

ROGER PENROSE

Abner Shimony
Nancy Cartwright
ve Stephen Hawking'in
katkılarıyla

büyük küçük ve insan zihni

Türkçesi: Cenk Türkman

sarmal YAYINEVİ

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

Büyük, Küçük ve İnsan Zihni
The Large, the Small and the Human Mind
Roger Penrose
Birinci Baskı: Aralık 1998
© 1998 Kesim Ajans / İstanbul-Türkiye
Türkçe Yayın Hakları Gündüz Basım Yayım
Dağıtım Ticaret ve San. Ltd. Şti.'ne Aittir.
ISBN 975-8304-07-0

Türkçesi:
Cenk Türkman
Baskı-Cilt
Kayhan Matbaası

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

Roger Penrose

Ω
büyük, küçük ve insan zihni

Türkçesi
Cenk Türkman

KATILIMCILAR HAKKINDA

Roger Penrose
Oxford Üniversitesi'nde
Rouse Ball Matematik Profesörü

Abner Shimony
Boston Üniversitesi'nden Emekli
Felsefe ve Fizik Profesörü.

Nancy Cartwright
Londra Ekonomi ve Siyasal Bilimler Okulu'nda
Felsefe, Mantık ve Bilimsel Yöntem Profesörü.

Stephen Hawking
Cambridge Üniversitesi'nde
Lucasian Matematik Profesörü.

İÇİNDEKİLER

Malcolm Longair'in Önsözü *9*
Uzay Zaman ve Evrenbilim *17*
Kuantum Fiziğinin Gizemleri *69*
Fizik ve Zihin *115*

Abner Shimony
Zihinsel Etkinlik, Kuantum Mekaniği
ve Gizil Durumların Gerçeklik
Kazanması Üzerine *169*

Nancy Cartwright
Neden Fizik *187*

Stephen Hawking
Arsız Bir İndirgemecinin İtirazları *197*

Roger Penrose'un Eleştirilere Cevabı *201*

Malcolm Longair'ın Önsözü

Son on yılda meydana gelen en yüreklendirici gelişmelerden bir tanesi, önde gelen bilim adamlarınca, yaptıkları bilimin özünü ve heyecanını meslekten olmayan okuyucuya aktarma girişimlerinin bir ürünü olarak, belli bazı kitapların yayınlanmasıdır. Bunun en çarpıcı örnekleri arasında, Stephen Hawking'in artık yayıncılık tarihine geçmiş bulunan *Zamanın Kısa Tarihi*'nin elde ettiği olağanüstü başarı, James Gleick'ın kendine özgü zorluklarla dolu bir konunun nefes kesici bir dedektif öyküsü haline nasıl getirilebileceğini başarıyla gösteren *Kaos* kitabı ve de Steven Weinberg'in modern parçacık fiziğinin doğasını ve hedeflerini olağanüstü derecede kolay anlaşılır ve sürükleyici bir hale getiren *Son Kuramın Düşleri* adlı kitabı sayılabilir.

Bu popülerleşme dalgası içinde, Roger Penrose'un 1989 tarihli *Kralın Yeni Usu* adlı kitabı diğerlerinin arasında kendine apayrı bir yer edindi. Öteki yazarlar modern bilimin içeriğini ve heyecanını aktarma amacı güderken, Roger'ın kitabı fiziğin, matematiğin, biyolojinin, beyin bilimlerinin ve hatta felsefenin hiç ümit vaat etmeyen yönlerinden kim bilir kaç tanesinin, temel işleyişlere eğilen yeni ama henüz tanımlanmamış bir kuramın çatısı altında toplanabileceği yolundaki özgün görüşü çok çok çarpıcı bir biçimde yansıtmaktaydı. Kralın Yeni Usu'nun bir yığın tartışma başlatması hiç de şaşırtıcı olmadı ve Roger, 1994'te ikinci kitabı *Zihnin Gölgeleri*'ni yayımladı.

Bu kitapta, öne sürdüğü iddialara karşı yöneltilen eleştirilerden bir kısmını çürütmeye çalışarak, fikirleri doğrultusunda edindiği yeni sezgilere ve gelişmelere yer verdi. 1995'te yaptığı Tonner konuşmalarında, iki kitabında irdelediği ana temalara genel bir bakış sundu ve ardından da bunları Abner Shimony, Nancy Cartwright ve Stephen Hawking ile birlikte değerlendirdiği bir tartışmaya katıldı. Bu kitabın 1., 2. ve 3. Bölümleri'nde sunulan üç konuşma, söz konusu iki kitapta çok daha ayrıntılı bir biçimde ele alınan fikirlere kolay bir giriş sağlamaktadır. 4., 5. ve 6. Bölümler'de yer verilen diğer üç tartışmacının yaptıkları katkılar, bu fikirlerle ilgili olarak ileri sürülen görüşlerin bir çoğunu gündeme getirmektedir. Roger, 7. Bölüm'de bu görüşleri değerlendirme fırsatını kullanmıştır.

Roger'ın konuşmalarına ayrılan bölümler, gerçi kendilerini gayet güzel ve etkili bir biçimde ifade etmektedirler; ancak, giriş niteliğinde söylenecek birkaç söz, onun, modern bilimin en derin problemlerinden bazılarına yönelik olarak benimsediği kendine özgü yaklaşımın önünü açmada faydalı olabilir. Uluslararası alanda Penrose, çağdaş matematikçilerin en yeteneklilerinden biri olarak sayılsa da, araştırma alanında yaptığı çalışmalar her zaman sıkı sıkıya, gerçek anlamda fiziksel bir sahaya yerleştirilmiştir. Ona en büyük ün kazandıran ve bir kısmını Stephen Hawking ile birlikte gerçekleştirdiği gökfiziği ve evrenbilim alanlarındaki çalışmaları, göreli kütleçekim kuramları ile ilgili teorileri içermektedir. Bu teoremlerden bir tanesi, klasik göreli kütleçekim kuramlarına göre, bir karadeliğin içinde kaçınılmaz olarak fiziksel bir tekilliğin, yani uzayın eğriliğinin ya da buna denk olarak, madde yoğunluğunun sonsuz bir büyüklüğe ulaştığı bir uzay bölgesinin bulunması gerektiğini göstermektedir. Bir ikincisi ise, yine klasik göreli kütleçekim kuramlarına göre, benzer bir tekilliğin kaçınılmaz olarak, evrenbilim kapsamında öngörülen Büyük Patlama modellerinin merkezlerinde de bulunduğunu belirtmektedir. Bu bulgular, bir anlamda, bu kuramlarda ciddi bir eksiklik bulunduğuna işaret etmektedirler; zira fiziksel olarak anlamlı kuramların, fiziksel tekilliklere meydan vermemeleri gerekir.

Öte yandan bu, matematiğin ve matematiksel fiziğin değişik alanlarına yapılan muazzam katkılardan yalnızca bir tanesidir. Penrose süreci adıyla bilinen yöntem, parçacıkların, dönüş halinde bulunan karadeliklerin dönme enerjilerinden enerji koparmalarını öngörmektedir. Karadeliklerin civarında bulunan maddenin davranışını incelemek amacıyla ise, Penrose diyagramlarından faydalanılmaktadır. Penrose'un yaklaşım tarzının altında, 1., 2. ve 3. Bölümler'de sunulan, bir hayli güçlü, adeta resimsel bir geometrik anlam yatmaktadır. Genel halk kitlesi onun çalışmalarının bu yanına, M. C. Escher tarafından yapılan "olanaksız" resimler ve Penrose karoları sayesinde aşinadır. İşin ilginç yanı, Escher'in "olanaksız" çizimlerinden bir kısmının, Roger ve babası L. S. Penrose'un yayımladıkları bir makaleden esinlenmiş olmasıdır. Örneğin, 1. Bölüm'de Penrose'un hiperbolik geometriler konusunda duyduğu coşkuyu dile getirmeye çalışırken, Escher'in Circle Limit (Çember Sınır) resimlerinden yararlanılmaktadır. Penrose karoları, sonsuz bir düzlemin, değişik şekillerde az sayıda karo ile bütünüyle kaplanabildiği olağanüstü geometrik yapılardır. Bu karoların en şaşırtıcı olanları, sonsuz düzlemi bütünüyle kaplamalarına rağmen hiç tekrarlanmayanlarıdır. Diğer bir deyişle, karolardan oluşan belli bir desen, sonsuz düzlemin hiçbir noktasında kendini tekrar etmemektedir. Aynı tema 3. Bölüm'de, kesin biçimde tanımlanmış matematiksel işlemlerden oluşan belli kümelerin, bir bilgisayara tatbik edilmelerinin mümkün olup olmadığı konusu ile ilgili olarak yeniden gündeme gelmektedir.

Roger böylelikle, hem karşı konulması güç bir dizi matematiksel silah geliştirmekte, hem de modern fiziğin en derin problemlerinden bazılarına yönelik olarak matematikte ve fizikte olağanüstü başarılar sergilemektedir. Yöneldiği problemlerin önemine ve gerçekliğine diyecek yoktur. Evrenbilimciler, Büyük Patlama'nın, Evrenimiz'in büyük ölçekteki özelliklerine yönelik anlayışımız açısından en tatmin edici tabloyu sunduğuna onları sıkı sıkıya inandıran, çok geçerli sebeplere sahiptirler. Ne var ki bu tablo, bazı bakımlardan ciddi bir eksiklik içersindedir. Evrenbilimcilerin çoğu, Evren'in saniyenin binde

biri yaşından günümüze kadar sergilediği bütün özellikleri açıklamak için gereken temel fiziği iyi anladığımız kanısındadırlar. Söz konusu tablo, ancak başlangıç koşullarını dikkatlice seçmemiz durumunda doğru bir hal alabilecektir. Asıl mesele, Evren'in saniyenin binde birinden epeyce genç olduğu zamanlarda, denenmiş ve onaylanmış bir fizikten mahrum kalmamız, bu yüzden bilinen fizik yasalarının tahmini uzantılarından (extrapolation; ç.n.) medet umar hale düşmemizdir. Bu başlangıç koşullarının neler olması gerektiğini enikonu biliyoruz. Ama neden oluştukları yoruma açık bir konudur. Bu koşulların, çağdaş evrenbilimin en önemli problemleri arasında yer aldığı yönünde genel bir kanı mevcuttur.

Bu problemlerin çözümlerine eğilmek amacıyla, ilk evrelerinde Evren'in genleştiğini varsayan standart bir tablo geliştirilmiştir. Bu tabloda dahi, iş kuantum kütleçekimini anlamaya gelip dayandığında, Evren'in belli özelliklerinin, Planck devresi olarak bilinen ta en baştaki o anlamlı anlardan doğduğu öngörülmektedir. Bu devre, Evren henüz 10^{-43} saniye yaşındayken gerçekleşmişti. Bu epey abartılı gözükse de, bugünkü bilgilerimizden anladığımız kadarıyla, ta en uçtaki bu devrede neler olup bittiğini ciddiye almak zorundayız.

Roger, geleneksel Büyük Patlama betimlemesini genel hatlarıyla benimsemekte, ancak evrenin ilk evrelerinde genleştiğini öngören betimlemeyi reddetmektedir. Daha ziyade, fizikçilerin üzerinde yıllardır çalışmalarına rağmen henüz sahip olmadığımız bir kuram ile, eksiksiz bir kuantum kütleçekim kuramı ile ilgili olarak yokluğu çekilen eksik bir fiziğin bulunması gerektiğine inanmaktadır. Roger, fizikçilerin yanlış problem üzerinde çalıştıklarını iddia etmektedir. Duyduğu endişenin bir kısmı, bir bütün olarak Evren'in entropisi problemini ilgilendirmektedir. Entropi ya da daha basit bir deyişle düzensizlik, zamanla arttığından, Evren hakikaten de son derece düşük bir entropide, bir hayli düzenli bir halden başlamış olmalıdır. Böyle bir oluşumun tesarüf eseri meydana çıkması olasılığı yok denecek kadar azdır. Roger bu problemin, doğru kuantum kütleçekim kuramının bir parçası olarak çözülmesi gerektiğini savunmaktadır.

Kuantumlaştırmanın gerekliliği, Roger'ın kuantum fiziğinin problemleri hakkında 2. Bölüm'de yaptığı değerlendirmeleri gündeme getirmektedir. Kuantum mekaniği ve görelilik kapsamında kuantum alanları kuramında buna yapılan eklemeler, parçacık fiziği ile atomların ve parçacıkların özellikleri alanında gerçekleştirilen bir yığın deneyden elde edilen bulguları açıklamada görülmedik bir başarı sağlamıştır. Gelgelelim kuramın tam anlamıyla fiziksel bir önem kazanması yıllar almıştır. Roger'ın da güzel bir biçimde ifade ettiği gibi, kendine özgü yapısı gereği kuram, klasik fizikte eşi benzeri bulunmayan hayli sezgidışı birtakım özellikler içermektedir. Örneğin yerel olmama olgusu, bir madde-karşımadde parçacık çifti üretildiğinde, yaratım sürecinin bir "anı"sının, her bir parçacık tarafından, adeta birbirlerinden tam anlamıyla bağımsız olarak görülmeleri olanaksızmışçasına, korunduğu anlamına gelmektedir. Roger bunu şu şekilde ifade etmektedir: "Kuantum dolaşıklığı çok enteresan bir durumdur. Nesnelerin birbirlerinden ayrı ve birbirleriyle iletişim içinde oldukları ara duruma karşılık gelmektedir." Kuantum mekaniği bunun yanı sıra, gerçekleşme olanağı bulunan ama gerçekleşmemiş olan süreçler hakkında da bilgi edinmesine imkân tanımaktadır. Buna ilişkin olarak Roger'ın incelediği en çarpıcı örnek, Elitzur ve Vaidman'ın hayret verici bomba sınama problemidir. Bu örnek, kuantum mekaniğinin klasik fizikten ne denli farklı olduğunu gözler önüne sermektedir.

Bu sezgidışı özellikler kuantum mekaniğinin yapısının bir parçasıdır. Ancak daha derin problemler de vardır. Roger'ın odaklandığı problemler, kuantum seviyesinde meydana gelen olayları, kuantum sisteminin ölçümünün yapıldığı makroskopik seviye ile ilişkilendirme tarzımızı irdelemektedir. Bu, tartışmaya açık bir alandır. Pratik çalışan birçok fizikçi, kuantum mekaniğinin kurallarını, sadece son derece doğru cevaplar veren bir hesaplama aracı olarak kullanmaktadırlar. Eğer kuralları doğru bir biçimde uygularsak, doğru cevaplar alırız. Öte yandan bu, olayların kuantum seviyesindeki basit lineer dünyadan gerçek deneyler dünyasına taşınması sırasında pek de zarif olmayan bir yöntem kullanmayı gerektirmektedir. Bu yöntem "dalga

fonksiyonunun çökmesi" ya da "hal vektörünün indirgenmesi" olarak bilinen şeyi içermektedir. Roger, kuantum mekaniğinin geleneksel yapısına dahil olan fizikte, bazı temel kısımların noksan olduğunu düşünmektedir. "Dalga fonksiyonunun nesnel indirgenmesi" adını verdiği şeyi demirbaş olarak içeren baştan başa yeni bir kurama ihtiyaç olduğu fikrindedir. Bu yeni kuram, uygun sınırlar içinde geleneksel kuantum mekaniğine ve kuantum alanları kuramına indirgenmeli, ama bu arada yeni birtakım fiziksel olaylara yer açmaya da olanak tanımalıdır. Bu olaylar arasında, kütleçekimin ve genç Evren'in fiziğinin kuantumlaştırılması problemleminin çözümlerini bulmak olasıdır.

3. Bölüm'de Roger, matematik, fizik ve insan zihni arasındaki ortak özellikleri açığa çıkarmanın yollarını aramaktadır. Bilim dallarının içinde en katı mantıksal yapıya sahip bilim dalı olan soyut matematiğin, ne denli büyük bir belleğe sahip ve ne denli duyarlı olursa olsun, dijital bir bilgisayarda proglamlanamaması, çoğu zaman insana şaşırtıcı gelir. Böyle bir bilgisayar matematik teoremlerini matematikçiler gibi orataa çkıartamaz. Bu şaşırtıcı sonuç, Gödel Teoremi adıyla bilinen teoremin az çok farklı bir yorumundan türetilmektedir. Roger bunu, matematiksel düşünme süreçlerinin, hatta daha geniş olarak bütün düşünme süreçleri ile bilinçli davranışların, "hesaba dayanmayan" yollarla gerçekleştirildiği anlamında yorumlamaktadır. Bu çok verimli bir ipucudur; zira sezgilerimiz bize muazzam bir çeşitliliğe sahip bilinçli algılamalarımızın da hiçbirinin "hesaba dayanmadığını" söylemektedir. Genel olarak ele aldığı kanıtlama kapsamında bu sonucun derin bir önemi olması dolayısıyla, Roger, *Zihnin Gölgeleri* kitabının yarısından çoğunu, Gödel Teoremi'ne yönelik kendi yorumunun su götürmez bir sağlamlıkta olduğunu göstermeye ayırmıştır.

Roger kuantum mekaniğinin problemlerinin, öyle ya da böyle, bilinci anlama yolunda karşılaşılan problemlerle belli yönlerden ilişki içinde olduğu görüşündedir. Yerel olmama olgusu ve kuantum eşdurumluluğu (coherence; ç.n.), ilke olarak, beynin geniş bölgelerinin eşdurumlu bir işleyişi gerçekleştirme usullerine işaret etmektedirler.

Roger, bilincin hesaba dayanmayan özelliklerinin, dalga fonksiyonunun makroskopik olarak gözlemlenebilir niceliklere nesnel indirgenmesi sırasında devreye girdikleri varsayılan, hesaplamaya dayanmayan işlemlerle bir ilgisi bulunduğunu ileri sürmektedir. Genel ilkeleri dile getirmekle yetinmeyip, beynin içinde bu çeşit yeni fizik süreçlere destek sağlayabilecek türden yapıları ortaya çıkarma çabasına girişmektedir.

Böyle bir özet, sözü edilen fikirlerin özgünlüğünün, verimliliğinin ve kitap boyunca göz alıcı parlaklıktaki gelişimlerinin hakkını vermede yetersiz kalmaktadır. Roger'ın anlatımının temellerini, düşüncelerini yönlendirmede önemli rol oynayan birtakım ana temalar oluşturmaktadır. Galiba hepsinden önemlisi, doğal dünyadaki temel süreçleri betimlemede kullanılan, doğaüstü seviyede bir matematik yeteneğinin varlığıdır. Roger'ın deyişiyle, fizik dünya bir bakıma matematiğin Platoncu dünyasından çıkmaktadır. Halbuki dünyayı betimleme ihtiyacı, yahut da deney ve gözlem sonuçlarının matematiksel birtakım kurallara oturtulması kaygısı dolayısıyla yeni bir tür matematik üretmemekteyiz. Dünyanın yapısına yönelik bir anlayışın, ayrıntılara dalmayan birtakım genel ilkelerden ve bizzat matematiğin kendisinden kaynaklanması pekâlâ mümkündür.

Bu cüretkâr iddiaların yığınla tartışmaya hedef olması hiç de şaşırtıcı olmasa gerek. Çok değişik uslamlamalara sahip kültürel alanlardan gelen uzmanların dile getirdiği konuların hoş bir karışımı, tartışmacıların katılımlarında ifadesini bulmuştur. Abner Shimony, yöneldiği hedeflerin belli noktalarında Roger'la hemfikirdir. Kuantum mekaniğinin standart formülleştirilmesinde, Roger'ın ana hatlarıyla belirlediği çizgi doğrultusunda bir eksiklik bulunduğu görüşüne o da katılmaktadır. Ayrıca, kuantum mekaniğinin kavramlarının, insan zihninin kavranmasına uygun düştüğü konusunda da hemfikirdir. Buna karşın, Roger'ın "yanlış tepeye tırmanmaya çalışmış bir dağcı" olduğunu öne sürmekte ve gayet yapıcı bir biçimde, aynı alanlara farklı gözle bakan birtakım seçeneklere işaret etmektedir. Nancy Cartwright temel bir soruyu, bilincin doğasını anlamadan fiziğin doğru başlangıç

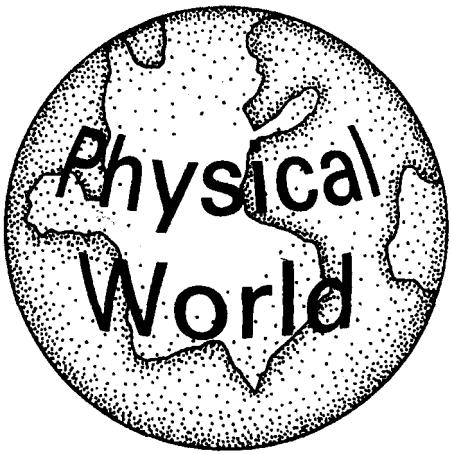
noktası olup olmadığı sorusunu gündeme getirmektedir. Bunun yanı sıra, farklı bilim dallarında hüküm süren yasaların gerçekte birbirlerinden nasıl türetilebileceği problemini gündeme getiren iğneli fıçıya dikkat çekmektedir. Hepsinin içinde en fazla eleştiri getireni, Roger'ın eski dostu ve meslektaşı Stephen Hawking'dir. Hawking'in konumu, birçok açıdan, "ortalama" diyebileceğimiz fizikçinin standart konumuna en yakın olanıdır. Dalga fonksiyonunun nesnel indirgenmesine yer veren ayrıntılı bir kuram geliştirilmesi konusunda Roger'a karşı çıkmaktadır. Fiziğin, bilinç problemi hakkında anlatacak çok şeyi olduğunu reddetmektedir. Bu görüşlerin tümünde doğruluk payı vardır. Ancak Roger, kitabın son bölümünde tartışmacılara verdiği cevapla, kendi konumunu savunmaktadır.

Roger'ın yapmayı başardığı şey, matematiksel fiziğin yirmi birinci yüzyılda nasıl bir gelişim sergileyebileceğine dair bir görüş ya da bir bildirge sunmaktır. 1., 2. ve 3. Bölümler'de Roger, her bir bölümü, onun ilgi odağını oluşturan hesaplanamama ve dalga fonksiyonunun nesnel indirgenmesi konuları üzerine yapılanmış, bütünüyle yeni bir fiziğin uyumlu tablosu içinde kendi yerini bulan, birbirine bağlı bir öykü kurgulamaktadır. Söz konusu kavramların sınanabilmeleri, Roger'ın ve diğerlerinin, bu yeni fizik kuramına gerçeklik kazandırılması yolundaki becerilerine bağlı olacaktır. Nihayet, bu program hemen başarı kazanmasa bile, ana kavramlar dahilindeki fikirler, acaba kuramsal fiziğin ve matematiğin gelecekte sergileyecekleri gelişim açısından yeterince verimli midir? Cevabın "Hayır" olması, hakikaten de hayret verici olur.

I
Uzay-Zaman ve Evrenbilim

Bu kitabın başlığı Büyük, Küçük ve İnsan Zihni; bu ilk bölümün konusu ise Büyük. Birinci ve ikinci bölümler bizim fiziksel Evrenimiz ile ilgili. Fiziksel Evren'i kabaca, bir şema halinde Figür 1.1'deki "küre" ile gösterdim. Bununla birlikte bu iki bölüm, Evrenimiz'in orasında burasında neler bulunduğunu size ayrıntısıyla anlatmaya çalışan birer "botanik" bölümü olmayacaklar. Daha ziyade dünyanın sergilediği davranışların yönünü tayin eden gerçek yasalar hakkındaki anlayışımız üzerine odaklanmak istiyorum. Fizik yasalarına ilişkin yapacağım betimlemeleri iki bölüm halinde, yani Büyük ve Küçük biçiminde bölmemin nedenlerinden bir tanesi, dünyanın büyük ölçekteki davranışlarını yöneten yasalarla, Küçük ölçekteki davranışlarını yöneten yasaların, görünüşe bakılırsa birbirlerinden bir hayli farklı olmalarıdır. Bu yasaların görünüşte bu denli farklı olmalarının ardında yatan gerçek ve mevcut olan bu ayrılık konusunda yapmaya zorlanabileceğimiz şeyler, 3. Bölüm'de ele alınan konuların odak noktasını oluşturmakta ve bu noktada insan zihni devreye girmektedir.

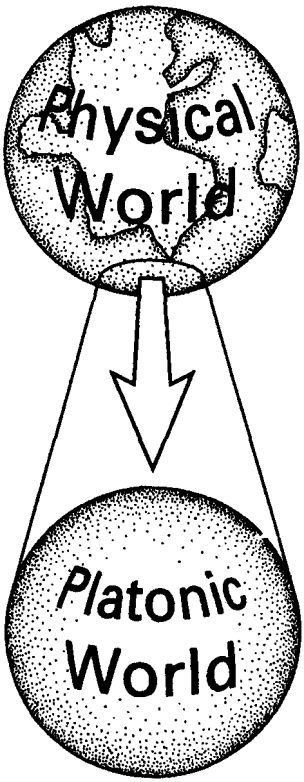
Fiziksel dünyadan ve onun davranışlarını temelden ele alan fizik kuramlarından bahsedeceğimden, matematiksel doğruluğun dünyası



Figür 1.1- Fiziksel Dünya

olma gibi özel bir rol oynayan bir başka dünyadan, mutlak şeylerin dünyası olan Platoncu dünyadan da söz etmek zorunda kalacağım. Bu noktada "Platoncu dünya"nın, İyi ve Güzel gibi, mutlak olan diğer birtakım şeyleri de içerdiği görüşü öne sürülebilir; ancak ben burada yalnızca matematikteki Platoncu kavramlarla ilgilenmekteyim. Kimi insanlar, bu dünyanın kendi başına mevcut bulunduğunu kavramakta güçlük çekerler. Matematiksel kavramları, fizik dünyamıza ait idealleştirmeler biçiminde düşünmeyi yeğlerler. Bu açıdan bakıldığında, matematiksel dünya, fiziksel nesneler dünyasının içinden çıkıyormuş gibi düşünülebilir (Figür 1.2)

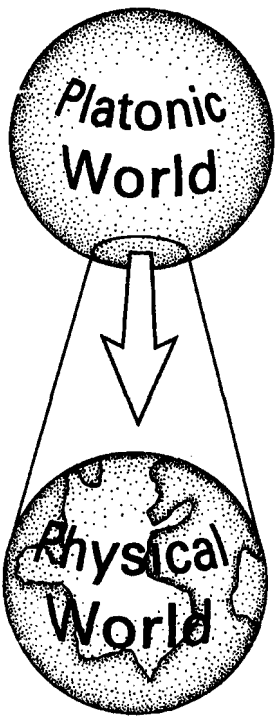
Gelgelelim, ben matematiğe bu gözle bakmamaktayım; matematikçilerin ve matematiksel fizikçilerin çoğunun da dünyayı bu şekilde kavradıklarını zannetmiyorum. Onlar bu konuda oldukça farklı bir tarzda düşünmektedirler. Dünyayı, zamandan bağımsız matematik yasalarınca şaşmaz bir biçimde idare olunan bir yapı olarak görmektedirler. Bu sebeple fiziksel dünyanın, Figür 1.3'te gösterildiği gibi,



Figür 1.2.

matematiğin (zamandan bağımsız) dünyasının içinden çıktığı görüşünü daha yerinde bir varsayım olarak değerlendirmektedirler. Figür 1.3'teki resim, 1. ve 2. Bölümlerde geçen bahislerin birçoğu için temel oluşturmakla beraber, asıl önemi 3. Bölümde anlatacaklarımla birlikte ortaya çıkacaktır.

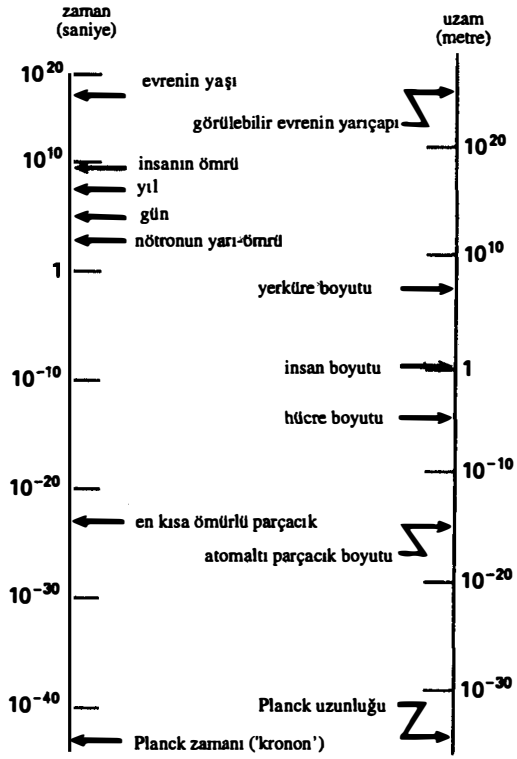
Dünyanın sergilediği davranışlarda göze çarpan dikkat çekici özelliklerden bir tanesi, onun matematiğin içine nasıl olup da böyle olağanüstü yüksek derecede bir doğrulukla gömülmüş gözüktüğüdür. Fiziksel dünyayı daha iyi anlayıp doğa yasalarına ilişkin incelemelerimizi derinleştirdikçe, görünen o ki, fiziksel dünya adeta buharlaşıp uçmakta ve matematikle baş başa kalmaktayız. Fizik yasalarını daha köklü bir biçimde kavradıkça, matematiğin ve matematiksel kavramların söz konusu dünyasına gitgide daha çok çekilmekteyiz.



Figür 1.3.

İsterseniz Evren'de bizi ilgilendiren büyüklüklere ve kendi konumuzun Evren içersindeki rolüne şöyle bir göz atalım. Bütün büyüklükleri tek bir diyagramda özetleyebilirim. (Figür 1.4). Diyagramın sol yanında zaman dilimleri, sağ yanında ise bunlara karşılık gelen uzunluklar gösterilmiştir. Fiziksel açıdan bir anlamı olan en kısa zaman dilimi, diyagramın solunda en altta gösterilmiştir.

Bu zaman dilimi 10^{-43} saniyeye karşılık gelir ve çoğunlukla *Planck zaman-dilimi* veya bir "kronon" adıyla bilinir.



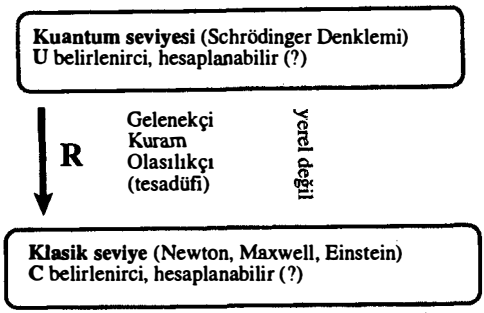
Figür 1.4. Evren'de boyutlar ve zaman dilimleri

Bu zaman dilimi, parçacık fiziğinde bugüne dek saptananların çok daha altındadır. Örneğin, rezonanslar adıyla bilinen en kısa ömürlü atomaltı parçacıklar yaklaşık 10^{-23} saniye kadar yaşarlar. Diyagramın sol yanında daha yukarılarda sırayla gün, yıl ve en yukarıda da Evren'in şu anki yaşı gösterilmiştir.

Diyagramın sağ yanında ise söz konusu zaman dilimlerine karşılık gelen uzunluklar işaretlenmiştir. Planck zamanı (veya kronona) karşılık gelen uzunluk, Planck uzunluğu olarak bilinen temel uzunluk birimidir. Büyüğü ve küçüğü tanımlayan fizik kuramlarını, yani çok büyük ölçekteki fiziği anlatan Einstein'ın Genel Göreliliği ile çok küçük ölçekteki fizikten bahseden kuantum mekaniğini birleştirmeye çalıştığımızda, Planck zamanı ve Planck uzunluğu kavramları doğal olarak devre dışı kalmaktadır. Bu kuramların bir araya getirilmesiyle, Planck zamanının ve uzunluğunun temel bir seviyeye indiği görülür. Diyagramın solunda kalan eksenden sağındaki eksene geçiş ise ışık hızı aracılığıyla olur; bu sayede, zaman dilimlerinin karşılık geldiği uzunlukları bulmak için, bir ışık sinyalinin söz konusu zaman dilimi süresince ne kadar mesafe katedeceği sorusunu sormamız yeterlidir.

Diyagramda yer verilen fiziksel nesnelerin büyüklükleri, atomaltı parçacıklar için karakteristik büyüklük olan 10^{-15} metre ilâ Evren'in yarıçapına karşılık gelen ve kabaca yaşıyla ışık hızının çarpımı demek olan 10^{27} metre arasında değişmektedir. Diyagramda ait olduğumuz yere, diğer bir deyişle insanın büyüklüğüne dikkat çekmek ilginç olacaktır. Uzunluk boyutları açısından, aşağı yukarı diyagramın ortalarında olduğumuz görülüyor. Planck uzunluğu ile karşılaştırılınca muazzam bir büyüklüğe sahibiz; hatta atomaltı parçacıklarla kıyaslandığımızda bile bir hayli büyüğüz. Oysa görülebilir Evren'in boyutlarına oranla pek minik kalıyoruz. Gerçekten de parçacıklara nazaran sahip olduğumuz büyüklüğün yanında, Evren'le karşılaştırıldığımızda çok daha küçük kalıyoruz. Halbuki zaman boyutları söz konusu olduğunda, insan ömrü neredeyse Evren'le boy ölçüşmektedir! İnsanlar varoluş serüveninin, özünde ne kadar da gelip geçici olduğundan söz ederler; oysaki diyagramda gösterildiği şekliyle insan ömrüne bir göz

atacak olursanız, âdeta Evren'le boy ölçüşecek derecede uzun yaşadığımız görülür! Şüphesiz bu sadece "logoritmik ölçek"le bakıldığında böyledir. Ama zaten böyle muazzam büyüklüklerle uğraştığımız sürece bu gayet doğal bir yoldur. Diğer bir deyişle, Evren'in yaşına denk düşen insan ömrü sayısı, bir insan ömrüne karşılık gelen Planck zaman dilimlerinin sayısından, hatta en kısa ömürlü parçacıkların ömürlerinin toplam sayısından çok ama çok daha azdır. Demek oluyor ki bizler, Evren'de bir hayli kararlı yapılarız.



Figür 1.5.

Uzunluk boyutları açısından bakıldığında adamakıllı ortalardayız; ne çok büyük ölçeğin ne de çok küçük ölçeğin fiziğiyle doğrudan doğruya deneyime giriyoruz. İkisinin tam ortasındayız. Aslında logoritmik bakış açısından değerlendirildiklerinde, tek hücreli canlılardan ağaçlara ve balinalara dek yaşayan bütün nesneler kabaca aynı orta karar büyüklüğe sahiptirler.

Acaba değişik ölçekteki bütün bu boyutlara uygulanan fizik hangisidir? Size bütün fiziği özetleyen bir diyagram sunayım (Figür 1.5).

Denklem sistemleri gibi kimi ayrıntıları, ne yazık ki diyagrama dahil edemedim! Yine de, fizikçilerin kullandığı temel ve vazgeçilmez kuramların hepsine değinilmiştir.

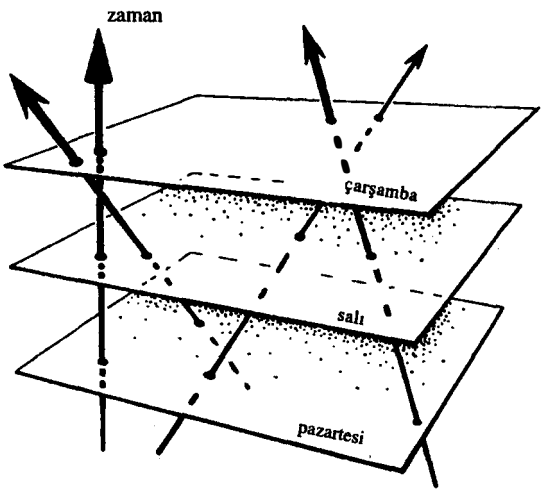
Esas olan nokta şu ki, biz fizikte birbirinden oldukça farklı iki değişik yöntem uygulamaktayız. Küçük ölçekte meydana gelen davranışları tanımlamak için kuantum mekaniğinden faydalanıyoruz. Bunu Figür 1.5'te, kuantum seviyesi olarak ifade ettim. Bundan, 2. Bölüm'de çok daha fazla söz edeceğim. İnsanların kuantum mekaniği hakkında ortaya attıkları söylentilerden bir tanesi, onun muğlak ve belirlenmezci olduğudur. Oysa ki bu doğru değildir. Bu seviyede (kuantum seviyesi, küçük ölçekteki seviye; ç.n.) kalındığı sürece kuantum kuramı belirlenircidir ve hassas bir kesinliğe sahiptir. En bilinen biçimiyle kuantum mekaniği, bir kuantum sisteminin fiziksel durumunun, yani *kuantum hâli*'nin davranışlarından sorumlu olan bir denklemin, Schrödinger Denklemi'nin kullanımını gerektirir ve bu denklem belirlenircilik ilkesine dayanan bir denklemdir. Kuantum seviyesinde meydana gelen bu etkinliği belirtmek üzere **U** harfini kullandım. Kuantum mekaniğinde belirlenircilik ilkesinin dışlanışı, yalnızca, "ölçüm yapma" olarak bilinen bir işlemi gerçekleştirmeniz durumunda ortaya çıkar ki, bu durumda bir olay büyütülerek, kuantum seviyesinden klasik seviyeye çıkartılmış olur. Bu konuda 2. Bölüm'de anlatacak çok şeyim olacak.

Büyük ölçekte, belirlenircilik ilkesine sıkı sıkıya bağlı klasik fizikten faydalanmaktayız. Klasik yasalar Newton'un hareket yasalarını, elektrik, manyetizm ve ışığı birleştiren Maxwell'in elektromanyetik alan yasalarını ve Einstein'ın yüksek hızlarla ilgilenen Özel Kuramı ile büyük kütleçekim alanlarıyla ilgilenen Genel Kuramı'ndan oluşan görelilik kuramlarını kapsamaktadır. Bu yasalar büyük ölçekte son derece şaşmaz bir doğruluğa sahiptirler.

Figür 1.5 ile ilgili ufak bir açıklamada bulunmak istiyorum: Dikkatinizi çektiyse kuantum fiziği ve klasik fizikle ilgili kısımlara "hesaplanabilir" diye bir ifade ekledim. Bu bölüm ve 2. Bölüm için bunun bir anlamı yok. Ama 3. Bölüm'de bir anlamı olacak ve hesaplanabilirlik

konusuna orada tekrar değineceğim.

Bu bölümün geri kalan kısmında Einstein'ın görelilik kuramına ağırlık vereceğimi; özellikle de kuramın işleyişine, olağanüstü derecedeki doğruluğuna ve birazcık da bir fizik kuramı olarak taşıdığı zerafete. Ama isterseniz önce Newtoncu kurama bir göz atalım. Newton fiziği de, tıpkı görelilik kuramı gibi, uzay-zamana ilişkin bir tanımın kuramına yer verir. Newton kütleçekimi için bu tanım, ilk kez Carton tarafından, Einstein'ın, göreliliğe ilişkin Genel Kuram'ı ortaya atmasının ardından kesin ve açık bir biçimde formülleştirilmiştir. Galilei ve Newton fiziği, bütün dünya için ortak bir zaman ekseni barındıran bir uzay-zaman içinde temsil edilir. Bu eksen, Figür 1.6'daki diyagramda dik olarak yukarı doğru çıkan okla gösterilmiştir. Zamanın her bir sabit değeri için, Öklit 3-uzayından oluşan bir uzay şubesi (space section; ç.n.) mevcuttur.

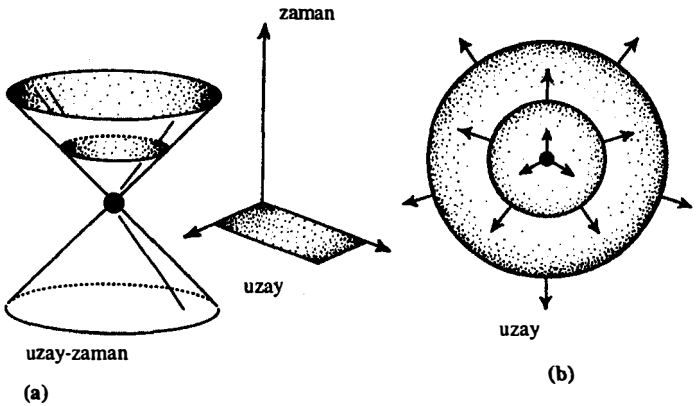


Figür 1.6. Galilei uzay-zamanı: düzgün biçimli hareket halinde olan parçacıklar düzgün doğrularla gösterilmektedirler.

Diyagramda bu şubeler yatay düzlemlerle resmedilmişlerdir. İşte Newtoncu uzay-zaman betimlemesinin temel özelliği, diyagramı boydan boya kesercesine gösterilen bu uzay dilimlerinin andaş durumları temsil etmeleridir.

Öyleyse, Pazartesi öğle vaktinde gerçekleşen bütün her şey uzay-zaman diyagramında aynı yatay dilimin üzerinde yer alacaktır. Salı günü öğle vaktinde meydana gelen bütün her şey de, diyagramda gösterilen bir sonraki dilimin üzerinde yer işgal edecek ve bu böylece devam edip gidecektir. Akıp giden zaman, uzay-zaman diyagramını bir boydan bir boya katederken, Öklit şubeleri de birbiri ardı sıra dizileceklerdir. Uzay-zaman içindeki oluş sırası hakkında hemfikirdirler, çünkü zamanın nasıl geçtiğini ölçmek amacıyla hepsi de aynı zaman dilimlerini kullanmaktadırlar.

Göreliliğe ilişkin Einstein'ın Özel Kuramı'nda apayrı bir betimlemeye başvurma zorunluluğu vardır. Uzay-zamana ilişkin betimleme orada da vazgeçilmez bir zorunluluktur. Ancak işin kilit noktası şu ki, zaman artık Newtoncu kuramda olduğu gibi evrensel nitelikte bir olgu değildir. Bu kuramların, birbirlerinden hangi noktalarda ayrıldıklarını kavrayabilmek için, görelilik kuramının temel taşlarından biri



Figür 1.7. Bir anda parlayıp sönen bir ışığın öyküsünün (a) uzay-zaman içinde ve (b) uzay içinde yayılması yoluyla temsili gösterimi.

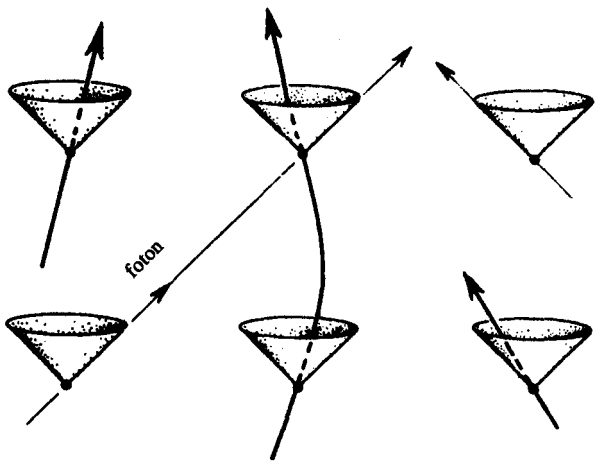
ni, *ışık konileri* olarak bilinen yapıları iyi anlamak şarttır.

Bir ışık konisi ne biçim bir şeydir? Figür 1.7'de bir ışık konisi gösterilmiştir. Belli bir anda belli bir noktada, yani uzay-zaman içinde gerçekleşen bir olay sırasında bir anda parlayıp sönen bir ışık canlandıralım zihnimizde. Işık dalgaları bu olaydan, yani bir anda yanıp sönen parıltının merkezinden dışarıya doğru ışık hızıyla yol alacaklardır. Yalnızca uzaysal bir betimleme yaparsak (Figür 1.7 (b)), ışık dalgalarının uzay içinde izledikleri yolu, ışık hızıyla genişleyen bir küre biçiminde gösterebiliriz. Şimdi artık ışık dalgalarının yaptığı bu hareketi bir uzay-zaman diyagramına taşıyabiliriz (Figür 1.7 (a)). Bu diyagramda, tıpkı Figür 1.6'daki Newtoncu durumda olduğu gibi, zaman diyagram boyunca yukarı doğru çıksın; uzay eksenleri de yataydaki yer değiştirmelere karşılık gelsin. Ne yazık ki Figür 1.7 (a) daki donanıma sahip bir uzay-zaman betimlemesinde, diyagram üzerinde yatay olarak sadece iki adet uzunluk boyutuna yer verebilmekteyiz; çünkü kullandığımız uzay-zaman betimlemesinin kendisi zaten hepsi hepsi üç boyutlu. İmdi, görüyoruz ki ışık parıltısı merkezde bir noktayla (olayla) temsil edilmiş ve ışık ışınlarının (dalgaların) daha sonra izlediği yollar da yatay "uzay" düzlemlerini, diyagramdan yukarı doğru gittikçe yarıçapları ışık hızıyla artan çemberler oluşturacak şekilde kesmiş. Yine açıkça görmekteyiz ki, ışık ışınlarının izledikleri yollar uzay-zaman diyagramında koniler meydana getirmiş. Böylece bu ışık parıltısının öyküsü ışık konisi ile temsil edilmektedir: Işık, ışık konisi boyunca, yani ışık hızı ile, merkezden uzağa, geleceğe doğru yayılmaktadır. Bunun yanı sıra, bir de geçmişten gelip ışık konisi boyunca ilerleyerek merkeze ulaşan ışık ışınları vardır. Işık konisinin bu kısmı geçmiş ışık konisi olarak bilinir ve ışık dalgaları aracılığıyla gözlemciye aktarılan bütün haberleri, merkeze bu koniyi izleyerek ulaşır.

Işık konileri uzay-zaman içindeki en önemli yapılardır. Bilhassa da sebeplilik ilişkisinin dayandığı sınırları göstermeleri açısından. Bir parçacığın uzay-zaman içinde geçen öyküsü, uzay-zaman diyagramında yukarı doğru uzayıp giden bir çizgi ile temsil edilir. Bu çizgi,

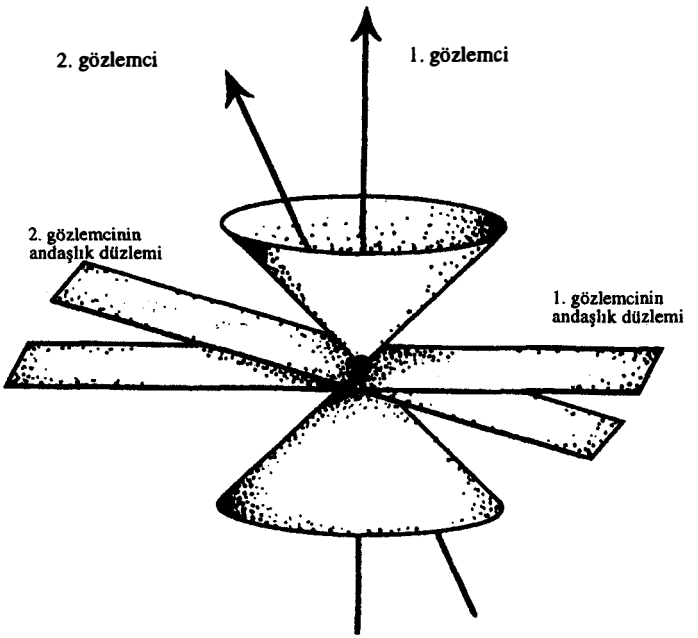
ışık konisinin sınırları içersinde kalmak zorundadır (Figür 1.8). Bu ise, aslında bir madde parçacığının ışık hızından daha yüksek hızda seyahat edemeyeceğini ifade etmenin diğer bir yoludur. Hiçbir sinyal gelecek ışık konisinin içinden çıkıp dışına doğru seyahat edemez; yani ışık konisi gerçekten de sebep-sonuç ilişkisinin sınırlarını temsil eder.

Işık konileri ile ilgili olağanüstü derecede ilginç birtakım geometrik özellikler vardır. Uzay-zaman içinde farklı hızlarla hareket halinde olan iki gözlemciyi göz önüne alalım. Andaşlık düzlemlerinin bütün gözlemciler için ortak olduğu Newtoncu durumun aksine, göreliliğe



Figür 1.8. Minkowski uzay-zamanı veya Minkowski geometrisi adıyla da bilinen Özel Görelilik uzay-zamanı içerisinde bir parçacığın hareketi resmedilmiştir. Uzay-zamanın farklı noktalarında bulunan ışık konileri bir hat üzerinde birleşirler ve parçacıklar ancak kendi gelecek ışık konileri içersinde seyahatlerini sürdürebilirler.

göre andaşlıkta mutlaklık diye bir şey söz konusu değildir. Farklı hızlarla hareket halinde olan gözlemciler, uzay-zaman içersinde ayrı birer şube olan kendi andaşlık düzlemlerini kendileri taşırlar. Bir düzlemden ötekine dönüşümün nasıl gerçekleştirileceği, *Lorentz dönüşümleri* adıyla bilinen dönüşüm kurallarıyla iyice belirlenmiştir. Bu dönüşüm kuralları, *Lorentz grubu* denilen bir yapıyı meydana getirirler. Bu grubun keşfi, göreliliğe ilişkin Einstein'ın Özel Kuramı'nın keşfedilmesi aşamasında vazgeçilmez yapıtaşlarından birini



Figür 1.9 Burada, göreliliğe ilişkin Einstein'ın Özel Kuramı'na göre andaşlığın göreli oluşu örneklenmektedir. 1. gözlemci ile 2. gözlemci, uzay-zaman içinde birbirlerine göre hareket halindedirler. 1. gözlemci için andaş olan olaylar 2. gözlemci için andaş değildir. 2. gözlemci için andaş olan olaylar da 1. gözlemci için andaş değildir.

oluşturmuştur. Lonentz grubunu, bir ışık konisini değişmeden bırakan (lineer) uzay-zaman dönüşümlerinin grubu olarak düşünmek mümkündür.

Lorentz grubuna az çok farklı bir açıdan da yaklaşabiliriz. Biraz önce de belirttiğim gibi, ışık konileri uzay-zamanın temel yapılarıdırlar. Uzayın herhangi bir noktasından evreni seyreden bir gözlemci olduğumuzu farzedin. Görmekte olduğunuz şey, yıldızlardan kopup gelerek gözlerinize ulaşan ışık ışınlarından ibarettir. Uzay-zaman betimlemesini temel alan görüş noktası açısından bakıldığında, olay olarak gözlemledikleriniz, yıldızların yörüngelerinin (uzay-zaman içindeki yörüngelerinin, ç.n.) geçmiş ışık koninizle olan kesişimleridir (Figür 1.10 (a)). Geçmiş ışık koniniz üzerinde gözlemledikleriniz, yıldızların belli noktalardaki konumlarıdır. Bu noktalar etrafınızı çevreleyen gök kubbenin üzerinde yer almışlardır. İmdi, size göre oldukça yüksek bir hızda seyahat eden bir başka gözlemciyi göz önüne alın. Bu gözlemci, ikiniz de gökyüzünü seyretmekte olduğunuz bir anda tam yanınızdan geçsin.

Bu ikinci gözlemci de sizin seyrettiğiniz yıldızları seyretmekte, ancak onları gök kubbe üzerinde farklı noktalarda görmektedir (Figür 1.10 (b)). Bu etki, *sapınç* adıyla bilinir. Gözlemcilerden her birinin kendi gök kubbeleri üzerinde gördükleri arasında var olan ilişkiyi saptamamızı sağlayan bir dizi dönüşüm kuralı mevcuttur. Bu dönüşüm kurallarından her biri bir küreyi başka bir küreye taşır. Fakat çok özel bir biçimde taşır. Düzgün çemberleri düzgün çemberlere götürür ve bu arada açıları olduğu gibi bırakır. Böylece, eğer gökyüzünde bulunan bir şekil size çember biçiminde gözüküyorsa, bir başka gözlemciye de çember biçiminde gözükecektir.

Bu işlemin nasıl gerçekleştiğini anlatmanın çok güzel bir yolu var. Çoğu zaman fiziğin en derin temellerini oluşturan matematiğin kendine has bir zerafeti olduğunu sergilemek amacıyla, buna burada yer vermek istiyorum. Figür 1.10 (c)'de ekvatorundan geçmekte olan bir düzlemle birlikte bir küre görülmektedir. Şekilde gösterildiği gibi kürenin yüzeyine birtakım figürler çizip, bunların güney kutbuna göre

ekvator düzlemi üzerinde oluşan izdüşümlerini inceleyebiliriz. Bu çeşit bir izdüşüme stereografik izdüşüm denir ve olağanüstü birtakım özellikleri vardır. Küre yüzeyi üzerinde çizili çemberlerin düzlem üzerindeki izdüşümleri düzgün çemberlerdir. Ayrıca küre yüzeyi üzerinde bulunan eğriler arasında kalan açıların düzlem üzerindeki izdüşümleri de yine aynı açıları verir. 2. Bölüm'de daha ayrıntılı bir biçimde açıklayacağım gibi (Figür 2.4 ile karşılaştırın), bu izdüşüm, "sonsuz" ile birlikte hem ekvator düzlemi üzerinde bulunan noktaları, hem de küre yüzeyi üzerindeki noktaları karmaşık sayılarla (-1'in karekökünü kullanarak oluşturulan sayılar) eşlememize imkân tanır. Böylelikle küre, "Riemann küresi" adıyla bilinen bir yapı haline gelir.

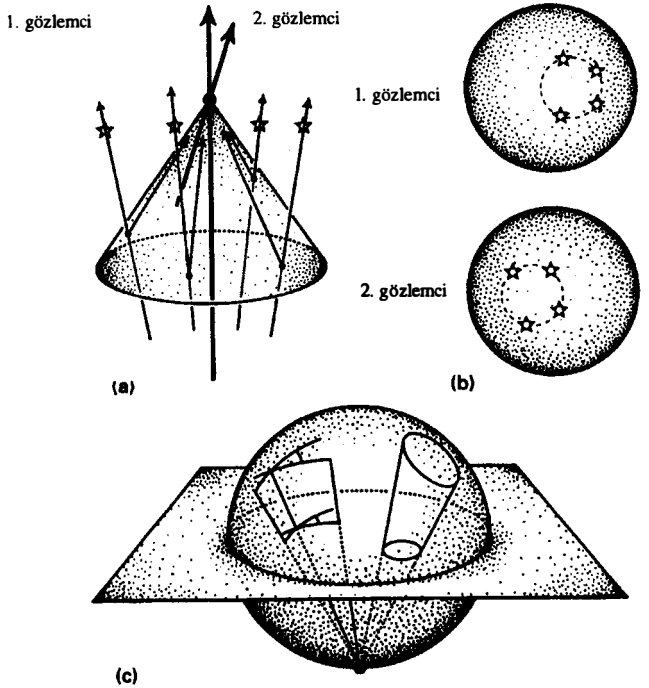
Eğer ilgilenenler varsa, sapınç dönüşümü:

$$u \rightarrow u = \alpha u+\beta / \gamma u+\delta$$

ile verilir. Matematikçilerce de iyi bilindiği üzere bu dönüşüm, çemberleri çemberlere götürür ve açıları değiştirmeden bırakır. Bu tür dönüşümlere Möbius dönüşümleri adı verilir. Şu anki amaçlarımız açısından, Lorentz (sapınç) bağıntısını zarif ve sade biçimiyle, *u* gibi karmaşık bir parametre cinsinden yazılmış haliyle vermekle yetindik.

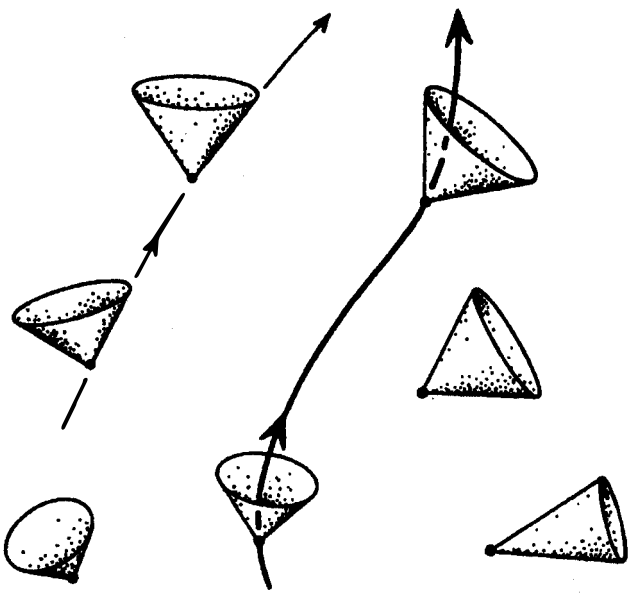
Bu dönüşümlere bu açıdan bakmanın en çarpıcı yanı, Özel Görelilik için söz konusu formül oldukça basit bir halde iken, Newton Mekaniği'nde buna karşılık gelen sapınç dönüşümünü yazmaya çalıştığımızda, karşımıza çıkan formülün çok daha karışık bir hal almasıdır. Tecrübe gösteriyor ki, işin temellerine inip daha eksiksiz bir kuram geliştirdiğinizde, biçimselleştirme aşamasında iş ilk bakışta daha karmaşık gözükse de, matematik gitgide basitleşmektedir. Galileici görelilik ile Einsteinci görelilik arasında mevcut olan zıtlık buna bir örnek oluşturmaktadır.

Öyleyse göreliliğe ilişkin Özel Kuram söz konusu olduğu sürece, elimizde birçok açıdan Newtoncu mekanikten daha basit bir kuram var. Matematiksel bir bakış açısından, özellikle de grup kuramları

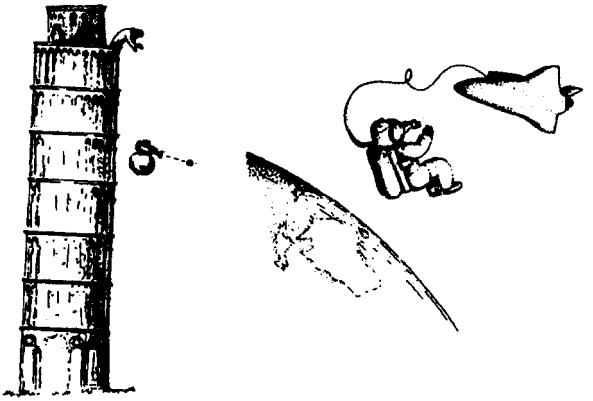


Figür 1.10. Burada, gökyüzüne ait gözlemlerin 1. ve 2. gözlemciler tarafından nasıl yapıldığı örneklenmektedir. (a) 1. ve 2. gözlemciler, yıldızları geçmiş ışık konileri üzerinde gözlerler. Yıldızların, ışık konisini delip geçtikleri noktalar siyah noktalarla gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, yıldızlardan yayılan ışık sinyalleri, gözlemcilere ışık konisinin yüzeyini takip ederek gelmektedirler. 2. gözlemci, uzay-zamanın içinde 1. gözlemciye göre sabit bir hızda hareket etmektedir. (b) Uzay-zamanın belli bir noktasında karşılaştıkları sırada, 1. gözlemci ile 2. gözlemcinin gökyüzünde gördükleri yıldızların konumları resmedilmiştir. (c) Gökyüzünün iki gözlemci arasında dönüşümünü anlatmanın iyi bir yolu stereografik izdüşümdür; çemberler çemberlerle eşlenir ve açı değerleri değişmeden kalır.

göz önüne alındığında, çok daha güzel bir yapıyla karşı karşıyayız. Özel Görelilik'te uzay-zaman düzdür ve ışık konileri Figür 1.8'de gösterildiği gibi düzgün bir hat üzerinde dizilmişlerdir. Şimdi bir adım daha atarak Einstein'ın Genel Göreliliği'ne, yani kütleçekimin de işin içinde olduğu bir uzay-zamana gelecek olursak, ilk bakışta karşımıza karman çorman bir tablo çıkacak, ışık konilerinin her bir tarafa saçılıp dağıldığı görülecektir (Figür 1.11). İmdi, az evvel demiştim ki, kuramlarımızı geliştirip derinleştirdikçe matematik gitgide daha basit bir hal almaktadır. Gel gör ki burada iş hiç de öyle olmadı; gözlerimin önünde bütün zerafeti ve güzelliğiyle duran matematik dehşet derecede karmaşık bir hal aldı. Merak etmeyin, her şey yolunda; yalnız aynı basitliğin tekrar kendini göstermesi için benimle birlikte bir süre dişinizi sıkmak zorunda kalacaksınız.



