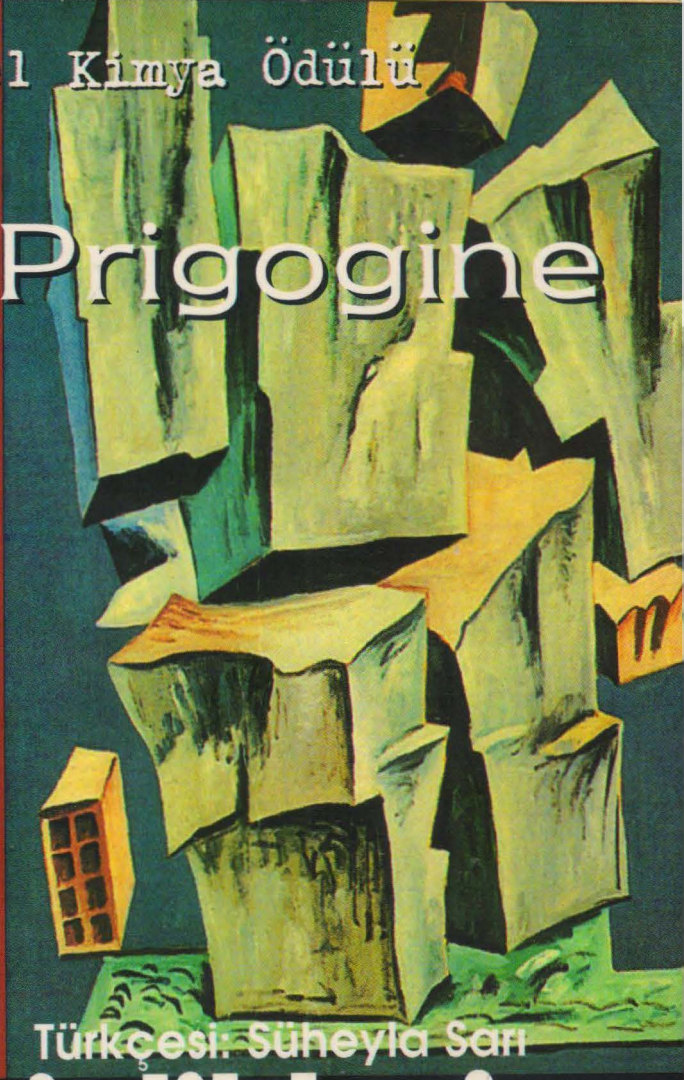
1977 Nobel Kimya Ödülü

Ilya Prigogine



T.C. KB

Türkçesi: Süheyla Sarı

Kesinliklerin Sonu

Zaman, Kaos ve Doğa Yasaları

sarmal YAYINEVİ

GÜNDÜZ
Basım Yayım Dağıtım
Ticaret ve San. Ltd. Şti.

Kesinliklerin Sonu
LA FIN DES CERTITUDES
Ilya Prigogine
Birinci Baskı: Ağustos 1999
© 1999 Akçalı Ajans / İstanbul-Türkiye
Türkçe Yayın Hakları Gündüz Basım Yayım
Dağıtım Ticaret ve San. Ltd. Şti.'ne Aittir.
ISBN 975-8304-24-0

Cet ouvrage, publié dans le cadre du programme d'aide à la publication, bénéficie du soutien du Ministère des Affaires Etrangères, de l'Ambassade de France en Turquie et du Centre Culturel et de Coopération Linguistique.

Çeviriye destek programı çerçevesinde yayımlanan bu yapıt, Fransa Dışişleri Bakanlığı'nın, Türkiye'deki Fransa Büyükelçiliği'nin ve Fransız Kültür Merkezi'nin desteğiyle gerçekleştirilmiştir.

Türkçesi:
Süheyla Sarı
Baskı-Cilt
Ceren Basım Yayım

SARMAL YAYINEVİ
Çatalçeşme Sk. Meriçli Apt. 52/3 Cağaloğlu - İstanbul
Tel: (0 212) 513 94 23 - 513 95 21 Fax: (0 212) 522 45 78

Ilya Prigogine

Ω

Kesinliklerin Sonu

Zaman, Kaos ve Doğa Yasaları

Türkçesi
Süheyla Sarı

İÇİNDEKİLER

Önsöz *9*
Epikuros İkilemi *15*
Yalnızca Bir Yanılsama mı? *55*
Olasılıklardan Tersinmezliğe *73*
Kaos Yasaları *89*
Newton Yasalarının Ötesinde *107*
Kuantum Kuramının Yeni Bir Formülasyonu *129*
Doğayla Diyalogumuz *149*
Zaman, Varoluştan Önce mi? *159*
Sınırlı Bir Yol *181*

TEŞEKKÜR

Bu yapıtın ilginç bir öyküsü var. Başlangıçta Isabelle Stengers ile ortaklaşa yazılan *Zaman ve Sonsuzluk Arasında* adlı yapıtın çevirisini hazırlamak söz konusuydu. Yapıtın çok sayıda çevirisini yaptık (bu çevirilerden biri Almanca[1] diğeri Rusça[2] olarak yayımlandı). Ancak çok kısa süre önce bu konuda kaydedilen gelişmeler, beni sunuşu gözden geçirmeye zorladı. Isabelle Stengers —o olmadan bu kitabı yazamazdım— alçak gönüllülükle, ortak yazar olarak değil, "yapıt ortağı"m olarak gözükmeyi istedi. Metni İngilizce hazırlamıştım, Fransızca'ya çeviren ve birçok yönden düzelten odur. Kendisine içtenlikle teşekkür ediyorum.

Bu yapıt uzun yıllar süren bir ekip çalışmasının ürünüdür. Tüm emeği geçenleri sayamam. Bununla birlikte I. Antoniou (Brüksel), D. Driebe (Austin, ABD), H. Hasegawa (Austin, ABD), S. Tasaki (Kyoto) ve T. Petosky'den (Austin, ABD) oluşan genç ekibin önemini vurgulamadan edemeyeceğim. Bu yapıtta sunulan zaman, determi-

[1] I. Prigogine ve I. Stengers, *Das Paradox der Zeit*, München, R. Piper, 1993.

[2] I. Prigogine ve I. Stengers, Moscou, Editions du Progrès, 1994.

nizm ve tersinmezlik kavramları üzerine daha önce çok sayıda görüş ortaya atılmıştı, ancak bu ekip sayesinde bu görüşler belirlenmiş ve anlaşılır bir matematiksel formülasyon kazanmıştır.

Ayrıca bu çalışmayı hazırlayan Brüksel'deki eski ekibime teşekkür etmeden geçemem; özellikle R. Balescu, M. de Haan, Fr. Henin, Cl. George, A. Grecos ve F. Mayné'ye teşekkür etmek istiyorum.

Bu arada bu çalışmaları destekleyen kuruluşlara da, özellikle Belçika Fransız Topluluğu, Üniversite Gösteri Merkezi aracılığıyla Federal Belçika Hükümeti, Uluslararası Solvay Fizik ve Kimya Enstitüleri, Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı, Avrupa Birliği ve Welch Vakfı'na (Teksas) minnettarlığımı belirtmek istiyorum.

Son olarak, göstermiş olduğu sabır ve yüreklendirmeleri için Bayan Odile Jacob'a, gözlemleriyle kendimi daha iyi ifade etmeme yardım eden Gérard Jorland'a teşekkür etmek istiyorum.

Her an yeni yeni sorunların çıktığı günümüzde, bir kitap yazmak kolay bir şey değil, çünkü kitabı yazmak için harcayacağınız zamanda hemen her şey değişmiş olacak. Newton'dan bu yana izlenen fizikte kökten bir yön değişikliğiyle karşı karşıya bulunduğumuzu okuyucuya aktarabilirsem, bu yapıt amacına ulaşmış olacak.

ÖNSÖZ

Yeni Bir Ussallık

Karl Popper'a göre, us "*her* olayın kendinden bir öncekinin sonucu olduğunu ve olayların önceden söylenebileceğini ya da açıklanabileceğini ileri sürer... Öte yandan us, sağlıklı ve yetişkin bireylere birçok farklı eylem yolları arasında özgürce seçim yapma yeteneğini vermiştir[1]...". Usa olan bu yönelim, batı düşüncesinde William James[2]'in "determinizm ikilemi"olarak adlandırdığı önemli bir sorunla kendini gösterir. Bu ikilem dünyayla, özellikle de zamanla ilişkimizi kapsar. Gelecek belli mi ya da sürekli yapılanıyor mu? Özgürlüğümüze olan inancımız bir yanılgı mı? Yoksa bizi dünyadan ayıran bir gerçeklik mi? Ya da dünyanın gerçekliğine katılma tarzımız mı? Zaman sorunu varoluş ve bilme sorunlarının kesişme noktasında mı? Varlığımızın temel boyutu olan zaman fiziğin de merkezindedir, çünkü Batı bilimi, Galile fiziğinin kavramsal şemasına zamanın eklenmesiyle başlamıştır.

Hiç kuşkusuz bu başlangıç insan düşüncesinin bir zaferidir, aynı zamanda bu yapıtın konusunu oluşturan sorunun temelidir. Einstein'in "zamanı bir yanılsama" olarak ileri sürdüğü biliniyor. Gerçekte zaman, fiziğin Newton'un klasik dinamiğinden görelilik ve kuantum fiziğine dek temel yasalarında yer aldığı biçimiyle geçmiş ve gelecek

arasında hiçbir ayrıma izin vermez. Bugün hâlâ çok sayıda fizikçi için şu tam bir kesinlemedir: doğanın temel betimlemesinde *zaman oku* bulunmaz.

Bununla birlikte her yerde, kimyada, jeolojide, kozmolojide, biyolojide ya da insan bilimlerinde geçmiş ve gelecek farklı roller üstlenmiştir. Fiziğin zamansal bir simetri yüklediği bir dünyadan zaman oku nasıl çıkabilir? Fizikte "determinizm ikilemi"ne değişik bir boyut kazandıran *zaman çelişkisi* budur. Zaman çelişkisi bu yapıtın temel noktasını oluşturur.

Zaman çelişkisi çok geç, ancak 19. yüzyılın ikinci yarısında Viyanalı fizikçi Ludwig Boltzmann'ın çalışmaları sayesinde tanımlanmıştır. Kendisi biyolojide Charles Darwin'in modelini izleyebildiğine inanmış ve fizik olgularının evrimci bir betimlemesini yapmıştır. Geçmiş ve gelecek arasındaki eşdeğerliliğe dayanan Newton fiziği yasalarıyla geçmiş ve gelecek arasında temel bir ayrım güden her tür evrimci girişim arasındaki çelişkiyi açıklığa kavuşturmayı amaçlamıştır. O dönemde Newton fizik yasaları ideal, nesnel ve eksiksiz bir bilginin ifadesi olarak kabul ediliyordu. Geçmiş ve gelecek arasında eşdeğerlilik savında olan bu yasalara göre, zaman okuna temel bir anlam yükleyen her girişim bu ideale karşı bir tehdit gibi görünmüştür. Bu durum bugün hâlâ değişmemiştir. Boltzmann dönemi fizikçilerinin Newton fizik yasalarını kesin olarak kabul etmeleri gibi çok sayıda fizikçi bugün mikrofizik alanında kuantum mekaniğini fiziğin kesin açıklaması olarak benimsemiştir. Bu yüzden sorun sürüp gitmektedir: insan düşüncesinin temel yapısını bozmadan zaman okundan nasıl söz edilebilir?

Öyleyse zaman oku Boltzmann döneminden beri görüngübilim alanında yer almıştır. Buna göre geçmişle gelecek arasındaki farklılıktan sınırlı gözlemciler olarak biz insanlar sorumluyuz yani. Zaman okunu doğa gibi ancak yaklaşımsal olarak betimleyebildiğimiz bir olgu niteliğine indirgeyen bu sav yeni kitapların çoğunda hâlâ savunulmaktadır. Zaman okunun ortaya çıkmasıyla oluşabilecek çözümlenemez gizemin açıklamasını bilimlerden beklemeyi bırakmış yazarlar

da vardır. Unutmamalıyız ki, Boltzmann'dan bu yana durum çok değişti. Dinamik fiziğinin ve kaos düşüncesine bağlı kararsız dinamik sistemler dinamiğinin şaşırtıcı gelişimi Galile'den beri oluşturulan zaman kavramını tekrar gözden geçirmeye iter bizi.

Gerçekten de son yıllarda yeni bir bilim doğmuştur: dinamik süreçler fiziği. Bu bilim bugün kimyadan biyolojiye, kozmolojiden çevrebilime ve sosyal bilimlere kadar birçok alanda kullanılan oto-organizasyon ve dağıtıcı yapılar gibi yeni kavramları beraberinde getirmiştir. Dinamik fiziği tek yönlü bir zaman olarak nitelenen dağıtıcı süreçleri ele alır ve bunu yaparken tersinmezliğe yeni bir anlam katar. Önceleri zaman oku difüzyon, sürtünme, akışkanlık gibi çok basit süreçlere bağlıydı. Bu süreçlerin sadece dinamik yasaları yardımıyla anlaşılabilir oldukları sonucunu çıkartabilirdik. Ama bugün aynı şeyi söyleyemeyiz. Tersinmezlik artık bu kadar basit olaylarda ortaya çıkmıyor sadece. Çevrintilerin, kimyasal titreşimlerin ya da laser ışınımlarının oluşumu gibi birçok yeni olayın kaynağını da oluşturuyor aynı zamanda. Bu olayların hepsi zaman okunun temel yapıcı işlevini gösterir. Tersinmezlik eksiksiz bir bilgiye kavuştuğumuzda kaybolacak olan basit bir görünümle özdeşleştirilemez artık. Milyarlarca molekül yığılımında birbirine uygun davranışların temel bir koşuludur. Tekrarlamaktan hoşlandığım bir formüle göre şöyle de söyleyebiliriz: zaman oku görünmüyorsa, madde görmez, dengeye körü körüne bağlı kalır; zaman oku ortaya çıktığındaysa, madde dengeden uzaklaşmış olarak görmeye başlar! Tersinmez dinamik süreçlerin tutarlılığı olmaksızın dünya üzerinde yaşamın varlığı anlaşılmazdı. Zaman okunun yalnızca görüngübilimsel olduğu savı çöktü. Zaman okunu yaratan biz değiliz. Tam tersine, biz onun çocuklarıyız.

Fizikte zaman kavramının yeniden gözden geçirilmesine yol açan ikinci gelişme de kararsız dinamik sistemlerin gelişmesidir. Klasik bilim düzen ve kararlılığa önem vermişti, oysa artık her gözlem düzeyinde salınımın ve kararsızlığın temel bir işlev taşıdığını biliyoruz. Bu kavramlarla birlikte çoklu seçim ve sınırlı öngörürlük kavramları da ortaya çıkar. Kaos gibi kavramlar benimsenmiş ve kozmolojiden ekonomiye tüm bilim dallarına girmiştir. Ancak bu yapıtta göstereceğimiz

gibi kararsız dinamik sistemler aynı zamanda klasik dinamiğin ve kuantum fiziğinin gelişmesine dolayısıyla da temel fizik yasalarının yeniden formülleşmesine yol açmıştır. Bu formülleşme gerek geleneksel fiziğin gerekse kuantum mekaniğinin ve göreliliğin ileri sürdüğü geçmiş ve gelecek arasındaki simetriyi bozar. Sözünü ettiğimiz geleneksel fizik eksiksiz bilgiyi ve kesinliği birbirine bağlar: benimsenen başlangıç koşullarının verilmesi yeter; gelecek bu koşullara göre öngörülebilir ve geçmiş yine bu koşullara göre yeniden kurulabilir. Değişkenliğin (kararsızlık??) gelmesiyle doğa yasaları yeni bir anlam kazanır. Bundan böyle olasılıkları ifade eder.

Bu kitabın en büyük amacı fizik yasalarının bu dönüşümünü ve böylece doğayı nasıl betimlediğimizi göstermektir.

Diğer sorular doğrudan zaman sorunuyla ilgilidir. Bu sorulardan biri kuantum kuramında gözlemciye yüklenen anlaşılmaz işlevdir. Zaman çelişkisi doğada görülen zamansal simetri bozukluğundan bizi sorumlu tutar. Ancak dalga fonksiyonunun indirgenmesi olarak adlandırılan kuantum kuramının herhangi bir görünümünden gözlemci sorumlu olacaktır. Daha sonra göreceğimiz gibi kuantum mekaniğine görünüşte öznel bir görünüm kazandıran ve birçok tartışmalara yol açan gözlemci kavramına bu işlevi yükleyen kuantum kuramının kendisidir. Yaygın yorumlamalara göre, kuantum fiziğinde gözlemciye başvuruyu gerektiren ölçüt bir zamansal simetri bozukluğuna denk düşer. Buna karşılık kararsızlığın kuantum kuramına girmesi zamanın simetrisinde bir bozukluğa yol açar. Bu durumda kuantum gözlemcisi bireysel konumunu yitirir! Zaman çelişkisinin çözülmesi ***kuantum çelişkisi***ne de bir çözüm getirerek kuramın gerçekçi bir formülünün oluşmasını sağlar. Bu bizi klasik ortodoksluğa ve deterministliğe değil; tam tersine, kuantum mekaniğinin istatistiksel niteliğini doğrulamaya, hatta kesinlemeye götürür.

Daha önce de söylemiştik: temel yasalar artık kuantum fiziğinde de, klasik fizikte olduğu gibi kesinlikleri değil, ancak olasılıkları ifade eder. Yasaların yanı sıra, yasaların sonucu olmayan ve olasılıkları güncelleştiren olaylar da var elimizde. Bu açıdan fiziğin "big bang"

(büyük patlama) adını verdiği büyük olayın anlam sorununa değinmeden edemeyiz. Big bang'in anlamı nedir? Zamanın kaynağını mı gösterir? Zaman big bang'le mi başladı? Yoksa zaman evrenimizde daha önceden de var mıydı?

Burada bilgimizin sınırlarına, spekülasyonun ve bilimsel düşünüşün birbirine karıştığı bir alana geliriz. Kuşkusuz kanıttan söz etmek için henüz çok erken, ama kavramsal olasılıkları incelemek ilgi çekici olabilir. İlerde açıklayacağımız gibi bugün big bang'i kararsızlığa bağlı bir olay olarak düşünebiliriz, bu da zamanın değil, evrenimizin başlangıç noktası konumuna getirir big bang'i. Evrenimizin bir yaşı varken, bu evreni oluşturan kararsızlık ortamının yaşı yoktur. Bu anlayışa göre zamanın başlangıcı yoktur ve belki de sonu da olmayacaktır!

Sınırlarını zorlayarak da olsa, varsın fizik zamanın okunun birincil nitelikli olduğunu ileri sürsün, başlıca görevimiz, özellikle deneylerle öğrenebildiğimiz alanlarda düşük enerji alanında, makroskopik fizik, kimya ve biyoloji alanlarında doğa yasalarını formülleştirmektir. Bu aynı zamanda insanı doğayla birleştiren ilişkilerin kurulduğu noktadır.

Zaman ve determinizm sorunu bilimle sınırlı değildir; köklerini ta Sokrates öncesi dönemde bulduğumuz ussallık olarak adlandırdığımız şeyin kökeninden bu yana Batı düşüncesinin merkezinde yer almıştır. Determinist bir dünyada insanın yaratıcılığı nasıl algılanmalı ya da etik nasıl düşünülmelidir? Bu soru, aynı zamanda hem nesnel bir bilgi vaat eden hem de özgür ve sorumlu, yani ideal hümanisti kesinleyen bir geleneğin içindeki şiddetli gerilimin bir yansıması değil midir? Demokrasi ve modern bilimler aynı tarihin mirasçılarıdır, ama demokrasi özgür bir toplum idealini yaratırken, bilim de determinist bir doğa öğretisini kabul ettirmeye çalışırsa, bu tarih bir çelişkiye yol açar. Doğaya yabancı olduğumuzu düşünmek, bilim serüvenine olduğu kadar Batı dünyasına özgü anlaşılırlık tutkusuna da yabancı olan bir ikiciliği kapsar. Sözünü ettiğimiz anlaşılırlık tutkusu, Richard Tarnas'a göre "bütünlüğünü varlığının kökenleriyle yeniden bulmaktır"[3]. Bugün bu serüvenin en önemli noktasında, bilimle kesinliği,

olasılıkla bilgisizliği artık özdeşleştirmeyen yeni bir ussallığın başlangıç noktasında olduğumuzu düşünüyoruz.

Bu yüzyılın sonunda, bilimin geleceği sorunu sık sık gündeme getirilecek. Kimilerine göre, Stephen Hawking'in *Brève histoire du temps*[4] (Zamanın Kısa Tarihi) romanında açıkladığı gibi "Tanrı düşüncesi"ni çözebilecek yetkinliğe ulaştığımızda sona yaklaşmış olacağız. Bense, tersine serüvenin daha başında olduğumuza inanıyorum. Yalınlaştırılmış durumlarla sınırlı olmayan, idealleştirilmiş, ama aynı zamanda da bizi gerçek dünyanın karmaşıklığıyla karşı karşıya bırakan bir bilimin; insan yaratıcılığının doğanın her düzeyinde ortak temel çizginin bireysel bir ifadesi olarak belirmesini sağlayan bir bilimin doğuşuna tanık oluyoruz. Fizik ve matematik arasındaki ilişkilerin zengin tarihinde yeni bir sayfa açan bu kavramsal dönüşümü, doğa üzerine düşüncelerin evrimiyle ilgilenen her okuyucunun okuyabileceği, anlayabileceği bir şekilde sunmaya çalıştım. Bununla birlikte, bazı bölümler, özellikle de V. ve VI. bölümler az çok teknik gelişmeleri içermektedir. Ancak sonuçlar sonraki bölümlerde genel bir şekilde yeniden ele alınmıştır. Her kavramsal yenilik kesin bir doğrulanmayı ve yeni tahminlere sınır getirmeyi gerektirir. Şunu da belirtmeliyim ki, bu tahminler bilgisayarda gerçekleştirilen simülasyonlarla doğrulanmıştır.

Bu yapıt onlarca yıllık bir çalışmanın sonucu olsa da, aslında doğayla diyaloğumuzun tarihini içeren yeni bir bölümünün başlangıcındayız daha. Ancak her birimizin ömrü sınırlı, bu yüzden sonuçları bugünkü biçimleriyle vermeye karar verdim. Okuyucuyu bir arkeoloji müzesini gezmeye değil, yeni yeni oluşmakta olan bir bilim dalında kısa bir gezintiye davet ediyorum.

---

[1]. Karl Popper, *L'univers irrésolu. Plaidoyer pour l'indéterminisme*, Paris, Hermann, 1984, s.XV.

[2]. William James, "The Dilemma of Determinism", in *The Will to Believe*, New York Dover, 1956.

[3]. Richard Tarnas, *The Passion of the Western Mind*, New York, Harmony 1991. s.443.

1

Epikuros İkilemi

I

Bu yapıtta incelenen -evrenin determinist yasalarla mı yönetildiği, zamanın işlevinin ne olduğu- soruları Batı düşüncesinin başlangıcında Sokrates'ten önceki düşünürler tarafından dile getirilmiştir. 2500 yıldan fazla bu sorularla iç içe yaşıyoruz. Bugün, kararsızlık, kaos matematikleri ve fizik alanındaki gelişmeler bu uzun tarihte yeni bir sayfa açmıştır. Şu halde, bu soruları yeni bir bakış açısıyla yeniden ele alarak, geçmişin çelişkilerinden kurtulabiliriz.

Modern fiziğin ağırlığını koyduğu ikilem terimlerini ilk kullanan Epikuros'dur. Demokritos'un takipçisi olan Epikuros, dünyanın boşlukta hareket eden atomlardan oluştuğunu ve atomların koşut yolları izleyerek tümünün aynı hızla düştüğü kanısındaydı. Bu durumda nasıl çarpışabiliyorlardı? Yeni bir atom bileşimi olan yenilik nasıl oluşabilirdi? Epikuros'a göre, bilimin, doğanın anlaşılırlık sorunuyla insan yazgısınınki birbirine bağlıydı. Determinist atom dünyasında insanın özgürlüğü neyi ifade edebilirdi? Epikuros, "Kimilerinin her şeyin

efendisi gibi gördüğü yazgıya bilge kişi güler. Gekçekten de, fizikçilerin yazgısına tutsak olmaktansa, Tanrı üzerine mitleri kabul etmek daha iyidir. Çünkü mit bize Tanrıları yüceltmemizle bağdaşan bir umudu sağlarken, yazgı katı bir zorunluluk niteliği taşır"[1]. diye Ménécée'ye yazmıştır. Epikuros'un bahsettiği fizikçiler boşuna Stoacı felsefeciler olmuşlar, bu alıntı, şaşılacak şekilde çağdaş yankılar uyandırmıştır! Ve yine de Kant, Whitehead ya da Heidegger gibi büyük Batı düşünürleri, anlamı tehdit eden nesnel bir dünya görüşüne karşı insan varlığını savunmuşlardır. Ancak hiçbiri, karşıt istekleri tatmin eden, anlaşılırlık ve özgürlük ideallerimizle bağdaştıran bir görüş getirmeyi başaramamıştır. Böylece, Epikuros tarafından sunulan çözüm, öngörülmeyen zamanlarda atomların koşut düşüşünü farkedilemeyecek bir şekilde bozan, *ad hoc* (uygun) bir öğenin katılmasıyla sistemi kurtaran ***klinamen***, düşünce tarihinde temelsiz bir varsayım örneği olarak kalmıştır[2].

Bir yenilik düşüncesine mi gereksinim duyuyoruz? Her yenilik bir yanılma değil mi? Burada sorunun kaynağına ineriz. Popper'ın anladığı gibi, Herakleitos'a göre "Doğruluk, doğanın temel varlığını kavramaktır ve hatta süreç gibi üstü kapalı sonsuz olarak anlamış olmaktır[3]". Buna karşılık Parmenides'in ünlü şiiri, ne ölen, ne doğan ne de olan tek varlık gerçekliğini ileri sürer*. Platon için *Sofist*'ten öğrendiğimize göre, hem varlığa hem de oluşa gereksinim duyarız, çünkü doğruluk, varlığa, kararlı bir gerçekliğe bağlıysa, oluşu gözardı ettiğimizde ne yaşamı ne de düşünceyi algılayabiliriz.

Başlangıcından bu yana varlık ve oluş ikiliği Batı düşüncesinde çok sık görülmüştür, öyle ki Jean Wahl felsefe tarihini, Tanrısal iradenin yönettiği bir evren ve otomat bir dünya arasında sürekli olarak gidip gelen bir bir tarih olarak nitelendirilmiştir[4].

"Doğa yasaları"nın formüle edilmesi, bu eski tartışmaya yeni bir boyut getirmiştir. Gerçekten, fiziğin açıkladığı yasaların konusu, varlığın gerçekliği adına, oluşu yadsımak değildir. Tam tersine, zaman

---

* "Varlık vardır ve varlık-olmayan yoktur" temel önermesiyle tanınır.

boyunca değişken bir hızla tanımlanan değişim ve devinimleri betimlemeyi amaçlar. Bununla birlikte, önermeleri, varlığın, oluş karşısındaki büyük başarısını gösterir. En üstün örnek, güç ve ivmeyi birbirine bağlayan Newton yasasıdır: Zaman içinde hem determinist hem tersinir bir yasadır. Eğer bu yasaya bağlı bir sistemin başlangıçtaki koşullarını, yani herhangi bir andaki durumunu bilirsek, bundan sonraki durumları olduğu gibi bundan öncekileri de hesaplayabiliriz. Üstelik, geçmiş ve gelecek de aynı işlevi temsil eder, çünkü zaman terselmesine göre yasa t– -t, değişmezdir. Şu halde Newton yasası, evrenin şimdiki durumunu gözlemleyerek ve bundan tüm gelecek evrimi çıkarabilen ünlü Laplace Şeytanı'nı doğrular.

Herkesin bildiği gibi Newton fiziği, 20. yüzyılın başında kuantum mekaniği ve görelilik yüzünden eski önemini yitirmiştir. Ancak Newton yasasının temel çizgileri olan determinizim ve zamansal simetri varlığını sürdürmüştür. Kuşkusuz kuantum mekaniği artık yörüngeleri değil dalga işlevlerini betimler, (bkz.bu bölümün IV. kısmı ve VI. bölüm), ancak Schrödinger denklemi olarak bilinen taban denklemi de determinist ve tersinir zamanlıdır.

Şu halde, fiziğin açıkladığı doğa yasaları gerçekliğe ulaşan ideal bir bilgiyi ortaya koyar. Başlangıçtaki koşullar verildiği için her şey belirlidir. En azından kuramsal olarak, doğa kontrol edebildiğimiz bir otomattır. Yenilik, seçim, kendiliğinden hareket, yalnızca insana özgü göreli görüntülerdir.

Birçok tarihçi 18. yüzyılda en güçlü yasa koyucu olarak algılanan Hıristiyan Tanrı figürünün temsil ettiği temel işlev üzerine dikkat çekmiştir. Bu durumda, Tanrıbilim ve bilim birbirine yaklaşıyordu. Leibniz şöyle yazmıştır: "...maddelerin en küçüğünde Tanrı'nınkiler kadar keskin gözler evrendeki olayların tüm seyrini kavrayabilir. *Quae sint, quae fuerint, quae mox futura trahantur* (olan, olmuş ve gelecekte olacak olanı)"[5]. Doğanın determinist yasalara bağlılığı böylece, insan bilgisini zamansız Tanrısallık açısından karşılaştırıyordu.

Determinist yasalara bağlı edilgen bir doğa anlayışı Batıya özgüdür. Çin'de ve Japonya'da "doğa" "kendi kendine varolan" anlamına

gelir. Joseph Needham bize Çinli bilginlerin çağdaş bilimin zafer açıklamalarına alaysılamayla yaklaştıklarını anımsatır[6].

Belki de büyük Hintli şair Tagor da Einstein'ın mesajını öğrendiğinde gülümsemişti: "Ay, dünyanın çevresindeki sonsuz dönüşünü tamamladıysa, bizzat kendi bilincine de sahiptir, her şey için bir kez alınan karara bağlı olarak kendi kendine hareket ettiğini sanacaktır. Aynı şekilde, üstün bir algılama ve daha yetkin bir zekâyla donatılmış bir varlık da, insan ve yapıtlarına, kendi özgür iradesine göre hareket eden bu insana bakarak, yanılgısına bıyık altından gülecektir. Tümüyle kanıtlanabilir olmadığını bilsem de bu benim inancım. Bildikleri ve anladıkları şeyi en üst sonuçlarına kadar düşünmüş olsalardı, kendini sevmeleri bu düşünceyi kabul etmelerine izin verdiği kadarıyla, çok az insan bu düşünceye duyarsız kalırdı. İnsan, evrenin gelişimi sırasında güçsüz bir nesne olduğu düşüncesine karşı kendini savunur. Ancak, az ya da çok açık bir şekilde inorganik doğada, olayların yasaya uygun niteliği beynimizin etkinlikleri karşısında doğrulanmayı bırakmalı mı?"[7].

Einstein'a göre bilim öğretimiyle bağdaşan tek durum budur. Bununla birlikte bu görüş, bizim için Epikuros'a olduğundan daha zor kabul edilebilir. 19. yüzyıldan bu yana Hegel, Husserl, William James, Bergson, Whitehead ya da Heidegger gibi felsefecilerin gösterdikleri gibi felsefî düşünce git gide kendi kendine varoluşumuzun zamansal boyutunu sormaktadır. Einstein'ı izleyen fizikçilere göre zaman sorunu çözümlendiği halde, felsefeciler için özellikle zamanın insan yaşamındaki anlamı sorun olarak kalmıştır.

Karl Popper, son yapıtlarından biri olan *L'univers irrésolu (Kararsız evren)*'de: "Laplace'çı determinizmi -fizik kuramları determinizminin ve parlak başarılarının ortaya koyduğu gibi-, özgürlüğün, yaratıcılığın ve insan sorumluluğunun bir yüceltimi ve açıklaması yolunda en sağlam ve en ciddi bir engel olarak görüyorum"[8] diye yazar. Bununla birlikte, Popper'a göre determinizm, yalnızca insan özgürlüğünü ortaya koymaz. Bilgimizin bir yönelimi olan gerçekle karşılaşma-

sını bile olanaksız kılar. Popper daha ilerde, zaman ve değişim gerçekliğinin kendisi için "gerçekçiliğin temel özü"[9] olduğunu yazar.

"Mümkün ve gerçek" adlı yapıtında Henri Bergson, "Zaman neye yarar? ... her şeyin bir defada verilmesine engel olan şeydir. Geciktirir ya da kendisi bir geciktirmedir. Öyleyse kendisi bir hazırlanma olmalıdır. Şu halde zaman, yaratma ve seçimin iletim aracı olmayacak mıdır? Zamanın varoluşu, nesnelerdeki belirlenmezciliği kanıtlamıyor mu?"[10] diye sorar. Popper için olduğu gibi Bergson'a göre de gerçekçilik ve belirlenmezcilik birbirine bağlıdır. Ne var ki bu görüş, doğayla sürdürdüğümüz en verimli ve en sert diyalogların determinizmin doğrulanmasıyla sonuçlandığı gerekçesiyle modern fiziğin büyük başarısıyla karşılaşır.

Tersinir zaman, fiziğin deterministliği ve filozofların zaman anlayışları arasındaki karşıtlık, yeni tartışmalara yol açmıştır. Bugün, eğilim, daha çok bilgilerimizin anlamı konusunda bir şüphecilikten kaynaklanan bir geri çekilmedir. Örneğin Rorty, geleneğimizi bölen sorunların, uygar konuşma konularına dönüştürülmesini önerir. Şüphesiz, Rorty'e göre, bu konuşmalarda çok teknik, bilimsel tartışmalara yer yoktur[11].

Ancak, tartışma yalnız bilimleri ve felsefeyi karşı karşıya getirmez. Fiziği diğer tüm bilgilerimizin karşısına koyar. 1994 Ekim ayında, *Scientific American* dergisi "evrende yaşam" konusunda özel bir sayı çıkarmıştır. Kozmoloji, jeoloji, biyoloji ya da toplum düzeyinde olsun hemen her düzeyde gerçekliğin bu evrimsel niteliği kendini gösterir. O halde, şu sorunun sorulması beklenirdi: bu evrimsel niteliği fizik yasaları bağlamında nasıl anlamalıyız? Oysa, ünlü fizikçi Steven Weinberg tarafından yazılmış tek bir makale bu görüşü tartışır. Weinberg şöyle yazar: "doğayla birleşmiş bir görüşe sahip olma isteğimiz ne olursa olsun, evrende ussal yaşamın işlevi ikiliğiyle karşılaşırız... Bir yandan, herhangi bir sistemin dalga işlevinin zaman içinde nasıl değiştiğini determinist bir yaklaşımla tam olarak betimleyen Schrödinger denklemi, öte yandan, tümüyle bağımsız bir şekilde bizim ölçülerimize göre oluşmuş, kabul edilebilir farklı sonuçların

olasılıklarını hesaplamak için dalga işlevinin nasıl kullanılacağını bize bildiren bir ilkeler bütünü bulunmaktadır"[12].

Bizim ölçülerimiz nedir? Şu halde, ölçülerimizle evrensel determinizmden kurtulan şeyin sorumluları olarak, kozmik evrimin başlangıcında olacağımız mı bize telkin ediliyor? Bu, aynı zamanda Steven Hawking'in *Une brève histoire du temps* (Zamanın Kısa Tarihi) adlı kitabında da savunduğu bir görüştür. Bu kitabında salt kozmolojinin uzamsal bir yorumunu yapar: zaman, yalnızca bir tür uzaysal rastlantıdır. Ancak Hawking bu açıklamanın yeterli olmadığını görür: ussal yaşamı açıklamak için bir zaman göstergesine gereksinim duyarız. Bu durumda, birçok evrenbilimciler gibi Hawking de hiç olmazsa Epikuros'un *klinamen* ilkesi kadar nedensiz olan "antropik" ilkesine yönelir. Gerçekten böyle bir ilkenin kararlı uzamsal bir evrenden birdenbire ortaya çıkabileceğini nasıl anlarız? Bu ilke bizi doğrudan Descarteşçi ikileme götürür. Doğanın birliği adına insanı bir otomat haline getirmeyi kabul eden Einstein, Spinoza'ya başvururken, kuantum mekaniğince kazanılmış bir gözlemci olma yeteneği olan bir insanı korumak isteyen çağdaş fizikçiler, Descartes'ın *res cogitans*'nın *res extensa*'sına olduğu kadar kendi evren anlayışlarına da yabancı bir ilkeye el atmışlardır.

Roger Penrose, *The Emperor's New Mind* (İmparator'un Yeni Düşüncesi) adlı yapıtında şöyle yazar: "düşünce *(mind)* kavramını fizik ya da mantık terimleriyle ifade etmemize engel olan şey, şimdilik temel fizik yasalarını kavrama yetersizliğimizdir"[13]. Penrose ile hemfikirim: temel fizik yasalarının yeni bir formülüne gereksinim duyuyoruz, ancak bu, mutlaka düşünce kavramını betimlememeli, ilk önce fizik yasalarımıza evrimsel boyutu katmalıdır, çünkü bu boyut olmadan çelişmeli ber gerçeklik anlayışına mahkum oluruz. Belirlenmezciliği ve zaman simetrisizliğini fizik yasalarına yerleştirmek, bugün Epicuros ikilemine verebildiğimiz yanıttır. Aksi taktirde bu yasalar

---

* Descartes, cisimsel varlığı, düşünen varlık (*res cogitans*) olan ruhun karşısında, yer kaplayan gerçek (*res extensa*) olarak belirlemiştir.

eksiktirler üstelik yerçekimi ve elektriği hiçe sayacak şekilde eksiktirler.

Bu kitabın amacı, bu koşulları sağlayan bir fiziğin oluşturulmasını tanıtmak, okuyucuyu, yerini yasalara, aynı zamanda yeniliğe ve yaratıcılığa bırakan bir doğa betimlemesine alıştırmaktır.

Bu bölümün başında Sokrates öncesi düşünürlerden söz ettik. Oysa, eski Yunanlar bizim tarihimize yön veren iki ideal bırakmıştır: biri, doğanın anlaşılırlığı ya da, Whitehead'ın da yazmış olduğu gibi "zorunlu, mantıklı, tutarlı, ve bunlara bağlı olarak yaşam deneyimimizin yorumlanmış olabileceği genel bir düşünceler sisteminin oluşturulması"[14]; öteki, insan özgürlüğünün, yaratıcılığın ve sorumluluğun önceden varsayılmasına dayanan demokrasidir. Zaten bu iki idealin gerçekleştirilmesinden çok uzağız, en azından bundan böyle çelişkisiz oldukları sonucunu çıkarabiliriz.

II

C.P. Snow'un iki kültür düşüncesini geçerli kılan bir anlaşmazlık yaratan zaman ve determinizm sorunlarına değindik. Bununla birlikte, fizik tekparça bir bütün oluşturmaktan uzaktır. Oysa, 19. yüzyıl, bize iki miras bırakmıştır: bir yandan, daha önce gördüğümüz gibi, kararlı bir evrene uygun düşen Newton yasaları, öte yandan da entropiyle birleşmiş evrimsel bir betimleme.

Entropi, tersinmez, yani zaman içinde yönlendirilmiş süreçler bilimi olan termodinamiğin getirdiği temel bir öğedir. Herkes bunun tersinmez bir süreç olduğunu bilir. Radyoaktif bir ayrışma ya da sürtünüm ya da akışkan bir maddenin devinimini yavaşlatan akışkansılık düşünülebilir. Sürtünümsüz bir sarkacın deviniminde olduğu gibi tersinir süreçlerin tersine, bütün bu süreçlerin zaman içinde ayrıcalıklı bir doğrultusu vardır. Geçmişte hazırlanmış radyoaktif

bir madde gelecekte kaybolur ve akışkansılık, gelecekteki akışkanın devinimini yavaşlatır. Buna karşılık, ideal sarkaç deviniminde, gelecek ve geçmişi ayırdedemeyiz. Eğer geleceği, yani "+t"yi, geçmişle, yani "-t"yle değiştirirsek birincisi kadar usayatkın sarkıl bir devinim elde ederiz. Klasik dinamiğin Newton denkleminde ve kuantum mekaniğinin Schrödinger denkleminde olduğu gibi zaman terselmesine oranla tersinir süreçler, değişmez evrim denklemlerince betimlendiği halde, tersinmez süreçler, zamansal bir simetri bozulması içerirler.

Doğa bize hem tersinmez süreçleri hem tersinir süreçleri gösterir, ancak birinciler kuralken ikinciler istisnadır. Makroskopik süreçler, kimyasal tepkimeler ve iletim olayları gibi tersinmezdir. Güneş ışınımı, tersinmez nükleer süreç sonucudur. Çok sayıda tersinmez süreçler oluşmasaydı, hiçbir ekosfer (çevreküre) betimlemesi mümkün olmayacaktı. Buna karşılık tersinir süreçler, her zaman idealizasyonlara uygun düşerler: sarkaca tersinir bir hareket yükleyebilmemiz için sürtünümü önemsememiz gerekir, bu da ancak bir tahmin değerindedir.

Tersinir ve tersinmez süreçler arasındaki ayrım termodinamiğe, Clasius'un 1865 yılından itibaren, "termodinamiğin ikinci ilkesi"yle birleştirdiği entropi* (büyüklük) kavramıyla girmiştir[15]. Termodinamiğin iki ilke önermesini anımsayalım: "Evrenin enerjisi değişmez, entropisi en yüksek dereceye ulaşır." Korunan enerjinin tersine, entropi, entropinin değişmediği tersinir süreçlerle, entropiden doğan tersinmez süreçler arasında bir ayrım yapılmasına izin verir.

Şu halde, belirli bir sistem ya da bir evren bütünlüğü düzeyinde olsun, entropinin artması geleceğin doğrultusunu gösterir. Bu yüzden A. Eddington bunu zaman göstergesiyle birleştirmiştir[16]. Ancak, garip bir biçimde, bu zaman göstergesi Newtoncu temel fizik yasalarının formülasyonunda (formüle edilmesinde) hiçbir işlev üstlenmez. O

---

* entropi (antropi, büyüklük, dağıntı), bir sistemin "düzensizlik" halinin ayırtedici özelliğini belirleyen ve termodinamiğin ikinci ilkesini belirten S hâl fonksiyonuna Clausius'un verdiği addır. Sıcaklığa bağlı yaygın büyüklüktür.

halde, 19. yüzyıl bize tartışmalı iki görüş bırakmıştır. Bunlar tekrar nasıl uzlaştırılır? Bu, Viyanalı fizikçi Ludvig Boltzmann'ın temel sorunu olduğu gibi bizim de temel sorunumuz olmuştur.

Ludvig Boltzmann'a göre, 19. yüzyıl, yaşamın, sürekli bir evrim sürecinin sonucu olarak algılandığı, böylece oluşun, doğa anlayışımızın merkezine yerleştirilmiş gibi görüldüğü Darwin yüzyılıydı. Bununa birlikte, fizikçilerin çoğu için Boltzmann adı çok farklı bir sonuca bağlı olarak kalmıştır: Tersinmezliğin yalnızca bir yanılma (illizyon) olduğunu göstermiş olacaktı. Bu trajedisi oldu: Darwin'in biyolojide başarmış olduğu şeyi fizikte gerçekleştirmeye çalıştı - ve başaramadı.

Gerçekten, 19. yüzyılın bu iki dehasının girişimleri arasındaki benzerlik şaşırtıcıdır. Her ikisi de yığılımlar (popülasyon) üzerinde düşünmüştür. Darwin, bir seçim sürecine bağlı bireyse değişkenliğin nasıl bir sapmaya yol açtığını anlamamızı sağlayan şeyin bireylerin değil, uzun sürelerde yığılımların incelenmesi olduğunu göstermiştir. Aynı şekilde, Boltzmann, bireysel dinamik yörüngelerin betimlenmesine bağlı kalınırsa, önceden bildirdiği ikinci ilkenin ve entropinin kendiliğinden yükselmesinin anlaşılamayacağını savunmuştur. Bunlar, entropi artışının izlediği, global sapmayı oluşturan bir parçacıklar yığılımındaki sayısız çarpışmalardır.

Boltzmann, 1872 yılında, $\mathcal{H}$ işlevi olan mikroskobik bir entropi karşılığı öneren " $\mathcal{H}$ kuramı"nı yayınlar. Boltzmann'ın kuramı, bir parçacıklar yığılımı içinde, hızların dağılımını her an değiştiren çarpışmaların türünü ortaya koyar. Bu çarpışmaların $\mathcal{H}$ işlevinin değerini en aza indirdiğini, Maxwell-Boltzmann denge dağılımına uygun olduğunu kanıtlamıştır: bu durumda, çarpışmalar artık yığılımdaki hızların dağılımını değiştirmezler ve $\mathcal{H}$ ' nin genişliği sabit kalır. Başka bir deyişle, parçacıklar arasındaki çarpışmalar, sistemi dengeye götüren mitkoskopik mekanizma gibi gözükür.

Daha önceki yapıtlarımızda, *La nouvelle allience (Yeni Birleşim)* ve *Entre le temps et l'éternité (Zaman ve Sonsuzluk Arasında)*'de Boltzmann'ın dramını ve çözümlemek zorunda kaldığı olasılıkçı yo-

rumu gösterdik. Loschmidt ve Zermelo'yu çarpışmalar ve tersinmezlik arasındaki bağı yadsımaya zorlayan çelişkilerini açıkladık. Her parçacığın bireysel yörüngesini değil, ancak bir yığılım içindeki hızların dağılımını incelememize bağlı olarak yalnızca bir görünüş olan çarpışmaların işlevi, tamamlanmak zorunda mı? Bu yüzden, denge hâli, en olası makroskopik hâlden başka bir şey olmayacaktı. Tanımı, tahminî makroskopik niteliğiyle ilgili olacaktı. Başka bir deyişle, tersinmezlik doğanın temel bir özelliğini ifade etmeyecekti, yalnızca boltzmaniyen betimlemenin, tahminî, makroskopik niteliğinin bir sonucu olacaktı.

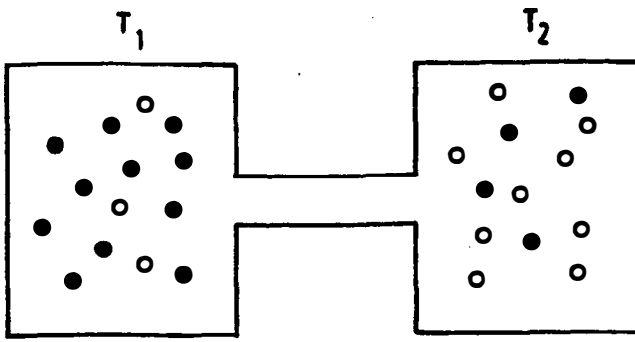
Bu soruna tekrar dönmektense, şaşırtıcı bir yönünü belirtmekle yetineceğim. Fiziğin olağanüstü değişimler geçirdiği, bir yüzyıldan çok daha sonra, tahminî tersinmezlik yorumu, çağdaş fizikçilerin çoğunluğu tarafından kendiliğinden olan şeklinde tanıtılmıştır. Üstelik, bu durumda evrenin evrimsel niteliğinden sorumlu olmamız kesin olarak bildirilmemiştir. Tam tersine usavurumun birinci aşaması, okuyucuyu, tersinmezliğin bizim tahminlerimizin bir sonucundan başka bir şey olmaması, ikinci ilkenin sonuçlarını hep belliymiş gibi, hatta üstünkörü sunmaya dayandığını kabul etmeye itmesidir. Örneğin Murray Gell-Mann, *The Quark and the Jaguar*'da[17]: "Açıklama, (tersinmezliğin) çivileri ya da paraları ayıklamaktan daha çok karıştırma biçimlerinin olmasıdır. Yağ ve reçel kaplarını temiz olarak bırakmaktansa birbirine bulaştırmanın birçok yöntemi vardır. Ve, oksijen ve azot gazı moleküllerini ayırmaktan daha çok karıştırma biçimleri bulunur. Olaylar rastlantıya bırakıldığı ölçüde, hemen hemen başlangıçtaki düzenle nitelenen kapalı bir sistemin, pek çok olasılıklar sunan düzensizliğe doğru değişim göstereceği önceden tahmin edilebilir. Bu olasılıklar nasıl hesaplanmalıdır? Kesin bir biçimde betimlenen tümüyle kapalı bir sistem, çoğunlukla "mikrohâller" olarak adlandırılan birçok farklı hâllerde bulunabilir. Bunlar kuantum mekaniğinde, sistemin olası kuvantal hâlleridir. Kaba bir betimlemeyle *(coarse grained)* oluşturulan özzelliklere göre yeniden kategorilerde (bazen makrohaller olarak söylenir) toplanırlar. Belli bir makrohâle uygun olan mikrohâller eşdeğer olarak incelenirler, buysa

sadece sayılarının hesaplanmasıdır. Ve Gell-Mann şu sonuca varır: "Entropi ve bilgi birbirine sıkı sıkıya bağlıdır. Oysa, entropi bir bilgisizlik ölçüsü gibi düşünülebilir. Yalnızca, bir sistemin verilen bir makrohâl içinde olduğunu bildiğimizde, makrohâlin entropisi, sistemi belirlemek için zorunlu olacak ek bilgi birimlerin sayısını, aynı zamanda olası olarak kabul edilen makrohâldeki bütün mikrohâlleri göz önünde bulundurarak, sistemin mikrohâli konusunda bilgisizlik derecesini ölçer."

Gell-Mann'dan uzun uzun söz ettim, ancak yapıtların çoğunda aynı türden zaman göstergesi sunuşları yer almaktadır. Oysa, betimlemelerimizin kaba niteliği anlamına gelen, bilgisizliğimizin ikinci ilkeden ve bu nedenle zaman göstergesinden sorumlu olacağı açıklaması savunulamaz. Bu yorum, mikrohâlleri görmeye yetenekli Maxwell'in tasarladığı şeytan gibi, bizi, çok bilgili bir gözlemciye dünyanın zaman içinde tam olarak simetrik görüneceği sonucunu çıkarmaya zorlar. Zamanın babaları değil, evrenin çocukları olacağız. Bu durumda, deneyimlerimizin doğruluğu ne olursa olsun, dağıtıcı özgülükler olan yayınım katsayıları ya da gevşeme sürelerinin iyi tanımlanmış olduklarını nasıl açıklarız? Yukarda bahsettiğimiz zaman göstergesinin yapıcı işlevini nasıl ifade ederiz?

Bu kitapta sunulan görüş farklıdır. Geleneksel fizik yasaları, içinde yaşadığımız dünyayı idealize, kararsız değil ancak kararlı, evrimsel bir dünya olarak betimlemişlerdir. Bu görüş bizi, klasik ve temel kuantum yasalarının geçerliliğini yeniden ele almaya zorlar. Her şeyden önce, tersinmezliğin bayağılaştırılmasını reddetişimiz, fizikte bile, tersinirliğin sadece bir düzensizliğin artışıyla artık bağdaştırılamayacağı gerçeğine dayanır. Tam tersine, dengesiz hâllerin fizik ve kimyasındaki yeni gelişmeler, zaman göstergesinin bir kaynak basamağı olabileceğini göstermiştir. Isı yayınımında olduğu gibi, daha önce basit klasik durumlarda böyleydi. Kuşkusuz, moleküller, kapalı bir kutuya hidrojen ve azot koyduğumuzda tek biçimli bir karışım olarak değişecektir. Kutunun bir kısmını ısıtıp diğer kısmını tekrar soğutalım. O zaman, sistem, ısıtılmış bölümde hidrojen, soğuk bölümde azot yoğunlaşmasının daha yüksek olduğu kararlı bir hâle doğru değişim

gösterir. Tersinmez bir olay olan sıcaklık akısıyla oluşan entropi, karışımın türdeşliğini bozar. Şu halde bu süreç, sıcaklık akısı olmadan olanaksız olan üretici bir basamak sürecidir. Tersinmezlik aynı zamanda düzen ve düzensizliğe götürür.



Şekil I-1

İki kapalı alan arasındaki sıcaklık farkından, "siyah" moleküller sol bölmedekilere oranla daha fazla bir yoğunluğa sahiptir (termik difüzyon = ısıl yayınım).

Dengeden uzak tersinmezliğin yapıcı işlevi daha çok göze çarpar. Orada, uyumlu yeni biçimler yaratır. II. Bölümde, dengede olmayan fiziğe, oto-organizasyon ve dağıtıcı yapı kavramlarına yeniden değineceğiz. Zaman göstergesiyle birleşen tersinmez süreçler sayesinde, doğanın, en hassas ve en karmaşık yapıları gerçekleştirdiğini doğrulayabileceğimizi burada anımsayalım. Yaşam, ancak dengeden uzak bir evrende mümkündür. Bu son yüz yıl boyunca, dengede olmayan fizik ve kimyadaki dikkat çekici gelişme şu halde, *La nouvelle alliance*[*]'ta gösterilen sonuçları güçlendirmiştir:

[*] I. Prigogine ve I. Stengers, *La Nouvelle Alliance*, Paris, Gallimard, 1979.

1. Tersinmez süreçler (zaman göstergesine bağlı), geleneksel fizik yasalarının betimlediği tersinir süreçler kadar *gerçek* (reel)tir; temel yasaların tahminleri olarak yorumlanamazlar.

2. Tersinmez süreçler doğada *yapıcı* (konstrüktif) bir işlev üstlenirler.

3. Tersinmezlik bir dinamik genişlemeyi gerektirir.

Dinamik bir genişleme? İşte kolaylıkla yanlış yorumlanabilen güçlü bir önerme, bu noktada bulunur. Yeni terimlerin dinamik denklemlerine eklenmesini önermek söz konusu değildir. Basit durumlarda (örneğin, klasik mekanikte Ay'ın devinimi ya da kuantum mekaniğinde hidrojen atomu) olduğu gibi dinamiğin uygulanması parlak bir başarı kazanmıştır. O halde, denklemlerin simetrisini bozan Epikuros'un *clinamen*'in gibi, yalnızca her gelen terimi eklemek söz konusu değildir. Göstereceğimiz şey, zamandaki bir simetri bozulmasını beklediğimiz durumlarla, dinamiğin yeni bir oluşumunu gerektiren durumların aynı olduğudur. Göreceğimiz gibi, bu durumlar *kararsız* (instable) dinamik davranışlara uygun düşer. Tersinir dinamik yasaları ve entropiyle birleşen evrimsel betimleme arasındaki karşıtlığın aşılması, kararsız ve dağınık sistemlerde dinamik genişlemeyle mümkün olur. Ancak çok hızlı ilerlemeyelim.

