gerçekliğe ilişkin yasalar sonuçta kuantum kökenli ve formal olsalar bile, sağduyularının tümüyle kurallara uygun olduğuna inandırdınız (en azından sürekli olarak ve yeterince büyük ölçekte). Şimdi artık dünyaya dönmeye ve bana saygı duymayı öğrettiğiniz erkekler ve kadınlarla karşılaşmaya hazırım. Sizden öğrendiğim ilkeleri onların keşfettiklerini bana söylememiş miydiniz? Bu nedenle insanlar da çok çok eski akıl yürütme biçimlerinin o yasaların ürünleri olduklarının farkındadırlar."

BELİRLENİMCİLİK

Biraz önce anlattığımız yaklaşıma güzel bir örnek bunun klasik belirlenimcilik ile kuantum olasılıkçılık arasındaki bağıntıyı netleştirme şeklidir. Daha önce belirttiğimiz gibi, belirlenimcilik iki farklı an için yapılan klasik önermeler arasındaki mantıksal eşdeğerlikten oluşur. Sürtünmenin olmaması halinde bu eşdeğerlik iki yönde de tutar, yani içinde bulunduğumuz andan geleceğe (belirlenimciliğin normal anlamı) ve geçmişi yeniden yaratma olanağı verecek ve sonuçta belleğin varlık temeli olacak şekilde, yine içinde bulunduğumuz andan geçmişe doğru geçerlidir. Sürtünmenin olması halinde ise, işler bu denli basit değildir ama bu durumu ele almayacağız.

Ancak çok daha sonraları anlaşılan temel noktaysa, klasik belirlenimciliğin, kuantum yasalarının olasılığa dayalı

doğasına karşın bu kuramın doğrudan bir sonucu olmasıdır. Uyumsuz oldukları açıkça görülen bu iki görüş açısı, ancak klasik belirlenimciliğin mutlak özelliğini yitirip, evrensel olmaktan çıkmasından sonra uzlaşabildiler. Bu iki yönden ikisi de önemlidir, o nedenle biraz daha derinlemesine açıklamakta yarar var.

Klasik belirlenimcilik, kimi örneklerden de anlaşılacağı üzere, ancak yaklaşık bir şeydir (tam kesin değildir). Önce dünyanın devinimini ilgilendiren biraz uç bir örneği ele alalım. Güneşin her gün doğması gerçeğinden daha belirlenimci ne olabilir? Dünyanın güneş çevresinde Kepler yasalarına uygun biçimde döndüğünü biliyoruz. Bu gerçek, Newton dinamiği ilkelerinin ve ayrıca güzel bir yaklaşıklıkla da kuantum mekaniğinin bir sonucudur. Kesinleştirmek istediğimiz yaklaşıklık kavramı da budur.

Kuantum mekaniğinin bir nesnenin durumunu birdenbire ve bir kuantum sıçraması sonucunda değiştirmesi anlamına gelen ve kesikli değil de sürekli yapıdaki bir klasik geçişle açıklanamayacak "tünelleme olayı" gibi olgulara izin verdiği, atom ve çekirdek fiziğinde böyle bir olayın birçok örneğinin olduğu biliniyor. Örneğin, uranyum çekirdeklerinin kendiliğinden bozunumuyla güneşin merkezindeki iki protonun birbirine çok yaklaşarak bir nükleer tepkimeyi başlatabilmeleri tam olarak bu tünelleme olayı nedeniyledir.

Dünya büyüklüğündeki bir cisim bile, en azından kuramsal olarak, bir tünelleme olayına konu olabilir. Güneşin kütleçekimi dünyayı sürekli bir devinimle uzaklaşmaktan alıkoyuyorken, gezegenimiz, tünelleme olayı sonucunda, kendini birdenbire Sirius çevresinde döner bir halde bulabilirdi ve bu da belirlenimcilik açısından çok sert bir darbe olurdu. Önceki gece, güneşin ertesi sabah doğup yükselmesini bekleyerek yattık, ama gece boyunca bilinmeyen yıldız kümelerine yol veren daha da parlak bir yıldız görüntüsüyle uyandık.

Böyle olayların gerçekleşmesine izin verecek bir kuram bizi pekâlâ rahatsız edebilir. Neyse ki, belirlenimcilik mutlak değilse bile, onun ihlâl edilme olasılığı çok küçüktür. Söz konusu durumda, dünyanın güneşten uzaklaşarak gitmesinin olasılı-

ğı öyle küçüktür ki, onu yazmak için ondalık noktanın sağına 10^{200} (10 üzeri 200) adet 0 koymak gerekir. Böyle bir sayının küçüklüğü insanın imgelemini altüst ediyor, hiçbir bilgisayar da böyle bir sayıyı onlu sayı sisteminde saklayamaz. Uygulamada, hiçbir zaman gerçekleşemeyecek bir olaydır.

Biz giderek daha küçük, daha küçük cisimlere yöneldikçe, tünelleme etkisinin gerçekleşme olasılığı büyür. Bir otoparkta belli bir yere bırakılmış bir aracın, bir başka konuma "tünelleme olayı" yoluyla gitme olasılığı, dünyanın güneşin çekiminden kendiliğinden kurtulup, uzaklaşması olayındaki kadar küçüktür, ama bunda ondalık noktadan sonra daha az sıfır vardır. Aracım bozulduğunda bu konuda kuantum mekaniğini suçlamıyorum, onun bu işte bir payının bulunma olasılığı çok çok küçük. Daha çok, iyi bir teknisyenin kısa sürede anlayacağı "belirlenimci" bir neden arıyorum. Bununla birlikte, atomik ölçülere yaklaştıkça işler karışmaya başlıyor ve kuantum kökenli belirlenemezlik eninde sonunda ipleri ele alıp, klasik belirlenimciliği yakalıyor. Kısacası, her şey sonuçta hangi ölçeğin geçerli olduğundan kaynaklanıyor. Sonsuz küçük boyuttan, önceleri ondan biraz daha büyük, ama sonra giderek çok daha büyük ölçekli şeylere geçişin sürekli ve nicel bir olasılığı vardır.

Bu "*kuantum dalgalanmaları*"nın kuramsal açıdan bakıldığında olabilir gibi görünen ama gerçekleşme olasılığı yok denecek kadar küçük olan ve belirlenimciliğe aykırı olan etkilerinin bir başka özelliği bunların yeniden üretilememeleridir. Büyük olasılıkla, dünyanın başlangıcından bu yana insan ölçeğinde gözlenebilir olan hiçbir kuantum dalgalanması görülmemiştir, ama pek çok kişi tarafından gözlendiği söylenen böyle bir örneği düşünelim: İnsanlar kimi zaman bir taşı birdenbire olduğundan başka bir yerde görürler. Gerçekten de görmüşlerdir, ama başka hiç kimseyi buna inandıramazlar, bu olgunun bir daha yinelenebileceğini de gösteremezler. Bütün söyleyebildikleri "yemin ederim taş şurada solumdaydı, birdenbire sağımda gördüm" olur. Fazla içki, orta düzey bir nöbet diye düşünenler olur, tanıkların kendileri de sonunda bir tür halüsinasyon gördüklerini düşünürler.

Dolayısıyla, belirlenimcilik mutlak değildir. Ayrıca bunun, birazdan açıklayacağımız gibi, evrensel olmaktan çıktığını da söyledik. Bütün büyük ölçekli fiziksel sistemlerin mutlaka belirlenimci olmadığını da gördük. Örneğin buna uymayan kaotik sistemlerde, belirlenimcilik ile rastlantı arasındaki bağıntılar bugün iyi biliniyor ve bunlar bu kitabın konularının ötesinde çok geniş bir araştırma alanını oluşturuyorlar. Kuantum mekaniği ile klasik mekaniğin her ikisinin de dünyanın klasik ve kuantum açılardan tanımları arasındaki kesin bir ilişkinin sınırlarını belirleyen klasik kaotik olguların önemini kabul ettiklerinden kısaca söz edeceğiz.

Belirlenimciliğe ve sağduyuya güvenmeden önce sağlanması gereken bir koşul daha var. Bu da bir sistemin başlangıçtaki durumuyla ilgilidir. Bu durumu klasik dinamiğin üzerine dayandırılabileceği saf bir klasik özellik olarak tanımlamak önemlidir. Bu koşulun sağlanamayacağı, çok da seyrek rastlanmayacak durumlar vardır. İşte bir örnek: Bir boşluğun içinde çevresinden yalıtılmış bir Geiger sayacını ele alalım. Bu sayaç klasik fizikle pekâlâ tanımlanabilecek büyük ölçekli bir sistemdir. Bu durumda belirlenimcilik özellikle basittir, çünkü hiçbir şeyin olmayacağını baştan kestirir. Eğer şimdi sayacın içinde bir radyoaktif çekirdek düşünürsek, sayacın klasik tanımı artık sistemin ilk durumunu (sistem = sayaç + çekirdek) tümüyle kapsamayacak ve çekirdeğin dalga fonksiyonunu da dikkate almamız gerekecek. Fiziğin temel yasaları kuantum kökenli olduğundan, yeni sistemin belirlenimci doğası artık geçersiz olacaktır. "Sayaç + çekirdek" sisteminin tüm dalga fonksiyonu Schrödinger denklemine göre gelişir ve sayacın kendisinin yarı kararlı bir nesne ve küçük elektriksel etkilere duyarlı olması, bu durumda sergilenen davranışın belirlenimci olmasını imkânsız kılar.

Başka bir deyişle, belirlenimci tavrı göstermek için kullanılan yöntemler aynı zamanda bu yaklaşımın uygulanamayacağı ayrıksı durumları da gösterirler. En sık karşımıza çıkanlar ölçümlerin yukarıdaki gibi çok küçük (mikro) ölçekte yapıldığı durumlarda görülürler. Bu örnek kuantum mekaniğinin yorumu için çok temeldir ve bu nedenle onu bir sonraki bölümde inceleyeceğiz.

Böylece, klasik fizik ve sağduyu bize büyük ölçekli dünyayı bir koşulda anlama olanağı sağlar. O da, içinde bir kuantum nesnesini, hatta daha da ince bir büyüklüğü ölçecek bir ölçüm aygıtını da barındıran sistemleri ele almamamız gerektiğidir. Başka türlü ifade edersek de kendimizi insanlığın on dokuzuncu yüzyılın sonlarında, radyoaktivitenin bulunuşundan önce bildikleriyle sınırlamamız zorunluluğudur.

TEMEL BİR FELSEFİ İNCELEME

Sürekli vurguladığımız temel bir sonuç var: Çok nadir görülen durumlar dışında, sağduyu, en azından normal koşullarda ve bizim için geçerli olan insan ölçeğindeki nesneler için madde dünyasını yöneten yasaların kuantum doğasına uygundur. Doğal olarak, sağduyu kendi başına, kendi sınırlarını belirleyemez ve bu nedenle kuantum mekaniğinin bulunuşu derinden sarsıcı olmuştur. Biz bunun ancak geçici bir durum olduğunu umabiliriz.

Bununla birlikte, böyle bir sonucun tüm felsefi sonuçlarını hakkıyla değerlendirmek kolay değildir. Gerçekten de, sağduyunun yalnızca doğa yasalarının sonucu olduğunu ve bunların kendi mantıksal yapıları olduğunu düşünmek, alışageldiğimiz düşünce kalıplarını tam tersine çevirmek demektir. Perspektifteki böyle bir değişikliğe alışmak da güçtür ve bunun sonuçlarını kavramak her zaman kolay değildir. Yine de, bilgi kuramı üzerinde doğrudan etkili olabilecek birtakım küçük dersler de çıkarabiliriz.

Gerçekliğin bilgisine bilimin yardımıyla bulunmuş olan yasalarla başlayarak yaklaşmak geleneksel epistemolojiye terstir (aslında tam tersidir). Artık, Bohr'un yaptığı gibi, klasik fiziği tek referansımız, mantığın uygulanabileceği ve kurallı bir şekilde söz edebileceğimiz tek alan olarak kullanmayı denemiyoruz. Tam tersine, kendi tanımlama kuralları ve klasik dünyanın kurallarının türetilebileceği akıl yürütme biçimi olan, kuantum dünyanın ta kendisidir.

Birçok insan tarafından, ama özellikle de her ne kadar kuantum fiziğinin birtakım özelliklerini ("yerellik", "ayrılabilirlik", "nedensellik" gibi) felsefi ilkelere yükseltmeyi gerektirse

de, kuantum fiziğini sağduyu aracılığıyla anlamaya çalışan John Bell tarafından izlenen yöntemi sorguluyoruz. Aslında temelleri fiziğin son derece sağlam olan ilkelerine dayanan, kuşaklar boyunca araştırmacılar tarafından büyük güçlükler çekilerek elde edilen tam tersi yaklaşım daha verimlidir. Sağduyunun doğru biçimini, uygun yaklaşıklık derecesini ve uygulama alanını bu ilkelerden çıkarıyoruz. Bu uygulama alanı saflaştırılmış ve güçlendirilmiş ama artık sorgulama olmaksızın peşinen kabul görmeden ve bu nedenle de biraz gizemli olarak yeniden karşımıza çıkıyor. Kendi uygulama alanına sıkışmış olan sağduyu gerçekliğin yasalarının geçerli biçimi haline gelmektedir.

Yukarıdaki sonuç ayrıca felsefi sorgulamanın kurallarına da meydan okuyor. Çünkü bu sonuca göre artık felsefi sorgulamalarımızı, Bacon'ın da reddettiği gibi, deneyimimizin genellemelerine dayandırmamız gerekmiyor. Araştırma yolundaki sabırlı çabalarımız, doğanın kendisinin de tanıdığı ve nesnelerin özüne daha yakın olan derin ilkelerde meyvelerini verdi. Böylece yeniden değer bulan sağduyu, sınırı belirlenmiş ilgi alanıyla artık büyük ölçekli evrene uygulanamayacak ve özellikle de sonsuz küçük nesnelerde artık geçerli olmayacaktır. Onun aslında yalnızca aşırı biçimde bir tapınma ve düşünme alışkanlıklarımızla dil konusundaki alışkanlıklarımızın daha doğrulanmamış şekli olan atomik ölçekli felsefi "ilkelere" dayanıyor gibi yapması boşa olacaktı.

XI

ÖLÇÜLEBİLENDEN ÖLÇÜLEMEYENE

Sağduyu ile kuantum mekaniği arasındaki uzlaşı, bilgi kuramı doğrultusunda bunların ikincisinden çıkarabileceğimiz dersleri bitirmiyor. Kuantum mekaniğinin sağduyuyu atomik dünyanın olgularından nasıl sürüp çıkardığını gördük. Bu bizi başka yerlere de götürecektir. Şimdi arka planda bir büyük sorun daha beliriyor. O da formalizmle gerçeklik, kuramla doğa arasındaki, sonunda tek başına belirecek olan bağıntıdır.

Yukarıdaki sorularla uğraşmak için yalnızca kuantum fiziği ilkelerine, özellikle de mantıksal olanlara dayanan bir yöntem öneriyoruz. Girişimin tutarlılığını garantilemek için bizi fizikçilerin ve felsefecilerin bugüne dek atladığı birtakım görüş açılarını keşfetmekten alıkoymayacak tam bir tümdengelim yöntemi üzerinde ilerleyeceğiz.

ÇARPICI GİRİŞİM SORUNU

Önceki bölümde bir kuantum ölçüm örneğiyle karşılaşmıştık. Orada, ışınım yapan bir çekirdeğin bir elektronu salıp salmadığını algılayan bir Geiger sayacı vardı. Sayaç ve radyoaktif çekirdekten oluşan karmaşık fiziksel sistemin Schrödinger denklemini çözerek ve başlangıçta bozunmamış bir çekirdeğimiz olduğunu varsayarak, örneğin on dakika sonraki dalga fonksiyonunun biçimini bulabiliriz. Bu fonksiyon iki terimin toplamı olarak ortaya çıkar. Bunların ilki, hâlâ bozunmamış bir çekirdeği, hâlâ 0 gösteren bir sayaçla temsil eder, ikinci terim ise, bozunmuş bir çekirdeği ve bir radyoaktif bozunumun

algılandığı anlamına gelen 1 sayısını gösteren sayacı temsil etmektedir.

İki terimin toplamı olan bir dalga fonksiyonunun, temelde, bu terimlerin temsil ettiği iki durum arasında kuantum girişimlerinin olmasına izin verdiğini biliyoruz. Elimizdeki bu durumda ne olur? Ekranında iki farklı sayı görünen bir sayacın iki durumu arasında olabilecek girişimleri canlandırmak çok güçtür. İmgelemimiz çalışmaya yanaşmaz, çünkü *gerçeklik bizi böyle bir durumla hiç karşılaştırmamıştır*. Dahası, kuram ile deney arasındaki bu türden bir uyumsuzluk bizi ya problemin göründüğü gibi olmadığını ya da kuramın kendisinin güvenilmez olduğunu düşünmeye zorlar. İkinci seçenek bizi daha da öteye taşır: Eğer girişimler gerçekten vardıysalar, nasıl görüneceklerdi? Üst üste binmiş iki fotoğraf olarak mı? Yoksa hani insanın ateşi yükselince görebileceği birbiriyle çelişen ama iç içe geçmiş iki görüntü olarak mı? Böyle bir gerçeklik kırpışması var olmadığına göre, en baştan başlasak iyi olacak.

Genellikle Schrödinger'in bizzat kendisi tarafından çarpıcı bir biçimde ifade edilen bu problem hakkında çok şey yazılmıştır. Her ne kadar çok iyi bilinse ve daha önce söz etmiş olsak da, yinelemekte yarar var. İçinde öldürücü olabilecek bir aygıt bulunan bir kutuya konmuş bir kediyi düşünelim. Bu tehlikeli aygıt da bozunması halinde güçlü bir zehiri ortama salacak olan radyoaktif bir kaynak olsun. En dolambaçsız anlatımla kuram, belli bir zaman aralığının ardından, kedinin dalga fonksiyonunun iki başka fonksiyonun, yani biri etkinleşmemiş bir kaynak ve canlı bir kediyi temsil eden, öteki ise kaynağın radyoaktif bozunumundan sonra ölmüş kediyi temsil eden iki dalga fonksiyonunun üst üste binmiş hali olacağını öngörür. O zaman da birçok soru ortaya atılır: "Kedi ölüdür" ve "kedi canlıdır" ifadelerinin girişim olmadan, "kırpışma" olmadan, iki ayrı olay olduklarını söyleyebilir miyiz? Kutuyu açmadan ne olduğunu bilemesek de, iki olaydan yalnız birinin gerçekten olduğundan, hiç kuşku duymadan emin olabilir miyiz?

Bunun altında yatan güçlükleri göstermek amacıyla, belki biraz daha somut bir örnek verebiliriz. Charlemagne döneminde yaşayan Pepin adında birini düşünelim. Evindeki duvarla-

rın birinde çok tehlikeli bir radyoaktif çekirdek olsun. Örneği olabildiğince basit tutmak için yalnızca iki olayın gerçekleşebileceğini varsayalım. İlk durumda, Pepin üç yaşındayken çekirdek bozunur ve onun ölümüne yol açar. İkinci durumdaysa, Pepin büyüyüp, çocukları olup, öldüğünde çekirdek hâlâ bozunmamıştır. Pepin'in mirasçıları arasında Napoléon Bonaparte ve günümüzde bir kuantum mekaniği uzmanı olan Profesör Babillard vardır. Fizikçi ünlü çekirdeğin izlerini inceler ve girişimler bulur. Ne sonuca varması gerekir? Girişimler dalga fonksiyonunun Pepin'in üç yaşındayken öldüğü duruma karşılık gelen bileşeninin hâlâ var olduğunu ortaya çıkarır. Böylece, Pepin'in daha çocukken ölmüş olmasının olasılığı bugün bile sıfır değildir. Profesör de bir sonraki dersine şöyle başlar: "Bugünkü durumda, Pepin'in daha emeklerken ölmüş olması olasılığının sıfırdan büyük olduğunu ortaya koydum. Pek hoşumuza gitmese de, Napoléon'un da benim de hiç var olmadığımızı, çünkü her iki olayın da sıfırdan büyük bir olasılığı bulunduğunu kabul etmemiz gerekir. Eğer Babillard haklıysa, güçlüğün nerede olduğunu görebiliriz: hiçbir gerçek tartışmalara son verecek şekilde doğrulanamaz. Bu durumda, her bilimin temeli olan "gerçek" kavramı kuram ile uyumsuz olurdu. Babillard'ın mantıksız cümlesi, kuantum fiziğinde evrensel bir kuşkuculuğun ya da çok çılgın düşlerin temellerini görmek isteyenlerin öne sürdüğü savlara göre yalnızca bir parça daha abartılıdır. Kimileri paralel evrenlerden söz eder ve Jül Sezar'ın Kleopatra'nın babası olduğu bir dünyayı, bizim kendi dünyamız kadar doğru sayarlar. Başka kimileriyse, dalga fonksiyonlarının toplamının ancak insan bilinci üzerinden kırılabileceğini varsayarlar. Daha bir başka grupsa, biraz daha ileri gidip, süreci tersine çevirirler: Eğer bilincimiz olası gerçekleri ayırıyorsa, o zaman akıl da maddeye etki edebilir ve parapsikoloji kuramsal olarak gösterilebilir. Bunlardan başka, bilimin kesinlikten uzak, her şeyin olabileceği, suyun yalnızca şarap tarafından silinebilecek bir bellek taşıdığı bulanık bir şey olduğunu düşünenler de vardır. Daha sağduyulu olanlarsa, kendilerini daha duyarlı olduğunu düşündükleri duvarlar arkasında siperde tutarlar. Onlara göre fizik insanlar arasında gerçekliğe

ulaşmayan, üzerinde anlaşmaya varılmış bir kavramdır, dalga fonksiyonu benim biliyor olduğum şeyin bir ifadesinden başka bir şey değildir. Sürdürüp gitmek ve böyle bir çırpıda söylenivermiş sözler üzerinde yalnızca felsefe değil, Tanrı'nın kararsız yaratılarının çoklu evrenlerini hayranlıkla izlediği teolojilerini bile oturtanlardan söz etmek gerekli midir?

Bohr her zaman, ne pahasına olursa olsun, kurulmasına yardımcı olduğu bilimin nesnel özelliğini koruma girişimlerinde bulunmuş ve biraz sonra göreceğimiz gibi, bu girişiminde haklı çıkmıştır. Geri kalana gelince, onlar boş, gereksiz, anlamsız saçmalıklardır (bu konuda heybede daha sert sözlerim de vardır). Doğrucu bir Feynman'ın ya da kuşkucu bir Einstein'ın yaptığı gibi, akıl "anlamadığımız bir şey var" sözünü de içerir. Ama merak edebileceğiniz gibi, o zaman da nasıl anlamamız gerekir?

EŞEVRESİZLİK ETKİSİ

Büyük ölçekli girişimler sorusuna bir yanıt bulunmadan önce çok zaman gerekiyordu. Heisenberg'in ilk değerlendirmelerinde birtakım sorunlar vardı, ama doğru yanıtın Hans Dieter Zeh tarafından ortaya atılması 1970'li yıllardan önce değildi. Onun bu yaklaşımı 1970'li ve 80'li yıllarda K. Hepp ve E. H. Lieb, W. Zurek, A. O. Caldeira ve A. J. Leggett, E. Joos ile H. D. Zeh'in basit modelleriyle sınandı. Hiçbir kuşkuya yer yoktu: büyük ölçekli girişimlerin yok olması fizikteki en hızlı ve en baskın etkilerden biriydi. Daha yakın dönemlerde, özel modellere bağlılık olmadan, genel bir kuram bu kitabın yazarı tarafından kuruldu. Daha da inandırıcı olansa, 1996 yılında Paris'te, J. M. Raimond S. Haroche'un yönetimindeki bir grubun yaptığı deneysel gözlemlerdi.

Söz konusu etki basit sözlerle ya da birtakım benzerlikler kullanılarak açıklanamaz. Yoksa doğru yanıtı kestirmek bu kadar zaman almazdı. Bununla birlikte, konu öyle önemlidir ki, bu kitapta matematiksel ifade kullanmama ısrarımızı biraz yumuşatacağız.

Meselenin ortaya konuşu otuzlu yılların başlarında, bir deneyde kullanılan ölçüm aygıtının, ölçüm yapıldıktan son-

raki durumunun epey kafa karıştırıcı olduğunu fark eden von Neumann'a kadar gider ve bu nokta da daha sonra ünlü Schrödinger'in kedisi örneğiyle yaygın biçimde tanınmıştır. Buradaki temel varsayım ölçüm aygıtının ve ölçülen sistemin (örneğin bir atom) her ikisinin de kuantum mekaniğinin yasalarına uymalarıdır.

Bir atomun spininin bir bileşenini ölçecek bir aygıt düşünelim. Eğer bu spin ½ ise, uzayda belli bir yönde, örneğin *z* yönündeki spin bileşenini temsil eden gözlenebilir için yalnızca iki olası değer vardır. Ölçülen gözlenebilir budur ve alabileceği iki olası değer + ½ ile –½'dir. Her iki bildirimin de, yani "spinin *z* bileşeni +½'dir" ve "spinin *z* değeri –½'dir" tümcelerinin her ikisinin de tarihçeler çerçevesinde, izdüşüm işlemcileri tarafından doğru tanımlandığına dikkatinizi çekerim.

Von Neumann ölçüm aygıtının yalnızca basit bir şekilde bir cetvel üzerindeki noktayı gösterecek iğneden oluşan bir model önerdi. Bu iğne ölçümden önce 0 konumunu gösteriyor, daha kesin konuşmak gerekirse, dalga fonksiyonu $\Psi_0(x)$ çok dar ve x'in 0'a çok yakın değerlerinde kendi en büyük değerine ulaşıyor. Spininin *z* bileşeni +½ (ya da –½) olan bir atom aygıta girdiğinde, iğne hareket ediyor ve yeni konumda ölçümün sonucunu (spin bileşeni +½ ise) +1, (spin bileşeni –½ ise) –1 olarak gösteriyor. Daha da kesin konuşacak olursak, iğnenin konumunu tanımlayan dalga fonksiyonu $\Psi_+(x)$ (ya da $\Psi_-(x)$) çok dardır ve x'in +1 (–1)'e çok yakın olduğu yerlerde en yüksek halini almıştır.

Buraya kadar güzel ve von Neumann'ın modelinin gerçek bir ölçüm için doyurucu bir tanım sağladığını söyleyebiliriz. Ama eğer bu atom, spininin *x* yönündeki bileşeni (kesin olarak bilinen) örneğin +½ değeriyle geliyorsa ve bizim aygıt spinin *z* yönündeki bileşenini ölçmek için hazırsa, o zaman başımız dertte demektir. Ölçümün sonunda iğnenin dalga fonksiyonunun $\Psi(x) = (1/\sqrt{2})\,[\Psi_+(x) + \Psi_-(x)]$ olduğunu buluyoruz. Burada biri iğnenin +1'de olduğunu gösteren $\Psi_+(x)$, öteki –1'de olduğunu gösteren $\Psi_-(x)$ terimi vardır.[1] Toplam dalga fonksiyonunda,

[1] İşi basitleştirmek için ölçüm yapıldıktan sonra atomun tüm ölçüm aygıtlarından kaybolduğunu varsayıyoruz.

iki farklı şeyi, $+1$ ve -1'i (yani canlı ve ölü kediyi) ifade eden her iki özellik de eşzamanlı olarak yer almaktadır. Bu basit formül en güç bulmacayı, kuantum mekaniğinin en derin gizemini barındırmakta ve bunun doğruluğu hakkında hiç kuşku bulunmamaktadır. İğnenin yerinde bir atomun ya da bir başka parçacığın olduğu birçok deney bu sonucu doğrular. Dalga fonksiyonlarının üst üste binmesi bir sorun değildir ama bir etkileşim sırasında kolayca yakalanabilir.

Heisenberg ve Zeh, von Neumann'ın modelinde bir kusura işaret ettiler: Gerçek bir ölçüm aygıtı x gibi bir değişkenle tam olarak tanımlanabilecek bir kavram değildir. Laboratuarda yapılacak bir deneyde genellikle birkaç MMM parçacığı vardır (burada MMM **m**ilyar kez **m**ilyar kez **m**ilyar anlamındaki 10^{27} sayısı oluyor). O nedenle, doğru dalga fonksiyonunun $\Psi(x)$ değil de $\Psi(x, y)$ biçiminde yazılması gerekir (y bir MMM değişkeni anlamına geliyor). Bu dalga fonksiyonu iki başka fonksiyonun, yani ($\Psi(x)$'in benzeri olan) $\Psi_+(x, y)$ ile ($\Psi_-(x)$'in benzeri olan) $\Psi_-(x, y)$'nin toplamıdır.

Burada y değişkenleri ölçüm aygıtının mikroskobik özelliklerini temsil ederler ve içindeki tüm çekirdekler ve elektronları içerdikleri gibi, örneğin laboratuarda biraz olsun ışık bulunması halinde fotonları ve çevredeki atmosferin hava molekülleri gibi birtakım dış konuları da kapsarlar. Alışıldığı üzere, y'deki pek çok değişkence tanımlanan sisteme "çevre" adı verilir.

Makroskobik girişimleri bastıran "eşevresizlik [decoherence] etkisi"nin gerisindeki sezgisel düşünce şöyledir: $\Psi_+(x, y)$ gibi bir dalga fonksiyonu aslında y'nin çok karmaşık bir fonksiyonudur ve dahası, iğnenin konumuna, yani x'in değerine karşı çok duyarlıdır. Eğer iğne örneğin bir çemberin merkezindeki eksende dönüyorsa, ortamda kaçınılmaz olarak bir sürtünme vardır, bu da atomların dünyasında (bizim için deprem denebilecek) sarsıntılar yaratabilir. Bu durumda iki dalga fonksiyonu $\Psi_+(x, y)$ ile $\Psi_-(x, y)$ oldukça farklıdır.

Böyle bir fonksiyonu gözümüzün önüne getirebiliriz. MMM değişkenleri içinde yalnızca biri çok hafif değiştiğinde bunun işareti birçok yerde değişir ve MMM'lerden bir çoğu değişti-

ğinde, işaret başka pek çok yerde daha değişikliğe uğrar. Tüm MMM değişkenlerinin etkisi altında, evreler hemen hemen rastgeledir. Şimdi böyle fonksiyonlar içinden kaderleri farklı olan ikisini düşünelim. Bunların işaretlerinin, evrelerinin y'nin aynı değeri için ortak bir şeylerinin bulunması olasılığı hemen hemen yoktur. "*Eşevresizlik*" adı da buradan gelir ve daha önce sahip olabilecekleri herhangi bir *uyum*un artık yitirildiği anlamındadır.

Büyük ölçekli girişimlerin gözlenebilir parametre olan x'de görülmeleri için iki dalga fonksiyonunun y'ye bağlılıklarının eşevreli olmaları gerekecekti. Bu, kolayca kanıtlanabilecek teknik bir noktadır ama burada doğru olarak alıyoruz.[2] Sonuç en azından açık ve yalındır: Dalga fonksiyonlarının çevre içindeki inişli çıkışlı davranışları büyük ölçekli, gözlenebilir düzeydeki kuantum ölçekli girişimlerin herhangi bir biçimde kendilerini göstermesini örtbas eder. Eğer bir kedi ölüyse, onun iç dalga fonksiyonu, canlı bir kedinin dalga fonksiyonunun ince evre ayarlamasını bir daha hiç kazanamaz. Ölü bir kedi ile canlı bir kedinin dalga fonksiyonlarını ekleyip, $\Psi_+(x, y) + \Psi_-(x, y)$ toplamına ulaşmak, bir tür deniz dalgalarıyla bir balinanın çıkardığı hava kabarcıklarını toplamak gibidir. Bunlar kendi aralarında girişim yapmazlar, ayrı ayrı dururlar.

Biraz sezgisel olan bu resme eşevresizlik kuramını koyamayız, çünkü çok basit modeller dışında, MMM değişkenleri olan bir dalga fonksiyonunun evresini araştırmada kuramsal donanım açısından eksiklerimiz vardır. Tersinmez süreçlerin ve bilgi kuramının verdiği esinle başka tekniklerin kullanılması gerekir. Eşevresizlik etkisinin temel sonucu, herhangi bir durumda, en basit şekilde mantık diliyle ifade edilir: Schrödinger'in kedisi herhangi bir anda ya ölüdür, ya canlıdır. Temelde olasılığa dayalı bir kuramın en fazla söyleyebileceği de budur. Ama bu sağduyuyla tam bir uyum içindedir ve burada hiçbir gizem yoktur. Bu açık mantıksal ayrışmanın kedinin ölmekte olduğu (ya da iğnenin ilk konumundan hâlâ

[2] Matematiksel olarak, x ve x' hangi değerleri alırlarsa alsınlar, $\Psi_+(x, y)$ ile $\Psi_-(x', y)$ birbirine diktirler.

belirsiz yönlere, +1 ya da –1'e doğru gitmeye başladığı, ki biraz sonra ikisinden birine doğru gidecektir) kısa zaman aralığında geçerli olmayabileceğini ekleyebiliriz. Von Neumann ve Schrödinger'in çalışmalarının basitleştirilmiş biçimlerinden de açıkça görüleceği üzere, kedinin aynı anda ölü *ve* canlı olduğu söylenemez. Eşevresizlik Schrödinger'in efsanevi kedisine son noktayı koymuştur.

İLGİNÇ (FİZİKSEL) EŞEVRESİZLİK ÖRNEKLERİ

Eşevresizlik olayının uzak erimli sonuçları vardır. Buna öncelikle bir fizikçinin gözüyle bakalım. Bunun sürtünmeyle ya da daha genel konuşursak, örneğin iğnenin genel hareketiyle, iğneyi oluşturan atomların görünmez ısıl devinimi arasında enerji alışverişinin olduğu, enerjinin yitirildiği süreçlerle sıkı sıkıya ilişkili olduğunu gördük. O nedenle, genel eşevresizlik kuramının enerji kaybı için de bir kuram oluşturmasında şaşılacak bir şey yoktur.

Buna uygun olarak, "hiç kayıp olmadığında ne olur?" sorusunun yanıtı "eşevresizlik yoktur"dur. Eşevresizliğin bulunmadığını çarpıcı şekilde ortaya koyan üstün iletken aygıtlar üretilmiştir. Adına SQUID (Superconducting Quantum Interference Devices – Üstüniletken Kuantum Girişim Aygıtları) denen bu araçlar büyük ölçekli olsalar bile (eski model saç tokası şeklinde ve büyüklüğündedirler), tipik bir kuantum davranışı sergilerler (tünelleme etkisi). Bununla birlikte, bu türden bir araç yalnızca deneysel merakları gidermek içindir ve bunlardan bir örneği doğada bulma olasılığı çok küçüktür. Bundan çok daha yaygın olan ve eşevresizliğe geçit vermeyen ünlü bir fiziksel sistem vardır, o da bildiğimiz ışıktır. Işınım denen şey pek çok foton içerdiğinde, kendi başına büyük ölçekli bir sistemi oluşturur. Fotonlar çok çok zayıf bir şekilde etkileşirler, hatta etkileşmedikleri bile söylenebilir ve buna uygun olarak, aralarında ne bir enerji kaybı vardır ne de eşevresizlik. Böylece, kuantum girişimlerini büyük ölçekte, onların yardımıyla gözlemeyi bekleyebiliriz. Peki bunlar gerçekten ortaya çıkar mı? Yanıtı biliyoruz, çünkü bu girişimler ilk olarak Thomas Young tarafından gözlenmişlerdi.

Şimdi çok özel durumları bir yana bırakarak enerji kaybının görüleceği evrensel koşulları düşünelim. Enerji kaybı (ya da ona eşdeğer olarak, sürtünme) bir hareketi yavaşlatma, hatta sönümleme eğilimindedir. Diyelim bir sarkaç sonsuza dek salınım yapmaz, çünkü giderek yavaşlar. Bu etki nicel olarak bir *sönümlenme zamanı*yla tanımlanır. Bu zamansa, sarkacın ilk genliğinin belirli bir yüzdeye kadar küçüldüğü anı gösterir. Sönümlenme zamanı kolayca gözlenebilir ve sönüm katsayıları denen sayılar da genellikle bilinir.

Eşevresizliğin de kendi katsayısı ve kendi eşevresizlik zamanı vardır ve bu zaman kurama göre, sönümlenme katsayısıyla yakından bağıntılıdır. Bu bağıntıya göre, sönümlenme zamanı eşevresizlik zamanından, Planck sabitinin ters karesini içeren bir çarpan kadar büyüktür. Bu çok korkunç bir orandır ve kuşkusuz sarkacın kütlesi ve sıcaklık gibi başka fiziksel büyüklüklere de bağlıdır. Her nasılsa, Planck sabiti bizim ölçeğimize göre bir MMM düzeyindedir. Bu durumda karesi de MMMMMM, yani 10^{54} basamağındandır. Sönüm zamanı genellikle biraz büyükçe olduğundan, buna karşılık gelen eşevresizlik zamanı sonsuz küçük bir sayıdır, böylece eşevresizliğin çok etkin ve çabuk olduğu ortaya çıkar.

Durumu daha iyi görmek amacıyla eşevresizliğin özellikle çok yavaş olduğu uç bir örneğe bakalım. Bu boşlukta ve 0 Kelvin sıcaklığında olabilir. O zaman, daha önce tartıştığımız iğne örneğindeki gibi, iki durumun üst üste binmesi olarak harekete başlayan sarkaç örneğini düşünelim. İki konum, aralarındaki bir mikrometrelik (milimetrenin binde biri) uzaklıkla ayrılıyorlar. Somut konuşmak için sarkacın kütlesinin 1 gram, periyodunun 1 saniye ve sönümlenme zamanının 1 dakika olduğunu varsayıyoruz. Eşevresizliğin ne kadar etkin olduğu, büyük ölçekli kuantum girişimlerinin yarıya indiği zaman olarak ifade edilebilir. Bunun yanıtı 10^{-16} saniyedir. Yani, etki kuşkusuz çok büyüktür! Bu sonuç, söz konusu durumda etkinin özellikle yavaş (sözcük uygundur umarız) olmasıyla, daha da ileri düzeyde doğrulanmıştır. Sıfırdan yüksek sıcaklıklarda ve dış ortamda büyük ölçekli girişimler çok daha hızlı biçimde kaybolurlar. Örneğin, girişimlerin yok olmaya başlaması için

birkaç hava molekülünü sarkaçla çarpıştırmak yeterlidir. Dahası, eşevresizlik çok etkindir: Kuantum girişimlerini hemen kemirmeye başlar, onlara gelişmek için zaman tanımaz.

