

BELİRSİZLİK

EINSTEIN, HEISENBERG, BOHR VE BİLİMİ KURTARMA
MÜCADELESİ

DAVID LINDLEY

ÇEVİREN
ÖZLEM KIRTAY



DAVID LINDLEY

İngiliz fizikçi, yazar ve bilim tarihçisi (d. 1956). Cambridge Üniversitesi'nde fizik eğitimi gördü, ardından Kaliforniya Üniversitesi, Cambridge Üniversitesi ve Fermi Ulusal Hızlandırıcı Laboratuvarı'nda araştırmacı olarak çalıştı. Daha sonra *Nature*, *Science* ve *Science News* gibi dergilerde editörlük yaptı. Bilim tarihine ve özellikle modern fiziğin kültürel ve düşünsel arka planı hakkında yaptığı çalışmalarla tanınmaktadır.

Başlıca eserleri: *Boltzmann's Atom: The Great Debate That Launched a Revolution in Physics* (2001); *Degrees Kelvin: A Tale of Genius, Invention, and Tragedy* (2004); *Where Does the Weirdness Go? Why Quantum Mechanics is Strange, But Not as Strange as You Think* (1996). *The End of Physics: The Myth of a Unified Theory* (1993).

ÖZLEM KIRTAY

Hacettepe Üniversitesi Felsefe Bölümü'nde felsefe lisans eğitimi aldı. Eğitimine İstanbul Üniversitesi'nde devam ediyor. Felsefe ve fizikle ilgileniyor. İsveççe, Almanca ve İngilizceden çeviriler yapıyor. Başlıca çevirileri: Giles Sparrow, *Dakikalar İçinde Fizik* (2024); Gemma Lavender, *Dakikalar İçinde Kuantum Fiziği* (2024); Mortimer J. Adler, *Herkes İçin Aristoteles* (2024).

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	11
DİPNOTLAR HAKKINDA	13
GİRİŞ	15
I	
RAHATSIZ PARÇACIKLAR	22
2	
ENTROPİ MAKSİMUMA ULAŞMAYA ÇALIŞIR	34
3	
BİR GİZEM, DERİN BİR HAYRET KONUSU	45
4	
BİR ELEKTRON NASIL KARAR VERİR?	57
5	
DAHA ÖNCE HİÇ DUYULMAMIŞ BİR CESARET	68
6	
BİLGİ EKSİKLİĞİ BAŞARININ GARANTİSİ DEĞİLDİR	82
7	
NASIL MUTLU OLUNABİLİR?	96
8	
AYAKKABICI OLMAYI TERCİH EDERİM	106

9	BİR ŞEY OLDU	117
10	ESKİ SİSTEMİN RUHU	129
11	DETERMİNİZMDEN VAZGEÇME EĞİLİMİNDEYİM	141
12	KELİMELERİMİZ UYUŞMUYOR	151
13	KORKUNÇ BOHR BÜYÜSÜ TERMİNOLOJİSİ	163
14	ARTIK OYUN KAZANILMIŞTI	174
15	BİLİMSEL TECRÜBE DEĞİL HAYAT TECRÜBESİ	186
16	KESİN BİÇİMDE YORUMLAMA OLANAKLARI	196
17	MANTIK VE FİZİK ARASINDAKİ TARAFSIZ BÖLGE	209
18	SONUNDA ANARŞİ	219
	SONSÖZ	229
	KAYNAKÇA	231
	DİZİN	235

TEŞEKKÜR

Yıllar boyunca kuantum mekaniğinin tarihini benim yapabildiğimden çok daha ayrıntılı bir şekilde inceleyen ve kendi eserimi yazarken çalışmalarına büyük ölçüde güvendiğim çok sayıda yazara fazlasıyla borçluyum. Özellikle Abraham Pais ve David Cassidy'nin çabalarını takdirle karşılıyorum. Elbette onlar ve diğerleri, benim tarih versiyonumdaki herhangi bir yanlışlık veya kişiselleştirmeden sorumlu tutulamazlar.

College Park, Maryland'deki Amerikan Fizik Enstitüsü'nün Fizik Tarihi Merkezi'nin Niels Bohr Kütüphanesi'nden yararlanmasaydım bu kitabın gereken araştırmaları yapamazdım. Orada bana her zaman yardımcı olmuş olan personele çok teşekkür ederim. Ayrıca Kongre Kütüphanesi'nden, Maryland Üniversitesi ve George Mason Üniversitesi kütüphanelerinden ve Smithsonian'a bağlı Amerikan Tarihi Ulusal Müzesi'ndeki Dibner Bilim ve Teknoloji Tarihi Kütüphanesi'nden kolay erişim imkânı ve faydalı yardımlar aldığım için minnettarım. (Mary Jo Lazun'a beni bu sonuncusuna yönlendirdiği için teşekkür ederim).