Bir matematik dalı olarak Newtoncu devinim yasalarının kesin formüllerini bulduğu, Lagrange'ın analitik mekaniği açıklamasının üstünden iki yüzyıl geçti[18]. Bugün hâlâ "rasyonel mekanik"ten sık sık söz ediliyor, buysa Newtoncu yasaların "us" yasalarını açıklayacakları ve böylece değişmez bir doğruluğu ileri sürebilecekleri anlamına gelir. Kuantum mekaniği ve göreliliğin doğduğunu gördüğümüze göre bunun böyle olmadığını biliyoruz. Ancak bugün, kuantum mekaniğine değişmez bir doğruluk verilmeye yelteniliyor. Gell-Mann *The Quark and the Jaguar* adlı yapıtında şöyle yazıyor: "kuantum mekaniği kendi içinde bir kuram değildir; daha çok bütün çağdaş fizik kuramlarının yer alması gereken bir çerçevedir"[19]. Gerçekten öyle midir? Üzgün arkadaşım Léon'un sürekli vurguladığı gibi, her kuram, bu kuramların matematiksel oluşumunu olanaklı kılan idealizasyonlarla birleşmiş

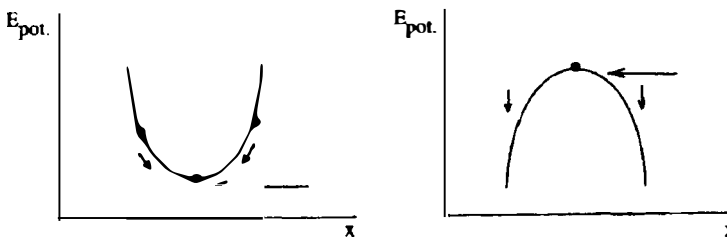
fizik kavramlarına dayanır: bu yüzden, kendisini yaratan idealizasyonlardan doğan sınırlar olsa da, "geçerlilik sınırları bilinmeden hiçbir fizik kavramı yeterince tanımlanamaz"[20].

Bunlar, klasik mekanikteki yörüngeler ya da kuantum mekaniğindeki dalga işlevleri gibi, algılamaya başladığımız temel fizik kavramlarının geçerlilik sınırlarıdır. Sonraki bölümde kısaca göstereceğimiz, kararsızlık ve kaos gibi kavramlara bağlıdırlar. Bu kavramların dikkate alınması, doğa yasalarının yeni bir formülüyle sonuçlanır, bu formülleştirme, daha önce de söylediğimiz determinist yasalar gibi artık tahminlere dayanmaz, ancak olasılıklara doğru yol alır. Üstelik, bu olasıcı formülleştirme zamansal simetriyi bozar ve bu durumda, evrenin evrimsel niteliğinin temel fizik yasalarının kuruluşunda ifade edilmesine izin verir. Whitehead tarafından oluşturulan anlaşılırlık formülünü (I. kısım) anımsayalım: deneyimimizin bütün unsurları, tutarlı bir genel düşünceler sisteminin içine katılsın. Boltzmann tarafından açılışı yapılan ve bir yüzyılı geçen programda ilerlerken, fizik bu yönde bir adım atmıştır.

III

Kararlı ve kararsız sistemler arasındaki farklılığı biliyoruz. Bir sarkaç alalım ve bir sürtünümün varlığını göz önünde bulundurarak devinimini inceleyelim. Potansiyel enerjinin orada en küçük değerini gösterdiğini biliyoruz. Ufak bir karışıklığı, dengeye yeniden dönüş izleyecektir. Sarkacın denge hâli kararlıdır. Buna karşılık, ucuna bir kalem tutturmayı başarabilirsek, denge kararsız olur. En ufak bir düzensizlik, onu bir yana ya da diğerine düşürecektir. Kararlı ve kararsız devinimler arasında temel bir ayrım bulunmaktadır. Kısacası, kararlı dinamik sistemler, başlangıç koşullarında küçük değişikliklerin küçük etkiler oluşturduğu sistemlerdir. Ancak, çok geniş bir dinamik sistemler sınıfı için, bu değişiklikler zaman içinde büyür. Dağınık sistemler, kararsız sistemin uç bir örneğidir, çünkü başlangıç koşullarına

uygun olan yörüngelerin ne denli yakın olmaları istenirse istensin, zaman boyunca üslü bir biçimde ayrılırlar. O zaman, çok tanınmış "kelebek etkisi" parabolünün gösterdiği gibi, "başlangıçtaki koşullara duyarlılık"tan söz edilir: Amazon havzasındaki bir kelebeğin kanat çırpışı, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki zamanı doğrulayabilir. III. ve IV. bölümde kaotik sistem örneklerini göreceğiz.



(a) (b)

Şekil I-2

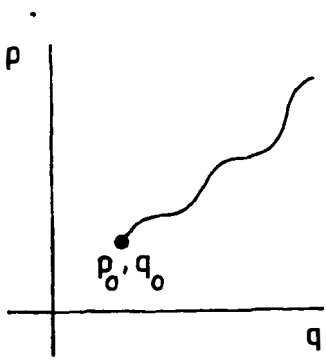
(a) Kararlı denge

(b) Kararsız denge

Çoğunlukla "determinist kaos"tan söz ediliyor. Gerçekten, kaotik sistem denklemleri, Newton yasaları gibi deterministtir. Bununla birlikte kesin olmayan davranışlar sergilerler! Bu beklenmedik buluş, bu zamana dek bitmiş bir konu olarak görülen klasik dinamiği yeniden gündeme getirmiştir. Newton yasasınca betimlenen sistemler o halde, tümüyle benzer olmayacaktır. Kuşkusuz, düşen bir taşın yörüngesinin hesabının, üç cisimli bir sisteminkinden, örneğin, Güneş, Yer ve Ay, daha kolay olduğu biliniyordu. Ne var ki 19. yüzyılın sonunda Poincaré, kararlı ya da değil, dinamik bir sistem söz konusu olduğunda sorunların tamamiyle farklı olduğunu göstermiştir. Üç cisim sorunu, kararsız sistemler kategorisinde yer almıştır. Böyle olmakla bir-

likte, Poincaré'nin buluşunun gerçek değerinin anlaşılması için yılların geçmesi gerekti.

Biraz önce kaotik sistemlerden söz ettik. Başka kararsızlık biçimleri de bulunmaktadır. Bu konuya yeniden döneceğiz. Bu kısmın konusu, kararsızlıktan, dinamik yasalarının gelişmesine uzanan yolu, niteliksel terimlerle belirtmektir. Dinamiğin alışılmış formülüyle başlayalım. Başlangıç hâli, q konumlarıyla, v hızları ya da p momentumlarıyla (herbiri bir konuma ve bir hıza sahip çok sayıda parçacıktan oluşmuş bir sistemi incelediğimizde bile simgelemeyi basitleştirmek için, burada tek bir harf kullanıyoruz) gösterilmiştir.



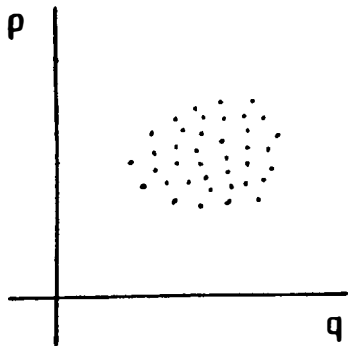
Şekil I-3

Dinamik hâl, q, p faz uzayında bir nokta olarak belirtilmiştir. Zaman içindeki evrim, q_0, p_0 başlangıç noktasından gelen bir yörüngeyle gösterilmiştir.

Konumlar ve hızlar bilindiğinde, yörünge, Newton yasasına bağlı olarak ya da dinamiğin buna eşdeğer başka bir formülüyle saptanabilir. İlk dinamik hâl, faz uzayında, bir q_0 ve p_0 koordinatlarıyla verilmiştir.

Bu yüzyılın başında Gibbs ve Einstein'in öncü çalışmasından bu yana kullanılan terime uygun olarak tek bir sistemi ele almak yerine,

bundaki bir koleksiyonu, bir "küme"yi inceleyebiliriz. Faz uzayında bir küme, bir nokta bulutuyla gösterilmiştir



Şekil I-4

Farklı başlangıç koşullarına denk olan bir nokta bulutuyla gösterilen Gibbs kümesi.

Bu bulut, fizik yorumu basit olan bir $\rho(q,p,t)$ fonksiyonuyla betimlenmiştir: bu, faz uzayında bulutun nokta yoğunluğunu betimleyen *olasılıklar dağılımı*dır. O halde, tek bir sistemin özel durumu, q_0 ve p_0, tek bir noktası dışında faz uzayının her yerinde sıfır değeri olan ρ'nun durumunu karşılar. Bu durumlar, ρ'nun özel bir şekline uygundur: x_0 olarak saptanan tek bir nokta dışında etkisiz hale getirme özelliği olan fonksiyonlar "Dirac fonksiyonları" $\delta(x-x_0)$, olarak adlandırılırlar. Şu halde, böyle bir fonksiyon $\delta(x-x_0)$, x_0'dan farklı olarak, her x noktası için sıfırdır. Daha sonra delta fonksiyonlarının özelliklerine yeniden döneceğiz. Bundan böyle bu fonksiyonların, genelleştirilmiş ya da dağıtımcı bir fonksiyonlar sınıfına ait oldukları belirtelim (olasılık dağılımlarıyla karıştırılmamalıdır). Gerçekten de düzenli fonksiyonlara oranla anormal özellikler gösterirler, çünkü $x = x_0$ olduğunda,

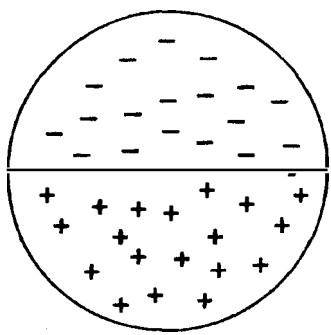
$(x-x_0)$ fonksiyonu uyuşmaz, yani sonsuzluğa yönelir. Bu tip fonksiyonun yalnızca test $\varphi(x)$ fonksiyonları olan düzenli fonksiyonlara bağlı olarak kullanılabileceğini önceden belirtelim. Test fonksiyonunu kullanma gereksinimi, birazdan betimleyeceğimiz dinamiğin genişlemesinde çok önemli bir rol oynayacaktır. Burada ortaya çıkan görüş açılarının değiştirilmesini belirtmekle yetinelim: bireysel bir sistemin betimlemesi sezgisel olarak birinci durum gibi görünürken, kümelerden çıkıldığında, bir δ fonksiyonunun benzersiz özelliklere katılmasını içeren özel bir durum olur.

Gibbs ve Einstein'a göre, başlangıç koşulları bilinmediğinde kümeler kuramı, yalnızca basit bir hesap aracıydı. Bu bakımdan, olasılıklar, bilgisizliğimizi, bilgi eksikliğimizi ifade eder. Dinamikte de böyledir, bireysel yörüngelerin ve olasılıklar dağılımının incelemesi aynı şeyi gösterir. Karşılıklı olarak, bireysel yörüngelerden başlayabilir ve olasılıklar fonksiyonunun evrimini elde edebiliriz. Olasılık yalnızca yörüngelerin çakışmasına denktir ve hiçbir yeni özelliğe yol açmaz. İki betimleme düzeyi, bireysel düzey (tek yörüngelere denk olan) ve istatistiksel düzey (olasılıklara denk olan) eşdeğer olacaktır.

Her zaman durum böyle midir? Tersinmezlik sorununun ortaya çıkmadığı kararlı sistemler konusunda Gibbs ve Einstein haklıydılar, bireysel ve istatistiksel görüşler eşdeğerdir. Bu kolaylıkla doğrulanabilir, bu konuya V. bölümde yeniden döneceğiz. Ancak kararsız sistemlerde ne olup bitiyor? Nasıl oluyor da Boltzmann'ın kinetik kuramı gibi tersinmez süreçlerle ilgili bütün kuramlar, yörüngeleri değil, ancak olasılıkları inceliyor? Tahminlerimize, betimlemelerimizin kaba nitelikli *(coarse grained)* oluşuna bağlı tek neden mi? Ancak, niceliksel olarak deneyle doğrulanmış tahminleri, kinetik kuramının başarısını o zaman nasıl açıklarız? Böylece kinetik kuram, ısıl iletkenliği ve seyrelmiş gazların yayınımı gibi olayların niceliksel özelliklerinin hesaplanmasını sağlar ve bu hesaplar deneyle kesin olarak doğrulanmıştır.

Kinetik kuramın kazandığı başarıdan çok etkilenen Poincaré şöyle yazmıştır: "Gazların kinetik kuramı gelişecek ve belki diğerlerine

örnek olacaktır... O halde fizik yasası tamamen yeni bir görünüm kazanacaktır... kararlı bir yasa niteliğinde olacaktır."[21] Bunun kâhince bir önerme olduğunu göreceğiz. Boltzmann'ın deneylere dayanarak getirdiği olasılık kavramı, büyük yararları olan cesaretli bir hareketti. Bir yüzyıl geçtikten sonra, bu kavramın kararsızlık arasında, dinamikten nasıl ortaya çıktığını anlamaya başlıyoruz: bu kararsızlık bireysel düzey ve istatistiksel düzey arasındaki eşdeğerliği bozar, bu yüzden olasılıklar, bilgisizlik ya da tahmin terimlerine indirgenemez içsel bir anlam kazanırlar. Meslektaşım B. Misra ile birlikte bulduğumuz "içsel olarak şüpheli" ifadesiyle belirttiğimiz şey budur.



Şekil I-5

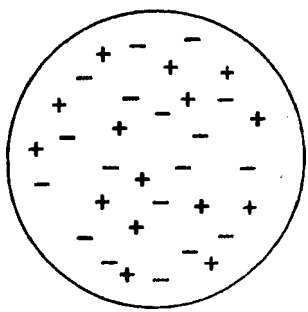
Kararlı dinamik sistem: + ve - olarak belirtilen hareketler faz uzayında ayrı bölgelerde bulunurlar.

Buradan anladığımız şeyi açıklamak için basitleştirilmiş bir kaos örneğini alalım. Artı (+) ve eksi (-) olarak belirtilen iki tip hareketimiz olduğunu varsayalım (örneğin, biri yukarı doğru ve diğeri aşağı doğru olan bir hareket). Şekil I-4'teki faz uzayını ele alalım. Şekil I-5 ve I-6'da gösterildiği gibi iki durumumuz var. Faz uzayı birincisinde,

biri artı hareketine diğeri eksi hareketine dayanan iki ayrı bölgey kapsar. Sınır bölgesini aşarsak, her eksi diğer eksilerle, her artı diğer artılarla çevrilir. Bu durum kararlı bir sisteme dayanır. İlk koşullardaki küçük değişiklikler sonucu değiştirmeyecektir. Buna karşılık, şeki I-6'da görüldüğü gibi karşılıklı olarak her artının çevresinde eks hareketler bulunur. Başlangıç koşullarındaki en ufak bir değişiklik genişleyecektir. Sistem kararsızdır. Bu kararsızlık ve başlangıç koşullarına olan duyarlılıktan doğacak birinci sonuç, yörüngenin bi *idealizasyon* olmasıdır. Gerçekten, kendisine gereği gibi belirli bir yörünge saptayabileceğimiz bir sistem hazırlamamız bizim için olanaksızdır, çünkü böyle bir hazırlığın sonsuz bir doğruluğu olmas gerekir. Bir sistemin başlangıç hâli hazırlığının sınırlı niteliği, tek bir noktayla gösterilebilir ilk durumların faz uzayının, yalnızca sınırl küçük bir bölgesinde yoğunlaşmış bir olasılıklar dağılımıyla belirtiler sistemleri hazırlayabilmemizden dolayı, kararlı sistemler için geçerli sonuçlar değildir. Şekil I-6'yla gösterilen kararsız sistemler için bu sınırlı niteliğin sonucu, eksiyi değil ama artı yörüngeyi ya da bunur tam tersini izleyebilen bir sistem oluşturmanın olanaksızlığıdır.

Bu olanaksızlık, yalnızca pratik bir niteliğe mi sahip? Yörüngelerin hesaplanılamaz olduklarını kabul etmekle yetinmemiz gerekseydi evet: olasılıklar dağılımı bize, faz uzayının kompleks mikroyapıların dinamik betimlemesi bağlamına katmamızı sağlar. O halde, özel yörünge betimlemesinde yitirilen *ek (additionnelle)* bir bilgi içerirler. IV. Bölümde göreceğimiz gibi temel nokta buradadır: bununla birlikte, her zaman temel bir betimleme olarak kabul edilen bireysel betimlemeye oranla olasılıkçı betimleme daha zengindir. Bu yüzden, ρ olasılık dağılımları düzeyinde, bütünün (kümenin) evrimini önceden belirtmeyi sağlayacak yeni bir dinamik betimlemesi elde ederiz. Böylece, bireysel yörüngeler düzeyinde mümkün olmayan, dağılımcı fonksiyonların dengeye yaklaşmasına dayanan, ayırtedici zaman ölçekler sağlayabiliriz. Bireysel ve istatistiksel düzey arasındaki eşdeğerlik gerçekten bozulmuştur. Bireysel yörüngelere uygulanmadığı ölçüde olasılık dağılımlarında *indirgenemeyen* yeni çözümlere ulaştık. Kaotik sistemlerin düzenli ve önceden bildirimli bir betimlemesi olan "kaos

yasaları", istatistiksel düzeyde yer alırlar. Önceki kısımda "dinamiğin genişletilmesi" üzerine konuştuğumuz zaman bizim anladığımız şey buydu. Yörünge terimlerinde eşdeğeri olmayan istatistiksel düzeyde bir dinamik formülasyonu söz konusudur. Bu, bizi yeni bir duruma götürür. Başlangıç koşulları, faz uzayında artık bir noktaya benzetilemez, bir olasılık dağılımıyla belirtilen bir bölgeye bağlıdırlar. O halde, *belirli olmayan (non locale)* bir betimleme söz konusudur. Üstelik, daha sonra göreceğimiz gibi zamana oranla simetri bozulmuştur, çünkü istatistiksel formülasyonda geçmiş ve gelecek farklı rol oynarlar. Kuşkusuz, kararlı sistemler ele alındığında, istatistiksel betimleme alışılmış bir betimlemeden ibarettir.



Şekil 1-6

Değişken dinamik sistem: Her + hareketi – hareketleriyle çevrelenmiştir ve her – hareketi de + hareketleriyle çevrelenmiştir.

Tersinmezlik ve olasılıkları kapsayan bir doğa yasası genelleştirmesine ulaşılması için niçin bu kadar beklemek gerektiği sorulabilir. Nedenlerden biri, kuşkusuz ideolojik düzendir: doğa konusuna neredeyse tanrısal bir görüş açısıyla varma isteğidir. Aynı zamanda bir matematik tekniği sorunu da vardı. Çalışmamızın konusu fonksiyonel analizlerdeki (işlevsel çözümlemeler) yeni gelişmeleri incelemektir. Sonra göreceğimiz gibi genişletilmiş dinamik formülü yaygın fonksi-

yonel bir alanı kapsar. Doğa yasalarının istatistiksel bir formülasyonu, Mandelbrot'un "fraktal" olarak adlandırdığı[22] genelleştirilmiş fonksiyonların önemli bir rol oynadıkları yeni bir matematiksel malzeme gerektirir. Şu halde, bu gelişme fizik ve matematik arasındaki zengin diyaloğun yeni bir örneğidir.

Kaos yasalarının betimlediği bu dünyada Laplace şeytanı ne oluyor? Determinist kaos, bize ancak, dünyanın durumunu sonsuz bir kesinlikle bildiğinde, geleceği önceden bildirebileceğini gösterir. Betimlemenin kesinliği ne olursa olsun, yörüngelerin bozulması gibi daha güçlü bir kararsızlık biçimi varolduğuna göre bundan böyle daha ileri gidebiliriz. Sonra göreceğimiz gibi, klasik dinamiğe olduğu kadar kuantum mekaniğine de uygun düştüğü için, bu tip kararsızlık, temel bir öneme sahiptir. Bütün bu kitabın temelini oluşturur. Bir kez daha, hareket noktamız, Henri Poincaré'nin 19. yüzyılın sonundaki temel çalışmasıdır[23].

Poincaré'nin, kararlı ve kararsız sistemler arasında temel bir ayrım geliştirdiğini daha önce gördük. Ancak daha da ötesi var. Çok önemli "integrallenemez dinamik sistem" kavramını getirmiş, dinamik sistemlerin çoğunun integrallerinin alınamadığını göstermiştir. İlk önce, uzun süre basit bir matematik tekniği sorunu sayılan negatif bir sonuç söz konusuydu. Bununla birlikte, göreğimiz gibi bu sonuç, bizim olan bu dünya ve her olası durumda tutarlı bir biçimde dinamik dilinin ifade edilmesinin *sine qua non (olmazsa olmaz)* koşulu olduğunu belirtir.

Gerçekten Poincaré'ye göre integrallenebilir bir sistem nedir? Her dinamik sistem, kendisini oluşturan cisimlerin tek hızına bağlı kinetik bir enerjiyle ve bu cisimler arasındaki etkileşimle, yani bağıl uzaklıklarına dayanan potansiyel bir enerjiyle belirtilebilir. Etkileşimden yoksun serbest parçacıklar için özellikle basit bir durumdur. Bu durumda, potansiyel enerji bulunmaz ve yörünge hesabı belirlenmez. Böyle bir sistem Poincaré'ye göre integraldir. Her integrallenebilir dinamik sistem, etkileşimden yoksun cisimlerden oluşmuş gibi gösterilebilir. Bu tip bir dönüşümü sağlayan hamiltoniyen gösterim şekline

V. bölümde tekrar döneceğiz. Burada Poincaré'nin açıkladığı integrali alınabilirlik kavramının tanımını vermekle yetiniyoruz: integrali alınabilir dinamik bir sistem, potansiyel enerji elendiğinde değişkenleri tanımlanabilen, yani, etkileşimsiz bir serbest parçacıklar sisteminkine oranla davranışı eş yapılı olan bir sistemdir. Poincaré, böyle değişkenlerin genelllikle elde edilemeyeceğini belirtir. Şu halde, genel olarak dinamik sistemlerin integralleri alınamaz.

Poincaré'nin gösterimi farklı bir sonuca varmış olsaydı, tüm dinamik sistemlerin integrallerinin alınabileceğini gösterebilseydi, dinamik dünyası ve süreçler dünyası arasındaki kurulduğunu gözlemlediğimiz köprü ortadan kaldırılmış olacaktı. Etkileşimsiz bir cisimler bütününden oluşan eşyapılı bir dünyada, ne zaman göstergesine ne oto-organizasyona ne de yaşama yer yoktur. Ancak Poincaré integrallenebilirliğin yalnızca, dinamik sistemlerden indirgenmiş bir sınıfa uygulanabileceğini göstermekle kalmamış, bu özelliğin üstün niteliğinin nedenini de açıklamıştır: *sistemin serbestlik dereceleri arasında var olan rezonans*. Bunu yaparken, sorunu belirleyerek, genişletilmiş bir dinamik formülünü olanaklı kılmıştır.

Rezonans kavramı, frekanslar arasında bir ilişkiyi belirtir. Uzaklıkla orantılı bir kuvvetle bir merkeze bağlı bir parçacığın davranışını betimleyen salıngacın (oscillateur) harmonik (uyumcul) devinimi basit bir frekans örneğidir: eğer parçacık merkezden uzaklaştırılırsa, daha belirgin bir frekansla salınacaktır. Şimdi, salıngacın en çok bilinen durumu olan yay'ın durumunu göz önüne alalım; denge konumundan uzaklaşan yay belirgin bir frekansla titreşir. Böyle bir yayı, değiştirebileceğimiz bir frekansla gösterilen dış bir kuvvete bağlayalım. O zaman, iki frekans arasında bir kuplaj (bağlaşım) olayını görürüz. Rezonans, yay'ın ve dış kuvvetin frekanslarının, basit bir sayısal orana uygun olduğu zaman oluşur (frekanslardan biri diğerinin tam katına eşittir). Bu durumda sarkacın titreşimin genliği, önemli ölçüde artar. Bir aletle bir notayı çaldığımız zaman da aynı olay meydana gelir. Harmonikleri (üstuyumcullar) duyarız. Rezonans, sesleri "ikizleştirir".

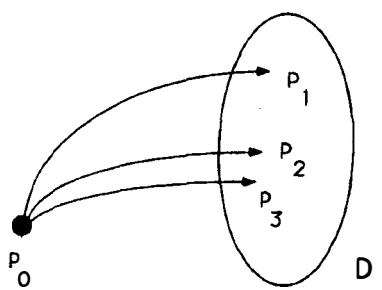
Frekanslar, ve özellikle rezonanslar sorunu dinamik sistemler betimlemesinin temelini oluşturur. Dinamik bir sistemin serbestlik derecelerinin her biri bir frekansla belirtilir. Farklı frekansların değeri, genellikle faz uzayı noktasına bağlıdır. ω_1 ve ω_2 frekanslarıyla verilen serbestlik derecesi iki olan bir sistemi göz önüne alalım. Tanım olarak, faz uzayının her noktasında, $n_1\omega_1 + n_2\omega_2$ nin toplamı tam değer oluşturmak için, sıfırdan farklı olan n_1 ve n_2 yi etkisiz kılarlar, böylece rezonans elde ederiz, çünkü böyle bir noktada $n_1/n_2 = -\omega_2/\omega_1$ dir. Oysa böyle sistemlerin yörünge hesabı, rezonans noktalarında ayrılan ve hesabı olanaksız kılan $1/n_1/\omega_1 + n_2\omega_2$ tipindeki paydaları araya katar. Bu küçük bölenler sorunu daha önce Le Verrier tarafından belirtilmiştir. Poincaré'nin gösterdiği şey, bunlara denk gelen tehlikeli rezonans ve paydaların, dinamik sistemlerin integrasyonunun çoğu için *aşılmaz* bir engel oluşturmuş olmalarıdır.

Poincaré sonucun uzun süre ihmal edilmiş, "dinamiğin genel sorunu" olarak adlandırdığı soruna vardığını anlamıştır. Max Borr şöyle yazmıştır: "Doğanın, n-cisim sorunu analitik güçlükler siperinin arkasına gizlenerek bilginin gelişmesine karşı koyma aracı bulmuş olması, gerçekten çok dikkat çekici olurdu"[24]. Poincaré'nin belirttiği engel, zaten, devinim denklemlerinden, çözümü oluşturan yörüngelerin yapımına giden yolu kapamasıdır; ancak, bu engel, dinamiğin kavramsal sorununu ortaya koyuyor gibi görünmüyordu: her dinamik sistem, kurup kuramayacağımızdan bağımsız olduğuna göre, denklemlerin çözümü olan doğru bir yörünge izlemelidir. Bugün bakış açımız tümüyle değişmiştir. Poincaré'nin ayrımları bizim için, Born'u açımlayan doğanın boşa çıkardığı bir karşı koymayı yansıtan bir engel değildir. Daha çok yeni bir fırsat, yeni bir hareket noktasıdır. Gerçekten bundan böyle Poincaré'nin negatif sonucunun ötesine gidebilir ve integrallenemezliğin, kaotik sistemler gibi dinamik yasalarına istatistiksel bir formül yolu açtığını gösterebiliriz. Bu sonuç, Poincaré'den altmış yıl sonra, dinamiğin yenilenmesiyle birleştirilen araştırmalarla, Arnold ve Moser'in sürdürdüğü, konusunda uzman Kolmogorov'un çalışmasıyla olanaklı kılınmıştır (KAM kuramı).

Poincaré'nin rezonansları fizikte temel bir rol oynar. Işığın emilmesi ve yayımı rezonanstan kaynaklanır. Etkileşim içindeki bir parçacık sisteminin dengeye yaklaşımı, göreceğimiz üzere, bu rezonanstan doğar. Etkileşim içinde olan alanlar da aynı zamanda rezonans yaratırlar. Rezonansların bir rol oynamadığı, kuantum fiziği ya da klasik fizikte, böyle bir sorunu örnek olarak göstermek zordur. Dinamik sistemlerin betimlemesinin karşısına çıkan engelin aşılabilmesi, şu halde haklı olarak, dinamiğin bir genişlemesi, integrali alınabilir dinamik sistemlere uygulanabilen kararlı ve determinist model olmaktan kurtulan bir yayınım olarak kabul edilebilir. Göreceğimiz gibi, gerçekçi bir kuvantal süreçler kavramıyla sonuçlanması, yani gözlemci sorunu olmaktan çıkmış olması için bu yayılma gereklidir. KAM kuramından bir dinamik genişlemesine giden yolu kısaca gözden geçirelim.

Bu kuram, rezonansların yörüngeler üzerindeki etkisini inceler. Görüldüğü gibi, frekanslar genellikle dinamik değişkenlere bağlıdır ve faz uzayının farklı noktalarında farklı değer alırlar. Dolayısıyla, bu uzayın bazı noktaları, rezonanslar ve diğer basamaklarla betimlenmiş olacaktır. Bağlantılı olarak, fay uzayında gezinen, normal, determinist yörüngeler ve rezonanslarla birleşmiş kararsız yörüngeler olmak üzere iki tip yörünge gözlemleriz. KAM kuramı, artan bir enerji değerine göre, faz uzayı topolojisinin dönüşme biçimini betimler. Kritik bir değerden itibaren sistemin davranışı kaotikleşir: çevre yörüngeler boyunca farklılık gösterirler. Tamamıyla ilerlemiş kaos durumu içinde, faz uzayının her yerinde tekbiçimli ayrışmaya doğru giden bir evrim olan yayınım (difüzyon) olaylarını gözlemleriz. Oysa, yayınım olayları tersinmez olaylardır: yayınım, gelecekteki tekbiçimli bir yaklaşıma uygundur ve entropi meydana getirir. Klasik dinamikten yola çıkarak, bozulmuş zamansal simetrili tersinmez bir olayı gözlemleyebileceğimiz nasıl açıklanır? Bireysel yörüngeler düzeyinde belirsiz davranışın tersine istatistiksel düzeyde böyle bir davranışı belirleyen düzenlilik (regularite) dinamik terimleriyle nasıl ifade edilir? Zaman çelişkisini aşmak için çözümlemek zorunda olduğumuz esas sorun budur.

Bu durumda, bir ρ olasılıklar dağılımıyla betimlenen bireysel düzey (yörüngeler) ve istatistiksel düzeyi (kümeler) ayırtetmek gerekir. Rezonanstan kaynaklanan farklılıklar, bireysel düzeyle ilgilidir, ancak istatistiksel düzeyde elenmiş olabilirler (bkz.V. ve VI. bölüm). Gördüğümüz gibi rezonanslar, olaylar arasında bir ikizleştirmeye yol açar (iki ses arasındaki ikizleştirmeyi düşünün). İstatistiksel düzeyde elenen rezonanslar, yörünge betimlemesi terimleriyle bağdaşmayan newtoniyen olmayan bir kuram oluşturmaya yönelirler. Bu, o kadar şaşırtıcı değildir: olaylar arasındaki rezonans ve ikizleştirme bir noktada ve bir anda oluşmaz.

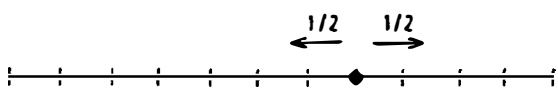


Şekil I-7

Yayınımsal devinim: bir τ zamanından sonra sistem, D alanının herhangi bir P_1, P_2, P_3 noktasında bulunabilir.

Bunlar, faz uzayı içinde, bireysel nokta ve yörünge terimleriyle bilinen dinamik tanımına yerleştirilemeyen, belirli olmayan bir betimleme içerirler. Bu oluşum, buna karşılık, faz uzayında yayınımsal (diffusif) bir devinim elde edilmesini sağlar. Gerçekten, uzayın P_0 başlangıç noktası bir τ evrimi süresinden sonra, sistemin hâli olduğu kesin olarak önceden bildirilecek P_τ noktasıyla değil de, sistemi gösterme olasılığı sıfırdan farklı olan her noktanın içinde bulunduğu D

alanıyla birleşmesini sağlar. Böylece, tümüyle dinamik bir çerçeve içinde Brown devinimiyle birleştirilen yayınımın çarpıcı bir şekilde benzer bir gösterimine varırız. En basit durumda, bu devinim, düzenli zaman aralıklarıyla, bir birimin, bir boyutlu bir örgü üzerine geçişini gerçekleştiren bir parçacığa denktir. Brown deviniminde, yer değişimi, her geçişte, sağa ya da sola doğru 1/2 oranında bir geçiş olasılığıyla yapılabilir. O halde, her geçişte, gelecek belirsizdir. Bununla birlikte, istatistiksel düzeyde, model, bir yayınıma uygun olan iyi belirlenmiş düzenli bir davranış gösterir. Bu, zaman içinde yönlendirilmiş bir yayınımdır, çünkü yoğunlaştırılmış bir nokta bulutundan başlangıca gidersek, bu bulut, bazı noktaları başlangıçtan uzak, bazıları yakın bir şekilde zamanla dağılacaktır.



Şekil I-8

Bir boyutlu bir örgü üzerinde Brown devinimi: her geçişte, sola ya da sağa doğru karşılıklı gitme olasılıkları 1/2 ye eşittir.

Geçiş olasılıkları verilen Brown devinimi örneğinden değil de, klasik dinamiğin determinist denklemlerinden başladığımızda, rezonansların yayınım terimlerini ortaya çıkaracağını gösterebilmemiz dikkat çekicidir. İstatistiksel düzeyde rezonanslar, determinizmin kopmasına yol açar; belirsizliği, klasik mekaniğe dahil ederler ve zaman simetrisini bozarlar. Kuşkusuz, integrali alınabilir bir sistemle işimiz olduğunda, yayınımsal terimin olmadığını görürüz, ve yeneden yörünge terimleriyle yapılan bir betimlemeye döneriz, ancak bu tip betimleme artık özel bir duruma denk düşmez: dinamik yasaları genel olarak, olasılık terimleriyle oluşturulmalıdır.Yüzyıllar boyunca yörüngeler,

klasik dinamiğin temel nesneleri olarak sayılmıştır: şimdi sınırlı bir geçerliği olan yörüngeler gibi görünürler.

Temel sorun sürmektedir: hangi durumlarda yayınımsal terimlerin gözükmesini sağlayabiliriz? Başka bir deyişle, yörünge terimleriyle yapılan newtoniyen betimlemenin ya da dalga fonksiyonu terimleriyle yapılan kuvantal betimlemenin geçerlik sınırları nelerdir? Bu soruların yanıtlarını V. bölümde, kuantum mekaniğiyle ilgili olanları ise VI. bölümde açıklayacağız. Getireceğimiz yanıt şeklini şimdiden belirtelim. Geçici etkileşimler söz konusu olduğunda (örneğin, bir hedefle çarpışan bir parçacık demeti, sonra serbest devinimini sürdürür) yayınımsal terimler önemsenmeyebilir. Dönüp dolaşıp yine newtoniyen yörüngeler fiziğine geliriz. Buna karşılık, sürekli etkileşimler sırasında, bir hedef üzerine düşen sürekli bir parçacık akısının durumunda olduğu gibi, yayınımsal olaylar baskındır. Gerçek (reel) dünyadaki gibi, bilgisayar üzerindeki simülasyonlarda (benzetim), bu iki olayı gerçekleştirebilir ve böylece kuramsal yaklaşımlarımızın bir denemesini yapabiliriz. Sonuçlar, sürekli etkileşimler durumunda, açık bir biçimde yayınımsal terimleri ve şu halde newtoniyen betimlemenin yenilgisini gösterirler.

Ancak, daha dikkat değer ikinci bir durum vardır. Makroskopik sistemler genellikle, ilişkileri biten hem N parçacık sayısı hem kapalı bölmenin V hacminin sonsuzluğa yöneldiği sınıra denk olan "termodinamik sınır" olarak adlandırılan terimlerle tanımlanır. Parçacıkların bireysel davranışının izlenmesinden vazgeçildiğini gösteren termodinamik sınır, basit pratik bir tahmin değildir. Bu, faz geçişleri gibi, etkileşim içindeki parçacık terimleriyle yapılan dinamik betimlemenin ve maddenin gözlemlenebilir nitelikleri arasında temel bir artikülasyonun (eklemleme) başlıca koşuludur. Sıvının gaza ya da katı halin sıvıya geçişi kesin bir şekilde ancak termodinamik sınırla tanımlanmıştır. Oysa göreceğimiz üzere, bu sınır kesin olarak indirgenemez bir olasılık betimlemesinin ortaya çıkış koşullarına dayanır, buysa gözlemle uyuşur: gerçekten, tersinmezlik ve olasılıklar makroskopik fizik için kesin bir şekilde gereklidir.

Şu halde faz geçişlerinin varlığı, bireysel terimlerle bir betimlemeye indirgenemeyen, görünen bir özelliği yansıtır. Bireysel parçacıklar düzeyinde hiçbir anlam ifade etmediği bahanesiyle olasılığın yadsınmasına yol açan, indirgenimci davranışın sınırlarını gösterir. Bireysel parçacıklar ne katı ne de sıvıdır. Katı ve sıvı gaz halleri parçacıklar kümesinin özelliğidir. Aynı zamanda, zamansal simetrinin bozulması anlamına gelir. Rezonansların sürekli bir şekilde olması gereklidir. Burada, bir parçacık kümesini göz önüne almak gerekir. Etkileşim içinde olsa bile, birkaç parçacığı ayırarak, klasik çerçevede kalırız. Bu niteliksel açıklamaları V. bölümde belirteceğiz.

Klasik mekaniğin yeni formülasyonu, III. bölümde ele alacağımız determinist kaosta olduğu gibi matematiksel çerçevesinin gelişmesini gerektirir. Durum, genel göreliliğin durumunu anımsatır. Einstein, yerçekimini zaman ve mekân metriğine yerleştirmek için, Eukleidesçi geometriden Riemann geometrisine gitmemiz gerektiğini göstermiştir (bkz. VIII. bölüm). Fonksiyonel hesapta, Eukleides geometrisinin sonsuz boyutlu bir sayı uzantısı olarak kabul edilebilen Hilbert uzayı, temel bir rol oynar. Kuantum mekaniği ve istatistiksel mekanikle birleşen matematik işlemlerinin geleneksel tanımı Hilbert uzayında verilmiştir. Oysa, IV. ve VI. bölümlerde göreceğimiz gibi, formülasyonumuz tekil fonksiyonların kullanımını ve dolayısıyla Hilbert uzayından daha genel fonksiyonel uzaylara geçişi kapsar. Bu alan, bugün tam bir gelişme içinde olan matematiğin yeni bir alanıdır.

Bu yüzyılın başından itibaren, atomlar ve temel parçacıklar gibi mikroskobik nesneler söz konusu olduğunda klasik mekaniğin genelleştirilmesi gerektiği ya da astrofizik ölçeklerine geçmek gerektiği düşüncesine alıştık. Kararsızlığın aynı zamanda klasik mekaniğe bir gelişmeyi zorunlu kılması tamamen beklenmedik bir durumdur. Bu gelişme, beklenmedik oranda kuantum mekaniğini de ilgilendirir. Rezonanslarla birleşen kararsızlıklar, bu durumda da temel bir rol oynar. Kuantum kuramı formülasyonunun bile bir dönüşümüne yol açarlar ve kuantum mekaniğinin temel çelişkisinin açıklanmasına katkıda bulunurlar.

IV

Kuantum mekaniğiyle ilgilendiğimizde, gerçekten garip bir durumla karşılaşırız. Kuantum mekaniği bilindiği gibi üstün başarılar elde etmiştir. Bununla birlikte, temel ilkelerinin oluşturulmasından yetmiş yıl sonra tartışmalar bütün canlılığıyla sürmektedir[25] ve konunun en büyük uzmanlarında bir huzursuzluk hakimdir. Richard Feynman, bir gün, kuantum kuramını hiç kimsenin "anlamadığını" itiraf etmiştir! Bu durum bilim tarihinde tektir. Daha iyi anlaşılmasını sağlayacak birkaç örnek gösterelim. Merkezi büyüklük, klasik mekanikte yörüngeninkine benzer bir rol oynayan Ψ dalga fonksiyonudur. Schrödinger denklemi olan temel denklem, dalga fonksiyonu boyunca evrimi betimler. Tam olarak klasik mekanikteki devinim denklemlerinin bir yörüngenin ilk hâl betimlemesinden diğer anlardaki herhangi bir hâline gitmesi gibi t_0 başlangıç anında verilen $\Psi(t_0)$ dalga fonksiyonunu, t zamanında $\Psi(t)$ dalga fonksiyonuna dönüştürür.

Schrödinger denklemi, Newton'unki gibi tersinir zamanlıdır. Şu halde, aynı uçurum, kuantum betimlemesini olduğu gibi, entropiyle birleşmiş evrimsel betimlemenin klasik dinamik betimlemesini de ayırır. Bununla birlikte, yörüngelerin gözlemlenebildiği klasik mekanikte olup bitenin tersine, dalga fonksiyonu gözlemlenemez. Fiziksel açıklamasına göre, Ψ dalga fonksiyonu bir *olasılık genliği*dir. Bu, $|\Psi|^2 = \Psi\Psi^*$ karesinin bir olasılığa denk olduğu anlamına gelir (Ψ sanal ve gerçek bölümleri vardır, Ψ^*, Ψ nin karmaşık birleşiğidir). Onu ρ olarak işaretleyeceğiz. Kuantum olasılığının, farklı dalga fonksiyonlarının çakışmasından (superposition) elde edilen küme terimleriyle daha genel tanımlamaları bulunmaktadır. Bu kümeler, tek bir dalga fonksiyonuyla belirtilen "arı durum"un tersine "karışımlar" olarak adlandırılır.

Kuantum kuramının temel varsayımı, klasik mekanikteki her problemin bireysel yörüngeler terimleriyle çözülmesi gerektiği gibi, her dinamik problemin tamamen olasılık genlikleri terimleriyle çözülebilmesi gerektiğidir. Böyle olmakla birlikte, kuantum durumunda, maddeye özelliklerin verilmesi ek bir işlem içerir: tam deyimiyle

genliklerden olasılıklara geçilir. Bu sorunu kavramak amacıyla, enerjinin E_1 ve E_2 olmak üzere iki değer alabildiği bir durumu, basit bir örneği inceleyelim. Sistemin enerjisi ölçüldü mü, enerjinin gözlemlenen değerine göre sisteme u_1 ya da u_2 dalga fonksiyonunu veririz. Ancak, ölçüm yapılmadan önce, sistemin dalga fonksiyonu $\Psi = c_1 u_1 + c_2 u_2$ olan lineer bir çakışmaya (superposition lineer) denktir. Şu halde, fonksiyon iyi belirlendiğinden, arı bir durum içindeyiz. Bu durumda, sistem ne 1' in düzeyinde ne de 2'nin düzeyindedir, ancak her ikisine de katılır. Kuantum mekaniğine göre, bu dalga fonksiyonuyla belirtilen bir sistemler kümesi üzerinde gerçekleştirilen bir ölçüm, $|c_1|^2$ ve $|c_2|^2$ genlikler karesinin herbiri tarafından verilen olasılıklarla E_1 ya da E_2 nin ölçülmesiyle sonuçlanır. Bu, arı bir durumdan başlayarak, yani aynı Ψ dalga fonksiyonuyla gösterilen bir sistemler kümesinden, u_1 ve u_2 olmak üzere iki ayrı dalga fonksiyonuyla gösterilen bir sistemler kümesi olan bir karışıma ulaşırız. Dalga fonksiyonunun "indirgenmesi" olarak adlandırılan şey, arı durumdan karışıma doğru olan bu geçiştir.

O halde, kuantum mekaniği bizi, Ψ dalga fonksiyonuyla betimlenen *potansiyaliteden*, ölçtüğümüz *aktüalitelere* geçişi kabul etmeye zorluyormuş gibi gözükür. Ama bu geçiş neye dayanıyor? Belirttiğimiz gibi, Schrödinger denklemiyle betimlenen evrime yabancı olan bu geçiş, arı bir durumdan karışıma değil de bir dalga fonksiyonunun, bir diğerine dönüşümünü betimler. Bu son dönüşümün bizim ölçümlerimize bağlı olacağı sık sık telkin edilmiştir. Bu, bu bölümün I. kısmında belirtilen özette Weinberg tarafından dile getirilen görüştür. Bu yorum ve insanın yetkinlikten uzaklığını zaman göstergesinden sorumlu tutan yorum arasında bir benzerliği göstermek için bu kişiye "kuantum çelişkisi"nden söz edeceğiz: gözlemleme gibi bir insan eylemi, potansiyaliteden, aktüaliteye geçişten nasıl sorumlu olabilecekti? İnsanlar ya da fizikçiler olmadığında dünyanın evrimi farklı mı olacaktı? Paul Davies, *The New Physics*'in önsözünde şöyle yazar: "Son analizde, kuantum mekaniği, mikrosistemlerin gözlem sonuçlarını önceden bildirmek için tümüyle tatmin edici bir yöntem önerir, ancak, bir gözlem yapılırken gerçekten ne olup bittiğini sorduğumuz-

da anlamsızlıklara varırız! Bu çelişkiden kurtulma girişimleri, Hugh Everett'in çoklu evrenleri gibi garip düşüncelerden, John von Neumann ve Eugene Wigner tarafından ileri sürülen gözlemci vicdanının rolü gibi mistik düşüncelere varır. Tartışmalardan bir yarım yüzyıl geçmesine rağmen, kuvantal gözlem üzerine tartışma hâlâ canlılığını sürdürmektedir. Çok küçükten çok büyüğe fiziğin sorunları çok şaşırtıcıdır, ancak bu sınır belki - düşünce ve maddenin arayüzeyi - Yeni Fiziğin en kışkırtıcı mirasıdır"[26].

Düşünce ve madde arasındaki arayüzey sorunu daha önce klasik fizikte, zaman çelişkisiyle gösterilmiştir. İnsan açısından zaman göstergesinin, zamansal simetrik yasalarla yönetilen bir dünyaya verilmesi gerekiyorsa, *herhangi bir ölçüm tersinmez bir süreç varsayıldığına* göre, her türlü bilgi edinimi çelişkili olur. Zamansal olarak tersinir bir nesne konusunda ne olursa olsun öğrenebiliyorsak, bu ister aygıt düzeyinde olsun (örneğin, ışıkkimyasal bir tepkime), ya da ister duyumsal mekanizmalarımız düzeyinde olsun, bu yalnızca her ölçümün içerdiği tersinmez süreçler sayesinde gerçekleşir. Klasik mekanikte de, dünya gözlemini betimlemeye nasıl katacağımızı sorduğumuzda, Davies'in söylediği gibi bir anlamsızlığa varırız. Tek fark, nesnel niteliğinde hiçbir kuşkuya yer bırakmayan başarısıyla klasik mekanikte tersinemezliğin bu yersiz girişinin, daha küçük bir sorun olarak algılanmış olmasıdır. Kuantum mekaniğinde durum çok farklıdır, çünkü ölçümün temel doğa betimlemesi içinde bulunması, kuramın yapısının, indirgenemez ikilemin gerektirdiği bir durumdur: bir yanda Schrödinger denklemi, öte yanda dalga fonksiyonunun indirgenmesi.

Büyük fizikçi Wolfgang Pauli, 1947 yılında Markuz Fierz'e yazdığı bir mektupta, bu ikilemli yapının çok farklı sonuçlarını belirtmiştir: "Bir şey gerçekten, ancak gözlem yapıldığı zaman ve gözlemle bağlantılı olarak oluşur...entropi artar. Gözlemlemelerin arasında hiçbir şey meydana gelmez" [27]. Bununla birlikte, biz gözlemlesek de gözlemlemesek de üzerine yazdığımız kağıt sararıyor ve eskiyor.

Bu çelişki nasıl çözümlenir? Davies'in belirttiği uç konumlardan başka, Kopenhag açıklaması denilen Niels Bohr'un önerisini söyle-

mek gerekir. Kısacası, Bohr, "dalga fonksiyonunun indirgenmesinden hangi tip dinamik süreçler sorumludur?" sorusunun, sorulmaması gerektiğini belirtir. Dalga fonksiyonu ölçüm aygıtı olmadan anlamdan yoksundur. Ona göre, kuantum dünyası için bize aracılık eden bu ölçüm aygıtını *klasik* bir tarzda ele almamız gerekir. Öbür dünyayla haberleşen bir papaz ya da bir şaman tasarlayın: bize aktardığı mesajların, bizim onları anlayabildiğimiz ölçüde bizim için bir anlamı vardır; ancak öbür dünyada bu mesajları oluşturan kaynaklara varamayız. Aynı şekilde, Bohr'a göre, kuantum dünyasını açıkladığını düşünerek dalga fonksiyonuna açıklayıcı bir değer katmaktan kaçınılmalıdır. Bu açıklayıcı değer öbür dünyayı değil, ancak bizim onunla haberleşme olasılıklarımızı gösterir.

Bohr'un açıklaması çok çekici olmakla birlikte, aygıtı "klasiğin" aracı olarak tanımlaması anlaşılır değildir. Bir fizik ya da fizik-kimya sisteminin bir ölçüm aracı olarak kullanabileceği olasılığını tanımlayan yönergeler nelerdir? *Bizim* bunu klasik bir biçimde incelemeye karar vermemiz yeterli mi? Kuantum mekaniği evrensel değil mi? Kuantum kuralları nerede son bulur? Niels Bohr'un en yakın yardımcısı Léon Rosenfeld, bu Kopenhag açıklamasının yetersizliğinin bilincindeydi. Bu açıklamayı birinci aşama olarak görüyor ve bundan sonrakinin, ölçüm aygıtının rolünün gerçekçi dinamik bir açıklamasına dayanacağını düşünüyordu. Bu görüş onu, yaşamının sonunda, grubumuzla işbirliği yapmaya yöneltmiştir. Bunun sonucu olan yayınlar, bu kitapta betimlenen yaklaşımı daha önceden bildirmiştir[28].

Diğer fizikçiler, ölçüm aygıtını makroskopik bir mekanizmayla tanımlamayı önermiştir. Onlara göre makroskopik mekanizma kavramı, tahmin kavramıyla birleştirilmiştir. Pratik nedenler yüzünden aygıtın kuantum özelliklerini belirleyemeyiz. Ancak ölçümün olasılığı bile, bu durumda tahminlerimize dayanır. Tahminleri eleyecek yetenekte olsaydık aygıt, artık ölçüm aracı olarak kullanılamazdı. Aynı zamanda aygıtın, dünyayla etkileşim içinde açık bir kuantum sistemi olarak tanımlanması önerilmiştir[29]. Çevreden gelen olağan karışıklıklar, dalgalanmalar sistemin kuvantal özelliklerini bozacak ve böylece ölçümden sorumlu tutulacaktır. Ancak, "çevre" kavramı neyi ifade ediyor?

Bir nesne ve çevresi ayrımını kim yapıyor? Sonuç olarak bu ayrım, John von Neumann'ın konumunun değiştirilmiş bir yorumundan başka bir şey değildir, buna göre, dalga fonksiyonunun indirgenmesini, *biz*, eylemimizle, gerçekleştiririz.

Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics, adlı mükemmel yapıtında J. Bell, kuantum mekaniğine bağlı öznel (sübjektif) unsurun elenmesi gerekliliğini ısrarla dile getirmiştir[30]. Bu gerekliliğin kendini bütün keskinliğiyle gösterdiği oranda, bugün kuantum mekaniği, big bang'e yakın varoluşun ilk aşamalarında evrenin araştırılması için kaçınılmaz bir araçtır. O halde, evreni kim ölçüyor? Murray Gell-Mann'ın son yapıtı *The Quark and the Jaguar*'da anımsattığı budur. Bununla birlikte, önerdiği çözüm, evrenin kuantum tarihinin kaba çizgileriyle *(coarse grained)* betimlenmesine başlama, temel bir sorunun çözümü olarak yeniden bir tahminde bulunulmasıdır. Kaba çizgileriyle betimleme, olasılık genliklerini ve karışımı (daha yukarda verilen örnekte, $\Psi = c_1 u_1 + c_2 u_2$) çakıştıran tek dalga fonksiyonuyla gösterilen bu arı durumlar (cas purs) arasındaki farklılığı belirten girişim terimlerini (termes d'interférence) ortadan kaldırmıştır. Bu girişim terimleri dikkate alınmadığında sorun çözümlenir: potensiyaliteden aktüaliteye geçmeye artık gerek duyulmaz. Bütün ölçüm, karışımın farklı maddelerini belirlemekle sınırlanır. Ancak, girişim terimleri hangi nedenlerle dikkate alınmayacak? Özellikle kozmolojide, üstünkörü bir betimlemeyle yetinme seçiminin gerekçesi ne olacak? Kuantum mekaniğinin çok sayıda önemli uygulamalarında girişim terimleri, dalga fonksiyonu karesinin, gerçekleşebilir farklı ölçüm sonuçları olasılıklarının toplamı olmaması nedeniyle, önemli bir rol oynar. Doğru bir kuantum mekaniğine gereksinim duyulduğuna ya da girişim terimlerini ortadan kaldıran bir betimlemenin yeterli olduğuna hangi ölçüte göre karar verilebilecek? Kuantum mekaniği ve kozmoloji arasındaki eklemleme sorununun ve gözlemci sorununun bu tahminlere dayanarak çözümleneceği gerçekten beklenilebilir mi? Üstelik, gördüğümüz gibi, bir yazarın kuantum mekaniğinin her çağdaş fizik kuramının yer alması gereken bir çerçeve olduğunu ileri süren bu tutumu nasıl anlaşılır?