Figür 1.11. Bükülmüş uzay-zamanın bir betimlemesi



(a) (b)

Figür 1.12. (a) Galilei, iki taş parçasını (ve bir adet video kamerayı) Eğik Piza Kulesi'nin tepesinden aşağı bırakırken.

(b) Astronot, uzay aracının sanki yerçekiminden etkilenmiyormuşçasına kendisinin hemen önünde boşlukta asılı durduğunu görmektedir.

Sizlere Einstein'ın kütleçekim kuramının temel yapıtaşlarını hatırlatmak istiyorum. Temel yapıtaşlarından birisi Galilei'nin Eşdeğerlik ilkesi adıyla bilinir. Figür 1.12 (a) da Galilei'yi Piza Kulesi'nin tepesinden eğilmiş, biri büyük biri de küçük iki taş parçasını aşağı doğru bırakırken resmetmeye çalıştım. Bu deneyi hakikaten gerçekleştirmiş olsa da olmasa da, kendisi, hava direncinin yarattığı etkiyi görmezden gelmek şartıyla, her iki taşın da yere aynı anda çarpması gerektiğini gayet iyi anlamıştı. Eğer bu taşlar beraberce aşağı doğru düşerlerken bir tanesinin üstüne oturup diğerini seyretme imkânınız olsaydı, onu önünüzde, havada asılı bir halde dururken görecektiniz (Bu gözlemin gerçekleştirilebilmesi için, bir video kamerayı taşlardan birisinin üzerine tutturulmuş halde gösterdim). Uzay seyahatlerinin yapıldığı günümüzde buna benzer durumlara fazlasıyla alışığız. Daha

geçenlerde, Britanya doğumlu bir astronotun uzayda yürüdüğünü ve uzay gemisinin tıpkı büyük ve küçük taş parçalarında olduğu gibi, astronotun hemen önünde boşlukta gezindiğini beraberce izledik. Bu olay, Galilei'nin Eşdeğerlik İlkesi'ne tıpatıp uymaktadır.

Demek ki yerçekimine uygun bir açıdan baktığınızda, diğer bir deyişle düşmekte olan bir referans sisteminden baktığınızda, adeta gözlerinizin önünden kaybolup gitmektedir. Bu gerçekten doğrudur. Ne var ki Einstein'ın kuramı size yerçekiminin ortadan kalktığını ***değil***, sadece yerçekimi ***kuvvetinin*** ortadan kalktığını söylemektedir. Geriye bir tek şey kalıyor, o da kütleçekiminin yarattığı gelgit etkisi.

Şimdi izninizle matematiğin dozunu biraz daha artırmak istiyorum, ama çok fazla değil. Uzay-zamandaki bükülmeyi tanımlamaya ihtiyacımız var ve bu amaçla, aşağıdaki eşitlikte *Riemann* adını verdiğim, *tensör* denilen yapılara başvurmamız gerekmektedir. Bu tensörün gerçek adı Riemann eğrilik tensörüdür; ancak ben size onun, sağ alt kısmında birtakım göstergeler bulunan büyük R harfiyle belirtildiğini söylemekle yetineceğim. Sağ alt köşede bulunan bu göstergelerin yerine aşağıda noktacıklar kullanılmıştır. Riemann eğrilik tensörü iki parçadan oluşmaktadır. Parçalardan bir tanesine *Weyl* eğriliği, ötekine de *Ricci* eğriliği adı verilmektedir. Elimizde bulunan eşitlik (şekil itibarıyla) şudur:

Riemann = Weyl + Ricci

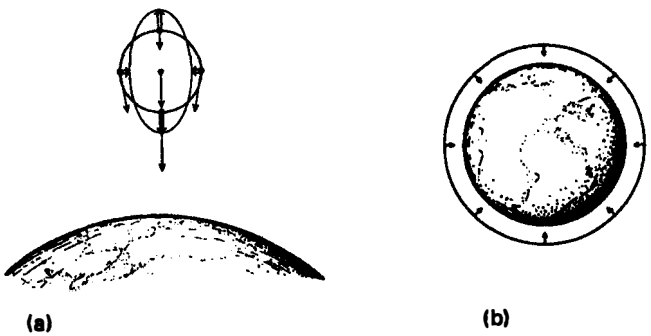
$$\mathbf{R_{....} = C_{....} + R_{..}\, g_{..}}$$

Literatürde $\mathbf{C_{....}}$ ve $\mathbf{R_{..}}$ sırasıyla Weyl ve Ricci eğrilik tensörleri, $\mathbf{g_{..}}$ de metrik tensör adıyla bilinirler.

Weyl eğriliği esas itibarıyla gelgit etkisini ölçmektedir. "Gelgit" etkisi nedir? Anımsayacak olursanız, astronotun bakış açısından bakıldığında yerçekimi ortadan kalkmış gibi gözükmekteydi. Oysa ki bu doğru değildir. Bir an için astronotun, başlangıçta astronota göre hareketsiz konumda bulunan parçacıklar tarafından küre biçiminde çe-

peçevre kuşatıldığını düşünelim. İmdi; bunlar önceleri boşlukta bulundukları yerde yüzmeye devam edecekler, ancak Yerküre'nin kürenin değişik noktalarına uyguladığı kütleçekim kuvvetlerinin az da olsa birbirlerinden farklı olması dolayısıyla bir süre sonra hızlanmaya başlayacaklardır. (Dikkat ettiyseniz meydana gelen etkiyi Newtoncu bir dille anlatıyorum, ama şimdilik bu da işimizi görür). Bu ufak değişiklikler, özgün haliyle küre biçiminde olan parçacıkların, Figür 1.13 (a)'da gösterildiği gibi konum değiştirerek eliptik bir biçim almalarına sebep olacaktır.

Bu şekil değişikliği, kısmen Yerküre'nin kendine yakın olan parçacıklara uyguladığı çekimin bir miktar fazla ve kendine uzak olan parçacıklara uyguladığı çekimin de bir miktar az olmasından, kısmen



Figür 1.13. (a) Gelgit etkisi. Çift oklar göreli ivmeye karşılık gelmektedir. (b) Küresel kabuğun cismin etrafını sardığı durumda (burada Yerküre'yi), net olarak merkeze doğru yönelen bir ivme oluşur.

de kürenin yan duvarlarına uygulanan yerçekiminin az da olsa bir miktar kürenin merkezine doğru yönelme eğiliminde olmasındandır. Bütün bunlar, kürenin zamanla bir elipsoit haline gelmesine sebep olur. Bu etkiye gelgit etkisi denmesinin çok makul bir nedeni vardır. Eğer Yerküre'yi Ay'la, parçacıklardan oluşan küre biçimindeki kabuğu da okyanusların kapladığı Yerküre ile değiştirecek olursanız, o zaman, Ay'ın da okyanusların yüzeyi üzerinde Yerküre'nin parçacıklardan oluşan küresel kabuğa uyguladığı etkiye benzer bir kütleçekim etkisi yarattığını görüyoruz. Ay'a yakın konumda bulunan deniz yüzeyi Ay'a doğru çekilirken, Yerküre'nin arka yüzünde kalan denizler adeta uzağa doğru itilirler. Deniz yüzeyinin Yerküre'nin her iki tarafında bel vermesinden ve denizde her gün iki kez meydana gelen yükselmeden bu etki sorumludur.

Einstein'ın bakış açısından kütleçekimin yarattığı etki bu gelgit etkisinden ibarettir. Temel olarak Weyl eğriliği ile, yani Riemann eğriliğinin $C_{....}$ ile belirtilen kısmı ile tanımlanır. Eğrilik tensörünün bu kısmı hacim-koruyucudur. Yani küre üzerinde bulunan parçacıkların başlangıçtaki ivmelerinde bir değişiklik meydana getirseniz bile, başlangıçtaki kürenin hacmi ile sonuçta ortaya çıkan elipsoidin hacmi birbirine eşit olacaktır.

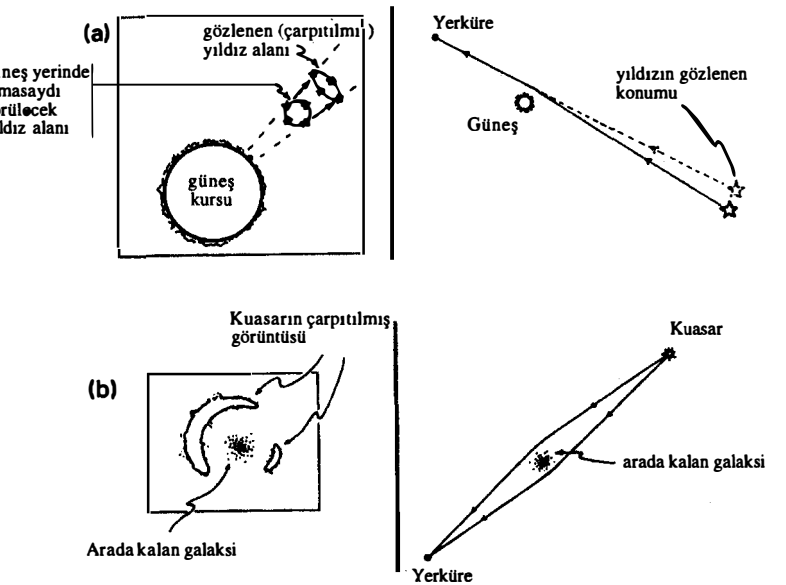
Eğriliğin geri kalan kısmı Ricci eğriliği olarak bilinir ve hacim-küçültücü bir etkiye sahiptir. Figür 1.13 (b)'de de görüldüğü üzere, eğer Yerküre, parçacıklardan oluşan küresel kabuğun aşağısında değil de iç kısmında yer alsaydı, parçacıklar içeriye doğru ivmelendikçe, parçacıklardan oluşan küresel kabuğun hacmi de küçülecekti. Hacimde meydana gelen bu küçülmenin miktarı Ricci eğriliğinin ölçüsüdür. Einstein'ın kuramı bize der ki, Ricci eğriliği, uzayın belli bir noktasında merkezlenmiş olarak çizilen küçük kürenin içinde bulunan madde miktarı ile belirlenir. Diğer bir deyişle, durumun gereğine uygun olarak hesaplanan madde yoğunluğu, bize parçacıkların uzayın bu noktasında nasıl ivmeleneceklerini söyler. Bu tarzda ifade edildiğinde Einstein'ın kuramı Newton'unkinden hemen hemen farksızdır.

Einstein kendi kütleçekim kuramını işte bu yolla formülleştirmiş-

tir. Kuram, yerel uzay-zaman eğriliğinin bir ölçüsü olan gelgit etkileri cinsinden ifade edilmiştir. İşin can alıcı noktası, bu noktada dört boyutlu uzay-zaman eğriliği cinsinden düşünmek zorunda kalmamızdır. Bu, şematik olarak Figür 1.11'de gösterilmiş idi. Parçacıkların uzay-zaman içindeki yörüngelerine karşılık gelen çizgileri ve bu çizgilerde meydana gelen çarpılmaları, uzay-zaman eğriliği için bir ölçü kabul etmekteyiz. Demek oluyor ki Einstein'ın kuramı, aslında dört boyutlu uzay-zamana ilişkin geometrik bir kuramdır; ama matematiksel açıdan olağanüstü güzellikte bir kuram.

Einstein'ın Genel Görelilik kuramını keşfinin öyküsü kısadan hisse önemli bir ders içermektedir. Bir bütün halinde ilk formülleştirildiği tarih 1915'tir. Herhangi bir gözlemsel ihtiyaç neticesinde değil, birtakım estetik geometrik ve fiziksel kaygıların güdüsüyle geliştirilmişti. Temel yapıtaşlarını, farklı kütlelere sahip taş parçalarının aşağı bırakılması nedeniyle örneklenen Galilei'nin Eşdeğerlik İlkesi (Figür 1.12) ve uzay-zaman eğriliğini tanımlamada doğal bir yol olan Öklit-dışı geometrilerin kendine esas aldığı fikirler oluşturmaktaydı. 1915'lerde yapılan gözlemsel çalışmaların bu konuyla pek bir ilgisi yoktu. Genel Görelilik son biçimi ile formülleştirildiğinde, kuramın, kilit noktasında gözleme dayalı üç adet sınamaya yer verdiği görüldü. Merkür'ün yörüngesinin günberi noktası (perihelion, ç.n.) yer değiştirmekte ve diğer gezegenlerin etkileri hesaba katılsa dahi, Newtoncu kütleçekim etkileşimleri ile açıklanamayan bir dönüş hareketi yapmaktadır. Gözlenen bu kayma, Genel Görelilik tarafından fevkalade bir biçimde öngörülür. Ayrıca ışık ışınlarının izledikleri yollar Güneş tarafından bükülmeye uğratılmaktadırlar. Bu ise, 1919'daki güneş tutulmasını gözlemlemek amacıyla Arthur Eddington'un başkanlığında gerçekleştirilen ünlü yolculuğun gerçekleştiriliş sebebidir. Eddington yaptığı gözlemler sonunda Einstein'ın öngörüsünü destekleyen sonuçlar elde etmiştir (Figür 1.14 (a)). Üçüncü sınama, bir kütleçekim potansiyeli altında saatlerin daha yavaş işleyeceğini öngörmekteydi. Yani yere yakın konumda bulunan bir saat, bir kulenin tepesinde bulunan bir saate göre daha yavaş çalışmalıydı. Bu etkinin

de deneysel olarak ölçümü yapılmıştır. Halbuki, bütün bunlar o kadar da etkileyici sınamalar sayılmazlar. Çünkü hem söz konusu etkiler her zaman çok küçüktürler, hem de aynı sonuçlar pekâlâ diğer birtakım kuramlar tarafından da öngörülebilirdi.



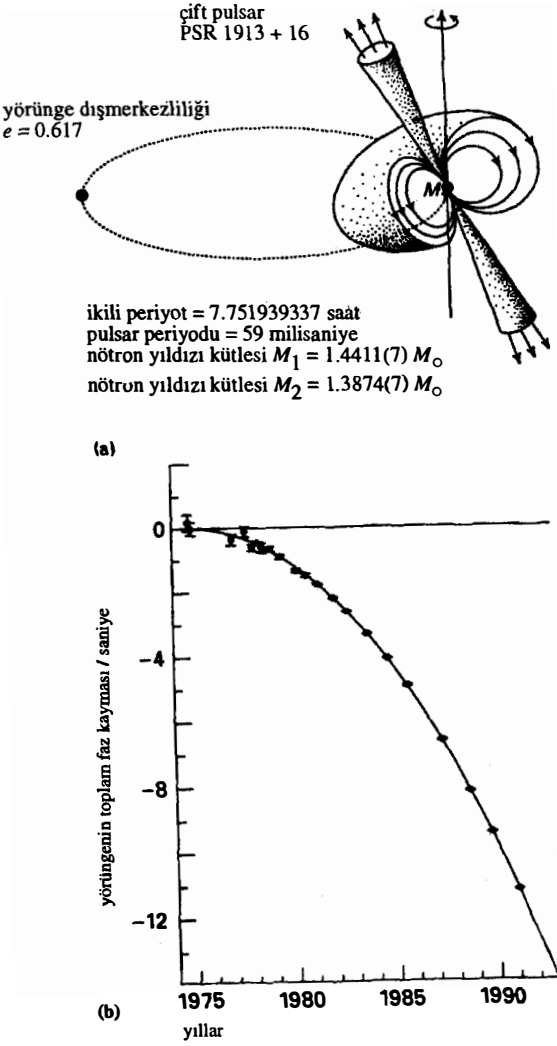
Figür 1.14 (a) Genel Görelilik'e göre kütleçekimin ışık üzerinde doğrudan gözlemlenebilir etkileri. Weyl uzay-zaman eğriliği, uzaktaki yıldız alanının biçiminde bir çarpılma şeklinde kendini gösterir. Burada bu, Güneş'in kütleçekim alanının ışığı bükücü etkisi sonucu ortaya çıkmaktadır. Çember biçiminde sıralanmış yıldızlar, görünürde eliptik bir biçim alacak şekilde çarpılmaya uğruyorlar. (b) Einstein'ın ortaya attığı ışık bükme etkisi, artık deneysel gökbilimde kullanılan önemli araçlardan biri haline gelmiştir. Arada kalan galaksinin kütlesini, uzaktaki bir kuasarın görüntüsünü ne ölçüde çarpıttığına bakarak kestirmek mümkündür.

Şimdilerde ise durum artık dramatik ölçüde değişmiştir. Yaptıkları son derece olağanüstü bir dizi gözlemden dolayı Hulse ve Taylor 1993 yılında Nobel ödülüne layık görüldüler. Figür 1.15 (a), PSR 1913+16 adıyla bilinen bir çift pulsarı göstermektedir. Bu pulsar, her biri, çapı birkaç kilometreyi geçmemesine rağmen, Güneş'in kütlesine yakın bir kütleye sahip muazzam derecede yoğun birer yıldız olan bir çift nötron yıldızından oluşmaktadır. Nötron yıldızları, ortak kütleçekim merkezleri çevresinde aşırı eliptik yörüngelerde dolanmaktadırlar. Bunlardan bir tanesinin öyle güçlü bir manyetik alanı vardır ki, parçacıklar bir yandan hızla dönmeye devam ederlerken bir yandan da, ta 30 000 ışık yılı uzaklıkta bulunan Yerküre'ye kadar ulaşarak gayet düzgün ve net sinyaller halinde gözlenen çok yoğun bir ışıma yayarlar. Bu sinyallerin yeryüzüne ulaşma sürelerini hesaplamak üzere olabilecek bütün duyarlı gözlemler yapılmıştır. Bilhassa iki nötron yıldızının da yörüngelerine ait bütün özelliklerin, Genel Görelilik sayesinde eklenmesi gereken her türlü ufak tefek düzeltme ile birlikte, saptanması mümkündür.

Bir de bütün bunlara ek olarak, yalnızca Genel Görelilik'e özgü olan ve Newtoncu kütleçekim kuramında hiç mi hiç bulunmayan bir başka özellik vardır. Buna göre, birbirleri etrafında dönme hareketi yapan cisimler kütleçekim dalgaları halinde enerji yayarlar. Bunlar ışık dalgalarını andırsalar da, aslında elektromanyetik alan içinde değil, uzay-zaman içinde meydana gelen dalgalanmalardır. Bu dalgalar sistemden sürekli enerji çekerler. Enerjinin çekilme hızı, Einstein'ın kuramına başvurularak kesin olarak hesaplanabilir. İkili nötron yıldızı sisteminde meydana gelen enerji kaybının bu yolla hesaplanan hızı, yapılan gözlemlerle tastamam uyuşmaktadır. Bu durum, son yirmi yılı aşkın süredir yapılan gözlemlerce, bu nötron yıldızlarının yörünge periyotlarında ortaya çıkan hızlanmaya ilişkin ölçüm sonuçlarının sergilendiği Figür 1.15 (b)'de açıkça görülmektedir. Söz konusu sinyallere ilişkin zamanlama öyle şaşmaz bir doğrulukla saptanmaktadır ki, son yirmi yılı aşkın bir süre boyunca kuramın bilinen doğruluk derecesinin 10^{14}'te 1 dolaylarında olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu, Genel Görelilik'i, bilim tarihi boyunca en duyarlı biçimde sınanan kuram olma konumuna getirmektedir.

Bu öyküde kıssadan hisse bir ders var. Einstein'ı, ömrünün sekiz yılını ya da belki daha fazlasını harcayarak Genel Kuram'ı geliştirmeye motive eden etkenler, gözlem ve deney sonuçları değildi. İnsanlar zaman zaman şu sözleri dile getirmektedirler: "Aslında, fizikçiler elde ettikleri deney sonuçları çerçevesinde biçimsel bir düzen arayışı içersine girerler ve bir gün gelir bu sonuçlarla uyuşabilecek zarafette bir kurama ulaşırlar. Bu, fizik ile matematiğin birbirleriyle neden bu kadar iyi geçindiklerini açıklamaya yeterli olsa gerek." Oysa sözünü ettiğimiz durumda işler hiç de bu şekilde yürümedi. Kuram, özgün biçimiyle hiçbir motive edici gözlem bulgusuna dayanmadan geliştirildi ve ortaya matematiksel açıdan çok zarif ve fiziksel açıdan da son derece iyi motiflenmiş bir kuram çıktı. Buradaki ana fikir şudur: Matematiksel yapı zaten Doğa'nın kendisinde mevcuttur ve kuram aslında uzayda ait olduğu yerde durmaktadır; bu, herhangi birinin Doğa'ya zorla dayattığı bir şey değildir. Bu, bu bölümde esas alınan ana noktalardan bir tanesidir. Einstein zaten yerli yerinde duran bir şeyi açık seçik bir hale getirmiş oldu. Üstelik, keşfettiği fizik öylesine bir fizik değil, Doğa'da en temelden sahip olduğumuz bir şey: uzayın ve zamanın doğası.

Figür 1.15. (a) Çift pulsar PSR 1913+16'nın temsili bir çizimi. Nötron yıldızlarından bir tanesi radyo dalgaları yayan bir pulsardır. Radyo dalgaları yayınımı, nötron yıldızının dönme eksenine göre farklı bir doğrultuda uzanan manyetik çiftkutbun kutupları boyunca gerçekleşmektedir. Yayılan dar ışın demeti gözlemcinin görüş hattını taradığında, gayet keskin ve net bir sinyal alınmaktadır. İki nötron yıldızının da özellikleri, yalnızca Einstein'ın Genel Göreliliği tarafından öngörülen, etkilerden yararlanarak (ve böylece doğrulanarak) sinyallerin varış zamanlarının çok hassas bir biçimde ölçülmesi yoluyla elde edilmiştir. (b) PSR 1913+16 çift pulsarından ulaşan sinyallerin varış zamanlarında gözlenen faz değişiminin, kütleçekimsel ışıma yayınımı dolayısıyla ikili nötron yıldızı sisteminde meydana gelmesi beklenen değişiklikle (kesiksiz eğri çizgiyle gösterilmiştir) karşılaştırılması.

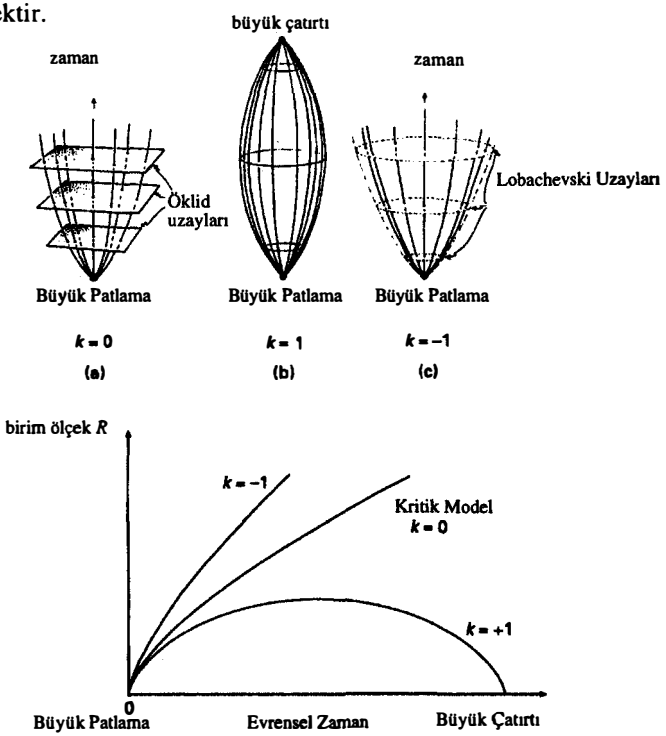

çift pulsar
PSR 1913 + 16
yörünge dışmerkezliliği
e = 0.617
M
ikili periyot = 7.751939337 saat
pulsar periyodu = 59 milisaniye
nötron yıldızı kütlesi M_1 = 1.4411(7) $M_\odot$
nötron yıldızı kütlesi M_2 = 1.3874(7) $M_\odot$
(a)
0
-4
-8
-12
yörüngenin toplam faz kayması / saniye
(b)
1975
1980
1985
1990
yıllar

Figür 1.15

Her şey apaçık ortada. En başta sözünü ettiğim, matematiğin dünyasıyla fiziksel dünya arasındaki mevcut ilişkiyi anlatan diyagrama tekrar geri döndük (Figür 1.3). Genel Görelilik'te, fizik dünyanın sergilediği davranışların temellerini gerçekten de olağanüstü derecede kesin bir biçimde belirleyen bir yapıyla karşı karşıya bulunmaktayız. Gerçi Doğa'nın ne yönde davrandığına dikkat etmenin önemi açıkça ortada ise de, dünyamızın sözü edilen temel özellikleri çoğunlukla bu yolla keşfedilmemektedir. Yalnız bu aşamada bütün diğer nedenler açısından cazip görünen, gelgelelim gerçeklerle uyuşmayan kuramlar yumurtlamamaya dikkat etmelidir. Oysa burada elimizde, gerçeklerle fevkalade şaşmaz bir biçimde uyuşan bir kuram bulunmaktadır. Kuramın içerdiği doğruluk derecesi, Newtoncu kuramın erişebildiği basamak sayısının iki katıdır. Bir başka deyişle, Newtoncu kuramın duyarlılığı 10^7 'de 1'lik bir doğruluk derecesinde iken, Genel Görelik için bu oranın 10^{14}'te 1 olduğu bilinmektedir. Bir kuramdan ötekine sağlanan iyileşme, Newton'un kendi kuramının içerdiği doğruluk derecesinde on yedinci yüzyıldan bugüne dek geçen zaman içinde görülen artış mertebesindedir. Newton, kendi kuramının 1000'de 1'lik bir duyarlılıkla doğru olduğunu bilmekteydi; şimdi ise bu duyarlılığın 10^7'de 1 olduğu bilinmektedir.

Hiç kuşkusuz, Einstein'ın Genel Göreliliği de sadece bir kuram olmaktan öteye gitmiyor. Peki ya gerçek dünyanın yapısı? Bu bölümün bir botanik bölümü olmayacağını ifade etmiştim; ancak Evren'den bir bütün halinde bahsederken bunun botanikliğe kaçmayacağına eminim. Çünkü bizlere bahşedilen biricik Evren'i her şeyiyle bir bütün olarak değerlendireceğim. Einstein'ın kuramından doğan üç tür standart model vardır. Bunlar özetle aynı parametreyle, Figür 1.16'da gösterilen k parametresiyle belli edilirler. Bir de zaman zaman evrenbilim tartışmalarına konu olan ve evrenbilim sabiti olarak tanınan bir başka parametre daha vardır. Einstein, evrenbilim sabitini Genel Görelilik kapsamındaki eşitliklerine dahil etmesini, kendi kendine işlediği en büyük gaf olarak değerlendirdiğinden, burada ona tekrar yer vermek zorunda kalırsak, bir daha kurtulmamız mümkün olmayacaktır.

Evrenbilim sabitinin sıfır olduğunu varsayarsak, hepsi de k sabiti cinsinden tanımlanan üç tür evren, Figür 1.16'da gösterildiği gibi gözükecektir.



Figür 1.16. (a) Öklit uzayı şubelerinden oluşan genişleyen bir evrenin uzay-zaman betimlemesi (sadece iki adet uzunluk boyutu resmedilebilmektedir): $k = O$.

(b) Bu da (a)'daki betimlemenin bir benzeri; ancak bu kez küresel uzay şubelerinden oluşan genişleyen (ve hemen ardından büzülen) bir evren söz konusu: $k = +1$.

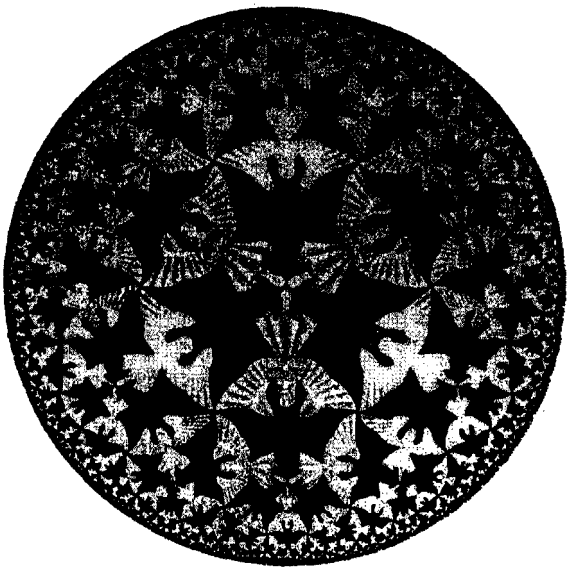
(c) Yine (a)'daki betimlemenin bir benzeri; ancak bu kez de Lobachevski uzayı şubelerinden oluşan genişleyen bir evren söz konusu: $k = -1$.

(d) Üç değişik tür Friedman modelinin dinamiği.

Diyagramlarda k'nın aldığı değerler 1, O ve -1'den ibarettir çünkü gösterilen modellerin diğer bütün özellikleri gözden uzak tutulmuştur. Evren'i incelemek için onun yaşı veya büyüklüğü cinsinden konuşmak daha iyi bir yol olabilirdi belki; böylelikle süreklilik gösteren bir parametreyle çalışmış olurduk. Ancak bu üç farklı modelin, keyfi bir nitelik olan, Evren'in uzay şubelerinin eğriliği cinsinden tanımlandığını düşünmek de mümkündür. Eğer Evren'in uzay şubeleri düz iseler eğrilikleri sıfırdır ve k = O değerindedir (Figür 1.16(a)). Şayet uzay şubeleri pozitif değerde bükülmeye uğramışlarsa, ki bu, Evren'in kendi üzerine kapandığı anlamına gelmektedir, o halde k = +1 değerindedir (Figür 1.16(b)). Bu modellerin hepsi de Evren'in başlangıçta bir tekillik halinde, yani başlangıcı belirleyen bir Büyük Patlama anında bulunduğunu öngörmektedir. Yalnız k = +1 durumunda, önce olabilecek en yüksek büyüklüğe kadar genişlemekte, ardından da bir Büyük Çatırtı ile çökmektedir. Başka bir şık da k = -1 durumudur. Bu durumda Evren, genişlemesini sonsuza dek sürdürür (Figür 1.16(c)). k = O durumu, k = 1 ile k = -1 durumları arasındaki sınır değeridir. Bu üç tür evren için yarıçap ile zaman arasındaki ilişkiyi Figür 1.17(d)'de gösterdim. Yarıçap, Evren'e dair tipik bir ölçek olarak kabul edilebilir. Buradan da görülmektedir ki, yalnızca k = +1 durumu Büyük Çatırtı'ya doğru çökmekte, diğer ikisi ise sınırsız bir şekilde genişlemeye devam etmektedir.

k = -1 durumunu biraz daha ayrıntısıyla irdelemek niyetindeyim. Üç durum içinde belki de en çetinceviz olanı budur. Bilhassa bu durumla ilgilenmemin iki nedeni var. İlki, eğer gözlemlerinizi bulundukları anda görünen değerleri üzerinden gerçekleştiriyorsanız, bu model en tercihe şayan olanıdır. Genel Görelilik'e göre uzayın eğriliği Evren'de bulunan madde miktarı tarafından belirlenmektedir. Mevcut olan miktar ise, Evren'in geometrisini kapalı bir hale getirmeye yeterli gözükmemektedir. Yalnız belki de hiç haberdar olmadığımız bol miktarda karanlık ya da saklı madde mevcuttur. Bu durumda Evren, öbür maddelerden birinin öngördüğü gibi de olabilir. Ama şayet bir yerlerde mevcut olan fazlalık madde miktarı yeterli düzeyde değilse, o za-

man galaksilerin optik görüntüleri umduğumuzdan daha fazla şey barındırmalıdır ki, Evren $k = -1$ değerine sahip olsun. İkinci nedeni ise, bunun benim en sevdiğim model olmasıdır! $k = -1$ değerine karşılık gelen geometriler kendilerine has bir zerafete sahiptirler.



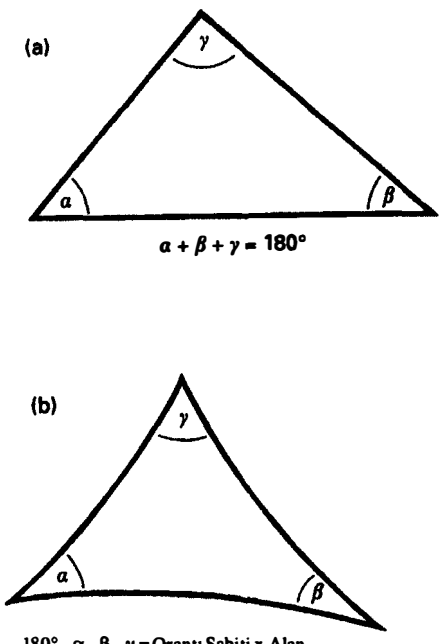
Figür 1.17. M.C. Escher'in "Çember Sınır 4" adlı eseri (Lobachevski uzayının tipik bir temsili).

Peki ya k = -1 evrenleri neye benzerler? Uzay şubeleri hiperbolik geometri veya Lobachevski geometrisi denilen geometrilere sahiptirler. Lobachevski geometrisine ait bir betimlemeye ulaşmanın en iyi yolu, Escher'in yaptığı gravürlerden birine bakmaktır. Kendisi, Çember Sınırlar (Circle Limits, ç.n.) ismini taktığı bir dizi eser meydana getirmiştir. Bunlardan Çember Sınır 4, Figür 1.17'de gösterilmiştir.

Bu, Escher'in Evren betimlemesidir ve gördüğünüz gibi meleklerle ve şeytanlarla doludur! Burada gözden kaçırılmaması gereken nokta, sınırdaki çembere doğru yaklaştıkça, sanki resmin gitgide kalabalıklaşmasıdır. Bu durumun meydana geliş sebebi, aslında hiperbolik uzaya ait olan böyle bir betimlemenin sıradan bir parça kâğıt üzerinde, bir başka deyişle Öklit uzayında çizilmiş olmasıdır. Bu durumda, aslında şeytanların hepsinin de tıpatıp aynı şekle ve cüsseye sahip olmaları gerektiğini akıl edebilmelisiniz. Öyle ki, şayet bu Evren'de diyagramın kenarlarına yakın bir yerlerde yaşamış olsaydınız, çevrenizdekiler size tıpatıp diyagramın ortasında bulunanlar gibi gözükeceklerdi. Lobachevski geometrisinde olup bitenler hakkında bu resim sayesinde belli bir izlenim edinebiliriz. Geometrinin resmedilişinin belli bir biçimde çarpıtılması sebebiyle, ortadaki kısımdan kenarlara doğru yürüdükçe karşılaşacağınız geometrinin, orta kısımdakinin tıpatıp aynısı olacağını gözünüzde canlandırabilmelisiniz. Böylece ne yönde hareket ederseniz edin, civarınızda bulunan geometri değişmeyecektir.

İyi inşa edilmiş bir geometriye ilişkin verilebilecek belki de en şaşırtıcı örnek budur. Ama Öklitçi geometri de başlı başına en az bunun kadar etkileyicidir. Öklitçi geometri, matematik ile fizik arasında mevcut olan ilişkiye dair fevkalade bir örnek sunmaktadır. Bu geometri matematiğin bir parçasıdır; ancak Eski Yunanlılar onun, dünyanın içinde bulunduğu durumun da bir betimlemesi olduğu kanısındaydılar. Nitekim dünyanın içinde bulunduğu durumun, gerçekten de olağanüstü derecede doğru bir betimlemesi olarak kendisini göstermektedir. Lakin son derece doğru bir betimleme değil; çünkü Einstein'ın kuramı bize uzay-zamanın çeşitli yollarla azıcık bükülmeye uğradığını anlatmaktadır. Ama olsun, yine de bu, dünyanın olağanüstü derecede doğru bir betimlemesidir. İnsanlar bir zamanlar başka çeşit geometrilerin olup olmadığını merak edip durmaktaydılar. Özellikle de *Öklit'in beşinci aksiyomu* olarak bilinen durum kafalarını kurcalamaktaydı. Bu, şu cümleyle ifade edilebilir: Bir düzlem üzerinde bir doğru ve bu doğrunun dışında da bir nokta bulunuyorsa, bu noktadan geçip de bu doğruya paralel olan tek bir doğru vardır. İnsanlar bu

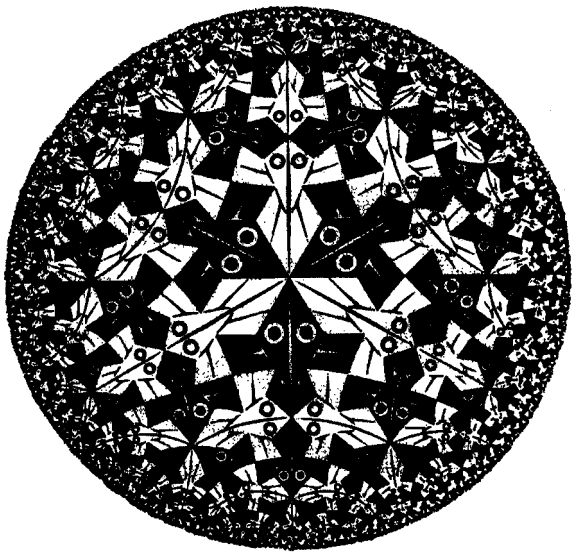
aksiyomun, Öklitçi geometrinin daha apaçık aksiyomlarına dayanılarak ispatlanabileceğini düşünmekteydiler. Zamanla bunun mümkün olmadığı görüldü ve böylelikle Öklitçi olmayan geometri görüşü doğdu.



Figür 1.18. (a) Öklit uzayında bir üçgen (b) Lobachevski uzayında bir üçgen.

Öklitçi olmayan geometrilerde bir üçgenin iç açılarının toplamı 180° etmez. İşlerin daha karmaşık bir hal alacağını insana sezdiren örneklerden birisi de budur; zira Öklitçi geometride, bir üçgenin iç

açılarının toplamı 180°'dir (Figür 1.18 (a)). Buna karşın, Öklitçi olmayan geometride, bir üçgenin iç açılarının toplamını 180° çıkardığınızda, farkın üçgenin alanıyla orantılı olduğunu bulursunuz. Öklitçi geometride bir üçgenin alanı, açılar ve uzunluklar cinsinden yazmanız gereken karmaşık bir ifadedir. Öklitçi olmayan Lobachevski geometrisinde ise bir üçgenin alanı, Lambert'e borçlu olduğumuz muhteşem derecede basit bir formül sayesinde hesaplanır (Figür 1.18(b)). İşin aslına bakılırsa, Lambert'in, formülünü nasıl olup da Öklitçi olmayan geometrinin doğuşundan önce bulduğunu doğrusu pek de anlayamamışımdır!

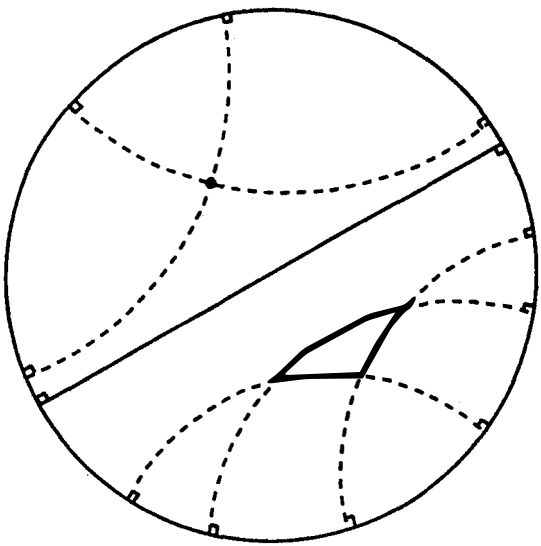


Figür 1.19, M.C. Escher'in "Çember Sınır 1" adlı eseri.

Burada reel sayılarla ilgili olan bir başka önemli nokta daha var. Bu sayılar, Öklitçi geometri açısından son derece temel sayılardır.

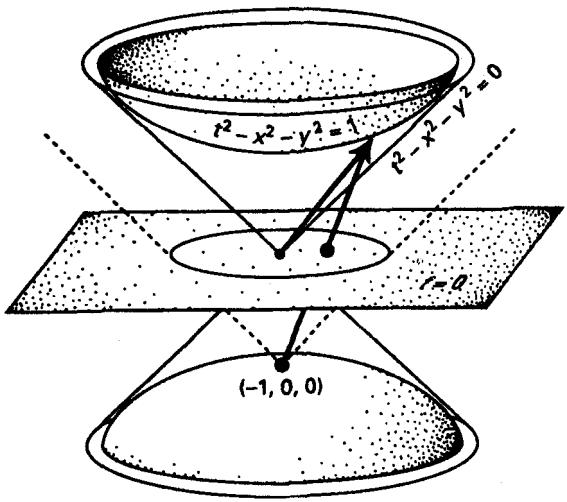
Asıl olarak milattan önce dördüncü yüzyılda Eudoxus tarafından ortaya atılmış olan bu sayıları günümüzde de kullanmaktayız. Bütün fiziğimizi bize tanımlayan sayılar bu sayılardır. İlerde göreceğimiz gibi, karmaşık sayılara da ihtiyacımız olmakla birlikte, bunlar reel sayılar üzerine oturtulmuşlardır.

Gelin Lobachevski geometrisinin nasıl işlediğini görmek için Escher'in gravürlerinden bir tanesine daha göz atalım. Bu geometriyi anlamak açısından Figür 1.19, Figür 1.17'den de iyidir; çünkü burada "düz çizgiler" daha belirgindir. Bu "düz çizgiler", kenarları dik açılarda kesen çember yayları şeklinde çizilmişlerdir. Yani şayet bir Lobachevski kişisi olmuş olsaydınız ve böyle bir geometri içinde yaşa



Figür 1.20. "Circle Sınır 1"de betinlenen Lobachevski (hiperbolik) uzayı geometrisinin bazı özellikleri.

saydınız, düz çizgi denildiğinde aklınıza bu yaylardan birisi gelecekti. Bütün bunları Figür 1.19'da açıkça görebilirsiniz. Düz çizgilerin bir kısmı diyagramın merkezinden geçen Öklitçi düz çizgilerse de, geri kalanların hepsi de yay biçiminde bükülmüş çizgilerdir. Bu "düz çizgiler"den bir kısmı Figür 1.20'de gösterilmiştir. Bu diyagramda, diyagramı boydan boya kesen düz çizginin (çember çapının) üzerinde bulunmayan bir nokta işaretledim. Gösterdiğim gibi, Lobachevski kişileri çember çapına paralel olmak üzere bu noktadan geçen iki (ve daha çok) adet farklı çizgi çizebilirler. Böylelikle bu geometri içinde paralellik aksiyomunun pabucu dama atılmaktadır. Bütün bunlara ek olarak üçgenler çizebilir, iç açılarının toplamlarından yararlanarak çizdiğiniz üçgenlerin alanlarını hesaplayabilir ve bu yolla hiperbolik geometrinin doğasının da şöyle bir tadına bakabilirsiniz.



Figür 1.21. Lobachevski uzayının bir hiperboloit şube halinde Minkowski uzay-zamanı içine yerleştirilmesi. Stereografik izdüşüm bu hiperboloiti, t = O düzlemi üzerinde çizili çemberle sınırlandırılmış olan Poincaré diskine eşlemektedir.

Bununla ilgili başka bir örnek vereyim. Hatırlarsanız daha önce hiperbolik Lobachevski geometrisinin en çok hoşlandığım geometri olduğunu söylemiştim. Bunun bir nedeni de bu geometriye ait simetri grubunun halihazırda bildiğimiz bir başka grupla, Lorentz grubuyla, yani Özel Görelilik'in göreli ışık konilerinin simetri grubuyla tıpatıp aynı olmasıdır. Bunun böyle olduğunu gösterebilmek için, Figür 1.21'de başka birtakım eklemelerle beraber bir ışık konisi çizdim. Ancak her seferinde olduğu gibi üç boyutlu uzay içinde (imişçesine; ç.n.) resmedebilmek için, uzunluk boyutlarından bir tanesini yok etmek zorunda kaldım. Diyagramda da gösterildiği gibi, ışık konisi olağan bir denklemle tanımlanmaktadır:

$$t^2 - x^2 - y^2 = 0$$

Üstte ve altta görülen çanak biçimli yüzeyler, bu Minkowski geometrisinde merkezden "birim uzaklıkta" bulunmaktadırlar. ("Uzaklık" Minkowski geometrisinde esasında *zaman* demektir; hareket halindeki saatler yardımıyla fiziksel olarak ölçülen gerçek zaman). Bu duruma göre bu yüzeyler Minkowski geometrisine göre bir "küre" yüzeyine karşılık gelmektedirler. Dahası, "küre"nin kendi öz geometrisinin de aslında Lobachevski (hiperbolik) geometrisi olduğu ortaya çıkmaktadır. Öklit uzayı içinde sıradan bir küre alıp bunu kendi ekseni etrafında döndürdüğünüzde söz konusu olan simetri grubu, kürenin kendi etrafındaki dönüşünü tayin eden gruptur. Figür 1.21'deki geometri için mevcut olan simetrilerin grubu, diyagramda görülen yüzeye ait simetrilerin grubudur. Diğer bir deyişle Lorentz dönme grubudur. Bu simetri grubu, uzay-zaman içinde belli bir nokta sabitlendiğinde uzayın ve zamanın nasıl dönüşeceğini anlatmakta, yani uzay-zamanın sabitlenen nokta etrafında değişik yönlerde döndürülmesi hareketini tayin etmektedir. Bu betimleme sayesinde görüyoruz ki, Lobachevski uzayının simetri grubu aslında Lorentz grubuyla aynı kapıya çıkmaktadır.

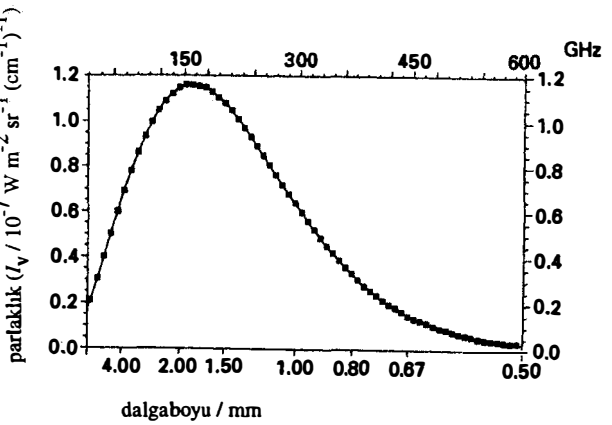
Figür 1.21, Figür 1.10 (c)'de gösterilen stereografik izdüşümün Minkowski yorumuna bir örnek oluşturmaktadır. Güney kutup noktası şimdi (-1, O, O) noktasına karşılık gelmektedir ve üstte kalan çanak biçimli yüzey üzerinde bulunan noktaların izdüşümlerini, Figür 1.10 (c)'deki ekvator düzleminin gördüğü işi gören t = O düzlemi üzerine yapmaktayız. Bu yöntem sırasında, üstte kalan yüzeyin bütün noktalarını t = O düzlemi üzerine izdüşürmemekteyiz. İzdüşümü alınan bütün noktalar t = O düzlemi üzerinde bulunan bir dairenin sınırları içerisinde kalmaktadırlar. Bu dairenin kimi zaman Poincaré diski adıyla anıldığı da olur. Escher'in çember sınır diyagramlarının çıkış yeri işte burasıdır. Bütün bir hiperbolik (Lobachevski) yüzey, Poincaré diski ile eşlenmiştir. Bunun yanı sıra, Figür 1.10 (c)'deki izdüşümün yaptığı her şeyi bu eşleme de yapabilmektedir; açıları ve çemberleri korumakta, üstelik her şey geometrik açıdan büyük bir zerafet içinde yürümektedir. Gerçi bu noktada belki de, hevesimin beni fazlaca kapıp götürmesine izin vermekteyim; korkarım ki bu, bir yerlerde takılıp kaldıklarında matematikçilerin kendilerini yapmaktan alıkoyamadıkları bir şey!

İlginç olan nokta şu ki, yukardaki problemin geometrik yapısı gibi birtakım şeylere kapılıp sürüklendiğinizde, kendilerinde belli bir zarafeti barındıran çözümlemeler ve sonuçlar ayakta kalırken, böyle bir matematiksel zerafetten yoksun olan çözümlemeler yarı yolda yitip gitmektedirler. Hiperbolik geometrinin de kendine has bir zerafeti vardır. Şayet Evren de bu biçimde inşa edildiyse, bu, en azından benim gibi bir hayranı için, muhteşem bir şey olur. Bu yöndeki kanaatlerimi güçlendiren başka birtakım nedenler daha bulunduğunu da hemen belirteyim. Diğer pek çok kimse buna benzer açık, hiperbolik evrenlerden hoşlanmamaktadır. Tercihlerini çoğunlukla Figür 1.16 (b)'de gösterilen kapalı evrenlerden yana yapmaktadırlar. Çünkü bunlar cazip ve rahattırlar. Peki tamam, aslında bu evrenler gene de epeyce büyüktürler. Bir hayli başkası ise, diğer bir seçenek olan düz yapıdaki evren modellerini yeğlemektedir (Figür 1.16 (a)). Çünkü Evren'in ilk evrele-

rine dair ortaya atılan *genişleyen evren kuramı* adı verilen kuram, Evren'in geometrisinin düz bir yapıda olması gerektiğini ileri sürmektedir. Bu kuramlarla aynı fikirde olmadığımı belirtmek isterim.

Evren hakkında ortaya atılan bu üç standart tip model *Friedman modelleri* olarak bilinirler ve simetrik, hem de fazlasıyla simetrik olmalarıyla tanınırlar. Başlangıç evrelerinde hepsi de genişleyen modellerdir. Bunun yanı sıra Evren'in, ömrünün her aşamasında ve her noktasında daima mükemmel derecede düzgün biçimli olduğu kabul edilir. Bu varsayım, Friedman modellerinin yapısına sıkı sıkıya tutturulmuştur ve *evrenbilim* ilkesi adıyla bilinir. Nerede olursanız olun, Friedman evreni bütün yönlerde aynı gözükür. Şu işe bakın ki, kendi Evrenimiz de çarpıcı ölçüde böyle bir modeli andırmaktadır. Eğer Einstein'ın denklemleri doğru ise; nitekim bu kuramın, yapılan gözlemlerle olağanüstü seviyede bir uyum içersinde olduğunu daha önce göstermeye çalışmıştım; o taktirde Friedman modellerini ciddiye almamız kaçınılmaz bir hal alıyor demektir.

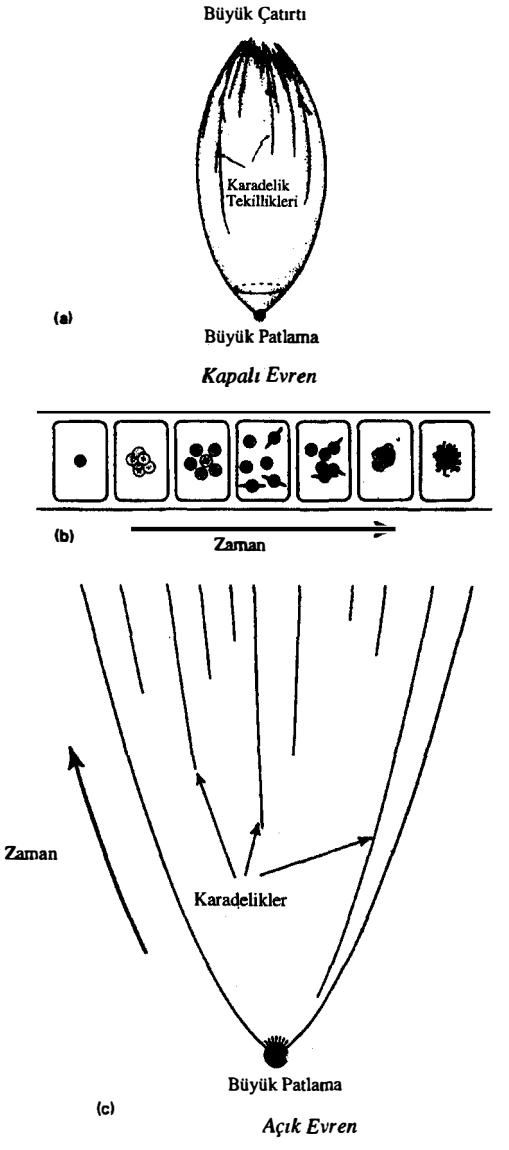
Bu modellerin hepsinin de ortak özelliği, işlerin daha ta en başından ters gittiği, şu Büyük Patlama adı verilen münasebetsiz duruma yer vermeleridir. Sonsuz yoğunlukta, sonsuz sıcaklıkta bir Evren: Kuramın bir yerlerinde fena halde ters giden bir şeyler olduğu kesin. Yine de her şeye rağmen, bu olabildiğince sıcak ve yoğun olan safhanın gerçekleştiğini kabul edecek olursanız, Evren'in asıl özelliklerinin bugün ne düzeyde olması gerektiği konusunda tahminlerde bulunabilirsiniz. Bu tahminlerden bir tanesi, baktığımız her yönde kara-cisim ışımasından meydana gelen düzgün biçimli bir arkaalanın olması gerektiğidir. Penzias ve Wilson tarafından 1965 yılında aynen bu tip bir ışıma keşfedilmiştir. Evrensel Mikrodalga Arkaalan Işıması adıyla bilinen bu ışımanın tayfını saptamak üzere COBE (Evrensel Arkaalan Araştırıcısı; ç.n.) uydusu yardımıyla gerçekleştirilen son gözlemler, yapılan tahminlerle mevcut kara-cisim tayfının oldukça yüksek bir isabet tutturduğunu göstermiştir (Figür 1.22).



Figür 1.22. Evrensel Mikrodalga Arkaalan Işıması tayfını saptamak üzere yapılan COBE ölçümleri ile Büyük Patlama'dan arta kalan ışımanın beklenen "ısıl" karakteri (kesiksiz çizgi) arasında hayli yüksek bir isabet vardır.

Bu ışımanın varlığı, bütün evrenbilimciler tarafından Evrenimiz'in sıcak ve yoğun bir safhadan geçtiğinin bir kanıtı olarak yorumlanmaktadır. Buna göre bu ışıma bize Evren'in ilk evrelerinin doğaşı hakkında bir şeyler anlatmaktadır. Bize her şeyi anlatmasa da, Büyük Patlama diye bir şeyin meydana geldiğini söylemektedir. Bir başka deyişle Evren, Figür 1.16'da örneklenen modelleri andırıyor olmalıdır.

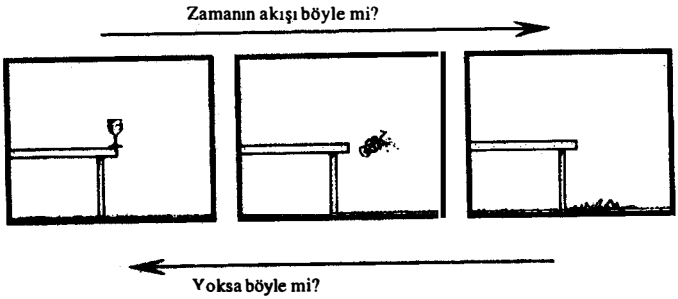
COBE uydusu tarafından gerçekleştirilen hayli önemli bir başka keşif daha vardır. Her ne kadar Evrensel Mikrodalga Arkaalan Işıması dikkat çekici ölçüde düzgünbiçimliyse ve gösterdiği özellikler güzel bir şekilde matematiğe dökülüyorsa da, Evren aslında pek de öyle mükemmellik düzeyinde bir düzgünbiçimlilik arzetmemektedir. Işımanın gökyüzüne dağılımında ufak ama gerçeği yansıtan birtakım düzensizlikler göze çarpmaktadır. Aslında bu ufak düzensizliklerin Evren'in ilk evrelerinde de varolmaları gerektiğini düşünebiliriz. Çün-


Büyük Çatırtı
Karadelik
Tekillikleri
(a)
Büyük Patlama
Kapalı Evren
(b)
Zaman
Zaman
Karadelikler
Büyük Patlama
(c)
Açık Evren

kü ne de olsa Evren'i gözlemlemek amacıyla buradayız ve her halde altı üstü düzgün bir lekeden ibaret değiliz. Evren'in daha ziyade Figür 1.23'te örneklenen betimlemeler gibi olması beklenir. Ne kadar açık fikirli olduğumu göstermek amacıyla bir tane açık, bir tane de kapalı Evren örneği sundum.

Kapalı Evren'de düzensizlikler baş gösterecek ve yıldızlar, galaksiler ve bunlara benzer diğer gözlenebilir gerçek yapılar ortaya çıkacaktır. Ardından da, yıldızların çökmesi ve bütün kütlenin galaksilerin merkezinde toplanması gibi kimi sebepler dolayısıyla karadelikler oluşacaktır. Bu karadeliklerin hepsinin de birer tekillik merkezi vardır; aynen geride kalan Büyük Patlama'da olduğu gibi. Gelgelelim iş bu kadarla kalmıyor. Oluşturduğumuz betimlemeye göre başlangıçtaki Büyük Patlama zarif, simetrik ve düzgünbiçimli bir duruma karşılık gelmektedir. Oysa ki kapalı modelin uç noktası korkunç bir karmaşanın ta kendisidir. Bütün karadelikler sonunda birleşmekte ve inanılmaz bir karışıklığın ardından, bitiş noktasında bir Büyük Çatırtı'ya neden olmaktadır (Figür 1.23 (a)). Bu kapalı modelin evrimi şekilsel olarak Figür 1.23 (b)'de gösterilen film şeridiyle betimlenebilir. Karadelikler açık bir evren modelinde de ortaya çıkarlar. Başlangıçta yine bir tekillik bulunduğu gibi, ortaya çıkan karadeliklerin merkezlerinde de yeni yeni tekillikler oluşmaktadır (Figür 1.23 (c)).

Figür 1.23. (a) Her türden değişik cisimlerin kendi evrimlerinin son noktasına yaklaştıkları kapalı bir evren modelinin evrimi ve karadeliklerin ortaya çıkışı. Büyük Çatırtı'ya varma noktasında müthiş bir karmaşanın beklendiği açıkça görülmektedir. (b) (a)'da yer alan olaylar dizisi bir "film şeridi" üzerinde bu şekilde gözükmektedir. (c) Açık bir maddenin evrimi ve farklı zamanlarda ortaya çıkan karadelikler.