Açık modeller eşliğinde uzun bir süre can sıkıcı bir izlenim söz konusuydu, eşevresizlik öyle hızlıydı ki, görmeye olanak yoktu. Daha kesin konuşacak olursak, deneysel donanımımız bu etkiyi hiç iş üstünde yakalayamadı, aygıtlar çok yavaştı, girişim olduktan sonra çok geç varıyordu ve girişimden geriye bir iz kalmıyordu. Fizikçiler bir etkinin böyle ele geçmez olmasından hoşlanmazlar. Buna tümüyle ikna olmadan önce onu gerçekten gözlemek isterler. Peki bu nasıl olabilir? Elbette büyük ölçekli olmaya çok yakın bulunup da yine de küçük ölçekli sayılabilecek, yani adına orta ölçekli anlamında "*mezoskopik*" denen bir nesneyi kullanarak olabilir.

Böyle net bir sistem Raimond, Haroche ve grubu tarafından kullanıldı. Bir rubidyum atomunu kuantum sayısı çok yüksek olan ve (o nedenle) elektronun çekirdekten çok uzak olduğu bir duruma getirdiler. Atom, uygun bir araçtan geçirilince, iki durumun bir bileşimi haline gelir ve artık girişim gösterebilir. Ölçüm aygıtı kabaca "ışınım iğnesi" olarak tanımlanabilir. İğne oyuktaki az sayıda (1 ile 10 arasında) fotondan oluşur, oyuğun duvarlarıysa iğne için *çevre* demektir. Uzun konuyu kısaltmak amacıyla kuantum girişimlerinin gözlenebileceğini ve kurama göre bunların zamanla azaldığının görülebileceğini belirtelim. Eşevresizliğin süresi oyuktaki foton sayısıyla ve dışarıdan ayarlanabilecek başka parametrelerle değişir. Sonuç olarak, eşevresizliğin kuantum girişimlerini büyük ölçekli düzeyde yok edecek gerçek bir fiziksel etki olduğunda kuşku yoktur. Dahası, onu temel ilkelerin doğrudan bir sonucu olarak anlayabiliriz.

İLGİNÇ (MANTIKSAL) EŞEVRESİZLİK ÖRNEKLERİ

Eşevresizliğin ayrıca epistemoloji ve hatta bilgi felsefesi için de ortaya koyduğu temel sonuçlar vardır. İşin bu yönü, eşevresizlik kuramı üzerine en etkin araştırmaları yapanlardan biri olan Wojciech Zurek'in bir sorusuyla başladı. Daha önce matematiksel anlamda yarım yamalak sunduğumuz eşevre-

sizlik tanımı herhangi bir dalga fonksiyonu $\Psi(x, y)$ için (biri canlı, öbürü ölü kediyi simgeleyen) Ψ_+ ve Ψ_- gibi iki duruma ya da çemberdeki iğnenin –1 veya +1'i gösteren durumlara ayrıştırmadan burada da yinelenebilir. Neden dalga fonksiyonunun $\Psi(x, y)$ olarak verilen tam haline doğrudan bakılmasın? O zaman eşevresizlik, bilinmeyen MMM çevresinin $\Psi(x, y)$ ve $\Psi(x', y)$ gibi y bileşenlerinin iki fonksiyonunu, x ve x' gibi büyük ölçekli bileşenler er ya da geç evre uyumunu yitirecekleri için, önceden kestirebilirdi. Bu eğilim x, x' değerine eşit olana dek gidemez, çünkü $\Psi(x, y)$'nin kendisiyle tam bir eşevreliliği vardır. Wojciech'in çıkış noktası bu tür "*çaprazlamanın*" (yani hemen hemen x' *değerine* eşit olan x dışındaki uyum kaybı) 1920'li yılların sonlarında Paul Dirac tarafından çokça vurgulanan bir değişmezlik kuralını bozmasıydı.

Klasik mekanikteki Lagrange-Hamilton perspektifi, hem konum hem de momentum değişkenlerini içeren büyükçe bir kanonik dönüşüm grubu altında değişmeden kalır. Buna benzer şekilde (zaten Dirac'ın bakış açısı da buydu), kuantum mekaniği birçok kuramsal araştırmada çok yararlı olan kendi geniş kanonik dönüşümleri altında değişmezdir. Ama, uyumsuz çaprazlamanın yukarıda tartıştığımız şekli, yine de, bütün kanonik dönüşüm grubu (x değişkenleri ve onlara karşılık gelen momentumlar) altında değişmez olamaz. Özel birtakım değişkenleri (daha teknik dilde konuşursak, özel bir "tabanı") seçmesi ve örneğin x'in de momentum ya da başka bir şey değil, konumu göstermesi gerekir.

Bizim eski dost, eylemsizlik ilkesinin, sonuçta eşevresizlikteki özel değişken seçiminden neden sorumlu olduğunu açıklamak için gerekli matematiksel ayrıntılara burada giremiyoruz. Yalnızca sonucu vermekle yetiniyoruz: eşevresizlik bizi doğrudan Newton'ın klasik mekaniği kavrama biçimine götürüyor. "Peki ama bu kimin umurunda?" diye düşünebilirsiniz, "benim için Newton olmuş, Hamilton olmuş, fark etmez." Lütfen anlatacaklarımı sabırla bekleyin, gerçekten güzel bulacaksınız.

İlk olarak sağduyuya ve daha önce sunduğumuz klasik fiziğe yeniden dönüşte kusurlu bir şeyin bulunduğunu söylemek gerekir. Klasik mekaniği yeniden kavrayabildik, ama biraz soyut bir

biçimde ve Lagrange ile Hamilton'ın matematiksel formalizmi içinde. Doğrudur, sağduyuyla belirlenimciliği yeniden bulduk, ama sevgili okuyucu, size dünyamız hakkındaki bu görüşün ne kadar soyut kaldığını söylemedim. Yalnızca biraz hınzır bir şekilde bizim meleğin ondan hoşnut olduğunu söyledim. Bir melek için belki olur, ama sizin ve benim için de öyle midir? Simplektik faz uzayında ya da dümdüz caddede yürümeye alışık mıyız?

Eşevresizlikle ilgili alınan sonuçlar yolun son bölümünü örtüyor ve kuantum ilkelerinin soyutluğundan, sağduyunun yapay rahatlığına götürüyor. Örneğin, dinamiğin klasik tanımındaki kayıp etkileri de hesaba katılabilir. Fiziğin kaynaklarına doğru geriye, Lagrange'dan Newton'a atılacak son adım çok daha önemlidir. Newton, katı ya da sıvı, bildiğimiz uzayda konuşlanmış küçük parçalardan oluşan büyük ölçekli mekanik bir nesneyi düşündü, bu uzay elbette özgürlük derecesi kadar bileşenin bulunduğu matematiksel bir uzay değildi. Her ne kadar pek çok atom içerseler de, bu küçük madde parçaları işte oradalar. Parmağımı üzerlerine koyup, size "şuna bakın" diyebilirim. Eylemsizlik ilkesi dikkate alındığında, eşevresizlik bize bildiğimiz üç boyuttaki bu dünya görüşünün ya da daha doğrusu, bu görüşün geçerliliğinin gerçekten de kuantum mekaniğinin bir sonucu olduğunu anlatır. Kendi dünyamızda duru bir akılla, Antik Yunan'daki gibi yine basit olabiliriz. Görebiliriz. Büyük ölçekli dünyamızın görsel açıdan temsili, uzun zamandır onunla çelişiyor gibi görünen fiziğin temel yasalarıyla tümüyle uyum içindedir ve uyum geri kazanılmıştır. Sanırım bu güzel bir kutlamayı hak ediyor.

Cennette neredeyse MMM kadarlık yıllardan beri bilinen bu sonuç meleğe aktarıldığında, sevincinden coştu. Sonunda yalnızca o yüce makamın fotonsuz ışığını tanıyan gözlerini açtı ve çok uzaktaki dünyamızı görebildi. "İnsan şeklindeki yaratıkların görebildiği gibi görünce" dedi, "Dünya ne güzelmiş, içindeki gizli gülle karşılaştırılınca bir dalga fonksiyonu ne kadar da solgun görünüyor böyle. Dünyaya bu şekilde bakış, tek gerçek yol, işte bu aşkın bakışı."

İnsanlar aralarında konuşurken ani bir sessizlik olduğunda Fransızlar "bir melek geçti" derler. Belki de bizim meleğin

geçip gitmesi için biraz sessiz kalsak iyi olacak. Şimdi artık insanlarla bir arada olduğumuza göre, "eşevresizliğin bize bütün anlatacağı bu mudur?" diye sorabiliriz. Kesinlikle değil. Kuantum mekaniği yüzünden kendisinin var olmamış olabileceğini keşfeden Profesör Babillard'ın çılgın öyküsünü anımsıyorsunuzdur. Bu öykü sağduyu sahibi herkese çılgın gelir ama şimdi anlaşılıyor ki, çok çılgın olduğu kadar, mantığa da aykırı, çünkü tutarsız oldukları bilinen birtakım Griffiths öyküleri cinsinden ifade edilebilir. Bu tutarsızlık, yani Griffiths'in tutarlılık koşullarını sağlamadaki başarısızlık eşevresizlik kavramı kullanılarak kanıtlanabilir. Ama Babillard kimin umurunda? Sonuç çok daha önemlidir. Eşevresizliğin sonucu olarak öne sürülebilecek herhangi bir özellik hep geçerli olacak ve daha sonraki olaylar tarafından geçersizleştirilemeyecektir. Bu demektir ki, gerçeklik kavramı kuantum mekaniğinde tümüyle geçerlidir. Eğer Bohr'un algılanabilir gerçek olgusu için yaptığı tanım benimsenirse, o zaman bütün olgular eşevresizlikten doğan klasik özellikler olarak düşünülebilir.

Sağduyunun yalnızca düşünce biçimimizin çoğunu değil, eylemlerimizi de yönettiğini aklımıza getirdiğimizde, gerçeklere dayanan bu olasılık temel bir nitelik kazanır. Eşevresizlik günlük gerçeklerin dış görünümlerini tümüyle korur.

SON HARİKALAR: ZAMANIN YÖNÜ

Eşevresizliğin sunduğu son harika, zamanın yönüyle ilgilidir. Çevremizde gördüğümüz dünyada zamanın seçtiği yön fizikteki eski sorulardan biri olmuştur. Bir sarkaç yavaşlar ve yaptığı salınımların genliği kendiliğinden büyümez, dalgıçlar aşağı doğru yönelir, sudan yukarı uçmazlar, bir film tersine doğru oynatıldığında hemen fark ederiz. İçinde yaşadığımız büyük ölçekli dünyada zamanın bir yönü vardır ama parçacıklar arasında seçilmiş bir yön yoktur. Aralarında kuantum mekaniğininkiler de olan temel fizik yasaları, zaman tersine çevrilse de aynı kalırlar. Birbiriyle çelişen bu iki gerçek birbiriyle nasıl uzlaştırılabilir?

Eşevresizlik ve enerjinin dağılması arasındaki bağıntının üzerinde daha önce durduk. Eşevresizlik, ilgili olduğu olay-

lara bağlı olan belli bir yönde çalışır. Örneğin, daha önce Schrödinger'in deneyinde de belirtildiği gibi, "ölü ve canlı kedi" durumundan geriye, başlangıçtaki "canlı kedi" durumuna dönmek olanaksızdır. Eşevresizlik, olayların böyle tersine işlemesiyle mantıksal açıdan tutarsızdır. Neden? Çünkü yalnızca biri ölü, öteki canlı iki kedi hazırlamamız değil (ki bu kolaydır), ayrıca durumlarının Schrödinger'in o kutu için varsaydığı duruma dönmesi için, tam olarak bunların kendi iç dalga fonksiyonlarını da üstelik MMM değişkenlerine varana kadar hazırlamamız gerekecekti. Bu ise olanaksızdır.

Kesinlikle olanaksız mıdır? Tam olarak değil. Eğer "kedi" iki ya da üç atomdan oluşsaydı, bu tersine dönüş kimi durumlarda sağlanabilir, zamanın yönü de önemli değildir. Ama MMM sayıda atomla bu yapılamaz. Ya da daha kesin konuşmak gerekirse, hazırlık işlemini başarmak için gerekli deneysel aygıt tüm Evrenden daha büyük olurdu. Öyle büyük olurdu ki, özel görelilik kuramı nedeniyle çalışamazdı. Donanımdaki işlemler hemen hemen sonsuz bir zaman alırdı. Ama yine de, kimileri bunun bir ilke sorunu olduğunu söylerler. Hem yeteri kadar küçük olan hem de yeterince "özgürlük derecesi" bulunan sanal bir tür maddeden oluşan bir aygıtı neden düşünmeyelim? Gerçekten de küçük olurdu ama bu kez öyle ağır olurdu ki, anında bir kara deliğe dönüşürdü. Kısacası, bildiğimiz fizik yasaları yeterince büyük bir kedi için zamanın yön değiştirmesine izin vermezler.

Eşevresizlik birbiriyle tutarlı biçimde ilişkilendirebileceği olaylar için, zamanın yönünü belli bir doğrultuda seçer. Eşevresizlik ve saçılma arasındaki yakın ilişkiden ötürü, zamanın bu yönü termodinamikteki gibidir. Son olarak da, kuantum mantığının doğruluğunu garantilemede (Griffiths'in tutarlılık koşulları), eşevresizlik açık arayla en etkili mekanizma olduğu için, dünyayı mantıksal olarak değerlendirmemizde, onu izleyen sağduyu açısından, zamanın belli bir yönü vardır ve bu yön aynı zamanda termodinamikte olduğu gibidir.

Kuantum mekaniğinin kimsenin fark etmediği gizemlerin, örneğin klasik fiziğin ve sağduyunun değerinin şifrelerini çözdüğünü anladığımızda, "harika" sözcüğü elbette buraya uygun

düşer. Hume'un teslimiyetinden, Kant'ın kısıtlamalarından ne kadar uzakta olduğumuza ve bunun felsefede yeni bakış açılarına giden yolu ne kadar net bir biçimde gösterdiğine bakalım. İnsanlığın fizikteki en etkin olayların sonuçlarını tam olarak değerlendirdiği zeki bir dünya hiçbir zaman eskisiyle aynı olamaz.

ÖLÇÜM KURAMI

Ölçüm kuramının temel ilkelerden yola çıkarak tümdengelim biçiminde ilerlediğini daha önce söylemiştik. Sözünü ettiğimiz sonuçların bir bölümü bu tümdengelimde önemli bir rol oynarlar. Böylece, bir ölçüm aygıtının göstergesinde görünen sayısal veriler tam olarak klasik biçimde tanımlanabilirler (sağduyunun geri kazanımında bunun neden gerçekleşebileceğini gördük). Verilerin girişimlerden bağımsız olması da gereklidir ve bu eşevresizliğin bir sonucudur. Bunlardan ikincisi ayrıca verilerin tutarlı tarihçelere (Griffiths'in dediği anlamda) ait olduğu gerçeğinde önemli bir rol oynar.

Bir ölçümün ne olduğunu tam olarak anlamak için, önce sıklıkla karıştırılan iki kavram arasındaki ayrımı görmekte yarar vardır. Bunlardan biri bir deneyin (somut) verileri, öteki de onun (anlamlı) sonucudur. Veriler bizim için büyük ölçekli, klasiktir. Böylece, bir Geiger sayacında 1 sayısını gördüğümüzde, işte bu *veri* olmaktadır. *Sonuç* ise başka bir şeydir, çünkü bu, neredeyse kesin biçimde mikroskobik dünyaya ait olan ve örneğin radyoaktif bir çekirdeğin bozunduğu ya da parçacığın spininin bir bileşenini sağladığı anlamına gelen, kesinlikle bir kuantum özelliğidir. Veri, yalnızca ölçüm aygıtını ilgilendiren klasik bir özellik, gerçekliğin bir ifadesiyken, sonuç, kuantum dünyanın bir özelliğiyle ilgilidir. Veri, bir sonuca ulaşmada temel bir araçtır.

Sağlam bir kuramın deneysel bir aygıtı bir ölçüm aracına çevirecek nitelikleri belirleyerek başlaması gerekir. Ancak, bunları atlıyor ve teknik ayrıntılara girmiyoruz. Burada önemli olan bu ölçütlerden sonuca, yani "*veri ve sonuç mantıksal anlamda eşdeğerdir*" ifadesine ulaştıracak anahtarı bulabilmemizdir. Bu eşdeğerlik, kuram işin mantıksal ve dinamik biçimlerinin bütün gücünden yararlansa bile, ikisi arasında hiç

fark görmemiş olanları hoş görebilir. Bu ayrıca kuantum mantığının şaşırtıcı gücünün ve duruluk özelliğinin bir örneğidir. Şimdi bu kuramın yalnızca şu varsayımlar üzerine dayandığını vurgulayayım: (i) Mükemmel olduğunu varsaydığımız bir ölçüm aygıtıyla uğraşıyoruz (kusurlar daha sonra ele alınacak), (ii) aygıt eşevresizlik etkisine açık, (iii) varsayımların geri kalanı kuramın ilkeleridir.

Bir başka önemli sonuçsa olasılıklarla ilgilidir. Bunu da şöyle söyleyebiliriz: Aynı ölçümü pek çok kez yineleyerek, istatistiksel bir veri kümesi edinmeye uygun veriler elde ederiz ve bunların sonucu zorunlu olarak, kuramın daha başlangıçta sıraladığımız temel olasılıklarıyla uyum içindedir. Oluşturduğumuz kuramsal yapıda o olasılıkların kısaca mantık ya da dil bakımından birer araç olarak göründüklerini unutmayalım. Sonunda bunların eksikleri olan deneysel anlamı edinmeleri ve rastlantı kavramının kuramsal çerçeveye girişi ancak bu aşamadadır. Sonunda, buraya dek kuramın deneyle tam olarak karşılaştırılabileceği ve formalizmden sağlam bir gerçekliğe giden yolun bittiği noktaya ulaştık.

DALGA FONKSİYONUNUN YENİDEN ELE ALINIŞI

Bohr'un açıkladığı en önemli kurallardan biri, iki ardışık ölçümle ilgilidir. En genel anlatımıyla bu kural ikinci ölçümün sonuçlarıyla ilgili olasılıkların, "sanki" ilk ölçümün sonucunun, dalga fonksiyonunu ölçüm aygıtından çıkışta belirlediğini varsayarak hesaplanabileceğini ortaya atar. Bu dalga fonksiyonunun tam biçimi bizi çok ilgilendirmiyor (kuramcı buna ilk ölçülen gözlenebilirin "öz fonksiyonu" der). Burada sorun, yukarıda söylenen "*sanki*" sözünün pratik bir reçeteyi ya da fiziksel bir gerçeği gizleyip, gizlemediğini bulmaktır. Kuralın kendisi çeşitli deneylerce doğrulanmış olduğundan, geçerliliği sorgulanamaz.

Bohr'un dalga fonksiyonunun indirgenmesi kuralını yalnızca bir tür deneysel reçete olarak değil, kuantum mekaniğinin en temel yasalarından biri (kendine özgü bir doğa yasası) olarak düşündüğünü daha önce görmüştük. Hatta bunu başka yasalardan farklı olarak değerlendirdi, çünkü tek başına bu

yasa kuramın uygulanmasına, böylece doğrulanmasına olanak veriyordu. Ayrıca, bunun deneysel doğrulamaya tabi tutulmasının olanaksızlığını da düşündü, çünkü kural herhangi bir öngörüde bulunmak için ön koşul sayılıyordu. Sonra, onu Schrödinger'in dinamiğinden daha temel bir düzeye koydu, çünkü bu dinamik bir ölçüm yapıldığında uygulanamıyordu.

Yeni yaklaşımın verdiği yanıt çok daha sıradandır. Böylece, dalga fonksiyonunun indirgenmesi gerçek bir fiziksel etki olarak görünmez ve bütünlüklü bir ölçüm kuramı geliştirmek için ondan söz etmek bile gerekmez. Gerçekten de, Griffiths'in tarihçeleri çerçevesinde ve ölçülen nesneler kadar, ölçüm aygıtlarının da tarihçeleri tam olarak dikkate alındığında, dalga fonksiyonu indirgenmesine benzeyen bir şeyi hiçbir yerde bulamayız ve her şey Schrödinger denklemiyle uyum içinde kalır. Yalnızca matematiksel bir sonucu gözleyebiliriz, o da, ardışık iki ölçümle ilgili bir tarihçenin olasılığının, indirgeme kuralına benzer bir biçimde *yazılabileceğini* ve ayrıca bu kuralı, tam tanımlanmadığı zamanlarda da genellemesidir.

Böylece, dalga fonksiyonun indirgenmesi artık pek temel sayılmayan ama bizi mantıksal bir hesap yapmaktan kurtaran, yararlı bir reçeteden başka bir şey olmazdı. Yalnızca ürettiği verileri ele almak amacıyla ilk ölçüm aygıtının ayrıntılı tarihçesini göz ardı ettiğimizde, kural ortaya çıkar. O zaman da, ikinci aygıta girdiği sırada, ölçülen atomun tarihçesini izler ve bu yolla da kuralın öngördüğü sonucu elde ederiz.

Bu sonuçla mantıksal basitleştirmenin başka biçimleri arasında çarpıcı bir benzerlik vardır. Mantık ve matematik üzerinde yaptığımız tartışmada bir kuramda izlenmesi gereken basamakların unutulabileceğini, yalnızca yeni kanıtlar için başlangıç noktası olarak alabileceğimiz (buna Latinceden *modus ponens** diyoruz) sonucun anımsanabileceğini gördük. Dalga fonksiyonunun indirgenmesi bir bakıma, bir tür *modus ponens*, yani ölçüm aygıtının tarihçelerinin bütün bölümlerinin silindiği mantıksal bir kestirme yoldur. Sonuca etki eden tek gerçek fiziksel olay, ölçüm aygıtında gerçekten yer alan (ama uzun zamandır inanıldığı gibi, ölçülen nesnede görülmeyen) eşevresizliktir.

DERİN UÇURUM

Yukarıda söylediklerimizden kuantum fiziğinin temel ilkelerinin kendi yorumlarını doğurdukları ve herhangi bir katkı olmaksızın, doğal olarak onun en bilindik özellikleriyle tam bir uyum içinde olan sıradan dünyanın bir görüntüsüne götüreceği anlamı çıkarılabilir. Sonunda durulabilir ve aslında her şeyin basit olduğunu söyleyebilir miyiz? Ne yazık ki (yoksa "*iyi ki*" mi demeli?), hayır. Çünkü burada dev bir soruyla, yani, üzerini örttüğümüz düşünce örtüsünden sıyrılmak istediği belli olan gerçeklik sorusuyla uğraşmak zorundayız. Bu aşırılığı *uçurum* olarak adlandırıyorum, çünkü bu, Hugo ile konuşan değil, uçurumun geniş açılmış ve gürleyen ağzı gibidir.

Uçurum, sen nereden geliyorsun? Einstein seni görünce titredi ve seni reddederek, ünlü "Tanrı zar atmaz!" sözünü söyledi. Bu görkemli varlığa, yani sana yaklaşacağız, ama çok dikkatli olarak. Fizikçiler olarak konuşalım ve dalga fonksiyonunun indirgenmesine dönelim.

İndirgenme kuralının kuramın ilkeleri listesinden silinebileceğini söylediğimizde, kuralın her zaman var olan bir güçlüğü, yani bir ölçüm yapan her deneyin tek bir veriyle, elle tutulan ve sorgulanamayan bir gerçekle sonuçlanmasını gizlediği gerçeğini göz ardı ettik. Peki şimdi buna karşın hangi öneriyi yapmamız gerekir? Olasılıklarla örülü bir kuram, bir olasılık oyunu. Kuramımızdaki hiçbir şey bir mekanizma, içinden el değmemiş armağan, Gerçekliğin hiç değişmez ve saf tekliğinin çıkacağı bir neden sunmuyor.

Bu büyük sorular göz kamaştırıyor ve pek çok fizikçi burada gözlerini kapamayı yeğliyor. İçinden çıkmayı reddettikleri güvenli kuram zindanında saklanıyorlar. Kimilerinin öne sürdüğü gibi, kuram tüm olası dünyaları içerir, o nedenle Evrenle birlikte doğmuş ve o zamandan bu yana, kuantum yasalarıyla uyum içinde gelişen dev bir dalga fonksiyonunu gözümüzde canlandıracağız. Bir seçeneğin ortaya çıktığı her seferinde Evrenin dalga fonksiyonu olası her sonuca uymak için çatallanır. Bu çok önemsizdir, aslında hemen hemen hiçbir şeydir. Karanlık bir gezegendeki bir atom çekirdeği bozunur (ya da

bozunmaz) ve erişilmez bir kaya üzerinde bir iz bırakır (ya da bırakmaz), tüm Evrenin dev dalga fonksiyonu da bir çatallanma gösterir. Bir fizikçinin laboratuarda bir kuantum olayını ölçmesi durumunda da aynı sonuç alınır. Dağda bir sarsıntı olduğunda bir çakıl taşının sola değil de sağa doğru itilmesinde de fonksiyon çatallanır. Bu olaylardan bir bölümü çok çarpıcı olabilir, belki Evren daha çok gençken bir parça daha fazla madde ya da ışınımın burada değil de şurada olması, uzak gelecekte farklı şekillerdeki iki gökadada binlerce yıldızın bundan etkilenmesine yol açabilirdi. Ama bu olayların çok büyük bölümü önemsizdir, olası sonuçları da çok etkisizdir.

Elbette, ama rastlantının rol oynadığı bir dünyada beklenen budur. Kuram mükemmeldir, çünkü rastlantı denen şeyi de içerir, yalnızca olabilecekleri kavrar. Everett tarafından 1956 yılında önerilen garip bir düşünceden, her ne kadar onaylamasak da söz edeceğiz. Evrenin dalga fonksiyonunun zamanın başlangıcından bu yana içerdiği her şey, Everett'e göre, sağ kalabilmiş tek seçeneğin bugün gördüğümüz dünya olduğu, hiç gerçekleşmemiş eski olasılıkların bir mezarlığı değildir. Dalga fonksiyonu bize, her biri kendi yolunu izleyen ne kadar sayıda seçenek varsa, o kadar paralel gerçeklik sunar. Gerçeklik tek ve benzersiz değildir. Bunu çılgın bir düşünce olarak görüyorsanız, size katılırım. Everett'in tahmini, duyarlı bir düşüncenin ürünü olmak yerine, zehirlenmiş bir aklın çılgın düşü gibi görünüyor. Peki, bunu tümüyle çürütebilir miyim? Elbette hayır! Eşevresizlik hakkında bildiklerimizden, bu çoklu gerçekliğin bir dalındaki bir şey hiçbir zaman bir başka dala ulaşamaz. Hiçbir deney de başka dalların var olduklarını ya da o dalın var olan tek dal olduğunu garantileyemez. Sayılamayacak kadar çok olan paralel evrenler birbirinden tümüyle kopuktur.

Bir deneyci bu durumda tartışılacak bir şey kalmadığını söyler, o nedenle de bu konuyu daha derinliğine tartışmanın yararı yoktur. Bilim yalnızca doğrulanabilir gerçeklikleri ve doğrulanamayan kuramları inceler. O nedenle, bunların bilimle bir ilgisi yoktur. Bırakalım hoşuna gidecekse felsefe onlarla ilgilensin.

Vurgulamak istediğim tam da budur. Everett'in kuramı var olduğuna ve teoride bile olsa, çürütülemeyeceğine göre,

Gerçekliğin tekliği sorunu bilime, neyin gerçekleşebileceğine değil, felsefe ya da metafiziğe aittir. Bunu söyledikten sonra, neden biraz felsefileşmeyelim? Şimdi Everett'inkine ters olan ve çekiciliğine karşın *metafizik* olarak adlandırılması gereken konumu ele alalım: Gerçeklik tektir. "Nesneler neyse odur, derinse derindir. O yere kapanmadan, biz kendimiz yere kapanacağız" (Lubicz–Milosz).

Bu gerçekten derindir, ama bunu daha yumuşak terimlerle, bir fizik yasası biçiminde yapalım. Örneğin, "Gerçeklik tektir. Zaman içinde, özdeş koşullar altında ortaya çıkan farklı olayların oluşma sıklıkları, bu olayların kuramsal olarak bulunacak gerçekleşme olasılıklarıyla uyum içindedir."

Bu gibi terimlerle ifade edilince, bu düşünce tümüyle yeni sayılmaz, Niels Bohr bunu daha önce benzeri bir biçimde öngörmüştür. Onun dalga fonksiyonunun indirgenmesine verdiği özel önemi unutmayınız. O bunu başka fizik yasalarından ayırt etmişti. Bu yasa onun için kuramı deneyle karşılaştırma olanağını sağlayan temeldi, bu yüzden de deneysel doğrulama yapmak zorunda bırakmıyordu. Kuşkusuz, daha sonra pratikteki dalga fonksiyonu indirgenmesi kuralının fiziksel bir etkinin değil, basit bir mantıksal uygunluğun ifadesi olduğunu görmüştük. Bununla birlikte, bu kuralın Bohr için iki anlamı vardı: Birincisi, ardışık iki kuantum ölçümünün sonuçlarının gerçekleşme olasılıklarını hesaplamada kullanışlı bir kural olarak (ki bu daha sonra basit bir kuram oldu); ikincisinde ise, kural bir ölçümün tüm olası sonuçları içinde tek bir durumun ortaya çıkışını açıklıyordu ve tam da bu nedenle başka kurallardan farklıydı. Yorum Bohr'un zamanından bu yana çok gelişti, bugün artık yukarıda sözünü ettiğimiz kuralın, şekli çok farklı olsa da, Bohr'un düşüncelerinin özünü yakaladığı açıktır.

Şimdi de yine yukarıda değindiğimiz uçurumla karşılaşıyoruz. O kuram Gerçekliğin belki de özü olan noktayı ıskalıyorsa, bu özel, metafizik kural ne söylüyor? Gerçekliğin her bir özelliği, teki dışında tümü, onun kuramsal modelimiz tarafından yeniden kurulması sırasında yine ortaya çıktı. Çıkmayan özellikse, gerçeklerin tek ve benzersiz oluşuydu. Kuram ve Gerçeklik, o tek nokta dışında her konuda uyum içindedir.

Onların uyumsuzluğu mutlaktır (bu sözü laf olsun diye söylemiyorum), çünkü bu çekişme en iç düzeyde meydana gelir ve her biri ötekinin özüne terstir. Tümüyle matematiksel olan kuram yalnızca olabilecek olanı kapsar ve onun olasılığa dayalı yapısı kaçınılmazdır. Öte yandan, Gerçeklik her şeyden önce tektir, çünkü parmağımızla "işte" diye gösterdiğimizde bütünüyle tanımlanmış olandır.

Artık bir sınıra, aşılamayan bir engele ulaşmış gibiyiz ve bir uyarı bize matematiğin ve onun deyişlerinin (Logos) ifade edebildiği biçimlerin gerçeklikle tam çakışmadığı konusunu söylüyor. Yalnızca Heidegger'in katılmadığı ve şu ana kadar tam bir başarı olan "Kartezyen program" sınırlarına ulaşma dışında ne söyleyebiliriz?

Yarım yüzyıldan daha uzun bir süredir, sayısız felsefeci ve fizikçi kuantum fiziğini, olayların neden yalnızca tek bir biçimde gerçekleştiğini *açıklayamaması* nedeniyle biraz kınadı. Kuantum kuramının bu açıdan herhangi bir mekanizma ya da öneri sunmadığı doğrudur. Dediklerine göre, kuramdaki açığın silinmez izi, gelecekte onun daha iyi bir kuramla değiştirilmesi gerektiğini belirtmektedir. Benim düşünceme göre, bu tutum kuramsal açıklamalara tapınma derecesinde bağlı olmaktan kaynaklanmaktadır. Bunu eleştirenler ne pahasına olursa olsun, Evrenin matematiksel bir yasaya, en küçük ayrıntısına kadar uyduğunu görmeyi diliyorlar ve yanılmaları için de nedenleri var. Uzunca bir süredir, her şey kendi yolunda gidiyor gibi görünüyor ama şu bizim uçurumun gürlemesini dinleyelim. Gelin ölümlüler, gelin ve Gerçekliğe, hiçbir şeyin aynı yerde ikinci bir kez aynı koşullarda yıkanamayacağı ırmağa bakın, sonsuz biçimde yaratan ve değişen şeye bakın ve şimdi bütün bunları elinizdeki matematiğin içinden zamanın çıkarıldığı ve yalnızca durgunluğun egemen kılındığı sade bir eki haline indirgemeye kalkışın!

Bunun tersi olan, insanların Gerçekliği anlama yolundaki çabalarının ona yalnızca sınırlardaki uyumsuzluğu saymazsak, çok iyi uyan bir kuram ürettiğini görmenin ne güzel bir şey olduğunu duyuran teze de, önünde saygıyla eğilerek katılıyorum. Aslında bunların birbirinden uzaklaşmaları gere-

kir, yoksa Gerçeklik kendi öz doğasını yitirecek ve kendisini, yorumlarda donmuş işaretlerin krallığının zamansız biçimleri olarak tanımlayacaktı. Hayır, bilimin gerçeklerin tek bir şekilde olmasını açıklamadaki yetersizliği geçici bir kuramın bir eksiği değil, tersine, benzersiz bir zaferin parıltılı bir işaretidir. İnsanlık daha önce nesnelerin tam merkezine ve özüne erişen, *ama nesnelerin kendileri de olmayan* ilkelerin edinilmesinde hiç bu kadar derine gitmemişti.

EKLER

Bu kitabın Fransızca basımından sonra, teklik sorunu konusunda birtakım ilerlemeler sağlandı.[3] Bu aslında temelde bir mantık sorunudur. Kuantum mekaniğinin bugünkü yorumunun Gerçekliğin tekliğiyle tam olarak *uyum içinde* bulunduğu, yani, bu tekliğin temel ilkeler tarafından öngörülemediği ama onlarla çelişki içinde de olmadığı gösterilmişti. O nedenle, ortada bir soru, yeni bir kuramın çözeceği bir şey yok, yalnızca özleri farklı olsa da, kuram ile Gerçekliğin birbiriyle tam uyumu hakkında bir merak var.

Buraya bir başka söz de eklenebilir. Kimi fizikçiler "nesnellik" olarak adlandırdıkları (aslında pek uygun bir ad sayılmayan) şeyi önemli bir problem olarak görmekte diretirler. Bu bir soru olarak ortaya konulabilir: Bir atom ya da parçacık bir ölçüm aygıtıyla etkileştiğinde, tek bir veri nasıl üretilir? Aslında, bu sorunun bir anlam taşıyacağı, mantıkla donanmış bir dil yoktur. Ünlü "parçacık hangi yarıktan geçti?" sorusundaki gibi, bu aldatıcı problem de yalnızca klasik aklın bir ihaneti, algılanabilir hiçbir şeyin olmadığı bir yerde sağduyunun yarattığı bir düştür.

[3] Bkz. yazarın *Understanding Quantum Mechanics* [*Kuantum Mekaniğini Anlamak*] adlı kitabı (Princeton, N. J.: Princeton Üniversitesi Yayınları, 1999).

XII

GERÇEKÇİLİK ÜZERİNE

Kuantum mekaniği ile gerçekçilik arasındaki bağıntı her zaman bir tartışma konusu olmuştur. Bunun üzerine büyük düşünürler tarafından çok şey yazılmıştır. Onların omuzlarımız üzerindeki gölgeleri bizi daha dikkatli olmaya çağırır ama bu konu da herhangi bir felsefi çözümlemede göz ardı edilemez.

GERÇEKÇİLİĞİN KISA ÖYKÜSÜ

Temel soru basittir: Bilimsel bilgi, gerçeğin bilgisi midir? Gerçekçilik olumlu bir yanıt olarak durmaktadır. Bilim bir masanın atomlardan oluştuğunu, bir ağacın dallarındaki özsuyun nasıl yükseldiğini ya da yüreğimizin çalışma ilkelerini açıkladığında, bu nesnelerin gerçekte ne olduklarını söylüyor ya da söyler gibi görünüyor. Bernard d'Espagnat, daha genel terimlerle inanç olarak tanımladığı gerçekçilik öğretisini dikkatlice analiz etti. Örneğin bu öğreti bir "şeyin" varlığının *çok belli* olduğunu düşünmek, yani doğası bizim kavrama yeteneklerimize ya da gözlem veya ölçüm yaptığımızda eylemlerimize bağlı olmayan bir gerçeklik olarak alınabilir. Tartışmaya açık olan *fiziksel gerçekçilik* öğretisi sağlam bir varsayım ekler: Bilimsel araştırma yoluyla bu gerçekçiliğin doğru bir bilgisine, en azından teorik düzeyde, erişim sağlayabiliriz.

Birçok insan fiziksel gerçekçiliğin, yirminci yüzyılda yeni soruların ortaya atılmasından önce, klasik düşünceye özgü bir şey olduğuna inanır. Bununla birlikte, bilim tarihi bu geniş kapsamlı görüşü desteklemez, ama daha farklı bir şey anlatır.

Kimi bilimciler anlamını sorgulamaya başladıklarında, bilim daha çok gençti. Gerçekçiliği, ya kısmen ve sonradan akla gelen bir fikir olarak ya da tümüyle reddeden bir başka öğreti önerildi. Zamanla farklı biçimler edindi ama temelde bilimin olguların görünüşlerinin korunduğu gerçekliğin bir tanımını yaptığını öne sürer. Olgular görebileceğimiz ya da dokunabileceğimiz ve daha genel olarak da algılama veya deney yoluyla ulaşabileceğimiz bir şey olarak anlaşıldı. "Görünüşler" sözü aynı zamanda bizim için kesin olan algılarımıza seslenir (bilimciler hayal nöbetlerini nadiren tartışmaya değer bulurlar). Bu geniş yelpazeli öğretiye göre, bilim olguların bir temsilini sağlar ancak doğrudan gerçekliğin bilgisini edinmez. Uç bir konum bilimin "yalnızca bir temsil" ürettiğini düşünürken, daha ılımlı olanlar tam bilgi ile duruma bağlı olan etkin temsiller arasındaki farklı tonları değişik biçimde ifade ederler.