Böylece, ölçüm sorununa getirilen farklı çözüm yaklaşımları pek tatmin edici olmamıştır. Hiçbir yeni bakış açısı getirmediği için hiçbir olasılık denenememiştir. Vardığımız sonuç, A. Shimony[31] ve B. d'Espagnat[32] gibi, çok sayıda kuantum kuramı uzmanlarının sonuçlarıyla uyuşur. Onlara göre, kuantum mekaniğinin bütün sonuçlarını elinde bulundurması gereken yalnızca köklü bir yenilik, kuramın ikicil yapısına bağlı güçlükleri ortadan kaldırabilecektir. Bununla birlikte ölçüm sorununun tek olmadığını belirtelim. Léon Rosenfeld'in ısrarla belirttiği gibi, ölçüm kavramı özünde tersinmezliğe bağlıdır. Oysa kuantum mekaniğinde, ölçümlere bağlı olsun ya da olmasın, tersinmez süreçlere yer verilmez. Bu bakımdan durum, klasik mekanik (III. kısım) için gösterdiğimiz duruma tümüyle benzer, göreceğimiz gibi önereceğimiz çözüm de benzer olacaktır. Temel rol yeniden kararsızlığındır. Bununla birlikte, üslü bir biçimde birbirinden farklı yörüngeler, yani determinist kaos, yörüngelerin olmadığı ancak dalga fonksiyonlarının olduğu kuantum mekaniğine yerleştirilemez. Buna karşılık, Poincaré rezonanslarına bağlı kararsızlık, klasik mekanikte olduğu gibi kuantum mekaniğinde de kesin anlamını sürdürür.

Yaklaşımımız, Poincaré rezonanslarını istatistiksel bir betimlemeyle birleştirmeye götürür. Bu durumda, dalga fonksiyonları terimleriyle açıklanan kuantum mekaniğine yabancı, dağınık terimler elde ederiz. Kuantum mekaniğinin temel nesnesi artık Ψ dalga fonksiyonu değil, klasik mekanikteki gibi ρ (kuantum mekaniğinde "yoğunluk matrisi" de denir) olasılığı olur. Şu halde, Poincaré rezonansları sayesinde, dinamik olmayan denetlenemez varsayımlara başvurmadan olasılık genliklerinden tam anlamıyla olasılıklara geçişi sağlarız. Klasik dinamikte olduğu gibi temel sorun: Bu dağınık terimler ne zaman gözlemlenebilir? Sorunudur. Geleneksel kuantum kuramının sınırları nelerdir? Yanıt, klasik mekanikte (III. kısım) gösterdiğimiz durumunkine benzer ve aynı şekilde, tahminlerimiz sayısal benzetimlerle, bu arada laboratuvar deneyleriyle doğrulanmıştır. Kısacası, dağınık terimler (termes diffusifs) *sürekli* etkileşimlerde baskın olurlar. Başka bir deyişle, Gell-Mann'inki gibi bir varsayımın karanlıkta bıraktığı şeyi kesin bir biçimde tanımlayabiliriz: dalga fonksiyonunun

ve içerdiği girişim terimlerinin korunması gereken durumları, indirgenemez biçimde olasılıkçı olan ve dalga fonksiyonu terimleriyle betimlenemeyecek durumlardan ayıran ölçütleri açıklayabiliriz. Böylece genişleyen klasik dinamik, karşılıklı olarak girişimleri ortadan kaldırmaya yol açar. Bu durumda, ölçüm sorunu çözümlenmiş olur, ve kuantum mekaniği gerçekçi açıklamasına kavuşur: Dinamik yasaları, dalga fonksiyonlarıyla değil de, olasılıkçı terimlerle yazıldığına göre, artık dalga fonksiyonu indirgenmesine gereksinim duymayız. Gözlemci özel rol oynamaz, ancak ölçüm aracı kesin bir ölçütü yanıtlamalıdır: bozulmuş zamansal bir simetri göstermelidir. Davies'in söz ettiği düşünce ve madde arasındaki "arayüzey" gizemini yitirir; diğer insanlarla iletişimimiz için olduğu gibi fizik dünyasıyla olan iletişimimiz için gerekli koşul, ortak bir zaman göstergesi, geçmiş ve gelecek arasındaki ortak bir ayrım tanımıdır.

Böylece kararsızlık, klasik mekanikte olduğu gibi kuantum mekaniğinde de temel bir rol oynar. Bizi formülasyonlarını ve önemini genişletmeye zorlar. Belki de, altmış yıldan fazla süren çok şiddetli tartışmaya karıştığına göre, kuantum kuramıyla birleştirilen bir formülasyon olasılığı daha şaşırtıcıdır, ancak klasik kuramın yayılma gereksinimi kuşkusuz en beklenmedik bir sonuçtur. Bu yayılmanın, yörünge kavramının doğduğu ortak bir anlam gerçekliğiyle karışan çok eski bir geleneği bozduğunun bilincindeyim. Elbette yörünge kavramı varlığını sürdürür, ancak olasılıkçı bir anlayış içinde yeni bir anlam kazanır. Yeni matematik tekniklerinin kararsız sistemlere uygulanmasının bu yapıtta betimlenen sonuçlara götürmesi bir rastlantı değildir, dünyamızın evrimsel niteliğinin, temel fizik betimlememize katılmasının koşuludur.

V

Bu bölümün sonuna yaklaşıyoruz. Bölüme, Epikuros ve Lucretius ile, yeniliklerin ortaya çıkmasının koşulu olan *clinamen* buluşuyla

başladık. Bundan böyle, iki bin beş yüz yıldan beri uydurma olan bu kavrama kesin bir anlam verebiliriz! Bir *clinamen* şekli, tutarlı bir betimleme için gerçekten gerekliydi. Dünyamızın kararlı dinamik sistem modeli üzerinde bulunması gerekseydi, bizi çevreleyen dünyayla ortak hiçbir şey olmayacaktı: bu statik ve tahminî bir dünya olacaktı, ancak kehanetler oluşturmak için biz orada olmayacaktık. Bizim olan dünyamızda, her düzeyde, sendelemeler, yön değiştirmeler ve kararsızlıklar keşfederiz. Kesinliklere giden kararlı sistemler, idealizasyon ve tahminlere dayanır. Vardığımız durum, bir kez daha Henri Poincaré tarafından önceden ele alınmıştır. Enerjinin korunumu yasasının anlamını tartıştığı bir metinde, termodinamiğin ikinci ilkesi olan entropinin büyüme yasasına uygulanabilen bir sonuca ulaşmıştır. Bu yasanın "yalnızca, bir anlamı olabileceğini, bunun da, tüm olasılıklara uygulanabilen ortak bir özellik olduğunu; ancak determinist varsayımda tek bir olasının söz konusu olduğunu ve böylece yasanın artık anlamı olmayacağını belirtir. Determinist olmayan varsayımda tam tersine, kesin bir anlam içinde görmek istesek bile, yasanın kesin bir anlamı vardır; özgürlüğe getirilmiş bir sınır gibi görünür. Ne var ki bu ifade, yolumdan saptığım ve matematik ve fizik alanından uzaklaştığım konusunda beni uyarır"[33].

Bugün, çağdaş kararsızlık ve kaos kuramının doğal bir sonucu olan "determinist olmayan varsayım"dan artık çekinmiyoruz. Zaman göstergesine temel fiziksel bir anlam kazandırır. Zaman göstergesi olmadan doğanın iki temel niteliği olan birliğini ve ayrılığını anlayamayız. Dünyanın her yerinde ortak olan zaman göstergesi bu birliğin kanıtıdır. Sizin geleceğiniz benim geleceğimdir, güneşin geleceği bambaşka bir yıldızın geleceğidir. Ayrılığına gelince, yazdığım şu parçayı göz önöne getirin: gazların karışımı olan hava, az ya da çok termik (ısıl) bir dengeye ulaşır ve karmaşık moleküllerden oluşmuş bir hâl içindedir; ancak, kararsız tersinmez süreçler sayesinde çok düzenli bir halde bulunan, eşimin düzenlediği dengeden uzak nesneler olan bu harika çiçekler de var. Zamanın yapıcı (konstrüktif) rolünü dikkate almayan fizik yasalarının hiçbir oluşumu, bizim doğayı anlama gereksinimimizi hiçbir zaman tatmin etmeyecektir.

[1]. Epicuros, *Doctrines et maximes*, çev. M. Solovine, Paris, Hermann, 1938, s.80.
[2]. Michel Serres'in Lucrèce konusunda yaptığı gibi, tümüyle başka bir düşüncenin bütünün tutarlılığını kurtarması pahasına olsa da.
[3]. Karl Popper, *The Open Society and its Enemies*, Princeton, Princeton University Press, 1963.
[4]. Jean Wahl, *Traité de métaphysique*, Paris, Payot, 1968.
[5]. G.F. Leibniz, *Nouveaux essais sur l'entendement humain*, Paris, Garnier Flammarion, 1966, s.39.
[6]. J. Needham, *La science chinoise et l'Occident, Le grand titrage*, Paris, Seuil, "Point" serisi, 1977.
[7]. Cité *in* K. Dutta ve A. Robinson, *Rabindranath Tagore*, Londres, Bloomsbury, 1955
[8]. Londres, Hutchinson, 1982, s. XVI.
[9]. *a.g.e.*, s.2.
[10]. H. Bergson, " Le possible et le réel", in *Oeuvres*, Paris, PUF, Editions du Centenaire, 1970, s.1333.
[11]. Bkz. Bilimlerin tersine dekonstrüktif davranışın bir eleştirisi, R. Bhaskar, *Philosophy and the Idea of Freedom*, Cambridge, Blackwell, 1991.
[12]. S. Weinberg, Scientific American, Ekim 1994, c.271, sayı:4, s.44.
[13]. R. Penrose, *The Emperor's New Mind*, Oxford, Oxford University Press, Vintage edition, 1990, s.4-5.
[14]. A.N. Whitehea d, *Procès et réalité*, Paris, Gallimard, 1995, s.45.
[15]. R. Clausius, *Ann. Phys.*, CXXV, 1865, s.353.
[16]. A. Eddington, *The Nature of the Physical World*, Ann Arbor, The University of Michigan Press, 1958.
[17]. M. Gell -Mann, *The Quark and the Jaguar*, Londres, Little Brown and Co, 1994, s.219-220.
[18]. J.-L Lagrange, *Théorie des fonctions analytiques*, Paris, Imprimerie de la République, 1796.
[19]. *Op. cit.*, s.6.
[20]. L. Rosenfeld, "Considérations non philosophiques sur la causalité", in *Les théories de la causalité*, Paris, PUF, 1971, s.137.
[21]. H. Poincaré, *La valeur de la science*, Paris, Flammarion, 1913, s.210.
[22]. B Mandelbrot, *The Fractal Geometry of Nature*, San Francisco, J. Wiley, 1982.
[23]. H. Poincaré, *Les méthodes nouvelles de la mécanique céleste*, Paris, Gauthier-Villars, 1893 (Dover, 1957).
[24]. Max Born, *The Classical Mechanics of Atom*, New York, Ungar, 1960, cité *in* M. Tabor, *Chaos and Integrability in Nonlinear Dynamics*, New York, John, Wiley, 1969, s.105.
[25]. Bkz. örneğin, M. Jammer'in tarihsel incelemesi, *The Philosophy of Quantum Mechanics*, New York, Wiley Interscience, 1974. A.I.M. Rae'nin mükemmel yapıtını

da öneririm: *Quantum Physics:Illusion or Reality?*, Cambridge, Cambridge University Press, 1986.

[26]. P. Davies, *The New Physics: A Synthesis*, Cambridge, Cambridge University Press, 1989, s.6.

[27]. Cité *in* K.V. Laurikainen, *Beyond the Atom. The Philosophical Thought of Wolfgang Pauli*, Berlin, Springer Verlag, 1988, s.193.

[28]. C. George, I. Pri gogine, L Rosenfeld, "The Macroscopic Level of Quantum Mechanics", *Mat.-fys. Medd. Dan. Vid. Selsk*, XXXVIII, 1972, s.1-44.

[29]. Bkz., örneğin, W G. Unruh ve W.H. Zurek, "Reduction of a Wave Packet in Quantum Brownian Motion", *Phys. Rev.*, XL, 1989, s.1070.

[30]. Cambridge, Cambridge University Press, 1989.

[31]. "Conceptual Foundations of Quantum Physics" in *The New Physics, op. cit.*

[32]. *Conceptual Foundations of Quantum Mechanics*, Benjamin, Californie, 1976.

[33] H.Poincaré, *La Science et l'hypothèse*, Paris, Flammarion, 1906, s.161.

2

Yalnızca Bir Yanılsama mı?

I

Bu kitapta gösterilen sonuçlar yavaş yavaş gelişmiştir. Dengede olmayan hâllerin termodinamiği konusunda ilk makalemi beş yıl önce yayınladım. Bu çalışmada, tersinmezliğin yapıcı rolünü daha önce belirttim[1]. Bildiğim kadarıyla, bu dengeden sapmaya bağlı bu oto-organizasyon sorununu ortaya koyan ilk yayındır. Bunca yıl sonra, zaman sorunun bana niçin bu kadar çekici geldiğini ve tersinmezlik ve dinamik arasında bir bağ kurmak için niye yıllarca beklemem gerektiğini kendime soruyorum. Bu yarım yüzyıl boyunca termodinamik ve istatistiksel mekaniğin tarihini dile getirmenin yeri burası değildir. Yalnızca gerekçemi açıklamaya ve bu konuda karşılaştığım güçlükler üzerinde durmaya çalıştım.

Bilimin, her zaman doğayla diyalog halinde olduğunu düşündüm. Her gerçek diyalogda olduğu gibi yanıtlar çoğunlukla beklenene uymaz. Bu zaman ve determinizm sorunlarının araştırılması boyunca benim ve meslektaşlarımın beklentilerimizi ve şaşkınlığımızı okuyucuyla paylaşmak istedim.

Yetişkinlik döneminde, arkeoloji, felsefe ve müzik bana çekici geliyordu. Annem metinleri okumayı bilmeden önce partisyonları okumayı öğrendiğimi anlatırdı. Üniversiteye başladığımda, zamanın çoğunu dersliklerden çok piyanonun başında geçirdim! Beni ilgilendiren konular her zaman, zamanın temel bir işlev üstlendiği, uygarlıkların doğuşu, insan özgürlüğüne bağlı etik sorunlar ya da müzikteki seslerin zamansal düzenlenişi gibi konulardı. Ne var ki savaş tehlikesi ağır basıyordu ve "kesin" bilimlerdeki bir kariyere doğru yönelmek bana daha mantıklı gibi gözüküyordu. Böylece, Brüksel'den uzak bir üniversitede fizik ve kimya öğrenimime başladım.

Bunca yıl sonra, tepkilerimi kesin olarak anımsayamıyorum, ancak bana öyle geliyor ki, şaşkınlık ve yoksunluk hissettim. Fizikte, zaman basit bir geometrik parametre olarak kabul edilmiştir. Einstein ve Minkowski'den 100 yıl önce, 1976 yılında Lagrange, dinamiği "dört boyutlu geometri"[2] olarak adlandırmıştır. Einstein, tersinmezliğe bağlı zamanın, bir yanılsama olduğunu ileri sürmüştür. Birincil ilgi alanlarım bunlar olmasından, bu kabul edemeyeceğim bir sonuçtu ve bugün bile uzaysallaştırılmış bir zaman geleneği canlılığını her zaman korumuştur. Örneğin Stephen Hawking'in ünlü yapıtını ele alalım[3]: zaman ve mekan arasındaki her ayrımı ortadan kaldırmak amacıyla, Hawking, bir "sanal zaman" kavramı getirir! Oraya VIII. bölümde tekrar döneceğiz.

Zamanın uzaysallaştırılmasını, gözlemlediğimiz evrimsel dünyayla olduğu kadar deneyimlerimizle de uyuşmadığını algılayan ilk kişi ben değilim. Ayrıca bu, kendisi için "zamanın bir buluş ya da hiçbir şey olmadığını" belirten filozof Henri Bergson'un başlangıç noktası olmuştur[4]. 1930 yılında Nobel ödülü dolayısıyla yazılmış oldukça gecikmiş bir yapıt olan "olası ve gerçek" makalesini daha önce söyle-

dim. Bergson, burada zamandan "insan özgürlüğü deneyimimizin ve şeylerin belirsizliğinin" bir kanıtı olan *"öngörülmeyen yeniliğin somut yükselişi"* olarak söz eder[5]. Sonuç olarak, olabilirlik, gerçekten "daha zengin"dir. Bizi çevreleyen dünya, olabileceği herhangi bir başlangıç hâlinden yola çıkarak oluşturulmuş bir olgudan itibaren değil, ancak olabilirlik içinde algılanmalıdır. I. Bölümün sonunda, olabilirlik sorununun Henri Poincaré'nin de kafasını kurcaladığını gördük. Bu sorun, A.N.Whitehead'in felsefik yapıtının ve başyapıtı *Süreç ve gerçeklik*'i harekete geçiren konusu olmuştur[6]. Whitehead'e göre, olabilirlik, tüm usçul kozmoloji için temel bir kategori olmalıdır, yoksa, hiçbir şey, insan deneyimi ve edilgen dünya arasında bocalayan "doğanın ikiye ayrılması"nı önleyemez. Klasik bilimin getirdiği dünya görüşü ona göre, somut nitelikli sahte bir işlevden bir soyutlamaya giden yanlış bir örnekti. Hareket hâlindeki cisimlerin incelenmesinden doğan fizik-matematiksel bir soyutlamadan yola çıkarak doğayı tanıtmak, "yaratıcılık" kavramına bir anlam yüklenmesini engeller. Whitehead'e göre, yaratıcılık, tam tersine, her yeniliğin en son ilkesi olan kozmolojik bir kategoridir. Bu sıralamaya, M. Heidegger ve daha birçoklarını örnek göstererek devam edebilirim. Büyük fizikçi, A.S. Eddington'un da belirttiği gibi, "spritüel ve fizik alanlarıyla ilgili deneyim alanları arasında bir köprü kurmak için yapılan her girişimde, zaman çok önemli bir yer tutar"[7]. Bununla birlikte, açık görüşlerin bir karşılaşma noktası olan bu köprü sorunun ortaya çıktığı bir görünüm olmak yerine, Yunanlı düşünürlerden bugüne dek, zaman, polemik ve rekabetlerin konusu olmuştur. Filozofların çoğu için bu sorunun çözümü yalnızca metafiziği ilgilendirip fizikten uzaklaşırken, bilim açısından, zaman sorunu Newton ve Einstein ile çözümlenmiştir.

Benim görüşüm farklıydı. Fiziğin zamanla ilgili her doğruluğunu reddetmek bana çok yüksek bir ücret ödemek gibi geliyordu. Böyle olmakla birlikte, bilim, insan ve doğa arasındaki verimli bir diyaloğun tek örneğidir. Çünkü klasik bilimin, zamanı geometrik bir parametreye indirgeyebildiği basit problemlerin incelenmesiyle yetinmesi de bunu göstermiyor mu? Sürtünümden yoksun bir sarkacı ele alırsak bu zaman kavramını genişletmek gerekmez. Ancak, bilim karmaşık

(kompleks) sistemlerle karşılaştığında, zaman anlayışını değiştirmek zorunda kalmayacak mı? Aklıma sık sık mimarlıkla ilgili bir örnek gelir: İ.Ö. V. yüzyıldan kalan bir İran tuğlasıyla, 19. yüzyıl yeni gotik bir tuğla arasında çok ayrım yoktur, ama, bu tuğlalarla yapılmış, Persepolis sarayları ve Berlin'in Gedächtnißkirche*'ü gibi, büyük yapılar arasındaki fark nedir? Zaman, bir başlangıç özelliği değil midir? Ancak, o zaman köklerini ortaya çıkarmak gerekir. Zamansal simetrik yasalarla yönetilen bir dünyadan asla zaman göstergesi doğmayacaktır. Edindiğim kanıya göre, makroskopik tersinmezlik, mikroskopik düzeyin sonu belli olmayan bir niteliğinin ifadesidir. Ancak, bu şüpheli niteliğin kaynağı neydi? Kararsızlığın, mikroskopik düzeyde bile, klasik ve kuantum temel yasalarının yeni bir oluşumunu gerekli kıldığı önceki bölümde özetlenen sonuçlardan hâlâ çok uzaktaydım. Öyle de olsa, "fizikte tersinmezlik vektörü olarak zamanın işlevi nedir?" sorusu benim için ilk soruydu.

II

Bu anlayış içinde, Brüksel'de Théophile de Donder tarafından kurulmuş (1870-1957) ve etkinliğini sürdüren termodinamik okulu olduğundan, termodinamiğe yönelmiş olmam çok doğaldı.

Clasius'a bağlı ikinci klasik ilkenin oluşturulmasından daha önceki bölümde söz ettim. Bu bir eşitsizliğe dayanır: *izole edilmiş* (isolé) bir sistemin entropisi zaman boyunca tekdüze bir şekilde termodinamik dengeye bağlı olarak en yüksek değerine ulaşıncaya dek artar. O halde zaman süresince oluşan entropi değişkenliği, $dS>0$ (S entropidir) olarak ifade edilir. Sistemlerin izole edilmediği, ancak kendilerini çevreleyen dünyayla enerji ve madde değiş tokuşu içinde olduklarında bu önerme nasıl genişletilir? Şu halde, d_iS entropisi değişiminde iki

* Gedächtnißkirche: Berlin'in merkezinde bulunan kilisenin adıdır.

terim belirlemeliyiz: birincisi, d_eS, sistemin sınırları içinde entropi aktarımını betimleyen değiş tokuşun tipine göre bu terim pozitif ya da negatiftir; ikincisi d_iS, sistemin içinde oluşturulan entropidir. Öyleyse $dS = d_eS - d_iS$ olarak yazabiliriz. Termodinamiğin ikinci ilkesi, sınırlardaki koşullar ne olursa olsun, d_iS entropi oluşumu pozitiftir (ya da denge hâlinde sıfırdır). Tersinmez süreçler bir miktar entropi oluştururlar. De Donder daha da ileri gider: entropi oluşumunu bir zaman birimiyle $P = d_iS / dt$, sistemin içinde farklı tersinmez süreçlerin (kimyasal tepkimeler, difüzyon vb.) hız ve kuvvetlerine bağlı olarak açıklar. Oysa, yalnızca kimyasal tepkimeleri göz önüne alması[8], genelleştirmenin kolay olmasındandır[9].

Bununla birlikte, De Donder'ın kendisi de bu yönde hiçbir zaman çok ileri gitmemiştir. Denge ve denge çevresiyle yetinmiştir. Buna rağmen, çalışması, uzun süre devamı gelmeyen bir çalışma olarak kalmış olsa bile dengesiz bir termodinamiğin oluşturulmasında çok önemli bir adım olmuştur. Bu çalışmanın yol açtığı hoşnutsuzluğu hâlâ anımsarım. Bilim adamlarının büyük bir çoğunluğu için, termodinamik tam olarak dengeyle sınırlı kalmalıydı. Bu, W. Gibbs'in olduğu kadar, çağın en ünlü fizikçilerinden G. N. Lewis'in de düşüncesiydi. Onlara göre, tek yönlü bir zamana bağlı tersinmezlik, aykırı bir düşünceydi. Lewis: "Hemen hemen her yerde, fizikçinin biliminden, fiziğin idealine yabancı tek yönlü bir zaman kullanımını, elediğini göreceğiz"[10] diye de belirtmiştir.

Bu hoşnutsuzluğu deneme olanağını çok çabuk buldum. 1946 yılında IUPAP *(Uluslararası Soyut ve Uygulamalı Fizik Birliği)**'ın desteğiyle, birinci *İstatistiksel Mekanikler ve Termodinamikler*** toplantısını düzenledim.

---

* International Union for Pure and Applied Physics (IUPAP),

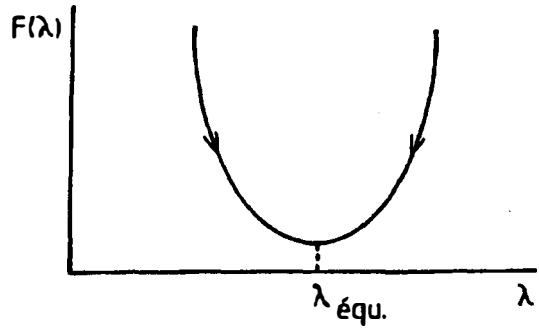
** Statistical Mechanics and Thermodynamics

Aşağı yukarı kırk ya da elli kişilik küçük bir grupken bu toplantılar düzenli bir şekilde birbirini izledi ve bugün çok sayıda katılımcıyla devam etmektedir. Burada tersinmez termodinamik konusunda bir rapor sundum. Konuşmamdan sonra, konusunda en büyük uzman şu yorumu yaptı: "Bu genç adamın dengesiz fizikle bu kadar ilgilenmesine çok şaşırdım. Tersinmez süreçler geçicidir. O halde herkes gibi niçin dengeyi gözleyip incelemiyor?" O kadar şaşırmıştım ki kendisine cevap veremedim: "Ama, bizler de geçici varlıklar değil miyiz? İnsanın ortak koşuluyla ilgilenmemiz doğal değil mi?"

Tek yönlü zamanın fizikçilerde yarattığı hoşnutsuzluğu tüm yaşamım boyunca hissettim. Daha önceki bölümde, ikinci ilkenin önemsiz kılınmaya çalışıldığından söz ettim. Bu ünlü fizikçilerin büyük bir kısmının ilkesini oluşturur. Beni her zaman şaşırtan bir davranıştır. Etrafımızdaki her yerde, yapıların ortaya çıkışını, Whitehead'in terimini kullanmak için doğanın yaratıcılığının kanıtını görüyoruz. Şu ya da bu yolla, bu yaratıcılığın tersinmez süreçlere bağlı olduğuna inanmıştım. Bir kristalle bir kenti karşılaştırın. Birincisi bir denge yapısıdır, onu boşlukta koruyabilirsiniz. İkincisi de iyi belirlenmiş bir yapıdır, ancak bu, işlevine bağlıdır. Dini bir merkez ve ticari bir merkez ne aynı işlevdedir ne de aynı yapıdadır. Burada yapı, çevreyle etkileşim biçiminden doğar. Bir kenti izole edersek, kent ölecektir. Yapı ve işlev birbirinden ayrılamaz.

Aynı zamanda Erwin Schrödinger'in ünlü kitabı *What is Life (Yaşam Nedir?)* tan da etkilendim[11]. Schrödinger, burada entropi oluşumu ve entropi akısı terimleriyle canlı organizma metabolizmasını tartışır. Bir organizma durağan bir hâldeyken, entropisi sabit kalır. O halde d_iS entropi oluşumu, entropi akısıyla karşılanmalıdır. O zaman: $dS = 0 = d_eS + d_iS$ ya da $d_eS = - d_iS < 0$ şeklinde yazabiliriz. Schrödinger yaşamın, "negatif entropik akı"yla beslendiği sonucuna varır, ancak benim için en önemli olan, yaşamın entropi oluşumuna ve dolayısıyla tersinmez süreçlere bağlı bulunduğunun da söylenebilmesidir.

Canlı organizmanın ya da bir kentin yapısında olduğu gibi bir yapı, dengesiz koşullarda nasıl ortaya çıkabilir?

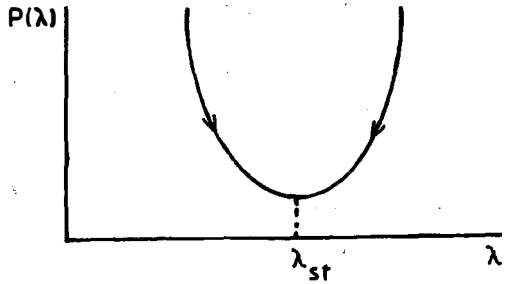


Şekil II-1

Sistemin bir ayraçının özetlenmesi olabilen bir λ parametresinin fonksiyonu olarak serbest enerji. En düşük serbest enerji denge hâlini tanımlar.

Burada da dinamikte olduğu gibi, *kararlılık* sorunu çok önemlidir. Sistem izole edildiği zaman termodinamik dengede, entropi en yüksek değerine ulaşır. Belirli bir T sıcaklığında tutulan bir sistem için benzer bir önerme elde ederiz: "serbest enerji" $F = E - TS$ (E enerjidir, S entropidir) dengede en düşük değerine ulaşır. Her iki durumda da, entropi ya da serbest enerjinin uç değeri, karışıklıklar ya da dalgalanmaların hiçbir geçerliliği olmadığını doğrular, çünkü dengeye doğru bir dönüş yaparlar. Durum kararlı sarkacın durumunu anımsatır (şekil I-2).

Dengesiz durağan bir hâl için ne olup bitiyor? Buna bir örnek verdik: Termik difüzyon (ısı yayılımı) (I. Bölüm, II. kısım). Termodifüzyonun durağan hâli tam denge hâlindeki gibi kararlı mıdır? Dengeye yakın durumlar içinde (*lineer* dengede olmayan termodinamik olarak adlandırılan alan) yanıt olumludur, çünkü 1945 yılında, gösterdiğim gibi, durağan hâl o zaman, en düşük entropi oluşumuna $P = d_iS / dt$ dayanır[12].



Şekil II-2

Zaman biriminde oluşan entropi $P = d_i S / dt$ bağıntısı reaktif bir sistemin konsantrasyonu olan bir λ parametresinin fonksiyonudur.

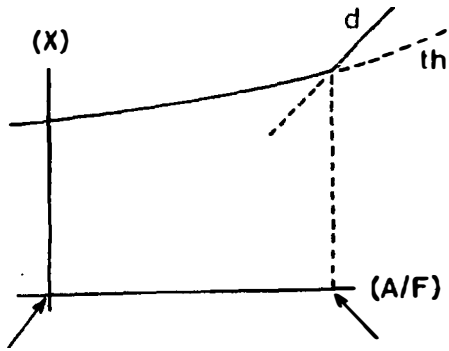
Entropi oluşumu denge hâlinde sıfırdır ve lineer düzende en düşük değer alır. Bu özellik yeniden, dalgalanmaların azalmasını sağlar. Bununla birlikte, termik difüzyon örneğinin de gösterdiği gibi, dikkat çekici yeni bir özellik ortaya çıkar: dengesiz durağan hâle doğru kendiliğinden değişen bir sistem, birbirine uyan denge hâlinden daha çok karmaşık bir hâl olabilir. Termik difüzyon örneğinde, bu en büyük karmaşıklık, bileşenlerin kısmî bir ayrılığına, adeta, bir seçimine dayanır. Termik difüzyon örneği gibi, dengede gerçekleşemeyecek bir düzen oluşumunu tersinmez süreçlere bağlayan çok başka örnekler bulunmaktadır. Bu, araştırmalarımın yönlendirici çizgisini belirleyen başlangıç noktası olmuştur.

Bununla birlikte, denge yakınında kurulan bu sonuçlardan dengede olmayan durumlara nasıl geçilir? Meslektaşım Paul Glansdorff ile birlikte yıllarca bu sorun üzerinde çalıştık[13]: Çok şaşırtıcı bir sonuca vardık: Dengede ya da dengeye yakın sistemlerin tersine, dengeden uzak sistemler, serbest enerji ya da entropi oluşumu gibi bir fonksiyonun uçdeğerine ulaşmazlar. Sonuç olarak, dalgalanımların sönümlenmesi artık kesin değildir. Yalnızca, "genel evrim ölçütü" adını verdi-

ğimiz *yeterli* kararlılık koşullarını oluşturmak olanaklıdır. Bu ölçüt, sistemin merkezi olduğu tersinmez süreçler mekanizmasını tehlikeye sokar. Oysa ki, dengede ya da dengeye yakın, doğa yasaları *evrensel-dir*, dengeden uzak olduklarında spesifikleşir, tersinmez süreçlerin biçimine bağlı olurlar. Bu gözlem, etrafımızda gözlemlediğimiz madde-nin davranışlarının değişikliğine benzer. Dengeden uzak madde, dalgalanmaların, kararsızlıkların başlıca bir rol oynadığı yeni özellikler kazanır: madde daha *etkin* duruma gelir.

Bugün bu konuda çok geniş bir kaynakça bulunmaktadır[14]. Burada basit bir örnekle yetineceğim. {A}'nın başlangıçtaki ürünlerin bir kümesi, {X}'in ara ürünlerin bir kümesi, ve {F}'nin son ürünlerin bir kümesi olduğu {A}⇔ {X}⇔{F} biçiminde kimyasal bir tepkime varsayalım. Dengede, {A}'dan {X}'e doğru, {X}'den {A}'ya olduğu kadar geçiş elde edilir. Aynı şey, {X} ve {F}için de geçerlidir. Bu "kapsamlı bilanço" olarak adlandırılır. Başlangıç ve son ürünler arasındaki ilişki {A}/{F}, o halde en yüksek entropiye dayanan kesin bir değer alır. Şimdi açık bir sistem olan kimyasal bir reaktörü göz önüne alalım. Madde akılarının tam bir kontrolü sayesinde {A} ve {F}'nin değerlerini saptayabiliriz. {A}/{F} ilişkisini denge değerinden yavaş yavaş uzaklaştırırsak, denge sistemini de uzaklaştırmış oluruz. Bu durumda {X} ara ürünlere ne olur?

Kimyasal tepkimeler genellikle lineer değildir. Öyleyse belirli her {A} ve {F} değerine göre, {X} ara ürünlerin konsantrasyonu için çok olanaklı çözümler vardır. Bu çözümler arasında bir tanesi, termodinamik denge hâline ve en yüksek entopiye dayanır.



denge ayrılma noktası

Şekil II-3

Belirli bir {*A/F*} değeriyle tanımlanan bir i kiye ayrılma noktasında, kendisine dayanan X ara ürünü konsantrasyonundan başlayarak belirlenen *(th)* termodinamik dalı, yeni bir çözüm (*d* dalı) kararlı olurken kararsız duruma gelir.

Bu çözüm, belki de dengesiz alan içinde sürdürülebilir: Ancak, termodinamik dalına ait durağan hâllerin genellikle, dengeye kritik bir uzaklıktan itibaren kararsız duruma gelmesi beklenmedik bir sonuçtur. Birinci ikiye ayrılma noktasının ötesinde, yeni bir olaylar kümesi meydana gelir; kimyasal salınımlı tepkimeler, dengesiz uzaysal yapılar, kimyasal dalgalar elde edebiliriz. Bu yeni uzay-zamansal organizasyonları "dağıtıcı yapılar" (structures dissipatives) olarak adlandırdık. En düşük bir entropi üretim denge çevresine bağlı termodinamik dalının tersine, dağıtıcı yapılar genel olarak entropi üretimini arttırırlar.

Termodinamik, kimyada dağıtıcı yapıların ortaya çıkması için gerekli koşulların oluşturulmasını sağlar. Bunlar iki çeşittir. Dengeden

uzak koşullar içinde meydana gelen dağıtıcı yapılar için, her zaman var olan kritik bir uzaklığın berisinde termodinamik dalı kararlıdır. Dağıtıcı yapılar katalitik basamakların varoluşunu içerirler. Bu, kimyasal tepkimeler zincirinde, başka bir basamakta X, Y den itibaren elde edilirken, bir X ara ürününden itibaren elde edilen bir Y ara ürün basamağının olmasını ifade eder.

Saptadığımız bu koşullar tüm canlı organizmalar için uygundur. Genetik materyelde kodlanmış enzimler, inorganik dünyada eşdeğeri olmayan bir zenginlik ve çok sayıda katalitik tepkimeler sağlar. Ve, bunlar olmadan, genetik materyalin hiçbir önemi yoktur.

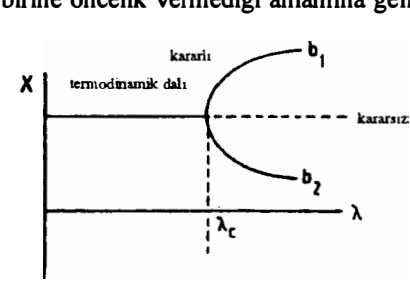
Çok şanslıydık. Dengeden uzak kimyasal kinetikte birden beliren birçok olasılık öngören kuramsal sonucumuzdan kısa bir süre sonra, varılan deneysel sonuçlar onları doğrulamıştır. Özellikle, dengeden uzak sıvı fazda ortaya çıkan şaşırtıcı bir kimyasal salınım örneği oluşturan Belousov-Zhabotinski tepkimesini düşünüyorum. Burada bu tepkimeyi betimlemeyeceğim. Yalnızca, bu tepkisel çözeltinin önce mavi, sonra kırmızı, sonra yine mavi olduğunu görmenin bizde uyandırdığı hayranlığı anımsatmak istiyorum... Bugün azımsanmayacak kadar salınımlı tepkimeler de bilinmektedir[15], ancak, Belousov-Zhabotinski tepkimesinin tarihi bir önemi vardır. Dengeden uzak maddenin yeni ve çok sayıda özellik kazandığını kanıtlar. Milyarlarca molekül aynı zamanda değişirler ve bu uyum, çözeltinin renginin değişmesiyle belli olur. Bu, uzun süreli bağıntıların, dengesiz koşullarda ortaya çıktığı, denge hâlinde bu bağıntıların varolmadığı anlamına gelir. Metaforik bir biçim için, dengeden uzaktayken *görmeye* başlayan bir maddenin, dengede *kör* olduğu söylenebilir. Ve bu yeni özellik, maddenin kendisine ve çevresine olan bu yeni duyarlılık, tersinmez süreçlerle birleşen dağılmaya bağlıdır.

Dengeden uzak kimyadaki ilerlemeler şaşılacak boyuttadır. Dengesiz uzaysal yapılar bu son yıllarda gözlemlenmiştir[16]. Bu yapılar, büyük matematikçi Alan Turing tarafından morfojenez bağlamında daha önceden bildirilmiştir[17]. Denge sisteminden daha çok uzaklaştığımızda kaosa bağlı yeni çatallanmaların (bifurcations) meydana

gelebileceğini de biliyoruz. Dinamik sistemlerin determinist kaos durumunda olduğu gibi (I. bölüm, III. kısım), sistemin davranışı o zaman başlangıç koşullarına duyarlı, sabit olmayan bir duruma gelir.

Kısacası, dengeye olan uzaklık, sıcaklığın dengedeki sistemler için olduğu gibi, maddenin davranışını betimlemek için temel bir parametredir. Sıcaklığı düşürdüğümüz zaman, maddenin farklı fiziksel hâllerini gösteren faz geçişlerinin art arda gelişini gözlemleriz. Aynı şekilde, dengesiz sistemde, gaz, sıvı ve katı fiziksel hâllerinden çok daha fazla çeşitliliği olan maddenin etkinlik düzeni serisini gözlemleyebiliriz. Burada biz kimyayla yetindik, ancak dengesiz dağıtıcı yapılar başka birçok alanda, örneğin, hidrodinamikte, optikte ya da sıvı kristallerde ele alınmıştır.

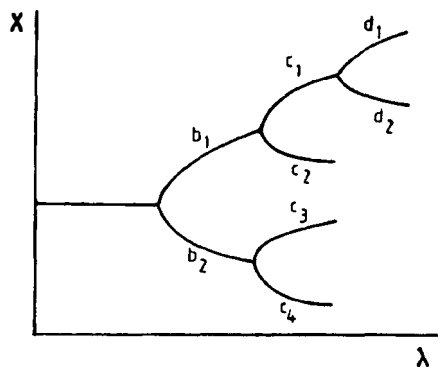
Dalgalanmaların etkisini daha yakından inceleyelim. Bu önemli bir noktadır, çünkü görmüş olduğumuz gibi, dengeden uzaktakiler temel bir rol oynarken denge yakınındaki dalgalanmalar sonuçsuzdur. İkiye ayrılma noktalarında dalgalanmalar çok önemlidir. Bizi, denge termodinamiğine uygulanan determinist betimlemeyi terketmeye zorlar. Sistem âdeta, dengeden uzak olası işleyiş düzenlerinden birini seçer. "Seçim" terimi, makroskopik betimleme içinde hiçbir şeyin, bu çözümlerden birine öncelik vermediği anlamına gelir.



Şekil II-4

Çatal şeklinde ikiye ayrılma: X ara ürünün konsantrasyonu, dengeye uzaklığı ölçen λ parametresine bağlı gösterilir. λ_c İkiye ayrılma noktasında, termodinamik dalı kararsız duruma geçer ve bir çift yeni çözüm ortaya çıkar.

Böylece, indirgenemez olasılıkçı bir öğe katılır. Şekil II-4'de λ, dengeye uzaklığı ölçen parametredir (denge durumunda $\lambda = 0$ dır). Termodinamik dalı, $\lambda = 0$ dan $\lambda = \lambda_c$ kadar kararlıdır. λ_c nin ötesinde, kararsız duruma gelir ve bir çift yeni kararlı çözüm ortaya çıkar. Bunlar, hangisinin seçileceğini belirleyen dalgalanmalardır. Her dalgalanmayı yok edersek, sistem kararsız termodinamik dalı üzerinde yer alır. Kararsız bölgeye girmek amacıyla dalgalanmaları azaltmak için zaten deneyler yapılmıştır, ancak er geç, iç ya da dış başlangıç dalgalanmaları meydana gelir ve sistemi ya b_1 dalına ya da b_2 dalına doğru götürürler.



Şekil II-5

Dengesiz bir sistemde art arda oluşan çatallanmalar.

İkiye ayrılmalar bir simetri bozulması kaynağıdır. Gerçekten, λ_c nin ötesindeki denklem çözümlemelerinin, genellikle, termodinamik dalının çözümlemelerinden daha zayıf bir simetrisi vardır: zamanın (kimyasal salınımlarda olduğu gibi), ya da uzayın (dengesiz Turing yapılarındaki gibi), ya da aynı anda zaman ve uzayın benzeşikliği

(kimyasal dalgalarda olduğu gibi), bozulmuştur. Aynı şekilde, dağıtıcı yapılar içsel olarak çevrelerinden farklıdır.

Şekil II-5'te şematik biçimde gösterildiği gibi, genel olarak art arda oluşan bir ikiye ayrılma vardır. Bu şema, determinist kuşakları (çatallanmalar arasında) ve olasılıkçı davranış noktalarını (çatallanma noktaları) birlikte bulundurur. Zaman boyunca dengeden yavaş yavaş uzaklaşan bir sistem tasarlayalım. Evrimi tarihsel bir unsur olacaktır. Örneğin, sistemi d_2 hâli içinde gözlemliyor olmamız, b_1 ve c_1 hâllerinden geçtiği anlamına gelir.

Dağıtıcı yapılar konusunda, "oto-organizasyon"dan söz edebiliriz. Sistemin merkezi olan başlangıç hâlini sınırlardaki süreç ve koşulları bilsek bile, sistemin bu etkinlik düzeninden hangisini seçeceğini önceden kestiremeyiz. Bu açıklamanın önemi ilgimi çekti. İkiye ayrılmalar, fizik ya da kimyadan başka, diğer alanlardaki yenilik ve çeşitlenmeleri anlamamıza yardımcı olabilir mi?[18] Bu kavramları biyoloji, sosyoloji ya da ekonomiye bağlı sorunlar üzerine uygulama girişimine nasıl karşı koyulur? Bu doğrultuda biraz ilerleme kaydettik ve bugün dünyada çok sayıda araştırma ekibi bu yolu izlemiştir. Yalnızca Avrupa'da, son on yılda lineer olmayan süreçlerin incelenmesinde uzmanlaşmış elliden fazla disiplinlerarası merkez kurulmuştur.

Sigmund Freud, bilim tarihinin git gide artan bir bozulmanın tarihi olduğunu belirtmiştir. Kopernik, dünyanın evrenin merkezinde olmadığını göstermiştir. Darwin, diğerleri arasında bizim de hayvanlardan olduğumuzu ortaya koymuştur. Ve Freud'ün kendisi, ruhsal yaşamımızın yalnızca kısmen bilinçli olduğunu söylemiştir. Böylece bilim, art arda oluşan özseverlikle ilgili yaralanmaların kaynağı olacaktır. Ben, denge hâlinde olmayan fiziğin bu bakış açısını tersine çevirdiğini düşünüyorum. Yaratıcı ve yenilikçi insan etkinliği, doğaya yabancı değildir. Bu, fiziksel dünyada önceden var olan özelliklerin genişletilmesi ve pekiştirilmesi olarak görülebilir ve dengeden uzak süreçlerin keşfi bize şifreleri çözmeyi öğretir.

III

Birkaç genel noktayla bu bölümü bitirelim. Sunmuş olduğumuz sonuçlar, tersinmezliği değersizleştirip, onu karışıklığa doğru olan basit bir evrime indirgeme girişimlerinin kaçınılmaz olarak başarısızlığa uğradığını göstermiştir. Zaman göstergesi, fizik-kimyada olduğu gibi biyolojide de yapıların biçimlenmesinde temel bir rol oynarlar. Ancak, daha işin başındayız. Kimyada oluşturabileceğimiz en karmaşık yapılarla, hatta dengesiz durumlarda ve biyolojide rastladığımız yapıların karmaşıklığı arasında hâlâ çok büyük bir mesafe vardır. Bu açıklama gelecekteki araştırmalarımızı da yönlendirmelidir. Avrupa Birliği'ne yeni verilen bir raporda, C. K. Biebracher, G. Nicolis ve P. Schuster şöyle yazmıştır: "Doğadaki düzenin devamı, merkezi bir yönetim tarafından gerçekleştirilmemiştir –ve gerçekleştirilemez-, düzen ancak bir oto-organizasyonla sürdürülebilir. Oto-organizatör sistemler çevresel durumlara uyum göstermeyi sağlarlar; örneğin, çevre değişikliklere, dış düzensizliklere oranla, kendilerini olağanüstü esnek ve güçlü kılan termodinamik bir tepki sayesinde davranış gösterirler. Karmaşıklığı özenli bir şekilde engelleyen ve teknik süreçlerin çoğunu merkezi bir biçimde yöneten alışılagelen insan teknolojisine oranla oto-organizatör sistemlerin üstünlüğünü vurgulmak isteriz. Örneğin sentetik kimyada, farklı tepkisel aşamalar genellikle özenli bir şekilde birbirlerinden ayrılırlar ve ayıraçların (reaktif) diffüzyonuna bağlı katkılar birbirine karışmayla önlenir. Teknolojik süreçler konusunda oto-organizatör sistemlerin fikir ve kurallarının büyük potansiyelinden yararlanmak için tamamiyle yeni bir teknoloji geliştirilmelidir. Oto-organizatör sistemlerin üstünlüğü, karmaşık ürünlerin bir kesinlik, bir etkililik ve eşsiz bir hızla oluşturulduğu biyolojik sistemler tarafından açıklanmıştır[19]!"

Dengesiz termodinamiğin sonuçları ve Bergson ya da Whitehead'in felsefeleri arasındaki benzerliğe dikkat çekmek isterim. "Olası" "gerçek"ten daha zengindir. Doğa bize gerçekten, yaratmanın, öngörülemez yeniliğin görüntüsünü sunar. Evrenimiz art arda oluşan çatallanmalar yaşamıştır; diğerlerini de yaşayabilir. Belki de aynı şeyi her birimizin yaşamı için de söyleyebiliriz.

Ancak, dengesiz fizik, izlediğim yolun yalnızca bir aşamasıdır. Sunmuş olduğum sonuçlar, beni daha temel bir sorunun peşinden gitmeye cesaretlendirmiştir: "Mikroskopik düzeyde zamanın kökenleri nelerdir?" Bu bölümde dalgalanmaların rolünü anımsattık. Ama bu dalgalanmalar nasıl anlaşılır? Doğa yasalarının geleneksel oluşumuna bağlı determinist ve tersinir betimlemeyle rolleri nasıl uzlaştırılır? Burada, dengedeki dağılımcı ve dengeden uzak süreçler arasındaki ayırım, belirginliğini yitirir: dağılımcı süreçlerin kavramı da işin içine girer. Bu durumda, önceki bölümde ifade edilen bu kitabın başlıca konusuna tekrar dönüyoruz: olasılıkların ve tersinmezliklerin orada yer almasını sağlayan doğa yasalarının yayınımı. Bu da çok uzun bir yoldur ve beklenmedik sonuçlar doğurur. Belki de başlıca güçlük, psikolojik düzenden ileri gelmektedir: insan zihninin bu eşsiz yapıları olan klasik mekanik ve kuantum mekaniğini yeniden tartışma konusu yapmaya nasıl cesaret edilir? Her defasında bir mantık ya da matematik hatası olabileceğinden nasıl kuşku duyulmaz? Bu kuşkuların günlerce uykularımı kaçırdığını itiraf etmeliyim. Birkaç meslektaşımın desteği ile hırslı ve özverili genç araştırmacıların yardımı olmadan, kuşkusuz devam edemezdim. İşte biz burada, bu kitapta ele alınan problemlerle karşı karşıyayız..

---

[1]. I. Prigogine, *Bull. Acad. Roy. Belg.*, X.XXI, 1945, s.600. Ayrıca bkz., *Étude thermodynamique des phénomènes irréversibles*, Liège, Desoer, 1947.
[2]. J. -L. Lagrange, *op.cit.*, I. bölüm, 19. not.
[3]. S. Hawking, *Une brève histoire du temps, op. cit.*
[4]. H. Bergson, *L'Évolution créatrice*, in *Œuvres*, op. cit., s.784.
[5]. H. Bergson, "Le possible et le réel", *L'Évolution créatrice*, I.bölüm, s. 1344.
[6]. *Op. cit.*, I. Bölüm.
[7]. A. Eddington, *The Nature of the Physical World*, op. cit., I. bölüm
[8]. Th. De Donder et P. Van Rysselberghe, *L'Affinité*, Paris, Gauthier-Villars, 1936.
[9]. I. Prigogine, *Étude thermodynamique des phénomènes irréversibles, op. cit.*
[10]. G.N. Lewis, Science, LXXI, 1930, s.570.

[11]. E. Schrödinger, *What is Life?* , Cambridge, Cambridge University Press, 1945.
[12]. *Bull. Acad. Roy. Belg., op. cit.* Bu teoremin kanıtı Onsager'in ünlü karşılıklılık ilişkilerini içerir (L. Onsager, *Phys. Rev.*, .XXXVII, 1931, s. 405; XXXVII, 1931, s.2265) .
[13]. P . Glansdorff ve I. Prigogine, *Structure, stabilité et fluctuations*, Paris, Masson, 1971.
[14]. Bkz. G. Nicolis ve I. Prigogine, *Self-Organization in Non equilibrium Systems*, New york, Wiley, 1977 ve *Exploring Complexity*, New York, W. H. Freeman and Co, 1989; fransızca çevirisi, *À la rencontre du complexe*, Paris, PUF, 1992.
[15]. G. Dewel, C. Vidal, P. Borckmans, *Loin de l'équilibre*, Paris, Hermann, 1994.
[16]. Bkz. Dewel *ve öte., op. cit..*
[17]. A. Turing, Phil. Trans. Roy. Soc. London, Ser. B, c. , 1952. s.37.
[18]. Bkz. G. Nicolis ve I. Prigogine, *Exploring Complexity, op. cit.*
[19].C.K. Biebracher, G. Nicolis ve P. Schuster, *Self-Organization in the Physico-Chemical and Life Sciences*, Report *EUR* 16546, European Commission, 1995.

3

Olasılıklardan Tersinmezliğe

I

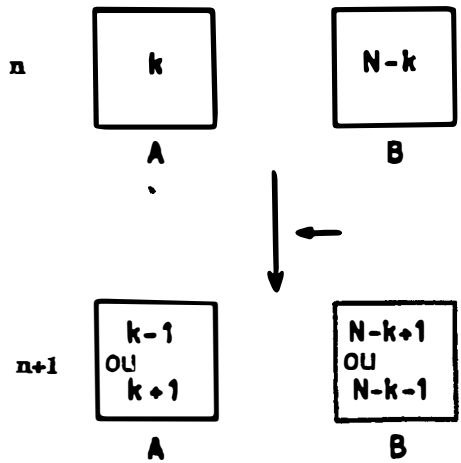
Tersinmez süreçlerin doğanın temel özelliklerini betimlediğini az önce gördük. Bu, dengesiz dağıtıcı yapıların (structures dissipatives) oluşumunu anlamamızı sağlar. Bu süreçlerin, klasik ya da kuantum mekaniğinin tersinir yasalarıyla düzenlenen bir dünyada olması imkansız olacaktır. Dağıtıcı yapılar, bir zaman göstergesinin kullanımını gerektirir. Zamana göre tersinir yasalar içinde açıkladığımız tahminlerle ortaya çıkmalarını anlamak mümkün değildir.

Dağıtıcı özelliklerin mikroskopik temelinin ve daha genel olarak, karmaşıklığın kökenine inmenin çağdaş bilimin en çekici kavramsal sorunlarından biri olduğuna inandırılmıştım. Bu kitapta sunulan çözüm, birinci bölümde ana çizgileriyle belirtilmiştir: kararsız sistem-

lerle işimiz olduğunda, dinamik yasalarını *istatistiksel* düzeyde oluşturmamız gerekir. Fiziğin temel konuları artık yörüngeler ya da dalga fonksiyonları değil de, olasılıklar olduğuna göre, kuşkusuz bu, doğa betimlememizi kökten bir biçimde değiştirmiştir. Bu kesin sonuç karşısında uzun süre kararsız kaldım. Sorun, geleneksel betimlemenin terkedilip terkedilemeyeceği ya da şu halde geçerli kalacak alışılmış betimlemeye eşdeğer kararsız sistemlerin sadece başka bir betimleme gerektirip gerektirmediğini bilmekti. Böylece, kararsız dinamik sistemler yeni bir tamamlayıcılık biçimine götürmüş olacaktı. *From Being to Becoming* adlı kitabımda: "...kuantum mekaniğinde aynı anda ölçüm yapılamayacak büyüklükler bulunur, örneğin koordinatlar ve momentler. (Bu Heisenberg eşitsizlikleri ve Bohr tamamlayıcılık ilkesinin içeriğidir.) Burada da, bu kez dinamik betimleme ve termodinamik betimleme arasında bir tamamlayıcılığa sahibiz"[1].