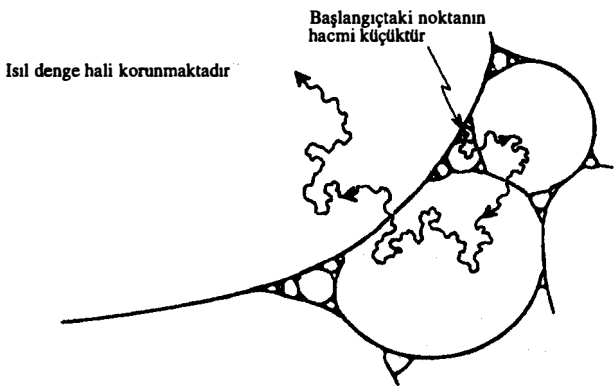
Figür 1.24. Mekaniğin yasaları zamana göre tersinir yasalardır. Yine de böyle bir mizansenin yukarıdaki gibi sağdan sola bir zaman akışı içinde gerçekleştiği henüz hiç görülmemiştir. Oysa ki soldan sağa doğru seyreden durum beylik bir durumdur.

Standart Friedman modellerinin bu yönlerini, başlangıçta görebildiğimiz durumla uzak bir gelecekte karşılaşmayı umduğumuz durum arasında ne büyük farklar olduğunu göstermek amacıyla vurgulamaktayım. Bu problem fiziğin temel bir yasasıyla, Termodinamiğin İkinci Yasası ile yakından ilgilidir.

Bu yasayı basit gündelik şartlar dahilinde anlamamız mümkündür. Masanın tam kıyısına nazikçe yerleştirilmiş bir kadeh şarabı gözünüzün önüne getirin. Kadeh, her an masadan aşağı devrilip parçalanabilir ve içindeki bütün şarap halıya dökülebilir (Figür 1.24). Newtoncu fizik kapsamında aynı sürecin tersinden işleyemeyeceğini söyleyen hiçbir kural yoktur. Gelgelelim böylesi bir durumla şimdiye dek karşılaşan olmamıştır. Kadeh parçacıklarının kendilerini tekrar biraraya topladıklarını ve halıya dökülen şarabın süzülerek yeniden kadehin içine dolduğunu asla göremezsiniz. Halbuki en ayrıntılı fizik yasaları kapsamında bile, bu yönlerden biri aynen diğeri kadar makuldür. Ortaya çıkan bu ayrılığı kavrayabilmek için, sistemin entropisinin zamana bağlı olarak arttığını bize bildiren Termodinamiğin İkinci Yasası'na gerek duymaktayız. Entropi adıyla anılan nicelik, kadeh masanın

üzerinde dururken yerdeki parçalanmış haline kıyasla daha düşüktür. Termodinamiğin İkinci Yasası uyarınca sistemin entropisi artmıştır. Kabaca bir tanım yapacak olursak, entropinin aşağı yukarı sistemin düzensizliğinin bir ölçüsü olduğunu söyleyebiliriz. Bu kavramı daha kesin bir biçimde ifade edebilmemiz için, *faz uzayı* kavramını işin içine sokmamız gerekir.

Faz uzayı, boyut sayısı çok yüksek olan bir uzaydır ve bu çok boyutlu uzayda her bir nokta, araştırmaya konu olan sistemi meydana getiren parçacıkların o noktadaki konumlarını ve momentumlarını tanımlamaya yarar. Figür 1.25'te, bütün parçacıkların bu muazzam faz uzayı içinde bir arada bulundukları konumu ve ne tarzda hareket ettiklerini temsil etmek üzere belli bir nokta seçmiş olalım. Parçacıklardan oluşan sistem kendi gelişimini sürdürürken, bu nokta da faz uzayında başka başka yönlere doğru kımıldamaktadır. Bu kımıldayışı, faz uzayının bir noktası ile öbür noktası arasında çizilen kırıklı çizgiyle gösterdim.

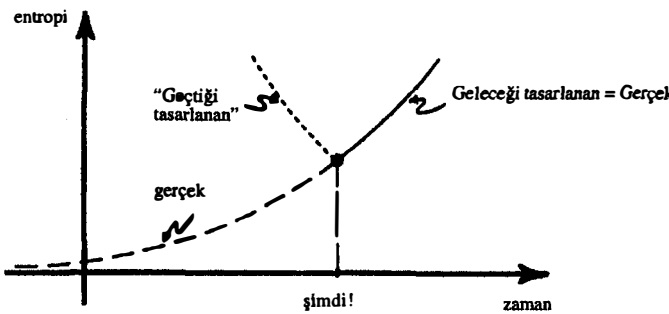


Figür 1.25. Termodinamiğin İkinci Yasası işbaşında: Zaman ilerledikçe, faz uzayında seçilen nokta gitgide daha büyük hacimli bölmelerin içine gitmektedir. Buna bağlı olarak da entropi sürekli artmaktadır.

Bu kırıklı çizgi, parçacık sisteminin evriminin sıradan bir temsilidir. Entropi henüz buna dahil edilmemiştir. Entropiyi de işin içine katmak için ortalığa küçük baloncuklar çizerek, farklı hallerin içinden hangisi hangisidir bilemediklerimizi bir araya toplamamız gerekir. Bu noktada "Hangisi hangisidir bilememek de ne demek?" diye sorabilirsiniz. Bunu anlaması biraz güç gelebilir. Ama hiç kuşkusuz bu, bakan kişinin kim olduğuna ve ne ölçüde dikkatle baktığına göre değişir. Entropiyle kastedilen şeyin ne olduğunu kesin olarak söyleyebilmek, işin açıkçası kuramsal fiziğin azıcık belalı sorunlarından biridir. Esas olarak anlatılmaya çalışılan şey, sistemin hallerini "kalburdan geçirerek", yani hangisi hangisidir bilemediklerinizi bir araya toplayarak gruplamanız gerektiğidir. Faz uzayının diyelim ki bu bölgesinde olanlarını bir yerde toplamalı, topladığınız bölgenin hacmini hesaplamalı, bulduğunuz hacmin logaritmasını almalı ve burada bulduğunuz sonucu da Boltzman sabiti adıyla bilinen sabitle çarpmalısınız. Böylelikle hesapladığınız şey entropidir. Termodinamiğin İkinci Yasası'nın bize söylediği şey ise entropinin artmakta olduğudur. Aslında size söylediği şey bir bakıma oldukça gülünçtür. Çünkü şunun şurasında söylediği tek şey, şayet sistem hareketine ufak tefek bir kutucuktan yola çıkarak başlayacak olursa, gelişmek üzere serbest bırakıldığı anda, gitgide daha büyük kutucuklara doğru yol alacağıdır. Lakin bunun böyle olacağı besbellidir. Zira eğer probleme dikkatle bakacak olursanız, büyük baloncukların, kendilerine komşu küçük baloncuklardan bariz derecede daha büyük olduklarını apaçık görebilirsiniz. Yani büyük baloncuklardan birisinin içine bir kez adımınızı attınız mı, tekrar daha küçük bir baloncuğun içine geçmek için hemen hemen hiçbir şansınız kalmayacaktır. Artık olan olmuştur. Sistem bir öncekinden gitgide daha büyük kutucuklara yönelmeyi sürdürerek faz uzayında dolanıp duracaktır. İşte İkinci Yasa'nın bize söyledikleri bundan ibaret. Yoksa değil mi?

Gerçekte bu, açıklanmaya çalışılan şeyin sadece yarısıdır. Bundan başka bize, sistemin şu anki durumunu biliyorsak, gelecekte erişebileceği en olası durumunu bilebileceğimiz de bildirilmektedir. Ne

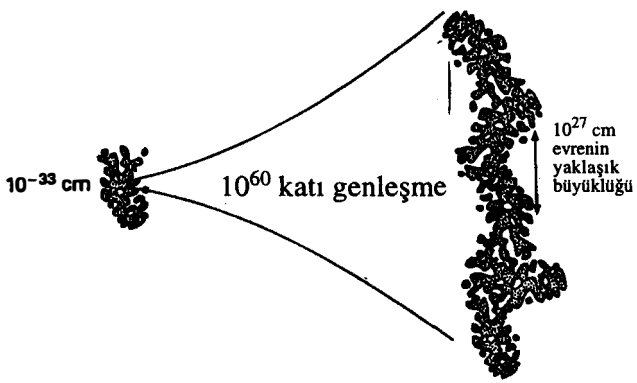
var ki aynı akıl yürütmeyi ters yönde kullanmaya çalıştığımızda, tamamen yanlış bir cevap elde etmekteyiz. Kadehin masanın kıyısında durmakta olduğunu varsayalım. Şu soruyu sorabiliriz: "Bu kadehin o konuma gelirken izlediği en olası yol acaba hangisidir?" Eğer az önce verdiğimiz akıl yürütmeyi bu kez ters yönde kullanacak olursanız, izlenen en olası yol hakkında şu kanaate varırsınız: Sistem, halının üzerindeki darmadağınık bir halden başladı, kendini toparlayıp halıdan ayrıldı ve bir bütün halinde masanın üzerine çıktı. Bunun doğru bir açıklama olamayacağı besbellidir. Doğru açıklama, onu oraya birisinin getirip koymuş olduğudur. Ve bu kişi, o kadehi oraya bir sebepten dolayı getirip koymuştur. Bu sebep ise başka bir sebepten doğmuştur. Bu böylece sürer gider. Uslamlama zinciri, geçmişte kalan gitgide daha düşük entropi halleri boyunca gerilere doğru uzanır. Buna göre Figür 1.26'da (olası geçmiş hallere karşılık gelen; ç.n.) doğru fiziksel eğri "geçtiği tasarlanan" eğri değil "Gerçek" olarak nitelenen eğridir. Entropi, geçmişte gittikçe daha düşük değerlere uzanmaktadır.



Figür 1.26. Şayet Figür 1.25'te betimlenen akıl yürütmeyi zaman içinde ters yönde kullanacak olursak, entropinin şimdiki değerinden yola çıkarak geçmişe doğru da artması gerektiğini "tasarlayabiliriz." Ne var ki bu taslak, gözlemlerle taban tabana çelişmektedir.

Geleceğe yöneldikçe entropinin neden artışa geçtiği, gitgide genişleyen kutucuklara doğru sürüp giden bir hareket tarzıyla kolayca açıklanabilmektedir. Geçmişe doğru neden azalmakta olduğu ise büsbütün farklı bir meseledir. Geçmişte onu düşük seviyede tutan bir şeyler olmuş olmalıdır. Geçmişe doğru yöneldikçe entropi düşer, düşer, düşer ve en nihayet Büyük Patlama'ya ulaşırız.

Büyük Patlama sırasında çok ama çok özel bir şeyler olmuş olmalıdır. Ancak bunun tam olarak ne olduğu tartışmaya açık bir konudur. Bundan önce aynı fikirde olmadığımı belirttiğim, ama pek çok insanın üzerinde ısrarla durdukları popüler bir kuram genişleyen evren kuramıdır. Bu kuramın ileri sürdüğü fikre göre, Evren'in büyük ölçekte bu derece düzgünbiçimli olmasının sebebini, gelişmesinin en erken evrelerinde aramak gereklidir. Evren'de, henüz doğumunun 10^{-36}'ncı saniyesinde iken, tam anlamıyla muazzam bir genişlemenin meydana



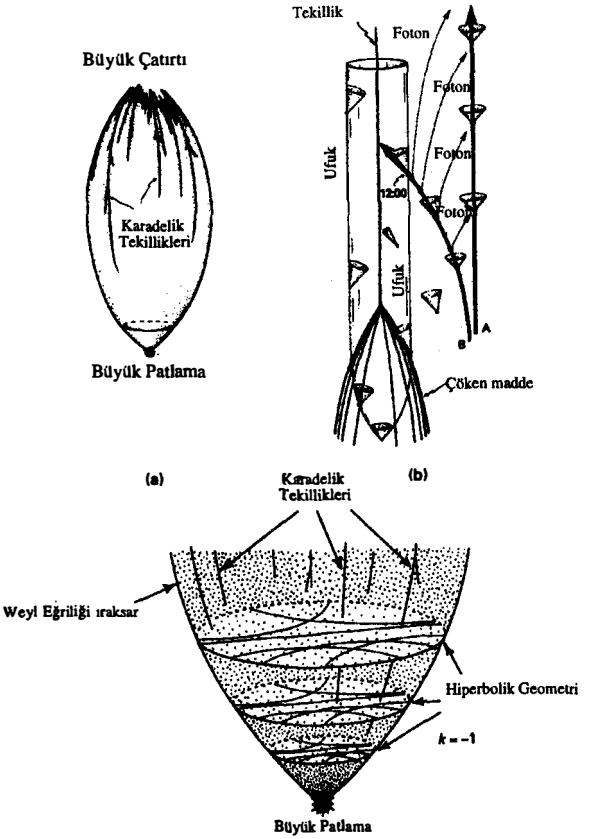
Figür 1.27. Evren'in ilk dönemlerinde rastlanan "ne idüğü belirsiz" düzensizliklerin genleşerek büyümeleri problemi.

geldiği sanılmaktadır. Ve Evren bu ilk evrelerinde nasıl görünürse görünsün, 10^{60} derecesinde dev bir oranda genişlediği taktirde göze düz bir yapıda görüneceği yönünde bir kanı vardır. Söz konusu kimselerin düz yapıdaki bir Evren'den hoşlanmalarının bir nedeni budur.

Halbuki göründüğü kadarıyla, bu akıl yürütme kendinden beklenen veremememektedir. Rastgele tayin edilen böylesi başlangıç koşullarında, olsa olsa dehşet bir karmaşa hüküm sürecektir. Böyle bir karmaşayı da hangi oranda genişletirseniz genişletin, karışıklık aynen sürüp gidecektir. Hatta genişledikçe daha da berbat bir hal alacaktır (Figür 1.27).

Kısacası bu tarz bir akıl yürütme, Evren'in nasıl olup da bu denli düzgün bir yapıda olduğunu açıklamakta aciz kalmaktadır. Büyük Patlama'nın neye benzediğini bize anlatabilecek bir kurama ihtiyacımız vardır. Bu kuramın hangisi olduğunu henüz bilmesek de, büyük ölçekteki fizikle küçük ölçekteki fiziğin bir birleşimine dayanması gerektiğinden eminiz. Hem kuantum fiziğini hem de klasik fiziği kendinde birleştirmelidir. Hatta diyebilirim ki, vaatlerinin arasında Büyük Patlama'nın aynen onu gözlediğimiz gibi düzgünbiçimli olduğunu da içermelidir. Nihayet belki böyle bir kuram, benim sevdiğim betimlemeye benzer bir hiperbolik Lobachevski evrenine giden yolu da gösterebilir. Ancak bu konuda o kadar da ısrarcı değilim.

Şimdi tekrar kapalı ve açık evren betimlemelerimize dönelim (Figür 1.28). Bu kez, bir karadeliğin oluşumunu yansıtan bir tablo eklemeyi de ihmal etmedim. Konunun uzmanları bu tabloyu gayet yakından tanıyacaklardır. Maddenin, bir karadelik oluşturacak şekilde çökmesi bir tekillik meydana getirmektedir. Evren'in uzay-zaman diyagramında gösterilen siyah çizgiler böyle bir durumu temsilen çizilmiştir. Şimdi Weyl eğrilik hipotezi adını verdiğim bir hipotezi takdim etmek istiyorum. Bu, bilinen herhangi bir kuruma ait bir hipotez değildir. Az önce de belirttiğim gibi, henüz ortada kuram muram yok; çünkü henüz çok büyük ölçeğin fiziğiyle çok küçük ölçeğin fiziğini nasıl birleştireceğimizi bilmiyoruz. Ama bir gün gelip de kuramı keşfettiğimizde, içerdiği sonuçlardan bir tanesi de Weyl eğrilik hipotezi adını verdiğim



Figür 1.28. (a) Weyl = O iken, düzgünbiçimli, düşük entropili bir Büyük Patlama ile başlayan ve Weyl $\to\infty$ ıraksarken, yüksek entropili - pek çok karadeliğin donup kalması durumunu temsil eden - bir Büyük Çatırtı ile son bulan kapalı bir evrenin başından sonuna kadarki öyküsü. (b) Bir karadeliğe doğru çöküşün resmedildiği bir uzay-zaman diyagramı. (c) Weyl = O iken, düzgünbiçimli, düşük entropili bir Büyük Patlama ile başlayan açık bir evrenin öyküsü.

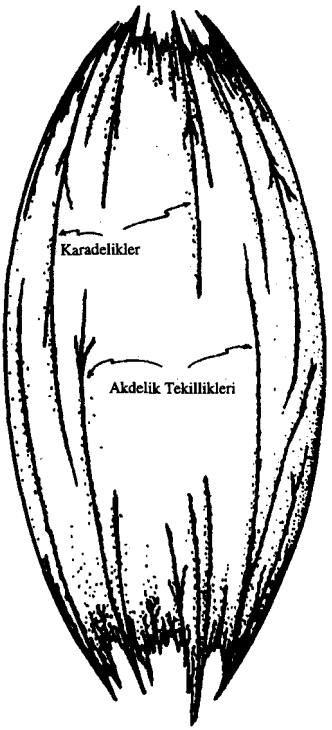
hipotez olmalıdır. Hatırlarsanız Weyl eğriliği, Riemann tensörünün, çarpılmalardan ve gelgit etkilerinden sorumlu olan kısmıydı. Henüz akıl sır erdiremediğimiz bir sebeple, Büyük Patlama'nın hemen ertesinde, iki kuramın uygun bir birlikteliği Weyl tensörünün ya doğrudan doğruya sıfır olmasına ya da gerçekten de çok küçük bir değerde sınırlı tutulmasına yol açmış olmalıdır.

Bu bize, Figür 1.29'daki gibi değil, Figür 1.28 (a)'daki veya (c)'deki gibi bir evren sunmaktadır. Weyl eğrilim hipotezi zamana göre simetrik değildir. Bu yüzden gelecekteki tekilliklere değil, sadece geçmiş tipteki tekilliklere uygulanabilir. Weyl tensörünü benim geleceğe uyguladığım gibi esnetip "genelleştirerek" geçmişe de uygulayabilseydiniz, kapalı modelde geçmişi de geleceği kadar karmaşayla dolu dehşet verici bir Evren'le karşılaşırdınız (Figür 1.29). Bu bizim içinde yaşadığımız evrene hiç benzemez.

Evren'in, şöyle mütevazı bir görünüşle de olsa, başlangıçtaki gibi bir tekilliğe sadece *tesadüf eseri* sahip olması olasılığı nedir? Bu olasılık, 10^{123}'te 1'den daha düşüktür. Bu tahmin değeri nereden gelmektedir? Bu değer, karadelik entropisi ile ilgili olarak Jacob Beckentein ve Stephen Hawking tarafından bulunan bir formülden türetilmiştir. Bu formülü sözü edilen konu kapsamında uyguladığınızda bu müthiş cevabı elde etmektesiniz. Gerçekte ise her şey Evren'in ne derece büyük olduğuna bağlıdır. Aynı formülü benim gözde Evrenim'e uyarlayacak olursanız, elde edeceğiniz sayı sonsuzdur.

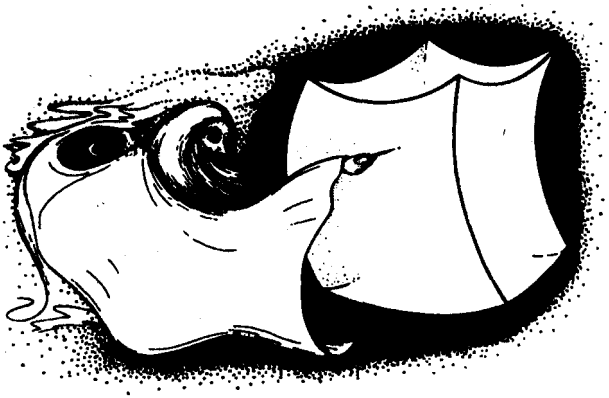
Bütün bunlar, Büyük Patlama'nın gerçekleştirilebilmesi için sağlanması gereken duyarlılık konusunda bize ne söylemektedir? Bu, gerçekten de çok ama çok muazzam bir durumdur. Söz konusu olabilecek olasılığı bir karikatürle canlandırmaya çalıştım. Yaratıcı, faz uzayı içinde, bizim şu anda içinde yaşadığımız Evrenimiz'e uzaktan da olsa benzeyebilecek bir evrenin doğup gelişebilmesi için gerekli olan başlangıç koşullarını içeren o miniminnacık noktayı belirliyor (Figür 1.30). Bu noktayı belirleyebilmek için Yaratıcı, $10^{10^{123}}$'te 1'lik bir duyarlılıkla çalışmak zorundadır. Şayet Evren'de bulunan temel parçacıkların her birinin tepesine birer sıfır kondursaydım bile, bu sayıyı gene yazamazdım. Bu çok devasa bir sayıdır.

Büyük Çatırtı



"Ne idüğü belirsiz" Büyük Patlama

Figür 1.29. Şayet Weyl = O şartı kaldırılacak olursa, Weyl $\to\infty$ ıraksamasının devreye girdiği yüksek entropili bir Büyük Patlama ile baş başa kalırız. Böyle bir evren akdeliklerle delik deşik edilecek ve Termodinamiğin İkinci Yasası, bütün deneyimleri hiçe sayarcasına ortadan kalkacaktır.



Figür 1.30 Bizim içinde yaşadığımıza benzer bir evren oluşturmak için Yaratıcı, evren olasılıklarından oluşan faz uzayının akıl almaz derecede küçük bir hacmini, bütün hacmin olsa olsa en fazla $10^{10^{123}}$'te 1'ini hedefleyip tutturabilmelidir. (Cımbız ve hedef olarak seçilen nokta ölçekli çizilmemiştir!)

Buraya değin hep kesinlikten, matematikle fiziğin nasıl da olağanüstü bir doğrulukla uyuştuğundan söz ettim. Bunun yanı sıra tesadüfe ve şansa yer verdiği için- oldukça kaypak bir yasa olarak tanınan, öte yandan temelinde gizliden gizliye bir duyarlılık barındıran bir yasaya, Termodinamiğin İkinci Yasası'na değindim. Evren geneline uygulandığında, bu yasa, başlangıç koşullarının belirlenmesinde ihtiyaç duyulan kesinlikle yakından ilişkilidir. Bu kesinlik ise kuantum kuramı ile genel göreliliğin birleşme noktasına, yani henüz sahip olmadığımız bir kurama doğru uzanıyor olmalıdır. Bundan sonraki bölümde sizlere, böyle bir kuramın sağlaması gereken türlü koşullardan biraz söz edeceğim.

II
Kuantum Fiziğinin Gizemleri

İlk bölümde, fizik dünyanın yapısının kesin bir biçimde matematiğe dayalı olduğu konusuna değindim. Bu sembolik olarak Figür 1.3'te örneklenmişti. Fiziğin en temel yönlerini betimlemede matematiğin ulaştığı kesinlik olağanüstü derecede çarpıcıdır. Herkesçe iyi bilinen konuşmalarından birinde (1960), Eugene Wigner bu durumu şu sözlerle ifade etmişti:

> Matematiğin fiziksel bilimlerde akıl almaz derecede başarılı etkisi.

Bu başarıların hatırı sayılır bir listesi vardır:

Öklitçi geometri, bir metrelik bir uzunlukta, olsa olsa bir hidrojen atomunun büyüklüğü derecesinde bir hata payına sahiptir. İlk bölümde de değinildiği gibi, Genel Görelilik'ten gelen etkiler dolayısıyla kesin bir doğruluğa sahip değildir. Ancak pratik amaçlar çerçevesinde Öklitçi geometri yine de fazlasıyla duyarlıdır.

Newtoncu mekaniğin 10^7'de 1'lik bir duyarlılığa sahip olduğu bi-

linse de, bu yine de kesin bir doğruluk değildir. Daha doğru sonuçlar elde etmek için göreliliğe ihtiyacımız vardır.

Maxwell'in elektrodinamiği, kuantum mekaniği bağlamında ele alınan atomaltı parçacık boyutlarından, uzak galaksilerin 10^{35} metre ve üzerindeki boyutlarına dek uzanan muazzam sınırlar dahilinde geçerlidir.

Einstein'ın Göreliliği, birinci bölümde de değinildiği gibi 10^{14}'te 1'lik bir hata payına sahiptir. Bu, Newtoncu mekaniğin ulaştığı basamak sayısının yaklaşık iki katı olup, Einstein'ın kuramının Newtoncu mekaniği içine aldığı kabul edilir.

Kuantum mekaniği de olağanüstü duyarlılıkta bir kuramdır ve bu bölümün konusunu oluşturmaktadır. Kuantum mekaniğinin, Maxwell'in elektrodinamiği ve göreliliğe ilişkin Einstein'ın Özel Kuramı ile birleşmesi demek olan kuantum alanları kuramı kapsamında hesaplanan öyle etkiler vardır ki, bunların 10^{23}'de 1 derecesinde doğru oldukları bilinmektedir. "Dirac birimleri" adıyla bilinen bir sabitler kümesinde, elektronun manyetik momentinin değeri 1.001159652(46) olarak tahmin edilmektedir ki, deney sonuçlarına göre bu değer 1.0011596521(93)'tür.

Bu kuramlarla ilgili olarak değinilmesi gereken önemli bir nokta var. Fiziksel dünyayı betimlemede matematiğin ulaştığı olağanüstü başarı ve doğruluk ne ise, bu kuramlar da o düzeyde olağanüstü verimlidirler. Kim bilir kaç kez, matematikteki en verimli kavramların, fizik kuramlarından çıkan kavramlara dayandırıldığı görülmüştür. Fizik kuramlarında beliren ihtiyaçlar dolayısıyla ortaya çıkan matematiksel yapılardan bazıları şunlardır:

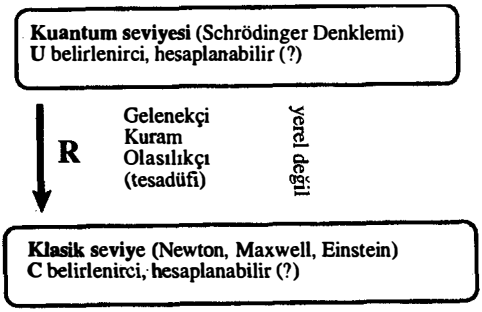
- reel sayılar;
- Öklitçi geometri;
- diferansiyel ve integral hesap ve diferansiyel denklemler;
- Simplektik geometri;

- diferansiyel formlar ve kısmi diferansiyel denklemler;
- Riemannıcı geometri ve Minkowski geometrisi;
- karmaşık sayılar;
- Hilbert uzayı;
- fonksiyonel integraller;

... ve diğerleri.

En çarpıcı örneklerden bir tanesi diferansiyel ve integral hesabın keşfidir. Bu hesaplama yöntemi, şimdi Newtoncu mekanik adını verdiğimiz yapıyı matematiksel temeller üzerine oturtmak üzere Newton ve diğer bir grup insan tarafından geliştirilmiştir. Daha sonra bu çok çeşitli matematiksel yapılar saf matematiksel problemlere bir çözüm bulmak amacıyla uygulandıklarında, aynen matematiğin *kendisi* gibi son derece verimli oldukları görülmüştür.

1. Bölüm'de değişik nesnelerin büyüklüklerini incelemiştik. Temel uzunluk ve zaman birimleri olan Planck uzunluğunu ve Planck zamanını, Planck ölçeğinin 10^{20} katına kadar inebilen parçacık fiziğinin en küçük büyüklüklerini, insan boyutlarındaki uzunluk ölçeğini ve zaman ölçeğini ve fizik Evrenimiz'in yaşıyla ve yarıçapıyla kıyaslandığında aslında evrende son derece kararlı yapılar olduğumuzu görmüştük. Ayrıca oldukça can sıkıcı bir gerçekten, temel düzeydeki fiziği betimleme aşamasında nesnelerin büyük ölçeğe uzanan kıyılarını mı, yoksa küçük ölçeğe uzanan kıyılarını mı anlatmaya çalıştığımıza bağlı olarak, dünyayı betimlemede iki farklı yöntem kullandığımızdan söz etmiştim. Figür 2.1 (ki Figür 1.5'in aynısıdır), aşağı seviyelerdeki kuantum etkinliğini betimlerken kuantum mekaniğinden, büyük ölçekteki olayları betimlerken de klasik fizikten faydalandığımıza işaret etmektedir. Kuantum seviyesindeki etkinliği Üniter'in (Unitary; ç.n.) baş harfi olan *U* ile, klasik seviyedeki etkinliği de Klasik'in (Classical; ç.n.) baş harfi olan *C* ile gösterdim. Büyük ölçekteki fiziğe 1. Bölüm'de değinmiş ve büyük ölçekte karşılaştığımız yasalarla küçük ölçektekilerin birbirlerinden bir hayli farklı olduklarını belirtmiştim.



Figür 2.1

Kanımca fizikçiler arasında, eğer kuantum fiziğini doğru dürüst anlayabilseydik, buradan klasik fiziği de çıkarabilirdik şeklinde yaygın bir görüş vardır. Oysa ben değişik bir yaklaşımda bulunmak istiyorum. Uygulamada yapılan şey şu değildir: *Ya* klasik seviyeyle ilgilenirim *ya da* kuantum seviyesiyle. Bu, can sıkıcı biçimde, Eski Yunanlılar'ın dünyaya bakış tarzlarına benzemektedir. Onlara göre Yeryüzü üzerinde belli bir yasalar grubu, gökyüzünde ise başka bir yasalar grubu uygulanmaktaydı. İşte Galileici-Newtoncu bakış açısının gücü buradan kaynaklanmaktadır. Bu görüş, bu iki grup yasanın yan yana getirilebileceğini ve aynı fizik çerçevesinde anlaşılabileceğini göstermiştir. Şimdi ise Eski Yunanlılar'ın içinde bulundukları duruma benzer bir durumla tekrar karşı karşıyayız. Yalnız bu durumda bir grup yasa kuantum seviyesinde, diğer bir grup yasa da klasik seviyede uygulanmaktadır.

Figür 2.1 ile ilgili olarak içine düşülebilecek bir yanlış anlamayı ortadan kaldırsam iyi olacak. Newton, Maxwell ve Einstein'ın isimlerini, "Klasik seviye" olarak etiketlenen kutucuk içinde "belirlenirci" ifadesi ile bir arada yazdım. Bununla anlatmak istediğim, bu bilimadamlarının, Evren'in davranış tarzının belirlenirci olduğuna dair bir kanaat taşıdıkları değildir. Her ne kadar Einstein böyle bir görüşten

yana çıktıysa da; Newton ve Maxwell'in bu görüşte olmadıklarını varsaymam için oldukça geçerli sebepler vardır. "Belirlenirci, hesaplanabilir (?)" ifadesi ile, bu bilimadamlarının gerçek dünya hakkındaki inanışları değil, onların kurmuş oldukları kuramlar kastedilmiştir. Bundan başka "Kuantum seviyesi" olarak etiketlenen kutucukta da "Schrödinger Denklemi" kelimelerini ekledim. Ama hiç şüphem yok ki, kendi adıyla anılan bir denklemle bütün fiziğin bir betimlemeye kavuşacağı kanaatini kendisi hiç de taşımamaktaydı. Bu noktaya daha sonra tekrar döneceğim. Şimdilik demek istediğim, insanlar ve sonradan onların isimlerini almış olan kuramlar birbirlerinden oldukça farklı şeylerdir.

Pekâlâ, acaba bu iki seviye Figür 2.1'de gösterildiği gibi gerçekten de birbirinden ayrı olarak mı mevcuttur? Sözgelimi şöyle bir soru sorabiliriz: "Evren, şaşmaz bir biçimde sadece kuantum mekaniği yasalarınca mı yönetilmektedir? Bütün bir Evren'i kuantum mekaniği çerçevesinde açıklayabilir miyiz?" Bu soruya yaklaşabilmek için, bir miktar kuantum mekaniğinden söz etmem gerekecek. Yalnız izin verirseniz önce, kuantum mekaniğinin açıklamakta başarı gösterdiği şeylerden bir kısmının kısa bir listesini sunmak istiyorum:

• *Atomların kararlılığı:* Kuantum mekaniği keşfedilmeden önce, atomlardaki elektronların nasıl olup da, tamamıyle klasik bir betimlemede olduğu gibi, bir sarmal çizerek çekirdeklerine doğru düşmedikleri anlaşılamamaktaydı. Kararlı yapıda bir klasik atomun mevcut olmaması gerekir.

• *Tayf çizgileri:* Gözlemlediğimiz ışıma çizgilerinin aynen, belirlenmiş olan dalgaboylarında gerçekleşmesi, atomlarda kuantumlaşmış enerji seviyelerinin bulunması ve bunlar arasında geçişler meydana gelmesi dolayısıyladır.

• *Kimyasal bağlar:* Molekülleri bir arada tutan kuvvetlerin doğası bütünüyle kuantum mekaniksel yapıdadır.

• *Kara-cisim ışıması:* Kara-cisim ışımasının tayfı, ancak ve an-

cak ışımanın kendisinin kuantumlaşmasıyla anlaşılabilir.

• *Soyaçekimin güvenilirliği:* Bu olay kuantum mekaniğine bağlı olarak DNA'nın molekül seviyesinde gerçekleşmektedir.

• *Laserler:* Laserlerin işleyişi, moleküllerin kuantum mekaniksel halleri arasındaki uyarılmış kuantum geçişlerine ve ışığın kuantum doğasına (Bose-Einsteinci) dayanmaktadır.

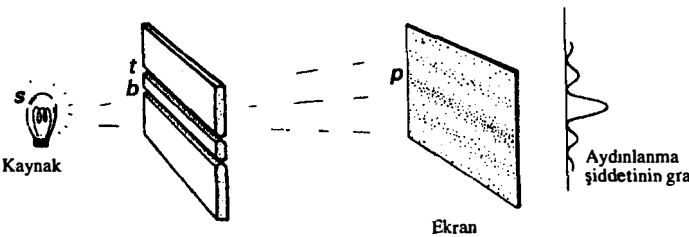
• *Üstüniletkenler ve üstünakışkanlar:* Bunlar çok düşük sıcaklıklarda ortaya çıkan olaylardır ve bazı madde türlerinde elektronların (ve kimi diğer parçacıkların) kendi aralarındaki uzun mesafeli karşılıklı kuantum etkileşimlerinin bir sonucudur.

• ... vs... vs.

Anlayacağınız, kuantum mekaniği günlük yaşamda dahi her zaman her yerde mevcuttur ve elektronik bilgisayarlar da dahil olmak üzere yüksek teknolojinin pek çok alanının kalbi durumundadır. Ayrıca parçacık fiziğinin anlaşılması açısından, kuantum mekaniğinin göreliliğe ilişkin Einstein'ın Özel Kuramı ile birleşimi olan *Kuantum Alanları Kuramı* vazgeçilmez bir konumdadır. Yukarıda da değinildiği gibi, Kuantum Alanları Kuramı'nın 10^{11}'de 1 derecesinde bir doğruluğa sahip olduğu bilinmektedir. Bu liste, kuantum mekaniğinin ne denli muhteşem ve etkili olduğunu anlatmak için yeterlidir.

Şimdi izin verirseniz biraz da kuantum mekaniğinin ne olduğundan söz etmek istiyorum. Ünlü arketip deney Figür 2.2'de gösterilmiştir. Kuantum mekaniğine göre ışık *Foton* adı verilen parçacıklardan oluşmaktadır. Figürde, her bir fotonu tek tek gönderebilen bir foton kaynağı resmedilmiştir. İsimleri t ve b olan iki yarık ve bu yarıkların ardında da bir ekran vardır. Fotonlar ekrana ayrık birer olay olarak ulaşmakta ve sanki sıradan parçacıklarmışçasına ayrı ayrı saptanabilmektedirler. Kuantum davranışındaki gariplik ise şu noktada ortaya çıkmaktadır. Eğer yalnız t yarığı açılıp diğeri kapansaydı, foton, ekranın birçok noktasına haydi haydi ulaşabilirdi. Şimdi t yarığını kapatıp b'yi açacak olursam, fotonun ekranda belki yine aynı noktalara

ulaştığını görebilirim. Fakat şayet iki yarığı da aynı anda açacak olursam ve ekranda seçtiğim noktayı da iyice belirlediğimi düşünürsek, bu kez fotonun yarıklar tek tek açıkken ulaştığı bu noktaya artık ulaşamadığını görmem söz konusu olabilir. Fotonun *yapma*yı seçebileceği iki olası şey her nasılsa birbirlerini götürmektedir. Bu tarz bir davranışa klasik fizikte rastlamak mümkün değildir. Ya birisi olmaktadır ya da öbürü; olması mümkün olan (önünde bir engel bulunmayan; ç.n.) iki olası şeyin ikisini de aynı anda elde edememektesiniz, çünkü birbirlerini yok etmek için her nasılsa karşılıklı olarak birbirlerine tuzak kurmaktadırlar.



Figür 2.2 Kaynaktan birer birer çıkan tekrenkli ışık fotonları ile ilgili çift-yarık deneyi.

Kuantum kuramına göre bu deneyin sonucunu şu şekilde anlamaktayız: Foton, kaynakla ekran arasında seyir halindeyken içinde bulunduğu kuantum hali, yarıkların birinden ya da diğerinden geçmesiyle belirlenen durum değil, daha çok her ikisinin *karmaşık sayılardan* oluşan çarpanlarla oranlanan gizemli bir birleşimidir. Yani fotonun içinde bulunduğu hali, *w* ve *z* karmaşık sayılar olmak üzere,

w x (seçenek **A**) + **z** x (seçenek **B**)

biçiminde belirtebiliriz. (Burada "seçenek A", Figür 2.2'de foton tarafından katedilen stp rotası. "seçenek B" de sbp rotası olarak alınabilir).

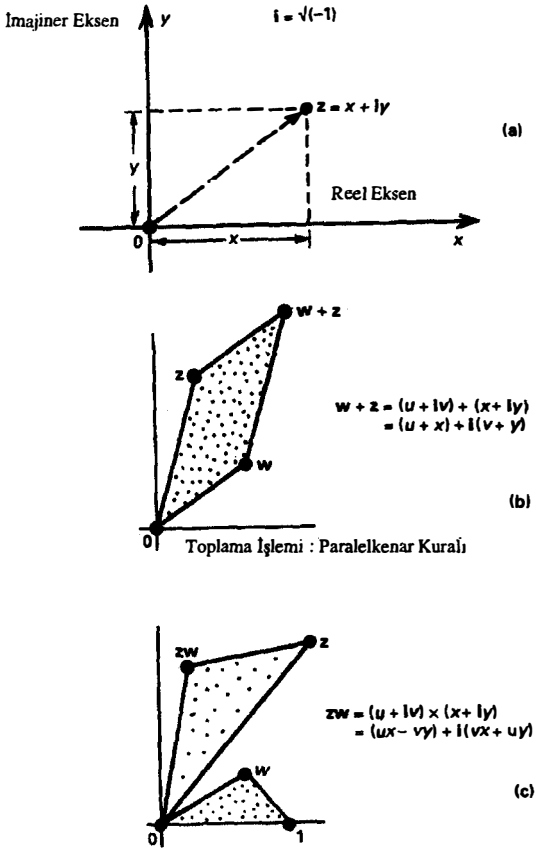
İmdi, her iki seçeneğin de önlerindeki çarpanların karmaşık sayı olması önemlidir. Birbirini götürmelerin meydana gelmesinin nedeni budur. Belki fotonun davranışını seçeneklerden birini veya diğerini yapma olasılığı cinsinden açıklayabileceğinizi, bu yüzden W ve Z çarpanlarının reel sayılardan oluşan olasılık çarpanları olması gerektiğini düşünebilirsiniz. Ancak bu yorum doğru bir yorum değildir. Çünkü W ve Z karmaşıktır. Kuantum mekaniği nazarında bu önemli bir noktadır. Kuantum parçacıklarının doğasındaki dalga özelliğini, seçeneklere ait "olasılık dalgaları" cinsinden açıklayamazsınız. Bunlar seçeneklere ait *karmaşık dalgalar*dır. İmdi, karmaşık sayılar hem eksi bir sayısının karekökünü, $i = \sqrt{-1}$'i, hem de bildiğimiz reel sayıları içeren sayılardır. Figür 2.3 (a)'da gösterildiği gibi, reel eksen, yani x ekseni sadece reel sayılardan, imajiner eksen yani y ekseni de sadece imajiner sayılardan oluşan iki boyutlu bir grafik üzerinde temsil edilebilir. Genel olarak bir karmaşık sayı, sadece reel sayılarla sadece imajiner sayıların bir birleşimidir; örneğin $2 + 3\sqrt{-1} = 2 + 3i$ gibi. Bu sayı Figür 2.3 (a)'da görülen ve Argand diyagramı (veya Wessel düzlemi ya da Grauss düzlemi) adıyla bilinen grafik üzerinde bir nokta ile temsil edilir.

Figür 2.3 (a)'daki gibi bir grafik üzerinde bu yolla gösterilebilen karmaşık sayılarla toplama ve çarpma gibi birtakım işlemleri nasıl yapacağımıza dair belli kurallar vardır. Örneğin toplama işlemi için, reel kısımları kendi aralarında, imajiner kısımları da kendi aralarında toplamanıza karşılık gelen ve Figür 2.3(b)'de gösterilen paralelkenar kuralını kullanabilirsiniz. Çarpma işlemini de, Figür 2.3(c)'de gösterildiği gibi benzer üçgenler kuralından yola çıkarak gerçekleştirebilirsiniz. Figür 2.3'te verilenlere benzer diyagramlarla işlem yapmaya alıştığınızda, karmaşık sayılar soyut nesneler olmaktan çıkıp, daha somut bir hal alacaklardır. Kuantum kuramının temellerinin inşasında bu sayıların da işin içine girmiş olması, insanların zihninde, bu kura-

mın soyut ve anlaşılmaz türden bir şey olduğu kanaatinin uyanmasına yol açmaktadır. Halbuki karmaşık sayıları bir kez benimsediğinizde, hele bir de Argand diyagramından yararlanarak türlü işlemler yapmaya da alıştıysanız, artık sizin için hayli somut nesneler durumuna gelmektedirler. Böylelikle siz de eskisi kadar aldırış etmemeyi öğrenmiş olursunuz.

Ne var ki kuantum kuramı, karmaşık sayılardan oluşan çarpanlarla oranlanan kuantum hallerinin üst üste binmesinden ibaret değildir. Şu ana dek yalnızca U ile gösterdiğim kurallar bütününün uygulandığı kuantum seviyesinde kaldık. Bu seviyede sistemin hali, mümkün olan bütün seçeneklerin karmaşık çarpanlarla oranlanarak üst üste binmesinden meydana gelmiştir. Kuantum halinin zaman içindeki gelişimi *üniter gelişim* (ya da Schrödinger gelişimi) adıyla bilinir ki, U ile temsil edilmeye çalışılan asıl şey de budur. U'nun önemli bir özelliği *lineer* olmasıdır. Yani iki halin üst üste binmiş hali daima, *zamana göre sabit* karmaşık çarpanlarla oranlı olarak üst üste binmeleri şartıyla, aynen iki halden her birinin gelişimi gibi gelişmektedir. Söz konusu lineerlik Schrödinger Denklemi'nin en başta gelen özelliğidir. Kuantum seviyesinde, karmaşık çarpanlarla oranlanarak üst üste binme durumu daima mevcuttur.

Öte yandan bir olayı klasik seviyeye büyüttüğünüzde *bütün kuralları değiştirmiş* olursunuz. Klasik seviyeye büyütmekten kastım, Figür 2.1'de üstteki U seviyesinden alttaki C seviyesine geçiştir. Sözgelimi ekranda beliren bir noktayı gözlemlemekle yaptığınız şey, fiziksel olarak böyle bir duruma karşılık gelmektir. Küçük ölçekte meydana gelen bir olay, klasik seviyede gerçek olarak gözlenebilecek daha büyük ölçekli bir olay meydana getirmek üzere fitili ateşlemektedir. Standart kuantum kuramıyla çalışanlar bu noktada, tombaladan çıkarırcasına, kimsenin pek fazla sözünü etmek istemediği bir şey ortaya atarlar. Bu şey *dalga fonksiyonunun çökmesi* veya *hal vektörünün indirgenmesi* olarak bilinir. Bu yönteme karşılık olarak R harfini kullandım. Bu noktada yaptığınız şey üniter gelişimle ilgili olarak yapılandan tamamıyla farklıdır. İki seçeneğin üst üste bindirilmesi ama-



Figür 2.3 (a) Bir karmaşık sayının karmaşık düzlemde (Wessel-Argand-Gauss düzleminde) gösterimi. (b) Karmaşık sayılarda toplama işleminin geometrik tarifi. (c) Karmaşık sayılarda çarpma işleminin geometrik tarifi.

cıyla iki karmaşık sayıya bakar ve modüllerinin karesini alırsınız; yani Argand düzleminde her iki noktanın merkez noktasına olan uzaklıklarının karesini hesaplarsınız. Böylece kareleri alınan bu iki modül, iki seçeneğe ait olasılıkların oranını verir. Ancak bu yol, yalnızca "bir ölçüm yapmanız", bir başka deyişle "bir gözlem yapmanız" durumunda geçerlidir. Burada izlenen yol, olayın Figür 2.1'deki U seviyesinden C seviyesine büyütülmesi olarak düşünülebilir. İşte bu aşamada kuralları değiştirmiş olursunuz. Artık lineer tarzda üst üste binmeler geçerli değildir. Bir de bakmışsınız, bu modüllerin karelerinin oranı size vere vere olasılıkları vermiştir. Belirlenmezciliği işin içine bulaştırdığınız tek yer işte bu U seviyesinden C seviyesine geçiş aşamasıdır. Yani belirlenmezcilik R ile birlikte devreye girmektedir. U seviyesinde kalındığı sürece her şey belirlenircidir. Kuantum mekaniği yalnızca, "bir ölçüm yapma" denilen işlemi gerçekleştirmeniz durumunda belirlenmezci bir hal alır.

Standart kuantum mekaniği kapsamında işler işte bu sistem dahilinde yürümektedir. Temel sayılan bir kuram için bu, bir hayli tuhaf bir sistemdir. Eğer daha temel seviyede başka bir kuramı hedef alan bir yaklaşıklık hesabından ibaret olsaydı, böylesi, belki daha çok akla yatardı. Oysa bu melez yöntem bütün uzmanlarca zaten başlı başına temel bir kuram olarak görülmektedir!

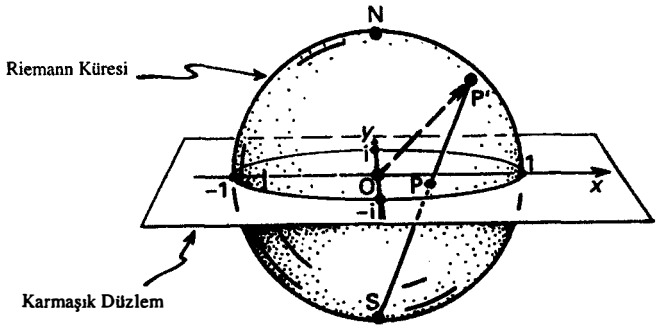
Şimdi tekrar karmaşık sayılara dönelim. İlk bakışta insana boş boş oturan soyut şeylermiş gibi gözükseler de, modüllerinin karelerini alır almaz olasılık değerlerine dönüştüklerini görürsünüz. Aslına bakılırsa çoğu kez sağlam bir geometrik yapıları vardır. Anlamlarına daha iyi vâkıf olabilmeniz için size bir örnek vermek istiyorum. Ancak önce, kuantum mekaniği hakkında birkaç şeyi daha hatırlatacağım. Dirac parantezleri adıyla bilinen şu acaip görünüşlü meşhur parantezleri kullanacağım. Bu parantezler, sistemin halini belirtmek için basit birer gösterimdir. |A> gösterimini kullanmakla, sistemin A ile belirtilen kuantum halinde olduğunu anlatmaya çalışmaktayım. Yani parantezin içindeki ifade kuantum halinin bir gösteriminden ibarettir. Çoğu zaman sistemin topyekün kuantum mekaniksel hali ψ ile göste-

rilir. Bu, sistemin diğer hallerinin bir üst üste binmesidir. Çift-yarık deneyi için bunu

$$|\psi> = w\,|A> + z\,|B>$$

biçiminde ifade edebiliriz.

İmdi, kuantum mekaniğinde sayıların kendi büyüklükleriyle, oranlarıyla ilgilendiğimiz kadar ilgilenmemekteyiz. Kuantum mekaniğinde şöyle bir kural vardır: Kuantum halini bir karmaşık sayıyla çarpmanız (bu karmaşık sayı sıfır olmadığı sürece) fiziksel açıdan durumu değiştirmeyecektir. Bir başka deyişle, bizim için fiziksel açıdan doğrudan anlamı olan tek şey bu karmaşık sayıların oranıdır. *R* işin içine girdiğinde peşinde olduğumuz şey olasılıklardır; bu amaçla modüllerin karelerinin oranına ihtiyacımız vardır. Ama kuantum seviyesinde kalsak ve bu karmaşık sayıların modüllerini hesaplamasak dahi, oranlarına belli bir anlam yükleyebiliriz. *Riemann küresi,* karmaşık sayıları bir küre üzerinde temsil etmenin bir yoludur (Figür 1.10 (c)). Daha doğrusu, burada sadece karmaşık sayıların kendileriyle değil, *oranlarıyla* da ilgilenmekteyiz. Oranlar söz konusu olduğunda dikkatli olmak zorundayız, çünkü paydadaki sayı sıfır olduğunda oran sonsuzlaşır. O yüzden biz bu sonsuzluk durumunu da göz önüne almak zorundayız. Sonsuzluk durumuyla birlikte bütün karmaşık sayıları, bu yakışıklı izdüşüm yardımıyla bir küre üzerine yerleştirebiliriz. Burada Argand düzlemi, küreyi, kürenin ekvatoru konumunda bulunan birim çember seviyesinde kesen ekvator düzlemidir (Figür 2.4). Hiç kuşkusuz, ekvator düzlemi üzerinde bulunan her noktayı, kürenin güney kutbuna göre izdüşüm alarak Riemann küresi üzerine izdüşümleyebiliriz. Bu izdüşüm işlemi sonucunda Riemann küresinin güney kutbu, diyagramdan da anlaşılabileceği gibi, Argand düzlemine göre '*sonsuza karşılık gelen nokta*'dır.



Figür 2.4. Riemann küresi. Karmaşık düzlem üzerindeki $u = z / w$ sayısına karşılık gelen P noktası, güney kutup noktası olan S noktasından, küre üzerindeki bir P' noktasına izdüşümlenmektedir. Kürenin merkezi olan O noktasından itibaren çizilen OP' yönü, iki adet spin-1/2 parçacığının üst üste binmiş halinin spin ekseninin yönünü göstermektedir.

Eğer bir kuantum sisteminin seçenek olarak iki hali varsa, bu ikisini birleştirmek suretiyle oluşturulabilecek değişik haller bir küre ile betimlenir. Bu aşamada bu soyut bir küredir. Ancak onu gerçek anlamda görebildiğiniz kimi durumlar da yok değildir. Aşağıdaki örnek benim çok sevdiğim bir örnektir. Şayet elimizde elektron, proton veya nötron gibi bir spin-1/2 parçacığı varsa, bunun kuantum spin hallerinin türlü bileşimlerini geometrik olarak canlandırabiliriz. Spin-1/2 parçacıkları iki farklı spin halinden birisinde bulunabilirler. Bunlardan birisi dönme vektörünün yukarı doğru yöneldiği (yukarıdaki-hal), diğeri de dönme vektörünün aşağı doğru yöneldiği haldir (aşağı-hal). Bu iki halin üst üste binmiş hali sembolik olarak şu eşitlikle ifade edilebilir:

$$\left|\otimes\right\rangle = w\left|\uparrow\right\rangle + z\left|\downarrow\right\rangle$$

Bu spil hallerinin türlü bileşimleri bir başka eksen etrafında dönme durumuna karşılık gelir. Eğer bu eksenin yerini öğrenmek istersenız, *w* ve z karmaşık sayılarının oranını alırsınız ki, bu da size $u = z / w$ gibi bir başka karmaşık sayı verir. Bu yeni *u* sayısını Riemann küresi üzerine yerleştirdiğinizde, bu karmaşık sayının merkezden itibaren işaret ettiği yön, size spin ekseninin yönünü verir. Görüyorsunuz ki, kuantum mekaniğinde karşımıza çıkan karmaşık sayılar, ilk bakışta göründükleri kadar soyut şeyler değillerdir. Kimi zaman bulup çıkarması zor olsa da, aslında oldukça somut anlamları vardır. Örneğin bir spin - 1/2 parçacığı için taşıdıkları anlam apaçık kendini göstermektedir.

Spin -1/2 parçacıklarına ilişkin olarak yaptığımız bu inceleme, aslında bize başka bir şey anlatmaktadır: Aşağı-spin ve yukarı-spin hallerinde bir keramet yoktur. Canımın istediği ekseni -sola ve sağa veya öne ve arkaya- seçmekte serbestim; hiçbir şey değişmeyecektir. Demek oluyor ki, (seçilen iki spin hali birbirine zıt yönlü olduğu sürece) hangi iki halle işe başladığımızın bir önemi yoktur. Kuantum mekaniğinde işleyen kurallara göre hangi spin haline adım atarsanız atın, ilk ikisi kadar makbuldür. Bu örneğin anlatmaya çalıştığı şey budur.

Kuantum mekaniği güzel ve derli toplu bir konudur. Ama aynı zamanda gizemlerle dolu bir konudur da. Hiç kuşkusuz kimi açılardan şaşırtıcı, kimi açılardan da paradoksal olan bu konu gizemli bir konudur. Vurgulamak istediğim, gizemlerin *iki farklı türde* olduklarıdır. Bunlara ŞAŞ-gizemleri ve SOR-gizemleri isimlerini vermekteyim.

ŞAŞ-gizemleri *ŞAŞırtan* gizemlerdir. Bu gizemlerin fiziksel dünyanın kendisinde yatan gizemler olduklarına şüphe yoktur. Kuantum mekaniğinin böyle gizemli bir tarzda davrandığını bize söyleyen esaslı deneyler vardır. Bu tarz etkilerin hepsi de eksiksiz bir biçimde sınanmış olmasa da, kuantum mekaniğinin haklı olduğuna hemen hiç şüphe yoktur. Bu gizemlerin kapsadıkları olaylardan bazıları şunlardır: *Dalga-tanecik ikiliği,* buna daha önce biraz değinmiştim; *boş ölçümler*, bundan az sonra söz edeceğim; *spin*, az önce anlatmıştım; ve

yerel olmayan etkiler, buna da kısa bir süre sonra değineceğim. Bunlar hakikaten de insanı şaşırtan olaylardır. Ama çoğu insan bu olayların gerçek olup olmadıklarını sorma gereği bile duymaz; doğanın bir parçası olduklarına şüphe yoktur.

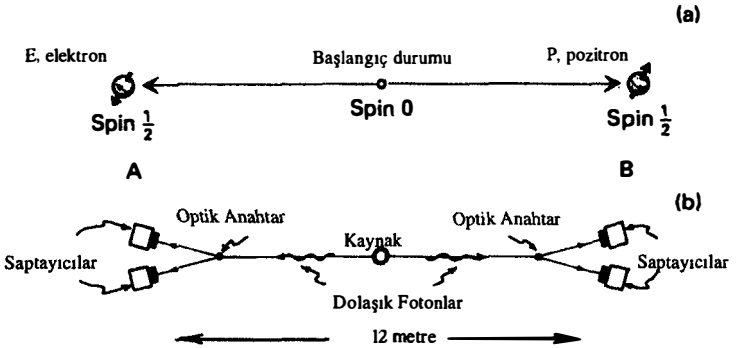
Diğer taraftan SOR-gizemleri adını verdiğim başka bazı problemler de vardır ki, bunlar *paradoksal* gizemlerdir. Benim düşünceme göre bunlar, kuramın eksik veya yanlış oluşunun veya buna benzer başka bir aksaklığın işaretidirler. Bu yüzden daha esaslı bir SORgulama gerektirirler. Başlıca SOR-gizemi, yukarda değindiğim *ölçme problemi* hakkında olanıdır; yani kuantum seviyesinden çıkıp klasik seviyeye adımımızı attığımız anda kuralların *U*'dan *R*'ye değişmesi problemidir. Şayet kuantum sistemlerinin ne denli geniş ölçekte ve ne kadar karmaşık düzeyde davranışlar sergilediklerine aklımız daha çok erseydi, hiç olmazsa yaklaşıklıkla veya bir yanılsamayla da olsa, acaba şu R yönteminin neden ortaya çıktığını kavrayabilir miydik? SOR-gizemlerinin en ünlüsü *Schrödinger'in kedisi*dir. Öncelikle hemen belirtmeliyim ki, Schrödinger çok insancıl bir adamcağızdı ve bu deney de bir düşünce deneyidir. Deneydeki kedi, aynı anda hem ölü hem de diri bir haldedir. Böyle kediler ortalıkta gözükmez. Az sonra bu konuya uzun uzadıya değineceğim.

Benim görüşüme göre ŞAŞ-gizemleriyle ne yapıp ne edip iyi geçinmeyi öğrenmeliyiz. SOR-gizemlerine gelince, daha iyi bir kuram elde ettiğinizde bunların da defteri dürülmeli derim. Bunun, SOR-gizemlerine yönelik benim kendi görüşüm olduğunu burada vurgulamak isterim. Diğer pek çok kimse tarafından kuantum kuramının (apaçık?) paradoksları farklı bir ışık altında, hatta demeliyim ki, *bir-çok farklı* ışık altında görülmektedir.

Daha ciddi bir durum arzeden SOR-gizemlerine geçmeden önce, izninizle ŞAŞ-gizemlerinden bir parça söz edeyim. ŞAŞ-gizemlerinin en çarpıcı olanlarından iki tanesine burada değineceğim. Bu problemlerden ilki *kuantumun yerel olmayışı* ya da kimilerinin benimsediği biçimiyle *kuantum dolaşıklığı*'dır. Bu çok sıradışı bir durumdur. Fikir özgün biçimiyle, Einstein ile meslektaşları Podolsky ve Rosen'den

gelmiştir ve EPR deneyi olarak bilinir. Anlaması belki de en kolay olan biçimi David Bohn tarafından öne sürülenidir. Elimizde, daha sonra elektron ve pozitron gibi zıt yönlü iki adet spin -1/2 parçacığına bölünecek olan bir spin -O parçacığı vardır. Aralarında uzak bir mesafe bulunan A ve B noktalarına gidecek olan parçacıkların spinlerini ölçmek istiyoruz. John Bell'e borçlu olduğumuz bir teorem vardır. Bu teorem bize, A ve B noktalarında gerçekleştirilecek olan gözlem sonuçlarının birleşik olasılıklarına dair kuantum mekaniğinin beklentileri ile, "yerel gerçekçi" bir model arasında ihtilaf bulunduğunu söylemektedir. "Yerel gerçekçi" model deyimiyle, A'daki elektronun kendi başına bir şey, B'deki pozitronun da kendi başına bir şey olduğunu, bu ikisinin birbirlerinden ayrık bulunduklarını ve hiçbir biçimde birbirlerine bağlı olmadıklarını kabul eden modelleri kastetmekteyim. Bu durumda bu varsayım, A ve B'de gerçekleştirilmesi söz konusu olan gözlemlerin birleşik olasılıkları konusunda kuantum mekaniğiyle çelişen sonuçlara varmaktadır. Bu durum John Bell tarafından açık bir biçimde ortaya konulmuştur. Elde edilen sonuç çok önemlidir. Örneğin Alain Aspect'in Paris'te yaptığı deney gibi sonradan gerçekleştirilen diğer deneyler de, kuantum mekaniğini bu tahminlerinde haklı çıkarmıştır. Merkezi bir kaynaktan yayınlanan zıt yönlü bir çift fotonun kutuplanma hallerini göz önüne alan bu deney Figür 2.5'te gösterilmiştir.