Boston Üniversitesi'nden Abner Shimony ile EPR makalesi hakkında keyifli ve aydınlatıcı bir sohbet gerçekleştirdim. Ralph Cahn Almanca'dan bazı çevirilerde bana yardımcı oldu.

Temsilcim Susan Rabiner, yazmaya başlamadan önce bu kitabın ne hakkında olduğunu daha net bir şekilde çözmem için beni teşvik etti (hatta zorladı diyebilirim) ve her zaman olduğu gibi onun yardımı olmasaydı bu proje asla hayata geçemezdi. Doubleday'deki Charlie Conrad'ın keskin editöryal gözü, kitabı aksi takdirde olabileceğinden daha ince, daha keskin ve daha amaçlı hâle getirdi. İkisine de çok teşekkürler.

Özellikle bu projeyi bir araya getirmenin belirsiz ilk aşamalarındaki manevi desteği için Peggy Dillon'a teşekkür ederim.

DİPNOTLAR HAKKINDA

Dipnotlarda metindeki her bilgi kırıntısına açıklama getirmeye çalışmadım. Katılımcıların yaşamları ve çalışmalarına ilişkin ayrıntılar genellikle kaynakçada atıfta bulunulan eserlerden alınmıştır; C. C. Gillispie'nin editörlüğünü yaptığı *Dictionary of Scientific Biography* [Bilimsel Biyografi Sözlüğü] daha küçük karakterler için varsayılan kaynaktır.

Kuantum teorisinin ortaya çıkışını anlamak için büyük ölçüde Abraham Pais'in kaynakçada belirtilen üç kitabına dayandım. Cassidy'nin Heisenberg biyografisi ve Dresden'in Kramers biyografisi de van der Waerden'in önemli makalelerden oluşan derlemesine yazdığı uzun giriş yazısı gibi yararlıydı. Mehra ve Rechenberg'in çok ciltli tarihinden daha az yararlandım, çünkü bu çalışma, hikâyeyi anlatırken ihtiyaç duyduğumdan çok daha fazla teknik ayrıntıya giriyordu.

AHQP röportajları, Amerikan Felsefe Derneği ve Amerikan Fizik Derneği'nin 1960 yılında başlattığı ortak bir proje olan Kuantum Fiziği Tarihi Arşivleri'nin bir parçası olarak kaydedilen çok değerli sözlü tarihlerdir. (Daha fazla ayrıntı için bkz. www.amphilsoc.org/library/guides/ahqp.) Bu görüşmelerin yazıya dökülmüş hâllerine College Park, Maryland'deki Amerikan Fizik Enstitüsü'nde bulunan Fizik Tarihi Merkezi'nin Niels Bohr Kütüphanesi'nden ulaştım. AHQP mülakatlarının çoğu, ana dili İngilizce olmayanlarla bile İngilizce yapılmıştır, bu nedenle bazı ifadelerde zaman zaman uyumsuzluk görülmektedir.

Mümkün olan her yerde, metinde alıntılanan ifadelerin orijinal Almanca kaynaklarını bulmaya çalıştım ve bu nedenle çevirilerim bazen başka yerlerde İngilizce olarak yayınlanan versiyonlardan biraz farklı olabilir.

Bohr, CW; Bohr, *Collected Works*'e atıfta bulunmaktadır.

GİRİŞ

Bilim karmaşadan düzen çıkarma çabasıysa, 1927'nin başlarında beklenmedik bir yola sapmıştı. O yılın Mart ayında, henüz 25 yaşında olmasına rağmen uluslararası üne sahip bir fizikçi olan Werner Heisenberg hem basit hem ince-likli hem de şaşırtıcı bir bilimsel akıl yürütme ortaya koydu. Heisenberg'in kendisi de ne yaptığını tam olarak bildiğini iddia edemezdi. Yaptığı şeyin anlamını yansıtacak uygun bir kelime bulmakta zorlanıyordu. Çoğu zaman “kesin olmama” olarak çevrilebilecek Almanca bir sözcük kullanmıştı. Birkaç yerde, biraz farklı bir niyetle, “belirsizliği” denedi. Öte yandan Heisenberg, akıl hocası ve eski çalışma arkadaşı Niels Bohr'un karşı konulmaz etkisi altında, yeni bir sözcüğü gündeme getiren bir dipnotu istemeye istemeye de olsa ekledi: belirsizlik. Böylece Heisenberg'in keşfi silinmez bir şekilde belirsizlik ilkesi olarak anılmaya başladı.