Gerçekçilik ile temsil öğretisi arasındaki çekişme, büyük bir bilim tarihçisi olan, aynı zamanda termodinamiğe ve fizikokimyaya önemli katkılar yapmış olan Pierre Duhem (1861–1916) tarafından analiz edildi. Duhem'in yapıtları özellikle ilginçtir, çünkü fiziğin klasik olmaktan çıkmakta olduğu dönemde yazılmışlardır. Planck'ın ve Einstein'ın çalışmalarını biliyordu ama onlardan pek etkilenmemişti. Bununla birlikte, Maxwell'in katkıları sonucunda fiziğin özünde yaşanan değişimin farkındaydı ve formalizmin baskın çıkacağını öngörebiliyordu. Kuantum mekaniğindeki temel gelişmeler onun ölümünden hemen sonra ortaya çıktığı için, Duhem kendi doğası içinde klasik fiziğin çok iyi bir tanığıdır.

Duhem'e göre, gerçeklik ve açıklama arasında, daha Aristoteles döneminde bulunmuş yakın bir ilişki vardır. Eski dünyada "fizikçiler", nesneleri oldukları biçimiyle, gözlerimizin onları gördüğü haliyle açıklamaya çalışan kişiler olarak değerlendiriliyorlardı. Güzel bir örnek, optik olguları güneşten gelip, aydınlatılmış nesnelerden yansıyan ve gözlerimize giren ışık atomları aracılığıyla açıklayan atomculardır. Bu olgulara "fizikçiler" tarafından getirilen bir açıklama akılda nesneleri ***oldukları gibi*** canlandırmaktı, örneğin atomlar kum taneciklerine ya da toz parçacıklarına benzeyen çok küçük cisimler

olarak alınıyordu. Aynı görüntü bir başka insanın aklında sözcükler kullanılarak da yaratılabiliyordu.

Klasik gerçekçilik aşağı yukarı gerçek olan her şeyin anlaşılabildiği, aklımızın gözleri tarafından görüldüğü ve aklın gücüyle erişilebilen bir şey gibiydi. Boskovitch (1711–1787) atom kuramını yeniden gündeme getirdiğinde, basıncın etkisi ve birtakım kimyasal özellikler gibi yeni olgular için bir açıklamada bulundu. Atomların gerçekten de bizim imgelemimizin onları gördüğü biçimde olduklarından kuşkusu yoktu. O tam bir gerçekçiydi. Descartes maddenin uzaya karşılık geldiğini öne sürdüğünde, onu "görür" ve kendi düş gücünün gerçeklikle uyuştuğundan emindir. Galileo'ya gelince, onu uçlardan çok ortalara yakın ve daha dikkatli bir gerçekçi olarak görmemizde yarar vardır. Descartes, Galileo, Boskovitch, başka kim? Duhem gerçekçi oldukları çok belli olan bilimcilerin bir listesini yaptı, konu da hemen hemen orada bitti. Başka yazarların gözüyle, gerçekçilik, özellere olan inanç ve temsil varlığı ile farklı oranlarda bir karışım gibidir.

Bu dikkatli konumun ilk işaretleri çok erken dönemde, astronominin ilk kuramlarıyla göründü. Hipparkos daha önce değindiğimiz bir noktaya parmak basarak, gezegenlerin hareketinin iki farklı kuram, yani ilmekler ya da eksantrikler aracılığıyla açıklanabileceğini söyledi. Birini ötekine nasıl yeğ tutacağız? Belki ikisinden de kuşku duymak gerekir.

Bu kuşku Posidonius'tan (yaklaşık MÖ 131-51) Aziz Augustinus ve altıncı yüzyılın ilk yarısında yaşayan Simplikios dönemine dek geçerli oldu. Aziz Augustinus bunu çok açık biçimde ifade etti. Venüs'ün hareketinden söz ederken, "gökbilimciler bu devinimi çeşitli yollardan ifade etmeye çalıştılar" dedi. "Ama varsayımlarının mutlaka doğru olması gerekmez, çünkü gökcisimleri için gözlenen şey, belki insanlığın daha bilmediği bir başka biçimde saklanabilir." Bilimin *zevahiri kurtaracağı* yolundaki ünlü özdeyiş düşünceler tarihinde pek çok kez ortaya çıkar ve Duhem tarafından da kitaplarından birinin adı olarak kullanılmıştır.

Kopernik'in kuramı basıldığında aynı soru sorulmuştu: Dünya gerçekten güneşin çevresinde mi dönüyor, yoksa bu

da durumu kurtarmanın başka bir biçimi mi? Eğer öyleyse, bu öncekilerden daha basit olurdu, çünkü merkezi çemberin çevresinde dönecek daha az sayıda ve her biri daha küçük boyutlarda çembere gerek duyardı. Katolik kilisesi Galileo'nun döneminde neyin tehlikede olduğunu kavradığında, Thomas Aquinas'ın felsefi görüşlerine göre, gerçekçiliğe karşı bilim kavramının temsili yönüne destek çıktı. Galileo bu kavrama karşı çıkmaktan suçlu bulundu, O, her şeyden önce bir gerçekçiydi. Bizim günümüzde bu konularda taşıdığımız görüşler, Galileo'nun ünlü "ama dünya yine de dönüyor" sözüne göre, Thomas Aquinas'ınkilere daha yakındır.

Bugün geçerli olan kütleçekim kuramımızın temel ilkelerinden biri doğa yasalarının kullanılan gözlem çerçevesinden bağımsız olarak aynı olduklarıdır, buradan da yasaların denklemlerinin görece basit oldukları sonucu çıkar. Bununla birlikte, böyle bir basitlik ölçütünün belirleyici bir anlamı yoktur, çünkü yasanın yalnızca matematiksel *biçimi* için evrensel bir değer vardır ve bu biçim herhangi birinin o olguyu tanımlamak için kullanmayı isteyebileceği temsil biçimlerini somutlaştırır. Gerçekçilik hiçbir zaman eskiden olduğu kadar basit olmayacaktır ve onun dünya hakkında yapacağı "açıklama" basmakalıp bir şey olmak zorunda değildir.

Şimdi bu çağdaş değerlendirmeleri bir yana bırakarak, klasik fiziğe dönelim ve Newton'ın bu konu hakkında ne dediğine kulak verelim: *Principia* adlı yapıtında, kütleçekim kuvvetinin yardımıyla gökte ve denizde gerçekleşen olguları açıklayabileceğini ama kütleçekime herhangi bir neden atfedemeyeceğini söyler. Her ne kadar böyle bir nedenin var olmadığına inanmış olsa da, ona bir varsayım uydurmadı, çünkü olgudan doğrudan çıkarılamayan herhangi bir şeyin varsayım olması gerekiyordu. Newton, kendi çekingenliği yüzünden, gerçekçilikten uzaklaşır ve bize daha öte temelleri olmayan ilkelerle gerçekçiliğin bir temsilini bırakır. *Optik* adlı yapıtının ikinci baskısında ilkelerin yalnızca gözlenen olguların yoğun bir özeti olduğunu söyler.

Newton sırayla giderek bir gerçeğe varmayı dışlamaz, o yalnızca yaratılmış dünya hakkındaki doğrudan bir bilginin,

yaratıcı için ayrıldığı inancıyla, daha fazlasını söylemekten çekinir. Descartes'ı izlememe konusunda çok dikkatlidir, çünkü onu "Fiziğe gelince, eğer yalnızca nesnelerin başka türlü olamayacakları konusunda bir kanıt olmadan da nasıllarsa öyle olduklarını bilseydim, fiziğin hiçbir şeyini bilmesem de olurdu" yolundaki sözü yüzünden kibirli bulmaktadır. Pascal'in buna yanıtı sert olur: "kabaca, bu şekil ve hareket tarafından yapılmıştır, çünkü doğrudur demek gerekir." Ama hangisi olduğunu söylemek ve sistemi kurmak biraz gülünç, yararsız, hiç araştırılmamış ve uğraştırıcıdır. Bu kesin yargı, gerçekçilik için daha sonra bulunulacak bütün girişimlerde bir tehdit olarak kaldı.

O nedenle, her şey on yedinci yüzyılda söylenmişti bile. Klasik gerçekçilik üzerine kapsamlı denebilecek bir tartışmanın bundan fazlasını içermesi gerekirdi, ama bu konuya çok yüzeysel bakacağız ve yalnızca Kant'ın hayli inandırıcı gelen itirazından söz edeceğiz: tüm bilginin bizim önceden edindiğimiz yapay yargılarımızın, yani aklımızın kısıtlamalarının kalıbı içinden geçmesi gerekir. Varlığından emin olmadan kabul ettiğimiz şeyler anlamındaki "*noumena*" erişilmezdir. Aslında bu Bohr'un, çok daha sonraları formülleştirdiği görüş açısından pek farklı değildir.

On dokuzuncu yüzyıl fiziğindeki modellerin temsili değeri üzerine çok şey söylenebilir. Örneğin, Maxwell'in "esir" konusunda son derecede yararlı olan mekanik modelini (bir şeyin modeli yoksa bile) ele alalım. Özetleri yalnızca denklemler olan ilkeler tarafından değiştirilmeleri gerekirdi. Gerçekçiliğin kimi zaman bilimde bir kılavuz olarak hizmet verebileceğini gösteren bu bölümü unutmamamız gerekir, ama son sözü kesin akılcılık ve mantıksal tutarlılık söyleyebilir.

Ayrıca termodinamiği, yani şu bize bir sistem hakkında hemen hemen hiçbir şey bilmediğimizde ne söylenebileceğini anlatan bilimi de unutmamalıyız. Her ne kadar kökenlerini kuantum mekaniğinden aldığını unutmamak gerekirse de, günümüzdeki istatistiksel mekanik çok daha gerçekçidir. Aklımızdan yürüttüğümüz süreçlerle fiziksel olgular arasındaki ilişkiler hakkında Mach'ın ve Avenarius'un spekülasyonları

da gerçekçilikteki güçlükleri gösterirler. Akla dayanan çağdaş bilimler algılarımızın, beyinde birleşmeden önce duyu organlarımızda ayrıştıklarında ne kadar karmaşık ve duyarlı olduklarını göstermişlerdir. Dünün açıklayıcı "görüntüleri" bugün, o günkü su götürmezliklerinin çoğunu yitirmişlerdir.

Çağdaş bilim gerçekçiliğin ilgi alanını önemli ölçüde artırmıştır. Bir kristalin ve DNA moleküllerinin yapısını biliyoruz ve bugün güneşin iç yapısını da bildiğimizi düşünüyoruz. Pek çok doğrudan gözlem yaptık ve kuantum mekaniği gibi yalnızca formal olan temeller dışında duru bir aklımız var. Bu da bizi gerçekçiliğin iki kavramı arasında bir ayrıma götürüyor. Sıradan bir gerçeklik, genellikle aygıtlarımızın yardımıyla dokunabileceğimiz ya da görebileceğimiz şeyler var. Her ne kadar açıkça resmedemesek de, gerçek olduklarını düşündüğümüz atomlar, parçacıklar, kuantumlu (yani kesikli değerler taşıyan) alanlar gibi şeyler de var. Yalnızca onlar hakkındaki yasaları biliyoruz ve bunlar hâlâ bir bakıma deneysel gerçeklerin bir özeti gibiler.

Bernard d'Espagnat gözüpek bir adım atarak, böyle durumlarda gerçeklik kavramının doğa yasalarının kendilerine doğrudan uygulanabileceğini düşündü. Hemen hemen rastlantıyla ortaya çıkan ve sıradan gerçeklikte geçerli olan olaylar için "olayların gerçekliği" denen bir şey var. Ancak, bunun geçerli olduğu yelpaze, yasaların çok ayrıntılı olduğu kuantum dünyasına kadar uzanmaz. Mikro ölçekli olaylarla ilgili bilgiden vazgeçmek onların açmazların ortadan kaldırılamayacağı gerçekliği üzerine bir örtü atar.

Son olarak, düşünceler tarihinde gerçekçiliğin felsefe yapan din bilimciler arasında önemli bir başlık olduğunu unutmamamız gerekir. Aziz Augustinus o soruyla yalnızca din bilimin basit bir temeli olarak ilgiliydi, oysa bugünkü sorularımızdan kimileri bize Denys Aeropagytus, Meister Eckhart, Aziz Bonaventure ve Cusalı Nicola gibi başka din bilimcilerini de çağrıştırırlar. Bunların tümü Tanrı'nın varlığını sorgusuz kabul ettiler ama öyle büyük bir hayranlıkları vardı ki O'nu sözcüklerin ulaşamayacağı bir yükseklikte düşünüyorlardı. İfade edilmesini olanaksız gördükleri bu durumu Yunanca

"*apofatik*" sözcüğüyle tanımlıyor, bu geleneği de apofatik teoloji diye adlandırıyorlardı. Belki de gerçekçilik eninde sonunda bir apofatik epistemolojidir. Bu bir şaka mıdır? Olabilir.

KUANTUM FİZİĞİ VE GERÇEKÇİLİK

Einstein özellikle kuantum mekaniğindeki gerçekçilik eksikliğinden rahatsızdı. Peki bu gerçeklik eksiği neden? Burada ayrıntılı olarak geliştiremeyeceğimiz bir matematiksel sav temelde böyle işler. Örneğin bir parçacığın değişik zamanlardaki konumuyla ilgilendiğimizi düşünelim. Kuantum mekaniğine göre, bu parçacığı belli bir konumda bulma olasılığını ifade eden bir dalga fonksiyonu vardır. Dalga fonksiyonlarının zaman içindeki gelişimi Schrödinger denklemiyle tanımlanır ve 1 anındaki dalga fonksiyonu, daha önceki 0 anındaki dalga fonksiyonuna doğrusal biçimde bağlıdır. Şimdi de parçacığın 0 anında *gerçekten* (tam olarak nerede olduğunu bilmediğimiz) belli bir konumda olduğunu varsayalım. Parçacığın hızını da bilmiyoruz ama eğer bu parçacık 0 anında belli bir yerde ise, (gerçekten) 1 anında başka bir yerde olacaktır. Laplace kuramına göre, temel bir olasılık kuralı, olasılıkların bileşimidir ve eldeki bu durum için, parçacığın 1 anında bir yerde olma olasılığının, onun 0 anındaki olası tüm konumlarında bulunma olasılıklarının bir bileşimi olduğunu söyler. Bu bağıntıdaki katsayılar, parçacığın bir yerden başka bir yere 0 ile 1 anları arasında gitme olasılıklarını vermektedirler.

Şimdi karşımıza bir çelişki geliyor: Olasılık dalga fonksiyonunun karesiyle veriliyor. O zaman da, çok özel durumlar dışında, dalga fonksiyonlarıyla olasılıklar arasında eşzamanlı doğrusal bağıntılar elde etmeye olanak yoktur. Bu nedenle, temel varsayım, yani parçacığın gerçekten bir yerde olması yanlış olmalı gibi görünüyor.

Bu olumsuz sonuç elbette parçacığa izleyeceği bir yol atamanın olanaksızlığıyla yakından ilişkilidir, bu da Heisenberg'in belirsizlik bağıntılarının temel sonucudur. Griffiths'in tarihçeler için koyduğu tutarlılık koşulunun genellikle tam olarak yukarıda sözü edilen "özel durumlar"ı seçtiğini ekleyebiliriz. Daha sonra bununla ilgili anlatacaklarımız da var.

Gerçekçilikten çok etkilenen kimi fizikçiler bir yol bulmaya çalıştılar. Örneğin David Bohm her parçacığın belli bir konumu ve momentumu olduğunu ama hareketinin bir dalga fonksiyonuna bağlı olduğunu söylüyordu. O zaman daha önceki sav bundan ayrılır, çünkü yalnızca 0 ve 1 anlarındaki "gerçek" olayları değil, aynı zamanda "gerçekçi" dalga fonksiyonunu da dikkate alması gerekir. "Fotonlar gerçek midir?" gibi soruları şimdilik yanıtlayamamakla birlikte, bu yöndeki araştırmalar bugün de canlıdır. Peki elektromanyetik alan gerçek midir? Kuantum elektronlarından, yalnızca kesikli değerler alabilen ışınıma geçmesi için kuantum mekaniğine sadece bir yıl gerekiyordu, ama bu sinir bozucu problem Bohm'un başlardaki girişimlerinden otuz küsur yıl sonra, bugün de hâlâ çözülmemiş olarak durmaktadır. Nelson'ın olasılıklar arasındaki bağıntının değiştiği tahmini kuantum mekaniği yaklaşımı da başarı sağlayamadı.

Bohr'un gerçekçiliğin biraz safça biçimlerine karşın yürüttüğü savın temelinde "tamamlayıcılık" vardı. Tarihçeler çerçevesinde gösterdiğimiz gibi, tamamlayıcılık insanın bir mantık sisteminin birtakım özelliklerini düşünebileceğini ve onlarla mantık açısından tutarlı bir biçimde uğraşabileceğini ortaya koyar. Ama aynı zamanda genellikle birbiriyle tutarlı ancak birbirinden çok farklı tarihçelerin de olduğunu, örneğin konumun bir özelliği yerine momentumun bir özelliğini işe katarak gösterir. Bunların her ikisi de mantıksal açıdan kuralına uygun tanımlardır, ama birbirini dışlarlar. O nedenle, gerçek bir özellikten söz edilemez.

Bohr gerçekçilik üzerine sorulan birçok soruyu kenara itti, ancak kuantum mekaniğinin nesnel yapısı üzerinde diretti. "Kuantum mekaniği" dedi önce, "klasik nedensellikle ilgiyi kesmeyi ve bizim de fiziksel gerçeklik konusuna yönelik tavrımızı yeniden kökten biçimde gözden geçirmemizi gerektirir." Bir başka yerde ise, "bizim doğa tanımımızda amaç olguların gerçek özünü açık etmek değil, olabildiği ölçüde deneyimimizin çeşitli yönleri arasındaki bağıntıları izlemektir" demiştir. Son bir vuruş olarak da, "'gerçeklik' sözcüğünün de tıpkı 'dalga' ve 'bilinç' gibi insanların çıkardıkları bir sözcük olduğunu hiç

unutmamamız gerekir. Görevimiz bu sözcükleri doğru (yani, net ve tutarlı bir biçimde) kullanmayı öğrenmektir," diye eklemiştir.

Buraya değin, edindiğimiz deneyimin çeşitli yönleri arasındaki bağıntıların tümüyle kuantum mekaniğinin ilkeleri arasında bulunduğunu gördük. Aynı zamanda yasalardaki formal yapının, fiziksel gerçekliğin bir başka yüzünü daha açığa çıkardığını da gördük, o da onunla matematiğin doğası arasındaki ilişkidir. Bu yüz, tüm bilim alanının ilgili olduğu ve d'Espagnat'nın değerlendirmelerinden bir bölümünün o yönde ilerlediği, bir tür büyük gerçekçiliğe de yolu açabilir. Bohm ve Nelson'ın kazaların yaratılış (ontolojik) açısından durumunu bulmaya çalışan yaklaşımları küçük gerçekçilik olarak adlandırılabilir. Matematiğin gerçekçiliğin yapısında işe katılması bizim de ileride destekleyeceğimiz, çok daha geniş bir gerçekçilik olurdu.

SIRADAN GERÇEKLİK

Sıradan gerçekçiliği daha önce, *görebileceğimiz ya da dokunabileceğimiz her şey* olarak tanımladık. Wittgenstein'ın duvarcısının bir yandan yardımcısına hiç kafa karışıklığı olmadan "şu" derken, öte yandan işaret edebileceği çok açık şeylerden oluşur.

Sıradan gerçekliğin, kuantum yasalarınca yönetilen bir dünyada bir yeri var mıdır? Bunun yanıtı kesin bir evettir. Dokunabileceğimiz ya da görebileceğimiz, hatta en güçlü mikroskoplarla gözleyebileceğimiz şeyler, büyük ölçekli yani makroskobiktir. Kuantum mekaniğinin bakış açısından, sağduyunun onlarla nasıl uğraştığını daha önce gördük. Dahası, bu nesnelerin algıladığımız özellikleri tamamlayıcılıkla ilişkili belirsizliklere karşı bağışıklık kazanmıştır.

Daha teknik terimlerle ifade edersek, her ne kadar temel yasalar kuantum mekaniksel olsalar da, büyük ölçekli dünyada ortaya çıkan olgular ve özellikler klasik olarak öne sürülebilir ve böyle yapmak kurallara da uygundur (bu sonuç şimdiye kadar tümüyle belirlendi). Bir olgu gözlendiğinde, ona gerçek diyoruz. Tekbenci kişiler olmadığımızdan ötürü, aynı

zamanda pek çok gerçekliğin her yerde var olduğunu, ancak hiçbir gözlemcinin onları göremediğini kabul etmemiz gerekir. Gerçeklerin doğru oldukları söylenir.

Dilimizin temel bir özelliği, onun gerçeklerle olduğu kadar çeşitli olasılıklarla da uğraşma yetisidir. Gerçeklikler gerçektir, olgularsa olabilirler ve bunlarla ilgili sözel bildirimler de ya doğru ya da yanlıştırlar. Doğruluk-yanlışlık için olan bu kavram, mantıksal bir bakış açısına göre, kurallara uygundur, çünkü tamamlayıcılığa karşın anlamlı olan klasik bildirimler kafa karışıklığına mahal vermezler. Bunların kimilerinin doğruluğu yalnızca bir gerçeğin gözlenmesi yoluyla kanıtlanabilir. Örneğin, bir kitabı kapıya yakın bir rafa bırakıyorum ve odaya kimsenin girmediğinden, bir fırtınanın pencereden üflemediğinden ve benzeri koşulların sağlandığından eminim. O zaman, kimse göremese de, kitabın hâlâ rafta olduğunu iddia edebilirim (hatta bu durum kuantum yasalarının bir sonucu olarak da kanıtlanabilir). Dolayısıyla, sıradan gerçeklikte bir sorun yoktur.

Sıradan gerçekliğin geçerli olduğu alan üzerine düşünmeye değer. Kimyadan da izler taşıyan parçacık fiziği ve atom fiziği dışında bilimin çoğu büyük ölçekli (makroskobik) cisimler ve onların yine büyük ölçekli parçalarıyla uğraşır. Aynı şey DNA ve proteinlerin temelde büyük ölçekli olmaları nedeniyle, biyoloji için de geçerlidir. Kimileri kuantum olaylarına yaşam süreçlerinde, belki beyinlerimizde, olası bir rol biçmeyi düşünmüşlerdir, ama böyle spekülasyonlara karşı sağlam kuşkular doğuyorsa da, burası bunları tartışmak için uygun bir yer değil. Her neyse, sözünü ettiğimiz bölümleri dışında, bütün bilimin tam olarak klasik olup, sıradan gerçekliğe ait olduğunu gösteren inandırıcı savlar bulunmamaktadır. Felsefi bir kuşku yaratmaya da gerek yoktur.

GERÇEKÇİLİĞE KARŞI AKILCILIK

Küçük ölçekli cisimlerle uğraştığımızda, tamamlayıcılık bizi gerçekçi bir yaklaşıma gitmekten alıkoyar. Bu engelleme biraz da Kant'ın bir şeyin saf akla erişemediğini bildirdiğinde, gerçekçiliği reddetmesine benzer. Kategorik yargıların akıl üze-

rinde koyduğu sınırlara karşın, içinden sıyrılamadığımız kısıtlamalar şimdi artık mantığın getirdiği kısıtlamalar olmaktadır. Gerçek olan bir şey mutlaka doğrudur da.

Böyle olmakla birlikte, gerçek ile doğru arasındaki önemli bir fark gerçeğin varoluşsal ve sözlerden arınmış, oysa doğru kavramının tümüyle mantıkça denetlenen bir şey olmasındandır. Bu da bize, gerçekçilik konusunda bir destek sağlar. Mantığa göre, doğru tümcelerin birtakım genel koşullara ya da aksiyomlara uymaları gereklidir. Bunların en ilginci, eğer bir *a* önermesi doğru ve bir başka *b* önermesi de doğru ise, o zaman "*a* ve *b*" önermesinin de doğru olması gerektiğini öne sürer.

Tamamlayıcılık ilkesi yüzünden, kuantum mantığındaki birçok tümcenin doğru olduğu söylenemez. Hatta bunlar tutarlı bir tarihçeler ailesine ait olup, doğru bir gerçekten yola çıkarak, mantıklı bir yol izleseler bile, bu böyledir. Ancak, güvenilir denebilecek birçok tümce de vardır. Mantıksal bir çelişkiye uğrama korkusu olmaksızın bunlara güvenilebilir. Kısacası, aklı kullanmanın uygulanabileceği alan gerçekçiliğinkinden daha geniştir.

Örneğin, belli bir andaki bir kuantum parçacığına ilişkin yapılan bir *a* önermesini düşünelim. Kendi olumsuzlamasıyla birlikte, ilgili bütün olguları da (gözlenebilecek tüm deneysel verileri) içeren tutarlı bir tarihçeler ailesine aittir. Her deneysel veri, yani gerçek de bir özellik olarak bildirimde bulunulur ve bir ya da daha çok öyle verinin, mantık yasalarına göre, *a* önermesini ima ettiği ortaya çıkar.

Sıradan gerçeklikte, bir gerçek bir tümceye işaret ettiğinde, o tümce kesinlikle doğrudur. Ama bu, kuantum dünyasında böyle değildir. Genellikle görülen bir şey de, aynı verileri taşıyan çeşitli tutarlı tarihçeler ailesinin var olması ve bunların bir bölümünde bir başka *b* önermesinin de verilerden mantıksal olarak çıkarılabilmesidir. Eğer her iki önermeyi, yani *a* ile *b*'yi içeren tutarlı bir aile yoksa, o zaman tamamlayıcılık, *a*'nın doğru olduğunu düşünmemize izin vermez. O nedenle, "*a* ve *b*" önermesi ortaya konamaz ve kuşkusuz, doğru da olamaz. Belli bir tutarlı tarihçeler kümesine bağlı kalındığında, eğer *a* önermesine "sanki doğruymuş gibi" güvenilirse, ortada hiçbir çeliş-

ki olmayacaktır. *a* önermesinin güvenilir olmasıyla söylenmek istenen de budur.

EPR DENEYİ

Böyle yanıltıcı bir durumun sayısız tartışmaya neden olduğuna kuşku yoktur. Tutarlı tarihçelerin ve onların mantıksal aygıtının çerçevesi, bunun netleşmesine katkı sağlamıştır, ama bir bakıma durumu gerçekçilik açısından daha kötü de yapmış olabilir, çünkü her şey öyle kesin biçimde belirlenmiştir ki, olası hiç çıkış yoktur. 1935 yılında, Einstein, Podolsky ve Rosen (kısaca EPR) kuantum mekaniğine gerçekçiliğin bir öğesini katmak için bir yol önerdiler. Onların bu ünlü deneyi tartışılmayı hak ediyor doğrusu. (Bunun tam bir açıklaması çok uzun olduğundan, okuyucunun buradaki kavramlarla ilgili belli bir temelinin olduğunu varsayacağız).

David Bohm'un verdiği biçimiyle, EPR deneyi şöyledir: Bir *Q* parçacığı, spin değeri ½ ve –½ olan iki *P* ile *P′* parçacığına bozunur, böylece toplam spin 0 olur. *P*'nin bir ***n*** doğrultusundaki spin bileşeni, *t* zamanında ölçülür. Benzer şekilde, *P′* parçacığının ***n′*** doğrultusundaki spin bileşeni de daha sonraki bir *t′* zamanında ölçülür. Ölçümlerin sonuçları ya da daha uygun bir dille, bunlara karşılık gelen veriler, düz gerçeklerdir ve sorduğumuz sorular, *t*'yi hemen izleyen bir zamanda ve öteki parçacığın spininin çoktan ölçülüp, *P′* parçacığının daha ölçüm aygıtına girmediği sırada spininin ne değer alacağıyla ilgilidir. Deneylerin sonuçları, daha doğrusu karşılık gelen veriler düz gerçeklerdir ve sorduğumuz sorular, *t*'nin hemen sonrasındaki bir zamanda, öteki *P* parçacığının spini ölçülmüşken, daha ölçüm aygıtına girmeden *P′* parçacığının spiniyle ilgilidir. Ne söylenebilir?

EPR'ye göre, *P′* parçacığının spininin ***n*** yönündeki bileşeninin, *t* ile *t′* anları arasında, *P* için ölçülene ters olması gerekir. Bu bizim daha önceki tartışmamızda geçen *a* önermesidir. Tutarlı bir mantıksal çerçeveye aittir ve orada *P* için yapılan ölçüm bunu gerektirmektedir. Kullandığımız terminolojide, *a* önermesi en azından güvenilirdir. EPR, bu özelliğin, *P′* parçacığını hiçbir şekilde tedirgin etmeden bilindiği savına dayana-

rak, onun doğru olması gerektiğini düşünüyordu. Kuantumlar arasında göze şöyle bir ilişiveren gerçek bir şey olarak düşünüp, buna "*bir gerçeklik öğesi*" adını verdiler.

Ama böyle bir gerçeklik öğesi şu nedenle doğru olamaz: Bir başka *b* önermesini düşünün ve bu önerme *P'* parçacığının *n'* yönündeki spin bileşeninin, *t* ile *t'* anları arasında, zaten daha sonra *t'* anında ölçülecek değere eşit *olduğunu* söylesin. Elimizde *a*'nın doğru olmasından yana olan ne varsa, *b* için de geçerlidir. Tutarlı bir mantıksal çerçeveye girer ve orada mantıksal olarak *t'* anındaki veriyi izler. *b* önermesi de *a*'nın olduğu kadar güvenilirdir ve ne bir mantıksal çerçeve vardır ne de her ikisini birden içeren tutarlı bir tarihçeler ailesi, bu yüzden de "*a* ve *b* " önermesi anlamsızdır. Bunların hiçbiri doğru olamaz, çünkü ikisi de aynı durumdadır.

Yukarıdaki durum somut biçimde iki kişi arasındaki bir tartışma olarak da alınabilir. İki fizikçi düşünelim, Alice ve Bob olsunlar ve ikisi de iki ölçümden birini yapmış olsun. O zaman bunların her biri, *t* ile *t'* anları arasında, *P'* parçacığının spini hakkında bir şey bildiğini iddia edebilir. "Onun *x* bileşenini biliyorum"; "Ben de onun *z* bileşenini biliyorum." Kuantum mekaniğine göre, bu iki tümce birbiriyle uyumsuz olduklarına göre, fizikçilerimiz tartışıp dururlar. Her ikisi de akıl yürütme tarzında olası bir mantıksal açık olmadığını ve mantığın kendisinden yana olduğunu öne sürebilir. "Sevgili dostum, nasıl düşünmek gerektiğini biliyorum ve benim laboratuarımdaki herkes bana tanıklık edebilir." İkisi de karşısındakinin bakış açısını kabul etmez, çünkü onunki kendisininkiyle uyumsuzdur. "Bakın, burada benim haklılığım çok açık olduğuna göre, siz haklı olamazsınız." Mantıktaki tartışma evreninin önemini iyi bilen Frege, eğer Hades'teki dördüncü yargıç konumunda olsaydı, her ikisini de bilgisizlikle suçlardı.

Her iki yönün de (yani *n* ve *n'*) aynı olmaları durumu O. Steinmann tarafından biraz eğlenceli bir biçimde tanımlanmıştır. Gezegenlerarası bir piyango dünyada ve kuantum biçiminde düzenlenir. Bir çift EPR parçacığı dünyada, 0 anında üretilir ve *P'* parçacığı, *n* yönündeki spin bileşeninin, *t'* anında ölçülmesi amacıyla bir tuzakta tutulur. İnsanlar bu ölçümün sonucu üze-

rinde bahisler oynarlar. Satürn'de oturan bir hilebaz üçkâğıt yapmaya niyetlenir. P parçacığı yakınından geçerken, n yönündeki spin bileşenini t' anından önceki bir t anında gizlice ölçer. O yüzden, sonucun dünyada ne çıkacağını kesin olarak bilir, bahis oynar ve elbette kazanır. Steinmann bunun gerçek olduğunu söyler, çünkü parayı kazanmaktan daha gerçek ne olabilir? Piyangoyu düzenleyenler bir hileden kuşkulanırlar ama yapabilecekleri bir şey de yoktur, çünkü P parçacığı Satürn'ün yakınından, Satürn'den yollanan bir ışık sinyalinin dünyaya çekilişten önce ulaşmasına (ya da tersine) göre gecikerek geçmiştir. Einstein'ın hayranı olan organizatörler içeriden bilgi sızdırıldığını iddia edemeyeceklerinden, ödemeyi yapmak durumundadırlar.

Peki bu olayda görelilik kuramının dayattığı kısıtlamalar ihlal edilmiş midir? Yanıt hayırdır, çünkü Satürnlünün daha önceden bir bilgisi yoktur, yani, bu parçacık çiftinin 0 anında nasıl üretildiklerini, gelecekteki bir olayda ne olacağını, yani dünya üzerindeki spin ölçümünün yapılacağı n yönünü bilmemektedir. Bu temel bir şeydir ve buradaki numara, her ne kadar her ölçümün sonucu rastgele olsa da, bu ikisinin birbiriyle sıkı bir şekilde ilişkili olmasında yatmaktadır. Kimileri, birbirinden böylesi büyük bir uzaklıkla ayrılmış olan iki parçacığın bu denli sıkı bir ilişki içinde olduklarını sindirmekte zorlanmaktadırlar, ama bu da yaşamın bir gerçeğidir. Deneysel olarak doğrulanmıştır, nasıl olduğunu da şimdi göreceğiz.

BELL VE ASPECT

Kimi okuyucular neden John Bell'in çalışmalarıyla ilgili bir şey söylenmediğini merak ediyor olabilir. Şimdi sıra buna geldi ama bir kez daha işi kısa tutmak adına, okuyucunun bu alanda bir temeli olduğunu varsayacağız.

John Bell gerçekliğin kuantum mekaniğinde aldığı durumdan pek hoşnut değildi. Kuantum mekaniğinin arkasında saklı gerçek bir şey var mı? Eğer öyleyse, Bell bu gizli özellikler hakkında çok mantıklı varsayımlar yapmıştır. Temel fizikteki her şey gibi, bunların da sayılarla, yani birtakım gizli parametrelerle tanımlanabilir olmaları gereklidir. Kuantum ölçüm-

leri rastgele sonuçlar gösterdiklerinden, ölçülen parçacıklarla ilgili gizli parametreler rastgele ama gerçek olmak ve tam olarak bilinmeyen ama gerçek olan herhangi bir şeyde olduğu gibi, klasik olasılık kuramına uymak durumundadırlar.

Bell EPR deneyini tanımladığımız gibi, n ve n' gibi iki yönle birlikte düşündü. Elimizdeki bu durum için zaman önemli değildir ve $t=t'$ alabiliriz (iki parçacık üzerinde, bunlar birbirinden çok uzaktayken ve hemen hemen aynı anda yapılan iki ölçüm). A (B) ve P (P') parçacıklarının n (n') yönlerindeki spin bileşenini ölçecek aygıt olsun. Bell iki aygıt arasında *ayrılabilirlik* olacağını varsaydı. P'nin A tarafından yapılan ölçümünün sonucunun belirlenimci bir biçimde, n yönüne ve P için olduğu kadar, P' için de geçerli olan gizli parametrelere bağlı olacağını, ama başka bir şeye de bağlı olmayacağını varsaydı. P' parçacığının B aygıtı tarafından yapılan ölçümünün sonucuyla ilgili olarak da benzeri bir varsayımda bulundu. Burada açıkça vurgulanması gereken A'dan gelen sonucun n' yönüne bağlı olmadığının, yani iki parçacık klasik anlamda bağlantılı olsalar bile, iki aygıtın birbirini göz ardı edebileceğinin varsayıldığıdır. Gerçek cisimler için birbiriyle bağlantılı olmaya bir örnek olarak, bir roketin iki parçaya ayrıldıktan sonraki durumu düşünelim: Eğer bu parçalardan biri bir yönde dönüyorsa, öteki mutlaka* birincinin tersi yönünde dönüyordur. Burada varsayılan "ilişki" türü böyle bir şeydir.

Bu varsayımlardan ve klasik olasılık kuramından yola çıkan Bell 1964 yılında, içinde n ve n' gibi birkaç belirlenmiş yönün olduğu ölçümlerin sonuçlarının bileşimleri için birtakım eşitsizlikler elde etti. Bulduğu sonucun güzelliği, bu eşitsizliklerin her zaman kuantum mekaniğinin öngörülerine uymamasıdır. Aradaki farkın nedeni iki parçacıklı sistemin kuantum açısından tanımından gelmektedir. "Dolanık" [*entanglement*] adı verilen bu durum bir tür ayrılmazlığı göstermektedir ve buradaki ilişkiler klasik olasılık hesaplarıyla uygun şekilde temsil edilememektedir. Böylece Bell'in bulduğu sonuç özel bir gerçeklik sağduyusunun varlığını deneysel yoldan sınamanın yolunu açmıştır.

* Toplam açısal momentumun korunması gereğince –çn.

Deneyler çeşitli araştırma gruplarınca yapılmış, en kesin sonuçlar 1982 yılında Alain Aspect ve grubunca sağlanmıştır. Buradaki iki parçacık aynı atomun saldığı iki fotondu ve bunların spin ölçümleri, fotonlar için kutuplanma ölçümleriydi. Sonuç, net bir şekilde, gizli ayrılabilir gerçekliğe karşı, saf ve katı kuantum mekaniğinden yanaydı.

Şimdi de şu *ayrılmazlık* konusunda birkaç şey söyleyelim. Bu, bir kuantum sisteminin özelliklerinin, ondan çok uzaktaki bir başkasının özellikleriyle ilişkili olabilmesi demektir. Tutarlı yaklaşım tarihçelerinde bunun anlamı, iki sistem ölçüm aygıtlarıyla birlikte düşünüldüklerinde, tutarlılığın veriler arasında doğru ilişki olmasını gerektirdiğidir. Eğer P' parçacığının ölçümü hakkında bir bildirim seçilmişse, en azından n ve n' yönleri paralelse, o zaman P parçacığının ölçümüyle ilgili bildirilen şey rastgele olamaz. Bu da *kuantum* mantığının gerektirdiği bir şeydir. Yeterince ayrılmış aygıtlar için iki yönün seçiminin dikkate alınması gerektiğinden, bu söylenen Bell'in varsayımına terstir.