Bu deneyde fotonların kutuplanma yönlerinden hangisinin ölçüleceği, fotonlar kaynaktan çıkıp A ve B saptayıcılarına varıncaya dek kesinleşmemekteydi. Ölçüm sonuçları açıkça gösterdi ki, Bell de dahil olmak üzere çoğu kimsenin düşündüğü gibi, A ve B'de saptanan fotonların kutuplanma hallerine ait birleşik olasılıklar, kuantum mekaniğinin tahminlerini doğrulamaktaydı. Halbuki bu, iki fotonun ayrık ve bağımsız nesneler oldukları yönündeki olağan varsayımı çürütmekteydi. Aspect deneyi kuantum dolaşıklığı etkilerini yaklaşık 12 metrelik bir mesafe üzerinden saptamıştı. Bugünler de ise, kuantum kriptografisinde aynı etkilerin kilometre ölçeğindeki mesafelerde gerçekleştiği kimi deneyler bulunduğunu öğrenmekteyim.



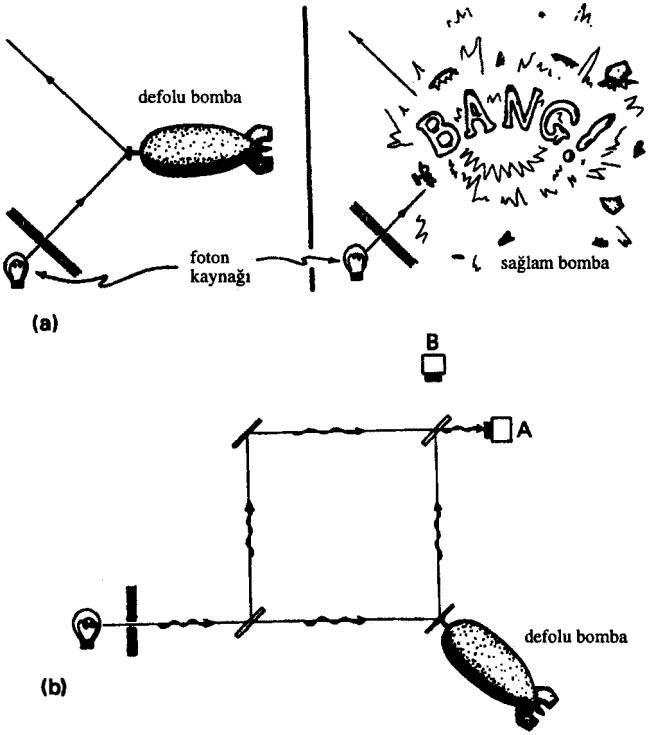
Figür 2.5. (a) Bir spin -O parçacığı iki adet spin -1/2 parçacığına bozunmaktadır; bir E elektronu bir de P pozitronu. Görünüşe bakılırsa, spin-1/2 parçacıklarından birinin spininin ölçümü, diğerinin spin halini *anında* tayin etmektedir.(b) Alain Aspect ve arkadaşlarının EPR deneyi. Kaynaktan yayınlanan fotonlar dolaşık bir haldedirler. Her bir fotonun kutuplanma yönlerinden hangisinin ölçüleceği, fotonlar seyirlerini tamamlayıncaya dek kesinleşmemektedir. Kesinleştiğinde ise, ölçüm yönünü bildiren haberin öteki fotona ulaşabilmesi için artık çok geçtir.

Olayların A ve B gibi iki ayrık noktada oluştuğunu, ama bunların *yerel olmayan* etkiler dolayısıyla gizemli bir biçimde birbirlerine bağlandıklarını vurgulamalıyım. Ne yolla birbirlerine bağlandıkları -ya da *dolaştıkları* - konunun en nazik noktasını oluşturmaktadır. Öyle bir biçimde dolaşmaktadırlar ki, bu dolaşıklıktan yararlanarak A'dan B'ye sinyal göndermenin hiçbir yolu yoktur. Kuantum kuramının görelilikle olan tutarlılığı açısından, bu, son derece önemli bir noktadır. Aksi taktirde kuantum dolaşıklığını kullanarak ışıktan hızlı haber ulaştırmak mümkün hale gelecekti. Kuantum dolaşıklığı çok enteresan bir durumdur. Nesnelerin birbirinden ayrı, ama yine de iletişim halinde bulundukları bir ara duruma karşılık gelmektedir. Bu, tamamıyla kuantum mekaniksel bir olaydır ve klasik fizikte bununla benzeşen başka bir olaya rastlamak mümkün değildir.

ŞAŞ-gizemlerine ikinci örnek *boş ölçümlerdir. Elitzur-Vaidman bomba-sınama problemi* bu durumu gayet güzel açıklamaktadır. Terörist bir çetenin üyesi olduğunuzu ve yığınla bombadan oluşan bir ganimete konduğunuzu farzedin. Her bir bombanın burun kısmında aşırı duyarlı bir fünye bulunsun. O denli duyarlı ki, burnunun ucunda bulunan küçük aynaya tek bir görülebilir ışık fotonunun çarpıp yansıması dahi, bombanın dehşet bir patlamayla infilak etmesi için yeterli gelsin. Lakin yığının içindeki bombalardan önemli bir kısmı ateş almamaktadır. Ateşlenmeyen bu bombaların kendilerine has birer defosu vardır. Çünkü aynanın bağlı bulunduğu hassas piston, üretim aşamasında sıkışmıştır. Bu yüzden defolu bir bombanın aynasına bir foton çarpsa dahi piston hareket etmemekte ve de bomba patlamamaktadır (Figür 2.6 (a)). İşte işin püf noktası, defolu bombanın ucunda bulunan bu aynanın, artık infilak mekanizmasını harekete geçirici bir parça değil, sıradan bir sabit ayna görevi görmesidir. Bu şartlar altında problem şudur: İçlerinde defoluların da bulunduğu bu bir yığın bomba arasından, sağlamlığını garanti edebileceğiniz bir bomba seçin. Klasik fizikte bu işin içinden çıkmak tek kelimeyle olanaksızdır. Bir bombanın sağlam olup olmadığını anlamak için, fünyesinin kımıldayıp kımıldamadığına bakmaktan başka çare yoktur; ki, bu durumda da bomba patlar.

Kuantum mekaniğinin, olmamış bir şeyin *olabilirliğini* yoklamanız için size olanak tanıması muhteşem bir şeydir. Resmen, felsefecilerin *farzımisal* dedikleri şeyi sınamadan geçirmektedir. Kuantum mekaniğinin farzımisallerden gerçek etkilerin doğmasına göz yummasi olağanüstü bir durumdur!

Bu problemin içinden nasıl çıkacağınızı size göstereyim. Figür 2.6 (b), 1993 yılında Elitzur ve Vaidman tarafından sunulan çözümün özgün biçimini göstermektedir. Defolu bir bombamız olduğunu varsayalım. Üzerindeki ayna sıkışmış durumdadır -sabit bir aynadır- bu yüzden bir foton çarpıp yansıdığında aynada kayda değer bir kıpırdama olmamakta ve patlama meydana gelmemektedir. Bu durumda Figür 2.6 (b)'de görülen düzeneği kurmaktayız. Yayınlanan bir foton ilk ola-



Figür 2.6 (a) Elitzur-Vaidman bomba sınama problemi. Fünyesi sıkışmış defolu bir bomba olmaması şartıyla, bir bombanın aşırı duyarlı fünyesi tek bir görülebilir ışık fotonunun meydana getirdiği itmeye yanıt verebilecek derecede hassastır. Problem, şüpheli bir yığın bombanın arasından garantili ve sağlam bir bomba seçmektedir. (b) Elinizde bir sürü defolu bombanın da bulunduğu bir durumda sağlam bombaları ayırt etmek için gerekli düzenek. Sağ alt köşedeki ayna, sağlam bomba ölçüm aygıtı görevini görmektedir. Bir fotonun diğer yolu izlediğini ölçtüğünde, bu, B'deki saptayıcının bu fotonu kaydetmesine olanak vermektedir. Bombanın defolu olması durumunda ise böyle bir şey gerçekleşmeyecektir.

rak yarı yarıya gümüşlenmiş bir aynayla karşılaşmaktadır. Bu ayna kendisine gelen ışığın yarısını geçirmekte, diğer yarısını da yansıtmaktadır. Bunun, aynaya düşen fotonların yarısının aynanın içinden geçip gittiği, kalan yarısının da aynadan yansıdığı anlamına geldiğini düşünebilirsiniz. Gelgelelim fotonlar kuantum seviyesinde tek tek ele alındıklarında, ortaya çıkan durum hiç de öyle değildir. Gerçekte, kaynaktan tek olarak çıkan her bir foton, kendisi için birer seçenek oluşturan her iki -iletilen ve yansıtılan- güzergâhın üst üste binmesinden meydana gelen bir kuantum haline konulmaktadır. Bombanın üzerindeki ayna, iletilen foton ışınının geçiş hattı ile 45°'lik bir açı yapan bir konumda bulunmaktadır. Foton ışınının yarı yarıya gümüşlenmiş aynadan yansıyan kısmı, yolu üzerinde yine 45°'lik konumda bu kez tam gümüşlenmiş bir aynayla karşılaşmakta ve en nihayet iki ışın yine yarı yarıya gümüşlenmiş bir başka ayna üzerine düşerek bir araya gelmektedir (Figür 2.6 (b)). A ve B ile işaretlenen iki noktada saptayıcılar bulunmaktadır.

Gelin, bombanın defolu olması durumunda kaynaktan çıkan tek bir fotonun başına neler geldiğini hep birlikte izleyelim. Yarı yarıya gümüşlenmiş ilk aynayla karşılaştığında, fotonun hali iki ayrı hale bölünür. Bunlardan birisi fotonun yarı gümüşlenmiş aynadan geçip defolu bombaya doğru yönelmesine, öbürü de sabit aynaya doğru yönelecek şekilde yansımasına karşılık gelmektedir. (Seçenek halindeki foton güzergâhlarının bu tarzda üst üste binmesi, tıpkı Figür 2.2'de sergilenen çift-yarık deneyindeki duruma benzemektedir. Ayrıca bu, spinleri bir araya eklememiz durumuyla da esas açısından aynı olaydır). Yarı yarıya gümüşlenmiş aynalar arasında kalan iki ayrı güzergâhın uzunluklarının tamtamamına birbirlerine eşit olduklarını varsaymaktayız. Saptayıcılara vardığında fotonun hangi halde bulunduğunu belirleyebilmemiz için, fotonun saptayıcılara ulaşmak için kullanabileceği bu iki ayrı rotayı birbirleriyle kıyaslayarak göz önüne almak zorundayız. Çünkü bu rotalar kuantum seviyesinde üst üste binme durumuna gelmektedirler. B saptayıcısına ulaşırken iki rotanın birbirini söndürdüğünü, A saptayıcısına ulaşırken ise birbirini destek-

lediğini görmekteyiz. Bu nedenle yalnızca bir tek sinyal mevcut olabilir ve bu sinyal de A saptayıcısını uyaran sinyaldir. B saptayıcısı ise hiçbir zaman uyarılmamaktadır. Bu aynen Figür 2.2'de görülen girişim desenini andırır. Bu desende, kimi noktalarda, kuantum halinin iki ayrı bileşeninin o noktada birbirlerini söndürmeleri dolayısıyla aydınlanma şiddeti sıfırdır. Demek ki defolu bir bombadan yansıma durumunda daima A saptayıcısı uyarılmakta, B saptayıcısı ise hiçbir zaman uyarılmamaktadır.

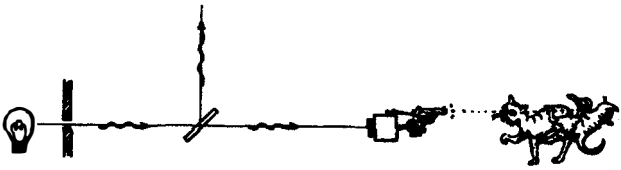
Şimdi gelelim sağlam bir bombanın söz konusu olduğu duruma. Bu durumda bombanın ucundaki ayna artık sabit bir ayna özelliğinde olmadığından, sahip olduğu kımıldama yeteneği bombayı bir *ölçüm aygıtı* durumuna getirmektedir. Bomba, aynadaki foton için şu iki seçenekten birini ölçecektir: Ya varmış bir foton halindedir ya da varmamış bir foton halindedir. Diyelim ki foton yarı yarıya gümüşlenmiş ilk aynadan geçmiş olsun ve bombanın ucuna monte edilmiş olan ayna da fotonun bu yolu aşıp geldiğini ölçsün. "Boom!!!" o anda bomba infilak edecektir. Onu kaybettik. Öyleyse yeni bir bomba yerleştirip yeniden deneyelim. Belki bu sefer bomba, fotonun ulaşmadığını ölçer de patlamaz. Böylece fotonun diğer yolu takip ettiği ölçülmüş olur. (Bu ölçüm boş bir ölçümdür). İmdi, foton yarı gümüşlenmiş aynalardan ikincisine vardığında, iletildiği kadar yansıtılabilir de; bu yüzden artık B'nin uyarılması söz konusudur. Bu nedenle sağlam bir bomba ile çalışıldığında, B'de arada sırada bir foton saptanacaktır. Bu da bombanın, fotonu öbür yoldan gitmiş olarak ölçtüğüne işaret etmektedir. Burada kilit noktası, bağlam bir bombanın bir ölçüm aygıtı olarak davranmasıdır; foton bombayla etkileşmese dahi, yani bir *boş ölçüm* . Bu ise, fotonun (bir önceki paragrafta. ç.n.) B'de saptanmasını önleyen tam sönümlenme durumu ile çatışan bir durumdur. Yani bu kez foton bu yoldan geçmediyse mutlaka öbür yoldan geçmiş olmalıdır! Eğer foton B'de saptanırsa, bombanın bir ölçüm aygıtı olarak davrandığını anlarız; yani bu sağlam bir bombadır. Öte yandan, şayet bomba sağlam bir bombaysa, arada sırada da olsa B saptayıcısı kendisine bir foton ulaştığını ölçecek ve de bomba patlamayacaktır.

Bu *ancak ve ancak* bombanın sağlam bir bomba olması durumunda mümkündür. Böyle bir durumda bombanın sağlam bir bomba olduğundan emin olabilirsiniz, çünkü fotonun diğer yolu takip ettiğini gerçekten de ölçmüştür.

Bu durum hakikaten de olağanüstüdür. Zeilinger 1994 yılında Oxford'u ziyaret etmiş ve bana bomba sınama deneyini gerçekleştirdiğini söylemişti. Aslında o ve arkadaşları deneyi bombalarla değil, aynı ilkeye dayanan başka bir şeyle yapmışlardı. Zeilinger'in büyük olasılıkla terörist olmadığını hemen belirteyim. Sonra da bana, kendisi ve meslektaşları Kwiat, Weinfurter ve Kasevich'in, aynı deneyi bir tek bomba bile israf etmeden yapabildikleri bir çözüm geliştirdiklerini anlattı. Bunun nasıl gerçekleştirildiğini uzun uzadıya anlatmayacağım çünkü çok daha ince ayrıntıları olan bir düzenektir. Gerçekten de yok sayılabilecek kadar az bir malzeme ziyan olmaktadır. Hatta belki hiçbir şey ziyan etmeden de sağlam bir bomba bulmanız mümkündür.

Sizi bu düşüncelerle baş başa bırakmak istiyorum. Bu örnekler kuantum mekaniğinin ve ŞAŞ-gizemlerinin olağanüstü doğasının kimi taraflarını gözler önüne sermektedir. Sanırım meselenin bir bölümünü, bazı insanların bütün bu anlatılanlardan sonra hipnotize olmuş bir konuma geçerek şöyle demeleri oluşturmaktadır: "Aman Tanrım, kuantum mekaniğinin bu denli hayret verici olduğunu bilmiyordum." Bu gayet isabetli bir belirlemedir. Bütün bu ŞAŞ-gizemlerini gerçek birer olay olarak kabul ettiğine göre, o kadar da hayret verici olsun artık. Ne var ki bununla yetinmeyip, SOR-gizemlerini de aynı biçimde kabullenmeleri gerektiği kanısına kapılmaları bence hiç de doğru değildir!

Şimdi de Schrödinger'in kedisine dönelim. Figür 2.7'de gösterilen düşünce deneyi Schrödinger'in kendi özgün yorumu pek olmasa da, bu biçimi bizim için daha uygundur. Yine bir foton kaynağı ve üzerine düşen fotonun kuantum halini, bir yansıtılan bir de iletilen olmak üzere iki değişik halin üst üste binmesine dönüştüren yarı gümüşlenmiş bir ayna bulunmaktadır. İletilen fotonun yolu üzerinde, foton kendisine ulaştığında bunu haber alan ve kediyi öldürmek üzere bir silah



Figür 2.7. *Schrödinger'in kedisi:* Kuantum hali, bir fotonun yansıtılan ve iletilen bileşenlerinin lineer bir tarzda üst üste binmesinden oluşmaktadır. İletilen bileşen, kediyi öldüren bir düzeneği harekete geçirmektedir. Böylelikle U-gelişimine göre kedi, ölümle dirimin üst üste bindiği bir halde varolmayı sürdürmektedir.

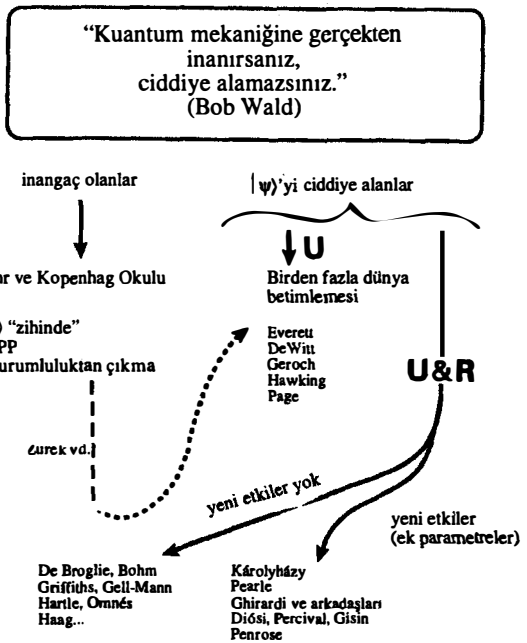
ateşleyen bir foton saptama aygıtı vardır. Kedinin, ölümün en son halkasını oluşturduğu düşünülebilir. Kedi bu noktada ya ölü ya da diri bir halde bulunduğunda, kuantum seviyesinden, ölçüp biçilebilir nesnelerin dünyasına geçmiş oluruz. Ancak burada şöyle bir problem ortaya çıkmaktadır: Şayet kuantum seviyesinde olup bitenlerin, kedilerin ve benzeri diğer şeylerin seviyesinde de geçerli olduklarını kabul edecek olursanız, o halde kedinin gerçekten içinde bulunduğu halin hem ölümün hem de dirimin üst üste binmesi olduğuna da kendinizi inandırmak zorunda kalırsınız. Mesele şudur: Foton o yöne giden ve bu yöne giden hallerin üst üste binmesi durumundadır; saptayıcı açık olma ve kapalı olma hallerinin üst üste binmesi durumundadır ve kedi de ölüm haliyle dirim halinin üst üste binmesi durumundadır. Bu problem uzun zamandır bilinmektedir. Peki insanlar bu konu hakkında ne gibi görüşler ileri sürmektedir? Kuantum mekaniği konusundaki tavırlar, belki kuantum fizikçilerinin sayısından da fazladır. Burada bir çelişki söz konusu değildir. Çünkü kuantum fizikçilerinden bazıları aynı anda birkaç farklı görüşü savunmaktadırlar.

Mevcut görüş açılarına yönelik genel bir sınıflandırmayı, Bob Wald'ın çok güzel bir yemek sohbetinde söylediği şu sözlerle sunmak istiyorum:

Bana öyle geliyor ki, bu değerlendirme kuantum mekaniğine ve insanların ona doğru olan tutumlarına ilişkin çok derin ve doğru bir değerlendirmedir. Figür 2.8'de kuantum fizikçilerini belli kategorilere ayırdım. Bilhassa da *inananlar* ve *ciddiye alanlar* olarak grupladım. Ciddiyetle neyi kastetmekteyim? Ciddi düşünenler, hal vektörü $|\psi\rangle$'nin gerçek dünyayı betimlediği kanaatindedirler. Onlara göre hal vektörü gerçekliğin ta kendisidir. Kuantum mekaniğine "gerçekten" inananlar ise, kuantum mekaniğine yönelik alınması gereken doğru tavrın bu olduğu kanaatini paylaşmamaktadırlar. Diyagramda bazı kişilerin isimlerine yer verdim. Anladığım kadarıyla Niels Bohr ve Kopenhag okulunu izleyenler inananlar grubundandır. Bohr hiç kuşkusuz kuantum mekaniğine inanmakta ama hal vektörünün dünyanın bir betimlemesi olduğu görüşünü ciddiye almamaktadır. Şöyle ya da böyle, $|\psi\rangle$ bütün zihinlerde yer etmekteydi. Bu, dünyayı betimlemek amacıyla kullandığımız bir yöntemdi, ancak dünyanın kendisi değildi. Bu ise akla hemen, John Bell'in "Bütün Pratik Kaygılar Açısından" (For All Practical Purposes) ifadesine karşılık olarak kullandığı FAPP terimini getirmektedir. Zannedersem Bell'in bu terimden hoşlanmasının nedeni, kulakta az buçuk hor görür bir iz bırakmasıdır. Bu, hakkında daha sonra birkaç şey söyleyeceğim "eşdurumluluktan çıkma görüşü"ne (decoherence viewpoint; ç.n.) dayanmaktadır. FAPP"ın, Zurek gibi en ateşli savunucularını yakından incelediğinizde, çoğu kez gerisin geri Figür 2.8'deki diyagramın ortasına döndüklerini görürsünüz. İmdi, "diyagramın ortası" demekle neyi kastetmekteyim?

Ciddi düşünen insanları farklı gruplara ayırdım. Bunlardan bir kısmı, bütün hikâyenin U'dan ibaret olduğunu, her şeyi üniter gelişim kapsamında çözmeniz gerektiğini düşünenlerdir. Bu düşünce birden fazla dünya görüşüne yol açmaktadır. Bu görüşe göre kedi hem ölü hem de diridir; ancak iki kedi bir bakıma farklı evrenlerde ikamet etmektedir. Bundan daha sonra söz edeceğim. Bu genel görüş açısına,

hayatlarının sadece belli bir bölümünde de olsa destek verenlerden bir kısmını belirttim. Birden fazla dünyanın destekçileri, çizdiğim diyagramın ortasında yer alanlardır.



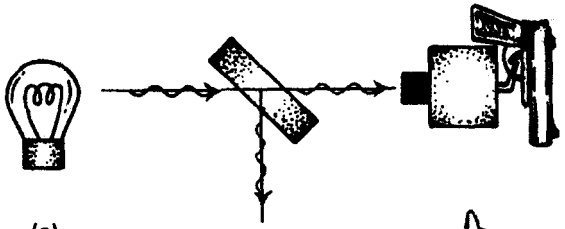
Figür 2.8.

$|\psi\rangle$ konusunda gerçekten ciddi düşündükleri kanaatinde olduğum kişiler, ki kendimi de onların arasında saymaktayım, *U*'nun da *R*'nin de gerçek olaylara denk düştüğü fikrini savunanlardır. Sistemin üç aşağı beş yukarı küçük bir sistem olması durumunda geçerliliğini sürdüren tek şey üniter gelişim değildir; onun yanı sıra adını *R* koyduğum başka bir şeyler daha geçerliliğini sürdürmektedir. Bu tasta-

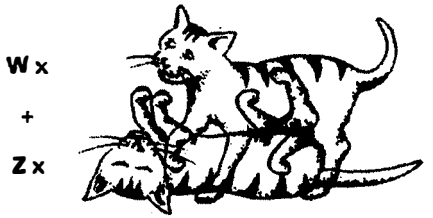
mam R olmayabilir; ama yine de ona yakın bir şeydir. Eğer buna kanaat getirdiyseniz, mevcut duruma göre şu iki görüş açısından bir tanesini tercih etmelisiniz. Hesaba katılması gereken yeni fiziksel etkiler bulunmadığı görüşüne destek verebilirsiniz. De Broglie ile Bohn'un görüşlerini, Griffiths, Gell-Mann, Hartle ve Omnés'in savundukları diğer fikirlerle birlikte bu gruba kattım. R'nin de belli bir rolü vardır; ancak kimse yeni etkilerle karşılaşmayı beklememelidir. "Gerçekten ciddiler" grubuna dahil olan ve benim de paylaştığım ikinci bir görüş açısı da vardır. Buna göre yeni bir şey gelip kuantum mekaniğinin yapısını değiştirecektir. R, U ile ciddi biçimde çelişmektedir; bu noktada yeni bir şey gelip katılmak üzeredir. Bu fikri paylaşanlardan bir kısmının isimlerini sağ alt köşeye ekledim.

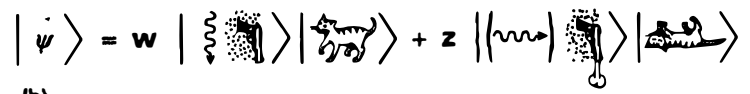
Şimdi matematiğin içine biraz daha ayrıntısıyla dalmak ve özellikle Schrödinger'in kedisiyle meşgul olan farklı görüş açılarına eğilmek niyetindeyim. Schrödinger'in kedisine ait resme geri dönelim ve bu kez w ve z karmaşık sayılarından oluşan orantı katsayılarını da işin içine dahil edelim (Figür 2.9 (a)). Foton iki hal arasında bölünmüş durumdadır. Şayet kuantum mekaniği konusunda ciddi iseniz, hal vektörünün gerçek olduğu kanaatindesinizdir. Bu yüzden de kedinin gerçekten de hem ölüm hem de dirim hallerinin belli bir biçimde üst üste bindiği bir durum içinde bulunması gerektiği fikrini savunmaktasınız. Ölüm ve dirim hallerini Figür 2.9 (b)'de gösterdiğim gibi Dirac parantezleriyle belirtmek çok elverişlidir. Dirac parantezlerinin içine çeşitli semboller koyduğunuz gibi kedileri de koyabilirsiniz! Gelgelelim bütün hikâye kedide düğümlenmemektedir, çünkü silah, foton ve bunları çevreleyen hava da işin içindedir. Yani bir ortam mevcuttur ve hali meydana getiren her bir bileşen gerçekten bütün bu etkilerin çarpımına eşittir. Ama ne olursa olsun üst üste binme durumu gene de söz konusudur (Figür 2.9(b)).

Bütün bunlarla *birden fazla dünya* görüşünün ne ilgisi var? Bu şartlar altında birisi çıkıp gelse ve kediye baksaydı, şu soruyu soracaktınız: "Peki bu insan kedi hallerinin üst üste binme durumunu neden görmüyor?" Bu soruya karşılık olarak birden fazla dünya fikri-

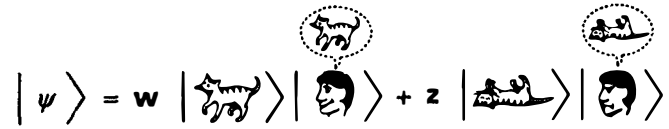


(a)





(b)

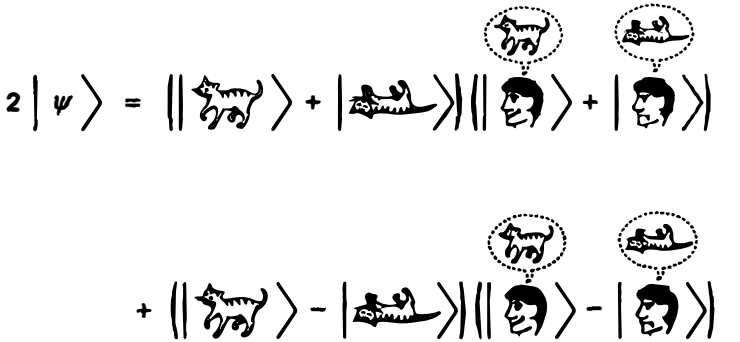


(c)

Figür 2.9.

ni destekleyen kişi, durumu Figür 2.9 (c)'de gösterildiği gibi açıklayacaktı. Bu durumda, canlı bir kedi hali, bir de canlı bir kedi görerek ve algılayarak buna eşlik eden bir insan var; ayrıca bir ölü kedi var ve bir de ölü bir kedi gören bir insan var. Bu iki seçenek üst üste binmiştir. Dirac parantezleri içinde, bu iki halden her birinde bulunan kediyi

gözlemleyen kişinin ruh hallerine de yer verdim; yüz ifadesi kişinin içinde bulunduğu ruh halini yansıtmaktadır. Bu durumda birden fazla dünya görüşünü savunan birisine göre her şey yolundadır. Kediyi algılayan kişinin farklı kopyaları mevcuttur, ancak bunlar "farklı evrenlerde" yer almaktadırlar. Kendinizi bu kopyalardan biri olarak düşünebilirsiniz; ancak sizin bir başka "paralel" evrende öteki olasılığı seyreden bir kopyanız mevcuttur. Elbette bu, evrenin hiç de öyle tutumlu bir betimlemesi değil; fakat sanırım birden fazla dünya betimlemesi için işler bundan daha da kötüdür. Zira beni endişelendiren tek şey müsriflik değildir. Asıl mesele, bunun probleme gerçek bir çözüm getirememesidir. Sözgelimi makroskopik düzeydeki üst üste binmeleri algılama gücünü bilincimiz bize neden sağlayamıyor? Gelin isterseniz *w* ile *z*'nin birbirine eşit olduğu özel duruma bir göz atalım. Bu hali Figür 2.10'da gösterildiği gibi yazabilirsiniz: Canlı kedi artı ölü kedi ile beraber, canlı kediyi algılayan kişi *artı* ölü kediyi algılayan kişi artı canlı kedi eksi ölü kedi ile beraber, canlı kediyi algılayan kişi eksi ölü kediyi algılayan kişi. Hepsi bir parçacık cebir. Bu noktada şunu diyebilirsiniz: "İyi ama bunu bu şekilde yapamazsınız; algılama halleri hiç de böyle değil!" Peki neden? Algılamanın ne demek olduğunu bilmiyoruz ki. Algılama halinin hem canlı hem de ölü bir kediyi aynı anda algılamak olmadığını nereden biliyoruz? Algılamanın ne anlama geldiğini bilmediğimiz ve elinizde de böyle karma algılama hallerinin neden yasak olduğunu size açıklayabilecek iyi bir kuram olmadığı sürece –ki bu konu 3. Bölüm'ün sınırlarını da aşmaktadır– bana öyle geliyor ki, bu tarz bir gidiş, konuya hiçbir açıklık getiremeyecektir. Bu, neden üst üste binme durumuna ait algılamanın değil de, iki tür algılamadan yalnızca birisinin meydana geldiğini izah etmemektedir. Buradan belki bir kuram ortaya çıkabilir, ama elinizde algılamaya ait bir kuramın da olması şartıyla. Bu noktada başka bir itiraz daha söz konusudur. *w* ve *z* sayılarını daha genel sayılar arasından seçtiğimizde elde edilen olasılıkların, neden daha önce sözünü ettiğim ve kuantum mekaniğinde modüllerin karelerinin hesaplanması yoluyla elde edilen olasılıkları verdiği açıklanamamaktadır. Bu olasılık, her şey bir yana, çok hassas bir biçimde sınanabilen olasılıklardır.



Figür 2.10.

Kuantum ölçümleri konusuna biraz daha eğileyim. *Kuantum dolaşıklığı* konusunu daha fazla açmam gerekecek. Figür 2.11'de, hatırlarsanız ŞAŞ-gizemlerinden bir tanesi olan EPR deneyinin Bohm yorumuna yer vermiştim. İki yönde hareket eden spin -1/2 parçacıklarının halini nasıl tanımlamaktayız? Toplam spin sıfırdır. Bu yüzden bu yandaki parçacığı spin-yukarı olarak saptadık mı, biliriz ki öbür yandaki spin-aşağı olmak zorundadır. Bu durumda birleşik sistemin kuantum hali "bu yukarı" ile "o aşağı"nın bir çarpımı olmalıdır. Ama eğer bu yandaki parçacığın spinini aşağı yönlü saptadıysak, o halde o yandaki yukarı yönlü olmak zorundadır. (Bu farklı şıklar, bu yandaki parçacığın spinini yukarı/aşağı yönde incelemeyi seçmemize göre ortaya çıkmaktadır.) (Yani ilk incelememizde yukarı yönü, ikincisinde de aşağı yönü seçmiş olmamız dolayısıyla; ç.n.) Sistemin bütününe ait kuantum halini elde etmek için bu seçenekleri üst üste bindirmeliyiz. Aslında hangi yönü seçersek seçelim, parçacık çiftinin toplam spininin sıfır etmesi için bir de eksi işaretine ihtiyacımız vardır.

$$\left|\psi\right\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\left|\uparrow_H\right\rangle\left|\downarrow_T\right\rangle - \frac{1}{\sqrt{2}}\left|\downarrow_H\right\rangle\left|\uparrow_T\right\rangle$$

Toplam spin

Figür 2.11

$$D_H = \frac{1}{2}\left|\uparrow_H\right\rangle\left\langle\uparrow_H\right| + \frac{1}{2}\left|\downarrow_H\right\rangle\left\langle\downarrow_H\right|$$

Figür 2.12.

İmdi, benim "bu yanda" bulunan saptayıcıma doğru gelmekte olan parçacık üzerinde bir spin ölçüm işlemi gerçekleştirmeyi tasarladığımızı, diğer parçacığın da çok uzaklara, ta Ay'a doğru hareket ettiğini, yani Ay'ın "o yan"a karşılık geldiğini varsayalım. Ayrıca Ay'da, kendi parçacığını yukarı/aşağı yönde ölçmek üzere başka bir meslektaşımın hazır bulunduğunu da varsayalım. Bu arkadaşımın kendi parçacığını spin-yukarı bulması olasılığıyla spin-aşağı bulması olasılığı birbirine eşittir. Şayet o spin-yukarı bulursa, benim parçacığımın spin hali aşağı yönlü olmalıdır. O spin-aşağı bulursa, benimkinin hali yukarı yönlü olmalıdır. Bu nedenle, ölçüm yapmak üzere olduğum parçacığın hal vektörünün, spin-yukarı ve spin-aşağı hallerinin eşit olasılıklı bir karışımı olduğunu düşünmekteyim.

Kuantum mekaniğinde buna benzer olasılık dağılımlarının üstesinden gelebilmek için belli bir yöntem uygulanmaktadır. Bu amaçla kullanılan niceliğe *yoğunluk matrisi* adı verilmektedir. Söz konusu durumda benim "bu yanda" kullanabileceğim yoğunluk matrisi Figür 2.12'de belirtilen ifadeye benzemektedir. İfadenin önünde yer alan ilk

"-1/2", buradaki spini yukarı yönlü bulma olasılığına, denk düşmektedir, ifadenin önünde yer alan ikinci '1'/2, buradaki spini aşağı yönlü bulma olasılığına denk düşmektedir. Bunlar olağan klasik olasılıklardır ve üzerinde ölçüm yapmak üzere bulunduğum parçacığın spin halini saptamamdaki belirsizliği ifade etmektedirler. Olağan olasılıklar, olağan reel sayılardır (O ile 1 arasında) ve Figür 2.12'de gösterilen bileşim de, katsayıların karmaşık sayılar olduğu kuantum düzeyinde bir üst üste binme değil, olasılık değerleriyle oranlanmış bir bileşimdir. İki olasılık çarpanının (1/2'lerin) çarpımı durumunda oldukları parantezli ifadelerden ilki, kırık parantezin sağa doğru baktığı Dirac *ket* vektörü, ikincisi de kırık parantezin sola doğru baktığı *bra* vektörüdür. (Bra vektörü ket vektörünün "karmaşık eşleniği"ne denk düşmektedir).

Bu kitap, yoğunluk matrislerinin inşasında kullanılan matematiğin doğasını ayrıntısıyla anlatabilmek için uygun bir yer değildir. Şimdilik şu kadarını belirtmek yeterlidir: Yoğunluk matrisi, sistemin kuantum halinin bir kısmı üzerinde gerçekleştirilebilecek ölçümlerin sonuçlarıyla ilgili olasılıkları hesaplayabilmek için, ihtiyaç duyulan bütün malumatı içermektedir. Şu şartla ki, aynı halin geri kalan kısmıyla ilgili hiçbir haber elde etmek mümkün değildir. Bizim örneğimizde toplam kuantum hali parçacık çiftine (dolaşık hale) karşılık gelmektedir. "O yanda" yani Ay üzerinde, benim "bu yanda" incelemek üzere olduğum parçacığın eşi üzerinde gerçekleştirilebilecek ölçümler hakkında, benim "bu yanda" bir haber edinmemin mümkün olmadığını varsaymaktayız.

Şimdi durumu bir parça değiştirelim. Ay'da bulunan meslektaşımın kendi parçacığının spinini yukarı/aşağı doğrultusunda değil sol/sağ doğrultusunda ölçmeyi tercih ettiğini varsayalım. Böyle bir sonucun ortaya çıkması açısından Figür 2.13'te verilen hal betimlemesini kullanmak daha elverişlidir. Esasında Figür 2.4'te yer alan geometri kullanılarak bir parça cebire başvurulduğunda, bu hal Figür 2.11'de verilen önceki halin tıpatıp aynısıdır. Fakat değişik bir biçimde ifade edilmiştir. Ay'da bulunan meslektaşımın (sol/sağ) spin ölçümü için

nasıl bir sonuç elde edeceğini hâlâ bilmemekteyiz. Bildiğimiz tek şey spin-sola bulma olasılığının 1/2 olduğu ki, bu durumda ben spin-sağa bulmalıyım ve spin-sağa bulma olasılığının da yine 1/2 olduğudur ki, bu durumda da ben spin-sola bulmalıyım. Buna göre yoğunluk matrisi D_H , Figür 2.13'teki gibi olmalıdır. Bu ise dönüp dolaşıp önceki yoğunluk matrisine (Figür 2.12'de verilen) denk düşmelidir. Daha doğrusu, olması gereken durum budur. Ay'daki meslektaşımın ölçümler konusundaki tercihi, benim kendi ölçümlerimden elde edeceğim olasılıkları etkilememelidir. (Çünkü eğer etkilenecek olursa Ay'da bulunan meslektaşımın bana ışıktan hızlı bir sinyal göndermesi ve spin ölçümünün yönüne dair tercihini kodlayarak bana haber vermesi mümkün hale gelecektir).

$$|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}|\rightarrow_H\rangle|\leftarrow_T\rangle - \frac{1}{\sqrt{2}}|\leftarrow_H\rangle|\rightarrow_T\rangle$$

= öncekinin aynısı

$$D_H = \frac{1}{2}|\rightarrow_H\rangle\langle\rightarrow_H| + \frac{1}{2}|\leftarrow_H\rangle\langle\leftarrow_H|$$

= öncekinin aynısı

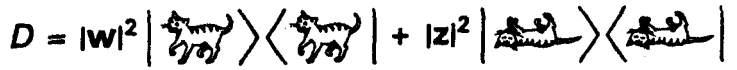
Figür 2.13.

Yoğunluk matrislerinin gerçekten aynı olduğunu doğrudan doğruya cebire başvurarak da görebilirsiniz. Cebirin bu türüne aklınız eriyorsa neden söz ettiğimi anlamış olmalısınız; ama ermiyorsa da aldırış etmeyin. Şayet sistemin belli bir kısmına erişim sağlamak mümkün değilse, yoğunluk matrisi yapabileceğiniz en iyi şeydir. Yoğunluk

matrisi, olasılıkları alışıldık biçimde ele alır, ancak kuantum mekaniksel olasılıkların üstü kapalı bir biçimde işin içinde olduğu kuantum mekaniksel bir betimlemeyle ilintili olarak. Eğer "o yanda" neler olup bittiği hakkında hiçbir bilgim yoksa, "bu yandaki" hale ilişkin verebileceğim en iyi betimleme budur.



Figür 2.14.



Figür. 2.15

Buna rağmen yoğunluk matrisinin *gerçeği* betimlediğini savunmak da zordur. Mesele, bir süre sonra Ay'dan, meslektaşımın hali ölçtüğünü ve cevabın şöyle şöyle olduğunu bana bildiren bir haber almayacağımdan emin olamamamdır. Böyle bir durumda, parçacığın halinin ne olduğunu *gerçekten* bilebilirim. Yoğunluk matrisi parçacığımın hali hakkında bana her şeyi söylememiştir. Bunu bilmek için birleşik parçacık çiftinin gerçek halini bilmeye ihtiyacım vardır. Kısacası, yoğunluk matrisi bir bakılma eğreti bir betimlemedir; bu yüzden de zaman zaman FAPP (yani, bütün pratik kaygılar açısından) deyimiyle ifade edilmektedir.

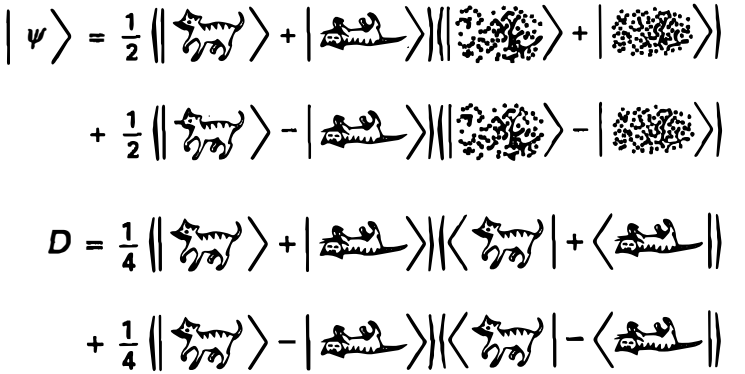
Yoğunluk matrisi çoğunlukla bu tarz durumları betimlemek amacıyla kullanılmaz. Daha ziyade Figür 2.14'te gösterilene benzer du-

rumları betimlemekte ondan yararlanılır. "Bu yanda" benim erişim sağlayabildiklerimle, "diğer yanda" Ay'daki meslektaşımın erişim sağlayabildikleri arasında bölünmüş dolaşık bir hal söz konusu olmayıp, bu durumda "bu yandaki" hali ölü ya da diri bir kedi, "o yandaki" hali de (belki aynı odanın sınırları içinde de olsa) kedi ile birlikte işin içine dahil olan toplam ortamın durumunu oluşturmaktadır. Bu durumda toplam dolaşık hal vektörünü bulmak için canlı kediyle birlikte başka bir ortamı göz önüne alabilmekteyim. Bu noktada FAPP yanlıları, ortam hakkında hiçbir zaman yeterli bilgi toplayamayacağımızı, bu sebeple hal vektörünü değil yoğunluk matrisini (Figür 2.15) kullanmak zorunda olduğumuzu ileri sürmektedirler.

Böylece yoğunluk matrisi olasılık dağılımı görevini görmekte, FAPP yanlıları da bütün pratik kaygılar açısından kedinin ya ölü ya da diri olması gerektiğini belirtmektedirler. "Bütün pratik kaygılar açısından" bu kadarına bir diyecek yoktur. Ancak bu, gerçeğe ait bir betimleme sunmaktan acizdir. Sözgelimi, daha sonra çok zeki birisinin ortaya çıkıp da, ortamla ilgili bilgiyi nasıl elde edebileceğinizi söylemesi durumunda neler olabileceğini size izah edememektedir. Ne olursa olsun bu görüş eğreti bir görüştür; gerekli bilgiyi elde edebilecek kimse bulunmadığı sürece elverişlidir. Bununla birlikte, EPR deneyindeki parçacık için başvurduğumuz çözümlemeyi kediye de uygulayabiliriz. Spin-sola ve spin-sağa hallerinin, spin-yukarı ve spin-aşağı halleri kadar geçerli olduğuna daha önce değinmiştik. Şayet yukarı ve aşağı hallerini kuantum mekaniğinin kuralları çerçevesinde bir araya getirir, parçacık çifti için Figür 2.13 (a)'da gösterilen aynı toplam dolaşık hal vektörünü ve Figür 2.13 (b)'de gösterilen aynı yoğunluk matrisini hesaplayacak olursak, sol ve sağ hallerini elde edebiliriz.

Kedi ve içinde bulunduğu ortam söz konusu olduğunda (w ve z genliklerinin eşit olduğu durumda), "canlı kedi artı ölü kedi"nin "spin-sağa" ve "canlı kedi eksi ölü kedi"nin de "spin-sola" rolünü oynadığı sırada kullandığımız matematiği kullanabiliriz. Bu durumda daha önce elde ettiğimiz halin (Figür 2.14'te $w = z$ olduğu durum) ve

daha önce elde ettiğimiz yoğunluk matrisinin (Figür 2.15'te $w = z$ olduğu durum) aynısını elde ederiz. Peki ölü artı diri kedi veya ölü eksi diri kedi, diri bir kedi veya ölü bir kedi kadar elverişli midir? Doğrusu bu o kadar da açık değildir. Ancak gerekli olan matematik açık ve seçiktir. Kedi için önceki yoğunluk matrisinin aynısı yine geçerli olacaktır (Figür 2.16). Demek ki yoğunluk matrisinin hangisi olduğunu bilmek, kedinin gerçekte ölü mü yoksa diri mi olduğunu betimlememizde bize yardımcı olmamaktadır. Bir başka deyişle, kedinin ölü mü yoksa diri mi olduğu, yoğunluk matrisinin yapısında mevcut değildir. Bundan daha fazlasına ihtiyacımız vardır.



Figür 2.16.

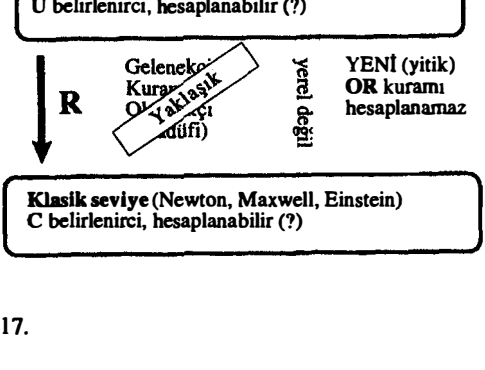
Bütün bunlar kedinin gerçekte neden ölü ya da diri olduğunu (ve bunların bir bileşimi olmadığını) açıklayamamak bir yana, kedinin neden yalnızca ölü ya da yalnızca diri olarak algılandığını dahi açıklayamamaktadır. Dahası, olağan genlikler olan w ve z göz önüne alın-

dığında, bağıl olasılıkların neden $|w|^2$ ve $|z|^2$'ye denk düştüklerini de açıklayamamaktadır. Bence bu, o kadar da başarılı sayılmaz. Bütün fiziği özetlediğim diyagrama geri dönerek, gelecekte fiziğin yapmak zorunda kalacağı değişikliklere yer vermek istiyorum (Figür 2.17). *R* harfi ile belirttiğim yöntem, henüz sahibi bulunmadığımız bir şeye ait bir yaklaşıklıktan ibarettir. Henüz sahibi bulunmadığımız bu şey, benim *OR* ile gösterdiğim *nesnel indirgeme*ye (Objective Reduction, ç.n.) denk düşen bir şeydir. Bu, nesnel bir durumdur; nesnel olarak ya bir şey ya da öbür şey meydana gelmektedir. Bu yitik bir kuramdır. *OR* güzel bir kısaltmadır. Çünkü "veya" deyimi yerine de geçmektedir. Gerçekten meydana gelen de budur: biri veya diğeri.

Peki bu yöntem hangi noktada geçerli olmaktadır? Benim savunduğum görüşe göre, üst üste binme prensibinin, önemli farklılıklar arzeden *uzay-zaman geometrilerine* uygulanması aşamasında bazı aksaklıklar vardır. Uzay-zaman geometrisi fikriyle 1. Bölüm'de karşılaşmıştık. Bunlardan iki tanesini Figür 2.18 (a)'da gösterdim. Figürde ayrıca bu iki uzay-zaman geometrisinin üst üste binme durumlarını da, aynen parçacıkların ve fotonların üst üste binme durumlarında yaptığımız gibi belirttim. Farklı uzay-zamanların üst üste binme durumunu dikkate almak zorunda kaldığınızı hissettiğinizde, türlü problemler ortaya çıkmaktadır. Çünkü iki uzay-zamanın ışık konileri farklı yönlere bakıyor olabilirler. Bu, Genel Görelilik'i ciddi ciddi kuantumlaştırmaya uğraşanların içine düştükleri önemli problemlerden biridir. Böyle komik bir biçimde üst üste binmiş bir uzay-zamanın *içinde* fizik yapmaya çalışmak, benim fikrime göre, bugüne dek böyle bir işe girişen herkesi sırtüstü yere sermiş bir çalışmadır.

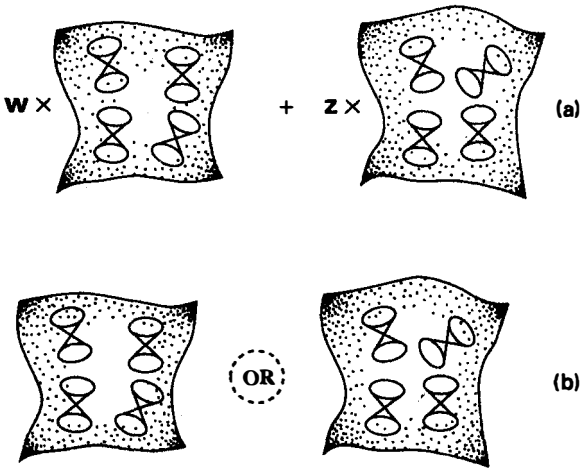
Demek istediğim, bunun bütün herkesin sırtını yere sermiş olmasının geçerli birtakım sebepleri vardır. Çünkü yapılmaması gereken bir şey yapılmıştır. Gerçekte bu üst üste binme durumu, her nasılsa bir noktada ya biri "veya" diğeri haline gelmektedir ve bu, uzay-zaman seviyesinde ortaya çıkmaktadır (Figür 2.18 (b)). İmdi, diyebilirsiniz ki, "Prensip açısından her şey yolunda gözüküyor. Fakat kuantum mekaniği ile genel gerekliliği birleştirmeye çalıştığınızda,

Planck zamanı ve Planck uzunluğu denilen şu acayip sayılarla karşılaşıyorsunuz. Bu sayılar, parçacık fiziğinde karşılaştığımız normal uzunluklardan ve zaman dilimlerinden bile kat be kat daha küçüktürler. Kedi veya insan boyutlarıyla bunların hiçbir ilgileri yoktur. Öyleyse kuantum kütleçekiminin bunlarla ne ilgisi olabilir?" Bence olup biten şeylerin temel doğası açısından çok ilgisi vardır.



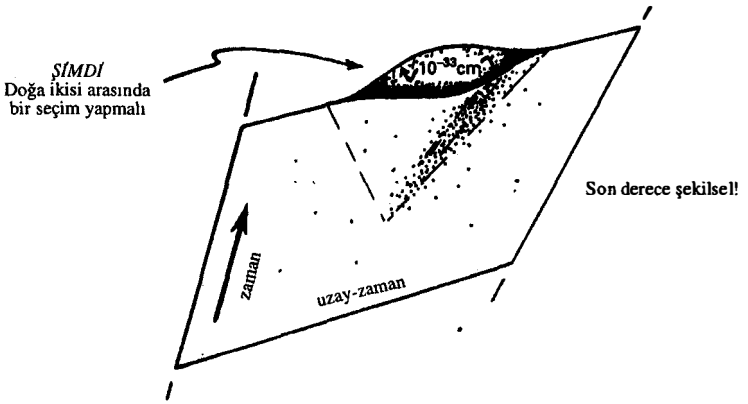
Figür 2.17.

10^{-33}cm. olan Planck uzunluğunun kuantum halinin indirgenmesiyle ne ilgisi vardır? Figür 2.19, çatallaşmaya çalışan bir uzay-zamanın son derece şekilsel bir betimlemesidir. İki uzay-zamanın üst üste binmesine yol açan bir durum söz konusudur. Bunlardan birinin ölü kediyi, diğerinin de canlı kediyi temsil ettiği düşünülebilir. Her nasılsa bu iki farklı uzay-zamanın üst üste binme ihtiyacında olduğu göze çarpmaktadır. Bu durumda şu soruyu sormamız gerekir: "Acaba bu ikisi, ne zaman kurallarda bir değişikliğe gitmemizi gerektirecek derecede farklılaşacaklardır?" Göreceksiniz ki, bu iki geometri arasındaki fark uygun bir büyüklükte Planck uzunluğu mertebesine eriştiği zaman. Geometriler birbirlerinden bu miktarda bir farklılaşmaya uğradıkları taktirde, ne yapmanız gerektiği konusunda endişe duymalısınız. Çünkü bu şartlar altında kurallarda bir değişiklik meydana



Figür 2.18.

gelebilir. Yeri gelmişken burada yalnızca uzaylarla değil, uzay-zamanlarla ilgilendiğimizi tekrar vurgulamalıyım. "Planck ölçeğinde bir uzay-zaman ayrışması" söz konusu olduğunda, küçük bir uzaysal ayrışma daha uzun bir zamana, büyük bir uzaysal ayrışma ise daha kısa bir zamana denk gelmektedir. İhtiyacımız olan şey, iki uzay-zamanın ne zaman önemli bir farklılaşmaya uğrayacaklarını tahmin etmemizi sağlayacak bir kriterdir. Böylelikle bu kriter, Doğa'nın bu ikisi arasındaki tercihini ortaya koyan bir *zaman ölçeğini* meydana çıkaracaktır. Kısacası, Doğa'nın bunlardan birini veya ötekini tercih ederken henüz kavrayamadığımız belli birtakım kurallara uyduğu görüşü hakimdir.



Figür 2.19. 10-33 cm'ye karşılık gelen Planck ölçeğinin kuantum halinin indirgenmesi ile ilgisi nedir? Kaba bir tahmin: Üst üste binme durumunda olan iki halin arasında, ortaya çıkan iki uzay-zamanın ayrışmasının 10-33 mertebesine çıkmasına yetecek miktarda bir kütlenin yer değiştirmesidir.

Böyle bir tercihi yapması için Doğa'nın ne kadar zamana ihtiyacı vardır? Newtoncu yaklaşımın, Einstein'ın kuramına yönelik tatmin edici bir yaklaşıklıkla bulunabildiği ve kuantum düzeyinde bir üst üste binmeye uğrayacak olan kütleçekim alanlarının aralarında apaçık bir fark belirdiği (mevcut iki karmaşık genliğin aşağı yukarı eşit büyüklükte olduğu) durumlar gibi kimi bariz durumlarda, bu zaman dilimini hesaplayabiliriz. Cevap olarak kedinin yerine bir bilye koymayı teklif ediyorum. Kedinin yapacak başka işleri var ve zaten ne de olsa dinlenmeyi haketti! Bilyenin büyüklüğü ne olmalıdır; ne kadar uzağa hareket edebilmelidir ve hal vektörünün çöküşünün gerçekleşmesi için gereken zaman dilimi ne kadardır (Figür 2.20)? Hallerden biri ile diğerinin üst üste binmesini kararsız bir hal olarak alacağım. Bu, bozunan bir parçacığı veya bir uranyum çekirdeğini veya buna benzer

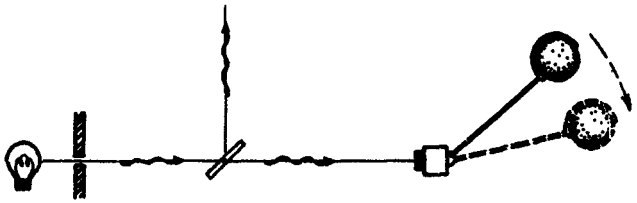
başka bir şeyi bir parça andırmaktadır. Bozunarak bir şeye veya başka bir şeye dönüşmekte ve bu bozunumun gerçekleşmesi için belli bir zaman dilimi geçmesi gerekmektedir. Kararsız bir halin söz konusu olduğu, bir varsayımdan ibarettir. Ancak bu kararsızlık bizim hiç bilmediğimiz bir fiziği bize tanıtacaktır. Bu zaman dilimini hesaplayabilmek için, bilyenin belli bir anını, diğer bir anının kütleçekim alanından uzağa doğru hareket ettirmek için gerekli olan E enerjisini göz önüne alalım. Bu durumda Planck sabitinin 2π'ye bölümünden elde ettiğimiz $\hbar$ sabitini bu kütleçekim enerjisine bölecek olursak, bu bize söz konusu bozunumun gerçekleşmesi için gerekli olan zaman dilimi T'yi verecektir:

$$T = \hbar / E$$

Genel tarzdaki bu akıl yürütmeye dayanan pek çok betimleme bulunmaktadır. Ayrıntılar açısından farklılıklar gösterseler de, genel kütleçekim betimlemelerinin hepsi de buna benzer bir çeşniye yer vermişlerdir.

Bu tür bir kütleçekim betimlemesini göz önüne almayı avantajlı kılan başka nedenler de vardır. Kuantum ölçme problemini, işin içine yeni bir fiziksel olay katarak çözmeye çalışan diğer bütün açık seçik kuantum hali indirgeme yöntemlerinin, enerjinin korunumuyla başlarının derde girmesi bu nedenlerden biridir. Enerjinin korunumunu öngören normal kuralların ihlal edilmeye doğru yaklaştığı gözünüze çarpar. Gerçi bu belki de böyledir. Ama bana öyle geliyor ki, bu problemi bir kütleçekim betimlemesiyle kökünden temizleme şansına sahibiz. Bunun nasıl yapılabileceğini ayrıntısıyla bilmesem de, zihnimde tasarladıklarımı anlatmak istiyorum.

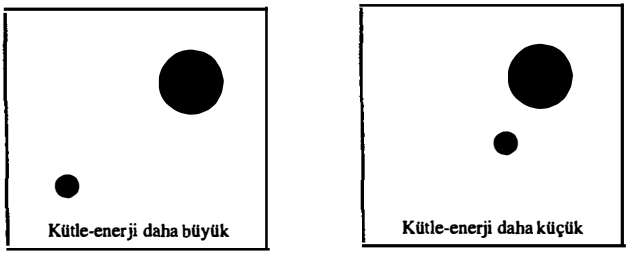
Genel görelilikte kütle ile enerji oldukça garip bir hal almıştır. Her şeyden önce kütle, enerjiye (enerjinin, ışık hızının karesine bölünmesine) eşdeğerdedir. Bu sebeple kütleçekim potansiyel enerjisinin, kütle üzerinde (negatif) bir payı vardır. Buna göre birbirlerinden



Figür 2.20. Bu kez ölçüm, bir kedi yerine küre şeklindeki bir bilyenin basit hareketlerine yer vermektedir. Bilyenin kütlesi ve büyüklüğü ne olmalı; ne kadar uzağa hareket etmelidir? R işin içine girmeden önce üst üste binme durumu ne kadar süre devam edebilir?