Geçmişe dönük olarak , burada gösterdiğimden çok daha az kökten bir çözüme dayanan bu önermenin olmamasına üzülüyorum. Gerçekten birden fazla olası bir betimleme bulunsaydı, en iyisini kim seçecekti? Bir zaman göstergesinin varlığı bir tutarlık sorunu değildir. Bununla birlikte, yalnızca bu son yıllar boyunca dinamik kararsız sistemlerin, bizi klasik ve kuantum mekaniğinin gerçekten bir yayınımını oluşturan dinamiğin yeniden formülleştirilmesine zorladığını gösterebiliriz. Bu bölüm, bu girişimin kapsadığı bazı önemli yönlerin betimlemesine ayrılmıştır.

Aşağı yukarı bir yüzyıldan beri, en basit olasılıkçı süreçlerin dahi zaman içinde yönlendirildiklerini biliyoruz. Birinci bölümde, rastgele işleyiş biçimine *(random walk)* bağlı Brown devinimini belirttik.



Şekil III-1

Ehrenfest kutuları modeli: N topları, iki A ve B kutuları arasında dağıtılmıştır. *n* anında, *k* topları A nın içinde ve *n-k* B nin içindedir. Sonraki anda, rastgele alınan bir top ötekine doğru olduğu kutudan geçer.

Başka basit bir örnek, P. ve T. Ehrenfest tarafından önerilen kutular modelidir[2]. İki A ve B kutuları arasında dağıtılan *N* cisimlerini (örneğin topları) alalım. Düzenli zaman aralıklarıyla (örneğin bütün saniyeler) bir top rastgele seçilir ve bir kutudan diğerine aktarılır. *n* anında A nın içinde *k* toplarının, ve o halde B nin içinde *N - k* toplarının olduğunu varsayalım. *n + 1* anında A nın içinde hem *k - 1* hem *k + 1* topları olabilir. Geçiş olasılıkları kesin olarak belirtirmiştir. Oyunu sürdürelim. Sonunda her kutunun içinde yaklaşık *N/2* toplarının bulunmasına yol açan bir durumla biten topların transferini bekleyebiliriz. Bu dağılım dalgalanmalar geçirebilir. Hatta, A kutusunda *k* toplarının olduğu *n* zamanı durumuna geri dönülebilirdi. Yalnızca olasılıklar dağılımı düzeyinde, dengeye doğru tersinmez yaklaşımı betimle-

yebiliriz. Başlangıç noktası ne olursa olsun, n transferlerinden sonra $\rho_n(k)$ olasılığının bir kutuda k toplarını bulması, $n \rightarrow \infty$ için binomial $N!/k!(N-k)!$ dağılıma yaklaştığını gösterebiliriz. Bu büyüklük, $k = N/2$ için en yüksek değerini alır, ancak dağılım dalgalanmalarının betimlenmesini de sağlar.

Ehrenfest modeli, bu tür olasılıkçı süreçleri ilk olarak inceleyen büyük Rus matematikçinin ismiyle anılan bir *Markov süreci* (ya da *Markov zinciri*) örneğidir. Bu tür olasılıkçı bir süreçten tersinmezliği çıkarmanın kolay olduğunu biraz önce gördük. Ancak olasılıklar dinamiğe nasıl yeniden bağlanır? Temel problemimiz buradadır.

Klasik dinamikle yönetilen bir sistemi ele alalım. Ulaşılabilecek denge nasıl tanımlanır? Birbirine uyan olasılık dağılımı biçimi ne olacaktır? Sistemi kuran parçacıkların koordinatları $q_1 \ldots q_s$ ve momentleri $p_1 \ldots p_s$ olsun. Birinci bölümün üçüncü kısmında, boyutları koordinatlar ve momentler olan uzay fazında getirdiğimiz gibi, bütün koordinatları belirtmek için q, bütün momentler için p kullanacağız. $\rho(q,p)$ olasılık dağılımını benimseyip ve dengeyi, bu dağılımın zamandan bağımsız olduğu hâl olarak tanımlayabiliriz. Okuyucu bütün el kitaplarında, ρ nin, *yalnızca sistemin toplam enerjisine*, yani parçacıkların devinimine bağlı kinetik enerji toplamına ve etkileşimlerine bağlı potansiyel enerjiye *bağlı olduğunda, zamandan bağımsız* olduğunu bulacaktır. q ve p terimleriyle açıklanan toplam enerji *hamiltonyen* $H(q,p)$ olarak adlandırılır. Tanım olarak, bir sistemin dinamik evrimi toplam enerjisini, o halde hamiltonunu da korur. Şu halde dengede ρ nin bir tek hamiltoniyen fonksiyonunun olması doğaldır.

Önemli özel bir durum, tüm sistemleri aynı toplam E enerjisine sahip olan kümelerin durumudur. Bu durumda, değişmeden kaldığı $H(q,p) = E$ yüzeyi dışında, ρ dağılımı faz uzayının her yerinde sıfırdır. Bu kümelere "mikrokanonik" adı verilir. Gibbs bunların, izole sistemler için denge termodinamiği yasalarını yerine getireceklerini göstermiştir. Aynı zamanda, bütün sistemin bir T sıcaklık haznesiyle karşılıklı etkileştiği (örneğin, çevreyle termik dengede olan sistemler)

kanonik kümedeki gibi diğer kümeleri de incelemiştir. Bu durumda, ρ dağılım fonksiyonu üssel olarak hamiltoniyene bağlıdır, *k* nin evrensel Boltzmann değişmezi olduğu (üs'ten boyutsuz bir sayı oluşturan) *exp(– H/kT)* ile orantılıdır.

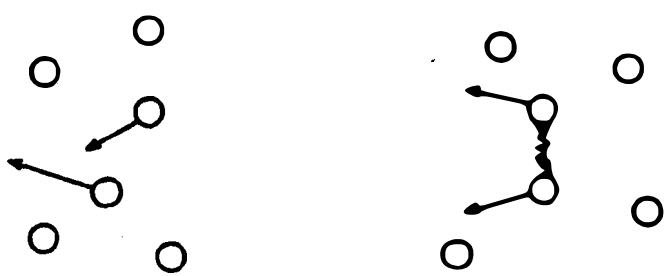
Dağılım dengesi verildiğinde, basınç, özgül ısı vb. gibi bütün denge termodinamiği özelliklerini hesaplayabiliriz. Hatta makroskopik termodinamiğin ötesine geçip dalgalanmaları katabiliriz. Genel olarak, istatistiksel denge termodinamiğinin geniş alanının artık kavramsal sorunlar yaratmadığı, ama yalnızca sayısal bir simulasyonla çözümlenebilecek hesaplama sorunları ortaya çıkardığı kabul edilmiştir. O halde kümeler kuramının denge durumlarına uygulanması başarıyla sonuçlanmıştır. Ancak, dinamik sistemlerde *denge yaklaşımı* nasıl betimlenir?

İstatistiksel denge mekaniği belki iyi benimsenmiş olarak kabul edilse de, istatistiksel denge mekaniği için aynı şey söz konusu değildir. Bu alan, klasik mekanik ya da tersinmezliği ve entropinin artmasına bağlı ikinci ilkesiyle termodinamiği tanımayan kuantum mekaniği arasında karşılaştırma alanıdır. Zamana göre simetrik denklemlerle yönetilen dinamik değişken terimleriyle tanımlanmasına karşın, tersinmez olasılıklar dağılımı evrimi nasıl sağlanır? Dinamiğin gelişmesiyle çözülen sorunun temel noktasındayız. Bunu belirlemek için, ilk önce uzun süredir bilinen birkaç sonucu göstereceğim[3].

Bir bardak suyu göz önüne alalım. Bu bardağın içinde çok büyük bir sayıda moleküller bulunur (Avogadro sayısı büyüklüğünde 10^{23} olan). Dinamik açısından Poincaré kuramına göre integrali alınamayan bir sistem söz konusudur, çünkü moleküller arasındaki çarpışmalar, etkileşimsiz bir parçacık popülasyonunun tek biçimli betimlenmesine engel olan rezonanslar oluşturur (bkz. I. bölüm). Bu çarpışmalar V. bölümde daha kesin bir biçimde tanımlanacaktır, ancak onları burada varsayımsal olarak göz önünde bulunduracağız. Suyu, kümeler terimleriyle, çok büyük sayıda moleküllerden oluşmuş bir şekilde betimleyebilir, yani onu bir ρ olasılık dağılımıyla gösterebiliriz. Su yaşlanır mı? Jeolojik zaman dönemlerinde kararlı olan bireysel molekül-

leri ele alırsa kuşkusuz hayır? Bununla birlikte, *çarpışmaların etkisi altında olasılık dağılımı evrimini inceleyerek*, istatistiksel düzeyde zamansal doğal bir düzeni açıklığa kavuşturabiliriz. Burada temel kavram korelasyondur. Zaman boyunca karşılıklı bağıntılar meydana gelir ve sonra yayılırlar. İlk önce bu mekanizmayı açıklamaya çalışalım.

x_1 ve x_2 olmak üzere iki değişkene bağlı bir $\rho(x_1, x_2)$ olasılık dağılımını ele alalım. Bu değişkenler bağımsız olurlarsa, dağılımı çarpanlarına ayırabiliriz, yani $\rho(x_1, x_2) = \rho(x_1)\ \rho(x_2)$ yazabiliriz. Şu halde, $\rho(x_1, x_2)$ olasılığı, iki olasılık ürünüdür. Bu çarpanlarına ayırma (factorisation) mümkün olmadığında, x_1 ve x_2 *koreledir* dir. Bir bardak sudaki moleküllere dönelim. Moleküller arasındaki çarpışmaların iki etkisi vardır: hızların dağılımını daha simetrik gösterirler ve bu moleküller arasında korelasyonlar oluştururlar (bkz. şekil III-2).

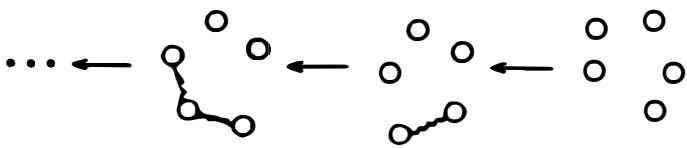


Şekil III-2

İki parçacık arasındaki çarpışma kendi aralarında bir korelasyon meydana getirir (dalgalı bir çizgiyle gösterilen).

Ancak bir diğeriyle korele olan bir parçacık bir üçüncüsünde tekrar onunla karşılaşır. İkili korelasyonlar böylece üçlü korelasyonlara vb.

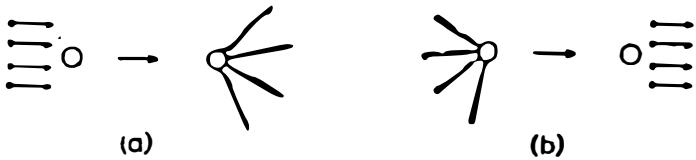
dönüşürler. Şu halde, *zaman içinde düzenli* bir korelasyon akısı elde ederiz. Böyle bir akının en yakın bir örneksemesi insanlar arasındaki iletişimdir. İki kişi karşılaştıklarında, birbiriyle haberleşirler. Birbirlerinden ayrıldıktan sonra, karşılaşmalarını anımsarlar ve daha sonraki karşılaşmalar izlenimlerinin yayılmasına yol açar. Tıpkı maddenin içindeki bir korelasyon akısında olduğu gibi bir toplumda iletişim akısından söz edilebilir.



Şekil III-3

Korelasyon akısı: art arda oluşan çarpışmalar ikili üçlü korelasyonlar oluşturur...

Kuşkusuz, dinamik, korelasyonları *yok ederek* hız dağılımlarını *daha az* simetrik gösteren ters süreçler olasılığını kavramaya zorlar. Bu sürecin sosyal bir karşılığı yoktur, çünkü dinamik denklemleri simetrisinden kaynaklanır. Şu halde, hız dağılımlarını daha simetrik gösteren süreçlere öncelik veren bir unsura gereksinim duyarız. Göreceğimiz üzere buda, kesinlikle Poincaré rezonansları rolü olacaktır.



Şekil III-4

(a) Parçacıklar (siyah noktalar) bir engelle (daire) karşılıklı etkileşirler. Çarpışmadan sonra, hızlar farklı olur (dağılımları daha simetrik olmuştur) ve parçacıklar engelle koreledir.

(b) (a) durumu üzerindeki hızların terselmesiyle ortaya çıkan süreçler: engelle çarpışmadan sonra, korelasyonlar ortadan kalkar ve bütün parçacıklar aynı hızdadır (daha az simetrik dağılım).

İstatistiksel düzeyde görünebilecek tersinmezliğin biçimini kavramaya başlarız. Artık bir yörüngeler dinamiği değil bir korelasyonlar dinamiği oluşturmak söz konusudur. Poincaré kuramına göre, gerekli bir koşul, integrali alınamazlıktır, çünkü, eğer sistem, etkileşimsiz bir parçacıklar sistemine indirgenebilirse, ne çarpışmalar ne de korelasyonlar akısı olacaktır.

Şekil III-3 te gösterildiği gibi zaman içinde yönlendirilmiş bir korelasyonlar akısının varlığı, sayısal örneksemelerle bilgisayarda doğrulanmıştır[4]. Aynı zamanda, bütün parçacıkların hızının eş zamanlı terselmesiyle şekil III-4 dekine denk düşen süreçlerin ortaya çıkabileceğini göstermişlerdir. Bununla birlikte bu zaman terselmesi kısa süreler için gerçekleştirilebilir, ondan sonra yeniden git gide büyük bir parçacık sayısı içeren bir korelasyonlar akısı gözlemlenir ve sistemi dengeye götürür.

Bu son yıllara dek, korelasyonlar dinamiğine bağlı sorunlar yanıtlanmadan kalmıştır. Bu tersinmezlik yörünge terimleriyle betimlenemezken, bu oluşumun tersinmezliği istatistiksel düzeyde açıklığa kavuşturduğunu nasıl doğrularız? Bu tahminlerin sonucu değil mi? Bilgisayar üzerinde zamanı uzun süreler için tersine çevirememiz, bilgisayarlarımızın sadece sınırlı hesaplama gücüne bağlı değil mi? Bir program yazımı açısından olduğu kadar deneysel açıdan da, çarpışmaları boyunca korelasyonlar ortaya çıkaracak korele olmayan parçacıklar hazırlamak, korelasyonları sonradan çarpışmalar tarafından yok edilecek korele parçacıklar hazırlamaktan daha kolay olduğu açıktır.

Niçin olasılık dağılımlarından yola çıkmak gerektiği de sorulabilir? Ne de olsa kümelerin davranışını ve yörünge demetlerini betimlerler. Bilgisizliğimiz yüzünden mi bu kümeleri kullanıyoruz, ya da I. bölümde daha önce belirtildiği gibi daha derin bir neden mi var? Basit bir örnekten, kaotik uygulamalardan *(chaotic maps)* başlayarak bu soruları yanıtlamaya çalışalım.

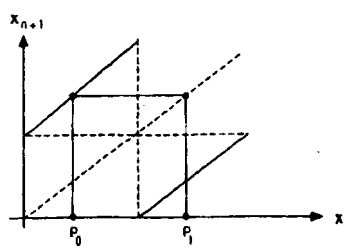
II

Kaotik uygulamalar determinist bir kaos örneği gösterirler. Klasik ya da kuantum dinamiğinde, zaman sürekli bir biçimde işler. Buna karşılık biraz sonra inceleyeceğimiz uygulamalarda ve Ehrenfest kutularında olduğu gibi, dönüşüm düzenli zaman aralıklarıyla gerçekleşir. Zamanın bu keyfiliği, betimlemenin bireysel düzeyi (yörüngeler) ve istatistiksel düzey arasında daha kolay bir karşılaştırma sağlayan hareket denklemlerinin basitleştirilmiş bir biçimine yol açar.

İlk önce periyodik bir davranışa götüren basit bir dönüşüm örneğini ele alalım. Dönüşümün hareket denklemi $x_{n+1} = x_n + 1/2$ dir (modulo 1). Modulo 1, yalnızca 0 ve 1 arasında kalan sayıları göz önünde

bulundurduğumuz anlamına gelir. Uygulamadan çıkan sayı 1 i geçerse, birimi yok ederek onu bu aralığa geri getiririz. $x_0 = 1/4$ ten başlayalım. Uygulama birbiri ardından, $x_1 = 3/4$ ve $x_2 = 5/4$ (1.modulo), yani $1/4$ verir. O halde iki işlemden sonra yeniden başlangıç noktasına döneriz.

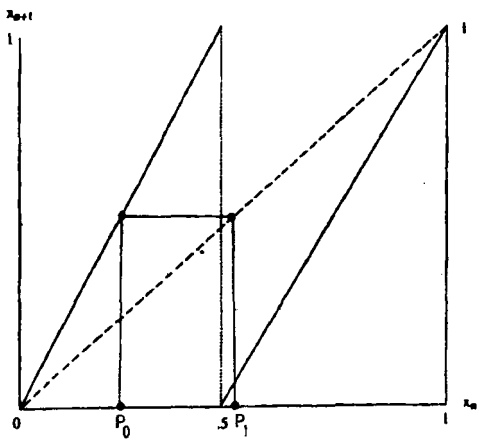
Yörüngelere bağlı bireysel noktaları incelemek yerine, şimdi $\rho(x)$ olasılık dağılımıyla betimlenen kümeyi inceleyelim. Burada, olasılık dağılımı orada bir noktaya indirgendiğine göre, yörüngenin özel bir kümeye dayandığını anımsayalım. Koordinatın değeri x_n ise, dağılım fonksiyonu, I. bölümün III. kısmında gösterdiğimiz gibi, $\rho_n(x) = \delta(x - x_n)$ şeklini alır. $\delta(x - x_n)$ ifadesi genelleştirilmiş ya da, $x = x_n$ dışında x konusunun bütün değerlerini geçersiz kılan özel bir fonksiyona dayanır. Olasılık dağılımını kullanmak, uygulamanın $\rho_{n+1}(x)$ ve $\rho_n(x)$ bağıntısıyla tanımlanacağı anlamına gelir. Biçimsel olarak, $\rho_{n+1}(x)$, $\rho_n(x)$ üzerine etki yapan bir U operatörüyle (işleç) sağlanır: $\rho_{n+1}(x) = U\rho_n(x)$. Bu operatör, *Perron-Frobenius* operatörü olarak adlandırılır[5]. Bu aşamada, bu operatörün açık şeklinin önemi yoktur. Hareket denklemine göre tanımlanmasına hiçbir yeni öğenin girmediğinin belirtilmesi yeterlidir. Kuşkusuz, küme terimleriyle olan betimleme, özel bir durum olarak bireysel betimlemeyi yeniden ilk durumuna getirmek zorundadır, bu $\delta(x - x_{n+1}) = U\delta(x - x_n)$ anlamına gelir. En basit biçimde bir x_n adımından sonra bir x_{n+1} yazma biçiminin olduğu yer burasıdır.



Şekil III-5

Periyodik dönüşüm. Her sürekli çizgi noktası, dönüşüm tarafından tanımlanan bir çifti gösterir (x_t, x_t+1). Dönüşüm, P_0 noktasını P_1 e dönüştürür.

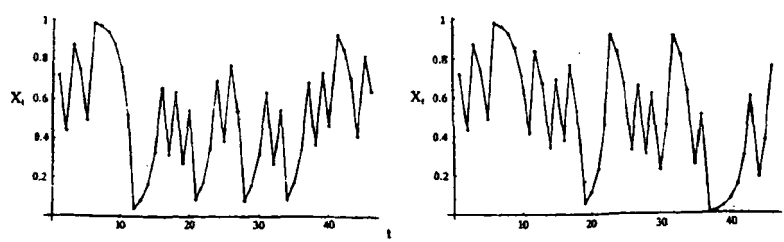
Temel sorumuz şöyle dile getirilebilir: *Perron-Frobenius operatörünün betimlediği kümeler evrimi için tek bir çözüm mü var ya da yörünge terimleriyle ifade edilebilen istatistiksel düzeyde yeni çözümler üretilir mi?* Biraz önce gösterdiğimiz periyodik uygulama örneğindeki gibi yanıt *hayır* dır. İntegrali alınabilir bir sisteme dayanan kararlı dinamik bir davranış örneği söz konusu olduğuna göre, bu şaşırtıcı değildir. Şu halde, bireysel bakış açısı (yörüngelere dayanan) ve istatistiksel bakış açısı (kümelere dayanan) arasında bir eşdeğerlik bulunur. Bu eşdeğerliğin bozulması için, kararsız dinamik bir sistem modeline; ve bu durumda kaotik uygulamanın çok basit bir örneği olan *Bernoulli* uygulamasına dönmemiz gerekir. Bernoulli uygulamasına denk düşen hareket denklemi, $x_{n+1} = 2\,x_n$ (modulo 1). Bu durumda, x in değeri her adımda iki katına çıkar, modulo 1. Bu uygulama şekil III-6 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil III-6

Bernoulli Uygulaması. Uygulama P_0 noktasını P_1'e dönüştürür.

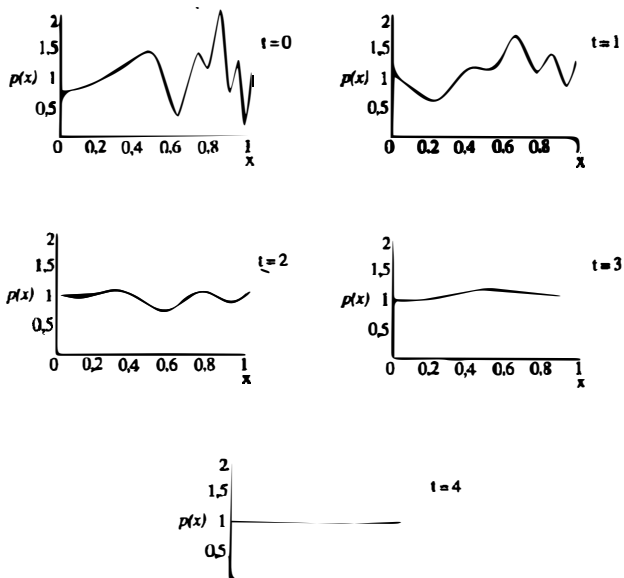
Hareket denkleminin yeniden determinist olduğunu belirtelim. x_n biliyorsak, x_{n+1} sayısı belirlidir. Burada, bir determinist kaos örneğimiz var. Gerçekten, yakın başlangıç noktalarından itibaren hesaplanan yörüngeler zaman boyunca ayrılırlar. Koordinat her adımda ikilendiğinden, ayrılık $2n$ ile orantılı olarak, n adımından sonra $exp(n lg 2)$ olsun. Aralıksız zamanlar sınırına geçersek, ayrılık $\lambda = lg 2$ ile birlikte $exp(\lambda t)$ ye orantılı olur; şu halde, zaman süresince üssel bir ayrılık niteliğine sahiptir; λ Lyapounov üssü olarak adlandırılır (Kaotik bir sistemin en azından *pozitif* bir Lyapounov üssü vardır). Şekil III-7 oluşturulan yörüngelerin sabit olmayan özelliğini gösterir: zaman süresince yörünge, 0 ve 1 arasında kalan her noktaya istenildiği kadar yaklaşır. Şimdi Perron-Frobenius operatörü terimleriyle istatistiksel betimlemeye dönelim. Şekil III-8 bir dağılım fonksiyonu üzerinde bu operatörün uygulama sonucunu gösterir. Karşıtlık çok şaşırtıcıdır. Yörünge sabit olmayan bir durumda kaldığı halde, $\rho_n(x)$ fonksiyonu hızla değişmez bir değere doğru yönelir.



Şekil III-7

Bernoulli uygulamasının yol açtığı yörüngenin iki sayısal simülasyonu. (a) ve (b) başlangıç koşulları çok az farklılık gösterir ve yöndeş yörüngeler zaman boyunca ayrılırlar.

O halde, *bir yandan yörünge terimleriyle, öte yandan da küme terimleriyle olan betimleme arasında bir farklılığın* olması gerektiğini görürüz. Yörünge düzeyindeki kararsızlık, istatistiksel betimleme düzeyinde kararlı bir davranışa varır.



Şekil III-8

Bernoulli uygulamasına göre olasılık dağılımı evriminin sayısal simülasyonu. Yörünge terimleriyle betimlemenin tersine, olasılık dağılımı çabucak denge değerine doğru yönelir.

Bu nasıl olabilir? Perron-Frobenius operatörü yörüngeye denk düşen bir çözüm kabul eder, bu $\delta(x - x_{n+1}) = U\delta(x - x_n)$ dır. Ancak yeni ve beklenmedik bir olay, bir de bireysel yörüngelere değil de yalnızca

istatistiksel kümelere uygulanabilen *yeni çözümler* kabul etmesidir. Bireysel bakış açısı ve istatistiksel bakış açısı arasındaki eşdeğerlik bozulmuştur.

Bu dikkat çekici olay, matematik ve kuramsal fizik arasındaki ilişkilerde yeni bir sayfa açmıştır[6]. "Kaos yasaları[7]" olarak adlandırabileceğimiz şeye bir anlam kazandırır ve bu istatistiksel düzeyde olur. Dördüncü bölümde göreceğimiz gibi, ρ dağılımının dengeye yaklaşma hızını (yani Bernoulli uygulaması durumunda değişmez bir değer) belirlemek ve bu yaklaşma hızı ve Lyapounov üssünü kurmak bile olanaklıdır.

Bireysel betimleme ve istatistiksel betimleme arasındaki fark nasıl kavranır? Gelecek bölümde durumu daha yakından inceleyeceğiz. Yeni çözümlerin, dağılım fonksiyonlarının *düz* (lisse) olmasını gerektirdiğini, bu nedenle de, daha önce gördüğümüz gibi tekil fonksiyonlarla $\delta(x - x_n)$ gösterilen bireysel yörüngeler durumuna uygulanamaz olduklarını göreceğiz. Anımsarsak, delta fonksiyonu, yalnızca $x = x_n$ durumunda sıfırdan farklıdır ve bu ne kadar az olursa olsun x, x_n den farklı olduğu andan itibaren kendi kendini geçersiz kılar.

Dağılım fonksiyonu terimleriyle betimleme, şu halde, bireysel yörüngeler terimlerinden daha zengindir. Bunu I. bölümün III. kısmında daha önce belirtmiştik. İstatistiksel kümelerin göz önünde bulundurulması tahminsel bir betimlemeye uygun düşmez; tam tersine, dönüşümlerin kaotik niteliğinin eklenmesini sağlar. Bu yüzden, dinamik yasalarının şimdi kümeler terimleriyle ifade edilmesi gerektiğini söyleyebiliriz. Yörüngeler. kararlı uygulamalar için Perron-Frobenius denkleminin tek çözümleridir. Ancak yeni çözümler, Poincaré rezonansları (bkz.V. ve VI. bölüm) tarafından belirlenen sistemlerin betimlemesine giden yolu açar ve bireysel yörüngeler düzeyinde hiçbir anlam taşımayan korelasyon akısının dinamik ifadesini istediğimiz bu rezonanslardır.

Bireysel betimleme ve istatistiksel betimleme arasındaki eşdeğerliğin bozulması, yaklaşımımızın temel noktasıdır. Gelecek bölümde, istatistiksel düzeyde ortaya çıkan bu yeni çözümleri daha kapsamlı bir

şekilde tartışacağız. Bu birinci sunuşu bitirmeden önce, bulduğumuz ne kadar durumun termodinamiğin durumunu (II. bölüm) anımsattığını belirtelim. Denge termodinamiğinin başarısı, dağıtıcı yapıların oto-organizasyonu gibi dengesizliğe bağlı maddenin yeni özelliklerinin bulunmasını geciktirmiştir. Aynı şekilde, yörüngelerin klasik kuramının ve dalga fonksiyonları kuantum kuramının başarısı, tersinmezliğin temel doğa betimlemesine katılmasını sağlayan dinamiğin, istatistiksel düzeyde genişlemesini de geciktirmiştir.

---

[1]. I. Prigogine, *From Being to Becoming*, San Francisco, W. H. Freeman, 1980, s.174. Fransızca baskısı *Temps et devenir*, Paris, Masson, 1980.

[2]. P. ve T. Ehrenfest, *Conceptual Foundations of Statistical Mechanics*, rep. Ithaca, Cornell University Press, 1959.

[3]. I. Prigogine , *Nonequilibrium Statistical Mechanics*, New York, J. Wiley, 1962; R. Balescu, *Equilibrium and Nonequilibrium Statistical Mechanics*, New York, J. Wiley, 1975; P. Résibois ve J. de Leener, *Classical Kinetic Theory of Fluids*, New York, J. Wiley, 1977.

[4]. A. Bellemans ve J. Orban, *Phys. Letters*, 24A, 1967, s.620.

[5]. A. Lasota ve M. Mackey, *Probabilitic Properties of Deterministic Systems*, Cambridge, Cambridge University Press, 1985.

[6]. Bkz. D. Ruelle, *Phys. Rev. Lett.*, LVI, 1986, s. 405 ve *Commun. Math. Phys.*, CXXV, 1989, s. 239; H. Hasegawa ve W. C. Saphir, *Phys. Rev. A*, XLVI, 1993, s. 7401; H. Hasegawa ve D. Driebe "Intrinsic irreversibility and the validity of the kinetic description of chaotic systems", *Physical Rewiew* E. L, 1994, ss. 1781-1809; P. Gaspard, *J. of Physics A*, XXV, L483, 1992; I. Antoniou ve S. Tasaki, *J. of Physics A: Math. Gen.*, XXVI, 1993, s. 73 ve *Physics A* , CXC, 1992, s. 303.

[7]. I. Prigogine, *Les lois du chaos*, Paris, Flammarion, 1994.

4

Kaos Yasaları

I

Bizi kararsız dinamik sistemlere göre, klasik ve kuantum mekaniğinin genişlemesine götürecek olan temel öğeyi biraz önce tanıttık: Bu, yörünge terimleriyle olan bireysel betimleme ve istatistiksel terimlerle yapılan betimleme arasındaki eşdeğerliğin bozulmasıdır. Bu bölümde, önceki bölümde ele alınan basit kaotik fonksiyonlara göre bu genişlemeyi daha ayrıntılı bir şekilde inceleyecek ve bu sonuç ve yeni matematik gelişmeleri arasındaki ilişkiyi göstereceğiz[1]. Yeniden Bernoulli uygulamasına dönerek başlayalım. Bu uygulamanın determinist olduğunu anımsayalım: hareket denklemlerinden $x_{n+1} = 2x_n$ (modulo 1) başlayarak, x_0 başlangıç koşulu bilindiği andan itibaren, her n anı için x_n hesaplanabilir

Bir determinist kaos modelinin oluşturulduğu bu uygulamanın kesin olmayan görünüşü, ikili bir gösterim kullanılırsa daha kolay anlaşılabilir. Gördüğümüz gibi, fonksiyon, *0* ve *1* arasında kalan x sayılarla sınırlıdır. İkili gösterimde, bu sayılar $u_i = 0$ ya da *1* ile (III. kısımda incelenen fırıncı dönüşümüyle ilgili bağıntıyı daha anlaşılır kılmak için negatif indisler kullanıyoruz), $x = u_0/2 + u_{-1}/4 + u_{-2}/8 + \ldots$ olarak yazılabilir. Şu halde her sayı, ikili terimler olan bir ondalık diziyle gösterilir. Burada $x = 1$ in, bütün u_i lerin *1* e eşit olduğu, *0, 11111* olan sonsuz bir diziye denk düştüğünü belirtelim. O halde, Bernoulli uygulamasının, dizinin her teriminin uğradığı bir *aykırılığa* (dekalaj) dayandığı kolaylıkla gösterilebilir. Örneğin, ikili gösterimde $x = 0{,}0100\ldots$ yazılan $x = 0{,}25$' i ele alalım. Tüm ötekiler sıfır olduğundan, şu durumda u_{-1} terimi *1* e eşittir. x in değerini ikiye çıkaran fonksiyon, $x' = 0{,}5$ i verecektir. Tüm ötekiler sıfır olduğundan, bu kez *1* e eşit olan u_0' ikili terimidir. O halde, uygulamanın u_0' yı, $u_0' = u_{-1}$ e dönüştürdüğü sonucu çıkarılabilir. Genel bir biçimde, Bernoulli uygulamasından doğan yeni koordinat içinde, u_0' nın her terminin değeri, başlangıç koordinatındaki u_{n-1} nin sahip olduğu değerdir. Örneğin $u_{-3} = u_{-4}$ tür. Bernoulli uygulaması, böylece, u_i terimlerini değiştirir. Dizinin farklı terimlerinin değerleri birbirlerinden bağımsız olduğundan, birbirini izleyen her farkın (dekalaj) sonucu, bir yazı tura oyununun sonucu kadar belirli olmayan bir süreçtir. Bu yüzden, 18. yüzyılda şans oyunları kuramının büyük öncüsü Jacob Bernoulli'nin anısına "Bernoulli farkı" (décalage de Bernoulli)'ndan söz edilir. İkili gösterim, başlangıç koşullarına olan duyarlığı da ortaya çıkarır: birbirinden çok az farklı olan iki sayı, örneğin u_{-40} değeriyle (yani 2^{-39}! dan daha küçük bir sayıyla), 40 adımdan sonra 1/2 den farklı olacaktır. Daha önce açıkladığımız gibi, başlangıç koşullarına olan bu duyarlık, burada *log2* ye eşit olan Lyapounov üssünün pozitif bir değerine -kaos yükümlülüğü- dayanır.

Bernoulli uygulaması, başlangıçtan beri zamanın ayrıcalıklı bir yönünü kullanır. Eğer $x_{n+1} = 2x_n$ (modulo 1) yerine, ters fonksiyon olan $x_{n+1} = x_n/2$ alırsak, başlangıç koşulları ne olursa olsun, bütün yörüngelerin kendisine doğru yaklaştığı $x = 0$ a denk olan tek ilginç

bir nokta elde ederiz. Şu halde daha hareket denklemi düzeyinde zaman simetrisi bozulmuştur. Bir tersinir dinamik denklemler modeli söz konusu değildir. Bu bölümün III. kısmında, tersinir bir fonksiyon modelini, fırıncı dönüşümünü göstereceğiz.

Bu sınırlamaya karşın, Bernoulli uygulaması, kaotik sistemlerin zamansal evrimi söz konusu olduğunda, bunlar determinist denklemler tarafından yönetilse bile, yörünge terimleriyle betimlemenin niçin yetersiz olduğunu çok iyi ortaya koyar. 1906 yılından itibaren Duhem'in belirttiği gibi, başlangıç koşullarını biraz değiştirdiğimizde, yörünge hemen hemen aynı kalıyorsa, yörünge kavramı uygun bir gösterim biçimidir[2]. Fizikte sorduğumuz soruların, yaklaşıklığı reddeden, sağlam bir yanıtı olmalıdır. Kaotik sistemlerin yörünge terimleriyle betimlemesinin bu sağlam niteliği yoktur. Bu, aynı zamanda başlangıç koşullarına olan duyarlık anlamına gelir.

Tam tersine, istatistiksel düzeydeki betimleme böyle bir güçlük göstermez. Şu halde, kaos yasalarını bu istatistiksel düzeyde oluşturmamız gerekir ve önceki bölümde gördüğümüz, $\rho_n(x)$ olasılık dağılımını $\rho_{n+1}(x)$ e dönüştüren Perron-Frobenius U operatörü (işleç) yine bu düzeyde yeni çözümler varsayar. Bu yeni çözümlerin istatistiksel düzeyde incelemesi, bir fizik alanına ve hızlı gelişme içinde olan yeni matematiğe aittir. Bu inceleme bizim için çok özel bir ilgi oluşturur, çünkü kaotik fonksiyonlar muhtemelen tersinmezlik sorusunun ortaya konduğu en basit duruma dayanır. Boltzmann'ın önerdiği entropi yorumuna dayalı gazı düşünün. Oldukça önemli bir parçacık sayısını (10^{23} ! mertebesinde) içeren bir sistem söz konusuydu. Buna karşıt olarak, burada az sayıda bağımsız değişkenlerle tanımlanan bir sistemi elimizde bulundururuz. (Bernoulli uygulaması için bir tek, inceleyeceğimiz fırıncı dönüşümü için iki). Bu durumda, bilgisizliğimize ya da yaklaşımlara başvurmak söz konusu olmayabilir ve bununla birlikte tersinmezliğin başlangıcındaki temel özellik daha önce ortaya çıkar. Bizim kesin olarak belirteceğimiz şey, istatistiksel betimlemeye bağlı yeni bir çözümler sınıfının ortaya çıkması olan bu özelliktir.

II

İşte yine bu kitabın temel problemiyle karşılaştırılan istatistiksel düzeyde dinamik problemin çözümüyle karşı karşıyayız. III. Bölümün II. kısmında rekürans bağıntısı terimleriyle belirtilen bu problemi gördük: $\rho_{n+1}(x) = U\rho_n(x)$. $\rho_{n+1}(x)$ dağılım fonksiyonu, $n + 1$ uygulamalarından sonra, $\rho_n(x)$ üzerinde U operatörünün hareketiyle n uygulamalarından sonra dağılım fonksiyonu elde edilir.

Operatör kavramı başlangıçtan beri fiziğe, VI. bölümde göstereceğimiz nedenlerle, kuantum kuramı çerçevesinde katılmıştır. Kuantum mekaniği operatörler olmadan belirtilemez, ancak operatörlerin kullanımı yavaş yavaş fiziğin diğer alanlarına, özellikle istatistiksel mekaniğe yayılmıştır. Gerçekten, bir operatör yalnızca, verilen bir fonksiyon üzerine etki yapma biçiminden başka hiçbir şey ifade etmeyen bir açıklamadır. Onun artırılmasından, farklılaştırılmasından, kısacası matematiksel bir işlemden geçirilmesinden söz edilebilir. Ancak, bir operatörün tanımı, alanının belirlenmesini de içerir. Ne tür fonksiyonlar üzerine operatör etki yapar? Düzenli fonksiyonlar mı söz konusudur? Sınırlı mı? Hangi özelliklere sahip olmalıdır? Böyle belirlenen fonksiyonların özellikleri fonksiyonların alanını tanımlar.

Genel olarak, bir fonksiyon üzerine etki eden bir operatör, onu farklı bir fonksiyona dönüştürür. Örneğin, O operatörü bir d/dx türevine denk düşerse, x^2 fonksiyonunu $2x$ e dönüştürür. Bununla birlikte, her operatör için, yakın çarpan faktörüne göre bu fonksiyonlar üzerine etki yapıldığında değişmeden kalan özel fonksiyonlar bulunur. Şu halde, örneğimizde e^{kx} fonksiyonu, türeve oranla değişken değildir, yalnızca k ile çarpılarak bulunur. Bu fonksiyonlar, operatörün *özgün fonksiyonları*, onları çarpan sayılar da *özgün değerleri* olarak adlandırılır. Temel bir teorem, bir operatörü özgün fonksiyonlar, özgün değerler terimleriyle yazabilmemizi sağlar. Bununla birlikte, özgün fonksiyonlar ve özgün değerler, fonksiyon uzayına bağlıdır.

Olağanüstü bir öneme sahip bir fonksiyon uzayı, geleneksel olarak kuantum mekaniğine bağlı olan Hilbert uzayıdır. δ fonksiyonuyla bir örneğine rastladığımız tekil ve genelleştirilmiş fonksiyonlara oranla

yalnızca normal ve düzenli fonksiyonları kapsar. Oysa, biraz sonra göreceğimiz üzere, tersinmezliği istatistiksel düzeye yerleştirebilmemiz için bu sonuncu tip fonksiyona gereksinim duyarız. Her yeni fizik kuramının yeni matematik araçlarına gereksinimi vardır. Bu açıdan, temel yenilik, burada, kararsız dinamik sistemleri incelemek için Hilbert uzayının ötesine gitme gerekliliğidir.

Bu giriş niteliğindeki görüşlerden sonra, Bernoulli fonksiyonuna yeniden dönelim. Bu durumda, U değişim operatörünün açık biçimini elde etmek kolaydır. Sonuç $U\rho_n(x) = \rho_{n-1}(x) = 1/2\,(\rho_n(x/2) + \rho_n(x/2 + 1/2))$ tur. Bu denklem, $n + 1$ ötelemelerinden sonra, x noktasındaki $\rho_{n-1}(x)$ olasılığının, $x/2$ ve $x/2 + 1/2$ noktalarındaki $\rho_n(x)$ değerleriyle belirlidir. Eğer ρ_n bir sabitse, diyelim α, ρ_{n-1} de bu aynı α sabitine eşit olacaktır, çünkü $U\alpha = \frac{1}{2}(\alpha + \alpha) = \alpha$ olduğu görülür. Ötelemeyle $n \to \infty$ ulaşan, dağılım

fonksiyonudur.

Öte yandan, $\rho_n(x) = x$ ise, $\rho_{n-1}(x) = \frac{x}{2} + \frac{1}{4}$ elde ederiz. Başka bir ifadeyle, $Ux = \frac{1}{2}x + \frac{1}{4}$ dir. x fonksiyonu özgün bir fonksiyon değildir. U operatörü onu başka bir fonksiyona dönüştürür. Ancak U kolaylıkla kurabileceğimiz özgün fonksiyonları içinde bulundurur. Böylece, $U(x - 1/2) = 1/2\,(x - 1/2)$ dir. $x - 1/2$ fonksiyonu U operatörünün özgün fonksiyonudur ve $1/2$ özgün bir değerdir. Bernoulli fonksiyonunu n kere tekrarlarsak, $n \to \infty$ göre sıfıra yönelen $U^n(x - 1/2) = 1/2^n(x - 1/2)$ elde ederiz. Şu halde, zaman boyunca, $(x - 1/2)$ biçiminin ρ ya olan katkısı azaltılır. Gördüğümüz gibi sönümleme hızı, $1/2$ olan Lyapounov üssüne bağlıdır. $x - 1/2$ fonksiyonu "Bernoulli polinomları" olarak söylenen ve $B_m(x)$ şeklinde gösterilen bir polinomlar ailesine aittir. Bunlar U' nun özgün fonksiyonlarıdır ve polinom derecesi m olan, $1/2^m$ özgün değerlere sahiptirler[3]. Ardından,

ρ olasılığı Bernoulli polinomlarının bir çakışması gibi gösterildiğinde, farklı terimlerin azaldığı bir katkılar toplamı olur, sönümleme katsayıları $1/2^m$ olduğundan, bu öyle büyük bir hızla gerçekleşir ki, m derecesi daha yüksektir. Sonuç olarak, ρ bir sabite doğru yönelir: 1'e eşit olan yalnızca $B_0(x)$ katkısı varlığını sürdürür.

Şu halde, U Perron-Frobenius operatörünü, Bernoulli polinomları terimleriyle ifade etmemiz gerekir. Operatörün *spektral gösterimi* (izgesel gösterim) olarak adlandırılan şey budur. Burada kuruluşu, dinamik bir sistemin integraline denk düşer. Gerçekten, bu gösterim bir kez tanındığında, $U\rho$ yu özgün fonksiyon terimleriyle ifade etmek için onu kullanabiliriz, yani Perron-Frobenius operatörünün etkisini dağılım fonksiyonu üzerinde açıklarız.

Bununla birlikte, bunu gerçekleştirmeden önce, burada çok önemli olduğundan normal fonksiyonlar ve tekil fonksiyonlar arasındaki ayrımı yeniden belirtmeliyiz. Bu tekil fonksiyonlardan en basit olanı, $\delta(x)$ fonksiyonunu tekrar ele alalım. I. Bölümün III. kısmından itibaren, böyle bir fonksiyonun, normal bir fonksiyonla bağlantılı olarak kullanıldığını belirttik. Eğer $f(x)$, x, $\sin x$ ya da $\cos x$ gibi normal bir fonksiyon olan bir test fonksiyonuysa, $\int dx\, f(x)\, \delta(x - x_0)$ integrali, daha kesin bir anlamı olan $f(x_0)$ a eşit olur. Buna karşılık, örneğin $\int dx\, \delta(x - x_0)\, \delta(x - x_0)$ gibi iki tekil fonksiyonun bir ürününü kapsayacak integral, ıraksayacak ve anlamdan yoksun kalacaktır.

Oysa, determinist kaosu niteleyen dikkat çekici bir durum, daha yukarda gösterdiğimiz $B_m(x)$ Bernoulli polinomları kümesi, Perron-Frobenius operatörü özgün fonksiyonlar tek kümesi değildir. Birincisinin tersine, bunlardan bir ikincisi olan $\tilde{B}_m(x)$ normal fonksiyonlardan değil, fakat δ fonksiyonlarına bağlanan tekil fonksiyonlardan oluşturulmuştur. Oysa bir U spektral gösterimini ve şu halde $U\rho$ yu sağlamak için iki özgün fonksiyon kümesine gereksinim duyarız. Bu nedenle, *bireysel düzey ve istatistiksel düzey arasında eşdeğerlik bozulması* ortaya çıkar: Bernoulli uygulamasının istatistiksel oluşumu, görmüş olduğumuz gibi tekil δ fonksiyonlarına denk düşen bireysel yörüngelerle değil, yalnızca normal ρ dağılım fonksiyonlarıyla ilgili-

dir. U^{δ} ifadesi, ıraksayan ve anlamdan yoksun olan tekil fonksiyon ürünleri içerir. Buna karşılık, düzenli bir ρ dağılımı için, yörünge terimleriyle betimlemenin ötesine giden yeni sonuçlar elde ederiz. Böylece, Lyapounov üssüne bağlı, iyi belirlenmiş gevşeme (relaxation) zamanlarıyla sistemi dengeye götüren birinci tersinmez süreçlerin açık bir dinamik formülasyonuna ulaşırız. I. Bölümün III. kısmında daha önce belirttiğimiz gibi, bu sonucun yörünge terimleriyle yapılandan daha eksiksiz olması, faz uzayının kompleks mikroyapısının dağılım fonksiyonunda yer almasını ifade eder.

Özgün fonksiyonlar ve özgün değerler terimleriyle bir operatörün spektral gösterimini elde etmek, istatistiksel mekaniğin olduğu gibi kuantum mekaniğinin de temel problemidir. Her iki durumda da, spektral gösterim kurulabildiğinde, problem çözülmüştür (klasik dinamikte birleşme sorunu çözümlendiği gibi, sistem tekbiçimli bir yapı altında, etkileşimsiz bir parçacıklar sistemine göre gösterilebildiği zaman). Kuantum mekaniğinin geleneksel yorumunda, spektral gösterim yalnızca normal fonksiyonlardan itibaren kurulabilir. Tarihsel nedenler yüzünden, bu durumda, "Hilbert uzayında spektral gösterimler" den söz edilebilir. Kaotik uygulamalar içinde, normal fonksiyonlar olan $B_m(x)$, ve tekil fonksiyonlar olan $\tilde{B}_m(x)$ e aynı zamanda gereksinim duyduğumuza göre, Hilbert uzayından *çıkmamız* gerektiğini biraz önce gördük. O halde genelleştirilmiş ya da daha imgesel bir biçimde "tahrif edilmiş" Hilbert uzaylarından, (*rigged Hilbert spaces*) ya da Gelfand uzaylarından söz edilir[4].

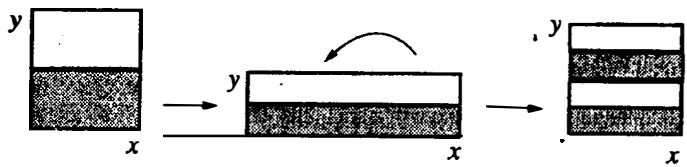
Perron-Frobenius operatörü için elde ettiğimiz spektral (izgesel) gösterim, tekil fonksiyonlara denk düşen yörüngelerle değil de, "normal" fonksiyonlara denk düşen olasılık dağılımlarına uygun olduğuna göre, indirgenmezdir. Spektral gösterim, sanki genelleştirilmiş bir Hilbert uzayındaki gibi varlığını sürdürür ve tekil fonksiyonlar içerir. Bunlar temel sonuçlardır, çünkü kararsız sistemler için özgün niteliktedir. Klasik dinamik (V. bölüm) ve kuantum mekaniği (VI. bölüm) genelleştirmemizde onları yeniden göreceğiz.

Genelleştirilmiş ya da tahrif edilmiş uzaylar için gerekli olan Hilbert uzayının genişlemesi, şu halde, temel bir sonuçtur. Bernoulli uygulaması matematiksel kolaylığı nedeniyle ilginç bir örnektir. V. ve VI. bölümde göreceğimiz gibi, klasik ve kuantum dinamiğiyle betimlenen daha gerçekçi sistemleri göz önüne aldığımızda çok kesin fiziksel nedenlerden dolayı Hilbert uzayını bırakmak zorundayız. I. bölümün III. kısmında bildirdiğimiz gibi, bu nedenler *bütüncül* (holiste), yani belirli olmayan bir betimleme gerektiren *sürekli etkileşimler* sorununa bağlıdır. Bireysel ve istatistiksel betimlemeler arasındaki eşdeğerlik, genelleştirilmiş Hilbert uzaylarına geçerken bozulur. Bu doğa yasalarının tersinmezliğe katıldığı zamandır. Ancak daha önce, Bernoulli uygulamasının tersine, tersinir hareket denklemlerine denk düşen özelliği dinamikle paylaşan, başka bir uygulama örneğine dönelim.

III

Bernoulli uygulaması, bir zaman göstergesini önceden hareket denklemine katar. Bu durumda, bizim zaman göstergesinin ortaya çıkışını izlememizi sağlayamaz. Onu izlemek için, en basit tersinir uygulama örneğine, fırıncı uyarlamasına döneceğiz. *Yeni Birleşme ve Zaman ve Sonsuzluk arasında*, adlı yapıtta fırıncı uygulaması ya da dönüşümü, kararsız dinamik sistem örneği olarak daha önce önemli bir rol oynuyordu. Burada bu sorunu bugün benimsediğimiz daha geniş bir açıdan yeniden ele alıyoruz. Fırıncı dönüşümü, Bernoulli uygulamasının bir genelleştirmesidir. Tek bir x değişkenini, $[0,1]$ aralığı içinde kabul etmek yerine, bir birim karede tanımlanmış iki değişkeni, x, y, göz önüne alacağız. Dönüşüm, kareyi dikdörtgene dönüştürmeye dayanır, sonradan bu dikdörtgen kareyi yeniden oluşturmak için ikiye ayrılır. Yatay x koordinatı boyunca, dönüşüm ilkesi Bernoulli uygulaması ilkesiyle aynıdır. x in genleşen bir koordinat olduğu söylenir, çünkü iki nokta arasındaki uzaklık (modulo 1) her dönüşümde ikiye katlanır. Tam tersine y koordinatı büzülmüştür: iki

nokta arasındaki uzaklık, her dönüşümde yarı yarıya azalır. Sonuç olarak, karenin yüzölçümü korunur.

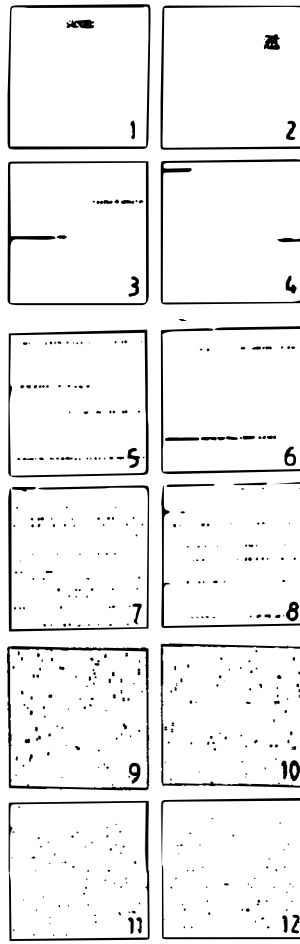


Şekil IV-1

Fırıncı dönüşümü.

Fırıncı dönüşümü tersine çevrilebilir. x (büzülmüş olan) ve y (genleşmiş olan) koordinatlarının rolünü değiştirmek yeterlidir. O zaman, kare artık dikdörtgene dönüşmez, ancak dikey olarak uzar. Ters bir dönüşüm, doğrudan bir dönüşümle, dönüştürülen karenin her noktasını başlangıç noktasına yeniden döndürtür. Şu halde dönüşüm zamana göre tersinirdir. Aynı zamanda deterministtir. n dönüşümlerinden sonra, uzayın her noktasının konumunu hesaplamayı sağlar.

Fırıncı uygulaması tıpkı Bernoulli uygulaması gibi, pozitif bir Lyapounov üssüyle belirlenen determinist bir kaos örneğidir. Bu, genleşen x koordinatını belirtir: her dönüşümde, iki nokta arasındaki uzaklık *2* ile çarpıldığından, n dönüşümlerinden sonra 2^n ile çarpılmış olacaktır. 2^n i, $e^{n\log 2}$ şeklinde yazabiliriz. n dönüşüm sayısı, zamanı ölçer ve Lyapounov üssü şu halde Bernoulli uygulamasındaki gibi $\log 2$ ye tam olarak eşittir. Ancak burada, negatif değerli – $\log 2$, büzülen y koordinatını belirleyen ikinci bir Lyapounov üssümüz bulunmaktadır.



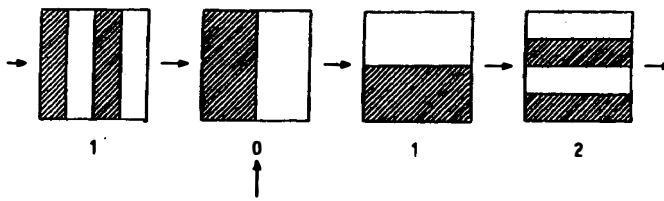
Şekil IV-2

Fırıncı dönüşümünün artan zamanlara göre (dönüşümler sayısı) sayısal simülasyonu.