Ayrılmazlık konusunda az gürültü kopmamıştır. Bu kimileri için kuantum mekaniği bütüncül demektir. Yani, parçalardan birinin dünyanın geri kalanıyla hiç etkileşimi olmadığında bile, tek tek parçalarından değil, yalnızca tüm evrenden söz eder. Bu sanki bilimin temel bir öğretisi gibidir, başka deyişle, dünyanın çevresinden yalıtılmış bir parçasını araştırma olanakları ortadan kalkmıştır. Eğer bu insanlar haklı olsalardı, bu elbette sert bir eleştiri olurdu, çünkü bilim, sınırları olan nesneleri incelemeye dayalıdır ve bu da indirgemeciliğin (dalga fonksiyonunun indirgenmesi) en ılımlı halidir.*

Böyle uç sonuçlar neyse ki doğru değildir. Dünyanın geri kalanından yeterince ayrılıp, yalıtılmış olan bir sistem pekâlâ tanımlanıp, kullanılabilir. Bu sistem gerekli sayıda deneysel aygıt barındırabilir. Ayrılmazlık yalnızca karşılıklı hiç etkileşmeyen iki sistemin, özel birtakım durumlarda yapılacak ölçümlerinde birbiriyle ilişki kurduklarının görülebileceğini söyler. Bu durumlar her zaman hazırlayıcı donanımın dikkatle

* *Bkz.* Çevirmenin notları –çn.

ele alınmasıyla belirlenebilir ve öyle ya da böyle, bir sistemde gözlenen herhangi bir *gerçek* öteki sistemin varlığı yüzünden değişikliğe uğramaz. Ölçümler birbiriyle ilişkilidir, ama kimin umurunda? Bu doğrudan bir etki değil ki.

Ayrılmazlık, matematiksel anlamda, birkaç parçacığın dalga fonksiyonunun genellikle tek tek parçacıkların dalga fonksiyonlarının çarpımına eşit olmaması demektir. Özdeş parçacıklar, örneğin elektronlar ya da fotonlar için olan durum da budur, buradaki genel dalga fonksiyonunun Pauli'nin dışlama ilkesine göre, simetrik ya da ters simetrik olması gerekir. Böylece ayrılmazlık kuantum kuramının en derin ilkeleri arasında yerini alır ve sağladığı yararlar neden olabileceği küçük çaplı felsefi kuşkulardan çok daha fazladır.

Ayrılmazlık ya da Pauli'nin (elektronlar için geçerli olan) ilkesi neden tahta ya da çelikten yapılmış bir masanın sağlam olduğunu, neden atomların bir molekül halinde birleşebildiklerini, neden maddenin kararlı olduğunu ve kendiliğinden parçalanıp yok olmadığını olduğu kadar, sıralaması uzun sürecek başka birçok etkiyi daha açıklar. Öte yandan, fotonların ayrılmazlığı da bir lazerin çalışması için gereklidir. Doğanın ayrılabilir olduğu görüşünden yana olanların gece kulüplerinden uzak durmalarında yarar var. Onlar için üzgünüz, eğer kendi yollarını seçmek durumunda olsalardı, bu da onların var olmadıklarının bir kanıtı olurdu. Son bir yorum, Bell'in varsayımları ilk bakışta akla yakın görünüyor, çünkü rastgele gerçekleşen *klasik* olayları tanımlamada doğrudur. Bunların klasik geçerliliği kuantum fiziğinden sağduyuyu elde etmede kullanılan yöntemlerle kanıtlanabilir, bunlar da sağduyuya ait olduklarından, akla uygun görünüyorlar. Eğer deneysel bir testte başarısız olsalardı, bunun nedeni sağduyunun özgün bir kuantum sistemine genelleştirilememesi olurdu. Hepsi bu.

TARİHÇELERLE İLGİLİ TARTIŞMALAR

Kimi okuyucular tutarlı tarihçelerin [consistent histories] fizik literatüründe eleştirildiğini duymuş olabilirler ve bu kitabın büyük bölümü bu yaklaşımdan yararlandığı için sorunun açıkça ortaya konması gerekir.

Belki ana olayların kısa bir tarihçesi onlara odaklanmamıza yardımcı olabilir. Tutarlı tarihçeler ilk olarak 1984 yılında Robert Griffiths tarafından önerildi ve bunun mantıksal arkaplanı benim tarafımdan 1988 yılında fark edildi. İki yıl sonra Murray Gell-Mann ve James Hartle onları eşevresizlik kavramına uygun olarak yeniden formülleştirdiler. Bunlara eleştirileri ilk olarak Bernard d'Espagnat biraz dolambaçlı bir yoldan getirdi. Bu yayınların okuyucularının tutarlı tarihçelerin kuantum dünyasındaki saf gerçekçiliği yeniden canlandırdığı izlenimini edinebileceklerini öne sürdü (ama yazarların böyle bir şey dediğini söylemiyordu, zaten onlar da öyle dememişlerdi). Aslında, o sırada biz de felsefi konularla ilgili yeni bir kuramın sonuçlarını araştırmakla meşguldük.

D'Espagnat yine de bize böyle konuların önemli olduğunu anımsatmakta haklıydı. Daha önceki tartışmalarımızdan çok belli olan birtakım nedenlerle doğruluk sorusunu sordu. "Tarih çerçevesinde neyin doğru olduğunu söylemek gerekir?" diye sordu. Sonra da zayıf bir bağlantıya işaret ederek, atağını sürdürdü: Griffiths'in kimi ortamlarda belki de biraz aceleyle "doğru" sözcüğünü kullandığını, ama benim gereksiz bir dikkatle bunu hiç kullanmadığımı fark etti.

Sorunu çözmeye çalışırken, doğru olmayıp, ancak mantık açısından güvenilir olma kavramını, bu önermeleri güvensiz (kuşkusuz tümüyle doğru da değil) bulan d'Espagnat'nın kendisi tarafından onaylanan bu kavramı formülleştirmeye yöneldim. Ne yazık ki, çözmem için bana dayatılan bir sorunun çözümü üzerinde fazla aceleyle çalışmanın sonucunda, kuantum mekaniğinin doğru olan özelliklerini tanımlamada bir ölçüt önerdim. Ilımlı bir şey gibi görünüyordu, çünkü gerçeklerin yanında onun izin verdiği doğru tümceler yalnızca kuantum ölçümlerinin ve büyük ölçekli cisimlerin, gözlem altında tutulmadıkları zamanlardaki klasik özellikleriydi.

Fay Dowker ile Adrian Kent'in de gösterdikleri gibi, benim önerdiğim ölçüt yanlıştı. Bunların vardıkları görüşler bir bakıma sayısal sonuçları geçiyordu, çünkü onlar yalnızca cebirsel tekniklerle çalışıyordu, bu da onlara eşevresizlik etkisini ve klasik tümcelerin kendine özgü yanlarını tam olarak anlama

olanağı vermiyordu. Ama yine de iyi bir nokta yakalamışlardı ve ben de adı geçen ölçütü gönüllü olarak geri almıştım.

Ne söylesek doğru olur? Elbette gerçekler doğrudur ama daha başka nelere doğru denebilir? Temel engel tamamlayıcılık ilkesi ya da küçük ölçekli bir sistemi tanımlayan tutarlı mantık çerçevelerinin çoklu olmasıdır. Gerçek, tamamlayıcılığın belirsizliklerine karşı bağışıklık kazanmış olmalıdır. Dahası, doğru bir önerme gerçeklere katılınca ve mantıksal olarak onlardan yola çıkarak ulaşılıyorsa, onunla uyumsuz olan hiçbir önerme söz konusu olmamalıdır. Güvenilir önermelerle ilgili olarak çıkarılan sonuçlar (doğru olmamakla birlikte yanlış da olmayan) doğru olarak kalırlar ama herkes bu noktada zaten anlaşmıştır.

Gözlem altında olmayan büyük ölçekli bir cismin klasik özellikleri (kuantum kuramından türetilmiş olan) klasik önermeler çerçevesinde hâlâ doğrudur. Hiçbir kuantum ölçümünün ya da onun gibi bir şeyin olmaması gerektiğini eklemeliyiz ama bu tarihçeler cinsinden hazırlık sürecinde bir koşul olarak ifade edilebilir.

Peki ya saf kuantum önermeleri? Bunların yalnızca çok azının doğru olduğu söylenebilir. Hatta birkaç durum dışında, ölçülen bir sistemin, ölçüldüğü andaki gerçek bir özelliğinin ölçümünün sonucunu bile içermezler. Gerçek büyük ölçüde ölçülen sistemin, ölçüm aygıtında gerçekleşen tam bir eşevresizliğin hemen ardından gelen ölçüm sürecinin sonucundaki belirli bir özelliğine indirgenmiş olur. Bunun bile nitelenmesi gerekir: Yapılan ölçüm, ölçülen gözlenebilirin özdurumunu bozmayacak şekilde, yani "*ideal*" olmalıdır. Başka türlü söylemek gerekirse, ideal bir ölçüm, eğer art arda iki ölçüm yapılırsa, ikisinde de aynı sonucu verir. Eğer dalga fonksiyonunun indirgenmesi kuralı bunca yıldır fizik uygulamalarında, başka deyişle, ölçümlerin Kopenhag yorumu temellerinde yer almasaydı, bu pek de doyurucu bir sonuç gibi gelmeyebilirdi.

O nedenle sonuç olarak tek tek olayların kuantum dünyasında doğru olduğu söylenebilecek fazla şey yoktur. Gerçek, d'Espagnat'nın sözlerinde örtülü olarak yer alır. Eğer "*doğru*" sözcüğünün işe mutlaka katılması isteniyorsa, doğru ya

da gerçek olan az şey bile fizik yapmaya yeterlidir. Aslında bu sözcüğün, gerçekler dışında, fizik dağarcığına ait olması gerekmez.

Peki bu, tarihçelerin gerçeğe ulaşmada sert bir darbe yediği anlamına mı geliyor? Kesinlikle hayır. Onların amacı gerçeklik değildir ve saf gerçeğin düzeltilip iyileştirilmesinde payları olduğunu da iddia etmiyorlar. Öyleyse nedir bunlar? Yanıt basittir: bir yöntem.[1] Baş melek genç meleğe fizik öğretirken, tarihçeler pedagojik bir yöntem olarak kullanılmışlardır. İnsanlar için fiziğe gelince, tarihçeler konuya bir düzen getirme açısından, geçmişte genellikle olduğu gibi, başka türlü kolayca bir labirente dönüşebilecek durumlarda bir yöntem sağlamış olurlar. Bu yöntem mantığı, tam da ona gerek duyan bir konuda işe katar. Bu bir kanıt yöntemidir. Kuramın her biri tek tek deneylerce doğrulanmış olan temel ilkelerine hiçbir şey eklemez, yalnızca her yöntemin yapmasının beklendiği gibi, bu ilkelerden yararlanır.

Bir şeyin doğruluğu üzerinde hiçbir yöntem kendi tekelini kuramaz, çünkü aynı sonuçlar başka yöntemlerle de elde edilebilir. Tarihçelerin belki yedekte sakladıkları, örneğin kuantum kozmolojisinde (evrenbilim) kullanılabilecek daha büyük bir gücü de olabilir. Bunu ancak zaman söyleyecek. Burada tarihçelere verdiğim kısıtlı değer elbette bu alanda çalışan ve bunlardan daha çok şey bekleyen başkalarını bağlamaz. Yalnızca dayandığı ilkeler ve ulaştığı sonuçlar önemlidir. Bir kuram eğer kanıtlanacaksa, bunun cebirsel yoldan mı, analitik yoldan mı olduğu fark eder mi? Buraya dek hiçbir yöntem tutarlı kuramlar yöntemiyle elde edilen temel kanıtları sağlayamadı, hatta öyle bir amacı da yoktu. Başka yöntemler de aynı (gerekli) sonuçlara ulaşmayı başarabilir.

Bu arada, bu sonuçların çoğu Bohr tarafından keskin zekâsı sayesinde, güçlü matematiksel tekniklerin ve konuya sonradan girenlerin kurduğu birtakım dağınık yapıların yardımı olmadan öngörülmüştü. Belki de onları bizi hayran bırakacak, bir

[1] Burada daha çok tartışmaları ortadan kaldırabilecek tarihçelerin gücü hakkında indirgemeci bir görüşü ifade ediyorum.

ömür boyu süren bir meditasyonun sonucunda bulmuştur. Tarihçeler yöntemi Bohr'un yazdıklarını sürekli açıklamak ya da üzerinden gitmek yerine, kanıtlama olanağı sağlar. Yorumu, herkesin sınayabileceği sıradan bir kurama dönüştürdü. Aynı zamanda, Bohr'un diktiği kurduğu (canlandırdığı) örneğin kuantum ve klasik fizik arasındaki geniş uçurum gibi sorgulanmaya değer parmaklıkların gerekli olmadığını ve bunların konu dışına çıkarılmasının görüş alanımızı hayli genişleteceğini gösterdi.

Eklemek istediğimiz tek yorum tarihçelerin pratik kullanımına giren özelliklerin seçimiyle ilgilidir. Bu seçenek keyfi olması nedeniyle eleştirilmiştir ama kolayca da doğrulanabilir. Bir fizikçi ne yaptığını basit sözcüklerle tanımlayabilmelidir. Yaptığı gözlemlerden mantığın yardımıyla sonuçlar çıkarması gerekir. İşlem aşamalarının bir bölümünü, kuramın matematiksel tekniklerinin kullanılmasıyla araştırılacak bir biçime sokmayı istiyorlar. Peki hangi özellikleri seçmek gerekir? Yalnızca eldeki amaca en uygun olanları. Tamamlayıcılık ilkesi yüzünden birbirinden farklı olan başka pek çok tanım da iş görebilir. Bunlardan kimileri aynı sonuçlara ulaşacaklardır ve aynı derecede geçerlidirler. Geri kalanlarsa, mutlaka yanlış olmaları nedeniyle değil, sonuç getirmeyecekleri için işe yaramayacaktır. Bunda neden bir sorun olsun? İşe yaramayan kuramların varlığı üzerinde sorular sormakla, bir problemi çözmede yarar sağlamayan hesaplar yapmak arasında fark yoktur. İki grup da bu anlamda çöp sepetine gider.

DAHA GENİŞ BİR GERÇEKÇİLİĞE DOĞRU

Şimdi ne sonuç çıkarmamız gerekiyor? Dünyanın varlığı konusunda bize bağlı olmadığını kabul ettiği sürece, gerçekçiliğe dokunulamaz. Duyularımızın algıladığı sürekli değişen dünyanın gerçek olduğunu söylediğinde, bu sadece bir tanım ve "onun" tanınması olur. Sıradan gerçeğin sağduyuyla uyuştuğunu söyleyen biri, kısaca çok çok eskiye dayanan bir gözlemi söylemektedir. Kuantum mekaniği yalnızca yasalarının böyle bir gözleme itirazının olmadığını ve bir bakıma bunu daha derin, evrensel yasalarla uyum içinde yaptığını ekler. Buna Sok-

rates öncesi dönemin Hades'te karşılaştığımız düşünürlerinde rastlamamız ne ilginç!

Bununla birlikte, kullandığımız sözcükler, görüşümüz ve insanların sağduyudan aceleyle çıkardığı felsefi ilkeler, atom dünyasıyla karşılaşınca çöküyorlar. Bu dünyanın yasaları bir bakıma gerçek, çünkü sonuçları her zaman doğru bulunmuş. Bunların son haline ulaştık mı? Ya da onların başka yüzleri, bizim daha bulamadığımız başka uzanımları da var mı? Her ne olursa olsun, daha geniş kapsamlı yasaların bugün var olanlardan daha az formal olmalarını beklemek için bir neden yok. Öyle ya da böyle, önümüzde formal bilimle uzlaşma ve onun ne anlama geldiğinde uzmanlaşma yolunda inandırıcı, güçlü bir felsefi amaç var.

Bundan sonraki amacımız daha geniş çerçeveli bir gerçekçilik yolunda, formal bilimi matematikle karşılaştırma korkusu taşımadan bir girişimde bulunmak olacak. Bu da bu kitabın son bölümünde önereceğimiz ikili gerçekçilik, yani belki de bir fizikçinin atacağı çok gözüpek bir adım olacak. Bertrand Russell bir zamanlar, orta yaşa özgü felsefe aşkına tutulmuş bilim insanlarının yazdıklarından daha kötü felsefe kitapları olmadığını söylemişti. Ayrıca bilimin kendi başına felsefe alanında yeni bir şey üretemeyeceği, yalnızca belli felsefi tümcelerin doğru olup olmadıklarına karar verebileceği ve bunun da kuşkusuz bir bilimin belli bir dalı için doğru olduğu da sıklıkla söylenir. Böyle olmakla birlikte, bilimin varlığı, evrenselliğinin derecesi ve birtakım özellikleri ortaya apaçık felsefi sorular atarlar ve temelinde düşünme olan bilim bunlar için yanıtlar denenmesini önerebilir.

Kendi görüşünü şimdi farklı bir perspektifte sunan geniş ya da büyük gerçekçiliğe doğru çok uzun bir yol gitmeyeceğiz. Belki yalnızca kimi olası izler tasarlayabiliriz. Bu yollar gerçek felsefeciler tarafından çok daha iyi izlenebilirdi, benim tek amacım onlara bu uzun ve büyüleyici yolculukta birkaç ipucu vermek, siz okuyucuları da bunun tadını çıkarmaya çağırmak olacak.

4. Kısım

SORU VE PERSPEKTİF DURUMU

XIII

YENİ BİR BAŞLANGIÇ

GİRİŞ RAPORU

Doğrusu uzun bir yolculuk oldu ve her ne kadar kestirme birtakım yollar denemiş olsak da, daha sonuca ulaşamadık, ilerlemek için her yolu denemekteyiz. Yeni bir bilgi felsefesine doğru giden yolun işaretlerini göz ardı edemeyiz.

Durumu gözden geçirerek işe başlayalım. Herkesçe bilinen ve gittiği yol izlenebilen bir bilgi düzeyinden başladık. Bu her şeyden önce, insanlığın uzayzamana ve maddeye sızabildiği, varoluşsal bir durumdur. İnsanlık evrenin nereye dek uzanabileceğinin farkında, onun doğumunu inceliyor ve tarihçesini yeniden kuruyor, yaşamın çeşitliliğini aşan bütünlüğü ve oradaki yerini biliyor. Ayrıca, elimizde daha tamamlanmamış bir bilim olduğundan, entelektüel bir durum da sayılır. Bize nesnelerin tam da merkezinde olan ve tek bir öbek halinde uyum içinde toplanmış, derin yasaları gösteren bir bilimden söz ediyoruz. Bu bilim ayrıca aklımızın ve dış dünyanın ürünleri, Logos ile Gerçeklik arasında, başka bir deyişle, dünün ve bugünün felsefelerinin ana konuları arasında bir uyum ortaya koyuyor.

Üstelik de bu bilim, kendi formalizminin dikenleri arasına sıkışmış temelleriyle, karanlık ve yorumlanması güç olarak görünüyordu. Görünüm değişikliğini ancak bu dikenli tarlayı sürerek görebildik. Bu aşamada, kuşkusuz kendine özgü bir bilim dalı olan kuantum mekaniği yardımımıza yetişti, çünkü yasalar demetine derinlemesine, belki de dibine kadar sızabilen de yalnızca odur.

Tümü eşit ölçüde inandırıcı olmasa bile, birtakım olağanüstü şeyler öğrendik. Felsefeci için en önemli sonuç, birkaç bin yıllık bir entelektüel yaklaşımın tersine dönmesidir, onu da şimdi ters yönde sunuyoruz. Kuşkusuz, duyularımız yoluyla akıllarımızdaki yapıları önce bireysel temelde, sonra da insan topluluklarına dil aracılığıyla yayarak şekillendirenin çevremizdeki dünya olduğu konusunda Hume'la aynı görüşteyiz. Bugünkü ve daha önceki türlerimizin gelişimi bu dünyada, onun gizli ama kalıcı düzenine teslim olarak ve algılarımızı yavaş yavaş incelterek gerçekleşti. Ama dünyadaki düzenin kaynağının ulaşılamaz olduğunu açıkladığında Hume'a, o kaynağı yalnızca içimizde gördüğü için de Kant'a karşı çıkıyoruz. Kaynak işte orada, bugün iyi bildiğimiz (ya da en azından yeterince bildiğimiz) yasaların içinde duruyor. Dünyanın düzenini, güvenecek kadar biliyoruz.

O yüzden, daha en başından, sağduyudan başlamak pek söz konusu değil. Geçmiş çağlardaki felsefe, ilkelerini bu sağduyunun doğası üzerine düşünerek seçti, onların saldırılara karşı sağlam olduğunu açıkladı ve bir listesini çıkardı. Sonra da onlara dayanarak insan aklının düşünebileceği her şeye sızabileceğine inandı. Ama bu ilkeler, "sonsuz küçük"lerin dünyasıyla karşılaşınca birbiri ardına çöktü. Bu dünyada düşünme yeteneği (ya da akıllarımızdaki gerçeğin temsili), yerellik (her şeyin kendi yeri vardır), nedensellik (her sonucun bir nedeni vardır), ayırt edilebilirlik (tıpatıp aynı olmayan iki şey akıl tarafından ayırt edilebilir), farkındalık (eğer dünya ile ilgili bir görüş düşünülebiliyorsa, bunun doğru ya da yanlış olduğuna, ilke bazında karar verilebilir) vardı. Felsefenin dünyayı açıklama düşü, en azından açıklama denen şeyi anlama biçimi (yani akılda, o açıklanan şeyin net bir resmini çizmek, sözcüklere dökülebilecek ve başkalarıyla bu sözler aracılığıyla iletişim kuracak bir görüntü oluşturmak) bakımından boşunaydı. Şimdi başvurmamız gereken artık birtakım simgelerdir.

Ama bu simgeler de kavramları içerir ve yasaları bir başka türdeki ilkeler gibi ifade eder, tersine dönüşün nasıl olduğunu da gördük. Bu yeni ilkeler, zorlu çabalar ve uzun düşünceler sonucunda bir kez elde edildikten sonra, dünyayı yeniden

kurabilirler. Mantığın ve o nedenle usa vurmanın kaynağı da akıllarımızda değil, ancak maddeyi doğurmaya hazır olan bu ilkelerde yatmaktadır. Bizim dünyayı bütün ortaya çıkış şekilleriyle birlikte görüşümüz kökenlerini o ilkelerden alıyor ve yine onların bir dışavurumu olarak beliriyor. Bundan sonra dünyanın ilkelerine aklın sıradan diliyle ulaşmayıp, onun yerine akıl yürütmeyi o ilkelerden su götürmez biçimde çok daha sağlam bir tutarlılıkla elde edeceğiz.

Artık açığa çıkan bir başka şeyi de akılda tutmakta, en azından kuşku duyulması halinde yakından incelemekte yarar var: Ona yukarıda verdiğimiz adla *uçurum*, yani kuram ve gerçek dünya arasındaki kapanmaz açıklık ya da yine eski terimlerimizle Logos ve Gerçeklik. Şimdi karşılaşacağımız yeni durum budur.

BİR FELSEFENİN BAŞLANGICI

Bacon'ın, belki de yazarın peygamber sözü gibi somutlaştırma çabalarının da ötesine kadar esnettiğimiz sözlerini anımsayalım: Bilimin en genel aksiyomlarına ancak en sonda ulaşılabilir ve bunların aldatıcı kavramlar olmayıp, doğanın temel ilkeleri olarak tanımlanan, nesnelerin tam da kalbinde bulunan kavramlar olduğu da o zaman görülebilir. Bugün bu sözler şimdiki zamanda söylenebilir miydi ve bilim yeni bir felsefenin doğumuna hazır olabilir miydi?

Bu soru basit bir öneriden daha fazlasıdır ve burada kuantum fiziğiyle ilgili söylediklerimiz bizi daha ileri gitmeye zorlamaktadır. Böylesine tekil olan ve gizemleri açığa çıkaran bu bilim, ilkeleri içinde kendi yorumları için gerekli araçları da barındırmaktadır. Benzer şekilde, bütün bilim kendi felsefesini öne çıkaracak şekilde nesnelerin özüne böylesine yakın olabilir miydi? Elbette bir bilgi felsefesi ama bu herhangi bir felsefi girişim için (kuşku dışında) bir önkoşul sayılmaz mı?

Bilim uzun bir yol aldı. Akıldan başlayıp, matematiğin mutlak simgelerine, sıradan nesnelerden onların evrensel yasalarına dek yolculuk yaptı. Başlangıçta bilgisizlik ve karanlık, aklın aracı olan dilin kendisinden, bizi çevreleyen şeylere kadar, her şeye sızmıştı. Doğru, bu şeyler gizemlerini sakladı ve başta

çok açık, daha basite indirgenemez gibi görünüyorlardı. Şimdi bunları farklı, doğrusu daha iyi görüyoruz, aklın kaynakları da kendilerini göstermeye başlıyorlar. Düzen denen şeyin her yere egemen olduğu bir dünyada kimyasal bir süreçten doğan bir yaşam, giderek artan bir karmaşıklık ve sağlamlıkta gelişip, bu düzeni algılayan organ olan beyne kadar varıyor. Aralardaki birçok bağlantı hâlâ kayıp ve tüm sürecin sonu olan beyin kendini ortaya koymaya daha yeni başlıyor ama birkaç geniş taslak şimdiden anlaşılabiliyor.

Böylece bilimi, en bilinmeyenden başlayarak görüyor ve bu karanlıktan, daha önce hiç sorgulamadan kabul ettiğimiz başlangıç noktasına ulaşıyoruz. Bilim, tıpkı mükemmel olmak üzere tasarlanan bir çember gibi, kendi köklerine geri döner. Ama böyle bir çember, tamamlanmış olsa bile, yine de başı ve sonu belli olmayan, yani kendisini yönlendiren ilkeleri, başka deyişle de felsefesi olmayan bir çember olarak kalacaktır. Onu dalından koparmamız da işte bu yüzden gereklidir, böylece meyve verebilir.

Çemberi kırmak, kendisiyle ilgili, kendi başına öğrenemeyeceği şeyleri bulmak anlamına geliyor. Böylece bilime, kendinin sağlayamayacağı bir temel ilke bulunmuş oluyor. Belki ancak o zaman metafizik başlayabilir.

Bilim, olması gerektiği gibi, metafiziğin tersi yönünde ilerledi. Hatta (çok kişi bunun bugünü de içerdiğine inanır) metafiziğin öldüğünün, sonsuza dek silindiğinin sanıldığı bir zaman bile vardı. Hume buna güldü, çiğneyip geçti, ama kendisi de metafiziksel bir yasak koymalıydı, o da nesnelerin saf düzeninin kaynağına ulaşmanın olanaksızlığıydı. Şimdi artık, o bakımdan tümüyle hatalı olduğunu biliyoruz.

Burada metafizik ile neyi demek istiyoruz? Onun bilgi kuramını, yani "fizikten sonra gelen şey" olduğunu biliyoruz. Akademisyenlere göre, bu ad beklediğimiz derin anlamı taşımıyor olabilir, ama kökeninde bir sıralama bağlantısı vardır. Aristoteles'in kitaplarının (bir bölümünün) başlıkları yoktu. Onlardan biri "*Fizik*" (yani "*Doğa Üzerine*") başlığını taşıyordu ve bu ad önceki yıllarda yaşamış pek çok yazarca verilmişti. Rafta onun hemen yanında duran kitap ise (yani Fizikten

hemen sonra gelen) "*Metafizik*" adını taşıyacaktı. Doğrusu bu sözcüğün taşıyor göründüğü kavramı, yani 'metafizik, doğa bilgisinin ortaya koyduğu düşüncelerin sonuçlarıdır' tanımını benimserdim. Ayrıca *meta* önekinin, mantıktaki "üstdil" ile aynı olan anlamını da eklerdim. O da kendi dilinde yeterince yararlanılmayan şeye girmenin bir yolu idi. Toparlamak gerekirse bu, öğrenmeye çalışma, bilimin içinde taşıdığı ama kendisinin söyleyemediği şeylere ulaşmaya çabalamaktı.

O nedenle, iddia ediyorum ki, bilim bugün metafiziğin yeniden canlanmasına izin verecek kadar olgunlaşmıştır. Açıktır ki, böyle bir sav bir kanıtın değil, olsa olsa bir inanışın sonucudur. Bu aynı zamanda bugünkü felsefecilerin işlerini savsaklamalarını hoşgörüyle değerlendirecek olan gelecekteki felsefecilere bir umut ve yüreklendirme ifadesidir. Bu yeni girişim hakkında konuşmak için Bacon'ın bilimle ilgili sözlerini memnuniyetle ödünç alabilirim: Bu yenilenme kesinlikle ölümlülüğün ve insanlığın koşullarını unutmak demek olmayacak, çünkü işin bir kuşak süresince tümüyle bitmeyeceğini, bir başka kuşağa aktarılacağını varsayıyor.

Belki de bütün söyleyebileceğim bu kadardı, çünkü bu noktadan sonra yolculuğumuz sürprizlerle ve hiç beklenmeyecek şeylerle dolu olacak. Yine de sürdürmeye çalışacağım ve okuyucuyu bundan sonrasında bir taslaktan, daha yeni oluşmakta olan düşüncelerden öte herhangi bir şey görmeye çalışmaması için uyaracağım.

Sorunun durumu üzerindeki tartışmayı burada kesmek de önerilebilirdi, çünkü kimileri çok ünlü olan bir grup çağdaş bilgi kuramcısı yazarın katkılarını aydınlatıcı olmaktan çok, kafa karıştırıcı buluyorum. Kuşkusuz bu yorum ne tarihçilerin zengin ve yararlı çalışmaları için ne de her ne kadar yazıldıkları tarihte bilimin durumu onları az çok demode kılmış olsa da, yine de üzerinde ciddi düşünülmesi gereken kimi eski kitaplar için geçerlidir. Bu kitaplar arasında en ilgi çekenler, Bachelard'ın insanların başka yerde bulmayı isteyeceği ve benim de burada tanıtmayı deneyip de pek başaramadığım, geriye kalan tek şey olan ozanın dokunuşunu anlatan kitapları ile, sanal dokunuşları anlatanlardır.

DİNSEL YOLDAN ÇIKARMA VE KUTSAL

Bu bölümü büyük olasılıkla pek çok okuyucunun soracağı bir soruyla, yukarıda sözü edilen, üstlenilen girişimler ve din arasındaki bağıntı ile kapamak isterim. Bugünlerde yazarlarının bilimde Tanrı'nın varlığının izlerini bulduklarına inandıkları pek çok kitap var. Hıristiyanlar (ve kuşkusuz İsa da) Büyük Patlama kuramında, yaratılışta (Tekvin/Genesis) anlatılanların doğrulandığını görüyorlar. Başkaları ya da aynı kişiler, Eski Ahit kitabını ya da Tevrat'ı (Eski Ahit'in ilk beş kitabı) doğa yasalarıyla bağdaştırırlar. Bir başka grupsa, birtakım doğu dinlerini, (örneğin Tao-tö-king) kanıt olarak belirtirler. Son örneğin de gösterdiği gibi, bu metinlerin oldukça şiirsel yazıldıkları ve bu yüzden de biraz bulanık bir yoruma yol açtıkları doğrudur. Bunun dışında, bizim çağdaş yazarların bunları okuma biçimi de tümüyle benzerlikler üzerine kuruludur. Bununla birlikte, yazarlarımız kendilerini ciddiye alsalar bile, kendimize burada salt bir sözcük oyununun ötesinde bir şey olup olmadığını sormamız gerekir. Peki ama gerçekten öyle midirler?

Bu konuyla kısa olarak bile uğraşırken insanın gerçek rengini göstermesi gerekir. O nedenle, her ne kadar benim inanç konularındaki seçimim Thomas Aquinas'ın *"Summa Theologica"*sı ya da Karl Barth'ın *"Dogmatik"* adlı yapıtlarından çok, Nicolas de Cues'nun *"Docta Ignorantia"*sına yakın olsa da, ben, yazar olarak kendimi Hıristiyan olarak adlandırıyorum. Bu kişisel notu vermekteki amacım Hıristiyan arkadaşlarıma benim eleştirilerimin hedefinde yalnızca bilinçsiz din simsarlarının olduğunu belirtmektir.

Burada yalnızca sıkça yinelenen bir tartışma konusunu ele alacağım, o da şaşırtıcı bir bilimsel keşfin yorumu olacak: Diğer bir deyişle, kesin değilse bile belli bir gerçekleşme olasılığıyla evrenin bir başlangıcının olması konusu (dünyanın yaratılışının bir kanıtı, bir Yaratıcının varlığının sonucu olarak). Bu da ne yazık ki mantığın eksikliğidir. Konuya daha yakından bakalım. Sınırlarına kadar zorlanmış genel görelilik kuramı çerçevesinde, Einstein'ın bugüne dek rakipsiz olan tutarlı ve mantıklı denklemleri için özel bir çözüm vardır. Evrendeki gö-

kadaların gözlenen dağılımıyla ve özellikle bugün bütün evreni dolduran ısıl ışınımla uyumlu olarak, türdeş ve yönden bağımsız (yani, her yönde aynı özellikleri gösteren) bir evren önerir. Böylece elde edilen özel çözüm evren için matematiksel bir model sağlar ve bunun tarihçesi tekillik olarak bilinen ve fizik yasalarının daha ötesine geçişi yasakladığı bir engel olan, geçmişte konumlanmış ve zamanın daha gerisine götürülemediği bir engel olan şeyi sunar. Fizik yasaları hakkındaki bilgimiz sayesinde modeli araştırmaya giriştiğimizde çeşitli sonuçlara, yani hepsi de yukarıda sözü edilen ve Hubble'ı genişleyen evren ilkesini bulmaya götüren ısıl ışınımın özellikleri olan, helyum ve başka hafif çekirdeklerin bugünkü miktarına ulaşıyoruz. Tüm bu sonuçlar akla uygun bir biçimde deneylerle de doğrulanmışlar ve bu yüzden de modele yüksek bir tutarlılık kazandırmışlardır. O zaman insan mantıksal olarak bu modele inanabilir ve çoğunun da doğru olması beklenir. Öyle olduğunu varsayalım.

Peki biz neyi kanıtladık? Fizikçi için çok önemli bir şeyi, burada keşfettiğimiz yasaların şimdi bütün bir evrene uygulanabilecekleri gerçeğini. Ama o zaman Tanrı'nın bütün bunlarla ilgisi ne? O'na bir Yaratıcı olarak gerek duyuyor muyuz? Bu aslında, içindeki bir noktada yaratılma anını da içeren sınırsız bir zamanı kafamızda canlandırmakla aynı kapıya çıkıyor. Böyle bir öyküyü Ezra'nın zamanında yazan Musevi bir yazarı anlayabiliyoruz, ama ya bugün? Bu savın dayandığı bilim olan genel görelilik bu noktada açıktır: Hiçbir fizikçi bu tekilliğin, yani "başlangıcın" ötesinde zaman kavramının olmasına bir anlam yakıştıramaz. Üstelik, Aziz Augustinus da *İtiraflar* adlı yapıtta aynı sonuca gelmiştir. "Dünyayı yaratmadan önce Tanrı ne yapıyordu?" diye merak edenlere, "Dünya var olmadan önce zaman da yoktu" yanıtını vermişti.

Hepimizin akıllarımızda birtakım resimler, Kant'ın sezgi konusundaki ünlü biçimler var. Bir şeyin içeriğinde olmayan ya da sonsuzluğa uzanmayan bir gerçeği "gözümüzde canlandıramayız." Bu, başka her şey olduğu kadar, zaman kadar da doğrudur. Bizim imgelemimizde, bir engel ya da sınır, o sınırın öteki yakasıyla, dışarıdan bir şeyle birlikte gelir ve evrenin sı-

nırlanmış bir geçmişi bulunan dışı da çok belirsiz bir görüntüyle ulaşır, o da bir Tanrı ya da Yaratıcıdır. Bunu bu şekilde görenlerin eninde sonunda ona en içten duygularla bağlanması gerekir, biz de o zaman bir gizemden söz ederiz. Gerçekten de, mükemmel bir dışın, yine mükemmel bir içle bağlanması bir gizemdir ama buna ayrıca "paramantık" (yani hatalı akıl yürütme) denir.

Mantıksal tutarsızlık daha öteye de gider. İnsan bir Yaratıcının varlığını kabul ederek gerçekten bir neden arıyordur. Bu yaratıcının evrenden önce de var olduğunu kabul etmek, zamanın başlangıcında daha geniş bir öykünün yalnızca özel bir aşamasını görmekle aynı kapıya çıkar. Ancak, fizik yasalarının çerçevesi içinde bu gerçeklerin bulunmasının bize başka bir şey daha öğrettiğini de unutmayalım. "Neden" kavramı mutlak değildir. Uzay ve zamanın, bir dış zarf olmadan, kendi başlarına kavranmaları gerekir. Modelin oluşturulduğu kuramın çıkış noktalarından biri de budur. O nedenle, dayandıkları varsayımlarla çelişen kavramlar hakkında bildiklerimize bağlı kalmak çok kolaydır. Bu da başka bir hatalı mantık yürütme örneğidir.

Son olarak, bir Tanrı ya da Yaratıcı fikri çok eskilerden kalma bir görüntüyü yeniden diriltiyor ama gerçek bir gizemde, yani yasaların her yerde hâzır ve nâzır olması bakımından yan çiziyor. Bu evreni yaratan, en azından onu zaman içindeki gelişimiyle yapılandıran onlardır. Peki bunun anlamı Tanrı'nın bütün yapması gerekenin yasalar yaratmak olması mıdır? Ama o zaman Tanrı kavramının yasa kavramına eklediği nedir? Bir neden mi? Haydi ama, bu, akıldaki tiklere teslim olmak olurdu! Yasalar, bu evrensellikleri nedeniyle, onlara yabancı olan hiçbir şeyin içlerine sızmasına izin vermezler. Bunların üzerinde duracağımız ilk konu olması gerekir, çünkü onları, erişebileceğimiz şeylerle doğrudan ilgili olarak yorumlayabiliriz. Din alanı dünyanın yaratılışının dışında bir yerdedir.