çok uzakta bulunan iki bilyeden oluşan bir sistem, yakın konumda oldukları durumdakinden bir parça daha fazla kütleye sahiptir (Figür 2.21). Her ne kadar kütle-enerji yoğunlukları (ki enerji-momentum tensörüyle ölçülür) yalnızca bilyelerin iç kısımlarında sıfırdan farklı olsa ve her birinin miktarı diğerinin varlığından önemli ölçüde etkilenmese de, Figür 2.21'de örneklenen iki durumdaki *toplam* enerjilerin arasında belli bir fark vardır. Toplam enerji yerel olmayan bir niceliktir. Gerçekten de Genel Görelilik kapsamında, enerjinin temel olarak yerel olmayan bir niteliği söz konusudur. Hiç şüphesiz 1. Bölüm'de sözünü ettiğim ünlü çift pulsar örneği için de aynı durum geçerlidir: Kütleçekim dalgaları pozitif enerjiyi ve kütleyi sistemden uzaklara taşımakta, fakat bu enerji uzayda yerel olmayan bir tarzda yer etmektedir. Kütleçekim enerjisi, tarifi zor bir şeydir. Bana öyle geliyor ki, şayet Genel Görelilik ile kuantum mekaniğini doğru bir biçimde birleştirmeyi becerebilseydik, hal vektörünün çöktüğü durumları inceleyen kuramların başına musallat olan enerji problemleriyle başa çıkma fırsatını elde etmiş olacaktır. Doğrusu, üst üste binme hali söz konusu olduğunda, kütleçekimin üst üste binme enerjisine olan katkısını da hesaba katmak zorundasınız. Gelgelelim kütleçekim dolayısıyla orta-

ya çıkan enerjiye gerçek anlamda bir yerellik yükleyemezsiniz. Bu yüzden kütleçekim enerjisinde temel bir belirsizlik mevcuttur ve bu belirsizlik yukarıda tarif edilen E enerjisi mertebesindedir. İşte kararsız parçacıklar konusunda ortaya çıkan durum da aynen bu tip bir durumdur. Aynı formül kapsamında, kararsız bir parçacık, ömrüyle ilintili olarak kütle-enerjisinde bir belirsizlik taşır.



Figür 2.21. Bir kütleçekim sisteminin toplam kütle-enerji değeri, yalnızca kütleçekimden kaynaklanan ancak yerleri belli edilemeyen katkıları da içermektedir.

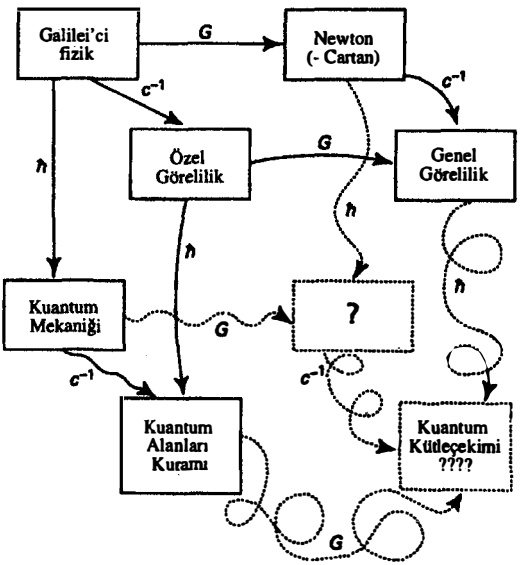
Öne sürdüğüm yaklaşımda apaçık ortaya çıkan zaman ölçeklerini inceleyerek bitirmek istiyorum. Aynı yaklaşıma 3. Bölüm'de tekrar döneceğim. Uzay-zamanlarda üst üste binmelerin meydana geldiği gerçek sistemlerde bozunum süreleri acaba ne kadardır? Bir proton için (bir an için katı bir küre yapısında olduğunu varsayarsak) bu zaman ölçeği birkaç milyon yıldır. Bu gayet isabetli bir tahmindir, zira interferometre deneylerimizden bildiğimiz kadarıyla, buna benzer bir durumda hiç karşılaşmamaktayız. Dolayısıyla bu gayet tutarlıdır. 10^{-5} cm. yarıçapında bir su damlasını aldığımızda, bunun bozunum süresi birkaç saattir. Şayet yarıçapı bir mikron olsaydı, bozunum za-

manı saniyenin yirmide biri; santimetrenin binde biri olsaydı da saniyenin milyonda biri kadar olacaktı. Bu rakamlar, bu çeşit bir fiziğin hangi ölçekte önem kazandığına işaret etmektedirler.

Öte yandan, ek olarak önemli bir noktayı dile getirmek durumundayım. Gerçi FAPP görüşü hakkında az buçuk alaylı bir ifadeyle söz ettim ama, bu betimlemenin gayet ciddiyetle ele aldığı bir unsur var: Ortam. Bu tip değerlendirmelerde ortam, can alıcı bir öneme sahiptir. Ben ise, şu ana kadarki değerlendirmelerimde buna hiç değinmedim. Bu amaç için, çok daha karmaşık bir şeyi yapmayı göze almalısınız. Yalnızca bu yandaki bilye ile o yandaki bilyenin üst üste binme durumunu değil, bu yandaki bilye ve içinde bulunduğu ortamın, o yandaki bilye ve içinde bulunduğu ortamla üst üste binme durumunu da dikkate almalısınız. Asıl etkinin ortamın sarsılmasıyla mı, yoksa bilyenin harekete geçirilmesiyle mi sonuçlandığını dikkatle gözlemelisiniz. Şayet işin içine ortam da karışmışsa, meydana gelen etki rastgele olacak ve standart yöntemlerdekinden farklı bir sonuç elde edemeyeceksinizdir. Eğer sistem, ortamın işin içine karışmayacağı derecede iyi bir biçimde yalıtılabilirse, standart kuantum mekaniğinde olanlardan farklı bir şeyler gözlemlemeniz mümkün olabilir. Bu tarz bir betimlemenin doğru olup olmadığını ve geleneksel kuantum mekaniğinin dimdik ayakta kalıp kalmadığını, böylelikle bilyelerin -ve hatta kedilerin- böyle üst üste binmiş hallerde kararlı olduklarını kabul edip etmememiz gerektiğini sınamamızı sağlayacak makul deneyler önerebilseydik -ki ben deneme mahiyetinde türlü olasılıklar olduğunu biliyorum- bu, bir hayli ilginç olurdu.

Bu noktaya gelinceye dek nelerle uğraştığımızı Figür 2.22'de özetlemeye çalışayım. Bu çizimde türlü kuramları, çarpıtılmış bir kübün köşelerine yerleştirdim. Kübün ayrıtlarından üç tanesi fizikteki üç temel sabite karşılık gelmektedir: kütleçekim sabiti G (yatay ayrıt), çarpmaya göre tersi alınmış haliyle ışık hızı, c^{-1} (verev çizgili ayrıt) ve Dirac-Planck sabiti $\hbar$ (aşağı yönlü dik ayrıt). Olağan şartlar altında bu sabitlerin hepsi de çok küçüktürler ve iyi bir yaklaşıklıkla sıfır olarak kabul edilebilirler. Şayet her üçünü de sıfır olarak alırsak, Galileici fizik adını verdiğim şeyi elde ederiz (sol üst). Kütleçekim

sabitinin sıfırdan farklı olması bizi yatay eksende (geometrik uzay-zaman formülleştirmesi çok sonraları Cartan tarafından verilen) Newtoncu kütleçekim kuramına getirmektedir. G'yi değil de bunun yerine c^{-1}'i sıfırdan farklı olarak alırsak, Poincaré-Einstein-Minkowski Özel Görelilik kuramına ulaşırız. Bu iki sabitin ikisini de sıfırdan farklı olarak aldığımızda, çarpık küpümüzün üst "kare"si tamamlanmış olur ve göreliliğe ilişkin Einstein'ın Genel Kuramı'nı elde ederiz. Lakin bu genelleme hiç de öyle açık seçik bir genelleme değildir. Bu gerçeği Figür 2.22'de en üst karedeki çarpılmayla ifade ettim. Bir an için tekrar $G = c^{-1} = 0$ durumuna geri dönüp $\hbar$ sabitini sıfırdan farklı olarak alacak olursak, standart kuantum mekaniğini elde ederiz. Hiç mi hiç dolaysız olmayan bir genelleme ile c^{-1} de işin içine sokulabilir ve böylelikle kuantum alanları kuramı elde edilir. Ufak çarpıtılmaların, dolaysız olamama durumlarını temsil etmesi koşuluyla, küpün sol yüzü de böyle tamamlanmış olur.



Figür 2.22.

Bu aşamada geriye kalan tek şeyin küpü tamamlamaktan ibaret olduğunu, bu sayede bütün her şeyi bilir hale geleceğimizi düşünebilirsiniz. Halbuki kütleçekim fiziğinin dayandığı ilkeler kuantum mekaniğindekilerle kökünden çelişmektedir. Hatta bu durum (sabit kütleçekim alanlarıyla ivmelerin birbirinden ayırt edilemediği) *Einstein'ın Eşdeğerlik İlkesi*'ni benimseyen (Cartan'ınki gibi) uygun geometrik yapılar kullanıldığı taktirde, ($c^{-1} = 0$ kabul ettiğimiz) Newtoncu kütleçekim kapsamında dahi kendisini göstermektedir. Bu noktaya dikkatimi çeken, Figür 2.22'deki çizimimin de esin kaynağı olan Joy Christian'dır. Ancak -Cartan'ın geometrisi sayesinde klasik kuramda Einstein'ın Eşdeğerlik İlkesi'ni tam anlamıyla benimsemiş olan- Newtoncu kütleçekim ile kuantum mekaniği arasında bugüne dek hiçbir uygun birleşim gün ışığına çıkmamıştır. Benim net olarak görebildiğim kadarıyla böyle bir birleşim, aşağı yukarı bu bölümde değinilen *OR* yaklaşımı çerçevesinde kalacak olan bir kuantum hali indirgeme işleyişine yer vermelidir. Böyle bir birleşimin, Figür 2.22'deki kübün arka yüzünün tamamlanması aşamasında, dolaysızlığın yanına bile yanaşamayacağı apaçık ortadadır. G, $\hbar$ ve c^{-1} sabitlerinin üçüne de yer veren ve "küp"teki bütün eksiklikleri tamamlayabilen bütüncül bir kuram ise, daha da inceden inceye hazırlanmış ve matematiksel açıdan kurnazca ayrıntılarla işlenmiş bir kuram olmalıdır. Apaçık belli ki, bu iş geleceği ilgilendiren bir meseledir.

III
Fizik ve Zihin

İlk iki bölüm fiziksel dünyayla ve onu betimlemekte kullandığımız matematiksel kurallarla ilgiliydi. Bu kuralların ne denli olağanüstü bir doğruluğa sahip olduklarına ve kimi zaman göze ne kadar tuhaf göründüklerine değindik. Bu üçüncü bölümde ise *zihin dünyasından* ve özellikle de bunun fiziksel dünyayla olan ilişkisinden söz edeceğim. Sanırım Piskopos Berkeley bir bakıma fiziksel dünyanın zihin dünyamızın içinden çıktığını düşünmekteydi. Öte yandan daha alışık olduğumuz bilimsel görüş açısına göre ise, zihinsel etkinlik şu veya bu şekilde belli bir tür fiziksel yapının bir özelliği durumundadır.

Popper, *Kültür Dünyası* adını verdiği üçüncü bir dünya fikri ortaya attı (Figür 3.1). O, bu dünyanın zihinsel etkinliğin bir ürünü olduğunu düşünmekte ve söz konusu dünyalar arasında Figür 3.2'de görüldüğü gibi bir hiyerarşi tasarlamaktadır. Bu betimlemeye göre, zihin dünyası bir şekilde fiziksel dünyayla ilişkilidir (içinden çıkmaktadır?) ve kültür de şu veya bu şekilde zihinsel etkinlikten doğmaktadır.

Bana gelince, ben olaylara bir parça farklı bir gözle bakmak niyetindeyim. Popper'in yaptığı gibi, kültürün zihinsel etkinliğimizden

kaynaklandığını savunmak yerine, söz konusu dünyaların birbirine Figür 3.3'te görüldüğü biçimde bağlandığını düşünmeyi yeğlemekteyim. Üstelik benim tasarladığım "Üçüncü Dünya", Kültür Dünyası değil, Platoncu mutlaklıklar, özellikle de mutlak matematiksel doğruluklar dünyasıdır. Bu sayede, fizik dünyanın şaşmaz matematiksel yasalara nasıl da derinden bağlı olduğunu örnekleyen Figür 1.3'teki gösterim de çizimimize dahil edilmiş olmaktadır.

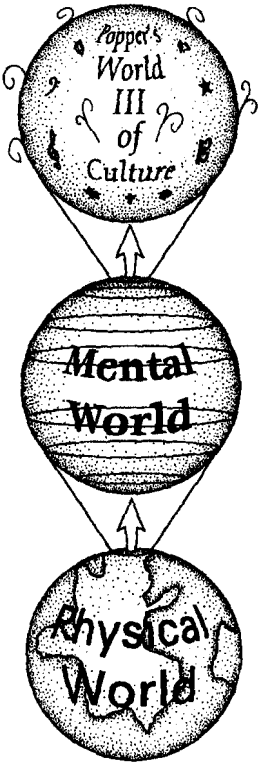


Figür 3.1. Karl Popper'in "Üçüncü Dünya"sı.

Bu bölümün büyük bir kısmı, bu farklı dünyalar arasındaki mevcut ilişkileri incelemeye ayrılmıştır. Kanımca zihinsel etkinliğin fiziksel yapıdan kaynaklandığı fikrinin kökünde temel bir problem yatmaktadır. Filozofların bu konudaki kaygıları oldukça geçerli nedenle-

re dayanmaktadır. Fizikte sözünü ettiğimiz konular madde, fiziksel nesneler, kütleli nesneler, parçacıklar, uzay, zaman, enerji gibi konulardır. Duygularımızın, kırmızıyı algılayışımızın veya memnuniyetin acaba fizikle ne gibi bir ilgisi olabilir? Bunu gizemli bir sır olarak görmekteyim. Figür 3.3'te görülen farklı dünyaları birleştiren okları sırlarla dolu gizemler olarak kabul edebiliriz. İlk iki bölümde matematik ile fizik arasındaki ilişkiye değinmiştim (1 numaralı Gizem). Wigner'in bu ilişkiye değinen sözlerine yer vermiştim. O da bunu, benim gibi son derece olağanüstü olarak değerlendirmekteydi. Fiziksel dünyanın, göründüğü kadarıyla matematiksel yasalara böylesine şaşmaz bir duyarlılıkla boyun eğmesinin ardında yatan sebep acaba ne olabilir? Üstüne üstlük fiziksel dünyamızı kontrolünde tuttuğunu gizlemediğimiz matematiksel yapılar, tıpkı matematiğin kendisi kadar verimli ve güçlüdür. Bütün bu ilişkiyi derin ve gizemli bir sır olarak değerlendirmekteyim.

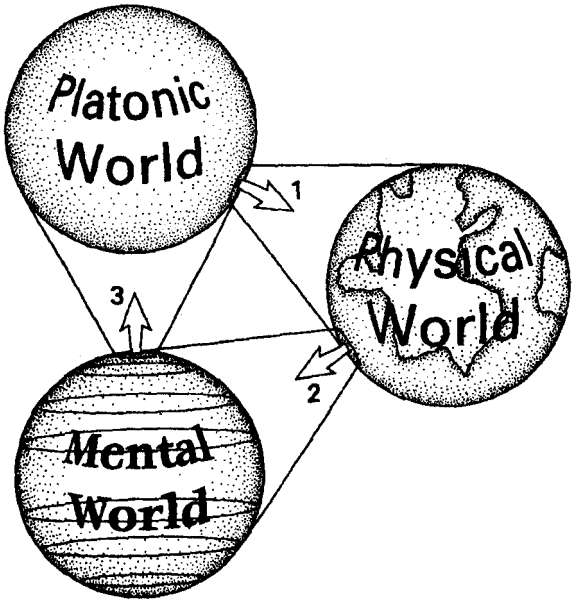
Bu bölümde 2 numaralı Gizem'i, fiziksel dünyanın zihinsel etkinlikler dünyası ile olan ilişkisinin gizlediği sırları irdeleyeceğim. Fakat bununla bağlantılı olarak 3 numaralı Gizem'i de dikkate almamız gerekecek: Matematiksel doğruluğu saptama yeteneğimizin temelinde yatan nedir? İlk iki bölümde Platoncu dünyaya değindiğim kısımlarda, başlıca matematikten ve fiziksel dünyayı betimlemek amacıyla yararlandığımız matematiksel kavramlardan söz etmiştim. Olup bitenleri betimlemek için gereksinim duyulan matematiğin oracıkta yerli yerinde durduğu hissedilmektedir. Öte yandan, bu matematiksel yapıların, kendi zihinsel etkinliklerimizin birer ürünü olduğu, yani matematiğin insan zihni tarafından üretildiği gibi yaygın bir kanı da mevcuttur. Meseleye bu açıdan bakmak mümkün olsa da, ne benim ne de matematikçilerin matematiksel gerçeklere bakış tarzımız hiç de böyle değildir. O yüzden her ne kadar zihin dünyası ile Platoncu dünya bir okla birbirine bağlanmış olarak gösterilse de, bununla, hatta bu oklardan hiçbirisiyle anlatmak istediğim şey bu dünyalardan birinin diğer bir tanesinin içinden çıkıp geldiği değildir. Dünyaların birbirinin içinden çıkıp geldiği gibi bir izlenim yaratsalar da, oklar yalnızca



Figür 3.2

farklı dünyalar arasında bir ilişki bulunduğu gerçeğine dikkati çekmektedirler.

Daha da önemlisi, Figür 3.3 benim kendi üç önyargıma denk gelmektedir. Bunlardan bir tanesi bütün fiziksel dünyanın ilke olarak matematik yoluyla betimlenebileceği fikridir. Hangisini alırsanız alın



Figür 3.3. Üç Dünya ve Üç Sırlı Gizem.

matematiğin her parçasının fiziği betimlemede kullanılabileceğini söylemiyorum. Anlatmaya çalıştığım, matematikten doğru parçaları seçtiğinizde, bu parçalar fiziksel dünyayı büyük bir doğrulukla betimleyebilmekte, yani fiziksel dünyanın matematiğe uygun davranışlar sergilediği ortaya çıkmaktadır. Yani Platoncu dünyanın sadece küçük bir kısmı fiziksel dünyamıza denk gelmektedir. Bunun yanısıra fiziksel dünyadaki her şeyin zihinsel etkinliğe sahip olduğunu da söylemiyorum. Daha ziyade, fiziksel yapıya dayanmayan ve oralarda bir yerlerde uçuşan zihinsel nesneler bulunmadığını öne sürmekteyim. Bu benim ikinci önyargımdır. Üçüncü bir önyargım daha var ki, o da şu: Matematiği kavrayışımız açısından Platoncu dünyadaki her bir öğe-

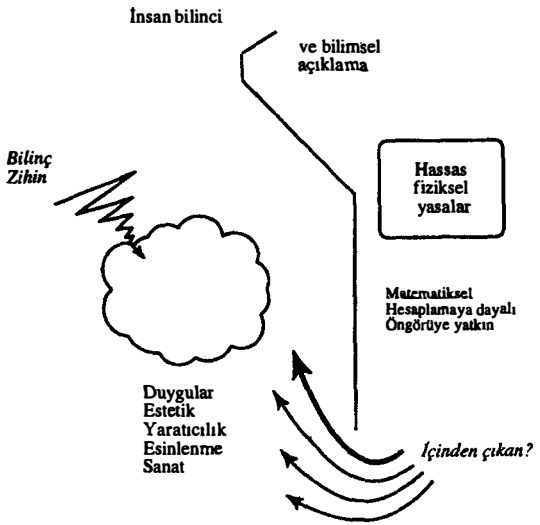
ye, en azından ilkede, zihinsel etkinliğimiz sayesinde şu veya bu biçimde erişmemiz mümkündür. Bazı insanlar bu üçüncü önyargım konusunda birtakım kaygılar taşıyabilirler. Hatta bu tip kaygıları her üç önyargı için taşımaları da mümkündür. Bu noktada söz konusu diyagramın benim üç önyargımı yansıttığını ancak diyagramı çizdikten sonra fark ettiğimi belirtmeliyim. Bu bölümün sonunda bu diyagrama tekrar döneceğim.

Şimdi biraz da *insan bilinci*'nden söz edeyim. Her şeyden önce, acaba bu konu bilimsel açıklamalar çerçevesinde yaklaşmamız gereken bir konu mudur? Benim görüşüm kuvvetle öyle olduğu yönündedir. Özellikle fiziksel dünya ile zihin dünyasını birleştiren ok işaretini büyük bir ciddiyetle ele almaktayım. Diğer bir deyişle, zihin dünyasını fiziksel dünya aracılığıyla anlamak zorunda kalmaktayız.

Figür 3.4'te fiziksel dünya ile zihin dünyasının bazı niteliklerini özetledim. Sağ yanda *fiziksel dünyanın* özellikleri sıralanmıştır. İlk iki bölümde değinildiği gibi, bu dünya şaşmaz matematiksel ve fiziksel yasalarca idare edilmektedir. Sol yanda ise *zihin dünyasına* ait olan bilinç ve sık sık karşılaştığımız "can", "ruh", "din" gibi sözcükler yer almaktadır. Günümüzde insanlar her konuda bilimsel açıklamalara pek düşkündürler. Bununla da kalmayıp, bir bilgisayara her türlü bilimsel betimlemeyi yerleştirebileceğinizi düşünmeye eğilimlidirler. Yani şayet elinizde belli bir konuya ait matematiksel bir betimleme bulunuyorsa, ilke olarak bunu bilgisayarın içine yerleştirebilmelisiniz. Bu, benim fiziksellik yanlısı eğilimime rağmen, bu bölümde *şiddetle karşı çıkacağım* bir kanıdır.

Figür 3.4'te fizik yasalarını nitelemek amacıyla *öngörüye yatkın* ve *hesaplamaya dayalı* ifadeleri kullanılmıştır. Bu ikisi, fizik yasalarımızda *belirlenircilik ilkesi*'nin yer alıp yer almadığına ve bu yasaların işleyişini bilgisayar benzetişimi yoluyla taklit edip edemeyeceğimize bağlıdır. Diğer yanda da duygular, estetik, yaratıcılık, esinlenme ve sanat gibi zihinsel etkinliklerin, hesaplamalara dayanan herhangi tür bir betimlemeden kaynaklandığını görmenin çok ender olduğu görüşüne yer verilmiştir. Karşı taraftaki "bilimsel" uçta bulunan bazı

insanlar şöyle diyebilirler: "Bizler hepimiz birer bilgisayarız. Bütün bu şeyleri nasıl tarif edebileceğimizi henüz bilmesek de, doğru hesaplama yöntemlerini nasıl yürüteceğimizi bir şekilde öğrenmiş olsaydık, Figür 3.4'teki listede yer alan zihinsel özellikteki şeylerin hepsini tarif edebilirdik." *İçinden çıkan* ifadesi işte bu duruma karşılık kullanılmıştır. Bu insanlara kalırsa, bu nitelikler, doğru türde bir hesaplama işleminin "içinden çıkmaktadırlar."



Figür 3.4.

Bilinç nedir? Doğrusu, bunu nasıl tanımlayacağımı bilmiyorum. Bana kalırsa bilinci tanımlamak için hiç de uygun bir zaman değil,

çünkü onun ne olduğunu hiçbirimiz bilmiyoruz. Bunun fiziksel olarak yanına yaklaşılması mümkün bir kavram olduğunu düşünmekteyim. Ama bu aşamada onu tanımlamaya çalışmak herhalde yanlış bir tanım sunmak olacaktır. Yine de bir dereceye kadar tarif etmeye çalışacağım. Bana öyle geliyor ki, bilincin en az iki değişik yönü vardır. Bir yanda bilincin, *farkındalığı* içine alan *pasif* tezahürleri mevcuttur. Renklerin ve armoninin algılanması ile hafızanın kullanılması gibi durumları bir araya toplamak amacıyla bu kategoriyi kullanmaktayım. Diğer yanda ise, bilincin, özgür irade ve özgür iradeyle iş görme gibi kavramları içeren *aktif* tezahürleri bulunmaktadır. Buna benzer terimler bilincin değişik yönlerini yansıtmaktadır.

Burada esas olarak bilinci temelden içeren başka bir şey üzerinde yoğunlaşacağım. Bilincin hem pasif hem de aktif yönlerinden farklı olan ve belki de bu ikisinin arasında bir yerlerde bulunan bir şey bu. Ben bunu *anlayış* ya da çoğu durumda daha uygun bir sözcük olan *içgörü* terimleriyle karşılamaktayım. Bu terimlerin de tanımlarını yapmayacağım. Çünkü ne anlama geldiklerini bilmiyorum. Anlamadığım iki sözcük daha var: *Farkındalık* ve *zekâ*. Güzel; peki madem ne anlama geldiklerini bilmiyorum, neden böyle şeylerden bahsediyorum? Herhalde bir matematikçi olmamdan ve matematikçilerin de böyle durumlara pek aldırış etmemelerinden dolayı olsa gerek. Matematikçiler, aradaki *bağlantılar* konusunda bir şeyler söyleyebildikleri sürece, konuştukları şeyler hakkında kesin tanımlamalar yapma gereği duymazlar. Burada kilit noktası, görebildiğim kadarıyla zekânın anlayışı gerektirmesidir. Herhangi bir anlayışın mevcut olduğunu yadsımamız halinde zekâdan söz etmek bana mantıksız görünmektedir. Bunun yanı sıra hiçbir farkındalığın olmadığı bir anlayış da bana saçma gelmektedir. Anlayış belli bir farkındalığı gerektirir. Bu da ikinci kilit noktası. Bu duruma göre demek ki zekâ farkındalığı gerektirmektedir. Her ne kadar bu terimlerin hiçbirini tanımlamasam da, birbirleriyle olan ilişkileri konusunda diretmek bana gayet anlamlı gözükmektedir.

Bilinçli düşünme ile hesaplamanın birbirleriyle olan ilişkileri konusunda göz önüne alınabilecek türlü bakış açıları mevcuttur. Tablo

3.1'de farkındalığa ilişkin dört yaklaşımı A, B, C, D başlıkları altında özetledim.

A harfi ile belirttiğim bakış açısı zaman zaman *güçlü yapay zekâ* (güçlü YZ) veya (hesaba dayalı) *işlevsellik* adlarıyla da bilinir. Bu görüş, düşünmenin bütünüyle belli bir hesaplama işleminin gerçekleştirilmesinden ibaret olduğunu, bu sebeple, uygun hesaplamaların yapılması sonunda farkındalığın ortaya çıkacağını öne sürmektedir.

İkinci bakış açısını *B* harfi ile gösterdim. Buna göre, beynin işleyişini sahibi belli bir şeyin farkındalığı halinde iken taklit edebilirsiniz. *A* ile *B* arasındaki fark şudur: Bu işleyiş taklit edilebilse de, *B*'ye göre bu taklit kendi başına birtakım duygulara veya herhangi bir farkındalığa sahip olamaz. Bu noktada muhtemelen nesnenin fiziksel inşasıyla ilgili başka birtakım şeyler de devrededir. Yani nöronlardan ve bunun gibi diğer birtakım bileşenlerden yapılmış olan bir beynin farkındalık haline ulaşması sağlanabilse de, bu beynin işleyişinin bir taklidi böyle bir farkındalığa ulaşamaz. Bildiğim kadarıyla bu, John Searle'ın öncülüğünü yaptığı bir görüştür.

Bunun ardından *C* harfi ile belirttiğim benim kendi görüşüm gelmektedir. Bu görüşe göre *B* haklı olup, beynin fiziksel işleyişinde farkındalığa yol açan bir şeyler bulunmaktadır. Bir başka deyişle fiziksel düzeyde dikkate almamız gereken bir şeyler vardır. Ancak bu fiziksel işleyiş, hesaplama yöntemiyle taklit edilmesi dahi mümkün olmayan bir şeydir. Bu işleyişi tatbik edebileceğimiz bir benzetişim söz konusu olamaz. Bu demek oluyor ki, beynin fiziksel işleyişinde hesaplama yöntemiyle erişilemeyen bir şeyler olmalıdır.

Son olarak her zaman mevcut olan bir *D* görüşü de bulunmaktadır. Buna göre bu meselelere bilim kapsamında bakmak baştan sona bir hatadır. Farkındalığı bilimsel yolla açıklamak herhalde hiç mi hiç mümkün değildir.

Tablo 3.1

A	Düşünme bütünüyle bir hesaplamadır. Bilinçli farkındalık halinde yaşanan duygulara yol açan yalnızca uygun hesaplamaların tatbik edilmesidir.
B	Farkındalık beynin fiziksel işleyişine ait bir özelliktir. Ancak fiziksel işleyiş her yönüyle, hesaplama yöntemleri sayesinde taklit edilebilse de, hesaplama yöntemi ile elde edilen bu taklit kendi başına bir farkındalığa yol açamaz.
C	Farkındalığa yol açan, beynin uygun biçimde fiziksel işleyişidir. Fakat bu fiziksel işleyiş hesaplama yöntemi ile eksiksiz bir biçimde taklit dahi edilemez.
D	Farkındalığı fiziksel olarak, hesap yöntemiyle veya diğer herhangi bir bilimsel yolla açıklamak olanaksızdır.

C görüşünün öncülüğünü yapanların arasında ben varım. Öte yandan *C* görüşünün türlü biçimleri bulunmaktadır. *Zayıf C* ve *güçlü C* diye söylenebilecek iki şekli vardır. *Zayıf C* şu görüşe yer vermektedir: Bilinen fizik kapsamında, hesap ötesi bazı işleyişlere rastlamanız pekâlâ mümkündür; yapmanız gereken tek şey dikkatle bakmaktır. "Hesap ötesi" deyimini biraz daha açmam gerekecek; bunu da az sonra yapacağım. *Zayıf C*'ye göre hesaplanamayan nitelikte uygun bir işleyişe rastlayabilmemiz için, bilinen fizik sınırların dışına çıkmamıza hiç gerek yoktur. Buna karşın *güçlü C*, bilinen fizik sınırlarının dışında bir şeylerin söz konusu olması gerektiğini öne sürmektedir. Buna göre fizik kapsamındaki anlayışımız, farkındalığı tarif etmek açısından uygun değildir; bu, yetersiz bir anlayıştır. 2. Bölüm'den anımsayacağınız gibi, ben gerçekten de fizik betimlememizin yetersiz olduğu kanaatindeyim. Figür 2.17'de buna işaret etmiştim. *Güçlü C* görüşüne göre, bilimin gelecekte bilincin doğasını açıklaması mümkündür, ama günümüz bilimi bunu yapamamaktadır.

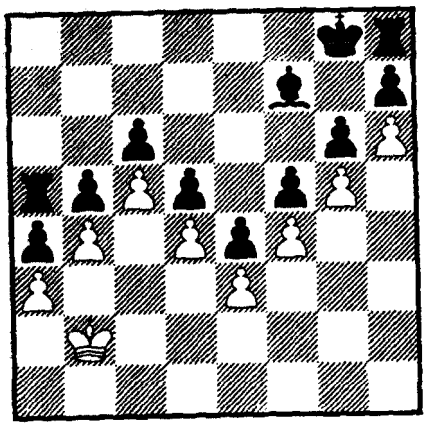
Figür 2.17'ye üzerlerinde yorum yapmadığım bazı ifadeler eklemiştim; örneğin *hesaplanabilir* ifadesini. Standart betimleme kapsamında kuantum seviyesinde, temel olarak hesaplanabilir bir fizikle karşılaşılmaktadır; klasik seviyede de, hesaplanabilir süreksiz (discrete, ç.n.) sistemlerden sürekli sistemlere nasıl geçileceği konusunda teknik açıdan bazı soru işaretleri bulunsa da, muhtemelen, hesaplanabilir bir fizikle karşılaşılmaktadır. Soru işaretlerinin bulunduğu nokta önemli bir noktadır; ancak bu aşamada buna aldırış etmemekteyim. Aslına bakılırsa *zayıf C* görüşünü savunanların, belirsizliklerin bulunduğu bu noktalarda, hesaplanabilir bir betimleme çerçevesinde açıklanamayan birtakım özelliklere rastlayabilmeleri gerekir.

Geleneksel betimleme kapsamında kuantum seviyesinden klasik seviyeye varabilmek için, benim *R* harfiyle belirttiğim ve baştan sona olasılıkçı bir işleyiş olan yönteme yer vermekteyiz. Bu durumda hesaplanabilirlik ile rastgelelik bir arada karşımıza çıkmaktadır. Ben bunun yeteri kadar iyi olmadığı yönünde bir eleştiri ortaya atmaktayım. Bana kalırsa ihtiyacımız olan şey başka türlü bir şeydir. Bu iki seviye arasında köprü kurması beklenen yeni kuram, hesaplanamayan bir kuram olmak zorundadır. Bu deyimle kastettiğim şeyi az sonra biraz daha açacağım.

İşte, benim *güçlü C*'ye ilişkin yorumum budur. Kuantum seviyesi ile klasik seviye arasında köprü kuracak bir fizikte hesaplanamayan bir nitelik aramaktayız. Bu oldukça yüklü bir sipariştir. İhtiyaç duyduğumuz şeyin yalnız yeni bir fizik değil, aynı zamanda beynin işleyişine de uygun düşen yeni bir fizik olduğunu iddia etmekteyim.

Her şeyden önce isterseniz, anlayışımıza göre hesap ötesi bir şeyin varolmasının akla yatkın olup olmadığı sorusuna bir değinelim. Basit bir satranç probleminden oluşan çok güzel bir örnek sunmak istiyorum. Günümüzde bilgisayarlar çok iyi satranç oynamaktadırlar. Gelgelelim Figür 3.5'te görülen satranç problemi, zamanının en güçlü bilgisayarı olan Derin Düşünce bilgisayarına verildiğinde, bilgisayar çok aptalca bir şey yaptı. Mevcut pozisyonda beyazlara nazaran siyahlar sayıca epeyce üstündür; siyahların iki kale ve bir fil fazlalıkları

var. Şayet siyah karelere yerleşmiş piyonlardan oluşan bir engel bulunmasaydı, bu durum müthiş bir avantaj sağlardı. Böyle bir durumda beyazın yapmak zorunda olduğu tek şey, beyaz piyonlardan meydana gelen bariyerin arkasında dolanıp durmaktan ibarettir. Oyunu kaybetmek olası değildir. Gelgelelim bu pozisyon Derin Düşünce'ye sunulduğunda, Derin Düşünce siyah kaleyi bir çırpıda yedi ve böylelikle piyonlardan oluşan bariyeri bozarak, pozisyonu ümitsiz bir biçimde mağlubiyete sürükledi. Bilgisayarın böyle bir hamle yapmasının sebebi, belli bir sınıra kadar hamle üstüne hamle yapmaya, sonra da oturup taşları saymaya yahut buna benzer bir işleyişe programlanmış olmasıydı. Fakat bu şartlar altında bu yeterli gelmedi. Elbette üst üste hamleler yapmaya bir süre daha devam etseydi, doğru hamleyi bulma

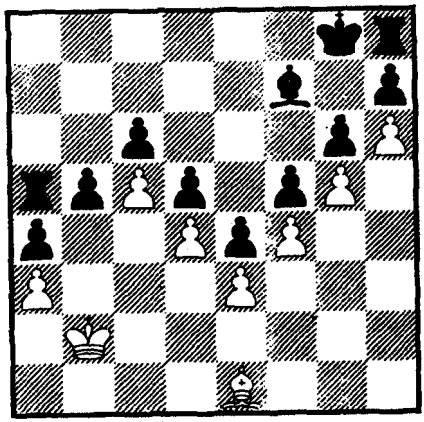


Figür 3.5. Hamle sırası beyazda. Bir insan için yan gelip yatılası bir durum olsa da, Derin Düşünce kaleyi aldı! (Problem: Willam Hartston; alıntı: Jane Seymore ve David Norwood, New Scientist, sayı 1889, s. 23, 1993).

yı belki becerebilirdi. Ne de olsa satranç hesaplamaya dayanan bir oyundur. Ancak böyle bir durumda oyuncu konumunda bulunan bir insan piyonların oluşturduğu barikatı görecek ve bunu aşmanın mümkün olmadığını anlayacaktır. Bilgisayarda ise bu anlayış mevcut değildi. O, saf bir biçimde hamle üstüne hamle hesaplamaya devam etti. Kısacası bu örnek, anlayış yeteneği ile, sırf hesap yapma arasındaki farkı ortaya koymaktadır.

Bir başka örneğe daha göz atalım (Figür 3.6). Beyaz fille siyah kaleyi almak için karşı konulması güç bir dürtü uyansa da, yapılabilecek en akıllıca hareket, beyaz fili piyonmuş gibi varsayıp piyonlardan oluşan bir barikat kurmaktır. Piyon barikatlarını teşhis etmeyi bilgisayara öğretmiş olsanız bile, bilgisayar ilk problemi büyük bir olasılıkla çözebilecek, ancak bu ikincinde başarısız olacaktır, çünkü bu daha yüksek bir anlayış seviyesi gerektirmektedir. Gerçi yeterince dikkatli çalışıldığında, olabilecek bütün anlayış kademelerini programa dahil etmenin mümkün olduğunu düşünebilirsiniz. Gerçekten de satranç konusunda bunu yapmanız belki mümkün olabilir. Ne de olsa satranç, altı üstü hesaplamaya dayanan bir oyundur ve yeterince güçlü bir bilgisayar yardımıyla, olabilecek bütün olasılıkları son noktasına dek hesaplayabilirsiniz. Gerçi bu, günümüz bilgisayarlarının kapasitesini aşan bir durum olsa da, prensip açısından gerçekleştirilmesi mümkün olabilir. Gelgelelim "anlayış" söz konusu olduğunda, doğrudan doğruya hesaplamadan başka şeylerin de işin içine girdiğini sezgileri insana söylemektedir. Hiç kuşkusuz, satranç problemlerine bizim yaklaşım tarzımızla bir bilgisayarınki arasında büyük farklılıklar vardır.

Anlayışımızda gerçekten de hesaplamadan farklı bir şeyler bulunduğuna dair daha güçlü bir kanıt ileri sürebilir miyiz? Doğrusu yapabiliriz. Her ne kadar bütün tartışmanın gerçekten de temel taşını oluştursa da, böyle bir kanıt üzerinde uzun uzadıya zaman harcamak niyetinde değilim. Öte yandan, bir parça teknik bir özellik taşımasına rağmen, bu kanıt üzerinde biraz durmak zorundayım. *Zihnin Gölgeleri*'nin ilk 200 sayfası, bu verecek olduğum kanıtta eksik gedik bulunmadığını göstermeye ayrılmıştır.



Figür 3.6. Hamle sırası beyazda. Bir insan için yan gelip yatması yine kolay bir durum olsa da, satranç uzmanı sıradan bir bilgisayar kaleyi alacaktır. (William Hartston ve David Norwood tarafından gerçekleştirilen bir Turing testinden alınmıştır).

Biraz da *hesaplamalardan* bahsedeyim. Bir bilgisayarın yaptığı şeye hesaplama denir. Gerçek bilgisayarların bellekleri sınırlıdır. Ancak ben *Turing makinesi* adı verilen ideal bir bilgisayarı göz önüne alacağım. Bu bilgisayar sınırsız bir belleğe sahip olması ve hesaplamayı hiç hata yapmaksızın ve hiç yorulmaksızın sonsuza dek sürdürebilmesi yönünden, genel amaçlı sıradan bir bilgisayardan ayrılmaktadır. Şimdi bir hesaplama örneği vereyim. Bir hesaplama yalnızca aritmelik işlemleriyle sınırlı kalmak zorunda değildir; mantıksal işlemleri de içerebilir. Örnek olarak:

• *Üç tamkare sayının toplam olmayan bir sayı bulun.*

Sayıdan kastım O, 1, 2, 3, 4, 5, ... gibi bir doğal sayıdır. "Tamkare sayı"dan kastım da 0^2, 1^2, 2^2, 3^2, 4^2, 5^2, ... gibi sayılardır. Bu problemi şimdi anlatacağım şekilde çözebilirsiniz. Pratikte bunun uygulamasını yapmak bayağı aptalca görünmesine rağmen, hesaplama ile neyi anlatmaya çalıştığımızı gayet iyi örneklemektedir. O ile işe başlar ve bunun üç tane tamkare sayının toplam olup olmadığına bakarız. O'dan küçük veya ona eşit olan tamkare sayıları arar buluruz; bulduğumuz tek tamkare sayı 0^2 dir. Öyleyse deneyebileceğimiz tek şey

$$0 = 0^2 + 0^2 + 0^2$$

eşitliğidir ki bu doğru bir eşitliktir. O halde O sayısı, üç adet tamkare sayının toplamından meydana gelmiştir. Bir sonraki adımda 1 sayısını deneriz. Kareleri 1'den küçük veya ona eşit olan sayıların toplamlarını, olabilecek bütün değişik yollardan yazar ve aralarından üç tanesini toplayınca 1 elde edip etmediğimize bakarız. Ve ettiğimizi görürüz:

$$1 = 0^2 + 0^2 + 1^2$$

Bu hayli can sıkıcı yöntemi Tablo 3.2'de gösterildiği gibi sürdürecek olursak, 7 sayısına ulaştığımızda, 0^2, 1^2 ve 2^2 tamkare sayılarını hangi kombinasyonda birbirlerine eklersek ekleyelik, 7 sayısını elde etmemizin mümkün olmadığını görürüz. Tabloda bütün olasılıklar gösterilmiştir. O halde cevap 7'dir; üç adet tamkare sayının toplamı olmayan en küçük sayı budur. Bu yöntem, hesaplamaya bir örnek teşkil etmektedir.

Yukarıdaki örnekte şansımız yaver gitti, çünkü hesaplama belli bir noktada son buldu. Öte yandan hiç sona ermeyen türden hesapla-

malar da vardır. Örnek olarak, aynı problemi bir parça değiştirmiş olayım:

• *Herhangi dört tamkare sayının toplamı olmayan bir sayı bulun.*

On sekizinci yüzyıl matematikçisi Lagrange'ın adını taşıyan ünlü bir teorem vardır. Lagrange tarafından ispatlanan bu teoreme göre her sayı, dört tane tamkare sayının toplamı halinde ifade edilebilir. Lakin hiç düşünmeden safça bir zihniyetle böyle bir sayı elde etmeye girişecek olsanız, bilgisayarın sonsuza dek bir cevaba varmaksızın işleme saplanıp kalması işten bile değildir. Bu, hiç bitmeyen hesaplamalar da bulunduğu gerçeğine bir örnek teşkil etmektedir.

Lagrange Teoremi'ni ispatlamak oldukça kurnazlık gerektiren bir iştir. Bu yüzden aradaki farkı herkesin anlayabileceğini umduğum daha kolay bir örnek vereyim:

• *İki çift sayının toplamı olan bir tek sayı bulun.*

Denenen Sayı 0	Tamkare	0 olanlar	0^2	$0 = 0^2 + 0^2 + 0^2$
Denenen Sayı 1	Tamkare	1 olanlar	$0^2, 1^2$	$1 = 0^2 + 0^2 + 1^2$
Denenen Sayı 2	Tamkare	2 olanlar	$0^2, 1^2$	$2 = 0^2 + 1^2 + 1^2$
Denenen Sayı 3	Tamkare	3 olanlar	$0^2, 1^2$	$3 = 1^2 + 1^2 + 1^2$
Denenen Sayı 4	Tamkare	4 olanlar	$0^2, 1^2, 2^2$	$4 = 0^2 + 0^2 + 2^2$
Denenen Sayı 5	Tamkare	5 olanlar	$0^2, 1^2, 2^2$	$5 = 0^2 + 1^2 + 2^2$
Denenen Sayı 6	Tamkare	6 olanlar	$0^2, 1^2, 2^2$	$6 = 1^2 + 1^2 + 2^2$
Denenen Sayı 7	Tamkare	7 olanlar	$0^2, 1^2, 2^2$	$7 \neq 0^2 + 0^2 + 0^2$
				$7 \neq 0^2 + 0^2 + 1^2$
				$7 \neq 0^2 + 0^2 + 2^2$
				$7 \neq 0^2 + 1^2 + 1^2$
				$7 \neq 0^2 + 1^2 + 2^2$
				$7 \neq 0^2 + 2^2 + 2^2$
				$7 \neq 1^2 + 1^2 + 1^2$
				$7 \neq 1^2 + 1^2 + 2^2$
				$7 \neq 1^2 + 2^2 + 2^2$
				$7 \neq 2^2 + 2^2 + 2^2$

Tablo 3.2.

Bunu yapması için bilgisayarınızı çalıştırırsanız sonsuza dek çalışır durur. Çünkü biliyoruz ki, iki çift sayıyı birbirine eklediğimizde daima bir çift sayı elde ederiz.

Şimdi de fazlasıyla kurnazca bir örnek:

• *İki asal sayının toplamı olmayan 2'den büyük bir çift sayı bulun.*

Bu hesaplama biter mi? Genel kanı bitmeyeceği yönündedir. Ama bu yalnızca tahmini bir varsayımdır ve Goldbach Varsayımı olarak bilinir. Bu öylesine zor bir sorudur ki, kimse doğru olup olmadığından emin değildir (bitip bitmeyeceğinden; ç.n.). Böylece biri kolay, biri zor, bir tanesi de henüz hiç kimsenin gerçekten sona erip ermeyeceğinden emin olmadığı üç tane bitmeyen hesaplama görmüş olduk.

Şimdi şu soruyu soralım:

• Kimi hesaplamaların sonlanmadığından kendi kendilerine emin olmak için acaba matematikçiler belli bir hesap algoritmasından mı (diyelim ki A) yararlanmaktadırlar?

Sözgelimi Lagrange, kafasının içinde, her sayının dört tamkarenin toplamından meydana geldiği nihai sonucuna kendini ulaştıran bir çeşit bilgisayar programı mı taşımaktaydı? Bunu anlamak için Lagrange olmanıza gerek yoktur. Lagrange'ın öne sürdüğü kanıtlamayı okuyup anlayabiliyor olmanız yeterlidir. İlgilendiğim şeyin özgün olma sorunuyla bir ilgisi bulunmadığına dikkat edin. Yalnızca anlayış sorununa eğilmekteyim. Soruyu yukarıdaki biçimde arz etmemin sebebi budur. "Kendi kendilerine emin olmak" sözü bir anlayış oluşturmak anlamına gelmektedir.

İncelemekte olduğumuz bu gibi bildirimlere karşılık olarak kullanılan teknik deyim π_1*-cümlesidir*. Bir π_1*-cümlesi*, belli bir hesaplamanın sonlanmadığına yönelik bir iddiadır. Az sonraki kanıtlamayı anla-

yabilmeniz için, yalnızca buna benzer bildirimleri göz önüne almanız yeterli olacaktır. Böylelikle, A gibi bir algoritmanın bulunmadığına sizi ikna etmek istiyorum.

Bunu başarabilmek için azıcık genelleme yapmak zorundayım. Bir *n* doğal sayısına dayalı hesaplamalardan söz etmeliyim. Örneğin:

• *n tane tamkare sayının toplamı olmayan bir doğal sayı bulun.*

Lagrange Teoremi'nden bildiğimiz kadarıyla, *n* dört ya da daha fazla olduğunda hesaplama sona ermemektedir. Ancak *n* en fazla üç olduğu durumlarda sonlanmaktadır. Sıradaki hesaplama şu:

• *n tane çift sayının toplamı olan bir tek sayı bulun.*

Doğrusu, *n*'nin kaç olduğunun hiçbir önemi yoktur; bunu bilmenin size hiçbir yararı dokunmayacaktır. *n* kaç olursa olsun, bu hesaplama bitmez. Goldbach Varsayımı'nı genelleştirirsek şunu elde ederiz:

• *n taneye kadar asal sayıların toplamı olmayan 2'den büyük bir çift sayı bulun.*

Eğer Goldbach Varsayımı doğru ise, bu hesaplama n kaç olursa olsun (O ve 1 hariç olmak üzere) bitmeyecektir. Bir bakıma *n* ne kadar büyürse, bunu söyleyebilmek o kadar kolaylaşır. Hatta ben, *n*'nin yeterince büyük bir değeri için hesaplamanın "sonlanmayan" cinsten olduğunun bilinebileceği bir *n* değeri bulunduğuna inanmaktayım.

Önemli olan nokta, bu çeşit hesaplamaların bir *n* doğal sayısına dayanmasıdır. Bu, *Gödel Kanıtlaması* adıyla bilinen ünlü kanıtlamanın da odak noktasını oluşturmaktadır. Bu kanıtlamayı, Alan Turing tarafından sunulan biçimiyle ele almak istiyorum. Ama yine de onun

kanıtlama biçimini kendi öne sürdüğü tarzdan biraz farklı bir tarzda kullanacağım. Matematiksel kanıtlamalardan hoşlanmıyorsanız, bu kısmı geçebilirsiniz. Bizim için önemli olan sonuçtur. Ama aslında kanıtlamanın kendisi karmaşık değil, sadece kafa karıştırıcıdır!

Bir *n* sayısı üzerinden işleyen hesaplamalar aslında birer bilgisayar programı yazabilir ve her birini bir *p* sayısı ile eşleyebilirsiniz. Sonra da *p* sayısı için belli bir değer seçip, bunu genel amaçlı bilgisayarınıza verecek olursanız, bilgisayar hangi *n* değerini seçtiğinize bağlı olarak bu "*p*'inci" hesaplamayı yapmak üzere tıkır tıkır işlemeye başlayacaktır. Bizim işaretleme düzenimizde *p* sayısı bir alt gösterge olarak kullanılmıştır. Bir *n* sayısı üzerinden işleyen bu bilgisayar programlarını ya da hesaplamaları birer birer sıralıyorum:

$$C_0(n), C_1(n), C_2(n), C_3(n), ..., C_p(n), ...$$

Bu listenin, olabilecek *bütün* $C_p(n)$ hesaplamalarının listesi olduğunu ve bu bilgisayar programlarını, *p* sayısı sıralamada *p*'inci programa karşılık gelecek şekilde düzgün bir şekilde sıraya sokabildiğimizi varsayacağız. Böylece $C_p(n)$ gösterimi, *n* doğal sayısı üzerinden çalışan *p*'inci programı belirtecektir.

İmdi, elimizde hesaplamaya dayalı, yani algoritmik bir A işlemi bulunduğunu varsayalım. Bu işlem (*p*, *n*) sayı ikilileri üzerinden işlesin ve işleyişin bitiminde bize, $C_p(n)$ hesaplamasının sonlanmadığına dair geçerli bir kanıt sunsun. A, her durumda işe yaramayacaktır. Şöyle ki, kimi $C_p(n)$ hesaplamalarının sonlanmayan cinsten olduğu kimi durumlarda A (*p*, *n*) işleminin kendisi de sonlanmayacaktır. Ancak yine de, A'nın aslında hata yapmadığını, bu yüzden eğer A (*p*, *n*) bir sona ulaşıyorsa, bu durumda $C_p(n)$'nin sonlanmayan türden olması gerektiğini ısrarla vurgulamak istiyorum. İnsan matematikçilerin, bir matematiksel önermenin (örneğin bir π_1-cümlesinin) bir hayli zor olan matematiksel kanıtını formülleştirmeye (veya okuyup anlamaya) çalı-

şırlarken hesaba dayalı bir A yöntemi doğrultusunda hareket ettiklerini düşünelim. Hatta A'nın ne olduğunu *bildiklerini* ve onun sağlam ve güvenilir bir yöntem olduğuna *inandıklarını* da varsayalım. Yapacağınız şey A'nın, hesaplamaların sonlu olmadığını ikna edici biçimde kanıtlayabilmek amacıyla, insan matematikçilerin yaptığı *bütün* işlemleri kendinde barındırdığını hayal etmeye çalışmak olacaktır. A işlemi, bilgisayar programını seçmek üzere p harfini okumakla ve hangi sayı değeri üzerinden işleyeceğini anlamak üzere de n sayısına bakmakla işe başlar. Sonra bir an gelip hesaplamaya dayalı A işlemi biterse, bu, $C_p(n)$ hesaplamasının bitmeyen türden olduğuna delalettir. Yani,

Eğer A (p, n) sonlanır ise, o halde $C_p(n)$ sonlanır değildir. (1)

A'nın görevi budur. Belli bazı hesaplamaların sonlanmadığından insanın kendi kendine su götürmez derecede emin olabilmesi için bir yöntem sunmaktadır.

Şimdi $p = n$ değerini koyduğumuzu varsayalım. Bunu yapmak ilk bakışta acayip görünebilir. Bu, *Cantor Köşegen Yöntemi* adıyla bilinen bir yöntemdir ve bu yöntemi bu durumda kullanmamızda hiçbir sakınca yoktur. Elde ettiğiniz sonuç şudur:

Eğer A(n, n) sonlanır ise, o halde $C_n(n)$ sonlanır değildir.

Ama budurumda A (n, n) yalnızca bir tek sayıya bağlıdır ve bu yüzden de $C_p(n)$ bilgisayar programlarından bir tanesi olmalıdır. Zira tek bir n değişkeni üzerinden işleyen hesaplamalar için bu liste gereğinden fazla ayrıntılıdır. A (n, n)'nin tıpkısı olan bilgisayar programının k ile belirtildiğini varsayalım. Öyleyse,

A (n, n) = $C_k(n)$

Şimdi n = k koyarsak şunu buluruz:

$A\ (k,\ k) = C_k(k)$

Sonra da (1) numaralı önermeye bakarak şu sonuca ulaşırız:

Eğer $A\ (k,\ k)$ sonlanır ise, o halde $C_k(k)$ sonlanır değildir.

Fakat $A\ (k,\ k)$ ile $C_k(k)$ aynı şeydir. Demek ki $C_k(k)$ sonlanır ise, o sonlanır değildir. Yani sona ermemektedir. Buradaki mantık apaçık meydandadır. Ama bakın nereye vardık: Bu özel hesaplama sonlanmamaktadır. Şayet A'nın güvenilirliğine inanıyorsak, o zaman $C_k(k)$ 'nin sonlanmadığına da inanmamız gerekir. Ama A'nın kendisi de sonlanmamaktadır; öyleyse $C_k\ (k)$'nin sonlanmadığından "haberi olamaz." Yani hepsi bir yana, hesaplamaya dayalı yöntem, belli bazı hesaplamaların sonlanmadığı hükmüne ulaşmada, bir başka deyişle π_1-cümlelerinin doğruluğunu ispatlamada, matematiksel uslamlamanın bütün yönlerine ulaşamaz. Bana gerekli olan biçimiyle Gödel-Turing kanıtlamasının anafikri budur.

Bu kanıtlamanın asıl önemini merak ediyor olabilirsiniz. Apaçık olarak ifade ettiği şey şudur: Matematiksel içgörü, ***doğru olduğundan emin olabileceğimiz*** bir hesaplama biçiminde kodlanmış olamaz. İnsanlar kimi zaman bu yargıyı eleştirseler de, bence açıkça ima edilen şey budur. Turing ve Gödel'in bu sonuç hakkında neler söylediklerini okumak ilginç olacaktır. Turing'in ifadesi şöyle:

> Diğer bir deyişle, bir makinenin yanılmayan bir niteliğe sahip olması bekleniyorsa, aynı zamanda da zeki olması beklenemez. Bunu aşağı yukarı aynen bu şekilde ifade eden türlü teoremler vardır. Ancak bu teoremler, makinenin yanılmazlıktan yana hiçbir belirti göstermemesi durumunda, ortaya konulan zekânın derecesi

hakkında bir şey söylememektedirler.

Kısacası onun düşüncesine göre, eğer matematiksel doğruluğu tespit ederken takip edilen algoritmik işlemlerin temelden *çürük ve güvenilmez* oldukları kabul edilecek olursa, Gödel-Turing türü kanıtlamaların, matematikçilerin öz açısından birer bilgisayar oldukları fikriyle bağdaştırılmaları mümkündür. Dikkatimizi aritmetik önermelerle, sözgelimi oldukça koşullandırıcı bir önerme türü olan π_1-cümleleriyle sınırlandırabiliriz. Zannedersem Turing'in asıl düşündüğü şey, insan zihninin hakikaten algoritmalar kullandığı, ancak bu algoritmaların yanlış, yani gerçekten de çürük ve güvenilmez olduklarıydı. Bence bu bakış açısı hiç de akla yatkın değildir. Çünkü her şeyden önce burada üzerinde durulan nokta insanın nereden esinlendiği değil, belli bir ispatı nasıl takip edebildiği ve nasıl anladığıdır. Bana öyle geliyor ki, Turing'in tavrı pek mantıklı değildir. Benim değerlendirmeme göre Turing herhalde *A* görüşlü bir insandı.

Şimdi de Gödel'in neler söylediğine bakalım. Benim değerlendirmeme göre, o *D* görüşlü bir insandı. Yani, önlerindeki kanıtlama aynı kanıtlama olmasına rağmen, Turing ve Gödel temelde taban tabana zıt yargılara varmışlardı. Ancak ne var ki, Gödel matematiksel içgörünün hesaplamaya indirgenebileceğine her ne kadar inanmadıysa da, bu olasılığı hiç tereddüt etmeden kaldırıp atmayı da göze alamamıştı:

> Diğer yandan, buraya kadar yapılan ispatlama temel alındığında, gerçekten de matematiksel sezgiye denk olan, ama ne böyle olduğu, ne de doğruladığı teoremlerin her durumda sonlu sayılar kuramının doğru teoremleri olduğu ispatlanamayan bir teorem ispatlama makinesinin var olması (hatta deneysel olarak keşfedilmesi) olasılığı yine de mevcuttur.

Gödel'in öne sürdüğü şey, Gödel-Turing kanıtlamasının hesaplamacılık (ya da işlevselcilik) fikrinin çürütülmesi amacıyla doğrudan

kullanımı konusunda bir "açık kapı" bulunduğuydu. Buna göre matematikçiler sağlam ve güvenilir olan, ancak sağlam ve güvenilir olduğundan emin olamayacağımız algoritmik bir yöntem kullanıyor olabilirlerdi. Yani Gödel'in açık kapı olduğunu düşündüğü nokta *bilinebilirlik* durumu, Turing'in üzerinde durduğu nokta da *sağlamlık ve güvenirlik* durumuydu.

Benim kendi görüşüm, bu çıkarımların ikisinin de, kanıtlamadan çıkması kabul edilebilir çıkarımlar olmadığı yönündedir. Gödel-Turing teoreminin söylediği şudur: (π_1 -cümlelerini oluşturmak üzere kullanılan) algoritmik işlemlerden herhangi birinin sağlam ve güvenilir olduğunun saptanması durumunda, derhal bunun dışına çıkan bir şey sergilemeniz mümkündür. Sağlamlığından ve güvenilirliğinden emin olamadığımız algoritmik bir işlem kullanıyor ve bu yeteneğimizi geliştirmemizi sağlayan bir tür öğrenme mekanizmasından yararlanıyor. Bu konu, diğer pek çok konuyla birlikte *Zihnin Gölgeleri* adlı kitabımda *bezdirinceye değin* işlenmiştir. Burada konuyu bu derece dallandırıp budaklandırmak niyetinde değilim. Yalnızca iki şeye değineceğim.

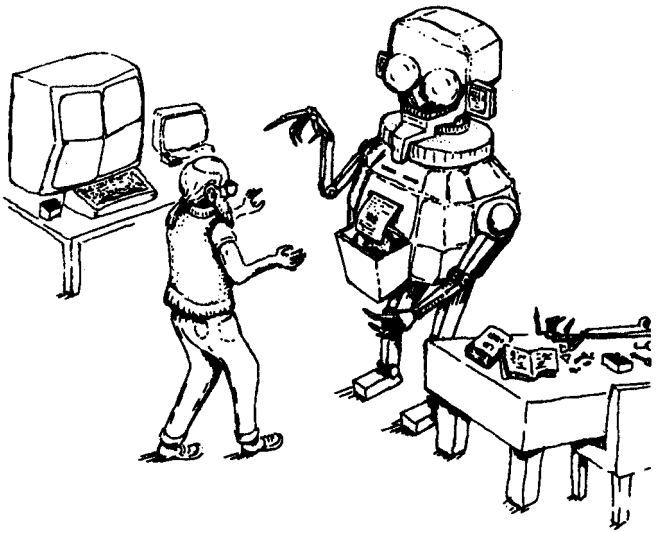
Acaba bu varsayımsal algoritma nasıl doğmuştur? İnsan varlıklarında, tahminen doğal ayıklanma yoluyla doğmuş olmalıdır. Robotlarda ise maksatlı bir YZ (Yapay Zekâ) üretimi yoluyla oluşturulmuş olmalıdır. Bunlarla ilgili kanıtlamalara ayrıntısıyla girmeyip, kitabımdan seçtiğim iki karikatürle örneklemekle yetineceğim.