Bernoulli uygulamasıyla yaptığımız gibi (şekil III-7), art arda oluşan öteleme etkisini incelemek ilginç olur. Şekil IV-2 de, küçük bir kare bölgesinde toplanmış noktalardan yola çıkarız. Lyapounov üssünün belirttiği genleşme etkisi açıkça görülür. Koordinatlar $[0,1]$ aralıkla sınırlandığından, noktalar yeniden katılmıştır, bu, en sonunda tüm kare üzerinde tekbiçimli bir dağılıma varır. Aynı zamanda, $\rho(x,y)$ olasılığından başlarsak, bunun, Bernoulli uygulamasında olduğu gibi hızlı bir şekilde sabit bir değere doğru değiştiğini sayısal simülasyonla doğrulayabiliriz.

İkili gösterim, burada yine, dönüşümün kaotik, kesin olmayan boyutunu, her noktanın koordinatlarını etkileyen *Bernoulli aykırılığını* (bkz. bu bölümün I. kısmı) belirtir. Bernoulli uygulamasında her noktanın koordinatının ikili gösterimde, u_0, u_{-1},u_{-2}, u_{-3}... olarak kaydettiğimiz bir *0* ya da *1* terimleri dizisine (rasyonel sayılar dışında sonsuz) denk düştüğünü gördük. Büzüşen koordinat, pozitif indislerle belirtilen u_1,u_2, u_3... diziyle gösterildiğinden, bu işaretlemeyi genleşen koordinat için koruyacağız. Bu gösterim şekli, bir noktanın, çift bir diziyle gösterilmesini sağlar: ... u_{-n}... u_{-1}, u_0, u_1,... u_n,...Böylece $x = 0{,}25$, $y = 0{,}25$ koordinatlarıyla tanımlanan nokta, yalnızca u_{-1} ve u_2 terimlerinin sıfırdan farklı olan çift bir diziyle gösterilecektir. O zaman, dönüşüm etkisi bu çift diziyi etkileyen bir aykırılık gibi görünür: bir dönüşümden sonra her ikili terim, kendisinden bir önce geçen soldakinin, $u'_n = u_{n-1}$ değerini alır. Şu halde, örneğimizdeki yeni nokta $x' = 0{,}5$ ve $y' = 0{,}125$ olarak, yani yalnızca u_0' ve u_3' terimlerinin sıfırdan farklı olduğu çift bir seriyle tanımlanır. Bir dizi dönüşümden sonra, genleşen koordinatı belirten terimlerin değerleri yavaş yavaş yükselir ve dönüşümden dönüşüme büzüşen koordinat dizisinin değerlerini belirtir. Bernoulli uygulaması durumunda olduğu gibi, ikili terimler dizisi, art arda gelen yazı tura oyununun sonucuna benzetilebilir ve örneğin, $u_1' = u_0$, $u_1'' = u_{-1}$, v.b. gibi, u_1 in kaderi bu şans oyununun değişken özelliğini taşır. Bu gösterimin, karenin her bölgesinin dönüşümlerle sürekli parçalara ayrılmasını çok iyi ortaya koyduğunu da belirtmek gerekir. Gerçekten de, u_0 teriminin değeri, noktanın, karenin sol tarafında $(u_0 = 0)$ ya da sağ tarafında $(u_0 = 1)$ olup olmayacağını,

yani bir sonraki dönüşümle (u_0 ın, u_1 in değerinde olacağı dönüşüm) karenin üst kısmına yeniden ekleneceğini ya da eklenmeyeceğini belirtir.



Şekil IV-3

"Anaçizgi partisyonu" olarak adlandırılandan başlandığında, art arda gelen fırıncı dönüşümleri, her zaman daha dar ve çok sayıda yatay şeritlere yol açar. Bir ters dönüşümler serisi, aynı partisyondan başlandığından, dikey şeritler oluşturacaktır.

Fırıncı dönüşümü, aynı zamanda dinamik sistemlerin önemli bir özelliği olan rekürans özelliğini paylaşır. Bir noktanın *(x, y)* koordinatları rasyonel sayılar olduğunda, bu nokta, sonlu ya da sonsuz ancak periyodik bir çift ikili diziyle belirtilir. Bu son durumda, noktalar belli bir zamandan sonra, sürekli olarak dönüşümlerin sırasını yineleyen çevrimsel bir davranış gösterecektir. Bu özellik, $\sqrt{2}$ ya da π gibi irrasyonel noktalara yayılır. Onu kavramak için, irrasyonel bir sayının ikili gösterimini göz önüne alalım: dizi, o halde, aperiyodik (periyodik olmayan) bir dizi meydana getiren bir terimler sonsuzluğuyla oluşturulur. Sayılar kuramı, irrasyonel sayıların bu gösterimde, terimlerin herhangi bir sınırlı sırasını içerdiğini göstermeyi sağlar. Böylece, noktanın konumunu 2^{-m} li bir yanlışla belirten u_0 konumunun çevresinde verilen bir $2m$ sırası, çoğunlukla dönüşüm ötelemesinin etkisi

altında çok küçük olarak yeniden ortaya çıkacaktır. İstenildiği kadar büyük (ancak sınırlı) seçilebildiği ölçüde *m*, bu, hangi başlangıç koşulu olursa olsun, sonsuz kere bir sayıyı karenin herhangi bir noktasından (kuşkusuz başlangıç noktası da dahil) istendiği kadar yakın geçen bir yörüngeye yol açtığı anlamına gelir. Başka bir deyişle, yörüngeler irrasyonel bir sayının başlangıç noktası olduğundan, faz uzayının tümünü baştan başa dolaşır. Bu, Poincaré'nin dinamikte oluşturduğu ünlü rekürans teoremidir. Zermelo'nun önerdiği bir argümandan sonra, bu rekürans uzun süre, tekdoğrultulu olası zamansal süreçlerin varlığına aykırı olarak kullanılmıştır. Şimdiden bu basit fırıncı dönüşümü örneği üzerinde onu çürütebiliriz.

Kısacası, fırıncı dönüşümüyle betimlenen dinamik *ters çevrilebilir, zamana oranla tersinir, determinist, tümevarımsal ve kaotik*tir. Şu halde, çok sayıda reel dinamik sistemleri belirleyen özellikler bunlar olduğu için bu özellikler çok ilginç bir model oluştururlar. Tersinirlik ve reküransa rağmen, karmaşıklık özelliğinin, göreceğimiz gibi, bozulmuş zamansal simetrinin tersinmez bir betimlemesine varmamızı sağlaması şaşırtıcıdır. Giriş niteliği taşıyan birkaç noktayı daha tanıtalım.

Dinamik betimleme, hareket yasalarını ve başlangıç koşullarını içerir. Burada, hareket yasaları basittir, ancak başlangıç koşulları kavramı daha derin bir analiz gerektirir. Bireysel bir yörüngenin başlangıç koşulu, $u_{-n},\ldots u_{-1}, u_0, u_1,\ldots u_n$ $(n = \infty)$ terimlerinin sonsuz bir kümesine denk düşer. Oysa, hiçbir zaman yalnızca sınırlı bir penceremiz olmamıştır. Bizim durumumuzda, bu yalnızca, nedensiz olarak büyük, ancak sınırlı u_i terimlerinin sınırlı bir sayısının değerini kontrol edebileceğimiz ya da hazırlayabileceğimiz anlamına gelir. $n = 3$ le sınırlandırıldığımızı varsayalım. O zaman, başlangıç koşulu $u_{-2}, u_{-1}, u_0, u_1, u_2, u_3$ (nokta, x ve y ye uygun düşen bir ayrılmayı anımsatır) ile gösterilir. Sonraki dönüşümde Bernoulli aykırılığı, bilinmeyen u_{-3} terimini içine alan noktanın $u_{-3}, u_{-1}, u_0, u_1, u_2$, çift dizi değerleriyle gösterileceğini kapsar. Daha genel bir biçimde, pozitif bir Lyapounov üssü nedeniyle, konumu s ötelemelerinden sonra bir N terimleri duyarlılı-

ğıyla belirtebilmek amacıyla bir $N + s$ terimlerinin duyarlılığıyla başlangıç konumunu tanımamız gerekir.

İstatistiksel mekanikte, bu türden bir duruma karşı koymanın geleneksel şekli, yaklaşımsal bir olasılık dağılımını *(coarse grained)* benimsemekti, yani bireysel noktalarla değil, ancak bölgelerle ilgiliydi. Bu, Paul ve Tatiana Ehrenfest tarafından önerilen çözümdür[5]. Ancak, bir kaotik dinamik durumunda, başlangıç zamanı ölçümüyle seçilemediğinden, başlangıçtan beri aynı bölgeye ait olan iki nokta, genleşen koordinatın etkisi altında sonunda ayırt edilir.

Fırıncı dönüşümü için dengeye yaklaşmanın neyi ifade ettiğini daha ayrıntılı bir biçimde incelemek uygun olur[6]. Bunun ters bir dönüşümü kabul etmesine karşın, her biri $t \to \infty$, ve $t \to -\infty$ olmak üzere birbirine uyan değişimler farklıdırlar. $t \to \infty$ için, git gide dar ve çok sayıda *yatay* şeritler elde ederiz bkz. şekil IV-3). Sınırda, *y koordinatında sürekli gözlemlenebilirlere bağlı olarak*, her kare üzerinde bir sabitle ρ nun yerini alabiliriz. Bu dengeye uygun düşer. Aynı şekilde, $t \to -\infty$ için git gide dar ve çok sayıda ve bu kez, dengeye uygun düşen ρ dağılımını tanımlayabildiğimiz *x koordinatında sürekli gözlemlenebilirlere bağlı olarak* dikey şeritler elde ederiz. Bu gözlemlenebilirler üzerindeki farklı koşullar biraz sonra açıklayacağımız sonucu bildirir: İstatistiksel düzeyde biri geleceğe, öteki geçmişe uygulanabilen indirgenmez iki spektral gösterim oluşturma olasılığı.

Görevimiz, hareket denklemlerinin içinde bulunan iki farklı zamansal değişikliği birbirinden ayırmaktan ibarettir. Bunun için, sorunun ilk oluşumunun ötesine gidilmelidir. Bu kaotik sistem için, istatistiksel düzeyde, sırasıyla geleceğimizde ($t \to \infty$ için) ve geçmişimizde ($t \to \infty$ için) denge yaklaşımına karşılık gelen iki farklı betimleme elde ettiğimizi göstermemiz gerekir. Bu noktada, bir seçim (seleksiyon) ilkesine başvurabiliriz. Geleceğimizde dengeye yaklaşmaya denk düşen birinciyi koruyup, ikinciyi bir yana atarız. Bu girişim, gerçek anlamıyla dinamiği aşar. Tersinmezliği belirten *evrenselliğin* göz önüne alınmasını içerir. Doğadaki bütün tersinmez süreçler, *aynı* bir zaman göstergeleri doğrultusuyla belirtilirler. Hepsi, *aynı*

zaman doğrultusunda entropi oluştururlar. Bu yüzden, yalnızca *bizim* geleceğimize erişmiş bir dengeye uygun düşen ($t \to \infty$ için) betimlemeyi koruyabiliriz. Klasik dinamik sistem sınıfları ve kararsız kuantumlar için aynı durumun ortaya çıktığını sonraki bölümlerde göstereceğiz. Bu seçim ilkesine başvurma gerekliliği, hareket denklemleri simetrisinin kaçınılmaz sonucudur. Burada, yeniden ele alacağımız dağılımın bir yönüne, evrensel niteliğine rastlarız, bu bizi, evrensellik ve kozmolojik problem (bkz. VIII. bölüm) arasındaki bağıntı sorusunu sormaya götürür.

Şimdi, fırıncı dönüşümünün istatistiksel düzeyini daha ayrıntılı biçimde betimleyelim. Bu uygulamaya denk düşen dinamik, zamana oranla tersinir olduğuna göre, bununla birlikte istatistiksel düzeyde tersinmez süreçler ortaya çıktığından dolayı, burada zaman çelişkisiyle karşı karşıya oluruz (bkz. I. bölüm).

Bernoulli uygulamasında olduğu gibi, burada $\rho_{n+1}(x,y) = U\rho_n(x,y)$ ile tanımlanmış U Perron-Frobenius operatörünü eklememiz gerekir. Genel bir teorem[7], ters bir dönüşüm kabul eden dinamik sistemler için, yalnızca normal fonksiyonları kapsayan bir spektral gösterimin bulunduğunu açıklar. Şu halde bu gösterim Hilbert uzayında tanımlanmıştır. Böyle bir gösterim fırıncı uygulaması[8] için kabul edilir, ancak bizim için bir önem taşımaz. Yörüngelere oranla hiçbir yeni bilgi, hiçbir sönümleme terimi (özgün değerler modulo 1 dir) içermez. Şu halde, dengeye yaklaşma konusunda hiçbir bilgi vermez. Yörünge terimleriyle betimlemenin sınırında, $\delta(x - x_{n+1})\,\delta(y - y_{n+1}) = U\,\delta(x - x_n)\,\delta(y - y_n)$ çözümüne indirgenir.

Ek bilgi elde etmek için, Bernoulli uygulaması için yaptığımız gibi, Hilbert uzayından çıkmamız gerekir. Genelleştirilmiş uzaylarda spektral gösterimin sağlanması yenidir[9]. Özgün değerler, Bernoulli uygulaması için de aynıdır: $1/2^m$. Özgün fonksiyonlar, tekil fonksiyonlardır (Bernoulli uygulamasının $\tilde{B}_m(x)$ leriyle aynı tipten). O halde bu gösterimler, yeniden *indigenmez*dir ve yalnızca uygun *test fonksiyonlarında* yer alırlar. Bir kez daha, bu, normal ve sürekli fonksiyonlarla sınırlı kalmamız gerektiği anlamına gelir. Tekil δ fonksiyonlarına

karşılık gelen bireysel yörüngeler dışarda bırakılırlar. Bireysel ve istatistiksel betimlemeler arasındaki eşdeğerlik yeniden bozulmuştur. Yalnızca istatistiksel betimleme dengeye doğru yaklaşmayı içerir.

Bernoulli uygulamasına oranla yeni önemli bir unsur vardır. Fırıncı uygulaması durumunda, Perron-Frobenius operatörünün $\rho_{n-1} = U_{-1}\rho n$ ile bir tersi U^{-1}, vardır. Hilbert uzayı çerçevesinde, bu farklılık göstermez, çünkü i ve j (pozitif işaret geleceği, negatif ise geçmişi karşılar) işaretleri ne olursa olsun $U^{i+j} = U^i\ U^j$ dır. Hilbert uzayı *dinamik bir gruba* götürür. Buna karşılık, indirgenmez spektral gösterimler için, geçmiş ve gelecek arasında temel bir ayrım bulunur. U^l nin özgün değerleri $(1/2^m)^l = e^{-lm\log 2}$ şeklindedir. Bu ifade gelecekte bir sönümlemeyi ($l > 0$) karşılar, ancak geçmiş ($l < 0$) için ıraksar. Şimdi, biri geleceğe öteki geçmişe denk düşen iki ayrı spektral gösterim vardır. Yörünge terimleriyle olan betimlemede (ve Hilbert uzayında) tanıtılan iki zaman doğrultusu, şimdi ayrıdır. Genelleştirilmiş uzaylarda dinamik grup, iki *yarı-gruba* bölünür. Daha önce de belirttiğimiz gibi, yarı-grubu dengenin eriştiği *bizim* geleceğimiz içinden seçmemiz gerekirse.

Sonuçlarımızı özetleyelim. Yörüngeleri incelediğimiz sürece, "kaos yasaları"ndan söz etmek çelişkili gibi geliyor. O zaman, kaosun, yörüngelerin üstel ıraksaması gibi *negatif* yönlerini betimleriz. Olasılıkçı betimlemeye geçtiğimizde durum kökten bir biçimde değişir: istenilen uzunlukta zamanlar için geçerliliğini korur. Şu halde, *dinamik yasaları, kaotik sistemlerle ilgili olduklarında olasılıkçı terimlerle oluşturulmalıdır.* Ancak bunu yapmak için, yalnızca "normal"fonksiyonlar için tanımlanan alışılmış Hilbert uzayını bırakmamız gerekir. Tersinmez süreçleri dinamik betimlemeye katmamızı sağlayan bu yayılmadır. Biraz önce incelediğimiz basit örneklerde, tersinmezlik yalnızca pozitif Lyapounov üssüne bağlıdır, ancak bu görüşler, ısı yayılımı (difüzyon) ve diğer iletim süreçleri gibi başka tersinmez süreçleri oluşturan daha genel uygulamalara son yıllarda yayılmıştır[10].

IV

Daha önce I. bölümde söylediğimiz gibi, determinist kaosa uygulanan istatistiksel betimlemenin başarısı, faz uzayının kompleks mikroyapısını hesaba katmasından ileri gelir. Bu uzayın her sınırlı bölgesinde üstel bir şekilde ıraksayan yörüngeler bulunur. Lyapounov üssünün tanımlaması bile, yakın yörüngelerin *karşılaştırmasını* içerir.

Bu bölümde betimlenen sonuçlar, küçük bir serbestlik derecesi sayısıyla belirlenen sistemlerle ilgili olduklarında önemlidir. Şu halde, bu sonuçlar, tersinmezliğin *bizim* ekleyeceğimiz yaklaşımlardan ileri gelmesine uygun olarak, insanmerkezli yorumların çürütülmesini sağlar. Boltzmann'ın yenilgisinden sonra ortaya çıkan bu açıklamalar, ne yazık ki bugün hâlâ yayılmaktadır. Başlangıç koşulları sınırsız bir duyarlılıkla tanınırsa, yörünge terimleriyle betimlemenin geçerli kalacağı doğrudur. Ancak bu, hiçbir gerçekçi durumu karşılamaz. Bilgisayarda ya da başka bir sanal biçimde gerçekleştireceğimiz her deneyde, sınırlı bir duyarlılıkla verilmiş başlangıç koşullarının bulunduğu ve zamansal simetrinin bozulmasına yol açan durumları elimizde bulundururuz. İlke olarak, sonsuz hızların sanal olduğu ve bu yüzden boşluktaki ışığın hızı gibi, maksimal bir hızın varlığına dayalı göreliliğe gereksinim duymuyor olmamızı savunabileceğiz. Ancak ışığınkinden üstün bir hızın varoluşu, bugün bilinen hiçbir duruma uygun düşmez.

Gerçekte zaman, kesik kesik aralıklara göre değil de sürekli bir biçimde ilerlediğine göre incelediğimiz uygulamalardan ikisi, idealize edilmiş durumlara uygun düşer. Şimdi bu daha gerçekçi durumlara yöneleceğiz. Burada, Poincaré'nin integrali alınamaz sistemlerinin önemi büyük olacaktır. Bu durumda, bireysel betimleme ve istatistiksel betimleme arasındaki kopukluk daha ilginçtir. Göreceğimiz gibi, bilgisi ne kadar sınırlı ya da sınırsız olursa olsun, böyle sistemler için Laplace Şeytanı etkisiz kalır. Gelecek artık verilmez ve şair Paul Valéry'nin onu belirttiği gibi, bir "yapı" durumuna gelir.

---

[1]. Bkz. III. bölümdeki referanslar, aynı zamanda P. Collet ve J. Eckman *Iterated Maps on the Interval as Dynamical Systems*, Boston, Birckhäuser, 1980 ve P. Shields, *The Theory of Bernoulli Shifts*, Chicago, University of Chicago Press, 1973.

[2]. P. Duhem, *La` théorie physique. Son objet. Sa structure*, III. bölümün bütün ikinci kısmı Vrin'de yeniden yayımlanmıştır, Paris, 1981.
[3].Bkz. III. bölüm, 6. dipnot, Hasegawa, Tasaki, Gaspard, Antoniou *ve öte.* makaleleri .
[4].Örneğin bkz. F. Riesz ve B. Sz-Nagy, *Functional Analysis*, repub. Dover, 1991.
[5]. III. bölüm, 2. dipnotta adı geçen referans.
[6]. Bkz. III. bölüm, 6. dipnot, Hasegawa, Tasaki, Gaspard, Antoniou *ve öte.* makaleleri .
[7]. Bkz. Riesz ve Sz-Nagy, *op.cit.* .
[8]. Bkz. V. Arnold ve A. Avez, *Ergodic Problems of Classical Mechanics*, New York, Benjamin, 1968.
[9]. Bkz. III. bölüm, 6. dipnotta adı geçen, Hasegawa, Tasaki, Gaspard, Antoniou *ve öte.* makaleleri.
[10]. Bkz. P. Gaspard, *Physics Letters A*, CLXVIII, 1998, s.13, H. Hasegawa ve D. Driebe, *Physics Letters A* , 1992, s.18; H. Hasegawa ve Luchei, *Physics Letters A*, 1994, s.193.

5

Newton Yasalarının Ötesinde

I

İşte burada sorunun temeline ulaşırız. Zamana oranla deterministik ve tersinir yasalarla yönetilen bir doğa anlayışımızı oluşturan bilim olan klasik mekanikte, kararsızlığın rolü nedir? Önceki bölümde, basitleştirilmiş modelleri inceledik. Şimdi, üç yüzyıldan bu yana kuramsal fiziği etkisi altına alan Newton yasalarından yola çıkıyoruz.

Atomlar ya da temel parçacıklar söz konusu olduğunda kuantum mekaniğinin, klasik mekanik geçerliliğinde olan sınırlar içerdiği doğrudur. Görelilik, yüksek enerji olgularına ve özellikle kozmolojiye denk düşen olguları betimlemek için klasik mekaniğin de değiştirilmesi gerektiğini belirtir. Ancak durum ne olursa olsun, hem bireysel bir betimleme (yörünge, dalga ya da alan fonksiyonları terimleriyle) ve

hem de istatistiksel bir betimleme bulunmaktadır. Ve bütün düzeylerde, kararsızlık ve integrali alınamazlık, bu iki betimleme arasındaki eşdeğerliği bozar. Fizik yasalarının formülasyonü, insanların yaşadığı bu açık, gelişmekte olan tüm dünyayla uyumlu olarak her düzeyde değiştirilmelidir.

Bu bölümde klasik mekaniğe ağırlık vereceğiz. Birinci bölümden bu yana söylediğimiz gibi, kararsızlık ve integrali alınamazlığın, yerlerinin bir entropi yaratımına bağlı tersinmez süreçlere bırakılmasını sağladığını göreceğiz. İntegrali alınabilir sistemlerin bir istisna olduğunu da anımsayalım. Dinamik sistemlerin çoğunun, özellikle üç cisimli sistemlerin integrali alınamaz. II. Bölümde tanımlayacağımız, *Poincaré'nin büyük sistemleri* olan (PBS), integrali alınabilir sistemlerin önemli bir sınıfı için, birleşme engeli aşılabilir ve bunu sağlayan işlem tersinmezliği dinamiğe katar. Önceki iki bölümde incelenen kaotik uygulamalar durumunda olduğu gibi, temel nokta, PBS'nin yörünge ve istatistiksel küme terimleriyle olan iki betimleme arasındaki eşdeğerliği bozmasıdır. Önemli bir biçimde yalnızca istatistiksel düzeydeki dinamik denklemlere katılabilen öğeler olan Newtoncu olmayan öğeler ortaya çıkar. Bu durumda, zamansal bir simetri bozukluğuyla belirtilen indirgenmez olasılıkçı bir betimleme elde ederiz. Dinamiğin tersinir zamanı ve termodinamiğin yönlendirilmiş zamanı arasındaki çatışma, dıştan gelen öğelerin, yaklaşımların ya da denklemlere eklenen *ad hoc* (uygun) terimlerin katkısı olmaksızın, böylece dinamiğin içinde çözümlenmiş olur. İstatistiksel betimleme, tersinmez süreçleri ve entropi artışını kullanır, ancak bu betimlemenin bizim bilgisizliğimizle ya da herhangi bir insanmerkezli özellikle hiçbir ilgisi yoktur. Dinamik süreçlerin doğasına bağlıdır.

Geriye dönük olarak, yörünge terimleriyle olan betimlemeyi bırakmak zorunda olmamız şaşırtıcı değildir. I. Bölümde görmüş olduğumuz gibi, integrali alınamazlığın nedeni rezonanslardır. Oysa, rezonanslar, frekanslar tarafından karşılanması gereken koşulları ifade ederler: uzayın belirli bir noktasında ve belirli bir anında ortaya çıkan yerel olaylar değildir. Şu halde, yerel bir uzay-zaman betimlemesine uygun düşen yörünge kavramına yabancı bir öğeyi kullanır. Yörünge

kavramının kullanılmamasının geçmişle bir kopukluk oluşturduğunu çok iyi biliyorum. Yörüngeler her zaman temel nesneler olarak kabul edilmiştir. Bu, artık burada geçerli değildir. Bazen dalga fonksiyonlarının "yok olması"ndan ("*collapse*"sından) söz edildiği gibi yörüngelerin yok olduğu durumları bile göreceğiz. Bu yok olma, yörüngelerin Newton yasası gibi artık determinist yasalara bağlı nesneler olmadığı anlamına gelir. Brown hareketinde olduğu gibi olasılıkçı, rastlantısal nesneler olurlar.

Whitehead, Bergson ya da Popper (bkz. I. bölüm) tarafından savunulan belirlenmezcilik, bundan böyle fizikte kendini kabul ettirmiştir. Ancak tüm insan davranışını aldatıcı kılan öngörü yokluğuyla karıştırılmamalıdır. Söz konusu olan önceden kestirilebilirliğin sınırıdır. Ona yeniden döneceğiz. Ne olursa olsun, belirlenmezcilik burada metafiziksel bir seçimi ifade etmez, kararsız dinamik sistemlerin gerektirdiği istatistiksel betimlemenin sonucudur. Üstelik, kuantum mekaniğini olduğu gibi klasik mekaniği de etkiler. Kuantum mekaniğin temelleri üzerine olan tartışmaların sürdüğünü I. bölümde gördük. Çok sayıda yazar, son otuz kırk yıl boyunca, kuantum mekaniğinin yeniden formülleştirilmesini (reformülasyon) ya da genişlemesini önermiştir. Buna karşılık, klasik mekaniğin bir genişlemesini gerçekleştirme olayı beklenmez. Ve, bu genişlemenin, kuantum mekaniğinin güçlükleri aşmasını sağlayabilecek genişlemesini gerçekleştirmemizde bize yol gösterebilecek şekilde olması da artık söz konusu değildir. Ancak, önce yörünge terimleriyle klasik mekaniğin geleneksel formülasyonuna dönelim.

II

Noktasal (ponktüel) bir m kütlesi hareketinden başlayalım. Yörüngesi, $r(t)$ konumuyla, zaman fonksiyonu $v(t) = dr/dt$ hızıyla ve $a(t) = dv/dt = d^2r/dt^2$ ivmesiyle betimlenir. Temel Newton denkle-

mi, ivmeyi $F = ma$ denklemiyle F kuvvetine bağlar. Kuvvet yoksa ivme de yoktur ve hız sabit kalır. Bu klasik eylemsizlik ilkesidir. Sabit göreli hızlarla hareket eden gözlemciler için Newton denklemi değişmez kalır. Bu, VIII. bölümde göreceğimiz gibi Galile değişmezlik ilkesidir. Kuvvetin zamana oranla ikinci bir türevde yörünge değişimini belirttiği ölçüde, Newton yasası zamana oranla tersinirdir, çünkü gelecek/geçmiş $(t \rightarrow -t)$ terselmesine oranla değişmezdir.

Şimdi N noktasal kütlelerinden oluşmuş bir sistemin genel durumunu inceleyelim. Şu halde, 3 boyutlu uzayda $3N$ koordinatları, $q_1 \ldots$, q_{3N} ve birbirine uyan v_1 ve v_{3N} hızlarına sahibiz. Dinamiğin çağdaş oluşturumlarında koordinatlar ve hızlar (ya da $p = mv$ ile $p_1, \ldots, p_{3N}$, anları) bağımsız değişkenler olarak tanımlanır. Belirli bir anda verilen dinamik bir sistemin hali $6N$ boyutlu faz uzayında bir noktayla ve hareketi bu uzayda bir yörüngeyle birleşebilir. Koordinatlar ve anlar bağımsız değişkenler olarak tanımlandığında, klasik mekanikteki merkezi büyüklük $H(p,q)$ hamiltoniyendir (buraya kadar yapmış olduğumuz gibi, $3N$ koordinatlarını q ile, ve $3N$ anlarını p ile göstereceğiz). hamiltoniyen, q ve p değişkenleri terimleriyle ifade edilen sistemin enerjisidir. Örneğin, tek ve serbest bir parçacık için H yalnızca zamana bağlıdır, o halde $p^2/2m$'e eşittir. Daha genel olarak, H, yalnızca zamanlara bağlı $E_{cin}(p)$ kinetik enerji ve yalnızca $V(q)$ koordinatlarına bağlı potansiyel enerji toplamıdır.

$H(p,q)$ hamiltoniyen bir kez elde edildikten sonra, zaman boyunca koordinatların ve anların değişimini gösteren hareket denklemlerini yazabiliriz. Herhangi bir mekanik el kitabının da açıkladığı şey budur. Hamiltoniyenden türeyen bu hareket denklemleri *kanonik* hareket denklemleri olarak adlandırılır.

Tek, serbest parçacık örneğini yeniden ele alalım. Koordinat zaman boyunca doğrusal (lineer) olarak değişirken $q = q_0 + p/mt$, kanonik hareket denklemleri, p momentumunun sabit kaldığını doğrulamayı sağlar. I. Bölümde gördüğümüz gibi, integrali alınabilir dinamik sistemler, tanım olarak, birbirleriyle etkileşimsiz serbest bir parçacık kümesinin şekline oranla, *kanonik* hareket denklemleri tekbi-

çimli bir şekil alabilirler. Poincaré, $H = H_0(p) + \lambda V(q)$ hamiltoniyen biçimini göz önüne alarak integrali alınabilir dinamik sistemler sorununu ortaya çıkarmıştır. Başka bir deyişle, etkileşimlerden doğan potansiyel bir enerjinin $V(q)$ eklendiği , H_0 "serbest" hamiltoniyenle betimlenen dinamik sistemleri (yani koordinatlardan bağımsız) göz önüne alırız. İncelenen sistemi, integrali alınabilen H_0 referans sisteminden ayıran bu potansiyel enerjidir. Poincaré, sistemlerinin çoğunun integrali alınamaz olduklarını göstermiştir, yani etkileşimler, değişkenlerin tam bir değişimiyle seçilemezler. Şu halde, H hamiltoniyenin yerini serbest bir hamiltoniyenle değiştiremeyiz. Konunun devamıyla bağlantılı olarak, "etkileşimsiz" bir sistemden söz ettiğimizde integrali alınabilir bir sistemi göstereceğiz. Kuplaj sabiti olarak adlandırılan λ faktörü, etkileşimlerin önemini ölçen bir ölçüm faktörüdür. Hareket denklemlerinin çözümlerini yalnızca çok az dinamik sistemlere göre tanırız (özellikle integrali alınabilir sistemler). Genellikle, örneğin λ kuplajının katsayısı kuvvetinde çözüm geliştirmek için düzensizlik yöntemlerine başvurmamız gerekir. Zorlukların ortaya çıktığı nokta burasıdır, çünkü serbestlik dereceleri arasındaki rezonanslardan sonra pertürbasyon hesabında ıraksaklıklar belirir.

Bu kitapta, özellikle, Poincaré'ye göre integrali alınamaz sistemlerin özel bir sınıfı, *Poincaré büyük sistemleri* (PBS) üzerinde duracağız. Dediğimiz gibi, rezonanslar farklı hareket biçimlerine bağlı frekanslar içerirler. Oysa ω_k frekansı, k dalgası boyunda bağlıdır. Işık örneğini alın: Ultraviyole ışığının daha yüksek bir frekansı vardır ve bir dalga boyu, kızılötesi ışığından daha kısadır. Frekansı, dalga boyu ile *kesintisiz bir biçimde* değişen integrali alınamaz sistemleri göz önüne alalım. Bu PBS lerin tanımıdır. Sistemin yer aldığı V hacmi sınır etkilerinin hesaba katılamayacağı kadar yeterli büyüklükteyse, bu koşul yerine getirilmiştir. Bu yüzden, Poincaré *büyük* sistemlerinden söz edilir.

Basit bir örnek olarak bir alana bağlı bir ω_l frekans salıngaçı (osilatör) arasındaki etkileşim örneğini ele alalım. Radyo ve televizyon çağında, hepimiz elektromanyetik dalgalardan söz edildiğini duyduk. Bu dalgaların genliği bir $\varphi(x,t)$ koordinatlar ve zaman fonksiyo-

nunun betimlediği bir alanla belirtilir. Bu yüzyılın başından beri bir alanın, dalga boyu sistemin boyundan temel parçacıkların alanlarına kadar giden ω_k frekans titreşimlerinin (osilasyon) bir çakışması (süperpozisyon) olarak betimlenebildiğini biliyoruz. İnceleyeceğimiz salıngaç-alan etkileşiminde, bir ω_k alan frekansının, salıngaçın ω_l frekansına eşit olduğu her durumda rezonanslar oluşur. Alanla etkileşim içinde olan salıngaçın hareket denklemlerini çözmeye çalıştığımızda, $\omega_l = \omega_k$ olduğu zaman ıraksayan $1/(\omega_l - \omega_k)$ biçiminin paydalarını buluruz. O zaman soru şudur: İstatistiksel düzeye geçtiğimiz zaman bu ıraksaklıkları eleyebilir miyiz?

Poincaré rezonansları bir kaos şekline yol açar. Gerçekten, sayısal simülasyonlar, determinist kaosun durumunda olduğu gibi bu rezonansların sabit olmayan yörüngelerin ortaya çıkmasına yol açtığını gösterir. Yöntemimiz Poincaré'ye göre integrali alınamazlık ve determinist kaos arasında var olan sınırlı analojiyi doğrular.

III

Daha önceki bölümlerde yaptığımız gibi, $\rho\ (q, p, t)$ bir olasılık dağılımını kullanacağız. Zaman içindeki evrimi, kanonik hareket denklemlerinden ileri gelir. Şu halde, IV. bölümde bir uygulama denklemlerinden istatistiksel bir betimlemeye denk düşen Perron-Frobenius operatörüne geçtiğimizde olduğu gibi aynı durumdayız. Burada evrim operatörü L Liouville operatörü adıyla belirtilir. ρ olasılıkları evrim denklemi, o halde $i\ \partial\rho/\partial t$ şeklinde yazılır. P zamanı boyunca değişim, L operatörünün ρ üzerindeki eylemiyle sağlanır. Liouville operatörünün açık şekli bu aşamada gerekli değildir. Buna karşılık, olasılık dağılımının zamandan bağımsız olup olmadığını $\partial\rho/\partial t = 0$ belirtmek gerekir, $L\ \rho = 0$ da olacaktır. Bu, termodinamik dengede gerçekleşen durumdur. Bu durumda, daha önce III. bölümün I. kısmında söyledi-

ğimiz gibi olasılık dağılımı yalnızca, bir hareket değişmezi olan enerjiye (ya da hamiltoniyene) bağlıdır.

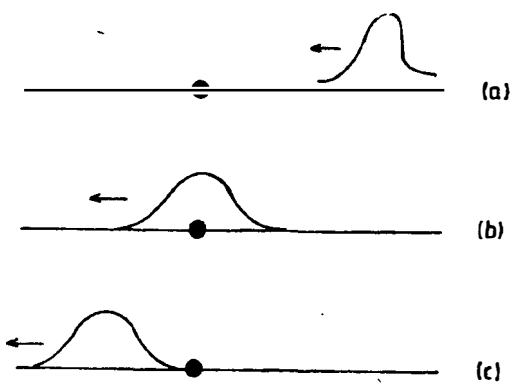
Problemlerin istatistiksel düzeyde çözümü, L nin spektral (izgesel) gösteriminin kuruluşunu gerektirir. Bu, IV. bölümde kaotik sistemler için gösterdiğimiz probleme benzer bir problemdir. L nin özgün fonksiyonlarını ve özgün değerlerini belirtmek söz konusudur. Spektral gösterimin, geleneksel olarak normal fonksiyonlar uzayı, Hilbert uzayı olan fonksiyon uzayına bağlı olduğunu gördük. Oysa, bütün el kitaplarında geçen temel bir teorem, L operatörünün yalnızca özgün değerler için Hilbert uzayında l_n reel sayıları olduğunu açıklar. Bu, "hermisyenler" olarak adlandırılan operatörler sınıfına ait olan operatörden ileri gelir. Bu durumda, olasılık dağılımı zamanındaki evrim, bir periyodik terimler çakışması (süperpozisyonu) olur. Liouville denkleminin biçimsel çözümü $\rho(t) = exp\ (-\ iLt)\ \rho_0$ dır. Her l_n özgün değerine salınan bir $exp(-\ il_n\ t) = \cos\ (l_n\ t) - i\ sin(l_n\ t)$ terimi uygun düşer. Gelecek ve geçmiş aynı rolü oynarlar. Tersinmezliği içeri almak için $l_n = \omega_n - i\ \gamma_n$ kompleks değerlere gereksinim duyduğumuz açıktır. Gerçekten bu, geçmişte $(t < 0)$ genişletildikleri halde, gelecekte $(t > 0)$ yavaş yavaş kaybolan katkılar olan olasılık dağılımının zamansal evrimli üstel katkılarına $exp(-\gamma_n\ t)$ yol açar. O halde zaman simetrisi bozulmuştur.

Ancak, Hilbert uzayından ayrılırsak bu olanaksızdır. Hilbert uzayını oluşturan "normal" fonksiyonları hangi fizik nedenlerle bırakmamız ve genelleştirilmiş ya da tekil fonksiyonları almamız gerektiğini anlamak söz konusu olacaktır. Göreceğimiz gibi, bu gereklilik, dünyamızın *sürekli* etkileşimler göstermesinden ileri gelir[1]. Böylece, atmosferdeki moleküller sürekli olarak çarpışma halindedir. Oysa, bu sürekli çarpışma sürecini, boşlukta yalnızca birkaç molekül olduğunu göz önünde bulundurmaya dayanan bir idealizasyondan itibaren anlayabiliriz. Böyle bir idealizasyon *geçici* etkileşimlere denk düşecektir. Şu halde, sürekli ve geçici etkileşimler arasındaki ayrım, tersinir yörüngeler dinamiğinden termodinamiğe geçişte çok büyük bir önem kazanır. Ancak etkileşimlerin sürekli olduğu bir ortama katılan parçacıkları incelediğimizde tersinmezlik bir anlam kazanırken klasik me-

kanik, izole hareketleri inceler. Şimdi ayrımı belirtecek ve bizi Hilbert uzayından ayrılmaya zorlayan tekil olasılık dağılımlarına neden yol açtığını göstereceğiz

IV

Sürekli ve geçici etkileşimler arasındaki ayrım, *belirli* ve *belirli olmayan* olasılık dağılımları arasında bir ayrım gerektirir. Basit bir örneği, tek boyutlu bir sistem örneğini inceleyelim.



Şekil V-1

Isı yayılımının (difüzyonun) üç aşaması (*saçılma*): (a) Demet hedefe yaklaşır; (b) demet hedefle karşılıklı etkileşir; (c) demet yeniden serbest hareket halinde uzaklaşır.

x koordinatı, $-\infty$ dan başlayarak $+\infty$ a kadar yayılır. Belirli dağılım fonksiyonları sınırlı bir doğru parçası üzerinde yoğunlaşırlar.

Yörünge, belirli dağılım fonksiyonunun özel bir durumudur, dağılım fonksiyonunun tek bir noktada belirlendiği ve zaman boyunca yer değiştirdiği özel bir hâlidir. Buna karşılık, belirli olmayan dağılım fonksiyonu bütün doğru üzerinde yayılır. Bu iki fonksiyon sınıfı, farklı durumlara dayanır. Örneğin, difüzyonu (ya da Fransızca'da en sık kullanılan Anglo-sakson bir terim olan *saçılma*) ele alalım. Bilinen *saçılma* deneylerinde, bir engele, hedefe doğru yöneltilen bir parçacık demeti hazırlanır. O halde, şekil V-1'de gösterildiği gibi üç aşamamız vardır. İlk önce, demet hedefe yaklaşır. Sonra hedefle etkileşir. En sonunda, parçacıkları serbest hareket halinde görünürler. Önemli olan nokta, etkileşim sürecinin *geçici* olmasıdır. Buna karşılık, *saçılmanın* başlangıcı ya da sonu yoksa (*sürekli* etkileşim), bütün x ekseni üzerinde yayılan belirli olmayan bir dağılımı kullanmamız gerekir.

Geçici *saçılma* deneyleri fizik tarihinde önemli bir rol oynamıştır: temel parçacıklar arasındaki, örneğin proton ve elektron arasındaki etkileşimleri incelemeyi sağlarlar. Bununla birlikte, fiziksel durumların çoğunda ve özellikle gazlar ve sıvılar gibi makroskopik sistemlerde, çarpışmalar hiç kesilmediği için sürekli etkileşimler vardır. Çok önemli nokta da, sürekli etkileşimler betimlemesinin yörünge etkileşimleri betimlemesiyle karıştırılmamasıdır, çünkü birincisi belirli olasılık dağılımlarına ve ikincisi belirli olmayan dağılımlara bağlıdır.

Termodinamik sistemlerin hepsi sürekli etkileşimlerle belirtilirler ve belirli olmayan dağılımlar tarafından betimlenmesi gerekir. Bunu yapmak için, çoğunlukla *termodinamik sınıra* başvurulur. N/V ilişkisi sabit kalırken N parçacık sayısı ve V hacminin arttığını ifade eder. Biçimsel olarak, $N \to \infty$, $V \to \infty$ sınırları göz önüne alınır. Kuşkusuz, parçacık sayısının sonsuz olacağı sistem hatta evren yoktur. Sınıra geçiş, yalnızca $1/N$ ya da $1/V$ terimleriyle betimlenen sınır etkilerinin önemsenmeyebileceği anlamına gelir. Bu termodinamik sınır, bütün makroskopik fizikte temel bir rol oynar. Bu sınır olmadan, maddenin kesin olarak belirlenmiş halleri olan, gaz, sıvı ve katı halleri ne de bu haller arasındaki faz geçişleri gerçekleşemez. II. Bölümde

önemini anımsattığımız yakın ve dengeden uzak rejimler arasında artık ayrım yapılamaz.

Şimdi, belirli olmayan dağılım fonksiyonlarının kullanımının bizi-niçin normal fonksiyonlar sınıfını, Hilbert uzayını bırakmaya zorladı-ğını açıklayalım. Bunun yapılması için, birkaç temel matematik ka-ramını kullanmamız gerekir. Bunun $sin 2\pi/\lambda$ tipinde periyodik bir fonksiyon olduğunu herkez bilir. x koordinatına λ dalga boyunu ekle-sek $(sin 2\pi x/\lambda = sin 2\pi (x + \lambda)/\lambda)$, bu fonksiyon değişmeden kalır. $cos 2\pi x/\lambda$ ya da $e^{i2\pi x/\lambda} = cos 2\pi x/\lambda + i\ sin 2\pi x/\lambda$ gibi diğer periyodik fonksiyonlar da bulunmaktadır. λ dalga boyu yerine, çoğunlukla $k = 2\pi/\lambda$ dalga vektörü kullanılır. $e^{i2\pi x/\lambda} = e^{ikx}$ ile betimlenen dalga düzlem-sel dalgadır. Oysa, Fourier serileri kuramı (ya da Fourier integralleri) bir x koordinatı fonksiyonunun, örneğin $f(x)$, k dalga vektörlerine denk düşen periyodik fonksiyonların çakışması (süperpozisyon) gibi, özel-likle e^{ikx} düzlemsel dalgaların bir çakışması gibi yazılabilir. Bu ça-kışmada, her düzlemsel dalga, k in bir fonksiyonu olan bir $\varphi(k)$ gen-liğiyle çarpılır. Bu $\varphi(k)$ fonksiyonu, $f(x)$ Fourier'nin dönüşümü olarak adlandırılır.

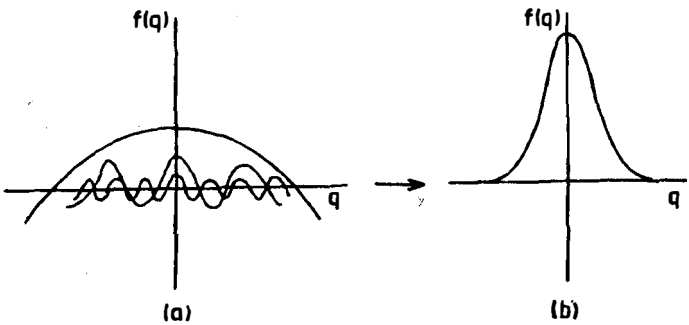
Biraz önce betimlediğimiz, değişkenin x koordinatı olduğu $f(x)$ fonksiyonundan, değişkenin k dalga vektörü olduğu $\varphi(k)$ terimleriyle olan bir betimlemeye geçiş işlemidir. Kuşkusuz, ters dönüşüm de olanaklıdır. Önemli olan, $f(x)$ ve $\varphi(k)$ arasında bir çeşit *ikiliğin* olma-sıdır. Eğer $f(x)$, Δx aralığı üzerinde yayılıp, bu aralığın dışında yok olursa, $\varphi(k)$, $\Delta k \simeq 1/\Delta x$ spektral aralık üzerinde yayılır. Δx uzaysal aralığı genişlediğinde, karşılıklı olarak Δk spektral aralığı azalır.

$\Delta x = 0$ kapsayan tek $x = 0$ noktasında belirlenen $\delta(x)$ tekil fonksi-yonunun özel durumunda, Δk spektral aralığı sonsuzdur. Buna karşılık $\Delta x \rightarrow \infty$ olduğu, belirli olmayan fonksiyonlar, $\delta(x)$ tipinde k fonksi-yonlarına yol açarlar. Oysa, gördüğümüz gibi, belirli olmayan olasılık dağılımları sürekli etkileşim durumuna uygun düşer. ρ denge fonksi-yonu dağılımının bir tek H hamiltoniyen fonksiyonu olduğunu belirle-dik. Ancak, q koordinatlarının değil, yalnızca ρ momentumlarının bir fonksiyonu olan hamiltoniyen, kinetik bir enerji terimi içerir. Şu hal-

de, tekil bir Fourier dönüşümü bulunan, belirli olmayan bir parçayı kapsar. Öyleyse tekil fonksiyonların, dinamik betimlemede çok önemli bir rol oynadığını görmenin şaşırtıcı hiçbir tarafı yoktur.

V

Şimdi, Liaouville operatörü terimleriyle (bkz. III. kısım) olan istatistiksel betimlemeyi, yörünge terimleriyle olan betimlemeyle karşılaştıralım. Burada, beklenmedik bir durumla karşılaşırız, çünkü istatistiksel betimleme başlangıçtan itibaren farklı araçlar kullanır. Bir boyutlu bir uzayda en basit bir örnek olan serbest parçacık örneği üzerinde bu görülebilir. Görüldüğü gibi, parçacığın q koordinatı zamanla doğrusal (lineer) bir biçimde değişir ve ρ anı sabit kalır. Oysa, istatistiksel betimleme, x in Fourier dönüşümü olan momentum ve k terimleriyle yapılır. Akustik ya da optik problemleri incelerken dalga vektörlerini kullanmasını biliyoruz, ancak dalga vektörleri burada bir mekanik probleminde de ortaya çıkarlar. Bunun nedeni, L Liouville operatörünün serbest bir parçacık için, bir türev operatörüne: $L = ip/m\ \partial/\partial x$ indirgenmesidir. Bu, özgün fonksiyonların (bkz. IV. bölüm, I. kısım), e^{ikx} üsleri ve pk/m özgün değerleri oldukları anlamına gelir. Şu halde, serbest bir parçacığa göre hareket denklemi çözümü düzlemsel dalgaların bir çakışmasıdır. Özgün fonksiyonlar olan bu dalgalar, bir noktada belirli olan yörüngelerin tersine, bütün uzayda yayılırlar. Kuşkusuz bu basit durumda, iki betimleme eşdeğerdedir: Fourier kuramını kullanarak, yörüngeyi yeniden oluşturabiliriz (bkz. şekil V-2). Ancak bu, istatistiksel betimlemede *temel* bir kavram değildir. Bu durumda, bir yörünge elde etmek için olasılık dağılımını tek bir noktada toplamalıyız. Bunun için, tüm spektral aralıkta ($\Delta k \rightarrow \infty$) yayılan k dalga vektörünün düzlemsel dalgalarını çakıştırmamız gerekir.



Şekil V-2

Düzlemsel dalgaların yapıcı bir içiçe girmesinin sonucu olarak kabul edilen yörüngeler. Farklı düzlemsel dalgaların çakışması, q = 0 da sınırlı bir maksimumla belirtilen bir fonksiyona yol açar.

$q \neq q_0$ için *yıkıcı* bir içiçe girmeyle yok oldukları halde $q = q_0$ için düzlemsel dalgaların genlikleri, *yapıcı* bir girişim oluştururlar.

Serbest parçacık gibi, integrali alınabilir bir sistemi ele aldığımızda, k dalga vektörü zaman içinde sabittir. Düzlemsel dalgalardan itibaren her anda yörünge yeniden oluşturulabilir. Ancak önemli olan noktanın, ilk bir kavrama değil, bundan böyle özel bir duruma denk düşen türemiş bir kavramın söz konusu olduğunu yeniden belirtelim. Yörünge bir fizik-matematik yapımının sonucu olur. O halde, yörüngenin temel, indirgenemez bir kavram olarak sayıldığı klasik mekaniğin geleneksel betimlemesindeki olmayan durum, Poincaré rezonanslarının, yörüngeye götüren yapıcı girişimleri bozduğunu anlaşılabilir bir duruma getirir.

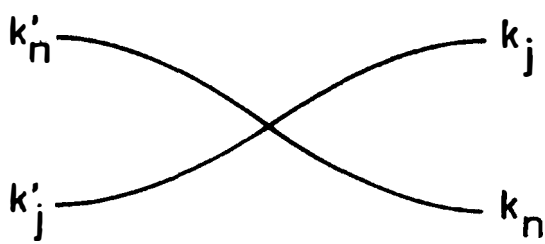
Aynı zamanda, Poincaré rezonanslarında ortaya çıkan frekanslara uygun düşen Liouville operatörünün kp/m özgün değerlerlerini saptamak önemlidir. Koordinatlara değil, aynı zamanda k ve p ye bağlıdır. Bizim de yapacağımız gibi, Poincaré rezonanslarını tartışmak için dalga vektörlerinin kullanımı şu halde doğal başlangıç noktasıdır. Düzlemsel dalgalar bize yalnızca yörüngeleri (geçici etkileşimlere dayanan) betimlemeyi sağlamakla kalmaz, p dağılım fonksiyonunun q koordinatından bağımsız olacağı belirli olmayan durumları da betimlememizi sağlar. Bu, IV. bölümde açıklamış olduğumuz gibi k dalga vektöründe tekil fonksiyonlara yol açar. O halde, istatistiksel düzeydeki etkileşimlerin sonucunu tartışmak için alan hazırlanmıştır ve bu dalga vektörleri dilinde olacaktır.

VI

Hamiltoniyen V potansiyel enerjisinin ikili etkileşimler toplamına denk düştüğünü varsayalım. Bu, aşağıdaki teoreme yol açar: j ve n parçacıkları arasındaki etkileşimde, iki dalga vektörü k_j ve k_n değişir, ancak, etkileşimden sonra dalga vektörleri k_j' ve k_n' olduğu toplamları korunur: $k_j + k_n = k_j' + k_n'$. Burada, uzun yıllardan bu yana bilinen[2] teoremi göstermeyeceğiz, ancak istatistiksel biçimlemede dinamik bir evrim görüntüsünü vermek için onu kullanacağız. Bu görüntü, serbest hareketlerle ayrılmış bir *olaylar* dizisine dayanır. Olaylar arasında sabit kaldıkları halde k dalga vektörü ve p momentumları her olayda değişir. Olayların yapısını daha ayrıntılı bir şekilde inceleyelim. III. Bölümün, I. kısmından itibaren korelasyon kavramını kullanıyoruz. Şimdi bunu açıklığa kavuşturabiliriz. $\rho\ (q,p,t)$ olasılık dağılımı hem koordinatlara ve hem momentumlara bağlıdır. Onu koordinatlar üzerinde toplarsak bütün uzaysal bilgiyi yitiririz. Parçacıkların konumuyla ilgili değil, yalnızca anlarla ilgili bilgi içeren bir $\rho_0(p,t)$ fonksiyonu elde ederiz. ρ_0 ı "korelasyon boşluğu" olarak adlandırırız. Buna

karşılık, q_i q_j koordinatları dışında, bütün koordinatlar üzerinde i ve j parçacıklarını toplarsak, bu parçacıklar arasındaki korelasyonlarla ilgili bilgiyi koruruz. Böyle bir fonksiyonu, bir "ikili korelasyon" olarak adlandırırız. Üçlü v.b. korelasyonları bile tanımlayabiliriz.

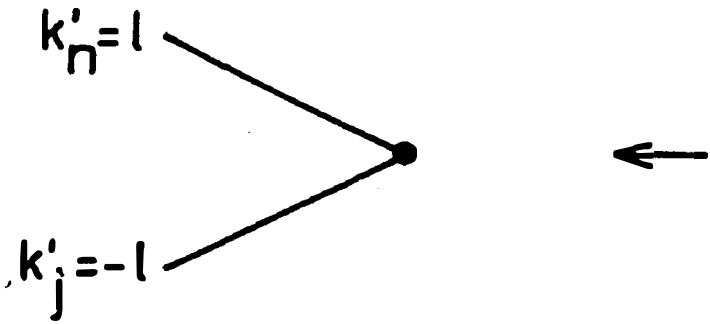
İstatistiksel betimlemede, bir k Fourier dönüşümleriyle koordinatların yerini almak daha basittir. Şimdi, $k_j + k_n = k_j' + k_n'$ dalga vektörlerinin korunumu yasasını ele alalım. Her olay, k_j ve k_n sembolize eden giren iki çizgiyle ve k_j' ve k_n' sembolize eden çıkan iki çizgiyle, bir noktayla gösterilecektir. Öte yandan, her noktada etkileşimde bulunan parçacıkların momentumları değişir ($\partial\partial p$ türev operatörü, etkileşim olduğu andan itibaren Liouville operatöründe yer alır).