Ama bu arada kimileri, "Einstein '*dünyanın akla dayalı kurallarla yönetildiği ve akıl tarafından kavranabileceği kanısı, din alanına girer. Bu derin inançtan yoksun bir gerçek bilimci düşünemiyorum. Durum bir örnekle ifade edilebilir: Dinsiz*

bilim topalsa, bilimsiz din de kördür' demedi mi?" diye yanıt verebilir.

Bana öyle görünüyor ki, burada iki sözcük arasındaki ayrımı net ortaya koymalıyız. Einstein'ın düşüncesi tam önemini eğer "din '*kutsal*' sözcüğündeki gibi anlaşılırsa" kazanır. Kutsal denen şey, Mircea Eliade'in *İnançların ve Dinsel Düşüncelerin Tarihi* [*Histoire des Croyences et des Idées Religieuses*] adlı kitabının Önsözünde aşağıdaki gibi bir kavrama kavuşur: "İnsan aklının dünyada *gerçek* denen ve daha da sadeleştirilemeyen bir şey olduğuna inanmadan nasıl çalışacağını göz önüne getirmek güçtür ve bilincin insani dürtülere ve deneyimlere bir *anlam* atfetmeden nasıl ortaya çıkabileceğini kafada canlandırmaya da olanak yoktur. Gerçek ve anlamlı bir dünya bilinci, kutsalın keşfiyle yakından ilişkilidir. İnsan aklı, kutsalı deneyimleyerek gerçek, güçlü, zengin ve anlamlı şeylerle, bu özellikleri içermeyen öbür şeyler, yani, karmaşa içeren (kaotik) ve tehlikeli olaylar dizisi, onların zararlı ve anlamsız bir biçimde ortaya çıkışları vb arasındaki farkı kavramıştır. Kısacası, 'kutsal' yalnızca o bilincin gelişimi yolundaki aşamalardan biri değil, bizzat bilinç yapısındaki bileşenlerden biridir."

Eğer bu kutsal kavramını sözlükte (Fransızcadaki *Robert*) verilen tanımıyla karşılaştırırsak, bir benzerliği fark ederiz: "Mutlak bir değer olarak düşünülebilecek olan mutlak saygıyı hak eden bir şey kutsaldır." Bu, "yasaklanmış, ihlal edilemeyen (kirlenmişin/günahkârın tersine) ve dinsel bir saygı uyandıran bir şey kutsaldır" şeklindeki yaygın tanımdan oldukça farklıdır. Bu ikinci anlama "aziz" ve "yasak/tabu" gibi sözcükleri içeren referanslar eşlik eder. Kutsal ile kirli/günahkâr farkına vurgu yapan bu ikinci anlamı dışarıda bırakmayı yeğleyelim, çünkü bu Einstein'ın düşüncesinde kesinlikle yer almayan bir ikilik yaratıyor.

Mircea Eliade yukarıda adı geçen metinde aslında kutsalı iki kez tanımlar ve her iki tanımı da birbirinden farklıdır. Önce kendi başına güçlü ve önemli bir şey olarak düşünürken, daha sonra bu gücü bilinç yapısının bir parçası olarak gören bir eğilim ile deneyimlemek olarak görür. Kutsalın bir bilinç yapısı mı, yoksa kültürel bir eğilim mi olduğuna karar verme

durumunda değiliz. Bunun hepimizin değilse bile, bir bölümümüzün bir biçimde bildiği bir bilinç durumu olduğunu kabul etmemiz yeterlidir. Burada önemli olan, kutsalın birey tarafından deneyimlenen bir eğilim olduğunu ve o nedenle de dünya ile insan davranışı ya da (neden olmasın?) bilgi felsefesi ile insanlık arasında bir bağıntı kurduğunu kabul etmektir.

Böylece bu, yani güçlü, varlıklı ve anlamlı olmak, Eliade'in kutsala atfettiği ve bizim için önemli olan ilk niteliktir. Eliade'in çekincelerinden bir bölümünün gereksiz olduğunu da görebiliriz. "Karmaşa dolu olaylar dizisinden ve onların sakıncalı ve anlamsız şekilde ortaya çıkışlarından" söz ettiğinde, kutsalı iten bu alanın herhangi bir düzenden bağımsız, yüce bir gerçeğe ait olduğunu varsayıyor gibidir. Böyle bir düzensizliğin yalnızca görünürde olduğunu artık biliyoruz. Talihsiz durumlar ya da acıklı bir kaza korkunç veya ölümcül gelebilir, ama bunlar yine de yüksek, yasalara yakın bir düzen tarafından yönetilirler. Nesnelerin akışı, birey, grup, hatta türler için tehlikeli ve risklerle dolu olabilir, ama karmaşık ve öngörülemeyen bir şey olarak kalacaksa bile, onun oluşma mekanizmasında karmaşık hiçbir şey yoktur. Nesnelerin görünmeleri ve ortadan yok olmaları rastgeleymiş gibi gelebilir ama yine de hiçbir zaman tümüyle anlamsız değildir. Özetlemek gerekirse, görüş biçimimize göre kutsal evrende her yerdedir ve hiçbir şey de tümüyle kirli/günah değildir. Kirlilik/günahkârlık kendi yanılsamamızdan, aklımızın uyuşukluğundan ya da yanlış düşüncelerimizin bir tür deliliğinden başka bir şey değildir.

XIV

BİLİM NEDİR?

Bu bölümde sorunun durumunu gözden geçirerek, bilimin[1] doğasını inceleyerek ilerliyoruz.

BİR TEMSİL BİÇİMİ OLARAK BİLİM

Her düşünce bir temsile dayanır. Bu, aklın dünyayı algılama biçimine getirdiği bir tür çeviridir. Bununla ilgili anılarımız büyük olasılıkla, nöron ağlarında önce sürekli yinelenen ve şiddetli algılamaların etkisi altında gelişen, sonra da kalıcı olan sinyallerde konuşlanmışlardır. Bütünüyle bakarsak, geniş ve sakin bir görünüm algılarız, ama her kısa zaman diliminde, gözlerimiz onun yalnızca çok küçük bir parçasını yakalar. Binlerce minik kırpışmadan çıkan resme hayranlıkla bakışımız belleklerimizdedir. Buna da "temsil" denir. Hatta kullandığımız sözcükler bile onu temsile hizmet eder.

Böylece, "bilim nedir?" sorusunu, onun da gerçeğin bir temsili olduğu şeklinde yanıtlayacağız. Locke ve Hume tarafından düşünülen, doğrudan gerçekten gelen parçaların oluşturduğu birincil temsil değil, güvenilir olmakla birlikte, daha çok soyut ve kodlanmış bir resim olarak.

[1] "Bilim" terimini genellikle fen bilimlerinin anladığı şekliyle, maddenin, gökcisimlerinin (ve dünyanın), yaşayan canlıların incelenmesi olarak kullanacağız. Somut gerçeklik ile aralarında köprü kurulamayacağından mantık ve matematik bunun dışında tutulacak. Sosyal bilimler konusunun belirsizlikte kaldığını biliyorum ama o konuya burada yer vermeyeceğiz.

İnsanların gerçek için çeşitli temsil biçimleri vardır: büyülü, şiirsel, ideolojik vb. Bunlar felsefi bir sistemde, bir dinde, bir kültürde, kimi zaman da yalnızca aklın belli bir durumunda yaşarlar. Bunların her birinin kendi dili vardır ya da tersine, bizim dilimiz minik minik, parçalanmış, başka temsilleri ötelemek üzere birleştirilmeye hazır temsillerden oluşur. Peki o zaman bilimi bütün başka şeylerden ayıran nedir? Bilimi tek ve benzersiz kılan deneylerin esin sağladığı kendi kavramlarını kullanması mı, yoksa kendi savlarının ve mantığının sağlamlığı mıdır? Mantık ve matematik kendi adlarını koruyacak, böylece somut gerçekle aralarındaki kapanmaz uzaklığı gösterecekler. Bu durumda sosyal bilimlerin yerinin çok net olmadığının farkındayız, ama onları burada tartışmamız gerekmiyor. Aslında pek öyle de sayılmaz. İlk özellik Pico de la Mirandola'nın simyasına (hermetics), ikincisi de skolastik teolojiye uygulanabilir. Yanıt yasaların varlığında yatıyor olabilir mi? Yasalar her dünya görüşünün bir parçası olduklarından, bu pek olası görünmüyor.

Peki mantıksal tutarlılığa ne demeli? Teoloji de tutarlılık arar ve hatta Tanrıların varlığı hakkında eski felsefelerin sorduğu sorularla bağlantılı olarak, onun kaynağı da sayılırdı. Bilim, yalnızca deneysel olarak çalıştığı ve gerçekleri derlemekle uğraştığı o eski çağlarda buna sahip değildi. Farklı bileşenleri birbirine yaklaşıp, kaynaştıkça, giderek olgunlaşınca tutarlılık da geldi. Yine de, tam bir mantıksal tutarlılığın, her şeyi yitirmek pahasına her an sınanmaya hazır olan bilime (ki bu hiçbir teolojinin onay vereceği bir şey değildir) kazandırılmış bir nitelik olduğunu söylersek abartmış olmayız.

Gerçekten de, bu tutarlılık sürekli olarak deney tahtasındadır. Bilimciler çelişkiler gösteren durumları uzun uzadıya izlemezler, her zaman bilgilerinin sınırlarını sınarlar. Kimilerinin inanışının tersine, "resmi" bilimin kendine atfettiği önemden söz ettiklerinde, bilim topluluğu bir tutarsızlığın açığa çıkmasına, kimi zaman yeni bir keşiften daha büyük bir değer verir. Durumu pastoral renklerle boyamak da istemiyorum doğrusu. Bilimcilerin dik başlılığının sıradan ölümlülerin inatçılığıyla yarıştığı pek çok örnek vardır (Wegener'in kıtaların yavaşça

kayarak yerlerini değiştirmesi üzerine olan sert tartışmalarını anımsamak yeterlidir). O nedenle burada söylediğim şey yakın gelecekte değil belki ama uzun dönemde geçerlidir.

Buna alternatif olacak başka temsil biçimlerinin tersine, bilim mutlak tutarlılık ister. Açıkça görülen tek bir tutarsızlık bilimin herhangi bir dalında kuşku ve güvensizlik yaratır. Uzun sürmesi halinde kangren oluşabilir ve bilimin bütün gövdesini sarabilir. Tutarlılık beklentileri şimdi artık oldukça yüksek ve ödün vermez bir duruma gelmiştir, bunları karşılayabilmek için bilim, kendini de ortaya koyarak, her tür kefaleti ödemeye hazır olmalıdır.

Kütleçekim kuvvetinin uzaktaki cisimlere ışıktan daha hızlı etki etmesinin olanaksızlığı gibi örneklerden bilindiği üzere, tarih boyunca bunun pek çok örneği vardır. Bir başka olayı da, mantıksal tutarlılık sunağına, yani sezgi ve sağduyuya örnek bir kurban veren Rutherford'un çöken klasik atom modelinden verebiliriz.

Konuyu somutlaştıralım. Bu kurbanlar boşa değildiler ve her birinin ardından bilim o güzel tutarlılığını yeniden elde etti, eskisinden daha da güvenilir oldu. Arkasından mutlaka görülmeye değer bir kurtarma işleminin geldiği böylesi felâketler korkuların dağılmasıyla sona ererler, fizikçiler de en küçük bir tutarsızlığın bulunuşunu ödüllendirirler. Onu ararlar, izini sürerler, çünkü orada korkutucu ve gerçek bir tehlikeden çok, sıkı bir hamle sezinlerler. Dahası, hemen hemen kesin denebilecek bu güvene karşın, bilimdeki güven, her şeyden çok, çıplak bir savaşçıda görülene benzeyen büyüklükten, yani bir bakıma kazanmak için kendi zayıflıklarını kabul etmekten doğar.

BELLİ TÜRLERDEKİ YASALAR ÜZERİNE

Bilim dünyayı sıkı bir yasalar ağı içinde sarmalanmış olarak temsil eder. Bu kurallar ya da yasaların büyük bir önemi vardır, ama onların temel doğasını kırmak çok güçtür. Biz onları yalnızca süreklilik gösteren ve her yere işleyen eylemleriyle tanırız.

Doğrusu farklı yasa türleri vardır ve bunların adları üzerinde ortak bir görüş birliği yoksa da, üç farklı tür ayırt edi-

lebilir: (i) deneysel kurallar, (ii) ilkeler, (iii) yasalar. Sayısız deneysel kural içinde önce bizim *birincil* diyebileceklerimiz gelir. Bunlar kendilerini sonsuz biçimde yineleyen olaylardan ortaya çıkarlar. Yapraklar sonbaharda sararırlar, Güneş gün batımında kırmızı görünür, kedilerin bıyıkları vardır, portakal kabuğu kendine özgü bir renge sahiptir; bütün bunlar bizim görsel temsilimizin ve dilimizin örgüsünü kuran şeylerin sürekli yinelenmesinden ortaya çıkan birincil kuralların bir kümesini oluştururlar.

Bilim işe genellikle bu tür kuralların bir çözümlemesini (analizini) yapma girişiminden başlar. Bu bir bakıma Linné'nin bitkiler alemindeki çoklu benzerlikleri ve farklılıkları belirlerken yaptığı şey gibidir. Bunu yaparken daha ayrıntılı olan ikincil deneysel kuralları, bundan sonra ele alacak olduklarımızı elde eder. Bunlar genellikle nicel, yani sayısal bir biçim alırlar. Örneğin Ptolemaios'un gezegenlerin devinimleri için ilmekler kuralı, Kepler'in aynı konudaki yasaları, Ohm'un elektrikteki yasası ve bunlara benzer pek çok kural. Yine de bunların her biri bir açıklamadan çok, bir gözlem, görüneni bir ölçüde açıklayan, gözlenen gerçeklerin bir özetini veren ama oradan öteye geçemeyen şeyler olarak kalır.

İlkeler tümüyle farklıdır, onlarda deneysel kurallardaki darlık yoktur. Bir ilke evrensel olmalıdır. Bu düşünce Yunan felsefesinden, ortaçağ teolojisi yoluyla geldi, ama kesin anlamını bulduğu alan da fiziktir. Her ne kadar biyolojinin de ilkeleri olsa da, bunlardaki bulanıklık daha fazladır. O nedenle, gelişim büyük bir ilkedir, ama bunun ifade edilmesi yoruma açık, geniş bir alan bırakır. İlkeleri olduğunu savlayan ilk bilimin Newton mekaniği olduğunu gördük ve onun bu yolla bizi yerküredeki koşullarımızdan kurtarmayı nasıl amaçladığından söz ettik. Ama böyle olmakla birlikte o, ilkelerinde gerçeklerin ve deneylerin özetinden, yani daha yüksek ve ekonomik düzendeki bir deneysel kuraldan başka herhangi bir şeyi görmeyi reddetti. Bununla birlikte, onları tam da evrensel olmaları ve o yüzden de öngörülerde bulunurken kullanılabilmelerinden ötürü, ayıklayıp çıkarmamız gerekir.

Bir ilkenin evrensel anlamda uygulanabileceğini öne sürmek, tıpkı sonsuz zengin ve kurnazlıkları öngörülemeyen bir bankaya karşı bahse girmek türünden umutsuz bir girişim gibi gelebilir. Gerçekten de, eğer ilkeler evrensel iseler o zaman yargı alanlarına, ayrık durumlar olmadan giren (ve sıkı nitel kısıtlamaları sağlamak zorunda olan) her olguyu açıklayabilmelidirler. Bu, daha önce hiç yapılmamış ya da gözde canlandırılmamış deneyler için de geçerlidir. Newton'ın yasalarının ve dünyanın dönüşünün, bir sarkacın içinde salındığı düzlemin de dönmesini gerektirmesi çok açıktır ve Foucault'nun sarkacı da yüzyıldan uzun bir süredir, yaptığı devinimin doğasını öngören ilkeyi izlemiştir. Böylece bir ilkenin evrenselliği bilinene olduğu kadar, bilinmeyene de uygulanabilir. Bu da onun hem sağlamlığı hem de zayıflığıdır.

Yukarıdaki koşul çok serttir, çünkü gerçekle bir ilkenin beklenen sonucu arasındaki tek bir farklılık, ilkenin çöküşünü gösterir. Ama aynı zamanda ilkenin gerçeklikten birbiri ardına ve körlemesine gelecek ataklara başarıyla karşı koyması da ne büyük bir zaferdir! Ne güzel! Uzay arenasında ise, ilke boğa güreşçisiyken, konu saldıran boğadır.

Sonuç olarak, ilkelerden sonra yasalar gelir. Biz yasa deninceilkelerden çıkarılabilecek ve belirlenmiş birtakım olgular grubuna uygulanabilen o özel sonuçları anlıyoruz. Örneğin, Kepler'in kuralları tümüyle deneysel olmaktan çıkalı ve Newton'ın ilkelerinin doğrudan bir sonucu olalı çok oluyor. O yüzden, bunlar artık deneysel kural olmaktan çıkıp, yasa konumuna ulaşmışlardır. O nedenle yasalar, ilkelerin çocukları, onların ürünleri olduğu kadar, ilkelerin sınanabileceği araçlar olarak da görülebilirler. Bir ilkenin kalıcı olmayı başardığını ve güvenilir olacağını nasıl bileceğiz? Yalnızca, yapabildiğimiz sürece onun tüm olası ölçülebilir sonuçlarını, deneyler yoluyla doğrulayarak bilebiliriz. Klasik mekanik örneğinde böyle bir doğrulama süresi neredeyse iki yüzyıl aldı ve daha düşük bir hızda olsa da, bugün bile devam ediyor. Hatta kimi yasaların, biri ilkelerin kuramsal sonuçları, öteki de daha sonra yasaları deneysel kurallara çevirmek amacıyla, deneysel sınama şeklinde olmak üzere, iki kez sınandığını söyleyebiliriz. Bir

bilimin ilkeleri keşfedildiğinde, birçok deneysel kural durumlarını değiştirebilir ve eğer Kepler'in kuralları/yasaları örneğindeki gibi, onları ilkelerden (kuramsal olarak) çıkarmak söz konusu ise, yasa haline gelirler.

Çağdaş bilimin, özellikle fen bilimlerinin tutarlılığı, yasa sayısının saf deneysel kuralların sayısını açık arayla geçmesi ile ölçülebilir. İlkelere bağlanamayacak deneysel kuralların varlığı, ilkelerin hâlâ tamamlanmamış olduğunu gösterebilir. Örneğin bir yayın, uygulanan çekme kuvveti sonucunda uzamasını veren deneysel kuralı ele alalım. Newton mekaniği, ortada doyurucu bir açıklamanın olmaması yüzünden, bunu bir yasa olarak adlandıramıyor. Şimdi, bunun metallerin atomik yapısını ve bunun altında yatan kuantum ilkelerinin varlığını gösteren hafif bir işaret olduğunu anlıyoruz.

BİLİMİN DÖNÜŞÜMLERİ

Başka her tür temsilde olduğu gibi, bilim de ilerliyor. Bu onun tarihe dayalı olan insan bileşeninin bir sonucudur, ama ciddi bir sorunu da peşinde getirmektedir. Çünkü, evrensel olma iddialarına karşın, ilkeler de sorgulanabilir.

Genetiği ele alalım. Mendel genlerin varlığını, deneysel kalıtım kurallarının üzerinde bir ilke olarak ortaya attı. Annebaba tarafından taşınan bu genler, olasılık yasalarına bağlı olarak, varislere (yani çocuklarına) aktarıldı. Kromozomların keşfi genlere sağlam bir destek sağladı ve *meiosis* ortaya çıktığında, yani çocuğun ilk hücresi, anne-babanın hücrelerinden oluştuğunda, rastlantının oyuna gireceğini gösterdi. Mendel'in "ilke"si böylece deneysel bir kurala, yani hücrelerin ve onların dönüşüm kiplerinin gözlenmiş davranışlarına indirgenmiş oluyordu. Yeni ilkeler de daha sonra DNA'nın ve onun kendini yenileme kurallarının bulunuşuyla ortaya çıkacaktı. Peki ama bunlar gerçek ilkeler midir, yoksa basit kurallar mı? Söylemesi güç, çünkü bu bakımdan bütün öbür yaşam bilimleri gibi, genetik de ara bir yerdedir ve yalnızca evrensel ilkeler üzerinde oturmamaktadır. Ayrıca da, bu bilimlerin yalnızca büyük ölçüde akla yakın (yani genellikle doğrulanan, ama mutlak kesin olmayan) ilkelere gerek duyması da olasıdır.

Fizik ise, yalnızca evrensel ilkelere dönük olma tutkusu nedeniyle bile, farklı bir alandır. Böyle bir tavrın geçmişte en az üç kez çöküşle sonuçlandığını biliyoruz ve içinden yeni bir bilimin, özel göreliliğin ve ardından da göreli kütleçekim kuramının, son olarak da kuantum mekaniğinin çıktığı o dönemleri daha önce anlattık. Her seferinde yeni gelen bilim eskiyi yuttu, onun varlığından beslendi ve onu az farklı bir biçimde sakladı. Örneğin, Newton mekaniğinin ilkeleri göreli kuantum mekaniğinin özel yasaları, yani daha genel ilkelerin sonuçları oldu. Evrensellikleri tanım gereği mutlak olan ilkelerden farklı olarak, yasaların çoğunun onları ilkelerden yola çıkarak türetmede kullanılan varsayımlarca ve keskin sınırlar içinde belirlenmiş uygulama alanları vardır. Böylece, klasik mekaniğin düzeyi düşürülmüş ilkeleri, basit yasalar oldular, aynı zamanda uygulama alanlarının da belli olgularla, örneğin hızı ışık hızına göre çok düşük olan ve Planck sabitinin önemli bir rol oynayamayacak kadar küçük olduğu durumlarla sınırlandığını gördüler.

Bu yüzden, garip bir şekilde bilimin tarihsel gelişimi evrensel ilkelerin varlığını doğrular ya da en azından bizim onların varlığına güvenimizi güçlendirir gibi görünüyorlar. Bu ayrıca bir sağduyu çağrısıdır, çünkü bugünün ilkelerinin, belki de yalnızca şimdilik daha bilinmeyen başka ilkelerin bir yansıması olduklarını bize söyler. Öyle ya da böyle, bilimi doğası zamanla değişen, dün kesin olan şeylerin kısaca geçmiş zamanın modası geçmiş inançlarına döndüğü, insani değerlerimizin geçici ölçeğine indirgeyen, basitlikten yana bir görüş benimsemek yanlış olur. Son anlattığımız ilkelerin gözden geçirilmesi kimi düşünürleri bilim yasalarının saldırılara karşı çok duyarlı olduğunu, her yeni buluşla ve hatta zamanın ruhuna yetişme çabasıyla değiştiğini söylemeye itti. Bu ise Gerçekliğin sabit ve gözlenmeye değer varlığını göz ardı etmek demektir.

Yukarıda söylenenin üzerinde biraz durmaya değer, çünkü sıklıkla yanlış anlaşılmaktadır. Kimi eleştirmenler belli bir zamanda ilkelerin biçimi ve matematiksel yapısından çok, onları sözel olarak sunmada kullanılan sözcükler üzerinde odaklanıyorlar. Bir kez daha formal yapıya yeterince dikkat

verilmemesi ciddi yanlış anlamaların nedenidir. Eğer belli ilkeler bu şekilde gözden kaçırıldıysa, bunların yasa haline gelmeleri gerçeği ve statüdeki bu değişimin başka, öncekilerden daha genel olan ilkelerin bulunuşundan ortaya çıkması fazla önemsenemez. Bu değişimden çok etkilenmemeli ama şunun üzerinde kafa yormalıyız: Bilim kendini her kurban edişinde çökmek yerine daha yukarılara tırmandı ve evrensellikte yeni bir düzeye ulaştı. Böyle dönemler insanlık tarihinin izlediği inişli çıkışlı yola benzemiyor, öncünün şaşmaz izlerini taşıyor.

Bilim, gerçeğin ve o gerçekte bulunan büyük düzenin kölesi ve mürididir.

THOMAS KUHN

Bilimin gelişimini Thomas Kuhn'dan ve en ünlü kitabı olan *Bilimsel Devrimlerin Yapısı*'ndan (1962) söz etmeden tartışmaya olanak yoktur. Orada iki ana tez ortaya koyar. Bunlardan biri bilimdeki, "devrim" adını verdiği birtakım dönüşümlerle ilgilidir. Bu terim, kendisinin de daha sonra fark ettiği üzere, kuşkusuz biraz aşırı gelebilir, ama zaman zaman dünyanın bilimsel anlamdaki temsilini de etkileyen çalkantıların büyüklüğünü belirtir.

Kendisinin diğer temel düşüncesi de ilkelerden çok paradigmalara ağırlık vermesidir. Onun düşüncesine göre, dev bir buluşun bilimin izleyeceği yol üzerinde, üzerine dayandığı ilkelerden çok, sunduğu örnek nedeniyle, daha büyük bir etkisi vardır. Bu ilerleme taklit edilmeye uygun bir model, yeni araştırmalara temel oluşturacak bir referans, yani bir paradigma (bu sözcük temelde dilbilgisi açısından analizlerde başkaları için bir model olarak görev yapacak şeyler için kullanılagelmektedir) oluşturur. Böylece Euler, Newton'ın yöntemini akışkanlar mekaniğine uyguladığında, daha sonra verilen ilkelerin doğrudan sıvı kütlelerine uygulanmasından çok, Newton mekaniğinin başarısına bir önem atfediyordu.

Paradigmalarla ilkeler arasındaki karşılaştırma bizim konumuzla çok da ilgili sayılmaz. Gerçekten de, bir paradigmayı taklit etme ile bir ilkeyi uygulama arasındaki fark, araştırmacıların psikolojisi açısından bir sorun gibi görünüyor, ama ben

burada bu alanda bir şey demek istemiyorum. Bizim amacımız açısından önemli olan yeni bir keşif üzerindeki yargıdır: Bu bizim önceden bildiğimiz ilkeleri doğruluyor mu, yoksa onlarla çelişiyor mu? Aslında Kuhn'un tarih incelemeleri açısından göz ardı edilemez olan tezi bilimin iki temel dönüşümünü, yani formalizmin gelişi ile tutarlılığın yükselişini daha iyi bir şekilde ele almak için önemsenmeyi hak ediyor. Bana öyle görünüyor ki, birdenbire değil de zamanla geliştikleri için hiç de devrimci denemeyecek bu iki olay da, paradigmalar diyalektiği değil de, ilkeler çerçevesinde çok daha iyi anlaşılacaklardır.

Daha önce formal yaklaşımı ve bunun kendini ortaya koyuş biçimini Maxwell denklemleriyle vurgulamamız da bu açıdan olmuştu. O denklemler eğer yeni araştırmalar için esin yarattılarsa bile, bir başka özellik için formal bir nitelik taşımaları nedeniyle, bir paradigma olarak yarar sağlamadılar. Formalizmin önce görelilikte, sonra da kuantum fiziğinde yükselişi de bir paradigmaya dayandırılamaz, bu daha çok bir gereklilikten doğmuştur. O yüzden, bilimin en önemli özelliklerinden birinin ortaya çıkışı *devrim* denemeyecek kadar düşük bir hızda yaşandı ve herhangi bir paradigmayı taklit etmenin bir sonucu da değildi.

Kuhn, sanki her "devrim"e mutlaka yeni bir paradigma eşlik edecekmiş gibi, bu iki tezini birbirine bağlamaya çok eğilimlidir. Bilimsel evrimin sürekliliğini, tv dizilerindeki gibi, iki farklı bölüme ayırır. Mendel'in genleri ve Crick ile Watson'ın bulduğu DNA'nın ikili sarmal yapısı hem iki paradigma hem de iki devrimin çıkış noktasıdır. Ama bunların sürekliliği elbette iki farklı şey olmalarından çok daha önemlidir.

Yine de, "devrim" denen terim belli birtakım olayları, örneğin yukarıda sözü edilen üç dönüşümü, yani göreliliğin doğumuna, göreli kütleçekime ve kuantum fiziğine yol açan olayları çok güzel tanımlar. Bunların her biri, bilimin üstesinden gelemediği gerçek bir krizdi. Bununla birlikte, önemli olan kriz değil, yaratacağı sonuçtur, yani yeni ve oldukça yüksek düzeyli formal ilkelerdir. Bu Kuhn'un paradigmalarının oluşturduğu prizma üzerinden göremediği bir şeydir, çünkü o sırada neredeyse paradigmadan bol bir şey yoktu, her yıl göz kamaştıran

parıltılı havai fişekler gibi yenileri çıkıyordu. Peki onları gözleyen biri gerçekten görebilir mi?

Eğer yalnızca paradigma kaymalarına değil de, gerçekten ilkelerle ilgili olanlar gibi temel denebilecek dönüşümlere odaklanırsak, en azından fizikte, toplam üç devrimin eşlik ettiği uzun bir evrim yaşandığını anlarız. Kimilerinin yaptıkları gibi, bu bölümlerden edineceğimiz verilere dayanarak çıkarımlar yapıp, çığ gibi büyüyecek devrimlerin ilerideki durumunu öngörecek bir kural ufukta görünmüyor. Kaç devrim yaşadık? Toplam üç. Buna bakıp, işin önünü ardını düşünmeden "bir, iki, üç, her zaman" gibi çıkarımlar yapmak olmaz. Bilimsel devrimlerin sonunu öngörebilmek için dikkatli olmak gerekir ama bunu madalyonun iki yönüne de eşit ağırlık vererek ele almakta yarar var.

O nedenle, kuşkusuz biraz tutucu sayılırım ve eski ünlü sözü duyar gibiyim: Fizikçiler bilimin 19. yüzyılın sonlarında, tam da en temel dönüşümleri doğuma yaklaşırken, bir sona geldiğine inanıyorlardı. Böyle bir safsatayı sürekli yinelemekten kaçınalım. Ancak bir dahaki sefere de bunun yine boş bir safsata olacağına kim karar verebilir? Kategorik tümcelerden kaçınıp, kısaca *"eskiden yanılmış olduğumuza bakarak, her seferinde yanılacağımız sonucunu çıkarabilir miyiz?"* sorusunu sormak daha akıllıca olmaz mıydı?

Burada kapatırken Thomas Kuhn'un ve Michel Foucault'nun *Kelimeler ve Şeyler* [*Les Mots et les Choses*] adlı yapıtında belirttiği düşünceler arasındaki benzerliklere dikkat çekelim. Kuhn bilimi belli bir andaki, her biri ortak bir kaynaktan çıkan bir paradigmalar ve taklitler derlemesi olarak görürken, Foucault için bilim entelektüel bağlamda edinilmiş bütün bir koleksiyon demekti (O bunu yüzyılın *"épistémé"*si olarak adlandırıyor). Her iki durumda da çekişen kavramlar, yani *épistémé* ya da paradigma düşünme biçimlerinin tarihi için uygun göstergeler olabilir, ama bunların (bilimle ilgili tek şey olan) "gerçek" ile ortak hiçbir şeyleri yoktur.

XV

YÖNTEM

Sorunun durumunu inceleme amacımızda ilerliyor ve bu kez bilimin yöntemi üzerine odaklanıyoruz. Özellikle böyle bir yöntemin bulunduğu sıklıkla yalanlandığından, bu başlık kaçınılmaz oluyor. Ben de ister istemez Feyerabend'i ve onun yolunu izleyenleri düşünüyorum. Şöyle bir bakalım.

KURMAK İÇİN DEĞİL, YARGILAMAK İÇİN BİR YÖNTEM

Bugünün biliminin çok geniş ve tutarlı olduğu bilindiğinden, insan kendini bu niteliklerin kaynağını ve hatta bilimin nasıl olup da var olduğunu merak etmekten alamıyor. Elbette neden gerçekliktir ama hangi güçlü yöntemle bunu sorguluyor ve böyle doyurucu, zaman zaman da böyle garip yanıtlar alıyoruz?

Bacon ve Descartes "yöntem" sözcüğünü kendi sıradan anlamında, yani kesinlikle daha fazla bilgiye götüren, bir davranış kuralı, bilim kurmak için bir yöntem olarak kullandılar. Bu anlamda, Bacon'ın felsefeyi eleştirişi ile yöntemin gücüne olan inancı arasında belli bir çelişki vardır.

Aslında, böyle bir yöntemin bulunduğunu varsaymak felsefi bir postüladır. Bilimi belli bir kesinlikle üretmenin yöntemi, eninde sonunda bilimi kullanarak bulunacak olandan daha yüksek dereceden bir ilkeye sahip olunduğunu varsayar. Descartes böyle bir ilkeye sahiptir: Önünde her şeyin hemen netleşeceği "*neden*" denen şeyin üstünlüğü. Bacon gerçeğin kendisinin "konuştuğunu" varsayar ve bu da zaten onu sorgu-

lamak için yeterlidir. Bu da aslında tümevarıma körlemesine güven duymakla aynı kapıya çıkar. Ben, Bacon tarafından "*bir aksiyomdan öbürüne düzenli ve kademeli bir ilerleyişte en genel olanlara ancak en sonunda ulaşılır*" sözleriyle önerilen öteki seçeneği yeğlerim. Bu yaklaşım, felsefi ilkeleri, bilimin kılavuzluk yapan ilkelerini de içerecek biçimde, daha deney ağacının başında koparmayı önerir.

Bu, peşinde olduğumuz bilimi kurma yöntemi değil, onu oluşturulduktan sonra, sahip olması beklenen biçimi dayatmaksızın, yargılamakta kullanılabilecek olan yöntemdir. Temelde, bilimsel temsil ve gerçek arasındaki bağıntının niteliğini kestirmek için bir grup pratik kuraldan, doğruluğunu sınamak ya da daha doğrusu gerçek ile uyuşmak için bir dizi ölçütten oluşur. "Yöntem" bu anlamda anlaşılınca, araştırmacıların bilgi toplamak ya da keşif yapmak üzere izleyebilecekleri özel yolları kapsamaz. Bu yöntem kavramı, o zamana dek biriktirilmiş bilgiyle, o bilgiyi artırmak için yola çıkanlara göre daha çok ilgili olduğundan, insanlıkla ilişkilidir. Bu, gerçekliğin bütün başka temsil biçimlerinden farklı olarak, bilime özgü bir yöntemdir.

HANGİ YÖNTEM?

Yöntem sorusu bilgi kuramındaki uzmanlar arasında oldukça tartışmalı bir sorudur. Buradaki güçlük bir ölçüde birbiriyle ilişkili ama aslında tümüyle farklı iki soru arasındaki karışıklıktan ileri gelir. Bir keşif nasıl yapılabilir? İnsanlık bilgi ile gerçek arasındaki uyumu nasıl sağlar? Tartışmalara yol açan bunlardan ilki, bizim özellikle ilgilendiğimiz ise ikincisidir.

İşe yöntemin ne *olmadığını* söyleyerek başlamak daha kolaydır. Bu bir araştırma projesi ya da bir veri tabanının derlemesi değildir, Descartes'ın yapılabileceğine inandığı gibi, basit bir biçime indirgenerek, soru çözmek üzere "aklı yönlendiren" davranış kuralları dizisi de sayılmaz. Burada böyle girişimleri ya da davranışları tümüyle boş, yararsız olarak gördüğüm izlenimini vermek de istemiyorum. Ama bunlar da özellikle bilimsel olmasa da verimli ve düzenlenebilir bir çabadan kaynaklanıyorlar.

Peki o zaman, eğer varsa, "bilimsel yöntem" denen şey nedir? Eğer Thomas Kuhn haklı olsaydı ve bilimin gelişimi de yalnızca daha sonra taklit edilmek üzere, paradigmalar olarak sunulan bir dizi hamle olsaydı, ben burada olumsuz yanıt verme eğiliminde olacaktım. O zaman da ortalıkta ne kadar paradigma varsa, bizim de zamanın ruhuna göre değişen ve bir yönergeden çok, bir esinlenmeye benzeyen, o kadar yöntemimiz olacaktı. Feyerabend daha da öteye gitti ve bilimi kurarken yöntemin varlığını açıkça yalanladı.

Konuşmakta olduğumuz bilimin hangisi olduğunu ve yöntemin amacının ne olduğunu belirlememiz önemlidir. Daha yeni yeni oluşmaya başlayan ve hâlâ derdini tam anlatamayan bilim ya da olsa olsa deneysel bir bilim, kendi güvenilir yanlarını garantileyen ve sarsıntılı kavramlarını doğrulayan harika yöntemin varlığına üstün gelemez. O yüzden kendimizi, Roger Penrose gibi bir bilgi anıtının "görkemli" dediği kadar önemli oranda tutarlı denebilecek olan bilimlerle sınırlı tutacağız. Bu bilimler hayranlık uyandıracak, insanı üzerinde düşünmeye yöneltecek bilimlerdir.

Yöntemin amacına gelince, bir kez daha belirtelim ki, "*beğenmezseniz paranız geri verilir*" türünde garantilerin eşlik ettiği bir davranış kodu olamaz. Gerçeğin kendi iç doğasını açığa çıkaracak bir yöntem izlemenin, o gerçek hakkında hemen hemen mükemmel derecede bilgi sahibi olacağını varsayacağı açıktır. Bilinmeyen bir kara parçasında bütün yüzeyin haritasını çıkaracak bir yöntem yoktur. Bu basit sav beni, Feyerabend'in eleştirisinin, çok açıkça görünmese bile, bir ölçüde doğru olduğuna inandırdı. Onun seçtiği örnekler bu izlenimi doğruluyor ve biz de o yüzden, bir zamanlar çekici gelen ama şimdi eski diyeceğimiz bu düşünceden vazgeçeceğiz.

Tartışacağımız yöntem bize, bir bilimin sağlam temellere oturup oturmadığını ve tutarlı bir bilgi içeriğine sahip olup olmadığını anlama olanağı verecek olandır.

Yöntemi bu şekilde tanımlayarak aslında gerçeğin (en azından bir bölümünün), evrensellik ölçütlerini ve mantıksal tutarlılığı kullanarak bilinebileceğini varsaymış oluyoruz. Biliniz ki bu çok sağlam bir varsayımdır, ama yine de, belki biraz şaşır-

tıcı olsa da, gerçekler tarafından karşı konulmaz bir biçimde dayatılan ve geçen zamanla birlikte doğrulanmış bulunan bir kanıta karşılık gelmektedir.