En iyi kelime bu değildi. Belirsizlik 1927'de bilim için yeni bir şey sayılmazdı. Deneysel sonuçlarda her zaman biraz belirsizlik vardır. Teorik tahminler ancak arkalarındaki varsayımlar kadar iyidir. Deney ve teori arasındaki sonsuz gidiş gelişte bilim insanına nasıl ilerleyeceğini söyleyen şey belirsizliktir. Deneyler her zamankinden daha ince ayrıntıları araştırır. Teoriler ayarlama ve revizyona tabi tutulur. Bilim insanları bir anlaşmazlık seviyesini çözdüklerinde bir sonraki seviyeye geçerler. Belirsizlik, çelişki ve tutarsızlık, canlı bir bilimsel disiplinin olmazsa olmazlarıdır.

Yani Heisenberg bilime belirsizliği katmadı. Onun değiştirdiği şey, hem de derinden değiştirdiği şey, bu kavramın doğası ve anlamıydı. Her zaman alt edilebilir bir düşman gibi

görünmüştü. Kopernik, Galileo, Kepler ve Newton ile başlayan modern bilim, mantıksal akıl yürütmenin doğrulanabilir olgu ve verilere uygulanması yoluyla gelişmiştir. Matematğin titiz diliyle ifade edilen teorilerin analitik ve kesin olması gerekiyordu. Bunlar gizem ve tesadüflerin yerine akklı ve nedenleri koyacak kapsamlı açıklamalar, sistemler ve yapılar sunuyorlardı. Bilimsel evrende hiçbir şey, onun gerçekleşmesini sağlamayan bir şey olmadan gerçekleşmez olmaz. Kendiliğindenlik veya keyfilik söz konusu değildir. Doğa olayları aşırı derecede karmaşık olabilir ama bilim de en temelde düzen ve öngörülebilirliği ortaya koymalıdır. Gerçekler gerçektir, yasalar yasalardır. Hiçbir istisna olamaz. Bilimin değirmenleri, yerini aldıkları değirmenler gibi gereğinden fazlasını öğütecektir. Hem de mükemmel bir şekilde.

Bir ya da iki yüzyıl boyunca bu rüya gerçekleştirilebilir gibi göründü. Bir kuşağın bilim insanları, bir öncekilerin çalışmalarını temel aldıkları hâlde ideallerine henüz ulaşamadıklarını görebiliyorlarsa, kendilerinden sonra gelenlerin işi biteceklerine de aynı şekilde inanabilirlerdi. Aklın gücü, ilerlemenin kaçınılmazlığına işaret ediyordu. Bilim daha görkemli, daha kapsayıcı ama aynı zamanda daha ayrıntılı, daha titiz hâle geliyordu. Doğa bilinebilirdi ve eğer bilinebilirse de bir gün mutlaka bilinecekti.

Doğa bilimlerinden kaynaklanan bu klasik görüş, 19. yüzyılda her türden bilim için geçerli bir görüş hâline geldi. Jeologlar, biyologlar, hatta ilk nesil psikologlar, doğal dünyayı bütünüyle karmaşık ama hatasız bir makine olarak görüyordu. Tüm bilimler fiziğin sunduğu bu ideale ulaşmayı arzulu-yordu. İşin püf noktası, biliminizi hassas betimlemelere uygun gözlemler ve fenomenler açısından –yani sayılara indirgenebilir bir şekilde– tanımlamak, ardından da bu sayıları kaçınılmaz bir sisteme bağlayan matematiksel yasaları bulmaktı.

Görevin zor olduğuna şüphe yok. Eğer bilim insanları hırslarından dolayı yılmışlarsa bunun nedeni parçalarına ayırmaya çalıştıkları makinenin karmaşıklığıydı. Belki de doğa ka-

nunları akıllarının kavrayamayacağı kadar büyük olacaktı. Belki de bilim insanları doğa kanunlarını yazabileceklerini, sonrasında ise sonuçlarını çözecek analiz ve hesaplama gücünden yoksun olduklarını keşfedeceklerdi. Eğer mutlak bilimsel kavrayış projesi başarısızlığa uğrarsa, bunun nedeni doğanın kendisinin yola gelmez olması değil, insan zihninin bu göreve uygun olmaması olurdu.

Heisenberg'in argümanının bu kadar rahatsız edici olmasının nedeni de buydu. Bilimin yapısındaki, deyim yerindeyse altyapısındaki beklenmedik bir zayıflığı hedef alıyordu ki bu da temelin şimdiye kadar açıkça sağlam görünmüş olduğu için hiç incelenmemiş bir parçasıydı.