İlk karikatür *doğal ayıklanma* ile ilgilidir (Figür 3.7). Matematikçinin, doğal ayıklanma görüşü açısından pek de ümit verici bir konumda bulunmadığını görebilirsiniz. Çünkü fark ettiyseniz, arkasında, üzerine atılmak üzere olan keskin dişli bir kaplan bulunmaktadır. Karikatürün öbür ucunda bulunan akrabaları ise tam tersine mamut avlamakta, evler inşa etmekte ve ürün yetiştirmektedirler. Bütün bu uğraşlar, matematiğe özgü olmasa da anlayış gerektiren uğraşlardır. Bu nedenle, anlayışın kalitesi seçilmemizde etken olmuş olsa da, matematikle uğraşmak için gerekli olan algoritmik işlemler için aynı şey söylenemez.



Figür 3.7. İlk atalarımız için karmaşık düzeyde bir matematikle ilgilenebilecek derecede sivrilmiş bir yetenek hemen hemen hiçbir seçici avantaj sağlamasa da, genel düzeyde bir *anlayış* yeteneği pekâlâ bunu yapabilirdi.

Diğer karikatür *maksatlı YZ üretimi* hakkındadır. (Figür 3.8). Kitabımda, geleceğin YZ uzmanının robotla tartışmasına değinen küçük bir öyküye yer vermiştim. Kitapta sunulan kanıtlamanın tamamı epey uzun ve karmaşıktır. Bu yüzden buna burada uzun uzadıya değinmeye gerek görmüyorum. Gödel-Turing kanıtlamasını kendine has kullanım tarzım, her türlü insan tarafından, olabilecek bütün açılardan saldırıya uğramıştı ve bu farklı iddiaların hepsine de hitap etmek gerekiyordu. *Gölgeler* kitabında öne sürülen bu kanıtlamaların büyük çoğunluğunu, YZ uzmanı ile robot arasında geçen tartışmada bir çatı altında toplamaya çalıştım.



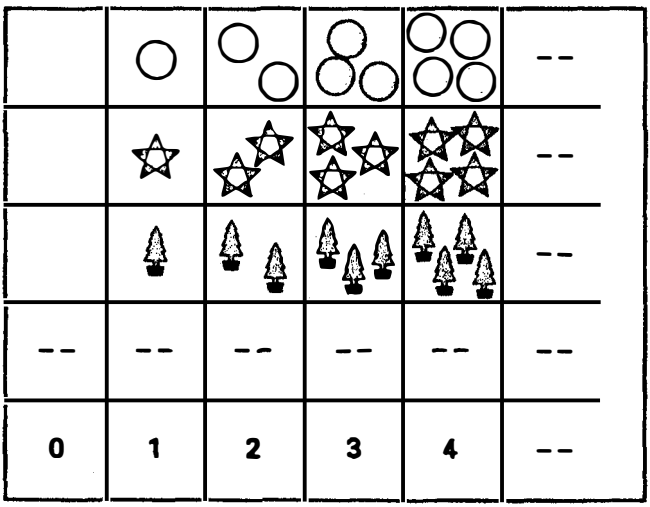
Figür 3.8. Yener Zoryener (Albert Imperator; AI=Artificial Intellingence:Yapay Zekâ=YZ; ç.n.) Doğruluğu matematikle Kanıtlanmış Sibersistem ile hesaplaşırken. *Zihnin Gölgeleri* kitabının ilk 200 sayfası, Gödel-Turing kanıtlamasının kullanımına yöneltilen eleştirileri çürütmeye ayrılmıştır. Bu yeni iddiaların bir özetine, YZ uzmanı ile robotu arasında geçen karşılıklı konuşmada yer verilmiştir.

Şimdi tekrar neler olup bittiği sorusuna dönelim. Gödel'in kanıtlaması sayılarla ilgili özel önermeler içermektedir. Gödel'in bize söylediği, hesaplama kurallarından oluşan hiçbir sistemin *doğal sayıların*

özelliklerini nitelemeye yetmeyeceğidir. Doğal sayılar hiçbir hesaplama yöntemiyle nitelenemeseler de, bütün çocukların onların ne olduğundan haberleri vardır. Bütün yapacağınız, çocuğa, Figür 3.9'da örneklendiği gibi farklı sayıda birtakım nesneler göstermektir. Böyle özel bir yolla ifade ediliş biçimine bakarak çocuk, bir süre sonra doğal sayı fikrini kendi kafasında soyutlamayı başaracaktır. Çocuğa verdiğiniz şey bir dizi hesaplama kuralı değildir. Yaptığınız şey, çocuğun doğal sayıların ne olduğunu "anlamasını" sağlamaktır. Bana kalırsa çocuk, matematiğin Platoncu dünyasıyla bir tür "temas" kurmayı başarabilmektedir. Bazı insanlar matematiksel içgörü hakkında bu tarzda konuşulmasından hoşlanmamaktadırlar. Halbuki benim görüşüme göre, neler olup bittiğini anlamaya çalışan birisinin, doğal olarak bu özelliklere sahip bir görüşü benimsemesi şarttır. Her nasılsa, doğal sayılar "orada" yerli yerinde durmakta ve Platoncu dünya içinde bir yerlerde var olmaya devam etmektedirler. Biz de olup bitenlerin farkına varabilme yeteneğimiz sayesinde bu dünyaya erişim sağlayabilmekteyiz. Şayet anlayışsız birer bilgisayardan ibaret olsaydık, bizde böyle bir yeteneğin bulunmaması gerekirdi. Gödel Teoremi'nin de gösterdiği gibi, doğal sayıların doğasını kavramamızı sağlayan şey kurallar değildir. Doğal sayıların "ne olduklarını" anlamak Platoncu temasa iyi bir örnek teşkil etmektedir.

Bu yüzden ben daha genel olarak demekteyim ki, matematiksel anlayış hesaplamaya dayalı bir şey değil, çok daha farklı, olup bitenlerin farkına varma yeteneğine dayalı bir şeydir. Birileri çıkıp şunu söyleyebilir: "İspatladığınızı iddia ettiğiniz tek şey matematiksel içgörünün hesaplamaya dayanmadığıdır. İyi hoş da, bu diğer bilinç biçimleri hakkında fazlaca bir şey söylememektedir." Halbuki benim gördüğüm kadarıyla bu yeterince iyidir. Matematiksel anlayışla öteki tür anlayışlar arasına belli bir çizgi çekmek anlamsızdır. İlk karikatürümle örneklemeye çalıştığım şey bu idi (Figür 3.7). Anlayış, matematiğe özgü olmayan bir şeydir. İnsan varlıklarında bu genel anlayış yeteneği gelişim halindedir ve hesaplamaya dayanan bir yetenek *değildir*. Değildir çünkü matematiksel anlayış da hesaplamaya dayalı

değildir. Böyle bir çizgiyi, insan anlayışı ile, genel olarak insan bilinci arasına da çekmekteyim. Yani her ne kadar insan bilincinin ne olduğunu bilmediğimi ifade ettiysem de, bana öyle geliyor ki insan anlayışı onun bir örneğidir yada en azından onu gerekli kılan bir şeydir. Kezâ insan bilinci ile hayvan bilinci arasına da bir çizgi çekecek değilim. Bu noktada türlü kesimden insanların karşısında başıma dert açıyor olabilirim. Benim gördüğüm kadarıyla, insanlar diğer pek çok hayvan türüyle benzer özelliklere sahiptir. Gerçi olup bitenler hakkında akrabalarımızın bir kısmından bir parça daha iyi bir anlayışa sahip olduğumuz kesindir; ama sonuçta onlar da ne de olsa belli ölçüde bir anlayış sahibidirler. Dolayısıyla bir farkındalığa da sahip olmaları gerekir.



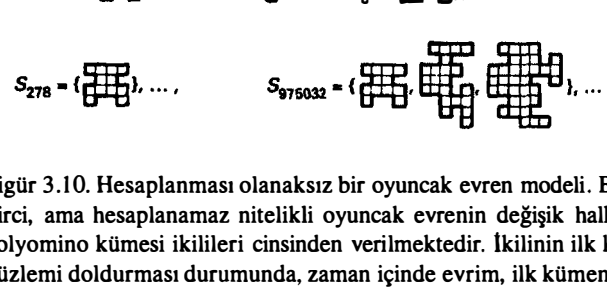
Figür 3.9. Platoncu açıdan doğal sayı fikri, basit birkaç örnek yardımıyla bir çocuk tarafından rahatlıkla soyutlanabilir.

Bu sebeple, *kimi* yönleriyle, örneğin matematiksel anlayış açısından, bilincin hesaplanamaz nitelikte oluşu, hesaplanamama niteliğinin *bütün* bilinçler için ortak bir özellik olduğuna kuvvetli bir biçimde işaret etmektedir. Benim önerim budur.

İmdi, hesaplanamama deyimiyle neyi kastetmekteyim? Bundan çok söz ettim. O yüzden ne kastettiğimi anlatmak için hesaplanamayan nitelikte bir örnek versem iyi olacak. Size tarif edeceğim şey *oyuncak evren modeline* bir örnek teşkil etmektedir. Bu, fizikçilerin yapacak daha iyi bir şey tasarlayamadıkları zaman başvurdukları cinsten bir şeydir. (Yok aslında o kadar da kötü değil!) Oyuncak bir modelin, Evren'in gerçek bir modeli olma iddiasında bulunmadığını belirtmek gerekir. Evren'in belli bazı özelliklerini yansıtsa da, kastedilen şey, gerçek bir Evren modeliymişçesine ciddiye alınması gerektiği değildir. Bu özel oyuncak modelle elbette bu derece ciddi bir yaklaşımda bulunulmamaktadır. Sadece belli bir noktayı örneklemek amacıyla ortaya atılmıştır.

Bu modelde, zaman 0, 1, 2, 3, 4, ... diye kesikli bir biçimde akmaktadır ve Evren'in belli bir andaki hali bir *polyomino kümesi* ile belirtilmektedir. Polyomino kümesi nedir? Bazı örnekleri Figür 3.10.'da gösterilmiştir. Polyomino kümesi, düzlemsel bir şekil oluşturmak üzere türlü biçimlerde yan yana eklenmiş karelerden meydana gelen bir bütündür. Ben birden fazla polyomino kümesi ile ilgilenmekteyim. İmdi, bu oyuncak modelde evrenin belli bir andaki hali, iki ayrı sonlu polyomino kümesi ile belirtilmektedir. Figür 3.10'da, mümkün olan bütün sonlu polyomino kümelerini S_0, S_1, S_2, ... biçiminde sıralanmış bir liste halinde göz önüne getirmekteyim. Acaba bu acayip evrenin evrimi ya da dinamik yapısı nasıldır? İlk anda (S_0, S_0) polyomino kümeleriyle başlayıp, belirli ve şaşmaz bir kurala göre, başka polyomino kümesi ikililerıyle devam edeceğiz. Bu kural bütün düzlemi, verilen bir polyomino kümesinin polyominolarıyla kaplamamızın mümkün olup olmamasına dayanmaktadır. O halde mesele, bütün bir düzlemi yalnızca verilen kümenin polyominolarıyla, hiç boşluk kalmayacak ve dışa taşmalar olmayacak şekilde döşeyip döşeyeme-

yeceğiniz meselesidir. Şimdi diyelim ki, oyuncak evrenin modelinin belli bir andaki hali bir çift polyomino kümesi olan (S_q, S_r) ilişkisine karşılık gelsin. Bu modelin gelişim kuralı şudur: Eğer bütün düzlemi S_q kümesinin polyominolarıyla kaplayabiliyorsanız, takip eden âna karşılık (S_q+1, S_r) ikilisini elde etmek üzere S_q+1 kümesi ile devam edersiniz. Kaplayamıyorsanız, o halde kaldığınız yerden devam etmek için yukardaki ikiliyi ters çevirmeli, (S_r, S_q+1) ikilisini elde etmelisiniz. Bu, son derece basit ve aptal görünüşlü küçük bir evrendir. Peki yararı nedir? Burada anlatılmak istenen şey, böyle bir evrenin evrimi baştan sona belirlenirci olsa da (böylelikle size evrenin nasıl gelişmesi gerektiğini belirleyen son derece açık ve mutlak derecede belirlenirci bir kural sunmuş oldum) yine de ***hesaplanamaz*** nitelikte olduğudur. Robert Berger'in bir teoremi göstermektedir ki, bu evrenin evrimini bilgisayarda taklit edebilecek hiçbir yöntem mevcut değildir. Çünkü bir polyomino kümesinin düzlemi ne zaman kaplayacağını ölçüp biçebilecek hesaplamaya dayalı hiçbir ölçüm işlemi yoktur.



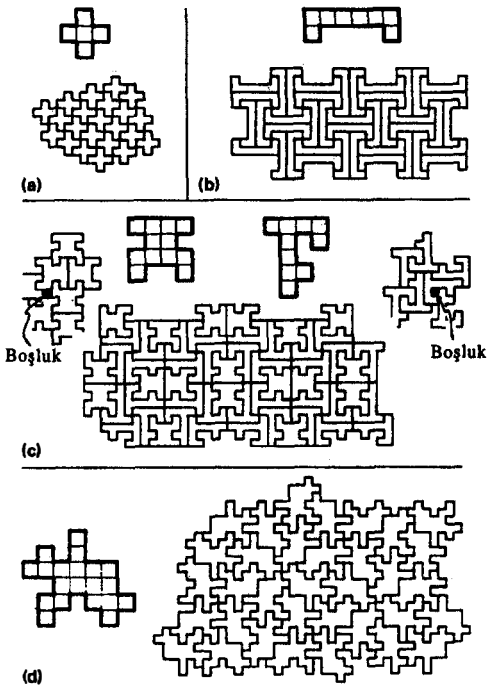
Figür 3.10. Hesaplanması olanaksız bir oyuncak evren modeli. Bu belirlenirci, ama hesaplanamaz nitelikli oyuncak evrenin değişik halleri, sonlu polyomino kümesi ikilileri cinsinden verilmektedir. İkilinin ilk kümesinin düzlemi doldurması durumunda, zaman içinde evrim, ilk kümenin sıra sayısının bir artması ve ikincisinin "yerinde sayması" suretiyle devam etmektedir. İlk kümenin düzlemi doldurmaması durumunda iki küme yer değiştirir ve evrim sürer gider. Bu gidiş şuna benzer bir gidiştir: (S_0, S_0), (S_0, S_1), (S_1, S_1), (S_2, S_1), (S_3, S_1), (S_4, S_1), ..., (S_{278}, S_{251}), (S_{251}, S_{279}), (S_{252}, S_{279}), ...

Bu, hesaplanabilirlik ile belirlenirciliğin farklı şeyler olduğunu göstermektedir. Figür 3.11'de polyomino örgülerinden örnekler verilmiştir. (a) ve (b) örneklerinde yer alan karolar, bütün düzlemi olduğu gibi kaplayabilmektedir. (c) örneğinde ise sol ve sağ yanlarda yer alan karolar düzlemi kendi başlarına döşeyemezler; her iki durumda da bazı noktalar boşta kalır. Ama bir arada kullanıldıklarında (c)'de görüldüğü gibi düzlemin tamamını kaplayabilirler. (d)'de görülen örnek de düzlemi doldurabilir. Ama bu ancak gösterilen yolla meydana gelebilir; bu da söz konusu örgülerin kimi zaman ne denli karmaşık bir hal alabileceğine işaret etmektedir.

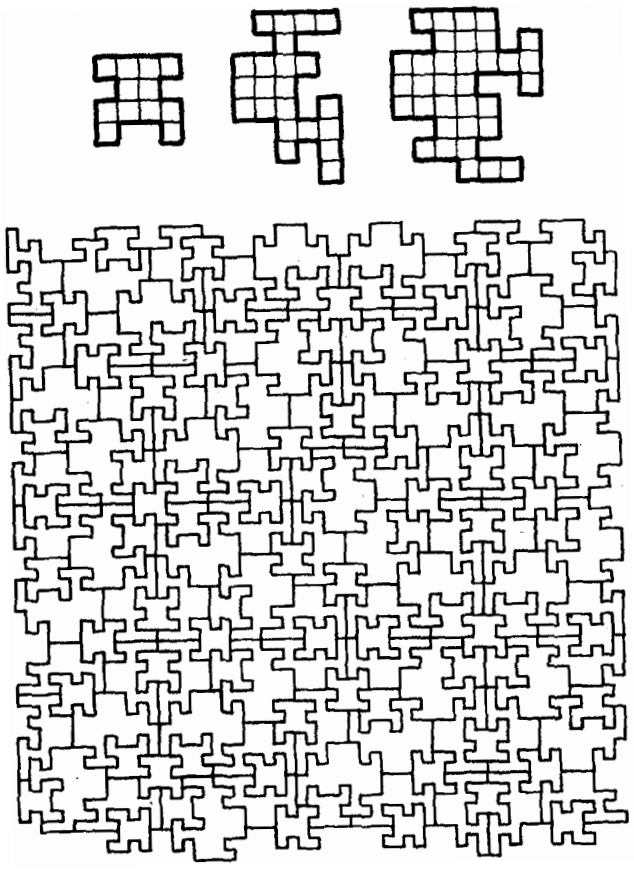
Hatta kimi zaman işler daha da sarpa sarabilir. Örnek olarak Figür 3.12'yi dikkatinize sunuyorum. Aslına bakarsanız Robert Berger'in teoremi buna benzer karo kümelerinin mevcudiyetine dayanmaktadır. Figürün üst kısmında görülen üç karo ile düzlemin tamamını kaplamak mümkündür. Ancak bunu, desenin kendini tekrar edeceği bir tarzda yapmak olanaksızdır. İşlemi sürdürdükçe karşımıza çıkan desen öncekilerden daima farklıdır ve bu işin başarılabileceğini görebilmek o kadar da kolay değildir. Ama aslında yapılabilir. Buna benzer kaplamların mevcut oluşu Robert Berger'in iddiasını haklı çıkarmaktadır. Buna göre bu oyuncak evreni taklit edebilecek hiçbir bilgisayar programı yoktur.

Peki ya gerçek Evren? Hatırlarsanız 2. Bölüm'de fiziğimizde temelden eksik olan bir şeyler bulunduğunu savunmuştum. Acaba fiziğin kendi konumu açısından, bu yitik fizikte hesaplanamaz nitelikte bir şeyler bulunabileceğini düşünmemizi gerektirecek herhangi bir sebep mevcut mudur? Sanırım buna inanmamızı gerektirecek bir sebep vardır. Doğru biçimini almış bir kuantum kütleçekim kuramı hesaplanamayan bir kuram olabilir. Bu fikir tepeden inme bir fikir değildir. Hesaplanamama niteliğinin, kuantum kütleçekimi konusundaki iki farklı yaklaşımın ortak bir özelliği olduğuna parmak basacağım. Bu iki yaklaşımın önde gelen özelliği, dört boyutlu uzay-zamanların kuantum düzeyinde üst üste binmesini öngörmeleridir. Diğer pek çok yaklaşım yalnızca üç boyutlu uzayların üst üste binmesini öngörmektedir.

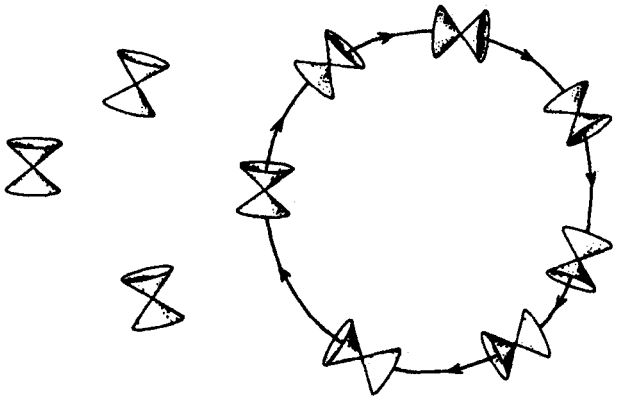
Bunlardan ilki Geroch-Harthe kuantum kütleçikimi yaklaşımıdır. Bu yaklaşım hesaplanması olanaksız bir öğeye yer vermektedir. Çünkü dayandığı öngörü, Markov'un, topolojik 4'lü manifoldların hesap yoluyla sınıflandırılamayacağı yönündeki bulgusudur. Bu teknik konuya burada girmeyeceğim; fakat bu göstermektedir ki, hesaplanamama özelliği aslında Genel Görelik ile kuantum mekaniğini birleştirme çabaları sırasında zaten çok doğal bir biçimde ortaya çıkmıştır.



Figür 3.11. Sonsuz Öklit düzlemini doldurabilen türlü polyomino kümeleri (karoları simetrik tarzda kullanmak serbesttir). Yalnız başlarına kullanıldıklarında (c) kümesindeki karoların hiçbirisi düzlemi dolduramaz.



Figür 3.12. Bu polyomino kümesi, düzlemi ancak periyodik olmayan bir tarzda doldurabilir.



Figür 3.13. Uzay-zaman içinde ışık konilerinde yeterince şiddetli bir bükülmenin meydana gelmesi durumunda, zaman yerine geçen kapalı akışların oluşması mümkündür.

Kuantum kütleçekimi yaklaşımları çerçevesinde hesaplanamama özelliğinin devreye girdiği ikinci alan David Deutsch'un çalışmasıdır. İlk defa, yayımlamış olduğu bir önyazıda değinilen çalışma sonradan bütün halinde yayımlandığında, insanı çileden çıkarırcasına, sözü edilen ispatın yerinde yeller esiyordu! Bunu ona sorduğumda, bu kısmı yanlış olduğu için değil, makalenin geri kalan kısmıyla bir ilgisi bulunmadığı gerekçesiyle çıkardığı konusunda beni temin etti. Onun görüşüne göre, komik biçimde üst üste binen bu uzay-zamanlarda, en azından bu evren adaylarından bazılarının, zaman yerine geçen kapalı bir akış (closed timelike lines; ç.n.) sergileyebilecekleri olasılığını göz önüne almalısınız (Figür 3.13). Bu durumda sebeplilik ilişkisi baştan sona sapıtmıştır, geçmiş ve gelecek birbirine karışmıştır ve sebepli etkileşmeler bir döngü içersinde yuvarlanıp gitmektedir. İmdi,

her ne kadar bunlar aynen 2. Bölüm'de geçen bomba sınama problemine olduğu gibi farzımisal rolü oynamaktan öteye geçmese de, gerçekte olup bitenler üzerinde belli bir etkileri vardır. Her şeyin gün gibi ortada olduğunu iddia etmiyorum. Ancak bu kadarı bile, doğru kuramın içinde pekâlâ hesaba dayanmayan bir şeyler bulunabileceği yönünde bir işarettir; tabii eğer böyle bir kurama erişebilirsek.

Şimdi başka bir konuya kapı açmak istiyorum. Belirlenirciliğin ve hesaplanabilirliğin farklı şeyler olduğunu vurgulamıştım. Bu konu az buçuk *özgür irade* meselesine gelip dayanmaktadır. Felsefe tartışmalarında özgür irade daima belirlenircilik ilkesi açısından ele alınmıştır. Bir başka deyişle, "Geleceğimiz kendi geçmişimiz tarafından mı belirlenmektedir" meselesi ve bununla ilintili diğer meseleler açısından. Bana öyle geliyor ki, sorulabilecek daha bir yığın soru vardır. Söz gelimi, "Gelecek, geçmiş tarafından *hesaplanabilir bir biçimde* mi belirlenmektedir?" sorusu farklı bir sorudur.

Bu düşünceler diğer pek çok meselenin de üzerini açmaktadır. Bunların sadece üzerlerini açmakla yetineceğim. Cevaplamaya çalışmayı aklımın ucundan bile geçirmiyorum. Edimlerimizin ne dereceye kadar *soyaçekimimiz* ve *çevremiz* tarafından belirlendiğini açıklamaya çalışan büyük tartışmalar daima olmuştur. Ama ne gariptir ki, *şans öğesinin* ne rol oynadığına pek değinilmemiştir. Bütün bunlar bir bakıma kontrolümüz dışındadır. Şu soruyu sorabilirsiniz: "Acaba bütün bunlardan farklı olan ve bu tür etkilerin dışında kalan başka bir şey, örneğin benlik diye bir şey mevcut mudur?" Yasal meselelerin dahi böyle bir fikirle bağlantısı vardır. Örneğin yasal haklar ve sorumluluklar sorununun bağımsız bir "benliğin" edimlerine dayandığı göze çarpmaktadır. Bu oldukça nazik bir konudur. Her şeyden önce, nispeten dolaysız bir konu olan *belirlenircilik* ve *belirlenmezcilik* konusu önümüzde durmaktadır. Normal tür belirlenmezcilik rastlantısal öğelere yer vermekte, ama bunun size pek fazla yararı olmamaktadır. Şans öğesi hâlâ kontrolünüz dışındadır. Bunun yerine *hesaplanamama* durumu söz konusudur. *Hesaplanamamanın daha yüksek mertebe-*

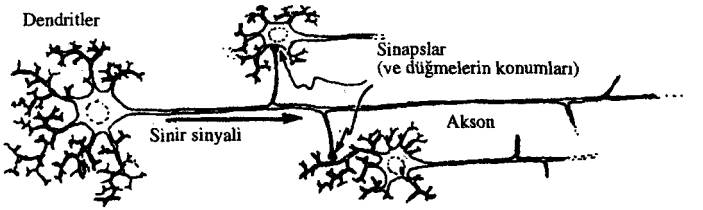
den türleri söz konusudur. Gerçekten de, verdiğim tarzdaki Gödel türü kanıtlamaların aslında farklı seviyelerde uygulanabilir olması garip bir durumdur. Bu tür kanıtlamaların, Turing'in deyimiyle *kehanet makineleri* seviyesine bile uygulanmaları mümkündür. Kanıtlama, aslında burada arz ettiğim tarzdan çok daha genel niteliklidir. Öyleyse gerçek Evren'in gelişiminde hesaplanamama durumunun daha yüksek mertebeden türlerinin söz konusu olup olmadığının irdelenmesi gereklidir. Kim bilir, özgür iradeye yer veren duygularımızın belki de böyle bir şeyle ilgisi vardır.

Bir tür Platoncu dünyayla temas meselesinden bahsettim. Bu "Platoncu temas"ın doğal özellikleri nelerdir? Hesaplanamayan öğeler içerdiği göze batan bazı sözcükler vardır; örneğin adalet, sağduyu, içgörü, estetik duyarlılık, şefkat ve manevi değerler gibi. Bana kalırsa bunlar hesaplamaya ait özelliklerden ibaret şeyler değildir. Bu noktaya değin Platoncu dünyadan hep matematik açısından söz ettim. Oysa ki, bu dünyaya dahil edilebilecek daha başka şeyler de vardır. Platon elbette yalnızca doğrunun değil, aynı zamanda iyinin ve güzelin de mutlak (Platoncu) kavramlar olduğunu iddia edecekti. Şayet farkındalığımız sayesinde, hesaplamaya dayalı davranışlar çerçevesinde açıklanmaları mümkün olmayan bu Platoncu mutlak değerlerle hakikaten bir temas kurmayı başarabiliyorsak, bu benim açımdan oldukça önemli bir mesele sayılır.

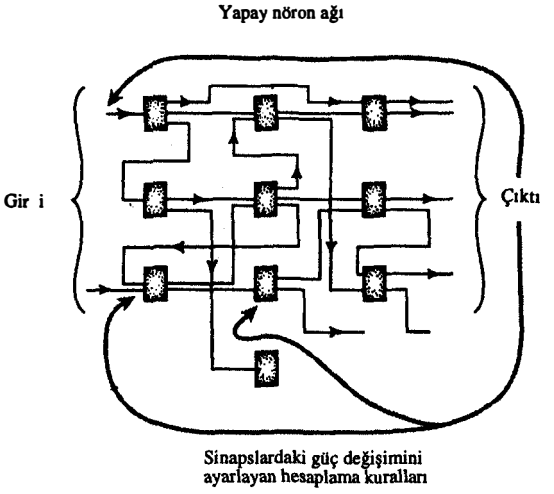
Peki ya beyinlerimize ne demeli? Figür 3.14'te beynin ufak bir bölümü görülmektedir. Beynin bütününü oluşturan başlıca sistem *nöronlar*dır. Her nöronun önemli bir kısmı *akson* adıyla bilinen çok uzun bir liften meydana gelmektedir. Aksonlar türlü noktalarda ayrı lifçiklere ayrılırlar ve bu lifçiklerin her biri *sinapslarda* son bulur. Sinapslar, sinyallerin nöroaktarıcılar adı verilen kimyasal bileşikler yoluyla bir nörondan (başlıca) diğer nöronlere aktarıldığı birleşme noktalarıdır. Nöroaktarıcıların bitişik nöronun tetiklenmesini artırmaya meyilli olduğu sinapslar uyarıcı türden, bitişik nöronun tetiklenmesini bastırmaya meyilli olduğu sinapslar da engelleyici türdendir. Haberin

bir nörondan diğerine iletilmesi sırasında sinapsın gösterdiği güvenilirliği sinapsın *gücü* olarak niteleyebiliriz. Şayet sinapsların hepsi de aynı güçte olsaydı, beyin bir bilgisayara çok yakından benzeyebilirdi. Oysa ki, sinapsların gücünün değiştiği iyi bilinen bir gerçektir ve bu değişmenin nasıl meydana geldiğini açıklamaya çalışan türlü kuramlar vardır. Örneğin Hebb mekanizması bu sürecin işleyişine ilişkin ilk varsayımlardan birisidir. Mesele şu ki, meydana gelen değişiklikleri açıklamak üzere önerilen mekanizmaların tümü, ek birtakım olasılıkçı öğelere yer veriyor da olsalar, hesaplamaya dayanmaktadırlar. Yani, eğer elinizde bu güç değişimlerinin nasıl meydana geldiğini size açıklayabilen hesapsal-olasılıkçı bir kural bulunuyorsa, (olasılıkçı öğelerin hesaplama yoluyla taklit edilmesi gayet kolay olduğundan) nöronlardan ve sinapslardan oluşan bu sistemin işleyişini bilgisayarda taklit (simulate; ç.n.) etmeniz mümkündür. Bu yolla elde ettiğimiz sistem Figür 3.15'te örneklenen türden bir sistemdir.

Figür 3.15'te örneklenen ve birer transistor olarak düşünebileceğimiz birimlerin, beyindeki nöronların rolünü oynadıkları varsayılabilir. Örneğin *yapay nöron ağları* olarak bilinen özel elektronik aygıtları göz önüne alabiliriz. Bu ağlarda, genellikle belli bir çıktının kalitesinin artırılmasını sağlamak üzere, sinapsların güçlerinin nasıl değişeceğini belirleyen türlü kurallar bir arada işletilmektedir. Ancak bu kuralların hepsi de hesaplamaya dayalı kurallardır. Bunun böyle olması gerektiği açıktır, zira ne de olsa insanlar bunu bilgisayar üzerinde taklit etmektedirler. Bu bir sınamadır. Hazırladığınız modeli bir bilgisayara yükleyebiliyorsanız demek ki bu hesaplanabilir bir modeldir. Örneğin Gerald Edelman'ın beynin işleyişine dair, hesaplanabilir olmadığını savunduğu birtakım tezleri vardır. Ne mi yapmaktadır? Bütün bu tezleri taklit etmek üzere bir bilgisayar kullanmaktadır. Ama ortada taklit işlemini gerçekleştirmesi beklenen bir bilgisayar varsa, o halde bu hesaplamaya dayalıdır.

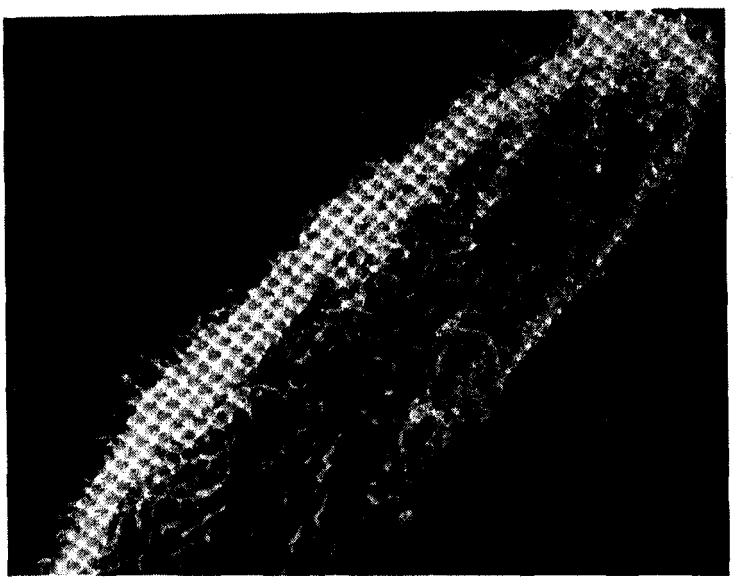


Figür 3.14. Sinopslar aracılığıyla öteki nöronlara bağlanan bir nöronun şematik çizimi



Figür 3.15.

"Tek bir nöron ne yapmaktadır? Hesaba dayalı bir birim olarak mı çalışmaktadır?" sorusuna değinmek istiyorum. Doğrusu nöronlar birer hücredir ve hücreler de çok incelikli yapılardır. Hatta öylesine incelikli ki, onlardan tek bir tanesiyle bile bir hayli karmaşık işler çevirmeniz mümkündür. Sözgelimi tek hücreli bir hayvan olan paramesyum (terliksi hayvan; ç.n.) yiyeceğe doğru yüzebilir, tehlikelerden uzaklaşabilir, engelleri aşabilir ve hatta görünüşe bakılırsa deneyerek öğrenebilir (Figür 3.16). Bütün bu yeteneklerin bir sinir sistemi gerektirdiğini düşünüyor olsanız da, paramesyumda elbette bir sinir sistemi yoktur. Olsa olsa "Paramesyumun kendisi bir nörondur!" diyebilirsiniz. Hiç kuşkusuz paramesyumda tek bir nöron dahi yoktur; ortada yalnızca bir tek hücre vardır. Aynı değerlendirmeler bir amip için de geçerlidir. Soru şu: "Bütün bunları nasıl yapmaktadırlar?"



Figür 3.16. Bir paramesyum. Yüzerken kullanılar kıl benzeri kirpikçiklere dikkat edin. Bunlar paramesyumun *hücreiskeletini* oluşturan dış ekstremitelerdir (kollar ve bacaklar; ç.n.).

Tahminlerden bir tanesi, bu bir hücreli hayvanların yaptıkları karmaşık hareketlerin -hücreye, her şey bir yana, şekil veren yapı olan *hücreiskelet* tarafından kontrol edildiğidir. Paramesyumun yüzerken kullandığı küçük tüyler, yahut kirpikçikler, hücreiskeletin uç kısımlarıdırlar. Bunların büyük çoğunluğu *mikrotübüller* adı verilen tüp benzeri yapılardır. Hücreiskelet, bu mikrotübüllerle birlikte aktinlerden ve aradaki iplikçiklerden oluşmuştur. Amipler de hem ortalıkta gezinirler, hem de karşılarına çıkan yalancı hayvancıkları mikrotübüllerini kullanarak bir güzel uzaklaştırırlar.

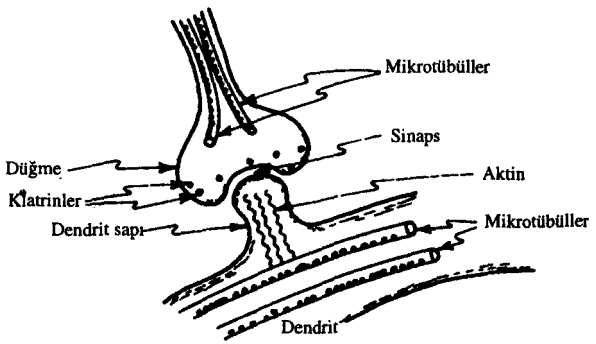
Mikrotübüller olağanüstü şeylerdir. Paramesyumun yüzerken kullandığı kirpikçikler aslında mikrotübül yığınlarıdır. Üstelik mikrotübüller mitoz hücre bölünmesinde de çok iş görürler. Ancak bu sıradan hücreler için geçerlidir; nöronlar için değil. Nöronlar göründüğü kadarıyla bölünmezler ve bu önemli bir fark olabilir. Hücreiskeletin kumanda merkezi *sentrozom* adıyla bilinen yapıdır. Bunun en göze çarpan kısmı, ayrık "T" biçiminde iki mikrotübül demetinden oluşan *sentriyol*dür. Sentrozomun bölünmesi aşamasında kritik safhaya gelindiğinde, sentriyoldeki iki silindirden her biri yeni bir tane büyütür ve böylece daha sonra birbirlerinden ayrılarak her birinin kendisiyle birlikte bir mikrotübül yığınını çekip götürdüğü gözlenen iki adet sentriyol "T"si meydana gelir. Bu mikrotübül lifleri, bölünmüş olan sentrozomun iki parçasını her nasılsa hücre çekirdeğinde bulunan aynı DNA iplikçiklerine bağlarlar ve sonra bu DNA iplikçikleri birbirlerinden ayrılır. Bu süreçle birlikte hücre bölünmesi başlamış olur.

Nöronlarda ortaya çıkan durum bu değildir. Çünkü nöronlar bölünmezler. Demek ki mikrotübüller başka bir işle meşgul olmalıdırlar. Acaba bunlar nöronlarda ne işe yaramaktadırlar? Herhalde nöroaktarıcı moleküllerin hücre içerisinde taşınması gibi pek çok işler başarıyor olmalıdırlar. Fakat göründüğü kadarıyla pay sahibi oldukları işlerden bir tanesi, sinapsların gücünün belirlenmesi meselesidir. Figür 3.17'de bir nöronla sinapsın büyütülmüş şekli görülmektedir. Burada mikrotübüllerin ve aktin liflerinin yaklaşık konumlarına da işaret edilmiştir. Bir sinapsın gücünün mikrotübüller sayesinde belirlenme-

sinin yollarından biri, *dendrit sapı*nın doğal yapısının etkilenmesidir (Figür 3.17). Sinapsların çoğunda bunun gibi saplar oluşmuştur ve göründüğü kadarıyla genişleyip büzülebilmekte veya başka bir şekilde doğal yapılarını değiştirebilmektedirler. Bu değişimler içerdeki aktinin değişimine bağlıdır. Aktin, kasların kasılmasına yol açan mekanizmanın vazgeçilmez bir parçasıdır. Komşu mikrotübüller aktini güçlü bir biçimde etkileyebilmektedirler. Bu ise sonuçta sinaps bağlantısının şeklini veya dielektrik özelliklerini değiştirebilmektedir. Sinapsların gücünü etkilemede mikrotübüllerin işin içine girdiği en az iki farklı yol daha vardır. Haberi bir nörondan diğer nörona iletmekle görevli nöroaktarıcı kimyasalların taşınmasında işe yaradıklarına şüpne yoktur. Bunları akson ve dendritler boyunca taşıyan mikrotübüllerdir. Bu etkinlik, aksonların uç kısımlarıyla dendritlerde bu kimyasalların derişimlerini etkilemektedir. Dolayısıyla sinapsların gücünde bir değişiklik meydana gelmektedir. Mikrotübüllerin diğer bir etkisi nöronların gelişimleri ve yozlaşmaları ile ilgilidir. Bu ise nöron bağlantılarından oluşan ağda, değişikliklerin meydana gelmesi anlamına gelmektedir.

Mikrotübüller nasıl yapılardır? Figür 3.18'de bir mikrotübülüü şematik bir çizimi yer almaktadır. Bunlar ***tübülin*** adı verilen proteinlerden meydana gelen ufacık tüpçüklerdir. Pek çok ilginç özellikleri vardır. Tübülin proteinlerinin (en azından) iki farklı halde bulunabildikleri sanılmaktadır. Biçimsel birer uyum hali (conformation; ç.n.) olan bu hallerin birinden diğerine geçiş yapabilmektedirler. Göründüğü kadarıyla bu tüpçükler yoluyla haber iletilmesi mümkündür. Hatta Stuart Hameroff ve arkadaşlarının, tüpçükler boyunca sinyal iletiminin nasıl gerçekleşebildiği konusunda ilginç fikirleri bulunmaktadır. Hameroff'a göre mikrotübüller ***hücresel otomatlar*** olarak davranabilmekte ve böylelikle üzerlerinden karmaşık sinyallerin gönderilmesi mümkün hale gelmektedir. Her bir tübülinin, aralarında geçiş yapabildiği iki farklı uyum biçiminin, dijital bir bilgisayarda bulunan "O"a ve "1"e karşılık geldiğini düşünebilirsiniz. Böylece tek bir mikrotübül kendi başına bir bilgisayar olarak davranabilmektedir ve şayet nöron-

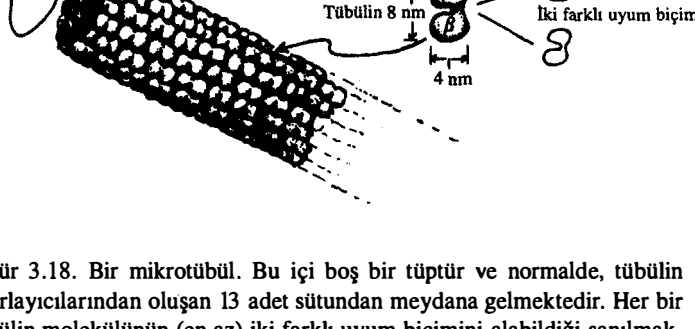
ların neler yaptıkları anlaşılmak isteniyorsa bunun dikkate alınması gerekir. Her bir nöron bir anahtarmışcasına davranmamaktà, daha ziyade her biri bir hayli karmaşık işler becerebilen yığınla mikrotübülden meydana gelmektedir.



Figür 3.17. Klatrinler (ve mikrotübüllerin bitimleri) aksonun sinaps düğmesini engelleyebilmekte ve görünüşe bakılırsa sinapsın gücünde bir değişikliğin meydana gelmesinde etkili olabilmektedirler. Bu, dendrit sapında bulunan aktin lifleri sayesinde gerçekleşebilmektedir.

Benim kendi fikirlerimin sahneye çıktığı yer burasıdır. Bu işleyişi anlamada kuantum mekaniği bir önem kazanabilir. Mikrotübüller konusunda beni en çok çeken noktalardan bir tanesi, bunların birer *tüp* oluşlarıdır. Tüp olduklarına göre, iç kısımlarında olup bitenleri dış ortamda meydana gelen rastgele etkinliklerden yalıtabilmeleri olasılığına yer vermek gayet akla yatkındır. 2. Bölüm'de *OR* fiziği diye yeni bir fiziğe ihtiyacımız olduğunu ve şayet bunun amaçlanan şeye uygun düşmesi isteniyorsa, ortamdan iyi bir biçimde yalıtılmış bir halde meydana gelen, kuantum düzeyinde üst üste binmiş kütlesel yer değiştirmeleri öngörmesi gerektiğini ileri sürmüştüm. Tüplerin içinde

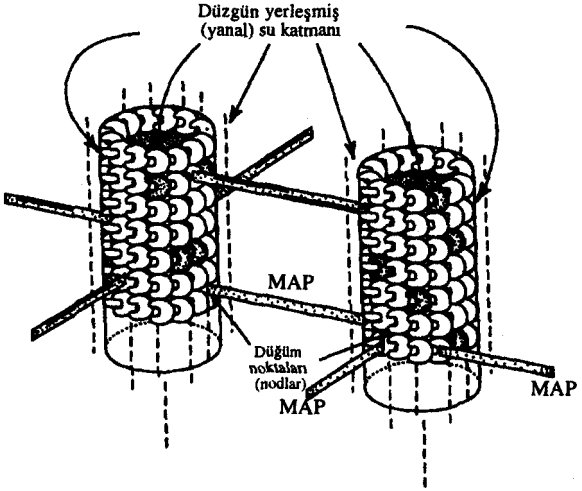
pekâlâ bir üstüniletkendekine benzeyen bir tür büyük ölçekli kuantum eşdurumlu etkinlik (quantum coherent activity; ç.n.) mevcut olabilir. Önemli kütlesel hareketler, ancak bu etkinlik tübülinlerdeki (Hameroff tarzı) uyum biçimleriyle bağlantı sağlamaya başladığı anda meydana gelebilir ki, bu durumda zaten "hücresel otomat" davranışının kendisi kuantum düzeyinde bir üst üste binmeye uğraşmaktadır. Bu şartlarda ortaya çıkması beklenen şey Figür 3.19'dakine benzer bir durumdur.



Figür 3.18. Bir mikrotübül. Bu içi boş bir tüptür ve normalde, tübülin ayarlayıcılarından oluşan 13 adet sütundan meydana gelmektedir. Her bir tübülin molekülünün (en az) iki farklı uyum biçimini alabildiği sanılmaktadır.

Bu tablo dahilinde beynin çok daha geniş bölgelerine yayılmak üzere, tüpçüklerin içinde bir tür eşdurumlu kuantum salınımının meydana gelmesi zorunludur. Herbert Frölich'in bu genel içerikli konuda yıllar önce ortaya koyduğu bazı önerileri vardır. Buna göre biyolojik sistemlerde doğal özellikleri buna uygun olan kimi öğeler bulunduğunu kabul etmek az çok akla yatkındı. Mikrotübüller, bu büyük ölçekli kuantum eşdurumlu etkinliğin meydana geldiği yapılara iyi bir örnek gibi gözükmektedirler. Hatırlarsanız 2. Bölüm'de "büyük ölçekli" deyimini kullandığımda, EPR bilmecesini ve kuantum seviyesinde yerel

olmama özelliğini anlatmıştım. Buna göre uzak mesafelerde birbirlerinden ayrı bulunan etkiler, ayrıymışçasına değerlendirilememekteydiler. Kuantum mekaniğinde buna benzer yerel olmayan etkiler meydana gelmektedir ve bu etkileri, birinin diğerinden ayrı olduğunu düşünerek anlamak olanaksızdır. Bir çeşit küresel etkinlik yer almaktadır.



Figür 3.19. (Grup halindeki) Nöronların bir parçası olan mikrotübül sistemleri, tek tek OR oluşumlarının bilinçli olaylara meydan verdiği, büyük ölçekli kuantum eşdurumlu bir etkinlik sergiliyor olabilirler. Bu etkinliğin çok iyi bir biçimde yalıtılması gerekmektedir. Bu yalıtım muhtemelen mikrotübülleri çevreleyen düzgün yerleşmiş bir su katmanı ile sağlanmaktadır. "Düğüm noktalarında" (nodes; ç.n.) mikrotübüllere asılı proteinlerden (MAP) oluşan bir arabağlantı sistemi bu etkinliği ayar etmektedir.

Bana öyle geliyor ki, bilinç küresel bir şeydir. Bu nedenle bilincin ortaya çıkmasından sorumlu olan herhangi bir fiziksel süreç, özünde

küresel bir niteliğe sahip olmalıdır. Hiç kuşkusuz kuantum eşdurumluluğu bu açıdan verilen tarife uymaktadır. Böyle büyük ölçekli bir kuantum eşdurumluluğunun mümkün olabilmesi için, mikrotübül duvarları tarafından sağlanana benzeyen çok üstün bir yalıtıma ihtiyacımız vardır. Öte yandan tübülinlerin uyum biçimlerinin işin içine karışmasıyla birlikte daha da fazlasına ihtiyacımız olmaktadır. Gerek duyulan bu ek ortam yalıtımı, mikrotübüllerin dışında düzgün bir biçimde yerleşmiş bulunan su katmanı tarafından sağlanıyor olabilir. (Canlı hücrelerde mevcut olduğu bilinen) bu yerleşik su katmanı, tüpler içinde kuantum eşdurumlu salınımın ortaya çıkmasında da muhtemelen önemli bir pay sahibidir. Bir hayli kabarık bir liste oluştursa da, bütün bunların gerçekte mevcut olan duruma karşılık gelmesi, herhalde mantığa tamamen aykırı değildir.

Tüpler içinde meydana gelen kuantum salınımları ile mikrotübüllerin hareketleri, yani Hameroff'un sözünü ettiği hücresel otomat etkinliği arasında belli bir yolla bağlantı sağlanması şarttır. Ancak onun ortaya attığı fikir, bu kez kuantum mekaniği ile birlikte ele alınmalıdır. Yani bu defa sadece alışılmış biçimiyle hesaba dayalı bir etkinliğe değil, aynı zamanda bu tip değişik hareketlerin üst üste binmesini öngören kuantum düzeyinde bir hesaplamaya da yer vermeliyiz. Ancak bütün hikâye bundan ibaret olsaydı, hâlâ kuantum seviyesinde kalmış sayılırdık. Kuantum hali, belli bir noktadan sonra ortamla dolaşık bir hal alıyor olabilir. Bu taktirde görünüşte rastgele bir yolla ve kuantum mekaniğinin olağan *R* yönteminin öngördüğü bir biçimde klasik seviyeye sıçrıyor olmalıyız. Şayet hesaplanamama özelliğinin gerçek anlamda işin içine girmesini istiyorsak, bu hiç de ideal bir durum değildir. Bunun için *OR*'un hesaplanamayan yönleri kendilerini göstermelidir. Bu ise kusursuz bir yalıtımı gerekli kılmaktadır. O nedenle ben, beyinde yeni *OR* fiziğinin önemli bir rol oynamasına fırsat tanıyacak derecede iyi bir yalıtımının sağlanması gerektiğini iddia etmekteyim. Bu yeni fiziğin gerçekten sahneye çıkması için, üst üste binen bu mikrotübüler hesaplamaların, işlemeye başlar başlamaz yeterli bir biçimde yalıtılmalarına gereksinimimiz vardır.

Yani benim çizdiğim tabloya göre kuantum düzeyindeki bu hesaplamalar bir süre devam etmekte ve kendilerini içinde bulundukları maddi yapının geri kalan kısmından yeterince uzun bir süre –belki neredeyse bir saniyeye yakın bir zaman– yalıtılmış halde tutmaktadırlar. Böylelikle sözünü ettiğim türde kriterler işleri standart kuantum mekaniği çerçevesindeki işlemlerden devralmakta, hesaplanamayan öğeler işin içine girmekte ve özünde standart kuantum kuramından farklı bir durumla baş başa kalmaktayız.

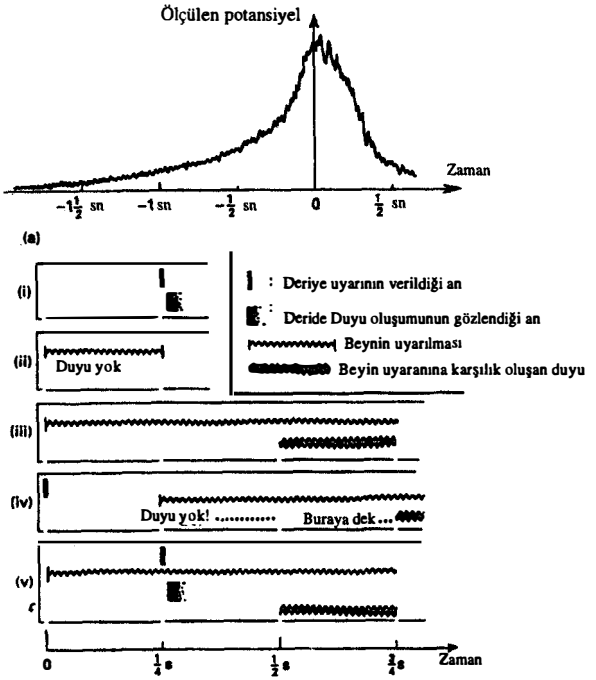
Elbette bu fikirlerin çoğunda yoruma oldukça açık taraflar bulunmaktadır. Ama yine de samimi bir bakış açısıyla, bilincin biyofizik süreçlerle ilişkisi hakkında diğer yaklaşım tarzlarından çok daha kesin, açık ve nicel bir tablo sunulmaktadır. En azından, *OR*'un getirdiği etkinin durumun öngördüğü biçimde devreye girmesi için, kaç adet nöron gerektiğini hesaplamaya koyulabiliriz. Bu amaçla 2. Bölüm'ün sonlarına doğru sözünü etmiş olduğum zaman ölçeği *T*'nin yaklaşık bir tahminine ihtiyacımız vardır. Bir başka deyişle, bilinçli olaylarda buna benzer *OR* oluşumlarının parmağı olduğunu varsayarsak, *T*'nin tahminen ne olması gereklidir? Acaba bilinç ne kadar süreye ihtiyaç gösterir? Bu görüşlerle ilgili olarak Libet ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği iki tür deney vardır. Bunlardan biri özgür iradeyi, yani aktif bilinci; diğeri de duyuları, yani pasif bilinci konu almaktadır.

İlk olarak özgür iradeyi göz önüne alalım. Libet ve Kornhuber'in deneylerinde, denekten, yalnız kendi isteği doğrultusunda belirleyeceği bir anda, bir düğmeye basması istenir. Beyindeki elektriksel etkinliğin saptanması amacıyla deneğin başına elektrotlar yerleştirilmiştir. Denemeler pek çok kez tekrarlanır ve bulunan sonuçların ortalaması alınır (Figür 3.20 (a)). Elde edilen sonuç, elektriksel etkinliğin, deneğin karar verdiğine kanaat getirdiği andan neredeyse bir saniye önce ortaya çıktığına işaret etmektedir. Yani özgür irade bir saniye dolaylarında bir gecikme içeriyor gibi gözükmektedir.

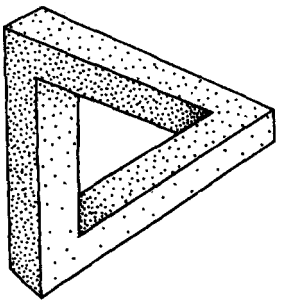
Pasif deneyler daha çarpıcıdır ama gerçekleştirilmeleri daha zordur. Bir kimsenin belli bir şey hakkında pasif bir farkındalığa sahip olmadan önce, beyinde yarım saniyeyi aşkın bir etkinlik diliminin

geçtiğine işaret etmektedirler (Figür 3.20 (b)). Bu deneylerde, deriye yapılan bir uyarının bilinçli olarak farkına varılmasının önünü, uyarının gerçekleşmesinin *ardından* yaklaşık yarım saniye boyunca bloklamak mümkündür! Bloklama yönteminin harekete geçirilmediği durumlarda, deneğin deriye yapılan uyarıyı fark ettiğine kanaat getirdiği an, uyarının yapıldığı gerçek anla çakışmaktadır. Ama aslında uyarının yapıldığı andan itibaren yarım saniye boyunca bloklanması olanağı da vardır. Bunlar son derece şaşırtıcı deneylerdir, özellikle de birlikte değerlendirildiklerinde. Bilinçli bir istemin oluşmasının yaklaşık bir saniyeye, bir duyunun fark edilmesinin ise yaklaşık yarım saniyeye ihtiyaç gösterdiğini öne sürmektedirler. Eğer bilincin belli bir şeyler ortaya koyabilen bir şey olduğunu düşünecek olursak, bu durumda adeta bir paradoksla karşı karşıya kalırsınız. Çünkü bir olayın farkına varmadan önce yarım saniyeye ihtiyacınız vardır. Sonra bilincinizi işin içine sokar ve bununla bir iş görmeye çalışırsınız. Bu andan itibaren ise, bir saniyelik yeni bir süreye ihtiyaç duyarsınız. Yani size yaklaşık olarak toplam bir buçuk saniye gereklidir. Demek ki, eğer herhangi bir şey bilinçli bir iradenin etkisinde bir cevaba ihtiyaç gösteriyorsa, bunu ortaya koymadan önce aşağı yukarı bir buçuk saniyelik bir zaman harcarsınız. Doğrusu, bu bana hiç de inandırıcı gelmemektedir. Örnek olarak sıradan bir karşılıklı konuşmayı göz önüne alın. Bana kalırsa, her ne kadar konuşmanın büyük bir bölümü otomatik ve bilinçsiz bir halde gerçekleşse de, *bilinçli* bir cevabın verilmesi için bir buçuk saniyelik bir zaman diliminin geçmesi gerektiği gerçeği inanılır gibi değildir.

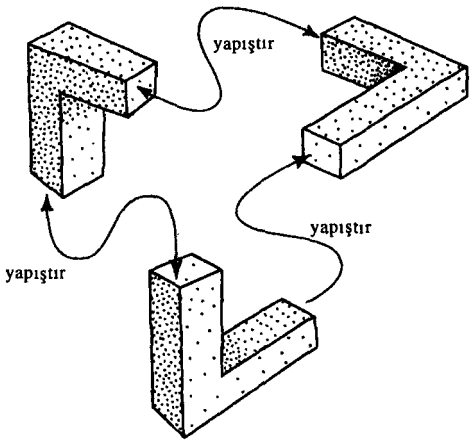
Benim bu konuya bakış tarzım, buna benzer deneyleri yorumlayış biçimimizin, temel olarak kullandığımız fiziğin klasik fizik olduğu varsayımına yer verdiği şeklindedir. Hatırlarsanız, bomba sınama probleminde farzımisallerden ve gerçekleşmemiş bulunsalar da farzımisal olayların olup bitenleri etkileyebildiklerinden söz etmiştik. Dikkatli olunmadığı taktirde alışılmış türden bir akıl yürütme hata yapmaya meyillidir. Kuantum sistemlerinin nasıl davranışlar sergilediklerini hatırda tutmalı ve kuantum seviyesinde yerel olmama özelliği



Figür 3.20. (a) Libet ve arkadaşları tarafından sonradan yinelenen ve daha yetkin bir hale getirilen Kornhuber deneyi. Parmağı kıvırma kararının 0 anında verildiği gözükmekte, ancak (pek çok deneme üzerinden ortalaması alınan) önimleyici sinyal, kıvırma eylemine niyet edildiğinin "önceden bilindiğine" işaret etmektedir. (b) Libet deneyi. (i) Deriye yapılan uyarı, gönderildiği anda algılanmış "görünmektedir". (ii) Yarım saniyeden daha kısa süren beyin uyarıları algılanmamaktadır. (iii) Yarım saniyeden uzun süren beyin uyarıları, ilk yarım saniye geçtikten sonra algılanmaktadır. (iv) Beyne yapılan böyle bir uyarı, kendinden önce deriye yapılan uyarıları "gizler"; bu, beynin uyarıldığı ana dek, deriye yapılan uyarının fark edilmesinin *henüz* gerçekleşmediğine işaret etmektedir. (v) Eğer derinin uyarılması beynin uyarılmasının hemen ardından gerçekleşirse, derideki duyunun fark edilmesi "yeniden gündeme gelmekte", ancak beyindeki uyarının fark edilmesi değişmemektedir.



Olanaksızlık bunun neresinde?



Figür 3.21. Olanaksız üçgen. "Olanaksızlığın" yeri belli edilemez; ama yine de yapısına temel oluşturan "yapıştırma kuralları" dikkate alınarak yapılan soyutlamalar yardımıyla, kesin birtakım matematiksel terimlerle ifade edilebilir.

ile kuantum farzımisalleri dolayısıyla, bu deneydeki zaman ölçümlerinde bir bit yeniği olabileceğini hesaba katmalıyız. Kuantum düzeyinde yerel olmama özelliğini Özel Görelilik kapsamında anlamak son derece zordur. Benim görüşüm kuantum düzeyinde yerel olmama özelliğini anlayabilmemiz için, kökten yeni bir kurama gerek duyacağımız yönündedir. Bu yeni kuram kuantum mekaniğinin öyle ufak tefek tadilata uğramış bir hali olmayacak, fakat standart kuantum mekaniğinden, Genel Görelilik'in Newton kütleçekiminden ayrıldığı derecede farklı olacaktır. Bütünüyle farklı bir kavramsal çerçeveye oturmak zorundadır. Böyle bir tablo için de, yerel olmama özelliği de kuramın yapısına dahil edilmiş olacaktır.