Son olarak, Karl Popper'e ve onun koyduğu, bilimi deneysel olarak çürütülebilecek önermeler formülasyonuna sınırlayan temel ölçüte değinmeden, yöntemden söz etmeye olanak yoktur. Bugün artık klasikleşmiş olan Popper'in koşulu, güvenilir hale gelmiştir. Tartışacağımız yöntem tam olarak bunu içermektedir.

DÖRT AŞAMALI BİR YÖNTEM

Bilimin özel olduğunu vurgulayan, iyi tanımlanmış bir yöntem vardır. Biz bunu dört aşamalı olarak adlandıracağız, çünkü deney ve düşüncenin, her zaman değilse bile, dönem dönem bilim tarihinin dört farklı aşamasına karşılık gelen dört farklı etkinliğini içeriyor. Bunlar daha çok birbirini tamamlayan dört bilgi yapısıdır. Biz bunlara *deneycilik*, *kavram oluşumu*, *gelişme* ve *doğrulama* diyeceğiz.

Bu yöntem çağdaş fiziğin tümüne yayılır ve onun herkesin bildiği ama nerede bulacağını bilmediği, bir tür "*folkloru*"nun bir bölümünü oluşturur. Bunun kökenlerinin izi geriye, bilimin bugün daha dikkat çekici hale gelen formalizminden kaynaklanan küçük ayrıntılar dışında, yöntemin açıkça sunulduğu Pierre Duhem'in *Fizik Kuramı* [*La Théorie Physique*] yapıtına dek sürülebilir. Ama yine de, bilimsel çevrelerde çok yaygın olarak tanınmadığı için, bu kitabın önemli bir etki yaratması pek olası değildir. Daha güvenilir kaynaklar Einstein'ın, Heisenberg'in denemeleri ya da Richard Feynman'ın *Fizik Yasaları Üzerine* [*The Nature of Physical Laws*] adlı kitabıdır.

Öyle anlaşılıyor ki, söz konusu olan dört aşama, daha önce tartıştığımız klasik mekanik tarihinin farklı dönemlerine oldukça iyi bir şekilde karşılık gelmekte ve bu bilimi uygun bir örnek haline getirmektedir. Deneysel ya da araştırıcı aşama gerçeklerin gözlenmesi, "ne olduğunu görmek üzere" deneylerin yapılması, verilerin toplanması ve son olarak da deneysel kuralların bulunmasından oluşur. Burada, Kepler'in gezegenlerin devinimi konusundaki deneysel kurallarının ve

Galileo'nun düşen cisimler için söylediği kuralların yanı sıra, Tycho Brahe ile Galileo'nun gözlem ve ölçümlerini buluyoruz. Gelişmenin bu aşamasında bir bilgi alanının, olgunlaşmış, tutarlı bir bilim haline ulaşmış olmayacağı açıktır.

İkinci aşama, kavram oluşumu, daha kesin söylemek gerekirse de, kavrama etabıdır. Bu aşama, gerçeğin bir temsiline, bu temsili yönetebilecek bir ilkenin ya da ilkelerin bulunuşuna izin veren uygun kavramların geliştirilmesi ve seçiminden oluşur. Amaçlı olarak "keşif" terimini değil, "buluş" terimini kullanıyoruz. Gerçekten de keşif ancak iş doğrulandıktan sonra söylenebilir. Bir buluşun nasıl yapılacağının bir reçetesini verme olanağı bulunmadığı için, kavramanın bu yanı kaynağını hiç ortaya dökmedi. Farklı bilimciler bunu farklı biçimlerde açıklayabilirler. Kimisi onu bir mantık zinciriyle doğrulamayı deneyebilir: "Bu örnek şöyle şöyle bir kavramın işin merkezinde olmasını ve onun temsil ettiği olgunun belli bir şekilde çalışması gerektiğini önerdi. Şu öteki örnek de olabilecek durumların alanını daralttı, bir üçüncüsü ise beni daha derinlemesine araştırma yapmaya zorladı. Sonra kendime bu özel varsayımın en basit varsayım olup olmadığını sordum... Denedim ve sonunda 'evreka!'"

Bu türden bir mantıksal açıklama, Kekulé'nin benzen döngüsünü bulması gibi, tümüyle akıl dışı (irrasyonel) kimi örnekleri genellikle karşısında bulur (Kekulé düşünde kuyruğunu ısıran bir yılan görmüştü). "Ama elbette benzen molekülü halka biçimindedir!" Ayrıca, özel durumlar ne olursa olsun, bu, sözcüğün tam anlamıyla dahilik aşamasıdır.

Newton'ın dinamik formüllerini oluştururken, bu kavrama aşamasından nasıl geçtiğini gözümüzün önüne getirmeyi deneyebiliriz. Önce, kütle, kuvvet, konum ve hız kavramlarını netleştirmesi ve ivme kavramını icat etmesi gerekiyordu. İvme eninde sonunda bir ilkede görünecekti ama bunun nasıl olacağı hiç de açık değildi. Acaba kendi adını taşıyan yasayı çeşitli olasılıkları düşünerek mi bulmuştu, yoksa bu yasa onun aklına kendiliğinden mi gelip oturmuştu? Kendisi ikinci seçeneğin doğru olduğunu, başka mucitlerde de genellikle rastlanan bir kesinlik duygusunun eşlik ettiği bir aydınlanma olduğunu söylemişti.

Birdenbire gelen ve üçüncü türden sayacağımız böylesi bir bilgi, Spinoza'da olduğu gibi, büyüleyici bir şeydir ama yanıltıcı da olabilir. O zaman da bunu bilimin insani yanları arasında, biraz pişmanlık da duyarak, sınıflandırmamız gerekir, ama bu buradaki tartışmamızın dışında bir konudur. Üçüncü aşama olan gelişme, tersine, zaman zaman izlenen yol biraz engebeli olsa da, mantık tarafından yönlendirilmektedir. Belki de büyük bir çaba harcama ve düş gücü kullanma pahasına, ilkelerin olası sonuçlarını tümünü incelemeyi içerir. Pek çok durumda yalnızca belli başlı sonuçlar, özellikle bilinen gerçeklerle ilgili olanlar değerlendirilir. Böylece, Newton gezegenlerin ve düşmekte olan cisimlerin devinimi üzerine olan ilkelerini sınayarak işe başlar. Yalnızca ondan sonra, geçen zamanla ve pek çok kişinin çabalarıyla, sonuçların bir bütün halinde olmasına yönelik, daha tutkulu bir çaba gelir.

Eğer fizikten söz ediyorsak, bu gelişme genellikle hesaplamalar yoluyla olur, çünkü sınanacak yeni temsil biçimi matematiksel terimlerle ifade edilmiştir. Ama bu, örneğin sağduyunun getirdiği ve yoğun bir bilgi temeli olan mantığın yalnızca akla uygunluğun sınandığı süreçte bir rol oynadığı biyolojide neredeyse hiç geçerli değildir. Charles Darwin'in *Türlerin Kökeni Üzerine* (*On the Origin of Species*) adlı yapıtı bu açıdan çok açıklayıcıdır.

Dördüncü aşama doğrulamadır. Popper'in bir kuramın "yanlışlanmaya" açık olması, yani çürütülebilmesinin de söz konusu olabilmesi gerektiğini belirtirken kastettiği bu aşamadır. Bu aşamaya dek yalnızca öngörüleriyle donanmış varsayımlar olan kuram, düşünce ya da ilkenin kendilerini reddedilmeye bıraktıkları fazdır. Her öngörü sistematik olarak deneylerle sınanmaya tâbidir. Peki deney öngörü hakkında ne söylüyor, doğru mu yanlış mı? Onca öngörü (bu sayının büyüklüğü kuantum mekaniği için hiç de abartı sayılmaz) ve deney söylemektedir. Eğer yanıt her zaman evet ise, o zaman bu düşünce kuşkusuz doğrudur ve doğa da bunu nesnelerin tam da özüne ait olmaya değer bulur. Yanıt hayırdır. Bunun nedeni kuramın yanlış ya da en azından eksik olmasındandır. Bunun reddedilmesi gerekir, en iyimser görüşle, yeni gelişme-

lerle daha net hale gelinceye değin, güvenilemez. "Görkemli" bir kuram için geniş bilgi alanlarını birleştiren gerçek bir doğrulama, eğer olabilirse, ancak kuram çerçevesinde deneyin olumsuz yanıt vermesi halinde elde edilebilir. Bunun dışında, yapı sallanır ve ancak daha üst düzeyde bir tutarlılık getirecek derin bir dönüşümle kurtarılabilir.

DÖRT AŞAMANIN DOĞASI

Her bir yeni bilimin doğuşunda ya da dönüşümünde bu yöntemin yeniden kendini göstermesini beklemek safça olur. Gerçekten de, yöntem bilime yalnızca bir çerçeve sağlar ama bir yasa değildir. Zaman zaman belli aşamalar, sıklıkla da çok kolayca tamamlanıp, dikkat çekmeden yok olduklarından ötürü, gözden kaybolabilirler. İlk gözlemler öyle açık olabilir ki, ikinci aşama dahice bir öngörü gerektirmeyebilir ya da gelişme aşaması kısaca basit bir sav olabilir. Sıkça görüldüğü üzere, tarih de farklı aşamaların ayırt edilmesini güçleştirebilir. Burada tanımladığımız yöntemin matematiğe uygulanamayacağını ekleyelim. Bu yalnızca, konusu Gerçeği alabileceği herhangi bir biçim için incelemek olan fen bilimleriyle ilgili bir şeydir.

Yöntemi analiz ettikten sonra, bilimsel temsilin nasıl oluşturulduğunu ve onun gerçek ile ilgisini anlamak şimdi artık daha kolaydır. Gerçek, biri o olmaksızın hiçbir şeyin doğru olamayacağı sürecin başında, öteki de sonunda olmak üzere, iki kez çağrılır. Araştırma evresinde, düşünme sürecinin başlaması için gerekli olan bilgiyi sağlar. Gerçek, belki de yüzyıllarca sürebilecek olan *doğrulama* aşamasında, bilimcilerin tamamlamaya uğraştığı öngörüler dizisine olumsuz yanıt vermeden rol alır. Ancak o zaman, bilgimizin ***kesin*** (bu terim bir anlam taşıyorsa) olduğunu düşünebiliriz.

Üçüncü aşama olan gelişme geniş bir mantıksal alıştırmadır ve bilimin öğretilmesi işinin hem de bu alanda eğitilmemiş gözün bilimsel yöntemin en önemli örneği olarak görebileceği derecede çok vurguladığı şeydir. Popper'in bütün yapıyı riske atma pahasına ısrarla doğrulamaya uğraştığı bu zararlı eğilimi bir ölçüde dengelemeye çalışmak içindir. Bir temsil biçimini oluştururken, gelişmenin temel rolü tabanı dördüncü aşamaya, yani doğrulamaya hazırlamaktır.

İkinci aşama olan kavrama hayranlık uyandırır ve çevrelerini saran dünyadan çok, sarılmış bulunan insanlarla ilgili olanları büyüler. Burada romantizm de işe katılıp, yorucu çabalarının bir ödülü olarak tam ve net sonuçlar alan dahileri şaşırtır. Bu biraz da Balzac'ın "mutlaklık" ile karşılaşan Balthazar Claes'tır. Genellikle şaşırtıcı olan bu aşama ayrıca zaman zaman birtakım mantık ya da akıl dışı öğelerin (Kekulé'nin düşü) patlaması yüzünden ve yaratıcı aklı zorlayan imalar, bağıntılar, benzerlikler için bir bulmaca gibidir. Araştırmacı açısından bilimi saf mantıksal bir davranışla eşitlemek üzere geleneksel eğitimden geçmiş akılcı bir izleyici, uyarılmış bir aklın izleyeceği önceden kestirilemeyen ve Arthur Koestler'ın *Uyurgezerler* [*The Sleepwalkers*] adlı yapıtında çok güzel betimlenmiş yolu bulması durumunda şaşırırdı. Ama yine de, bu akla pek uymayan yanların kişiliğin her bileşenini denetleyen yoğun bir entelektüel çabanın sonucu olmaları çok olasıdır. Son olarak da amaca ulaşıldıktan sonra, yerinde duramayan aklın coşkusu yerini sessizliğe bırakacaktır. O zaman da yazar her şeyi dikkatlice toparlayacak ve sonuç, yalnızca tıpkı denizden gelen ve ayakları köpüklerden arınmış Venüs gibi anahtar düşüncelerin yer alacağı bir bilimsel yayın için uygun olan biçimde olacaktır.

Eğer öncelik Gerçekliğe verilecekse, şaşmak gereken şey başka yerdedir. Gerçeğin bir ürünü olan insan beyni, o gerçeğin beklenmedik ölçüde iyi bir görüntüsünü ürettiğinde, bu sanki gerçeğin kendisiyle bale yapması gibidir.

BAŞARISIZ GİRİŞİMLERİN VERDİĞİ DERS

Bilimsel konularda tarih ve eğitimin müfredat programı genellikle yalnızca başarılı girişimleri tutar, böylece keşif sürecinin biraz hatalı bir görüntüsünü yansıtır. Ayrıca da yalnızca olağanüstü bireylerin bilim "üreteceği" gibi bir görüntü oluşabilir. Ama başarısız girişimleri göz ardı etmenin en ciddi sonucu, yapılan şeyi doğrulamanın gereksiz bir formalite olarak görünmesi olur. Ama insan aklı doğal bir olgu için tam bir açıklama getirebilirse ya da evrensel bir ilkeyi keşfederse, merak duyumuz öyle keskinleşir ki, böyle bir mucizeyi onaylamayı

reddeden bir doğayı kavrayamayız. Ancak asıl durum bundan hayli uzaktır ve tersine, başarısız girişimler de oldukça öğreticidir.

Parçacık fiziği hâlâ gençlik dönemini yaşamaktadır ve bu alanın uzmanlarının çoğu da bugün hayattadır. Son kırk yılda önerilmiş pek çok kuramı, sonuçları birçok deneyde toplanan verilerle doğrulanmış ilkeleri anımsamaktadırlar. Sayısız araştırmacı da daha önceki bulguları doğrulayacak yeni öngörülerde bulunmak üzere işe girişeceklerdi. Büyük hızlandırıcılar gerektiren deneyler kurulacak ve sıklıkla da ne yazık ki bunların biri ya da daha fazlası beklenen sonuçla çelişecek, belki de bir parametre için beklenenden farklı bir değer üretecekti. Kimi zaman harcanan çaba tümüyle boşa gitmiş olmayacak ve deneysel sonuçlar yeni ve eninde sonunda başarılı olacak durumları getirecekti. Olabilecek en kötü şey de başarısız kuramın ortaya attığı kuralların deneysel kuralların arasına karışmasıydı.

Parçacık fiziğinde bizi iki önemli buluşa, yani zayıf ve elektromanyetik etkileşmelerin birleşmesine ve kuarkların keşfine, Rilke'nin aşağıdaki dizelerinde uygun biçimde tanımlandığı gibi, reddedilmiş yolları elemeden, götürecek uzun yolu izlemek ilginçtir:

Hiçbir yere gitmeyen patikalar,
Sanki rastlantıyla kıvrılmışcasına,
Yolunu yitirmiş patikalar.

Sağ kalmayı başaramamış güzel fikirler mezarlığı çok geniştir ve bu yalnızca parçacık fiziğinde böyle değildir. Bir nükte olarak sayılabilecek ve gözlem aşamasını geçemeden ölen bir düşünce (ki bir zamanlar evrenbilimde favorimdi) için söylenmiş bir atasözünü biraz da acı bir gülümsemeyle anımsıyorum:

"Güzel bir kuramın berbat gerçekler tarafından adice öldürülmesinden daha korkunç bir şey yoktur." Burada, gerçeğe doğru onca ok atılırken, bilimcilerin düş gücünün ve varsayım üretmedeki verimlerinin altını çizelim.

YÖNTEM VE SOSYAL BİLİMLER

Yukarıda söylenenler bizi sosyal bilimlerin alanına götürüyor. Amacımız onları eleştirmek değil, yalnızca yöntemlerini inceleyeceğiz. Çok sayıda çalışma, hatta demografi (nüfus bilimi) ve ekonomi gibi bilimler matematikten, özellikle de istatistiksel yöntemlerden çokça yararlanırlar.

Böyle yöntemlere başvuran bilimlerin fen bilimlerine, bu yöntemleri kullanmayanlara oranla daha yakın olduklarından da daha önce söz edilmişti. İstatistik, bağıntılar kurmada, yani, iki ya da daha çok özelliğin birlikte ortaya konduğu durumlarda araç-gereç sağlar. İyi bilinen bir örnek verirsek, salgın hastalıklar biliminde yağ oranı yüksek bir yemek tarzını seçenlerle, kalp krizinin görülme sıklığında yükselme arasında bir bağıntı gözlenmiştir. Bağıntı genellikle nedensel bir ilişkinin bir işaretidir, ama yine de nedeni ya da sonucu açıklamaz, hatta gerçekten bir neden olup olmadığını da söylemez. Bu özel örnekte klinik çalışmalar, gerçeklerin ayrıntılı bir incelemesi ve yağların metabolizması bakımından fizyolojinin kaydettiği ilerleme sayesinde, yalnızca bir bağıntının var olmasının yerine, en azından kısmi olarak, işleyen bir mekanizmayla ilgili bilgiler konulabilir. Kaba bir bağıntıdan farklı olarak, bu bilgiye bilimsel yöntem uygulanabilir.

Temelde, deneysel kuralların keşfini hızlandırmada istatistiksel yöntemler çok önemlidir, ama eksiksiz bir bilimsel yöntemce sağlanan tutarlılığı elde etmede bunların yeterli olduklarını varsaymak da yanlış olur.

Yöntem sorunu uzun zamandır sosyal bilimlerdeki uzmanların aklını kurcalamıştır ve Popper'in analizi bu bağlamda, fen bilimlerinde olduğundan daha fazla gelişmiştir. Claude Lévi-Strauss'un antropolojideki ünlü yapısalcı yöntemini tartışarak kendi çapımdaki katkımı yanıt olarak sunmak istediğim soru hassas bir konudur. Eğer, bir kez daha, fen bilimlerindeki yöntemlerle karşılaştırdığımızda, arada kapanmaz bir açıklık olduğu sonucuna varırsak, Lévi-Strauss onu çoktan tanımıştır bile.

Burada, uygun bir şekilde temsil edeceğimi umarak, yapısal yöntemin kaba bir özetini veriyorum: Gerçeklerin belli bir

kümesi, örneğin aile ilişkileri ya da masa tavırları incelenir. Önce giriş aşamasında konu hakkında bütün bilinen gerçekler toplanarak ana gövde oluşturulur. Bu temel bir görevdir ve dört aşamalı yöntemin deneysel aşamasına benzer. Kavramada oluşan ikinci aşama da bulunmaktadır, çünkü bilimci kısaca gözünde canlandırır, icat eder ya da gerçekleri düzenleyen ve yapı adı verilen bir ilkeyi kısaca onaylar. Üçüncü aşama, yani geliştirme de sistemli olarak bu gövde içinden yapının evrensel varlığını algılar.

Ama kuramın çürütülebilmesine olanak veren dördüncü aşama ne yazık ki burada bulunmamaktadır. Bu yokluğun nedenini iyi koymak gerekir. Eğer gövde tamamlanmışsa, gerçeklerin gelecekte gözlenmesiyle ilgili olarak hiçbir öngörüde bulunulamaz, çünkü gövde dışında hiçbir şey yoktur. Öte yandan, araştırmacının doğrulama amaçlı kullanılabilecek olan gövdenin önemli bir bölümünü tümüyle göz ardı etmesini beklemek de pek akla uygun olmazdı. Araştırmacı olsa olsa ancak yeni keşfedilen gerçeklerin yapılan her türdeki öngörüyü doğrulamasını bekleyebilir. Ama bilinen bir güçlük daha vardır, o da sosyal bilimlerdeki öngörü yeteneğinin çok sınırlı oluşudur.

Daha az bilinen bir güçlük daha vardır. Yazarların yaratıcılığı geri tepebilir ve bulduklarını öne sürdükleri yapıların gerçekten var olup olmadıkları hakkında yeni kuşkular uyandırabilir. Antropologların düş gücü kuşkusuz 1960'lı yıllarda temel parçacıklarla ilgili olarak toplanan veriler için birçok yapı keşfeden fizikçilerin düş gücünden daha zayıf değildir. Üstelik bu yapıların bir bölümünün sanal olduğu sonradan anlaşılmıştır. Dahası, fizikçiler tarafından önerilen yapılar nicel anlamda antropolojik yapılarda bulunan nitel ilişkilere oranla sağlanması daha güç bir doğrulamayı gerektirmiştir, çünkü nitel olanlarda yoruma bırakılan hareket alanı daha geniştir. Bugün, zekânın ve düş gücünün sınırları konusunda çok az şey biliniyor. Düşleme gücü yeterince iyi olan biri herhangi bir gövde üzerinde akılcı yapılar kuramaz mı? O zaman, daha zorlu başka koşullarda kullanılan aynı yöntemin insanı yanılsamalara götürdüğünü bilince, gel de kuşkulanma! Yapı kurmaktan yana olan bu yöntem içten bir inanışı doğrulayabi-

lir ama ancak doğrulamanın sağlayabileceği reddedilemez bir kanıta izin vermez.

TUTARLILIK VE GÜZELLİK

Evrensel bir bilimi sınamak üzere tasarlanan her deneyin bir tür zar atışı olduğunu, bir ilkenin kaderinin tehlikede bulunduğunu daha önce söyledik. Dünya üzerindeki laboratuarlarda her gün bilimin gerçekle karşılaşması böyle olur. Araştırmacılar ile gerçek arasındaki, hayranlık ve biraz da kışkırtmayla oluşan bu ilişkinin gerçekten hakkını verebilmek için, ellerindeki tüm teknik olanakların da yardımıyla, belli başlı bir deneyi hazırlamaya yıllarını verenlerin eğlenceli Makyavelizmini bilmek gereklidir. Bunlar "tersten milyonerler" adlı uzmanlar kulübüne üyedirler. Bu uzmanlar, açıkça bilinen bir ilkenin sonuçlarını çok duyarlı biçimde doğrulama umuduyla, ama ayrıca ilkelere giden yolda yeni bir avı başlatacak bir farklılık sezinlemeyi de elden bırakmayarak, çeşitli fiziksel büyüklükleri noktadan sonra altı ya da daha fazla basamağa kadar giden bir duyarlılıkla ölçerler. Bilim de böyle, yıkım çabalarıyla karşı karşıya bırakılarak oluşturulur. Onun canlı kalabilmesi, güneşin her gün doğmasına güvenmek gibisinden kanıt yoluyla, Gerçekliğin diretişi ve yasalarının varlığıyla olur.

Hem derin hem de tutarlı olan herhangi bir şey kuşkusuz içimizde bir tür güzellik duygusu uyandıracaktır. Bilimsel girişimin bu yanı insanlığımızın en zengin özelliklerinden birini oluşturur, o da estetiktir. Aradaki bağlantı rastlantı değildir, çünkü önce gerçeğe hayranlık duyarken, bir kır görünümünün ya da insan yüzünün uyumundan çıkan neşede, bir flütün aynı anda hem formal hem de yumuşak olabilen bir güzelliğe dönüştürdüğü müzikte güzellik duygumuzu geliştirdik. Güzellik kendini tam bir denge ve sadelikle sunduğunda, bilimin büyük resminin her yerinde var demektir.

Bilimin kavramsal hale getirilmesi hiçbir kurala uymasa bile, genellikle uyuma giden yolda bir arayıştır. Dirac işi, *geçerli bir kuramın önce taşıdığı güzellik ile ayırt edileceğini* söylemeye kadar vardırmıştır. Bunu derken kuşkusuz özellikle matematikçilerce değerli bulunan ve tutarlılıktan ayırması

güç olan bir güzellik biçiminden söz ediyordu. "Bütün var olan, düzen ve güzelliktir..." Mantıksal tutarlılığın, bizi şaşırtacak kadar geniş bir alana uygulandığında, içimizde aynı heyecanı, güzel şeylerin tetikleyeceği neşeyi uyandırmasının nedeni nedir? Bunu bilemem, o yüzden de bu gizem hakkında sessiz kalsam iyi olacak. Ama yine de bu bilimin önemli bir yanıdır ve eğer felsefe ile estetik arasındaki bağı anlamaya çalışırsak, bunu en azından bir örnekle göstermemiz gerekir.

Daha önce birçok kez sözünü ettiğimiz bir ilkeyi, eylemsizlik ilkesini ilgilendiriyor. Ne kadar güzeldir o! Önce dünya üzerindeki yatay bir hareketle ilgili basit bir ilkeymiş gibi görünür. Önce Descartes, sonra da bunu mutlak zaman ve uzaya bağlayan Newton sayesinde evrensel hale gelir. Kendisini bu matristen kurtarıp, görelilik kuramında yeniden ortaya çıkar. Bizim güzellik peşinde koşmamız birtakım ayrıcalıklı referans sistemlerinde kısıtlanıp, katlanılmaz bir kusur haline gelir. İlke de o zaman kütleçekim etkilerini hesaba katarak ve böylece yeniden genelleşmiş bir hale gelerek kendini temize çıkarır. Patladıktan sonra bir çiçek demeti haline gelerek sönümlenen havai fişek gösterisindeki gibi, bu ilke de bugün basit bir yasadır, uzay-zamanın eğriliğine egemen olan ilkelerin, Einstein'ın göreli kütleçekim kuramındaki denklemlerin ikincil bir sonucudur.

Arthur Rimbaud ne demişti? "Güzelliği sorgulayıp durmayı artık bırakıyorum." Bunlar bir ozanın sözleri ve durumu bir bilimcinin duygularından daha iyi ifade ediyor.

İLKELERİN ESNEKLİĞİ

Görelilik üzerindeki son gözlemimiz ilkeler konusunda bir başka şeyi aklımıza getiriyor. Özel göreliliğin uzay-zaman cinsinden formülleştirilebileceğinden, zamanı ve uzayı ayrı gözlem çerçevelerinde tutan bir dille söz etmiştik. İlk tanım geometrik, ikinci ise cebirseldir ve bir çerçeveden ötekine geçerken, uzayın genleşmesi ve zamanın büzüşmesi cinsinden ifade eder. Bu da bize doğa yasalarının kodlanmasının parlamentoda maddeleriyle, fıkra ve bentleriyle oylanan yasalar kadar somut olmadıklarını gösteriyor. Doğa yasaları belki uzakmış gibi

görünebilecek olan ama yine de tam özdeş olan başka mantıksal biçimlere de dönüştürülebilir. Kuantum mekaniği önemli bir başka örneği daha, hepsi birbiriyle özdeş olan farklı biçimleriyle sağlar, Heisenberg'in matrisleri ile Louis de Broglie'un dalga fonksiyonları gibi.

Böylece bir kuramın biçimi, hatta onun temel kavramları genelde tek olmaz, zaten kuramın kökeninde de yalnızca tek bir güzel soru yoktur. İlkeler ve yasalar, temel ve türetilmiş kavramlar birbiriyle değiştirilebilir ve birbirinin yerine bir tanrı ya da avatar* rolüne soyunabilirler. Kuramın kendisi tek kalır, çünkü değişik biçimlerinin hepsi birbirine özdeştir. Bunlar aynı sonuçlara varırlar ve genellikle birbirlerinden türetilebilirler.

Bu sanki ilkelerin biçimi gibidir, hangi yolun izleneceği ise dayatılmaz. Dağın doruğuna giden tek bir yol yoktur. Bilgi açısından her doruk bir "gerçek içinde gerçek" gibi görünür, kendi başına var olmuştur ve bilimin araştırdığı yüzlerinin her birinden geçerek ulaşılabilir.

DÜNYADA EN DÜZENLİ ADİL DAĞITILAN ŞEY

Artık sonlara gelirken, dört aşamalı yöntemle hem formal bilimlerin gelişimi hem de bir bakıma onun günümüzdeki uzantısı olan, sağduyudaki değişim arasındaki güçlü bağa dikkat çekeceğiz.

Çağdaş bilimsel yöntem atalarımız için hayli şaşırtıcı olurdu. Tümevarım yöntemini işin merkezine alan Bacon'ın tartıştığı yöntemler arasında böylesi yoktur. Bu eski yönteme göre, gerçekler üzerinde dikkatli bir çalışma bizi uydukları yasalara neredeyse doğrudan götürür ve böylece yasaları gerçeklerden tümevarım yoluyla "çıkarmamızı" sağlar. Bu ise çağdaş bir düşünce olan kavrama aşamasından çıkan bir çığlık gibidir ve başka hiçbir şey de Kartezyen sağduyudan bu aşamaya özgü düşlemenin özgürce uçuşundan daha uzağa gidemez.

* Hindu mitolojisinde yeryüzüne insan ya da hayvan şeklinde gelen bir tanrı –çn.

Formal bilimle sağduyu arasındaki daha önce uzun uzadıya ele aldığımız ilişki üzerinde daha fazla durmayacağız. Yalnızca, Hume'un ardından, Piaget'nin de yaptığı gibi, çağdaş psikolojinin çocuklardaki kavramların ve sağduyunun (genetik bilgi kuramı) kökeninin onları çevreleyen dünyayı gözlemlemede yattığını kabul ettiğini söylemekle yetinelim. Buna uymayan durumlarsa, çocukluk yıllarımızda ışık hızına yaklaşan trenleri gözlememiş olmamız ve karyolalarımızın, uzayın eğriliğinin çıplak gözle bile görülebileceği kara deliklerin yakınında konuşlanmamış olmasıydı. Elektronların kırınım yaptıklarını hiç görmedik, olsa olsa örümcek ağı biçimindeki, hareli kumaşa benzer ışıklı bir desen gözledik. Bunlar elbette "resmini" gözümüzde canlandıramayacağımız durumlardır. Bu görüntüler dağarcığımızda bulunmuyor ve beynimiz de onları yaratamıyor.

Dünya basit olabilir ve her yerde ilk göründüğü halindeki gibi kalabilirdi. Eski felsefecilerin düşündüğü tam da buydu ve onlar bu inanç üzerine dayalı, eskileri süpüren ilkeler kurdular. O zaman da bilim klasik haliyle kalırdı, akla dayalı bilim ve formalizmse yalnızca ona biraz daha kesinlik kazandırmak üzere tasarlanmış bir tür astar olurdu. Şeyler böyle olabilirdi ama böyle değiller. Bu bir gerçek, peki ama biz kim oluyoruz da dünyaya nasıl olması gerektiğini dayatmaya kalkıyoruz?

Burada asıl konu başka yerde, bilimin bizi sürekli kısıtlayacakmış gibi görünen duvarları yıkma gücünde yatıyor. Hume insan aklının, şeylerdeki düzenin, bize onları adlandırma olanağı veren düzenin kaynağına ulaşmada yetersiz kalacağına inanırken yanılıyordu. Kant da anlama isteğimizi önsel (önkoşulsuz) düşünceleri dayatarak ve bu isteği ancak imgelemimizin görüntülerle ve sözcüklerle temsil edebileceği dar bir alana kısıtlayarak engellemekle yanlış yapmıştı. Günlük dilin ulaşamayacağı ya da temsil edemeyeceği, düz uzayın dışında kalan şeylere ve hatta tek bir konumdan fazlasını kaplayan nesnelere de başka yollarla erişim sağlıyorduk. İşin mucizevi olan yanı da burası işte. Felsefecilerin karşılaştığı soru da aklın böyle teslim oluşunun kökeni olsa gerek.

Bunun yanıtı açıkça yukarıda tanımladığımız bilimsel yöntemde yatıyor. Dünya hakkındaki klasik görüş aslında sınırlıy-

ken, hiçbir şey bilimsel temsili kısıtlamıyor. Kavrama aşaması süresince yöntem bütün varsayımları, hatta gerçeği taklit etmeye çalışan en aşırı olanları bile ele almada özgürdür. Başka bir yerde başarılı olmuş cesur bir soyutlama, en zayıf ipucunun bile araştırılması ya da boş uzayda yapılan uzun bir sıçrama, kısacası her şey denenebilir. Konduğu dağın tepesinin tek yasal kozu deneyimi, tek etik yanı da tutarlılığıdır. Bu kavrama aşaması herhangi bir önkoşula uymaz. Peki biz dünyanın bizim kendi kurallarımıza uymasını bir kez daha nasıl bekleyebiliriz? Biz olsa olsa onun kurallarını aramaya kalkabiliriz ve onlar da gerçekten çok güzel. O yasalara matematik yoluyla ulaşabileceğimiz gerçeğinin temel bir felsefi keşif olarak yorumlanması gerekir.

Dolayısıyla yöntem vardır, sınırsızdır ve sonunda dayanacağı temel de aklın özgürlüğüdür.

XVI

KAYBOLAN GÖRÜŞ AÇILARI

Eski çağlarda bilinenlere göre, sorunun bugünkü durumundaki yeni öğeler üç noktada özetlenebilir: (i) Mantık dünyaya, bilincimiz düzeyinde değil ama madde düzeyinde sızıyor. (ii) Gerçeğin yasaları hakkındaki bilgimiz, bugün bu bilinç ve onun sezgisel, görsel temsili ve çok daha genel ilkelerin sonucu olarak, neredeyse kesinmiş gibi görünecek şekilde barındırdığı sağduyu için yeterince olgundur. (iii) Son olarak da, elimizdekileri sayarken, kuram ile gerçek arasındaki indirgenemeyecek açıklıktaki uçurumun da bulunduğunu kabul etmeye hazırız.

Bunlar, yeni bir bilgi felsefesinin, bilimin sağlayabileceği başka her şeyle birlikte, en azından dikkate alması gereken şeyleri oluşturuyorlar. Şimdi artık böyle bir felsefenin kurulumunun başlaması için her şeyin hazır olduğuna inanıyorum. Bütün yapı taşları, başka gereçler hazır, planlar da şekilleniyor. Kuşkusuz zaman ve pek çok insanın görüşünü almayı gerektirecek bir girişimi kaba bir yamayla sürdüremeyiz. Yakında başka varsayımların da izlemesini ve bunlara meydan okurken, onları analiz ederken, daha incelmiş bir hale gelmelerinde başarının sağlanacağını umarak, şu an için yalnızca birkaç varsayımı öne sürmemizin nedeni budur. Spekülasyona açık olası yan etkilerini kabul etmekle birlikte, deneme amaçlı birtakım yön önerilerinde bulunma özgürlüğünden yararlanacağım.

BİLGİ KURAMI

İşe bilgi kuramıyla başlamak uygundur, çünkü onun geniş sınır çizgilerini gördük ve eklemek gereken fazla bir şey olmadığını biliyoruz. "Bilgi kuramı" sözünden ben insan bilincinin dünyayı, kendi yasalarına uyan bir dünyayı nasıl bilebileceğini açıklama peşinde olan bir şemayı anlıyorum. O yüzden bu, dünya ile bilinç arasındaki bağıntıların bir oyunu gibidir. Daha kesin konuşmak gerekirse, burada önerilen kuramın, bilincin ve bu bilincin dünyayla kurduğu bağlantıların kökeninin bağlantıların uyduğu yasalarda yattığını düşündüğünü söyleyebiliriz. Bilgi felsefesine gelince, o bunun daha ötesinde yatıyor, dünyanın doğasına sızabilmek için çoktan anlaşıldığı varsayılan dünyayı ve bizim ondan ne kadar haberdar olduğumuzu konu ediyor. Eninde sonunda yalnızca, kendi kendini izleyen Evrenin değerli ama geçici ve kazara oluşmuş düşünce kapları, ateş taşıyıcıları olarak görünen insanların varlığını da tümüyle göz ardı edebilir.

Yönlendirildiğimiz bilgi kuramı hemen hemen tümüyle açıktır. Hume'un ve kavramaya dönük çağdaş bilimin bakış açısını edinmekten ve çevremizdeki dünyayı algılamanın beynimizde, aklımızda hemen hepimiz için iletişim kurmada dil görevi yapmaya yetecek ve sağduyunun var olması için yeterince düzenlenmiş, ortak bir temsil ürettiğini kabul etmekten başka bir şey yapamayız. Bunlar her bir birey için (bütün türler için de) ve daha öncesinde de başka türlerin dünyaya uyum sağlamada yaşadığı uzun evrim zincirindeki çıraklığın meyveleridir.

Kavradığımız dünya atomlardan oluşan ve daha temel olan dünya değildir, oradaki algıladığımız nesneler de karşılaştırma götürmez biçimde çok daha büyüktür. O nesnelerin, kaynağı her ölçekte geçerli olan Evrensel yasalarda bulunabilecek belli özelliklerin mirasçısı olmaları da zaten bu büyük ölçekte gerçekleşir (ama elbette atomik düzeyde bu yasalar başka özellikler de içerirler). Böylece, erişim sınırlarımız içinde bulunan dünya kendisini görme, dokunma ve duyma yoluyla algılanabilecek nesneler biçiminde gösterir. Kendini dikkat çekecek biçim-

de ortaya koyan dünyanın, kuantum yasalarının daha büyük bir ölçekte dönüşüm geçirerek kendilerini ustaca göstermelerinden başka bir şey olmadığını çoktan biliyoruz. Duyularımız arasından koku almanın ve ondan daha az ölçüde de olsa tat almanın, orta ölçekte çalışan moleküllerin algılayıcıları olduklarını gözlemek belki şaşırtıcı gelebilir (bu durum görme için de geçerlidir, çünkü orada da çok küçük sayıda foton algılanabilir ama bu yalnızca çok nadir durumlarda görülür). Nasıl olursa olsun, bizim dünyamız ayrıca birtakım kalıcı özellikleri de sergiler, olaylar arkalarında uzun süren izler de bırakırlar. Bu durum, fiziğin bakış açısından, bir tür belirlenimcilik demektir ama her şeyden önce belleğin, yani bizde geçmişin algılanması demek olan, geçmişin izlerini taşıyan ve yine belirlenimciliğin sayesinde, doğanın bir tür öngörülmesi demek olan belleğin var olabilmesidir. Gerçekten de dünyamız genellikle öngörülebilir, kendisini yineleyen bir biçimde davranır, bu davranışta fizik yasaları, canlılar dünyasının ortak genetik kurallarınca kodlanmış düzenlemelerinden daha büyük bir rol oynamazlar. Tanrı'nın bir lütfu olarak gelen bu monotonluk, bu her yere sızan düzen sayesinde dünyanın bir iç "görüntüsü"nü oluşturabilir ve bunu dili kullanarak tanımlayabiliriz.