Şekil V-3

Yayılım diyagramı: iki parçacığın etkileşimine denk düşen ve k_j, k_n dalga vektörleri değerlerini k_j', k_n' dönüştüren dinamik bir olayın gösterimi.

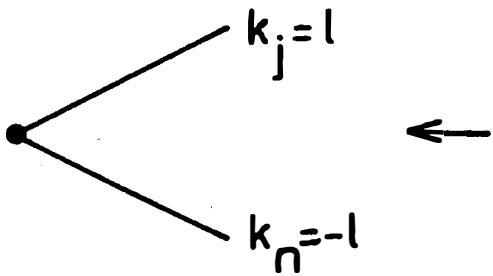
En basit olay, şekil V-3 diyagramıyla gösterilmiştir. Bu diyagramı bir "yayılım olayı" olarak adlandırırız. j ve n parçacıkları arasında ρ_2 ikili korelasyonunun bir değişimine uygun düşer. Ancak $k_j = k_n = 0$ olduğu ve ikili bir korelasyon oluşturan (bkz. şekil V-4) ρ_0 korelasyon boşluğundan başlayabiliriz. O zaman, bir "korelasyon yaratımı" diyagramı, ya da bir "oluşturma parçası" elde ederiz .



Şekil V-4

Oluşturma parçası: dinamik bir olay korelasyon boşluğunu, ikili bir *l*, *–l* korelasyonuna dönüştürür.

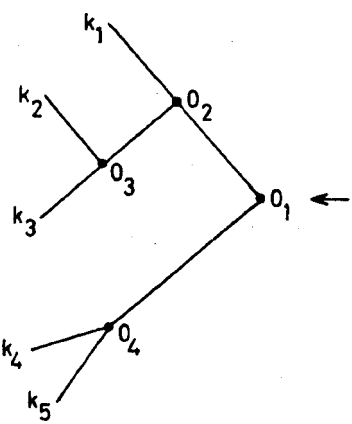
İkili bir korelasyonu, korelasyon boşluğuna dönüştüren şekil V-5 te gösterilenlerdeki gibi "yok etme parcaları" elde ederiz.



Şekil V-5

Yok etme parçası: dinamik bir olay, *l* ikili korelasyonunu, korelasyon boşluğunda *–l* e dönüştürür.

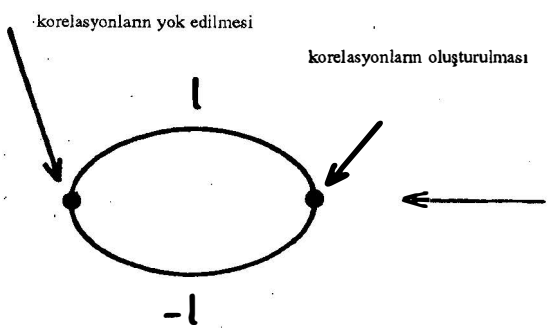
Birbirini izleyen olayların sonucu olan *bir korelasyon tarihinin* ortaya çıktığını görmeye başlarız[3]. Şimdi, *Poincaré rezonansları* etkisini bu betimleme içine alabiliriz. I. Bölümün III. kısmında, bu rezonansların küçük paydalara bağlı ıraksaklıklara yol açtığını gördük. Burada, bir p momentumuyla birleşen frekans, kp/m dir. k nin sürekli bir değişken olduğu Poincaré büyük sistemlerine göre, ıraksaklıklar ve δ delta fonksiyonu terimleriyle ifade edilen rezonanslar istatistiksel düzeyde önlenebilir. Bu, burada incelemeyeceğimiz analitik genişleme s kavramını içerir[4]. Yalnız, iki cisimli bir etkileşim için, δ fonksiyonu argümanının $k/m\ (p_1 - p_2)$ olduğunu belirtelim. Böyle bir fonksiyonun $k/m\ p_1 = k/m\ p_2$ dışında sıfır olduğunu anımsarsak, $k = 0$ dalga vektörünün özellikle önemli bir rol oynadığını görürüz. Oysa, sıfır dalga vektörü, sonsuz bir dalga boyuna, o halde, *belirli olmayan* bir sürece denk düşer. Böylece, Poincaré rezonansları, belirli nesneler olan yörünge terimleriyle yapılan betimlemenin içinde yer alamaz.



Şekil V-6

Bağıntılar örneği. Dört hareket, O1, O2, O3, O4, bağıntı boşluğunu peş partiküllü bir bağıntıya dönüştürür.

Burada Poincaré rezonansları etkisinin niteliksel bir örneğini istatistiksel düzeyde verebiliriz. Bu rezonanslar, tam olarak harmonikleri müzikte birbirine bağladıkları gibi dinamik süreçleri birbirine bağlarlar. Kullandığımız grafiksel betimlemede yok etme ve oluşturma parçalarını birbirine bağlarlar (bkz şekil V-7). Bu, verilmiş bir korelasyon halinden başlayan (örneğin korelasyon boşluğu) *yeni* dinamik süreçlere yol açar ve *aynı* korelasyon hâline yeniden döner. Bu dinamik süreçler diyagramlarımızda *baloncuklar* oluştururlar. Böylece, başlangıç noktası Poincaré rezonansları olan baloncuklar yeni tip dinamik süreçlerdir. Bir *bütün* olarak sayılması gereken olaylara denk düşerler ve newtoniyen olmayan öğeleri olasılık dağılımı evrimine katarlar. Yörünge kuramında bu öğeler benzersizdir. Dramatik bir etkileri vardır: tersinmez süreçlerin olaybilimsel kuramının her zaman ileri sürmüş olduğu gibi zaman simetrisini bozarlar. Çarpışma gibi bir sürecin istatistiksel düzeyde entropi artışını açıklamaya izin vermesi gereken Boltzmann görüşünü gerçekleştirirler. Ancak, onu dinamik çerçevede kalarak Poincaré rezonanslarının dikkate alınmasıyla sağlarlar.



Şekil V-7

Poincaré rezonanslarından doğan baloncuk. Rezonanslar yok etme ve oluşturma parçalarını birbirine bağlarlar.

Kinetik betimlemeyle benzerlik oluşturmak için bu baloncuklara, rezonansla ortaya çıkan kuplajdan doğan bu yeni öğelere uygun düşen dağılım fonksiyonunu etkileyen operatöre, "çarpışma operatörü" adını verdik. Bu çarpışma operatörleri, kinetik betimlemede olduğu gibi, difüzyon olaylarına yol açarlar. Dinamik betimlemede bir Brown hareketi ortaya çıkartan bu olaylardır. Kuantum mekaniği analojisiyle (örnekseme), yörüngenin "yok olması"ndan (*collapse*) söz edilebileceğini daha önce belirttik. Bu, yörüngenin determinist bir betimlemeye bağlı bir nesne olmak yerine, olasılıkçı bir nesne olur. Brown hareketi olaybilimsel kuramında çoğunlukla "Langevin kuvvetleri"nden söz edilir. Termik çalkantının kesin olmayan niteliğini ifade eden, yayılımsal hareketlere yol açan bu "kuvvetler"dir. Böyle Langevin kuvvetleri burada da ortaya çıkar, ancak, bu moleküllerin termik çalkantısını betimleyen doğru hareketlerin bilinmemesinin değil, Poincaré rezonanslarının sonucudur.

VII

Şimdi dinamik problemin istatistiksel düzeyde çözümü olan temel tasarımızı gerçekleştirecek durumdayız. Liouville operatörü karşısında bu çözüm, determinist kaos gibi evrim operatörünün spektral gösterimini içerir.

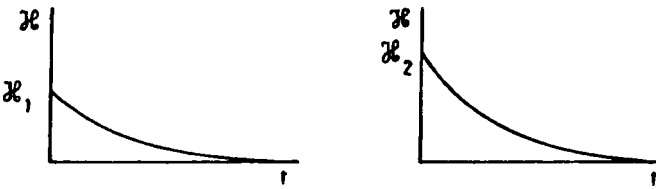
İki öğe temeldir: ilk önce, *sürekli* etkileşimlere bağlı belirli olmayan dağılım fonksiyonlarını ele alıyoruz (bkz., III. ve IV. kısımlar). Tekil fonksiyonlara yol açarlar. Bir kez daha, yalnız normal fonksiyonlara bağlı Hilbert uzayını bırakmamız gerekir. Daha sonra, etkileşimler betimlemesinde, difüzyon kavramına bağlı yeni tip dinamik süreçler gerçekleştiren Poincaré rezonanslarını göz önüne almalıyız.

Bu iki noktayı dikkate almamızdan itibaren, IV. bölümde olduğu gibi, evrim operatörünün indirgenmez ve kompleks bir spektral göste-

rimini (burada Liouville operatörü) elde ederiz. Determinist kaos durumunda olduğu gibi, "kompleks", bu gösterimin zamansal simetriyi bozduğu ve indirgenmez olduğu, geçici etkileşimlere denk düşen yörüngelere uygun olmayacağı anlamına gelir. O halde, dinamik yasaları yeni bir anlam kazanır: tersinmezliği alırlar ve artık kesinlikleri değil fakat olasılıkları ifade ederler. Koşullardan biri tatmin edici olmazsa, örneğin belirli dağılun fonksiyonlarını ele alırsak (geçici etkileşimler), yörünge terimleriyle olan Newtoncu betimlemeye yeniden döneriz.

Bu koşullar, birçok durumda tatmin edicidir. Newton fiziğine oranla sapmalar öngörebiliriz ve sistematik sayısal simülasyonlar bu konu üzerindeki öngörülerimizi doğrular. *N/V* ilişkileri, yani özeklenme (konsantrasyon) sabit kalırken *N* parçacık sayısını ve *V* hacmini kaplayan sınırların sonsuza giden termodinamik sınır olduğunu daha önce belirttik. Bu sınıra geçişle betimlenen sistemler koşullarımıza uyar, bunlar etkileşimlerin hiç kesintiye uğramadığı sistemlerdir. Yörünge terimleriyle olan bir betimlemeden başlamış olsak bile (sonra $N \rightarrow \infty$ sınırına geçeriz), yayılımcı süreçlerin bu betimlemeyi beraberinde götürdükleri ve yörüngenin yok olduğu bile gösterilebilir. Zamanla belirli olmayan tekil fonksiyona dönüşür. Bu sonuç sayısal simülasyonla doğrulanmıştır[5].

İkinci ilke, bu formülasyonda ne oluyor? Bir *A* dinamik özelliğini ele alırsak, örneğin bir parçacığın *p* momentum fonksiyonunu, p olasılığıyla değişen <A> ortalama değeri zaman boyunca dengeye doğru yönelecektir (engeller olmadığında). Genellikle, denge monoton bir biçime erişmez. Göz önünealınan süreye göre, ortalama değer zamanla artabilir yada azalabilir. Bununla birlikte tersinmez süreçleri eldeettiğimiz için, Boltzmann programını gerçekleştirebilir ve entropinin dinamik benzerleri olan [illegible]ıksiyonları (bkz., I. Bölüm, II. Kısım) kurabiliriz; bu fonksiyonlar, yalnızca izole bir sistem içinde azalabilirler (bkz., şekil V-8) [illegible]ıksiyonlarının var oluşunun, yani mikroskopik düzeyde tanımlanmış bir entopinin, bizim bizim bilgisizliğimizle hiç ilgisi yoktur. Zamansal sistemin bozulmasını ifade eder.



Şekil V-8

$\mathcal{H}$ fonksiyonu zamanında monoton düşüş. Ölçek, dengede $\mathcal{H}$ = 0 olacak şeklinde seçilmiştir ve şu halde (a) da sistem dengenin (b) de olduğundan daha yakın bir halinden hareket eder, çünkü $\mathcal{H} < \mathcal{H}$ dir.

Klasik görüşte, başlangıç koşulları ve dinamik yasa arasında temel bir ayrım olduğunu da belirtelim. Yasa verilmiş olduğundan, tüm başlangıç koşulları aynı değerdedir ve hiçbir içsel özellik onları ayırmaya izin vermez. Burada durum artık böyle değildir. Farklı ddağlım fonksiyonları, farklı $\mathcal{H}$ değerlerine yol açarlar: örneğin şekil V-8'de, (a)'daki başlangıç durumu dengeye, (b)'de olduğundan daha yakındır. Sınırlı bir değeri $\mathcal{H}$ ile karşılaştıran yalnızca dağılım fonksiyonlarının olanaklı olduğunu ileri sürmek ilginçtir. Bu şekilde, $\mathcal{H}$ davranışının ifade ettiği gibi ikinci ilke, labartuarda hazırlayabileceğimiz haller üzerinde ya da doğad gerçekleşen bir seçme (seleksiyon) ilkesi olur. Örneğin, dinamik denklemlerinin olanaklı gördükleri "ileri çözümleri" seçmeyi sağlarlar ve bir göldeki değişik dalgaların dipte duran bir taşı dışarı attıracak şekilde yakınsadıklari durumlara denk düşerler.

O halde betimlememiz, yörünge terimleriyle olan betimlemede olanaklı olmayanı, dinamiğin ve termodinamiğin birleşmesini gerçekleştirir. Tersinmez süreçlerin betimlenmesindeki olaybilimsel yön-

temlerin yardımıyla buraya kadar elde edilen tüm sonuçları kesin bir şekilde yeniden buluruz, ancak, bilinen sonuçların ötesine gidebiliriz. Bir örnek verelim. Rezonanslar nedeniyle VIII. kısımda betimlenen dinamik süreçler, moleküller arasındaki kuvvetler kısa süreli olsa bile *uzun süreli korelasyonlara* yol açarlar. Tek istisna, korelasyonların süresinin parçacıklar arasındaki kuvvetlerin süresiyle belirlendiği denge hâlidir. Bu sonuç, II. bölümde gösterdiğimiz gibi, dengesizliğin, kimyasal salınımların ya da hidrodinamik çevrintilerin açıkladığı yeni bir tutarlılığı ortaya çıkardığını ifade eder. *Şu halde denge fiziği bizde, maddenin yanlış bir görüntüsünü uyandırır*. Saptamış olduğumuz dinamik anlamı şimdi olaybilimsel düzeyde yeniden buluruz: Dengedeki madde kördür ve denge halinde olmayan durumlarda, görmeye başlar.

Bu bölümü bitirmenin zamanı geldi. Newton mekaniğinin ötesine geçmek için okuyucuya almaları gereken bilgiler üzerine bir fikir vermiş olduğumu sanıyorum. Klasik mekanikte kullanılan denklemlerin geçerliliğinin tümüyle sınırlı olduğu görülür. Bizi çevreleyen olaylara denk düşen dinamik sistemlerin çoğu Poincaré'ye göre integrali alınamaz sistemlerdir ve sürekli etkileşimleri gösteren PBS lerdir. Bu olaylar, yörünge terimleriyle olan betimlemeyle bağdaşmayan termodinamik bir betimleme varsayar. *Saçılma* gibi geçici dinamik etkileşimler, doğada karşılaştığımız durumları temsil etmezler. Laboratuvarda gerçekleştirilebilecek basitleştirilmiş durumlara uygun düşerler. Ancak bunlar idealizasyonlardır, çünkü doğada etkileşimler süreklidir ve Poincaré rezonanslarına denk düşen çarpışma süreçleri kuraldır. Zaman simetrisini bozarlar ve termodinamik betimlemeyle uyumlu evrimsel bir betimleme içerirler.

Şu halde çevredeki doğa betimlemesinin, düzenli, zamana oranla simetrik, geleneksel olarak newtoniyen dünyaya bağlı betimlemeyle çok az ilgisi bulunur. Dünyamız, sık sık değişen, gürültülü, kaotik ve Yunan atomcuların hayal etmiş oldukları dünyaya daha çok benzemektedir. Epikuros ikilemini (bkz., I. bölüm) çözmek için alınmış olan klinamen artık yabancı bir öğe değildir, dinamik kararsızlığın ifadesidir.

Kuşkusuz, dinamik bize, yalnızca evrim yöntemlerinin anlaşılması için gerekli koşulları verir. Dinamik, entropiye anlam kazandırır. II. Bölümde görmüş olduğumuz gibi, termodinamiğin içinde bile ek koşullar, dağılımsal yapıların ve dengeden uzaklaşmaya bağlı diğer kompleks davranışların ortaya çıkmasını gözlemlemek için gereklidir. Bu fiziksel oto-organizasyon davranışları, yaşama özgü oto-organizasyonların ortaya çıkması için yeterli olmayan, yalnız kendi gelişimlerinde gerekli olan koşullardır. Gerekli ve yeterli koşullar arasındaki ayrım, doğanın anlatı boyutunu betimlemek için zorunludur. Ancak bu anlatı boyutu, bundan böyle dinamik ya da kuantum süreçleri betimlemelerimizle uyum içindedir. PBS ve sürekli etkileşimler dünyası, doğanın bize birçok örneğini sağladığı çok sayıda fiziksel ve biyolojik oto-organizasyon sorunlarını açıklama girişimlerimizin başlangıç noktasını oluşturur.

---

[1]. T. Petrosky ve I. Prigogine, "Alternative Formulation of Classical and Quantum Dynamics for Non-Integrable Systems", *Physical A*, 1991, CLXXV; "Poincaré Resonances and the Extension of Classical Dynamics, Chaos, Solitons and Fractals", V, 1995.

[2]. Bkz., I. Prigogine, *Nonequilibrm Statistical Mechanics, op. cit.*

[3]. Bkz., daha önceki çalışmaların referanslarının bulunduğu bundan önceki iki dipnotta belirtilen iki yapıt.

[4]. Bkz., dipnot 2.

[5]. T. Petrosky ve I. Prigogine, *loc. cit.*, T. Petrosky, Z. Zang ve K. H. Wen., yayımlanacak.

6

Kuantum Kuramının Yeni Bir Formülasyonu

I

Şimdi kuantum sistemlerine dönelim. Temel farklılıklar, newtoniyen klasik dinamiği ve kuantum kuramı arasında bulunmaktadır. Bununla birlikte, iki durumda, bu kez dalga fonksiyonu terimleriyle *bireysel* bir betimleme ve olasılık dağılımı terimleriyle istatistiksel bir betimleme vardır. Daha önce gördüğümüz gibi Poincaré rezonansları klasik mekanikte olduğu gibi kuantum mekaniğinde ortaya çıkar. Şu halde, sonuçlarımızın kuantum mekaniğine dek yayılması beklenebilir. Gerçekten PBS kuantumları için, Hilbert uzayı dışında geçerli olan kuantum mekaniğinin yeni bir istatistiksel formülasyonunu elde ederiz. Bu betimleme, zamansal simetri bozulmasını içerir ve dalga fonksiyonu terimleriyle bireysel betimlemeye indirgenemez.

Daha önce I. bölümde kuantum mekaniğinin tuhaf durumundan söz ettik. Kuantum mekaniği, şaşırtıcı başarılarına rağmen, kavramsal temelleri konusunda sürekli tartışmalara yol açmıştır. Dalga fonksiyonunun indirgenmesi, kuantum kuramının ikicil bir formülasyonunu içerir. Bir yandan, dalga fonksiyonunu belirleyen, zamana oranla tıpkı Newton denklemi gibi determinist ve simetrik olan Schrödinger denklemini sağlarız. Öte yandan, arı bir durumu bir karışıma dönüştüren, ve ölçüm sürecine bağlı, tersinmez olan dalga fonksiyonunun indirgenmesini elde ederiz. John von Neumann ünlü kitabı *The Mathematical Foundations of Quantum Mechanics* (1932) de, bu ikicil yapıyı, beş yıl önce oluşturulan kuantum kuramının tanıtımının temeline yerleştirmiştir. Bu tuhaf bir yapıdır. Ölçüm işleminin fiziğe indirgenmezliğinden kurtulmak istiyorsak, yani kurama öznel bir öğenin karışmasından, kuantum mekaniğinin ikicil yapısı, dalga fonksiyonu indirgenmesine bağlı ve determinist ve tersinir Schrödinger denklemine indirgenmeyen ikinci bir tip dinamik süreci gerektiriyormuş gibi görünür. Ancak hiç kimse, şimdiye kadar, bu ikinci sürecin gerçekçi bir açıklamasını verememiş, dalga fonksiyonunun indirgenmesi için terketmemiz gereken Schrödinger denkleminin bulunduğu durumları öneren özellikleri belirtememişlerdir.

Kuantum mekaniğinde alışılmışın dışında başka özellikler bulunur[1]. Çok sayıda metin, "belirleyici olmayan" özelliği tartışmaktadır. Belirleyicilik, yörünge terimleriyle olan newtoniyen betimlemeye bağlı bir özelliktir. Maddenin dalgalanmalı yönünü içine alan kuantum mekaniği gibi bir kuramın, bir tür belirsizlikle son bulması o kadar şaşırtıcı değildir. Roger Penrose son kitabında[2] iki tip kuantum "gizemi"ayırteder. Onlara "Z gizemleri" ["fuzziness" (bulanıklık) sözcüğünden] ve "X gizemleri" ("paradoks" sözcüğünden) adını verir. Ona göre birinci tip, kararsızdır ancak açıklanabilir. En zorlu sorunları yaratan ikinci tiptir. Kuantum kuramının ikicil yapısı bir "X gizemi"dir.

Burada bizi ilgilendiren şey, gerçekten, kuantum kuramının ikicil yapısına bağlı olan kuantum çelişkisidir. Göreceğimiz gibi bu çelişki, yörüngelerin klasik kuramıyla paylaşılan başka bir probleme yakından

bağlıdır: tıpkı bu sonuncu kuram gibi kuantum kuramının da eksiksiz olmadığını sanıyoruz. Zamansal simetriden dolayı, dengeye yakınlık gibi, tersinmez süreçleri betimleyemez. Bununla birlikte, bu yakınlık kaçınılmaz olarak doğa betimlememizle ilgilidir. Etrafımızdaki dengedeki sistemler, kaynağının big bang'e yakın bir çağa kadar uzandığı 3°K siyah cismin ünlü sürekli ışınımından, makroskopik fiziğin incelediği gaz, sıvı ve katı sistemlere dek, çok sayıdadır.

Elde ettiğimiz çözümün öngörülmeyen bir yönü, aynı zamanda kuantum mekaniğini ve kuantum mekaniğini newtoniyen mirasa dahil eden termodinamikle olan çatışmayı çözümlemeyi sağlar. Böylece, iki plan üzerinde gerçekçi olarak belirtebileceği yeni bir kuantum kuramı formülasyonu elde ederiz. Bir yandan, bu formülasyon, termodinamiğin belirttiği evrimsel yönünü oluşturduğu bu temel dünya görüşüne dinamik bir özellik katar. Öte yandan, dinamik terimleriyle dalga fonksiyonunun indirgenmesinin açıklanmasını sağlar. Dalga fonksiyonlarından kümelere geçiş, Poincaré rezonanslarının sonucu gibi yorumlanabilir ve bu hiçbir gizli gözlemcinin müdahalesi olmadan ve kontrol edilemez hiçbir varsayıma başvurmaksızın gerçekleşir.

I. Bölümde kuantum kuramının çok sayıda genişleme önerilerini belirttik. Bu önerilerin tersine, önerilerimiz belirli tahminlere yol açar ve o halde denenebilir. Şimdiki durumda, bu kuram başvurduğumuz bütün sayısal simülasyonlarla doğrulanmıştır[3].

Yaklaşımımızın içinde yer alan gerçekçiliğe dönüş, determinizme doğru olan bir dönüş değildir. Tam tersine, kuantum mekaniğinde daha önce gösterilen olasılıkçı boyutu vurgular. "Kişisel düşünceme göre belirlenmezcilik, gerçekçilikle bağdaşır, ve bu olguyu kabul etmek, olasılığın nesnel bir yorumunda olduğu gibi kuantum kuramının bütünsel olarak tutarlı bilgikuramsal bir kavramını benimsememizi sağlar[4]." diye yazan Popper ile aynı fikirdeyim. Popper'ın aynı kitapta, "deneyler yapan ve dünyayla iç içe giren "gözlemleyen özneler" olmadığında dünyanın büyük bir olasılıkla belirlenmez olacağı", "metafiziksel düş"ü olarak adlandırdığı şey, bundan böyle tam deyimiyle fizik alanında yer alır. Kararsız dinamik sistemlerin kuantum

kuramının, klasik kuram gibi aynı zamanda gerçekçi ve istatistiksel bir betimlemeye varacağını göstereceğiz. Ancak bu yeni formülasyonda temel büyüklük, artık olasılığın genliği değil, bizzat olasılığın kendisidir.

II

Kuantum mekaniğinin başlangıç noktasında atomlar ve ışık arasındaki etkileşimin belirli soğurma ve yayma frekansları içerdiği deneysel bir saptamadır. Bohr'un kurduğu atom modeli, süreksiz enerji düzeyleriyle belirlenir. Deneysel verilere uygun (Ritz-Rydberg ilkesi), spektral (izgesel) yayma ve soğurma çizgileri frekansı, iki enerji düzeyi arasındaki farktır. Kuantum kuramı tarihini tümüyle etkileyen çok önemli bir noktadır. Önceki bölümde gördüğümüz gibi Bohr atomuyla hamiltoniyen kavramını uzlaştırma sorunu, klasik devinim kuramının temel noktasıdır. Klasik hamiltoniyen, dinamik bir sistemin enerjisini koordinat ve momentum terimleriyle ifade eder. Şu halde sürekli bir değerler kümesi alır. Süreksiz enerji düzeylerine bir anlam katamaz. Bu yüzden, bize farklı bir hareket noktası gerekir: Klasik hamiltoniyen H, kuantum fiziğinde, H_{op} hamiltoniyen operatörü yerine kullanılır.

Bu kitapta, bu operatörlerin biçimciliğinden daha önce birçok kez yararlandık: IV. bölümde Perron-Frobenius operatörünü ve V. bölümde Liouville operatörünü kullandık. Ancak, bu operatörlerin fizikte yer alması ilk kez kuantum fiziğiyle olmuştur. Önceki durumlarda, istatistiksel betimlemeyi kullanmak için operatörlere gereksinim duyuyorduk. Burada, dalga fonksiyonuna denk düşen bireysel düzeyde bile, operatörleri kullanmak zorundayız.

Kuantum mekaniğinin temel problemi u_a özgün fonksiyonlarının ve H hamiltoniyenin E_a özgün değerlerinin belirlenmesidir (hiçbir

karmaşıklık olası olmadığında *op* indisini yazmayız). E_α özgün değerleri enerji düzeylerinin *gözlemlenebilir değerleriyle* bir tutulur. H nin izgesini oluştururlar. Art arda oluşan özgün değerler sınırlı bir aralıkla ayrıldıklarında "süreksiz izgeden"; aralıkları sıfıra yönelmişse, "sürekli izge"den söz edilir. Bir L uzunluğu boyutunda bir kutudaki serbest bir parçacık için, enerji düzeyleri arasındaki aralık L^2 ile ters orantılıdır. Dolayısıyla, L sonsuza yöneldiğinde, bu aralık sıfıra yönelir ve sürekli bir izge elde ederiz. V. Bölümün III. kısmında kullanıldığı gibi Poincaré büyük sistemi kavramında (PBS), "büyük" kesin bir şekilde PBS'lerin sürekli bir izgesi olduğu anlamına gelir.

Klasik kuramda olduğu gibi, hamiltoniyen, koordinatların ve momentumların bir fonksiyonudur. Hamiltoniyen şimdi bir operatör (işleç) olduğu için, bu büyüklükler ve onlarla birlikte bütün dinamik değişkenler, bundan böyle operatör olarak sayılmalıdır.

Günümüz fizikçilerine göre, kuantum mekaniğinin gerçekleştirdiği fonksiyonlardan operatörlere doğru geçiş doğal gibi görünmektedir. Tıpkı çocukların sayıları kullanmayı öğrenmeleri gibi operatörleri düzenlemeye alışmışlardır. Bununla birlikte, Hollandalı büyük fizikçi H. A. Lorentz gibi, klasik fizikçiler için, operatörlerin kullanılması kabul edilmesi güç, nerdeyse iticiydi. Her ne olursa olsun, bu cesur bir girişim oldu ve Werner Heisenberg, Max Born, Pascual Jordan, Erwin Schrödinger ve Paul Dirac gibi, bu girişimi gerçekleştiren fizikçiler, büyük bir beğeni kazanmışlardır.

Geniş ölçüde, bu yöntemin uzantısı içinde bulunuyoruz. Gerçekten, operatörlerin kullanımı, bir operatörle gösterilen fiziksel bir büyüklük ve bu büyüklüğün alabileceği, bu operatörün özgün değerleri olan sayısal değerler arasında kavramsal bir fark yaratır. Bu, bizi kesin bir şekilde klasik fiziğin "doğal gerçekçiliği" adını verebileceğimiz, yani fizik kuramıyla oluşturulmuş büyüklüklerin doğada doğrudan doğruya gözlemlediğimiz ve sayısal değerler verdiğimiz şey olduğu düşüncesinden uzaklaştırır.

Yörünge kavramının başarısı, gözlemlediğimiz (örneğin hareket eden Ay ve her anda ölçülebilen bir konum) ve oluşturduğumuz kuram-

sal gösterim arasındaki bu doğrudan saptamayı desteklemek olmuştur. Gördüğümüz gibi dinamiğin genişlemesi, temel büyüklük durumunu yörüngeden uzaklaştırır ve bu durum bu sezgisel saptamayı bozar. Yörünge, Brown hareketine benzer olasılıkçı bir büyüklük durumuna gelir. Kuantum mekaniğinde operatörlerin biçimciliği de, yörüngeye bağlı olarak sonuçlanır. Bir parçacığın momentumunu koordinatı gibi ölçebiliriz, ancak yörünge kavramının gerektirdiği gibi, aynı zamanda koordinatının ve momentumunun kesin bir değerini veremeyiz. Bu ünlü Heisenberg belirsizlik bağıntıları dersidir.

Bu bağıntılar, sırayla p momentumuna ve q konumuna uygun operatörlerin yer değiştirmemelerinden ileri gelir. Bu, bir fonksiyon üzerindeki sürekli uygulamaların sonucunun, bu uygulamaların art arda geliş düzenine bağlı olduğu anlamına gelir. Oysa, herhangi bir yapıtın gösterdiği gibi, operatörler yer değiştirmediklerinde, *aynı özgün fonksiyonları elde etmezler*. O halde, koordinatların ve momentumların aynı zamanda belirli değerleri olabileceği dalga fonksiyonu yoktur. "Koordinatlarla gösterim" ve "momentumlarla gösterim" arasında bir seçim yapmak gerekir. Heisenberg belirsizlik bağıntılarının içeriği böyledir. Kuantum nesnesinin hiçbir tanımı, bu nesneye belirli bir momentum ve bir konum vermeyi sağlamaz.

Heisenberg, Born ve diğerleri tarafından bulunan bu sonucun üstünden altmış yıl geçmiş, ancak konuyla ilgili tartışmalar hiçbir zaman sona ermemiştir. Kimileri, yörüngenin, modelini sunduğu gelenekçi determinist gerçekçiliği yeniden kurma umudundan asla vazgeçmediler[5]. Daha önce kaotik uygulamalar ve dinamik incelemesinde olduğu gibi, yörünge kavramının sınırlandırılmasıyla karşılaşırız. Yöntemimiz kuantum mekaniği geleneği içinde yer alır. Fiziğin konusu artık doğal bir sezgiyi yanıtlamaz. "Yörünge" nesnesininki dahil, her tanım, doğayla deneysel diyaloğumuzun gerekliliklerine bağlı bir fizik-matematik yapısından sonucudur. Kuantum fiziğinin olduğu kadar, kararsızlık kavramı da bizi, yörünge kavramının geçerlilik sınırlarını daraltmaya ve daha genel bir betimleme kullanmaya götürür.

Şimdi, hâl ve kuantik bir sistemin zamansal evrim kavramlarına dönelim. Gördüğümüz gibi klasik mekanikte hâl, faz uzayında bir noktadır ve evrim orada bir yörüngeyle betimlenir. Kuantum mekaniğinde hâl, bir dalga fonksiyonuyla, evrimi, Schrödinger denklemiyle belirlenir: $ih/2\pi\partial\psi(t)/\partial = H_{op}\ \psi\ (t)$. Bu denklem, ψ dalga fonksiyonu zamanına oranla türevi, ψ üzerindeki hamiltoniyen operatörünün etkisiyle tanımlar. V. Bölüm, III. kısımda kullanılan biçimsel örnekseme yle Liouville denklemini göz önüne alalım. Temel farklılık, h hamiltoniyen operatörü dalga fonksiyonlarını etkilediği halde L Liouville operatörünün ρ olasılık dağılımları üzerinde etkisi olmasıdır. Schrödinger denkleminin diğer yasalardan doğmadığı, ancak, başlangıçta ileri sürülen diğer yasalardan kaynaklandığı, diğer bir farklılıktır. Şu halde, yalnızca deneyle doğrulanmış olabilir ve kuantum mekaniğinin temel yasasıdır. (Örneğin Dirac göreli denklemi gibi Schrödinger denkleminin genelleştirmeleri bulunmaktadır, ancak burada ele alınmayacaktır).

Dalga fonksiyonunun fiziksel anlamını daha önce belirttik: dalga fonksiyonu bir olasılık genliğine uygun düşer. Genlik, dalgalanmalı olaylar fiziğinden doğan bir kavramdır. Schrödinger'e denklemini kurmaya yön veren örnekseme, klasik optiktir. Klasik mekanikte yörünge denklemlerinden farklı olarak, Schrödinger denklemi, bir dalga fonksiyonudur. Bu kısmi türevli bir denklemdir, çünkü H_{op} içinde, zamana göre türevden başka, koordinatlara göre olan türevler de meydana gelir (koordinatlarla gösterimde, "momentum"operatörü koordinata göre bir türevdir). Ancak, kuantum denklemleri ve kanonik klasik denklemlerin (yani hamiltoniyen dinamiği çerçevesinde oluşturulmuş) ortak bir öğesi bulunur: bu denklemler zamana göre ilk sıradadır. Ψ, herhangi bir t_0 anında bilindiği ve sınır koşulları verildiği zaman (örneğin , sonsuzda $\Psi \rightarrow 0$), geçmişin olduğu gibi geleceğin herhangi bir anında da, Ψ yi hesaplayabiliriz. Bu durumda, klasik mekaniğin determinist anlayışını yeniden buluruz, ancak burada yörüngeyle değil, dalga fonksiyonuyla ilgilidir.

Öte yandan, Schrödinger denklemi, tam olarak klasik hareket denklemlerinde olduğu gibi zamana göre tersinirdir. t nin yerine $-t$

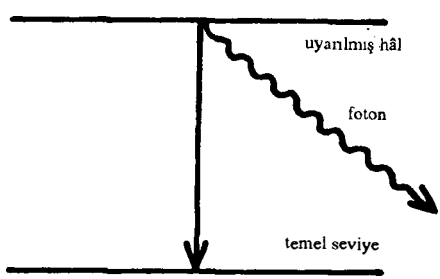
kullandığımızda, denklem geçerli kalır. Yalnızca Ψ nin yerine, Ψ^* kompleks eşleniğini kullanmamız gerekir. Sonuç olarak, t_1 ve t_2 zamanları arasında (t_1 den üstün), bir Ψ_1 den Ψ_2 ye geçişe, Ψ_2^* den Ψ_1^* doğru bir geçiş uygun düşer. Kuantum mekaniğinin başlangıç dönemlerinde, Eddington'un yaptığı bir açıklamayı burada anımsatmak gerekir: Kuantum olasılıkları "zamanın ters yönlerinde hareket eden iki simetrik dalga sisteminin kullanılmasıyla elde edilir[6]". Gerçekten, biraz önce gördüğümüz gibi, Ψ^* geçmişe doğru yer değiştiren bir dalga fonksiyonu olarak yorumlanabilir. Oysa, I. bölümde söylediğimiz gibi, gerçek anlamıyla $/\Psi/^2$, Ψ nin kompleks eşleniği Ψ^* tarafından çarpımıyla elde edilir. Olasılığın tanımı, şu halde, biri geçmişten, diğeri gelecekten doğmuş iki zaman arasında bir *karşılaşma* olarak açıklanabilir. Kuantum mekaniğince tanımlanan olasılığın ifade ettiği şey, her şeyden önce zamana göre simetrik olmasıdır.

Sonuçta, temel farklılıklara rağmen, klasik mekanik gibi kuantum mekaniği, zamana göre determinist ve tersinir yasalara yol açar. Formülasyonları, geçmiş ve gelecek arasında hiçbir fark gözetmez ve bu durumuyla I. bölümde görüldüğü gibi zaman çelişkisine yol açar. Diğer ortak bir özelliği belirtelim: Bu, hamiltoniyenin oynadığı çift roldür. Klasik mekanikte, enerjiyi ifade eder, şu halde hareketle korunan bir büyüklüktür, ancak aynı zamanda, kanonik denklemlerle, koordinatlar ve momentumlar zamanı içindeki evrimin elde edilmesini sağlarlar. Kuantum mekaniğinde, hamiltoniyen operatörünün özgün değerleri, II. kısımda gördüğümüz gibi, enerji düzeylerini belirtir ve hamiltoniyen aynı zamanda dalga fonksiyonu zamanındaki evrimi gösterir.

Schrödinger denkleminin biçimsel çözümü, $U(t) = exp(-iHt)$ ile $\Psi(t) = U(t)\,\Psi(0)$ dır. $U(t)$, t zamanındaki dalga fonksiyonunun değerini, $t = 0$ başlangıç anında elde ettiği değere bağlayan evrim operatörüdür. Geçmiş ve gelecek aynı rolü oynar, çünkü, t_1 ve t_2 nin imleri ne olursa olsun $U(t_1 + t_2) = U(t_1)U(t_2)$ dir. $U(t)$ değişim operatörünün bir "dinamik gruba"uygun düştüğü bildirilmektedir (bkz., IV. bölüm).

Dinamik sistemlerin durumundaki gibi, H hamiltoniyenin, H_0 serbest bir hamiltoniyen ve λV etkileşimleriyle belirlenen bir terim toplamı olduğu ve şu halde $H = H_0 + \lambda V$ şeklinde ifade edildiği sistemlerle ilgileniyoruz. Öyleyse böyle bir sistemin zamansal tarihi, etkileşimlerin H_0 in özgün değerleri arasında yol açtığı geçişlerle betimlenebilir. Özgün fonksiyonları ve özgün değerleri Hilbert uzayına ait olan yalnızca H_0 tipinde bir hamiltoniyenle betimlenen bir kuantum sistemi konusunda, "tarih"ten söz edilemez. Durum, etkileşimden yoksun bir serbest parçacıklar kümesinde gördüğümüz tekbiçimli, Poincaré'nin integrali alınabilir sistemlerinin durumunu andırır.

Gerçekten, Hilbert uzayında kaldıkça, H 'un $E\alpha$ özgün değerleri *reel* dir (her L Liouville operatörü gibi, H hamiltoniyen operatörü hermisyendir ve hermisyen operatörlerin Hilbert uzayında özgün reel değerleri bulunur). $U(t)$ ile tanımlanan evrim, bir $exp(-iE\dot{\alpha}\ t)$ titreşen terimler çakışmasına (süperpozisyon) uygun düşer. Bu biçim, her tersinmez süreci dışlar. Bununla birlikte, kuantum mekaniğinde tersinmez süreçler bulunmaktadır, hatta orada önemli bir rol oynarlar. Bohr modelinin kuantum sıçramaları, fotonları yayılımıyla (bkz. şekil VI-1) temel hâle ya da kararsız parçacıkların bozunmasına varan uyarılmış parçacıkları düşünün.



Şekil VI-1

Uyarılmış bir atomun uyarı hâlinin giderilmesi: atom, bir foton yayılımıyla uyarılmış bir hâlden temel hâle doğru gider.

Bu tip süreçler, Hilbert uzayını kullanan geleneksel kuantum kuramı çerçevesine nasıl yerleştirilebilir? Bu durumların büyük sistemlere uygun düştüğünü belirtelim. Atom, yeterince büyük bir hacim içinde kapalı bulunur. Titreşim modlarının çakışması, bu durumda, bir integral durumuna gelir. Bu yüzden, $|\Psi|^2$ olasılıklar değişimi hesaplanabilir ve bir uyarılmamış hâle geçiş sürecine dayanan bir değişme elde edilebilir. İlk bakışta bu kabul edilebilir gibi görünür. Uyarılmamış hâle geçiş süreçleri, geleneksel kuantum kuramına yerleştirilmiş izlenimi verir. Ancak bir güçlük ortaya çıkar. Bohr kuramı, üstel bir yasaya uyan geçişler öngörür. Burada, "hemen hemen" üstel bir evrim sağlanır: Hilbert uzayında kaldıkça, kısa süreler için ($\sim 10^{-16}$s olan çekirdeğin etrafındaki elektron titreşim frekansıyla aynı sırada) olduğu gibi uzun süreler (örneğin, 10^{-9} s mertebesinde olan uyarılmış hâlin on yaşam süresiyle yüz yaşam süresi arası) içinde üstel yasadan uzaklaşmalar olduğu gösterilmiştir. Bununla birlikte, çok sayıda deneysel incelemelere rağmen, üstel yasa direnir; hiçbir sapma ortaya çıkarılmış olamaz. Bu memnun edici bir şeydir, çünkü bu sapmalar bulunsaydı, bu incelemeler, parçacık fiziğinin temellerini ciddi şekilde güç durumda bırakmış olacaklardı. Belli bir süre boyunca ayrışmaları için bırakacağımız ve daha sonra ikinci bir demeti hazırlayacağımız kararsız bir parçacıklar demeti tasarlayalım. farklı sürelerde hazırlanan iki demetin farklı ayrışımları olacaktır ve onları, yaşlı kişileri ve daha genç olanları ayırdettiğimiz gibi seçecebileceğiz! Bu, kuantum kuramının bazı büyük başarılarını (örneğin, sıvı helyumun aşırı akışkanlığının ya da katı hâl kuramının açıklaması) sağlayan bir ilke olan temel parçacıkların ayırtedilmezliği ilkesini bozma olacaktır. Şu halde, basit bir durumda bile Hilbert uzayının ötesine gitmemiz gerekir.

III

Kuantum mekaniğinin temel sorunu, "özgün değerler problemi"nin, yani hamiltoniyen özgün değerler tanımının açıklığa kavuşturulmasıdır. Bu sorun tıpkı klasik mekanikteki gibi, yalnızca küçük bir sayıdaki kuantum sistemlerine göre doğru bir şekilde çözümlenir. Genellikle, tedirgisel (pertürbasyonel) bir yaklaşıma başvurulur. Klasik mekanikteki gibi, H_0 in, özgün değerler problemi çözülen bir sistemin hamiltoniyen operatörüne denk düştüğü ve bir tedirgi olarak kabul edilen V nin ele alınan sistemi kaynak sistemden ayırtettiği, $H = H_0 + \lambda V$ biçimindeki bir hamiltoniyenden hareket edilir. λ büyüklüğü kuplaj sabitidir. O halde durum, tamamen klasik sistemlerin birleşme sorununa benzer. $H_0\ u_n^{(0)} = E_n^{(0)}\ u_n^{(0)}$ probleminin çözümünü bildiğimizi ve $H\ u_n = E_n\ u_n$ özgün değerler problemini çözmek istediğimizi varsayıyoruz. Kanonik yöntem, λ kuplaj sabitinin üstel olarak artmasıyla hem özgün değerleri hem özgün fonksiyonları seri halinde geliştirmeye dayanır.

Tedirgisel yaklaşım, her λ düzeni için denklemler getiren bir rekürans yöntemini izler. Bu denklemlerin çözümü, tıpkı $1/(E_n^{(0)} - E_m^{(0)}$ gibi zor biçimi olan terimleri içerir; payda yok edildiğinde kötü tanımlanmış olurlar. Rezonansları yeniden elde ederiz (klasik durumda olduğu gibi frekansları birbirine bağlarlar, çünkü kuantum mekaniğindeki enerji bir frekansa denk düşer: $E = \hbar\omega/2\pi$. Yeniden integrali alınamaz sistemler üzerine olan Poincaré kuramının merkezinde bulunan ıraksaklık sorunuyla karşılaşırız.

Bununla birlikte temel bir farklılık bulunur. Daha önce, kesikli izge ve sürekli izge arasındaki ayrımı kullandık. Kuantum mekaniğinde bu ayrım daha çok önem kazanır. Gerçekten, sistem kesikli bir izgeyle betimlendiğinde, tedirgisel olmayan uygun bir hamiltoniyenin seçimi sayesinde (teknik terimlerde, uygun bir dönüştürümle ilk önce bozulmuşluk ortadan kaldırılır) genellikle ıraksaklıklar sorununu gidermek olanaklıdır. *Sınırlı* kuantum sistemlerinin kesikli bir izgesi olduğundan, tüm sınırlı kuantum sistemlerinin integralinin alınabilir olduğu sonucu çıkarılabilir. Ancak, büyük kuantum sistemlerine dön-

düğümüzde durum tamamıyla değişir. Bu sistemlerin izgesi süreklidir ve o zaman PBS nin kuantum benzeriyle karşılaşırız. V. Bölüm, V. kısımda kullandığımız bir alana bağlı parçacık örneği, kuantum mekaniğine de uygundur. Parçacığa bağlı ω_1 frekansı, alana bağlı ω_2 frekansına ne zaman eşit olsa rezonanslar elde ederiz.

Şekil VI-1 üzerinde gösterilen –uyarılmış bir atomun uyarı hâlinin yok edilmesi- de PBS' ne uygun düşer. İki enerji düzeyi arasındaki farklılığa denk gelen enerjinin yayılan foton enerjisine eşit olduğu her durumda bir rezonans elde ederiz. IV. Bölümde ele alınan determinist kaos durumunda olduğu gibi, problemi Hilbert uzayı dışında, *bireysel* fonksiyonlu özgün değerlere yayabiliriz. Dinamik grup yeniden iki yarı-gruba bölünür. Bu durumda, uyarılmış atoma denk düşen iki fonksiyon vardır: Biri, gelecekte ($\varphi_1 \sim e^{-\gamma t}$) üstel bir uyarısızlığı betimleyen φ_1; ötekiyse geçmişteki ($\varphi_1 \sim e^{-\gamma t}$) bir uyarısızlığı betimleyen φ_1 dır.

Bu yarı-gruplardan yalnızca biri doğada gerçekleştirilir. Hatta bu, üstel doğru bir yasa elde etmek için Hilbert uzayından çıkma gerekliliğinin olduğu literatürde incelenen, özellikle A. Böhm[7] ve G. Sudarshan[8] tarafından kabul edilmiş ilk durumdur. Bununla birlikte, bu yaklaşımda, merkezi büyüklük, olasılık genliğini bırakır ve kuantum mekaniğinin ikicil yapısına bağlı temel çelişki çözülmemiştir.

Gerçekten, uyarılmış atomların uyarı hâlinin yok edilmesi ya da kararsız parçacıkların bozunması, yalnızca bir sistemden (uyarılmış atom ya da kararsız parçacık) diğerine (örneğin yayılmış fotonlar) enerji aktarımına uygun düşer. Dengeye yaklaşma yoktur. Şimdi bu probleme döneceğiz. Bu, kuantum kuramının temel bir değişimini gerektirir: burada da, klasik mekanikte olduğu gibi dalga fonksiyonu terimleriyle olan bireysel betimlemeden, kümeler terimleriyle olan istatistiksel betimlemeye gitmek zorundayız.

IV

Klasik durumla karşılaştırıldığında, bireysel betimleme düzeyinden istatistiksel düzeye geçiş, kuantum mekaniğinde kendine özgü nitelikler gösterir; klasik durumda, ρ *(q, p)* olasılık dağılımı, aynı zamanda koordinatların ve momentumların bir fonksiyonudur. Görmüş olduğumuz gibi bir yörünge, δ tipinde bir fonksiyon olan tekil bir fonksiyona uygun düşer. Kuantum mekaniğinde, dalga fonksiyonuna bağlı hâl, bir bağımsız değişkenler *sürekli* fonksiyonuyla betimlenir. Bağımsız değişkenler ya da koordinatlar olarak ele alabilir ve $\Psi(q)$ yi inceleyebilir ya da momentumlar olarak ele alıp $\Psi(p)$ yi inceleyebiliriz. Ancak, belirsizlik bağıntıları, aynı anda koordinatları ve momentumları kullanmamızı engeller. Kuantum hâlinin tanımı, klasik hâlin tanımına giren *yarı değişkenleri* ortaya çıkartır.

Ψ kuantum hâli, bir olasılık genliği gösterir. ρ yöndeş olasılığı, $\Psi(q)\ \Psi(q')^*$ genlikler ürünü olan $\Psi(q)\ \Psi(q')^*$ ile verilir. O halde, bu, değişkenleri q ve q' olan (veya q ve q') *iki* kümeli bir fonksiyondur. Birincisi koordinatlarla gösterime, ikincisi momentumlarla olan gösterime uygun düşen ifadeyi $\rho(q,q')$ ya da $\rho(p,p')$ şeklinde yazabiliriz. Sonra bize gerekecek olan bu ikincisidir. Kuantum mekaniğinde ρ olasılığına "matris yoğunluğu" adı da verilir.

Ψ için olan denklem bilindiğinde (bu Schrödinger denklemidir) ρ nun değişim denklemini yazmak kolaydır. ρ nun değişimi, $ih/2\pi\ \partial\rho/\partial t = L\ \rho = H\rho - \rho H$ şeklinde yazılan Liouville denkleminin kuantum biçimiyle verilir. Sonuncu terim, ρ nun H ile olan komütatörüdür. Bundan, ρ, H nin bir fonksiyonu olduğunda, dengeyi elde ettiğimiz sonucunun çıkarılması kolaydır. Gerçekten, bu durumda komütatör sıfırdır, çünkü H kendi fonksiyonu olan $\rho(H)$ ile yer değiştirir ve bu durumda $\partial\rho/\partial t$ sıfıra eşittir: O halde, dağılım fonksiyonu zaman boyunca sabit kalır.

Tek bir dalga fonksiyonuna uygun düşen ρ dağılım fonksiyonu durumunu inceledik. ρ nun farklı dalga fonksiyonları karışımına uygun düştüğü durumu da inceleyebiliriz. Liouville denklemi aynı kalır:

İntegrali alınabilir sistemler için, istatistiksel formülasyon yeni hiçbir şey katmaz. Gerçekten, H nin $\varphi_\alpha(p)$ özgün fonksiyonlarını ve E_α özgün değerlerini bildiğimizi varsayalım. L nin özgün fonksiyonları o zaman, $\varphi_\alpha(p)\ \varphi_\beta(p')$ olan ürünlerdir ve özgün değerler $E_\alpha - E_\beta$ olan farklılıklardır. Şu halde, H nin ve L nin spektral gösteriminin kurulmasının ortaya çıkardığı sorunlar eşdeğerlidir. L nin $E_\alpha - E_\beta$ özgün değerleri, doğrudan doğruya spektroskopi (izgeölçümü)nin ölçtüğü frekanslara denk düşer. ρ fonksiyonu zamanındaki değişim, $exp[-i(E_\alpha - E_\beta)t]$olan kararsız terimlerin bir çakışmasıdır. Yeniden, dengeye yaklaşım elde edilemez.

Dalga fonksiyonları tanımını Hilbert uzayının ötesine yaymanın niçin yeterli olmadığını çok iyi anlıyoruz. Gerçekten, III. kısımda belirtildiği gibi bu, atomların uyarımsızlığı ya da kararsız parçacıkların ayrışması için yeterli, $E_\alpha = \omega_\alpha - i\gamma_\alpha$, b içiminde kompleks enerjilere yol açacaktır, ancak dengeye doğru yaklaşmada ortaya çıkanlar gibi *tersinmez süreçler için durum böyle değildir*. Örneğin, dengeye yaklaşmasının gevşeme süreleri içerdiği bir kuantum gazını ele alalım. Spektroskopik frekansların tersine (Ritz-Rydberg ilkesi), gevşeme süreleri, γ_a ve γ_b olan iki sayı arasında ayrımlar değildir. Bununla birlikte, yaygın da olsa bir dalga fonksiyonu biçimciliğinde olmaları gereken şey budur. Böyle bir çözüm, çelişmelere yol açacaktır. Gerçekten de, E_α nin kompleks kısmına rağmen, ρ nun bütün köşegen öğeleri (aynı değeri olan iki indisinin), yani $\varphi_\alpha(p)\ \varphi_\alpha(p')$ biçimi olan L nin tüm özgün fonksiyonları değişmeyenlere uygun düşecektir. Bu durumda, $E_\alpha - E_\alpha$ özgün değeri sıfırdır. O halde, orada dengeye yaklaşma elde edilemeyecektir. Çarpanlı çözümlerin kabul edilmesinden itibaren güçlükler ortaya çıkar. Kuşkusuz, Hilbert uzayından çıkmak gerekir, ancak bu, dalga fonksiyonları düzeyinde değil, olasılıklar düzeyinde yapılmalıdır.

İzleyeceğimiz yön budur. Hilbert uzayından daha genel uzaylarda, PBS için, Liouville'in kuantum denklemine bağlı özgün değerler sorununu çözeceğiz. Bu bizi, dalga fonksiyonlarına indirgenmeyen, yani

integrali alınabilir sistemlerde olduğu gibi artık dalga fonksiyonu ürünlerinin olmayacağı betimlemelere götürecektir. Klasik durumdaki gibi, bu, iki temel unsur içerir: Tekillik içeren *belirli olmayan* dağılım fonksiyonlarına bağlı sürekli etkileşimlerin) ve yayılımsal tipte değişimlere bağlı yeni dinamik süreçlere giden Poincaré rezonanslarının göz önünde bulundurulması. İstatistiksel düzeyde, bu betimleme dengeye yaklaşmayı açıklayabilen ve dalga fonksiyonu indirgemesinin kesin tanımlı dinamik süreçlere bağlı bulunduğu iki yönde gerçekçi bir kuantum betimlemesini sağlayan bu yeni çözümlerdir.