Yerel olmama özelliği 2. Bölüm'de, ne denli şaşırtıcı olsa da, matematik yoluyla betimlenebilen bir özellik olarak arz edilmişti. Size olanaksız bir üçgen resmi göstereyim (Figür 3.21). "Olanaksızlık bunun neresinde?" diye sorabilirsiniz. Yerini belirleyebiliyor musunuz? Üçgenin hangi kısmına denk gelirse gelsin, resmin bir kısmını kapadığınız anda bütün resim olanaklı hale gelir. "Olanaksız olan kısım resmin şu bölümüdür" diyemezsiniz. Olanaksızlık yapının bütününe ait bir özelliktir. Lakin, buna benzer durumları irdelemenizi sağlayan kesin birtakım matematiksel yöntemler mevcuttur. Bu amaçla bütünü parçalara ayırır, tekrar birbirine yapıştırır ve yapıştırmaların bütününün genel olarak içerdiği ayrıntılara bakarak belli birtakım soyut matematiksel fikirler elde edersiniz. Bu amaca uygun düşen yaklaşım *kohomolojik* yaklaşımdır. Bu yaklaşım bize, figürdeki olanaksızlığın derecesini hesaplayabilmemizi sağlayan bir yöntem sunmaktadır. Bu, yeni kuramımızda yer alması olasılığı bulunan, yerel olmayan türden bir matematiktir.

Figür 3.21'in Figür 3.3'ü andırması bir rastlantı olmasa gerek! Figür 3.3'te yer alan çizim, paradoks oluşturan bir öğenin açıkça vurgulanması amacıyla yapılmıştı. Bu üç dünyanın birbirleriyle ilişkilerinde besbelli ki bir sır gizli bulunmaktadır; her biri kendinden önce gelenin adeta küçük bir kısmının "içinden çıkmaktadır". Ama belki Figür 3.21 sayesinde, daha iyi bir anlayışa kavuşabilirsek, bu

gizemlerle iyi geçinmeyi öğrenebilir, hatta belki de bir kısmını çözebiliriz. Ortaya çıktıkları zaman şaşırtıcı bilmeceleri ve sırlı gizemleri fark edip anlayabilmek önemlidir. Ortalıkta bizi son derece şaşırtan bir şeyler dönüyor olması, bunu hiçbir zaman anlayamayacağımız anlamına gelmemektedir.

KAYNAKÇA

Albrecht-Buehler, G. (1981), Does the geometric design of centrioles imply their function?, *Cell Motility* **1**, 237-245.

Albrecht-Buehler, G. (1991), Surface extensions of 3T3 cells towards distant infrared light sources, *J. Cell Biol.* **114**, 493-502.

Aspect, A., Grangier, P., ve Roger, G. (1982), Experimental realization of Einstein-Podolsky-Rosen-Bohm *Gedankenexperiment*: a new violation of Bell's inequalities, *Phys. Rev. Lett* **48**, 91-94.

Beckenstein, J. (1972), Black holes and the second law, *Lett. Nuovo Cim.*, **4**, 737-740.

Bell, J.S. (1987), *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics,* (Cambridge University Press, Cambridge).

Bell, J.S. (1990), Against measurement, *Physics World* **3**, 33-40.

Berger, R. (1966), The undecidability of the domino problem, *Memoirs Amer. Math. Soc.*, No 66 (72 sayfa).

Bohm, D. ve Hiley, B. (1994), *The Undivided Universe,* (Routledge, Londra).

Davenport, H. (1968), *The Higher Arithmetic,* 3. baskı, (Hutchinson's University Library, Londra).

Deeke, L., Grötzinger, B. ve Kornhuber, H.H. (1976) Voluntary finger movements in man: cerebral potentials and theory, *Biol. Cybernetics,* **23**, 99.

Deutch, D. (1985), Quantum theory, the Church-Turing principle and the universal quantum computer, *Proc. Roy. Soc. (Londra)* **A400**, 97-117.

DeWitt, B.S. ve Graham, R.D. (der.) (1973), *The Many-Worlds Interpretation of Quantum Mechanics.* (Princeton University Press, Princeton).

Diósi, L. (1989), Models for universal reduction of macroscopic quantum fluctuation, *Phys. Rev.* **A40**, 1165-74.

Fröhlich, H. (1968), Long-range coherence and energy storage in biological systems, *Int. J. of Quantum. Chem.*, **II**, 641-649.

Gell-Mann, M. ve Hartle, J.B. (1993), Classical equations for quantum systems, *Phys. Rev. D* **47**, 3345-3382.

Geroch, R. ve Hartle, J.B. (1986), Compatibility and phyical theories, *Found. Phys.* **16**, 533.

Gödel, K. (1931), Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter System 1, *Monatshefte für Mathematik und Physik* **38**, 173-198.

Golomb, S.W. (1966) *Polyominoes,* (Scribner and Sons, Londra).

Haag, R. (1992), *Local Quantum Physics: Fields, Particles, Algebras,* (Springer-Verlag, Berlin).

Hameroff, S.R. ve Penrose, R. (1996), Orchestrated reduction of quantum coherence in brain microtubes -a model for consciousness. *Toward a Science of Consciousness: Contributions from the 1994 Tucson Conference,* (der.) S. Hameroff, A. Kaszniak ve A. Scott (MT Press, Cambridge MA).

Hameroff, S.R. ve Penrose, R. (1996), Conscious events as orchestrated space-time selections, *J. Consciousness Studies,* **3**, 36-53.

Hameroff, S.R. ve Watt, R.C. (1982), Information processing in microtubes, *J. Theor. Biol.* **98**, 549-561

Hawking, S.W. (1975) Particle creation by black holes, *Comm. Math. Phys.* **43**, 199-220.

Hughston, L.P., Jozsa, R., ve Wooters, W.K. (1993), A complete classification of quantum ensembles having a given density matrix, *Phys. Letters* **A183**, 14-18.

Károlyházy, F. (1966), Gravitation and quantum mechanics of macroscopic bodies, *Nuovo Cim.* **A42**, 390.

Károlyházy, F. (1974), Gravitation and quantum mechanics of macroscopic bodies, *Magyar Fizikai PolyoirMat* **12**, 24.

Károlyházy, F., Frenkel, A. ve Lukács, B. (1986), On the possible role of

gravity on the reduction of the wave function. *Quantum Concepts in Space and Time,* (der.) R. Penrose ve C.J. Isham, R. Penrose ve D.W. Sciama (Oxford University Press, Oxford) s. 109-128.

Kibble, T.W.B. (1981), Is a semi-classical theory of gravity viable? *Quantum Gravity 2: A Second Oxford Symposium,* (der.) C.J. İsham, R. Penrose ve D.W. Sciama (Oxford University Press, Oxford) s. 63-80.

Libet, B. (1992), The neural time-factor in perception, volition and free will, *Review de Métaphysique et de Morale,* **2**, 255-272.

Libet, B., Wright, E.W. Jr, Feinstein, B. ve Pearl, D.K. (1979) Subjective referral of the timing for a conscious sensory experience, *Brain,* **102**, 193-224.

Lockwood, M. (1989), *Mind, Brain and the Quantum* (Basil Blackwell, Oxford).

Lucas, J.R. (1961), Minds, Machines and Gödel, *Philosophy* **36**, 120-124; yeni baskı: Alan Ross Anderson (1964), *Minds and Machines* (Prentice-Hall, New Jersey)

Majorana, E. (1932), Atomi orientati in campo magnetico variabile, *Nuovo Cimento* **9**, 43-50.

Moravec, H. (1988), *Mind Children: The Future of Robot and Human Intelligence* (Harvard University Press, Cambridge, MA).

Omnés, R. (1992), Consistent interpretations of quantum mechanics, *Rev. Mod. Phys.,* **64**, 339-382.

Pearle, P. (1989), Combining stochastic dynamical state-vector reduction with spontaneous localisation, *Phys. Rev.,* **A39**, 2277-2289.

Penrose, R. (1989),*The Emperor's New Mind: Concerning Computers, Minds, and the Laws of Physics,* (Oxford University Press, Oxford).

Penrose, R. (1989), Difficulties with inflationary cosmology, *Proceedings of the 14th Texas Symposium on Relativistic Astrophysics,* (der.) E. Fenves, *Annals of NY Acad. Sci.* **571**, 249 (NY Acad. Science, New York).

Penrose, R. (1991), On the cohomology of impossible figures [La coho-

mologie des figures impossibles], *Structural Topology [Topologie structurale]* **17**, 11-16.

Penrose, R. (1994), *Shadows of the Mind: An Approach to the Missing Science of Consciousness* (Oxford University Press, Oxford).

Penrose, R. (1996), On gravity's role in quantum state reduction, *Gen. Rel. Grav.* **28**, 581.

Percival, I.C. (1995), Quantum spacetime fluctuations and primary state diffusion, *Proc. R. Soc. Lond.* **A451**, 503-513.

Schrödinger, E. (1935), Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik, *Naturwissenschaftenp,* **23**, 807-812, 823-828, 844-849. (çev. J.T. Trimmer (1980), *Proc. Amer. Phil. Soc.*, **124**, 323-338.)

Schrödinger, E. (1935), Probability relations between separated systems, *Proc. Camb. Phil. Soc.*, **31**, 555-563.)

Searle, J.R. (1980), Minds, Brains and Programs, *The Behavioral and Brain Sciences,* cilt 3 (Cambridge University Press, Cambridge).

Seymore, J. ve Norwood, D. (1993), A game for life, *New Scientist* **139**, No 1889,23-26.

Squires, E. (1990), On an alleged proof of the quantum probability, *Law Phys. Lett.* **A145**, 67-68.

Turing, A.M. (1937), On computable numbers with an application to the Entscheidungsproblem, *Proc. Lond. Math. Soc. (ser. 2)* **42**, 230-265; bir düzetme **43**, 161-228.

Turing, A.M. (1939), Systems of logic based on ordinals, *P. Lond. Math. Soc.* **45**, 161-228.

von Neumann, J. (1955), *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics,* (Princeton University Press, Princeton).

Wigner, E.P. (1960), The unreasonable effectiveness of mathematics in the physical sciences, *Commun. Pure Appl. Math.*, **13**, 1-14.

Zurek, W.H. (1991), Decoherence and the transition from quantum to classical, *Physics Today,* **44** (No. 10), 36-44.

IV
Zihinsel Etkinlik, Kuantum Mekaniği ve Gizil Durumların Gerçeklik Kazanması Üzerine

ABNER SHIMONY

Giriş

Roger Penrose'un çalışmasının en beğendiğim yanı, sorgulamalarının özünde, teknik ustalık ile konunun can alıcı noktasına inmek için gereken kararlılığı ve cesareti birleştirebilmesidir. Yaklaşım tarzı, Hilhbert'in o ünlü yüreklendirici uyarısını izler gibidir: "*Wir müssen wissen, wir werden wissen.*" (Bilmek zorundayız, öyleyse bileceğiz; ç.n.)[1] Sorgulamanın akışı içinde onunla hemfikir olduğum üç sav var. Bunlardan ilki zihinsel etkinliğin bilimsel yolla incelenebileceği savıdır. İkincisi, kuantum mekaniğinin bünyesinde yatan fikirlerin, zihin-beden problemi ile uygunluk içerisinde olduğudur. Üçüncüsü ise,

kuantum mekaniğinde rastladığımız gizil durumların gerçeklik kazanması (actualization of potentialities; ç.n.) probleminin, kuantum mekaniğinin biçimsel yapısını değiştirmeksizin çözülmesi olanaksız bir fizik problemi olduğudur. Ne var ki, bu üç savı titizlikle işleyişi sırasında öne sürdüğü ayrıntıların birçoğundan kuşku duymaktayım. Umarım yapacağım eleştiri onu canlandırır ve ilerlemesini sağlar.

4.1. *Zihinsel Etkinliğin Doğadaki Yeri*

Bu kitapta yer alan 1., 2. ve 3. bölümlerin aşağı yukarı dörtte biri ve *Zihnin Gölgeleri* kitabının (bu andan itibaren ZG olarak kısaltacağım) yaklaşık yarısı, insanın matematik yeteneğinin nitelik açısından algoritmik olmadığını ortaya koymaya ayrılmıştır. ZG'nin Hilary Putnam tarafından yapılan eleştirisi[2] ileri sürülen kanıtlamada birtakım eksiklikler bulunduğunu idda etmekte idi. Buna göre Roger, Turing makinesi için, insanın matematik yeteneğini benzetişim yoluyla taklit edebilen, ancak sağlam ve güvenilir olduğu kanıtlanamayan bir programın söz konusu olabileceği ve karmaşıklığı dolayısıyla insan zihninin böyle bir programı anlayamayacağı olasılıklarını göz ardı etmekteydi. Bu iddialara karşı Roger'in verdiği cevap[3] beni tatmin etmedi. Ancak kendimden emin olarak bir yargıya varabilmem için, kanıtlama kuramı hakkında yeterince bilgi sahibi değilim. Bana öyle geliyor ki, bu konuların Roger'in odak noktası olarak aldığı görüşle belli bir noktada ilgisi var ve sanırım Roger yanlış tepeye tırmanmaya çalışmış bir dağcı konumundadır. Asıl savunduğu şey, yani zihinsel eylemlerde hiçbir yapay bilgisayarın erişemeyeceği bir taraf bulunduğu savı, insanın gerçekleştirebildiği matematiksel işlemlerin algoritmik bir niteliğe sahip olup olmadığını tespit etmeye bağlı değildir. Gerçekten de Roger, kendi uzun Gödel türü kanıtlamasına ek olarak, bir otomat tarafından gerçekleştirilen doğru bir hesaplamanın bir anlayışın eseri olmadığını ortaya koyan, John Searle'ın "Çin odası" kanıtlamasını sunmaktadır (ZG, s.40-41). Kanıtlamanın çekirdeğini, Çinceden anlamayan ve Çinceden anlamadığından haberdar olan bir insa-

nın, akustik olarak Çince bildirilen talimatlara tıpkı bir otomat gibi uygun davranışlar sergileyebilecek biçimde eğitilebileceği konusu oluşturmaktadır. Bir hesaplamayı, bu talimatlara uyarak doğru bir biçimde gerçekleştiren bir denek, alışılmış biçimiyle anlayarak hesaplama deneyimi ile, olağandışı yoldan bir otomat gibi hesaplama deneyimini doğrudan doğruya karşılaştırabilir. Söz konusu hesaplama yoluyla sağlanan matematiksel doğruluk baştan sona çocuk oyuncağı olabilir. Buna rağmen bir makine gibi hesap yapma ile anlama arasındaki fark sezgisel olarak açık ve seçiktir.

Roger'dan böyle bir destek gören Searle'ın matematiksel anlayış konusunda savundukları, bilinçli halde edinilen deneyimlerin diğer yönlerini de içine almaktadır: Beş duyu, haz ve acı duyuları, iradi istemle ilgili duygular ve kasıtlılık (yani nesnelere, kavramlara ve önermelere yönelik bir amaç taşıma) gibi. Genel hatlarıyla fiziksellik felsefesi dahilinde bu olayları açıklamaya çalışan türlü yaklaşımlar vardır.[4] İki açılı kuramlar, bu deneyimleri beynin özel birtakım hallerine has durumlar olarak kabul etmektedirler. Diğer bazı kuramlar, bir zihinsel deneyimi beyin hallerinin belli bir sınıfı ile özdeşleştirmektedirler. Bu sınıf öylesine incelikli bir yapıdadır ki, fiziksel olarak açık seçik bir biçimde nitelenmesi olanaksızdır. Böylece bir zihinsel kavramın fiziksel kavramlara açık seçik "indirgenmesi" mümkün değildir. İşlevselcilik yanlısı kuramlar ise, her ne kadar olağan haliyle bir nöron ağı sayesinde gerçeklik kazansalar da, zihinsel deneyimleri, ilke olarak aslında çok değişik fiziksel sistemlerle de gerçekleştirilebilecek biçimsel programlarla özdeş tutmaktadırlar. Özellikle iki açılı kuramlar tarafından vurgulanan, ancak fiziksellik görüşünün diğer türleri tarafından da kullanılan ve sıkça yinelenen bir fiziksellik iddiası vardır. Buna göre, belli bir grup özellikle nitelenen bir varlık, başka bir grup özellikle nitelenen bir diğer varlığa özdeş olabilir. Nitelemeler değişik duyum biçimlerine dayanabilirler. Hatta biri duyular seviyesinde kalırken, öteki mikrofizik seviyede olabilir. İddia böylece, zihinsel bir halin beyindeki bir hale (veya beyin hallerinin belli bir sınıfına, yahut bir programa) özdeş oluşunun, işte böyle bir genel man-

tıksal özdeşliğe örnek teşkil ettiği savını öne sürer. Bana kalırsa bu uslamlamada önemli bir hata bulunmaktadır. Belli bir duyum biçimi yardımıyla belli edilen bir nesne, başka bir biçimle belli edilen bir diğer nesne ile özdeş tutulduğunda, sözle veya yazıyla açıkça bildirimde bulunulamayan iki adet sebeplilik zincirine başvurulmuş olmaktadır. Bu zincirler, biri tek bir nesnenin üzerinde, öbürü de algılayan kişinin bilinç alanında olmak üzere iki ortak noktada birleşmektedirler. Ancak ortamda bulunan ara nedensel bağlantılarla, algılamayı yapan kişinin duyularına ve kavrayışına aracılık eden donanımda yer alan ara bağlantılar birbirlerinden farklıdır. Fiziksel görüşünün iki açılı yorum biçimine göre, bir beyin hali ile belli bir bilinç hali birbirleriyle özdeşleştirildiklerinde, ortak nesneyi ortak nokta olarak kabullenmekte herhangi bir güçlükle karşılaşılmamaktadır. İşin aslına bakılırsa, bu ortak nesne beynin kendi halinden başkası değildir. Çünkü fiziksellik görüşü, varlıkbilimsel açıdan üstünlüğü fiziksel betimlemeye tanımaktadır. Bu durumda öteki ortak nokta, yani algılamayı gerçekleştiren kişinin bilinç alanı boşta kalmaktadır. Ancak belki de iki açılı kuramın bu konuda kaçamak yaparak iki anlamlı bir bildirimde bulunmaktan kendini alamadığını söylemek daha doğrudur. Çünkü, açıkça ifade olunmaksızın ortak bir alanın, zihinsel ve fiziksel öğelerin karşılaşma ve karşılaştırılma noktası olduğu varsayılmakta, ancak fiziksellik görüşünün doğruluğu adına bu alana bağımsız bir nitelik tanınmamaktadır.

Bununla ilgili olarak fiziksellik görüşüne karşı çıkan bir iddia daha vardır. Bu iddia, benim "fenomenolojik ilke" adını verdiğim (şayet literatürde başka bir isimle anılmaktaysa, yahut daha iyi bir isim önerilecek olursa memnuniyetle kabul edebilirim) bir felsefi ilkeye dayanmaktadır. Buna göre, tutarlı bir felsefi sistem ne tip bir varlıkbilim görüşüne yer verirse versin, bu varlıkbilim görüşü dış görünümleri açıklamada her halükârda yeterli olacaktır. Bu ilkeden çıkan sonuca göre fiziksellik görüşü tutarsızdır. Fiziksellik yanlısı bir varlıkbilim görüşü bu noktada belki, hatta büyük olasılıkla, varlıksal bir hiyerarşi öngörecektir. Bu hiyerarşide temel seviye tipik olarak temel atomaltı

parçacıkları ve alanları, daha üst seviyeler de bu temel varlıkların meydana getirdikleri bileşikleri içermektedir. Bu bileşikler türlü şekillerde nitelenebilirler. İnce taneli olanların mikroskobik durumu ayrıntısıyla verdikleri kabul edilir. İri taneli olanlar ince taneli olarak betimlenenlerin toplamından, ortalamasından veyahut bir bütün halinde birleşiminden meydana gelmiştir. Kurulan ilginin cinsine bağlı nitelemelerse, söz konusu bileşik sistem ile algılayıcı donanım veya algılayan kişi arasındaki sebep-sonuç ilişkilerine dayanmaktadır. Peki doğanın bu tarzda davranışında duyuların edindiği dış görünümler nereye denk düşmektedir? İnce taneli yapısal bir nitelemeye denk düşmemektedirler; tabii ki zihinsel özellikler, fiziksellikte öngörülenin tersine, temel seviyedeki fiziğe çekilmediği sürece. Bu görünümler, önceki paragrafta zayıf yanına değinilen iki açılı bir kuram olmaksızın, iri taneli betimlemeye de uygun düşmemektedirler. Ve nihayet, nesne, bir sebep-sonuç ilişkisi içinde, duyuları olan bir denekle temasta bulunmadığı sürece, kurulan ilişkinin cinsine bağlı bir nitelemeye de dahil edilemeyeceklerdir. Kısacası, duyular yoluyla erişilen dış görünümler, fiziksellik yanlısı bir varlıkbilimde hiçbir yere denk düşmemektedirler.

Fiziksellik görüşüne karşı çıkan bu iki akıl yürütme basit ama sağlamdır. Bu iddialara karşı koymak ve zihni varlıksal bir türev olarak kabul etmek, belli birtakım kapsamlı ama müşkül değerlendirmeler olmasaydı, herhalde çok zor olurdu. Bu değerlendirmelerden ilki, zihinsel etkinliğin yüksek düzeyde gelişmiş bir sinir sisteminden bağımsız olarak da mevcut olduğu yönünde hiçbir kanıt bulunmadığıdır. Roger'in dediği gibi, "Şayet 'zihin', fiziksel bedenin oldukça dışında kalan bir şey ise, ona ait bunca özelliğin ne diye fiziksel bir beyne ait özelliklerle bu derece yakın bir birliktelik sağladığını anlamak doğrusu pek güçtür" (ZG, s.350). İkincisi, nöron yapılarının, bu türlü yapılardan yoksun olan ilkel organizmaların evrimleşmesinin bir ürünü olduğunu ortaya koyan olabildiğine çok kanıt bulunmaktadır. Kaldı ki, şayet evrimin biyolojik canlılığın ortaya çıkışından önceki devirlere kadar uzandığı doğruysa, genbilimini inorganik moleküllere

ve atomlara dayandırmak bile mümkündür. Üçüncü değerlendirme, temel düzeydeki fiziğin söz konusu inorganik bileşenlere hiçbir zihinsel özellik atfetmediğini fark etmekten geçmektedir.

A.N. Whitehead'in (Leibniz'in monadolojisini kendine örnek aldığı) "organizmaların felsefesi"[5], yukarıdaki üç değerlendirmenin üçünü de hesaba katan, ancak ufak tefek kısıtlamalara tabi tutan bir zihinsel varlıkbilim benimsemiştir. Bu varlıkbilimin en ucunda bulunan varlıklar "gerçek sebepler"dir. Bunlar sürekliliğe sahip varlıklar değil, uzay-zamansal kuantumlardır ve her biri "deneyim", "dolaysız öznel mevcudiyet" ve "arzu" gibi –çoğunlukla çok düşük bir seviyede– zihinsel niteliklere bahşolunmuşlardır. Bu türden kavramların anlamları, iç gözlem yoluyla bilgi sahibi olabildiğimiz yüksek seviyeli bir zihinsel etkinlikten türetilirler, ancak bu bilinen seviyede kalmayıp dışa doğru yöneldikçe muazzam ölçüde değer kazanırlar. Whitehead'in, sebeplerin zaman içindeki zincirlenişi olarak tasarladığı bir temel fizik parçacığı, alışılmış fizik kavramları kullanılarak pek az bir isabet kaybıyla tanımlanabilir. Çünkü bu parçacığın deneyimlenmesi donuk, tekdüze ve art arda yinelenen bir deneyimdir. Ancak az da olsa bir kayıp söz konusudur: "Fiziğin temelinde yatan fiziksel enerji kavramı, bu taktirde, her bir sebebin kendi kendisini tamamladığı son aşamadaki sentezin kendi öznel biçiminde içkin, duygulu ve amaç dolu bir halde bulunan karışım enerjisinin bir soyutlaması olarak düşünülmelidir."[6] İlkel zihinsel etkinliğin yoğun, tutarlı ve tam anlamıyla bilinçli hale gelmesine ancak yüksek seviyede örgütlenmiş bir sebepler topluluğu olanak tanıyabilir: "İnorganik maddenin işlevlerinin işlerliği, canlı haldeki maddenin işlevlerinin işleyişi arasında bozulmadan kalmaktadır. Öyle görünüyor ki, canlılığını sürdürdüğü apaçık ortada olan cisimlerde, en uçtaki sebeplere has birtakım işlevleri gözler önüne seren bir eşgüdümlenme sürüp gitmektedir."[7]

Whitehead'in adı ZG kitabının sonundaki dizinde yer almamakta ve *Kralın Yeni Usu*[8] kitabında geçtiği tek yer de, Whitehead ve Russel'in *Principia Mathematica*'sına ait bir göndermeye konu olmaktadır. Roger'in onu göz ardı etmesinin nedenlerini bilmiyorum, ancak

onun da katılacağını sandığım bazı itirazlarıma burada yer vermek istiyorum. Whitehead kendi zihinsel varlıkbilimini, doğanın, zihinden bağımsız bir fiziksel dünya ve yüksek seviyeli bilinç içeren bir zihin biçiminde "çatallaşmasına" bir çare olarak öne sürmektedir. Bütün sebeplere düşük seviyeli bir ilkel zihinsel etkinlik atfetmesi, işte bu muazzam boşluğu kapatma amacını gütmektedir. Halbuki acaba temel parçacıkların ilkel zihinsel etkinlikleri ile insan varlıklarının yüksek seviyeden deneyimleri arasında da bununla boy ölçüşebilecek derecede büyük bir çatallaşma söz konusu değil midir? Üstelik düşük seviyedeki ilkel zihinsel etkinliğe doğrudan işaret eden herhangi bir kanıt mevcut mudur? Evren'in ilk hali ile, bilinçli organizmaların yerleşme mekânı olan şu anki Evren arasında süreklilik sağlama kaygısı olmasaydı, acaba herhangi birisi böyle bir varsayım ortaya atar mıydı? Şayet söz konusu olabilecek tek sebep bu ise, "ilkel zihinsel etkinlik" deyiminde geçen "zihinsel etkinlik" bildirimi ikili bir anlam taşımaz mı? Ve böylelikle bütün organizma felsefesi, bir proplemin adını değiştirip onu çözüm diye sunmaktan ibaret dilsel bir aldanışa dönüşmüş olmaz mı? Üstelik tasarlanan gerçek sebeplerin Evren'deki en uç somut varlıklar olarak görülmeleri, her ne kadar Demokritus ve Gassendi'ninkinden daha zengin olsa da, yine de zihnin, yüksek seviyede deneyimlerimizin ortaya koyduğu bütünsel niteliği ile tutarsızlık gösteren bir tür atomcu görüşe yol açmaz mı?

Bir sonraki kısımda, Whitehead'in savunduğu fikirlerin, kuantum mekaniğine ait belli kavramlar yardımıyla günümüze uyarlanması yoluyla, bu itirazlara belli ölçüde cevap verilebileceğini savunacağım.[9]

4.2. *Kuantum Kuramı Bünyesindeki Fikirlerin Zihin-Beden Problemine Uygunluğu*

Kuantum kuramındaki en radikal kavram, bir sistemin tam halinin –yani sistemi, olabilecek en eksiksiz biçimde belirleyen halin–, sistemin gerçek özelliklerinin bir birikimi ile tam olarak verilemeyeceği,

buna ek olarak gizil durumları da içermesi gerektiğidir. Gizil durum fikri, üst üste binme ilkesinde saklıdır. Bir kuantum sisteminin bir A özelliği ve $\varnothing$ gibi bir hal vektörü (kolaylık olması açısından birim uzunlukta olduğu varsayılsın) belirlendiğinde, $\varnothing, \Sigma_i c_i u_i$ biçiminde ifade edilebilir. Burada u_i, A'nın a_i belli değerini aldığı hali temsil eden birim uzunlukta bir hal vektörüdür ve c_i'ler de $|c_i|^2$ toplamının 1'e eşit olduğu birer karmaşık sayıya denk gelmektedir. Bu durumda $\varnothing$, uygun orantı katsayıları ile çarpılmış u_i'lerin üst üste binmesinden meydana gelmektedir ve bu toplam tek bir terim içermediği sürece, $\varnothing$ ile gösterilen hale karşılık gelen A değeri belli değildir. Kuantum hali, gerçekçi bir bakış açısıyla, sistem hakkındaki bilginin bir özeti olarak değil, sistemin kendisinin bir temsili olarak yorumlanmaktadır. Şayet kuantum betimlemesi tam ise, "gizli değişkenler" aracılığıyla herhangi bir eklemeye ihtiyaç göstermiyorsa, o halde söz konusu belirsizlik nesneldir. Dahası, eğer sistem, A'yı belirli kılacak biçimde ortamla etkileşim içindeyse, örneğin bir ölçüm yapılmaktaysa, o taktirde ortaya çıkacak sonuç nesnel bir rastgelelik meselesidir ve gerçekleşmesi olanaklı türlü sonuçların $|c_i|^2$ ile verilen olasılıkları da nesnel olasılıklardır. Nesnel belirsizlik, nesnel rastgelelik ve nesnel olasılıktan meydana gelen bu özellikler, kuantum halinin bir gizil durumlar ağı olarak nitelenmesiyle bir araya toplanırlar.

Kuantum kuramındaki ikinci radikal kavram dolaşıklık kavramıdır. u_i gösterimi, I sistemine ait halleri temsil eden birim uzunlukta hal vektörleri olsun ve sisteme ait bir A özelliği bu haller üzerinde ayrık değerler alsın. v_i de II sistemine ait, sistemin bir B özelliği ayrık değerler olmak üzere, hal vektörleri olsun. Bu durumda $I + II$ sisteminden oluşan bileşik sistemin, alışılmış özelliklerin dışına çıkan $X = \Sigma_i c_i u_i v_i$ ($|c_i|^2$ toplamı 1'e eşit olmak üzere) gibi bir hal vektörü mevcuttur. Ne I ne de II kendi başına saf bir kuantum halindedir. Ayrıca II, u_i vektörlerinin bir üst üste binmesi değil ve II de, v_i vektörlerinin bir üst üste binmesi değildir. Çünkü bu tür üst üste binmeler, u_i ile v_i'nin arasında karşılıklı bir ilişki mevcut bulunduğunu göze almamaktadırlar. Bu sebeple X bir bakıma, "dolaşık" olarak ifade edilen,

bütüncül bir haldir. Bu sayede kuantum kuramı, klasik fizikte işlev açısından bir benzeri bulunmayan bir birleştirme tarzına sahiptir. Örneğin a_i değerine karşılık gelmek üzere A'nın gerçek kılındığı bir süreç söz konusu olduğunda, B de otomatik olarak gerçekliğe kavuşacak ve bi değerini alacaktır. Bu şartlar altında dolaşıklık, I ve II'nin gizil durumlarının ikili bir biçimde gerçekleşmesini gerektirmektedir.

Kısım 4.1'in sonunda üstü örtülü biçimde değindiğim yenileştirilmiş Whiteheadcilik, gizil durum ve dolaşıklık kavramlarını vazgeçilmez olarak içermektedir. Gizil durumlar, donuk bir ilkel zihinsel etkinlik ile yüksek seviyeli bir bilinç arasında meydana gelen çatallaşmanın birleştirilebileceği bir araç konumundadır. Hayli gelişmiş bir beyne sahip karmaşık bir organizma da bilinçsiz bir duruma geçebilir. Bilinçlilik ve bilinçsizlik halleri arasındaki geçişin varlıksal bir statü değişimi olarak yorumlanması gerekmez. Bu, mevcut özelliklerin belirlilik durumu ile belirsizlik durumu arasında bir taraftan öbür tarafa geçişe tabi olduğu bir hal değişimi olarak yorumlanabilir. Bir elektron gibi basit bir sistem söz konusu olduğunda en fazla sözünü edebileceğimiz şey, deneyim alanının en uç noktasındaki belirsizlik durumundan küçücük bir pırıltı seviyesine bir geçiş meydana geldiğidir. Oysa bu geçiş noktasında, ikinci kavram olan dolaşıklık da işin içine girmektedir. Dolaşıklık halinde bulunan çok parçalı bir sistemde, tek bir parçacığa nazaran daha çok gözlemlenebilir özellik mevcuttur ve gözlemlenebilir nicelikler bu şekilde bir arada değerlendirildiğinde karşılaşılan spektrum, çoğunlukla, bileşen parçacıkların kendilerinin meydana getirdikleri spektrumlardan çok daha geniştir. Her biri çok kısıtlı zihinsel özelliklere sahip temel sistemlerin dolaşıklığı da, böyle düşünüldüğünde, bilinçsizlik durumundan yüksek bilinçlilik durumuna dek değişen geniş bir yelpaze oluşturabilir.

Bu modern Whiteheadcilik, Roger'ın kuantum fikirlerini zihin-beden problemine uygulaması ile hangi noktalarda buluşmaktadır? ZG kitabının 7. Bölüm'ü ile bu kitabın 2. ve 3. bölümlerinde, Roger gizil durumlara ve dolaşıklığa ait iki büyük fikre zorunlu olarak yer vermiş. Gizil durumlar fikrine, "kuantum düzeyinde hesaplamalar"ın

nöronlardan oluşan bir sistemde gerçekleştirildiği varsayımı bağlamında başvurulmaktadır. Meydana gelen üst üste binme durumunda her bileşen, öteki bileşenlerin yaptıklarından bağımsız bir hesaplama gerçekleştirmektedir (ZG, s.355-356). Bu hesaplamaların nasıl gerçekleştiğini açıklayabilmek için de, birkaç noktada dolaşıklık (ki Roger buna genellikle "eşdurumluluk" olarak değinmiş) fikrine başvurulmaktadır. Bunlardan birisi, hücre duvarlarında yer alan mikrotübüllerin, nöronların işlevlerini gerçekleştirmelerinde örgütleyici bir rol oynadıklarının sanılmasıdır. Bu amaçla miktotübüllerin bir dolaşıklık halinde bulunduğu varsayılmaktadır (ZG, s.364-365). Şu halde tek bir nöronun mikrotübülleri dolaşıklık halinde bulunmalıdır. Bir de, çok miktarda nörona ait bir dolaşıklık halinin olduğu varsayılmaktadır. Geniş ölçekli bir dolaşıklığa ihtiyaç vardır, çünkü "zihnin tek başına bir birlik ve bütünlüğe sahip olması, bu betimlemede ancak beynin önemli bir kısmına yayılan bir tür kuantum eşdurumluluğunun olması sayesinde mümkündür" (ZG, s.372). Roger, üstün iletkenlik ve üstün akışkanlık, özellikle de yüksek sıcaklıklarda meydana gelen üstün iletkenlik ve Fröchlich'in hesaplamaları dikkate alındığında, geniş ölçekli dolaşıklığın, biyolojik sistemlerde vücut sıcaklığında da meydana gelebileceği yolundaki önerisinin akla yakın olduğu konusunda diretmektedir (ZG, s.367-368). Roger'ın zihne yaklaşım tarzında yer verdiği diğer bir kuantum fikri, günümüzde mevcut kuantum kuramından değil, onun gelecekte var olacağını düşündüğü kuantum kuramından uyarlanmıştır. Fakat bunu kısım 4.3'te ele alacağım. Bu fikir bir üst üste binme durumunun nesnel indirgenmesi (kısa adıyla OR) meselesidir. A ile gösterilen gözlemlenebilir bir niceliğin, gerçek değeri, başlangıçta olanaklı olan geniş bir değerler kümesinin içinden seçilmektedir. Zihin kuramı açısından böyle bir gerçekleşmenin kaçınılmaz oluşu, bilinçli deneyimlerimizde su götürmez bir belirliliğe sahip duyguların ve düşüncelerin yer alması gerçeğiyle desteklenmektedir. Kuantum düzeyinde hesaplama diye bir şeyin söz konusu olması durumunda dahi buna ihtiyaç vardır. Zira üst üste binmenin değişik bileşenlerinde gerçekleştirilen paralel işlemlerin bitiminde belirli bir "sonucun" okunabilmesi şarttır (ZG, s.356). Son olarak Roger, OR'un,

zihnin işleyişinin hesaplamaya dayanmayan yönlerini ortaya koyacağını iddia etmektedir.

Modern Whiteheadci görüş açısından bakıldığında Roger'ın zihin kuramında -bilerek ya da bilmeyerek- eksik kalan şey, zihinsel etkinliğin Evren'de varlıksal bir temel oluşturduğu fikridir. Roger'ın açıklamaları, fizikselliğin kuantum açısından yorumlandığı kanısını uyandırmaktadır. Fizikselliğin kısım 4.1'de değinilen değişik yorum biçimlerinde, zihinsel özellikler, beyin hallerinin yapısal özellikleri veya nöron toplulukları tarafından gerçekleştirilen hesaplamalara destek sağlayan programlar olarak değerlendirilmekteydi. Roger'ın girişimleri, zihinsel etkinliği fiziksellik görüşü yoluyla açıklama çabalarına yeni malzemeler sağlamıştır. Bu malzemeler, üst üste binme durumlarının indirgenmesini açıklamak üzere öngörülen büyük ölçekli kuantum eşdurumluluğu ve kuantum dinamiğinde gerçekleştirilmesi öngörülen tadilatlardır. Oysa ki bu türlü ince bir detaylandırma, Kısım 4.1'de fiziksellik aleyhine öne sürülen basit fakat oturaklı iddiaların sağlamlığını zayıflatamamaktadır. Fiziksellik yanlısı bir varlıkbilimde zihinsel yaşayışımızın değişik görünümlerine hiç yer yoktur ve kuantum kurallarının hükmünde bulunsa da, fiziksellik yine de fizikselliktir. Halbuki Whitehead'in organizma felsefesi tam tersine radikal biçimde fiziksellik karşıtıdır. Çünkü Evren'deki en ilkel varlıklara zihinsel özellikler atfetmekte, böylece onların fiziksel betimlemelerini tahminen zenginleştirmektedir. Kesin sınırlarını belirlemeksizin ortaya atmış olduğum Whiteheadcilik'in modern yorumlanış biçimi, kuantum kuramını zihinsel etkinliğin kimi durumlarda kendine has mutlak çöküntü hallerinden üst seviyeli açılımlarına dek değişen uçsuz bucaksız türlü tezahürlerini açıklayabilmek amacıyla, ondan aklın kullanımına dayanan bir araç olarak faydalanmaktadır.

Bu zıtlık başka bir biçimde de dile getirilebilir. Kuantum kuramı hal, gözlemlenebilir nicelik, üst üste binme, geçiş olasılığı ve dolaşıklık gibi kavramlara belli bir plan dahilinde yer veren bir yapı iskelesidir. Fizikçiler bu iskeleyi çok farklı iki tür mevcudiyet üzerine başarıyla inşa etmişlerdir. Bunlar elektronları, atomları, molekülleri ve

kristal yapıları inceleyen göreli olmayan standart kuantum mekaniği bünyesindeki parçacıkların mevcudiyeti ve kuantum elektrodinamiği, kuantum kromodinamiği ve genel kuantum alan kuramı çerçevesindeki alanların mevcudiyetidir. Kavrayış sınırlarını birazcık zorlamakla, kuantum kuramını büsbütün farklı başka mevcudiyetlere de uygulamak olanaklıdır; sözgelimi zihinlerin mevcudiyetine, ikizli (dualistic; ç.n.) bir mevcudiyete yahut ilkel bir zihinsel etkinlik yeteneğiyle bahşolunmuş varlıkların mevcudiyetine. Kuantum kuramının fiziksellik yanlısı olağan uygulamaları, makroskopik olanlar da dahil olmak üzere bileşik sistemlerde gözlenen olayları mikrofiziksel terimlerle açıklama girişiminde müthiş derecede verimli olmuştur. Bana kalırsa Roger'ın yapmaya çalıştığı şey de bunun bir benzeridir: Kuantum kavramlarının incelikli bir kullanımı yardımıyla, zihinsel olayların fiziksellik görüşüne dayanan bir varlıkbilim bünyesinde açıklanmaya çalışılması. Modern Whuteheadcilik ise tam tersine kuantum kuramının iskelesini *daha işin başında* zihinsel bir mevcudiyet üzerine kurmaktadır. Gerçi itiraf etmek gerekir ki, modern Whiteheadcilik henüz olgunlaşmamış, izlenimci ve ileri sürdüğü önerileri "umut vaat eden" bir kuram haline sokabilmesi için gereken kuramsal öngörülerden ve deneysel doğrulamalardan yoksun bir konumdadır. Fakat öte yandan, zihinsel etkinliğin türetilmesinin olanaksızlığını fark etmesinden doğan bir üstünlüğe de sahiptir ki, bu meziyet fiziksellik görüşünün hiçbir yorumunda yoktur. Ola ki ben Roger'ı okurken ya da dinlerken yanlış anlamışımdır; aslında o belki üstü kapalı bir Whiteheadcidir de, bunu daha önce fark etmemişimdir. Öyle olsa da olmasa da, herhalde meseleyi açık seçik ifade etmesi, bulunduğu konumu büyük oranda aydınlığa kavuşturacaktır.

Şayet Whitehead'in görüşlerinin çağa uygun bir yorumunun veya zihin konusuna eğilen herhangi bir kuantum kuramının, bilimsel olgunluğa ve desteğe kavuşması amaçlanıyorsa, psikolojik fenomenlere bir hayli dikkatle eğilinmesi gerekir. Öyle olaylar vardır ki, bunlardan bir 'kuantum kokusu" yayılmaktadır. Sözgelimi bakışların yanal görüntülerden odak noktasındaki görüntüye doğru kayması, bilinçlilik

ile bilinçsizlik halleri arasındaki geçişler, zihnin bedene bürünmüşlüğü, kasıtlılık, zihinsel olayların zaman içindeki yerlerinin belirlenmesinde karşılaşılan anormallikler ve Freudcu simgecilikte göze çarpan çokanlamlılık durumları ile birbirinden ayrılması olanaksız haller. Kuantum kokusu taşıyan bu tür zihinsel olaylar, başta Lockwood'unki[10] ve Stapp'inki[11] olmak üzere, kuantum kuramı ile zihin ilişkisi üzerine eğilen bazı önemli kitaplar tarafından irdelenmiştir. Roger da bu olaylardan birkaçına değinmektedir; örneğin bilincin pasif ve aktif yönlerine ilişkin zamanlamaları ölçen Kornhuber ve Libet deneyleri (ZG, s.385-387).

Kuantum kuramının zihin üzerine ciddi bir uygulaması, ayrıca, gözlemlenebilir nicelik kümelerinin ve uzaysal hallerin matematiksel yapısını da göz önüne almak zorundadır. Bunlar kuantumun yapı iskelesi tarafından temin edilen şeyler değildir. Göreli olmayan standart kuantum mekaniğinde ve kuantum alan kuramında bu yapılar, uzayzaman gruplarının temsil edilme yollarının düşünülmesi, klasik mekanikten ve klasik alan kuramından faydalanarak keşfedilmeye çalışılması ve elbetteki deney yolu gibi türlü yollarla belirlenmeye çalışılır.

Schrödinger'in 1926 tarihli, dalga mekaniği üzerine ünlü makalelerinden birisi muhteşem derecede verimli bir işlevsel benzeşim (analogy; ç.n.) sunmaktadır: Geometrik optiğin dalga optiğine olan benzerliğinden yola çıkarak, tanecik mekaniğinden varsayımsal dalga mekaniğine ulaşmak. Acaba yeni bir işlevsel benzeşim düşünmek bizi başka bir keşfe götürür mü: Klasik fizik ile kuantum fiziği arasındaki benzerlikten yola çıkarak klasik psikolojiden varsayımsal kuantum psikolojisine ulaşmak? Kuşkusuz böyle bir işlevsel benzeşimi ortaya atmanın en zor yanlarından birisi, "klasik psikoloji"nin yapısının çok daha az bilinmesi ve klasik mekaniğin yapısı ile karşılaştırıldığında kendine has belirliliğinin pek az oluşudur.

Bu konuda şöyle bir öneri de getirilebilir. Kuantum kavramlarının psikolojiye uygulanması belki mümkündür; ancak bu, geometrik yapının kuantum fiziğine kazandırdıkları düzeyinde olmayacaktır. Zihin

hallerinin uzayı diye bir şey söz konusu olsa bile, acaba bu uzayın Hilbert uzayının yapısına sahip olduğunu düşünmemiz mümkün müdür? Bir zihin halinden başka bir zihin haline geçiş olasılığının belirlenmesi amacıyla, özel olarak, bu iki zihin hali arasında bir iç çarpım mı tanımlanacaktır? Kuantum türünden bir yapı da olsa, acaba doğada daha zayıf bir yapının mevcut olması söz konusu olamaz mı? Mielnik'in, klasik istatistik mekanikte bir karışım halinin, kendisini meydana getiren saf haller cinsinden ancak bir türlü ifade edilebilmesine karşın, kuantum düzeyinde bir "karışım" halinin, saf hallerin dışbükey bir birleşimi cinsinden birden fazla yolla ifade edilebilmesinin, olmazsa olmaz bir kavram olduğunu öne süren çok ilginç makaleleri vardır.[12] Bu konudaki spekülasyonda bir adım daha öne çıkarak Mielnik'in fikrini desteklemek üzere renklenme olayı, örneğin beyaz olarak algıladığımız şeyin renkli ışığın türlü karışımlarıyla elde edilebilmesi, gösterilebilir.

4.3 Gizil Durumların Gerçeklik Kazanması Problemi

Roger 2. Bölüm'de (ölçme problemi veya dalga paketinin indirgenmesi problemi olarak da bilinen) gizil durumların gerçekleşmesi problemini, alıştıra alıştıra başımızdan defedemeyeceğimiz, kuramın kendisinde köklü değişikliklere gitmeksizin çözmenin mümkün olmadığı cinsten nitelemişti. Buna tamamıyla katılıyorum. Kuantum kuramı bir fiziksel sistemi nesnel yoldan tanımlamaya çalıştığında, sistemin, belli bir halde nesnel olarak belirsiz durumda bulunan, ancak bir ölçüm işleminin gerçekleştirilmesinin ardından belirli hale geçebilen birtakım gözlemlenebilir nicelikleri söz konusudur. Halbuki kuantum kuramının lineer yapıdaki dinamiği, bir ölçüm sonucu gerçeklik kazanmayı olanaksız kılmaktadır. Lineerlik, ölçüm cihazı ile nesnenin toplamından meydana gelen bileşik sistemin son halinin, ölçüm cihazının "göstergesinin" farklı değerleri gösterdiği öğelerin üst üste binmesinden meydana geldiği sonucunu öngörmektedir. Bu gizemi bir sır olmaktan çıkarmak amacıyla yapılan, örneğin birden fazla dünya, eş-

durumluluktan çıkma (decoherence; ç.n.), gizli değişkenler v.s. gibi, türlü yorum girişimlerine karşı Roger'ın gösterdiği şüpheyi paylaşmaktayım. Ölçüm işleminin şu veya bu aşamasında üniter gelişim bir şekilde devre dışı kalmakta ve gerçeklik kazanma devreye girmektedir. Ama bu hangi aşamada olmaktadır? Birçok olasılık söz konusudur.

Bu aşamanın fiziksel bir niteliğe sahip olması ve makroskopik sistem mikroskopik nesne ile, yani uzay-zaman metriği maddi sistemle dolaşıklık haline geçtiği sırada meydana gelmesi mümkündür. Ya da bu aşamanın zihinsel düzeyde, gözlemcinin psişesinde yer alması da mümkündür. Roger gerçeklik kazanmanın, uzay-zaman metriğinin iki veya daha fazla halinin üst üste binmesinin oluşturduğu dengesizlik dolayısıyla meydana çıkan fiziksel bir süreç olduğunu varsaymaktadır. Buna göre üst üste binen hallerin aralarındaki enerji farkı ne denli büyükse, üst üste binme durumu o kadar kısa sürmektedir (ZG, s.339-346). Gelgelelim bu varsayımın, Roger'ın, bilinç hallerinde yaşanan gerçek deneyimleri açıklamaya çalışma konusundaki kararlılığıyla birleştirilmesi, beraberinde çetin birtakım sınırlamalar getirmektedir. Roger zihnin küreselliği konusunu açıklığa kavuşturabilmek için, daha önce değinildiği gibi, beyin hallerinin üst üste binmesine gereksinim duymaktadır. Öyleyse kırmızı bir ışık patlaması görme durumu ile yeşil bir ışık patlaması görme durumunun üst üste binmesi gibi ucubik durumlar ya hiç mevcut olmamalı ya da bilinçte bir etki yaratamayacak kadar gelip geçici olmalıdır. Roger -kesin sınırlarını belirtmeksizin bir taslak halinde- beyin halleri arasındaki buna benzer ayrık algılamalara karşılık gelen enerji farklarının, üst üste binmenin kısa bir süre devam etmesine yetecek derecede büyük olduğuna değinmektedir. Halbuki bazı paragraflarda (ZG, s. 409, 410, 419, 342-343), dikkatli ve sağlam adımlarla ilerlemeye çalıştığını, çünkü zihnin küreselliği konusunu açıklayabilmek için yeterli seviyede bir eşdurumluluğa ve bilinçli olayların apaçık bir biçimde ortaya çıkmalarını açıklayabilmek için de, bu eşdurumluluğun yeterli derecede bozulmasına imkân tanımak zorunda olduğunu kabul etmektedir. Roger'ın çizdiği

taslak dahilinde işleyen bir beyin/zihin'in günlük yaşamda nasıl olup da sağlamca iş görebildiği, hakikaten esrarengiz bir durumdur.

Kuantum dinamiğinde, gizil durumların gerçekleşmesi durumunu nesnel yönden açıklığa kavuşturmak amacıyla yapılan tadilatların kaynağını nereden aldığı, ne Roger ne de bu konuya eğilen araştırmacıların geri kalanı tarafından henüz tam anlamıyla incelenmemiştir. Bu noktada bana çekici gelen iki yaklaşıma kısaca değineceğim. Roger, Ghirardi-Rimini-Weber'in ve diğerlerinin kendiliğinden indirgenme modelinden söz etmekte ve ikna edici biçimde eleştirmektedir. Fakat bu modeldeki bir dinamiğin, onun eleştirisinden kaçan bazı tarafları olabilir. Bir diğer yaklaşım, ki Roger bundan söz etmemiş, doğada makromoleküllerin birbirlerinden ayrık uyum sağlama biçimlerinin (conformation; ç.n.) veya izomerlerinin üst üste binmesini yasaklayan bir "üstün ayıklama kuralı"nın bulunması olasılığıdır. Bu varsayıma insanı iten şey, makromoleküllerin hücre içinde tipik birer anahtar görevini gördükleri ve süreçleri moleküllerin uyum biçimlerine göre başlattıkları veya durdurdukları düşüncesidir. Şayet iki farklı uyum biçimi üst üste binecek olursa, ortaya Schrödinger'in kedisinin hücre düzeyinde benzeşi bir durum çıkar, yani gerçekleşme ile gerçekleşmeme arasında iki arada bir derede kalmış bir süreç. Eğer doğa, bunun gibi üst üste binmeleri yasaklayan bir üstün ayıklama kuralının hükmünde ise, bu utanç verici durum önlenebilir. Fakat bunun hangi sebebe dayandığı bir sır olarak kalmaktadır. Doğa, basit moleküllerde üst üste binmelere göz yumduğu halde, karmaşık moleküllerin uyum biçimlerine karşılık gelen hallerin üst üste binmesini niçin yasaklamaktadır ve bu ikisine ait bölüm çizgisi nerede çizilidir? Öte yandan bu tarzda bir üstün ayıklama, elimizde yeterince kanıt bulunan gizil durumların gerçeklik kazanması olgusunu bir açıklığa kavuşturabileceği gibi, moleküler spektroskopi yoluyla test edilebilme özelliğine de sahip olabilir.[13]

Sonuç olarak, Whiteheadci görüş açısından bakıldığında, gizil durumların gözlemcinin psişesi sayesinde gerçeklik kazandığı hipotezinin, hiç de öyle sanıldığı gibi acayip, insanmerkezci, mistik ve bilime

aykırı olmadığını ifade etmek önemlidir. Whitehead'e göre, bir tür zihinsel etkinlik doğayı baştan başa kaplamıştır. Ne var ki yüksek seviyeli bir zihinsel etkinliğin ortaya çıkması, özel bir konukseverlikle kümelenen sebeplerin evrimleşmelerine bağlıdır. Gizil durumlara gerçeklik kazandırma ve böylelikle kuantum mekaniğinin lineer dinamiğini değişikliğe uğratma kapasitesi, doğadaki bütün sistemlerde mevcut olabilir. Fakat bu, ancak yüksek seviyeli zihinsel etkinliğe sahip sistemlerde ihmal edilemeyecek derecede önem kazanmaktadır. Gelgelelim ben, bu görüşlere tanınan böylesi bir toleransın belli bir şarta bağlanmasını ve insan psişesine üst üste binmeleri indirgeyici bir gücün atfedilmesi fikrinin, ancak bunun taşıdığı anlamın geniş bir yelpazeye yayılan psikolojik olaylar üzerindeki etkilerinin dikkatlice incelenmesinden sonra ciddiye alınmasını önermekteyim. Çünkü söz konusu hipotezin kontrollü birtakım deneylerle sınanması olasılığı ancak o zaman doğacaktır.

DİPNOTLAR

1. "Bilmek zorundayız, öyleyse bileceğiz." Bu uyarı Hilbert'in mezartaşında yazılıdır. Bkz. Constance Reid (1970), *Hilbert,* s. 220, (New York: Springer-Verlag).
2. Hilary Putnam (1994), Review of *Shadows of the Mind, The New York Times Book Review,* 20 Kasım 1994, s. 1.
3. Roger Penrose (1994), Letter to *The New York Times Book Review,* 18 Aralık 1994, s. 39.
4. Ned Block (1980), *Readings in Philosophy of Psychology,* cilt 1, bölüm 2-3, (Harvard University Press, Cambridge, MA).
5. Alfred North Whitehead (1933), *Adventures of Ideas,* (Macmillan, Londra); (1929), *Process of Reality* (Macmillan, Londra).
6. A. N. Whitehead, *Adventures of Ideas,* bölüm 11, kısım 17.
7. A.g.e., bölüm 13, kısım 6.
8. Roger Penrose (1989),*The Emperor's New Mind,* (Oxford University Press, Oxford).
9. Abner Shimony (1965), 'Quantum physics and the philosophy of Whitehead', Max Black (der.), *Philosophy in America* (George Allen & Unwin, Londra): yeni baskı A. Shimony (1993). *Search for a Naturalistic World View,* cilt 2, s. 291-309, (Cambridge University Press, Cambridge); Shimon Malin, (1988), A Whiteheadian approach to Bell's correlations, *Foundations of Physics,* **18**, 1035.
10. M. Lockwood (1989), *Mind, Brain and the Quantum,* (Blackwell, Oxford).
11. Henry P. Stapp (1993), *Mind, Matter and Quantum Mechanics,* (Springer-Verlag, Berlin).
12. Bogdan Mielnik (1974), Generalized quantum mechanics, *Communications in Mathematical Physics,* **37**, 221
13. Martin Quack (1989), Structure and dynamics of chiral molecules,*Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **28**, 571.

V
Neden Fizik?

NANCY CARTWRIGHT

Roger Penrose'un *Zihnin Gölgeleri* adlı kitabını, London School of Economics ve King's College London'ın katılımıyla gerçekleştirilen *Felsefe: Bilim veya Tanrıbilim* adlı bir seminer dizisinde tartıştık. Seminer sırasında katılımcılardan biri tarafından bana yöneltilen şu soruyu sorarak başlamak istiyorum: "Roger"ın, zihin ve bilinç konusunda mevcut soruların cevaplarının biyolojide değil de fizikte bulunabileceğini düşünmesinin sebepleri nelerdir?" Görebildiğim kadarıyla Roger'ın ileri sürdüğü üç tür sebep var:

(1) Bu tarzdaki düşüncemizi destekleyen çok umut vaat edici bir program öne sürebiliriz. Bu, Roger'ınki gibi bir tasarım için verilebilecek en güçlü nedendir. Gerçek bir pozitivist olduğumdan ve hem metafiziğin hem de transandantal türden iddiaların daha baştan karşısında bulunduğumdan, bu tarzda bir kanıtlamanın, üzerine en çok ağırlık vermemiz gereken tek türden kanıtlama olduğu düşüncesini savunmaya hazırım. Kuşkusuz bu

tarzda bir akıl yürütmenin, bir tasarımı ne denli kuvvetle destekleyeceği, ileri sürülen programın ne ölçüde umut vaat ettiğine ve ne derecede detaylandırıldığına bağlı olacaktır. Roger'ın -ilkin hücreiskeletteki mikrotübüller üzerinde mikroskopik düzeyde bir kuantum eşdurumluluğunu gerçek olarak kabul etmekle, ardından da bu yeni tür kuantum-kyasik etkileşimi çerçevesinde bilince has ve hesaba dayanmayan birtakım özellikler aramaya çalışmakla ortaya attığı- önerisinin ayrıntılı bir program sunmadığı açıkça meydandadır. Önerisinin parlak vaatlerde bulunmasının sebebi, elbette, gündemde yer işgal eden iyice doğrulanmış ve gelişmekte olan bir araştırma alanında doğal olarak atılması gereken bir sonraki adımı oluşturduğu gerçeği değildir. Şayet insana umut vaat edici görünüyorsa, bu, kuantum mekaniğini yeni bir çözümlemeye kavuşturmak için bu türde bir etkileşime zaten gerek duyulduğu yönündeki kanaat, bilince bilimsel bir açıklama getirecekse bunun en nihayetinde fiziksel bir açıklama olması gerektiğine dair önceden yapılan güçlü teminat ve tabii ki hepsinin ötesinde öne sürülen fikirlerdeki cüretkârlık ve hayal gücü dolayısıyladır. Sanırım tartışmamız gereken açıklamanın fiziksel bir açıklama olması gerektiğine ilişkin kanaat, Roger'ın sunduğu program için umut vaat edici hükmünü vereceksek, bir anahtar rolü oynamalıdır. Ancak şurası apaçık ki, bunun oynadığı rol ölçüsünde, öne sürülen program hakkında umut vaat edici hükmünü veriyor olmamız, sorunun üstesinden gelecek olanın başka bir bilim dalı değil de fizik olduğunu düşünmemiz için yeterli sebep oluşturmaktadır.

(2) En nihai açıklamayı fiziğin kendi başına sağlayacağını düşündüren ikinci tür sebep, fiziğin bazı alanlarının -özellikle de elektromanyetizmanın- beyni ve sinir sistemini anlamamıza katkıda bulunmasıdır. Haber iletimini, bugüne dek elektrik devreler kuramına ait kavramlarla standart yoldan açıklayabil-

dik. Roger'ın anlattığı öykünün bir kısmı, elektromanyetizmanın oldukça yeni bazı uygulamalarına dayanmaktadır. Tübülin ayarlayıcıların değişik elektriksel kutuplanma hallerinin, geometrik konfigürasyonda, ayarlayıcıların mikrotüpün içine değişik açılarla kıvrılmasına sebep olan değişikliklerin meydana gelmesine temel oluşturduğu sanılmaktadır. Fakat bu tür bir açıklama sorunun üstesinden gelmeyecektir. Fiziğin, öykünün bir kısmını anlatabilmesi, geri kalanını da anlatması gerektiği sonucuna varmak için yeterli bir sebep oluşturmamaktadır.