O nedenle, dünyanın bizim üzerimizde kendisini kaydettiği bütün özellikler gerçeğin özünü yöneten temel ilkelerden türetilebilir. Bu da önce o ilkelerin, sonra da bilincin çeşitli biçimlerinin geldiği bir bilgi kuramının iyi tanımlanmış çerçevesini oluşturur. Bu tümdengelim (çıkarsama) şu anda hemen hemen tamamlanmıştır ve böylece elde edilmiş bilgi kuramı güvenli ilerleme için gerekli yapıyı kurmada yeterince somut bir temele sahiptir.

Kimi eski "felsefi ilkeler"in nasıl yeniden ortaya çıktıklarını, bunların yalnızca büyük ölçekte uygulanabilir olduklarını aklımızdan çıkarmadan anlayabiliriz. Anlaşılabilirlik ve yerellik olduğu kadar ayırt edilebilirlik de o düzeyde geçerli olan "özellikler"dir. Nedenselliğe gelince, sınırları iyi bilinen belirlenimci günlük deneyimlerimizle yakından ilişkilidir.

Bu durumda da kuantum yasalarının yarattığı gibi görünen "felsefi problemler" kendiliklerinden yok olurlar. Kabul edile-

bilir "ilkeler"in uygulama alanı aslında hayli sınırlıdır. Belli bir ilkenin özel bir durumda etkin olduğu her zaman yine belli bir yanılma payıyla birlikte verilmelidir (sıradan örneklerde bu pay gülünç denecek kadar küçük olabilir, geçmişteki düşünürlerin o *ilkeleri* formülleştirebileceklerine inanmalarının nedeni de budur). İnsan onları giderek daha daha küçük cisimlere genelleştirmeye çalıştıkça, bu başarısızlık olasılığı artar. Bir kez atomik ölçeğe varınca da olasılık öyle büyük hale gelir ki Aristoteles'in ve Kant'ın ilkeleri hatanın dayanılmaz yükü altında çöker.

Burayı kaparken, burada sunduğumuz bilgi kuramının tamamlanmış olmaktan uzak bulunduğunun da altını çizelim. En iyimser görüşle, bir temel oluşturduk ve yaşamla ilgili bilimleri değil de, yalnızca maddeyle ilgili olanları tartışmış olmamız ve parçacıklarla ilgili yasalardan söz ederken, bunların daha geniş ölçekte yarattıkları zengin karmaşıklığa girmememiz zaten kavramayla ilgili bilimlerin görevinin daha yeni başladığını gösteriyor.

LOGOS

Bilim felsefesine ancak şimdi, neredeyse kitabın sonlarına gelirken gerçekten yönelebiliyoruz. Bu konuyu aceleye getirerek ve yetersiz bir biçimde değil, birtakım ana hatlarıyla ele alacağız. Felsefeye olan bu yönelimimizin daha tam yanıtlayamadığımız bir soruya, yani matematiğin doğasına dönerek başlaması gerekir. Bu konu kaçınılmazdır, çünkü formalizmin özü bunu her zamankinden daha fazla gerektiriyor ve "*Geometri bilmeyen buraya giremez*" sözünün bizim binanın girişine kazınması iyi olur.

"Matematiksel gerçekçilik"ten yana olan ve kendi başına var olan bir logosun destekçileri tarafından ortaya atılan ve doğası bakımından gerçekten farklı olan savları bir kez daha yinelemeye gerek yok. Ayrıca zayıf ve kanıtları oldukça sınırlı olan ama bir başka gerçeğin varlığını da önkoşulsuz kabul etmeyen *nominalizmi* (adcılık) ve çeşitlerini de gördük.

Ben buna yalnızca, çağdaş bilimde açıkça görülen bir şeyi ekleyeceğim. Yirmi yıl kadar önce, parçacık fizikçileri bütün

etkileşmeleri birleştirme yolunda önemli bir ilerleme kaydettiler. Bunu önce elektromanyetik ve zayıf etkileşmelerin bir senteziyle başardılar (bu etkileşmeler atom çekirdeğindeki beta ışınımından, büyük olasılıkla yanardağların içindeki ısıl enerjiden, güneşteki nükleer tepkimelerin ilk aşamasından ve süpernova denen yıldız patlamalarının gerisindeki mekanizmalardan sorumludur). Kuvvetli (yeğin) etkileşmelerin çeşitli biçimlerinin birleştirilmesi daha sonra oldu (bunlar da atom çekirdeğinin içindeki kuvvetlerden sorumludurlar) ve fizikçileri pek çok parçacığın (örneğin proton ve nötronun), bugün "kuark" adı verilen daha da temel bileşenlerden oluştuğunu kabul etmeye zorladı. Deneysel verilerin bu ilerlemelerde temel bir rol oynadığını da hemen ekleyelim. Ama kuramsal çabaların hemen hemen tümüyle matematiksel türde olduğu, simetri kavramının (ya da grup kuramının) soyut uzay geometrisinin getirdiği kavramlarla olan bileşiminden kaynaklandığı pek bilinmez. Matematiğin Gerçekliğin tam da kalbine sızma becerisi doğrusu başka hiçbir yerde böylesine görkemli değildir ve başka hiçbir zımba da böylesine derin ve iyi delemez.

Yasaların doğası canımızı biraz daha sıkıyor. Bunların olağanüstü ince oldukları anlaşılıyor ve aynı zamanda neredeyse hiçbir iç yapısı bulunmayan elektron, foton ya da kuark gibi parçacıklara uygulanıyorlar. Örneğin, uzayın boş bir bölgesinde bulunan bir elektronu ve fotonu ele alalım. Bundan daha önemsiz bir şey düşünebilir miyiz? Bunlar bir kum taneciğine göre bile çok daha basit olan parçacıklardan başka bir şey değildirler. Nasıl olur da bunların her biri, oradaki varlıklarını ya da yokluklarını belirtmek üzere temel simgeler olan 1 (varlık durumunda) ya da 0'dan (yokluk durumunda) fazlasını taşıyabilirler, başka bir şeyi nasıl saklayabilirler? Üstelik de bu parçacıklar sonuçları ancak güçlü bilgisayarlarda yapılacak uzun hesaplamalardan sonra öngörülebilecek yasalara uygun olarak davranıyorlar (iki parçacık o uzun hesapların verdiği sonuçları yaklaşık *yüz binde birlik* bir yanılmayla doğruluyorlar). Peki bu iki sağır, kör topu (aslında top da değil ya neyse, konumu tam belli olmayan nokta desek daha doğru olacak) yöneten şey nedir? Yasalar nasıl etki ediyor? Sıkıca tutundukları

nedir? Kesinlikle hiçbir şey bilmiyoruz. Sanki her şey bunların etki etmediğini gösteriyor. Aristoteles'in sözleriyle söylersek, bunlar eylemin değil, gücün etki alanına aittirler.

Daha önce sözünü ettiğimiz uçurumla birlikte matematikçilerin kendi bilimlerinin (çok güzel, çok güzel ama gerekli) mutlak tutarlılığı ve görkemli üretkenliğiyle ilgili savlarının ve bu gerçeğin bir kez farkına vardıktan sonra, Logosun varlığının tümüyle akla uygun bir varsayım olduğu sonucuna ulaşıyoruz.

Böylece, matematiğin doğasıyla ilgili olarak,

(i) matematik gerçeğin bir parçası mıdır?

(ii) varlığını gerçeğin üzerinden mi sağlıyor, yoksa bağımsız bir varlığa mı sahiptir?

sorularına sırasıyla,

(i) aradaki uçurum, yani daha fazla daraltılamayan ve gerçeğin derisini üzerindeki kılıftan ayıran boşluk nedeniyle *hayır*,

(ii) parçacıkların kendilerine indirgenmiş yoklukları yasaları gizleyebilecek herhangi bir simgeyi desteklemekten uzak olduğu için, *hayır* yanıtlarını vereceğiz. O nedenle matematik, insan aklının daha önce keşfettiği parçalarının tutarlılığı ve üretkenliği yüzünden varlığını kendi başına sağlar.

YENİLENME

Burada karşılaştığımız logosun ve gerçeğin olduğu bölümlerle logosun kendi varlığının bulunduğu derin ikili yapı, bilimce sağlanan bir tür metafiziksel yaramazlıklardır ve bunların sonuçlarını kestirmek kolay olmadığı gibi, bizim onları hemen akla geliveren birtakım düşüncelere dayanarak araştırmamız açısından da çok önemlidirler. Önümüzdeki görevin büyüklüğü ve karşılaşacağımız güçlükler hakkında bir fikir vermek üzere bir iki basit soru sorabiliriz.

Bu programın, girişimin aynı bilimce sınanabileceğinin bildirildiği zayıf bir yanını gözleyerek işe başlayalım. Gerçeğin varlığı çok açık olduğu halde, gerçeğin kesinliğinden logosun o denli kesin olmayan varlığına geçiş en azından iki aşama tuttu. Kendini dayatıyor gibi görünen ilk aşama yasaların Evrende her yeri saran varlığıdır. Gerçeğin formalizme daha fazla indirgene-

memesi yüzünden uçurum olarak adlandırdığımız ikinciye gelince, o eleştiriden daha fazla etkilenebilir ve bilginin olası gelişimine açıktır. Kimi felsefeciler böyle bir konumdan rahatsız olmasalar bile, onların öne sürdüğü savlar ancak kırılganlıkları çok belirgin olan ilkeler üzerinde durmaktadırlar. Kuantum kuramı bir bakıma, bize gerçeğe ve logosa en katıksız biçimde, kana kan, dişe diş karşı olma olanağı veren kuramdır. Bu doğrudan karşı karşıya geliş bunların ikili ve acımasız varlıklarının bir anahtarıdır. Bu savın yalanlanması, yani hem açığa vurulması hem de sağlamlığı açısından bir kayıp olması bizim güvendiğimiz kesinliği ortadan kaldırır. O zaman da fizikteki kimi önemli kırılmaların, bizi doğru bir yere koymak üzere uçurumun ortadan kalkmasını sağlaması yeterli olur.

Bu olasılığı atlatsak bile, başka güçlükler çıkabilir. Bunlardan ilki yöntemle ilgili sorulardır. Örneğin bilim logosun eşiğine ulaşmadan önce, dünyevi konulardan uzak bir dönemden geçmelidir. Aynı zamanda, geçmişin sınırlandırılmamış felsefi ilkelerinin nereye kadar güvenilir halde kalabileceklerini keşfetmek üzere sağduyudan da bir parça uzaklaşması gerekti. Bunlar, buraya dek logosu arayanlar tarafından kullanılan ilkelerle aynıdır. "Hangi arayanlar?" diye sorabilirsiniz. Elbette Platon, ama özellikle *kesinlik* denen şeyin kolayca sağlandığı bir alanda en *kesin* olan Plotinus'tur. Spinoza'yı da eklemekten çekinmem, ki onun konumu da bana ilk bakışta göründüğünden çok, şu anda şekillenene daha yakın gibi gelmiştir. Biz ikili bir yapıdan yanayız, oysa Spinoza için "monizm (teklilik) yanlısı" denir. Peki gerçekten monizm yanlısı mıdır? *Etik* adlı yapıtını ilk çıkardığında "benim maddeden anladığım onun içinde olan ve onun üzerinden anlaşılandır" gibi bir mantıkçının "ve" bağlacının oynadığı bir tür dizkapağı rolünü kolayca fark edeceği bir tümce söylemez mi? Orada *gerçek* olanı ve tıpkı doğada farklı biçimlerde olsa da aynı ikili yapıyı bulduğumuz gibi, kendini logos (söz) olarak göreni buluyoruz. Leibniz'den ve daha yakın geçmişteki Heidegger'den olduğu gibi, kuşkusuz Spinoza'dan da öğrenilecek çok şey var. Bu düşünürlerin tümü izlenecek yolları gösterirler ama hiçbiri o sözü garanti edecek güvenilir bir yöntem sunmaz.

Bir başka güçlük ve önemli bir bocalama kaynağı da varlık denen kavram ile bu kavramın nasıl ele alınacağıyla ilgilidir. Biz onu söze (logos) dayandırdığımızda bir sorun çıkar ama bu sorun tam olarak nedir? Varlık düşüncesi daha önce, çeşitli bileşenleri kısa bir zaman aralığında var olan gerçeğe uygulandığında akıcı bir özelliği vardı. Daha önce var olmuş olanlar ile daha sonra var olacaklar, bugün de var mıdırlar? Bugün, Heidegger'in terimiyle söylersek *Dasein* var, Alman felsefecinin aklındaki, eğer yanılmıyorsam gerçeği ve logosu birleştiren *varoluş* var. Öyle ya da böyle, logos ve zaman, *Sein ve Zeit*, biz insanların gizemin içine dalamadan yalnızca gördüğümüz olağanüstü bir bale sergiliyorlar.

Hayli çarpıcı olan son bir güçlük de amacını kavramaya çalışırken, *logosun* sınırlarını belirlemede yaşanır. Bilimin dikkatli ve atılan her adımı gözleyen yaklaşımı, neredeyse onun isteğinin tersine, en baştan beri tanıdık olan zemindeki metafiziksel anlamda uzanacağı yeri yeniden keşfe götürür. Ama kendimizi en baştan beri bilimin edinebileceği, doğrulanabilir, sayısal olarak değeri belirlenebilir şeylerle kısıtlarken aynı zamanda kendimizi yalnızca kupkuru ve çorak şeyleri bilmekle yetinme şeklinde kısıtlamış olmuyor muyuz? *Mahabharata*'dan kahraman Arjuna'nın ormanda Shiva ile karşılaştığı bir bölüm geliyor aklıma. Önce, Arjuna'nın önünde bütün gördüğü itici ve kendini dünya nimetlerinden yoksun bırakan biriyken, ancak güç bir girişimin ardından, Dünyaların Efendisi kendisini genç adama açıyor. Buna benzer şekilde, logos kendini bize mantığın ve matematiğin birçok kişiye sıkıcı, burnu havada, soğuk gelebilecek çıplaklığı içinde sunuyor. Yine de, Plotinus'un Dünyanın Ruhundan söz etmek üzere aynı adla ve hayranlıkla kullandığı şeydir. Peki dikkatsizce ve farklı anlamlarda kullanılmış olan, Platon'u tek ortak köken olarak alan bu ad yanıltıcı olabilir mi? Yoksa bu daha çok bir ipucu, bir anahtar mıdır? O zaman logos nereye dek uzanabilir? Erimi ne kadardır?

Daha önce de söylediğimiz gibi, biz yalnızca araştırılabilecek birtakım yolların bir taslağını sunuyoruz. Kitap artık sona doğru yaklaşıyor ve aldığımız yol (ne kadar sağlam olduğunu bilmiyoruz) arkamızda kaldı. Bundan sonra fazla temkin ge-

rekmiyor. Biraz körlemesine gittiğimiz için, izninizle gözüpeklikten yine ayrılmayalım.

Önce yöntem sorunuyla uğraşmamız gerekiyor, çünkü onsuz hiçbir şey söylenemez. Gerçek için olanın tersine logos, her ne kadar erişebileceğimiz gerçeğin her yerinde var olsa da, hiçbir zaman kendisini bize somut bir biçimde göstermez. Belki de önümüzde bir yanıtın başlangıcı, kavramak isteyenler için sanki bir tutamak vardır. Logosla ilgili çok şey bilmiyor olabiliriz ama elimizde onun bir tür aynası bulunuyor. Bu ayna da onun için doğmuş, ona yer sağlamak, ondan yararlanmak ve onu tanımak için gelişmiş olan beyin oluyor. Beyin kendi matrisinin izini tıpkı bir gök taşının erişilmez bir gezegenin izini taşıması gibi taşıyor. Buradaki düşünce basittir. Beynimizin bir tür komut olarak çevireceği her şey belki de olası bir logosun yansımasıdır. Bunun kaba bir varsayım olduğu ve bizi arkamızdan gözü kara bir şekilde o ana kadar kaçınmaya çalıştığımız bulanıklık, keyfi olarak ve aceleyle oluşturulmuş birtakım ilkeler gibi ne varsa ona doğru ittiği açıktır. Bunu katı bir eleştirinin izlemesi gerekir ve itiraf edeyim ki nereden başlayacağımı bile bilmiyorum. Ama logosun etki alanını belirlemek gibi çılgınca bir amaç için değil de bu alanın nereye kadar yayıldığını gözümüzün önüne getirmek için bu düşünceyi bir kılavuz gibi kullanalım. Bu kısıtlama, eşdeyişle "*belki*" sözcüğü önemlidir, çünkü birtakım yeni olanakları, onları tam garantilemeden açar.

Matematikte bulunan, soğuk ve saf bir güzelliğin varlığını çok kez vurguladık. Şimdi bunu biraz inceleyelim. Beynimizin bu bilimlerde keşfettiği düzen ve uyumu, daha genel anlamda *güzel* olarak algıladığı şeylerle ilişkilendirebileceği görülüyor. Kimileri bunun yalnızca gerçek anlamdan yoksun birtakım psikolojik süreçlerin birbirine karıştırılması olduğunu ve altta hipotalamusu kurcalayan birkaç liluberin molekülü ya da kökeni bilinmeyen başka bir hormonal etki gibi pek çok neden bulunduğunu söyleyecektir. Ama burada Plotinus'un güzellik konusunda söylediği bir sözü anımsayalım. Ona göre, bir tanrı anıtının güzelliği yalnızca mermerin şeklinde yatmıyor, aynı zamanda sanatçının bu yücelikten yakalamayı başarıp, bir yansıma olarak sunduğu, doğal konumu aslında logosta bu-

lunan somut ve gerçek nesneden de geliyor. Daha önce yazılmış sözcükleri yeniden kullanırsak, bu güzellik kuramını onun Gerçekliğin içinde Logosun parçalı bir temsili olduğunu söyleyerek özetleyebiliriz.

Benim asıl uzmanlık alanımdan hayli uzak ve ancak estetik ustalarının tartışabileceği bir alana dalma riski pahasına diyebilirim ki, o ustaların arasında bir çoğu Plotinus'un güzellik hakkındaki görüşünden hiç vazgeçmemişlerdir. Eğer temkinli olmak adına kendimizi estetikte matematiğe daha yakın olan şeylerle sınırlarsak, bir resimdeki simetrilerin önemi, aslında daha soyut bir düzeyde yine bir başka bakışım türü, matematikte grup adı verilen kavramın bir başka gösterimi demek olan orantıların keskinliği gibi şeyler iyi bilinir. Ayrıca şu da biliniyor ki, aşırı simetriden kademeli bir biçimde ayrılma bir çalışmadaki soğukluğu kırabilir ve sanki onu saran evrenin varlığını, yaşamın bir gösterimini ortaya koyabilir. Son dönemlerde, biraz da şaşkınlık içinde gökteki bulutların dalgamsı biçimlerini ya da dağlık bir görünümün adına "*fraktal*" denen şeyleri (gözlendikleri her ölçekte kendi kendilerini yineleme olanağı veren keskin bir simetriye sahip nesneler) veren hesaplardan çıkan şekillerce başarıyla taklit edilebileceğini keşfetmedik mi? Ayrıca bu durumda bir simetri eksikliği matematiksel mükemmelliği bir parça zedeler ve güzellik izlenimine zarar vermeden, gerçeğe daha yakın bir izlenim verir.

Güzellik bir bakıma Logosa mı aittir? Platon'dan bu yana pek çok kimse öyle olduğuna inandı, bizim fraktaller hakkındaki tartışmamızsa bu düşünceyi eskisinden daha baskın hale getiriyor. Ama bilimsel kimliğimizi koruyalım. Güzelliğin hissedilmesi gerekir, o kendini beynimizde sergileyen bir şeydir. Eğer bunun kaynağının izini logosa dek sürmeyi başarırsak, aynı zamanda fizyolojinin de kısa devre yapılabileceğini, "bu beynin, bu gri ve yağlı kütlenin" yanından dolaşarak doğrudan yapay akla (temelde düşüncenin soyut yapılarını da içeren talihsiz bir ifade) yönelebilir ve fen bilimlerinin estetiğe doğru bir yayılımını ve kuramsal paralelde logosun estetik yönünün bir araştırmasını gözümüzün önüne getirebiliriz. Biz kapağını biraz çekinerek aralar aralamaz, bu yön bütün genişliğiyle

önümüze açılır. Bacon'ın *Büyük Yenilenme*'deki sözcüklerinden alıntı yaparsak, insan bunun yalnızca tek bir kuşağın çalışması olduğunu beklemiyor.

Buna benzer bir yöndeki bir başka işaret Heidegger tarafından son yıllarda yaptığı ve varoluş bilgisine doğru en iyi yolu bulmayı önerdiği çalışmalarda (ya da en azından bizim logos için taşıdığımız bakış açımızla), şiirin doruklarında veriliyor. Yukarıdaki aynı yaklaşımı izleyerek, işin biraz ürkütücü gelen ama mutlaka saçma olması gerekmeyen yerlerine ulaşıyoruz. Altta yatan anlamsal biçimleri, simetrileri ve çatlakları kavramak için şiirsel yapıları bilim yoluyla ve yapay aklı bir kılavuz olarak kullanarak araştırmamız gerekir. Peki ya müzik ve ötesi?

Böylece, Logos nereye kadar uzanırsa uzansın, genişliği sınırsızmış gibi görünen yeni bilgi alanlarını önümüze açabilir. Bununla birlikte, bu fırsatın içinde yalnızca seçilmiş alanın, yani sanatın, dar görüşlü bilim uygulayıcıları tarafından bir tür körlemesine işgal edilişini görmek yanlış olur. Tersine, düşüncenin dingin bir biçimini, en güzel düşleri, geçmişin en duru tasarımlarını bütünlüklü bir yapı içinde görmek gerekir. Ama bu iş önümüzde ne kadar da görkemli duruyor böyle!

BİLİMİ OLUŞTURMAK

Şöyle kolayca sorulabilecek bir soruyla bitirmek isterim: "Bilim nasıl var olabilir?" ya da "bilim temellerini nerede bulur?" Bu sorunun çok açık oluşu ve onu saran sessizlik Aristoteles'in eşsiz sözlerini yansıtıyorlar: "Nasıl gece kuşları güneşin parlaklığıyla kör gibi oluyorlarsa, aklımızın gözleri de parlak gerçeklere bakınca öyle davranırlar."

Bu denli açık bir soru neden böylesine nadiren sorulur? Bilimciler gözlerinin önünde gerçekleşen böyle olağanüstü olaylara bu kadar kayıtsız mıdırlar ki, yalnızca sıradan bir sahne izliyor gibiler? Yalnızca bir sonraki buluşlarına mı odaklanmışlardır yoksa sadece meslektaşlarını etkileme peşinde midirler? Acaba her problemin bir çözüme vardığını, her deneyin bir sonuç verdiğini görme alışkanlığı mı onları bir tür sorgulanmamış kesinliğe, mutlak bir güvene yöneltmektedir? Aslında sarsılmaz bir inanca sahiptirler ve hiç açıkça duyurmadıkları için bu inanç daha da güçlenmektedir.

Yine de eğer bir bilimciye "Bilim nasıl var oluyor?" sorusunu soracak olursak, buna verilecek yanıt büyük olasılıkla kısa ve öz bir "metafiziğe girmeyelim" olacaktır. Bunun anlamıysa "bu biraz kuşkulu olarak bilinen bir alandır ve ünümü riske atmak istemiyorum" demektir (burada *ün* ile kastedilen ciddi ve uzman bir bilim insanı olarak tanınmak, kaçınılan şeyse böyle pek de saygın olmayan bir işbirliğinde görünmektir). Ama Einstein'ın tepkisi böyle değildi, o "Bilimin var olabilmesi harika bir şeydir" demişti. Peki bu harika şey nereden geliyor?

Yanıt belki de soru kadar açıktır: Bilim mümkündür, çünkü gerçeğin içinde bir düzen vardır. Gerçek için oluşturacağımız temsilin yapısını kuran yasalar, onun kendi düzeninin bir görüntüsüdür. Bilimin tamamı böyle bir yanıtı önerir ama bilim tek başına onu ne kurabilir ne de formülleştirebilir. Çünkü bu sav bilimin kendi temsilinin ötesindedir. Bilim daha önce araştırılmış olan gerçeğin alanına sıkıştırılmıştır, oradan çıkamaz ve onu değerlendiremez. Bilinenin ötesine geçmek bilinmeyen hakkında bir varsayım önermekle, bilimi bırakıp, metafiziğe girmekle aynı kapıya çıkar.

Çünkü sonuç olarak, "Gerçeğin bir düzeni vardır" gibi çok basit bir tümce, masaları döndürerek bilimi kurmak için yeterlidir. Evet, masaları döndürür, çünkü bilimin ne olduğunu anlamak için katettiğimiz uzun yol artık netleşmiştir: Gerçek, olabilecek en yüksek düzene (ama "olabilecek" sözünün, burada kullanıldığı haliyle, bir anlamı var mıdır?) ya da mükemmel basitliğe sahiptir (peki ya "mükemmel" sözünün bir anlamı var mıdır?). Bu düzen, gerçeği en temelinden en karmaşık haline, en küçük ölçekten en büyüğüne, kadar tek hamleyle örgütler. Bilinç potansiyeli zaten maddeyi yöneten yasalarda yazılıdır, zamansa bunu kuluçkaya yatırabilir. Bilim mümkündür, çünkü Gerçekliğin düzeni onu keşfedecek bilinci üretir. İçinde garip bir rezonans olan Sokrates'in "kendini tanı" sözü bizi bir tür "(kendi dışındakileri tanımaya uğraşan) kendini tanı" durumuna götürür ve gerçek, bunun aracılığıyla kendini, ona ait olan insani bilinçte tanımış olur.

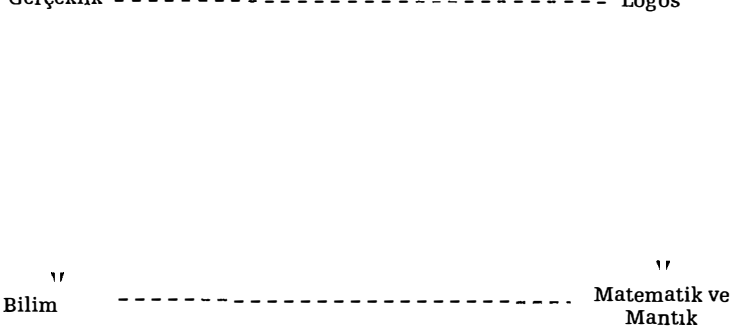
Yukarıdaki tümcenin yalnızca, Gerçekliğin dışında, ondan başka bir şeyin, logosun bulunması halinde bir anlamı olaca-

ğını vurgulamamız gerekir. Kuşkusuz Logosun varlığı evrensel bir düzenin varlığından daha az inandırıcıdır ama ancak bunların ilki ikinciye bir anlam katabilir. Dünyanın düzeninin mantıksal ve matematiksel bir doğası vardır, ayrıca da herhangi bir türdeki bir nominalizm, evrenin düzenli olması halinde bu düzenin rastgele bir varsayımlar ve tümdengelimler oyunundan, benim kendi kaprisli seçimlerimden kaynaklandığını söylemekle eşdeğerdedir. Ya da matematiğin (bir "süperyapı" oluşturan) gerçekten geldiğini varsayarım, ama bu durumun aynı zamanda neden savunulamaz olduğunu gördük.

Öte yandan, logosun gerçek dediğimiz şeyden bağımsız, tutarlı bir varlık olması durumunda her şey aydınlanır. Anlaşılması güç görünen düzen, saf bir düzenle sürekli olan değişim arasındaki bağıntıda somutlaşır. O zaman da gerçeğin, çağdaş bilim aracılığıyla önerilen temsilinin mantığın ve matematiğin içinden geçmesi doğaldır, çünkü bunlar ulaştığımız görüntüyü, logosun temsilini oluşturmaktadırlar. Eğer günlük dilimiz ve sağduyumuz, ifade ettikleri bu düzeni deneyimlerse, bunun nedeni onların da işin bir sonucu olmalarıdır. Bu yeni temellere dayalı olarak, eski "nominalizm-gerçekçilik" tartışması, yani Russell'ın hâlâ konuyla ilgili ve ivedi bir problem olarak gördüğü dilin anlamı aktarmadaki becerisi yeniden ele alınabilir.

Logos ile Gerçekliğin ayrılması böylece hem en çekici hem de en gelecek vaat eden varsayım olarak görünüyor. Ayrıca da, adına uçurum dediğimiz, gerçek ve onun kuramsal tanımı arasındaki yarıkla uyum içinde görünen tek şeydir. Bize aralarındaki bağıntıyı birinin ötekine kısmen girmesi olarak yorumlama ve hemen "gerçeğin bir düzeni vardır" deme olanağı verir. Bu da hemen "Bilim nasıl var olabilir?" sorusunu yanıtlar. Kendini bizdeki temsiller düzeyinde sergileyen bu iç içe geçmenin görüntüsü kısaca matematiğin, bilimin oluşumundaki rolüdür. Bunun fazlasıyla formal olan yanları artık şaşırtıcı gelmiyor.

Bütün bunlar yeni bir bilgi felsefesinin kurulmasına yol açabilecek olan bir metafizik şema oluştururlar. Onun yapısı uzun açıklamalar yerine bir çizelgeyle daha iyi özetlenebilir (Şekil 3).



Şekil 3. Gerçeklik ile Logosun temsilleri.

Bu çizelgede bilim Gerçekliğin bir temsilidir, matematik ve mantıksa Logosun temsilidirler. Her temsil insanların çabası sayesinde gelişir, insanların belirsizlikleri, ilerlemeleri, tereddütleri bir tür kalıtım gibi ona da geçer. Buna karşın, (birer temsil olan) matematiğin ve mantığın (kendisi de bir temsil olan) bilimi yapılandırmadaki giderek artan rolüne tanıklık ediyoruz. Bu ise Şekil 3'te bağlantıyı sağlayan çizgiyle simgelenen birincil varlıklar arasındaki daha yüksek, iç bağıntı yansıması (aslında temsili) olarak yorumlanabilir.

Bu bağıntının doğasını daha iyi belirlemek için çabalamak çekici gelebilir, ama doğrusu bundan çekiniyorum. Bütün söyleyebileceğim bana yetersiz, kuşkulu ya da daha ciddi ve felsefi konuşacak olursak, daha olgunlaşmamış görünüyor.

Bir resimdeki tüm paralel çizgiler görünmeyen ortak bir noktaya gidiyor gibi görünürler ve buradaki durum da bundan farklı değil. Geometricilerin sonsuz dediği ve benim kuşkusuz çok yaklaştığım o noktanın yakınlarında ufuk belirsizleşme eğilimine giriyor. Burada dursam ve başka yolları izleme, geliştirme, doğrulama işini başkalarına bıraksam iyi olacak. Bu konularda zaman zaman dinlemek durumunda kalacağı uzun bir umut şarkısının notalarını dinlemesi için gençliğe güvenilebilir. Çünkü bu son bölümde sunulan bir grup düşüncenin ilginç olup olmaması çok önemli değildir. Önemli olan bizim ileri doğru gidiyor olmamız ve her zaman düşünce şenlikleri yaşayacak olmamızdır. Felsefe de yeniden başlayabilir.

SÖZLÜKÇE

Bu kitapta genellikle teknik terimlerin kullanımından olabildiğince kaçınmaya çalıştık. Bununla birlikte birtakım terimler metinde kendilerine yer buldu (bunları ilk geçtikleri yerde * ile belirttik). Böyle terimlerin listesini, kısa birer tanımla birlikte aşağıda bulacaksınız. Tanımın içinde yer alan bir * listedeki bir başka tanıma gönderme yapmaktadır.

Aksiyom (Axiom) – Önceleri doğruluğu kendiliğinden görünen matematiksel bir önermeydi. Bugünün kullanımında ise, *formal dile** ait olan ve varsayım gereği doğru olduğu varsayılan bir önermedir.

Belirsizlik bağıntıları – Heisenberg'in keşfettiği bu bağıntılar, kimi zaman söylendiği gibi, kuantum mekaniğinin bir ilkesi olmayıp, o ilkelerin bir sonucudur. En iyi bilinen durum bir konum bileşeni x'teki istatistiksel belirsizlik dx ve buna karşılık gelen momentum bileşeni p'deki belirsizlik olan dp'dir. $(dx)(dp)$ çarpımı ise, hiçbir zaman $h/4\pi$'den daha küçük olamaz.*

Bilimsel devrim – Bilim tarihinde Thomas Kuhn tarafından tanıtılan, temel bilimsel buluşların ardından gerçekleşen ve sürekli değil de kesik kesik görülen değişimleri temsil eden bir kavramdır. Bunlardan her biri Kuhn tarafından geçmişle aradaki bağın söz konusu "devrim" tarafından kopuşuna işaret eden yeni bir *paradigmanın** doğuşu ile eşleştirilmiştir. Bilimin *ilkeleri** bakımından böyle bir "devrim" genellikle bunların uygulama çerçevesinde gözden geçirilmesi ve belli bir bölgede yayılmasından

* Bir parçacığın o andaki konumu ne kadar iyi bilinirse, momentumu (ve hızı) hakkında o derece az bilgi vardır. Yani konumu için, "tam şurada" denebilecek bir parçacığın hızı pek çok farklı değer alabilir. Tersine de, hangi hızla gittiği çok iyi bilinen bir parçacık uzayda her yerde olabilir, konumu tam kestirilemez –çn.

oluşur. Yeni ilkelerin sonuçları olarak yeniden ortaya çıkan önceki ilkeler de böylece *yasa** durumuna kavuşurlar.

Dalga fonksiyonu – Kuantum mekaniğinde, bir sistemin durumu bir veri ya da bir bilgi olarak tanımlanır ve bu bilgiden her *özelliğin* gerçekleşme olasılığı hesaplanabilir. Bu bilgi matematiksel biçim olarak genellikle bir fonksiyonla (dalga fonksiyonu) ifade edilir ve bu fonksiyon sistemi oluşturan parçacıkların konumlarını verir. Böylece, dalga fonksiyonu sistemin herhangi bir andaki durumunu ifade etmek için gerekli her şeyi içeren bir niceliktir.

Dalga fonksiyonunun indirgenmesi – Bu da kuantum mekaniğinin Bohr yorumundaki temel varsayımlardan biridir. Kuantum fiziğindeki bir sistemi (örneğin bir atomu) bir ölçüm aygıtıyla ölçmenin ardından, sistemin dalga fonksiyonunun birdenbire değiştiği varsayılır. Bunun yeni ifadesi de ölçümün aygıt aracılığıyla gösterilen sonucu tarafından belirlenir. Kısaca olasılıkların hesaplanmasında pratik bir kural olarak görülen bu indirgenmenin, herhangi bir özel fiziksel etkinin sonucu olarak görülmeksizin, yorumun en son biçimlerinde bile doğru olduğu anlaşılmıştır.

Deneysel kural (Empirical rule) – Büyük olasılıkla nicel (sayılara dayalı) bir kural olup, yalnızca belli bir olgular sınıfı içinde türetilir ama *yasalar** cinsinden açıklanamaz.

Doğruluk – Mantıkta doğruluğu belirleyen şey bir önermeye 1 (doğru) ya da 0 (yanlış) değerlerini atayabilmedir. Mantık ve matematikte, *aksiyomların** varsayımlar aracılığıyla doğru oldukları varsayılır ve *kuramlar** da doğruluk değerleri bir kanıt tarafından dayatılan önermelerdir. Fen bilimlerinde ve özellikle fizikte gözlenmiş gerçeklerin doğru oldukları düşünülür. Kuantum mekaniğinde, doğrudan gözlenmiş bir gerçek olmasa da doğru olan ve bu gerçeklerin sonuçları denebilecek *özellikler** vardır.

En küçük eylem ilkesi (Principle of minimal action) – Fizikte, klasik bir sistemin hareket denklemleri bu ilkeden çıkarılabilir. Lagrange tarafından 18. yüzyılda ortaya atılıp, Hamilton tarafından genişletilen bu ilke (en basit durumda) hareketin, "eylem" adı verilen ve kinetik ile potansiyel enerjilerin bilinmesi halinde hesaplanabilen belli bir integralin değerini en küçük hale getireceğini öne sürer.

Enerji – Klasik fizikte, herhangi bir yalıtılmış sistem için, enerji hep sabit değerde kalan bir fiziksel niceliktir. Genellikle iki bileşen-

den oluşur, bunlardan biri cismin hızına bağlı olan kinetik enerji, ötekiyse aynı cismin konumuna bağlı olan potansiyel enerjidir. Kuantum mekaniğindeyse enerji, aynı zamanda Hamilton denklemi adı verilen *gözlenebilir** bir büyüklüktür.

Esir (*eter*) – Varlığı klasik fizikte postüla olarak öne sürülen, bütün uzayı doldurduğu varsayılan sanal bir ortam. Eski dönemlerde ışığın içinden akabilmesi için, tıpkı ses için olduğu gibi, (boşluktan farklı) bir ortam bulunması gerektiği düşünülüyordu. Daha sonra ışığın sürekli salınım yapan bir elektromanyetik alan olduğu anlaşılınca esirin de bu alanın yayılması için gerekli bir ortam sağladığı düşünüldü. Michelson'ın deneyinin ardından bilimsel bir kavram olmaktan çıktı.*

Eşevresizlik (Decoherence) – Kuantum mekaniğinde eşevresizlik fiziksel bir etkidir ve onun yüzünden makroskobik (büyük) ölçekte ayırt edilebilen ama hızla yok olan kuantum *girişim** etkileri oluşur.

Eylemsizlik ilkesi – Bu da klasik mekaniğin temel ilkelerinden biridir. Newton tarafından verildiği haliyle, herhangi bir kuvvetin etkimediği bir cismin kütle merkezinin, mutlak uzayda, düz bir çizgi üzerinde ve mutlak zamana göre düzgün bir hızla gideceğini söyler. Aynı özellik, kendisi de mutlak uzaya göre düzgün hızla yol alan ve dönmeyen her (Galileo) gözlem çerçevesinde geçerlidir. Özel görelilik kuramında, eylemsizlik ilkesi birbirine göre düzgün hızla ilerleyen ve hiç dönme hareketi yapmayan Galileo gözlem çerçevelerine de uygulanabilir. Bunlar mutlak uzay ve zamandan bağımsız bir sınıf oluştururlar.