V

V. Bölümde klasik sistemler için yaptığımız sunuşumuzu yeniden ele alabiliriz. $i\,\partial\rho/\partial t = L\,\rho$ Liouville denkleminin biçimsel çözümünde $L\,\rho$, ρ ile birlikte hamiltoniyen komütatörüdür ve $H\rho - \rho H$ olarak, ya da $\rho(t) = e^{-iLt}\ \rho(0)$, ya da $\rho(t) = e^{-iHt}\ \rho(0)\ e^{+iHt}$ şeklinde yazılabilir. İkinci bir formülasyon eddington'un açıklamasını doğrular (II. kısım): Her şey, biri e^{-iHt} ye bağlı, diğeri e^{+iHt} ye bağlı, biri geleceğe diğeri geçmişe giden (t nin yerine kullanılan $-t$), sanki iki bağımsız dinamik değişim elde etmişiz gibi gerçekleşir. Böyle olsaydı, kuşkusuz oarada zaman simetrininin bozulması elde edilemeyecekti. İstatistiksel betimleme, Schrödinger denkleminin simetrisini sürdürecekti. Ancak, biraz sonra göreceğimiz gibi, iki zamansal değişimi (e^{-iHt} ve e^{+iHt}) birbirine bağlayan Poincaré rezonansları ortaya çıktığında, artık durum böyle değildir. Bu durumda, Liouville uzayında *tek* zamansal bir ayrımı betimleyen $\rho(t) = e^{-iLt}$ ifadesinden hareket edeceğiz. Başka bir deyişle, rezonans sonuçlarını elde etmek amacıyla, dinamik olayları, *tek bir* zamansal ayrıma göre düzenlememiz gerekir.

O halde, V. bölümde olduğu gibi etkileşimleri betimleyebiliriz: Serbest hareketlerle ayrılmış seri halinde olaylar. Klasik mekanikte, bu olaylar k dalga vektörleri ve p momentumlarının değerlerini de-

ğiştirir. V. Bölümde, korelasyonların oluşturulması ve yok edilmesi olaylarını betimledik ve PBS' ne göre yeni önemli faktörün, oluşturma ve yok etme olaylarını birbirine bağlayan ***baloncuklar*** (bkz., şekil V-7) olan yeni olayların ortaya çıkması olduğunu gördük. Poincaré rezonanslarını açıklayan bu olayların, bir difüzyon kullanmaları, zaman simetrisini bozmaları ve determinizmi yok etmeleri nedeniyle dinamik betimlemeyi tümüyle değiştiren dinamik sonuçları bulunur. Aynı tip olayı kuantum mekaniğinde de saptayabiliriz.

Bunu yapmak için, klasik mekanikte Fourier gösterimine bağlı k dalga vektörleriyle aynı rolü oynayan değişkenleri kullanabiliriz. Klasik durumda, $\rho\ (q,p)$ dağılım fonksiyonunun q koordinatları ve p momentumları fonksiyonuyla ifade edildiği istatistiksel bir formülasyondan yola çıkmıştık. k dalga vektörleri ve momentum terimleriyle yazılan Fourier dönüşümlerine geçtiğimizde koordinatları almadık. Sürekli etkileşimlere bağlı dağılım fonksiyonlarının belirli durumunun giderilmesini ifade etmek için bu dönüşüm gereklidir. Kuantum mekaniğinde benzer bir yöntem izleyebiliriz[9]. Momentumlarla olan gösterimde $\rho(p,p')$ matris yoğunluğundan hareket ederiz. Bu, değişkenleri p ve p' olan iki kümeli bir fonksiyondur. $k = p - p'$ ve $P = 1/2\ (p + p')$ bağıntıları sayesinde yeni değişkenler kullanırız. Bu durumda, klasik mekanikte olduğu gibi, $\rho_k(P)$ kullanırız. Kuşkusuz, k nın fizikteki anlamı tümüyle farklıdır. Şimdi bu, koordinatın Fourier dönüşümü değil, iki momentumun bir farklılığıdır. Bu farklılığa rağmen, $k = p - p'$ nin kuantum mekaniğinde oynadığı rol, dalga vektörünün klasik mekanikte oynadığı rolle aynıdır (bkz., V. bölüm, V. kısım). Örneğin etkileşimlerde k lerin toplamı korunur. P ye gelince, klasik benzeri olan p momentumuyla küçük bir farklılığın olduğunu belirtmek gerekir: Etkileşimler sırasında P değişimleri, h Planck sabiti içerir. Bu sırada $h \rightarrow 0$ için, klasik formülü yeniden buluruz. Biçimsel gelişmede önemli etkisi olmayan bu farklılığın üzerinde durmayacağız.

Böylece klasik PBS'nin dinamik ve kuantum formülasyonları benzer hâle gelirler. Poincaré rezonansları, iki durumda, korelasyonların oluşturulma ve yok edilmesini birbirine bağlayan yeni dinamik olayla-

rı kullanır ve yayılımsal süreçleri betimler. Her iki durumda, bu rezonanslar, olasılığın indirgenmez duruma geldiğini ve kuantum kuramının olasılıkçı boyutunun kanonik formülasyona göre çok belirgin olduğunu içerir.

V. Bölümde, geçici ve sürekli etkileşimler arasında temel bir ayrım kullandık. Termodinamiğin olaybilimsel düzeyde belirgin olduğu bütün durumları belirttiklerine göre, sürekli etkileşimler temel bir rol oynarlar (bkz., V. bölüm, VIII. kısım). Klasik durumdaki gibi klasik *saçılma*, istatistiksel mekanik ya da kozmoloji tarafından betimlenen birçok durumun özgün bir örneğidir. En basit bir durumu yeniden düşünelim, atmosferin sürekli bir çarpışma içinde olan molekülleri dağılırlar, yeniden çarpışırlar... Klasik mekanikte olduğu gibi, sürekli etkileşimlere uygun düşen ρ kuantum dağılım fonksiyonları *belirli* değildir. Bu, *k değişkenlerinde tekil fonksiyonlara* yol açar ve bizi Hilbert uzayından çıkmaya zorlar.

Biraz önce anımsadığımız iki temel özellik olan belirli olmayan tekil olasılık dağılımları ve Poincaré rezonansları, klasik mekanikte olduğu gibi, *L* Liouville operatörünün indirgenmez spektral gösterim koşullarıdır. Kuramsal kuantum açısından, iki yeni temel öğe, bu yeni gösterimlerde şu şekildedir: Bir yandan, özgün değerler artık özgün değer farklılıkları değildir (Schrödinger denklemi yardımıyla elde edilebilecek olan), öte yandan, özgün fonksiyonlar, olasılık genlikleri terimleriyle ifade edilmez, temel büyüklükler olasılıkların kendileridir.

Öngörülerimiz, basit durumlarda daha önce doğrulanmıştır[10]. Özellikle basit bir durum, bir hedefler kümesiyle sürekli bir biçimde etkileşen $\varphi(x) \sim e^{ikx}$ düz bir dalgaya denk düşen bir başlangıç durumudur. Koordinatlarla gösterimde uygun matris yoğunluğu $\rho(x,x') \approx e^{ik(x-x')}$ dir. $x = x'$ için, x lerin bağımsız bir büyüklüğünü, yani belirli olmayanı elde ederiz. Hedeflerle olan çarpışmalar rezonanslara yol açar. Belirsizlik ve Poincaré rezonansları olan iki başlangıç koşulumuz gerçekleşmiş olurlar. Bu durum, Hilbert uzayına bağlı, bildiğimiz kuantum mekaniği çerçevesinde incelenemez. Bilgisayarda, ilk dalga fonksiyonunun yavaş yavaş artan indirgenmesini izleyebiliriz. Bu

süreç, yabancı öğelere başvurmaya gerek kalmadan dinamik değişimden doğar. Şu halde, dalga fonksiyonu indirgemesinin karmaşık kavramı açıklığa kavuşturulmuş olur. Dalga fonksiyonu yok olmaz, ancak, Schrödinger determinist denklemini artık tatmin etmeyen rastlantısal bir büyüklük durumuna gelir. Bu süreç, yörüngenin bir Brown parçacığı gibi olasılıkçı bir büyüklük durumuna geldiği V. bölümde betimlediğimiz sürece benzer.

VI

1927 yılında Brüksel'de yapılan beşinci Solvay fizik konseyinde başlayan bu tarihi tartışma yıllar boyunca, kuantum biçimciliğinin yorumu konusunda Einstein ve Bohr'u karşı karşıya getirmiştir. Bohr'a göre: "Konferansta benden, bu konuyu tartışmaya katmak için kuantum fiziğinin bizi karşı karşıya bıraktığı bilgikuramsal sorunlar üzerine bir rapor hazırlamam istendi. Bütün dikkatimi benimsenmesi gereken uygun terminoloji sorunu üzerine toplayarak ve bütünleyicilik görüşünü savunmak için bu fırsatı değerlendirdim. Temel argüman, anlaşılmaz olmayan fiziksel verilerin iletimi, gözlemlerin kaydedilmesinde de olduğu gibi, deneysel düzenin, klasik fiziğin eksiksiz bir şekilde belirlediği ortak bir dilde ifade edilmesini gerektirir[11]."

Ancak kuantum yasalarıyla yönetilen bir dünyada, bir aygıt klasik terimlerle nasıl betimlenir? Bu, "Kopenhag yorumu" adı verilen açıklamanın zayıf noktasını ortada bırakır. Ne var ki bu yorum, böyle olmakla birlikte doğruluğun temel bir öğesini elinde bulundurur: ölçüm bir iletme modudur. Çünkü biz, Heisenberg terimlerine göre, yasanın bir şeyini öğrenebilmek için hem "aktörler", hem "seyirciler"iz. Bununla birlikte bu bildiri, ortak bir zaman gerektirir. Kuantum mekaniğine olduğu kadar klasik mekaniğe olan yaklaşımımızı belirleyen de bu ortak zamandır.

Ölçümleri gerçekleştiren aygıt, ister fiziksel bir düzenek ya da ister kendimize özgü duyumsal bir düzenek olsun, zamansal simetri bozulmasını içinde bulunduran klasik ya da kuantum dinamiğinin kapsamlı yasalarını izlemek zorundadır. Klasik ya da kuantuma göre integrali alınabilir dinamik sistemler bulunmaktadır. Ancak ayrı ayrı ele alındıklarında, gözlemlenemezler. Gözlemleme, bir ölçüm aracı ya da duyularımızla etkileşimi önceden varsayar. Bu yüzden, integrali alınabilir sistemlere dayanan bilinen kuantum kuramı, ölçümle ilgili ek bir referans bulundurması gerekir. Bohr bu nedenle, daha önce belirttiğimiz gibi, Schrödinger denklemi ve dalga fonksiyonu indirgemesini aynı anda istemiştir. Bir fizik kuramı, ancak ölçümler olasılığını içerdiği zaman eksiksiz olabilir. Bohr tarafından öne sürülen ikiliği içermeksizin yaklaşımımızın kesin bir şekilde izin verdiği şey budur. Aygıt, bozulmuş zamansal simetrili bir PBS olmalıdır. Zamanın yönü, ölçüm aygıtı ve gözlemciyle ortaktır. Biçimciliğin açıklamasında, ölçüme çok özel bir referans getirmek artık gerekmez. Daha doğrusu, PBS'lerin kendileri ölçülürler. Dalga fonksiyonlarındaki potansiyalitenin gerçekleştirilmesi, PBS'ler sayesinde olur.

Einstein'ı şaşırtan şey, ilk önce kuantum mekaniğinin öznel yönü, gözlemciye atfedilen anlamsız rolüydü. Bizim yaklaşımımızda, gözlemci ve ölçümleri, kuantum sistemlerinin değişiminde, her ne olursa olsun klasik mekanikte de artık etkin bir rol oynamaz. İki durumda, etrafımızdaki dünyadan elde ettiğimiz bilgiyi eyleme dönüştürürüz. Ancak, insan aşamasında önemliyse de, geleneksel kuantum kuramının insana verdiği yaratıcı rolle hiçbir ilgisi olmayan bu rol, yasanın potansiyalitesinin gerçekleştirilmesi olarak kabul edilir. Buna göre, yaklaşımımız yeniden herzamanki anlamı getirir. Geleneksel kuantum kuramı formülasyonunda açık olmayan insanmerkezli (antroposantrik) özellikleri eler ve Popper'ın da istediği gibi fiziksel gerçekçiliğin yolunu yeniden bulur. Yanıtsız kalacağını çok iyi bilmemize rağmen şu soruyu sorabiliriz. Einstein ve Bohr'u uzlaştırabilecek miydik? Belki evet, çünkü --özellikle belirtiyoruz- Bohr için önemli olan kuantum mekaniğinin olasılıkçı niteliğini koruruz, fakat aynı zamanda, Einstein'ın isteğine uygun olarak öznel yönlerini katmayız.

[1]. Bkz., örneğin, B. d'Espagnat, *À la recherche du réel*; Panris, Gauthier-Villars, 1981.
[2]. R. Penrose, *Shadows of the Mind*, Oxford, Oxford University Press, 1994, V. bölüm.
[3]. T. Petrosky ve I. Prigogine, *Phys. Lett. A*, CLXXII, 1983, s. 5; T. Petrosky ve I. Prigogine, "Quantum Chaos, Complex Spectral Representations and Time-Symmetry Breaking", *in Chaos,Solitons and Fractals*, IV, 1994, s.311; T. Petrosky ve I. Prigogine ve Z. Zhang, yayımlanacak.
[4]. K. Popper, *Quantum Theory and the Schism in Physics*, Totowa, New Jersey, Rowman and Littlefield, 1982
[5]. Bkz., M. Jammer. *The Philosophy of Quantum Mechanics*, New York, John Wiley, 1974.
[6]. A. Eddington, *The Nature of the Physical World*, *op. cit.*
[7]. A. Böhm, *Quantum Mechanics*, Berlin, Springer, 1986 ve A. Böhm ve M. Gadella, *Dirac Kets, Gamov Vectors, Gelfand Triplets*, Berlin, Springer, 1989.
[8]. G. Sudarshan, *Symmetry Principles at High Energies*, éd. A. Perlmutter *ve öte.*, San Francisco, Freeman, 1966 ve G. Sudarshan, C. B. Chiu ve V. Gorini, *Phys. Rev. D.*, XVIII, 1978, s. 2914.
[9]. T. Petrosky ve I. Prigogine, *loc.cit.*, V. bölüm, I. Prigogine, *International Journal of Quantum Chemistry*, LIII, 1995, s.105.
[10]. 3. Dipnotta a.g.e.; T. Petrosky ve Z. Zhang, yayımlanacak.
[11]. *Essays 1958-1962 on Atomic Physics and Human Knowledge*, New York, Interscience, 1963.

7

Doğayla Diyalogumuz

I

Bilim, doğayla diyalogtur. Bu diyalogun farklı evreleri önceden tahmin edilemez. Bu yüzyılın başında, kararsız parçacıkların, gelişmekte olan bir evrenin, oto-organizasyona ve dağılımcı yapılara bağlı olayların varlığını kim düşünebilirdi? Böyle bir diyalogun kurulması nasıl mümkündür? Zamana göre simetrik bir dünya, bilinmeyen bir dünya olacaktı. Bilgilerin oluşturulmasından önce alınan her önlem, bu, ister bizim ya da ister araçlarımızın etkilenmesi olsun, dünya tarafından etkilenmiş olma olasılığını önceden kabullenir. Ancak bilgi, yalnızca bilen ve bilinen arasında bir ilişki öngörmez, bu ilişkinin geçmiş ve gelecek arasında bir ayrım yaratmasını gerektirir. Oluş gerçekliği, doğayla olan diyalogumuzun *olmazsa olmaz* (sine qua non) koşuludur.

Doğayı anlama isteği, Batı düşüncesinin en büyük projelerinden biri olmuştur. Bu, doğayı kontrol altına almakla bir tutulmamalıdır. Kölelerinin emirlerine uyduğu bahanesiyle onları anladığını sanan efendi, kuşkusuz kördür. Elbette, doğaya başvurduğumuzda, bir hayvanı ya da bir insanı anladığımız gibi doğayı anlamamız söz konusu değildir. Ancak burada da, Nabokov'un görüşü uygundur: "Kontrol edilebilen şey, hiçbir zaman tümüyle gerçek değildir, gerçek olan şey, hiçbir zaman tamamen kontrol edilmiş olamaz[1]." Zamansız, belleksiz ve tarihsiz bir dünya ideali olan bilimin klasik idealine gelince, Huxley'in, Orwell'in ve Kundera'nın romanlarında betimlenen kâbusları çağrıştırır.

Isabelle Stengers ve ben *Zaman ve Sonsuzluk Arasında* adlı yapıtta, bir yüzyılı aşkın bir süreden beri fizikçilerin, bu zaman simetrisi konusundaki inançlarının ne kadar benzersiz ve tuhaf olduğunu anımsattık, zaten Galile'den beri Newton fiziğinde yer alan bu iletinin çözülmüş olması için Boltzmann'ın başarısızlığını beklemek gerekiyordu. Determinizmin, insan düşüncesindeki yeri çok eskiye dayanır ve bilgeliğe, sükûnete bağlı olduğu kadar, kuşku ve umutsuzluğa da bağlıdır. Değişiklik sancısından kurtulacak bir görüşe katılma olan zaman yadsıması, mistik bir öğretimdir. Ancak, değişim tersinirliği hiç kimse tarafından düşünülmemişti. "Hiçbir spekülasyon, hiçbir bilgi, yapılan ve bozulan, yeşeren, çiçek açan ve ölen bir bitki ve yeniden yeşeren, yenilenen ve ilk tohumuna yeniden dönen bir bitki, olgunlaşan ve öğrenen bir insan ve yavaş yavaş çocuk sonra embriyon daha sonra da hücre durumuna gelen bir insan arasındaki eşdeğerliği asla doğrulamamıştır[2]."

I. Bölümde, çağın fizikçileri tarafından desteklenen determinizmle karşı karşıya getirilen Epikuros ikilemini gösterdik. Bugün durum farklıdır. Hangi düzeyde olursa olsun, fizik ve diğer bilimler zamansallık deneyimimizi doğrular: değişen bir dünyada yaşıyoruz. Bu kitabın temeli, bu doğrulamaya karşı direnen son kalenin yıkıldığını göstermeyi amaçlar. Şimdi, fiziğin temel yasalarında kök saldığı gibi evrim iletisini çözecek durumdayız. Bundan böyle determinist kaos ve integrali alınamazlığa bağlı kararsızlık terimlerindeki anlamı açıkla-

yabilecek yetenekteyiz Araştırmamızın temel sonucu, gerçekten, bireysel betimleme (yörüngeler, dalga fonksiyonları) ve istatistiksel kümeler betimlemesi arasındaki bir eşdeğerlik kopukluğunu kabul ettiren sistemlerin belirlenmesidir. Kararsızlığın temel yasalara katılabilmesi bu istatistiksel düzeyde olur. Doğa yasaları bu durumda yeni bir anlam kazanırlar: artık kesinlikleri değil ancak olasılıkları incelerler. Yalnızca varlığı değil, oluşu da doğrular. Newton yörüngelerinde olduğu gibi eski atom bilginlerinin tasarladıkları bir dünya anlayışına yakın düzensiz, kaotik hareketler içinde olan bir dünya betimlemesi yapmışlardır. Bu düzensizlik, açıkça, fiziğin 19. yüzyıldan beri, termodinamiğin ikinci ilkesinin entropi artışı terimleriyle açıkladığı bir betimleme olan, evrimci bir betimlemeyle yaklaştığı sistemlere uygulanabilen mikroskobik gösterimin temel özelliğini oluşturur.

V. ve VI bölümlerde Poincaré rezonanslarının klasik ve kuantum mekaniğindeki rolünü tartıştığımız halde, III. ve IV. bölümlerde, determinist kaosları ele aldık. Kaotik uygulamalarda, tersinmezliğin yalnızca serbestlik derecesi az olan sistemlerde daha önce ortaya çıkmış olması, basit ve kesin bir matematiksel incelemeyi sağlamıştır, ancak ödenecek bedel, hareket denklemlerinin basitleştirilmiş niteliğidir. Tam olarak dinamik sistemler konusunda, "Poincaré büyük sistemleri" (PBS) kavramını benimsedik ve bilinen klasik ya da kuantum mekaniği formülasyonlarının ötesine giden istatistiksel bir formülasyonun kurulmasının iki koşulu gerektiriyordu: İlk önce, istatistiksel düzeyli dinamik betimlemede yer alan yayılımsal tipte yeni süreçlere yol açan Poincaré rezonanslarının varlığı; daha sonra, *belirli olmayan* dağılım fonksiyonları tarafından betimlenen sürekli etkileşimler. Bu iki koşul, daha genel bir *kaos* tanımının yapılmasını sağlar. Bu determinist kaos gibi bir durum olduğundan, bu koşullar, yalnızca yörünge ya da dalga fonksiyonları terimleriyle ifade edilebilen çözümler olan dinamiğe bağlı yeni istatistiksel denklem çözümlerini olanaklı kılar. Bu koşullar yerine getirilmediğinde, alışılmış formülasyonlara yeniden döneriz. Bu, iki cisim probleminde (örneğin Güneş ve Dünya) ya da hedefle karşılaşmadan önce ve sonra parçacıkların serbest olduğu her zamanki *saçılma* deneylerinde olduğu gibi

çok sayıda basit örnekteki durumdur. Bununla birlikte, bu örnekler her zaman idealizasyonlara denk düşer. Güneş ve Dünya yalnız değildir, gezegen sisteminin bir parçasıdır. *Saçılma* deneyleri, kontrol edilen laboratuvar koşullarında yapılmalıdır, çünkü bir kez dağılan parçacıklar, her zaman yeni parçacıklarla karşılaşır, şu halde hiçbir zaman serbest değildir. Ancak, birkaç parçacığı izole ederek ve dinamiklerini ayrı ayrı inceleyerek alışılmış formülasyonu elde ederiz. Zamansal simetrinin bozulması, dinamik sistemin bir bütün olarak incelenmesini gerektiren *global* bir özelliktir.

Yaklaşımımızın ilginç özelliği, klasik sistemlere olduğu gibi kuantum sistemlerine de uygulanmasıdır. Bu özellik dikkate değer olduğu oranda, kuantum mekaniğinde, kuantum biçimciliğinin ikicil yapısını zorla kabul ettiriyormuş gibi görünen gözlemcinin oynadığı rolle karşı karşıya gelecek durumda oluruz. Yaklaşımımız, bu kuantum çelişkisini, klasik mekaniği de etkileyen zaman çelişkisinin bir yönü olarak görür. Kuantum mekaniğinin kendine özgülüğü, ölçüm problemine bağlı olarak yalnızca bu açık çelişkiyi vermiş olmasıdır. 50'li yıllardan itibaren, Niels Bohr, bu problemin, Schrödinger denkeminin tersinir zamanından farklı başka bir zaman tipi gereksinimini ifade ettiğini ileri sürmüştür. "Her atomik olay, gözleminin, uygun genlik düzenekleri (dispozitifler) ve örneğin bir fotoğraf plağının üstünde oluşan sürekli işaretler gibi, tersinmez bir işleyişle donatılmış bir kayda dayandığına göre kapalıdır[3]." diye yazmıştır: Ölçüm problemi arasında, dalga fonksiyonu indirgenmesine bağlı tersinmez zamansal evrim sorunu ortaya çıkar.

Bu durumda, zaman ve kuantum çelişkilerini sıkı sıkıya bizim yaklaşımımıza bağlı olduğunu görmek şaşırtıcı değildir. Birincisinin çözümü ikincisinin çözümüne yol açar. Görmüş olduğumuz gibi, dinamik kuantum sistemleri PBS sınıfıyla ilgili olduklarında, istatistiksel düzeyde betimlenmiş olmaları gerekir. Ve bir kuantum sistemiyle haberleşmeye başlamak için, bir ölçüm aracı gibi etkili bir PBS'ne gereksinim duyarız. O halde, bundan böyle, genel durumu oluşturan kuantum evriminin ikinci tipidir, çünkü her fizik gerçekliği betimlemesi için gerekli koşuldur. A. Rae'nin de anımsattığı gibi:

"Parametrelerden birine ya da parametrelere göre evrenin geriye kalanından kopmuş ve belki de zaman-uzamın kendisinden ayrılan ve bir ölçüm olmadıkça evrenin kalanında, hareketlerinden hiçbir iz bırakmayan yüzde yüz bir kuantum süreci (Schrödinger denklemiyle betimlenen) hiçbir zaman gerçekleşmemiştir[4]." Klasik mekaniğin yörünge terimleriyle betimlediği sistemler için aynı şey söylenebilecektir!

Niels Bohr, bu güç soruların aşılabilmesi için çoğunlukla "çılgın" bir düşünceye gereksinim duyulduğunu ileri sürer. Werner Heisenberg soru sormayı yeğlemiştir: "Soyut bir ressam ile iyi bir fizik kuramcısı arasındaki fark nedir?" "İyi bir kuramcının olabildiğince muhafazakâr olması gerekirken, soyut bir ressamın olabildiğince özgün olmaya çalıştığı", yanıtını vermiştir. Heisenberg'in önerisine uymaya çalıştım. Bu kitapta izlenen düşünce, kuşkusuz, zaman çelişkisini ya da kuantum çelişkisini çözmeyi amaçlayan diğer birçok öneriden daha az radikaldir. Öne sürebileceğimiz ve tuhaf bir biçimde gerçekten de, fikri destekleyenler ya da daha "devrimciler" için en güç kabul edilebilir görünen en "çılgın" tez, yörüngeye küme terimleriyle ifade edilen bir tanım verilmiş olması, yani, birinci kavram olarak sayılmak yerine, düzlemsel dalgaların bir çakışma sonucu (süperpozisyon) gibi tanımlanmış olmasıdır. O halde Poincaré rezonanslarının anlamı basit bir biçimde oluşturulabilir: Bu çakışmaların uyumunu yok etmeleri, yörünge kavramına indirgenmeyen istatistiksel bir betimlemeye yol açar. Bu bir kez elde edildiğinde, kuantum durumlarının genelleştirilmesi doğrudan gerçekleşir. Oysa ilginç olan nokta bizim ters bir yol izlemiş olmamızdır! Klasik mekaniğin bir genelleştirme fikri bize uzun bir zaman akıl almaz gibi gelmiştir!

II

Termodinamik sınıra, yani N/V konsantrasyonu sınırlı değerde kalırken N parçacıkları sayısı ve V hacminin sonsuza doğru gittiği durumlara çok sayıda göndermede bulunduk. V. Bölümün II. kısmın-

da belirttiğimiz gibi, sonsuz bir parçacıklar sayısı olan sistemler yoktur, ancak termodinamik sınırın anlamı, N yeterince büyük olduğunda $1/N$'deki terimlerin yok sayılabilmesidir. Bu, N'nin çok belirgin biçimde 10^{23}, yani Avogadro mertebesinde olduğu termodinamik sistemlerin durumudur. Termodinamik sınırın, hesapları kolaylaştırmak için kullanılan basit bir tahmin olmadığını da gösterdik. İstatistiksel mekaniğe dayanan dinamik yasaları kullanan mikroskopik betimleme ve örneğin, maddenin hâllerini ve dengeye uzak ya da yakın durumları belirleyen makroskopik özellikler arasındaki bağlantıda çok önemli bir rol oynar. Makroskopik betimleme sınırları içinde, V. ve VI. bölümlerde gösterilen dinamik kuramda temel bir rol oynayan sürekli etkileşimler elde ederiz. Bir bütün olarak sayılan evrenin kendisi, son derece heterojen ve dengeden uzak termodinamik bir sistemdir.

Bu dengeden ayrılmaya dinamik bir anlam vermek için, daha önce belirttiğimiz gibi, kararsızlığı dinamik düzeye katmamız gerekir. Ancak bu sapma, doğayla olan diyaloğumuzun da bir koşuludur. Ekosistemimizi dengeden uzaklaştıran ve böylece Dünya'da yaşamın gelişmesini sağlayan, Güneş'in içindeki nükleer tepkimelerden ileri gelen bu enerji akısıdır. Dengeden uzaklaşma, toplu (kollektif) hareketlere, dengeye göre uyumu çok güç bir hareket düzenine yol açar. "*Zaman ve Sonsuzluk Arasında*" adlı yapıtta belirttiğimiz farklılık olan, Bénard hücreleri ve kimyasal tepkimeler gibi hidrodinamik tepkimeler arasındaki büyük farklılığı bile anımsatabilirler. Birinci durumda, ısı yayınımıyla ortaya çıkan toplu molekül akısı, ısıtmayı durdurduğumuzda kaybolur ve sistem yeniden düzensiz termik ajitasyonuna döner. İkincisinde, tersinmezlik, ancak dengeye yakın koşullarda bir bireşim haline getirilebilen ve daha sürekli bir özellik gösteren molekül oluşumuna yol açabilir. Bu durumda, tersinmezlik, maddede yer alır. Bilgisayardaki simülasyonlar, gerçekten de "biomolekül" tipinde moleküllerin oluşturulabileceğini göstermiştir[5]. Bir sonraki bölümde, maddenin, kendisinin, bir bakıma, tersinmez süreçlerin sonucu olduğunu göreceğiz!

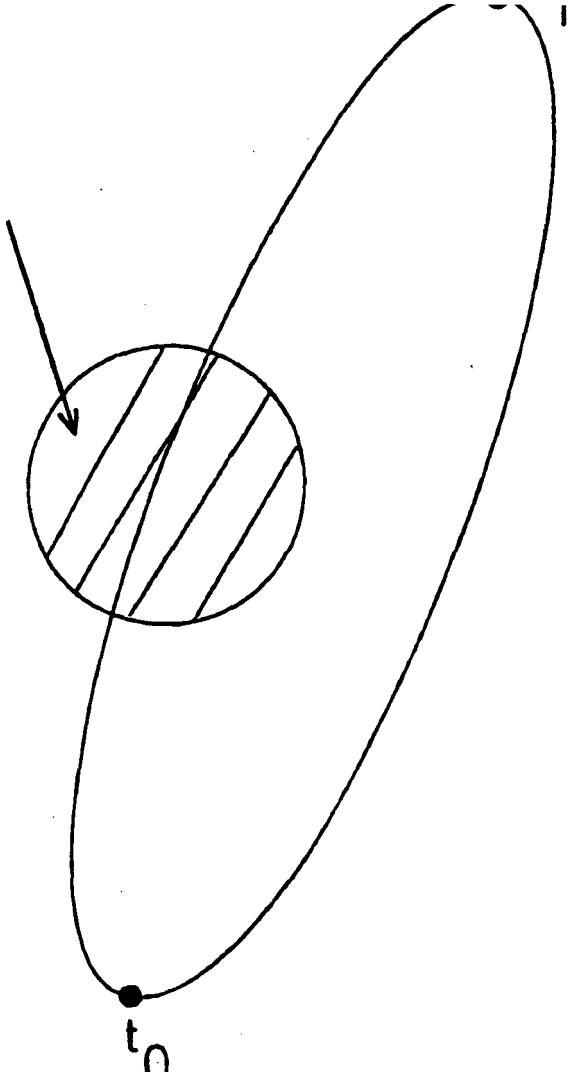
Burada kozmolojiye başlıyoruz. Ondan önce, doğayla diyologumuzda zamanın işlevi üzerine birkaç ilginç bilgi vermek

istiyoruz. Kuşkusuz, göreli fizik, yeni öğeler getirmiştir. Göreli olmayan fizikte, bu ister kuantum ya da ister klasik fizik olsun, zaman evrenseldir, ancak tersinmez süreçlere bağlı zaman akısı öyle değildir. Göreceğimiz gibi, entropi oluşumunu kaydeden entropik bir saat, mekanik bir saatten farklıdır.

III

İlkönce kimyasal bir örneği inceleyelim. İki gaz karışımı olan iki benzer örnekten, karbonmonoksit CO ve oksijenden O_2 hareket edelim. Aralarında kimyasal bir tepkime bulunur ve karbon dioksiti CO_2 verir. Bu tepkime metalik yüzeylerle katalize edilir. Örneklerden birine, bu katalizörü katarız, diğerine katmayız. Belli bir süre sonra bu iki örneği karşılaştırırsak, her birinin bileşimleri farklı olacaktır. Bu oluşum, kimyasal tepkimeye bağlı olduğundan katalitik yüzeyli örnekte oluşan entropi daha büyük olacaktır. Entropi oluşumunu zaman akısıyla birleştirirsek, bu zaman akısı iki örnekte de farklı olacaktır. Bu sonuç, bizim dinamik betimlememize uyar. Zaman akısı hamiltoniyene bağlı Poincaré rezonanslarında, yani dinamikte yer alır.

Bir sonraki bölümde yeniden döneceğimiz görelilik ikizleri çeliskisinin göreli olmayan benzer bir örneğini oluşturan başka bir durumu ele alalım. Yerkçekimi, dinamik bir sistemin hamiltoniyenine bağlıdır. Şu halde, bir çekim etkisi değişikliği, rezonansları da değiştirecektir. Uzaya iki ikiz (yalnızca PBS olarak kabul edilen) gönderdiğimizi varsayalım. Yeryüzüne dönmeden önce, biri çekimsel bir alan içinden geçer, diğeri geçmez. Poincaré rezonanslarına göre ortaya çıkan entropi, her iki durumda faklı olacaktır. İkizlerimiz farklı yaşlarda dönecektir. Temel sonuç, newtoniyen bir evrende bile zaman akısının tek olmamasıdır.



Şekil VII-1

Bir çekim alanının zaman akısı üzerindeki etkisi.

Birçok kez tekrarladığımız gibi, tersinmezlik, geçmiş ve geleceğin aynı işlevi üstlendiği bir grup dinamiği betimlemesinden, zaman göstergesini açıkça belirten yarı-grup terimleriyle ifade edilen bir betimlemeye geçiştir. Farklılık evrenseldir, ancak ondan doğan entropik zaman bizim saatlerimizin zamanına uymaz.

Kuşkusuz, evrenin bütünü için ortalama entropik bir zaman bulabiliriz, ancak doğanın heterojenliği nedeniyle pek anlamı olmaz. Tersinmez jeolojik süreçler, biyolojik ölçeklerden farklı zaman ölçeklerine sahiptir. Ve Stephen J. Gold'un, *Scientific American*'ın özel sayısında vurguladığı gibi, evrendeki yaşama özgü biyolojik evrimde çok büyük zaman ölçekleri farklılığı bulunur. Yeryüzündeki yaşam tarihinin büyük bir bölümünde yer almış tek canlı varlıklar, bakterilerdir. Prekambriyen patlama sırasında, kimi zaman kısa bir süre zarfında birçok yeni canlı türü ortaya çıkmış ve ilginç evrimler göstermişlerdir.

Gould'un yaşamın tarihsel niteliği üzerine verdiği tanımı aktararak bu bölümü bitirmek istiyorum: "Yaşam yolunu belirleyen olayları ve düzenlilikleri anlamak için, gerçekleşmediği görülen mantıksal milyonlarca seçenek arasından tek bir versiyonun gerçekleştiği evrim kuramı ilkelerinin ötesine, gezegenimizle ilgili yaşam tarihinin olağan işleyişinin paleontolojik bir incelemesine doğru gitmemiz gerekir. Böyle bir yaşam tarihi anlayışı, batı biliminin alışılmış determinist modellerine, aynı zamanda sosyal geleneklere ve en yüksek yaşam ifadesi olarak insanlarda doruk noktasına varan ve gezegeni egemenliği altına almaya bir tarihin umutları olan Batı kültürünün en derin psikolojik umutlarına tamamen terstir"[6].

Gould tarafından vurgulanan bilimin determinist modelleriyle birlikte çelişkiler artık yoktur. Tam tersine, Darwin'in evrim kuramı ilkelerinin ötesine gitme zorunluluğu ve termodinamik dengeye yönelik evrimler konusunda 19. yüzyılda açıklandığı gibi ikinci ilkenin basit formülasyonunun "ötesine" açılan ufuklar arasında çok büyük bir yakınsaklılıkla karşılaşırız. Tersinmezlik ve bu durumda zaman akısı, bundan böyle dinamik yasalarda yer alır, olayların farklılığının bağlı olması gerektiği evrensel bir norm belirtmez. Tersine, bu tersinmezli-

ğin makroskopik düzeyde, sonra yaşam düzeyinde ve en sonunda insan etkinliği düzeyinde yayıldığını görürüz. Bir düzeyden diğerine geçişlere yol açan tarih, bugün hâlâ çok az bilinmektedir, ama en azından dinamik kararsızlıkta yer alan ve çelişkisi olmayan bir doğa anlayışına varırız.

Ancak neden ortak bir gelecek? Zaman göstergesi neden aynı yönde belirleniyor? Bu, evrenimizin bir bütün olduğu anlamına gelmiyor mu? Daha önce zamansal simetri kırılmasını içeren ortak bir başlangıca sahip mi? Burada, kozmolojinin temel problemiyle karşılaşırız. Bu, ancak görelilik sınırları içinde tartışılabilir. Şimdi bu sorular üzerine eğileceğiz.

---

[1]. Catherine Hayles, Nabokov "metafiziğini", *Ada*' da (in *The Cosmic Web. Scientific Field Models and Litterary Strategies in the 20th Century*, Ithaca, Cornell University Press, 1984, s.136) böyle özetliyor.
[2]. I. Prigogine ve I. Strengers, *Entre le temps et l'éternité*, Paris, Fayard, 1988, s. 26.
[3]. Niel s Bohr, *Atomic Physics and Human Knowledge*, New York, Wiley, 1958.
[4]. A. Rae, *op.cit.*
[5]. Bkz. G. Nicolis ve I. Prigogine, *Exploring Complexity, op. cit.*
[6]. *Scientific American*, CCLXX, ekim 1994, s.84.

8

Zaman, Varoluştan Önce mi?

I

Birkaç yıl oluyor, kuşkusuz 1985 sıralarında, Moskova'da Lomonosoff Üniversitesi'nde kısa bir konuşma yaptım. Kısa süre önce 90 yaşında ölen en saygın Rus fizikçilerinden biri olan Profesör Ivanenko benden duvarın üstüne kısa bir cümle yazmamı istedi. Dirac ve Bohr gibi ünlü bilim adamlarınca, daha önce yazılmış çok sayıda cümle bulunuyordu; kısaca şöyleydi: "güzellik ve gerçeklik kuramsal fizikte yan yanadır". Kararsız kaldım sonra şöyle yazdım: "Zaman varoluştan öncedir." Çok sayıda fizikçiye göre, big bang kuramını evrenimizin başlangıcı olarak kabul etmek, zamanın bir başlangıç noktasının olması gerektiğini kabul etmekti. Zamanın bir başlangıcı, belki de bir sonu olacaktı. Ancak bu başlangıç nasıl anlaşılır? Evrenimizin doğuşunun kozmos tarihinde bir olay olduğunu ve şu halde bunun, evrenimizin doğuşundan bile önce gelen bir zaman için ayrıl-

dığını varsaymak bana daha normal geliyor. Bu doğuş, bir evren-öncesinden ("kuantum boşluğu" ya da "meta-evren" olarak da adlandırılır), bizi çevreleyen gözlemlenebilir bir dünyaya yol açan bir faz değişikliğine benzeyecektir. Burada modern fiziğin tartışmalı bir alanına gireriz[1].

Çağdaş kozmoloji, tamamen Einstein'ın genel göreliliğine bağlıdır. Göreceğimiz gibi, bu kuram, gözlemle uyumlu bir şekilde, gelişen bir evren fikrine götürür. Bu fikir, yöntemi bugün egemenliği altına alan standart modelin temel bir öğesidir. Bu modele göre, zaman içinde daha gerilere gittiğimizde, bir tekilliğe, enerjinin ve evrenin maddesinin tümünü kapsayan bir noktaya varırız. Bu durum dünyanın başlangıcını bir tekilliğe bağlar. Ancak bu tekilliği betimlememize izin vermez, çünkü fizik yasaları bir sonsuz madde ve enerji içeren bir noktada yer alamaz. John Wheeler'ın big bang'in "en büyük fizik krizlerinden biri"ni oluşturduğunu söylemesi şaşırtıcı değildir[2]. Paul Davies, *About Time – Einstein's Unfinished Revolution*[3] (Zaman Konusunda – Einstein'in Bitmeyen Devrimi) adlı yeni yapıtında şöyle yazar: "Bilim adamları, Einstein'in evrenin bütünü için tanımladığı zamanın sonuçlarını keşfetmeye başladıklarında, düşünce tarihinin en önemli buluşlarından birini gerçekleştirdiler: Zamanın ve fizik gerçekliğinin tümünün geçmişte tanımlanmış bir başlangıcı olmalıydı...zamanın bir başlangıcı ve bir sonu olabilirdi. Bugün, zamanın başlangıcına "big bang" adı verilmiştir. İnananlar, onu "yaratılış" olarak adlandırırlar."

O halde big bang çok farklı tepkilere yol açmıştır. Davies, mutlak bir başlangıç fikrini, insanlık tarihinin en önemli buluşlarından biri olarak kabul eder, ancak diğerleri, big bang'i (bkz. durağan hâl kuramı, III.kısım) tamamiyle elemeye ya da onu, zaman kavramının yanlış kullanımından doğan bir tür yanılsamaya (illüzyona) indirgemeye çalışmışlardır (bkz. Hawking sanal zamanı, II. kısım).

Davies'in ileri sürdüğü gibi, zamanın belli bir başlangıcı var mı ya da sonsuz mu? Kesin bir yanıtımız olduğunu ileri süremeyiz, ancak kesinliklerle değil, olasılık terimleriyle ifade edilen doğa yasaları

formülasyonumuz ona katkıda bulunabilir. Bu durumda araştırmamız biraz önce söylediklerimizden farklı bir yol izleyecek. Big bang'i *kendine özgü,* tersinmez süreç olarak kabul edeceğiz. Tersinmezlik, yerçekimi (gravitasyon) ve madde arasındaki etkileşimlerin yol açtığı, evren-öncesi (pré-univers) kararsızlığın sonucudur. Bu açıdan, evrenimiz kararsızlık özelliği altında meydana gelmiş olacaktı. Ve, II. bölümde önemini anımsattığımız oto-organizasyon gibi kavramlar, evrenin ilk dönemlerine de uygun gelebilecek kavramlardır. Ne de olsa, bu ilk dönemlerde, evren küçük bir çocuk gibiydi: Erkek ya da kız, piyanist ya da avukat olabilirdi, ancak aynı anda ikisi olamazdı.

Burada, bilim-kurguya tehlikeli bir yakınlıkta olan, pozitif bilginin sınırlarına ulaştığımız açıktır. Ancak, bugün bu sorunlar, yalnızca uzmanlık alanlarında değil, geniş halk kitlelerine ulaşan yapıtlarda da tartışıldığı ölçüde, bu sorunları bu kitapta ele almanın yerinde olacağını düşünüyorum. Bununla birlikte, amacım, kozmolojinin genel bir betimlemesini vermek değildir. Ne büyümeden ne de üstkirişlerden söz edeceğim. Bu kitabın akış yönünü izleyeceğim: Bu kez, kozmolojik bağlamda ele alanın geçmiş ve gelecek arasındaki simetri kırılmasının ve zamanın rolü.

Söylediğimiz gibi, Landau ve Lifschitz'in ünlü yapıtına göre "fizik kuramlarının en iyisi" olan görelilik kuramına başvurmadan bugün kozmolojiyi tartışmak olanaksızdır[4].

Kuantum fiziğiyle genişletilen Newton fiziğinde, uzay ve zaman ilk ve son olarak verilmişti. Üstelik bütün gözlemciler için ortak evrensel bir zaman bulunuyordu. Görelilikte durum artık böyle değildir. Uzay ve zaman eyleme katılırlar. Problemimiz açısından bu dönüştürümün sonuçları nelerdir? *About Time* adlı kitabında Paul Davies, göreliliğin etkisini şöyle yorumlar: "Geçmiş, şimdiki ve gelecek arasındaki zaman bölünmesi de fiziksel anlamdan yoksun gibi görünüyor." H. Minkowski'nin ünlü önermesini tekrarlıyor: "Ve bu durumda uzayın ve zamanın kendisi, basit hayaller gibi yok olmaya mahkumdurlar..." Tam tersine, göreliliğin geçmiş ve gelecek arasındaki ayrımı

hiç de yeniden tartışma konusu yapmadığını, bu zaman göstergesinin zamanı uzaydan ayırdığını göreceğiz.

"Bizim gibi düşünen diğer fizikçilere göre, geçmiş, şimdiki ve gelecek arasındaki farklılık, direngen olsa bile yalnızca bir illüzyondur[5]" diyen Einstein'ın görüşünden daha önce söz ettik. Bununla birlikte, yaşamının sonunda, Einstein fikrini değiştirmiş gibi görünüyor. 1949'da, aralarında büyük matematikçi K. Gödel'in bir denemesinin bulunduğu bir cilt deneme Einstein'a ayrılmıştır[6]. K. Gödel, Einstein'in, tersinmez zamanın yalnızca bir illüzyon olduğu savını, hiç değişiklik yapmadan almıştır. Einstein'a kendi geçmişine doğru yolculuk yapmasının mümkün olduğu kozmolojik bir model önerisinde bulunmuştur. Einstein inanmamıştır. Cildi tamamlayan denemelere verilen yanıtta, "geçmişine telgraf çekilebileceği"ne inanamayacağını kabul etmiştir. Bu olanaksızlığın, fizikçileri, tersinmezlik sorununu yeniden kabul etmeye götürmesi gerekeceğini de belirtmiştir. Bizim de tam olarak yapmaya çalıştığımız şey budur.

İlk önce göreliliğe bağlı devrimin, önceki sonuçlarımızı etkilemediğini belirtelim. Tersinmezlik, zaman akısı, göreli kozmoloji içinde anlamını korur. Tersinmezliğin, daha yüksek enerjilere, yani evrenin birinci zamanlarına doğru gitmemizi sağlayacak kadar önemli bir rol oynadığı bile savunulabilir. Bazı uzmanlar ve özellikle Stephen Hawking, big bang'tan sonra ilk anların evreninde, uzay ve tamamiyle bir uzay niteliği durumuna gelen zamanın, farklılıklarını yitirdiklerini ileri sürmüşlerdir. Ancak, bildiğim kadarıyla hiç kimse, uzay ve zamanın bir "zaman ve mekân artığı"ndan ayrı ortaya çıkabileceği fizik mekanizması önerisinde bulunmamıştır.

Tam tersine, dinamik kararsızlıklara bağlı tersinmez süreçlerin, evrenimizin doğuşundan itibaren çok önemli bir işlev üstlendiklerini düşünüyoruz. Bu bakımdan, zaman sonsuzdur. Bizim, uygarlığımızın, evrenimizin bir yaşı olmasına rağmen, zamanın ne başlangıcı ne de sonu vardır. Oysa, Bondi, Gold ve Hoyle'nin durağan hâl kuramı[7] (bkz., III. kısım) ve big bang'in standart modeli olmak üzere geleneksel iki görüşün bazı öğelerini kozmolojide birleştiren bir teze varıyo-

ruz. İkincisi, kendine özgü (spesifik) bir biçimde evrenimizde yer alacağı halde, birincisi, evrenimizi meydana getiren bu kararsız ortam olan evren-öncesine (pré-univers) uygun olacaktır.

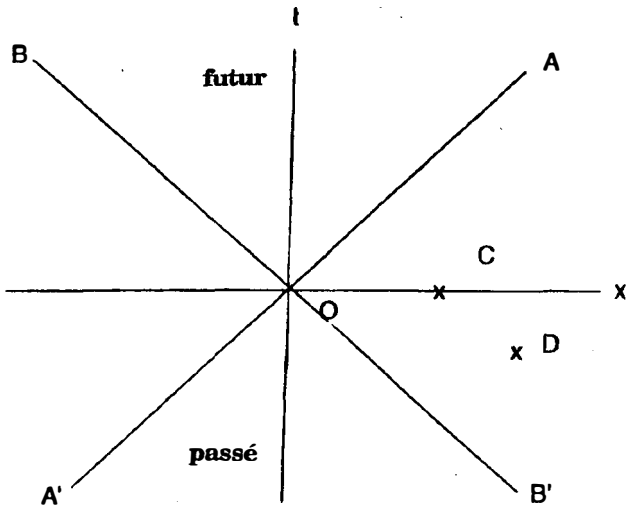
Bu varsayımın spekülatif öğeler içerdiğini, zaten kozmolojide bunun kaçınılmaz olduğunu tekrarlayalım. Ancak, zamanın ve tersinmezliğin rolünü öne çıkaran kozmolojik kavramların, önceden olduğu durumdan daha kesin bir şekilde oluşturulabilmesini ilginç buluyorum. Yetkin doğruluk, böyle olmakla birlikte hâlâ çok uzaktır ve ""Son kozmolojik problemin" az çok çözüldüğünü düşünen bugünün astrofizikçileri, yüzyılın bitiminden önce birkaç sürprizle karşılaşabilirler[8]" şeklinde yazan hintli kozmolog J. Narlikar ile tamamen aynı fikirdeyim.

Sınırlı görelilikle başlayalım. Doğa betimlemesini inersiyel, yani tekbiçimli hızlarla yer değiştiren gözlemcilerle birleştirir. Görelilik öncesi Galile fiziğinde, böyle gözlemcilerin hepsinin, $l_{12}^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2$ iki nokta arasında, ve $(t_2 - t_1)^2$ iki zaman arasındaki aynı aralığı ölçecekleri sanılıyordu. Uzaysal aralık, bu durumda, Eukleides geometrisiyle tanımlanır. Einstein, bunun farklı gözlemcileri, c boşluğundaki ışık hızına farklı değerler vermeye götüreceğini belirtmiştir. Deneyle uyumlu olarak, bütün gözlemcilerin bu hızın aynı değerini hesapladıkları ortaya çıkarsa, bir $s_{12}^2 = c^2 (t_2 - t_1)^2 - l^2_{12}$ zaman-mekân aralığı kullanmak gerekir. Bir gözlemciden diğerine geçerken korunan aralık budur.

Eukleides geometrisinin tersine, şimdi bir minkowskiyen zaman-mekân aralığını elimizde bulundururuz. Bir x, y, z, t koordinatlar sisteminden x', y', z', t' olan bir diğerine geçiş, uzay ve zamanı birleştiren ünlü Lorentz dönüştürümüyle tanımlanır. Bununla birlikte, hiçbir yerde, uzay ve zaman arasındaki fark kaybolmaz, çünkü minkowskiyen aralığı tanımında işaret ayrımıyla açıklanır, orada zaman +, ve uzay – işaretiyle ortaya çıkar.

Yeni durum, çoğunlukla şekil VIII-1'deki Minkowski zaman-mekân diyagramı yardımıyla gösterilir. Bir eksen t zamanını, diğeri, geometrik x koordinatını gösterir. Görelilikte, c boşluğundaki ışık

hızı, işaretlerin aktarılmış olabileceği en yüksek (maksimal) hızdır. Şu halde, diagram içinde farklı bölgeler belirleyebiliriz. Gözlemci O'da yer alır. Geleceği, BOA konisi ve geçmişi A'OB' konisi içine konmuştur. Bu koniler c ışık hızıyla gösterilir. Koninin içinde, hızlar c kadar küçüktür, dışarda, daha büyük olacaklardır: O halde, bu bölgeler önemsenmez.



Şekil VIII-1

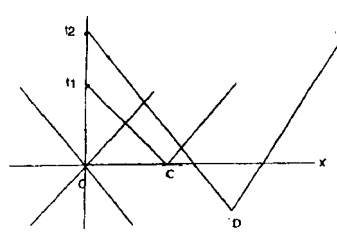
Sınırlı görelilikte geçmiş ve gelecek arasındaki ayrım.

Şekil VIII-1 diyagramında, D, O'dan önce geldiği halde C olayı ve O olayı eşzamanlıdır. Ancak bu durum yalnızca uzlaşımsal (konvansiyonel) dır, çünkü bir Lorentz dönüştürümü (diğer bir gözlemcinin görüş açısına karşılık gelen) t, x eksenlerini döndürür: D ve O bu durumda, eşzamanlı gibi görünür ve C, O'dan sonra gelir. Eşzamanlılık, Lorentz dönüştürümü tarafından değişikliğe uğratılır, fakat

ışık konisi değişikliğe *uğratılmaz*. Zamanın yönü değişmezdir. Hiçbir zaman iki gözlemciden biri yalnızca C olayının O olayından önce geldiğini, ve diğeri C olayından önce gelenin O olayı olduğunu düşünmeyecektir.

Her şeyden önce görelilikte doğa yasalarının zamana göre simetrik olup olmadıklarını bilme sorunu aynı kalır. Hatta daha belirgin duruma gelir. Gerçekten de, şekil VIII-1'deki diyagramda, O, geçmişinde, yani A'OB' konisi içinde meydana gelen olayları, en iyi şekilde bilir. C ya da D olaylarının sonuçları, bu sonuçlar ışık hızıyla yayılmış olsa bile, ona ancak daha geç, t_1 ve t_2 zamanlarında (bkz., şekil VIII-2) ulaşır.

Bu yüzden O'nun elde edebileceği veriler sınırlıdır. Bu durumda, göreli bir gözlemci, tanım olarak yalnızca dış dünyaya açılan sınırlı bir pencereye sahiptir. Determinist bir betimlemenin burada da aşırı bir idealizasyona karşılık geldiğini gösteren determinist kaosla olan eğlenceli bir benzetme, zaten, B. Misra ve I. Antoniou[9] tarafından önerilmiştir. Bu, istatistiksel bir betimlemeye geçmeyi tamamlayan bir nedendir. Gerçekten, determinist kaosta, yörüngeden söz etmek için, görmüş olduğumuz gibi, sonsuz bir kesinlikle birlikte başlangıç koşulunun bilinmesi gerekecektir. Göreli bir durumda, bütün geleceğe göre geçerli bir determinist öngörüde bulunabilmek için, şekil VIII-2'deki x ekseninin bütün sonsuz uzunluğu üzerindeki başlangıç koşullarına karşılık gelen pencereyi yaymak gerekecekti.



Şekil VIII-2

C ve D'deki olaylar, sonraki t_1 ve t_2 zamanlarında O'ya varırlar.