Bu aşamada tam tersini savunmak için kimi zaman kimyaya başvurulmaktadır. Öykünün önemli bir kısmının bize kimya tarafından anlatılacağını kimse reddedemez. Fakat, sanıldığı kadarıyla, kimyanın ilgili kısımları aslında fizikten başka bir şey değildir. Roger da bunun böyle olduğunu düşünmektedir: "Atomların ve moleküllerin etkileşimlerinden sorumlu olan kimyasal kuvvetler aslında gerçekten de kuantum mekaniksel bir niteliğe sahiptirler. Sinyalleri *sinaptik yarıklar* adı verilen minnacık boşluklar üzerinden bir nörondan diğerine ileten *nöroaktarıcı* maddelerin davranışları kimyasal bir işleyiş sayesinde yönetilmektedir. Ayrıca sinirsel sinyallerin iletiminin fiziksel kontrolünden sorumlu etkileşim potansiyelleri de, herkesçe kabul edildiği gibi kuantum mekaniksel özelliktedirler." (ZG, s. 348). Bu noktada "Öykünün bir kısmı fizik tarafından söylenmektedir" gerçeğinden, "Öykünün tamamı fizik tarafından söylenecektir" çıkarımına sıçramasına sebep olan dev adımı konusundaki endişelerime cevap olmak üzere, kimya, fiziğin yardımına koşmaktadır. Ama aynı sıçrama bu kez bir alt seviyede yeniden karşımıza çıkmaktadır. İşin kötü tarafı, ne kuantum seviyesinde ne de klasik seviyede, fiziksel kimyanın ilgili kısımlarının fiziğe gerçek anlamda indirgenmesi diye bir şey söz konusu değildir.[1] Kuantum mekaniği kimyasal olayların türlü yönlerinin açıklanmasında önem kazansa da, kuantum kavramları, diğer alanların *kendine has*, yani indirgenmemiş

kavramları yanında yardımcı olarak kullanılmaktadırlar. Olaylara kendi başlarına bir açıklama getirmemektedirler.

(3) Fiziğin zihne bir açıklama getireceğinin düşünülmesinin ardında yatan üçüncü sebep metafizik kaynaklıdır. Roger'ın kullandığı zincire bir göz atalım. Zihnin işleyişinin *bir sır olmadığını* varsaymamız gayet yerinde olur. Bu demek oluyor ki *bilimsel terimlerle* açıklanabilir. Bu da demek oluyor ki *fizik* terimleriyle açıklanabilir. Seminer sırasında "Neden biyoloji olmasın?" sorusu, ünlü istatistikçi James Dursin tarafından yöneltilmişti. Bence bu gayet makul bir sorudur. Bir istatistikçi olarak Durbin çok kesitli bir dünyada yaşamaktadır. Hem bilimsel hem de pratik olmak üzere, her çeşit alandan türlü karakteristik biçimlerle çalışmaktadır. Roger'ın dünyası ise tam tersine *birleşik bir sistemin* mevcut olduğu bir dünyadadır ve bu birleşimin temelinde yatan şey fiziktir. Kanımca bu tarzda bir fizikselliğe sebep oluşturan şey, öbür yanda daha tatmin edici bir metafiziğe sahip olmadığımız fikridir. Böyle bir sistem olmazsa, bir tür kabul edilemez ya da Roger'ın deyimiyle gizemli, bir ikizlilikle (dualism; ç.n.) baş başa kalırız. Tartışmak istediğim konu budur.[2] Çünkü kanımca başka anlamlı bir seçenek olmadığı görüşü pek çok fizikçiyi hükmü altında tutmaktadır. Dünyayı betimlemede fiziği ciddiye alan birisinin, onun hakimiyetine inanmak zorunda olduğu gibi bir his vardır.

Neden? Göründüğü kadarıyla dünya üzerinde çok, ama pek çok sayıda farklı özellik işbaşındadır. Bir kısmı belli bir bilim dalı, bir kısmı da bir başkası tarafından incelenmekte, yine bir kısmı değişik bilim dallarının kesişim noktasında bulunmakta, ama büyük çoğunluğuna hiçbir bilim dalı ilgi göstermemektedir. Görünenin ardında, bunların hepsinin de aynı yerden kaynaklandıkları görüşünü meşru kılan nedir? Sanırım iki şey: Birisi aralarında meydana gelen etkileşimlerin sistemli bir yapıda olduğuna duyulan aşırı güven, diğeri de fiziğin bugüne

kadarki başarılarının etkisiyle aşırıya kaçan bazı tahminler.

Metafizik bakış açısına getirilen ve yalnızca bir tür fiziksellik yanlısı tekçiliğe (monism; ç.n.) yer veren bu kısıtlamanın, felsefe alanında da, hatta özel bilim dallarının fiziğe indirgenmesine karşı çıkanlar arasında da yaygın olduğunu belirtmeliyim. İndirgemeciliğin çoktan modasının geçtiği ve gitgide artan karmaşıklık seviyelerinde ve örgütlenme biçimlerinde yeni yeni özelliklere ve yasalara yer veren bir beklenmedikliğin (emergenticism; ç.n.) ciddi biçimde yeniden gündeme geldiği biyoloji felsefesini ele alalım. Birçokları hâlâ bir tür tekçilikten öteye geçememekte ve "üstoluşum" konusunda diretmek zorunda olduklarını hissetmektedirler. Biyolojik özelliklerin oluşumlarının fizik özelliklerin üzerine meydana geldiklerini söylemek, aşağı yukarı, fiziksel özellikleri yönünden özdeş iki durumun zorunlu olarak biyolojik özellikleri yönünden de özdeş olmaları gerektiğini söylemeye denk düşmektedir. Dedikleri kadarıyla, bu, biyoloji yasalarının fizik yasalarına indirgendiği anlamına gelmemektedir, çünkü biyolojik özellikler fizik terimleriyle tanımlanmaya ihtiyaç göstermemektedirler. Bu, biyolojik özelliklerin apayrı ve kendi başlarına özellikler olmadıkları anlamına gelmektedir, çünkü ne de olsa fiziksel özelliklerle sağlama alınmışlardır. Fiziksel betimleme bir kez rayına oturdu mu, artık biyolojik betimleme, olduğundan başkası olamaz. Biyolojik özellikler büsbütün bağımsız bir statüye sahip değildirler. İkinci sınıf vatandaş konumundadırlar.

Biyolojik özelliklerin ayrı özellikler olduklarını, kendilerine has bir sebep-sonuç ilişkisi içinde bulunduklarını ciddiye almak, deneysel kanıtlara göz göre göre başkaldırmak demek değildir. Bilimde gözümüzün önüne serilen şey konusunda en ufak bir şüphem yok: Biyolojik sistemlerde olup bitenleri açıklamada, fizik kimi durumlarda yardımcı olabilir. Fakat kimya konusunda söylediklerim burada da geçerlidir. İndirgenmemiş, *kendine has* biyolojik betimlemelere başvurulmadığı enderdir. Başka bir yerde değişik bir biçimde dile getirdiğim bir sloganı burada da kullanabiliriz: Biyolojiye kanma, biyolojisiz kal-

ma.* Tanık olduğumuz olaylar en doğal haliyle, biyolojik ve fizik niteliklerin birbirlerini etkiledikleri karşılıklı bir etkileşim olarak tanımlanabilir. Ayrıca biyolojik ve fiziksel bir betimlemenin bir hayli bünyesel-yerel özdeşleşmelerinin yanında, yoğun bir sebep-sonuç işbirliği ile de karşı karşıyayız. Biyolojik ve fiziksel özellikler, ikisinin de kendi başlarına yaratamayacakları etkileri meydana getirmek üzere bir arada iş görmektedirler. Buradan yola çıkıp "Bunların hepsi fizikten kaynaklanıyor olmalıdır" demek, beni endişelendiren çıkarımın

* Tartışma sırasında Abner Shimony bu konuyla ilgili şu görüşlerini dile getirdi:

"Nancy Cartwright, zihni incelerken fizikten ziyade biyoloji kapsamında kalınmasını önerdi. Önerisinin pozitif kısmını taktirle karşılıyorum. Elbette zihin hakkında evrim biyolojisinden, anatomiden, nörofizyolojiden, gelişim biyolojisinden vs. öğrenecek çok şey var. Ancak zihin ile fiziğin ilişkisini irdeleyen araştırmaların verimsiz olduğu fikrine katılmamaktayım. Farklı disiplinler arasındaki bağlantılar, parçalar ve bütünler arasındaki ilişkiler mümkün olduğunca derinden araştırılmalıdır. Bu araştırmaların insanı nereye götüreceği *önsel* (a priori; ç.n.) olarak bilinmemektedir. Değişik alanlarda elde edilen sonuçlar birbirlerinden epeyce farklıdır. Şöyle ki; Bell Teoremi ve buradan esinlenerek yapılan deneyler, uzayda birbirlerinden ayrık durumda bulunan dolaşık sistemlerce sergilenen karşılıklı ilişkilerin, sistemlere tek başlarına belirli haller atfeden bir kuram tarafından açıklanamadığını göstermiştir. Bu, bütünsellik fikri açısından bir zaferdir. İki boyutlu ising modelinin, faz geçişlerinde bulunduğunu gösteren Onsager'in kanıtlaması ise, bileşenlerinin yalnızca en yakın komşularıyla etkileşime girebildiği sonsuz bir sistemde, geniş ölçekli bir düzenlemenin sağlanabildiğini ortaya koymuştur. Bu da çözümleyici görüş ve makrofiziğin mikrofiziğe indirgenebilirliği açısından bir zaferdir. Her iki keşif de –ister bütünselliği desteklesin ister çözümleyiciliği desteklesin– dünya hakkında önemli bir şey ortaya koymaktadır. Farklı disiplinlerin birbirleriyle ilişkilerini irdeleyen araştırmalar, disiplinlerin kendi içlerindeki fenomenolojik yasaların geçerliliğine gölge düşürmemektedir. Bu türden araştırmalar, daha ince fenomenolojik yasalar için yeni keşif malzemeleri ve bu yasalara ilişkin daha derin bir anlayış sağlayabilirler. Pasteur, çözeltiler içinden geçen ışığın kutuplanma düzleminin dönmesinden, moleküllerin kiralliğinin sorumlu olduğunu önerdiğinde molekül kimyayı kurmuş oldu."

attığı dev adımıdır. Tanık olduğumuz şeyler, hepsinin kaynağında fiziğin yattığını tutarlı gösteriyor olabilir. Ancak bu, böyle bir çıkarımı haklı çıkarmamakta, hatta görünüşe bakılırsa, aksine bundan gittikçe daha çok uzaklaşmaktadır.[3]

Her şeyin fizikte düğümlendiğini düşündüren sebeplerden bir tanesi de, sanırım, kapanma problemi ile ilgilidir. Sağlıklı bir fizik kuramında yer alan kavramların ve yasaların, kendi üzerine kapanan bir sistem oluşturmaları gerektiği düşünülmektedir. Bu kavramların kendileri hakkında tahminlerde bulunabilmeniz için gereksinim duyacağınız tek şey budur. Kanımca bu, fiziğin sağladığı başarı hakkında içine düşülen bir yanılgıdır -ya da en azından doğruluğu garanti edilemeyen bir iyimserliktir. Üstoluşum fikrinin felsefede önem kazanmasıyla aşağı yukarı aynı sıralarda, özel bir bilim fikri de kendisini göstermişti. Temelde, fikir hariç bütün bilimler özel bilimlerdir. Bu, içerdikleri yasaların ancak *diğer bütün her şey dengede kaldığı sürece* geçerli oldukları anlamına gelmektedir. Yalnızca, göz önüne alınan kuramın kapsamı dışında kalan şeyler müdahale etmediği sürece geçerliliklerini korumaktadırlar.

Peki ya fizik yasalarının, *diğer her şey dengede kaldığı sürece geçerli olan* yasalardan daha üstün olduğuna dair beslediğimiz kanaat kaynağını nereden almaktadır? Ne laboratuvarda elde ettiğimiz hayret verici başarılar, ne de Newtoncu mekaniğin güneş sistemi hakkında Kant'ı o denli etkileyen başarıları, böylesi bir kanaat uyandırmamaktadır. Bunun kaynağı, fiziğin teknik alandaki uygulamaları olan vakum tüpleri, transistörler ve SQUID manyetometreler de değildir. Çünkü bu aygıtlar zaten, bir dış etkinin müdahale etmemesini temin etmek üzere inşa edilmişlerdir. Yasaların, kuramın kapsamı dışında kalan etkenlerin belli bir rol oynadığı durumlarda hâlâ sağlıklı olup olmadıklarını test etmemektedirler. Şüphesiz fizik söz konusu olduğunda, fiziğin kendi dili ile tanımlanmaları olanaklı birtakım ek etkenlerden başka hiçbir şeyin işe karışmayacağına, bunların da zaten aynı yasalara tabi olduklarına dair yaygın bir inanç vardır. Ama zaten sorun da burada yatmaktadır.

Gerçekçilik konusunda bir görüş bildirerek sözlerimi bitirmek istiyorum. Bütün bilim dallarının aşağı yukarı aynı zeminde yan yana bulunduğu ve türlü etkenler arasında mevcut bulunan değişik türde etkileşimlerin her bilim dalının kendi alanında incelendiği, bir tür çoğulcu görüşe işaret etmeye çalıştım. Bu daha çok, bilimin insan yapısı olduğu ve doğayı yansıtmadığı görüşüyle birlikte yürüyen bir tablodur. Halbuki böyle bir bağlantı şart değildir. Kant tam tersi bir tutumu benimsemişti: Bilim bizim eserimiz olduğu içindir ki, birleşik bir sistem sadece olası değil aynı zamanda zorunludur da. Ne var ki bu çoğulcu tablo günümüzde sıklıkla toplumsal yapısalcılık ile bir arada bulunmaktadır. O halde çoğulculuğun, gerçekçilik karşıtı bir görüşü ima etmediğini vurgulamak önemlidir. Fizik yasalarının gerçek anlamda, *başka bütün her şey dengede kaldıkça geçerli olduklarını* söylemek, onların doğruluklarını reddetmek değildir. Bu yasalar büsbütün özerk ve hakim yasalar değillerdir. Çoğulculuğun sorgulaması altında tehdit edilen şey fiziğin gerçekçiliği değil, yayılmacılık politikasıdır (imperialism; ç.n.). Bu yüzden konuyu bilimsel gerçekçilik tartışmasına sürüklemeye hiç niyetim yok. Daha ziyade Roger'ın mevcut düğümün fizik tarafından çözüleceği şeklindeki metafizik vaadine değinmesini istiyorum. Çünkü şayet asıl tartışma bu tür bir fizik mi yoksa şu tür bir fizik mi tartışmasıysa, her şeyden önce bu konunun bir açıklığa kavuşturulması gerekir. Mesele fizik yasalarının doğrulukları ve zihnin işleyişi konusunda söz sahibi olup olmadıkları meselesi değil, o denli doğru olup olmadıkları; eğer değillerse açıklama külfetinin büyük kısmını taşıyıp taşıyamayacakları meselesidir.

DİPNOTLAR

1. Bkz. R.F. Hendry: Approximations in quantum chemistry, (der.) Niall Shanks, *Idealisation in Contemporary Physics,* (Poznán Studies in the Phiosophy of the Sciences and Humanities, Rodopi, Amsterdam) (1997'de yayımlanacak). R.G. Wooley (1976): 'Quantum theory and molecular structure', *Advances in Physics,* **25**, 27-52
2. Tekli sisteme karşı detaylı muhakeme için bkz.: John Dupre (1993), *The Disorder of Things: Metaphysical Foundations of Disunity of Science* (Harvard University Press, Cambridge MA); Otto Neurath (1987), *Unified Science,* Vienna Circle Monograph Series, çev. H. Kael (D. Reidel: Dordrecht).
3. Bu konuda daha fazla tartışma için bkz.: Nancy Cartright (1993), Is natural science natural enough? A reply to Phillip Allport, *Synthese,* **94**, 291. Burada ortaya konan genel bakış açısı hakkında daha geniş tartışma için bkz.: Nancy Cartright (1994), 'Fundamentalism vs the patchwork of laws', *Proceeding of the Aristotelian Society* ve (1995) 'Where in the world is the quantum measurement problem', *Physik, Philosophie und die Einheit der Wissenschaft, Philosophia Naturalis,* (der.) L. Kreuger ve B. Falkenburg (Spektrum: Heidelberg).

VI
Arsız Bir İndirgemecinin İtirazları

STEPHEN HAWKING

Başlamadan önce hemen söyleyeyim ki, bendeniz arsız bir indirgemecinin biriyim. Biyoloji yasalarının kimya yasalarına indirgenebileceğine inanıyorum. Bunun böyle olduğunu daha önce DNA'nın yapısının keşfedilmesi sayesinde görmüştük. Üstüne üstlük, kimya yasalarının fiziğinkilere indirgenebileceğine de inanıyorum. Sanırım kimyacıların büyük çoğunluğu bu konuda benimle hemfikirdir.

Roger ve ben birlikte, karadelikler ve tekillikler de dahil olmak üzere, uzayın ve zamanın büyük ölçekteki yapısı üzerinde çalıştık. Klasik biçimiyle Genel Görelilik kuramı üzerinde pek güzel anlaştıysak da, kuantum kütleçekimine geldiğimizde görüş ayrılıkları başgösterdi. Artık ikimiz dünyaya fiziksel ve zihinsel yönden bir hayli farklı yaklaşmaktayız. Temelde o, yegâne bir fiziksel gerçekliği tanımlayan biricik bir düşünceler dünyası olduğuna inanan bir Platoncu'dur. Ben, öte yandan, fizik kuramlarının kendi inşa ettiğimiz mate-

matik modellerden ibaret olduklarına ve gözlemleri öngördükleri oranda gerçekliği karşılayıp karşılayamayacaklarını sorgulamanın anlamsız olduğuna inanan bir pozitivistim.

Yaklaşımlarda ortaya çıkan bu farklılık, Roger'ın 1. ila 3. Bölümler'de, şiddetle karşı çıktığım üç iddiada bulunmasına yol açtı. İlki, kuantum kütleçekiminin, onun *OR* adını verdiği şeye, dalga fonksiyonunun nesnel indirgenmesine yer verdiğidir. İkincisi, mikrotübüller içersindeki eşdurumlu (coherent; ç.n.) akış üzerinde yarattığı etki sayesinde, bu sürecin, beynin işleyişinde önemli rol oynadığıdır. Ve üçüncüsü, Gödel Teoremi dolayısıyla, kendi kendinin farkında olma durumunun açıklanmasında, *OR* gibi bir şeye gereksinim duyulacağıdır.

Benim en iyi bildiğim şeyle, kuantum kütleçekimi ile başlayalım. Onun belirttiği dalga fonksiyonunun nesnel indirgenmesi olgusu, eşdurumluluktan çıkmanın (decoherence; ç.n.) bir çeşididir. Böyle bir eşdurumluluktan çıkmanın, ortamla etkileşime girme ya da uzay-zamanın topolojisinde meydana gelen dalgalanmalar sonucu gerçekleşmesi mümkündür. Gelgelelim Roger, herhalde bu mekanizmaların ikisine de iltifat etmemektedir. Bunun yerine, bu durumun, küçük bir nesnenin kütlesi tarafından uzay-zamanın bir miktar bükülmesi dolayısıyla meydana geldiğini iddia etmektedir. Halbuki kabul gören fikirlere göre, böylesi bir bükülme, eşdurumluluktan çıkmanın veya nesnel indirgenmenin gerçekleşmediği bir Hamiltoncu gelişime engel olamayacaktır. Belki kabul gören fikirler yanlıştırlar; ancak yerine de, Roger, nesnel indirgenmenin ne zaman gerçekleşeceğini hesaplayabilmemizi sağlayacak ayrıntılı bir kuram ortaya koyamamaktadır.

Görünüşe bakılırsa Roger'ı, nesnel indirgenmeyi ileri sürmeye iten şey, Schrödinger'in zavallı kedisini içinde bulunduğu yarı ölü, yarı diri halden kurtarma güdüsüdür. Kuşkusuz, hayvanlara özgürlüklerinin geri verildiği şu günlerde, bir düşünce deneyi dahi olsa böyle bir deneyi önermeyi kimse gözüne kestiremezdi. Gelgelelim Roger, nesnel indirgenmenin çok zayıf bir etki olduğunu, bu yüzden ortamla etkileşime girerek eşdurumluluktan çıkma olayından deneysel olarak

ayırt edilemediğini iddia etmeyi yeğlemiştir. Eğer durum buysa, o zaman Schrödinger'in kedisi, ortam etkisiyle eşdurumluluktan çıkma yoluyla açıklanabilir. Kuantum kütleçekimine başvurmaya gerek yoktur. Nesnel indirgenme, deneysel olarak ölçülebilecek derecede güçlü bir etki yaratmadığı sürece, Roger'ın arzusunu yerine getiremeyecektir.

Roger'ın ikinci iddiası, nesnel indirgenmenin, muhtemelen mikrotübüller içersindeki eşdurumlu akışlara yaptığı etki dolayısıyla, beyni önemli ölçüde etkilediğidir. Beynin işleyişi konusunda uzman değilim; ama nesnel indirgenmeye inansaydım bile, ki inanmıyorum, bu bana hiç de olası gözükmemektedir. Beynin, nesnel indirgenmenin çevrenin etkisiyle eşdurumluluktan çıkma durumundan ayırt edilebilmesine yetecek derecede, çevreden yalıtılmış sistemlerden meydana gelmiş olabileceğini aklım almıyor. Şayet bu denli yalıtılmış olsalardı, zihinsel süreçlere katkıda bulunabilecek kadar hızlı etkileşime giremezlerdi.

Roger'ın üçüncü iddiası, nesnel indirgenmenin öyle ya da böyle zorunlu olduğu, çünkü Gödel Teoremi'nin, bilinçli bir zihnin hesaplanamaz bir niteliğe sahip olduğunu gösterdiği yolundadır. Bir başka deyişle, Roger, bilincin canlı varlıklara özgü bir şey olduğuna ve benzetişim yoluyla bilgisayarda taklit edilemeyeceğine inanmaktadır. Nesnel indirgenmenin bilinci nasıl açıklayacağı konusuna açıklık getirmemiştir. Kullandığı akıl yürütme, daha ziyade bilincin bir gizem olduğunu, kuantum kütleçekiminin de bir başka gizem olduğunu, o halde bu ikisinin arasında bir bağlantı bulunması gerektiğini öne sürer gibidir.

İnsanlar, özellikle de kuramsal fizikçiler bilinçten söz etmeye başladıklarında, şahsen rahatsızlık duymaktayım. Bilinç, dışardan bakarak ölçülebilecek bir nitelik değildir. Yarın bir gün bir küçük yeşil adam sokak kapımızın önünde bitiverirse, onun bilinçli ve kendi kendinin farkında olan birisi mi, yoksa bir robot mu olduğunu anlamamızı sağlayacak hiçbir yönteme sahip değiliz. Ben, dışardan ölçülebilen bir yetenek olan zekâ hakkında konuşmayı yeğlemekteyim. Zekânın,

benzetişim yoluyla bilgisayarda taklit edilememesi için bir sebep göremiyorum. Elbette ki insan zekâsını, Roger'ın satranç problemi ile de gösterdiği üzere, bugünün şartlarında taklit edememekteyiz. Öte yandan, insan zekâsını hayvan zekâsından kesin bir çizgiyle ayırt etmenin mümkün olmadığını Roger da kabul etmektedir. Şu halde bir solucanın zekâsından söz etmek bizim için yeterli olacaktır. Bir solucanın beynini benzetişim yoluyla bilgisayarda taklit edebileceğimizden kimsenin şüphesi olduğunu zannetmiyorum. Gödel kanıtlamasının konuyla bir ilgisi yoktur, zira solucanlar π_1 -cümlelerini kafaya takmamaktadırlar.

Solucan beyninden insan beynine varıncaya kadar geçen evrim süreci, muhtemelen Darwinci doğal ayıklanma sayesinde gerçekleşmiştir. Ayıklanma boyunca aranan nitelik, matematiksel işlem yapabilme yeteneği değil, düşmanlardan kaçabilme ve üreyebilme yeteneğidir. Hayatta kalabilmek için gereken zekâ, pekâlâ matematiksel ispatlar yapmakta da kullanılabilir. Fakat bu, deneme yanılma türü bir şey olmaktan öteye gitmez. Elbette ki bu konuda sağlamlığından ve güvenirliliğinden emin olduğumuz bir yönteme sahip değiliz.

Sizlere Roger'ın, dalga fonksiyonunun nesnel indirgenmeye uğradığı, bunun beynin işleyişinde bir rol oynadığı ve bilinci açıklamanın zorunlu olduğu yönündeki üç iddiasıyla neden aynı fikirde olmadığımı anlattım. Roger'ın cevap vermesini beklesem hiç fena olmaz.

VII
Roger Penrose'un Eleştirilere cevabı

Eleştirilerinden dolayı Abner, Nancy ve Stephen'a müteşekkirim. Karşılığında bazı noktalardaki görüşlerimi bildirmek istiyorum. Aşağıda her birine ayrı ayrı cevap vereceğim.

ABNER SHIMONY'YE CEVAP

Her şeyden önce, Abner'in görüşlerini bildirmesini saygıyla karşıladığımı belirtmeliyim. Sanırım bana son derece yardımcı oldular. Yalnız, ona göre ben, hesaplanabilirlik konusu üzerinde yoğunlaşmakla, yanlış tepeye tırmanmaya kalkışmış olabilirim! Eğer bunu belirtmekteki niyeti, zihinsel etkinliğin hesaplanamama özelliğinden başka daha bir sürü önemli tezahürleri olduğuna işaret etmek ise, onunla tamamen hemfikirim. Bunun yanı sıra, Searle'ın Çin odası kanıtlamasının, hesaplamanın bilinçli zihinsel etkinliğe tek başına yol açabileceğini savunan "güçlü YZ" aleyhine, ikna edici bir örnek sunduğu fikrine katılıyorum. Searle'ın kanıtlaması özgün biçimiyle, aynen benim kendi "Gödel türü" değerlendirmelerim gibi, zihinsel "anlayış" yeteneği ile ilgilenmekteydi. Fakat Çin odasının, bunun yanı sıra

(belki daha bir kuvvetle) müzikteki seslerin duyulması ya da kırmızı rengin algılanması gibi öteki zihinsel yetenekler aleyhine kullanılması da mümkündür. Kendi değerlendirmelerimde bu tarzda bir kanıt dizisini kullanmayışımın sebebi, bunun bütünüyle negatif bir niteliğe sahip oluşu, bilinç konusunda olup bitenler hakkında bize gerçek bir ipucu verememesi ve de zihinsel etkinliği bilimsel bir temele oturtmaya çalışırken hangi yönde ilerlememiz gerektiğini dahi bize gösteremememesidir.

Searle'ın uslamlaması, 3. Bölüm'de benimsediğim terminoloji cinsinden, *A* ile *B* arasındaki ayrımı ilgilendirmektedir. (*ZG*, s. 12-16 ile de karşılaştırın). Yani bilincin *içe dönük* yanlarının, hesaplama çatısı altında toplanmadığını göstermeyi amaçlamaktadır. Bu benim için yeterli değildir; çünkü ben bilincin *dışa dönük* tezahürlerinin de hesaplama yoluyla erişilemeyeceğini göstermeye gereksinim duymaktayım. Benim benimsediğim strateji, bu aşamada çok daha zor olan içe dönük problemlerin çözümüne davranmayıp, ilkönce daha az iddialı bir şeyi deneyerek, bilinçli bir varlık tarafından sergilenen türden dışa dönük davranışların ne tür bir fizikten kaynaklandığını anlamaya çalışmaktadır. Yani beni bu aşamada ilgilendiren şey *A* ile *C* ya da *B* ile *C* arasındaki ayrımdır. Benim savım, bu şekilde belli bir ilerleme kaydetmenin gerçekten mümkün olduğu yolundadır. Yani henüz *doğru* zirveye yönelik esaslı bir girişimde bulunmadığımı kabul ediyorum. Ama inancım o ki, eğer ilk elden bu zirvenin en zorlu tepelerinden birini aşmayı becerebilirsek, bu avantajlı konumdan gerçek zirveye giden yolu daha iyi görebilmemiz mümkün olacaktır.

Abner, benim, Hilary Putnam'ın *Zihnin Gölgeleri* hakkındaki eleştirisine cevaben yazdığım mektup(lar)a gönderme yaparak, söylediklerimin onu tatmin etmediğini belirtiyor. Aslına bakılırsa, amacım Putnam'a kapsamlı bir cevap vermek değildi. Çünkü eleştirilere ayrılan magazin sayfalarının kapsamlı bir tartışmaya girmek için uygun köşeler olduklarına inanmamaktayım. Değinmek istediğim, bence Putnam'ın eleştirilerinin bir travestiden (yakışıksız bir benzetmeden; ç.n.) ibaret olduğu idi. Özellikle kitabın, onun gündeme getirdiği asıl

konulara değinen kısımlarını bir kez olsun okuduğuna dair herhangi bir izlenim uyandırmadığı için çok can sıkıcıydılar. *Zihnin Gölgeleri*'nin birkaç farklı eleştirisine yer veren (elektronik) magazin *Psyche*, Abner'in endişe duyduğu noktaları aydınlatacağını umduğum çok daha ayrıntılı bir cevabı içeriyor olsa gerek.* Doğrusu bazıları yanaşmaya hiç istekli olmasa da, "Gödelci" durum, derinden bakıldığında hakikaten de son derece büyük bir güce sahiptir. Bazı insanların işine gelmiyor diye, temel olarak doğru olduğuna inandığım bir kanıtlamadan vazgeçecek değilim! Benim üzerinde durduğum nokta, bunun bize, bütün cevabı yalnız başına vermese de, bilinç gerçeğinin altında muhtemelen ne tür bir fizik yattığına dair önemli bir ipucu sunmasıdır.

Sanırım Abner ile, işaret ettiği bazı olumlu noktalarda temel olarak hemfikirim. A.N. Whitehead'in yaptığı felsefi çalışmadan ne *Kralın Yeni Usu*'nda ne de *Zihnin Gölgeleri*'nde söz edilmeyişi onu şaşırtmış. Bunun sebebi esasen benim bilgisizliğimdir. Bir tür "panfiziksellik" yanlısı olan Whitehead'in genel konumundan habersiz olduğumu söylemeye çalışmıyorum. Demek istediğim, Whitehead'in felsefi çalışmalarından hiçbirini ayrıntısıyla okumadığımdan, ne bu çalışma ne de onun kendi görüşlerime olan yakınlığı ya da uzaklığı konusunda bir yorumda bulunmak istemedim. Kısmen asıl inancımın ne yönde olduğuna dair açık seçik bir kanaatten yoksun olmam dolayısıyla, takip ettiğim çizgi boyunca kesin belirlemelerde bulunacak konumda olmamama rağmen, sanırım içinde bulunduğum genel konum Abner'in belirlediği çizginin pek fazla dışına çıkmamaktadır.

Abner'in "modern Whiteheadcilik" görüşünü bilhassa çarpıcı bulmaktayım; büyük olasılıkla da akla yatkın. Şimdi farkına varmaktayım ki, aklımın gerisinde bulundurduklarım, Abner'in öylesine incelikle vurguladıklarına çok yakın şeyler olmuş olmalı. Hepsinden çok,

---

* Son çıkan sayı: Ocak 1996; http://psyche.cs.monash.edu.au/ psyche-index-v2-1.html. Ayrıca MIT yayınları arasından çıkmış basılı bir kopyası da mevcuttur (1996).

zihnin tek başına birleşip bütünleşmesinin, ortak kuantum halinin belli bir biçimi olarak ortaya çıkması için, büyük ölçekli *dolaşılıkların* şart olduğu konusunda yerden göğe kadar haklı. Her ne kadar ne *Kralın Yeni Usu*'nda ne de *Zihnin Gölgeleri*'nde, "Evren'de varlıksal olarak temel durumda bulunan" bir zihinsel etkinlik ihtiyacına açık seçik bir biçimde değinmediysem de, sanırım böylesi bir doğal özellik gerçekten de şarttır. Benim görüşüme göre *OR*'un (nesnel indirgenmenin; ç.n.) her ortaya çıkışında bir tür ilkel zihinsel etkinliğin devreye girdiğine şüphe yoktur. Fakat bunun uygun ölçekte ve olabildiğince "minik" olması şarttır. Bir hayli örgütlenmiş bir yapıya sahip ve -beyinlerde var olana benzer- bir tür "haber işleme yeteneği"ne adamakıllı uyum sağlamış geniş ölçekli bir dolaşıklık olmaksızın, gerçek anlamda bir zihinsel etkinlik herhalde fark edilir derecede gerçekleşmeyecektir. Sanırım bunun tek sebebi, o noktada fikirlerimi derli toplu bir hale getiremediğim için, bu konular kapsamındaki konumumu daha açık cümlelerle ifade etmeyi göze alamayışımdır. Aydınlatıcı eleştirilerinden dolayı Abner'e elbette müteşekkirim.

Bunların yanı sıra, psikolojinin çalışma alanında kalan olası birtakım işlevsel benzerlikleri ve deneysel bulguları araştırarak bazı önemli sezgilere ulaşmanın mümkün olduğuna da katılıyorum. Eğer kuantum etkileri bilinçli düşünme süreçlerimiz açısından gerçekten de temel oluşturmakta ise, o halde düşünüş biçimimizde bu gerçeğin izlerine tanık olmak üzere harekete geçsek hiç fena olmaz. Öte yandan bu türden bir değerlendirme yaparken, bir çırpıda hüküm vermemeye ve yanlış işlevsel benzerlikler seçmemeye olabildiğince dikkat etmelidir. Bu alanın baştan sona bir mayın tarlası olduğuna ve bir yığın tuzakla dolu bulunduğuna eminim. Ancak, net bir biçimde gerçekleştirilmeleri mümkün, makul birtakım deneylerin bulunması olasıdır. Bu tür olasılıkları araştırmak gayet ilginç olacaktır. Elbette ki, mikrotübül hipotezine özgü olarak gerçekleştirilebilecek daha uygun birtakım deneysel sınamaların bulunması da olasıdır.

Abner, Mielnik'in Hilbertçi olmayan kuantum mekaniğinden söz ediyor. Kuantum mekaniğinin yapı iskelesi üzerinde gerçekleştirilen

bu tarzda genellemeler, bana oldum olası ilginç gelmiştir ve bu, üzerinde daha fazla çalışılması gerektiğini düşündüğüm bir konudur. Diğer yandan bunun tam anlamıyla gereksinim duyulan türden bir genelleme olduğu kanaatini taşıdığımı da söyleyemeyeceğim. Bu özellikteki bir görüş beni iki yönden rahatsız etmektedir. Bunlardan ilki, kuantum mekaniğine yönelik diğer birtakım (genelleştirici) yaklaşımlar gibi, gerçekliği betimlemede temel olarak kuantum hali üzerinde değil, *yoğunluk matrisi* üzerinde odaklanmasıdır. Standart kuantum mekaniğinde yoğunluk matrislerinin uzayı dışbükey bir küme oluşturmakta, tek bir hal vektörü ile belirtilen "saf haller" de bu kümenin sınır bölgesine denk düşmektedirler. Standart bir Hilbert uzayından kaynaklanan bu tablo, Hilbert uzayı ile onun karmaşık eşleniğinin (yani ikizinin) (dual; ç.n.) tensör çarpımlarının bir altkümesine denk gelmektedir. Mielnik'in yaptığı genellemede bu genel "yoğunluk matrisi" tablosu korunmakta, ancak dışbükey kümenin inşa edilebileceği temel lineer Hilbert uzayına yer verilmemektedir. Lineer Hilbert uzayı kavramını dışarda bırakan bir genellemeye varım, ama kuantum kuramının holomorfik (karmaşık analitik) yanından olmak bana koyuyor; ki görünüşe bakılırsa bu kayıp bu yaklaşıma has bir durumdur. İşlevsel açıdan hal vektörüne benzeş bir kavrama yer verilmemekte, anlayabildiğim kadarıyla, sadece vektörün faz kısmına benzeş bir öğe alıkonmaktadır. Bu, kuantum kuramının karmaşık parametreli üst üste binmelerini biçimsel yapı içersinde özellikle anlamsız kılmaktadır. Gerçi makroskopik seviyede bütün sorunun bu üst üste binmelerden kaynaklandığını, bu yüzden de bunlardan kurtulmak gerektiğini idda eden olabilir. Gel gelelim bunlar kuantum seviyesi için oldukça temel konumdadırlar. Her şeyi böyle özel bir biçimde genellemekle, bana kalırsa kuantum kuramının en olumlu yanından mahrum kalabiliriz.

Rahatsızlığıma kaynak oluşturan diğer sebep, genelleştirilmiş kuantum mekaniğinin lineer olmayan yönlerini, ölçüm işlemi ile başa çıkabilecek şekilde düzenlenmesi sorunudur. Çünkü bu noktada *zamansal asimetri* problemi işin içine girmektedir (bkz. *Kralın Yeni Usu*, 7. Bölüm). İşin bu yönü Mielnik'in çizdiği taslakta herhangi bir

rol oynuyormuş gibi gelmedi.

Son olarak, kuantum mekaniğinin temel kurallarının değişikliğe uğratıldığı daha iyi kuramsal düzenlemelere ve böyle düzenlemelerin geleneksel kuantum kuramından ayırt edilebilmelerini sağlayacak deneylere yönelik arayışlara destek verdiğimi belirtmeliyim. Şu ana dek, 2. Bölüm'de tanıttığım özel düzenlemeyi günümüzde test etmek üzere, gerçekleştirilmesi olanaklı herhangi bir deney teklifine rast gelmedim. Böylesi bir sınama için hâlâ birçok adım gerideyiz. Ama yine de belli olmaz, daha iyi bir fikri olan birisi her an çıkabilir.

NANCY CARTWRIGHT'A CEVAP

Zihnin Gölgeleri'nin, Nancy'nin sözünü ettiği London School of Economics ve King's College'ın katılımıyla gerçekleştirilen bir seminer dizisinde tartışıldığını duymak beni yüreklendirdi (ve koltuklarımı kabarttı). Yalnız kendisi, zihin hakkındaki soruların biyolojiden ziyade fizik kapsamında cevaplanmaya çalışılması konusuna değinen şüpheci bir edayla konuşmaktadır. Her şeyden önce, bu sorulara yaklaşma çabalarımızda, biyolojinin önemsiz kaldığı gibi bir düşüncede olmadığını açıklığa kavuşturmalıyım. Esasen, yakın gelecekte kaydedilecek önemli gelişmelerin, sanırım fizikten ziyade biyolojiden yana gerçekleşmesi mümkündür. Ama bunun en büyük sebebi, fizikten beklediğimiz şeyin, bana kalırsa, esaslı bir devrim olmasıdır. Kim bilir, böyle bir devrim ne zaman gerçekleşir!

Fakat sanırım onun kastettiği, bu tarzda, benim biyolojiyi, zihinsel etkinliğin bilimsel terimlerle anlaşılmasını sağlamada "temel malzemeyi" oluşturduğu şeklinde yorumlamamı hedefleyen türden bir itirafname olmasa gerek. Çünkü bence gerçekten de, günümüzde "biyoloji" terimine yüklediğimiz anlam çerçevesinde, hiç de biyolojik bir niteliğe sahip olmayan bilinçli bir varlığın bulunması olasıdır. Oysa benim temel olarak nitelediğim özel *fiziksel* süreci kendisinde barındırmayan bir varlığın, bir bilince sahip olmasına imkân bulunmamalıdır.

Bütün bunları dile getirdikten sonra, biyoloji ile fizik arasında çizilebilecek çizgiye kıyasla, Nancy'nin hangi konumda bulunduğu konusunda hiç de aydınlanmış bir konumda bulunmadığımı belirtmeliyim. Bu konularda oldukça pragmatik olduğu izlenimi edindim; şayet ilerlememize bir katkıda bulunacaksa, bilinç olgusunu bir fizik problemi olarak kabullenmeyi evetlemeye razıdır. Sonra da şu soruyu sormaktadır: Temel düzeyde ilerlememize fizikçilerin biyologlardan daha çok emeğinin geçtiği özel bir araştırma programına yönelmem acaba mümkün müdür? Kanımca benim getirmiş olduğum öneriler, onun savunmaya çalıştığından çok daha özel bir programa yol açmaktadırlar. Ben beyinde, çok net birtakım fiziksel özelliklere sahip yapıları arayıp bulmamız gerektiğini savunmaktayım. Öyle yapılar ki, uzak mesafelere yayılan, iyi yalıtılmış ve en azından aşağı yukarı bir saniye mertebesinde süren kuantum hallerinin ortaya çıkmasına ve böyle hallerin içerdiği dolaşıklıkların beynin görece geniş, muhtemelen tek seferde binlerce nöronu içeren bölgelerine yayılmalarına imkân tanısınlar. Bunun gibi bir hali destekleyebilmek için, çok hassas bir iç yapılanmaya, muhtemelen kristal benzeri bir yapıya sahip olan ve sinapsların güçleri üzerinde önemli etkilerde bulunabilen biyolojik yapılara gereksinim duymaktayız. Bilinen biçimiyle sinirsel iletimin kendi başına yeterli olduğunu zannetmiyorum. Çünkü gerekli yalıtımı sağlamak gerçekten olanaksızdır. Beck ve Eccles tarafından öne sürüldüğü gibi, sinaps öncesi kabarcıklı kafes yapısı (presynaptic vesicular grid; ç.n.) türü yapılar belli bir rol oynuyor olabilirler. Ama bana kalırsa hücreiskelet mikrotübülleri, gerekli niteliklerin daha fazlasına sahip görünmektedirler. Eksiksiz bir tablonun ortaya çıkması için, bu ölçekte (klatrinler gibi) kim bilir daha nice yapılara ihtiyaç vardır. Nancy öne sürdüğüm tablonun yeterince ayrıntılı olmadığını iddia etmektedir. Halbuki bana, neredeyse rastladığım diğer bütün modellerden çok daha ayrıntılı gözükmektedir. Bundan başka, hayli kendine özgü bir yöntemle geliştirilmeye uygundur ve deneysel sınama için olabildiğince elverişlidir. "Eksiksiz" bir tablonun yakınlarına varmadan önce gerek duyduğumuz daha pek çok şey bulunduğunun ben de farkındayım. Fakat yine de ihtiyatla ilerlememiz gerektiği kanısındayım ve

daha bir süre kesin sınamalar beklememekteyim. Bu daha çok çalışmaya ihtiyaç gösteren bir konudur.

Nancy'nin asıl ciddi olduğu konu, fiziğin topyekün dünya görüşümüzde oynadığı rol ile daha yakından ilgili gözükmektedir. Sanırım fiziğin sahip olduğu statünün fazlaca önemsendiği görüşündedir. Belki gerçekten de fazlaca önemsenmektedir ya da en azından günümüz fizikçilerinin sunmaya çalıştıkları dünya görüşü, göze batacak derecede abartılarak, fiziğin eksiksizliğe olan yakınlığı, hatta doğruluğu biçiminde anlatılmaktadır!

Günümüzün fizik kuramını değişik kuramların birbirine yamanmasından oluşan bir bütün olarak gören (bence yerinde bir görüş) Nancy, bunun hep böyle kalabileceğini öne sürmektedir. Belki fizikçilerin bütünüyle birleşmiş bir betimlemeye ulaşmayı amaçlayan nihai hedeflerinin hiç gerçekleşmeyecek bir rüya olduğu doğrudur. Böyle bir soruyu yöneltmemiz gereken alanın bilimin alanı dahi değil, metafizik olduğu görüşündedir. Bu durumda nasıl bir tutum benimsemem gerektiğinden şahsen emin değilim. Ama bu konudaki gereksinimleri göz önüne alırken, bu denli ileri gitmemizin gerekli olduğunu zannetmiyorum. Birleşme eğilimi bütün fizikte topyekün bir biçimde ortaya çıkmaktadır. Bu eğilimin devam edeceğini düşünmek için her türlü gerekçenin mevcut olduğunu görmekteyim. Bunun aksini iddia etmek çok cüretli bir şüphecilik olurdu. Benim, modern fizik kuramındaki yamaların en belli başlısı olarak gördüğüm şey, klasik ve kuantum seviyelerindeki betimlemelerin –bana göre hiç de tatmin edici olmayan bir biçimde– birbirlerine eklenme tarzını göz önüne alalım. İki farklı seviyede uygulama alanı bulan ve temelde bağdaşmayan iki değişik kuramla iş görmeyi öyle ya da böyle öğrenmemiz gerektiği düşüncesinden yana çıkmak mümkündür (ki Bohr tarafından ifade edilen görüş sanırım aşağı yukarı buydu). Belki böyle bir tutumla işleri birkaç yıllığına götürebiliriz. Fakat ölçümler kesinleşip bu iki seviyenin arasındaki sınır çizgisine doğru yaklaştıkça, gerçekte Doğa'nın bu çizgiyle nasıl başa çıktığını bilmek isteyeceğiz. Bazı biyolojik sistemlerin sergiledikleri davranışlar belki de bu sınır çizgisinde olup bi-

tenlere sıkı sıkıya bağlıdır. Bence bu aşamada sorulması gereken soru şudur: Bize şimdi berbat bir karmaşa gibi gözüken bu durumun üstesinden gelmemizi sağlayabilecek güzel bir matematiksel kurama kavuşmayı ümit etmeli miyiz, yoksa fizik bu seviyede "gerçekten" tatsız bir karmaşadan mı ibarettir? Elbette hayır! Böyle bir soru sorulduğunda içgüdülerimin beni nereye yönlendirdiği meydandadır.

Halbuki Nancy'nin açıkladığı fikirlerden, bu aşamadaki fizik yasalarında tatsız bir karmaşa bulunduğunu kabullenmeye bir itirazı olmadığı izlenimini edindim.* Biyolojinin fiziğe indirgenememesi ile kastettiği herhalde bu olmalı. Biyolojik sistemlerde bu seviyede önemli roller oynayan, elbette bilmediğimiz bir yığın karmaşık parametre ol-

* Tartışma esnasında Nancy Cartwright bu konularla ilgili olarak kendi konumunu tekrar belirledi:

"Roger, açık sistemlerle başa çıkamayan bir fiziğin kötü bir fizik olduğu görüşündedir. Bense, şayet doğa yasaları birbirlerine parça parça eklenmekteyseler, ki böyle olabileceklerini hayal etmekte zorlanmıyorum, tam tersine böyle bir fiziğin gerçekten de iyi bir fizik olabileceği fikrinden yanayım. Şayet dünya baştan başa, fizik özelliklere indirgenemeyen, ancak mevcut özelliklerle nedensel bir etkileşim içinde bulunan özelliklerle dolu ise, o taktirde en doğru fizik, zorunlu olarak, *diğer bütün her şey dengede kaldığı sürece geçerli bulunan* bir fizik olacak ve ancak kapalı sistemler söz konusu olduğu sürece öykünün tamamını söylemeyi becerebilecektir.

Acaba bu görüşlerden hangisi doğruya yakındır? Bu, bana kalırsa, metafizik bir sorudur. Şu anlamda ki, bilim tarihi boyunca karşılaştıklarımız da dahil olmak üzere, elimizde bulunan bilimsel kanıtların çok ötesinde bir cevabı gerektirmektedir. Bu tür bir metafiziğin elden geldiğince önlenmesi, yöntem kullanımından doğan kararlar öyle ya da böyle belli bir yargıyı gerektirdiği durumlarda ise, her iki tarafın da güzelce kollanarak ona göre iddiada bulunulması konusunda ısrarlıyım. Belli bir iddiada bulunmamız gerektiğinde karşılaşacağımız olasılıkları, bütün desteklerini fizikten yana koyanlardan bir hayli farklı tahmin eylemekteyim. Modern bilim birleşik bir sistem değil, parça parça eklerden oluşan bir bütündür. Gerçekliğin yapısı hakkında iddiada bulunmamız gerektiğinde, sanırım bunu, bu gerçekliğe dair elimizde bulunan en iyi temsilden yararlanarak ortaya koymaya çalışmamız daha iyi olur. Bu şey halen mevcut olan modern bilimdir, var olmasını düşlediğimiz şey değil."

malıdır. Altta yatan bütün fiziksel ilkeler bilinse dahi, buna benzer sistemlerle ilgilenirken, nispeten daha etkili bir bilimsel yaklaşım ortaya koymak amacıyla pratikte her türlü tahmine, yaklaşıklık yöntemine, istatistik yöntemlerini ve hatta yeni matematiksel fikirlere başvurmak zorunlu olabilir. Ancak biyolojik sistemin içerdiği ayrıntılar her ne kadar önümüze tatsız bir karmaşa sürse de, standart fizik görüşüne göre bu, altta yatan fizik yasalarının kendilerinde meydana gelen bir karmaşa değildir. Eğer bu bağlamda fizik yasaları eksiksiz iseler, o halde gerçekten de "biyolojik özelliklerin oluşumu fiziksel özelliklerin üzeri ne gerçekleşmektedir."

Öte yandan ben, standart fizik yasalarının bu bağlamda eksiksiz olmadıklarını iddia etmekteyim. Daha da kötüsü, biyoloji açısından önemli sayılabilecek dallarda pek doğru olmadıklarını da ileri sürmekteyim. Standart kuram, geleneksel kuantum mekaniğinde yer alan *R* yönteminde açık bir kapı bırakmaktadır. Olağan görüşe göre, bu ancak gerçek bir rastgeleliğe meydan vermektedir. Yeni bir "biyolojik" ilkenin nasıl olup da, bu rastgeleliğin gerçekliğini bozmaksızın – ki bu fizik kuramda değişikliğe gidilmesi anlamına gelirdi– bir rol oynadığını anlamak güçtür. Kaldı ki, ben işlerin bundan da kötü olduğunu iddia etmekteyim. Standart kuramın *R* yöntemi, *U* üniter gelişimi ile *bağdaşmaz* konumdadır. Daha can alıcı biçimde ifade etmek gerekirse, standart kuantum kuramının *U* gelişim yöntemi, gözlemlerin ortaya koyduğu gerçeklerle gözden uzak tutulamayacak derecede tutarsızlık göstermektedir. Standart görüş kapsamında, kabul edilebilirlik derecesini türlü oyunlar yoluyla değiştirerek bunun üstesinden gelmek mümkün olsa da, acı gerçek değişmemektedir. Biyolojiye ne şekilde yansırsa yansısın, bana göre, bunun bir fizik problemi olduğuna şüphe yoktur. "Yamalı" bir Doğa'nın bu tarz bir oluşumla kardeşçe geçinebileceği, belli bir görüş açısından tutarlı sayılabilir. Ancak ben, dünyamızın buna benzediğinden fazlasıyla şüpheliyim.

Bütün bunların ötesinde, fiziksel yapının üzerine gerçekleşen bir oluşuma sahip olmayan bir biyolojinin neye benzeyebileceğini hiç aklım almamaktadır. Aynı şey kimya için de geçerlidir. (Bunları söyle-

mekle bu dallara saygı duymadığımı kastetmiyorum.) Bazıları bana, hesaplanamayan bir işleyişe sahip bir fiziği akıllarının kesrnediğini söylemekle, bunun benzeri bir durumu dile getirmekteydiler. Böylesi bir duygu hiç de olağandışı değildir; ancak 3. Bölüm'de tarif ettiğim evrenin "oyuncak model"i, hesaplanamayan bir fiziğin neye benzeyebileceği konusunda az çok bir fikir vermektedir. Eğer birisi bana, muhatap durumda bulunduğu "fiziğin" üzerine gerçekleşmeyen bir oluşuma sahip bir "biyoloji"nin neye benzeyebileceği konusunda benzer bir fikir sunabilirse, böyle bir fikri belki ben de ciddiye almaya başlayabilirim.

Şimdi benim açımdan Nancy Cartwright'in asıl sorusuna döneyim. Bilinci bilim yoluyla açıklayabilmek için neden yeni bir fizik aramamız gerektiğini düşünüyorum? Buna cevabım gayet kısa ve net: Abner Shimony'nin değerlendirmeleri doğrultusunda, zihinsel etkinliğin, biyoloji ve kimya da dahil olmak üzere, günümüzün fiziksel dünya betimlemesi kapsamında bir yer edindiğine hiç mi hiç tanık olamamaktayım. Dahası, fiziği değiştirmeksizin, biyolojiyi bu dünya betimlemesinin bir parçası kılmayacak bir değişikliği biyolojide nasıl gerçekleştirebileceğimizi anlayamamaktayım. Temel seviye olarak ilkel zihinsel etkinliklerden oluşan öğelere yer veren bir dünya görüşünü yine de "fiziğe dayalı" deyimiyle tanımlamaya kimsenin gönlü razı olacak mıdır? Bu bir terminoloji sorunudur; ama en azından şimdilik makul sınırlar içinde pek fazla canımı sıkmamaktadır.

STEPHEN HAWKING'E CEVAP

Stephen'in, kendisinin bir pozitivist olduğu yolundaki değerlendirmeleri, insanda, "yamalı" bir fizik betimlemeye de sempati duyabileceği beklentisini uyandırmaktadır. Halbuki kuantum kütleçekimine ait kendi yaklaşımında, bildiğim kadarıyla, *U* kuantum mekaniğinin standart ilkelerini değişmez kabul etmektedir. Üniter gelişimin daha

iyi bir şeylere doğru gerçek bir yaklaşıklık olması olasılığına neden bu denli soğuk baktığını bir türlü anlayamıyorum. Ben şahsen, bunun, Newton'un muhteşem bir doğruluğa sahip kütleçekim kuramının Einstein'inkine bir yaklaşıklık olması gibi, bir tür yaklaşıklık olmasından rahatsızlık duymamaktayım. Fakat bunun, bana öyle geliyor ku, öyle Platonculuk'la yahut pozitivistlikle falan pek bir ilgisi yok.

Çevre etkisiyle eşdurumluluktan çıkmanın, Schrödinger'in kedisini üst üste binmekten kurtarmaya tek başına yeteceği görüşüne katılmıyorum. Çevre etkisi ile eşdurumluluktan çıkma konusunda benim görüşüm, ortam kedinin (ya da söz konusu kuantum sistemi hangisiyse onun) içinde bulunduğu hal ile çözülemez biçimde bir kez dolaştığında, görünürde hangi nesnel indirgenme planının izlendiğinin hiçbir pratik öneminin olmadığı yolunda idi. Halbuki, FAPP (bütün pratik kaygılar açısından) gibi eğreti bir plan dahi olsa, ***belli*** bir indirgenme planı olmaksızın, kedinin hali bir üst üste binmeden ibaret kalacaktır. "Pozitivist" tutumu dolayısıyla, Stephen galiba üniter gelişime uğramış kedi halinin gerçekte ne olduğunu umursamamakta ve "gerçeğe" yönelik olarak, yoğunluk matrisine dayanan bir betimlemeyi yeğlemektedir. Halbuki bu, 2. Bölüm'de gösterdiğim gibi, aslında kedi probleminin içinden çıkmamızı sağlamamaktadır. Çünkü yoğunluk matrisi betimlemesinde, kedinin niçin iki halin üst üste binmesinden oluşan bir halde bulunmayıp da, ya ölü ya da diri bir halde bulunduğunu ortaya koyan hiçbir şey yoktur.

Benim, nesnel indirgenmenin (*OR*'un) bir kuantum kütleçekim etkisi olduğunu bildiren özel önerim konusunda, Stephen, "fizikte kabul gören fikirlere göre (uzay-zamandaki) bükülmenin Hamiltoncu bir gelişmeyi engellemediğini" belirtmekte elbette haklıdır. Fakat sorun şu ki, bir *OR* işlemi devreye girmeksizin, uzay-zamanın farklı bileşenleri arasındaki ayrımlar (kedi örneğinde olduğu gibi) gittikçe büyümekte ve göründüğü kadarıyla, deneyimlenen şeyden gitgide daha çok sapmaktadır. Evet doğru; kabul gören fikirlerin bu aşamada yanlış oldukları kanaatindeyim. Ama bununla yetinmeyip, savunduğum fikirler her ne kadar bu seviyede olup bitenlere ilişkin asıl kanaatlerimi

tam anlamıyla ifade edebilecek derecede ayrıntılı olmasalar da, en azından ilke olarak deneysel sınamalara uygun bir ölçüt öne sürdüm.

Buna benzer işlemlerin beynin işleyişine uygun düşüp düşmediği meselesine gelince; şayet bilinçli beyinde, gerçekten de, bana (ve de Abner Shimony'ye) göründüğü gibi, günümüzün fiziksel dünya betimlemesi çerçevesinde kalan anlayışımızın ötesinde, son derece garip bir şeyler dönüyor olmasaydı, bunun bana "son derece isabetsiz" göründüğünü kabul ederdim. Kuşkusuz bu olumsuz bir tartışmadır. Bu yüzden tartışılan şeyin kendisi ile birlikte gemiden aşağıya uçmamak için son derece uyanık olmalıdır. Sanırım, gerçekte neler olup bittiğini anlamak amacıyla, hem beynin gerçek nörofizyolojisini, hem de biyolojinin diğer alanlarını dikkatle incelemek bir hayli önemlidir.

Gelelim benim Gödel kanıtlamasından yararlanma biçimime. Bu tür bir değerlendirmenin kullanılmasındaki bütün amaç, bunun dıştan bakmakla ölçülmesi *mümkün* bir şey olmasıdır (Yani daha önce sözünü ettiğim gibi *A* ile *C* veya *B* ile *C* ayrımı ile ilgilenmekteyim, dıştan ölçülemeyen *A* ile *B* ayrımıyla değil). Üstelik doğal ayıklanma söz konusu olduğunda, ayıklanma işlemi açısından, sivrilmiş bir matematik yeteneğinin tercih edilir bir ölçüt oluşturmadığını açık seçik ifade etmiştim. Şayet öyle olsa idi, bir kısmımıza Gödelci geri zekâlı gömleği giydirilmiş olması gerekirdi; ama öyle değil. Bilhassa bu açıdan bu kanıtlamanın ana fikri, ayıklanmada esas alınan şeyin genel bir *anlayış* yeteneği olduğudur. Böyle bir yetenek, ek olarak, matematiksel anlayışa da uygulanabilir. Bu yeteneğin (Gödelci kanıtlama dolayısıyla) algoritmik olmaması gerekir. Ama yine de, matematik haricinde başka bir yığın şeye uygulanabilir. Solucanları bilmem ama, eminim ki filler, köpekler, sincaplar ve daha bir sürü hayvan bundan nasiplenmeyi bilmişlerdir.

Büyük, Küçük ve İnsan Zihni, Penrose'un 21. yüzyıl kuramsal fiziğine bakışına kolay anlaşılabilir, aydınlatıcı ve yeni düşünce yolları yaratan bir giriştir. Kitap, Penrose'un evrenin büyük ölçekli fiziği, kuantumu küçük ölçekli fiziği ve zihnin fiziğine ilişkin büyük yankılar uyandıran düşüncelerinin eleştirel olarak tartışılması ve irdelenmesini içermektedir.

Bu yapıtında Penrose, beynin çalışması ve insan zihninin doğasını anlamakta yararlı olacağına inandığı yeni radikal kavramlara geliştirmektedir. Bu görüşler daha sonra kitapta farklı alanlardan üç farklı uzman tarafından tartışma masasına yatırılmaktadır: Kuramsal fizikçi ve kozmolojist *Stephen Hawking*, bilim felsefecileri *Abner Shimony* ve *Nancy Cartwright*...

büyük küçük ve insan zihni

ISBN 975-8304-07-0
9 789758 304073