Heisenberg'in doğa yasalarının mükemmelliği ile bir sorunu yoktu. Aksine, doğanın *olgularında* garip ve endişelendirici birtakım zorluklar buldu. Onun belirsizlik ilkesi bilimin en temel eylemiyle ilgiliydi: Dünya hakkındaki, bilimsel incelemeye tabi tutabileceğimiz türden bilgiyi nasıl ediniriz? Heisenberg'in verdiği somut örnekte olduğu gibi, bir nesnenin nerede olduğunu ve ne kadar hızlı hareket ettiğini nasıl bilebiliriz? Bu, Heisenberg'den öncekileri şaşkına çevirecek bir soruydu. Hareket eden bir nesnenin, herhangi bir anda belli bir hızı ve konumu vardır. Bunları ölçmenin veya gözlemlemenin yolları vardır. Gözleminiz ne kadar iyi olursa sonuç da o kadar isabetli olur. Söylenecek başka ne var?

Heisenberg çok daha fazlasını keşfetti. Vardığı o çok devrimci ve ezoterik sonuç, neredeyse sıradanlaşmış kelimelerle ifade edilmişti. Bir parçacığın hızını ölçebilirsiniz ya da konumunu ölçebilirsiniz ama ikisini birden ölçemezsiniz. Ya da: Konumu ne kadar kesin olarak bulursanız hızını da o kadar az bilebilirsiniz. Ya da daha dolaylı ve daha az açık bir şekilde söylemek gerekirse: Gözleme eylemi gözlemlenen şeyi değiştirir.

İşin özü, ne olursa olsun, olgular öyle sanıldıkları kadar basit, somut şeyler değillerdi. Doğal dünyayı büyük bir makine gibi gösteren klasik tabloda, bu makinenin işleyen bü-

tün parçalarının sınırsız bir hassaslıkla tanımlanabileceği ve bu parçaların arasındaki bütün bağlantıların kesin biçimde anlaşılabilmesi varsayılmıştı. Her şeyin bir yeri vardı ve her şey kendi yerindeydi. Bu temel ve özsel bir gerçek olarak görülüyordu. Evreni kavrama umudunu taşımak için önce evrenin bütün bileşenlerinin tek tek keşfedilebileceğini ve bunların neler yaptıklarının öğrenilebileceğini varsaymanız gerekirdi. Heisenberg ise bilmek istediklerinizi her zaman öğrenemeyeceğinizi, doğal dünyayı betimleme gücünüzün bile kısıtlı olduğunu söyler gibiydi. Madem onu istediğiniz gibi betimleyemiyorsunuz, yasalarını akıl etmeyi nasıl umabilirsiniz?

Heisenberg'in keşfinin sonuçları muğlaktı. Bu keşif, Heisenberg'in sadece iki yıl önce ortaya koyduğu ve kuantum mekaniği olarak ün kazanacak olan teorinin nasıl inşa edileceğini sezgisel bir şekilde görmesini sağlayan, aynı derecede dikkat çekici ve kafa karıştırıcı bir kavrayışın hemen ardından geldi. Fizik dünyasının geri kalanı ayak uydurmakta zorlanırken, Heisenberg genç bir adamın duru vizyonu, fiziğin temel kurallarını kendisinin bile henüz tam olarak kavradığını iddia edemeyeceği yeni bir teorik dilde yeniden yazarak ilerlemeye hevesliydi. Öte yandan, yavaş ve bazen bıktırıcı derecede dikkatli düşünmeye yatkın bir adam olan Niels Bohr, yeni olanı eski olana dâhil edip birleştirme ihtiyacını görüyordu. Zor ama temel görevin, önceki dönemin zor kazanılmış başarılarını denize atmadan yeni kuantum fiziğini anlamlandırmak olduğunu düşündü. O ve Heisenberg, yeni ortaya çıkan ve hâlâ tartışmalı olan bilimin en iyi nasıl anlatılacağı konusunda aralarında tartışıp durdular.

Bu sırada tartışmaya başka bir ses daha katıldı. Heisenberg ilkesini açıkladığında Albert Einstein neredeyse ellisine yaklaşmıştı. O bilimin yaşlı adamıydı, saygı duyulan, hürmet edilen ama artık her zaman ilgi görmeyen biriydi. Önemli işleri daha genç bilim insanları yapıyordu. Einstein yüce yorumcu rolünü üstlenmişti. O da kendi zamanında bir devrimciydi. En parlak yılı olan 1905'te, görelilik teorisi ile eski