Göreliliğin en ilginç sonuçlarından biri, Einstein tarafından gösterilen zaman genleşmesidir (Bu genleşmeyi tarihsel olarak Lorentz ve Poincaré isimlerine bağlamak daha doğru olacaktı). Her birine bir saat takılmış ve bir v sabit bağıl hızıyla yer değiştiren iki devinimsiz (inertiels) O ve O′ gözlemcisini göz önüne alalım. Eğer, O gözlemcisini hareketsiz ve O′ gözlemcisini hareket halinde olduğunu düşünürsek, Lorentz dönüşümünün sonucu, O′ tarafından ölçülen t_0 zaman aralığındadır ve O gözlemcisine göre $t = t_0 \,/\, (1-v^2/c^2)^{1/2}$ olan daha büyük bir zaman aralığına uygun düşer. Zaman genleşmesi, kararsız parçacıkların kullanılması sayesinde doğrulanmıştır. Yer'den tahmin edilen yaşam süreleri (O gözlemcisi), kendileri uzayda hareket halinde olmalarına karşın, göreliliğin önceden bildirdiği gibi yörüngelerine bağlıdırlar.

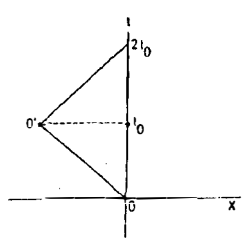
Kuşkusuz, Einstein'ın etkisiyle öngörülen bağıntı simetriktir. Aynı zamanda O′ yu hareketsiz, ve O nun göreli bir $-v$ hızıyla devindiğini göz önüne alabilirdik. Şu halde, $(1-v^2/c^2)^{1/2}$ genlik faktörüne karşılık gelen iki gözlemciyle ölçülen zamanlar arasında bir ölçek yasası bulunur. Bu, göreceğimiz gibi, sınırlı göreliliğin, V. ve VI. bölümlerde gösterdiğimiz kuramda yer alan tek değişikliğidir. Ancak bunu göstermeden önce, çok bilinen fakat çoğunlukla iyi ifade edilmemiş bir problem olan, ikizler çelişkisi üzerinde biraz duralım.

Bu çelişki, biri, tekbiçimli bir şekilde devinen bir uzay gemisinde uçtuğu halde, diğeri yerde, $x = 0$ dediğimiz noktada kalan iki ikizi gösterir. Bu gemi, t_0 zamanında yön değiştirir (koordinatlarda ölçülene göre yeryüzünde kalan ikiz devinimsizdir) ve $2t_0$ geri gelir. Devinim halindeki ikizle ölçülen zaman aralığı, yeniden $2t_0$'dan büyük olacaktır. VII. Bölümde, newtoniyen zamanın tarihten bağımsız, evrensel olduğu halde, zaman akısının tarihe bağlı olduğunu belirttik. Burada, zamanın kendisi de tarihe bağımlı duruma gelir. Bununla birlikte V. Fock, temel kitabı *The Theory of Space, Time and Gravitation*[10]'da, ikizler problemi tartışıldığında çok tedbirli olmak gerektiğini vurgulamıştır. Gerçekten, orada, yerleştirilmiş bir saat üzerinde, uzay gemisinin ivme etkisi, yön değiştirdiğinde önemsenmez. Fock, genel göreliliğe uygun olarak çekim alanından ileri gelen

hızlanmanın olduğu daha ayrıntılı bir modelin farklı sonuçlara yol açtığını göstermiştir. Zaman genleşmesi işareti bile değişmiş olabilir. Bu tahminlerin doğrulanması için yeni ve ilginç deneyimler gerekecektir.

Stephen Hawking, *Zamanın Kısa Tarihi*'nde, bir $\tau = it$ sanal zamana yer verir. Bu durumda, zaman-mekân aralığında etkisi olan dört boyut uzaysallaşır. Hawking'e göre, Lorentz aralığını veren formül simetrik olduğundan, sanal zaman, reel zaman olabilir. Gerçekten zaman ve uzay katsayısı işaretleri, bu durumda, Minkowski zaman-mekân aralığında aynıdır. Yalnızca geometrik bir evrenin karşısında olacaktık. Hawking'in tasarısı bir kez daha, zaman gerçeğini yadsımak ve evreni sonsuz bir yapı olarak betimlemektir.

Şimdi, yeniden kitabımızın temel konusuna dönelim ve klasik hamiltoniyen dinamiği ya da kuantum mekaniği tarafından betimlenen sistemler üzerindeki görelilik etkisini göz önüne alalım. Paul Dirac[11] ve diğerleri, kendisinden sonra[12], sınırlı göreliliğin ve hamiltoniyen betimlemesinin gereklerinin nasıl düzenleneceğini göstermişlerdir. Görelilik, fizik yasalarının bütün inesiyel sistemlerde (systems inertiels) aynı kalması gerektiğini doğrular. V. ve VI. bölümlerde, kapalı bir biçimde, bütün olarak sistemlerin, devinimsiz olduklarını varsaydık. Göreliliğe göre, bütünü içinde sistem, tekbiçimli bir hızla yer değiştirsin ya da değiştirmesin, aynı betimlemenin geçerli kalması gerekir.



Şekil VIII-3

İkizler çelişkisi. O' gözlemcisi, O gözlemcisine oranla devinim halindedir.

Poincaré rezonanslarının, geçmiş ve geleceğin aynı işlevi üstlendiği dinamik grubu yok etmeye, yani zaman simetrisinin kırıldığı yarıgruba dönüştürmeye elverişli olduklarını gördük. Bu zaman kırılması, bütün inersiyel referans sistemlerinde geçerli kalır. Daha açık olması için, iki hamiltoniyen sistemi düşünelim. Biri, durağan olan ağırlık merkezine göre (systeme en co-mouvement = ortak devinimli sistem) bir koordinatlar sisteminde, diğeri, ağırlık merkezine göre devinen bir v hızıyla birlikte, bir koordinatlar sistemi içinde betimlenir[13]. Durum, şekil VIII-3'de gösterilen duruma benzer. Ortak devinimli sistemde zaman aralıkları, devinimli sisteme uygun gelen zaman aralıklarına oranla $((1-v^2/c^2)^{1/2}$ ile bölünür. Kuramımızca öngörülen bütün olaylar, zamansal simetri kırılması, indirgenmez olasılıkçı betimleme v.b., korunur.

Bununla birlikte, görelilikten kaynaklanan yeni öğeler de betimlemede yer alabilir. Etkileşimler artık bir anlık değildir. Yüklü parçacıklar arasındaki etkileşimler, fotonlar tarafından iletilir ve bu durumda, ışık hızıyla yayılırlar. Önceden olduğu gibi, Poincaré rezonansları bulunur, ancak bu kez parçacıklar ve alan arasındadır. Bu, fotonların parçacıklar tarafından yayılmasından doğan, ışınım deviniminin durması gibi indirgenmez ek süreçlere yol açar.

Buraya kadar, sınırlı göreliliğe karşılık gelen Minkowski zaman-mekân aralığını değerlendirdik. Kozmolojik problemi ele almak için bir zaman-mekânsal aralık kavramının genelleştirilmesini gerektiren yerçekimini katmak zorundayız.

III

İlk önce big bang sorununa dönelim. Sözünü ettiğimiz gibi, zaman içinde daha gerilere giderek, gelişen bir evreni izlersek, bir tekilliğe

varırız: Yoğunluk, sıcaklık, ve eğrilik sonsuz duruma gelir. Bugün gözlemlenen galaksilerin azalma hızından yola çıkarak, bu olayın – evrenimizin doğuşu- on beş milyar yıl önce meydana geldiğini tahmin edebiliriz.

Bizi bing bang'tan ayıran zaman dönemi şaşırtıcı bir kısalıktadır. Onu yıllarla ifade etmek, Dünya'nın Güneş'in çevresinde dönmesini ölçüt olarak kabul ettiğimiz anlamına gelir. Hidrojen atomunda, elektronun saniyede yaklaşık on bin milyar kez döndüğünü anımsarsak, on beş milyar kez dönmek pek az bir şeydir!

Zaman ölçeği ne olursa olsun, evrenin başlangıcında önemli bir olayın varoluşu, kuşkusuz, bilimin hiçbir zaman ortaya koymayacağı beklenmedik sonuçlardan biridir. Ancak bu sonuç ciddi sorunlara yol açar. Fizik, yalnızca olay sınıflarını ele alır. Oysa, bing bang, bir olay sınıfıyla ilgiliymiş gibi görünmez. İlk bakışta, fizikte hiçbir yerde benzeri olmayan bir tekilliğe karşılık gelen eşsiz bir olay gibi görünür.

Paul Davies ile birlikte gördüğümüz gibi bu eşsiz tekillik ve yaratılışın kutsal kitaptaki konusuyla ilgili uyandırdığı çağrışımlar (associations), genellikle halka ve araştırmacılara çekici gelmiştir. Metafizik ya da dinsel sorunlara girmek için, fiziğin, deneysel bilimler sınırını aşmış olması, burada en iyi gösterge değil midir? Ancak, big bang de, diğer fizikçiler tarafından bir redde yol açmıştır. Bondi, Gold ve Hoyle'e bağlı durağan hâl kuramından daha önce söz ettik. Bu kuram, evrene bir başlangıç saptamamızı dışlayan *yetkin* bir kozmolojik ilkenin gereklerini yerine getirir. Gerçekten de, bu ilkeye göre, hangi gözlemci olursa olsun, geçmişte ya da gelecekte, evrene aynı sıcaklık, madde yoğunluğu ve enerji değerleri vermek zorundadır. Durağan evren, standart model evreni gibi gelişmektedir, ancak bu üstel gelişme, sürekli bir madde yaratımıyla dengelenir. Gelişme ve yaratma arasındaki eşleme (synchronisation), bir madde-enerji yoğunluğu sabitini sürdürür ve bu durumda yetkin kozmoloji ilkesini yerine getirir. Sonsuz ve yaşı olmayan bir evren düşü yeniden kurulur, ancak bu, sürekli bir yaratım içinde olan evrendir.

Çekici özelliğine rağmen, durağan evren modeli güçlüklere yol açar. Durağan hâlin sürdürülmesi, özellikle, kozmolojik evrim (evrenin gelişmesi) ve mikroskopik olaylar arasındaki yetkin eşzamanlılığı (synchronicité) sağlayan çok sıkı koşulları gerektirir. Bu eşzamanlılık nasıl açıklanır? Onu gerçekleştirmek için hiçbir mekanizma önerilmedikçe, gelişme ve yaratma arasındaki bir denklik varsayımı tartışmaya çok açıktır.

Ancak bu, big bang modelini benimsemek için fizikçilerin çoğunu durağan evren modelini yadsımaya iten ve o zamandan beri "standart model" adı verilen, deneysel bir buluştur. Bu, 1965 yılında, Penzias ve Wilson'un, 2,7 °K'deki ünlü fosil ışınım buluşudur[14].

Big bang'in bir sonucu olduğunu gösterdikleri bu ışınımın varlığı, 1948 yılından itibaren Alpher ve Herman tarafından önceden bildirilmiştir. Eğer evren, ilk zamanlarında olağanüstü bir biçimde yoğun ve sıcak olsaydı, opak (donuk) olması gerekirdi, çünkü fotonların maddeyle etkileşmeleri için yeterli enerjisi olmalıydı ve bu durumda serbest bir şekilde yayılmıyorlardı. Oysa, madde ve ışık arasındaki bu dengenin, yaklaşık olarak 3 000 °K'de yok edildiği gösterilebilir. O zaman, ışık maddeden ayrılır ve bir siyah cisim ışınımı, ya da tek bir sıcaklıkla belirtilen ısıl (thermique) ışınım oluşturur. O halde bu sıcaklığa ulaştığında, evrenin *saydam* (transparent) olması gerekir. Bu zamandan itibaren, ısıl ışınım oluşturan fotonların geçirebilecekleri tek dönüşüm, dalga boyu değişimidir. Bu dalga boyunun evrenin boyutuyla artması, ışınım sıcaklığının azalması anlamına gelir. O halde, Alpher ve Herman, fotonlar ve madde arasındaki denge 3 000 °K'de bir evrende gerçekten yok edilseydi (yani, başlangıçtan aşağı yukarı 300 000 yıl sonra) ve fotonlar 3 000 °K'de bir siyah cisim ışınımı oluştursalardı, bu ışınımın sıcaklığı bugün, yaklaşık 3 °K'de olması gerekeceğini önceden bildirmişlerdir. Bu, yüzyılın en büyük buluşlarından birini hızlandıran tümüyle dikkat çekici bir öngörüydü.

Standart model, çağdaş kozmolojinin temelinde yer alır. Genel olarak, big bang'in özgünlüğünden sonra çok kısa bir süre için evrenin

doğru bir betimlemesini sağladığı kabul edilir. Ancak, bu ilk saniyede evrenin betimlemesi çözülmemiş bir sorun olarak kalmıştır.

Niçin hiçbir şeyi olmasından daha çok bir şey var? Bu, görünüşe göre, pozitif bilgiye sonsuza dek yabancı, kurgusal (speculative) bir sorudur. Ve bununla birlikte, bu soru fizik terimleriyle ifade edilebilir ve göreceğimiz gibi, bu durumda kararsızlık ve zaman sorununa bağlı olur. Evrenimizin doğuşu sorununun bu yeni yaklaşımı, kaynağını Edward Tryon[15] tarafından açıklanan, ancak Pascual Jordan'a kadar uzanıyormuş gibi görünen bir fikirde bulur. Bu "bedava yemek" *(free lunch)* fikridir. Bu fikre göre, evrenimiz iki enerji biçimiyle belirtilebilir: Biri, negatif bir işaretle ortaya çıkacak yerçekimi kuvvetlerine bağlıyken, diğeri pozitif işaretli, Einstein'in ünlü $E = mc^2$ formülüyle gösterilen maddeye bağlıdır. O halde, boş bir evrenin enerjisinin sıfır olması gibi, evrenin toplam enerjisinin sıfıra eşit olabileceğini varsaymak ilginç değil midir? Ve bu durumda, boşluktan yola çıkarak, bir madde yaratımı (création) varsayılamayacak mıdır? Böyle bir yaratım, enerjisini koruyacaktır. Tryon'un önerdiği, boşluk dalgalanmalarına bağlı olacaktır.

Bu varsayım çok ilginç görünmektedir. Dengesiz yapıların oluşumunun (Bénard hücreleri ya da kimyasal salınımlar gibi) kendisi de, bir "*bedava yemek*"e (free lunch) uygun düşer. Enerji korunur. Dengesiz yapıların değeri, enerjiyle değil, entropiyle karşılanır. Bedava yemek fikri, o halde, ilginç bir hareket noktasıdır. Negatif çekim enerjisinin kaynağını ve maddeye bağlı pozitif enerjiye dönüşümünün mekanizmalarını belirlemek mümkün müdür? Şimdi bu sorular üzerinde duracağız.

III

Einstein'ın temel fikri, yerçekimini uzay-zaman eğriliğine bağlamaktır. Sınırlı görelilik çerçevesinde, yeterince benzer iki olaya $((l_2 - l_1)^2$ o zaman, dl^2 olur*)* göre, Minkowski zaman-mekân aralığının $ds^2 =$

$c^2\ dt^2 - dl^2$ olduğunu gördük. Genel görelilikte, μ ve ν'nin dört değer aldığı, zaman-mekân aralığı $ds^2 = g_{\mu\nu}\ dx_\mu\ dx_\nu$ şeklinde ifade edilir: *0* (zamana göre) ve *1,2,3* (uzaya göre) değerlerini alırlar ve, μ ve ν indisleri üzerinde toplanır. $g_{\mu\nu} = g_{\nu\mu}$ olduğu gibi, zaman-mekân geometrisini belirleyen on farklı $g_{\mu\nu}$ fonksiyonu elde edilir. Bu geometri "riemaniyen" olarak adlandırılır ve onu gösteren basit örnek çoğunlukla, iki boyutlu eğik bir uzay gibi kabul edilen küresel yüzeydir.

Görelikçi devrimin önemi burada ortaya çıkar. Newtoncu çerçeve içinde, uzay-zaman, maddi içeriğinden bağımsız olarak ilk ve son olarak verilmişti. Uzay-zaman ölçübilimi (metrique), $g_{\mu\nu}$ fonksiyonlarının betimledikleri gibi şimdi evrenin maddesel içeriğine bağlıdır. İki farklı tipte nesneyi birleştiren bu bağ, Einstein alan denklemleriyle daha kesin bir biçimde ifade edilir. Denklemin iki teriminden biri, uzay-zaman eğrisini ve onların uzaya ve zamana bağlı türevlerini, $g_{\mu\nu}$ terimleriyle betimler; ikincisi, maddesel içeriği, madde-enerji yoğunluğu ve basıncı terimleriyle tanımlar. Maddesel içerik, uzay-zaman eğriliğinin kaynağıdır. 1917 yılından itibaren, Einstein, denklemini bir bütün olarak sayılan evrene uygulamıştır. Bu, modern kozmolojinin çıkış noktası olmuştur. Felsefî inançlarına uygun olarak, Einstein tarafından oluşturulan evren, statik (duruk), zamansız, en gözde filozofu, Spinoza'nın düşüncesiyle uyuşan evrendir.

Bu, insan ve doğa arasında dikkat çekici bir diyalog oluşturan birçok sürprizin meydana geldiği sırada olmuştur. A. Friedmann ve G. Lemaître, Einstein evreninin kararsız olduğunu göstermişlerdir. En küçük bir dalgalanma onu yok edebilecekti. Einstein denklemlerinin kararlı çözümleri, gerçekten, gelişen ya da daralan bir evrene karşılık gelecekti. Deneysel açıdan, Hubble ve çalışma arkadaşları, galaksilerce yayılan ışığın kızılına doğru olan farkı (decalage) ortaya çıkarmışlardır: galaksiler birbirlerinden uzaklaşırlar, ve bizim evrenimiz bu durumda gelişmektedir. En sonunda, 1965 yılında, daha önce sözünü ettiğimiz siyah cismin, artık (residuel) ışınım buluşu ortaya konmuştur. Böylece, çağdaş fiziğin standart kozmolojik modeli kurulmuştur.

Genel göreliliğin temel denklemlerinden kozmolojiye geçmek için, basitleştirici varsayımlar kullanmak gerekir. A. Friedmann, G. Lemaître, H. Robertson ve A. Walker'ın isimlerine bağlı standart model, evrenin büyük ölçekte eşyönlü (isotrope) ve türdeş (homojen) olarak kabul edilmesi gerektiği, kozmolojik ilke üzerine kurulmuştur. O halde ölçübilim, çok daha basit biçimli, $ds^2 = c^2\,dt^2 - R(t)\,dl^2$ olan bir zaman-mekân aralığı tanımına denk düşer. "Friedmann" adı verilen bu aralık, Minkowski aralığından iki noktada farklıdır; $)\,dl^2$ sıfır eğrili bir uzaya (Minkowski uzayı), fakat aynı zamanda pozitif (bir küre gibi) ya da negatif eğrili (hiperbolik bir yüzey gibi) bir uzaya denk düşebilen uzaysal bir öğedir; genel olarak evren "ışını" adı verilen $R(t)$, t zamanında, astronomik gözlemlerin sınırına (ışık hızıyla zorlanan sınır) uygun düşer. Einstein kozmolojik denklemleri $R(t)$ ve uzaysal eğriliği, yoğunluğa, ortalama enerjiye ve madde basıncına bağlar. Öte yandan, kozmolojik evrim, entropi koruyucu olarak da tanımlanır. Sonuç olarak, Einstein denklemleri, zamana göre tersinirdirler. Daha sonra bu konuya yeniden döneceğiz.

Söylediğimiz gibi, standart model, genellikle, ilk saniyesinden başlayarak evrenimize olan şeyi betimleyecek nitelikte olduğu kabul edilir. O halde, olağanüstü bir başarı söz konusudur. Ancak daha önce ne oldu? Zaman içindeki genelleştirmenin yol açtığı, yoğunluk ve sonsuz eğrilikler tekilliği (singularité) nasıl yaklaştırılır? Bu tekilliği kabul etmek zorunda mı kalıyoruz? Evrenin ilk saniyelerindeki büyüklüklerin ölçeği üzerine bir fikir vermek için, çoğunlukla Plank adı verilen ölçeğe, yani, üç evrensel sabitin kullanımıyla elde edilen, uzunluk, zaman ve enerji ölçeğine başvurulur: Planck h sabiti, G yerçekimi sabiti ve c ışık hızı. Bundan, $(Gh/c^3)^{1/2}$ eşit olan, 10^{-33} cm mertebesinde bir Planck uzunluğu, 10^{-44} s mertebesinde bir Planck zamanı ve 10^{-32} derece mertebesinde bir sıcaklığa karşılık gelen bir Planck enerjisi türetilebilir. Temel parçacıklar kütlesine oranla çok büyük olan (proton, 10^{-23} g mertebesinde bir kütleye sahiptir) 10^{-5} g mertebesinde bir Planck kütlesi de tanımlayabiliriz. Bu büyüklük düzeylerinin, "Planck çağı" adı verilen evrenin bütün ilk çağının büyüklüklerine karşılık geldiği düşünülebilir. Yaşının 10^{-44} s mertebesinde olacağı bir

evrende, kuvantal etkilerin temel bir rol oynamaları gerekecekti. Bu yüzden evrenin ilk zamanları, bizi çağdaş fiziğin temel bir problemiyle karşı karşıya getirir: Evrenin ilk zamanlarının bir betimlemesinin mümkün olması için, elektromanyetik etkileşimlerdeki gibi, yerçekiminin, dolayısıyla uzay-zamanın kuvantalanmış olması gerekliymiş gibi görünür. Bu problem kararlı olmaktan uzaktır. Ancak, göreceğimiz gibi, Poincaré rezonanslarının ve dinamik kararsızlığın rolünü açıklığa kavuşturan özel bir durumla birleştirilen bir model elde edebiliriz. Bizi, bu çözüme götüren temel aşamaların bir kaçını betimleyebiliriz.

Friedmann zaman-mekân aralığı (üç boyutlu bir eucleidyen geometrisinin durumunu ele alıyoruz) $ds^2 = \Omega^2 (dt_c^2 - dl^2)$ şeklinde, yani, "uygun faktör" adı verilen Ω^2 fonksiyonuyla çarpılan bir Minkowski aralığı gibi yazılabilir. Bu tip uygun zaman-mekân aralığının ilginç özellikleri bulunur. Uygun aralıklar, özellikle ışık konisini korurlar. Bir kuvantum kozmolojisinin doğal başlangıç noktası olarak kabul edilirler, çünkü Friedmann evrenini, özel durum olarak içerirler.

Uygun faktör, bir uzay-zaman fonksiyonudur ve tıpkı elektromanyetik etkileşimin bir alana yol açması gibi, bir alana karşılık gelir. Bir alan, kesin olarak tanımlanmış bir hamiltoniyen ya da bir enerjiyle belirtilen dinamik bir sistemdir. Oysa, Brout ve çalışma arkadaşlarının[16] gösterdikleri gibi, uygun alanın dikkat çekici bir özelliği vardır: *Negatif* bir enerjiye uygun düşer. Negatif değerler açısından enerjisi sınırlı değildir, istenildiği kadar büyük, negatif değerler alabilir. Buna karşılık, kütlesel alanın enerjisi (kütlesel parçacıklara karşılık gelen) pozitiftir (yeniden, $E = mc^2$ olan Einstein'ın ünlü formülünü düşünün). Sonuç olarak, uygun faktörle tanımlanan yerçekimsel alan, madde yaratımına karşılık gelen enerjinin çıkarılmış olacağı negatif bir enerji deposu işlevini üstlenebilir.

O halde, bedava yemek fikrine yeniden dönüyoruz. Yerçekimi enerjisi maddeye dönüştürülürken, toplam enerji (yerçekimsel alan + madde) korunur. Brout *ve öte.* pozitif enerjinin çekilmesi için bir mekanizma önermişlerdir. Uygun alana ek olarak, kütlesel bir alan

getirmişler ve Einstein denkleminin, Minkowski uzay-zamanından başlayan (sıfır olan bir yerçekimi enerjisi ve eğriliğine karşılık gelen), maddenin ve uzaysal eğriliğin eşzamanlı ortaya çıkışına yol açan, ortak (coopératif) bir süreçle sonuçlandığını göstermişlerdir. Model, böyle ortak bir sürecin, zaman boyunca evren ışınının üstel bir artışına neden olduğunu gösterir. Bu, "Sitter evreni" olarak da adlandırılan büyüme (inflatoire) dönemidir.

Bu sonuçlar çok ilginçtir. Yerçekimini maddeye dönüştüren *tersinmez* bir süreç olasılığını gösterirler. Burada, evren-öncesinin, tersinmez dönüşümlerin çıkış noktası olan Minkowski boşluğu olacağı konusuna da dikkati çeker. Bu modelin, *ex nihilo* (hiçbir şeyden yola çıkan görüş) bir yaratım betimlemediğinin altını çizelim. Kuvantum boşluğu, daha önce evrensel sabitlerle ve varsayımla belirtilmiştir, kendilerine, bugün sahip oldukları değerin aynısı verilebilir.

Temel nokta, evrenimizin doğuşunun artık bir tekilliğe bağlı değil, fakat bir faz geçişini ya da bir çatallaşmayı biraz andırır bir kararsızlığa bağlı olmasıdır.

Bununla birlikte, çok sayıda sorun çözümlenmeden kalmıştır. Brout *ve öte.*, bir yarı-klasik yaklaşıma başvurmuşlardır. Uygun alan, şu halde, yerçekimi, klasik bir biçimde incelenirken, kütlesel alan kuvantalanmıştır. Bu, kuvantal etkilerin temel bir rol oynadıkları"Planck çağı"na biraz benzeyen bir sınırlamadır. Öte yandan, Gunzig ve Nardone, düz bir geometrik uzay-zamana bağlı kuvantal boşluk, yerçekimsel etkileşimlere oranla kararsızsa, madde ve eğriliğin eşzamanlı yaratım sürecinin, neden sürekli olarak meydana gelmeyeceğini bir türlü anlayamamışlardır. Yarı-klasik yaklaşımda, süreci işletmek için bir başlangıç dalgalanması gerektiğini göstermişlerdir. Bu birinci aşama, bir ağır parçacıklar, 50 mertebesinde bir kütle olan, ($\sim 50.10^{-5}$g) Planck kütleleri bulutunu içerecekti.

Bu sonuçlar, evrenin açık termodinamik bir sistem gibi sayıldığı, makroskopik bir termodinamik yaklaşıma yerleştirilmiş olabilir[17]. Gerçekten, madde-enerji, yerçekimi enerjisinden oluşturulur. Bu, Einstein'ın kozmolojik denkleminde belli bir sayıda değişikliklere yol

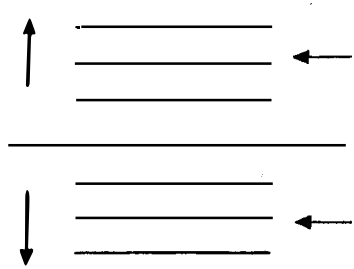
açar. Gerçekten de, termodinamiğin birinci ilkesi, basınç gibi niceliklerin tanımında bir değişikliğe götüren madde-enerji kaynağını şimdi dikkate almak olmalıdır[18]. Oysa, Einstein'ın temel denklemleri, gördüğümüz gibi, evrenin geometrisini, açık bir sistem gibi sayılan evrene denk düşen, yeni bir şekil alan basıncın ortaya çıktığı madde-enerji içeriğine yaklaştırır.

Termodinamiğin birinci ilkesinin iş ve ısı arasında eşdeğerlik kullanması gibi, Einstein'ın denklemlerinin biraz, geometri ve madde arasındaki bir eşdeğerliği ifade ettiği söylenebilecekti. Ancak ikinci ilke bu eşdeğerliği bozar· Her zaman, işi ısıya dönüştürebiliriz, ama tersi doğru değildir (Sadi Carnot'un gösterdiği gibi iki kaynaklı motorlar gerekir). Burada, biraz benzerlik gösterir. Entropi, uzay-zamana değil, çok özel (spécifique) bir şekilde madde-enerjiye bağlıdır. Uzay-zamanın maddeye dönüşümü, entropi oluşturan tersinmez dağılımsal bir süreçe denk düşer. Maddeyi, uzay-zamana dönüştüren ters (inverse) süreç, bu durumda önemsenmez. Evrenimizin doğuşu, bir entropi patlamasıyla ifade edilir.

Bu fikirlerin gelişmesinde en yeni aşama, ikiz erkek kardeşler, Vitaly ve Viladimir Kocharovsky[19] 'nin, kütlesel bir alanla birlikte uygun alan etkileşimine karşılık gelen ve yerçekimi enerjisinin maddeye dönüşmesine yol açan kozmolojik modelin, kuvantalanmış olabileceğini göstermeleridir. Bu, yerçekiminin genel kuvantalaşımı yolunda kaydedilen ilginç bir sonuçtur. Vurguladığımız gibi, yerçekimi, kendisine hiçbir sabit kuantum kuramının oluşturulamayacağı bilinen etkileşimlerin tekidir. Diğer etkileşimler konusunda, kuvantum alanları kuramının, sonsuz niceliklerin ortaya çıkmasına bağlı zorluklara yol açtığı doğrudur. Bu sonsuzlar, böyle olmakla birlikte, "normalleştirme (renormalisation)" denilen yöntem sayesinde elenebilirler: sabit bir kuantum kuramı elde etmek için, kütle, yük, kuplaj sabiti, v.b., gibi büyüklüklerin yeni tanımlarını vermemiz gerekir.

Normalleştirme yöntemi, matematiksel açıdan çok zor kabul edilir olsa da, deneyle olağanüstü bir uyum içinde olan sonuçlara götürür. Ancak bu yöntem, normalleştirilmez olarak kabul edilen, yerçekimine

uygulanamaz. Oysa, bu V. ve V. Kocharovsky'nin sonuçlarının büyük yararını gösterir, en azından kütlesel bir alanla etkileşimde olan basit bir uygun serbestlik derecesi durumuyla sınırlı kaldığımızda, bundan böyle yerçekimini, sınırlı, normalleştirilebilir bir kuramda toplayabiliriz. Gelecek, bu sonucun yetkin bir yerçekimi kuramının çıkış noktası olup olamayacağını söyleyecek. Uygun serbestlik derecesine bağlı enerjinin, orada negatif olduğunu belirtelim. Alanlar kuramıyla incelenen diğer durumların tersine, burada *kararlı* temel hâl bulunmaz. Uygun faktör, madde yaratıldığı ölçüde, gittikçe daha düşük negatif enerjilere denk düşer. Yerçekimi enerjisi için bir alt sınır olmadığından, süreç, durmadan devam edebilir. Yerçekimi-madde sistemi, o halde, *iç* (ve çevreyle değiş tokuşa bağlı olmayan) nedenler yüzünden dengesiz yapılara yol açan ve bu açıdan madde ve eğrilmiş uzay-zaman durumuna gelen, dengesiz bir sistem olarak ortaya çıkar. Buna göre, dağılımsal yapılar ve oto-organizasyon kozmolojik bir benzer bulacaklardı.



Şekil VIII-4

Yerçekimi alanından oluşturulan madde (uygun serbestlik derecesi). Kararlı temel hâl yoktur.

Yerçekimi ve madde arasındaki kuplajın (bağlaşım) kendisi de, bir atomun uyarısız hâle getirilmesine benzeyen bir Poincaré rezonansına uygun düşer. Şu halde, kırılmış zamansal bir simetriye yol açan genelleştirilmiş işlevsel bir uzay içinde çalışmayı gerektirir. Bununla

birlikte, temel hâline yeniden dönen uyarılmış atomun tersine, bu süreç, söylediğimiz gibi, durmaz. Betimlememiz, yalnızca evrenimize değil, fakat aynı zamanda meta-evrene (méta-univers) de, yani bireysel evrenin belirsiz bir sayısının ortaya çıkmasına uygun bir ortama da uygulanabilir. İçermiş olduğu bir meta-evren ve bireysel evrenin bütünlüğü fikri, bugün oldukça yaygındır. A. Linde, M. Rees ya da L. Smolin gibi çok farklı yaklaşımlar öneren yazarlarda bile görünmektedir[20].

Yaklaşımımızın iki genel çizgisini vurgulayalım. Bir yandan, *bizim* evrenimizin yaratımından önce de, bir zaman göstergesinin varolduğu ve bu göstergenin yok olması için hiçbir neden olmadığı açıktır. Öte yandan, bu kitabın temelinde yer alan, iki öğeye, tersinmezlik ve olasılığa yeniden döneriz. Yerçekimsel ve kütlesel alanların genliklerinin yüksek değerlere sahip bulunduğu yerde evrenler ortaya çıkmaktadır. Bunun ortaya çıktığı yer ve zamanın ancak istatistiksel bir anlamı vardır, çünkü kuvantal dalgalanmalara bağlıdırlar.

Einstein tüm yaşamı boyuna, bütün etkileşimleri kapsayacak tek bir kuram hayalinin ardından koşmuştur. Fakat bu gün beklenmedik bir sonuçla karşılaşıyoruz: Belki bu düşün gerçekleşmesi, evrenin *evrimsel* bir kuramını gerektirmektedir! O halde tek bir kuram, evrenin bozulmuş zaman simetrisinden ayrılamayacaktı. Bu, ancak bazı alanlar diğerlerinden farklı bir rol oynarsa gerçek olabilir (kütlesel bir alana göre uygun faktöre bağlı alan durumunda). Şu halde birleştirme, "diyalektik" bir doğa öğretisini gerektirir.

Zamanın ve kaynaklarının ortaya çıkışı sorusu, hiç kuşkusuz her zaman sorulacak. Genel görelilik, bitmiş, son bir kuram olarak sayıldıkça, zaman, bir başlangıcı varmış gibi görünecek ve tek ve benzersiz bir süreç olarak bir evren yaratma imajı kendini kabul ettirecektir. Ancak genel görelilik, klasik ve kuantum mekaniği de, henüz sona ermemiştir. Özellikle, göreliliği, dinamik sistemlerin kararsızlığını göz önüne alarak, kuantum kuramıyla birleştirmemiz gerekir. Sonuç olarak, bakış açısı yepyeni bir görünüm kazanır. Zamanın başlangıcının

olmaması, ve zamanın evrenimizin varoluşundan önce gelmesi olasılığı usa yatkın bir seçenek durumuna gelmektedir.

Bilimin gelişmesinin ne kadar beklenmedik ve dramatik bir niteliğinin olacağını son bir kez daha belirtelim. Einstein, evrenin geometrik bir yorumuyla, çağdaş kozmolojik kuramlar tarihini başlatmıştır. Bu ilk girişimin sonuçları, olağanüstü verimli ve önceden düşünülmemiş bir şekilde gerçekleşmiştir. Einstein, kuramının geometrik bir algılamanın ötesine götürecek ve sonu zaman içinde yönlendirilmiş bir evren görüşüne varacak sorunlar içereceğini nasıl düşünebilecekti? Evren, bundan böyle, her hikâyenin diğer hikâyelerin içinde yer alacağı arap masallarını anımsatmayacak mıydı? Maddenin tarihi, kozmolojik tarihe, yaşam tarihi maddenin tarihine yerleştirilmiştir. Ve sonunda, bizim kendi yaşamlarımız toplum tarihinde yer almıştır.

---

[1]. Bu bölüm, anlatımın tutarlılığı için gerekli *Zaman ve sonsuzluk arasında* adlı yapıtın VII. bölümün bazı özelliklerini yeniden ele alıyor, fakat yeni ve daha radikal bakış açılarına değiniyor.

[2]. H. Pagels'in *Perfect Symmetry* yapıtından alıntılanmıştır, New York, Bantam Books, 1986, s.1995.

[3]. P. Davies, *About Time*, London, Viking, 1995.

[4]. L. D. Landau ve E. M. Lifschitz, *The Classical Theory of Fields*, Londres- Paris, Pergamon Press, 1959.

[5]. *Correspondance Albert Einstein-Michele Besso* 1903-1955, Paris, Hermann, 1972.

[6]. *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, éd. P.A. Schlipp, Evanston, Illinois, Library of Living Philosophers, 1949.

[7]. Bkz., H. Bondi, *Cosmology*, Cambridge, Cambridge University Press, 1960.

[8]. J. V. Narlikar ve T. Padmanabtan, *Gravity, Gauge Theory and Quantum Cosmology*, Dordrecht, Reidel, 1986.

[9]. I. A. Antoniou ve B. Misra, Int. J. of Theoretical Physics, XXXI, 1992, s. 119.

[10]. V. Fock, *The Theory of Space, Time and Gravitation*, New York, Pergamon Press, 1959.

[11]. P.A. M. Direc, *Rev. Mod. Phys.*, XXI, 1949, s. 392.

[12]. Özellikle bkz., D. J. Currie. T. F. Jordan ve E. C. G. Sudarshan, *Rev. Mod. Phys.*, c.35, 1962, s. 558 ve U. Ben Ya'acov, Physica'da yayınlanacak.

[13]. Biraz basitleştiriyoruz; bkz., U. Ben Ya'cov'un orjinal metni.

[14]. Bkz., Stephen Weinberg'in bu bölümden alıntıladığı *Les trois premières minutes de l'univers*'deki muhteşem anlatısı, Paris, Seuil, 1978.

[15].E. P. Tryon, *Nature*, CCXLVI, s.396.

[16]. R. Brout, F. Englert ve E. Gunzig, *Ann. Phys.*, c. 115, 1978, s. 78 ve *Gen. Relativity and Gravitation*, c. 10, 1979, s.1, R. Brout *ve öte., Nucl. Phys. Lett. B.*, c. 170, 1980,

s.228. E. Gunzig ve P. Nardone, Phys. Lett. B, c.188, 1981, s.412 ve Fundamentals of Cosmic Physics, c.11, 1987, s. 311.

[17]. E. Gunzig, J. Géheniau ve I. Prigogine, *Nature*, c. 330, 1987, s. 621; 1. Prigogine, J. Géheniau, E. Gunzig ve P. Nardone, *Proc. Nat. Acad. Sc. USA*, c. 85, 1988, s.1428.

[18]. "Yaratım" basıncı negatiftir, bu, evrenin bir tekillikten başladığını belirten, çoğunlukla Hawking ve Penrose teoremi.olarak söylenen teoremin geçerli olmadığını gösterir: bu teorem, pozitif basınçları ortaya çıkarır. Bkz., A. Linde, *Rep. Progr. Physics*, c. 47, 1984, s.925 ve R. H. Brandenberger, *Rev. Mod. Phys.*, c. 57, 1985, s.1.

[19]. V. ve Viladimir Kocharovsky, *Foundations of Physics*, 1996.s

[20]. Bkz., John Brokman'ın derlenmiş makaleler, *The Third Culture*, New York, Simon and Schuster, 1995.

9

Sınırlı Bir Yol

I

Tersinmezliğin, evrenin de doğuşuna bağlı, kozmolojik kaynaklı olabileceğini biraz önce gördük. Düşüncemizin tutarlılığı için, zaman göstergesi, geçmiş ve gelecek tarafından oynanan rol arasındaki farklılığın, kozmik evrimin, canlı ya da cansız bütün aktörlerince paylaşılan, evrensel bir nitelik oluşturan kozmolojiye bağlı olması gerekir. Ancak tersinmez olaylar, evrenin yaratılmasıyla durmazlar. Güneşteki nükleer tepkimeler ve yeryüzündeki yaşam sürmektedir. Bugünün tersinmez olayları, çıkış noktaları kozmolojik olsa bile, bugünün klasik ya da kuantum fiziğinde ifade edilmeleri gerekir. Bu kitapta söylediğimiz şey budur. Tersinmezliği, doğa yasalarının yeni, olasılıkçı bir formülasyonuna bağlıyoruz. Bu formülasyon bize, yarının evreninin oluşumunu çözmeyi sağlayacak ilkeleri verir, ancak bu evren kurul-

makta olan bir evrendir. Gelecek verilmemiştir. Kesinliklerin sonu yakındır. İnsan düşüncesi açısından bu bir yenilgi değil mi? Ben tersine inanıyorum.

Italo Calvino, evrenin en erken bir döneminde yaşayan varlıkları düşlediği, çok güzel bir hikâye derlemesi olan *Cosmicomiques*[1]'ği kaleme almıştır. Bugün hâlâ bir araya gelip, evrenin, vücutlarının tümüyle kaplayacağı kadar küçük olduğu zor dönemi anımsarlar. Olasılıkları düşleme, olabilecek şey konusundaki spekülasyon, insan zekâsının temel özelliklerinden biridir. Newton, bu erken dönemin bir üyesi olsaydı, fizik tarihi ne olacaktı? Parçacıkların doğuşunu ve dağılmasını, madde ve antimaddenin karşılıklı yok oluşunu gözlemlemiş olacaktı. Başlangıçtan itibaren, kararsızlıkları ve ikiye ayrılmalarıyla evren kendisine, dengeden uzak bir sistem gibi görünmüş olacaktı.

Bugün, basit dinamik sistemleri izole etmek ve kuantum ve klasik mekanik yasalarını doğrulamak olanaklıdır. Ancak bu yasalar her zaman, sadeleştirmelere ve idealizasyonlara uygun düşerler. Evren, dev bir termodinamik sistemdir. Bütün düzeylerde, kararsızlık ve çatallanmalara rastlarız. Bu bakış açısı içinde, fizik idealinin, niçin bu kadar uzun süre kesinliğe bağlı olduğunu, yani zamanın ve yaratıcılığın yadsınmasını, kendi kendimize sorabiliriz. Calvino'nun düşsel varlıklarınca sorulan sorular, yazarın onları yaşattığı erken kozmolojik dönemde nasıl anlamlarını kazanıyorlarsa, kuantum ve klasik mekaniğin basit sistemleri de aynı şekilde ılık evrenimize başvururlar. Yine aynı şekilde, fizik tarihini belirleyen kesinliklerin tutkulu araştırması, klasik fiziğin formüle edildiği, kuşkusuz, Avrupa tarihi bağlamına dahil edilmelidir.

II

Kesinliğe nasıl varılır? Bu, René Descartes'in temel sorusudur. S. Toulmin, çok ilginç *Cosmopolis*[2]'inde, Descartes'ı kesinlikleri aramaya iten durumları ortaya koyar. Politik istikrarsızlığın ve din savaşları-

nın hüküm sürdüğü bir yüzyıl olan XVII. yüzyılın trajik durumunu vurgular. Bu, katolik ve protestanların dogmalar, dinsel kesinlikler adına birbirlerini öldürdükleri bir yüzyıldır. Descartes, başka çeşit bir kesinlik araştırmasına koyulmuştur, bu, bütün insanların dinlerinden bağımsız olarak paylaşabilecekleri bir kesinliktir. Kendisini, muhteşem *cogito*'sundan, felsefesinin çıkış noktası oluşturmaya, ve bilimin tek güvenli yol olan matematik üzerine kurulmasını istemeye iten şey budur. Descartes'ın programı, genel bir anlaşmayla sonuçlanmayı sağlayacak bir dil oluşturmaya ve insanlar arasında barışı yeniden kurmaya çalışan Leibniz tarafından yeniden ele alınmış ve değiştirilmiştir. Bilimde, kesinliklerin araştırması, Newton'un yapıtına bağlı "doğa yasaları" kavramında en son noktasına ulaşır. Bu yasalar, üç yüzyıldan bu yana fiziğe model oluşturmuştur.

Toulmin'in önerdiği kartesiyen arayışın tarihsel ve varoluşçu durumunun ve Einstein'ın bilim karşısındaki tutumunu gösteren inceleme arasında ilginç bir benzetme bulunmaktadır. Einstein'a göre de, bilim, günlük yaşamın sıkıntılarından kurtulmayı sağlıyordu. Bilimsel yönelimi "kentliyi gürültülü ve karışık ortamının dışına, yüksek dağların sakin yerlerine çeken coşkulu istek[3]" le karşılaştırmıştır. Einstein, insan yaşamı üzerine çok kötümser bir görüşe sahipti. Faşizmin, Yahudi düşmanlığının ve dünya savaşlarının hüküm sürdüğü, bir insanlık tarihinin trajik bir çağında yaşıyordu. Fizik konusundaki görüşü, insan aklının aldatıcı ve şiddetli bir dünya üzerindeki büyük başarısı, XX. yüzyılda, nesnel bilgi, belirsiz ve öznel alan arasındaki karşıtlığı arttırmıştır.

Ve bununla birlikte, Einstein tarafından, tarihin felaketlerinden kaçmayı sağlıyormuş gibi algılanan bilim, hâlâ bugünün bilimini mi temsil ediyor? Bilim adamı gibi kentli de artık, hava kirliliği olan şehirlerden yüksek dağlara doğru kaçamaz. Bütün çelişkileri ve belirsizlikleriyle birlikte bilimler, yarının toplumunun kurulmasına katılır-

---

* Descartes'in ulaştığı kesinliği belirten kalıp cümle, Cogito ergo sum (Düşünüyorum, öyleyse varım)'un kısaltılmışıdır.

lar. Umuttan vazgeçemezler, Peter Scott'un terimleriyle, en doğru bir şekilde "dünya, bizim dünyamız, hiç durmadan, bilinen ve değer kaynağı olabilecek şeyin sınırlarını genişletmeye, verilmiş olanı aşmaya, yeni ve daha iyi bir dünya düşlemeye çalışır[4]".

Bu kitabın önsözünden itibaren "Batı anlayışının en derin tutkusu, varlığının kaynaklarıyla birlikte birliğine kavuşmuş olmasıdır[5]" diyen Richard Tarnas'dan söz ettim. Bu tutku, aklın gücünün prométeusçu doğrulamasına varır ancak, bir yabancılaşma dramıyla, yaşamın anlamı ve değerini oluşturan bir yadsımayla bir tutulabilir. Bu aynı tutkunun, bugün, dünya görüşümüzde yeni bir birlik çeşidine yol açmaya uygun olduğuna ve bilimin, bu yeni bir tutarlığın kurulmasında önemli bir rol oynaması gerektiğine inanıyorum.

III

Bir önceki bölümde sözünü ettiğimiz gibi, Einstein'a, yaşamının sonunda, büyük matematikçi Gödel'in bir katkısını içeren bir deneme derlemesi[6] sunuldu. Gödel, geçmişe doğru yapılan bir yolculuk olasılığını düşleyerek, geçmiş ve gelecek arasındaki eşdeğerliği gösterdiğine inanıyordu. Einstein, Gödel'e verdiği yanıtta bu fikri, reddeder: Sonsuzluk girişimi ne olursa olsun, yeniden geçmişe doğru dönme olasılığını kabul etmek, dünya gerçekliğinin yadsınmasına uygun düşüyordu. Fizikçi olarak Einstein, kendi fikirlerinin mantığına uysa da bu sonucu kabul edemezdi.

Büyük yazar, Jose Luis Borges, "Une nouvelle réfutation du temps[7]"da, aynı karşıtlar birliğini ifade eder. Zamanı illüzyona dönüştüren doktrinleri açıkladıktan sonra şu sonuca varır: "Ama, böyle olmakla birlikte ... zamanın sürekliliğini yadsımak, kendini yadsımak, astronomik evreni yadsımak, görünürdeki umutsuzluk ve gizli avuntuya bağlıdır.... Zaman beni meydana getiren maddedir. Zaman, beni kendisiyle birlikte götüren bir ırmaktır, ama ben ırmağım; beni yok eden bir kaplandır, ama kaplan benim; beni yakıp kül eden bir ateştir,

ama ateş beni.a. Dünya, ne yazık ki gerçektir. Ve ben, ne yazık ki Borges'im." Zaman ve gerçeklik indirgenemez bir biçimde birbirine bağlıdır. Zamanı yadsımanın, bir avuntu gibi görünmesi ya da insan aklının büyük bir başarısı gibi ortaya çıkması, her zaman gerçekliğin bir yadsınmasıdır.

Zamanın yadsınması, fizikçi Einstein için olduğu kadar, şair Borges için de ilgi kaynağı olmuştur. Bununla beraber, Einstein'in sorularımızın yanıtının yalnızca rastlantıya bağlı olduğunu kabul etmeyişini anlayabiliriz. Yalnızca rastlantı, gerçekliğin ve dünyayı olduğu kadar determinizmi de anlama isteğimizin bir yadsımasıdır. Bizim oluşturmaya çalıştığımız, hiçbir şeyin genel terimlerle ne betimlenebileceği ne de öngörülebileceği, nedensiz saçma bir dünyaya olduğu kadar, yeniliğe hiçbir yer bırakmayan yasaların yönettiği bir dünyaya yabancılaşmaya da götüren, bu iki kavram arasındaki sınırlı yoldur.

Bu sınırlı yolun araştırılması, bu kitabın konusunu oluşturur. Bu araştırma, yaratıcılığın bilimlerdeki rolünü ortaya koyar. Bilimsel yaratıcılığın bu kadar küçümsenmesi ilginçtir. Shakespeare, Beethoven ya da Van Gogh erken ölmüş olsalardı, hiç kimsenin onların yapıtlarını asla tamamlayamayacağını herkes bilmektedir. Ya bilim adamlarının durumu ne olacak? Newton olmasaydı, başka biri klasik devinim yasalarını bulamayacak mıydı? Termodinamiğin ikinci ilkesinin formülasyonunda Clausius'un kişiliği kendini göstermiyor mu? Bu karşıtlıkta doğru bir şey var. Bilim toplu (kollektif) bir girişimdir. Bilimsel bir problemin çözümünün kabul edilmiş olması için, kesin gereklilikleri ve ölçütleri yerine getirmesi gerekir. Böyle olmakla birlikte, bu karşıtlıklar yaratıcılığı ortadan kaldırmazlar, bunlar yaratıcılığa meydan okumadır.

Zaman çelişkisinin formülasyonu kendi içinde, insan yaratıcılığının ve imgeleminin olağanüstü bir örneğidir. Bilim, yalnız görgüye dayanan olayların incelenmesiyle kendini sınırlamış olsaydı, zaman göstergesini nasıl yadsıyabilecekti? Ve zaman göstergesinin yadsınması yalnızca bir düş değildi. Zamana göre, simetrik yasaların

formülasyonu, görgül gözlemleri, kuramsal yapıların yaratımıyla birleştirmeyi başarmıştır. Bu yüzden, zaman çelişkisi, basit bir şekilde alışılmış anlama başvurmakla ya da dinamik yasalardaki *ad hoc* (uygun) değişikliklerle çözümlenemezdi. Klasik yapının gizli zayıflığını belirlemek de yeterli değildi. Determinist kaosun başlangıç koşullarına ya da Poincaré rezonanslarına olan duyarlılık olan bu zayıflığın, pozitif bir anlam kazanması, yeni bir söylemin başlangıcı ve yeni fizik ve matematik sorularının kaynağı olması gerekirdi. Bu, bilimsel bilgiyle bir tuttuğumuz, doğayla olan diyaloğun anlamıdır. Bu diyalog sırasında, ilk önce bir engel gibi görüneni, tanıyan ve tanınan arasındaki ilişkiye yeni bir anlam kazandıran kavramsal yapılara dönüştürürüz.

Bugün ortaya çıkan, determinist bir dünya ve yalnızca rastlantıya bağlı keyfî bir dünya olan iki bağlayıcı gösterim arasında bulunan orta bir betimlemedir. Yasalar, dünyayı yönetmez, ancak dünya rastlantıyla da yönetilmez. Fizik yasaları, indirgenmez olasılıkçı gösterimlerin ifade ettiği yeni bir anlaşılırlık biçimine uygun düşerler. Mikroskopik ya da makroskopik düzeyde olması gereken kararsızlığa bağlıdırlar ve olayları, determinist yasaların tümdengelimsel ve öngörülebilir sonuçlarına indirgemeden olabildiğince betimlemeye çalışırlar. Belki, öngörülebilir ve kontrol edilebilirle, öngörülemez ve kontrol edilemez arasındaki bu ayrım, doğanın anlaşılabilirlik arayışını Einstein'in yapıtında bulamayacak mıydı?

Kör yasalar ve keyfî olaylar arasında sınırlı bir yol oluşturma sürecinde, Whitehead'in bir deyişiyle söylemek gerekirse, etrafımızdaki dünyanın büyük bir bölümünün o zamana dek, "bilimsel filenin ilmikleri arasından kaydığını" keşfederiz. Yeni ufuklar, yeni sorunlar, yeni risklerle karşılaşırız. Bilim tarihinde ayrıcalıklı bir dönem yaşıyoruz. Okuyucularıma bu inancı iletmiş olmayı umuyorum.

[1]. I. Calvino, *Le Cosmicomiche*, Turin, Einaudi, 1963.
[2]. S. Toulmin, *Cosmopolis*, Chicago, Chicago University Press, 1990.
[3]. A. Einstein, "Les principes de la recherche scientifique" in *Comment je vois le monde*, Paris, Flammarion, 1958, s. 140.
[4]. P. Scott, Knowledge, *Culture and the Modern University*, Congres ter gelegenheid van het 75de lustrum van de Rijksuniversiteit Groningen, 1984.
[5]. Richard Tarnas, *The Passion of the Western Mind, op. cit.*
[6]. *Albert Einstein: Philosopher-Scientist, op. cit.*
[7]. *Labyrinthe*'de çevrilmiştir, Paris, Gallimard, 1953.

"20. Yüzyılın sonuna geldiğimizde, sıkça sorulan bir soru var: Bilimin geleceği ne olacak? Bana kalırsa, yeni bir serüvenin daha başındayız."

Ilya Prigogine

Rus asıllı olan Ilya Prigogine (Moskova 1917), Brüksel Üniversitesi ve Austin'deki Texas Üniversitesi'nde profesördür. Rastlantısal olayların yaratıcı değerini gün ışığına çıkaran Prigogine, bilimsel yaklaşım için yeni bir metodoloji geliştirdi: "Yeni Birleşim." Onsager'in bulgularını geliştiren kuramsal çalışmalarıyla tersinmez tepkimelerin yanı sıra, denge durumuna erişmesi beklenen tersinir tepkimelerin de termodinamiğinin gelişmesine katkıda bulundu.
1977 Nobel Kimya Ödülü'nün de sahibi olan Prigogine, özellikle bilimin geleceği ve muhtemel gelişme perspektifleri üzerinde yoğunlaşmaktadır.