Formal – Bu niteleme, bu kitapta kullanıldığı haliyle, sezgisel, temsil edilebilir, görsel ya da sağduyu dilindeki sözcüklerle ifade edilebilir olan bir şeyin tersini kastediyor. Daha kesin konuşmak gerekirse, eğer yalnızca matematik aracılığıyla ifade edilebiliyorsa ya da ancak matematiğin yardımıyla kavranabiliyorsa, gerçekle ilgili bir kavramın (örneğin fizikte) formal olduğu düşünülür. Mantık ve matematik, ilk etapta tam ve tek/eşsiz olarak tanımlanan anlamlı nesnelerle değil de yalnızca bağıntılarla uğraştıklarında, formaldir. Örneğin düz çizgiler (anlamlı nesneler) arasındaki bir bağıntıyla ilgili bir önerme, kutuplar kuramına göre, anlamlı nesneler olarak seçilen noktalar hakkındaki bir

* Çünkü ışığın ya da genel adıyla elektromanyetik ışınımın yayılmak için ses dalgalarında olduğu gibi herhangi bir ortama gereksinim duymadığı, pekâlâ boşlukta da yayılabileceği anlaşıldı –çn.

önermeye tam olarak eşdeğerdedir. Matematik ve mantık, temelleri *formal** bir dilde tümüyle bir *aksiyom** sistemine indirgendiğinde, saf bir şekilde formal olarak alınabilirler.

Formal dil – Mantık ve matematikte formal bir dil bir dizi simgeden ve bu simgelerin önergeler oluşturmak üzere nasıl bir araya getirileceğini belirleyen bir kurallar kümesinden oluşur. Bu kümeyse ne gerçeğe işaret eder ne de tek bir anlamı vardır.

Gerçekçilik – Gerçekçiliğin çeşitli biçimleri bilgi felsefesine ait olan öğretilerdir. *Platoncu gerçekçilik* bir düşünceler dünyasının varlığının, bizim kendi dünyamızın varlığından daha gerçek olduğunu varsayar. Benzeri bir durum olan *matematiksel gerçekçilik* ise, matematiğin araştırdığı ama yaratmadığı bir şeyin bağımsız varlığına inanır. *Fiziksel gerçekçilik* çeşitli biçimlerde olur. Bunların tümü, fiziksel bir gerçeğin varlığını (idealizmdekinin tersine) insan aklından bağımsız olarak postüla şeklinde sunar ve genellikle de aynı zamanda bu gerçeğin (hem pozitivizmin hem de temsilci anlayışın desteklediğinin tersine) kendi içinde bilinebileceğini kabul eder. Gerçekçilikle kuantum mekaniğini uzlaştırmadaki güçlükler Bernard d'Espagnat'yı gerçeğin hangi yönlerinin bilinebileceğini sınırlayan "örtülü gerçek" düşüncesini ortaya atmaya yöneltti.

Girişim (Interference) – Optikte ve kuantum mekaniğinde bir dalga iki farklı yol izlediğinde (örneğin Young'ın çift yarık deneyindeki gibi yarıklardan birinden ya da ötekinden geçtiğinde) şiddeti, (kuantum örneğindeyse gerçekleşme olasılığı) noktadan noktaya değişir ve ardışık biçimde "*en büyük – en küçük – en büyük...*" değerlerini alır. Işık söz konusu ise o zaman da *aydınlık* ve *karanlık* saçaklar sürekli birbirini izler, bunlar da ekran/perde üzerinde girişim desenlerini oluşturur. Temelde bunun nedeni "*üst üste binme* (superposition)" ilkesidir ve buna göre farklı yolları izleyen dalgaların genlikleri birbiriyle toplanır.*

Gözlenebilir (Observable) – Klasik fizikte, temel fiziksel nicelikler cismin konumunun bileşenleriyle momentumudur. Bu durumda, enerji gibi genel bir fiziksel nicelik bu koordinatların bir fonksiyonudur. Kuantum mekaniğindeyse, fiziksel niceliğin rolünü, gözlenebilir bir büyüklük olan ve (Hermitsellik gibi) birtakım

* Tepeleri ve çukurları tam birbirine rastlayan iki sinüs dalgasının toplamı büyürken (*aydınlık*), aynı iki dalganın birbirine göre yarım dalga boyu kayık olması, yani birinin tepesinin ötekinin çukuruna rastlaması halinde, bu ikisi birbirlerini neredeyse tümüyle söndürecektir (*karanlık*) –çn.

matematiksel özellikler taşıyan bir *işlemci** oynar. Kuramın en formal yanlarından biri budur.

İlke – Bilimde fiziksel gerçeği denetleyen evrensel önermedir.

İşlemci (Operator) – Matematikte ve kuantum mekaniğinde, bir A işlemcisi belli bir u fonksiyonuna (genelde dalga fonksiyonu) etkidiğinde, Au ile gösterilen bir başka fonksiyonu üreten matematiksel bir işlemdir. Açık arayla en önemli işlemciler olan doğrusal işlemciler, iki fonksiyonun toplamını ve bir fonksiyonun bir sabitle çarpımının değerini korurlar.

İzdüşüm işlemcisi (Projector) – Matematikte ve özellikle kuantum mekaniğinin uygulamalarında bir izdüşüm işlemcisi (P) özel bir tür işlemci olarak davranır. Bir u fonksiyonu (diyelim, dalga fonksiyonu) üzerine etki ettiğinde, Pu olarak gösterilen başka bir v fonksiyonunu üretir. P'nin temel özelliği, iki kez uygulanması halinde de aynı sonucu vermesidir, yani $P^2u = Pu$ olur. Bu özellik ayrıca üç boyutlu uzaydaki bir noktanın, bir düzlem üzerine olan izdüşümü (bir tür gölgesi) için de geçerlidir. P ile ilgili kuantum anlamında gözlenebilen şey (fiziksel nicelik) yalnızca, tıpkı "doğru" ve "yanlış" gibi, 1 ile 0 değerlerinden birini alabilir. Bu işlemcilerin mantıkla ilgili sorularda oynadığı önemli rol bu gerçeklerden çıkar.

Kartezyen proje (Cartesian project) – Felsefede Heidegger ve Husserl tarafından, fiziksel gerçeğin matematik kuralları kullanılarak tümüyle tanımlanabileceği varsayımıyla, kuramsal fiziğin, sınırlarına kadar esnetilen temel varsayımına verilen addır.

Kırınım (Diffraction) – Optikte kırınım olguları kendilerini, ışığın dalga doğasını gösteren, çizgi şeklindeki yayılımında düzeltmelerle ortaya koyarlar. Bu nedenle bir kaynaktan çıkan ışık bir cismin gölgesini duvara vurduğunda, bu gölge yakından bakıldığında çok keskin değildir. Cisimle duvar arası ne kadar yakınsa, gölgedeki keskinlik de o denli artar.

Kuram – Mantıkta ve matematikte, bir kuram doğruluk değeri tüm *aksiyomların** doğru olduğu varsayımı altında yapılan bir kanıtla belirlenen bir önermedir.

Maxwell'in denklemleri – Fizikteki (elektrodinamikteki), elektrik alanıyla manyetik alanın özelliklerini ve bunların zaman içindeki gelişimlerini belirleyen bir dizi denklem.

Momentum – Klasik fizikte momentum bir cismin kütlesi ile hızının çarpımıdır. Kuantum mekaniğindeyse, momentum vektörünün her bir bileşeni *gözlenebilir** bir büyüklüktür, yani türev işlemi-

ni içeren bir *işlemcidir** (operatör). O yüzden, bu durumda çok formal bir kavramdır.

Modus ponens – Mantıkta yeni bir kanıta, daha önce bu yeni kanıtın doğrulanması gerekmeden kanıtlanmış bulunan bir *kuram** ile başlayabilme.

Nesnellik (Objectivity) – Bir olguya, bir kavrama, bir bilgi kırıntısına, eğer onun varlığı insan aklına bağlı değilse, nesnel denir. Bu kavram Kant tarafından ortaya atılmış, sosyal bilimlerce üzerinde çalışılmış ve ancak kuantum mekaniğinin gelişmesiyle fizikte bir problem yaratmıştır. Sonra da birtakım kavramların, özellikle *dalga fonksiyonunun** nesnelliği konusu gündeme geldi. Bunlar acaba fiziksel gerçekle doğrudan mı ilintilidir, yoksa yalnızca bizim onlar hakkındaki bilgisizliğimiz nedeniyle mi vardırlar? Önce Bohr, ardından da çağdaş araştırmacılar kuramın nesnelliğinden yana görüş bildirdiler.

Önermeler bölgesi (Domain of propositions) – Mantıkta, belli bir bağlamda akıl yürütmek için değerlendirilen tüm önermeler. Boole'un yaptığı gibi, kümeler kullanarak tanımlanabilir ya da az çok formal bir dil üzerinden oluşturulabilir.

Önermeler matematiği (Propositional calculus) – Mantıkta belli bir *formal dildeki** önermelerle, "değil", "ve", "veya" gibi mantıksal işlemler aracılığıyla yapılacak işlemlere ve bu önermeler arasındaki denklik ve ima etme (implication) gibi bağıntılara denir.

Özellik (Property) – Kuantum mekaniğinde bir özellik, belli bir fiziksel niceliğin (*gözlenebilir**), belli bir zamanda, alması olası değerler ölçeğinde bir aralığa denk gelmesi demektir. Özellikler, fizik için yapılacak herhangi bir tanımın temel öğeleridir.

Paradigma – Bilgi kuramında (epistemoloji) Thomas Kuhn tarafından tanıtılan bu kavram, başka araştırmacılarca taklit edilen bir model olan, dikkate değer bir bilimsel kırılma noktasıdır. Bilimdeki ilerlemenin ilkeler aracılığıyla açıklanmasının karşısında, araştırmadaki gelişimin paradigmalar yoluyla açıklanması vardı. Başlangıçta çok da iyi tanımlanmamış olan "paradigma" sözcüğü günümüzde çok değişik yerlerde kendine kullanım alanı buldu.

Positivizm – Bu konu felsefede, Auguste Comte tarafından önerilen ve onun yolundan giden John Stuart Mill'in izlediği bir öğretidir. Bilgi kuramında doğru bilginin ayırt edilmesi için (koşulların gerektirdiği nitelikleri sağlayan, güvenilir) insanların üzerinde görüş birliğine vardığı bir ölçüt olan görüş açısını belirler.

Kuantum mekaniğinde, temelde dalga fonksiyonunun nesnel gerçekliğini yadsıyan ve bu fonksiyonun yalnızca gözlemci tarafından elde edileceğini öne süren öğretidir.

Pragmatizm – Kastettiği kuvvetli anlam bakımından Hume'un felsefi öğretisidir. Buna göre gerçekler önce gelir ve temelde erişilmez olan bu gerçekleri yöneten düzenin kaynağı olan düşünce ile dilin kökenindedirler.

Schrödinger denklemi – Kuantum mekaniğinde, Schrödinger denklemi *dalga fonksiyonunun** değişimini zamanın bir fonksiyonu olarak ifade eder ve bu bakımdan dinamiğin rolünü oynar. Özel bir *gözlenebilir** büyüklüğü, hamiltonyeni ya da *enerjiyi** temel bir biçimde içerir.

Sıra değişebilirlik (Commutativity) – Matematikte ve kuantum mekaniğinde *A* ve *B* gibi iki *işlemcinin** çarpımını elde etmek için önce bunlardan biri, (daha sağda olan) *B* bir dalga fonksiyonu olan *u*'ya uygulanır. Böylece *Bu* gibi yeni bir fonksiyon elde edilir. Sonra *A* işlemcisi bu yeni *Bu* fonksiyonuna uygulanır, en sonunda da *ABu* bulunur. Bu sonuç, *AB*'nin *u* üzerindeki eylemini belirtir. Eğer $AB = BA$ durumu varsa, yani *A* ile *B*'yi *AB* ya da *BA* sırasıyla uygulamak bir fark yaratmıyorsa, "*A* ile *B* işlemcileri sıra değişimine uyuyorlar" denir. Genel olarak $AB–BA$ farkına "*A* ile *B*'nin komütatörü" adı verilir.

Spin – Bu da bir kuantum sistemini belirleyen, açısal momentuma benzer bir nicelik olup, yalnızca büyüklüğü ve tek bir bileşeni belirlenebilen (her iki değer de $h/4\pi$ büyüklüğünün tam katıdır – *h*, Planck sabiti) bir vektördür. Büyük ölçekli bir sistemde spin, bu sistemin kendi çevresinde dönüp dönmediğini gösterir ama bu yorum bir parçacık için geçerli değildir.*

Tarihçe (History) – Kuantum mekaniğinde bir tarihçe ardışık zamanlarda gerçekleşmiş bir dizi özellik demektir.

Uçurum (Chasm) – Bu terim, bu kitapta fiziksel gerçeğin bütün yönlerini tanımlayabilecek bir kuramın olamayacağını vurgulamak amacıyla kullanılan bir terimdir. Kuram ile gerçek arasındaki yarık, gerçeklerin tekliği ve kuantum kuramının temelde olasılığa dayalı yapısı arasındaki çatışmadan kaynaklanır. D'Espagnat'nın önerdiği örtülü gerçekteki gibi, ancak algılanabilen ama bir doğruluk değeri atanamayan özelliklere değil de, tümüyle görülebilen gerçeklere işaret eder.

* Bir parçacık, örneğin elektron için spin, kendi iç özelliklerinden biridir, kendi ekseni çevresinde dönmesi demek değildir –çn.

Uzay-zaman – Fizikte bu terim uzayın ve zamanın birincil bir varlık olarak algılanan ve soyut, dört boyutlu bir matematiksel uzayla temsil edilen tek bir sistemde birleşmesini gösterir. Bu soyut uzaydaki bileşenleri tanıtmak için her biri uzaya ve zamana özel bir yapı giydiren, bir gözlemcinin kendi yakın bölgesinde deneysel olarak doğrulayabileceği çeşitli yollar vardır.

Üstdil (Metalanguage) – Bir üstdil herhangi bir formal dile daha büyük bir anlam veren bir formal dildir. Öbür dildeki önermeler, üstdilin sözcükleri (işaretleri) olur.

Yasa – Bilimde, ***ilkelerin**** deneylerle doğrulanan mantıksal bir sonucudur.

Yorum – Fizikte yorum (bizim bu kitapta tanımladığımız şekliyle) bir kuramın (görelilik ya da kuantum mekaniği) formal ilkelerinden yola çıkarak gözlenebilir bir gerçeğin mantıksal bir temsilini sağduyuyla uyumlu ve herhangi bir dilde iletişim kurulabilecek bir şekilde türetme işlemidir. Aynı zamanda uygulamada yapılan deneyleri de tanımlamalıdır.

ÇEVİRMENİN NOTLARI

1- Fiziğin her alanında yapılan deneylerde gözlemcinin rolü önemlidir. Bir gözlemci için *a* sonucunu veren bir ölçüm bir başkası için *b* değerini verebilir. Aynı zamanda bir büyüklüğün değerini bulmak için tek bir ölçüm yapmak genelde yeterli olmaz, ne kadar çok ölçüm yapılırsa gerçek değere o denli çok yaklaşılabilir. Sonra bu ölçümlerin ortalaması alınarak aranan büyüklük hakkında bir fikre varılır. Aynı zamanda bu ortalama da tek başına çok şey ifade etmeyebilir, yapılan ölçümlerin bu ortalama değerin çevresinde nasıl toplaştıkları da en az ortalama kadar önemlidir. Bu toplaşma biçimi de *standart sapma* ya da *belirsizlik* denen bir değerle ifade edilir.

Herhangi bir büyüklük ölçüleceği zaman bu ölçümü yapacak kişi bulmak istediği değeri olabildiğince *az* etkilemelidir. Çevremizde gözümüzle gördüğümüz bir büyüklüğü ölçerken bu pek sorun olmaz. Örneğin yemek masamızın boyunu bir metre çubuğu yardımıyla ölçerken, bizim masanın boyunu ölçmemiz, masanın boyunu kısaltıp, uzatmaz. Ama eğer söz konusu sistem atomik ölçekte ise gözlemcinin yapacağı ölçüm sonucu *etkileyebilir*. Yani aslında (biz onu ölçmesek) 1,00 birim olan bir değer, bizim onu *ölçmemiz* nedeniyle 1,01 ya da 0,99 çıkabilir.

Burada gözlemcinin varlığı nedeniyle asıl değerinden sapma olayına biri günlük yaşamdan ve fizikle ilgisiz, biri temel fizikten, biri de kuantum fiziğinden olmak üzere üç örnek verilebilir:

i- Eğer bir grup deneğin adlarını vermeyecekleri herhangi bir anket yapılırken gözetmen (anketör) iseniz ve bu denek grubundaki bir kişi formu doldururken başında durup, sorulara ne yanıt verdiğini okuyorsanız, o denek sizin bakmanızdan rahatsız olup ya o sırada bir şey yazmayacak ya da belki yazdığını öğrenmenizden çekinip, siz yokken yazacağından biraz daha farklı yanıtlar verecektir.

ii- Temel fizikle az çok ilgisi olan ve lisede elektrik konularını görmüş olanlar bilir ki bir elektrik devresindeki akımı ölçmek için kullanılan ampermetre denen aygıtın iç direnci olabildiğince küçüktür ve devreye seri bağlanır. Oysa aynı dön-

güde iki nokta arasındaki gerilim farkını ölçmede kullanılan voltmetrenin iç direnci oldukça yüksektir ve devreye paralel bağlanır. Önce akımı düşünelim ve örneğin 12 voltluk bir üretece yalnızca 6 ohm'luk bir direncin bağlı olduğunu varsayalım. Biz ölçmezken, akım Ohm yasasına göre, $i = V/R = 2$ A olarak geçiyor. Ama eğer biz 12 volt ve 6 ohm değerlerinden birini ya da her ikisini bilmiyorsak, bu bölme işlemini yapamayız. O yüzden devreye 6 ohmluk dirence seri olarak bir ampermetre bağlayıp ölçüm yapmamız gerekir. Bu durumda iki direnç, yani devredeki 6 ohm'luk dirençle bizim ampermetrenin içindeki tellerden kaynaklanan ve zorunlu olarak bulunması gereken direnç seri olduklarından ve yasa gereği eşdeğer direnç bunların toplamıyla bulunacağından, eşdeğer direnç $R_{eş} = 6 + R_{iç}$ olur ($R_{iç}$ ampermetredeki tellerden kaynaklanan, kaçınılmaz iç direnç oluyor). Eğer bu iç direnç de asıl değer kadar ise, $R_{iç} = 6$ ohm olacağından, biz devreden geçen akımı 1 amper olarak ölçer ve oldukça hatalı bir sonuca varırız. Oysa bu iç direncin asıl değer olan 6 ohm'dan çok çok küçük bir 0,1 ohm olması halinde, 1,98 A, yani gerçek akım değerine çok yakın bir sonuç elde ederiz. Aynı şekilde devreye paralel bağlanacak voltmetrenin iç direnci de, onun bağlanacağı koldan fazla akım çekmemesi ve asıl akımın gerilim farkı öğrenilmek istenen koldan geçmesini sağlamak üzere, olabildiğince yüksek tutulur.

iii- Kitapta da sözü geçen Young'ın çift yarık deneyinde elektronlar önlerindeki iki yarık da açıkken girişim yapar, yani karşıdaki ekranda aydınlık – karanlık – aydınlık – ... desenler oluştururlar ve böylece dalga gibi davranırlar. Oysa yalnız bir yarık açıksa o zaman ekranda, o yarığın karşısında (bir çan eğrisi gibi) sadece kümelenip, parçacık davranışı sergilerler. Eğer düzeneğin "musluğu" iyice kısılıp, elektronlar her ikisi de açık olan yarıklara birer birer yollanırsa, o zaman bizim "Acaba bu elektron hangi yarıktan geçti?" düşüncesiyle geçiş sırasında bir algılayıcı koymamızla, nereden geçtiğine aldırmayıp, algılayıcı koymamamız elektronun davranışını belirler. Eğer hangi yarıktan geçtiğini anlamaya çalışırsak yarıktan teker teker geçen elektronlar ekranda parçacık gibi davranıp, çan eğrisi oluşturacak şekilde birikirlerken, konuya aldırmamamız halinde, dalga gibi davranıp, girişim deseni oluştururlar.

Yukarıdaki bu örnekler bir deney yaparken gözlemcinin gözlenen şeyle etkileşmesine verilebilecek örneklerden birkaçıdır.

2- Bir kuantum sistemindeki bir büyüklüğün ölçülmeden önce ne sonuç vereceği bilinemez ama farklı seçenekler için farklı olasılıklardan söz edilebilir. Örneğin küçük bir bölgeye kıstırılmış bir elektronun o bölgenin neresinde olacağı araştırılıyorsa, kimi yerlerde bulunma olasılığının başka yerlere göre daha büyük olduğu bulunabilir. Ya da eğer bu elektronun hızı ölçülecekse, sonuç yine ölçümden sonra bulunur ve bir kez bulunduktan sonra artık ölçüm öncesindeki öteki adaylar yok olur (dalga fonksiyonunun indirgenmesi denen şey) ve bir değer bulunur. Ama hemen ilk ölçümün ardından ikinci bir ölçüm daha yapılırsa, sonuç yine ilk değer olur.

Burada günlük yaşamdan biri kuantum örneğine benzeyen, öteki benzemeyen iki farklı örnek verilebilir. Önce benzemeyen örneğe bakalım: Diyelim içi görülmeyen bir torbaya, sarı-kırmızı-beyaz renklerdeki toplardan onar adet koyuyor ve bir topu çekiyoruz. Çekilişten önce çıkacak topun rengi için üç aday söz konusuydu. Ama örneğin çekilen topun sarı olduğu görüldükten sonra, öbür iki renk artık elenmiş oldular (sanki dalga fonksiyonu indirgendi). Ama ilk çekilişin ardından (sarı topu geriye içeri atmadan) bir top daha çekersek, yeni olasılıklar biraz değişti ama çıkacak top için "yine sarı olur" denemez. Bu örnek kuantum olaylara pek benzemiyor.

Ama örneğin ateşi yükselmiş bir hastanın vücut sıcaklığı ölçülecekse, (hastalık derecesine geldiğine göre) daha ölçüm yapmadan, örneğin bu sonucun 37,1 ^{0}C ile 41,0 ^{0}C arasındaki (virgülden sonra 1 basamağı dikkate alırsak) 40 farklı aday vardır. Ama termometre aracılığıyla bir kez ölçüm yapılıp, sonuç da örneğin 38,6 ^{0}C çıkmışsa, bütün o geriye kalan 39 aday artık elenmiştir (yine dalga fonksiyonunun indirgenmesi). Ancak bu örneğin toplardan bir farkı vardır. Hastanın ateşi 38,6 ^{0}C olarak bulunduktan hemen sonra ikinci bir ölçüm daha yapılırsa, (o kısa sürede vücut sıcaklığı birdenbire pek değişmeyeceğinden) yine aynı 38,6 ^{0}C sonucu ölçülür. İşte bu son durum kuantum sistemlerindeki durumu sanki andırmaktadır.

DİZİN

Abélard, Pierre 39, 40
Abel, Niels Henrik 81
Aksiyom (aritmetik) 122, 123, 126, 128, 330
Albertus Magnus 36, 42
Alembert, Jean Le Rond d 76, 77
Ampère, André Marie 63, 64, 65
Anaksimander 11, 85, 123
Arago, François 61
Aristarkhos, Samoslu 44, 46
Aristoteles 31, 32, 33, 34, 35, 41, 44, 50, 87, 92, 100, 108, 130, 183, 210, 215, 255, 282, 318, 320, 325
Arnauld, Antoine 36
Arşimet 50, 58, 72, 124, 125
Aspect, Alain 269
Augustinus 136, 256, 259, 285
Avenarius, Richard 258
Avogadro, Amedeo di Quaregna e Ceretto, Count 165

Bacon, Francis 7, 22, 87, 88, 89, 91, 102, 195, 231, 281, 283, 299, 300, 312, 325
Banach, Stephan 140
Bell, John 231, 267
Bernoulli, Daniel 76, 164
Bessel, Friedrich 81, 83
Bilgi kuramı 316
Bilimsel devrim 330
Biot, Jean-Baptiste 61, 63, 64, 65, 67
Birkhoff, George David 209, 210, 215
Bohm, David 186, 261, 262, 265
Bohr, Niels 18, 103, 168, 178, 251
Bolyai, János 78
Bolzano, Bernhard 84
Boole, George 111
Born, Max 170, 171, 181
Bourbaki, Nicolas, 114, 129, 146
Brahe, Tycho 47, 48, 303
Broglie, Louis de 170, 172, 186, 312
Brouwer, Luitzen Egbertus Jan 145
Brown, Robert 164
Bruno, Giordano 46
Burali-Forti 132

Caldeira, A. O. 235
Cantor, Georg 84, 85, 86, 111, 128, 129
Cardan, Gerolamo 75
Carnap, Rudolf 106
Carroll, Lewis (Charles Lutwidge Dodgson) 197
Cauchy, Augustin 78, 79, 80, 83
Cavaillès, Jean 107
Cavendish, Henry 63
Cayley, Arthur 82
Cebir 74, 81
Changeux, Jean-Pierre 139, 142, 143
Chasles, Michel 82
Connes, Alain 139, 140, 141, 142
Coulomb, Charles Augustin de 63, 65
Crick, Francis Harry Compton 297
çıkarım 122, 133, 144, 197, 198, 199

Dalga fonksiyonunun indirgenmesi 248, 331
Darbon, André 142, 144
Darwin, Charles 304
Dedekind, Richard 85, 125, 128, 129

Demokritos 12, 14, 15, 17, 19, 58, 163
de Morgan, Augustus 113
deneycilik 302
deneysel kurallar 52, 55, 58, 292
Descartes, René 22, 30, 31, 51, 52, 53, 54, 58, 59, 60, 75, 89, 90, 91, 97, 114, 138, 164, 256, 258, 299, 300, 311
Dieudonné, Jean 109, 139, 144
Dirac, Paul 170, 174, 242, 310
Diyafontos 74
Dowker, Fay 271
Duhem, Pierre 255, 302
Duns Scotus 42
Düşünce 20, 26, 92, 109, 139

Eco, Umberto 40
Ehrenfest, Paul 223
Einstein, Albert 1, 49, 54, 56, 91, 100, 153, 157, 158, 159, 160, 162, 163, 165, 169, 170, 171, 172, 177, 181, 186, 235, 249, 255, 260, 265, 267, 284, 286, 287, 302, 311, 326
eksantrik 45
elektromanyetik alan 67, 69, 261, 332
elektromanyetizma 66
elektron 164, 166, 171, 172, 179, 183, 211, 319, 336, 339
Eliade, Mircea 287, 288
enerji 51, 57, 67, 158, 162, 167, 168, 171, 174, 176, 181, 204, 239, 240, 331, 332, 333
Epikuros 93, 163
Eratosthenes 44
Esir (eter) 66, 332
Espagnat, Bernard d 254, 259, 262, 271, 272, 333, 336
eşevresizlik 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 247, 271, 332
Eudoks 72, 85
Everett 250, 251

Feyerabend, Paul 56, 299, 301
Feynman, Richard P. 68, 174, 235, 302
Fitzgerald, George Francis 156, 157, 161
fonksiyon 78, 79, 80, 83, 128, 204, 205, 208, 232, 250, 331, 336
foton 185, 213, 215, 239, 241, 317, 319
Foucault, Michel 298
Franklin, Benjamin 62
Frege, Gottlob 109, 111, 113, 117, 121, 125, 128, 129, 131, 132, 215, 266
Fresnel, Augustin 60, 61

Galileo 51, 54, 88, 91, 159, 162, 256, 257, 303, 332
Galois, Evariste 81
Gauss, Carl Friedrich 63, 64, 65, 77, 78, 125, 126, 162
Gay-Lussac, Louis Joseph 61, 164
Gell-Mann, Murray 192, 271
Geometri 29, 85, 318
Gergonne, Joseph Diez 82
Gödel, Kurt 109, 123, 129, 132, 133, 134
gözlenebilir 167, 204, 206, 207, 221, 228, 236, 238, 240, 332, 333, 334, 335, 336, 337
Gray, Stephen 62
Griffiths, Robert 192, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 217, 244, 245, 246, 248, 260, 271
Grimaldi, Francesco Maria 59

Hamilton, Sir William Rowan 57, 68, 242, 243, 331, 332
Haroche 235, 241
Hartle, James 192, 271
Heidegger, Martin 20, 53, 91, 252, 321, 322, 325, 334
Heisenberg, Werner 170, 171, 172, 173, 177, 182, 183, 198, 235, 237, 260, 302, 312, 330
Herakleitos 11, 16, 17, 20, 37
Hermite, Charles 81, 84, 138
Hertz, Heinrich 68, 69, 166

Hilbert, David 86, 109, 128, 129, 130, 133, 140, 146, 163, 170
Hipparkos 44, 45, 46, 256
Hippasos, Metapontumlu 29
Hooke, Robert 59
Hrisippos 32, 34, 35, 36, 121, 215
Hubble, Edwin Powell 285
Hume, David 22, 42, 95, 96, 97, 99, 101, 103, 145, 150, 184, 185, 195, 246, 280, 282, 289, 313, 316, 336
Husserl, Edmund 20, 53, 89, 99, 102, 103, 334
Huygens, Christian 51, 59, 60, 61

İlke 311, 334
İşlemci 334
izdüşüm 82, 205, 206, 207, 208, 209, 211, 222, 223, 225, 236, 334

Jacobi, Carl Gustav 81
Jevons, William Stanley 112
Joos, E., 235
Jordan, Pascual 172

Kant, Immanuel 22, 54, 77, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 107, 157, 180, 184, 185, 196, 246, 258, 263, 280, 285, 313, 318, 335
Kartezyen 20, 53, 91, 199, 252, 312, 334
Kepler, Johannes 47, 48, 49, 51, 55, 168, 227, 292, 293, 294, 302
Klein, Felix 82
Kneale, William and Martha 25
Koestler, Arthur 306
Kopernik (Copernicus, Nicholaus) 46, 47, 99, 256
Kuantum 1, 3, 17, 102, 134, 154, 174, 175, 179, 180, 181, 186, 187, 188, 192, 196, 197, 209, 212, 214, 216, 223, 227, 229, 232, 239, 241, 244, 245, 252, 253, 254, 255, 260, 261, 262, 266, 267, 274, 312, 321, 331, 332, 333, 334, 335, 336
kuantum mekaniksel 262
Kuhn, Thomas 296, 298, 301, 330, 335
Kütleçekim 56, 291

Lagrange, Joseph Louis de 57, 68, 76, 242, 243, 331
Lakatos, Imre 147, 148
Laplace, Pierre Simon de 57, 61, 63, 67, 77, 181, 202, 260
Legendre, Adrien Marie 81, 83
Leggett, Anthony 235
Leibniz, Gottfried Wilhelm 22, 37, 76, 79, 102, 108, 111, 136, 142, 144, 321
Leonardo da Vinci 59
Leukippos 11, 58, 163
Lévi-Strauss, Claude 308
Lieb, E. H. 235
Lobaçevski, Nikolay İvanoviç 78
Locke, John 42, 91, 92, 93, 95, 97, 289
Logos 23, 31, 252, 279, 281, 325, 327, 328
Lorentz, Hendrik Antoon 157, 158, 159, 165
Lucretius 58, 163

mantık 7, 15, 16, 20, 22, 25, 26, 29, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 50, 53, 72, 88, 89, 98, 106, 107, 110, 113, 115, 120, 124, 127, 130, 131, 132, 134, 145, 184, 196, 197, 199, 200, 204, 214, 215, 216, 219, 224, 238, 247, 253, 261, 264, 271, 272, 286, 289, 303, 304, 306, 333
Maxwell, James Clerk 43, 65, 66, 67, 68, 69, 152, 155, 170, 173, 180, 255, 258, 297, 334
mekanik 60, 91, 171, 173, 175, 181, 243, 258, 293, 302
Mendeleyev, Dimitri Ivanoviç 169, 174
Mendel, Johann Gregor 294, 297
Michelson, Albert 156, 332
Modus ponens 39, 335
momentum 51, 158, 242, 330, 334

Morley, Edward Williams 156
mutlak uzay 54, 159, 332

Nesne 200
Nesnellik 335
Neumann, Johannes von 174, 186, 208, 209, 210, 211, 215, 236, 237, 239
Newton, Isaac 52, 53, 54, 55, 56, 57, 60, 63, 64, 66, 68, 76, 83, 97, 108, 153, 155, 158, 159, 160, 162, 170, 173, 180, 185, 198, 201, 202, 221, 222, 223, 225, 227, 242, 243, 257, 292, 293, 294, 295, 296, 303, 304, 311, 332
Nicole, Pierre 36
Nietzsche, Friedrich 26, 103

Oersted, Christian 63
Ohm, Georg Simon 63, 64, 292, 339
Olasılık 260
Omnès, Roland 1, 3, 192
Optik 257
Oresme, Nicolas 51
Öklit, İskenderiyeli 72
Öklit, Megarisli 32, 33, 37
ölçüm kuramı 248
ölçüm sonucu 338

Paradigma 335
Parmenides 11, 14, 16, 20, 32, 37, 38
Pascal, Blaise 187, 258
Pauli, Wolfgang 102, 170, 177, 270
Peano, Giuseppe 117, 121, 125, 126, 128, 129
Peirce 113
Penrose, Roger 301
Perrin, Jean 165
Piaget, Jean 92, 313
Pisagor 11, 12, 15, 26, 27, 29, 30, 49, 72, 138, 140
Planck, Max 167, 168, 169, 172, 222, 240, 255, 295, 336
Platon 29, 30, 31, 32, 34, 37, 41, 42, 70, 72, 87, 135, 138, 139, 321, 322, 324
Plotinus 124, 137, 321, 322, 323, 324
Podolsky 186, 265
Poincaré, Henri 43, 49, 129, 147
Poisson, Denis 61, 63
Poncelet, Jean Victor 82
Popper, Karl Raimund 106, 302, 304, 305, 308
Posidonius 256
Pragmatizm 336
Protagoras 13
Ptolemaios 292
Ptolemaios, İskenderiyeli 46

Quine, Willard van Orman 106

Raimond, J. M. 235, 241
Rayleigh, Lord John William Strutt, 165
Richard (Richard's paradox) 68, 132, 174, 302
Riemann, Bernhard 78, 79
Roscelinus 42
Rosen 186, 265
Russell, Bertrand 41, 103, 106, 114, 128, 129, 132, 136, 138, 139, 142, 145, 275, 327
Rutherford, Ernest 166, 168, 291

sağduyu 19, 32, 106, 143, 170, 189, 203, 210, 215, 220, 224, 225, 230, 231, 244, 245, 295, 313, 315, 332
Savart, Felix 63, 64, 65, 67
Schrödinger, Erwin 170, 172, 173, 174, 177, 186, 188, 204, 213, 221, 223, 229, 232, 233, 236, 238, 239, 245, 248, 260, 336
Sıra değişebilme (Commutativity) 336
Simplikios 256
Sokrates 11, 22, 27, 33, 72, 89, 113, 123, 163, 274, 326
Sommerfeld, Arnold 169, 170, 172, 173
Sonsuz 85, 123, 125, 228

Spin 336
Spinoza, Baruch 22, 91, 97, 136, 140, 304, 321
Steinmann, O. 266, 267
Stevin, Simon 50
Stieljes, Thomas Jan 138

Tamamlayıcılık (Complementarity) 184, 264, 274
Tarski, Alfred 200
Tartaglia (Niccolo Fontana) 75
Thales 27, 71
Thomas Aquinas 38, 42, 136, 257, 284
Thom, René, 146
Thomson, Sir Joseph John 164

Uzaktan etki 65
uzay-zaman 16, 101, 153, 162, 311
üstdil 118, 120, 124, 283, 337

Van Heijenoort, Jean 109, 132
Volta, Alessandro 63
Voltaire 68, 173, 203

Wallis, John 51
Wegener, Alfred Lothar 290
Weierstrass, Karl 80, 85, 128
Whitehead, Alfred 103, 114, 128, 145
Wilder, Raymond 146
Wittgenstein, Ludwig 90, 103, 106, 262

yasa 35, 52, 65, 66, 67, 168, 186, 248, 251, 286, 291, 293, 294, 296, 303, 305, 331, 339
Young, Thomas 60, 239, 333, 339
yöntem 7, 16, 32, 33, 54, 56, 67, 87, 90, 91, 94, 122, 145, 180, 193, 232, 273, 299, 300, 301, 302, 305, 308, 309, 312, 314, 321, 323

Zeh, Hans Dieter, 235, 237
Zenon, Elealı 20, 37, 38, 85
Zermelo, Ernst 132

Dünyaya ve evrene ilişkin bilgimizin olağanüstü derinleştiği günümüzde, felsefe modern bilimleri kavramakta zorlanıyor. Hem bilimi hem de felsefeyi iyi anlamış ve doğru yorumlayan az sayıda düşünür arasında yer alan ünlü fizikçi Roland Omnès'in bu kitabı, kuantum fiziğinin getirdiği yeni felsefeyi anlamak için en önemli eserlerden birisidir. Kitap, antik felsefeden günümüze kadar gelen felsefe öğretilerinin özetini vererek, kuantum fiziğinin felsefeye getirdiği yeni yaklaşım üzerine yoğunlaşıyor. Omnès ayrıca Kuhn ve Feyerabend eleştirisi bağlamında bir fizikçi gözüyle bilim nedir sorusunu da irdeleniyor.

"Fizik ile felsefe arasındaki ayrım, tıpkı kuantum fiziği ile klasik fizik arasındaki ayrımda olduğu gibi net değildir... Omnès bu ayrımları açıklığa kavuşturuyor."
– Daniel B. Radov, *American Scientist*

"Harika bir kuantum mekaniği ve bilim felsefesine başlangıç kitabı."
– Richard Scalettar, *Physics Today*

"Böyle büyük bir felsefi projeye girişmeye yeltenen başka bir fizikçi tanımıyorum."
– Jeffrey Alan Barrett, University of California

THG
0018567
LLD
THG 0018567 LLD

ALFA
alfakitap
alfakitap
alfakitap
www.alfakitap.com
9 786051 714554
BİLİM